



L'identification et l'évaluation des coûts de l'inaction face au changement climatique en Wallonie

Partie 1 – Les coûts de l'inaction

RAPPORT FINAL – MARS 2014

POUR LE COMPTE DE LA DGO4 DÉPARTEMENT DE L'ÉNERGIE
ET DU BÂTIMENT DURABLE ET AGENCE WALLONNE DE L'AIR ET DU CLIMAT (AWAC)

Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable asbl

Boulevard Frère Orban, 4

5000 Namur

Tel : 081 250 480 – Fax : 081 250 490

Email : icedd@icedd.be

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION ET ÉLÉMENTS CONTEXTUELS	17
1.1	CONTEXTE	17
1.1.1	<i>Les réponses au changement climatique.....</i>	17
1.1.2	<i>Les coûts de l'inaction</i>	18
1.1.3	<i>Les efforts menés en Europe et Belgique en matière d'adaptation.....</i>	21
1.2	OBJECTIF ET STRUCTURE DU RAPPORT	23
1.3	APERÇU DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ATTENDUS EN WALLONIE/BELGIQUE.....	24
1.3.1	<i>Le climat de la Région wallonne.....</i>	24
1.3.2	<i>Tendances historiques.....</i>	26
1.3.3	<i>Le climat futur</i>	31
1.4	LES PRINCIPAUX IMPACTS ATTENDUS EN WALLONIE.....	34
2	IDENTIFICATION ET ÉVALUATION DES IMPACTS PAR SECTEUR	36
2.1	CHOIX MÉTHODOLOGIQUES.....	36
2.2	AGRICULTURE.....	41
2.2.1	<i>Identification des impacts</i>	41
2.2.2	<i>Analyse des coûts</i>	49
2.3	BIODIVERSITÉ ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES	77
2.3.1	<i>Identification des impacts</i>	77
2.3.2	<i>Analyse des coûts</i>	85
2.4	ÉNERGIE.....	106
2.4.1	<i>Identification des impacts</i>	106
2.4.2	<i>Analyse des coûts</i>	110
2.5	FORÊTS	130
2.5.1	<i>Identification des impacts</i>	130
2.5.2	<i>Analyse des coûts</i>	141
2.6	RESSOURCE EN EAU, INFRASTRUCTURES ET AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE.....	167
2.6.1	<i>Identification des impacts</i>	167
2.6.2	<i>Analyse des coûts</i>	181
2.7	SANTÉ.....	204
2.7.1	<i>Identification des impacts</i>	204
2.7.2	<i>Analyse des coûts</i>	212
2.8	TOURISME	246
2.8.1	<i>Identification des impacts</i>	246
2.8.2	<i>Analyse des coûts</i>	247
3	REFERENCES	268
	GENERAL.....	268
	AGRICULTURE	269
	BIODIVERSITÉ, SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES ET FORÊTS	273
	ÉNERGIE.....	279
	RESSOURCES EN EAU, INFRASTRUCTURES ET AMENAGEMENT DU TERRITOIRE	281
	SANTÉ	286
	TOURISME.....	290
4	CONCLUSIONS	294

5	ANNEXES	302
	ANNEXE GENERALE : LES COÛTS DE L'INACTION DANS LA LITTÉRATURE ET LIMITES DE L'HYPOTHESE À ÉCONOMIE CONSTANTE	302
	ANNEXE AGRICULTURE.....	312
	ANNEXE ENERGIE	336
	ANNEXE RESSOURCES EN EAU, INFRASTRUCTURES ET AMENAGEMENT DU TERRITOIRE	340
	ANNEXE SANTÉ	356
	ANNEXE TOURISME.....	370

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Coûts de l'inaction face aux changements climatiques en % du PIB dans la littérature avant la publication du rapport Stern.....	20
Figure 2. Répartition spatiale de la pluviosité en Région wallonne. Source : IRM.....	24
Figure 3. Temperature moyenne annuelle (1833-2007). Source : IRM, 2013.....	26
Figure 4. Nombre annuel de vagues de chaleur (1901 – 2007). Source : IRM, 2013.	26
Figure 5. Quantité annuelle de précipitations (1833 – 2007). Source : IRM, 2013.	27
Figure 6. Nombre annuel de jours avec précipitations neigeuses (1901 – 2007). Source : IRM, 2013.....	28
Figure 7. Maximum annuel de l'épaisseur de neige (1948 – 2007). Source : IRM, 2013.	28
Figure 8. Date du premier jour de gel à la sortie et à l'approche de l'hiver (1901-2007). Source : IRM, 2013.....	29
Figure 9. Vitesse moyenne annuelle du vent (1880 – 2007). Source : IRM, 2013.....	29
Figure 10. Vitesse moyenne annuelle du vent (1965 – 2005). Source : IRM, 2013.....	30
Figure 11. Durée annuelle de l'ensoleillement (1887 – 2007). Source : IRM, 2013.....	30
Figure 12. Projections climatiques et principales impacts dans les régions européennes. Source: EEA, 2012. ...	31
Figure 13. Impacts potentiels des changements climatiques sur les cultures. Source : ICEDD, 2014.	41
Figure 14. Evolution du nombre d'exploitations de 2000 à 2010 en Région Wallonne. Source : Chiffres clés de l'agriculture 2013, Direction générale Statistique et Information économique du Service Public Fédéral Economie.	50
Figure 15. Répartition de la Surface Agricole Utile. Source : INS, 2014.	51
Figure 16. Importance du secteur des grandes cultures en Région wallonne en 2011 en % de la valeur (en marges brutes standard) de la production agricole totale dans la commune. Source : DGARNE et recensement agricole de mai 2011 SPF Economie Direction générale de la Statistique et de l'Information Economique (DGSIE ex-INS), 2014.	52
Figure 17. Valeur totale de la production agricole liée au sol en Région wallonne en 2011 en euros par ha de SAU. Source : DGARNE et recensement agricole de mai 2011 SPF Economie Direction générale de la Statistique et de l'Information Economique (DGSIE ex-INS), 2014.	52
Figure 18. Orientation des communes wallonnes selon les productions agricoles en Région wallonne en 2011. Source : DGARNE et recensement agricole de mai 2011 SPF Economie Direction générale de la Statistique et de l'Information Economique (DGSIE ex-INS), 2014.	52
Figure 19. Importance des prairies dans la SAU communale en 2010 (en % de la SAU communale). Source : DEMNA, DGO3.	53
Figure 20. Carte des rendements moyens du maïs en Belgique. Source : http://www.nitrawal.be/pdf/bonnes_pratiques_agricoles.pdf	54

Figure 21. Superficie des prairies permanentes (1000 ha) en Wallonie. Source : Recensement agricole de mai 2001-2009.	55
Figure 22. Valeurs guides de rendement des prairies (t MS/ha). Source : NitraWall, Fertilisation raisonnée en prairie, Bonnes pratiques agricoles, logiciel dégâts de gibier de Fourrages-Mieux.....	56
Figure 23. Pertes moyennes en sol sur la période 2000-2005 en Région wallonne. Source : Tableau de bord de l'environnement wallon, 2008 –FUSAGx-UHAGx (modèle EPICgrid).....	67
Figure 24. Bassins de l'Hermeton à Hastière, de la Thyria à Thy-le-Château et de la Mehaigne à Upigny. Source : SPW, 2013.	68
Figure 25. Modèle EPICgrid – Rendement en sédiments sous climat actuel et scénarios de changement climatique – Bassin versant de l'Hermeton à Hastière (166 km ²). Source : Projet AMICE, 2013.....	69
Figure 26. Modèle EPICgrid – Rendement en sédiments sous climat actuel et scénarios de changement climatique – Bassin versant de la Thyria à Thy-le-Château (50 km ²). Source : Projet AMICE, 2013.	69
Figure 27. Modèle EPICgrid – Rendement en sédiments sous climat actuel et scénarios de changement climatique – Bassin versant de la Mehaigne à Upigny (17 km ²). Source : Projet AMICE, 2013.	70
Figure 28. Résumé des impacts probables du changement climatique sur les différentes composantes de la biodiversité, de certaines inconnues restantes, et des autres types de changements qui ont le plus de chance d'agir de concert pour accélérer l'érosion de la diversité biologique (conception : ICEDD sur base de (Walther 2010; McMahon et al. 2011; Bellard et al. 2012; Usher 2007; Maclean and Wilson 2011)).	78
Figure 29. Evaluation des services rendus par les écosystèmes.	84
Figure 30. Sites naturels sous statut fort de protection en 2010. Source : SPW-DGARNE-DNF/DEMNA, 2011. ...	86
Figure 31. Degré de naturalité des milieux forestiers en 2010. Source : SPW – DGARNE – IFPRW, 2010.....	87
Figure 32. Pratiques agricoles favorables à la biodiversité en 2009. Source : SIGEC (2009) SPW – DGARNE.....	88
Figure 33. Fragmentation des habitats naturels en 2006. Source : CORINE Land Cover, AEE.	89
Figure 34. Les principales méthodes d'évaluation économique des services écosystémiques applicables dans un contexte de changements climatiques. Source : (Dupras, Revéret, and He 2013).....	91
Figure 35. Changements d'occupation des sols des trois grands types d'occupation traités dans ce chapitre pour les 4 scénarios du GIEC. Source : Carraro et al. 2009.....	94
Figure 36. Production électrique en Wallonie. Source : CPDT, 2011.	111
Figure 37. Relation entre la pression des condenseurs et la température de l'eau de refroidissement. Source : Wanek et al., 2011	112
Figure 38. Prix moyen de l'énergie sur le marché (2000 – 2011). Source : www.eex.com.....	115
Figure 39. Répartition par source renouvelable de l'énergie primaire hors biomasse en Wallonie en 2000 et 2009. Source : ICEDD, 2013.....	117
Figure 40. Production hydroélectrique en Wallonie en 2008, Source : APERE.....	117

Figure 41. Evolution mensuelle des degrés-jour - DJC (gauche) et DJc (droite) - en Wallonie, 1996-2013. Source : ICEDD, 2014.....	120
Figure 42. Evolution mensuelle des degrés-jour - DJC (gauche) et DJc (droite) - en Wallonie, moyenne 1996-2013 et en 2050 (scénario A1B, + 1.9°C). Source : ICEDD, 2014	120
Figure 43. Consommation de chauffage dans le secteur résidentiel et tertiaire en Wallonie en 2050 avec et sans changement climatique, à économie constante. Source : ICEDD, 2014.	121
Figure 44. Nombres des jours avec une température moyenne plus élevée que 18°C. Source : ICEDD, 2014. ...	122
Figure 45. Consommation d'énergie pour la climatisation dans le secteur résidentiel et tertiaire en Wallonie en 2050 avec et sans changement climatique, à économie constante.	123
Figure 46. Variation de la demande dans différents scénarios de réactivité de la demande énergétique à une variation de la température. Source : ICEDD, 2014.	125
Figure 47 : Réponse hypothétique des arbres de différentes conditions thermiques à une augmentation de la température (Way and Oren 2010). La région colorée indique la variabilité des réponses possibles. Les espèces d'environnement plus froid (en bleu) montrent généralement une réponse plus favorable, bien que cette réponse puisse être nulle ou même négative si l'eau ou les éléments nutritifs sont limitants. Les espèces des environnements plus chauds (en rouge) connaîtraient toujours une réduction de la croissance, mais avec moins de variation entre individus ou espèces.	132
Figure 48. Changement de production primaire nette (NPP) pour le hêtre, selon deux niveaux de disponibilité en eau (WHL) et en éléments nutritifs (N). Source : Lousteau et al. 2004.....	133
Figure 49. Evolutions de la NPP au site situé en Province de Liège, toutes espèces confondues (source : communication personnelle, Prof. François et Hambuckers, projet BELSPO MASC en cours).....	135
Figure 50. Evolutions de la NPP au site dit du 'Bois de Tayenne' en Province de Luxembourg, toutes espèces confondues et pour le siècle prochain (source : communication personnelle, Prof. François et Hambuckers, projet BELSPO MASC en cours).....	135
Figure 51. Evolution de la NPP pour trois périodes de temps pour l'épicéa en Belgique (source : communication personnelle, Prof. François et Hambuckers, projet BELSPO MASC en cours).....	136
Figure 52. Evolution de la NPP pour trois périodes de temps pour le hêtre en Belgique (source : communication personnelle, Prof. François et Hambuckers, projet BELSPO MASC en cours).....	137
Figure 53. Evolution des surfaces forestières en Wallonie. Source : OEWB 2013.	142
Figure 54. Accroissements et récoltes de bois feuillus et résineux. Source : OEWB 2013.....	142
Figure 55. Représentation schématique de la matrice du Guide du boisement. Source : F. Ridremont.....	145
Figure 56. Carte des secteurs écologiques de Wallonie. Source : F. Ridremont.	146
Figure 57. Clés de détermination des niveaux hydrique et trophique du Guide de Boisement. Source : Weissen et al., 1994.	146
Figure 58. Présentation de la grille à deux entrées du Guide du boisement. Source : Ridremont, F., 2013.	147

Figure 59. Matrice d'aptitude du guide du boisement pour l'épicéa. Source :F. Ridremont sur base de Weissen, Bronchart, and Piret 1994.	148
Figure 60. Matrice d'aptitude du guide du boisement pour le hêtre. Source : F. Ridremont sur base de Weissen, Bronchart, and Piret 1994.	149
Figure 61. Matrice d'aptitude du guide du boisement pour le chêne pédonculé. Source :F. Ridremont sur base de Weissen, Bronchart, and Piret 1994.	149
Figure 62. Aptitude des 3 essences cibles en Wallonie. Source : Traitement F. Ridremont.	150
Figure 63. Cartes des aptitudes des 3 essences cibles en Wallonie couplée à la présence de peuplements purs des trois essences. Source : Inventaire permanent forestier et traitements F. Ridremont et ICEDD.	152
Figure 64. Illustration de la dernière hypothèse prise pour estimer l'impact de la sécheresse sur la répartition des essences ; exemple pour l'épicéa	153
Figure 65. Dommages absolus de chablis pour l'épicéa à Solling pour les trois classes d'âge et les 4 périodes (P0=1981-2010 ; P1=2011-2040 ; P2=2041-2070 ; P3=2071-2100). Source : Courtesy of Prof. Panferov, personal communication 2013.	159
Figure 66. Répartition de la pluviométrie sur l'ensemble du territoire en Région wallonne. Sources : UCL-GERU (programme PIRENE) ; MET-DGVH-SETHY (2004).	167
Figure 67. Variations mensuelles des précipitations. Source : http://www.meteobelgique.be/article/climatogramme.html , 2014	168
Figure 68. Principaux aquifères en Région wallonne. Source : Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon, 2006-2007	170
Figure 69. Niveau des nappes en Wallonie. Source : SPW-DGO3 (2013).	170
Figure 70. Incidence simulée du changement climatique sur l'alimentation des nappes souterraines à long terme : Variations exprimées en pourcentage de l'alimentation moyenne des nappes souterraines sur 30 ans, depuis la période actuelle (1961-1990) jusqu'aux années 2050 (2041-2070), calculées par le modèle hydrologique mondial WGHM à partir de quatre scénarios de changement climatique différents (sur la base des modèles climatiques ECHAM4 et HadCM3, ainsi que des scénarios d'émissions A2 et B2 du SRES). Source : Döll et Flörke, 2005 dans GIEC, 2008.	171
Figure 71. Prélèvements en eau souterraine en 2010. Source : SPW-DGO3 (2013).	172
Figure 72. Prélèvements en eau de surface en Région wallonne. Source : MRW-DGRNE-DE	173
Figure 73. Erodibilité des sols wallons. Source : SPW, 2013.	183
Figure 74. Sous-bassins hydrographiques en Région wallonne. Source : Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon, 2006-2007	183
Figure 75. Nombre d'événements de crue (gauche) et répartition de l'aléa d'inondation par débordement de cours d'eau (droite) en Région wallonne. Source : SPW – DGO2 – DEAG (SETHY), 2010.	184
Figure 76. Communes wallonnes les plus régulièrement touchées par les inondations.	185

Figure 77. Communes les plus et les moins sinistrées depuis 1967 sur la densité moyenne de la population par commune.	186
Figure 78. Communes les plus et les moins sinistrées depuis 1967 sur l'occupation du sol.	186
Figure 79 : Courbe de risque. Source : Sinaba et al, 2012.	190
Figure 80. Evolution du taux d'utilisation des tronçons autoroutiers de 2010 à 2040 sur base d'un scénario tendanciel.	196
Figure 81. Réseau ferroviaire wallon et trafic ferroviaire en 2008	196
Figure 82. Réseaux de transport fluvial en Wallonie et opérationnalisation de la navigation	197
Figure 83. Coûts moyens sur le transport routier par type d'évènement extrême passé en Europe. Source : Enei, et al, 2011.	198
Figure 84. Impacts du changement climatique sur la santé. Source : European Climate Change Programme, Working Group II Impacts and Adaptation, Human Health Sectoral Report, 2007.	204
Figure 85. Ratio de la mortalité journalière et température observées durant l'été 1994 en Belgique. Source : ISP.....	205
Figure 86. Pourcentage des décès excédentaires dans les différentes régions européennes le 12 août 2003. Source : Inserm, 2007.	205
Figure 87. Changement climatique et incidence de la maladie de Lyme. Source : European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), 2014.	207
Figure 88. Impact du changement climatique sur les troubles allergiques saisonniers.....	209
Figure 89. Date du plus grand pic de pollen de bouleau. Source : ISP, 2013.	210
Figure 90. Nombre total de décès enregistré par mois sur l'ensemble de la période 2008-2012 en Belgique. Source : Registre national belge.....	214
Figure 91. Nombre hebdomadaire de décès par mois de 2008 à 2010 en Belgique. Source : Rapport annuel du WIV-ISP, année 2010.....	214
Figure 92. Relation entre la température et la mortalité dans 15 villes européennes. Source: World Health Organization Regional Office for Europe (WHO/Europe), European Environment Agency (EEA).	218
Figure 93. Distribution de la température et la mortalité, Source: McMichael et al., 2006.....	218
Figure 94. Mortalité annuelle liée à la chaleur (nombre de décès par pays) compare au scénario climatique de référence 1961-1990, en 2020 (2011- 2040), 2050 (2041-2070) et 2080 (2071-2100) pour le scénario d'émissions A1B sans acclimatation. Source : ClimateCost project, 2011 (www.climatecost.eu).....	220
Figure 95. Intervalle d'augmentation des hospitalisations avec des problèmes respiratoires dus à la chaleur entre 1981–2010 et 2021–2050 en pourcentage du nombre espéré d'hospitalisations respiratoires dans chaque pays européen (les points indiquent les estimations plus élevées et plus basses pour quatre modèles climatiques sous les scénarios d'émission A1B et A2). Source : Åström C et al. 2013.....	222

Figure 96. Salmonella totales d'origine humaine, distribution par arrondissement et taux d'incidence (nombre de cas confirmés par le CNRSS/100000 habitants, Belgique, 2012). Source : ISP, 2013.....	227
Figure 97. Population d'ixodes ricinus en Belgique. Source: Obsomer et al. Parasites & Vectors 2013	229
Figure 98. Distribution géographique attendue selon le modèle de distribution de tiques (a) situation actuel, (b-c) scénarios A2 et B2 en 2050 et (d-e) scénarios A2 et B2 en 2080.	232
Figure 99. Carte de la distribution du pollen. Source : EAN (European Aeroallergen Network https://ean.polleninfo.eu/Ean) og epi (European Pollen Information http://www.polleninfo.org).	233
Figure 100. Calendrier pollinique des principaux végétaux allergisants en Wallonie.....	234
Figure 101. Exemple du bouleau à Bruxelles (Belgique). Source : J. Emberlin et al., 2007.....	235
Figure 102. Date de début de la pollinisation du bouleau et évolution des températures moyennes de l'air (Bruxelles, 1982-2007). Source : ISP - Mycologie et aérobiologie (Monique Detandt), IRM.....	236
Figure 103. Proportions de personnes déclarant souffrir ou avoir souffert d'allergie chronique au cours des 12 derniers mois (%). Source : HIS 2004, INSTITUT SCIENTIFIQUE DE SANTÉ PUBLIQUE, Bruxelles.....	237
Figure 104. Consommations standardisées d'antihistaminiques (anti H1) ayant donné lieu à un remboursement INAMI en Doses Moyennes Journalières pour 1 000 habitants, par jour. Source : INAMI, Pharmanet, 2006....	237
Figure 105. Nombre de nuitées dans les hébergements touristiques wallons (1995-2012) hors tourisme rural. Source : Eurostat, 2014.	248
Figure 106. Evolution des arrivées (gauche) et des nuitées (droite) en hébergements en Wallonie. Source : DGSIE – Traitements OTW, 2013.	248
Figure 107. Evolution mensuelle des arrivées en hébergements en Wallonie. Source : DGSIE – Traitements OTW, 2013.	249
Figure 108. Répartition par destination (gauche) et origine des nuitées (droite) en Wallonie. Source : CPDT, 2014.	250
Figure 109. Fréquentation des hébergements en Wallonie (1995 - 2009). Source : CPDT, 2011.....	251
Figure 110. Evolution de la fréquentation des attractions touristiques (2000-2010). Source : CPDT, 2011.	252
Figure 111. Evolution de la fréquentation des attractions (2000 – 2008). Source : OWT, 2013.	253
Figure 112. Evolution mensuelle de la fréquentation des attractions (2004 – 2008). Source : OWT, 2013.	253
Figure 113. Attractions touristiques en Wallonie. Source : MRW – DGEE – OTW, 2004.	257
Figure 114. Nombre d'établissements touristiques (Hôtels, hébergement touristique et autre hébergement de courte durée, terrains de camping et parcs pour caravanes ou véhicules de loisirs), 1995-2012. Source : Eurostat, 2014.	257
Figure 115. Nombre de places-lits (Hôtels, hébergement touristique et autre hébergement de courte durée, terrains de camping et parcs pour caravanes ou véhicules de loisirs), 1995-2012. Source : Eurostat, 2014.	258
Figure 116. Evolution de la capacité d'accueil en hébergements (2000 – 2008). Source : OWT, 2013.	259

Figure 117. Capacité d'hébergement en Wallonie en 2010. Source : CPDT, 2011.....	259
Figure 118. Evolution de la capacité d'hébergement des établissements hôteliers et touristiques de terroir (2000-2010). Source : CPDT, 2011.	260
Figure 119. Evaluation monétaire partielle de l'impact du changement climatique sur différents secteurs en Wallonie.	297

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2. Caractéristiques climatiques par province en Région wallonne (2000-2009). Source : Pameseb, 2010.	25
Tableau 3. Projections climatiques pour la Wallonie. Source : Ecores-TEC, note d'orientation stratégique pour l'AWAC, 2011.	33
Tableau 4. Principaux impacts attendus en Wallonie. Source : ICEDD, 2014.	35
Tableau 5. Les quatre familles de scénarios du quatrième rapport d'évaluation du GIEC (AR4) et les prévisions des hausses de températures globales moyennes en 2100. Source : 4ème Rapport d'évaluation du GIEC.	37
Tableau 6. Prévision des impacts du changement climatique sur les insectes ravageurs à partir de simulations climatiques. Source : Littérature internationale.	45
Tableau 7. Prévision des impacts du changement climatique sur les agents pathogènes à partir de simulations climatiques. Source : Littérature internationale.	46
Tableau 8. Prévision des impacts du changement climatique sur les mauvaises herbes à partir de simulations climatiques. Source : Littérature internationale.	46
Tableau 9. Synthèse des impacts quantifiés sur l'agriculture. Source : ICEDD, 2014.	49
Tableau 10. Rendement, surface et production moyennes par culture. Source : ICEDD, 2014.	56
Tableau 11. Evolution du rendement de maïs en 2050 et 2100 en relation à la situation actuelle sous l'effet des sécheresses. Source : Projet INTERREG AMICE, 2013.	58
Tableau 12. Evolution du rendement de blé en 2050 et 2100 en relation à la situation actuelle sous l'effet des sécheresses. Source : Projet INTERREG AMICE, 2013.	59
Tableau 13. Evolution du rendement d'orge en 2050 et 2100 en relation à la situation actuelle sous l'effet des sécheresses. Source : Projet INTERREG AMICE, 2013.	59
Tableau 14. Evolution du rendement des bettraves sucrières en 2050 et 2100 en relation à la situation actuelle sous l'effet des sécheresses. Source : Projet INTERREG AMICE, 2013.	60
Tableau 15. Evolution du rendement des pommes de terre en 2050 et 2100 en relation à la situation actuelle sous l'effet des sécheresses. Source : Projet INTERREG AMICE, 2013.	61
Tableau 16. Evolution du rendement des prairies en 2050 et 2100 en relation à la situation actuelle sous l'effet des sécheresses. Source : Projet INTERREG AMICE, 2013.	61
Tableau 17. Baisse ou augmentation de la production des cultures en 2050 sous l'effet des sécheresses. Source : ICEDD, 2014.	63
Tableau 18. Prix de vente moyen et marges brutes des cultures. Source : ICEDD sur base des statistiques européennes et wallonnes, 2014.	64
Tableau 19. Impact relatif des sécheresses sur les cultures wallonnes en 2050 et 2100. Source : ICEDD, 2014.	65

Tableau 20. Impact des sécheresses sur le chiffre d'affaires des cultures wallonnes en 2050. Source : ICEDD, 2014.	65
Tableau 21. Impact des sécheresses sur le revenu des cultures wallonnes en 2050. Source : ICEDD, 2014.	66
Tableau 22. Synthèse des résultats des impacts analysés sur le secteur de l'agriculture. Source : ICEDD, 2014.	75
Tableau 23. Synthèse des impacts quantifiés sur les services écosystémiques. Source : ICEDD, 2014.	85
Tableau 24. Carbone stocké dans les sols belges selon différent scénarios du GIEC.	96
Tableau 25. Carbone stocké dans les sols wallons selon différent scénarios du GIEC. Source : ICEDD, 2014.	96
Tableau 26. Coût estimé de la séquestration de carbone (scénario A2 du GIEC) sur les services de régulation des forêts et des écosystèmes agraires. Source : ICEDD, 2014.	97
Tableau 27. Superficies forestières désignées pour l'usage récréatif et la conservation en Belgique selon différent scénarios du GIEC. Source : ICEDD, 2014.	98
Tableau 28. Coût des valeurs culturelles de la forêt wallonne selon différent scénarios du GIEC. Source : ICEDD, 2014.	99
Tableau 29. Valeur actuelle des écosystèmes d'eau douce en Belgique.	100
Tableau 30. Variation de la valeur des écosystèmes d'eau douce en Belgique selon différent scénarios du GIEC.	100
Tableau 31. Variation de la valeur des écosystèmes d'eau douce en Wallonie selon différent scénarios du GIEC. Source : ICEDD, 2014.	101
Tableau 32. Synthèse des résultats des impacts analysés sur les services écosystémiques. Source : ICEDD, 2014.	104
Tableau 33. Proposition de recherches futures pour affiner les résultats de l'analyse sur la biodiversité. Source : ICEDD, 2014.	105
Tableau 34. Synthèse des impacts quantifiés sur l'énergie. Source : ICEDD, 2014.	110
Tableau 35. Facteur d'efficacité selon la pression des condenseurs. Source : Wanek et al., 2011	113
Tableau 36. Diminution de la production d'électricité en % en fonction de la diminution du débit et de la hausse de température de l'eau. Source : Project AMICE, adapté de FOERSTER & LILLIESTAM, 2010.	114
Tableau 37. Impact économique des étiages et de l'augmentation de la température sur la production d'énergie thermique en 2050 (scénario de référence statique ou à économie constante). Source : ICEDD, 2014.	115
Tableau 38. Impact économique des étiages et de l'augmentation de la température sur la production d'énergie thermique en 2050 (scénario de référence dynamique ou évolutif). Source : ICEDD, 2014.	116
Tableau 39. Capacité installée et pertes économiques des centrales hydroélectriques mosanes en 2050. Source : projet INTERREG AMICE, 2013.	118

Tableau 40. Demande énergétique, Wallonie 2050, solde si on compare avec une situation sans changement climatique, à économie constante (gauche et dans un scénario évolutif (droite), TWh. Source : ICEDD, 2014.	124
Tableau 41. Impact sur la facture énergétique en Wallonie à l'horizon 2050 en M euro (2011), à économie constante. Source : ICEDD, 2014.....	124
Tableau 42. Synthèse des résultats des impacts analysés sur le secteur de l'énergie. Source : ICEDD, 2014. ...	129
Tableau 43. Proposition de recherches futures pour affiner les résultats de l'analyse sur le secteur de l'énergie. Source : ICEDD, 2014.....	129
Tableau 44. Impacts attendus du changement climatique sur les forêts wallonnes. Source : ICEDD, 2014.	139
Tableau 45. Vulnérabilité des principales essences forestières de production de la Wallonie. Source : Bemelmans et al. 2009.....	140
Tableau 46. Synthèse des impacts quantifiés sur les forêts. Source : ICEDD, 2014.....	141
Tableau 47. Surfaces forestières et répartition privé/public et feuillus/résineux. Source : OEWB 2013.	141
Tableau 48. Life Expectation Value (LEV) pour le hêtre en 2030, 2040 et 2050, scénario A1F1. Source : traitement ICEDD d'après Hanewinkel et al. 2013.....	154
Tableau 49. Coût estimé pour le hêtre, scénario A1F1. Source : traitement ICEDD d'après Hanewinkel et al. 2013.	155
Tableau 50. Life Expectation Value (LEV) pour le chêne en 2030, 2040 et 2050, scénario A1F1. Source : traitement ICEDD d'après Hanewinkel et al. 2013.....	156
Tableau 51. Coût estimé pour le chêne, scénario A1F1. Source : traitement ICEDD d'après Hanewinkel et al. 2013.	157
Tableau 52. Life Expectation Value (LEV) pour l'épicéa en 2030, 2040 et 2050, scénario A1F1. Source : traitement ICEDD d'après Hanewinkel et al. 2013.....	157
Tableau 53. Coût estimé pour l'épicéa, scénario A1F1. Source : traitement ICEDD d'après Hanewinkel et al. 2013.	158
Tableau 54. Coût estimé des dommages générés par les tempêtes sur le bois. Source : ICEDD, 2014.....	160
Tableau 55. Synthèse des résultats des impacts analysés sur le secteur forestier. Source : ICEDD, 2014.	165
Tableau 56. Proposition de recherches futures pour affiner les résultats de l'analyse sur le secteur forestier. Source : ICEDD, 2014.....	166
Tableau 57. Synthèse des impacts quantifiés sur la ressource en eau, les infrastructures et l'aménagement du territoire. Source : ICEDD, 2014.	181
Tableau 58. Période de retour pour le temps présent et pour les scénarios futurs. Source : Sinaba et al, 2012.	189
Tableau 59. Production et distribution d'eau potable en Wallonie. Source : SPW – DGO3	191
Tableau 60. Ponderation du tarif moyen de l'eau de 2006 en Région wallonne.....	193

Tableau 61. Taille moyenne des ménages particuliers au 1er janvier, par an et par région (2005-2008). Source : DGSIE.....	193
Tableau 62. Tarif annuel moyen en euros pour une consommation de 85 m ³ par ménage en Wallonie (2005-2011). Source : Calculs du SPF Economie sur base des données des compagnies des eaux.	194
Tableau 63. Synthèse des résultats de l'impact du risque d'inondation. Source : ICEDD, 2014.....	201
Tableau 64. Proposition de recherches futures pour affiner les résultats de l'analyse sur les secteurs de la ressource en eau, des infrastructures et de l'aménagement du territoire. Source : ICEDD, 2014.	202
Tableau 65. Synthèse des impacts quantifiés sur la santé. Source : ICEDD, 2014.	212
Tableau 66. Pourcentage et nombre de décès excédentaires constatés lors des vagues de chaleur des années 2003 et 2006 en Belgique selon les régions. Source : ISP, 2007	216
Tableau 67. Effets de la chaleur sur la mortalité par groupe d'âge: Changement de la mortalité en % par 1°C au-dessus d'un seuil de température (intervalle de confiance 95%). Source: Baccini et al., 2008.....	221
Tableau 68. Pourcentage d'admissions hospitalières attribuées à la chaleur dans chaque région européenne. Les intervalles montrent les pourcentages nationaux maximal et minimal dans chaque région européenne. Source : Åström C et al. 2013.	222
Tableau 69. Coût estimé de la mortalité à partir de la valeur d'une année de vie et de la valeur d'une vie statistique. Source : ICEDD, 2014.....	224
Tableau 70. Coût moyen par séjour hospitalier en Belgique.	224
Tableau 71. Salmonella d'origine humaine : Evolution du nombre de cas (six sérovars les plus importants) de 1990 à 2010. Source : ISP, 2013	225
Tableau 72. Estimation du nombre annuel de cas de salmonelloses attribuables au changement climatique dans l'UE 27 en 2020 (2011-2040), 2050 (2041-2070) et 2080 (2071-2100) pour le scénario A1B. Source : ClimateCost project, 2011 (www.climatecost.eu).....	228
Tableau 73. Taux d'incidence pour 100 000 habitants de la maladie de Lyme, 2001-2006. Source : ISP, 2001-2006	230
Tableau 74. Nombre de cas de malades infectés par la maladie de Lyme en Wallonie (2000-2009). Source : ISP, 2011	230
Tableau 75. Augmentation de la distribution géographique d'Ixodes ricinus : situation actuelle, en 2050 et en 2080 en km ² (scénarios A2 et B2) et taux d'augmentation de l'area par rapport à la situation actuelle.	231
Tableau 76. Synthèse des résultats des impacts analysés sur la santé. Source : ICEDD, 2014.	243
Tableau 77. Proposition de recherches futures pour affiner les résultats de l'analyse sur le secteur de la santé. Source : ICEDD, 2014.....	244
Tableau 78. Synthèse des impacts quantifiés sur le tourisme. Source : ICEDD, 2014.	247
Tableau 79. Les principales clientèles en 2008. Source : DGSIE – Traitements OTW, 2013.	249

Tableau 80. Tourisme interne avec nuitée(s). Source : Direction générale Statistique et information économique (DGSIE) de la Région wallonne.	250
Tableau 81. Tourisme récepteur - arrivées internationales. Source : Direction générale Statistique et information économique (DGSIE) de la Région wallonne.	250
Tableau 82. Les origines des visiteurs des attractions en 2008. Source : OWT, 2013.	254
Tableau 83. Tourisme émetteur - départs internationaux. Source : Direction générale Statistique et information économique (DGSIE) de la Région wallonne.	255
Tableau 84. Les dépenses de touristes par région et pays. Source : Sondage OWT 2012.	256
Tableau 85. Entreprises du tourisme. Source : Direction générale Statistique et information économique (DGSIE) de la Région wallonne.	258
Tableau 86. Evolution du nombre d'hébergements reconnus (2000 – 2008). Source : OWT, 2013.	258
Tableau 87. Système de notation de l'ICT. Source : Programme JRC- PESETA.	262
Tableau 88. Changements simulés en nuitées en 2080 par rapport à 1970. Source : PESETA 2009.	263
Tableau 89. Synthèse des résultats des impacts analysés sur le secteur touristique. Source : ICEDD, 2014.	266
Tableau 90. Proposition de recherches futures pour affiner les résultats de l'analyse sur le secteur touristique. Source : ICEDD, 2014.	266
Tableau 91. Synthèse des impacts du changement climatique identifiés et quantifiés sur huit secteurs wallons. Source : ICEDD, 2014.	296

1 INTRODUCTION ET ÉLÉMENTS CONTEXTUELS

1.1 CONTEXTE

1.1.1 LES RÉPONSES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Présentées par la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) comme les deux réponses conjointes au changement climatique, l'atténuation (*mitigation* en anglais) et l'adaptation diffèrent fondamentalement en plusieurs points.

L'atténuation vise à limiter l'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Les mesures d'atténuation concernent la maîtrise de l'énergie, la substitution d'énergies fossiles par des énergies renouvelables et le stockage du carbone.

L'adaptation vise à réduire la vulnérabilité des systèmes ou territoires par des actions qui permettent de réduire les impacts effectifs du changement climatique ou d'améliorer la capacité de réponse de la société.

Les quatre différences majeures entre ces deux approches sont les suivantes (Klein et al., 2005):

- L'échelle géographique : quelle que soit l'échelle de mise en œuvre, les bénéfices des mesures d'atténuation sont globaux, tandis que l'adaptation est réalisée en général au niveau local (bien qu'elle soit coordonnée à des échelles plus larges – régionale, nationale, européenne) et apporte des bénéfices à l'échelle du système impacté.
- L'échelle temporelle : les bénéfices d'une politique d'atténuation menée aujourd'hui seront mis en évidence des décennies plus tard, du fait de la longue durée de vie des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. En revanche, certaines mesures d'adaptation mises en œuvre aujourd'hui auront des bénéfices à court terme, en réduisant la vulnérabilité à la variabilité climatique (notons que d'autres ne seront efficaces que sur le long terme – par exemple : redéfinition des normes de construction).
- Le nombre et la nature des acteurs impliqués : l'atténuation implique en grande partie de grands émetteurs (acteurs du secteur de l'énergie, des transports...), habitués à prendre des décisions d'investissement à long-terme. Les acteurs de l'adaptation sont plus nombreux et appartiennent à des secteurs plus variés, incluant la santé, la biodiversité, etc.
- La comptabilisation des coûts et des bénéfices : l'efficacité des mesures d'atténuation peut être mesurée à l'aide d'une même unité - la tonne d'équivalent CO₂ évitée. Une métrique unique est plus difficile à trouver pour comparer différentes mesures d'adaptation (dommages monétaires évités, vies humaines sauvées...), rendant difficile la comparaison entre différentes mesures et donc la prise de décision. Ces dernières raisons expliquent en partie le fait que malgré la nécessité de prévenir les risques liés au changement climatique, les décideurs ont jusqu'à présent principalement initié des politiques d'atténuation.

Le concept d'adaptation est défini par le troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) comme «l'ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques présents ou futurs ou à leurs effets, afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter des opportunités bénéfiques».

Reprenant la définition du GIEC, la vulnérabilité au changement climatique est le degré par lequel un système risque d'être affecté négativement par les effets des changements climatiques sans pouvoir y faire face, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. Notons que l'on suppose dans ce cas un impact globalement négatif, alors que dans certains cas, un système peut au final se révéler « gagnant » (exemples d'une agriculture plus productive sous certaines conditions, d'un climat plus agréable dans certains pays, etc.) ;

on peut alors parler d'opportunité plus que de vulnérabilité. Le champ potentiel d'opportunité reste cependant nettement plus restreint (tant dans le temps que dans l'espace) que celui de vulnérabilité.

La vulnérabilité se définit dans la littérature comme une fonction de l'exposition du système aux changements climatiques (nature, ampleur, rythme des changements), de sa sensibilité (conséquences possibles) et de sa capacité d'adaptation.

La capacité d'adaptation (ou adaptabilité) correspond ici à la capacité d'ajustement d'un système face au changement climatique (y-compris à la variabilité climatique et aux extrêmes climatiques) afin d'atténuer les effets potentiels, d'exploiter les opportunités, ou de faire face aux conséquences.

A titre d'illustration, en cas de période de forte chaleur (aléa), la vulnérabilité d'un territoire sera fonction :

- de son degré d'exposition à l'augmentation des températures ;
- de ses caractéristiques socio-économiques telles que la présence de populations fragiles (plus de 75 ans par exemple), qui vont conditionner sa sensibilité à l'aléa « chaleur » ;
- de sa capacité d'adaptation (systèmes de prévention en place, accès aux équipements d'urgence...).

Les travaux réalisés à l'échelle internationale s'accordent sur le fait que les interventions en matière de lutte contre le changement climatique nécessitent une approche selon deux axes visant d'une part à réduire les émissions de GES (atténuation du changement climatique), et d'autre part, à réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains (anticipation et adaptation). Ces études s'appuient sur le consensus actuel selon lequel les efforts de réduction les plus drastiques ne peuvent éviter les impacts du changement climatique dans les décennies à venir.

1.1.2 LES COÛTS DE L'INACTION

Les travaux du GIEC ont montré que les émissions de gaz à effet de serre liées aux activités humaines étaient responsables du changement climatique en cours. Selon leurs projections, le réchauffement pourrait atteindre jusqu'à 6°C en moyenne à la surface du globe à l'horizon 2100 en fonction des trajectoires d'émissions retenues.

Un accroissement important de la température du globe augmenterait l'occurrence de certains phénomènes climatiques extrêmes (tempête, inondation, canicule, etc.), engendrerait une élévation du niveau des océans, et plus généralement risquerait de modifier profondément les conditions à la surface du globe. Il aurait pour conséquence de mettre en péril de nombreuses populations, et occasionnerait des coûts importants.

La communauté internationale a décidé de se donner comme objectif de limiter la hausse des températures moyennes à 2°C à long terme. Ceci requiert, avec une probabilité de 50 %, que la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre ne dépasse pas les 450 ppm et que les émissions de gaz à effet de serre soient divisées par deux par rapport à leur niveau de 1990 à l'horizon 2050, soit qu'elles soient divisées par trois par rapport à leur niveau actuel.

Le rapport du GIEC (2007) a permis de caractériser les principaux impacts du changement climatique attendus au cours du XXIème siècle au niveau mondial. Les impacts sont susceptibles de toucher l'ensemble des écosystèmes naturels et des secteurs d'activités.

Dans le *secteur agricole*, les changements prévus auront des retombées sur les rendements, ainsi que sur la localisation de la production. Ainsi, il faut s'attendre à une hausse des rendements agricoles dans les régions froides et à une baisse dans les régions chaudes en raison du stress thermique. La multiplication des épisodes météorologiques extrêmes et le risque de prolifération de parasites affecteront également les récoltes.

Le réchauffement pourra modifier l'état sanitaire et la productivité des *forêts*, ainsi que la distribution géographique des essences et augmentera le risque d'incendies.

Les *écosystèmes* marins et côtiers seront également touchés, notamment par l'acidification des océans due à l'augmentation des concentrations en CO₂ et par les modifications régionales dans la distribution des organismes marins liée à l'augmentation des températures de l'eau. Enfin, 20 à 30% d'espèces animales et végétales seront exposées à un risque majeur d'extinction si la hausse des températures moyennes dépasse +1,5 - 2,5°C.

Le changement climatique modifiera sensiblement la qualité et la disponibilité de la *ressource en eau*, ce qui aura des conséquences pour de nombreux secteurs, notamment pour l'agriculture. Au niveau global, d'ici le milieu du XXI^{ème} siècle, la disponibilité en eau devrait augmenter de 10 à 40% à des latitudes élevées et dans certaines zones tropicales humides, et diminuer de 10 à 30% sur les régions sèches et de latitude moyenne. Certaines sources d'approvisionnement tributaires de la fonte des neiges pourraient diminuer.

L'évolution des conditions climatiques aura également des incidences sur la *santé humaine*, avec une baisse de la mortalité due au froid dans les régions tempérées, mais un risque accru de mortalité due aux événements climatiques extrêmes. La détérioration de la qualité de l'air urbain (notamment fortes concentrations d'ozone) pourra causer une hausse de la fréquence de maladies cardio-respiratoires, et la propagation de maladies infectieuses transmises par vecteur pourrait être facilitée, conduisant à une modification de la distribution spatiale de certaines pathologies. Les développements notamment microbiens, de champignons dans l'air, d'arthropodes, de cyanobactéries et micro-algues (sources de toxines) dans les eaux pourraient être augmentés.

Les conséquences économiques et sociales seront considérables. L'industrie, les établissements humains et les infrastructures (transport, habitations...) seraient menacées tant par l'augmentation des températures en valeur moyenne ou de la remontée du niveau de la mer, que par l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes (tels que canicules, sécheresses, inondations ou autres événements). L'offre et la demande d'*énergie* seront modifiées.

Le *tourisme* (estival et hivernal) sera également affecté par les évolutions prévues.

Il est très difficile d'avancer des chiffres sur les coûts du changement climatique. Chaque prédiction (variation des paramètres climatiques, impacts primaires associés, impacts secondaires et finaux) rajoute une incertitude et renforce le caractère aléatoire de la détermination des montants financiers en jeu. Des évaluations globales ont toutefois été réalisées et essayent de donner une estimation à l'échelle de la planète.

Le GIEC estime de façon générale que les coûts représenteraient de 1 à 2 % du produit national brut (PNB) mondial pour une augmentation de 2,5 °C de la température moyenne.

Le rapport Stern¹ a été publié le 30 octobre 2006 pour le gouvernement du Royaume-Uni. Il prédit qu'en cas d'inaction, la perte serait de 5% du produit intérieur brut (PIB) mondial de 2005 par an au minimum à l'horizon 2050 soit 5500 milliards d'euros (voire 20% si un éventail plus large de risques et de conséquences supplémentaires sont pris en compte) contre un coût de l'action, dans le cadre d'une action internationale concertée, représentant 1% du PIB mondial/an (investissement nécessaire à une stabilisation de la concentration de GES à un niveau compris entre 500 et 550 ppm).

¹ Lord Nicholas Stern, « The Economics of Climate Change », Cambridge University Press, 2006.

Le succès médiatique du rapport Stern a contribué à la prise de conscience de l'ampleur potentielle des impacts du changement climatique. L'intérêt d'une évaluation par les coûts est clair dans une perspective de sensibilisation et d'implication des acteurs, même si les méthodes utilisées restent sujet de débat. Le rapport présente une analyse du changement climatique à travers le prisme de l'économie du risque, avec un parti-pris éthique qui ne pénalise pas les générations futures (faible taux d'actualisation).

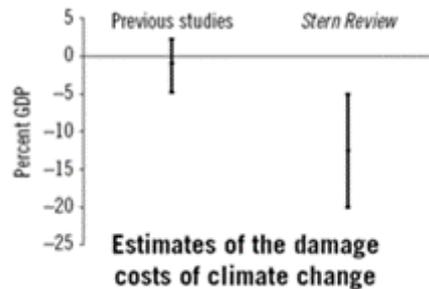


Figure 1. Coûts de l'inaction face aux changements climatiques en % du PIB dans la littérature avant la publication du rapport Stern.

Dans ses perspectives de l'environnement², l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) arrive à la même conclusion : en matière environnementale, « le coût de l'inaction est élevé, alors qu'il est possible de financer des actions ambitieuses permettant de protéger l'environnement sans compromettre la croissance économique ».

Le World Integrated Assessment General Equilibrium Model (WIAGEM) développé par l'Institut Germanique de la recherche économique (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, DIW), prévoit un coût annuel à l'horizon 2100, de 20 mille milliards de dollars (soit 6 à 8 % du résultat économique estimé de cette période) si rien n'est fait³.

Un autre modèle, PAGE⁴, développé par l'Université de Cambridge et utilisé dans le cadre de l'étude PESETA pour la Commission Européenne de l'environnement, estime un coût moyen annuel de 26 mille milliards de dollars sur la période 2000-2200.

Ces études menées à grande échelle comptabilisent les dommages et les coûts sur l'ensemble de la planète, elles donnent donc une vision qui est une première approche avec un message fort. Elles ne permettent pas cependant d'analyser la situation pour un territoire particulier. Toutefois elles s'accordent pour montrer que, de façon générale, les coûts engendrés par le changement climatique seront bien supérieurs aux coûts des actions qu'il faudrait mettre en place, dès aujourd'hui, pour lutter et s'adapter.

Certains pays semblent en avance dans la caractérisation des coûts engendrés par le changement climatique, des études ont été réalisées à des échelles nationales voire régionales aux Etats-Unis⁵, en Australie⁶, au Canada⁷, au Royaume Uni⁸ et en France⁹.

² OCDE, « Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030 », 2008 et « Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050 – Les conséquences de l'inaction », 2012.

³ Climate Change – the Costs of Inaction, 2006. Frank Ackerman and Elizabeth Stanton – Global Development and Environment Institute – Tufts University, MA, USA.

⁴ Watkiss, Paul, Tom Downing, Claire Handley and Ruth Butterfield (2005). The Impacts and Costs of Climate Change. Brussels, European Commission DG Environment.

Au niveau européen, les projets PESETA I et II et ClimateCost estiment les coûts de l'inaction par impact et/ou par secteur.

Les résultats des études ici mentionnées sont présentés en annexe.

1.1.3 LES EFFORTS MENÉS EN EUROPE ET BELGIQUE EN MATIÈRE D'ADAPTATION

Pour éviter le coût de l'inaction, l'Europe, les Etats membres et même les régions cherchent à dynamiser des stratégies et programmes devant apporter des mesures d'adaptation.

Au niveau européen, la Commission a publié un livre vert intitulé «Adaptation au changement climatique: les possibilités d'action de l'Union européenne» (COM(2007)354), afin de susciter le débat, puis a publié un livre blanc sur l'adaptation (COM(2009)147) accompagné de trois documents de travail sur les thèmes de l'eau, des régions côtières et des mers ainsi que de l'agriculture et de la santé. Le livre blanc pose un cadre d'action pour l'Union européenne (UE) et ses pays membres, articulé en deux phases. L'objectif de la première phase (2009-2012) était de mieux comprendre les effets du changement climatique et d'examiner les mesures d'adaptation envisageables, ainsi que la façon d'intégrer l'adaptation dans les principales politiques communautaires. La Commission a ainsi envisagé de mettre en œuvre un centre d'échange d'informations sur les effets du changement climatique. Le Livre Blanc préconise notamment de procéder à des évaluations des coûts et avantages de l'adaptation. La deuxième phase a consisté à élaborer une stratégie communautaire complète d'adaptation au changement climatique, qui a été lancée en avril 2013. Les Etats-membres sont encouragés à développer et à mettre en place des stratégies et des plans d'actions portant sur l'adaptation, leur permettant de mieux se préparer et de mieux résister au changement climatique.

La Belgique a adopté une stratégie nationale d'adaptation fondée sur cette stratégie, un plan national d'adaptation devrait être publié dans les mois à venir. Ce plan national sera basé sur les plans régionaux.

En Wallonie, le plan est en cours d'élaboration. Pour guider la rédaction de ce plan, l'Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC) a lancé une étude préparatoire sur l'évaluation des vulnérabilités de la Wallonie face aux changements climatiques et des possibilités d'adaptation. L'étude a été coordonnée par deux bureaux d'étude et est le fruit de la collaboration de 3 universités belges (ULg, ULB et UCL). Des séances de concertation avec le Service Public de Wallonie (SPW) et d'autres acteurs clés ont également été organisées tout au long des six mois de l'étude.

⁵ Climate Change and the U.S. Economy: The Costs of Inaction. Frank Ackerman and Elizabeth A. Stanton, Global Development and Environment Institute and Stockholm Environment Institute-US Center, Tufts University with Chris Hope and Stephan Alberth Judge Business School, Cambridge University, Jeremy Fisher and Bruce Biewald, Synapse Energy Economics. Report to NRDC. May 2008.

⁶ The Garnaut Climate Change Review, updated in 2011. <http://www.rossgarnaut.com.au/Documents/Garnaut-Review-Update-2011.pdf>

⁷ Le prix à payer: les répercussions économiques du changement climatique pour le Canada, 2011, élaboré par la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie.

⁸ The Economics of Climate Resilience, 2011-2013. Frontier Economics Ltd, Irbaris LLP and Ecofys UK Ltd. The research was commissioned by Defra and the Devolved Administrations. <http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Module=More&Location=None&ProjectID=18016>; Guide to a Cold Calculus for a Hot Planet (2012 Report, UK)

⁹ « Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France », 2007-2009. Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC).

L'étude présente les résultats des projections climatiques régionales, basées sur le choix d'un scénario d'émissions moyen et de modèles globaux et régionaux, reprend les impacts auxquels on peut s'attendre et donne des premières pistes d'orientations stratégiques qu'il faudrait suivre.

Des initiatives similaires et d'autres projets ont été menés ou sont actuellement en cours dans les autres Régions et au Fédéral.

Afin de sensibiliser les pouvoirs locaux aux impacts des changements climatiques et de les accompagner dans la démarche de l'adaptation, l'AWAC a aussi financé une seconde étude s'intéressant cette fois-ci à un niveau plus local.

Dans le présent rapport, les travaux du GIEC et les résultats des initiatives récemment élaborés par la Commission européenne, les Régions et le Fédéral ont constitué le point de départ pour délimiter l'étude du coût de l'inaction en Wallonie afin de réaliser des analyses cohérentes avec l'état actuel de connaissances et les conclusions et priorités déjà entreprises.

1.2 OBJECTIF ET STRUCTURE DU RAPPORT

La méthode de travail utilisée pour l'élaboration de la présente étude s'est fondée sur une analyse bibliographique, complétée par des entretiens avec des experts.

Le cadre général d'investigation choisi est thématique et régionalisé.

L'étude comprend deux parties, une partie sur les coûts de l'inaction et une deuxième partie sur le coût d'une transition énergétique postposée en Wallonie. Le présent rapport présente les résultats de la première partie de l'étude sur les coûts de l'inaction. Les résultats de la deuxième partie de l'étude sont présentés dans un rapport séparé.

La troisième partie de la présente introduction présente un aperçu des changements climatiques en Wallonie.

La deuxième section « identification et évaluation des impacts par secteur » identifie les principaux impacts et évalue ces impacts par secteur. Elle présente aussi l'analyse des coûts de l'inaction par impact dans chaque secteur. Si l'évaluation des coûts de la réduction des émissions de gaz à effet de serre a fait l'objet au cours des dernières années de nombreuses analyses, celle des coûts des impacts et de l'adaptation est plus récente. Or, celle-ci est essentielle si l'on veut à la fois comprendre la nécessité de la réduction et préparer l'adaptation aux inévitables changements climatiques. La partie relative à l'analyse des coûts tient compte des différentes méthodes existantes pour quantifier les impacts en termes physiques et traduire ces impacts en termes monétaires en 2050. **Elle est basée sur un survol des options et méthodologies disponibles et ne cherche pas à remplacer la contribution d'un expert formé à la modélisation et aux différentes méthodologies nécessaires à l'analyse de cas spécifiques et de tous les impacts (car de nombreux impacts ne sont pas quantifiables ni physiquement ni en termes monétaires).** Les différentes méthodes proposées ne diffèrent pas substantiellement des outils couramment utilisés dans la planification économique, mais prennent une importance et une complexité accrue dans le contexte d'incertitude et de long terme qui caractérise la problématique des changements climatiques. L'analyse des coûts constitue un outil d'aide à la décision dont la valeur dépend à la fois de la qualité des données utilisées et de l'analyse réalisée mais également de la transparence des hypothèses formulées. Ceci est particulièrement important dans un contexte de changements climatiques marqué pour l'instant par les incertitudes significatives. Dans cette partie, les principales questions méthodologiques sont détaillées de manière à expliciter les choix possibles et à préciser les hypothèses retenues et les conséquences correspondantes, l'objectif étant une mise à disposition d'outils et de données exploitables. **Il s'agit de synthèses et hypothèses simplifiées à visée opérationnelle et non à caractère scientifique.**

A la fin de chaque analyse sectorielle un tableau résumé l'analyse réalisée présentant les limites et incertitudes. Une conclusion est aussi réservée aux « perspectives futures », qui devrait cependant être utile pour concevoir et commander des analyses plus approfondies et aussi mieux comprendre les limites et incertitudes des résultats obtenus.

La troisième section donne les références utilisées : la principale bibliographie récente consultée et les personnes de contact qui ont fourni des données et des enseignements.

Les principales conclusions sont présentées dans la dernière section.

Les annexes présentent pour certains secteurs les données et informations plus détaillées ayant servi à réaliser l'analyse des impacts en termes quantitatifs et monétaires ainsi qu'une revue de la principale bibliographie consultée.

1.3 APERÇU DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ATTENDUS EN WALLONIE/BELGIQUE

1.3.1 LE CLIMAT DE LA RÉGION WALLONNE

La Région wallonne bénéficie d'un climat doux, tempéré et humide qui lui apporte des précipitations relativement abondantes et réparties régulièrement au cours de l'année, avec des températures moyennes de 25 °C en été et 7,2 °C en hiver. Les températures extrêmes enregistrées sont -30,1 °C et +37,8 °C.

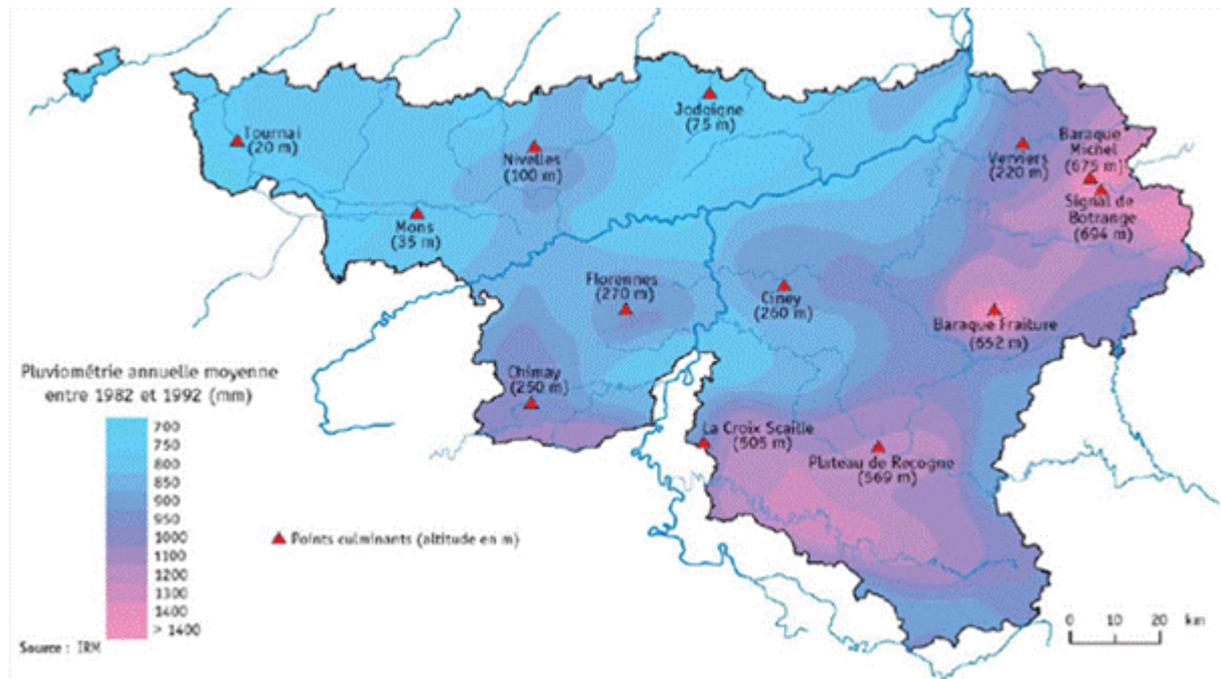


Figure 2. Répartition spatiale de la pluviosité en Région wallonne. Source : IRM.

Le climat tempéré humide de la Région wallonne est caractérisé par des étés relativement frais et humides et des hivers doux et pluvieux, ainsi que par des précipitations abondantes et régulières.

La température moyenne de l'air est déterminée par la distance par rapport à la mer et par d'autres facteurs météorologiques et géographiques, telle que l'altitude – la température diminue en effet en moyenne de 0,6°C par 100 mètres d'altitude, ce qui peut par exemple expliquer une différence de température de 3°C entre les plaines et les hauts plateaux de l'Ardenne.

Globalement, on observe des conditions climatiques plus rudes dans la province du Luxembourg, avec une température moyenne annuelle de 8,5°C, des températures moyennes plus faibles pour les mois les plus froids et les plus chauds, ainsi qu'un nombre de jours de température inférieure à 10°C plus élevé que dans les autres provinces. D'autre part, on remarque également un climat légèrement plus doux dans le Brabant wallon. Dans les autres provinces, les paramètres relatifs aux températures sont assez homogènes.

Par ailleurs, les maxima absolus annuels atteignent, en moyenne, 30°C à 32°C en Moyenne Belgique et dans les vallées de Haute Belgique. En Ardenne, ces maxima n'atteignent que 28°C. Les minima absolus annuels atteignent, en moyenne, de -11°C à -14°C en Moyenne Belgique, et -15°C sur les plateaux de la Haute Belgique et -19°C dans les vallées ardennaises (Institut royal météorologique – IRM, 2010).

Le tableau ci-après résume certains paramètres climatiques (calculés sur base de relevés journaliers et mensuels de température et pluviométrie, effectués dans une station par province au cours de la période 2000-2009).

Paramètres	Brabant wallon Louvain-la-neuve	Hainaut Soignies	Liège Ans	Luxembourg Libramont	Namur Anhée
Température moyenne annuelle (°C)	10,9	10,5	10,4	8,5	10
Température moyenne du mois le plus froid	2,8	2,6	2,1	0,2	1,9
Température moyenne du mois le plus chaud	19,4	18,6	18,9	17,3	18,5
Nombre moyen de jours avec une température inférieure à 10°C	156,7	162,7	164,4	199,6	165,2
Pluviométrie moyenne annuelle (mm)	866,90	884,26	815,1	1312,47	905,43

Tableau 1. Caractéristiques climatiques par province en Région wallonne (2000-2009). Source : Pameseb, 2010.

En Wallonie, les précipitations représentent environ 15 milliards de m³ par an. Elles ne sont toutefois pas uniformes d'un point de vue géographique. Les précipitations annuelles varient entre 700 et 850 mm en Moyenne Belgique, tandis qu'elles varient, en fonction de l'altitude, entre 750 et plus de 1400 mm en Haute Belgique. On observe en effet que la pluviométrie moyenne annuelle est plus élevée dans la province du Luxembourg et qu'elle varie entre 800 et 900 mm dans les autres provinces. En ce qui concerne les variations annuelles des précipitations, en Moyenne Belgique, le maximum est observé en juillet – août alors qu'en Haute Belgique, deux périodes présentent un maximum de précipitations : juillet – août et décembre – janvier (IRM, 2010).

Il y a en moyenne 200 jours de pluie (c'est-à-dire avec plus de 0,1 mm par jour) dans la plus grande partie du pays, avec une légère augmentation en Haute Belgique (216 jours) et jusqu'à 230 jours environ dans les Hautes Fagnes, avec une variabilité de ces nombres s'élevant à environ 25 jours. En décembre et janvier, les nombres moyens de jours de précipitations sont les plus importants sur tout le pays (15 à 20 jours) et de mai à août les valeurs moyennes sont les plus basses (de 13 à 17 jours), avec une variabilité de ces nombres de 5 jours (IRM, 2010). La fréquence régulière des précipitations en Région wallonne est importante en ce qui concerne les réserves en eau car elle permet une infiltration efficace des précipitations, quelle que soit la nature du sol.

En Belgique, les vents dominants viennent du sud-ouest. Leur vitesse moyenne est de 6 à 7 mètres par seconde au littoral mais celle-ci se réduit jusqu'à 2 à 4 mètres par seconde au sud de la Wallonie, suite au frottement du vent avec le sol.

La neige est un phénomène peu important en Moyenne Belgique (couche maximale de 6 à 13 cm, une année sur deux). Globalement, l'enneigement augmente avec l'altitude. La durée de l'enneigement varie fortement et dépend du caractère hivernal : il s'agit en général de périodes de trois à cinq jours. Cependant, en Ardenne, cette durée est plus longue, principalement sur les hauts plateaux (IRM, 2010).

1.3.2 TENDANCES HISTORIQUES

Des mesures météorologiques régulières ont débuté en 1833 dans la région bruxelloise, à Saint-Josse-ten-Noode, puis se sont poursuivies à Uccle à partir de 1886 lorsque l'Observatoire a été déplacé sur le site actuel de l'IRM. Les plus longues séries de mesures effectuées à Bruxelles permettent d'aborder la question de l'évolution du climat belge au cours des 170 dernières années. D'autres stations d'observations fournissent également des renseignements utiles, mais sur des périodes de temps plus courtes, situées dans la seconde moitié du 20^e siècle.

Evolution de la température

Il ressort de l'ensemble des données analysées par l'IRM que le climat belge a évolué au cours du 20^e siècle. En particulier, des augmentations très marquées et assez brutales des températures saisonnières et annuelles (de l'ordre de 1 °C) se sont produites à deux reprises, tout d'abord dans la première moitié du 20^e siècle et ensuite dans les années 1980.

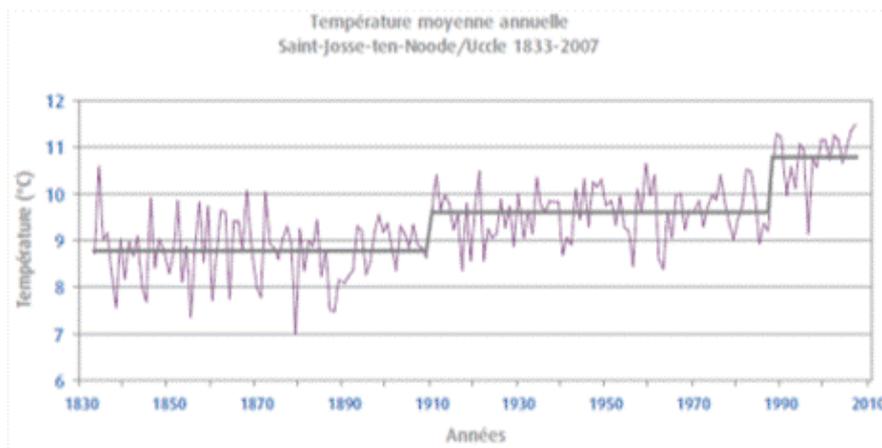


Figure 3. Température moyenne annuelle (1833-2007). Source : IRM, 2013.

Les vagues de chaleur

La fréquence des vagues de chaleur montre une tendance significative à la hausse vers le milieu des années 1990. La variabilité de ce paramètre est cependant importante tout au long du 20^{ème} siècle et les caractéristiques des vagues de chaleur des années les plus récentes sont relativement similaires à celles qui furent observées dans les années 1940, à la suite du réchauffement estival de la première partie du 20^e siècle. D'autre part, la fréquence des vagues de froid a diminué de manière significative au début des années 1970.

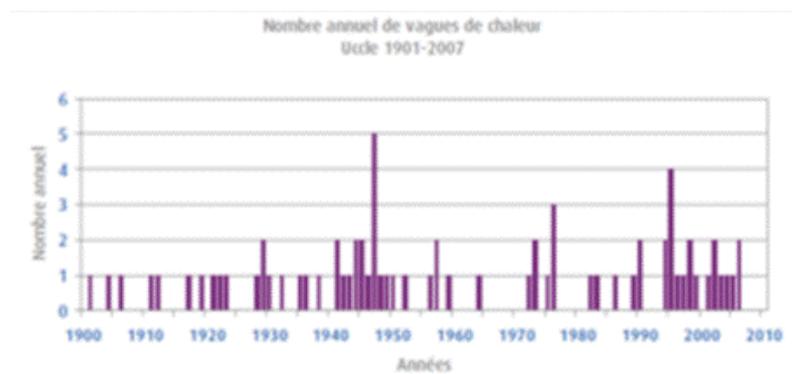


Figure 4. Nombre annuel de vagues de chaleur (1901 – 2007). Source : IRM, 2013.

Les précipitations

Pour les précipitations, entre le début des relevés en 1833 et la fin du 20^{ème} siècle, on observe en région bruxelloise une augmentation d'environ 7 % des cumuls annuels (très significative) et d'environ 15 % des cumuls hivernaux (très significative) et printaniers (significative).

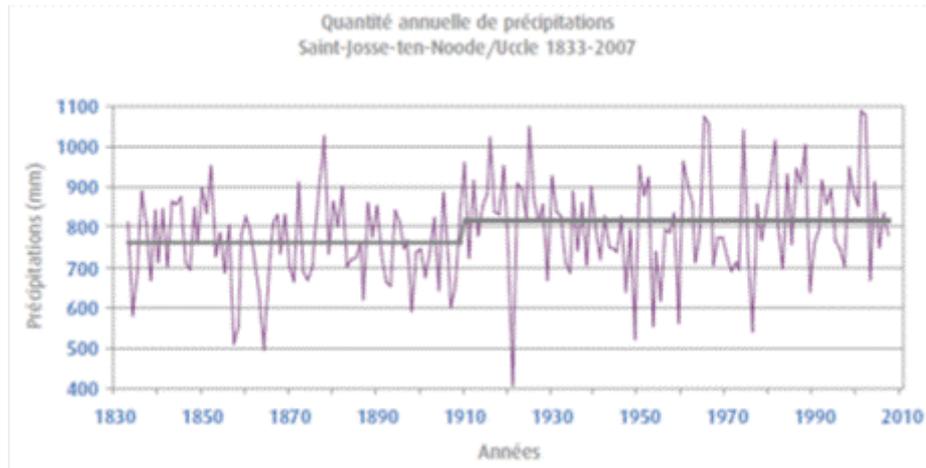


Figure 5. Quantité annuelle de précipitations (1833 – 2007). Source : IRM, 2013.

De plus, dans le pays, au cours des 50 dernières années, on observe dans la plupart des stations climatologiques une tendance à des augmentations, significatives ou très significatives, des extrêmes annuels des pluies cumulées sur plusieurs jours; ce type de précipitations extrêmes se produit généralement en hiver. Par contre, les maxima annuels des précipitations sur 24 heures (ou sur des durées encore plus courtes) sont stables, sauf près du littoral où, selon une étude récente, les maxima annuels journaliers présentent déjà une augmentation significative.

À Uccle, l'analyse des maxima annuels depuis 1898 des précipitations sur des durées de 1 heure à quelques heures n'indique pas d'évolution marquée pour ces paramètres. D'autre part, malgré quelques valeurs record au cours des années récentes, la fréquence annuelle du nombre de jours où les précipitations ont atteint au moins 20 mm ne montre pas non plus jusqu'ici d'évolution significative à Uccle.

Finalement, on peut conclure de l'ensemble des données de précipitations analysées que ni l'intensité, ni la fréquence des orages violents n'ont subi, dans la région bruxelloise, d'augmentation marquée depuis le début du 20^{ème} siècle. À partir de l'analyse des maxima annuels des précipitations journalières relevées dans le réseau climatologique belge, on arrive à une conclusion similaire pour l'ensemble du pays au cours des 50 dernières années, sauf sans doute pour la région proche du littoral.

Depuis le réchauffement de la fin des années 1980, il neige moins à Uccle que par le passé, de manière très significative. Une première diminution très marquée s'était déjà produite vers 1920, à l'occasion du réchauffement observé au début du 20^{ème} siècle. Les tendances observées pour les paramètres neigeux sont principalement à mettre en relation avec les tendances des températures durant la partie froide de l'année.

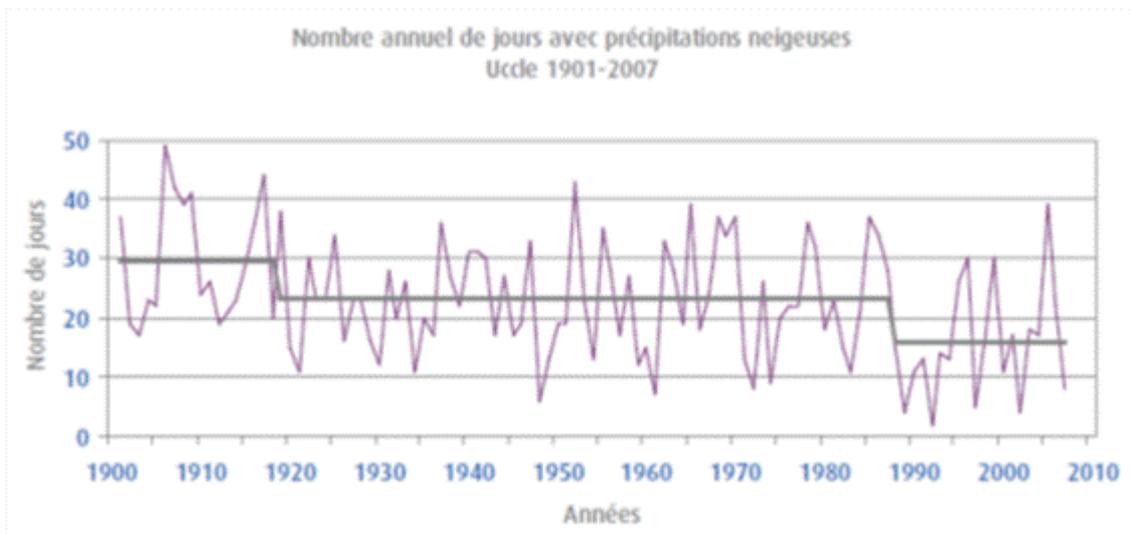


Figure 6. Nombre annuel de jours avec précipitations neigeuses (1901 – 2007). Source : IRM, 2013.

En relation avec les élévations de températures du début et de la fin du 20^{ème} siècle, les précipitations sous forme neigeuse sont devenues moins fréquentes à Uccle de manière très marquée. L'enneigement au sol est très variable d'une année à l'autre et on ne détecte pas d'évolution marquée dans la région bruxelloise, même si les quantités de neige tombées ces dernières années sont en général faibles. Par contre, sur les plateaux ardennais, dans la région de Saint-Hubert, l'épaisseur de neige maximale annuelle montre une diminution très significative depuis le réchauffement hivernal de la fin des années 1980.

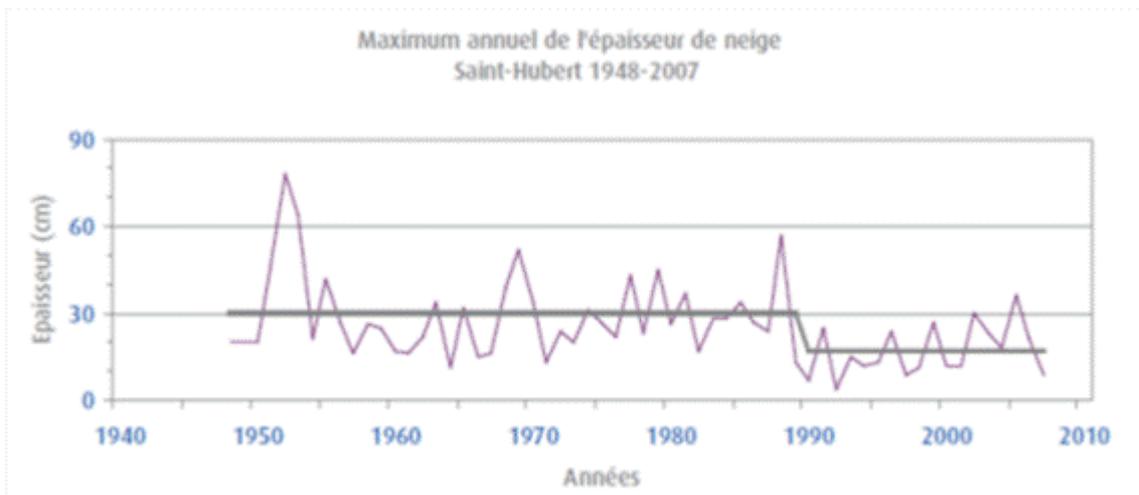


Figure 7. Maximum annuel de l'épaisseur de neige (1948 – 2007). Source : IRM, 2013.

Les jours de gel

L'augmentation générale des températures minimales au cours du 20^{ème} siècle est aussi à l'origine d'un allongement de la période la plus longue de l'année sans jours de gel. En effet, le dernier jour de gel à la sortie de l'hiver a tendance à être plus précoce et le premier jour de gel à l'approche de l'hiver a tendance à être plus tardif.

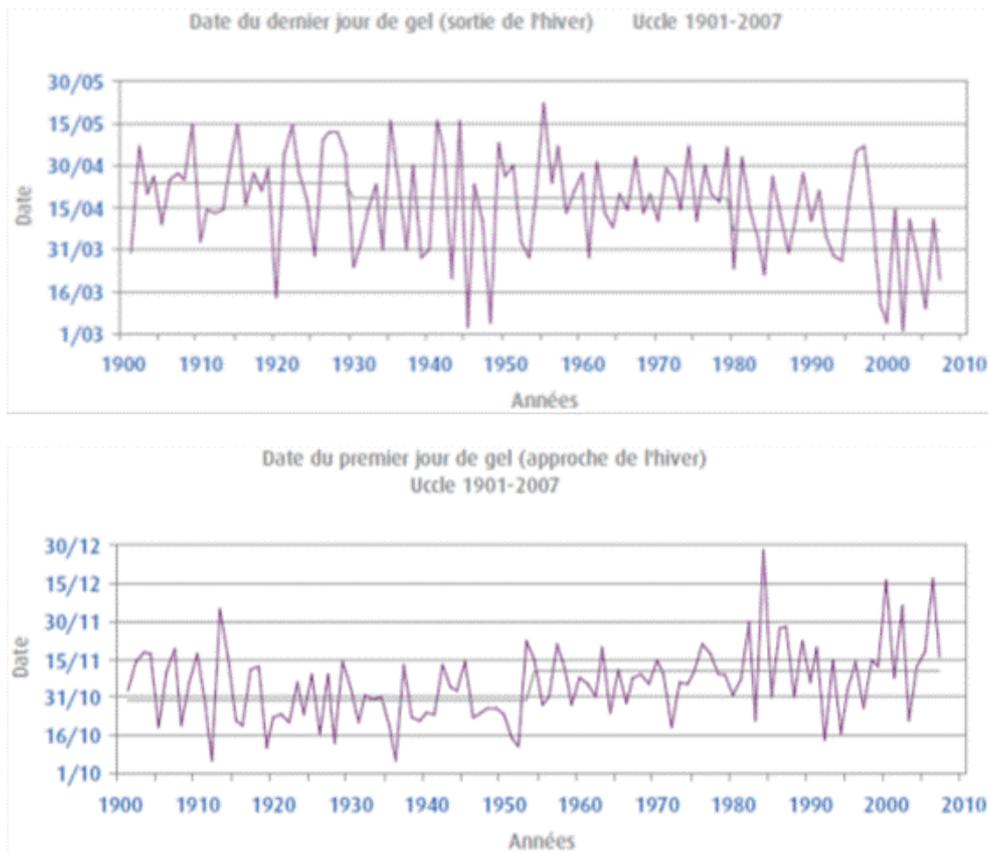


Figure 8. Date du premier jour de gel à la sortie et à l'approche de l'hiver (1901-2007). Source : IRM, 2013.

Les tempêtes

En ce qui concerne les tempêtes, les analyses menées jusqu'ici sur les vents forts, depuis 1940 pour Uccle et ailleurs dans le pays depuis 1985, ne montrent aucune tendance particulière, ni dans l'intensité des vents annuels les plus forts, ni dans la fréquence des vents élevés.

Le vent

On observe à Uccle, dans la seconde partie du 20^{ème} siècle, une baisse très marquée de la vitesse moyenne annuelle du vent. Mais le développement au fil des années de la végétation autour du site de mesures ne permet pas d'attribuer de manière certaine cette tendance à un effet strictement climatique.

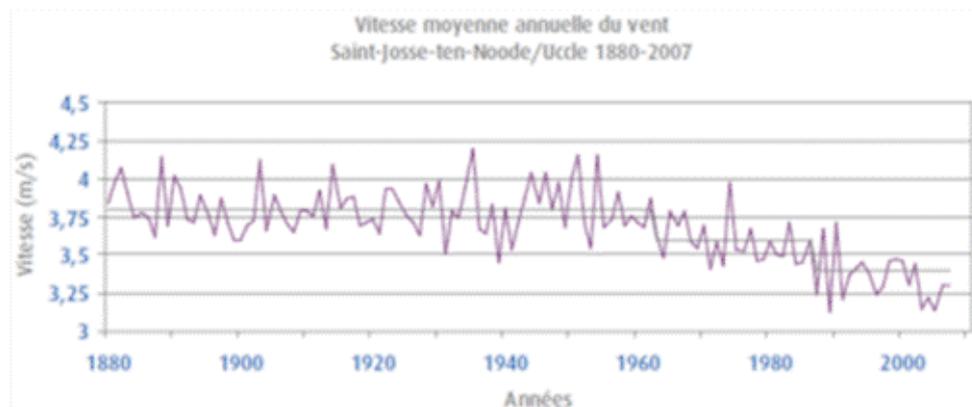


Figure 9. Vitesse moyenne annuelle du vent (1880 – 2007). Source : IRM, 2013.

Ailleurs dans le pays, dans quelques stations, des mesures de vent probablement plus fiables pour l'étude de l'évolution de ses caractéristiques existent depuis le milieu des années 1960. L'analyse de ces données indique une diminution relativement brutale de la vitesse du vent dans les années 1980, et ensuite une légère accentuation de cette tendance.

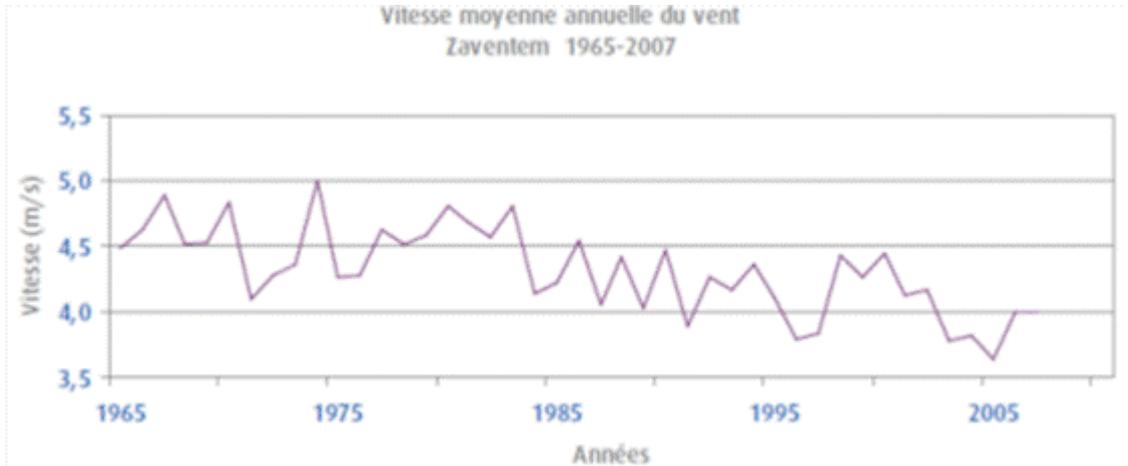


Figure 10. Vitesse moyenne annuelle du vent (1965 – 2005). Source : IRM, 2013.

Ce comportement marqué est également visible à l'échelle des saisons, sauf pour l'hiver où le vent, très variable d'une année à l'autre, est plus « stable » sur l'ensemble de la période.

L'ensoleillement

L'analyse des durées d'ensoleillement saisonnières et annuelles mesurées à Uccle ne montre pas de tendance globale pour ces paramètres depuis le début des relevés en 1887, mais une variabilité généralement importante à l'échelle de quelques années.

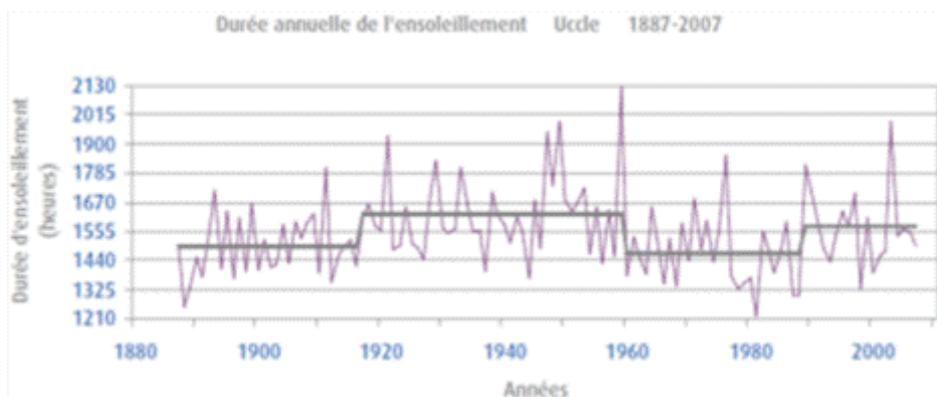


Figure 11. Durée annuelle de l'ensoleillement (1887 – 2007). Source : IRM, 2013.

1.3.3 LE CLIMAT FUTUR

De façon générale, la carte présentée ci-après résume les grandes tendances que seront plus détaillées dans les paragraphes suivants pour la Wallonie.

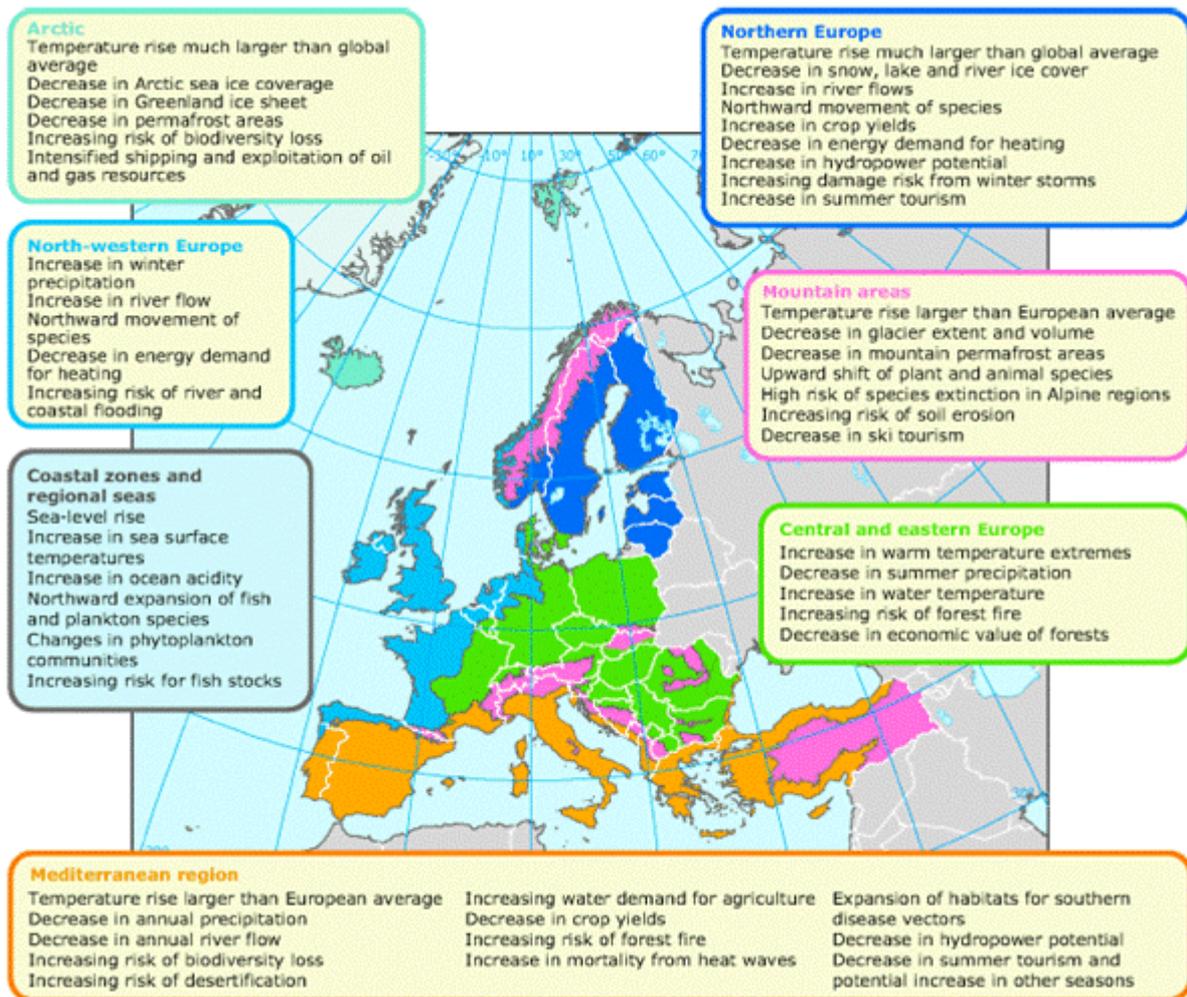


Figure 12. Projections climatiques et principales impacts dans les régions européennes. Source: EEA, 2012.

Ecores-TEC a réalisé une note d'orientation stratégique pour l'AWAC, portant sur des projections (3 scénarii : projections moyennes, projections humides, projections sèches) aux horizons 2030, 2050, 2085, de laquelle ressort un climat futur en Wallonie:

<p>Globalement plus chaud</p>	<p>Avec une hausse de température moyenne :</p> <ul style="list-style-type: none"> • de 1,3 à 2,8 °C en 2050 • de 2 à 4° C en 2085 <p>Les températures maximales augmentent plus vite que les températures minimales.</p>
<p>Pas forcément moins pluvieux,</p>	<p>Selon les scénarii¹⁰ on pourrait assister :</p> <ul style="list-style-type: none"> • soit à une baisse des précipitations en 2030 puis une légère hausse en 2050 et 2085 (+4,3 %) pour le scénario "projections moyennes" ; • Soit à une hausse constante pour le scénario "projections humides". Il pourrait y avoir des différences régionales par une augmentation des précipitations plus marquées en Condroz-Famenne et en Ardenne.
<p>mais des hivers plus pluvieux et moins froids</p>	<p>En ce qui concerne les précipitations en hiver :</p> <ul style="list-style-type: none"> • + 7 % en 2030, • + 13 % en 2050, • + 21,5 % en 2085. <p>En ce qui concerne les températures :</p> <ul style="list-style-type: none"> • entre + 0,7 et + 2,2° C en 2030, • entre + 1,5 et + 2,6° C en 2050, • entre + 2,7 et + 3,3° C en 2085.
<p>avec plus d'épisodes de pluies intenses en hiver</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ce qui se traduit par une augmentation du nombre de jours annuels de très fortes précipitations (+ 40 % en 2085) surtout en hiver et dans une moindre mesure en automne. • Les contrastes régionaux sont plus marqués par une augmentation majeure pour la Lorraine et mineure pour la région limoneuse.

¹⁰ Ces variations montrent bien un phénomène classique, qui est que les scénarios ne correspondent pas uniquement au changement climatique mais échantillonnent la variabilité du modèle (qui est censée correspondre à la variabilité naturelle).

<p>et des étés plus chauds et secs</p>	<p>Avec une élévation des températures estivales, selon les scénarii :</p> <ul style="list-style-type: none"> • entre + 1,8 et + 3,2° C en 2050, • entre + 1,3 et + 4,5° C en 2085. <p>Avec une baisse généralisée des précipitations estivales (scénario des projections moyennes) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • - 3,2 % en 2030, • - 8,4 % en 2050, • - 16,9 % en 2085. <p>La baisse est plus marquée pour le scénario des projections sèches (-25 % de précipitations en 2085) que pour le scénario des projections humides (- 8 % en 2085).</p>
<p>avec des canicules estivales plus fréquentes</p>	<p>Augmentation avérée du nombre de jours de canicules estivales à partir de 2050 :</p> <ul style="list-style-type: none"> • entre + 0,41 et + 18 jours en 2050 selon le scénario humide ou sec ; • + 2,3 jours selon les projections moyennes. <p>Augmentation considérable attendue, en 2085, pour les projections moyennes (+ 9 jours) et sèches (+ 28 %).</p>
<p>et des saisons intermédiaires plus douces avec une augmentation généralisée des températures au printemps et en automne</p>	<ul style="list-style-type: none"> • En ce qui concerne l'automne, les projections s'accordent à partir de 2085 sur une augmentation du volume de précipitations : entre + 2,7 % et + 8,4 %. • En ce qui concerne le printemps, il y a une divergence entre scénarii quant au signe du changement.

Tableau 2. Projections climatiques pour la Wallonie. Source : Ecores-TEC, note d'orientation stratégique pour l'AWAC, 2011.

1.4 LES PRINCIPAUX IMPACTS ATTENDUS EN WALLONIE

Les changements climatiques signifient des modifications de tendances, de variabilité ou d'extrêmes climatiques, qui peuvent toucher, outre les températures, plusieurs autres variables telles que les précipitations de pluie et de neige, les tempêtes et la vitesse des vents. Ces changements entraînent des impacts directs qui à travers les processus biophysiques et socioéconomiques produisent, à leur tour, des impacts indirects sur l'environnement naturel ou bâti.

Le tableau ci-après synthétise les impacts directs et indirects ou sectoriels du changement climatique attendus en Wallonie.

Changements climatiques	Impact direct	Impact indirect ou sectoriel
Un climat globalement plus chaud pas forcément moins pluvieux	Progression de la température des eaux de surface	Fragilité des milieux Diminution de la qualité de l'eau et difficulté de prélèvements de surface pour l'eau potable Diminution de la production d'électricité des centrales utilisant l'eau de refroidissement
	Modification de la croissance des espèces forestières	Perte ou gain pour l'industrie forestière Diminution ou augmentation des activités touristiques en forêt
	Changements dans la fréquence des feux de forêts	Augmentation ou diminution des coûts de protection contre les incendies de forêt Incidence sur les paysages
	Changement dans les degré-jour de chauffage et de climatisation	Changement dans la demande d'énergie thermique et électrique <ul style="list-style-type: none"> · Diminution des besoins en chauffage · Augmentation des besoins en climatisation Baisse de la mortalité hivernale
	Modification de la localisation et de la croissance des cultures agricoles	Perte ou gain agricole Changement des cultures
	Sécheresses plus fréquentes	Besoins accrus en irrigation en agriculture Augmentation de la morbidité et de la mortalité Impacts sur les espèces animales et végétales Dépérissement des essences forestières Perte de poids chez les animaux d'élevage Fragilisation des espèces et plus grandes sensibilités aux ravageurs
	Réduction de l'enneigement et du gel	Modification des coûts de déneigement et de déglacement des routes
	Pénétration d'espèces invasives exogènes	Modification de la biodiversité et perte d'espèces
	Destruction des habitats	Dégradation des tourbières des Hautes-Fagnes
	Réduction de la diversité génétique des espèces	Extinction d'espèces
Augmentation du « confort thermique »	Augmentation de la demande touristique	

Changements climatiques	Impact direct	Impact indirect ou sectoriel
mais des hivers plus pluvieux et moins froids, avec plus d'épisodes de pluies intenses en hiver	Variation du niveau des rivières, des lacs et des nappes Augmentation des volumes ruisselés Pression sur les systèmes d'évacuation des eaux urbaines Augmentation de la fréquence des crues extrêmes Risque accru d'inondations sur divers bassins (Semois, Ourthe...)	Saturation plus fréquente des réseaux d'évacuation Augmentation des rejets d'eaux non traitées Changements à la hausse ou à la baisse dans la capacité de production hydroélectrique (selon les bassins) Pertes en sol par érosion hydrique Risque pour les populations résidant sur les principaux linéaires Augmentation des coûts annuels liés aux inondations Risques de dégradation, rupture et destruction d'installations de production et de distribution d'énergie Impact sur les infrastructures
et des étés plus chauds et secs	Baisse du niveau des fleuves, des rivières et de la nappe phréatique Réduction drastique des débits d'étiages Augmentation de l'évapotranspiration Multiplication des risques d'intoxications alimentaires Augmentation de la variabilité moyenne des consommations d'eau Sécheresses	Réduction de la production hydroélectrique Réduction de la capacité de chargement des navires Impact sur le dimensionnement des infrastructures de production et de distribution d'eau et des réseaux d'évacuation des eaux usées Augmentation de l'exposition humaine à la Salmonellose Perturbation de la fourniture en eau potable (problème potentiel de prise d'eau et d'alimentation en eau potable) Impact sur les captages des eaux de surface Réduction de la dilution des pollutions
avec des canicules estivales plus fréquentes	Inconfort des populations humaines Augmentation des problèmes respiratoires, de la mortalité et de la morbidité des personnes vulnérables Aggravation de l'îlot de chaleur urbain	Augmentation des besoins en refroidissement Besoin de modification des normes de construction et des habitudes de planification urbaine Augmentation des dépenses en santé et des situations d'urgence
et des saisons intermédiaires plus douces avec une augmentation généralisée des températures au printemps et en automne	Perturbation du fonctionnement hydrologique des cours d'eau Baisse des volumes écoulés Altération de la régularité de la recharge des nappes Modification de la phénologie des espèces Evolution du contenu en pollen de l'air Accentuation de l'engorgement hivernal et de la dessiccation estivale dans les sols à régime hydrique alternatif Développement de la population de tiques	Développement des cultures plus tôt dans la saison Augmentation de la production de biomasse Epanouissement des bourgeons Explosion des populations de certains ravageurs Augmentation des allergies Augmentation de l'exposition humaine à la borréliose de Lyme

Tableau 3. Principaux impacts attendus en Wallonie. Source : ICEDD, 2014.

Le chapitre qui suit détaille l'identification et l'évaluation des impacts par secteur.

2 IDENTIFICATION ET ÉVALUATION DES IMPACTS PAR SECTEUR

2.1 CHOIX MÉTHODOLOGIQUES

Il convient, avant de s'intéresser plus en détail à la méthodologie utilisée, de rappeler qu'aujourd'hui la connaissance scientifique du changement climatique, même au niveau mondial, est encore limitée. En effet, il subsiste d'importantes marges d'incertitudes dans les scénarios futurs.

L'ensemble des conclusions à partir des scénarios existants sont valables à l'échelle mondiale. Ceci s'explique par plusieurs raisons :

- L'extrême diversité des milieux, des climats et des populations sur la planète empêche d'appliquer de façon systématique les résultats généraux.
- Les modèles utilisés pour simuler les évolutions du climat et disposant d'une bonne certitude sont à l'échelle mondiale. La taille des mailles de modélisation et de prédiction ne descend pas en dessous de 300 km de largeur. Les résultats restent donc peu applicables à une échelle régionale.
- La technique de « désagrégation » des modèles climatiques globaux n'est pas encore au point, il est donc difficile de disposer de modèles climatiques régionaux ou locaux présentant une bonne robustesse.
- Les modèles climatiques régionaux ne donnant pas entière satisfaction, il est très difficile d'étudier à une échelle régionale les impacts du changement climatique. La détermination des impacts indirects ou sectoriels dérivant des impacts directs est donc encore plus ardue.

Si le GIEC donne un cadre et des probabilités au niveau mondial, les résultats avancés par celui-ci restent insuffisants pour prévoir à un niveau plus local les conséquences du phénomène.

La quantification des impacts du changement climatique est un exercice complexe, dépendant à la fois de l'incertitude sur des scénarios à très long terme, sur l'ampleur des modifications auxquelles il faudra faire face, et sur le degré d'adaptation considéré.

Pour assurer la cohérence dans la quantification et l'analyse monétaire des huit secteurs analysés dans le cadre de la présente étude, un cadre méthodologique commun est proposé. Cependant, quelques points spécifiques ont dû être ajustés dans les impacts de certains secteurs suite au manque de connaissances ou de disponibilité de certaines données.

Pour établir un cadre méthodologique commun à tous les secteurs et impacts à quantifier, les scénarios climatiques de départ et l'horizon temporel ont été fixés.

L'horizon d'étude 2050 a été retenu car les impacts peuvent en effet être très différents selon les périodes de temps considérées. Cet horizon a été étudié en détail pour tous les secteurs en fonction de sa pertinence pour les différents impacts sectoriels et des outils et méthodes disponibles.

Les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES) les plus accessibles sont ceux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) qui a publié un Rapport spécial sur les scénarios d'émissions (abrégé en SRES) (Navikovic et al., 2000), lesquels ont servi pour les analyses du 4^{ème} Rapport d'évaluation du GIEC (AR4). Bien que des études ont été récemment entreprises pour les mettre à jour (élaboration de nouveaux scénarios destinés à analyser les émissions, les changements climatiques, les incidences et les stratégies de parade) et élaborer le 5^{ème} Rapport d'évaluation du GIEC (AR5), les résultats n'ont pas encore été publiés et les scénarios d'émissions du SRES sont très largement utilisés dans la littérature pour alimenter des modèles climatiques dont les résultats servent de base aux études d'impacts.

AR4	Objectifs plus économiques	Objectifs plus environnementaux
Globalisation (Monde homogène)	A1 Croissance économique rapide (trois groupes: A1T/A1B/A1FI) 1.4 - 6.4 °C	B1 Durabilité environnementale globale 1.1 - 2.9 °C
Régionalisation (Monde hétérogène)	A2 Développement économique avec une orientation régionale 2.0 - 5.4 °C	B2 Durabilité environnementale locale 1.4 - 3.8 °C

A1. Le canevas et la famille de scénarios A décrivent un monde futur dans lequel la croissance économique sera très rapide, la population mondiale atteindra un maximum au milieu du siècle pour décliner ensuite et de nouvelles technologies plus efficaces seront introduites rapidement. Les principaux thèmes sous-jacents sont la convergence entre régions, le renforcement des capacités et des interactions culturelles et sociales accrues, avec une réduction substantielle des différences régionales dans le revenu par habitant. La famille de scénarios A se scinde en trois groupes qui décrivent des directions possibles de l'évolution technologique dans le système énergétique. Les trois groupes A se distinguent par leur accent technologique: forte intensité de combustibles fossiles (A FI), sources d'énergie autres que fossiles (A T) et équilibre entre les sources (A B) (« équilibre » signifiant que l'on ne s'appuie pas excessivement sur une source d'énergie particulière, en supposant que des taux d'amélioration similaires s'appliquent à toutes les technologies de l'approvisionnement énergétique et des utilisations finales).

A2. Le canevas et la famille de scénarios A2 décrivent un monde très hétérogène. Le thème sous-jacent est l'autosuffisance et la préservation des identités locales. Les schémas de fécondité entre régions convergent très lentement, avec pour résultat un accroissement continu de la population mondiale. Le développement économique a une orientation principalement régionale, et la croissance économique par habitant et l'évolution technologique sont plus fragmentées et plus lentes que dans les autres canevas.

B1. Le canevas et la famille de scénarios B décrivent un monde convergent avec la même population mondiale culminant au milieu du siècle et déclinant ensuite, comme dans le canevas A, mais avec des changements rapides dans les structures économiques vers une économie de services et d'information, avec des réductions dans l'intensité des matériaux et l'introduction de technologies propres et utilisant les ressources de manière efficiente. L'accent est placé sur des solutions mondiales orientées vers une viabilité économique, sociale et environnementale, y compris une meilleure équité, mais sans initiatives supplémentaires pour gérer le climat.

B2. Le canevas et la famille de scénarios B2 décrivent un monde où l'accent est placé sur des solutions locales dans le sens de la viabilité économique, sociale et environnementale. La population mondiale s'accroît de manière continue mais à un rythme plus faible que dans A2, il y a des niveaux intermédiaires de développement économique et l'évolution technologique est moins rapide et plus diverse que dans les canevas et les familles de scénarios B et A. Les scénarios sont également orientés vers la protection de l'environnement et l'équité sociale, mais ils sont axés sur des niveaux locaux et régionaux.

Un scénario d'illustration a été choisi pour chacun des six groupes de scénarios A B, A FI, A T, A2, B et B2. Tous sont également fiables.

Les scénarios RSSE n'incluent pas d'initiatives climatiques supplémentaires, ce qui signifie que l'on n'inclut aucun scénario qui suppose expressément l'application de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques ou des objectifs du Protocole de Kyoto pour les émissions.

Tableau 4. Les quatre familles de scénarios du quatrième rapport d'évaluation du GIEC (AR4) et les prévisions des hausses de températures globales moyennes en 2100. Source : 4ème Rapport d'évaluation du GIEC.

Pour ces raisons, la plupart de la bibliographie existante qui a été rassemblée et étudiée est basée sur les scénarios du SRES du GIEC. **Les variables climatiques du scénario A1B ont été sélectionnés comme point de départ de la présente étude.** Le scénario A1B a été choisi car c'est pour ce scénario que l'on dispose de la plus grande quantité de données et de simulations régionales (par exemple, le projet INTERREG AMICE). Afin d'élaborer les projections climatiques à l'échelle de la Wallonie ainsi que la note d'orientation stratégique du 31 mai 2011 « L'adaptation au changement climatique en région wallonne », l'AWAC avait décidé de recourir au projet FP6 ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.org>) parce qu'ENSEMBLES constitue à ce jour la base de données la plus complète et la plus récente pour traiter des changements climatiques à l'échelle régionale en Europe. ENSEMBLES est construit à partir d'un seul scénario, le scénario A1B, qui est un scénario moyen¹¹. En plus, ce choix permet une cohérence avec les données présentées pour l'Europe dans la stratégie de l'UE relative à l'adaptation au changement climatique ainsi qu'avec d'autres publications européennes récentes (publications de l'Agence européenne de l'environnement, de la DG Environnement, de la DG CLIMA et de la DG Research), et programmes menés au niveau européen (par exemple, le projet FP7 ClimateCost¹² et le projet PESETA II).

Cependant, l'évaluation des impacts s'est parfois également basée, de manière complémentaire, sur d'autres résultats disponibles (ex. projet PESETA I¹³).

L'ordre de priorité de l'utilisation et analyse des sources potentielles de données et d'enseignements a été:

- les résultats des recherches effectuées au niveau wallon,
- les résultats des recherches effectuées au niveau belge,
- les publications du GIEC,
- les dernières études développées au niveau européen,
- des études analogues couvrant d'autres régions similaires à la Wallonie telles que la France et l'Allemagne.

¹¹ Cette base permettait ainsi de disposer de projections à haute résolution spatiale et temporelle à partir d'une combinaison d'une vingtaine de modèles climatiques globaux et régionaux. Dans une optique opérationnelle, les projections climatiques devaient servir les études d'impact sectorielles et la base de données ENSEMBLES permettait d'optimiser l'exploitation des résultats en reliant les sorties à une large gamme d'indicateurs utilisables et choisis par les différents experts sectoriels en tenant compte de leur pertinence pour la Wallonie (agriculture, aménagement, santé...). Il avait aussi été décidé que l'horizon 2050 constituait l'horizon privilégié pour le plan d'adaptation de la Wallonie. A cet horizon, l'incertitude sur les futurs climatiques est en grande partie liée à la variabilité des modèles climatiques. En permettant le travail sur plusieurs modèles, ENSEMBLES vise à mieux quantifier et réduire l'incertitude des projections jusqu'à cet horizon. Par conséquent, l'estimation de l'incertitude doit être considérée comme beaucoup plus précise que beaucoup d'études d'impacts régionales jusqu'à l'horizon 2050-2060. Les résultats de la modélisation régionale climatique couvre en revanche moins bien le champ des incertitudes de long terme (horizon 2085) qui dépend principalement des hypothèses de développement socio-économique retenues et des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre qui leur sont associées.

¹² Le projet CLIMATECOST («Full costs of climate change») a été lancé à l'aide d'un financement de l'UE pour aborder le coût de l'inaction en Europe. Il impliquait le développement de divers scénarios sur le changement climatique suivi d'un examen des aspects économiques associés. L'équipe du projet a proposé des estimations s'étendant sur les cent prochaines années.

¹³ Le rapport final du projet PESETA (Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the European Union based on bottom-up Analysis - Projection de l'impact économique du changement climatique sur les secteurs de l'Union européenne à partir d'une analyse type ascendante) présente une évaluation de l'impact économique annuel des changements climatiques en Europe dans différents secteurs : systèmes côtiers, santé des populations, agriculture, tourisme et inondations., sans prendre en compte les politiques d'adaptation. Pour chacun de ces secteurs, une étude sectorielle est réalisée par les partenaires du projet. Le projet PESETA a envisagé plusieurs scénarios d'élévation de la température (de 2,5°C à 5,4°C) et du niveau de la mer (de 48 à 88 cm) en Europe pour les années 2080. Le projet a pour objectif de réaliser des évaluations plurisectorielles des impacts du changement climatique en Europe sur les périodes 2011-2040 et 2071-2100.

Selon le secteur et le type d'impact, différents scénarios, modèles et méthodes d'évaluation/quantification des impacts physiques sont utilisés dans la bibliographie.

Pour évaluer les impacts physiques (et le coût de l'inaction) il faut faire appel à un scénario sans intervention, un scénario dit de « référence » où les effets des changements climatiques seraient subis sans bénéficier de mesures d'adaptation. Deux types de scénarios de référence peuvent être retenus, statique ou dynamique :

- Un scénario de référence statique considère que les variables socioéconomiques demeureront inchangées durant toute la période considérée pour la région étudiée. Par exemple, dans le cas des impacts sur la productivité agricole, un scénario de référence statique considérerait qu'en l'absence de changements climatiques, les taux de productivité ne changeraient pas au cours de la période d'étude et que seuls les changements climatiques affecteraient les rendements;
- Un scénario de référence dynamique permet de tenir compte de l'évolution dans le temps des autres variables telles que la technologie et la démographie. Par exemple en agriculture, le scénario de référence dynamique tiendrait compte de l'augmentation de la productivité agricole dans le temps notamment due aux changements technologiques et à leur diffusion à l'échelle de la planète, indépendamment des stratégies d'adaptation. Sur un autre plan, un scénario de référence dynamique prendrait en compte la croissance démographique attendue et celle du parc immobilier correspondant dans l'évaluation des impacts.

Cependant, en l'absence de prospective socio-économique de long-terme régionalisée et par secteur, la plupart des analyses des coûts réalisée conserve la situation socio-économique wallonne actuelle (scénario de référence statique ou à « économie constante »). Plus concrètement, cela revient à plaquer un climat futur – celui de 2050 – sur la photographie actuelle de l'économie et de la société wallonne afin d'en identifier les conséquences et répondre à la question : **« Comment nous en sortirions-nous si nous avions, aujourd'hui, le climat « prévu » de demain ? ».**

Ce choix présente les avantages suivants :

- Il permet d'isoler l'impact du changement climatique de celui d'autres évolutions;
- La prise en compte de l'économie future ou en évolution nécessiterait de construire des scénarios socio-économiques wallons cohérents avec les scénarios climatiques, ce qui est difficile à mettre en place rapidement;
- Ce choix permet de ne pas ajouter des incertitudes macroéconomiques aux incertitudes relatives aux évolutions climatiques;
- Le recours à des taux d'actualisation n'est pas nécessaire et est donc de ce fait écartée. Néanmoins, l'emploi d'un tel taux pourrait s'avérer nécessaire en cas d'agrégation monétaire des impacts ou de prise en compte du chemin d'évolution du changement climatique entre différents horizons de temps.

Ce choix présente également l'intérêt de placer directement les limites du travail : les résultats ne correspondent pas à une prévision de l'évolution des secteurs étudiés, mais doivent être vus comme **résultats d'exercice théorique, comme une première étape dans la quantification des impacts physiques et la caractérisation du coût des impacts.**

Notons que le fait de caractériser les impacts à partir de l'économie actuelle alors que les scénarios du SRES du GIEC (ex. A1B) comprennent des hypothèses d'évolution de l'économie crée une incohérence en première approche. Cette situation n'est cependant pas gênante compte tenu de la différence d'échelle spatiale considérée : globale pour les scénarios d'émissions, régionale et locale pour les impacts.

Travaillant dans le cadre d'une économie constante, les scénarios utilisés ont uniquement été considérés dans leurs conséquences climatiques, et non globalement comme des scénarios d'évolution socioéconomiques.

Le scénario statique est restrictif et limitant pour certains secteurs où une évolution socioéconomique est d'ores et déjà anticipée ou pour lesquels ces évolutions constituent un facteur déterminant de la vulnérabilité au changement climatique. Cependant, **les conséquences par rapport à un scénario de référence dynamique ont aussi été évaluées lorsqu'à l'évidence des changements environnementaux ou socioéconomiques très significatifs risquent de se produire au cours de la période étudiée.**

La quantification physique des impacts a été réalisée par secteur sur base des résultats de l'analyse de la littérature et des entretiens avec des experts. Selon le type d'impact et le secteur, elle s'est basée sur des retours d'expérience d'événements climatiques passés pour évaluer l'impact du changement climatique sur le secteur (analogies historiques avec des événements extrêmes), sur des modèles (ou résultats de modèles) complexes liant le secteur aux paramètres climatiques comme la température ou les précipitations, sur les relations identifiées entre un secteur et le climat pour évaluer l'impact du changement climatique sur le secteur (extrapolation de relations empiriques entre secteur et climat), sur des scénarios ad-hoc en fonction du changement climatique (projections ad-hoc), etc.

Selon les besoins de l'analyse et la nature des données disponibles, quelques-uns des impacts quantifiés ont ensuite été évalués en termes monétaires. Notons cependant que **seuls les impacts qui donnent lieu à une évaluation quantitative peuvent être transposés en termes monétaires.** Les impacts qui ne sont pas quantifiés ne doivent cependant pas être omis lors de la prise de décision. Pour ces raisons, la totalité des impacts par secteur y compris les impacts qualitatifs ont été aussi identifiés et analysés dans la présente étude.

L'analyse monétaire a mis en évidence des coûts mais également des bénéfices liés au changement climatique en Wallonie, en fonction du secteur considéré, des scénarios climatiques et de l'horizon temporel. Pour certains secteurs, on observe à la fois des coûts et des avantages selon l'impact étudié (voir, par exemple, l'agriculture, l'énergie ou le tourisme).

La prise en charge du coût (marchand ou non-marchand) des impacts retombe selon les cas sur différents types d'acteurs : acteurs privés touchés (entreprises et particuliers affectés par des dommages, ...), acteurs publics (impacts sur la santé,...), tierce parties (assureurs notamment, ...). Une identification des acteurs susceptibles de supporter les coûts a aussi été réalisée.

Au vu des connaissances disponibles et de la difficulté de l'exercice, celui-ci est considéré comme une première étape, un premier pas vers une évaluation plus complète du coût des impacts du changement climatique en Wallonie. Dès le démarrage des travaux, il a été choisi de produire des évaluations par secteur, sans volonté d'agrégation des résultats. Pour des questions de faisabilité mais également d'opérationnalité, l'objectif n'est pas d'aboutir à un résultat global et complet pour la Wallonie. A ce stade et dans l'état actuel des connaissances, l'analyse des coûts ne peut prétendre être exhaustive : seuls certains impacts ont pu être évalués de manière quantitative.

2.2 AGRICULTURE

2.2.1 IDENTIFICATION DES IMPACTS

L'agriculture risque d'être un secteur particulièrement affecté. Il est communément accepté que le changement climatique aura des effets positifs et/ou négatifs, en fonction de la capacité d'adaptation du système agricole, de la culture, de la gamme de changement climatique, etc.

La sensibilité de l'agriculture face au climat prend naissance dans un ensemble de facteurs physiologiques, climatiques, géologiques et biologiques interdépendants qui s'entremêlent au courant d'une saison de culture pour aboutir, à la fin de celle-ci, à un rendement déterminé pour les différents semis et les différentes cultures. Ainsi, des facteurs fondamentaux comme la longueur de la saison de culture (saison sans gel), les dates des périodes de gel, l'accumulation de chaleur (température), le niveau de précipitations, l'évapotranspiration, les heures d'ensoleillement, l'humidité disponible, ainsi que la concentration de dioxyde de carbone, agissent directement sur le rendement d'une culture. Viennent s'ajouter à cela des facteurs non directement liés à la physiologie de la plante comme une augmentation potentielle des infestations d'insectes et d'agents pathogènes, une modification des caractéristiques de sols et/ou un changement dans la disponibilité d'eau pour l'irrigation.

Des températures élevées et l'humidité ont aussi des effets négatifs sur la santé du bétail et son rendement ; les animaux mangent moins, s'engraissent difficilement, se reproduisent moins et produisent moins de lait ou d'œufs.

Ces facteurs qui sont pour certains positifs et pour d'autres négatifs pour l'agriculture s'entrechoquent, annulant les effets de l'un et de l'autre et rendant l'estimation de l'impact net très périlleux.

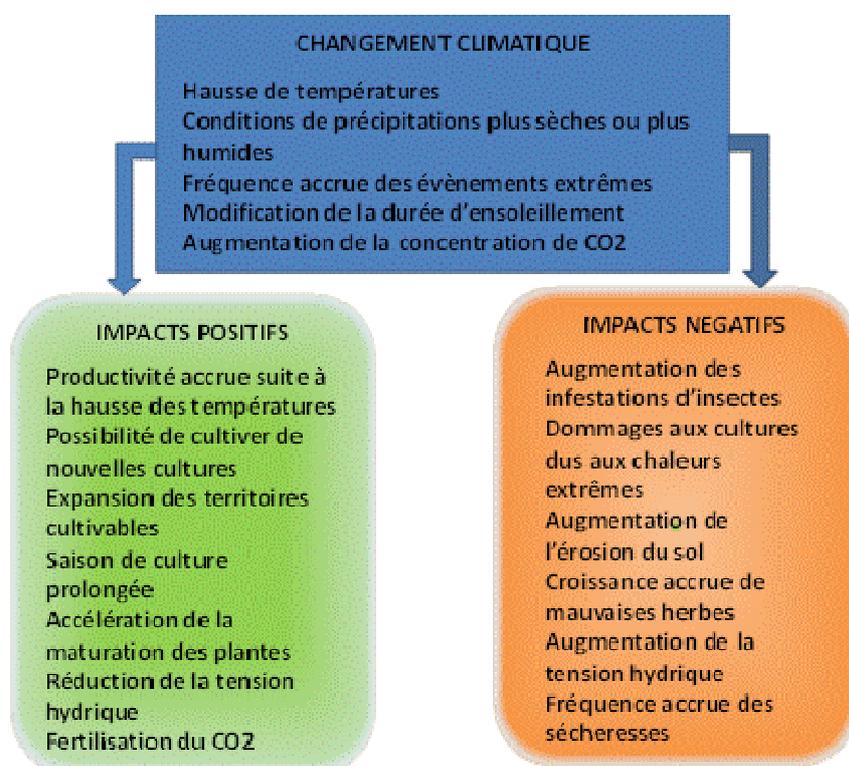


Figure 13. Impacts potentiels des changements climatiques sur les cultures. Source : ICEDD, 2014.

IMPACT SUR LA LOCALISATION, LES CYCLES ET LE RENDEMENT DES CULTURES

Selon l'étude « Impacts des changements climatiques en Belgique, UCL-Greenpeace, Juillet 2004 », en-dessous de trois degrés de hausse de la température locale, les effets sur l'agriculture des changements climatiques attendus en Belgique au cours du 21^{ème} siècle semblent modestes, dans tous les scénarios.

Pour évaluer le mieux possible l'impact des changements climatiques sur l'agriculture, il est important de tenir compte également des effets d'un des principaux facteurs de ces changements climatiques, à savoir le dioxyde de carbone (CO₂). Rappelons, en effet, que les plantes utilisent l'énergie lumineuse pour créer des chaînes carbonées à partir d'eau et de CO₂. L'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ a donc un effet stimulant sur la photosynthèse des végétaux. La technique visant l'augmentation de la concentration en CO₂ dans les serres dans le but d'augmenter les rendements est déjà d'ailleurs largement répandue. De manière générale et à titre d'exemple, en faisant passer la concentration en CO₂ de 380 ppm (parts par million), soit la concentration atmosphérique actuelle, à 1.000 ppm, les rendements sont augmentés de 50%. Selon l'hypothèse d'un doublement des concentrations en CO₂ dans l'atmosphère d'ici à la fin du siècle, la photosynthèse des végétaux pourrait potentiellement augmenter de 20 à 30%, ce qui aurait un impact significatif positif sur les rendements s'il n'y a pas de limitation par d'autres facteurs (eau, azote). Ceci est vrai, en tout cas, pour la majorité des plantes en zone tempérée, mais pas pour les graminées d'origine tropicale et aride – telles que la canne à sucre, le sorgho, mais aussi le maïs... – qui ont un mécanisme de photosynthèse répondant très peu à un enrichissement de l'atmosphère en CO₂.

A priori, une haute teneur en CO₂ de l'air (on prévoit son doublement au 21^e siècle) est favorable aux plantes cultivées, à l'accroissement du volume de biomasse et de leurs rendements : c'est une fertilisation carbonée qui favorise la diminution de la transpiration (fermeture des stomates), améliore l'efficacité d'utilisation de l'eau, et permet une croissance plus rapide. En réalité, comme l'ont montré les essais en serre et les modélisations, l'effet de l'augmentation de concentration en CO₂ dans l'atmosphère dépend du type de métabolisme photosynthétique, qui n'est pas le même selon que les plantes sont dites « en C3 » ou « en C4 »¹⁴ (dans l'exemple donné ci-dessus, les plantes telles que la canne à sucre, le sorgho ou le maïs font partie des plantes en C4). On peut envisager que les plantes en C3 (grâce à une meilleure fixation du CO₂ par des carboenzymes) répondent davantage à l'augmentation de la concentration en CO₂ que les plantes en C4.

Quant aux effets sur l'agriculture du réchauffement, en lui-même, ils sont bien évidemment liés aux températures et aux précipitations. La compensation entre les deux effets varie selon les espèces. En Belgique, l'impact global devrait être limité et même positif pour certaines cultures (dont le blé), au moins tant que l'augmentation de température ne dépasse pas environ 3°C. D'une manière générale, dans la limite des 3°C, l'agriculture en Belgique dispose de larges possibilités d'adaptation qui permettent de faire face aux changements climatiques et même d'en profiter. L'étude de Greenpeace souligne que selon des projections de l'utilisation des sols (agricole, forestière, urbaine...) au 21^{ème} siècle, le facteur déterminant principal de

¹⁴ Il y a deux principales voies métaboliques d'assimilation du gaz carbonique atmosphérique par les végétaux. Cette synthèse peut se dérouler selon plusieurs mécanismes caractérisés par le nombre d'atomes de carbone de l'intermédiaire métabolique. Ainsi, on est amené à différencier la voie passant par l'intermédiaire à 3 atomes de carbone, notée C3, de celle faisant intervenir un intermédiaire à 4 atomes de carbone et qui sera notée C4. On parle alors de plante en C3 (céréales à paille, colza, tournesol, soja...) ou de plante en C4 (sorgho, canne à sucre ou maïs). L'appareil photosynthétique des plantes en C4, d'origine tropicale, est plus complexe que celui des plantes en C3. Chez les plantes en C4, la fixation initiale de gaz carbonique à la lumière entraîne la formation d'acides à quatre carbonés sous l'épiderme des feuilles (cycle C4). Cette « réserve » de carbone permet ensuite la synthèse continue d'acides à trois carbonés, puis de sucres, dans les tissus foliaires plus profonds entourant les vaisseaux (cycle C3). Les plantes en C3 fabriquent directement des acides à trois carbonés et des sucres à partir du gaz carbonique de l'air (cycle C3 uniquement). Les plantes en C4 sont capables de photosynthétiser à des teneurs atmosphériques en CO₂ plus faibles que les plantes en C3, mais répondent plus mal à une augmentation de la teneur en CO₂.

l'évolution dans ce domaine reste le cadre socio-économique et les décisions de politique agricole, l'impact du climat étant comparativement moindre tant que le réchauffement est modéré.

Si les pratiques agricoles actuelles perdurent, beaucoup d'eau sera perdue n'ayant pas le temps de rentrer suffisamment dans les sols, entraînant pour les cultures des stress hydriques s'ajoutant aux stress thermiques. Il y aura donc des baisses de rendements et, pour les sols, une érosion accélérée en amont, des inondations et des engorgements en aval.

En été, le déficit en eau de l'environnement va augmenter suite à l'augmentation de l'évapotranspiration (Middelkoop et al., 2001). Suite à l'augmentation des températures, le développement des cultures pourrait commencer plus tôt dans la saison et elles auraient besoin d'eau pour leur croissance plus tôt. L'évapotranspiration réelle atteint son niveau maximum plus tôt dans la saison avant de diminuer en été suite aux stress thermiques et hydriques (Bauwens et al., 2011). Alors que le maïs est négativement affecté par le changement climatique, le blé et l'orge sont favorisés sur le bassin de la Vesdre (Bauwens et al., 2012).

Les augmentations de la température des moyennes et des extrêmes des maxima, pourront gêner les capacités photosynthétiques des cultures et les périodes floraison-pollinisation-fructification, provoquant de forts risques d'échaudage (faible remplissage des grains) et de faibles rendements.

Au regard du changement climatique attendu, la production des prairies connaîtra sûrement des modifications au cours des saisons. Dans le futur proche, des études suggèrent une légère hausse en rendements annuels, tandis que dans le futur lointain les conditions climatiques seront moins favorables à la production des prairies. Les effets sur les prairies sont aussi variables selon les zones géographiques. Au Nord de l'Europe, où les épisodes de sécheresses estivales sont rares et courts, le principal effet est une augmentation de la production de biomasse du fait de l'augmentation de la teneur de l'air en CO₂, de températures plus élevées et d'hivers plus courts. Dans les régions du sud de l'Europe où le déficit hydrique limite systématiquement la production en été, l'accroissement de la durée et de l'intensité des sécheresses tend en revanche à réduire la production de biomasse estivale et annuelle, ce qui entraîne une vulnérabilité accrue des systèmes d'élevage. Les scénarios climatiques prévus pour la fin du siècle se traduiraient globalement par une augmentation de la production d'herbe, autorisant un chargement animal accru et une extension de la saison de pâturage. L'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ provoquerait une forte stimulation de la photosynthèse sur les plantes tant que les autres conditions sont optimales. Cela pourrait représenter une hausse de production en matière sèche dans toutes les régions où le déficit hydrique n'augmenterait pas notablement. La hausse des températures entraînerait une production d'herbe plus précoce au printemps et plus tardive en fin d'automne, voire même une hausse de potentiel de production hivernale. Le pâturage hivernal pourrait même devenir une pratique fréquente, comme c'est le cas général en zone méditerranéenne côtière, réduisant les besoins en stock de fourrages d'hiver.

Les effets du changement climatique sur la production végétale pourront ainsi prendre des formes assez variées. Par l'action de ses différentes composantes (température, rayonnement, pluies) et par l'effet de l'augmentation du CO₂, le changement climatique affectera la croissance et le développement des espèces cultivées. Les effets sur les plantes seront, suivant les cas de figure, favorables aux productions végétales (rendements accrus, intrants réduits, travaux facilités, choix de rotations culturales élargis...) ou défavorables (stress hydrique, diminution des rendements ou augmentation de leur variabilité...).

L'augmentation prévue des températures sur le territoire wallon (réchauffement moyen de 1,3 à 2,8 °C à l'horizon 2050 pour le scénario d'émission A1B) accroîtra probablement la disponibilité thermique¹⁵ pour les plantes en général et les espèces cultivées en particulier. Ainsi, les besoins en chaleur nécessaires au développement complet d'une variété seront, en un lieu donné, plus rapidement et/ou plus fréquemment satisfaits. Cela a deux conséquences sur le plan agricole : de nouvelles possibilités de cultures dans les zones jusqu'ici trop fraîches et, dans les zones de culture actuelles, l'avancement des dates de récolte des cultures annuelles accroîtra les durées d'interculture ou élargira le choix des successions culturales.

Le déroulement plus rapide des rythmes phénologiques, lié à l'augmentation de la température, entraînera l'avancement quasi général des dates de récolte. Cette libération plus précoce des terres concernera à la fois les monocultures et les rotations culturales.

Le changement climatique se manifestera, entre autres, par des jours chauds plus fréquents et des jours froids plus rares. Or ces températures élevées ou basses ont des effets particuliers sur le fonctionnement des plantes cultivées et des conséquences sur les niveaux de production. Les températures élevées, si elles se situent pendant le remplissage des grains, ont des répercussions physiologiques (concurrence entre photosynthèse et photorespiration, accroissement de la respiration nocturne, fermeture stomatique) appelées « échaudage thermique », qui pénalisent le rendement. Ce phénomène existe, en particulier pour le blé.

La baisse marquée des précipitations printanières et estivales et l'accroissement de l'évapotranspiration potentielle vont affecter à la hausse les besoins en irrigation des cultures de printemps, tandis que l'anticipation (accélération phénologique) aura un effet modérateur lié au phénomène d'esquive¹⁶.

La diminution assez générale des précipitations aura des répercussions sur l'état de surface des sols cultivés. Plus précisément, on devrait assister à une augmentation du nombre de jours (dits jours disponibles) où l'humidité des sols est suffisamment faible pour permettre l'intervention des engins agricoles dans les parcelles. Notamment à l'automne (préparation des semis de cultures d'hiver) cette tendance pourra être particulièrement plus visible. C'est donc dans le sens d'une facilitation des chantiers d'automne (récolte maïs, préparation de semis d'hiver) que le changement climatique devrait jouer, rendant plus aisée la conduite des cultures concernées. Dans d'autres situations culturales, le nombre de jours disponibles évoluera à la baisse. C'est en particulier le cas pour les semis de cultures de printemps : la moindre pluviométrie attendue devrait diminuer le nombre de jours aptes aux semis, l'humidité insuffisante du sol empêchant une germination et une levée satisfaisantes des plantules.

En résumé, l'augmentation du CO₂ atmosphérique, cause du changement climatique, stimule l'activité photosynthétique des plantes en C3 qui constituent l'essentiel des plantes cultivées en région tempérée (mécanisme connu sous le nom de fertilisation carbonée), et en conséquence la production de biomasse. À l'inverse, la baisse de confort hydrique, également conséquence du changement climatique, pénalise la production végétale. La combinaison de ces deux facteurs déterminera l'évolution – à la hausse ou à la baisse – des rendements, avec des résultats qui varieront en fonction de la culture, de la localisation, de l'échéance, et du calendrier cultural.

¹⁵ Cumul des températures journalières dépassant un seuil (appelé base) sur une période d'intérêt. Cette quantité est corrélée à des effets biologiques cumulatifs, par la phénologie des plantes. La disponibilité thermique est très déterminante de la faisabilité. Elle s'accroît avec le changement climatique.

¹⁶ Manière d'éviter de souffrir de la sécheresse (ou d'un stress thermique ou biotique) en positionnant son cycle végétatif le plus possible en dehors de la période sèche (ou de l'échaudage ou d'une épizootie). En zone tempérée, plus une espèce ou une variété sera précoce, plus elle « esquivera » la sécheresse estivale. Par opposition à l'évitement qui joue sur l'espace, l'esquive joue sur le temps.

Dans le cas des cultures d'hiver, peu exposées à un accroissement de stress hydrique, on devrait assister à une augmentation des rendements. C'est typiquement ce que la présente étude fait apparaître en monoculture de blé tendre et d'orge. La fertilisation carbonée et l'accroissement des températures sont évidemment les deux facteurs principaux de cette augmentation de rendements. L'anticipation des stades, conséquence de la hausse des températures, intervient elle aussi dans ces augmentations, mais de façon indirecte : elle permet à la culture une esquivance des stress hydriques et thermiques accrus de printemps et d'été. Enfin, cette augmentation des rendements s'explique aussi en partie par la raréfaction des excès d'eau hivernaux. À l'inverse, lorsque la contrainte hydrique se renforcera nettement, ses effets dépréciateurs l'emporteront sur les effets positifs de la fertilisation carbonée et les rendements seront à la baisse. C'est ce que l'on devrait observer dans certaines situations pour les prairies, les betteraves sucrières et les pommes de terre.

ALTÉRATION DE LA RÉPARTITION DES RAVAGEURS

La prévision des impacts du changement climatique sur les insectes ravageurs, les agents pathogènes et les mauvaises herbes à partir des résultats des simulations climatiques présentés dans la littérature est résumée ci-après.

Organismes	Modèles	Paramètres bioclimatiques	Localisation	Horizons temporels	Principales conclusions	Auteurs
Cécidomyie du chou-fleur (<i>Contarinia nasturtii</i>) [Diptera : Cecidomyiidae]	Bioclimatique : MidEmerge, DYMEK Climatique : aucun	Température Précipitations Humidité relative	Ontario, Québec CANADA	Non mentionné	Cet insecte possède 4.5 générations par année en Ontario et au Québec. Le réchauffement climatique permettra certainement le développement d'une 5 ^e génération.	(Hallett et al., 2009)
Thrips de l'aileron (<i>Thrips tabaci</i>) [Thysanoptera : Thripidae]	Bioclimatique : Régression linéaire Climatique : 4GCM, MI2 (CSIRO); HadCM3 (UKMO); PCM (DOE-NCAR); GFDL3 (ECHAM4) [A1 à B2]	Température	SLOVÉNIE	Continue 1951-2100	Augmentation du nombre de générations du ravageur avec les hausses de température.	(Bergant et al., 2005)
Ravageurs des grains d'entreposage (<i>Tribolium confusum</i>) [Coleopt. : Tenebrionidae] et (<i>Callosobruchus chinensis</i>) [Coleopt. : Chrysomelidae]	Bioclimatique :Ricker's classic equation (modèle de compétition intra-spécifique) Climatique : 1 RCM : CONAMA (PRECIS) [A2 & B2]	Température Précipitations	CHILI	2071-2100	Augmentation des densités de population de ces deux ravageurs, passant au statut d'insectes nuisibles pour les régions plus au sud du Chili.	(Estay et al., 2009)
Psylle asiatique des agrumes (<i>Diuraphis citri</i>) [Homoptera : Psyllidae]	Bioclimatique: STELLA (enveloppe bioclim.) et SME (dynamique hôte-ravageur) Climatique : 2 GCM : CSIRO et DARRAM [A2]	Température Précipitations	AUSTRALIE	2030 2070	Diminution du risque d'établissement de ce ravageur avec l'augmentation des températures, en raison de la diminution des intervalles où l'insecte est capable de se nourrir sur les nouvelles pousses de l'hôte.	(Aurambout et al., 2009)
Pyrale du maïs (<i>Ostrinia nubilalis</i>) [Lepidoptera : Crambidae]	Bioclimatique : ECAACON (modèle phénologique) Climatique : 4 GCM :CSIRO-MI2; ECHAM4; HadCM3; NCAR-PCM [A2]	Température Évapotranspiration Précipitations Humidité	République tchèque	2010; 2015; 2020; 2025; 2030; 2040; 2050; 2075	Extension de l'aire de répartition de la race bivoltine, augmentation de la race bivoltine.	(Trnka et al., 2007)
Doryphore de la pomme de terre (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>) [Coleoptera : Chrysomelidae]	Bioclimatique : Relation entre la localisation et la température Climatique : 2 GCM : UKHI; UKTR [CO ₂ x2]	Température	EUROPE	Pas d'horizon de temps mais CO ₂ x2	Extension de l'aire de répartition du Doryphore de la pomme de terre jusqu'au nord de l'Angleterre. Régression des populations localisées plus au Sud.	(Jeffrey et Jeffrey, 1996)
Puceron bicolor des céréales <i>Rhopalosiphum padi</i> [Homoptera : Aphididae] et variantes	Bioclimatique : Modèle d'interaction plante-ravageur Climatique : 2 GCM : HadCM3; CGCM2 [A1 à B2]	Température	CANADA	2080	La température à elle seule explique bien les changements. Effet variable selon le modèle choisi (expansion vers le nord) mais variations également selon la longitude.	(Newman, 2006)
Criocère des céréales (<i>Oulema melanopus</i>) [Coleoptera : Chrysomelidae]; Meligèthe des crucifères (<i>Meligethes viridescens</i>) [Coleoptera : Nitidulidae]; Charançon de la silique (<i>Crotorynchus obstrictus</i>) [Coleoptera : Curculionidae]; Criquet (<i>Melanoplus sanguinipes</i>) [Orthoptera : Acrididae]	Bioclimatique : CLUMEX Climatique : incrémentation de 1 à 3°C et de -60% à +60% de précipitations	Température Précipitations	CANADA	Autour de 2100 selon le scénario d'émission de GES	Changement dans la distribution des ravageurs et extension de leur aire de répartition totale ainsi que leur abondance relative.	(Offert et Weiss, 2006a; Offert et Weiss, 2006b)
Pyrale du maïs (<i>Ostrinia nubilalis</i>)	Bioclimatique: base sur les cumulés de D-J Climatique : GISS [2xCO ₂]	Température	EUROPE	Pas d'horizon de temps mais 2xCO ₂ +1°C	Les simulations climatiques prédisent l'expansion de l'aire de distribution de la pyrale du maïs jusqu'à 1200 km vers le Nord, ou 165 à 500 km pour chaque augmentation de 1°C.	(Porter et al., 1991)

Tableau 5. Prévision des impacts du changement climatique sur les insectes ravageurs à partir de simulations climatiques. Source : Littérature internationale.

L'identification et l'évaluation des coûts de l'inaction face au changement climatique en Wallonie

Identification et évaluation des impacts par secteur

Agriculture

Organismes	Modèles	Paramètres bioclimatiques	Localisation	Horizons temporels	Principales conclusions	Auteurs
Jambe noire (chancre du collet) des crucifères (<i>Leptosphaeria maculans</i>)	Bioclimatique : Modèle élaboré par Evans et al. 2008 Climatique : 1 GCM : HadCM3-UKIPO2. [LO & H]	Température Précipitations	ANGLETERRE ET ÉCOSSE	2020 2050	Impact positif dans les régions du nord avec une augmentation de 15% de rendement. Impact négatif dans les régions du sud avec une diminution du rendement de 50%.	(Butterworth et al., 2010)
Mildiou de la vigne (<i>Plasmopara viticola</i>)	Bioclimatique : modèle basé sur des données historiques Climatique : 2 GCM : GISS; HadCM3. [A2]	Température Précipitations	ITALIE	2030 2050 2080	Augmentation de la pression de la maladie, épidémies plus graves principalement dues à la hausse de température.	(Salinari et al., 2006)
Brûlure tardive de la pomme de terre (<i>Phytophthora infestans</i>), Tavelure du pommier (<i>Venturia inaequalis</i>), Brûlure cercosporéenne de la carotte (<i>Cercospora carotae</i>)	Bioclimatique : CIFRA Climatique : 5 GCM: CGCM1; ECHAM4; CSIRO-Mk2; CCSM/NIES; HadCM3. [+1%/an]	Température Précipitations Humidité relative Humectation (T* de l'air, HR, vent et précip.)	Québec, CANADA	2025 2050 2075 2099	Brûlure tardive : pas de tendance en ce qui concerne le nombre de périodes favorables à l'infection. Tavelure: apparition plus hâtive et augmentation du nombre de périodes favorables à l'infection (sans calculer la conservation hivernale). Brûlure cercosporéenne : augmentation du nombre de périodes d'infection avec une décroissance pour les années 2075 et 2099, dues aux températures élevées.	(Bourgeois et al., 2004)
Phoma du colza (<i>Leptosphaeria maculans</i>)	Bioclimatique : Modèle développé par les auteurs Climatique : 1 GCM : HadCM3; 1 RCM : HadRM3. [LO & H]	Température Précipitations	ANGLETERRE	2020 2050	Augmentation de l'intensité de la maladie dans sa distribution spatiale actuelle, ainsi qu'une progression de son aire de distribution vers le nord.	(Evans et al., 2008)

Tableau 6. Prédiction des impacts du changement climatique sur les agents pathogènes à partir de simulations climatiques. Source : Littérature internationale.

Organismes	Modèles	Paramètres bioclimatiques	Localisation	Horizons temporels	Principales conclusions	Auteurs
Kudzu (<i>Pueraria montana</i>)	Bioclimatique : GARP Climatique : Utilisation des données historiques (112 ans) et régression linéaire	Température Précipitations	ÉTATS-UNIS	2035	Augmentation de l'aire de distribution au nord et diminution dans certaines régions plus au sud.	(Jarnevich et Stohlgren, 2009)
Buddleia de David (<i>Buddleja davidii</i>)	Bioclimatique : CUMEX Climatique : 3 GCM : CSIRO, NCAR-CCSM, MIROC-H [A1B & A2]	Température Humidité	MONDE ENTIER	2080	Expansion des habitats favorables pour : le nord-est américain, le sud du Canada, le nord et l'est de l'Europe et le sud-ouest de la Nouvelle-Zélande.	(Kriticos et al., 2011)
Brème des toits (<i>Bromus tectorum</i>)	Bioclimatique : Relation entre le climat et présence/absence Climatique : 10 GCM : CGCM3; CNRM CM3; GFD; GISS, HAD CM3; INM CM3; IPSL CM4; MIROC; MPI echam5; NCAR ccsm3 [A1B]	Précipitations Température	OUEST DES ÉTATS-UNIS	2100	L'espèce est fortement influencée par les précipitations. Si ces dernières augmentent, une réduction de l'habitat est anticipée, et ce, jusqu'à 70%. Si elles diminuent, un accroissement de 45% de zone favorable pourrait être observée.	(Bradley, 2009)
Kudzu (<i>Pueraria montana</i>), Troène de Chine et Troène commun (<i>Ligustrum sinense</i> ; <i>L. vulgare</i>) et Pailleote (<i>Imperata cylindrica</i>)	Bioclimatique : Relation entre le climat et présence/absence Climatique : 11 GCM: CGCM3; CNRM CM3; GFD; GISS, HAD CM3; INM CM3; IPSL CM4; MIROC; MPI echam5; NCAR; CSIRO MK3 [A1B]	Précipitations Température	SUD-EST DES ÉTATS-UNIS	2100	Risque d'invasion augmenté vers le nord pour les trois espèces (de façon graduelle pour le kudzu et la pailleote et plus spontanée pour les espèces de troène puisqu'il y a déjà présence de graines dans les sols).	(Bradley et al., 2010)
Quai (<i>Viscum album</i>)	Bioclimatique : Relation entre la localisation et la température Climatique : 2 GCM : UKHI; UKTR [2xCO ₂]	Température	EUROPE	Pas d'horizon de temps mais CO ₂ x2	Expansion de l'aire de répartition au nord et à l'est de l'Europe, mais pas au nord de l'Angleterre.	(Jeffrey et Jeffrey, 1996)

Tableau 7. Prédiction des impacts du changement climatique sur les mauvaises herbes à partir de simulations climatiques. Source : Littérature internationale.

En ce qui concerne les insectes, on observe encore peu de signes indiscutables dans le domaine de l'agriculture. L'extension bien documentée vers le Nord et en altitude de la chenille processionnaire concerne le pin et donc la forêt. Cependant, avec la disparition progressive des hivers froids, on pourrait assister à l'explosion des populations de certains ravageurs, comme les limaces par exemple. On observe déjà une augmentation de la diversité des pucerons accompagnée d'une précocité accrue des périodes d'activité; on constate aussi une évolution du cycle du carpocapse des pommes qui a vu l'apparition d'une troisième génération. A l'inverse, on a pu noter une extinction (temporaire) du phoma du tournesol dans le sud-ouest, fortement défavorisé par l'augmentation des températures supérieures à 32° C et éradiqué après la canicule de 2003, on constate la disparition de certains champignons qui ne supportent pas les vagues de chaleur.... (Seguin B., 2008 et 2010).

Les maladies et ravageurs vont également voir s'élargir leurs habituelles aires d'expansion. Les moyens de transport modernes aidant, ils pourraient, si les nouvelles conditions climatiques le permettent, se retrouver dans des régions très éloignées de leur berceau initial. Certains exemples confirment déjà ces craintes aujourd'hui : certains sérotypes de la maladie de la langue bleue se sont propagés de l'Afrique vers le pourtour méditerranéen, une mouche blanche originaire des régions subtropicales menace actuellement les serres du sud de l'Europe...

S'il est avéré que le changement climatique altère la répartition des ravageurs et des agents pathogènes des plantes et des animaux, il est difficile de prévoir ses effets. Les changements de température, d'humidité et de teneur en gaz dans l'atmosphère peuvent alimenter les taux de croissance et de génération de plantes, champignons et insectes, modifiant les interactions entre les ravageurs, leurs ennemis naturels et leurs hôtes. Les changements de couverture végétale, tels que la déforestation ou la désertification, peuvent rendre les plantes et les animaux de plus en plus vulnérables aux ravageurs et aux maladies. Si de nouveaux ravageurs et maladies ont régulièrement fait leur apparition au fil des siècles, le changement climatique introduit désormais bon nombre d'inconnues supplémentaires dans l'équation.

PERTE DE SOLS PAR ÉROSION HYDRIQUE

La détérioration des sols est fortement préjudiciable aux activités de production agricole. Actuellement en Wallonie, les phénomènes d'érosion des sols ne font que s'aggraver avec les épisodes orageux. Leurs conséquences sont parfois lourdes : dégâts importants pour les cultures, perte de couche arable (perte de matière organique et éléments nutritifs), formation de ravines, dégradation de la qualité des eaux de surface, risque accru d'inondations et de coulées de boues¹⁷ etc.

L'érosion consiste en une altération de la surface du sol et du relief, résultant du détachement de particules de sols, puis leur transport et dépôt à une certaine distance. En Wallonie, trois principaux agents provoquent l'érosion des sols cultivés: l'eau, le travail du sol et l'arrachage des cultures. Le risque d'érosion hydrique varie d'une parcelle à l'autre en fonction des facteurs pédoclimatiques qui lui sont propres : les précipitations, le sol (sensibilité variable en fonction du type, structure, taux de matière organique, perméabilité), et la topographie (combinaison longueur-pente, concentration des eaux de ruissellement).

Le principal effet de l'érosion par l'eau est la disparition de terres végétales superficielles, souvent peu visible mais potentiellement très néfaste. Les facteurs physiques comme le climat, la topographie et les caractéristiques des sols jouent un rôle déterminant dans le processus, ce qui explique en partie les écarts entre la très forte érosion hydrique en Islande et son absence presque totale en Scandinavie, où le climat est moins rude et le sol, moins érodable. Par exemple, le nord de la Méditerranée, très fortement exposée, est soumise à de longues périodes de sécheresse suivies de violentes pluies érosives s'abattant sur des terrains à forte pente et à sols fragiles alors que dans l'Europe du nord-ouest, la pluie, qui arrose généralement des terrains en pente douce, se répartit uniformément sur toute l'année, d'où une érosion beaucoup plus modérée. Dans certaines parties de la Méditerranée, l'érosion est devenue irréversible et à même quasiment cessé à certains endroits, ... faute de sols à ronger! Toute perte régulière de sol de plus d'une tonne par hectare et par an peut être considérée comme irréversible durant une période de 50 à 100 ans (Huber et al., 2008). Des pertes de 20 à 40 tonnes par hectare lors de tempêtes particulièrement violentes sont mesurées régulièrement (tous les 2 ou 3 ans) en Europe, voire parfois de plus de 100 t/ha dans des cas extrêmes (EEA et JRC, 2010). Les effets de cette érosion peuvent mettre du temps avant de se manifester, notamment dans les régions aux sols particulièrement profonds et fertiles ou fortement enrichis d'engrais. Le danger n'en est que plus pernicieux car, lorsque les effets deviennent apparents, il est généralement trop tard pour intervenir. Les principales causes de l'érosion du sol sont encore les pratiques agricoles non appropriées, la déforestation, le pâturage excessif et les activités de construction. Le problème touche plus particulièrement la région méditerranéenne en raison de la fragilité de son environnement, mais n'épargne qu'un très petit nombre de pays européens. L'abandon de terres et les incendies de forêt, surtout dans les zones périphériques, intensifient l'érosion.

La vulnérabilité de l'agriculture dépendra dans une large mesure de la variabilité du climat, et plus précisément de la fréquence éventuellement accrue des événements météorologiques ou climatiques extrêmes. Les processus de dégradation du sol sont directement liés aux caractéristiques des précipitations, ou en d'autres termes à la fréquence des sécheresses et à l'érosivité de la pluie elle-même.

En Wallonie, la perte de sédiments engendra des dégâts majoritairement sur l'agriculture. Pour cette raison, cet impact est quantifié dans ce chapitre.

¹⁷ L'impact des inondations est traité plus en détail dans la section sur la ressource en eau, les infrastructures et l'aménagement du territoire.

2.2.2 ANALYSE DES COÛTS

Impacts quantifiés	En termes physiques		En termes monétaires
	Situation actuelle	En 2050	
Modification du rendement (grandes cultures et prairies) et effet des sécheresses	X	X	X
Pertes en sol par érosion hydrique	X	X	Pas chiffrable monétairement
Invasion des insectes ravageurs	Impact incertain et données disponibles insuffisantes.		
Changement des cultures	Pas pertinent dans le scénario retenu d'économie constante		

Tableau 8. Synthèse des impacts quantifiés sur l'agriculture. Source : ICEDD, 2014.

Selon la littérature scientifique internationale, dans le secteur agricole, les changements climatiques prévus auront des conséquences sur les rendements, ainsi que sur la localisation des productions. Cinq cultures ont été retenues dans le cadre de cette étude, choisies tant pour des questions de représentativité que de disponibilité des données pour une évaluation : le blé, le maïs, l'orge, les betteraves sucrières et la pomme de terre. Une analyse quantitative de la sensibilité des prairies au changement climatique est aussi présentée.

Les paragraphes qui suivent présentent la quantification de la modification du rendement des grandes cultures et des prairies en considérant l'augmentation graduelle des températures, la fertilisation, les sécheresses et la variation dans les jours de pluie. Le rendement en sédiments est aussi quantifié en termes physiques, les dommages en agriculture à moyen et long terme étant difficilement chiffrables.

L'impact du changement climatique sur le secteur agricole wallon a été évalué sur base d'une modélisation hydrologique (modèle EPICgrid) réalisée sur trois bassins versants représentatifs des régions agricoles wallonnes à vocation majoritairement agricole : le bassin de l'Hermeton à Hastière (166 km²), le bassin de la Thyria à Thy-le-Château (50 km²) et le bassin de la Mehaigne à Upigny (17 km²). Après validation du modèle, des simulations prospectives réalisées pour deux scénarios de changement climatique (scénarios « High » et « Low » de CCI-HYDR) et pour deux horizons temporels (2021-2050 et 2071-2100) ont permis d'appréhender les conséquences du changement climatique sur l'hydrologie des bassins versants.

Pour ce qui est de la prolifération des insectes ravageurs, il est plus difficile de prévoir quelles seront les nouvelles espèces qui profiteront de l'augmentation de la température pour s'établir en Wallonie. Les études qui ont été publiées au sujet de l'impact économique des ravageurs et sur le coût des opérations d'intervention sont relativement peu nombreuses, ont généralement une portée limitée et présentent des carences du point de vue méthodologique. Les données actuellement disponibles sont insuffisantes et les pertes économiques effectives sont sans doute surestimées dans les études existantes (FAO, 2014).

L'impact potentiel lié au changement des cultures (adaptation spontanée) n'est pas quantifié dans l'hypothèse d'une économie constante (pratiques, variétés, surfaces, prix...) retenue pour cette étude.

QUANTIFICATION DES IMPACTS SUR LE RENDEMENT EN WALLONIE

Le secteur agricole en Wallonie

L'agriculture occupe une part prépondérante du territoire wallon, 7 226.59 km², soit 43 % du territoire. Dans cette proportion, 42 % sont occupés par les cultures et 58 % par les prairies et pâturages (Source : L'agriculture Wallonne en chiffres – 2013).

La Région wallonne est constituée de différentes régions agricoles, caractérisées par des critères pédologiques et climatiques. Ces régions peuvent être classées en deux catégories :

- les régions dont la superficie agricole est couverte majoritairement de céréales et de cultures industrielles, à savoir la région limoneuse, le Condroz et la région sablo-limoneuse ;
- les régions dont la superficie agricole est couverte majoritairement de prairies et de cultures fourragères, à savoir l'Ardenne, la Famenne, la région herbagère liégeoise, la région jurassique, la haute Ardenne et la région herbagère des Fagnes.

La caractéristique majeure du secteur agricole wallon est la diminution structurelle du nombre d'exploitations agricoles qui entraîne un phénomène de concentration des terres. En 30 ans la Wallonie a perdu 63% de ses exploitations. Cependant, la superficie totale de l'ensemble des exploitations recule beaucoup moins vite. En moyenne, les exploitations ne cessent donc de s'agrandir. En trente ans, la superficie moyenne des exploitations a plus que doublé en Wallonie (de 20,8 ha en 1980 à 51,1 ha en 2010). Il y a dès lors un glissement de la part relative des différentes classes de superficie, illustrant un phénomène de concentration des moyens de production. La main-d'œuvre dans l'agriculture connaît parallèlement une contraction de son volume : le secteur a perdu 45 % du nombre de travailleurs occupés aux activités agricoles¹⁸. En 2011, la Wallonie dénombrait 13.521 exploitations, pour une superficie de 722.652 hectares et des effectifs de 22.566 personnes.

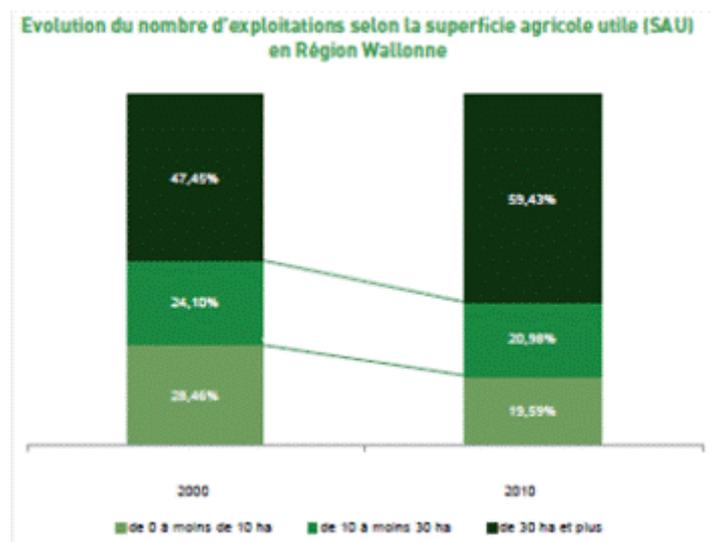


Figure 14. Evolution du nombre d'exploitations de 2000 à 2010 en Région Wallonne. Source : Chiffres clés de l'agriculture 2013, Direction générale Statistique et Information économique du Service Public Fédéral Economie.

¹⁸ En 1990, la Wallonie comptait 46 305 personnes travaillant dans le secteur agricole. Vingt années plus tard, le nombre de personnes exerçant une activité agricole ou horticole a régressé de 47,5 %, soit -3,2 % l'an.

Aujourd'hui, il existe encore 13 500 exploitations agricoles en Wallonie. Mais chaque année, un grand nombre d'entre elles (environ 500 par an) disparaissent car elles ne sont plus assez rentables.

L'agriculture wallonne se caractérise par des productions de grandes cultures (céréales, plantes industrielles), de cultures fourragères et par des productions animales (essentiellement bovines) liées au sol. Environ la moitié du paysage agricole wallon est occupé par les grandes cultures réparties entre céréales pour le grain (froment, orge, épeautre, ...), des fourrages des terres arables qui reprennent le maïs fourrager et des cultures industrielles (betterave sucrière, lin, colza, ...).

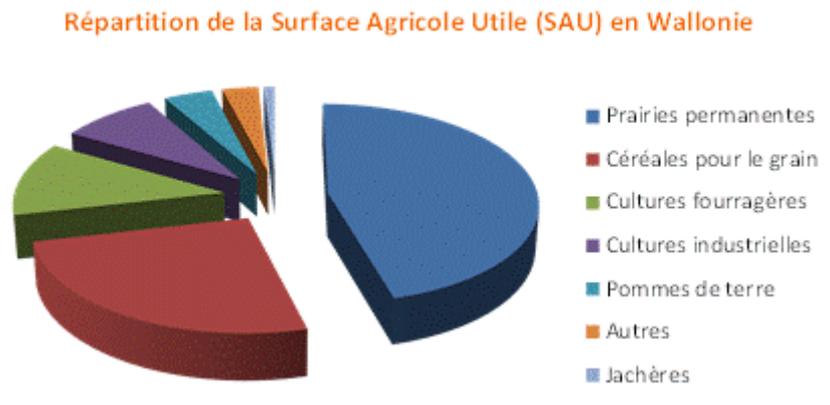


Figure 15. Répartition de la Surface Agricole Utile. Source : INS, 2014.

Globalement, pour l'année 2011, les superficies couvertes par les différents groupes de cultures se répartissent dans la superficie agricole utilisée (SAU), par ordre décroissant, en prairies permanentes (45,8 %), céréales pour le grain (25,6 %, dont 70,3 % de froment), cultures fourragères (12 %), cultures industrielles (8,4 %), pommes de terre (4,2 %) et autres (4 %) dont jachères (0,9 %).

Dans l'agriculture wallonne, on peut distinguer cinq secteurs de production, à savoir : les grandes cultures, le lait, la viande bovine, l'horticulture et les granivores. Les trois premiers secteurs ont une importance nettement plus élevée que les deux derniers. Pour mesurer l'importance des secteurs agricoles considérés, les données suivantes sont utilisées : d'une part, les superficies des différentes cultures et le nombre d'animaux recensés par l'INS en 2011 ; d'autre part, les productions brutes standard (PBS) centrées sur l'année 2007.

En multipliant les premières données par les secondes, on obtient des produits qui peuvent être agrégés par secteur et ensuite rapportés à la valeur de la production agricole totale (en PBS).

La première carte montre l'importance relative des grandes cultures par rapport à la valeur de la production agricole totale¹⁹ obtenue dans chaque commune.

¹⁹ La production brute standard décrit un potentiel de production des exploitations et permet de classer les exploitations selon leur dimension économique en « moyennes et grandes exploitations » ou « grandes exploitations ». La PBS est effectuée à partir de coefficients issus de valeurs moyennes calculées sur une certaine période. La contribution de chaque surface agricole ou cheptel à la PBS permet également de classer les exploitations selon leur spécialisation. Les coefficients de PBS ne constituent pas des résultats économiques observés. Ils doivent être considérés comme des ordres de grandeur définissant un potentiel de production de l'exploitation. La variation annuelle de la PBS d'une exploitation ne traduit donc que l'évolution de ses structures de production (par exemple agrandissement ou choix de production à plus fort potentiel) et non une variation de son chiffre d'affaires. Pour la facilité de l'interprétation la PBS est exprimée en euros, mais il s'agit surtout d'une unité commune qui permet de hiérarchiser les productions entre elles. Source : <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/production-brute-standard.htm>

La deuxième carte reprend la valeur totale (en PBS) des productions liées au sol (les grandes cultures, l'horticulture de plein air, le lait et la viande bovine) par ha de superficie agricole utilisée et illustre donc l'intensité de la production exprimée par unité de superficie.

La troisième carte donne l'orientation des communes wallonnes selon les productions agricoles.

La quatrième carte représente l'importance du secteur des prairies dans les communes de Wallonie. L'importance est exprimée en % de la surface agricole utile (SAU) communale.

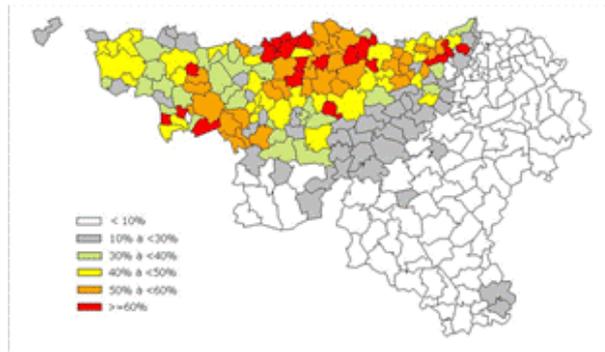


Figure 16. Importance du secteur des grandes cultures en Région wallonne en 2011 en % de la valeur (en marges brutes standard) de la production agricole totale dans la commune. Source : DGARNE et recensement agricole de mai 2011 SPF Economie Direction générale de la Statistique et de l'Information Economique (DGSIE ex-INS), 2014.

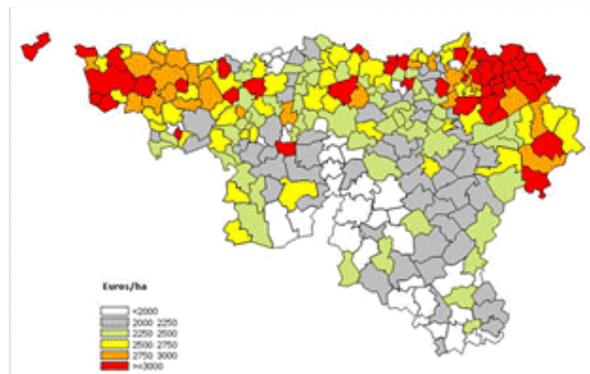


Figure 17. Valeur totale de la production agricole liée au sol en Région wallonne en 2011 en euros par ha de SAU. Source : DGARNE et recensement agricole de mai 2011 SPF Economie Direction générale de la Statistique et de l'Information Economique (DGSIE ex-INS), 2014.

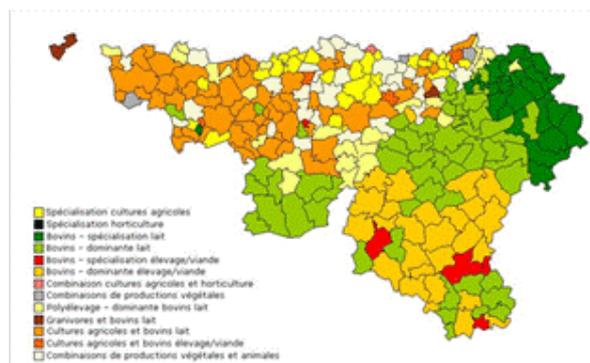


Figure 18. Orientation des communes wallonnes selon les productions agricoles en Région wallonne en 2011. Source : DGARNE et recensement agricole de mai 2011 SPF Economie Direction générale de la Statistique et de l'Information Economique (DGSIE ex-INS), 2014.

Les cultures dominent au nord tandis que le sud est caractérisé par l'élevage.

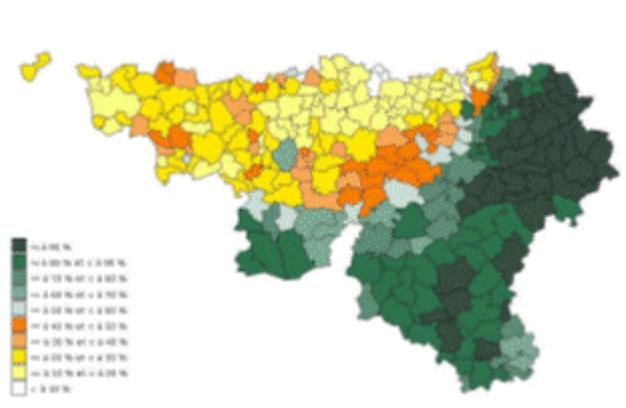


Figure 19. Importance des prairies dans la SAU communale en 2010 (en % de la SAU communale). Source : DEMNA, DGO3.

La valeur des grandes cultures représente en Wallonie 30 % en moyenne de la valeur de la production agricole et horticole totale (en 2001 et 2010). En termes d'occupation du sol elles couvrent 25 % de la SAU wallonne, elles produisent 48 % des céréales, 59 % des plantes industrielles, 75 % du lin, 61 % des pommes de terre et près de 70 % des légumes de plein air destinés à l'industrie. Ces exploitations sont principalement situées en région limoneuse, sablo-limoneuse et Condroz. La valeur de l'ensemble des produits de grandes cultures atteint, en 2011, 561,7 millions d'euros, soit 31 % de l'ensemble. C'est la production de céréales qui est la plus importante : 266,5 millions d'euros ou 14,7 % du total. La valeur des betteraves atteint 148,3 millions d'euros, soit 8,2 % du total général. Les pommes de terre représentent une valeur de 74 millions d'euros, soit 4,1 % de la production globale finale.

Superficies, rendements et productions de maïs, orge, betteraves sucrières, pommes de terre et prairies en Région wallonne

Pour estimer la production agricole au cours d'une campagne ou d'une année, il faut disposer de deux informations : la superficie consacrée à la culture (ou le nombre de têtes de bétail) et le rendement moyen estimé (par hectare ou par tête). La production obtenue sur cette base est donc elle-même une estimation.

Les variations observées dans la production d'une année à l'autre sont la conséquence d'une variation des superficies cultivées et/ou des rendements.

En Wallonie, la superficie consacrée aux céréales en 2011 couvre 185 031 ha, soit 56 % des emblavements en céréales de la Belgique et 25,6 % de la SAU wallonne.

L'essentiel des céréales autres que le blé est utilisé exclusivement en alimentation animale.

Le maïs

Le maïs est la principale culture fourragère en Wallonie et la culture dominante dans les régions herbagères.

Le maïs, récolté sous différentes formes (plantes entières, épis broyés, grains humides) est produit pour couvrir les besoins alimentaires des animaux, principalement des ruminants. Ses atouts nutritionnels et économiques (c'est la céréale la plus énergétique et une culture simple à produire, récolter et stocker), en font un produit compétitif qui contribue à abaisser le coût du lait et de la viande. Le maïs grain est directement consommé dans les fermes ou vendu aux fabricants d'aliments pour bétail (broyé et mélangé à d'autres matières premières, il entre dans la composition des farines et granulés).

En Wallonie, environ 56000 ha sont consacrées au maïs fourrager récolté plante entière. Grâce à un rendement estimé à environ 43 tonnes de masse verte à l'hectare, la production de 2011 et 2012 s'élève à environ 2411000 tonnes.

Pour la période 2000-2009, **un rendement moyen de 11,3 tonnes de maïs grain par hectare sur une superficie moyenne de 3100 ha résultent en environ 35200 tonnes de maïs grain récoltées.**

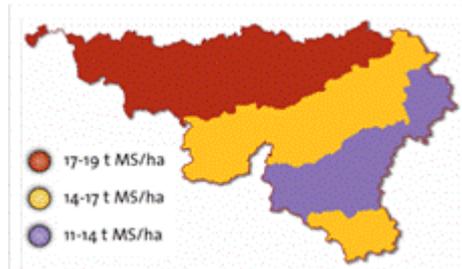


Figure 20. Carte des rendements moyens du maïs en Belgique. Source : http://www.nitrawal.be/pdf/bonnes_pratiques_agricoles.pdf

Le blé

Les utilisations du blé en Belgique dépassent la quantité qui est produite chaque année. Pour combler ce manque, la Belgique doit importer du blé à partir des pays voisins : France et Allemagne. Le blé est utilisé aussi bien en alimentation animale qu'en alimentation humaine.

Il existe deux grandes espèces de blé: le blé tendre (froment), cultivé pour le pain, les pâtisseries, ..., et le blé dur, utilisé dans la fabrication des pâtes, semoules, ... La semis a lieu d'octobre à décembre pour le froment d'hiver et de mi-février à avril pour le froment de printemps et la récolte fin juillet pour celui d'hiver et août pour celui de printemps.

La production de froment d'hiver, céréale la plus cultivée en Wallonie, est estimée à 1 091 116 tonnes en 2011.

Le **rendement moyen estimé pour la Wallonie est d'environ 83,7 quintaux (Qx ou 100 kg)/ha (8,37 t/ha)**. Il varie cependant entre 65,9 Qx/ha en région jurassique et 88,6 Qx/ha en région limoneuse.

La surface moyenne entre 2000 et 2012 est de 130 000 ha et la production moyenne de 1 100 000 tonnes.

L'orge

La production d'orge d'hiver, seconde céréale en importance, est de l'ordre de 235 096 tonnes en 2011.

Le **rendement moyen estimé pour la Wallonie s'élève à 76 Qx/ha (7,6 t/ha)** et varie entre 36,8 Qx/ha en région jurassique, 71,6 Qx/ha en Famenne et 83,7 Qx/ha en région limoneuse.

La surface moyenne entre 2000 et 2012 est de 33 800 ha et la production moyenne de 259 500 tonnes.

Les betteraves sucrières

La betterave sucrière est la première culture industrielle en termes de superficies en Wallonie.

Pour les betteraves sucrières, les superficies ensemencées sont stables dans le temps et les rendements connus à ce jour sont très moyens. On devrait atteindre les 13 tonnes de sucre à l'hectare.

Sur la période 2000-2012, la betterave sucrière occupait en moyenne 50 000 hectares. Le rendement moyen estimé pour cette période est de 713 Qx/ha (71,3 t/ha) et la production de 3 322 200 tonnes.

Les pommes de terre

En ce qui concerne la culture de pommes de terre, la surface qui y est consacrée en 2011 s'élève à 34010 ha, dont 1170 ha destinés à produire des plants de pommes de terre et 19825 ha pour les pommes de terre de conservation de la variété « Bintje », cette dernière assurant près de 60 % du volume produit. En moyenne, le rendement (de la variété « Bintje ») est d'environ 540 Qx/ha, et la production totale s'élève à 1 048 738 tonnes.

Sur la période 2000-2012, les pommes de terre couvraient en moyenne 26 500 hectares. Le rendement moyen estimé pour cette période est de 440,7 Qx/ha (44,1 t/ha) et la production à 1 048 300 tonnes.

Les prairies

Pour le calcul de la production, on prend en compte les prairies déclarées comme destinées à la fauche et, en tenant compte du nombre de coupes, on obtient une superficie de fourrages de conservation de 25 200 ha de prairies temporaires et 113 405 ha de prairies permanentes. Il est à noter que les prairies temporaires progressent de façon régulière depuis une vingtaine d'années mais elles ont été exclues du champ de la présente analyse.

Le rendement en matière sèche des prairies temporaires pour la fauche est estimé à 82,4 Qx/ha en 2011 (contre 87,7 Qx/ha en 2010). Celui des prairies permanentes pour la fauche est estimé à 53,3 Qx/ha (contre 60,2 Qx/ha en 2010). Dès lors, la production totale récoltée en 2011 s'élève à 812 493 tonnes de matière sèche.

Sur la période 2000-2012, les prairies permanentes couvraient en moyenne 344 000 hectares (108 000 ha principalement pour la fauche et 236 000 principalement pour la pâture).

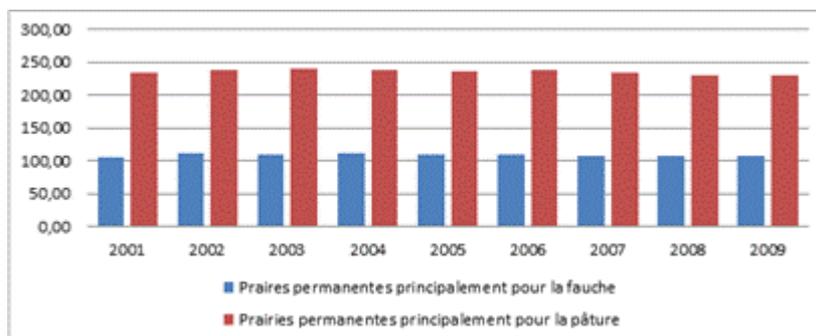


Figure 21. Superficie des prairies permanentes (1000 ha) en Wallonie. Source : Recensement agricole de mai 2001-2009.

A l'heure actuelle, les prairies sont fauchées 2 fois par an en moyenne, en juin et en août.

A. VALEURS GUIDES DE RENDEMENT (t MS/ha)					
		Fauchée	Mixte		Pâturée
			Fauche	Pâturage	
Nord Sillon Sambre et Meuse	Prairie temporaire	8 à 17	2 à 6	2 à 6	5 à 10
	total de 7 à 12				
Sud Sillon Sambre et Meuse	Prairie permanente	8 à 14	2 à 6	2 à 6	5 à 10
	total de 7 à 12				
Nord Sillon Sambre et Meuse	Prairie temporaire	7 à 15	2 à 6	2 à 6	4 à 9
	total de 6 à 11				
Sud Sillon Sambre et Meuse	Prairie permanente	7 à 13	2 à 6	2 à 6	4 à 9
	total de 6 à 11				

Figure 22. Valeurs guides de rendement des prairies (t MS/ha). Source : NitraWall, Fertilisation raisonnée en prairie, Bonnes pratiques agricoles, logiciel dégâts de gibier de Fourrages-Mieux

Les valeurs les plus élevées correspondent à des rendements maxima en conditions idéales (couche arable épaisse, pas d'adventices, pas de vides,...).

En prenant la moyenne des rendements obtenus selon l'estimation définitive de la production des cultures agricoles 2001-2011 du SPF-économie – DGSIE (ex-INS) dans les publications sur « l'évolution de l'économie agricole et horticole de la Wallonie » **on obtient un rendement de 10 et 6,5 tonnes de MS à l'hectare pour les prairies permanentes fauchées et pâturées respectivement.**

Culture	Rendement moyen (t/h)	Surface moyenne (1000 ha)	Production moyenne (1000 t)
Maïs	11,3	3,1	35,2
Blé	8,37	130	1100
Orge	7,6	33,8	259,5
Betteraves	71,3	50,0	3322,2
Pommes de terre	44,1	26,5	1048,3
Prairies permanentes pâturées	6,5	236	1534,0
Prairies permanentes fauchées	10,0	108	1080,0

Tableau 9. Rendement, surface et production moyennes par culture. Source : ICEDD, 2014.

Estimation de l'évolution des rendements en 2050

L'annexe agriculture présente une revue de la littérature concernant l'évolution des rendements en 2050. Toutes les études sur l'impact du changement climatique sur le blé et l'orge indiquent une augmentation du rendement dans le futur (si la température ne dépasse pas un certain seuil) et une diminution du rendement du maïs. Les betteraves sucrières, les pommes de terre et les prairies ont été peu étudiés.

Les données publiées dans le cadre de la recherche du projet AMICE seront utilisées pour les raisons suivantes : Les données climatiques prédites pour les prochaines années et utilisées dans les autres études ne prennent pas en compte l'augmentation de la variabilité climatique et les événements climatiques extrêmes comme les sécheresses. Il existe peu d'indications sur la fréquence, la durée et l'intensité prévues d'événements climatiques extrêmes avec le changement climatique anticipé. Toutefois, quelques travaux de recherche suggèrent que les phénomènes climatiques extrêmes pourraient augmenter dans les prochaines années, augmentant ainsi les risques climatiques pour la production agricole. Ces phénomènes climatiques extrêmes pourraient, entre autres, avoir un impact négatif sur la production. En plus, les données d'évolution du rendement utilisées dans ces études sont des données agrégées au niveau international, sur la zone Europe, au niveau national ou régional masquant des différences et spécificités de la Région wallonne potentiellement significatives.

Méthodologie et données appliquées dans le cadre du projet AMICE - Effets de la sécheresse sur le secteur agricole

La sécheresse météorologique est considérée dans cette étude, et non les étiages.

Hypothèses : les pratiques restent exactement constantes, même des adaptations spontanées et sans coût (changement de la date de semis, variétés à cycles plus longs) ne sont pas considérées.

Pour le maïs, le blé, l'orge, les betteraves sucrières et les pommes de terre

La méthode est fondée sur l'utilisation d'un modèle physique, EPIC-Grid, qui permet de calculer les rendements des cultures en contrôlant les diverses données d'entrée telles que le type de culture, le sol, la pente, et bien évidemment, les données météorologiques.

Les données liées au sol proviennent de la Base de données Européenne des sols. Les trois principales céréales cultivées dans le bassin de la Meuse sont le maïs, le blé et l'orge, selon l'étude préliminaire menée dans le cadre du projet. Les caractéristiques de ces cultures (statistiques de Wallonie) servent de référence afin de calibrer le modèle. Par ailleurs, **le calendrier technique, la rotation des cultures et les pratiques agricoles (y compris les éléments nutritifs, mais l'irrigation n'est pas prise en compte) sont considérés comme étant inchangés** pour les trois périodes de simulation (période actuelle, 2021-2050 et 2071-2100). A noter que cette hypothèse est très restrictive, puisqu'elle ne permet pas de profiter de la diminution de la saison froide et d'éviter d'être en pleine saison chaude pour floraison et remplissage des grains.

Les scénarios de changement climatique considérés sont ceux issus de l'outil de perturbations des données météorologiques CCI-HYDR. Cet outil de perturbation a été mis au point par la KUL et l'IRM spécifiquement pour la Belgique.

3 périodes sont étudiées:

- 1971-2005 (période de référence)
- 2021-2050 (période à moyen terme)
- 2071-2100 (période à long-terme)

Pour les périodes à moyen et long terme, 2 scénarios sont considérés: un scénario "High" et un scénario "Low".

Pour les prairies :

Les simulations sont réalisées pour :

- La période de référence 1970-2000 sous une concentration en CO₂ atmosphérique de 350ppm.
- La période 2020-2050 sous une concentration en CO₂ atmosphérique de 525 ppm.
- La période 2070-2100 sous une concentration en CO₂ atmosphérique de 700 ppm.

Au cours de ces périodes, la concentration en CO₂ atmosphérique sera supposée constante. Les scénarios transnationaux humides et secs développés au cours de l'action 3 du WP1 d'AMICE sont considérés pour les simulations en vue de prendre en compte la variabilité la plus large possible des scénarios de changement climatique futures, les éventuels stress en saturation survenant au début de la saison de croissance, le stress hydrique due à un manque d'eau et le stress en température.

Les simulations considèrent :

- Les pâtures sous une charge de 0.67 UGB.
- Les prairies de fauche avec une première coupe le 30/05 et une seconde coupe le 20/08.
- Les prairies de fauche tardive avec une première coupe le 15/06 et une seconde le 20/08, la première fauche a lieu plus tard dans la saison afin de favoriser la biodiversité.
- Le calendrier cultural et les doses d'amendements sont les mêmes pour les différentes régions. Seules les conditions pédoclimatiques diffèrent d'une région à l'autre.
- La fixation symbiotique par les légumineuses n'est pas considérée. La portion d'azote minéral à délivrer aux prairies est déduite de la différence entre les besoins estimés et les amendements organiques introduits par le bétail.

Évolution des rendements de maïs avec le changement climatique

Le tableau ci-après présente les conséquences des scénarios de changement climatique établis dans le cadre du projet AMICE sur les rendements de maïs dans les deux périodes étudiées.

Horizon	Scénario low	Scénario high
2021-2050	- 7%	- 14%
2071-2100	- 17%	- 28%

Tableau 10. Evolution du rendement de maïs en 2050 et 2100 en relation à la situation actuelle sous l'effet des sécheresses. Source : Projet INTERREG AMICE, 2013.

La récolte de maïs dans le bassin de la Meuse sera touchée de manière négative dans le cadre d'un scénario de changement climatique aride, en dépit de l'effet fertilisant du CO₂.

On observe une diminution du rendement moyen du maïs au cours du temps. Cette diminution est d'autant plus importante que l'horizon temporel est éloigné et que le scénario considéré est High (le scénario High considère une augmentation plus importante des températures que le scénario Low). La variabilité des rendements est également accrue.

Le maïs démarre sa croissance plus rapidement et arrive à maturité plus tôt dans la saison suite à l'augmentation des températures. Il a donc moins de temps pour accumuler de la biomasse. Les stress thermique et hydrique survenant en été seront plus prononcés dans le futur.

Le maïs est une plante au métabolisme en C4, ce qui freine la valorisation du CO₂ atmosphérique en termes à la fois de photosynthèse et de fermeture stomatique par rapport aux plantes en C3 comme le blé. Par ailleurs, son cycle d'été est uniquement piloté par la température, ce qui le rend très sensible au raccourcissement de la durée de ses phases induit par le réchauffement.

La baisse des rendements de maïs est d'environ 14% pour le milieu du 21^{ème} siècle dans la situation moins optimale (scénario high).

La monoculture de maïs grain sera très défavorisée par le changement climatique, en particulier dans les zones actuelles de production. La première raison est le positionnement estival de son cycle de culture qui, sans changement variétal, engendre des raccourcissements de la période de remplissage des grains, provoquant des baisses de rendement. La seconde raison est l'augmentation du déficit hydrique climatique.

Évolution des rendements de blé

Le blé est une culture majeure des rotations de grandes cultures. Son cycle long, sa large gamme de dates de semis et sa relative tolérance aux milieux dégradés en font une culture facile à implanter et valorisant bien une grande diversité de milieux ; sa sensibilité à l'échaudage hydrique et thermique limite néanmoins son extension. Au plan phytosanitaire, le blé est sujet à de nombreuses maladies fongiques telluriques (piétins verse et échaudage) et foliaires (principalement septoriose, rouilles et fusarioses) qui affectent fréquemment le rendement et la qualité technologique, sanitaire et nutritionnelle des récoltes. Il est, par ailleurs, sensible à l'excès d'eau et ses besoins en azote sont élevés.

Les tableaux suivants présentent l'évolution des rendements de blé et d'orge, qui suivent plus ou moins les mêmes tendances face au changement climatique.

Horizon	Scénario low	Scénario high
2021-2050	+ 9%	+ 3%
2071-2100	+ 14%	+ 7%

Tableau 11. Evolution du rendement de blé en 2050 et 2100 en relation à la situation actuelle sous l'effet des sécheresses. Source : Projet INTERREG AMICE, 2013.

Évolution des rendements d'orge

Horizon	Scénario low	Scénario high
2021-2050	+ 16%	+ 13%
2071-2100	+ 22%	+10%

Tableau 12. Evolution du rendement d'orge en 2050 et 2100 en relation à la situation actuelle sous l'effet des sécheresses. Source : Projet INTERREG AMICE, 2013.

Le blé et l'orge ont des comportements similaires et sont touchés de manière positive par le changement climatique. Cette augmentation est d'autant plus importante que l'horizon temporel est éloigné et que le scénario considéré est Low.

Alors que la variabilité des rendements de blé s'accroît dans le futur, les résultats sont moins marqués pour les cultures d'orge.

L'augmentation du rendement de blé est de 3% pour le milieu du 21^{ème} siècle et atteint 7% à la fin du siècle dans le scénario high.

L'augmentation du rendement d'orge est de 13% pour le milieu du 21^{ème} siècle et atteint 10% pour la fin du siècle dans le scénario high.

Pour le blé, culture à cycle long, moyennement sensible au stress hydrique estival, l'augmentation de température permet une anticipation des stades et un raccourcissement du cycle qui limitent un certain nombre de stress : gel d'épis, stress hydrique pendant la montaison en sol profond, montaison raccourcie sans affecter le rayonnement disponible. Cet ensemble d'avantages permet, en tendance, une augmentation du nombre de grains pour un grand nombre de sites. De plus, les maladies fongiques tendent à diminuer dans le futur proche et lointain (Livre vert – projet CLIMATOR 2012, France). En effet, la diminution globale des pluies et des durées d'humectation va dans le sens d'une diminution du potentiel d'infection et de la dispersion des principales maladies actuelles, et ce malgré l'augmentation de température. Couplée à la diminution des excès d'eau hivernaux, cette amélioration sanitaire potentielle rend envisageable la culture du blé de façon plus systématique. Cependant, si l'avancée des stades dans l'année permet un certain évitement des stress tardifs lors du remplissage des grains, le confort hydrique de la culture diminue avec le changement climatique et les risques d'échaudage augmentent.

Évolution des rendements de betterave

Horizon	Scénario low	Scénario high
2021-2050	- 30%	- 31%
2071-2100	- 58%	- 57%

Tableau 13. Evolution du rendement des betteraves sucrières en 2050 et 2100 en relation à la situation actuelle sous l'effet des sécheresses. Source : Projet INTERREG AMICE, 2013.

On observe une diminution du rendement de la betterave au cours du temps. Cette diminution est d'autant plus importante que l'horizon temporel est éloigné et que le scénario considéré est Low. La variabilité des rendements de la betterave est par contre diminuée.

La diminution du rendement des betteraves sucrières est de 31% pour le milieu du 21^{ème} siècle et atteint 57% pour la fin du siècle dans le scénario high.

En Belgique, la culture de la betterave est intégrée dans un cycle de rotation comprenant généralement la culture de la betterave, suivie de blé, d'une autre tête de rotation telle que la pomme de terre puis du blé avant de recommencer avec la betterave (Bodson, 2012). La betterave a une demande absolue en eau qui s'élève de 300 à 500 mm de précipitations par ha et par an, sans quoi le rendement de production chute. La betterave sucrière est ainsi une culture sensible au stress hydrique. Le stress hydrique, combiné à une croissance trop rapide (en raison de la chaleur) pénalisera le rendement des betteraves sucrières à la moitié du siècle.

Évolution des rendements de pommes de terre

Horizon	Scénario low	Scénario high
2021-2050	- 20%	- 26%
2071-2100	- 41%	- 48%

Tableau 14. Evolution du rendement des pommes de terre en 2050 et 2100 en relation à la situation actuelle sous l'effet des sécheresses. Source : Projet INTERREG AMICE, 2013.

On observe une diminution du rendement moyen de la pomme-de-terre au cours du temps. Cette diminution est d'autant plus importante que l'horizon temporel est éloigné et que le scénario High est considéré. La variabilité des rendements est diminuée.

La diminution du rendement des pommes de terre est de 26% pour le milieu du 21^{ème} siècle et atteint 48% pour la fin du siècle dans le scénario high.

Au cours du siècle l'on observera une élévation de la température. Étant donné que les plantes produisent moins de tubercules quand la température dépasse 17 °C, il se pourrait que le réchauffement entraîne une baisse de rendement des variétés de pommes de terre cultivées aujourd'hui dans des conditions proches des limites supérieures de température tolérées par la culture, baisse qui ne serait pas compensée par l'élévation des niveaux de dioxyde carbone. En plus, la pomme de terre est une culture très sensible au stress hydrique.

Évolution des rendements des prairies avec le changement climatique

Trois variables climatiques majeures modifiées par le changement climatique ont un impact significatif sur la physiologie des plantes : la concentration en CO₂ de l'air, la température et la quantité d'eau disponible pour la culture. Le régime de pousse de l'herbe va être modifié, avec une production plus abondante en automne et au printemps, alors qu'elle sera déficitaire en été.

Horizon	Scénario low	Scénario high
2021-2050*	- 3%	- 4%
2071-2100	- 6%	- 7%

*Estimation sur base de communications avec les experts du projet AMICE.

Tableau 15. Evolution du rendement des prairies en 2050 et 2100 en relation à la situation actuelle sous l'effet des sécheresses. Source : Projet INTERREG AMICE, 2013.

Selon les scénarios climatiques communs à tous les partenaires du projet AMICE (scénario commun transnational AMICE), à moyen terme, les prairies sont plus favorisées par le scénario de changement climatique sec qu'humide alors qu'à la fin du 21^{ème} siècle, la tendance opposée est observée. Ceci peut être expliqué par le fait que la température optimale de croissance des prairies est atteinte puis dépassée au cours du siècle. Pour la période 2020-2050, le scénario sec est très proche de la température optimale, alors que pour la période 2070-2100, le scénario sec la dépasse largement. Ceci est en partie dû au fait que le scénario sec génère des températures plus élevées (si cela est avantageux pour la moitié du 21^{ème} siècle, ça ne l'est plus à la fin du siècle où la température optimale de croissance est fortement dépassée durant les mois d'été).

L'étude de l'indice de développement foliaire permet de constater que la prairie démarre sa croissance plus rapidement au printemps qu'à l'heure actuelle mais qu'elle est sujette à des stress plus intenses en période estivales suite à l'augmentation des températures et à la diminution des précipitations. Les rendements sont améliorés pour la première fauche grâce aux conditions climatiques plus favorables rencontrées au printemps.

Le scénario belge CCI-HYDR, appliqué au bassin versant de la Vesdre, conduit à des résultats différents (ceci illustre toute l'importance de la prise en compte de la chaîne entière de modélisation et des hypothèses inhérentes aux différentes étapes). Dans cette application, les scénarios considérés sont les scénarios obtenus à l'aide de l'outil de perturbation des données météorologiques CCI-HYDR. Cet outil a été conçu spécialement pour évaluer l'impact du changement climatique en Belgique pour la fin du 21^{ème} siècle. Les scénarios étudiés sont les scénarios humide et sec 2071-2100.

Sous les scénarios de changement climatiques CCI-HYDR, les rendements annuels de la prairie évoluent de la manière suivante :

- Pour la période 1971-2000, le rendement moyen annuel est de 13.24 t/ha (à noter que le rendement estimé par le projet AMICE sous le climat actuel est supérieur au rendement publié par les statistiques),
- Pour la période 2071-2100 humide, le rendement moyen annuel est de 12.49 t/ha,
- Pour la période 2071-2100 sec, le rendement moyen est de 12.34 t/ha.

Il apparaît que sous les scénarios de changement climatique CCI HYDR et dans le contexte du bassin versant de la Vesdre, les rendements des prairies diminuent pour les deux scénarios à l'horizon 2070-2100. Temporellement, on peut voir que la première fauche est favorisée alors que la seconde est pénalisée.

Sous les scénarios de changement climatique, l'augmentation des températures en début de saison est un avantage pour la culture, par contre au cours de l'été celle-ci est pénalisante. Ceci est d'autant plus vrai pour le scénario humide où l'augmentation des températures est plus importante. Sous le scénario transnational AMICE, la tendance opposée était observée, à savoir, une augmentation plus importante des températures estivales sous le scénario sec. La période au cours de laquelle la gamme de températures est optimale est plus importante pour les scénarios futurs qu'à l'heure actuelle, ce qui implique une période de végétation plus longue.

L'augmentation des précipitations printanières apparaît être une bonne chose pour la prairie. Par contre les stress hydriques sont très importants en période estivale, et pénalisent la croissance de la prairie, sous les scénarios CCI-HYDR futurs.

Impact sur le volume de production des cinq cultures et des prairies

Pour l'estimation de la baisse/augmentation de la production des cinq cultures et des prairies les données du projet AMICE (variation des rendements en 2050 selon le scénario aride/high en %) et d'Eurostat (rendements, surface et production moyens des cinq cultures) ont été utilisées. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après.

Culture	Rendement en 2050 (tonnes/ha)	Surface (moyenne 2000-2012, 1000 ha)	Volume de production (moyenne 2000-2012, 1000 tonnes)	Volume de production en 2050 (1000 tonnes)	Baisse ou augmentation de la production en 2050 (1000 tonnes)
Maïs	9,7	3,1	35,2	30,1	-5,1
Blé	8,6	130,0	1100,0	1120,7	20,7
Orge	8,6	33,8	259,5	290,3	30,8
Betteraves	49,2	50,0	3322,2	2459,9	-862,4
Pommes de terre	32,6	26,5	1048,3	864,8	-183,5
Pâtures permanentes	6,2	236,0	1534,0	1472,6	-61,4
Prairies permanentes de fauche	9,6	108,0	1080,0	1036,8	-43,2

Tableau 16. Baisse ou augmentation de la production des cultures en 2050 sous l'effet des sécheresses. Source : ICEDD, 2014.

Traduction en termes monétaires

Deux méthodes de quantification des coûts peuvent être utilisées pour les cinq cultures :

- Les données de production de maïs, de blé et d'orge en Wallonie (ex. moyenne 2001-2012) sont multipliées par les pertes/gains en rendement obtenus dans le projet européen de recherche AMICE pour obtenir la production de ces cultures en 2050. Les volumes de production obtenus sont traduits en termes de coûts (ou gains) monétaires à partir de données sur les prix moyens de vente des productions agricoles pour évaluer l'impact sur le chiffre d'affaire des agriculteurs en Wallonie. Les coûts des changements climatiques sur le secteur agricole wallon sont ainsi mesurés simplement par l'évaluation des pertes/gains associées à la baisse/augmentation de la production en 2050 avec l'hypothèse que les impacts sur la production ou la consommation sont marginaux et n'engendrent pas de variation dans le prix des produits mis sur le marché.
- En multipliant la baisse/augmentation de production anticipée pour chacune des périodes par le prix du produit/culture. Comme la baisse de production peut aussi engendrer une baisse du coût de production, on soustrait cette baisse du coût de production du revenu, de façon à ne considérer que les avantages perdus/gagnés. Ainsi, cette méthode implique de déterminer une marge bénéficiaire pour chaque unité produite et de multiplier cette marge par la variation estimée de la production suite aux changements climatiques.

Si la prairie est de loin la première culture en Région wallonne, c'est parce qu'elle fournit l'aliment le plus économique et le plus facile à produire pour les bovins et les ruminants en général, c'est à dire l'herbe. Durant la bonne saison, les animaux prélèvent eux-mêmes leur nourriture en prairie, c'est le pâturage. Pendant les mois d'hiver, elle est apportée aux animaux sous différentes formes telle que le foin ou l'ensilage. Pour l'alimentation des animaux, la prairie doit produire des fourrages de qualité mais également en quantité. Alors que la production d'herbe est importante pour l'exploitation agricole, il n'existe que peu de commerce autour de celle-ci. En effet, dans la grande majorité des cas, les fourrages produits sur l'exploitation y sont également consommés. De ce fait, il est difficile de donner une valeur économique à l'herbe quand d'autres cultures (céréales, betteraves, pommes de terre) présentent des rentrées d'argent bien établies. En conséquence, le chiffrage du coût de l'impact sur les prairies est réalisé en utilisant le prix de l'herbe intégré au « logiciel dégâts de gibier » de la Région wallonne.

A titre d'illustration, une autre méthode d'estimation des coûts est présentée pour les prairies en annexe. Il s'agit principalement de réaliser une estimation du coût d'achat (ou de vente) de fourrages permettant de maintenir la production à un niveau stable. L'hypothèse utilisée est le maintien de l'activité de production et de transformation des produits animaux. A cette fin, il est alors nécessaire de s'approvisionner en fourrage externe (achats) ou vendre l'excédent (ventes) pour compenser la baisse/augmentation des rendements.

Les résultats de l'analyse montrent l'impact sur les récoltes agricoles, sur le chiffre d'affaires du secteur et sur le revenu agricole correspondant en Wallonie.

Le tableau suivant présente les données sur les prix de vente et les marges brutes disponibles pour les cinq cultures et les prairies.

Culture	Prix moyen de vente (euros/tonne)	Marge brute moyenne (euros/ha)
Maïs	133,0	ND
Blé	139,0	946,0
Orge	127,0	755,0
Betteraves	40,0	1542,0
Pommes de terre	114,0	2165,0
Prairies permanentes	117,0	NA

Tableau 17. Prix de vente moyen et marges brutes des cultures. Source : ICEDD sur base des statistiques européennes et wallonnes, 2014

Impact sur le chiffre d'affaires du secteur agricole

Une évaluation financière des dommages et des gains est présentée ci-après en utilisant les prix moyens des cultures. Ceux-ci ont été fournis par EUROSTAT pour chaque type de culture et pour chaque pays sauf pour les prairies qui utilisent le prix de l'herbe intégré au « logiciel dégâts de gibier » de la Région wallonne. Il convient de remarquer que l'évolution des prix à l'avenir n'est pas prise en compte dans cette étude.

Culture		Période actuelle	2021-2050	2071-2100
Maïs	Rendement (t/ha)	11,3	9,7	8,1
	Revenu (€/ha)	1503	1292	1082
Blé	Rendement (t/ha)	8,37	8,6	9,0
	Revenu (€/ha)	1163	1198	1086
Orge	Rendement (t/ha)	7,6	8,6	8,4
	Revenu (€/ha)	965	1091	1062
Betteraves sucrières	Rendement (t/ha)	71,3	49,2	30,7
	Revenu (€/ha)	2852	1968	1226
Pommes de terre	Rendement (t/ha)	44,1	32,6	22,9
	Revenu (€/ha)	5027	3720	2614
Pâturages	Rendement (t/ha)	6,5	6,2	6,0
	Revenu (€/ha)	761	730	707
Prairies de fauche	Rendement (t/ha)	10	9,6	9,3
	Revenu (€/ha)	1170	1123	1088

Tableau 18. Impact relatif des sécheresses sur les cultures wallonnes en 2050 et 2100. Source : ICEDD, 2014.

Culture	Prix de vente (moyenne 2001-2012, euros par tonne)	Baisse ou augmentation de la production en 2050 (1000 tonnes)	Impact sur le chiffre d'affaires (Million d'euros)
Maïs	133	-5,1	-0,7
Blé	139	20,7	2,9
Orge	127	30,8	3,9
Betterave	40	-862,4	-34,5
Pommes de terre	114	-183,5	-20,9
Prairies permanentes pâturées	117	-61,4	-7,2
Prairies permanentes fauchées	117	-43,2	-5,1

Tableau 19. Impact des sécheresses sur le chiffre d'affaires des cultures wallonnes en 2050. Source : ICEDD, 2014.

Impact sur le revenu des agriculteurs wallons

Une évaluation financière des dommages et des gains est présentée ci-après en utilisant la marge brute des cultures. Ceux-ci ont été fournis par la publication « Performances et rentabilité en agriculture wallonne (années 2007 à 2011), 2013 » pour chaque type de culture à l'exception du maïs et des prairies.

Culture	Marge brute (moyenne 2007-2011, euros par hectare)	Baisse ou augmentation de la production en 2050 (1000 tonnes)	Impact sur le revenu des agriculteurs en 2050 (Million d'euros)
Blé	946	20,7	2,3
Orge	755	30,8	2,7
Betterave	1542	-862,4	-27,0
Pommes de terre	2165	-183,5	-12,2

Tableau 20. Impact des sécheresses sur le revenu des cultures wallonnes en 2050. Source : ICEDD, 2014.

QUANTIFICATION DES IMPACTS SUR LE RENDEMENT EN SEDIMENTS EN WALLONIE

Situation actuelle

Les inondations et les précipitations sont à l'origine de pertes de terre pour les sols situées en amont dans les bassins versants. Cette perte de sol est quantifiée en termes de tonnes de sol perdues par hectare et par an. La diminution de l'épaisseur du sol conduit à une diminution de sa fertilité, la terre fine riche en éléments fertilisants et en matière organique étant transportée en aval, formant ainsi des coulées boueuses destructrices. De plus, les déplacements de matière liés au ruissellement conduisent à une hétérogénéisation des parcelles. Les éléments fins et les matières organiques sont entraînés vers l'aval. De même, les eaux de ruissellement provenant des terres agricoles entraînent des produits de traitement et engrais provoquant un surdosage dans les parcelles en aval, ou des problèmes de phytotoxicité en bout de champ ou dans les parcelles sous-jacentes.

Une étude récente du JRC (Bosco et al., 2012) indique que la moyenne du taux de perte de sol par érosion hydrique dans l'EU-27 est estimée à 2,76 t/ha/an.

En 2005, la perte moyenne en sol s'élevait à 2,9 t/ha en Wallonie²⁰ (Projet INTERREG Dairyman, 2011). Ce sont les sols limoneux et sablo-limoneux, localisés au nord de la région qui sont les plus sensibles à l'érosion. Les pertes en sol sont également importantes, de manière localisée, en région jurassique, où certains sols argileux peu perméables favorisent le ruissellement de l'eau. Le type de culture implantée influence également l'érosion du sol. Ainsi, en prairies, l'érosion du sol est quasiment nulle contrairement aux parcelles sur lesquelles des monocultures de maïs sont réalisées.

²⁰ Il s'agit d'une valeur moyenne issue de la modélisation. Cette dernière peut donc ne pas refléter de façon exacte des situations ponctuelles plus problématiques sur le terrain.

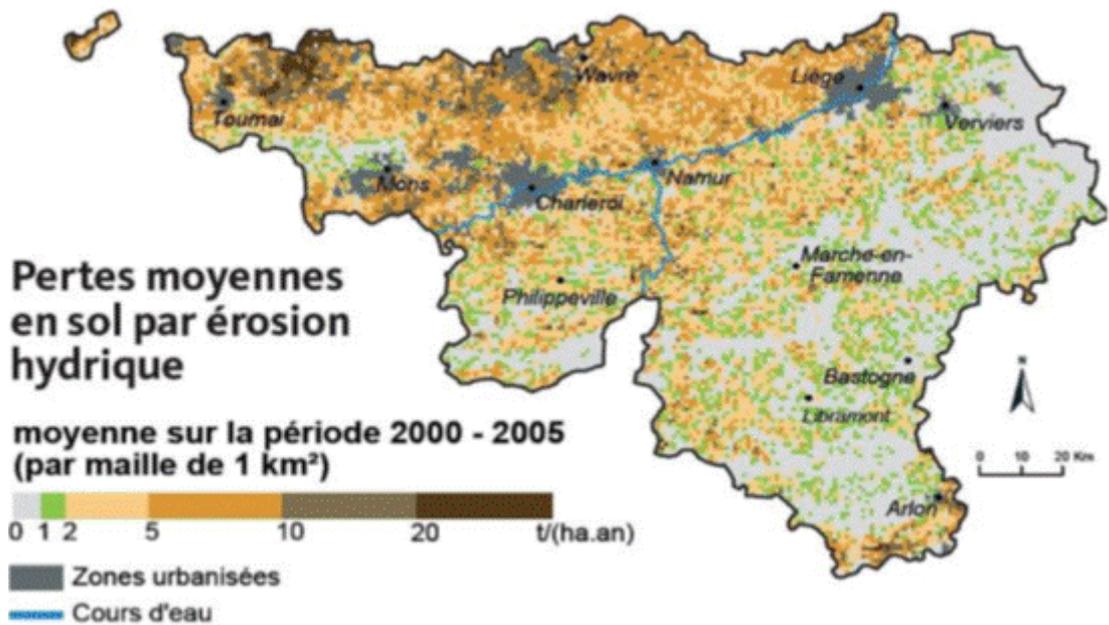


Figure 23. Pertes moyennes en sol sur la période 2000-2005 en Région wallonne. Source : Tableau de bord de l'environnement wallon, 2008 –FUSAGx-UHAGx (modèle EPICgrid)

Depuis 1971, les pertes en sol connaissent une augmentation importante malgré de fortes variations interannuelles, dues principalement à des fluctuations climatiques (l'érosivité des pluies, par exemple). Cette augmentation est causée majoritairement par une hausse des aléas climatiques et des surfaces occupées par des cultures sarclées (maïs, pommes de terre, etc.) qui sont peu couvrantes au printemps, lorsque les pluies sont les plus érosives. La diminution généralisée des teneurs en matière organique des sols constitue également, mais dans une moindre mesure, un facteur explicatif.

Les causes de l'aggravation de l'érosion des terres agricoles observées ces dernières années sont multiples :

- changements climatiques : augmentation du nombre de jours de très forte précipitation,
- évolution du parcellaire agricole, notamment augmentation de la taille des parcelles,
- évolution des pratiques agricoles : types de cultures et rotations, travail du sol, orientation des sillons, traces de roues etc.
- disparition d'éléments du paysage au rôle anti-érosif,
- imperméabilisation croissante des sols, causée essentiellement par l'extension de l'urbanisation.

Les modèles mathématiques permettent actuellement d'évaluer le taux d'érosion à l'échelle d'une parcelle, ou d'un ensemble de parcelles, de quantifier ce qui arrive aux cours d'eau. Dans le cadre du projet « Pirene » financé par le Gouvernement wallon, le modèle « EPICgrid » permet ces différentes évaluations, que ce soit à l'échelle de la parcelle agricole, d'un bassin versant ou de toute la Région wallonne.

Sur cette base, en Région wallonne, le flux solide parvenant aux cours d'eau sur trente années (1970 à 2000) est estimé à en moyenne 600.000 tonnes annuelles, soit 0,4 kg par hectare et par an ce qui correspond à environ 0,1 mm d'épaisseur de sol de terres de cultures.

Estimation de l'impact en 2050

L'impact indirect de la perte en sols suite au changement climatique sur l'agriculture en 2050 est présenté ci-après. Dû au manque de données et de méthodes nécessaires à la traduction monétaire de l'impact, seulement une quantification en termes physiques est présentée.

Dans le cadre du projet AMICE et l'utilisation du modèle de la KUL appliqué à la Belgique, les pertes en sol suite au changement climatique sont estimées pour le milieu et la fin du siècle pour 3 bassins versants wallons.

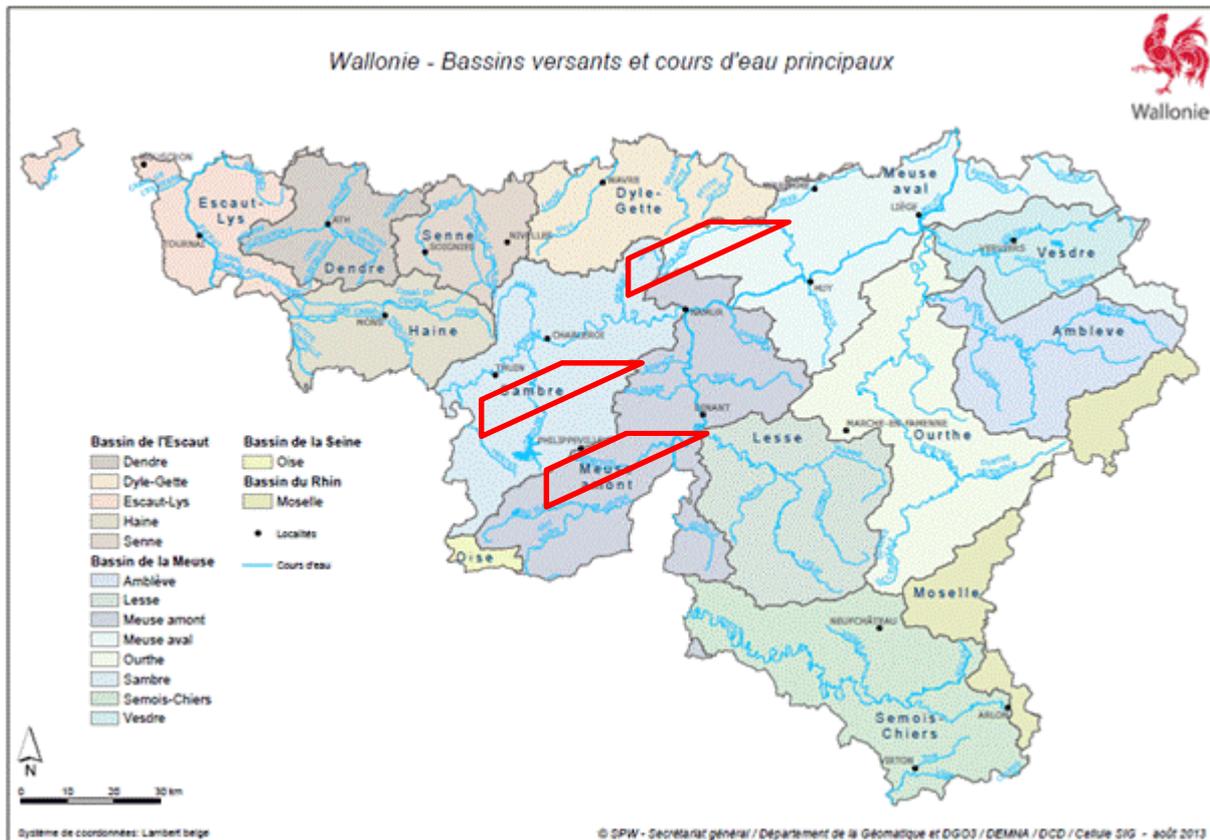


Figure 24. Bassins de l'Hermeton à Hastière, de la Thyria à Thy-le-Château et de la Mehaigne à Upigny. Source : SPW, 2013.

Le rendement en sédiments c.-à-d. la quantité de sédiments perdue vers le cours d'eau est estimée, en moyenne pour la période climatique 1971-2010 et pour des conditions d'occupation du sol et de pratiques agricoles actuelles, à :

- 0.26 t/ha.an pour le bassin de l'Hermeton à Hastière ;
- 0.25 t/ha.an pour le bassin de la Thyria à Thy-le-Château ;
- 0.35 t/ha.an pour le bassin de la Mehaigne à Upigny.

L'impact combiné des scénarios de changements climatiques et d'une modification de l'occupation du sol sur le rendement en sédiments est présenté dans les figures ci-après pour le bassin versant de l'Hermeton à Hastière, pour le bassin versant de la Thyria à Thy-le-Château et pour le bassin de la Mehaigne à Upigny.

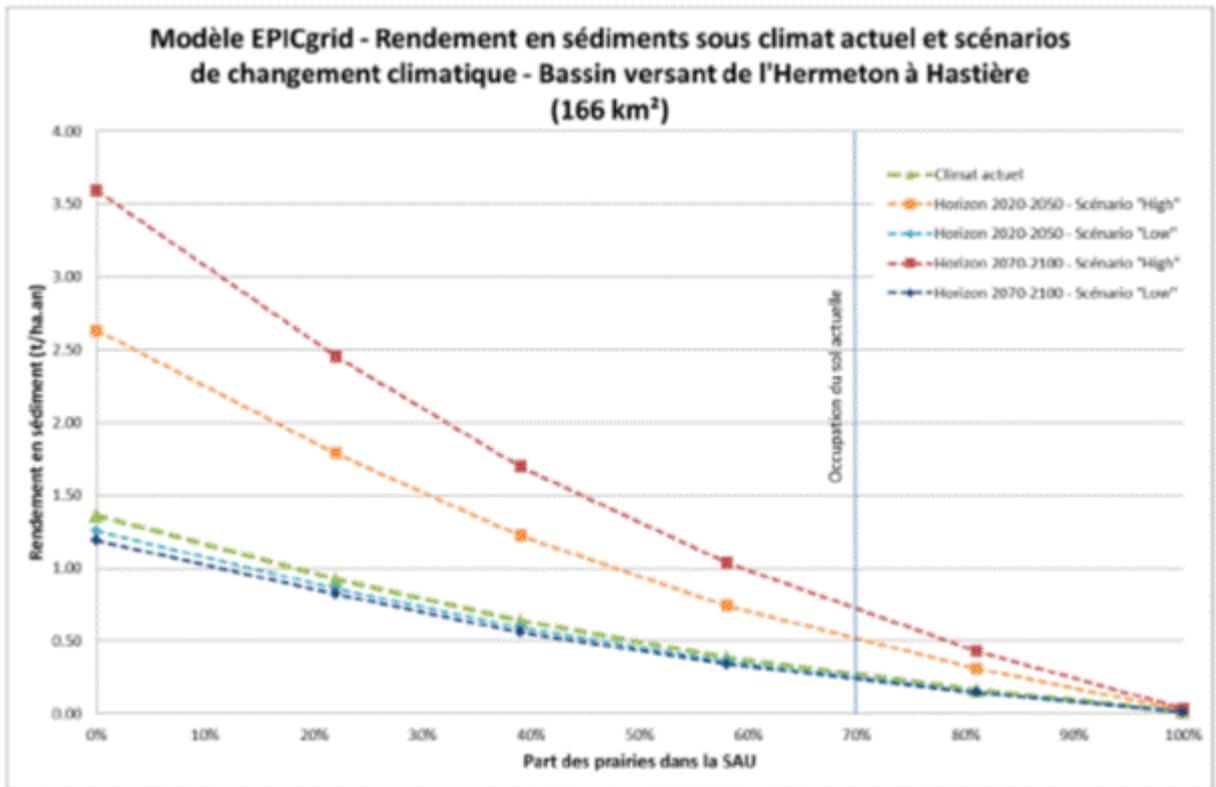


Figure 25. Modèle EPICgrid – Rendement en sédiments sous climat actuel et scénarios de changement climatique – Bassin versant de l'Hermeton à Hastière (166 km²). Source : Projet AMICE, 2013.

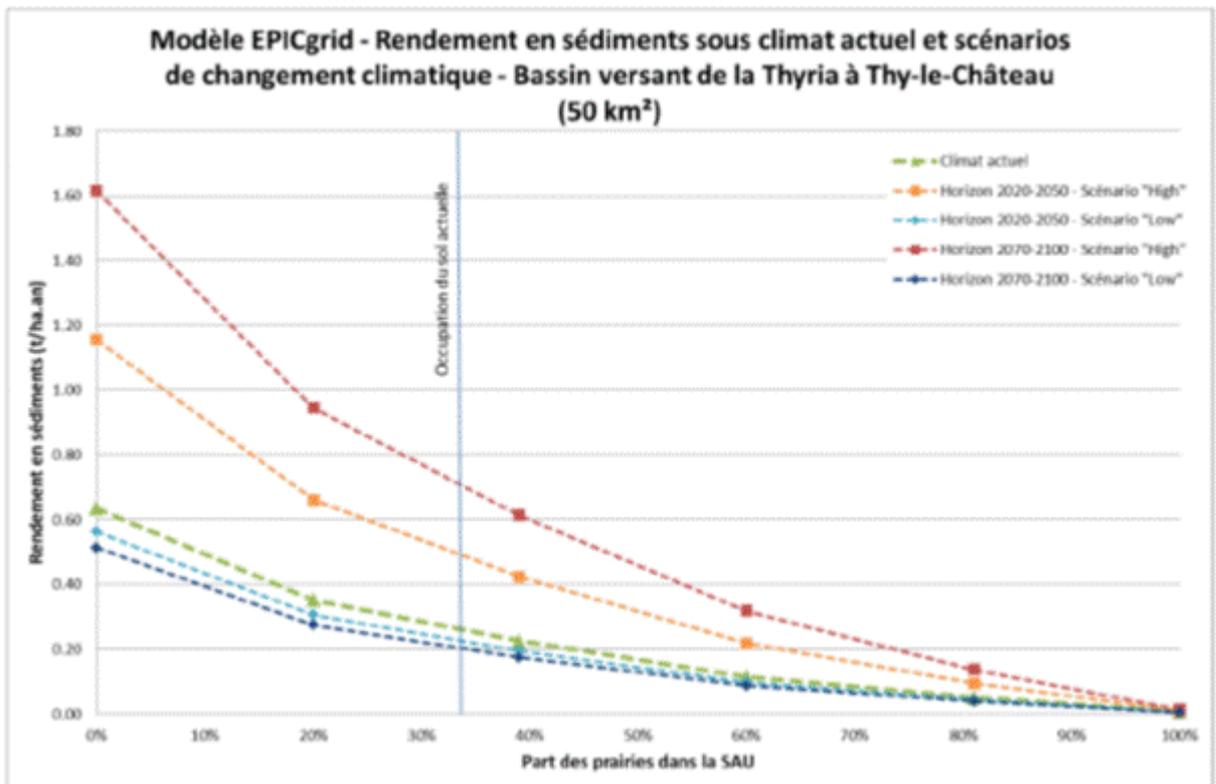


Figure 26. Modèle EPICgrid – Rendement en sédiments sous climat actuel et scénarios de changement climatique – Bassin versant de la Thyria à Thy-le-Château (50 km²). Source : Projet AMICE, 2013.

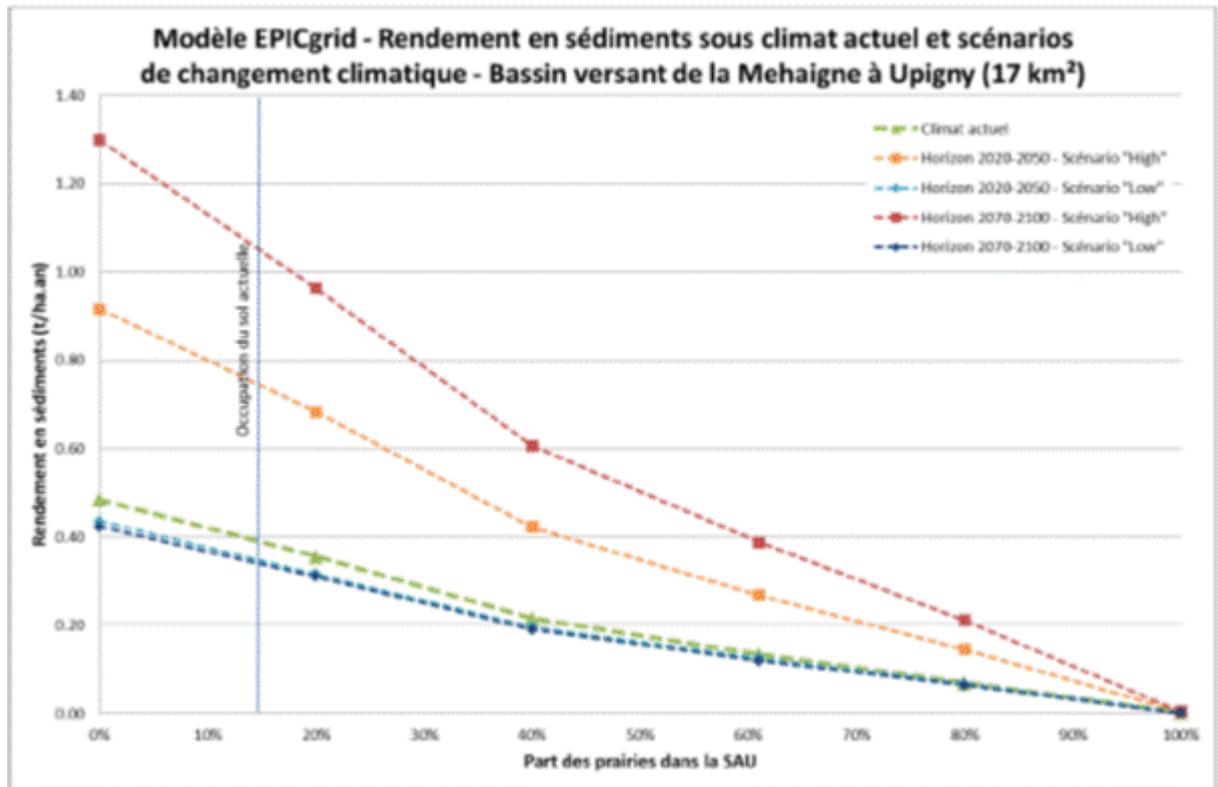


Figure 27. Modèle EPICgrid – Rendement en sédiments sous climat actuel et scénarios de changement climatique – Bassin versant de la Mehaigne à Upigny (17 km²). Source : Projet AMICE, 2013.

Pour les 3 bassins versants, on observe :

- un rendement en sédiments qui croît lorsque la part de la SAU occupée par les cultures augmente; l'effet combiné du changement climatique et d'une modification d'occupation du sol sur l'hydrologie des bassins versants montre qu'une augmentation des prairies au sein de la SAU des bassins versants permet de tempérer les impacts hydrologiques engendrés par les différents scénarios de changement climatique, particulièrement en termes de rendements en sédiments.
- un impact relativement faible du scénario climatique « Low » sur le rendement en sédiments, et ce, quelle que soit la proportion cultures / prairies au sein de la SAU ;
- pour le scénario climatique « High », des rendements en sédiment beaucoup plus importants que ceux évalués pour le climat actuel et d'autant plus important que l'horizon temporel est éloigné.

Pour une occupation du sol inchangée, les rendements en sédiments des 3 bassins versants seraient multipliés par 2 et 2.7 pour le scénario climatique « High », horizons 2021-2050 et 2071-2100 respectivement.

En extrapolant ces résultats à l'ensemble de bassins versants wallons et à l'ensemble de la Wallonie, les pertes en sols à l'horizon 2050 seraient d'environ 6 t/ha.an en moyenne, c-à-d., le double de pertes que dans la situation actuelle.

LE COÛT DE L'INACTION SUR L'AGRICULTURE

SECTEUR	AGRICULTURE
Descriptif de l'impact	
Modification du rendement de 5 cultures (maïs, blé, orge, betteraves sucrières et pommes de terre) et des prairies permanentes wallonnes et modification du rendement en sédiments.	
Cadre de l'analyse	
<p>Quantification physique et monétaire de l'impact sur la production du produit brut à partir de données sur le rendement en 2050 de la littérature (projet AMICE avec modélisation climatique et hydrologique régionale). Six types de production agricoles sont retenus pour des questions de représentativité et de disponibilité de données : le blé, le maïs, l'orge, les betteraves sucrières, les pommes de terre et les prairies permanentes.</p> <p>Quantification physique de la perte en sols.</p>	
Méthode	
<p>Le travail d'évaluation se base sur une analyse bibliographique, complétée par des entretiens avec des experts. La méthode générale de quantification est la suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dans une première étape, l'évolution des rendements est obtenue à partir de la littérature (projet AMICE). • Dans une seconde étape, ces résultats sont traduits en termes monétaires, à partir de données de prix moyens de vente actuels (conformément à l'hypothèse d'économie constante) et des marges brutes moyennes. <p>Hypothèses principales :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schémas de culture inchangés : pas de changement dans l'évolution des sols, même surfaces cultivées par culture (ne prend pas en compte une évolution possible), mêmes pratiques agricoles. • Non prise en compte des facteurs externes : influence des modifications législatives, de l'organisation des structures agricoles. • Prix fixés (qui n'évoluent pas en fonction de facteurs externes). 	
Quantification de l'impact physique : Baisse/augmentation de la production annuelle pendant la période 2021-2050	
<p>Afin d'obtenir des résultats en termes d'impact physique, les évolutions de rendements ont tout d'abord été traduits en évolution des volumes de production en utilisant les statistiques d'Eurostat et le recensement agricole pour la Région wallonne. Les données utilisées ici sont les moyennes sur 2000-2012.</p>	

Culture	Rendement en 2050 (tonnes/ha)	Surface (moyenne 2000-2012, 1000 ha)	Volume de production (moyenne 2000-2012, 1000 tonnes)	Volume de production en 2050 (1000 tonnes)	Baisse ou augmentation de la production en 2050 (1000 tonnes)
Maïs	9,7	3,1	35,2	30,1	-5,1
Blé	8,6	130,0	1100,0	1120,7	20,7
Orge	8,6	33,8	259,5	290,3	30,8
Betteraves	49,2	50,0	3322,2	2459,9	-862,4
Pommes de terre	32,6	26,5	1048,3	864,8	-183,5
Pâtures permanentes	6,2	236,0	1534,0	1472,6	-61,4
Prairies permanentes de fauche	9,6	108,0	1080,0	1036,8	-43,2

Traduction en termes monétaires

Données d'entrée

Rendement en 2050 en % du rendement actuel et évolution correspondante des revenus par type de culture. Les prix de vente des produits agricoles obtenus à partir des statistiques publiées par Eurostat pour la Belgique (pour les pays voisins en ce qui concerne le maïs) et le prix de l'herbe en Wallonie sont utilisés, sur base d'une moyenne des prix pour les années 2001-2012, afin de tenir compte au mieux de la forte volatilité des prix. Les prix considérés dans cette analyse sont les suivants : 132,8 € / tonne pour le maïs ; 139,0 € / tonne pour le blé tendre ; 126,9 € / tonne pour l'orge ; 33,44 € / tonne pour les betteraves sucrières ; 114 € / tonne pour les pommes de terre et 117 € / tonne pour l'herbe des prairies permanentes.

Résultats (Estimation des coûts des impacts):

Culture	Prix de vente (moyenne 2001-2012, euros par tonne)	Baisse ou augmentation de la production en 2050 (1000 tonnes)	Impact sur le chiffre d'affaires (Million d'euros)
Maïs	133	-5,1	-0,7
Blé	139	20,7	2,9
Orge	127	30,8	3,9
Betterave	40	-862,4	-34,5
Pommes de terre	114	-183,5	-20,9
Pâturages	117	-61,4	-7,2
Prairies de fauche	117	-43,2	-5,1

Notons à nouveau que ces résultats ne constituent pas des prévisions de l'évolution du secteur agricole wallon. Ils se basent sur des hypothèses lourdes et comportent des limites importantes, évoquées tout au long de ce rapport. Par ailleurs, couvrant des zones géographiques réduites et établis selon des méthodes d'évaluation différentes, ils n'ont pas vocation à être comparés ou agrégés.

Coût relatif				
Culture		Période actuelle	2021-2050	2071-2100
Maïs	Rendement (t/ha)	11,3	9,7	8,1
	Revenu (€/ha)	1503	1292	1082
Blé	Rendement (t/ha)	8,37	8,6	9,0
	Revenu (€/ha)	1163	1198	1086
Orge	Rendement (t/ha)	7,6	8,6	8,4
	Revenu (€/ha)	965	1091	1062
Betteraves sucrières	Rendement (t/ha)	71,3	49,2	30,7
	Revenu (€/ha)	2852	1968	1226
Pommes de terre	Rendement (t/ha)	44,1	32,6	22,9
	Revenu (€/ha)	5027	3720	2614
Pâturages	Rendement (t/ha)	6,5	6,2	6,0
	Revenu (€/ha)	761	730	707
Prairies de fauche	Rendement (t/ha)	10	9,6	9,3
	Revenu (€/ha)	1170	1123	1088
Type de coût	Coût direct marchand			
Public cible	Agriculteurs et finances publiques si subsides			

Limites et incertitudes

Les données climatiques prédites pour les prochaines années et utilisées dans le projet AMICE **ne prennent pas en compte l'augmentation de la variabilité climatique et les événements climatiques extrêmes** comme les vagues de froid intense et le verglas. Ces phénomènes climatiques extrêmes pourraient, entre autres, avoir un impact négatif sur la possibilité de production d'espèces à long cycle d'établissement telles que les arbres fruitiers. **L'hypothèse que les pratiques restent exactement constantes, même des adaptations spontanées et sans coût (changement de la date de semis, variétés à cycles plus longs) ne sont pas considérées, rend les résultats plutôt pessimistes, ce qui explique pour partie les différences aussi importantes entre cultures qui sont obtenues.** De façon générale, on peut prévoir que toutes les espèces qui sont limitées dans leur croissance et leur développement par la température devraient donner des rendements plus élevés avec le changement climatique. Il ne faut toutefois pas oublier que ces prédictions **ne prennent pas en compte l'impact des changements climatiques sur les ravageurs et la perte de sols par érosion hydrique.** De plus, le potentiel agroclimatique dépendra de la capacité de production des sols. Les incertitudes liées aux évolutions climatiques (scénarios choisis) et à la réponse des productions agricoles à ces évolutions (les modèles de croissance de plantes utilisés représentent une vision relativement simplifiée de la réalité et ne reproduisent pas l'impact du changement climatique sur les bio-ravageurs (insectes, maladies) et ses répercussions sur les rendements agricoles) affectent non seulement les valeurs, mais aussi le sens de variation des résultats (augmentation ou diminution) en interaction en particulier avec la variabilité régionale des impacts du changement climatique. En plus, l'hypothèse d'une économie constante ne permet pas de considérer l'évolution des prix ou des comportements des consommateurs face au changement climatique. Cette hypothèse est raisonnable dans le cadre de cette analyse bien que si les changements climatiques se traduisaient dans tous les pays par une baisse des rendements il va de soi qu'il y aurait toute chose étant égale par ailleurs par une hausse des prix. Il y a là une possible contradiction surtout si on tient compte que la Wallonie ne sera pas la plus négativement impactée (les résultats des projets de recherche européens montrent un impact négatif beaucoup plus fort dans le Sud de l'Europe). Par exemple, les études de Mendelsohn²¹ prévoyaient des augmentations de rendement se traduisant par une baisse des prix plus forte et une baisse du revenu des agriculteurs aux États-Unis. On considère ainsi que les prix des productions restent stables et que les surfaces cultivées restent constantes. Encore plus important, les résultats obtenus sont à assolement et système cultural constants, les évolutions nécessaires des systèmes de culture n'étant pas considérées. Or les milieux agricoles ont de tout temps fait preuve d'une grande capacité d'adaptation aux modifications technologiques, commerciales et environnementales notamment dans le choix des cultures et des variétés les plus appropriées au climat de même que par les modifications de pratiques culturales. De la même manière, cette hypothèse ne permet pas la prise en compte de la contribution des grandes cultures aux nouveaux débouchés (biocarburants, biomatériaux, biomasse) ou encore les réformes de la PAC susceptibles d'avoir des impacts significatifs sur l'évolution des productions. En ce qui concerne les prairies, le nombre de passages de pâturage et le nombre de coupes possibles affecte le rendement et potentiellement les revenus des agriculteurs. A ce stade, les résultats de cette analyse restent théoriques, mais permettent notamment de faire un premier état des lieux des possibilités de chiffrage des coûts des impacts du changement climatique pour le secteur agricole. De manière générale, étant donné ces limites et incertitudes, les résultats doivent être considérés uniquement comme des ordres de grandeur des gains et pertes potentiels en supposant qu'il n'y a pas d'adaptation spontanée du milieu agricole.

²¹ Mendelsohn, R and Neumann, J (eds.) (1998) *The Impacts of Climate Change on the American Economy*, Cambridge University Press, Cambridge.

En plus, les résultats dépendent de la méthode d'évaluation des coûts utilisée. En effet, il y a deux façons d'évaluer l'impact des changements climatiques sur l'agriculture. La méthode appliquée dans la présente étude consiste à calculer les diminutions de productivité sur les cultures existantes causées par le réchauffement ou l'augmentation des pluies (on l'appelle aussi l'hypothèse du «dumb farmer»). La seconde méthode, souvent appelée Ricardienne, est de comparer la valeur de la production ou la valeur de terres ayant un potentiel pédologique comparable dans un climat plus au Sud correspondant à l'augmentation de température et la variation de précipitation attendue. Cette approche suppose que contrairement au «dumb farmer» le fermier s'adaptera au nouveau climat et profitera des nouvelles possibilités. Les résultats des deux méthodes sont parfois diamétralement opposés. Elle représente en effet une autre méthode qui donne la possibilité d'observer les stratégies d'adaptation et d'en évaluer les bénéfices. En plus, les résultats sont très dépendants de la période sur laquelle repose l'analyse.

Tableau 21. Synthèse des résultats des impacts analysés sur le secteur de l'agriculture. Source : ICEDD, 2014.

PERSPECTIVES FUTURES

Pour aller plus loin...

- Evaluer l'impact du changement climatique sur les bio-ravageurs (insectes, maladies) et ses répercussions sur les rendements agricoles.
- Evaluer l'évolution des prix européens des denrées agricoles.
- Évaluer et le comportement des consommateurs face au changement climatique.
- Évaluer l'évolution de la position concurrentielle de l'industrie agricole Wallonne due aux changements climatiques.
- Prendre en compte la contribution des grandes cultures aux nouveaux débouchés (biocarburants, biomatériaux, biomasse) et les réformes de la PAC susceptibles d'avoir des impacts significatifs sur l'évolution des productions.
- Estimer les effets finaux du rendement des prairies sur la productivité animale.
- Qualifier et quantifier les impacts du changement climatique sur les filières dans leur ensemble (intégrant la transformation, la vente et la consommation du produit).
- Évaluer les possibilités d'adaptation et leur impact sur les coûts.
- Evaluer l'impact du changement climatique sur la qualité des produits agricoles.

Proposition de recherches futures pour affiner les résultats de l'analyse sur le secteur agricole. Source : ICEDD, 2014.

Le secteur agricole sera influencé de plusieurs manières par les changements globaux, selon les conditions climatiques initiales, le type de sol, l'utilisation des terres, les réglementations et le contexte économique. De manière générale, une augmentation du rendement des cultures est prévue au nord de l'Europe, essentiellement lié à l'augmentation de la température de l'air, tandis qu'une diminution des rendements et une augmentation de la demande en eau sont prévisibles pour le sud de l'Europe.

Une analyse distincte des impacts du changement climatique et de l'influence des options de gestion est relativement difficile à réaliser en raison de l'influence du changement climatique sur les pratiques agricoles.

Les modifications apportées aux pratiques de gestion et au calendrier agricole pourraient atténuer les effets négatifs du réchauffement global. Aussi de nombreuses publications montrent que l'adaptation des cultures et des semis peut diminuer les impacts fortement.

Si le rendement de la production brute est un élément incontournable de l'analyse économique de la filière, des travaux ultérieurs seraient nécessaires pour qualifier et quantifier les impacts du changement climatique sur les filières dans leur ensemble (intégrant la transformation, la vente et la consommation du produit).

Des recherches futures plus approfondies pourront compléter l'analyse. En effet, l'évaluation présentée dans cette étude est une évaluation partielle, tant en termes de périmètres choisis (cultures retenues), que d'impacts considérés. Dans cette première étape d'évaluation de coûts, les hypothèses sont volontairement simplificatrices et le nombre de paramètres étudiés restreint. Les paramètres et impacts étudiés ont été choisis notamment en fonction de la disponibilité des données et ne sont pas nécessairement représentatives de la Wallonie. Même au sein de la Wallonie, les résultats valent pour un certain contexte pédoclimatique choisi qui a été extrapolé à la région. Les cultures étudiées ne sont pas exhaustives, de même que les impacts du changement climatique considérés.

A titre d'exemple, si l'évaluation des impacts du changement climatique sur les prairies permet de cerner les effets intermédiaires sur l'élevage du fait des modifications de la disponibilité de fourrage et de pâturages, les effets finaux sur la productivité animale devront aussi être estimés. L'approche utilisée dans la présente étude est simplifiée. Une analyse plus approfondie devrait coupler l'analyse des impacts sur les prairies et sur les élevages.

S'agissant des grandes cultures, si on a étudié l'impact de l'évolution des températures sur le rendement, l'impact des ravageurs n'est pas pris en compte. Par ailleurs, certains risques tels que gel précoce, orages violents ou encore tempêtes ne sont pas intégrés à l'analyse, car l'influence du changement climatique sur ces phénomènes n'est pas encore bien connue. Enfin, pour les cultures étudiées, l'impact du changement climatique sur la qualité des produits n'est pas évalué. Notons finalement que la contrainte de la disponibilité en eau n'est pas suffisamment intégrée à ce stade. Or des modifications majeures sont à attendre, notamment au niveau des systèmes cultureux privilégiant des cultures économes en eau.

Enfin, en ce qui concerne le prix, considérant les longues périodes sur lesquelles les changements climatiques s'opèrent il est important de s'interroger sur leur stabilité. Même si l'analyse est généralement effectuée en euros constants, il est possible que sur une longue période, les prix des produits évoluent à la baisse ou à la hausse en termes relatifs. Donc, si on s'attend à une hausse des prix relatifs de ce type de production, l'estimation à prix constant risque de sous-estimer la perte encourue. Aussi le revenu de l'agriculteur pourrait au contraire augmenter si la hausse des prix due aux changements climatiques est supérieure à la baisse des rendements et en ce sens il y aurait un gain net.

Une meilleure prise en compte de ces aspects serait nécessaire pour obtenir des résultats avec moins de limites et incertitudes.

2.3 BIODIVERSITÉ ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

2.3.1 IDENTIFICATION DES IMPACTS

Si dans la plupart des thèmes abordés dans la présente étude, il est habituellement convenu que les interactions avec les changements climatiques et ses conséquences directes et indirectes sont complexes et multifactorielles, cet idiome est particulièrement vrai dans le cas de la biodiversité²².

Cet état de fait provient principalement d'une part de la complexité de la notion de biodiversité dans toutes ses composantes (gènes, espèces, écosystèmes) et leurs interactions (réseaux, chaîne alimentaire, mutualismes...), et d'autre part de la difficulté de dissocier les impacts liés au changement climatique des autres facteurs menaçant la diversité biologique (et notamment les changements d'utilisation des sols, la surexploitation, les modifications des conditions physiques et chimiques des milieux, les invasions biologiques, la fragmentation et la destruction des habitats).

Dans bien des cas, il est convenu que les impacts des changements anthropiques globaux seront exacerbés par les changements climatiques (Feehan, Harley, and Minnen 2009) ou que ces changements exigeront un tel degré d'adaptabilité de la part des espèces que ces dernières seront plus vulnérables aux autres pressions anthropiques (Jump and Peñuelas 2005; cité dans: Maclean and Wilson 2011).

Si l'on rajoute à cela la complexité des changements indirects induits par le réchauffement climatique, comme par exemple les sécheresses, les tempêtes, les feux de broussailles ou de forêts, les inondations, et les modifications dans les courants marins ou le niveau des mers (Bellard et al. 2012), ainsi que les effets de relation cyclique (la modification de la végétation induite par le changement climatique peut à son tour induire des changements sur le climat (Mooney et al. 2009)), on se retrouve avec un système extrêmement complexe à appréhender.

De grandes incertitudes pèsent de plus encore sur certains domaines de connaissance, limitant par-là la capacité de la communauté scientifique à modéliser les impacts du changement climatique sur la biodiversité.

On citera à titre d'exemple :

- la quantification des facteurs déterminants la sensibilité d'une espèce donnée,
- la complexité écologique des interactions biotiques et entre les organismes et leur milieu,
- la complexité de l'appréhension des capacités d'adaptation, d'évolution et de tolérance,
- la complexité d'un écosystème donné et par exemple le lien entre différents niveaux trophiques ou les relations en chaîne occasionnées par la disparition d'un maillon du système (voir (McMahon et al. 2011) pour une revue complète),
- L'intrication des rôles des différentes espèces pour réaliser différentes fonctions à l'origine des services écosystémiques qui assurent le bien-être de l'humanité.

Malgré toutes ces précautions, la communauté scientifique s'accorde toutefois pour dire que les effets des changements climatiques seront de plus en plus importants dans les années à venir et que leur prise en compte dans les enjeux en lien avec la préservation de la diversité biologique est primordiale (Conference of the Parties

²² Définie par la Convention sur la biodiversité biologique (article 2) comme la variabilité des organismes vivants de toute origine, y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et complexes écologiques dont ils font partie, cela comprend la diversité au sein des espèces et entre les espèces ainsi que celle des écosystèmes.

to the Convention on Biological Diversity, Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change, and Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2009; Habiba et al. 2002). Il est également généralement convenu que la résilience des écosystèmes est fortement liée au niveau de diversité biologique de ces derniers, supposant par là qu'une des meilleures stratégies pour lutter contre les impacts du changement climatique est de maintenir et/ou restaurer des écosystèmes en bonne santé (Feehan, Harley, and Minnen 2009).

Les paragraphes suivants présentent les impacts habituellement attribués au changement climatique dans ses conséquences directes (élévation des températures principalement), laissant de côté les impacts indirects (intensité et fréquence des perturbations, feux, sécheresse, inondations...) qui causeront certes des disparitions supplémentaires d'habitats mais dont la quantification est extrêmement délicate. De même, les liens forts complexes entre les changements climatiques et les autres facteurs menaçant la diversité biologique seront bien entendu évoqués mais pas analysés dans le détail. Le graphique suivant reprend les différents éléments d'introduction ainsi que les différents points qui seront détaillés dans les trois grandes composantes de la diversité biologique : le gène, l'espèce et l'écosystème.

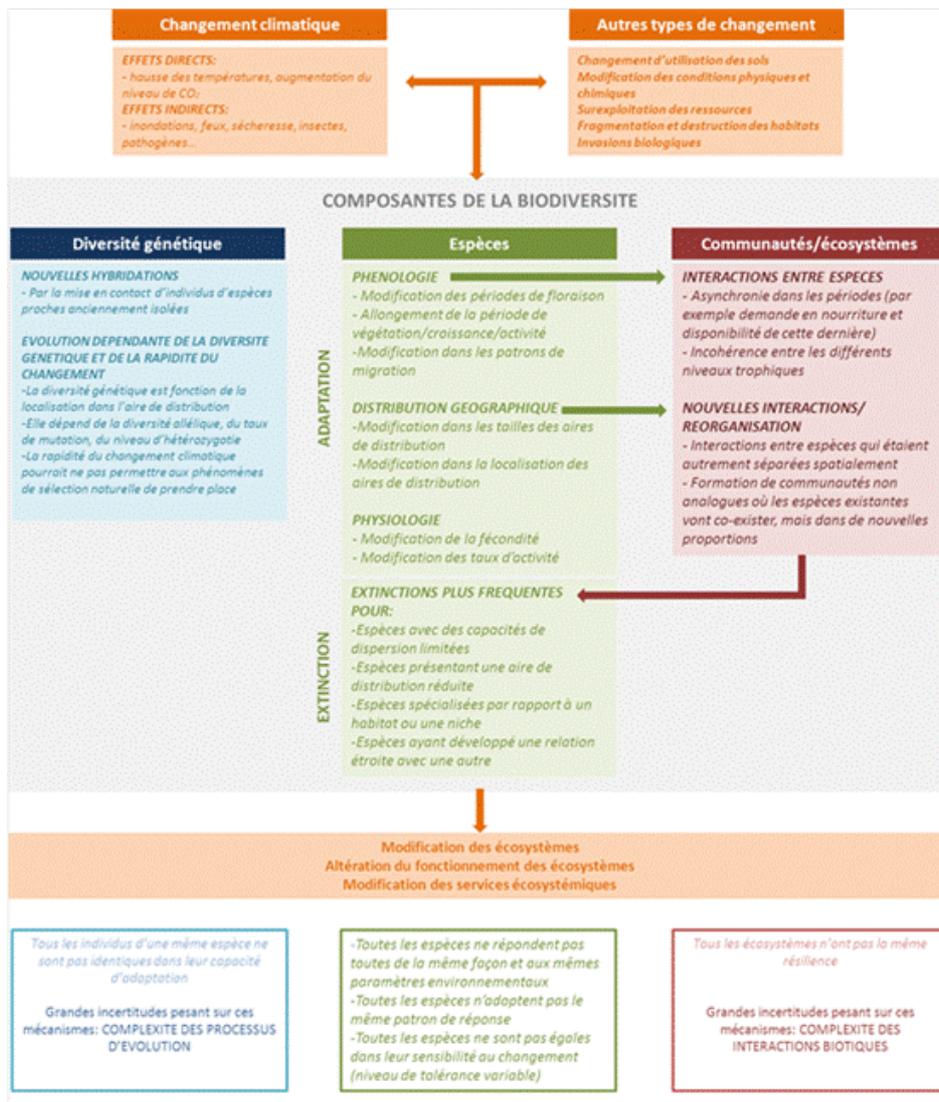


Figure 28. Résumé des impacts probables du changement climatique sur les différentes composantes de la biodiversité, de certaines inconnues restantes, et des autres types de changements qui ont le plus de chance d'agir de concert pour accélérer l'érosion de la diversité biologique (conception : ICEDD sur base de (Walther 2010; McMahon et al. 2011; Bellard et al. 2012; Usher 2007; Maclean and Wilson 2011)).

AU NIVEAU DES GÈNES : SÉLECTION NATURELLE, DIVERSITÉ ALLÉLIQUE, TAUX DE MUTATION ET HYBRIDATIONS

La raison pour laquelle nous traitons de l'impact du changement climatique au niveau des gènes est la suivante : différents individus d'une même espèce peuvent répondre de manière différente aux impacts directs du changement climatique (voir (Jump and Peñuelas 2005) pour exemples).

Des réponses différenciées se notent bien souvent quand deux populations d'une même espèce se trouvent séparées spatialement (isolation par la distance et dérive génétique associée), mais pas uniquement. (Jump and Peñuelas 2005) citent par exemple certains cas dans la flore européenne où des génotypes différents peuvent coexister dans une même population en raison d'une sélection naturelle existante au moment de l'établissement des plantules. Une différenciation peut dès lors être observée au sein des populations d'une même espèce, présentant des flux de gènes importants, en raison de réponse à des pressions de sélection qui présentent des variabilités à la fois interannuelles (par exemple en raison du climat) et d'un endroit à l'autre (par exemple type de sol, niveaux hydriques et trophiques). Ainsi, la variation climatique entre les années favorise par exemple dans certains cas des plantules plus résistantes au froid une année ou plus résistantes au stress hydrique une autre.

Bien qu'il y ait certaines preuves que des variabilités génétiques en lien avec le climat peuvent exister dans beaucoup de populations naturelles (Jump, Mátyás, and Peñuelas 2009), ce fait n'indique pas nécessairement qu'une adaptation aux nouvelles conditions climatiques pourrait apparaître, ni même si la rapidité d'adaptation sera suffisante pour répondre aux changements climatiques prédits (Jump and Peñuelas 2005). La sélection directionnelle engendrée par les changements climatiques impliquera probablement une réduction de la diversité génétique, rendant par-là les populations plus vulnérables aux autres changements indirects (sécheresse, inondations, attaques de prédateur, parasites...), anthropiques ou naturels. Cette réduction sera d'autant plus forte que les populations se trouvent en marge de la répartition de l'espèce, rendant par là important les actions de conservation et de défragmentation des habitats de ces populations marginales.

Pour un niveau donné de variation génétique, une réponse efficace en terme d'évolution aux changements climatiques est inversement proportionnelle à la durée d'une génération et positivement corrélée à l'importance des conditions environnementales dans lesquelles une espèce donnée se retrouve (Metcalf and Pavard 2007). Les candidats les plus probables pour une réponse évolutive suffisamment rapide seront des espèces de générations courtes et les espèces présentant des populations adaptées aux plus grandes variations climatiques et environnementales (McMahon et al. 2011).

La plasticité²³ des individus peut également jouer un rôle dans la réponse aux changements. La sélection pour une plus grande plasticité a déjà été démontrée dans le contexte des changements climatiques (Nussey et al. 2005).

La question de l'impact du changement climatique au niveau des gènes est indissociable de la question de la fragmentation des habitats dans nos territoires anthropisés. En effet, si les espèces ont déjà connu des changements climatiques lors par exemple des derniers épisodes de glaciation, épisodes qui les ont mené à une modification dans leur distribution et une spéciation en raison d'une pression de sélection accrue ; les changements actuels ne sont pas comparables, tant en intensité que par le fait qu'ils sont associés à des flux de gènes limités en raison de la fragmentation des habitats.

²³ Le développement de différents phénotypes à partir d'un seul génotype.

Les aires de distribution des espèces ne sont plus uniquement fonction de leur capacité de dispersion, mais également fonction des modifications anthropiques compatibles ou non avec leurs exigences de développement. La fragmentation des habitats va dès lors amplifier la pression de sélection due au changement climatique en réduisant l'apport de nouvelle variation génétique en provenance de populations voisines isolées par flux de gènes. Dans certains cas, l'adaptation ne parviendra pas à répondre à l'importance des changements prédits, conduisant certaines espèces à l'extinction (voir infra).

La fragmentation des habitats n'est pas le seul impact anthropique qui peut exacerber les effets du changement climatique sur la biodiversité à l'échelle du gène. Les introductions biologiques délibérées ou par inadvertance sont en effet de plus en plus nombreuses et peuvent conduire à l'introduction de nouveaux génotypes au sein d'une population par des phénomènes d'hybridation (Hoffmann and Sgrò 2011). Bien que l'hybridation soit vue habituellement comme négative, ces phénomènes peuvent également faciliter l'adaptation. L'hybridation peut augmenter le potentiel d'évolution des populations en introduisant une variation génétique ou faciliter l'adaptation à de nouveaux environnements, surtout si les espèces s'hybrident étaient initialement adaptées à des conditions différentes. De grandes incertitudes existent encore sur le potentiel que cette hybridation pourrait apporter mais il se pourrait qu'elle ait des conséquences inattendues, surtout lorsqu'elle prendrait place dans des populations manquant de potentiel adaptatif (Hoffmann and Sgrò 2011).

AU NIVEAU DES ESPÈCES

Phénologie

Les changements d'ordre phénologique²⁴ ont été documentés de manière importante dans la littérature (voir les revues notamment de (Parmesan 2006; Bellard et al. 2012)). Les événements tels que la date d'épanouissement des bourgeons, les éclosions, la floraison, la fructification, les migrations saisonnières apparaissent à des moments différents, pour permettre notamment aux espèces de rester en synchronisation avec les facteurs abiotiques cycliques. En général, ces changements sont étroitement liés à de simples variables climatiques telles que les températures minimales ou maximales ou les jours-degrés accumulés (GIEC 2002). Les tendances observées, telles que l'épanouissement des bourgeons et la floraison plus précoces devraient se poursuivre.

Distribution géographique

Les espèces peuvent également tenter de retrouver les conditions qui leur sont les plus favorables dans l'espace en changeant leur aire de répartition. Cela peut typiquement se réaliser par dispersion mais peut également s'observer à des niveaux plus locaux du micro-habitat. Des changements latitudinaux et altitudinaux ont déjà été illustrés pour plus de 1000 espèces (Parmesan 2006), majoritairement pour celles présentant des très bonnes capacités de dispersion. Les espèces modifient leur aire de distribution pour rester en phase avec les conditions climatiques qui préexistaient dans leur habitat initial, mais elles ne sont pas toujours préparées aux nouvelles conditions abiotiques et biotiques qu'elles rencontrent dans leur nouvelle aire (Visser 2008). Dans ces cas, l'évolution sera une des clés du succès (voir supra).

²⁴ La phénologie est l'étude de l'apparition d'événements périodiques (annuels le plus souvent) dans le monde vivant, déterminée par les variations saisonnières du climat.

Certaines espèces qui sont envahissantes dans certains biotopes (par exemple en ville où les conditions sont plus chaudes et sèches) pourraient voir leur expansion également augmenter. Les cas habituellement cités sont : l'ambrosie, le *Myriophyllum*, la tortue californienne ou le ragondin (Durmortier et al. 2007; De Bryun et al.)

Physiologie

Cette faculté d'adaptation a déjà été traitée dans la question relative à la biodiversité au niveau du gène (voir supra, paragraphes à propos de la plasticité et de la sélection).

Elle fait référence à la capacité des espèces à s'adapter aux nouvelles conditions imposées par les changements dans leur aire de distribution historique, par exemple en augmentant leur tolérance aux conditions plus chaudes ou plus sèches ou en modifiant leur comportement par exemple en termes de régime alimentaire ou de périodes d'activités (Bellard et al. 2012).

Extinctions

De nombreuses espèces sont déjà menacées d'extinction en raison des pressions dues aux processus naturels et aux activités humaines. Les changements climatiques aggraveront ces pressions, en particulier pour les espèces ayant des aires de répartition climatique limitées et/ou des besoins limités en matière d'habitats (GIEC 2002).

Les espèces les plus sensibles aux phénomènes d'extinction sont (d'après l'IUCN, cité dans (Usher 2007)) :

- les espèces dont l'aire de répartition est délimitée par des obstacles tels que les sommets des montagnes, les îles avec peu de relief, les latitudes élevées et les bordures de continents;
- les espèces dont l'aire géographique est réduite;
- celles qui ont des possibilités de dispersion insuffisantes pour atteindre le plus proche endroit où le climat pourrait leur convenir dans le futur (en raison par exemple d'obstacles tels que les chaînes de montagne ou les paysages morcelés, ou de caractéristiques propres à l'espèce, par exemple l'impossibilité de voler);
- les espèces spécialement sensibles aux températures extrêmes (hautes ou basses), à la sécheresse, à la neige, à la température de la surface de la mer, aux inondations, etc.;
- les espèces extrêmement spécialisées par rapport à un habitat ou à une niche, par exemple celles qui présentent une tolérance très faible aux variations climatiques;
- les espèces qui ont développé une relation étroite ou une synchronisation avec une autre; et
- celles qui présentent des réactions physiologiques rigides aux variations climatiques.

Différents modèles ont été à ce jour utilisés pour prédire les risques d'extinction. Ils souffrent tous pour la plupart de manquements importants, en raison notamment de la complexité et de la diversité des phénomènes entrant en ligne de compte (McMahon et al. 2011).

A titre d'exemple, nous citerons cependant les estimations de (Thuiller et al. 2005) qui a estimé les risques d'extinction des espèces Européennes d'ici à 2080. Il conclut à la disparition de plus de la moitié des espèces des écosystèmes européens.

AU NIVEAU DES COMMUNAUTÉS ET DES ÉCOSYSTÈMES

Modification des interactions entre espèces

Toutes les espèces ne répondent pas aux mêmes paramètres de changement en fonction de leur sensibilité, et ne répondent pas toutes de la même manière. Cela peut dans certains cas engendrer des modifications dans les interactions entre les espèces.

Dans certains cas, les facteurs contrôlant les changements physiologiques peuvent ne pas changer simultanément (une plante répond à des signaux liés à la température et à la longueur du jour, par exemple), ou bien, la réponse phénologique d'une espèce peut ne pas correspondre à celle d'une autre espèce alimentaire ou prédatrice, et il y a donc décalage des stades de vie ou des comportements critiques (GIEC 2002). Des changements phénologiques différents peuvent dès lors engendrer des perturbations dans les relations d'un système proie-prédateur si l'éclosion des proies n'est plus en phase avec la période de croissance du prédateur ou dans les relations insectes-plantes (Parmesan 2006). Ces perturbations peuvent être la cause de nouvelles extinctions, elles-mêmes menant à des réactions en chaîne (l'extinction d'une espèce ayant souvent des causes diverses sur les différents niveaux d'un écosystème et/ou sur tous les niveaux trophiques de la chaîne alimentaire).

Réorganisation des communautés, nouvelles interactions

Les espèces réagiront individuellement aux changements climatiques et aux régimes de perturbations, avec des décalages temporels et des périodes de réorganisation considérables. Cette tendance perturbera les écosystèmes établis et créera de nouveaux ensembles d'espèces moins divers et à caractère plus proliférateur (c'est-à-dire des espèces très mobiles, capables de s'établir rapidement) (GIEC 2002).

On observera donc de nouvelles dominations d'espèces dans les communautés, mais également la formation de communautés non-analogues où les espèces existantes vont co-exister, mais dans des proportions différentes (Walther 2010).

Modification du contenu en carbone des écosystèmes

Le stockage du carbone dans les terres cultivées, les prairies et les forêts est soumis à deux procédés contraires en lien avec le changement climatique. D'une part, les effets du climat, à la fois en termes de température du sol et d'humidité, vont tendre à accélérer le processus de décomposition et causer par là des réductions du carbone contenu dans les sols. Par ailleurs, la production primaire nette (net primary production), à savoir la différence entre le carbone capté et relâché par les plantes, tendrait à augmenter le stockage de carbone (cette composante est détaillée plus avant pour les forêts dans le chapitre consacré à la forêt).

D'une manière générale, les résultats scientifiques publiés récemment sur base des scénarios du GIEC et de différents modèles de projections des variables climatiques, mentionnent tous une augmentation du carbone stocké dans les écosystèmes pour les régions tempérées (à la fois la composante sol et NPP). L'étude de Zaehle et al. 2007 mentionne par exemple que l'effet combiné des changements d'occupation des sols, du changement climatique et de l'augmentation des concentrations en CO₂ dans l'atmosphère résulterait en une assimilation nette de carbone entre 1990 et 2100 pour tous les scénarios considérés. Cette thèse est relayée par Eglin et al. 2010 qui mentionnent pour 2050 un changement positif dans les stocks de carbone (une augmentation des stocks) pour tous les scénarios considérés.

MODIFICATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Face au constat d'échec de l'argument de conservation de la nature pour sa valeur d'existence qui n'a pas permis à la communauté européenne d'atteindre son objectif d'enrayement de la perte de biodiversité à l'échelle 2010, les services écosystémiques (SE) se sont imposés comme un nouveau concept proposant une vision utilitariste de la nature, afin d'établir clairement le lien de dépendance matérielle liant les sociétés humaines et la biosphère (Raquez & Dendoncker 2013). Les exercices de monétarisation de la nature au travers de la notion des services écosystémiques sont les seuls qui permettent de tirer les informations chiffrées, en termes monétaires, à même de répondre à la question posée dans le cadre de cette étude.

Même si la biodiversité ne constitue pas en elle-même un service rendu par les écosystèmes, elle se trouve à la base de la fourniture de ces services. Le lien entre biodiversité et services écosystémiques fait débat, mais d'une manière générale, il apparaît cependant que plus la biodiversité est importante, plus la fourniture de SE augmente en qualité, quantité et plus l'écosystème est résilient (TEEB 2010).

Les services écosystémiques sont les bienfaits que les êtres humains obtiennent des écosystèmes (Millenium Ecosystem Assessment 2005) ou encore, les contributions directes et indirectes des écosystèmes au bien-être humain (TEEB 2010). Le mot service recouvre tant les biens (ex. bois, céréales, plantes médicinales) que les services (ex. régulation des inondations, purification de l'eau, etc...).

Les services écosystémiques sont habituellement classés en quatre grandes catégories, qui comprennent au total, une vingtaine de SE principaux. On distingue les services d'approvisionnement, les services de régulation, les services culturels et les services de soutien ou habitats.

Les **services d'approvisionnement** correspondent à la production matérielle et énergétique des écosystèmes (nourriture, matières premières, ressources génétiques, ressources médicinales, ressources ornementales). Ces éléments sont traités principalement dans les deux secteurs concernés, à savoir : l'agriculture et la forêt.

Les **services de régulation** sont les services fournis par les écosystèmes compte tenu de leur capacité régulatrice (régulation du climat, régulation de la qualité de l'air, modération des phénomènes extrêmes, traitement des déchets, prévention contre l'érosion, maintien de la fertilité des sols, pollinisation, lutte biologique).

Les **services de soutien/habitats** soutendent la quasi-totalité des autres SE. Ces derniers sont ceux dont la définition fait le plus débat au sein notamment du Millenium Ecosystem Assessment et du TEEB.

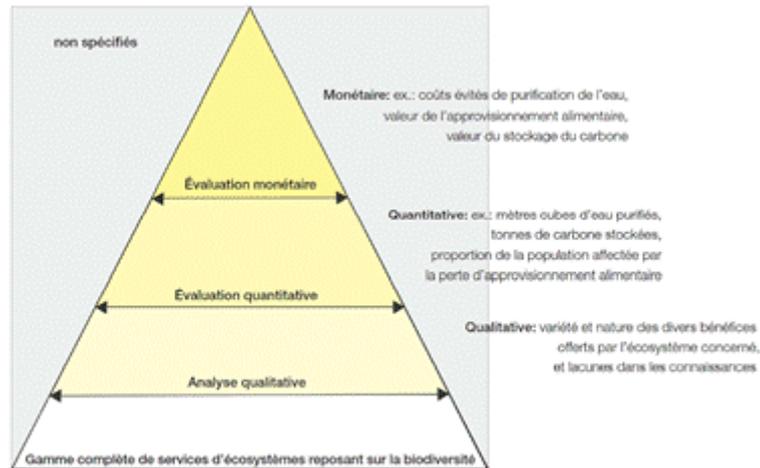
Finalement, les **SE culturels et d'équipement** englobent les avantages non matériels que les personnes retirent de leur contact avec les écosystèmes (informations esthétiques, opportunités pour le tourisme et le divertissement, l'inspiration pour la culture, l'art et le design ; les expériences spirituelles et les informations pour le développement cognitif).

On notera dès à présent que toute démarche de tentative d'évaluation des SE ne permettra sans doute jamais de saisir l'intégralité de leur valeur. Raquez and Dendoncker 2013 mentionnent en effet que :

« Notre connaissance actuelle du fonctionnement des écosystèmes (l'occurrence et les effets des interactions entre les facteurs biotiques et abiotiques du milieu ; le rôle joué par la biodiversité dans la fourniture des SE ; les conditions de résilience des écosystèmes ; l'apparition de seuils suite à des perturbations ;...) est encore limitée. Nous ne pouvons donc en inclure qu'une partie dans l'analyse qualitative. Ensuite, certains SE qui ont été décrits ne seront pas nécessairement capturés par l'évaluation quantitative faute de connaissance suffisante des dynamiques écologiques en présence. Enfin, l'évaluation économique - qui se base sur les données biophysiques et qui tente de mesurer les préférences des individus quant au portfolio de bénéfices qu'ils peuvent retirer des

«*écosystèmes - ne saisira également qu'une fraction des SE évaluées quantitativement suite aux limites des outils économiques* ».

Cette idée est représentée dans l'illustration suivante.



Source: P. ten Brink, séminaire «The Economics of the Global Loss of Biological Diversity», 5-6 mars 2005, Bruxelles

Figure 29. Evaluation des services rendus par les écosystèmes.

La quantification monétaire ne représente de ce fait qu'une partie de la valeur des SE. Il est indispensable de prendre également en compte leur valeur écologique et sociale. Cette valeur est évolutive, dépendante du contexte et des acteurs concernés (Raquez and Dendoncker 2013). Les essais de quantification ne seront dès lors toujours que des résultats partiels, comme cela sera répété à de nombreuses reprises dans la suite de l'analyse.

En raison de la grande variété des impacts couverts par les services écosystémiques (inondations, productions agricoles,...), il est impossible de donner un résumé des impacts du changement climatique sur les SE en particulier. Nous renvoyons le lecteur au point 2.2 présentant un résumé des impacts pour l'ensemble des secteurs. Dans la suite de l'analyse, nous détaillerons cependant les services écosystémiques pour lesquels les analyses chiffrées sont disponibles.

2.3.2 ANALYSE DES COÛTS

Impacts quantifiés	En termes physiques		En termes monétaires
	Situation actuelle	En 2050	
Services de régulation de la forêt - séquestration du carbone	X	X	X*
Services de régulation de la forêt – protection contre les inondations et l'érosion	Pas calculé en raison du manque de données et des difficultés à estimer l'impact du changement climatique sur ces fonctions		
Services de régulation des systèmes agricoles – séquestration du carbone en prairies et terres arables	X	X	X*
Services culturels de la forêt – usage passif			X
Services d'approvisionnement, de régulation et culturels des eaux douces			X

*chiffré dans le chapitre mais pas présenté dans la conclusion en raison de la trop grande variabilité des résultats en fonction de la méthode utilisée.

Tableau 22. Synthèse des impacts quantifiés sur les services écosystémiques. Source : ICEDD, 2014.

Les liens existants entre la réduction de la richesse en espèces au sein des communautés et les services écosystémiques ont été démontrés, mais seulement à petite échelle spatiale et temporelle et pour un ensemble limité d'écosystèmes et de services écosystémiques. Nous sommes toutefois actuellement incapables de généraliser ces relations au niveau régional, ou de les utiliser à des fins de projection. De ce fait, nous ne disposons pas d'informations suffisantes pour traiter des relations générales entre la perte d'espèces et les services écosystémiques.

Il ne faut pas cacher les nombreuses « restrictions » existantes pour passer du concept de biodiversité à la monétarisation de ses services. La présente analyse ne propose pas des valeurs de référence pour l'ensemble de la biodiversité mais pour les seules valeurs d'usage de services écosystémiques liés à la biodiversité générale et aujourd'hui monétarisables d'une manière qui semble robuste.

QUANTIFICATION DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES EN WALLONIE

La biodiversité en Wallonie

En Wallonie, plus d'un tiers des espèces sont menacées d'extinction, 95 % des habitats naturels sont en mauvais état de conservation. En effet, la biodiversité présente sur le territoire wallon subit actuellement une érosion très importante. Les évaluations scientifiques disponibles et reconnues (listes rouges établies selon les critères de l'IUCN) montrent que 31 % des espèces évaluées (plantes vasculaires, carabes, libellules, papillons de jour, poissons, amphibiens, reptiles, chiroptères) sont menacées d'extinction à court ou moyen terme et que la presque totalité des habitats naturels d'intérêt communautaire (95 % en zone continentale et 100 % en zone atlantique) se trouve dans un état de conservation défavorable, état dont la dégradation se poursuit aujourd'hui. L'objectif annoncé par les instances européennes, et relayé localement, de stopper cette perte constante de biodiversité à l'horizon 2010, n'est pas atteint et a été reporté à 2020 sans que des options et actions fortes soient annoncées.

Le réseau de sites Natura 2000 en Wallonie comprend une proportion élevée de surfaces forestières (74,5 %) et agricoles (12,3 %) exploitées. Les sites Natura 2000 désignés (220944 ha) couvrent 13 % du territoire et incluent 68 % (58207 ha) des sites de grand intérêt biologique (SGIB) identifiés. Ce réseau s'insère dans le réseau global européen.

Un huitième des sites de grand intérêt biologique se trouve dans une réserve naturelle. Les statuts légaux de protection que sont les réserves naturelles (réserves naturelles domaniales, réserves naturelles agréées, réserves forestières, et dans une certaine mesure les zones humides d'intérêt biologique), qui seuls garantissent un régime fort de protection de la biodiversité, prioritaire sur les activités et perturbations humaines, ont quant à eux progressé de manière plus modeste, quoique significative. Depuis 1980, les surfaces placées sous statut fort de protection sont passées de 4477 à 11327 hectares, ce qui représente 0,67 % du territoire wallon. La proportion de SGIB protégés est passée quant à elle de 5,2 % en 1980 à 13,2 % en 2011.

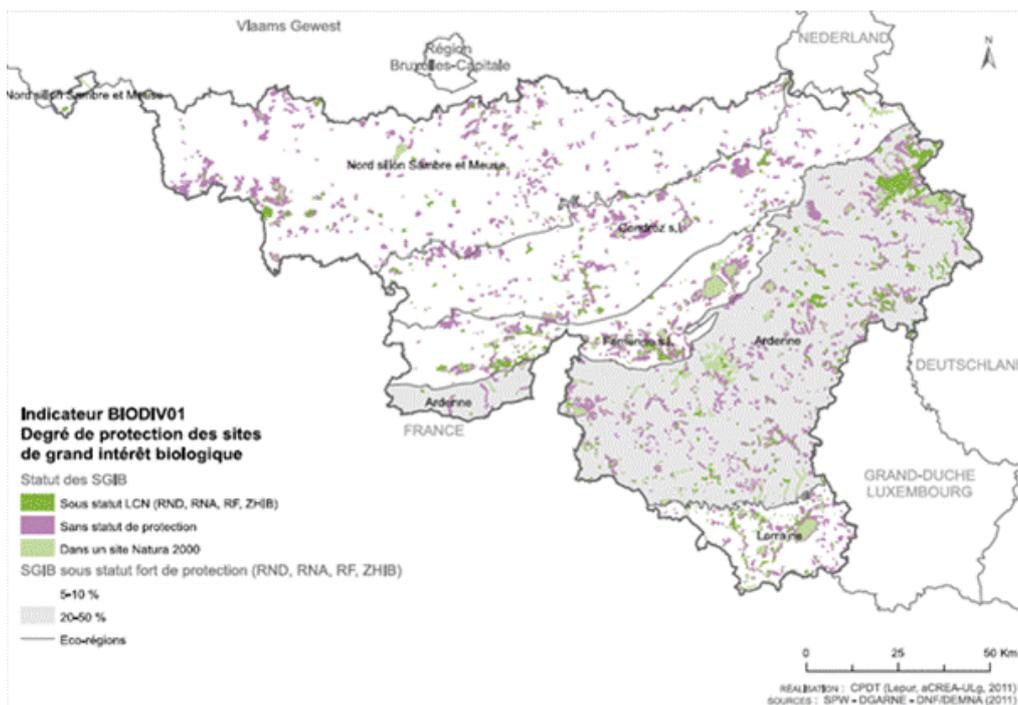


Figure 30. Sites naturels sous statut fort de protection en 2010. Source : SPW-DGARNE-DNF/DEMNA, 2011.

En termes de conservation, cette progression est tout à fait insuffisante pour contrer les dégradations diverses que subissent les sites non protégés, sites dont les habitats et espèces requièrent des mesures de protection fortes. Les surfaces restaurées et protégées depuis une dizaine d'années dans le cadre de différents projets financés par l'autorité publique (programmes LIFE et Interreg, environ 5 000 hectares), ainsi que les réserves forestières intégrales prévues dans le nouveau Code Forestier, viennent renforcer ce réseau d'aires protégées.

L'entrée en vigueur en 2008 du nouveau Code Forestier impose de nouvelles pratiques favorables à la biodiversité des forêts publiques : maintien obligatoire de deux arbres et d'un demi-arbre d'intérêt biologique par hectare, mise en réserve intégrale de 3 % de la surface des forêts feuillues dans les propriétés de plus de 100 hectares, interdiction de planter des résineux à moins de douze mètres du bord des cours d'eau, aménagement de lisières étagées. Dans les sites Natura 2000, ces mesures sont partiellement étendues aux forêts privées, avec des compensations financières accordées aux propriétaires (40€/ha.an). Des mesures de conservation plus importantes pourront également être mises en œuvre sur base volontaire par les propriétaires publics et privés, avec des compensations financières supplémentaires (100€/ha.an) et ce, dès la publication de l'arrêté de désignation du site Natura 2000 concerné. Les mesures étant récentes, le taux d'adhésion est difficile à apprécier, tout comme leur incidence sur la biodiversité des écosystèmes forestiers. Par ailleurs, les droits de succession en site Natura 2000 ont été totalement supprimés pour les forêts, ce qui coûterait de l'ordre de 5 millions d'euros par an.

L'indicateur indirect retenu pour évaluer la « portance écologique » des milieux forestiers, « le degré de naturalité des forêts », a été construit par agrégation des trois facteurs de pression identifiés comme prioritaires et d'influence majeure sur la biodiversité des écosystèmes forestiers : diversité des essences, quantité de bois mort et densité de grand gibier. Sur base des données de l'Inventaire Forestier Permanent, la cote moyenne de naturalité des forêts wallonnes (situation en 2010) est de 9,5/20. Analyse faite à l'échelle communale, les forêts feuillues situées en Condroz, Famenne et Lorraine obtiennent de meilleures cotes (entre 9 et 12/20) que les forêts ardennaises, dominées par les plantations monospécifiques de résineux exotiques (épicéas essentiellement) et de hêtres, et dans lesquelles des densités excessives de grand gibier sont maintenues de manière artificielle pour la chasse.

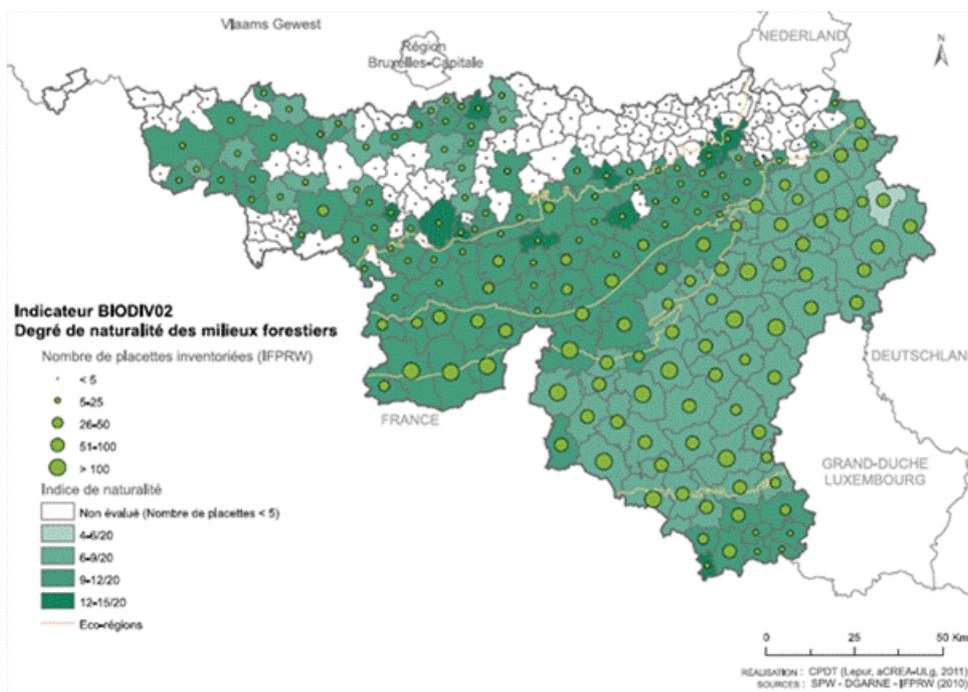


Figure 31. Degré de naturalité des milieux forestiers en 2010. Source : SPW – D'GARNE – IFPRW, 2010

Soumise à ces facteurs de pression liés aux modes d'exploitation sylvicole et cynégétique, la forêt wallonne montre une portance écologique médiocre. Une comparaison de la diversité des essences arbustives indigènes et exotiques européennes dans les peuplements forestiers (inventaires de 1984 et 2008) montre peu d'évolution. En effet, on passe d'une moyenne de 1,79 à 1,86 essences par placette d'échantillonnage. La lenteur naturelle d'évolution des milieux forestiers doit cependant être prise en compte pour l'appréciation de cette stagnation.

Les surfaces exploitées en agriculture biologique ont fortement progressé en trente ans, ce qui traduit certainement une amélioration, encore très modeste mais significative, de la portance écologique des milieux (5 % de la surface agricole utile - SAU). Les surfaces en mesures agro-environnementales (MAE), elles aussi en progression depuis la mise en place du programme (1995), traduisent tantôt la valorisation d'éléments ou de pratiques existantes, tantôt une réelle évolution positive des pratiques. Ce redéveloppement récent de la capacité d'accueil des milieux agricoles pour la biodiversité devra pourtant concerner à l'avenir des surfaces beaucoup plus importantes pour stopper la forte dégradation observée des habitats naturels et le déclin des espèces associées. A titre d'exemple, 32 % des espèces d'oiseaux peuplant les milieux agricoles sont actuellement menacées de disparition à court ou moyen terme contre 17 % pour les espèces forestières.

A l'échelle spatiale et faute de données écologiques détaillées, la portance écologique de l'espace agricole peut être appréciée au travers de la distribution des surfaces accueillant des pratiques favorables à la biodiversité : agriculture biologique certifiée, MAE, en particulier les mesures ciblées (prairies de haute valeur biologique, bandes de parcelles aménagées). En ajoutant la contribution spatiale d'éléments structurels favorables subventionnés (haie, arbres isolés, mares) et en ramenant à la SAU, un indicateur spatialisable peut être calculé. A l'échelle régionale, les pratiques agricoles favorables à la biodiversité restent marginales puisqu'elles n'occupent que 7,1 % de la SAU. Cette moyenne régionale est fortement tirée vers le bas par les régions à vocation fortement agricole (nord du sillon Sambre-et-Meuse, Condroz), où les pratiques intensives dominent complètement. L'Ardenne, la Famenne et la Lorraine montrent un degré plus élevé d'extensification, avec des variations locales importantes.

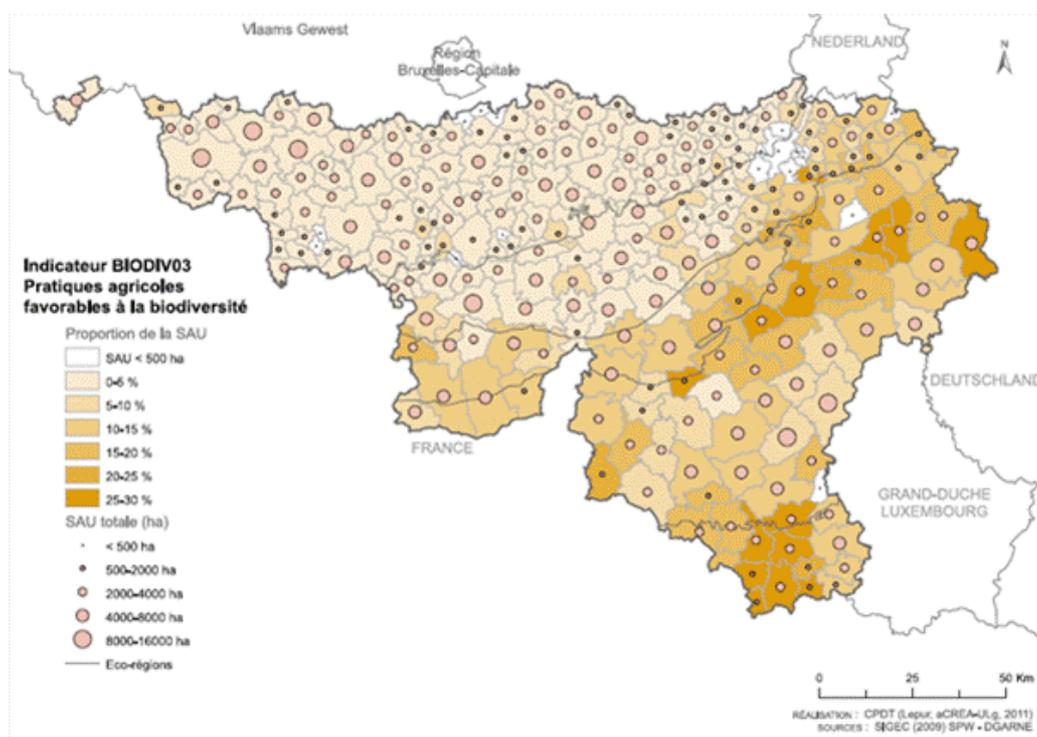


Figure 32. Pratiques agricoles favorables à la biodiversité en 2009. Source : SIGEC (2009) SPW – DGARNE.

Le degré de fragmentation des habitats naturels a été évalué selon la méthode de la largeur effective de maille. La largeur de maille exprime la surface au sein de laquelle aucune barrière écologique ne s'oppose à relier deux points qui y sont localisés au hasard. Appliquée aux données du Corine Land Cover (CLC, 2006), sur base d'un découpage de la Wallonie en maille de 25 km², la largeur de maille varie de 0 à 6.139 hectares, pour une moyenne de 421 hectares. Les habitats naturels situés au nord du sillon Sambre-et-Meuse, ainsi que dans une majeure partie du Condroz, sont uniformément et densément fragmentés.

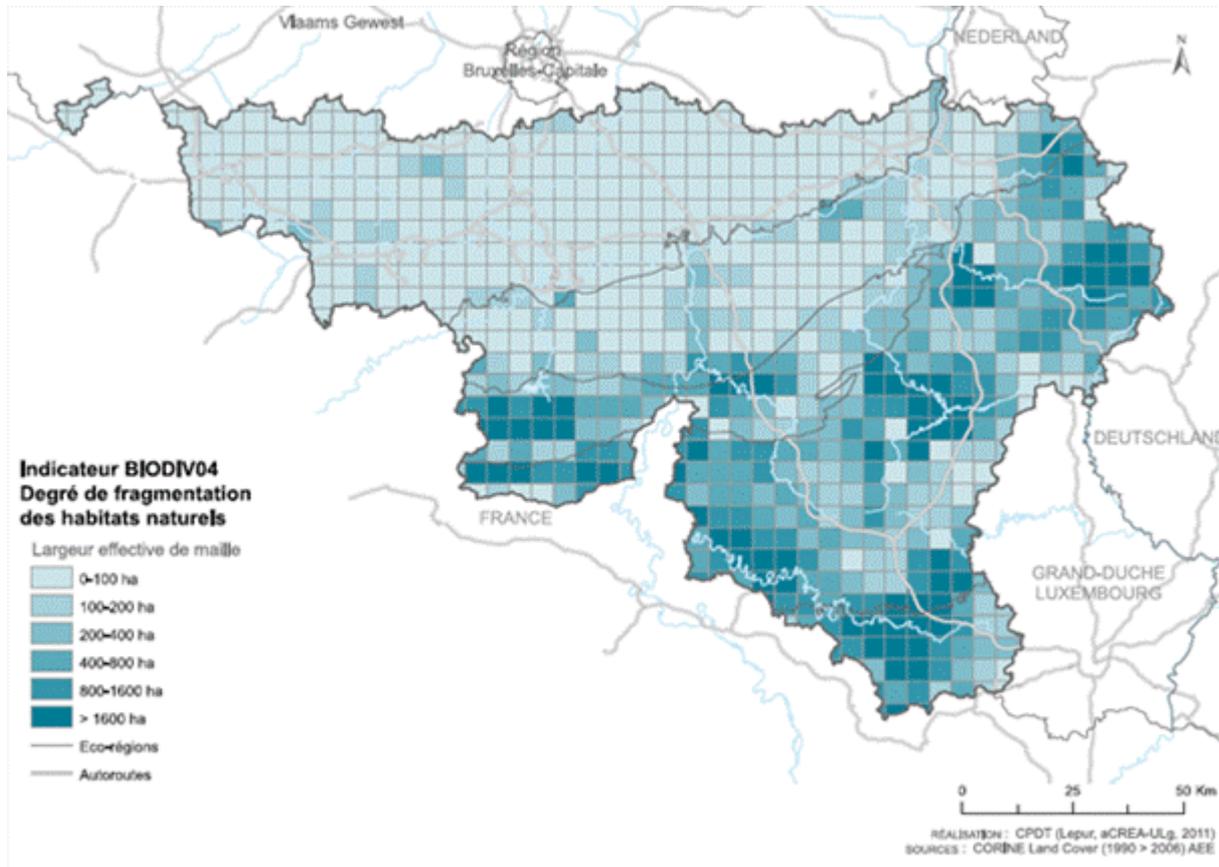


Figure 33. Fragmentation des habitats naturels en 2006. Source : CORINE Land Cover, AEE.

Dans le sud de la Wallonie, les zones les moins fragmentées correspondent essentiellement à des zones boisées à relief accidenté (vallées ardennaises) ou des zones agro-forestières à caractère extensif (Entre-Sambre-et-Meuse et Lorraine).

La biodiversité de certaines anciennes carrières, friches industrielles, voies ferrées rivalise avec les sites naturels les plus prestigieux. Ces sites contribuent significativement au maintien du niveau de biodiversité du territoire régional. Ils témoignent également du potentiel d'expression des écosystèmes dans les milieux fortement impactés par les activités humaines, quand les dynamiques naturelles peuvent s'y exprimer à nouveau, souvent après abandon de l'activité créatrice du site.

Les services écosystémiques en Wallonie et les données existantes

Une revue de la littérature très complète sur les services écosystémiques en Région wallonne a été effectuée dans le travail de Raquez and Dendoncker 2013. Les principaux projets qui sont (ou ont été) menés sur la question des SE en Région wallonne ont un ancrage local et se concentrent soit sur quelques SE, ou soit sur un type de milieu en particulier. Aucun de ces projets ne traite de l'impact du changement climatique sur les SE. Cette thématique nécessite en effet dans un premier temps, avant même de tenter de quantifier quoi que ce soit, de connaître l'impact en terme physique du changement climatique sur les SE. Dans la plupart des cas, il est déjà difficile d'évaluer le SE *per se*, on se rend dès lors compte de la difficulté de calculer la part de changement qui serait due aux changements climatiques. Deux projets sont cités à titre d'exemple : le projet VOTES (valuation of terrestrial ecosystem services), financé par BELSPO, et mené à l'échelle de 4 communes du bassin versant de la Dyle (Brabant) qui visait à évaluer les SE dans un contexte d'urbanisation importante et croissante et le projet ECOFRESH (ecosystem services of freshwater ecosystems), financé par BELSPO, qui étudie pour la Wallonie, les SE en lien avec les milieux d'eau douce sur les Hautes Fagnes.

Finalement, il convient également de citer deux groupes de travail actifs au niveau de la Région dans ces thématiques en pleine expansion : groupe de travail européen MAES et le groupe BEES.

Le groupe MAES (mapping and assessment of ecosystem services) est en train d'inventorier les diverses initiatives existantes dans l'Union européenne pour tenter de cartographier les SE dans le but d'élaborer une méthodologie commune. Le groupe se réunit 3 fois par an. Au niveau belge, l'INBO, le DEMNA et l'Université de Namur sont impliqués dans le groupe.

En Belgique, l'initiative fédérale prise en matière de SE financée par le BELSPO a donné le jour au projet BEES (BElgium Ecosystem Services). L'objectif du travail visait à fournir un état des lieux du problème d'un point de vue environnemental, méthodologique, économique et sociologique et à formuler des priorités de recherche et d'actions politiques en vue de la création d'une stratégie politique pertinente sur les services écosystémiques en Belgique.

On comprend facilement, en découvrant les initiatives en cours ou tout juste terminées au niveau Wallon que nous n'en sommes qu'au début du processus de quantification des services écosystémiques en Région wallonne et que de nombreuses inconnues restent encore à lever, notamment au niveau méthodologique. Dès lors, l'évaluation monétaire de ces services en lien avec les changements climatiques est un exercice particulièrement périlleux qui comprendra de nombreuses limites et dont les résultats ne seront que partiels et nécessiteront de plus amples approfondissements, notamment en lien avec les pistes qui seront évoquées par la suite.

Estimation en 2050

La quantification des effets du changement climatique sur les écosystèmes terrestres et aquatiques est contrainte par les nombreuses sources d'incertitudes et de variabilité liées au climat futur, au fonctionnement des écosystèmes eux-mêmes, à leur représentation par un modèle, à la localisation des sites étudiés, etc. Ces incertitudes viennent d'un déficit de connaissances actuelles et pourront progressivement être réduites grâce à l'amélioration des connaissances et des techniques existantes: amélioration des modèles climatiques qui ne rendent encore qu'imparfaitement compte de la réalité des phénomènes complexes qui régissent le climat, des méthodes de régionalisation et des modèles d'impacts (Massu and Landmann 2011).

Le lien entre changements climatiques et biodiversité est relativement difficile à isoler, tant sont importantes et multiples les pressions engendrées par les activités humaines sur cette thématique. Il existe de nombreuses méthodes qui ont essayé de traduire en termes monétaires les impacts de différentes modifications des services écosystémiques. Ces méthodes englobent notamment la méthode du prix de marchés, la méthode basée sur les coûts, la méthode des préférences révélées, la méthode des préférences exprimées, et la méthode de transfert des bénéfices (Dupras, Revéret, and He 2013).

Le champ compris par la biodiversité et les services écosystémiques étant tellement vaste, certaines de ces méthodes concernent des impacts qui ont déjà été traités par ailleurs. On citera à titre d'exemple la méthode des prix des marchés (plus particulièrement la méthode liée à la variation de la production).

Cette méthode évalue les impacts d'un changement qualitatif ou quantitatif d'un service écosystémique qui se reflète dans la production d'un bien ou d'un service commercialisé mesurable. Par exemple, il est possible d'attribuer à la perte de fertilité d'un sol une diminution des rendements agricoles. Cet outil est d'un intérêt particulier pour évaluer les impacts sur des secteurs économiques reliés aux ressources naturelles, pensons à l'agriculture, la foresterie, le tourisme. Ces éléments sont donc traités dans d'autres chapitres.

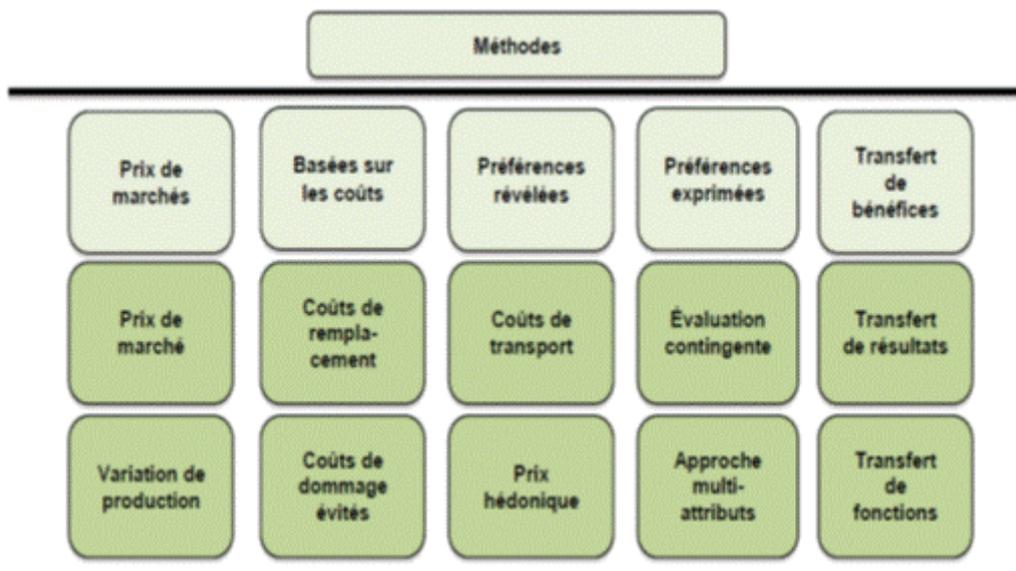


Figure 34. Les principales méthodes d'évaluation économique des services écosystémiques applicables dans un contexte de changements climatiques. Source : (Dupras, Revéret, and He 2013)

Les questions en lien avec la monétarisation de la modification des services rendus par les écosystèmes en raison du changement climatique sont extrêmement complexes. Deux cas de figure peuvent se présenter. Si les biens évalués ont des valeurs marchandes, les données sont évaluées et chiffrées en termes physiques (pour les valeurs marchandes, par exemple les productions de bois, ou les denrées alimentaires), et la perte en lien avec le changement climatique est estimée puis transformée en valeur monétaire sur base du prix de ces biens sur le marché. Si par contre, les biens n'ont pas de valeur marchande et sont de surcroît des valeurs de non-usage, les techniques d'évaluation sont bien plus difficiles. Il est déjà extrêmement difficile, voire impossible pour certains services, de les chiffrer, et l'estimation de l'impact du changement climatique sur les valeurs résultantes encore plus problématique que de grandes incertitudes pèsent déjà sur les calculs initiaux. Dans ces cas, l'évaluation monétaire est faite directement et il n'y a pas de quantification physique.

Les analyses réalisées dans le cadre de la présente étude, se sont principalement basées sur des études récentes démontrant les changements en termes de services écosystémiques pour les écosystèmes forestiers d'une part, les écosystèmes agricoles en partie, et finalement des écosystèmes des eaux douces. Les seules références existantes dans le domaine sont des études qui ont été menées à l'échelle européenne, mais pour lesquels certains résultats ont été produits par état membre (voir Ciscar et al. 2011; Ding et al. 2010 ; Carraro et al. 2009). Les chiffres sont donc disponibles pour la Belgique et la présente analyse fournit les hypothèses utilisées pour répartir le chiffre à la Région wallonne uniquement.

Ces études fournissent des estimations monétaires des changements climatiques pour certains services écosystémiques, le plus souvent en \$ 2005/ha/an pour la situation en 2005, et pour les projections en 2050 pour les scénarios climatiques A1FI ou A1, A2, B1, et B2.

Les services écosystémiques qui sont considérés dans ces études sont les suivants :

- Les services d'approvisionnement (production dans les différentes catégories de bois commerciaux) des forêts. Ces questions sont traitées dans le chapitre relatif aux forêts et ne seront pas reprises ici pour ne pas créer de double comptage. Des données plus précises existent pour la Région wallonne dans ce cas, ce sont donc d'autres méthodologies qui ont été développées dans ce cas particulier dans le chapitre sur la forêt.
- Les services d'approvisionnement (production dans les différentes cultures) des terres agricoles. Ces questions sont traitées dans le chapitre relatif à l'agriculture et ne seront pas reprises ici pour ne pas créer de double comptage. Des données plus précises existent pour la Région wallonne dans ce cas, ce sont donc d'autres méthodologies qui ont été développées dans ce cas particulier dans le chapitre sur l'agriculture.
- Les services de régulation des forêts : l'étude de Carraro et al. 2009 mentionne spécifiquement en page 57 que « *les deux types de services écosystémiques de régulation fournis par les écosystèmes forestiers européens sont d'une part le service de régulation du climat (c'est-à-dire la séquestration du carbone) et d'autre part le service de régulation de l'érosion et des inondations* ». L'étude se focalise principalement sur la séquestration du carbone en raison d'un manque de données sur le service de régulation de l'érosion et des inondations. Des connaissances plus approfondies du lien complexe entre ce service et les changements climatiques sont nécessaires pour élaborer des estimations dans ce domaine.
- Les services culturels en forêt. Les services culturels sont d'une importance particulière dans les forêts européennes, et représentent une valeur économique importante (Carraro et al. 2009) et incluent les services de récréation (chasse et pêche), les visites dans les réserves naturelles, les paysages forestiers et les autres usages spirituels de la forêt. Certains de ces services incluent à la fois des usages de consommation (la viande chassée peut être consommée) et des usages de non-consommation (le bénéfice tiré des activités liées à la chasse et aux paysages forestiers). Dans le cadre de l'étude présentée, l'analyse se limite aux usages de non-consommation, en lien plus particulièrement avec les superficies des forêts dont l'usage est principalement lié aux fonctions de récréation d'une part et de protection d'autre part.
- Les services de régulation fournis par les systèmes agraires : à nouveau, seule la fonction de séquestration du carbone est abordée. Une distinction entre les prairies et les terres cultivées est faite.
- Les services d'approvisionnement, de régulation et culturels des écosystèmes d'eau douce. Les écosystèmes d'eau douce ont depuis longtemps été reconnus comme sources d'importants biens et services pour les êtres humains. Ces biens et services incluent notamment l'eau, les poissons pour des exploitations commerciales, la régulation des phénomènes d'inondation et de la qualité des eaux, fournissent un cadre pour des activités récréatives et supportant une grande diversité biologique dans la grande diversité des milieux qui les accompagnent. L'étude de Carraro et al. 2009 développe pour l'ensemble des pays européens, une méthodologie pour fournir une estimation monétaire de la manière dont les changements climatiques, mais également des changements sociaux et économiques repris dans les différents scénarios IPCC (A1, A2, B1 et B2) risquent d'influencer le flux des valeurs des SE. L'analyse est

explicitement réduite à des conditions dans lesquelles les changements climatiques n'engendrent pas de perturbations majeures liées à l'atteinte de seuils critiques qui modifieraient les structures et provoqueraient des discontinuités dans la fourniture des SE. Sont inclus dans l'analyse les services suivants : les services culturels (usage récréatif - chasse et pêche récréatives, promenades, nage, navigation -, et usage passif – valeur intrinsèque de la biodiversité et valeur d'agrément -), les services d'approvisionnement (en eau douce, matière, bois énergie ou produits de la chasse et la pêche commerciale), les services de régulation (amélioration de la qualité des eaux, prévention des inondations).

- Les services de support ne sont pas traités car ils sous-tendent les trois autres types de services.

Traduction en termes monétaires

Les services de régulation des forêts et des écosystèmes agraires : séquestration de carbone

Avant de commencer à présenter les résultats concernant cette thématique, il est important de souligner l'extrême difficulté de réaliser l'exercice de monétarisation de la séquestration du carbone. Tout d'abord, il existe de nombreuses incertitudes quant aux directions dans lesquelles les dynamiques vont aller, tant sont grands les nombres de paramètres entrant dans l'équation.

Parmi ceux-ci, ceux qui sont habituellement discutés sous nos climats et qui semblent avoir un immense impact sur les résultats sont les changements d'occupation des sols et les changements des pratiques culturales.

Les écosystèmes forestiers stockant plus de carbone que des prairies, elles-mêmes plus que les sols agricoles, les changements d'occupation des sols auront une grande influence sur la direction que prendront les valeurs du carbone stocké dans les écosystèmes (voir par exemple Jo Smith et al. 2006; Zaehle et al. 2007; Abdalla et al. 2013).

Les changements de pratiques culturales comme par exemple le non labour, l'irrigation, la réduction des terres de jachères, les programmes de conservation des terres, l'augmentation de l'incorporation au sol des résidus de cultures vont également jouer un rôle prépondérant dans l'importance du carbone séquestré dans les terres agricoles (voir pour une revue Wesemael et al. 2010; Lugato et al. 2014). Si les données historiques de l'évolution du carbone dans les terres agricoles et prairiales de Wallonie ont été extrêmement bien documentées par l'équipe du professeur van Wesemael à l'UCL (voir par exemple Goidts, Van Wesemael, and Crucifix 2009; Wesemael et al. 2010), les projections à l'horizon 2050 ou 2100 manquent encore.

Les valeurs mentionnées en 2006 (Wesemael et al. 2010) pour la séquestration du carbone dans les terres de cultures wallonnes tournaient aux alentours de 50 t de carbone/ha et pour les prairies aux alentours de 80-120 t de carbone/ha. Par ailleurs, en région wallonne, on estime grossièrement que 100 tonnes de carbone/ha sont stockés dans le sol (SOC – soil organic content) et que 100 tonnes de carbone/ha sont stockés dans la biomasse (BOC- biomass organic carbon).

D'une manière générale, les résultats scientifiques publiés récemment sur base des scénarios du GIEC et de différents modèles de projections des variables climatiques, mentionnent tous une augmentation du carbone stocké dans les écosystèmes pour les régions tempérées (à la fois la composante sol et NPP). L'étude de Zaehle et al. 2007 mentionne par exemple que l'effet combiné des changements d'occupation des sols, du changement climatique et de l'augmentation des concentrations en CO₂ dans l'atmosphère résulterait en une assimilation nette de carbone entre 1990 et 2100 pour tous les scénarios considérés. Cette thèse est relayée par Eglin et al. 2010 qui mentionnent pour 2050 un changement positif dans les stocks de carbone (une augmentation des stocks) pour tous les scénarios considérés. Les données sur lesquelles se base la présente analyse car détaillées à l'échelle des états membres (Jo Smith et al. 2006; Smith et al. 2005) montrent les mêmes tendances pour nos latitudes. Schulp, Nabuurs, and Verburg 2008 insistent lourdement sur les grandes

incertitudes qui pèsent sur les calculs actuels, en tC/ha. Il faut donc être particulièrement prudent dans l'interprétation des résultats.

Méthodologie poursuivie

La méthodologie présentée ici s'est basée sur les données de la Belgique présentées dans Carraro et al. 2009. Celles-ci proviennent du projet européen ATEAM (Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling) dont les résultats pour cette partie sont publiés dans Jo Smith et al. 2006; Smith et al. 2005.

Ces données se basent sur des scénarios d'évolution des écosystèmes, sur base des quatre scénarios développés par le GIEC (A1FI, A2, B1 et B2), qui couplent des modèles climatiques avec des évolutions socio-économiques. Le scénario A2 est considéré dans l'étude citée comme le scénario Business as usual. Dans ce cas, un modèle bien précis a été utilisé et postule notamment une augmentation des températures de 2.8°C. Nous renvoyons à la page 24 du présent rapport pour une description plus complète des différents scénarios.

Nous attirons de plus l'attention du lecteur dès à présent sur le fait que l'on s'écarte dans ce cas-ci du scénario d'économie constante. Il nous est en effet impossible d'extraire des résultats présentés la part due uniquement au changement climatique. Il nous est possible (voir ci-après) d'extraire la part des changements d'occupation des sols à titre exemplatif, mais pas par exemple celle de l'augmentation de la population ou d'autres modifications socio-économiques. Les résultats seront systématiquement présentés pour les quatre scénarios, bien que ce soit le scénario A2 qui ait été retenu pour présenter les résultats finaux car c'est celui qui s'écarte le moins de l'hypothèse de l'inaction (scénario BAU).

Nous avons déjà mentionné l'importance des changements en termes d'occupation des sols. Ces derniers changent grandement si l'on considère l'un ou l'autre scénario.

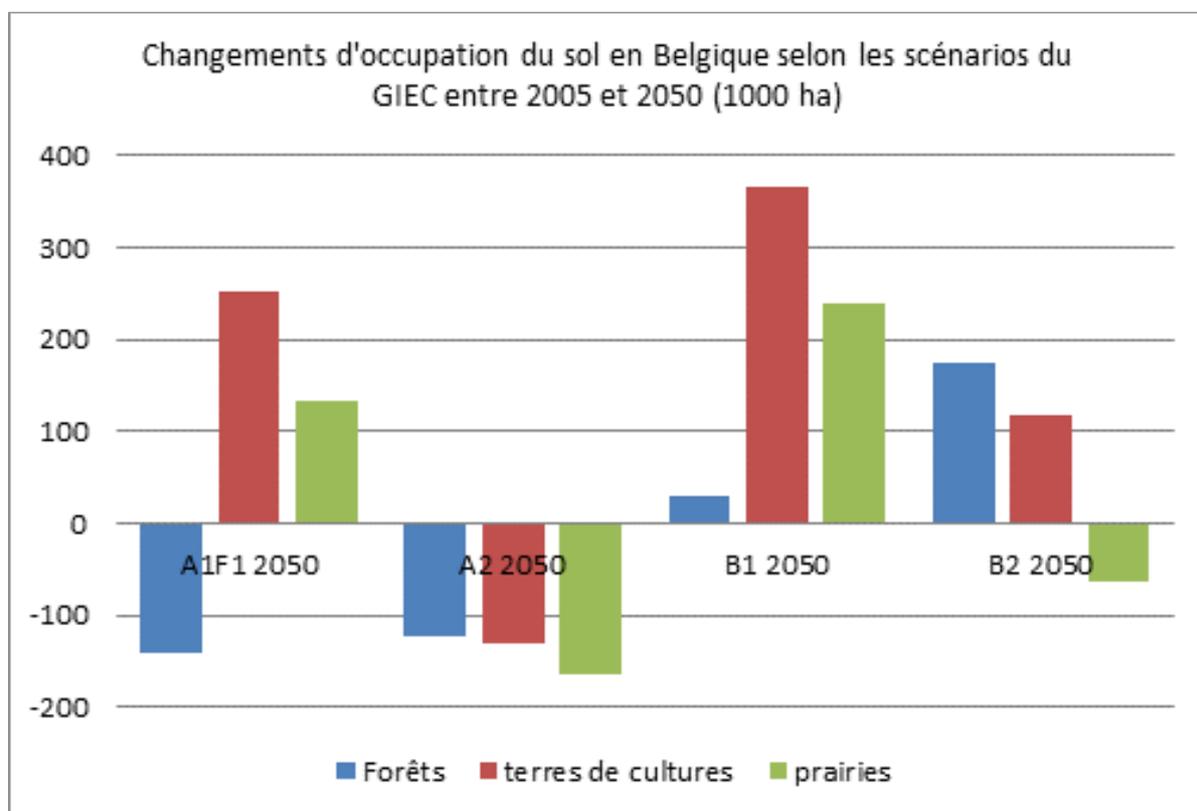


Figure 35. Changements d'occupation des sols des trois grands types d'occupation traités dans ce chapitre pour les 4 scénarios du GIEC. Source : Carraro et al. 2009

Dans les scénarios A1 et A2, les superficies forestières décroissent en 2050, avec des magnitudes de l'ordre de 21% et 9% en Europe. Le scénario A1 montre l'impact le plus important, car c'est celui qui postule le plus grand impact de l'augmentation des températures (4.4 degrés). Les scénarios B1 et B2 présentent une augmentation dans les superficies forestières, de l'ordre de 6% et 10%. La plus grande augmentation démontrée dans le scénario B2 est due au fait que les plus grandes précipitations et les hypothèses de reboisement sont combinées dans le même scénario.

La conservation des forêts ou la prévention de la déforestation dans le but de stabiliser les émissions de gaz à effet de serre ont été officiellement reconnues comme un instrument politique fort. L'estimation des valeurs économiques liées aux questions des services de régulation du climat (c'est-à-dire la séquestration du carbone) par les forêts est donc primordiale.

En ce qui concerne les changements des terres de cultures, on observe une augmentation de ces dernières dans tous les scénarios sauf le scénario A2. Les prairies quant à elles augmentent en superficies dans les scénarios A1FI et B1 et diminuent dans les scénarios A2 et B2.

La méthodologie poursuivie est double : premièrement, les données en terme de tC/ha et Mt de C sont extraites du rapport de (Carraro et al. 2009) pour les trois types d'occupation du sol pour le scénario A2. Les deux valeurs sont intéressantes car l'une (Mt de C) prend en compte les évolutions des changements d'occupation des sols tandis que l'autre pas (tC/ha).

Ensuite, dans un second temps, ces valeurs sont transformées en termes monétaires sur base d'une part de la valeur de la tonne de carbone selon l'Emission Trading System (ETS, coût du CO₂ du marché en 2013 : 7 euros la tonne, soit 26 euros l'équivalent carbone) et d'autre part de la valeur du coût marginal des dommages en 2010 (20 euros la tonne de CO₂, soit 73,33 euros l'équivalent carbone).

Le "coût social du carbone" (ou CSC) est l'une des mesures utilisées, par les Etats Unis et la Commission européenne notamment, pour rendre compte des impacts du changement climatique. Il correspond à une estimation monétaire de l'impact qu'aurait l'émission d'une tonne additionnelle de carbone, par exemple sur les services éco-systémiques. En effet, cet indice a été formellement introduit par l'Administration Obama (les agences fédérales américaines doivent évaluer les coûts et bénéfices de toute nouvelle réglementation qu'elles envisagent et le coût social du carbone est pris en compte dans ces calculs). Le rapport Stern (de plus de sept cents pages) développe le thème de la "valeur sociale du carbone" ou "social cost of carbon" dans la littérature anglo-saxonne et présente la méthodologie adoptée pour évaluer les couts d'abattement et des dommages environnementaux. Au niveau européen, les économistes se servent d'une analyse coût/bénéfices pour comparer ce que cela coûte d'agir et ce que cela coûte de ne rien faire (en termes de dommages causés par les changements climatiques). Ces derniers sont calculés en termes de coût social du carbone et actualisés dans le temps. Le coût social du carbone donne une valeur chiffrée à des coûts dont l'économie ne tient pas compte (par exemple, le coût des sécheresses, des cyclones et des inondations n'entre pas en ligne de compte dans la valeur monétaire attribuée à la consommation de combustibles fossiles mais il serait inclus dans le coût social). Les estimations du CSC sont faites à partir de modèles climatiques et économétriques, largement reconnus et utilisés par la communauté scientifique. Cependant, étant donné les énormes incertitudes liées à l'évaluation chiffrée des dégâts non marchands, il est difficile d'évaluer le coût social du carbone de façon fiable. Par conséquent, la littérature offre des projections très variables (et probablement sous-estimées selon la littérature internationale). Pour citer un exemple, si les travaux de nombreux économistes du changement climatique établissent un prix actuel médian de la tonne du carbone autour de 14 dollars (Maddison, 2007) dans un scénario "au fil de l'eau" ou "business as usual", c'est-à-dire quand aucune mesure n'est prise pour prévenir le changement climatique, Stern trouve un prix actuel proche de 314 dollars la tonne. Une revue plus large de la littérature montre la très large fourchette d'évaluation – de 11 dollars pour les plus optimistes à

1000 dollars pour les plus pessimistes – de la tonne de carbone (Ekins, 2005). Le coût social de 20 euros la tonne de CO₂ utilisé dans la présente analyse provient des modélisations réalisées à l'échelle de la Belgique (ICEDD, VITO, and FPB, 2013).

Hypothèses de calcul

Les données sont donc disponibles à l'échelle de la Belgique et sont les suivantes.

Carbone stocké dans les sols belges	2005	A1F1	A2	B1	B2	Unite (30 cm)
Forêts	72,87	64,56	67,19	97,03	103,55	Mt C
Terres arables	31,12	44,53	28,62	48,18	37,63	Mt C
Prairies	61,16	94,52	50,57	108,46	64,04	Mt C
Forêts	109,3	122,7	123,3	139,0	123,0	t/ha
Terres arables	36,23	40,08	39,26	39,33	38,48	t/ha
Prairies	120,63	144,81	142,54	142,91	140,33	t/ha

Tableau 23. Carbone stocké dans les sols belges selon différent scénarios du GIEC.

On peut observer deux tendances fortes : d'une part, lorsque les données sont présentées en t de carbone/ha, on observe une augmentation, pour tous les scénarios et tous les couverts du carbone stocké. D'autre part, lorsque les chiffres sont présentés en Mt de carbone, les tendances sont moins claires, et ce uniquement en raison des différentes hypothèses à la base des changements d'occupation des sols prises dans les différents scénarios.

La répartition entre les forêts wallonnes et les forêts du reste de la Belgique s'est faite sur base des superficies totales de forêts en Belgique et en Région wallonne en 2010 (source : Panorabois et Eurostat : for_area). En 2010, les superficies forestières totales belges sont de 697371 ha tandis que les forêts wallonnes représentent 547750 ha, ce qui nous donne un ratio de répartition de 79%. L'hypothèse sous-jacente du calcul est bien entendu que ce ratio n'évolue pas au fil des années et reste identique en 2050.

La répartition pour les terres de cultures et les prairies permanentes s'est faite également sur base des superficies totales de ces deux types d'occupation du sol en Belgique et en Région wallonne (source : Eurostat, 2010, agr_r_landuse). Les ratios sont respectivement de 0,48 et 0,68 pour les terres de cultures et les prairies permanentes.

Le tableau peut donc être ramené à la Wallonie comme suit :

Carbone stocké dans les sols wallons	2005	A1F1	A2	B1	B2	unité
Forêts	56,8	50,3	52,4	75,6	80,7	Mt C
Terres arables	14,9	21,3	13,7	23,0	18,0	Mt C
Prairies	41,5	64,1	34,3	73,6	43,5	Mt C
Forêts	109,3	122,7	123,3	139,0	123,0	t/ha
Terres arables	36,2	40,1	39,3	39,3	38,5	t/ha
Prairies	120,6	144,8	142,5	142,9	140,3	t/ha

Tableau 24. Carbone stocké dans les sols wallons selon différent scénarios du GIEC. Source : ICEDD, 2014.

Les chiffres en Mt de C ont été multipliés par les deux valeurs du carbone mentionnées plus haut (26 euros la tonne de C ou 73 euros la tonne de C) et le scénario A2 soustrait à la valeur de 2005 pour obtenir l'estimation en prenant les changements d'occupation des sols en compte. Le même exercice a été réalisé à partir des données en t/ha, mais en les multipliant au préalable par les superficies des trois types d'occupation des sols de 2010 (source Eurostat : agr_r_landuse et superficie forestière de 547000 ha selon panorabois) pour s'affranchir de l'hypothèse de l'évolution de l'occupation des sols.

Résultats

Les résultats finaux sont présentés au tableau suivant.

AVEC CHANGEMENT D'OCCUPATION DES SOLS	ETS (7 euros la tonne de CO2)	Coûts marginaux en 2010 (20 euros de CO2)
forêts	-190	-543
terres arables	-21	-59
prairies	-169	-483
	-380	-1 085
SANS CHANGEMENT D'OCCUPATION DES SOLS	ETS (7 euros la tonne de CO2)	Coûts marginaux en 2010 (20 euros de CO2)
forêts	197	563
terres arables	31	89
prairies	191	545
	419	1 196

Tableau 25. Coût estimé de la séquestration de carbone (scénario A2 du GIEC) sur les services de régulation des forêts et des écosystèmes agraires. Source : ICEDD, 2014.

On peut voir à quel point l'hypothèse des changements d'occupation des sols influence les résultats.

Le scénario A2 considéré supposant une réduction des trois types de couvert, on obtient au final un chiffre négatif, alors que pour les trois couverts, les chiffres en t/ha étaient toujours positifs (augmentation nette du service de séquestration).

Nous n'avons pas non plus considéré d'actualisation des valeurs des prix, les projections supposant des valeurs de l'ordre de 130 à 400 euros la tonne de carbone d'ici à 2050 selon la valeur des coûts marginaux (ICEDD, VITO, and FPB 2013). L'exercice présenté ici suffit à démontrer les trop grandes incertitudes pesant sur les facteurs non liés directement au changement climatique. Les chiffres présentés sont trop incertains que pour être fiables et joignent un trop grand nombre d'incertitudes (socio-économiques en plus des incertitudes climatiques).

Les services culturels des forêts : valeurs de non-consommation

Méthodologie poursuivie

La méthodologie présentée ici est en tout point identique à celle de l'étude qui sert de base aux chiffres qui seront proposés pour la Wallonie : Carraro et al. 2009.

La méthode utilisée est la méthode de transfert de bénéfices (transfert de résultats) pour chaque région géoclimatique. Les valeurs utilisées dans l'analyse sont des valeurs de WTP (willingness to pay – en français consentement à payer). L'étude utilise un modèle économique pour décrire jusqu'à quelle mesure les individus sont prêts à échanger des revenus individuels contre différents degrés d'approvisionnement en services culturels forestiers. Les hypothèses sous-jacentes au modèle sont que la valeur marginale estimée du service

décroit à mesure que la superficie de la forêt augmente et croît avec une augmentation du niveau de revenu moyen du pays dans lequel la forêt est située (Carraro et al. 2009).

Les variations futures de ces valeurs en raison du changement climatique sont projetées sur base des modifications de superficie forestière, de GDP et de population selon chaque scénario du GIEC. Nous rappelons donc ici que nous nous écartons de l'hypothèse d'économie constante prise dans le reste du rapport car il nous est impossible d'extraire de ces scénarios les seuls impacts en lien avec le changement du climat.

Le changement de la demande pour les activités récréatives en forêts en conséquence du changement climatique n'est pas pris en compte en raison du manque d'information dans la littérature sur ces phénomènes.

Chaque région géoclimatique est assimilée à un type de biome forestier majeur qui lui est représentatif et peut survivre aux nouvelles conditions imposées par le climat. L'avantage d'une telle simplification est que les valeurs de transfert de bénéfices à trouver dans la littérature se limitent aux données d'études originales qui ont eu lieu dans un pays d'une même région géoclimatique.

L'analyse réalisée a permis d'identifier les variables explicatives de la variance du WTP. Ces variables sont principalement : i) la taille des forêts pour les activités récréatives ou la taille des forêts dédiées à la conservation de la nature pour les usages passifs et ii) le niveau de revenu de la région étudiée. Les valeurs de WTP trouvées dans la littérature pour les différentes régions géoclimatique sont utilisées pour déterminer les coefficients de variation (à quel point le WTP est influencé par ces deux variables) qui seront à leur tour utilisés pour extrapoler les résultats à la région géoclimatique ou au scénario GIEC considéré.

Les données relatives aux superficies des forêts disponibles pour les fonctions récréatives ou dans un but de conservation sont tirées des bases de données de la FAO 2005. La modification de ces superficies de 2005 à 2050 est approximée de la manière suivante : la part de la superficie de forêt récréative en 2005 par rapport à la superficie totale des forêts en 2005 reste identique en 2050 et la part de la superficie de forêt dédiée à la conservation en 2005 par rapport à la superficie totale des forêts en 2005 reste identique en 2050. Cette approximation permet d'estimer l'évolution des superficies des deux types de forêts d'ici à 2050 pour les 4 scénarios du GIEC.

Scénarios climatiques	2005	A1F1 2050	A2 2050	B1 2050	B2 2050	unité
Superficies forestières désignées pour l'usage récréatif en Belgique	52	41	43	54	66	1000 ha
Superficies forestières désignées pour la conservation en Belgique	68	54	56	71	86	1000 ha

Tableau 26. Superficies forestières désignées pour l'usage récréatif et la conservation en Belgique selon différent scénarios du GIEC.

Source : ICEDD, 2014.

Hypothèses de calcul

L'étude donne les valeurs, pour la Belgique, des services écosystémiques culturels de non-consommation des forêts pour chacun des scénarios climatiques. Nous avons tiré de ces valeurs la part attribuable à la Région wallonne sur base du pourcentage des forêts totales se trouvant en Région wallonne en 2010 (79% voir plus haut). L'hypothèse sous-jacente du calcul est bien entendu que ce ratio n'évolue pas au fil des années et reste identique en 2050.

La conversion des US\$2005 en €2010 s'est faite sur base d'une part du taux de change de 2005 (1,2441) disponible sur le site de la banque centrale européenne et ensuite du taux d'inflation de 2005 à 2010 disponible sur le site d'eurostat (HICP inflation rate for Belgium: 2005=2,5; 2006=2,3, 2007=1,8; 2008=4,5; 2009=0; 2010=2,3).

Résultats

Scénarios climatiques	2005	A1F1 2050	A2 2050	B1 2050	B2 2050	unité
Projection des valeurs culturelles de la forêt wallonne	34	15	15	29	24	million € 2010
valeur en 2050 comparée à la valeur en 2005		-18	-19	-5	-10	million € 2010

Tableau 27. Coût des valeurs culturelles de la forêt wallonne selon différent scénarios du GIEC. Source : ICEDD, 2014.

Les services d'approvisionnement, de régulation et culturels des écosystèmes d'eau douce

Méthodologie poursuivie

La méthodologie présentée ici est en tout point identique à celle de l'étude qui sert de base aux chiffres qui seront proposés pour la Wallonie : Carraro et al. 2009.

La démarche poursuivie est fort semblable à celle qui a été utilisée pour l'estimation des valeurs des services écosystémiques culturels forestiers mentionnée plus haut. La méthode de transfert des bénéfices est privilégiée en ce sens qu'elle permet d'obtenir des estimations relativement rapidement et avec des moyens moins importants que ceux demandés par les autres méthodes.

Une méthode de méta-analyse statistique basée sur 236 observations indépendantes en provenance de 103 études et à propos de 123 écosystèmes d'eau douce à travers le monde est utilisée. Tous les continents sont représentés dans la base de données utilisée, dont 63 proviennent d'Europe (Autriche, République Tchèque, France, Allemagne, Grèce, Italie, Hollande, Norvège, Espagne, Suède, Grande Bretagne). Le modèle de régression méta-analytique que l'étude cherche à optimiser sur base de ces observations est :

$$\ln(y_i) = a + b_V X_{Vi} + b_S X_{Si} + b_C X_{Ci} + u_i$$

où la variable dépendante (y) est la valeur standardisée en US\$ de 2003 par hectare et par an ; X_{Vi} , X_{Si} et X_{Ci} sont les vecteurs des variables explicatives et b_v , b_s et b_c sont leurs coefficients respectifs ; a est un terme constant et u est un terme d'erreur. Les variables explicatives sont choisies pour représenter les caractéristiques de l'étude initiale (X_{Vi}), de l'écosystème du site étudié (X_{Si}) et des caractéristiques du contexte socio-économique, géographique et climatique dans lequel le site étudié est situé (X_{Ci}).

Les variables en lien avec l'étude initiale concernent le type de méthode d'évaluation du coût (préférences révélées, préférences exprimées, prix des marchés, ou mélange de méthodes) et le fait que les valeurs concernent des valeurs marginales ou moyennes.

Les variables en lien avec les sites concernent le type et la taille des écosystèmes et les types de services pris en compte. Trois types d'écosystèmes sont considérés : les rivières (et leur plaines alluviales), les lacs et les autres types de zones humides tels que les forêts humides, les tourbières et les marais. Les types de services pris en compte sont : les services culturels (usage récréatif -chasse et pêche récréatives, promenades, nage,

navigation-, et usage passif –valeur intrinsèque de la biodiversité et valeur d'agrément -), les services d'approvisionnement (en eau douce, matière, bois énergie ou produits de la chasse et la pêche commerciale), les services de régulation (amélioration de la qualité des eaux, prévention des inondations).

Les variables en lien avec le contexte sont le GDP par habitant, la population vivant à proximité du site d'étude, la densité de population et l'abondance des écosystèmes d'eau douce dans le pays considéré, le nombre total d'espèces d'oiseaux et de mammifères et le nombre d'espèces d'oiseaux et de mammifères en danger ; la température moyenne, maximale et le minimale mensuelle et la moyenne annuelle de précipitation du pays.

Une fois la méta-analyse réalisée, les scénarios du GIEC ont été utilisés pour évaluer l'impact du changement climatique sur les valeurs des services écosystémiques des eaux douces.

La première étape de l'analyse a été l'estimation de la valeur actuelle de ces services pour chaque pays. Les variables en lien avec le contexte pour les écosystèmes d'eaux douces ont été obtenues sur base d'analyses par système d'information géographique des bases de données « Corine Land Cover » et « Global Lakes and Wetlands ».

Pour évaluer l'impact du changement climatique, les scénarios du GIEC ont été utilisés, et dès lors les chercheurs se sont largement reposés sur les résultats de ces modèles pour modifier les variables. Les variables qu'ils ont fait changer en fonction du scénario climatique envisagé sont :

- La densité de population et le GDP par habitant,
- Les superficies totales des écosystèmes d'eau douce,
- Le nombre total d'espèces d'oiseaux,
- Les températures maximales mensuelles.

Hypothèses de calcul

Les données disponibles sont les données d'une part de la valeur totale des services écosystémiques des écosystèmes d'eaux douces en 2003 et d'autre part les mêmes valeurs pour 2050 et relatives aux différents scénarios climatiques.

Valeur actuelle des écosystèmes d'eau douce en Belgique	2003
Valeur moyenne (\$/ha/an)	116.733
Superficie totale (ha)	24.762
Valeur agrégée (million \$/an)	2.891

Tableau 28. Valeur actuelle des écosystèmes d'eau douce en Belgique.

Scénarios climatiques	2050 A1	2050 A2	2050 B1	2050 B2	Unités
Variation totale par rapport à 2003 pour les différents scénarios pour la Belgique	-479	-584	-349	-548	million \$/an
Variation en %	-17	-20	-12	-19	%

Tableau 29. Variation de la valeur des écosystèmes d'eau douce en Belgique selon différent scénarios du GIEC.

La règle utilisée pour l'attribution des chiffres à la Région wallonne s'est basée sur les couches de Corine Land Cover, et plus particulièrement des éléments suivants : section 4.1 : zones humides intérieures ; 4.1.1 tourbières ; section 5.1 : eaux intérieures ; 5.1.1. cours d'eau et 5.1.2. pièces d'eau intérieures. Les superficies de ces différentes classes en Région wallonne ont été calculées avec ArcView et rapportées au total Belge. Le rapport est de 0,475.

La conversion des US\$2003 en €2010 s'est faite sur base d'une part du taux de change de 2003 (1.1803) disponible sur le site de la banque centrale européenne et ensuite du taux d'inflation de 2003 à 2010 disponible sur le site d'eurostat (HICP inflation rate for Belgium: 2003=1,5; 2004=1,9; 2005=2,5; 2006=2,3, 2007=1,8; 2008=4,5; 2009=0; 2010=2,3).

Résultats

Scénarios climatiques	2050 A1F1	2050 A2	2050 B1	2050 B2	Unités
Variation totale par rapport à 2003 pour les différents scénarios pour la Région wallonne	-237	-289	-173	-272	million € 2010

Tableau 30. Variation de la valeur des écosystèmes d'eau douce en Wallonie selon différent scénarios du GIEC. Source : ICEDD, 2014.

LE COÛT DE L'INACTION SUR LA BIODIVERSITE : LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

SECTEUR	BIODIVERSITE
Descriptif de l'impact	
<p>Modification dans les services rendus par les écosystèmes forestiers, agricoles et d'eau douce. Les services d'approvisionnement sont traités par ailleurs (dans la thématique forêt et agriculture). Les services auxquels nous faisons référence sont les services culturels et de régulation pour les écosystèmes forestiers et les services d'approvisionnement, culturels et de régulation pour les écosystèmes d'eau douce.</p>	
Cadre de l'analyse	
<p>Les données utilisées proviennent de deux types de données : le projet ATEAM qui modélise l'évolution des superficies notamment forestières et agricoles en Europe et caractérise le carbone présent dans le sol à 30 cm de profondeur (impact combiné de la Net Primary Production et de la minéralisation plus importante du carbone du sol sous des climats plus chauds et une atmosphère enrichie en CO₂) ; d'autres études à travers le monde pour la quantification des services par la méthode de transfert de bénéfices.</p>	
Méthode	
<p>Les données disponibles au niveau belge ont été rapportées à l'échelle de la Région wallonne sur base de différentes hypothèses. Dans le cas du service de séquestration de carbone des forêts, c'est le ratio superficies forestières wallonne/belge qui a été utilisé. Dans le cas du service de séquestration de carbone des systèmes agraires, ce sont les ratios superficies terres cultivées ou prairies wallonnes/belges qui ont été utilisés. Finalement, pour calculer la part wallonne attribuable aux services écosystémiques des écosystèmes d'eau douce, ce sont les superficies de ces types d'écosystèmes selon la classification Corine qui ont été utilisés.</p>	

Quantification de l'impact physique

La quantification physique a été réalisée et présentée pour le service écosystémique de séquestration du carbone.

Carbone stocké dans les sols	2005	A1F1	A2	B1	B2	Unite
Forêts	109,3	122,7	123,3	139,0	123,0	t/ha
Terres arables	36,2	40,1	39,3	39,3	38,5	t/ha
Prairies	120,6	144,8	142,5	142,9	140,3	t/ha

Traduction en termes monétaires

Données d'entrée

Les données d'entrée sont les chiffres au niveau belge et les ratios de répartition de ces données au niveau wallon. Pour rappel, les calculs du service de séquestration du carbone sont présentés à titre exemplatif dans le corps du rapport mais pas dans ce tableau récapitulatif tant sont grands les impacts potentiels des changements d'occupation des sols sur les résultats et tant ces changements varient d'un scénario à l'autre.

Résultats (Estimation des coûts des impacts)

Types de modification	Valeur chiffrée du changement (M€) – scénario A2
Modification des valeurs de non consommation des services culturels des forêts	-19
Modification des valeurs des services écosystémiques des eaux douces	-289
Total	-317

Type de coût

Cout indirect

Coût relatif

-0,1% du PIB wallon de 2011

Public cible

Toute la population

Limites et incertitudes

Il est délicat de séparer ce qui constitue une réaction au changement climatique de ce qui est dû aux changements d'usages des ressources ou de comportements. Les fortes interactions entre le changement climatique et d'autres volets des changements globaux (démographie, migrations, modifications des usages du territoire) incitent à analyser l'ensemble des facteurs qui influencent la biodiversité dans la littérature.

La question de l'évolution de la biodiversité sous l'emprise du changement climatique concerne souvent la réponse directe des espèces aux modifications des principaux paramètres physiques du climat (température, pluviométrie...) ou des paramètres chimiques associés (composition de l'atmosphère, pH des milieux aquatiques...). Sur ce point, les connaissances du comportement des différentes espèces sont extrêmement fragmentaires et limitées à quelques espèces « modèles », la notion de modèle étant plus liée à une facilité d'étude qu'à une représentativité vis-à-vis de l'ensemble des espèces. Néanmoins, on observe d'ores et déjà des signes de modification de la biodiversité attribuables aux changements graduels induits par le changement climatique. Ils concernent les différents niveaux d'organisation de la biodiversité (génétique, spécifique, écosystémique), etc.

La connaissance des impacts futurs du changement climatique sur la biodiversité repose sur des scénarios d'évolution tendancielle entachée d'incertitude.

Une des principales conséquences de la perte de biodiversité sera la diminution éventuelle des services écosystémiques et, corrélativement, du bien-être humain.

Nous sommes partis du **postulat de base** qui voulait que l'estimation des variations en services écosystémiques en lien avec le climat soit un bon proxy pour tenter de quantifier monétairement les changements en termes de biodiversité. Le lien entre les deux concepts (SE et biodiversité), même si il peut sembler direct dans certains cas, peut s'avérer plus complexe dans d'autres. C'est bien la diversité fonctionnelle plutôt que la diversité spécifique en tant que telle qui permet d'améliorer les fonctions écosystémiques.

Cela nous a amené à prendre en compte dans ce chapitre des éléments qui étaient en tout ou en partie compris dans d'autres chapitres. Ainsi, les services d'approvisionnement sont en partie traités dans le chapitre relatif à l'agriculture et à la forêt et en partie traités dans le présent chapitre pour ceux concernant les ressources en eaux douces. L'élargissement de la notion de biodiversité à celle des services écosystémiques dans le but de procéder à une estimation des coûts a rajouté un niveau de complexité supplémentaire dans la présentation du chapitre. On perçoit en effet facilement à quel point il est difficile de présenter une vue synthétique du lien entre changement climatique et services écosystémiques tant est grande la panoplie de services couverts par cette notion.

Nous insistons bien sur le fait que la valeur présentée n'est qu'une **valeur partielle**. Même en affinant les méthodes d'évaluation et en complétant cette évaluation avec d'autres SE qui n'ont pas encore été quantifiés monétairement, nous ne pourrions jamais attribuer une valeur qui soit le reflet économique intégral de ce que représente effectivement la biodiversité au travers des écosystèmes. Des imprécisions et des incertitudes existeront toujours car les connaissances et techniques d'évaluation ne permettent pas à ce jour de saisir la complexité des écosystèmes, et encore moins d'en saisir la part de changement attribuable aux modifications futures du climat. De plus, certaines valeurs ne sont tout simplement pas convertibles en valeurs monétaires : c'est le cas typiquement des valeurs de non-usage (valeur d'existence, valeur de leg ou valeur altruiste).

Il est par exemple presque impossible de chiffrer les coûts liés à la disparition d'une espèce en particulier si celle-ci n'a pas de rôle commercial. Prenons l'exemple du cuivré de la bistorte (espèce de papillon) qui sera très vraisemblablement affecté par le changement climatique. Le DEMNA envisage d'encore restaurer 400 ha d'ici 2020 (en plus de l'actuel projet Life papillons) pour cette espèce dans le cadre du « Prioritised Action Framework (PAF) » pour Natura 2000, actuellement en préparation. Il nous a été impossible de chiffrer cette disparition potentielle, surtout dans le cadre de l'inaction : chiffrer les coûts de l'action, qui sont disponibles, ne répond en effet pas à la question.

L'approche qui visait à estimer les **coûts de restauration** de certains milieux dans le but d'assurer une meilleure migration des espèces ou de restaurer les conditions de croissance et d'échange entre les populations n'a dès lors pas été retenue pour cette raison.

De plus, la question des **espèces envahissantes** n'a pas non plus été chiffrée. S'il est probable que l'aire de répartition de certaines d'entre elles tendra à évoluer et que les coûts liés à la lutte contre ces dernières vont vraisemblablement augmenter, il nous a été impossible de trouver des informations quant aux niches potentielles que ces espèces occuperont sous les nouvelles conditions climatiques.

Les données utilisées ici proviennent de **projets européens** car aucune donnée n'est disponible au niveau wallon. Ce cas de figure est bien évidemment moins idéal que si nous disposions de chiffres à l'échelle de la région et comporte un certain nombre de simplifications dues à l'échelle considérée.

Ces projets se basent sur les **scénarios du GIEC** et dès lors sur des évolutions de données socio-économiques en plus des modifications attendues du climat. Ces chiffres sont donc en contradiction avec l'hypothèse d'économie constante prise dans le rapport. Nous avons tenté d'apporter un éclaircissement exemplatif sur les tendances que prendraient les chiffres si on supprimait l'évolution de l'occupation du sol. Cet exercice est très périlleux et uniquement exemplatif car il ne retire uniquement qu'une partie des variables socio-économiques des scénarios. La question des **changements des stocks de carbone** fait encore largement débat et des nombreuses inconnues importantes restent soulevées par les scientifiques. Nous avons dès lors choisi de traiter les chiffres obtenus avec la plus grande prudence.

La **méthode de « transferts de bénéfice »** est l'un des moyens de combler le manque de données pour le site ou la région à analyser, à moindre coût. Cette technique donne de bons résultats pour peu que le site à étudier et le site d'emprunt soient suffisamment similaires ou bien que les valeurs soient adaptées afin d'approcher davantage la réalité du site à étudier. Les données ont été rapportées à la Belgique sur base de données appliquées à un biome représentatif de la région géoclimatique. L'approche est donc généralisée à la région géoclimatique et comporte dès lors des incertitudes pour la quantification à l'échelle de la Région wallonne.

Finalement, il est important de noter également que les coûts mentionnés ici sont les **coûts relatifs des différents scénarios du GIEC** par rapport à la situation actuelle. Sont donc également compris dans ces coûts relatifs ceux en lien avec l'augmentation de la population et des conditions socio-économiques qui sont pris en compte dans les scénarios. On rappellera également ici que les changements climatiques ne sont qu'un des facteurs qui affecte la biodiversité. Ces changements exacerbent les menaces qui pèsent sur les différents milieux et les différentes espèces, et il est bien souvent difficile d'attribuer les extinctions observées au seul changement climatique.

Tableau 31. Synthèse des résultats des impacts analysés sur les services écosystémiques. Source : ICEDD, 2014.

PERSPECTIVES FUTURES

Pour aller plus loin...

- Etudier la possibilité de mise en œuvre de l'équivalent d'un Plan Marshall pour la biodiversité au sens large en Wallonie à la fois pour les espèces et biotopes emblématiques (insuffisamment protégés) et pour les services écosystémiques (encore méconnus donc négligés).
- Relancer les programmes de monitoring et d'inventaires biologiques pour obtenir des données chiffrées, étape préalable nécessaire avant toute évaluation monétaire.
- Définir un programme-cadre intégré pour mesurer et évaluer les services écosystémiques en coopération avec les acteurs concernés en Wallonie (Administrations, Universités, ONG, société civile, ...)
- Améliorer les connaissances sur les liens entre changements de diversité spécifique et services écosystémiques.
- Travailler sur la cartographie des services écosystémiques en Wallonie à l'échelle des paysages et identifier les flux entre les acteurs.
- Approfondir les modèles cartographiques de l'évolution projetée des différents types d'occupation du sol en lien avec le changement climatique afin de pouvoir quantifier, en termes physiques dans un premier temps, les évolutions des différents milieux sensibles.
- Réaliser l'exercice de la méthode de transfert de bénéfice pour des sites d'emprunts dont les caractéristiques sont comparables à la Région wallonne plutôt qu'au biome de la région géoclimatique pour affiner les précisions.
- Continuer les efforts pour tenter de quantifier les valeurs de non usage, mais aussi le background écologique qui est à l'origine des SE et l'important volet des valeurs sociales qui ne se quantifient pas de manière monétaire.

Tableau 32. Proposition de recherches futures pour affiner les résultats de l'analyse sur la biodiversité. Source : ICEDD, 2014.

2.4 ENERGIE

2.4.1 IDENTIFICATION DES IMPACTS

Les liens entre le secteur énergétique et le changement climatique sont généralement abordés sous l'aspect de l'impact du premier sur le second à travers les émissions de gaz à effet de serre. Par sa contribution aux émissions de gaz à effet de serre, le secteur énergétique est ainsi généralement associé à la problématique de l'atténuation plutôt qu'à celle de l'adaptation aux changements climatiques. Toutefois, la prise en compte des impacts potentiels des changements climatiques sur le secteur énergétique tend maintenant à s'imposer, du fait des risques d'impacts non négligeables sur les systèmes énergétiques que représentent les variations climatiques moyennes et extrêmes, et aussi à cause des effets croisés possibles entre les politiques d'atténuation dans le secteur énergétique et la résilience climatique du secteur, certaines options énergétiques à faibles émissions pouvant présenter une vulnérabilité climatique importante.

Rappelant l'importance de prendre en compte ces risques à long terme étant donné la longue durée de vie de nombreuses infrastructures énergétiques, le rapport de la Banque Mondiale (Ebinger and Vergara, 2011) présente une vue d'ensemble des liens potentiels entre les changements climatiques futurs et le secteur énergétique :

- Changements des besoins saisonniers de chauffage et climatisation: probable augmentation des besoins d'énergie pour le rafraîchissement en été et baisse des consommations de chauffage en raison d'hivers plus doux ;
- Difficulté potentielle de satisfaction des besoins en certaines saisons (typiquement, baisse de la disponibilité de centrales thermiques et nucléaires alors que dans le même temps la demande pourrait augmenter) ;
- Variations probables des potentiels d'énergie renouvelable dont une réduction de la production hydroélectrique en été;
- Modification de l'efficacité des installations requérant refroidissement (centrales thermiques, centrales nucléaires, procédés industriels, etc.);
- Risques de dégradation, rupture et destruction d'installations de production et de transport et distribution lors d'événements extrêmes (inondations, tempêtes, etc.).

MODIFICATION DE LA DEMANDE ÉNERGÉTIQUE

Pour la Wallonie, l'un des impacts directs attendus des changements climatiques serait l'effet du réchauffement des températures sur la demande d'énergie. L'impact du changement climatique sur la demande énergétique se traduirait naturellement par des besoins de chauffage moindres en hiver et des besoins de climatisation accrus en été.

Mima et Criqui (2009) évaluent la diminution de la demande de chauffage en Europe (EU27) à 17% en 2050 et 35% en 2100 pour une augmentation de 2°C.

Selon Eskeland et Mideksa (2011), l'augmentation de la demande de climatisation des pays d'Europe du Sud est estimée largement dépasser la baisse en demandes de chauffage. Dans les pays de l'Europe du Nord, la baisse de la demande de chauffage dépassera l'augmentation de demande de climatisation et il y aurait une compensation de l'une par l'autre dans les pays d'Europe Centrale.

D'après Lafrance et Desjarlais (2006) au Québec suivant un scénario médian de réchauffement de 2,6 °C en hiver et de 2,0 °C en été à l'horizon 2030 et de 3,5 °C en hiver et de 3,1 °C en été à l'horizon 2050, les besoins en énergie du secteur résidentiel diminueraient en 2030 de 6,7 % et de 6,9 % en 2050 par rapport à la demande d'un scénario de référence sans changements climatiques. L'impact de la hausse de la climatisation sur la demande d'énergie des ménages est moins grand que celui de la diminution des besoins de chauffage. Cela s'explique à la fois par des hausses de température plus importantes en hiver qu'en été et par un usage beaucoup moins répandu de la climatisation dans les résidences. Les besoins énergétiques de climatisation seraient multipliés par 4 en 2030 et par 7 en 2050, tandis que les besoins de chauffage ne diminueraient respectivement que de 13 % et 14%.

Pour la Wallonie il s'agit sur le plan économique d'un élément important se chiffrant en centaines de millions des euros et ayant un impact significatif sur le portefeuille des ménages. Surtout que des mesures d'adaptation relativement simples peuvent être implantées pour réduire l'impact du réchauffement en été (notamment les toits verts, les arbres et les plantes grimpantes, les volets et les auvents) et donc réduire l'augmentation de la demande de climatisation.

MODIFICATION DE L'EFFICACITÉ DES CENTRALES À CYCLES THERMIQUES

Le rendement de la production d'électricité au sein de centrales à cycles thermiques dépend directement de la température de la source froide et donc de la disponibilité en eau de surface.

Durant les périodes de sécheresse, le débit des fleuves peut diminuer, la température atmosphérique peut augmenter ainsi que la température des eaux de surface. Ces deux paramètres, liés à l'évolution du climat, pourraient avoir des effets négatifs sur la production d'énergie.

La température de la source froide influence directement le rendement de la centrale alors que la diminution du débit pourrait limiter la production électrique afin de ne pas dépasser les rejets thermiques dans les fleuves voire entraîner la mise à l'arrêt de la production dans les périodes les plus critiques.

Les impacts des changements climatiques sur l'efficacité des centrales à cycles thermiques et en particulier des centrales nucléaires, sont estimés comme suit: une augmentation de 1°C de la température de l'eau de refroidissement réduirait le rendement de production de 0,15 à 0,25 points de pourcentage, et la capacité de production de 0,45 à 0,75% (la température de l'eau est considérée augmentée de 0,6-0,8°C pour une augmentation de température de l'air de 1°C) (Van Vliet M. et al., 2012; Linnerud et al., 2011).

Selon Rubbelke and Vogele (2011), les stratégies d'adaptation spontanée de la production d'électricité, au niveau européen, pourraient comprendre une réduction de la production électrique dans certains pays tels que la France qui serait compensée par une augmentation d'importation d'électricité d'autres pays. Les impacts sur les prix de l'électricité pourraient être importants.

DIMINUTION DE LA CAPACITÉ DE PRODUCTION D'ÉNERGIE HYDROÉLECTRIQUE

En ce qui concerne l'hydroélectricité, des modifications saisonnières de débits sont attendues. L'ampleur de ces modifications sera différente en fonction des régions concernées (Lehner et al., 2005; Kirkinen et al., 2005 ; Hamududu and Killingtveit, 2012; Mukheibir, 2007 ; Iimi, 2007).

La prise en compte de l'incertitude est d'autant plus importante que les centrales hydroélectriques ont une longue durée de vie, et peuvent donc être exposées aux changements climatiques futurs (Moriarty and Honnery, 2012).

Finalement, le GIEC (2011) insiste sur les usages concurrentiels de l'eau et sur les possibilités de conflits futurs pour l'utilisation d'une ressource qui risque de se faire plus rare.

Au cours des prochaines décennies, les changements climatiques entraîneront des modifications significatives du régime des précipitations et par conséquent de la disponibilité des ressources hydriques. Cela touchera en premier lieu le régime hydrologique des cours d'eau aménagés, mettant en jeu la capacité à respecter toutes les contraintes associées à l'usage multiple de ces ressources (production hydroélectrique, alimentation en eau potable, navigation, irrigation agricole, préservation des habitats fauniques, prévention des inondations, etc.).

En second lieu, il est permis de croire que la conception des ouvrages hydrauliques à venir sera elle-même affectée, dans la mesure où les changements climatiques attendus viendront modifier la productivité des installations tout au cours de leur durée de vie.

Le principal mécanisme à travers lequel le changement climatique peut affecter la production hydroélectrique est le changement de régime de débit des rivières, l'évaporation et la sécurité des barrages (Mideksa et al., 2010).

La production d'énergie à partir de centrales hydroélectriques pourrait augmenter au cours de l'hiver, suite à l'augmentation des débits hivernaux (Middelkoop et al., 2001). Par contre, les épisodes de sécheresse risquent d'affecter négativement les volumes de productions hydroélectriques durant les périodes estivales. Pour la Wallonie cet effet sera encore plus difficile à contrebattre car il n'y a pas des possibilités d'emmagasinement en réservoirs.

VARIATION DU POTENTIEL DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Le récent rapport du GIEC sur les énergies renouvelables (GIEC, 2011) reconnaît les incertitudes associées aux impacts des changements climatiques futurs sur les énergies renouvelables. Plus spécifiquement, les impacts globaux d'une augmentation de température sont estimés faibles pour l'énergie solaire, la bio-énergie, l'énergie éolienne et l'hydroélectricité (cfr ci-dessus), et non significatif pour la géothermie et l'énergie marine. Toutefois, des variations importantes sont attendues au plan régional.

Du fait de ce niveau élevé d'incertitudes sur la vulnérabilité climatique des énergies renouvelables, Moriarty et Honnery (2012) considèrent que la seule existence de risques potentiels devrait motiver le développement des énergies renouvelables qui contribueront à limiter les risques du changement climatique tandis qu'à l'inverse, plus on attend, plus le potentiel renouvelable risque d'être affecté négativement par le changement climatique.

En ce qui concerne les ressources solaires, les études disponibles considèrent que l'irradiation solaire varierait de moins de 1%, avec toutefois un niveau d'incertitude encore très élevé (GIEC, 2011).

L'efficacité des panneaux photovoltaïques pourrait aussi être affectée par une plus haute température (Ebinger and Walter, 2011; Moriarty and Honnery, 2012).

Le groupe interministériel « Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France » (2009) estime par ailleurs que : "pour le photovoltaïque, l'effet du changement climatique sur l'incidence lumineuse est difficile à estimer, l'effet nébulosité pouvant être important et d'autant que le rendement par rapport à la luminosité varie selon les types de cellules solaires utilisées. L'effet de la température sur le rendement des cellules serait de l'ordre de -0,5% par degré supplémentaire : au vu de la progression technologique continue des rendements de ces cellules, la perte par effet chaleur de 0,5% par degré semble toutefois marginale."

La variabilité saisonnière de la ressource éolienne pourrait également impacter le design et le fonctionnement des centrales éoliennes (Ebinger and Walter, GIEC, 2011).

Cependant, il faut aussi noter que les infrastructures de production en énergie solaire et éolienne ont une durée d'exploitation plus courte que les centrales énergétiques classiques: elles peuvent donc techniquement être redéployées plus facilement sur des sites aux conditions de production plus favorables en cas de modification profonde du climat.

Les impacts des changements climatiques sur les ressources énergétiques en biomasse sont liés aux pratiques agricoles et forestières et à la disponibilité de la ressource eau (incluant les usages concurrentiels de la ressource).

PERTES DE TRANSPORT ET DISTRIBUTION

Au plan des pertes de transport et distribution, il est estimé qu'une augmentation de 2°C correspond à des pertes supplémentaires liées aux caractéristiques du réseau de moins de 0,1% de l'électricité consommée (<http://www.leonardo-energy.org>).

De son côté, Frontier economics, et al 2013 estiment que pour l'ensemble du réseau du Royaume Uni, les pertes de transport et de distribution n'augmenteront pas de plus de 1% par 1°C d'augmentation de la température. Les pertes sont considérées comme linéaires par rapport à la température. Par ailleurs, les impacts des changements climatiques sur les capacités de transit des ouvrages du réseau de transport électrique (en particulier, sur l'IMAP, Intensité Maximale Admissible en Permanence) sont encore mal cernés, d'autant qu'il est estimé que pour les parties de réseau qui devraient être renforcées, ce renforcement aura pour effet de réduire la résistance ohmique et donc les pertes par effet Joule; autrement dit, le surcoût initial pourra être compensé par le gain sur les réduction de pertes (Groupe interministériel Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France, 2009).

Les risques associés aux ruptures de réseau suite à des événements extrêmes ou feux de forêts peuvent être considérés comme plus significatifs.

AUTRES IMPACTS SUR LA DEMANDE D'ÉNERGIE

Les tensions auxquelles les gestionnaires énergétiques sont confrontés lors des épisodes de « peak loads » liés à des événements extrêmes très localisés dans le temps ou l'espace (par exemple canicule, vagues de froid) sont bien connues.

L'augmentation de la sévérité, de l'ampleur, de la fréquence et de la durée des épisodes de chaleur extrême se traduira par une augmentation de la demande d'électricité de pointe. La hausse des températures estivales augmentent la consommation d'électricité, provoquant la hausse des « peak loads » en été. En outre, ces mêmes périodes de températures extrêmement élevées occasionneront un usage accru de climatisation, des pertes d'efficacité dans les réseaux de transport et de distribution et un rendement de production d'électricité réduit ce qui aura tendance à rendre plus critiques ces pics de consommation.

Rappelons toutefois que la fréquence accrue des jours de chaleur extrême n'est pas le seul facteur qui contribue à l'augmentation de la demande (de pointe). La croissance de la population et la croissance économique entraîneront également une augmentation de la demande d'électricité et pourraient encore accroître le besoin de capacité de production. En revanche, les progrès technologiques tels que l'amélioration de l'efficacité de la climatisation pourraient permettre de limiter les augmentations attendues de demande d'électricité.

2.4.2 ANALYSE DES COÛTS

Impacts quantifiés	En termes physiques		En termes monétaires
	Scenario à économie constante	Scenario à économie évolutive	
Impact sur la production électrique des centrales à cycles thermiques	X	X	X
Impact sur la production des centrales hydroélectriques	X	X	X
Modification de la demande énergétique (diminution chauffage et augmentation climatisation)	X	X	X
Pertes de transport et distribution	X	X	X
Variations des potentiels d'énergie renouvelable (hors hydroélectricité)	Impact très faible en Wallonie		

Tableau 33. Synthèse des impacts quantifiés sur l'énergie. Source : ICEDD, 2014.

Les variations de précipitations et le réchauffement des eaux de surface pourraient se traduire par une variation de la production hydroélectrique et par une chute du rendement des centrales électriques à cycles thermiques en été qui utilisent l'air ambiant ou l'eau des fleuves comme source froide. Dans le cadre de la présente étude, la quantification de l'impact sur les centrales thermiques (nucléaires dans un scénario à économie constante) et hydro-électriques a été réalisée sur base du projet INTERREG AMICE qui prévoit une baisse de la production nucléaire et hydroélectrique. Le projet AMICE se base lui aussi sur l'hypothèse d'un scénario à économie constante. Cependant, les conséquences par rapport à un scénario de référence dynamique sont aussi évaluées en se basant sur des hypothèses de remplacement de l'énergie nucléaire pour tenir compte de la fermeture prévue de la centrale de Tihange.

L'impact de la hausse des besoins de refroidissement en été et de la diminution des besoins de chauffage en hiver sur la demande d'énergie est aussi quantifié. Il s'agit d'impacts relativement importants.

Les infrastructures de production et de transport énergétique devraient, quant à elles, connaître des pertes de rendement liées à l'augmentation des températures et aux événements extrêmes. Il a été possible de chiffrer l'augmentation des pertes de transport et de distribution. Par contre, les modèles et données accessibles n'ont pas permis de quantifier les impacts des événements extrêmes (tempêtes) sur le réseau électrique.

Les évolutions climatiques pourraient aussi avoir un impact sur le potentiel de production des énergies renouvelables comme l'éolien, dont la production dépend des conditions de vent, le photovoltaïque, dont la rentabilité est directement liée à l'ensoleillement et la biomasse, dont le rendement dépend des conditions climatiques. Dans la mesure où les évolutions de vent ou d'ensoleillement attendues en Belgique et en Wallonie sont plutôt faibles, on peut s'attendre à des répercussions marginales sur les potentiels d'énergie renouvelable. Il faut aussi noter que les infrastructures de production en énergie solaire et éolienne ont une durée d'exploitation plus courte que les centrales énergétiques classiques: elles peuvent donc techniquement être redéployées plus facilement sur des sites aux conditions de production plus favorables en cas de modification profonde du climat.

QUANTIFICATION DES IMPACTS SUR LA PRODUCTION ÉLECTRIQUE DES CENTRALES À CYCLES THERMIQUES EN WALLONIE

Le secteur de la production électrique en Wallonie

La Wallonie dispose de multiples installations de production électrique basée sur différentes technologies (cycle vapeur, turbines à gaz, cycles combinés, conversion directe de renouvelable) et sur différents vecteurs énergétiques (fissiles, fossiles et renouvelables).

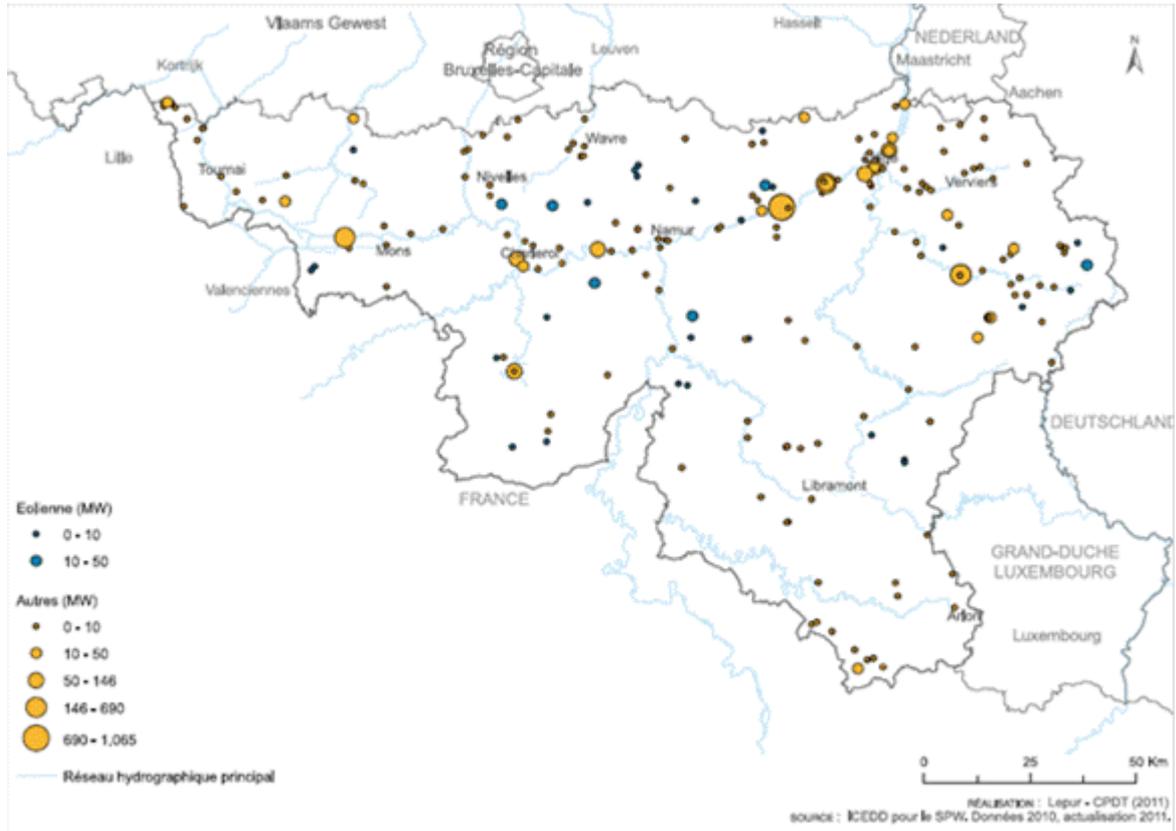


Figure 36. Production électrique en Wallonie. Source : CPDT, 2011.

La production totale nette d'électricité en Wallonie en 2012 s'est élevée à 29,5 TWh (hors pompage). Cette production est à 69% d'origine nucléaire et à près de 19% issue de la combustion du gaz naturel. Toujours en 2012, l'énergie produite sur base de sources d'énergie renouvelables est proche de 11 % du total de l'électricité produite en Wallonie. La production renouvelable a ainsi augmenté d'un facteur 4 depuis 1990 avec une accélération à partir de 2004 grâce, entre autre, à l'apport de la biomasse. L'objectif posé par la Déclaration de Politique Régionale (DPR) du 16 juillet 2009 à l'horizon 2020 est de 20 % de la consommation finale d'énergie par des sources renouvelables, l'effort va donc être poursuivi.

Les centrales à cycles de Rankine (comme les centrales nucléaires ou les centrales à combustibles fossiles 'classiques') convertissent la chaleur, obtenue grâce à la combustion des énergies fossiles ou à la fission nucléaire, en énergie électrique. L'eau chauffée par la combustion ou par la fission nucléaire est transformée en vapeur qui fait fonctionner une turbine, qui à son tour, entraîne un alternateur. La vapeur traverse ensuite un condenseur puis elle est réinjectée dans la chaudière sous forme d'eau liquide pour un nouveau cycle de production. Le condenseur est un échangeur de chaleur où l'eau de refroidissement permet d'abaisser la pression et la température de condensation de la vapeur et donc d'augmenter le rendement de production

d'électricité. La conversion de l'énergie thermique en travail moteur et donc en électricité sera d'autant plus efficace que la différence de température entre la source chaude et la source froide (l'eau de refroidissement) est plus élevée. Si la température de l'eau de refroidissement augmente le rendement de la centrale sera détérioré, si la quantité d'eau de refroidissement est insuffisante (phénomène d'étiage en période de sécheresse) la centrale pourra être arrêtée temporairement.

Dans le cas des centrales de type TGV, on associe un cycle de Brayton (une turbine à gaz) qui n'a pas besoin d'eau de refroidissement à un cycle de Rankine 'classique'. Les TGV ont donc aussi généralement, bien que dans une moindre mesure²⁵, besoin d'eau de refroidissement en quantité suffisante et à une température adéquate.

Le réseau hydrographique principal joue toujours un rôle structurant pour ce type de centrales (par exemple : installation des trois réacteurs nucléaires de Tihange en bord de Meuse).

Pour la biomasse également la localisation des installations de production le long d'un cours d'eau réduit considérablement les coûts et les impacts environnementaux du transport de la matière première (centrale des Awirs par exemple).

Par contre, les productions éolienne et solaire se heurtent à des contraintes spatiales moindres ; elles peuvent être valorisées plus uniformément sur le territoire et sont fortement décentralisées.

Estimation de l'évolution de la production d'énergie des centrales à cycles thermiques en 2050

Estimation à scénario statique (économie constante)

Dans le cadre du scénario d'une économie constante choisi pour la présente étude, les coûts sont estimés dans cette section sur les infrastructures énergétiques existantes actuellement.

Wanek et al. (2011) évaluent l'influence du changement climatique sur la production d'électricité d'une série de centrales hydroélectriques et de centrales thermiques en Autriche. Pour les centrales à cycle de Rankine, qu'elles soient alimentées en combustibles classiques (fossiles ou biomasse) ou nucléaires, le rendement de production d'électricité est une fonction de la température de l'eau de refroidissement qui définit la pression à l'échappement de la turbine, c'est-à-dire celle qui règne aussi dans le condenseur.

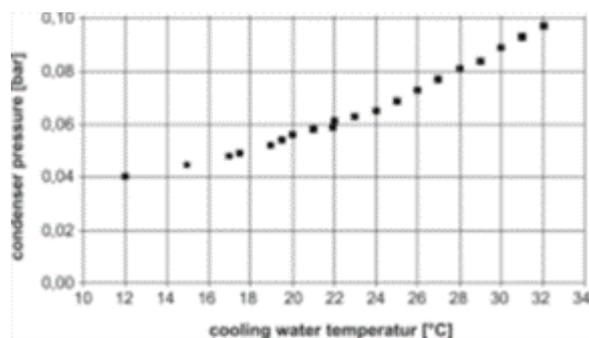


Figure 37. Relation entre la pression des condenseurs et la température de l'eau de refroidissement. Source : Wanek et al., 2011

²⁵ Certaines de ces centrales peuvent utiliser des aéro-réfrigérants et peuvent donc se passer de la proximité d'un fleuve. C'est le cas en Wallonie de la centrale de Saint Ghislain.

Le rendement de production d'électricité augmente avec le niveau de vide (la dépression) que l'on crée dans le condenseur comme le rappelle Wanek et al (2011).

p_c [bar]	0,04	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
η [%]	40	38,5	34	32,5	30,5	29,5	28,5

Tableau 34. Facteur d'efficacité selon la pression des condenseurs. Source : Wanek et al., 2011

Toutefois, la production de la centrale sera aussi affectée par une baisse du débit du cours d'eau qui lui sert de source froide. En effet, la production devra parfois être réduite ou même arrêtée dans les cas les plus critiques pour limiter les rejets thermiques dans la rivière. Dès lors, Foerster et Lilliestam (2010) ont développé un modèle analytique relativement simple pour estimer les pertes économiques de la réduction de la production d'électricité comme conséquence du changement climatique. Les variables suivantes sont introduites dans le modèle : énergie primaire [MWh], capacité de la centrale thermique [MW], facteur d'efficacité (rendement) [-] et pertes thermiques, quantité d'eau [m³/s], le débit moyen journalier de la rivière [m³/s] et température de l'eau [K]. Les deux dernières variables sont influencées par les conditions climatiques.

Comme expliqué ci-dessus, les centrales TGV sont constituées de l'association d'une unité à cycle de Brayton (la turbine à gaz) avec une unité à cycle de Rankine (la turbine à vapeur). Dans ces installations, les gaz de combustion encore chauds sortant de la TG sont utilisés pour produire de la vapeur qui sera turbinée dans un cycle 'vapeur' classique. Les centrales TGV installées en Belgique ont une puissance caractéristique de 460 MW. Les contraintes thermodynamiques de l'imbrication de ces deux cycles différents impliquent que le rapport de puissance entre la partie 'Turbine à gaz' et la partie 'Turbine à vapeur' est de l'ordre de 0,65 à 0,7. Pour les unités installées en Belgique, ce ratio vaut 0,65 ce qui signifie que dans une TGV belge, la puissance de la partie 'gaz' est de 300 MW et la puissance de la partie vapeur est de 160 MW.

La perte de production d'une unité de type TGV due à une augmentation de la température moyenne n'est plus uniquement liée à l'augmentation de la température de l'eau de refroidissement mais aussi à l'augmentation de la température de l'air. En effet, la densité de l'air diminue avec l'augmentation de température ce qui limite la quantité de gaz qui peut être brûlée dans la chambre de combustion et la production d'électricité. Dans la partie 'Turbine à gaz' on n'observe donc pas une baisse de rendement mais plutôt une limitation de la production pour un même design de machine (un bridage de la puissance développable). Il faut toutefois préciser que cette perte de puissance est liée au design des centrales actuellement en fonctionnement or celles-ci seront vraisemblablement démantelées d'ici 2050. On peut donc raisonnablement supposer que les machines qui prendront le relais seront dessinées pour fonctionner avec un air globalement plus chaud. Précisons encore qu'on pourrait aussi supposer que les nouvelles centrales à cycle vapeur seront équipées de condenseur permettant de fonctionner avec des températures d'eau plus élevées. Toutefois, ces hypothèses n'ont pas été retenues dans le scénario dynamique car on évalue le coût de l'inaction, sans mesures d'adaptation.

On peut dès lors conclure que pour les TGV actuelles, le tiers (plus exactement un rapport 160/460) de la puissance installée verra son rendement de production baisser avec la hausse de la température de l'eau de refroidissement et la baisse du débit des fleuves alors que les 2/3 de la puissance installée (plus exactement un rapport 300/460) verront leur production bridée par l'augmentation de la température de l'air.

Quantification de la diminution de la production d'énergie en 2050

Pour évaluer l'impact du changement climatique sur les centrales électrique à cycles thermiques (Rankine et Brayton) en Wallonie les résultats du projet européen AMICE sont utilisés.

Les futures hausses de température de l'air sont précisées dans les scénarios du projet AMICE, pour les périodes 2021-2050 et 2071-2100 et pour les diverses sous-régions du bassin versant de la Meuse ainsi qu'à l'échelle transnationale. La diminution de la production d'électricité est évaluée à l'aide de l'approche de Förster & Lilliestam (2010), qui prend en compte à la fois la diminution du débit des rivières et l'augmentation de la température de l'eau.

Dans le cadre d'un scénario à économie constante, il a été choisi de travailler avec les dernières données disponibles, à savoir 2012, en utilisant les données suivantes :

- Production des centrales à cycle de Rankine en 2012 (centrales nucléaires et thermiques classiques),
- Production des centrales TGV en 2012,
- Débit annuel moyen de la Meuse à hauteur de Tihange de 207,48 m³/s,
- Données des scénarios futurs AMICE : facteur delta 0,80 et 0,56 pour les périodes 2021-2050 et 2071-2100 respectivement représentant le changement dans le débit de la Meuse en Wallonie entre la période de référence (situation actuelle) et les scénarios futurs.

Le projet AMICE estime donc une réduction du débit en comparaison avec la situation actuelle de – 20% pour la période 2021-2050 et de – 44% pour la période 2071-2100.

L'augmentation de la température de l'air dans le bassin de la Meuse selon les scénarios futurs AMICE est de +1,9 °C et +4 °C pour les périodes 2021-2050 et 2071-2100 respectivement.

Selon Latu (2003), la relation entre la température de l'eau en rivière et la température de l'air dans le bassin en Belgique serait de 0,95, ce qui donnerait une augmentation de la température de l'eau de +1,805 °C et +3,8 °C pour les périodes 2021-2050 et 2071-2100 respectivement.

En connaissant la diminution du débit, l'augmentation de la température de l'eau et le type de technique de refroidissement, le projet AMICE estime la diminution de la production d'électricité à partir du tableau suivant:

stream flow reduction	water temperature increase:					
	0 K	1 K	2 K	3 K	4 K	5 K
- 0 %	0.5	1.1	2.0	3.5	5.5	8.0
-10 %	0.5	1.2	2.1	3.5	5.5	8.1
-20%	0.6	1.2	2.2	3.6	5.6	8.1
-30 %	0.9	1.5	2.5	3.9	5.9	8.4
-50 %	4.1	4.7	5.5	6.8	8.7	11.0

Tableau 35. Diminution de la production d'électricité en % en fonction de la diminution du débit et de la hausse de température de l'eau. Source : Project AMICE, adapté de FOERSTER & LILLIESTAM, 2010.

Ce qui résulte en une diminution de la production d'électricité de :

- 1,95% pour la période 2021-2050;
- 7,5% pour la période 2071-2100.

Traduction en termes monétaires

La conversion en valeurs monétaires s'effectue en multipliant la valeur calculée de la diminution de la production et le prix moyen de l'énergie électrique sur le marché.

Dans le cadre de cet exercice (à économie constante), le prix moyen de l'électricité pour la période 2000-2009 de la bourse européenne EPEX est utilisé.

Le prix moyen de l'énergie sur le marché est ainsi estimé à 37,19 €/MWh (source : www.eex.com).

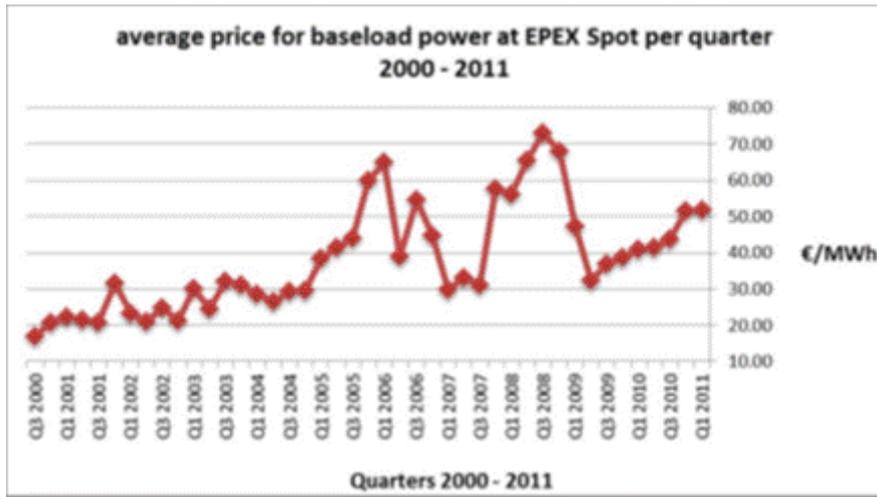


Figure 38. Prix moyen de l'énergie sur le marché (2000 – 2011). Source : www.eex.com.

Centrales à cycle thermique	Production sans changement climatique (1) (GWh)	Production avec changement climatique (GWh)	Impact du changement climatique sur la production (GWh)	Impacts économiques (millions d'euros)
Centrales à cycle de Rankine	21.152	20.740	- 413	- 15.3
Centrales TGV	4.338	4.290	- 48	- 1.8
Total centrales thermiques	25.490	25.029	- 461	- 17.1

(1) production de 2012

Tableau 36. Impact économique des étiages et de l'augmentation de la température sur la production d'énergie thermique en 2050 (scénario de référence statique ou à économie constante). Source : ICEDD, 2014.

Les dommages attendus pour la fin du 21^{ème} siècle (65 millions d'euros à économie constante) sont bien sûr plus élevés que pour le milieu du siècle (17,1 millions d'euros), pour les centrales thermiques, en raison des plus grandes diminutions du débit de la Meuse et de l'augmentation accrue de la température de l'eau du fleuve.

Il faut encore ajouter que ces évolutions moyennes ne prennent pas en compte l'impact des événements extrêmes de plus courte durée tels que les canicules qui pourraient provoquer des phénomènes de rupture d'approvisionnement tels qu'en a déjà connu en France pendant la canicule de 2003 avec certaines de leurs centrales.

Estimation à scénario dynamique

Le projet AMICE se base, comme la présente étude, sur l'hypothèse d'un scénario à économie constante. Toutefois, la mise en place du Plan Wathelet est de nature à modifier sensiblement et de façon certaine le futur de la production électrique en Belgique et en Wallonie. Pour rappel, ce plan prévoit un nouveau calendrier de sortie du nucléaire dont les nouvelles échéances sont les suivantes :

- 1er avril 2016 : Doel 1 (433 MW) (au lieu du 15 février 2015) et Doel 2 (433 MW) (au lieu du 1er décembre 2015) ou Tihange 1 (962 MW) (au lieu du 1er octobre 2015)
- 1er avril 2022 : Doel 3 (1006 MW) (au lieu du 1er octobre 2022)
- 1er avril 2023 : Tihange 2 (1008 MW) (au lieu du 1er février 2023)
- 1er avril 2025 Doel 4 (1038 MW) (au lieu du 1er juillet 2025)
- 1er avril 2025 : Tihange 3 (1046 MW) (au lieu du 1er septembre 2025)
- 1er avril 2025 : Tihange 1 (962 MW) ou Doel 1 (433 MW) et Doel 2 (433 MW)

Pour tenir compte de ces évolutions du parc de production électrique à l'horizon 2050, l'analyse réalisée ici suppose que les centrales nucléaires seront remplacées par des centrales thermiques de type TGV. Les chiffres exacts de production électriques par les différentes filières de production sont issus du scénario de référence de l'étude Wallonie Bas Carbone 2050 (Climact, 2011). Ce scénario tient en compte l'évolution socio-économique pour la Wallonie mais n'incorpore pas de mesures d'adaptation et/ou mitigation.

Dans ces conditions, les pertes de production liées à un rendement de cycle plus faible sont données au tableau suivant.

Centrales à cycle thermique	Production 2050 sans changements climatiques (GWh)	Production 2050 avec changements climatiques (GWh)	Impact sur la production en 2050 (GWh)	Impacts économiques (millions d'euros)
Cycle de Rankine	600	588	-12	- 0.4
Total centrales TGV	18.200	17.997	-202	-7.5
Partie gaz TGV	11.870	11.790	-79	-2.9
Partie vapeur TGV	6.330	6.207	-123	-4.6
Total cycle thermique	18.800	18.585	- 224	- 7.9

Tableau 37. Impact économique des étiages et de l'augmentation de la température sur la production d'énergie thermique en 2050 (scénario de référence dynamique ou évolutif). Source : ICEDD, 2014.

Il faut néanmoins souligner que pour les centrales TGV une mesure d'adoption spontanée à moindre cout pourra se produire. En effet les centrales TGV actuelles seront remplacées d'ici 2050 et les nouvelles unités seront adaptées à une température moyenne plus élevée. Dès lors, seule la partie 'vapeur' du cycle sera affectée par la perte de rendement due à une moindre disponibilité d'eau de refroidissement.

QUANTIFICATION DES IMPACTS SUR LA PRODUCTION D'ÉNERGIE HYDROÉLECTRIQUE EN WALLONIE

Le secteur de la production d'énergie hydroélectrique en Wallonie

En 1990, les énergies renouvelables en Wallonie provenaient quasi exclusivement de la seule hydroélectricité. Au cours des dernières années, il y a eu un glissement rapide de la production renouvelable (hors biomasse) de la ressource hydraulique vers les ressources éoliennes et solaires.

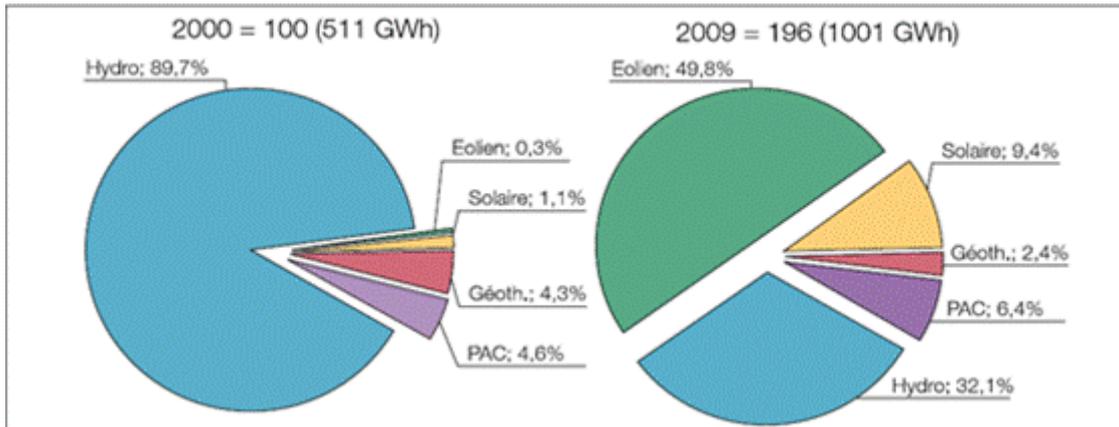


Figure 39. Répartition par source renouvelable de l'énergie primaire hors biomasse en Wallonie en 2000 et 2009. Source : ICEDD, 2013.

En Wallonie, début 2011, 85 centrales hydroélectriques étaient en fonctionnement, dont 56 d'une puissance supérieure à 10 kW. La puissance installée dépassait 110 MW (APERe, Renouveau n°33, avril 2011).

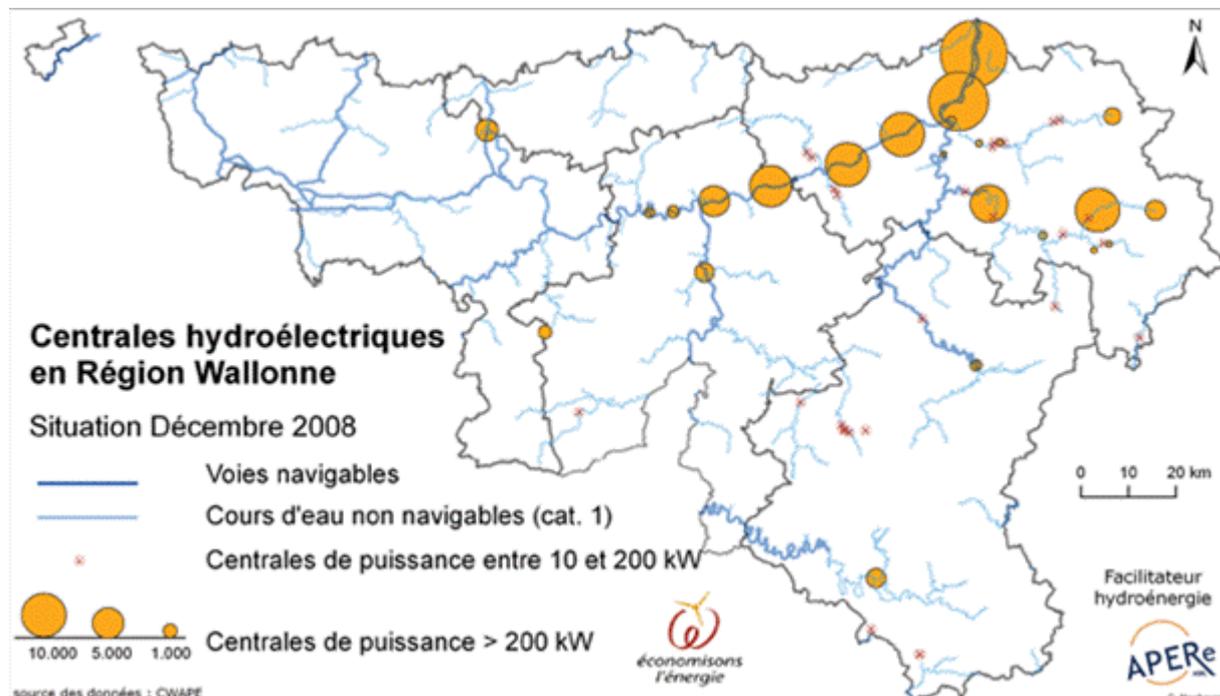


Figure 40. Production hydroélectrique en Wallonie en 2008, Source : APERe

Les plus grandes puissances se retrouvent sur la Meuse, au droit de toutes les écluses en aval de Namur. Ceci s'explique aisément par le débit important de la Meuse. Les 7 centrales (Hun, Grands Malades, Andenne, Ampsin, Ivoz-Ramez, Monsin, Lixhe) atteignent une puissance totale de 76,3 MW, soit environ 70 % du parc wallon.

Estimation de la diminution de la production d'énergie hydroélectrique en 2050

L'hydroélectricité utilise l'énergie potentielle de l'eau stockée dans un réservoir (parfois créé par un barrage) afin de faire tourner des turbines et produire l'énergie électrique. Les deux paramètres : le débit (Q) [m³/s] et la charge hydraulique (Hn) [m] définissent la quantité d'électricité produite par la turbine.

STROBL & ZUNIC (2006) donnent la formule suivante pour calculer la puissance de la turbine:

$$P = \eta * \rho * Q * g * Hn$$

P = puissance de la turbine [kW]

η = efficacité de la station hydroélectrique [0.8 – 0.9]

ρ = densité de l'eau [kg/m³]

g = facteur d'efficacité totale [%]

Hn = charge hydraulique [m]

Q = débit [m³/s]

Et la puissance attendue [kW] peut être calculée selon la formule suivante : $P = 8 * Q * Hn$. La production annuelle s'obtient, quant à elle, en intégrant le débit instantané sur l'ensemble de l'année.

Dans cette étude, la charge hydraulique est supposée être constante au cours des décennies à venir, la variation de production d'énergie dépend donc uniquement des variations de débit du fleuve.

Traduction en termes monétaires

Le projet AMICE évalue les pertes sur les ventes annuelles d'hydroélectricité à l'horizon 2050 et 2100 pour les centrales installées en bord de Meuse. Pour ce faire, ce projet donne un tableau qui établit les pertes pour chaque centrale. En connaissant la puissance de ces centrales, on peut établir la moyenne pondérée de ces dommages pour l'ensemble des centrales mosanes. L'hypothèse retenue ici est que cette perte économique sera équivalente à celle qui frappera l'ensemble des centrales hydroélectriques wallonnes.

Centrales hydroélectriques	Capacité installée [kW]	Dommage annuel en 2050 en %
Lixhe	22979	43
Monsin	17765	57
Ivoz-Ramet	9742	39
Ampsin-Neuville	9910	35
Andenne	8986	45
Grands Malades	4887	0
Hun	2038	0
Total	76307	
Moyenne pondérée		41,04

Tableau 38. Capacité installée et pertes économiques des centrales hydroélectriques mosanes en 2050. Source : projet INTERREG AMICE, 2013.

Dans une hypothèse d'économie constante et comme la production hydroélectrique est très variable d'une année à l'autre en fonction des conditions climatiques, il a été jugé préférable de reprendre la moyenne des productions de 2004 à 2012 des centrales hydroélectriques wallonnes qui s'élèvent à 321 GWh (période pendant laquelle la puissance installée est restée pratiquement constante).

En supposant comme pour les centrales thermiques, un prix moyen de vente d'électricité de 37,19 €/MWh, on en déduit une **perte économique annuelle liée à la baisse de production des centrales hydroélectriques de 4,9 million d'euros** ($= 321\ 000 * 37,19 * 0,4104$) à l'horizon 2050.

QUANTIFICATION DES PERTES DE TRANSPORT ET DE DISTRIBUTION

Le transport et la distribution d'électricité engendre des pertes d'énergie que ce soit le long des câbles qui constituent le réseau mais également dans les transformateurs qui élèvent ou abaissent le niveau de tension. Ces pertes sont une fonction de l'énergie injectée sur le réseau par les différents moyens de production.

Frontier economics et al, 2013 estiment que l'augmentation des températures liée au changement climatique entraînera des pertes de transport et de distribution en augmentation de moins de 1% par degré supplémentaire à l'échelle du Royaume Uni. En appliquant cette valeur aux pertes de transport et de distribution estimées en Wallonie on peut obtenir une estimation du surcoût attendu pour ce poste dans un contexte de changement climatique.

Sur la période 2004-2011 (dernière année pour laquelle l'ensemble des données sont disponibles), les pertes de transport et de distribution se sont élevées en moyenne à 1.177 GWh pour une quantité moyenne d'énergie injectée dans le réseau égale à 33.159 GWh soit encore 3,5% de la production (ICEDD, 2013). Dès lors, une augmentation de 1,9°C (cfr scénarios AMICE et projection climatique pour la Wallonie de l'AWAC) ferait augmenter ces pertes de l'ordre de 2%, soit encore 12,17 GWh, ce qui correspond à une **perte économique de 0,45 million euros/an**, en supposant le prix moyen du MWh à 37,19 euros dans une hypothèse d'économie constante.

QUANTIFICATION DES IMPACTS SUR LA DEMANDE ÉNERGÉTIQUE

Les changements prévus sur les degrés-jour en Wallonie

L'augmentation des températures moyenne impactera la demande d'énergie. Cependant, la consommation finale sera également impactée par d'autres variables comme la population, les conditions économiques, les prix de l'énergie, le comportement des consommateurs, les programmes d'économie d'énergie et les caractéristiques des équipements consommateurs d'énergie. En outre, comme le chauffage est en Wallonie basé sur un mix diversifié de vecteurs énergétiques et que la climatisation consomme exclusivement de l'électricité, les effets sur la consommation intérieure brute (CIB) seront aussi liés à l'évolution du mix d'énergie primaire de la Wallonie d'ici 2050.

Il est prévu que lorsque le chauffage représente la plus grande part de la consommation d'énergie dans les bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels, tels qu'en Wallonie (plus généralement dans les pays du Nord de l'Europe), la consommation d'énergie nette dans les bâtiments dans ces régions devrait diminuer (voir par exemple Lafrance and Desjarlais, Claude 2006 et DOE - US Department of Energy 2013).

La demande d'énergie est souvent estimée en fonction des degrés-jours de chauffage (DJC) et des degrés-jours climatisation (DJc) (pour plus d'informations à ce propos voir la note méthodologique dans l'Annexe).

Les variations dans les DJC et les DJc influenceront tant la demande de chauffage que de climatisation.

Les changements prévus dans les DJC et DJc en Wallonie dans le scénario de changement climatique A1B (+ 1,9°C) sont présentés dans les figures ci-dessous sous l'hypothèse que la hausse des températures soit répartie uniformément sur le 12 mois de l'année²⁶.

Les figures ci-après montrent l'évolution mensuelle des degrés-jour dans la situation actuelle et à l'horizon 2050.

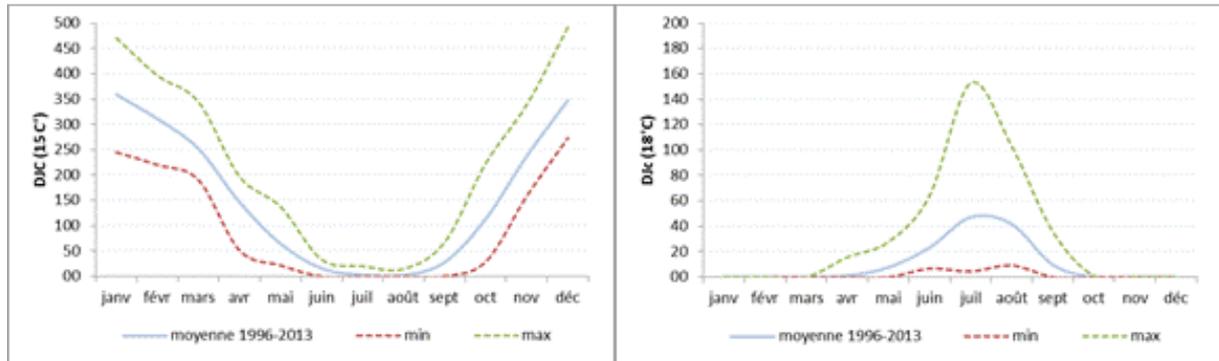


Figure 41. Evolution mensuelle des degrés-jour - DJC (gauche) et DJc (droite) - en Wallonie, 1996-2013. Source : ICEDD, 2014

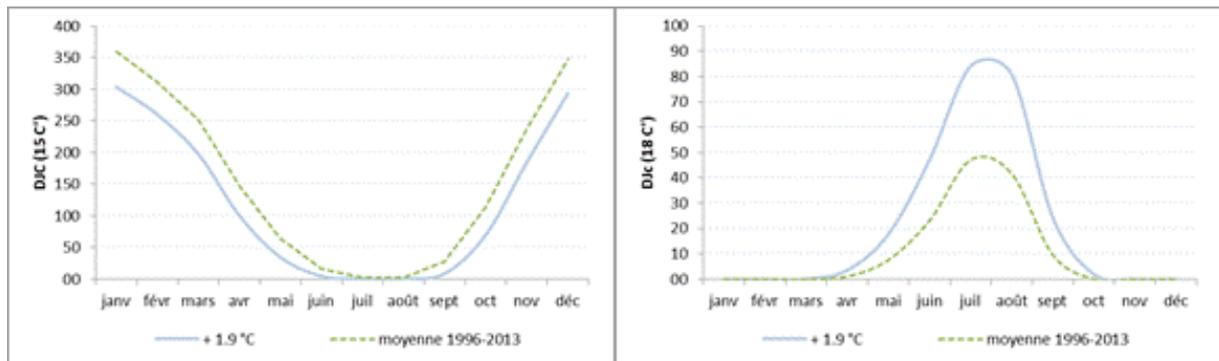


Figure 42. Evolution mensuelle des degrés-jour - DJC (gauche) et DJc (droite) - en Wallonie, moyenne 1996-2013 et en 2050 (scénario A1B, + 1.9°C). Source : ICEDD, 2014

Les impacts du changement climatique sur la demande d'énergie pour le chauffage

Les tendances de températures modélisées (hiver moins rigoureux) laissent prévoir une baisse de la demande hivernale d'énergie. Une augmentation de 1,9°C en moyenne devrait en effet impliquer une réduction de 423 DJC, soit - 22% par rapport à la moyenne 1996-2013 sur la base d'une température seuil de 15°C²⁷.

²⁶ Les scénarios de changement climatique indiquent en général une augmentation plus grande des températures en hiver qu'en été et de nuit plus que de jour. Malheureusement il n'y a pas assez des données disponibles pour modéliser les changements des degrés jours à un niveau si fine. Néanmoins si une augmentation plus grande des températures en hiver qu'en été renforcera l'effet de réduction de la consommation de chauffage sur la demande énergétique, une augmentation plus grande des températures de nuit que de jour réduira l'effet global de réduction de la consommation de chauffage sur la demande énergétique (car on chauffe moins pendant la nuit). Par conséquent, l'hypothèse que la hausse des températures soit répartie uniformément sur le 12 mois peut être considérée une bonne approximation.

²⁷ Pour la France une réduction de 10% de DJC a été estimé (Groupe interministériel Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France 2009). Toutefois cette estimation est basée sur une température seuil de 16°C.

L'effet d'une hausse de la température moyenne sur la demande d'énergie pour le chauffage est estimé à économie constante, c'est-à-dire en supposant que les autres facteurs socio-économiques (population, PIB, rendements des appareils, qualité du bâti, etc.) restent constants. Ceci équivaut à analyser ce qui se passerait si les températures modélisées à l'horizon 2050 étaient appliquées à la Wallonie d'aujourd'hui.

En se limitant aux secteurs résidentiels et tertiaires, une augmentation de 1,9 C° signifierait une consommation de chauffage de 18,37 TWh pour le résidentiel et de 5,67 TWh pour le tertiaire, soit une baisse de la consommation de 2,86 TWh dans le résidentiel et de 0,88 TWh dans le tertiaire (-13.5%).

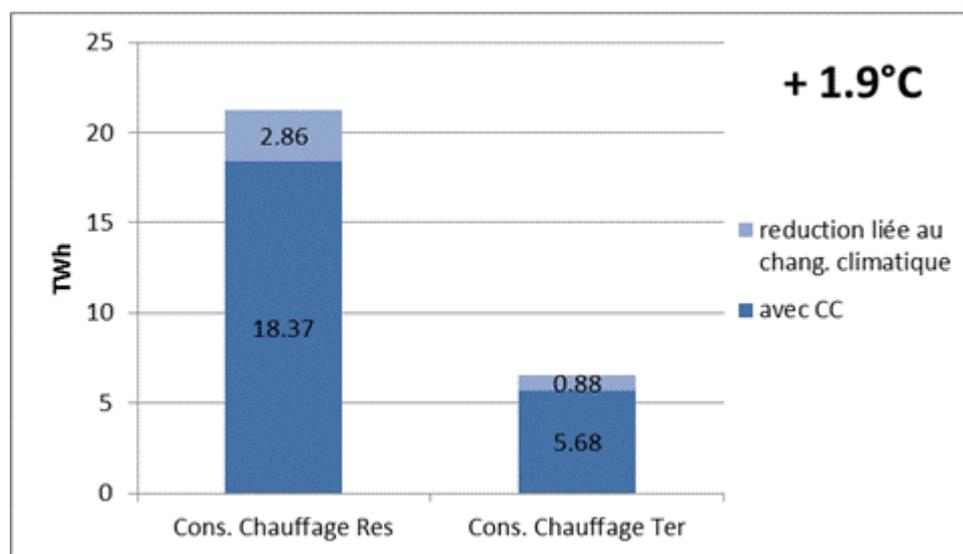


Figure 43. Consommation de chauffage dans le secteur résidentiel et tertiaire en Wallonie en 2050 avec et sans changement climatique, à économie constante. Source : ICEDD, 2014.

A titre de comparaison et même si les résultats ne sont pas strictement comparables à cause de certaines différences méthodologiques (degrés jours calculés différemment, etc.) et des différences climatiques entre France et Belgique, on peut signaler que la réduction des besoins en chauffage a été chiffrée pour la France (secteurs résidentiel et tertiaire) entre 3,8% et 6% pour le gaz, entre 8,4% et 9% pour le fioul domestique et entre 13,8% et 16,8% pour l'électricité (Groupe interministériel Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France 2009).

A titre de complément prospectif, un scénario d'évolution du système énergétique wallon à l'horizon 2050 a été aussi considéré. Si on considère l'évolution économique, la croissance de la population et l'amélioration de l'efficacité énergétique²⁸, on peut chiffrer la consommation pour le chauffage à 30,8 et 13,1 TWh pour les secteurs résidentiel et tertiaire respectivement (scénario de référence de l'étude « Wallonie bas carbone 2050 » (Climact, 2011)), +45% et 101% respectivement par rapport à 2011. Dans ce scénario la réduction des besoins de chauffage liée au changement climatique serait 3,11 et 1,32 TWh respectivement pour le résidentiel et le tertiaire soit 10% de la consommation, ce qui ramènerai la croissance prévu d'ici à 2050 à +30% et +81%. La différence avec le scénario à économie constante s'explique principalement par l'amélioration en efficacité énergétique (dans le scénario référence de l'étude « Wallonie bas carbone 2050 » on table sur une amélioration de 25%) : la diminution de besoins en chauffage liée au changement climatique aura un moindre impact (exprimé en % sur la consommation) car on dépensera moins d'énergie (pour chaque bâtiment, en moyenne) pour chauffer.

²⁸ Il faut souligner que dans ce scénario pas de mesures d'adaptation et/ou mitigation sont prévues.

Les impacts du changement climatique sur la demande d'énergie pour la climatisation

L'impact du changement climatique sur la demande de refroidissement est la somme de deux phénomènes :

- L'augmentation du taux de diffusions des climatiseurs face à des variations importantes de la chaleur.
- L'augmentation des DJc impliquant une utilisation accrue de la climatisation.

Les évolutions de températures telles qu'elles sont modélisées laissent prévoir une augmentation de la demande d'électricité de climatisation à l'avenir.

Une augmentation de 1,9°C en moyenne devrait en effet impliquer une augmentation de 129 DJc, soit + 100% sur la moyenne 1996-2013 sur la base d'une température seuil de 18°C. Le nombre de jours affichant une température moyenne supérieure à 18°C pourraient passer de 51 (moyenne 1996-2013) à 85.

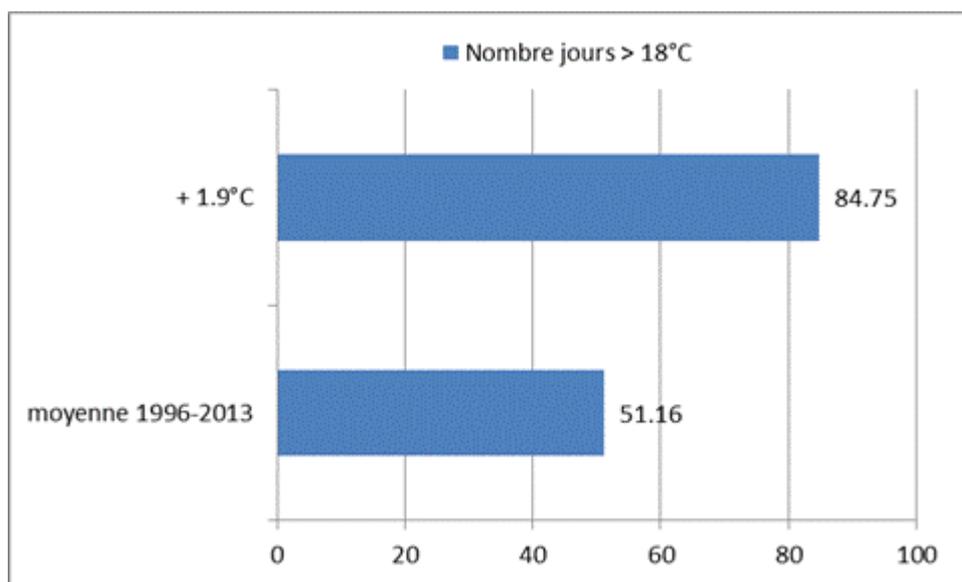


Figure 44. Nombres des jours avec une température moyenne plus élevée que 18°C. Source : ICEDD, 2014.

La demande énergétique supplémentaire liée à l'évolution de la climatisation dans les secteurs résidentiel et tertiaire est estimée dans les paragraphes qui suivent (plus de détails sont données dans l'Annexe énergie).

Dans le secteur tertiaire la consommation liée à la climatisation pourrait doubler dans le scénario d'une hausse de 1,9 C°. Néanmoins la consommation absolue resterait peu importante, 1,1 TWh.

A titre de complément prospectif, dans un scénario évolutif (demande énergétique du tertiaire à 18 TWh et partie pour la climatisation doublé à 8,2 % de la consommation énergétique du secteur²⁹) la consommation pour la climatisation augmenterait à 2,96 TWh, soit 1,49 de plus que dans un scénario sans changement climatique.

²⁹ La demande énergétique pour le tertiaire (18 TWh) provient de l'étude « Wallonie bas carbone 2050 » (Climact, 2011). Le doublement de la partie de la climatisation dans la consommation énergétique reflète (en absence de données sur la pénétration de la climatisation dans le tertiaire) une augmentation de la demande de climatisation.

Dans le cadre de la consommation électrique liée aux climatiseurs du résidentiel, vu le taux d'équipement des ménages belges presque inexistant, un scénario qui verrait un équipement renforcé dans le futur est considéré sur la base de données de la littérature.

Dans le secteur résidentiel en Wallonie, il n'existe pas de chiffres relatifs à la pénétration des appareils de climatisation et à leurs consommations. Les estimations présentées ici se basent donc sur des hypothèses simplificatrices (il s'agit des mêmes hypothèses que celles qui sont utilisées par le Groupe interministériel Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France 2009).

Dans le scénario +1,9°C, sur la base d'un taux de pénétration qui passe de 3% (ceci est le taux estimé pour la France en 2008) à 30,5% (ceci est le taux de pénétration de la climatisation résidentiel dans les pays du Sud d'Europe en 2008) et d'une consommation moyenne qui passe d'une fourchette de 306 à 920 KWh à une fourchette de 508 à 1525 KWh à cause de l'augmentation des DJc, la consommation d'électricité pour la climatisation dans le résidentiel se trouverait dans une fourchette de 0,23-0,69 TWh, bien au-delà de la consommation estimée aujourd'hui entre 0,01 et 0,04 TWh.

A titre de complément prospectif, dans un scénario évolutif dans laquelle on tenait en compte aussi l'évolution du parc (approximé par l'augmentation des ménages prévue en Wallonie) la consommation d'électricité pour la climatisation dans le résidentiel serait dans une fourchette de 0,33-0,98 TWh.

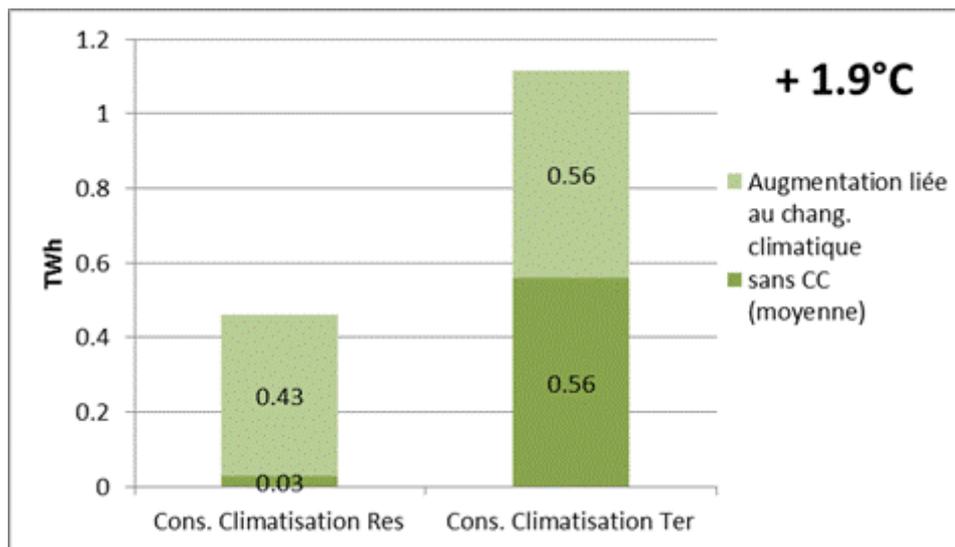


Figure 45. Consommation d'énergie pour la climatisation dans le secteur résidentiel et tertiaire en Wallonie en 2050 avec et sans changement climatique, à économie constante.

Quantification de l'impact sur la demande d'énergie

Même si l'augmentation de consommation due à la climatisation reste bien inférieure à la réduction liée au chauffage, le chiffre annuel à l'horizon 2050 pour la climatisation signifie toutefois que le parc de production électrique devrait alors être en mesure de faire face à des pics de consommation plus importants pendant une période relativement courte (les 3 mois plus chauds de l'année).

Le tableau ci-après présente le solde de la demande énergétique des secteurs résidentiel et tertiaire de la Wallonie en 2050 lié au changement climatique dans le scénario à économie constante et scénario évolutif. La diminution des besoins en chauffage est supérieure à l'augmentation de la demande énergétique liée à la climatisation.

	Economie constante			Scenario évolutif		
	1.9°C			1.9°C		
TWh	Chauffage	Climatisation	Total	Chauffage	Climatisation	Total
Résidentiel	-2.863	0.433	-2.430	-3.115	0.615	-2.500
Tertiaire	-0.885	0.555	-0.329	-1.324	1.486	0.161
Total	-3.748	0.989	-2.759	-4.439	2.101	-2.339

Tableau 39. Demande énergétique, Wallonie 2050, solde si on compare avec une situation sans changement climatique, à économie constante (gauche et dans un scénario évolutif (droite), TWh. Source : ICEDD, 2014.

Il faut toutefois ajouter que ce solde positif sera réduit si on exprime la consommation liée au chauffage et à la climatisation en énergie primaire. En effet, la climatisation consomme de l'électricité alors que, dans le cas de la Wallonie, l'essentiel du chauffage des bâtiments est assuré par du gasoil ou du gaz naturel.

Traduction en termes monétaires

Le tableau ci-dessous présente les effets que cette baisse de la demande pourrait avoir sur la facture énergétique de la Wallonie. Le prix unitaires retenues sont ceux de 2011 (source : bilan énergétique de la RW, 2011).

M euro	Economie constante		
	1.9°C		
	Chauffage	Climatisation	Total
Résidentiel	-216	87	-130
Tertiaire	-43	61	18
Total	-259	147	-112

Tableau 40. Impact sur la facture énergétique en Wallonie à l'horizon 2050 en M euro (2011), à économie constante. Source : ICEDD, 2014

L'impact sur la demande énergétique a été également calculé pour un scénario à économie constante sur la base des hypothèses plus ou moins restrictives sur la relation entre température extérieure et consommation pour chauffage et climatisation (voir en Annexe). Cette analyse donne une fourchette pour la variation de la demande énergétique et les résultats de cette analyse sont présentés dans le graphique ci-dessous (plus de détails sont présentés dans l'Annexe). Si le scénario MED est celui illustré dans les paragraphes ci-dessus, le scénario LOW correspond à une situation dans laquelle la hausse de température se traduit dans une baisse moins marquée des besoins de chauffage et au même temps engendre une hausse de consommation de climatisation plus élevée que dans MED. Le scénario HIGH au contraire se base sur une plus grande réaction de la demande de chauffage à la hausse de températures et une augmentation de la demande de climatisation moins marquée que dans MED (plus de précisions sur les paramètres utilisés sont donné en Annexe).

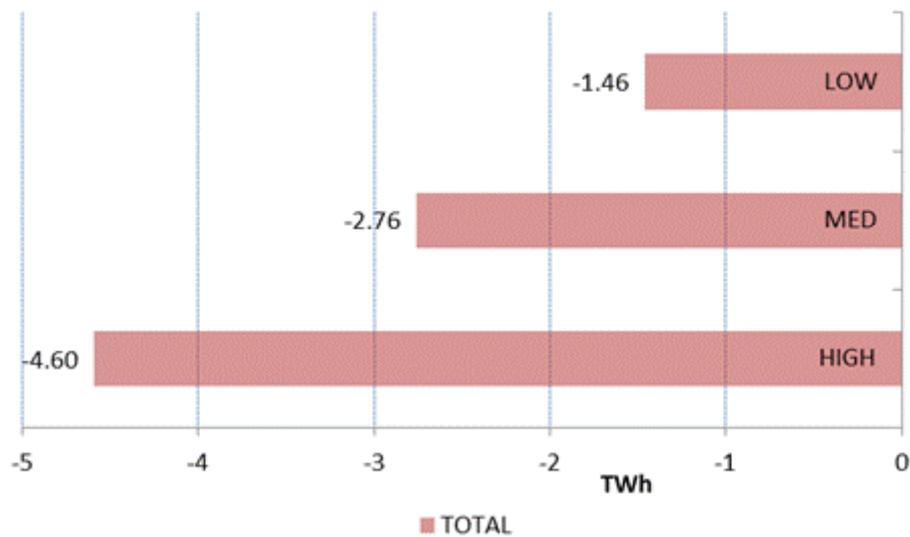


Figure 46. Variation de la demande dans différents scénarios de réactivité de la demande énergétique à une variation de la température. Source : ICEDD, 2014.

LE COÛT DE L'INACTION SUR LE SECTEUR ENERGETIQUE

SECTEUR	ENERGIE
Descriptif de l'impact	
<p>Le changement climatique engendrera des conditions de production d'énergie plus difficiles : problématique du refroidissement des centrales thermiques (qu'elles soient à combustibles fossiles ou nucléaires) qui entraînera des baisses de rendement, des pertes de production et une diminution des capacités de production hydroélectrique. Ces impacts sont quantifiés dans la présente analyse.</p> <p>Le changement climatique sera vraisemblablement à l'origine d'une baisse des consommations de chauffage en hiver mais dans le même temps d'une hausse des consommations d'énergie liées à la climatisation en été induite par une probable hausse du taux d'équipement en climatisation mais aussi par un allongement de la durée d'utilisation de ces installations. Par ailleurs, les hausses de consommation estivales interviendraient, au moment où les capacités de production seraient réduites dans les centrales à cycles thermiques et hydroélectriques. Néanmoins, il faut ajouter qu'en moyenne annuelle les baisses de consommation finale de chauffage devraient être supérieures aux augmentations liées à la climatisation.</p> <p>L'évolution est incertaine concernant les énergies renouvelables: impacts potentiels des événements extrêmes type tempêtes sur la production de bois-énergie, possible hausse du potentiel solaire si l'ensoleillement augmente et incertitude sur le régime des vents qui pourrait avoir un impact sur la production éolienne.</p> <p>Enfin, il faut noter l'impact potentiellement important mais incertain des tempêtes sur les infrastructures de transport et de distribution (par exemple aux chutes d'arbres).</p>	

Cadre de l'analyse

Quantification de l'impact sur la production des centrales à cycles thermiques et hydroélectriques situées dans le bassin de la Meuse.

Quantification de l'augmentation des pertes de transport et de distribution consécutive à la hausse des températures moyennes.

Quantification de la variation de demande d'énergie pour le chauffage et la climatisation dans les secteurs résidentiels et tertiaires.

Méthode

Pour les baisses de production des centrales électriques : estimation sur base de données de la littérature, de dire d'experts du secteur énergétique et des résultats du projet européen AMICE (qui évalue l'impact du changement climatique sur la production des centrales à cycles thermiques et la rentabilité des centrales hydroélectriques situées dans le bassin de la Meuse en Wallonie dans un scénario climatique de sécheresse).

L'augmentation des pertes en ligne est obtenue en supposant un pourcentage d'augmentation lié à la hausse des températures sur base de données de la littérature.

Principales hypothèses :

- Pour les centrales thermiques, 2 scénarios de référence, un statique et un dynamique: Il n'y a pas de fermeture des unités actuelles de Tihange d'ici à 2050 et remplacement total de l'énergie nucléaire par des unités de type TGV.
- Pour les centrales hydroélectriques, la charge hydraulique est supposée être constante au cours des décennies à venir.
- Utilisation d'un prix moyen fixe issu de la bourse européenne EPEX.

Pour la variation de la demande d'énergie de chauffage et de climatisation : modélisation de la baisse de la demande de chauffage consécutive à la baisse des degrés-jours de chauffe attendus dans un contexte de changement climatique. Le supplément de demande d'énergie liée à la climatisation est estimé en supposant une hausse des degrés-jours de climatisation et une augmentation du taux de pénétration des unités de climatisation.

Principales hypothèses :

- La hausse des températures est répartie uniformément sur le 12 mois de l'année.
- Pour le secteur résidentiel : besoin de chauffage estimé sur la base de la relation historique entre DJ chauffage et consommation énergétique pour le chauffage ; besoin de climatisation calculé sur base d'un taux de pénétration de la climatisation et une consommation moyenne des appareils de climatisation.
- Pour le secteur résidentiel : besoin de chauffage et climatisation estimé sur la base de la relation historique entre DJ chauffage et DJ climatisation et consommation énergétique pour le chauffage et climatisation
- Utilisation des prix 2011 de l'énergie

Quantification de l'impact physique

La production d'électricité au sein de centrales à cycles thermiques et de centrales hydroélectriques dépend essentiellement de la disponibilité et de la température des eaux de surface (pour les centrales thermiques). Une augmentation de la température de l'air engendra une augmentation de la température des eaux de surface. Durant les périodes de sécheresse, le débit des fleuves peut diminuer. Ces deux paramètres, liés à l'évolution du climat, sont estimés dans le projet AMICE pour quantifier les effets sur la production d'énergie.

Pour quantifier les impacts des étiages sur la production d'électricité des centrales à cycles thermiques, la conversion de la hausse de la température de l'air en hausse de la température de l'eau est calculée grâce à un facteur d'adaptation. Les futures hausses de températures de l'air sont précisées pour les périodes 2021-2050 et 2071-2100. La diminution de la production d'électricité est évaluée à l'aide de l'approche de Förster & Lilliestam (2010), qui prend en compte à la fois la diminution du débit et l'augmentation de la température de l'eau. Dans le cas des centrales TGV actuelles, on estime que la partie 'vapeur' du cycle sera affectée dans la même mesure que les centrales nucléaires alors que la partie 'gaz' verra sa production bridée par une augmentation de la température de l'air atmosphérique. Pour les centrales TGV futures (celles du scénario évolutif), on suppose qu'elles seront dimensionnées pour fonctionner avec des températures plus élevées et que cette perte de production disparaîtra. Pour ces nouvelles installations, seule la partie 'vapeur' (environ 1/3 de la capacité) sera alors affectée par une baisse de rendement.

La quantité d'électricité produite annuellement par les turbines de sept centrales hydroélectriques wallonnes est calculée pour la situation actuelle en tenant compte des données techniques des centrales sur le débit (Q) [m³/s] et la charge hydraulique (Hn) [m]. La variation de la production d'énergie dépend uniquement du débit du fleuve et représente la différence entre la capacité calculée dans la situation actuelle et la capacité calculée sur la base du débit modifié selon les scénarios futurs du projet AMICE en 2050. Ces résultats sont extrapolés à l'ensemble de la Wallonie sur base d'une perte de production similaire à la situation mosane.

D'après les futurs scénarios de sécheresse prévus par le projet AMICE, cette étude conclut à une diminution de la production d'énergie pour les deux types de centrales situées le long de la Meuse.

Les pertes de transport et distribution dues à l'augmentation de la température sont estimés en utilisant des coefficients de la littérature.

Une modélisation de l'évolution des degrés jour est réalisée pour estimer la diminution de la consommation d'énergie pour le chauffage et l'augmentation pour la climatisation (en utilisant ici des taux de pénétration théoriques) des secteurs résidentiel et tertiaire.

Traduction en termes monétaires

Données d'entrée

La conversion en valeurs monétaires de la baisse de production des centrales électriques et des pertes de transport et distribution s'effectue en multipliant les quantités physiques par le prix moyen de l'électricité sur le marché de la bourse européenne EPEX. De même, la traduction économique des évolutions de la demande d'énergie pour le chauffage et la climatisation est basée sur la moyenne des prix de 2011 des combustibles fossiles et de l'électricité résidentielle.

L'identification et l'évaluation des coûts de l'inaction face au changement climatique en Wallonie
 Identification et évaluation des impacts par secteur
 Energie

Résultats (Estimation monétaire des impacts)				
Scénario à économie constante				
	Production d'électricité actuelle GWh	Production d'électricité en 2050 GWh	Impact sur la production en 2050 (GWh)	Impact sur les ventes (million d'euros)
Centrales thermiques	25 490	25 029	- 463	-17,1
Centrales hydroélectriques	321	189	- 132	-4,9
Pertes en ligne			- 12	-0,5
Total	25 811	25 218	-607	-22,5

Augmentation de 1,9°C	TWh	Variation de la facture énergétique (million d'euros)
Variation de la demande de chauffage	-2.430	-130
Variation de la demande de climatisation	0.989	18
Total	-2.759	-112

Type de coût	Coût direct marchand et impact sur la facture énergétique
Coût relatif	Variation de la facture énergétique (gain pour le consommateur): 0,13% du PIB wallon de 2013 Impact sur les ventes (réduction des ventes): 0,03% du PIB wallon de 2013
Public cible	Secteur de l'énergie Dépenses des ménages

Limites et incertitudes

Les impacts hydrologiques du changement climatique sont a priori variables selon les climats et présentent des incertitudes importantes. L'évaluation quantifiée est effectuée sur le seul bassin versant de la Meuse sur lesquels des données relatives aux dommages potentiels futurs existent et extrapolée à l'ensemble de la Région. Cependant, les impacts seront également différents selon les bassins versants et les corrélations existant entre les différents bassins wallons sont difficiles à quantifier.

Les impacts des événements climatiques extrêmes comme les tempêtes ou les canicules n'ont pas été chiffrés.

Par ailleurs, tous les impacts n'ont pas été quantifiés.

L'hypothèse retenue d'une économie constante ne tient pas compte de la croissance démographique ni des évolutions technologiques.

En utilisant une moyenne du prix de l'électricité, il peut y avoir une sous-estimation importante si les pertes de production surviennent en période de pointe quand les prix pourraient être beaucoup plus élevés.

A l'horizon 2050, le mix énergétique aura probablement changé, avec des taux de pénétration des technologies de production d'énergie significativement modifiés. La croissance démographique jouera également un rôle sur la demande énergétique et, en tenant compte de l'objectif européen d'intégrer 20% d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique à l'horizon 2020, on peut s'attendre à une évolution technologique dans ce sens.

Tableau 41. Synthèse des résultats des impacts analysés sur le secteur de l'énergie. Source : ICEDD, 2014.

PERSPECTIVES FUTURES

Pour aller plus loin...

- Pour la production électrique, il serait pertinent de chiffrer les évolutions du parc de production électrique suivant différents types de scénarios. On pourrait estimer l'impact du changement climatique sur la demande énergétique en tenant compte de différentes évolutions (démographie, performance énergétique du bâti,...) (voir le travail déjà réalisé avec les scénarios évolutifs).
- Il serait intéressant aussi d'estimer l'impact du changement climatique sur d'autres formes de production d'électricité comme le photovoltaïque ou l'éolien.
- Il y aurait également lieu de prendre en compte l'impact d'événements extrêmes sur les infrastructures de production et de transport d'énergie comme des tempêtes (l'impact des inondations étant analysé dans le chapitre relatif à cet aspect spécifique).
- Enfin, il serait aussi intéressant de chiffrer l'impact sur la demande d'énergie de pointe et/ou dans certains périodes de l'année (par exemple l'été).

Tableau 42. Proposition de recherches futures pour affiner les résultats de l'analyse sur le secteur de l'énergie. Source : ICEDD, 2014.

2.5 FORÊTS

2.5.1 IDENTIFICATION DES IMPACTS

Les réponses des différentes essences forestières au changement climatique varient en fonction de l'essence considérée et sont modulées au travers des réponses écophysologiques de chaque espèce forestière et leur relation avec le reste de l'écosystème (Lo et al. 2011). Le même changement en terme de climat peut être bénéfique pour la croissance d'une espèce donnée tandis qu'il aura un effet négatif ou insignifiant pour d'autres espèces dans le même écosystème (Lo et al. 2010). La même tendance est observée lorsque l'on regarde comment les changements climatiques pourraient modifier les aires de répartition des différentes essences : Certaines espèces pourraient perdre certains habitats avec le réchauffement de l'atmosphère et souffrir de manière importante des effets contradictoires du réchauffement et de la réduction des précipitations durant la saison de croissance tandis que d'autres pourraient augmenter leur aire de répartition et montrer de potentielles augmentations de croissance dans leur aire de répartition actuelle (Hamann and Wang 2006). Les réponses varient en fonction des différentes essences, il n'est pas étonnant que les recherches menées aient eu du mal à identifier des liens directs entre les hausses de températures et les changements observés dans les répartitions des essences. Cela est d'autant plus vrai que les écosystèmes forestiers, principalement dans l'hémisphère nord, n'ont pas encore atteint leur équilibre et occupé l'entièreté de leur aire de répartition potentielle depuis la dernière glaciation (Svenning and Skov 2004).

Aux changements liés de manière directe (réchauffement et augmentation de la concentration en CO₂) et indirecte (type, fréquence et intensité des perturbations) au changement climatique s'ajoutent également la complexité apportée par les facteurs biotiques (compétition, production de graines, invasions biologiques, ...) et abiotiques (édaphiques, chimiques, topographique) des différents peuplements rencontrés qui modifient les impacts directs du climat sur les arbres.

On comprendra donc aisément pourquoi la modélisation des modifications dans les aires de distribution et les vitesses de croissance des essences forestière est un exercice extrêmement complexe qui, pour être fiable, ne peut se baser uniquement sur des données climatiques (Lo et al. 2011).

Nous reviendrons sur les questions de modélisation dans la partie relative à l'évaluation des coûts, puisque seuls les modèles permettront d'estimer les changements attendus dans les croissances et les répartitions des essences. La présente partie s'attache à déterminer, de la manière la plus générale possible, les impacts des effets directs et indirects du changement climatique sur les essences forestières tempérées, et plus particulièrement les principales essences forestières commerciales wallonnes (hêtre, chêne sessile, chêne pédonculé, épicéa, douglas, pin sylvestre et pin laricio).

Les impacts potentiels des changements climatiques sur les écosystèmes forestiers peuvent se manifester principalement à cinq niveaux : physiologie, phénologie, distribution des espèces, adaptation et processus biogéochimiques (Bemelmans et al. 2009). Ils sont principalement dus de manière directe à : l'augmentation des concentrations en CO₂, l'augmentation des températures, changement en quantité et en périodicité des événements pluvieux, changement en humidité atmosphérique, fréquence modifiée des tempêtes et des épisodes de sécheresse (Medlyn, Duursma, and Zeppel 2011) et aux événements induits de manière indirecte par ces changements (exemple : sévérité des attaques des ravageurs, augmentation des feux de forêts, changements dans les développements des populations de ravageurs...).

PHYSIOLOGIE

A court terme, les augmentations combinées d'une part de la température et de la durée de la période de végétation qui en découle et d'autre part des concentrations en CO₂ dans l'atmosphère pourraient avoir des conséquences positives sur la quantité de biomasse produite. Les concentrations plus importantes de CO₂ dans l'atmosphère augmenteraient le taux de photosynthèse, phénomène qui varie cependant en fonction des espèces considérées (Lindner et al. 2010).

A moyen terme, selon la majorité des études, les facteurs limitant (fertilité chimique du sol) vont freiner cette tendance, au même titre que les événements météorologiques extrêmes qui vont considérablement perturber les cycles normaux de la végétation (épisodes prolongés de sécheresse, modification du régime des précipitations). Ces mêmes événements vont être à l'origine d'une augmentation significative des risques de stress hydrique.

Actuellement, la productivité en Région wallonne est souvent limitée par la teneur minérale des sols ou des problèmes d'alimentation en eau (excessive ou insuffisante selon les périodes). Ces limites devraient être accentuées par les changements de teneur en CO₂ et de température. Elles pourraient conduire à des carences induites et à l'accentuation de l'engorgement hivernal et de la dessiccation estivale dans les sols à régime hydrique alternatif.

L'étude de Bemelmans et al. 2009 mentionne des déficits d'eau en été dans les sols forestiers de la Région wallonne pour 2100 de l'ordre de : 140 mm en Moyenne Belgique, de 110 mm en Basse et Moyenne Ardenne et de 70 – 80 mm en Haute-Ardenne. L'alimentation en eau des arbres dépend en effet d'une part des stocks d'eau disponibles dans le sol en début de saison (fonction de la localisation en Wallonie) et de la profondeur d'enracinement des différentes essences, elles-mêmes fonction des types de sols (texture, compaction, obstacles physiques, présence ou non de nappe de surface) et des types d'enracinements spécifiques.

Un stress hydrique prolongé ou un épisode de canicule influence également la résistance aux arbres ravageurs et aux pathogènes.

PHÉNOLOGIE

Les chercheurs ont également étudié l'impact des changements climatiques sur le cycle phénologique des essences, c'est-à-dire sur la succession dans le temps de leurs différents stades de développement. L'augmentation de croissance potentielle des arbres qui découle notamment d'un débourrement plus précoce pour la majorité des espèces et d'une sénescence retardée (globalement d'un allongement de la période de croissance) a été démontrée dans certains cas, mais varie entre les essences (Vitasse et al. 2011). L'étude de (Vitasse et al. 2011) démontre de ce fait que la canopée sera installée pour une plus longue période pour les deux espèces étudiées (*Fagus sylvatica* et *Quercus petraea*).

Les chercheurs ont alors estimé, pour différentes essences, l'augmentation de la croissance potentielle des arbres, en tenant compte de la reprise plus précoce de la végétation et des nouvelles conditions climatiques et atmosphériques (voir les revues de (Reyer, Lasch, and Gutsch 2011; Way and Oren 2010)). Les principaux moteurs de cette hausse sont l'augmentation du CO₂ atmosphérique et de la température. Si cette tendance est presque toujours démontrée pour les écosystèmes boréaux et méditerranéens, les réponses des forêts tempérées semblent être plus complexes (Reyer, Lasch, and Gutsch 2011). Cette tendance générale peut de plus être remise en cause en fonction des conditions climatiques locales, de la fertilité des sols et d'autres effets biotiques ou abiotiques.

Une revue récente de la littérature (Peñuelas, Canadell, and Ogaya 2011) qui visait à déterminer l'impact de l'augmentation de la concentration en CO₂ et de la température observée durant les dernières 40 années sur la croissance des arbres, n'a cependant montré aucun effet, suggérant que d'autres facteurs sont venus masquer l'effet d'un monde enrichi en CO₂ sur la croissance. Les éléments suivants sont souvent mentionnés pour expliquer cela : les épisodes de sécheresse, les carences en éléments minéraux, les changements dans les régimes hydriques, les augmentations de la fréquence et de l'intensité des éléments perturbateurs (feux, ravageurs, tempête) et/ou des acclimatations physiologiques à long terme d'une augmentation du CO₂ dans l'atmosphère (Peñuelas, Canadell, and Ogaya 2011; Way and Oren 2010).

Il existe de nombreuses études qui tentent de prédire l'impact du changement climatique sur la productivité : le graphique suivant illustre bien la variation des réponses et des situations qui peuvent être rencontrées. Il est postulé (Way and Oren 2010) que les espèces des environnements plus froids (altitude ou latitude élevées) montreront une plus grande variabilité de réponses que celles des environnement plus chauds. Cette variabilité peut aller de réponses positives à négatives en fonction à la fois de la capacité d'adaptation inhérente à l'individu et d'autres facteurs limitant potentiels (exemple : eau et nutriments).

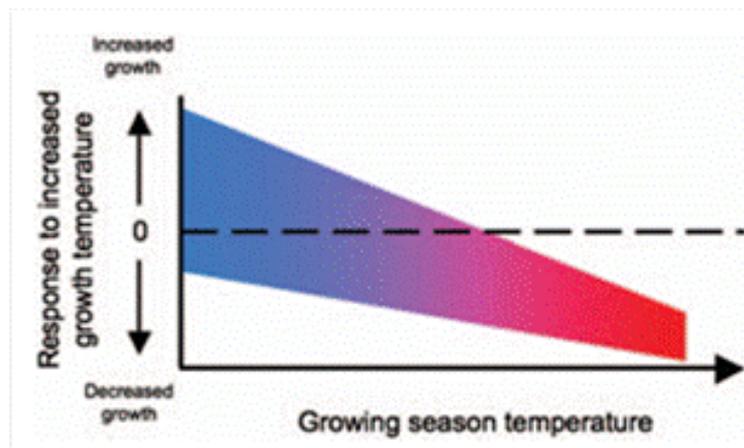


Figure 47 : Réponse hypothétique des arbres de différentes conditions thermiques à une augmentation de la température (Way and Oren 2010). La région colorée indique la variabilité des réponses possibles. Les espèces d'environnement plus froid (en bleu) montrent généralement une réponse plus favorable, bien que cette réponse puisse être nulle ou même négative si l'eau ou les éléments nutritifs sont limitants. Les espèces des environnements plus chauds (en rouge) connaîtraient toujours une réduction de la croissance, mais avec moins de variation entre individus ou espèces.

Ces modifications de la phénologie pourraient également modifier certaines relations hôtes-parasites. La phénologie des insectes eux-mêmes est liée au climat. Des insectes xylophages pourraient voir augmenter leur nombre de générations par an (Bemelmans et al. 2009), les scolytes bénéficieraient d'une augmentation de la période de végétation et de sa chaleur pour établir des générations supplémentaires et élever les densités de population (Lindner et al. 2010).

BILAN CARBONE

La part prise dans le cycle du carbone par les flux de CO₂ produits dans les sols est importante. Cette émission par les sols est principalement causée par les changements d'affectation des terres, dominés par la déforestation massive et rapide des forêts tropicales. Le CO₂ provient dans ces cas essentiellement de la minéralisation accélérée de la matière organique du sol, sous l'effet de la perte du couvert forestier et de la décomposition des matières végétales mortes après exploitation (Bemelmans et al. 2009).

En plus du carbone stocké dans les sols, une part importante du carbone est également stockée dans les écosystèmes terrestres. La séquestration dans les écosystèmes forestiers est égale à la différence entre les quantités de carbone assimilées par la photosynthèse (productivité primaire brute ou GPP) et le carbone émis par la respiration des organismes vivants.

Le bilan carbone de l'écosystème forestier

Pour l'avenir, les modèles prédisent une réduction du carbone stocké dans la végétation terrestre. Une cause du ralentissement attendu de la séquestration du carbone par les végétaux serait la saturation de la croissance liée à la limitation de la disponibilité en éléments nutritifs et en eau dans le sol. En forêt tempérée, cet optimum de croissance serait observé entre 450 et 550 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ de CO_2 dans l'atmosphère. Il existe néanmoins un mécanisme de régulation potentiel de cette carence en éléments nutritifs. En effet, l'augmentation de la production de biomasse conduit à une augmentation de l'apport en matière organique du sol. Pour autant que cet apport additionnel de litière présente des caractéristiques optimales pour sa minéralisation, cela conduit à une libération d'éléments nutritifs qui fertilisent et influencent directement la croissance de la végétation. Il ne s'agit donc pas de variables indépendantes. L'augmentation de la concentration atmosphérique en CO_2 et de la température moyenne aurait aussi pour effet potentiel de prolonger la période de végétation.

Les résultats de l'étude CARBOFOR française, et plus particulièrement dans son Volet C : Modélisation des impacts du changement climatique sur le bilan de carbone et la production des forêts en France montre bien les impacts sur la croissance imputables aux différentes causes dans nos climats tempérés. Ces causes varient de manière importante en fonction de la station considérée.

Nous prendrons ici l'exemple du hêtre, espèce modèle prise dans le projet. Comme indiqué dans la figure ci-dessous, la production nette NPP³⁰ de la façade Ouest n'augmente plus au-delà de la période 2015 dans les sites à faible réserve utile (LWc) et 2040 dans les sites à forte réserve utile (HWc), alors que l'augmentation est plus constante dans le nord-est de la France.

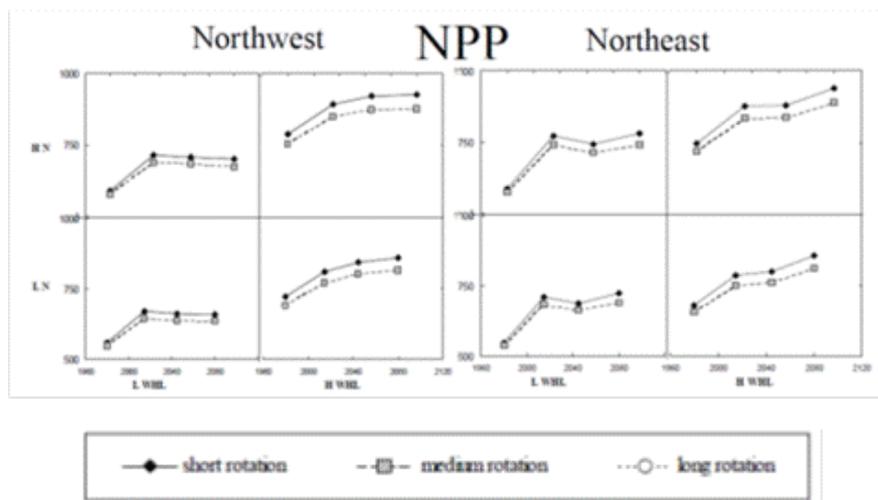


Figure 48. Changement de production primaire nette (NPP) pour le hêtre, selon deux niveaux de disponibilité en eau (WHL) et en éléments nutritifs (N). Source : Lousteau et al. 2004.

³⁰ La production primaire nette est définie comme la différence entre la production primaire brute et la respiration. Elle représente donc la quantité de carbone effectivement stocké dans l'écosystème forestier en soustrayant de la partie captée la partie perdue par le processus de respiration des arbres.

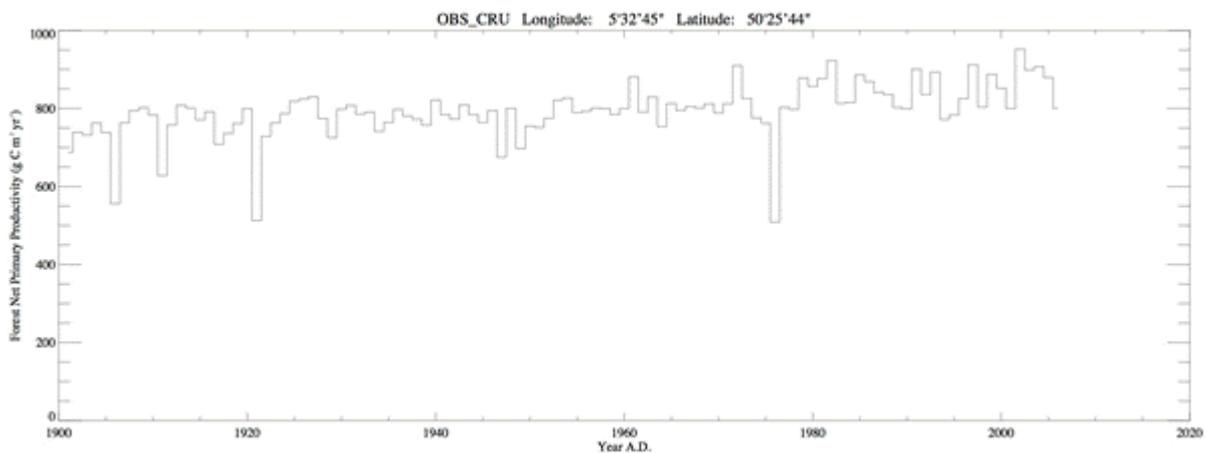
Plus récemment et pour la Belgique, le projet MASC (Modelling and Assessing Surface Change impacts on Belgian and Western European climat), financé par BELSPO, a débuté en janvier 2014. Il a pour but d'analyser les interactions entre dynamiques territoriales et évolutions climatiques. Il rassemble des chercheurs des universités de Liège, de Namur, de Gand et d'Anvers, ainsi que de l'Institut Royal Météorologique de Belgique (IRM) et de son homologue français, le CNRM. Dans le cadre de ce projet le modèle dynamique de végétation CARAIB, par ailleurs utilisé dans l'article de (Dury et al. 2011) pour modéliser l'impact du changement climatique sur les forêts européennes, va être raffiné pour prendre en compte d'autres types de sols et la modification des usages de ceux-ci.

Des résultats préliminaires nous ont été fournis par les Professeurs François et Hambuckers de l'Ulg, notamment concernant les NPP du hêtre et de l'épicéa au niveau Belge ainsi que l'évolution de la NPP au cours du siècle sur deux sites situés respectivement près de Hamoir en Province de Liège et de La Roche (Bois de Tayenne) en Province de Luxembourg.

Ces résultats sont le fruit des simulations produites par le modèle dynamique de végétation CARAIB. Les données climatiques historiques sont celles du CRU (Climate Research Unit) tandis que celles du futur sont celles produites par Arpège (CNRM) selon le scénario RCP8.5. Le climat et les simulations concernent des pixels de 1 km² (le climat à la résolution de 1 km² a été obtenu en combinant les anomalies CRU avec la climatologie WorldClim disponible au km²).

Les résultats pour l'évolution de la NPP au cours du siècle pour les deux sites situés en Province de Liège et en Province de Luxembourg sont présentés ci-après.

Les graphiques suivants montrent l'évolution de la production primaire nette (NPP), toutes espèces confondues, sur les deux sites. La NPP augmente, aussi bien au cours du 20ème siècle que du 21ème siècle, environ de ~10 % par siècle. Cette augmentation est due principalement à la fertilisation par le CO₂ et, un peu à la hausse des températures. On y voit nettement les chutes de NPP de 1906, 1911, 1921 et 1976 dues aux sécheresses.



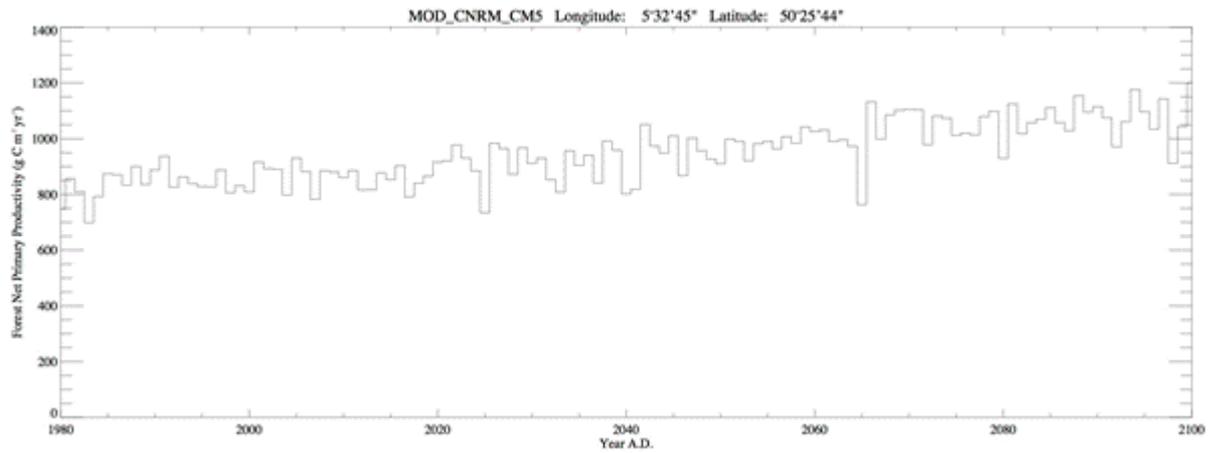


Figure 49. Evolutions de la NPP au site situé en Province de Liège, toutes espèces confondues (source : communication personnelle, Prof. François et Hambuckers, projet BELSPO MASC en cours)

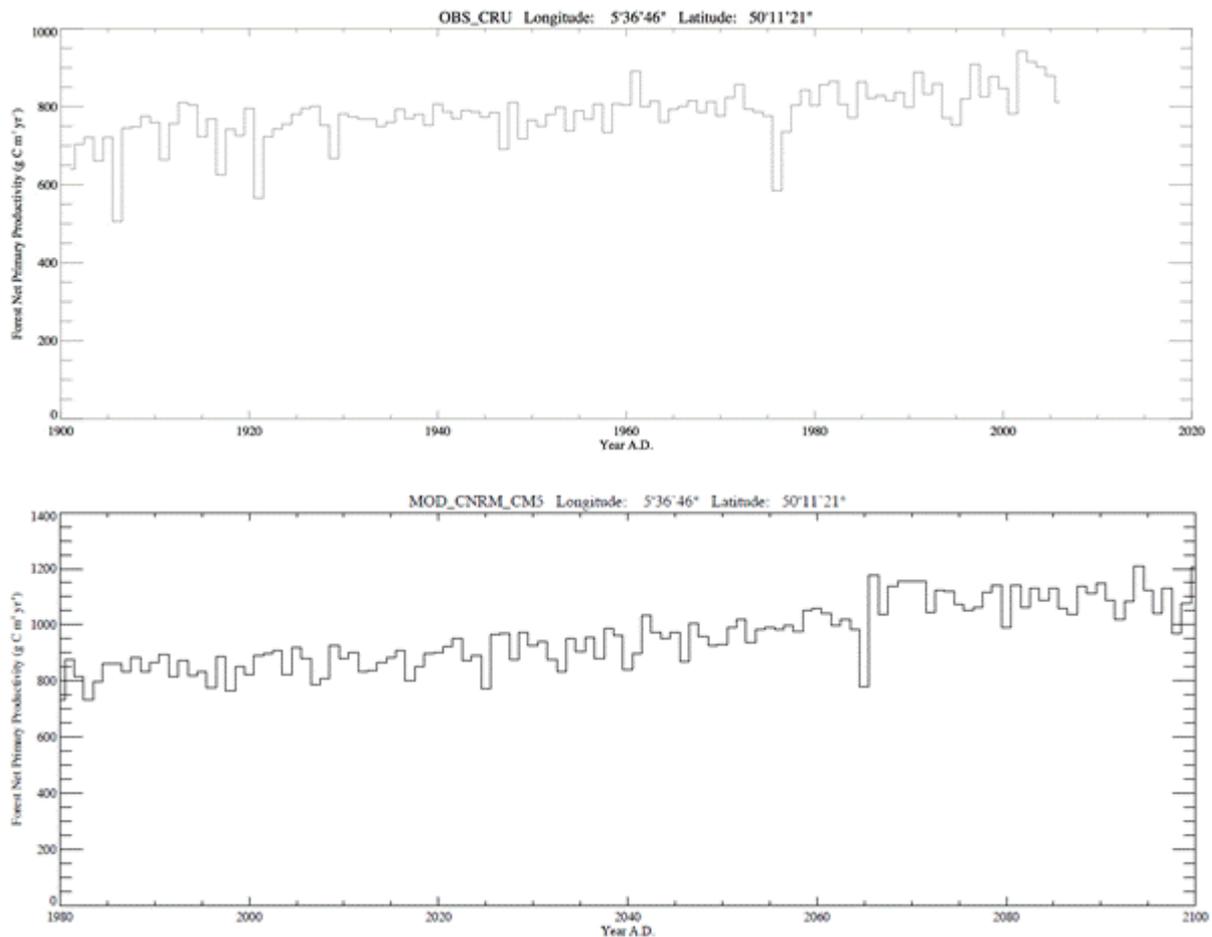


Figure 50. Evolutions de la NPP au site dit du 'Bois de Tayenne' en Province de Luxembourg, toutes espèces confondues et pour le siècle prochain (source : communication personnelle, Prof. François et Hambuckers, projet BELSPO MASC en cours)

Les résultats pour l'évolution de la NPP du hêtre et de l'épicéa en Belgique sont présentés ci-après.

Pour les deux espèces, les cartes d'évolution montrent aussi l'augmentation de la NPP au cours du temps. Notons aussi que la NPP du hêtre n'augmente pas en Flandre pour le futur, sur les sols sableux à cause de l'intensification du stress hydrique et que l'épicéa disparaît des zones les plus chaudes à cause de la mortalité induite par le stress hydrique.

PFT NPP (g C m⁻² yr⁻¹)
 [Picea abies]

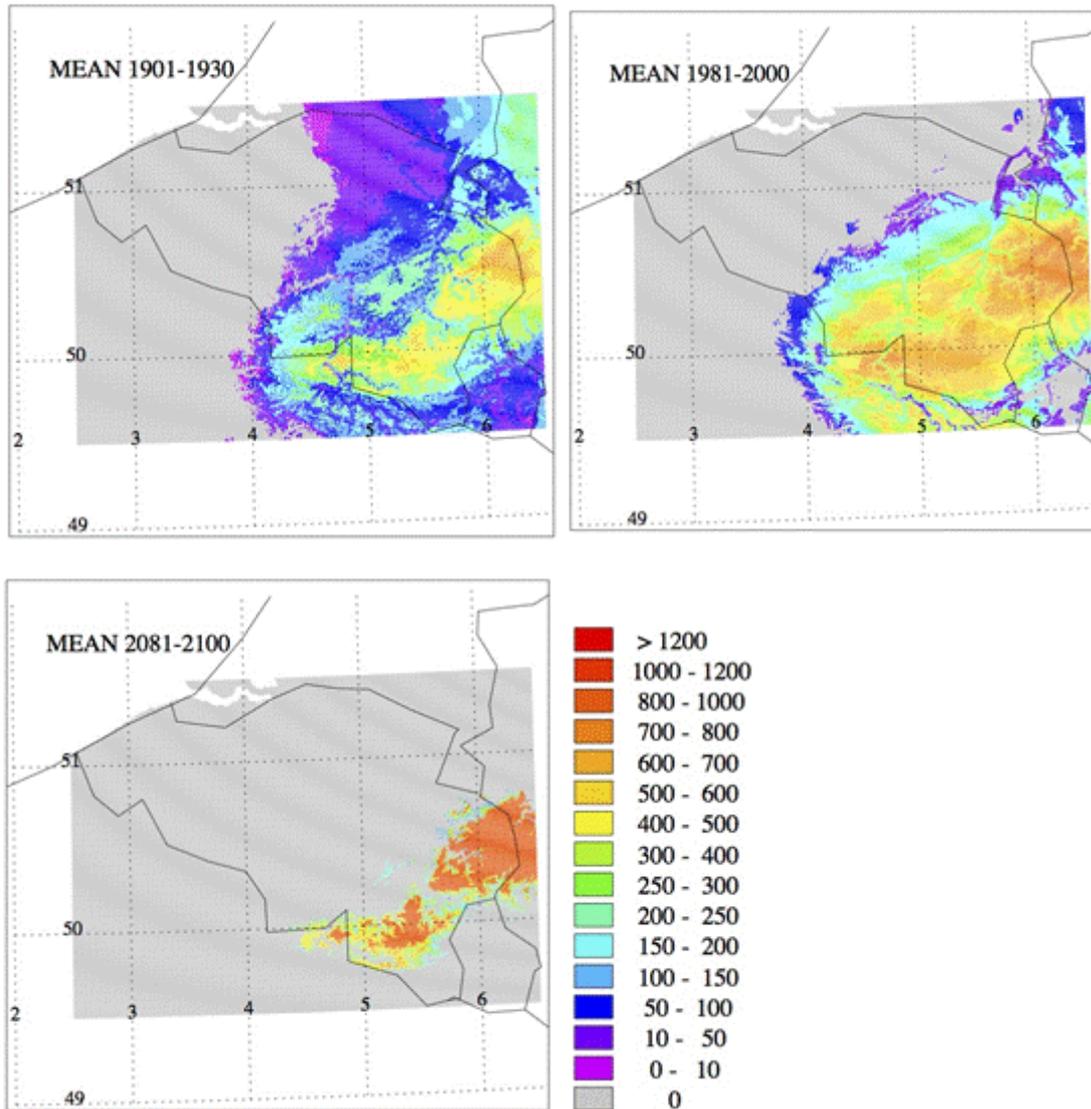


Figure 51. Evolution de la NPP pour trois périodes de temps pour l'épicéa en Belgique (source : communication personnelle, Prof. François et Hambuckers, projet BELSPO MASC en cours)

PFT NPP ($\text{g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)
[Fagus sylvatica]

]

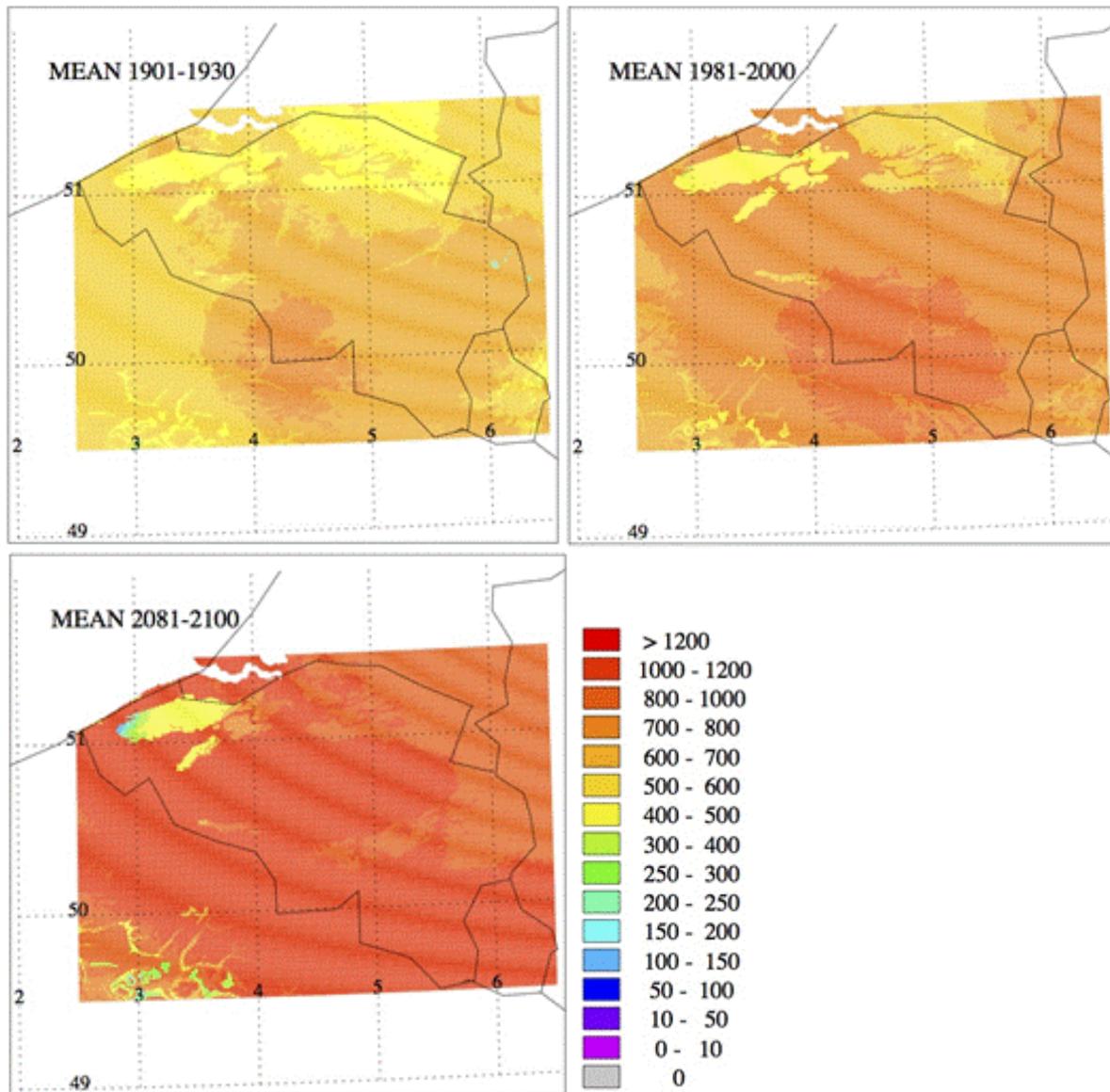


Figure 52. Evolution de la NPP pour trois périodes de temps pour le hêtre en Belgique (source : communication personnelle, Prof. François et Hambuckers, projet BELSPO MASC en cours)

L'une des grandes limitations du modèle, tel que détaillé dans la discussion de (Dury et al. 2011) est le fait que les composantes trophiques du sol ne sont pas prises en compte. Les éléments minéraux nécessaires à la croissance des plantes pourraient en effet devenir limitant et induire des carences réduisant les prédictions de croissance sous une hypothèse d'atmosphère enrichie en CO_2 . En effet, si le modèle prend bien en compte les impacts potentiels des sécheresses, il ne prend pas en compte les paramètres trophiques potentiellement limitants.

Le bilan carbone des sols forestiers

En plus de la diminution de la séquestration du carbone, on craint une accélération du changement climatique suite à la libération du carbone stocké dans les sols forestiers. Cette augmentation de la vitesse de dégradation de la matière organique des sols et de l'activité racinaire serait due aux effets conjugués de l'augmentation des températures et de la concentration atmosphérique en CO₂. Dans un scénario extrême, la décomposition de la matière organique et la respiration pourraient devenir plus importantes que la productivité suite à l'accroissement de la température. Il reste néanmoins de grandes incertitudes sur la connaissance de la dynamique de respiration des écosystèmes. Les études en atmosphère enrichie en CO₂ et sous température plus élevée devraient se développer pour pallier ces incertitudes.

Finalement, l'augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes a également des conséquences sur la fonction 'puits de carbone'. Deux types d'événements sont susceptibles de modifier brutalement les stocks en forêt : les tempêtes, qui pourraient devenir plus fréquentes et violentes, et les sécheresses, susceptibles d'augmenter les risques d'incendies de forêts dans les milieux sensibles. Ces modifications peuvent être directes ou indirectes, les facteurs climatiques extrêmes pouvant contribuer à modifier durablement la structure du sol et permettre à certaines fractions de matière organique actuellement stables de se minéraliser.

La thématique de la modification des stocks de carbone dans les sols forestiers a été traitée auparavant et quantifiée dans la partie 'biodiversité et services écosystémiques', le stockage du carbone en sol forestier étant l'un des services de régulation des forêts.

On rappellera cependant que la thématique est extrêmement complexe, puisque deux forces agissent de manière antinomique : d'une part la NPP va augmenter le carbone stocké dans les végétaux, d'autre part, la minéralisation du carbone des sols libérerait du carbone dans l'atmosphère. Pour l'avenir, les modèles ne varient grandement et prédisent soit une augmentation soit une diminution des quantités de carbone annuellement séquestrées par les écosystèmes (à la fois dans les végétaux et dans les sols) au niveau mondial, principalement due au dépérissement des forêts tropicales en raison de la sécheresse ou au carbone relâché dans les régions de grandes latitudes en raison du dégel du permafrost (Eglin et al. 2010).

DISTRIBUTION DES ESPÈCES

L'arrivée dans nos forêts d'espèces adaptées à un climat plus chaud sera une source de concurrence importante avec les espèces locales préexistantes.

Le changement climatique entraîne par ailleurs des perturbations complexes de l'équilibre des écosystèmes, en raison par exemple de la rupture de certaines chaînes alimentaires à la suite d'évolutions au sein des espèces.

Par ailleurs, l'impact des changements climatiques sur la répartition et l'extension des principales essences forestières a également été étudié (Lousteau et al. 2004). Les différentes aires potentielles de distribution des essences tendraient à évoluer.

Les changements d'aires n'affecteraient pas uniquement les arbres, mais également les agents nuisibles (insectes ou champignons, voir (Lindner et al. 2010) pour une revue).

ADAPTATION

Bemelmans et al. 2009 considèrent que la plasticité phénotypique des arbres forestiers ne leur permet pas de s'adapter rapidement aux nouvelles conditions climatiques.

PROCESSUS BIOGÉOCHIMIQUES

Le processus biogéochimique est caractérisé par la circulation des éléments minéraux, de l'eau et du carbone entre les compartiments de l'écosystème, c'est-à-dire les végétaux et les horizons du sol prospectés par les racines. En forêt, le changement climatique risque d'influencer les processus biogéochimiques de manière directe et/ou indirecte. Les effets directs incluent l'influence de la température sur le processus de décomposition de la matière organique. Une accélération du processus de décomposition peut mener à une augmentation des émissions de CO₂ à partir des sols, conduisant également à une augmentation du carbone organique dissous dans les eaux de percolation. Globalement, les effets du changement climatique sur les processus biogéochimiques sont encore mal connus et ils ont été moins étudiés que les impacts sur la production végétale.

INTERACTIONS ET TABLEAU DE SYNTHÈSE DE VULNÉRABILITÉ DES PRINCIPALES ESSENCES FORESTIÈRES WALLONNES

Le rôle des facteurs abiotiques (par exemple la sécheresse ou la variation des précipitations) et biotiques (défoliation) et de leurs interactions dans les dépérissements forestiers n'est plus à démontrer. Dans le cas d'arbres et/ou de peuplements prédisposés au stress par des conditions de croissance défavorables, un site perturbé ou une sylviculture inadaptée, des reprises de dépérissements, voire des mortalités sont à craindre, et ce d'autant plus que des événements climatiques extrêmes se produisent. Par exemple, la sécheresse induit des désordres physiologiques à court terme, ce qui nécessite la mobilisation de substances de réserve. Ces désordres physiologiques augmentent ensuite la vulnérabilité des arbres à des stress secondaires (attaques d'insectes, gel, nouvelle sécheresse), pouvant provoquer à long terme un dépérissement ou une mort éventuelle.

<i>Composante du changement</i>	<i>Impacts attendus sur les forêts wallonnes</i>	
Température et concentrations en CO₂		
Augmentation des températures	Allongement de la période de végétation	Augmentation de la productivité dans les stations fertiles
	Augmentation du taux de photosynthèse	Augmentation des carences dans les stations moins fertiles et problèmes sanitaires
Augmentation des concentrations	Modification des aires de distribution des essences	
	Modification des relations hôtes parasites et nouveaux parasites	problèmes sanitaires
	Réduction de la perte en eau par transpiration	augmentation du rapport gain en carbone/perte en eau
Pluies		
Augmentation de la xéricité en période de végétation	Augmentation des stress hydriques	dépérissements
		décomposition limitée de la matière organique/ accélération de la nitrification
Augmentation de la pluviosité en période hivernale	engorgement, inondations	
Evènements extrêmes		
Augmentation de la fréquence des évènements climatiques extrêmes	dégâts sur les peuplements exposés	principalement dus aux inondations, tempêtes dans nos régions

Tableau 43. Impacts attendus du changement climatique sur les forêts wallonnes. Source : ICEDD, 2014.

L'étude de Bemelmans et al. 2009 reprend d'autre part une classification de la vulnérabilité des principales essences forestières de production de la Wallonie (8 essences représentant 8% du matériel sur pied en Wallonie).

Sensibilités*	Hêtre	Chêne sessile	Chêne pédonculé	Epicéa	Douglas	Pins sylvestres et laricios
Echelle régionale						
° aux vagues de chaleur	Critique	-		Critique	-	Faible
° à la xéricité	Elevée	-	Effective**	Elevée	Effective	Faible
° aux chablis de vent	Effective	Faible	Faible	Elevée	-	Faible
° aux maladies et parasites	?	?	?	Scolytes?	?	?
Echelle stationnelle						
° aux milieux xériques (exposition chaude, sols superficiels,...)	Elevée	Faible	Critique	Critique	-	-
° aux régimes hydriques alternatifs	Elevée	Faible	Elevée	-	Elevée	-
Résumé des impacts						
° sensibilité globale	Elevée	Faible	Elevée	Critique	Effective	Faible
° modification de l'aire de distribution	Sud du sillon S&M	Extension en altitude	-	Repli sur le plateau ardennais	-	Extension en altitude
° impact stationnel	Repli stations optimales	-	Exclusion stations sèches	Exclusion versants chauds	?	-

* Niveaux de sensibilité:	Critique	augmentation de dégats déjà perceptibles dans les situations concernées
	Elevée	risque théorique pour la situation concernée
	Effective	sensibilité avérée qui ne semble pas problématique
	"-"	pas de sensibilité particulière
	Faible	adaptation spécifique de l'essence

** Le chêne pédonculé a besoin d'une bonne alimentation en eau, mais peut compenser jusqu'à un certain point la xéricité du climat par l'accès aux réserves du sol (bonne régulation stomatique combinée à un enracinement profond).

Tableau 44. Vulnérabilité des principales essences forestières de production de la Wallonie. Source : Bemelmans et al. 2009.

Ce tableau ne reprend pas les impacts généraux de l'allongement de la période de végétation. Une grande part d'inconnu demeure encore, notamment concernant les modifications des relations hôtes/parasites et maladies et les capacités d'adaptation. Nous suggérons cependant le lecteur de se rapporter à l'excellente revue des impacts les plus importants en terme biotique (pestes, pathogènes) réalisée en Annexe 4 du rapport de Lindner et al. 2008.

2.5.2 ANALYSE DES COÛTS

Impacts quantifiés	En termes physiques		En termes monétaires
	Situation actuelle	En 2050	
Productivité des forêts	X	X	X
Modification dans l'aire de répartition des essences	X	NA	X
Feux de forêt ; maladies, dépérissement	Difficilement chiffrable : occurrence et magnitudes incertaines		
Tempêtes		NA	X

Tableau 45. Synthèse des impacts quantifiés sur les forêts. Source : ICEDD, 2014.

QUANTIFICATION DE L'IMPACT SUR LA PRODUCTION DE BOIS EN WALLONIE

Le secteur forestier en Wallonie

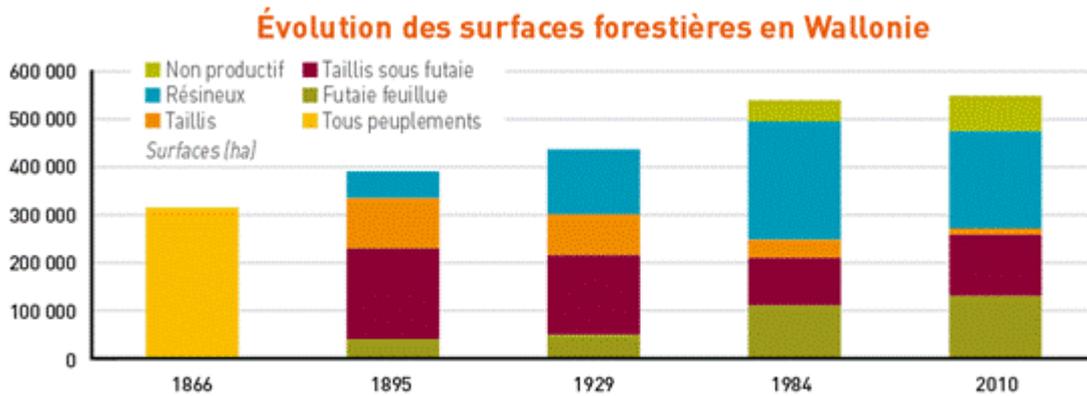
Source : (OEWB 2013)

En 2010 la superficie boisée de Wallonie couvrait 548 750 ha, soit près de 33% du territoire. Cela représente 79% des surfaces boisées en Belgique.

Pays / Régions	Surfaces totales (ha)	Surfaces boisées (ha)	Taux de boisement (%)	Forêts publiques (%)	Forêts privées (%)	Feuillus (%)	Résineux (%)
Bruxelles	16 140	2 240	14	95	5	92	8
Flandre	1 352 230	146 381	11	30	70	50	50
Wallonie	1 684 430	548 750	33	49	51	57	43
Total Belgique	3 052 800	697 371	23	45	55	56	44

Tableau 46. Surfaces forestières et répartition privé/public et feuillus/résineux. Source : OEWB 2013.

En 1866, la forêt wallonne couvrait 315000 ha (hors zones improductives qui ne sont prises en compte qu'à partir de 1984). En 2010, soit un peu moins de 150 ans plus tard, la surface productive atteint 475250 ha (548 750 ha avec les surfaces non productives), soit une augmentation de près de 51 %. On constate dans un premier temps une croissance importante des résineux au détriment des taillis et des taillis sous futaie puis leur récente décroissance suite, notamment, à la mise en place de mesures environnementales comme Life, Natura 2000... mais également au non-reboisement de certaines mises à blanc.



Source : DNF. (2013). IPRFW 2010 (Les données 2010 de l'IPRFW résultent du traitement des données récoltées lors des deux premières campagnes du second cycle de l'inventaire permanent, ce qui représente 20 % des placettes mises en place. La précision que procure cet échantillonnage encore limité à l'heure actuelle est suffisante pour les paramètres les plus importants mais doit engager à la plus grande prudence en ce qui concerne les paramètres de faible importance pour lesquels la marge d'erreur est de l'ordre de grandeur de la valeur du paramètre lui-même).

Figure 53. Evolution des surfaces forestières en Wallonie. Source : OEWB 2013.

Parmi les forêts productives, les chênes indigènes et le hêtre sont les deux espèces commerciales les plus importantes. Le volume de récolte de ces feuillus est supérieur aux accroissements annuels et représente respectivement 234700 et 442400 m³. Pour les peuplements résineux, l'épicéa est largement dominant, et présente des volumes sur pied de l'ordre de 44 millions de m³. L'accroissement est largement inférieur aux prélèvements, le taux de récolte étant de 133,50%.

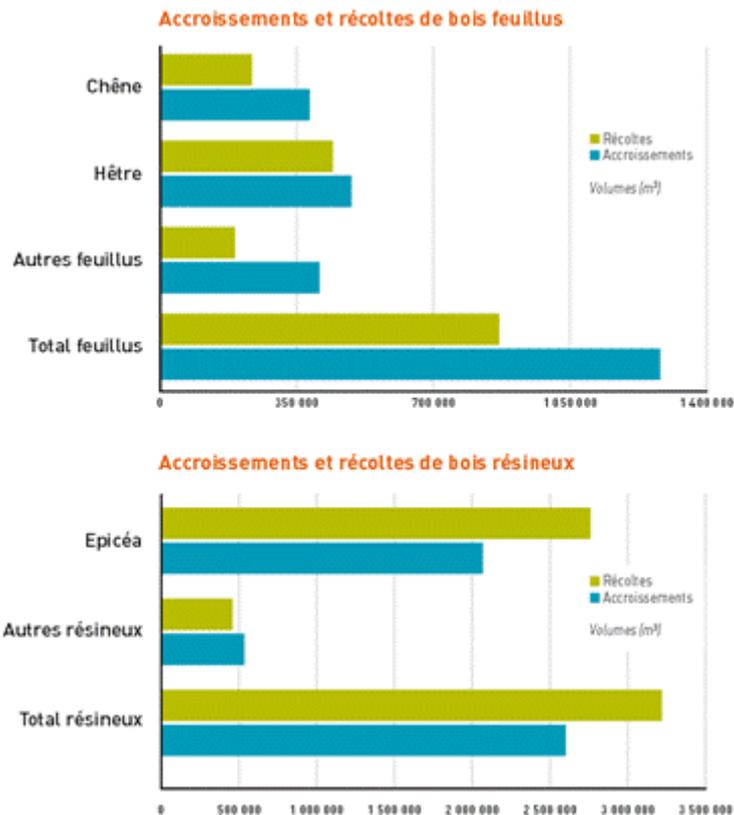


Figure 54. Accroissements et récoltes de bois feuillus et résineux. Source : OEWB 2013.

Les données disponibles à l'échelle de la Région wallonne

L'inventaire forestier (d'après Rondeux and Lecomte 2001)

L'inventaire est réalisé au moyen d'un échantillonnage systématique qui s'appuie sur près de 11000 points de sondage couvrant tout le territoire forestier et distants de 1000 m dans l'axe ouest-est et de 500 m dans l'axe nord-sud. Le cycle normal de mesures et d'observations est de 10 ans. Sur un plan pratique, 10 % de l'ensemble boisé sont parcourus chaque année à partir de points de sondage regroupés par ensembles de quatre et régulièrement répartis sur toute l'étendue (1 point par 50 ha).

La réalisation de cet inventaire comporte deux phases distinctes :

- la première porte sur l'analyse des cartes IGN topographiques polychromes au 1/25 000 sur lesquelles est porté le maillage de points ;
- la seconde consiste à repérer au sol les points de sondage autour desquels sont délimitées 4 unités (placettes) circulaires concentriques de 2,25 à 18 m de rayon et prenant en compte les arbres appartenant à des catégories prédéterminées de grosseur.

Sur chaque unité d'échantillonnage, on récolte diverses observations, informations et mesures conventionnellement réparties en :

- relevés généraux (statut du point et coordonnées, type de propriété...),
- observations relatives au milieu (topographie, pédologie, végétation...),
- description du peuplement (données sylvicoles et culturales, conditions d'exploitation, qualité et état sanitaire, dégâts de gibier),
- mesures dendrométriques et observations individuelles [âges, stades de développement, circonférences à 1,5 m, hauteurs totales (feuillus) et dominantes (résineux) ; hauteurs à différentes découpes en feuillus de 120 cm et plus de circonférence].

Le guide du boisement

Le guide du boisement (Weissen, Bronchart, and Piret 1994) a pour objectif de présenter les critères rationnels du choix des essences que le gestionnaire est appelé à faire dans une optique de gestion rentable. Il présente une gamme d'essences bien adaptées aux conditions d'une parcelle à régénérer compte tenu des subdivisions climatiques de la Wallonie. Pour chaque secteur ou climat régional (23 secteurs), le guide présente deux grilles de choix d'essences optimales (une feuillue, l'autre résineuse). Ces grilles correspondent à des tableaux à deux entrées. La première entrée exprime la quantité d'eau disponible dans la station (échelle hydrique), la seconde entrée les qualités chimiques générales de la station (échelle trophique).

L'aptitude des essences est donc définie dans le guide du boisement par le comportement de chaque essence à l'égard des paramètres stationnels que sont :

- Le niveau climatique, défini par les secteurs écologiques
- Le niveau hydrique, défini par les réserves en eau disponible du sol
- Le niveau trophique, défini par le statut nutritionnel du sol

L'aptitude des essences se distingue en trois catégories :

- Optimum : conditions de développement optimal compatibles avec la pratique d'une sylviculture ayant pour but principal la production de bois.
- Tolérance : conditions de développement pour lesquelles l'essence présente une limitation climatique, hydrique et/ou trophique partielle rendant la pratique d'une sylviculture de production de bois davantage risquée.
- Exclusion : conditions de développement de l'essence incompatibles avec une production de bois de qualité. Rien n'empêche l'essence d'être présente sur la station, sa production est jugée insuffisamment rentable ou trop risquée.

LES IMPACTS CHIFFRABLES

L'estimation des impacts combinés des différents changements sur les productions des écosystèmes forestiers est un exercice bien entendu extrêmement difficile tant sont grandes les incertitudes liées aux interactions entre les différents mécanismes en jeu. Une quantification des impacts est néanmoins présentée par la suite sur base d'une part de la méthode du dite du « guide du boisement » et d'autre part sur une estimation des impacts des tempêtes sur l'épicéa.

Le choix des essences sur lesquelles l'analyse a majoritairement portée s'est fait sur base du tableau de synthèse de vulnérabilité des principales essences forestières wallonnes qui a été présenté ci-avant. On pouvait y constater qu'une essence, l'épicéa commun (*Picea abies* (L.) Karst), présentait un niveau de vulnérabilité critique et que le chêne pédonculé (*Quercus robur* L.) et le hêtre commun (*Fagus sylvatica* L.) présentaient tous deux des niveaux de vulnérabilité élevés. Quant aux impacts des tempêtes, le tableau mentionnait une plus grande sensibilité de l'épicéa. L'analyse présentée porte donc d'une part sur une évaluation des pertes liées à l'inadaptation potentielle future des trois essences les plus vulnérables à certaines stations wallonnes dans lesquelles elles sont actuellement présentes (méthode du guide du boisement) et d'autre part sur une estimation des dégâts aux peuplements d'épicéa dus aux tempêtes.

L'effet potentiel sur les trois essences les plus vulnérables : la méthode du guide du boisement

Présentation générale de l'approche et des hypothèses

Cette méthodologie a été développée en collaboration avec l'Ulg, Gembloux Agro-Bio Tech, Gestion des ressources forestières et des milieux naturels (Professeur Hugues Claessens et François Ridremont). Les données de l'inventaire forestier nous ont été fournies par Monsieur Hugues Lecomte, responsable de cet inventaire au SPW. Les analyses cartographiques ont été réalisées par l'Ulg ; les analyses économiques qui en ont découlé par l'ICEDD.

Les hypothèses générales ayant guidé le travail sont les suivantes : d'une part, comme nous l'avons déjà dit auparavant, nous nous sommes concentrés sur les trois espèces les plus vulnérables au changement climatique et d'autre part, nous avons considéré qu'aucune action sylvicole de la part de l'homme n'était envisagée. L'inaction dans ce cadre a été comprise comme le fait que la situation future est une transposition à l'identique de la situation actuelle, et que donc, par exemple, aucun reboisement d'essence mieux adaptée aux conditions locales, qu'elle soit exotique ou non, n'est envisagé pour pallier aux éventuels dépérissement de l'essence en place.

Etant donné l'inexistence de modèles de productivité des forêts wallonnes à divers horizons temporels, des importantes incertitudes liées aux projections des changements climatiques et de la relative imprécision des données disponibles, il a été choisi de répondre à la question en utilisant l'outil pratique le plus communément utilisé : « l'approche du Guide de Boisement ». L'approche du Guide de Boisement est basée sur la définition de l'aptitude des essences pour les stations forestières de la Wallonie dans une « optique de gestion rentable » soit l'optique d'une forêt de production de bois.

Le guide du boisement peut se traduire en une matrice écologique construite sur base des trois niveaux des paramètres stationnels : le niveau climatique (défini par les secteurs écologiques), le niveau hydrique (défini par les réserves en eau disponible du sol), le niveau trophique (défini par le statut nutritionnel du sol).

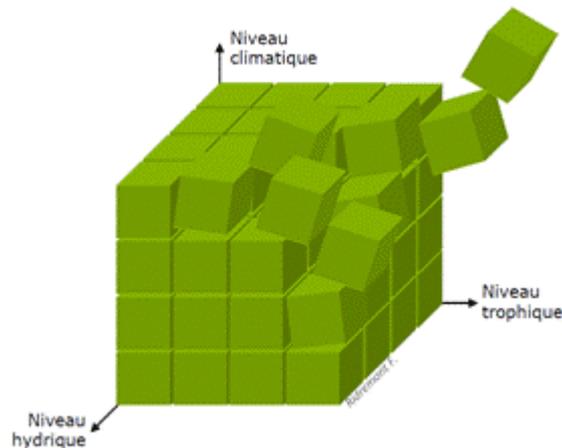


Figure 55. Représentation schématique de la matrice du Guide du boisement. Source : F. Ridremont

La matrice écologique du Guide de Boisement est spatialisable à l'échelle du territoire wallon à l'aide des cartes numériques mises à disposition par le Service Public de Wallonie (SPW), des données de l'Inventaire Permanent des Ressources Forestières de Wallonie (IPRFW) et la plateforme cartographique de l'Unité GRFMN.

Tout d'abord, la cartographie du niveau climatique, plus communément appréhendé par les secteurs écologiques, est basée sur les travaux de (Delvaux and Galoux 1967) et (Onclincx et al. 1987). La carte actuelle du Guide du Boisement souffrant d'un manque de précision, l'Unité GRFMN a numérisé manuellement les cartes papier anciennes après géoréférencement sur base des cartes IGN. Les incertitudes de cette cartographie sont liées à la précision spatiale des limites des entités sur les cartes papier (0.5 à 1 km de part et d'autre des limites). Cette carte est en cours de révision par l'Unité.

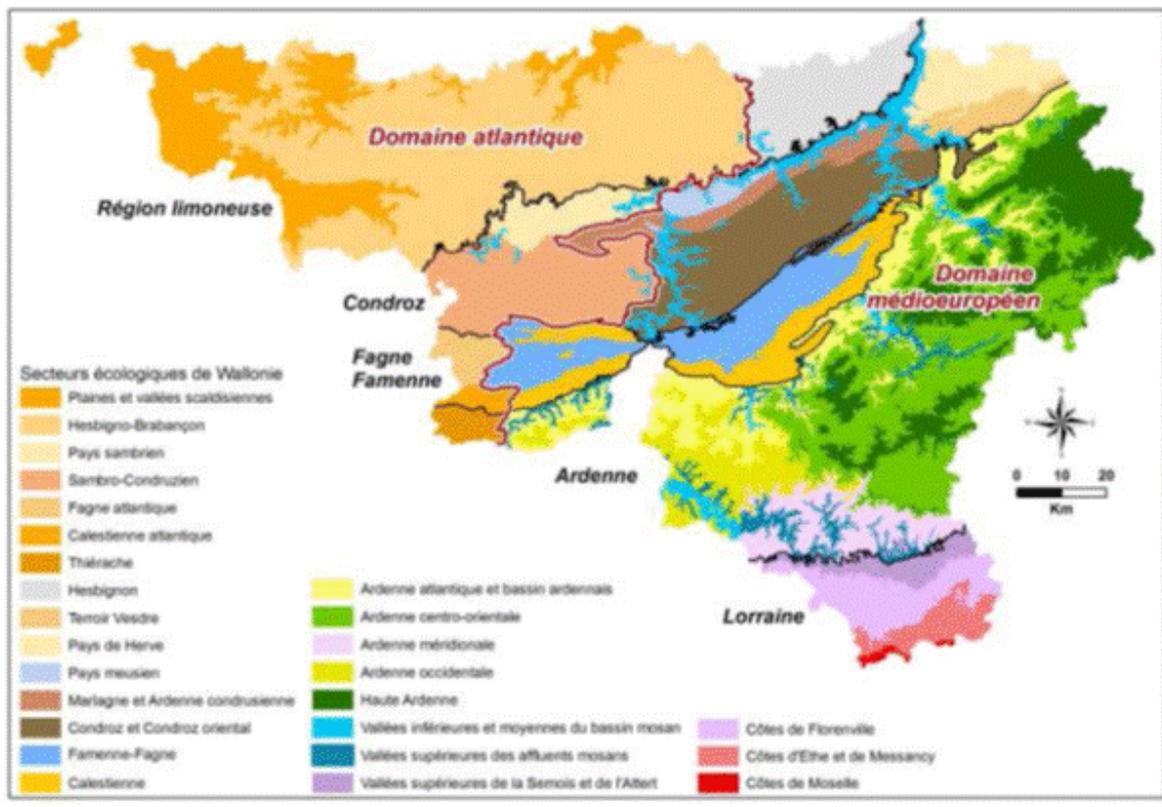


Figure 56. Carte des secteurs écologiques de Wallonie. Source : F. Ridremont.

Les niveaux hydrique et trophique sont issus de deux clés de détermination (voir ci-dessous) dont les paramètres d'entrées sont accessibles à l'aide des sources d'information mentionnées précédemment.

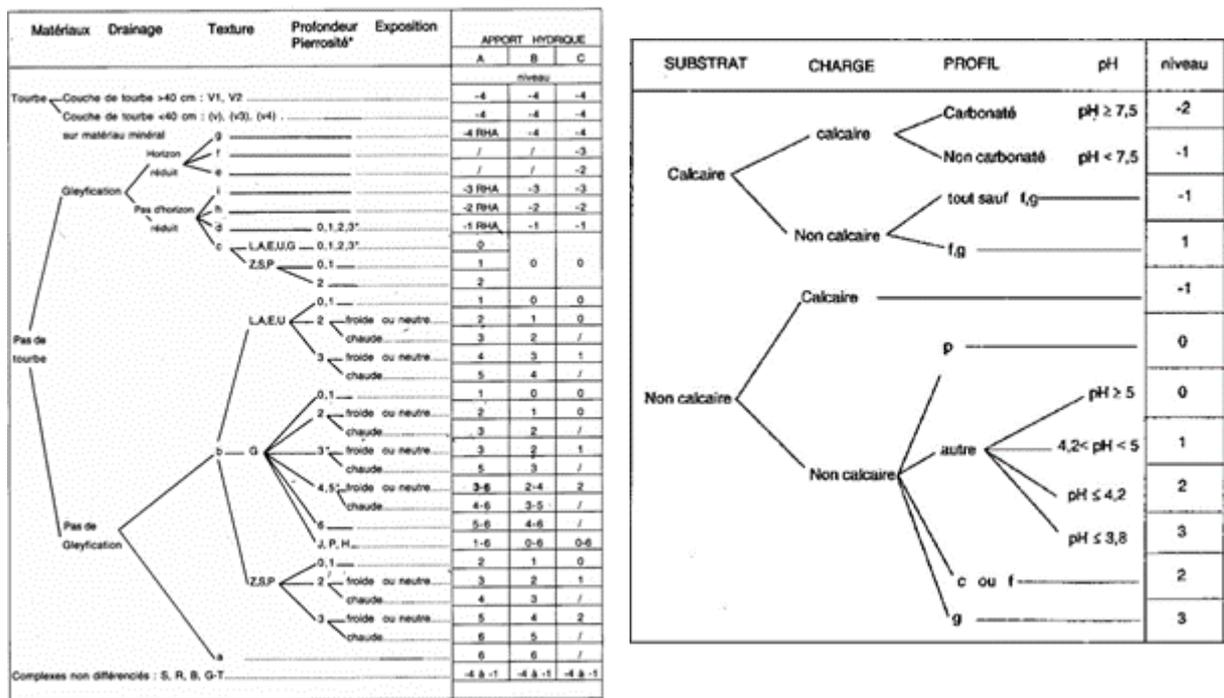


Figure 57. Clés de détermination des niveaux hydrique et trophique du Guide de Boisement. Source : Weissen et al., 1994.

Ensuite, le niveau hydrique du guide du boisement a pu être traduit sous forme cartographique par (Sevrin et al. 2008) sur base des données de la carte numérique des sols de Wallonie (CNSW) et du modèle numérique de terrain (MNT). Les incertitudes en lien avec cette cartographie proviennent de la nécessaire interprétation et simplification des apports hydriques réalisés ainsi que de la précision de la CNSW et du MNT.

Finalement, le niveau trophique du guide du boisement a pu être traduit sous forme cartographique par (Ridremont 2012) sur base des données de l'Inventaire Permanent Forestier d'une part et de la CNSW d'autre part. L'inventaire, à travers le suivi pédologique des placettes forestières, a permis de déterminer le niveau moyen de fertilité (pH) des Principaux Types de Sols de Wallonie et la CNSW a été utilisée pour localiser les différents substrats, charges et profils présents dans la clé de répartition. Les incertitudes en lien avec cette cartographie sont liées au fait que la variabilité spatiale très importante des sols n'est réduite qu'à quelques classes de types de sols principaux, qu'il n'y a pas de prise en compte du type de peuplements dont la qualité de la fane influence le pH et sont limitées à la précision de la CNSW.

Combinés, ces trois facteurs conduisent à l'édification d'une matrice écologique dans laquelle chacune des cases renseignera l'aptitude d'une essence donnée en fonction de son comportement vis-à-vis de cette association de facteurs.

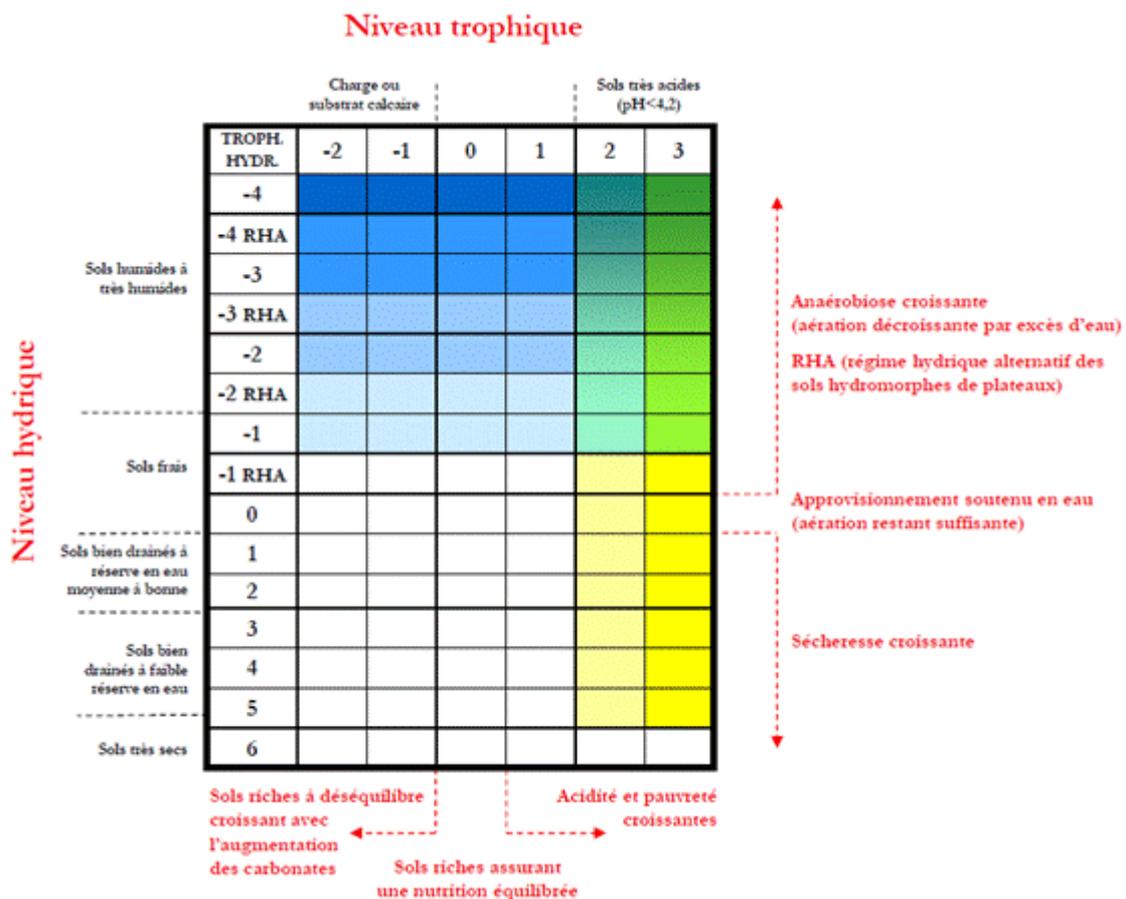


Figure 58. Présentation de la grille à deux entrées du Guide du boisement. Source : Ridremont, F., 2013.

Une fois la matrice écologique du Guide du boisement spatialisée en trois couches séparées, il a fallu déterminer, pour chacune de placettes de l'inventaire forestier et chacune des trois essences considérées, les placettes où ces essences étaient en exclusion, en tolérance ou en optimum.

La **première étape** de cette analyse a nécessité, sur base des quatre couches à disposition (la couche des placettes de l'inventaire, la couche des secteurs écologiques, la couche du régime hydrique, la couche du régime trophique) l'attribution à chaque placette d'un secteur écologique, d'un régime hydrique et d'un régime trophique. Le logiciel ArcGIS 10.0 a été utilisé pour réaliser cette analyse.

La **seconde étape** a été de déterminer, pour les placettes ainsi caractérisées, celles pour lesquelles les trois essences étaient en tolérance, exclusion ou optimum.

Les données utilisées pour cela proviennent toujours du guide du boisement et sont présentées ci-après.

L'épicéa est à son optimum dans les vallées supérieures des affluents mosans (18) et tous les territoires d'Ardenne (19 à 32) ; en tolérance dans tous les autres secteurs écologiques et en exclusion dans les plaines et vallées scaldiennes (1). Son optimum trophique est situé entre 1 et 2 et son optimum hydrique entre 2 et -1. Il est en tolérance dans les régimes hydriques -2 et -2 à régime hydrique alternatif.

Picea abies (L.) Karst.

TROPH. HYDR.	-2	-1	0	1	2	3
-4						
-4 RHA						
-3						
-3 RHA						
-2					18 → 23	
-2 RHA					19 → 21, 23	
-1						
-1 RHA						
0					18 → 23	
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Figure 59. Matrice d'aptitude du guide du boisement pour l'épicéa. Source :F. Ridremont sur base de Weissen, Bronchart, and Piret 1994.

Le hêtre est à son optimum dans des régimes hydriques entre 0 et 2 ou 3 en fonction des secteurs écologiques. Il est moins exigeant en terme de régime trophique.

Fagus sylvatica L.

TROPH. HYDR.	-2	-1	0	1	2	3
-4						
-4 RHA						
-3						
-3 RHA						
-2						
-2 RHA						
-1			1			
-1 RHA		1		1	1	
0						
1			1			
2						
3						
4						
5						
6						

TROPH. HYDR.	-2	-1	0	1	2	3
-4						
-4 RHA						
-3						
-3 RHA						
-2						
-2 RHA						
-1						
-1 RHA			2 → 27			
0						
1				2 → 27		
2						
3					20 → 23	
4						
5						
6						

Figure 60. Matrice d'aptitude du guide du boisement pour le hêtre. Source : F. Ridremont sur base de Weissen, Bronchart, and Piret 1994.

Le chêne pédonculé quant à lui est à l'optimum dans les régimes hydriques 0, -1, -2 et -3 mais ne supporte pas les régimes hydriques alternatifs. Il est en tolérance en Ardenne Centro-Orientale (22) et en exclusion en Haute Ardenne (23).

Quercus robur L.

TROPH. HYDR.	-2	-1	0	1	2	3
-4						
-4 RHA						
-3		1 → 21, 24				
-3 RHA						
-2		1 → 21, 24				
-2 RHA						
-1		1 → 21, 24				
-1 RHA						
0		11, 15, 18 → 21, 24				
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Figure 61. Matrice d'aptitude du guide du boisement pour le chêne pédonculé. Source : F. Ridremont sur base de Weissen, Bronchart, and Piret 1994.

Les résultats de cette seconde étape sont des cartes tricolores pour chaque essence déterminant les placettes où ces essences sont en exclusion, en tolérance ou à l'optimum.

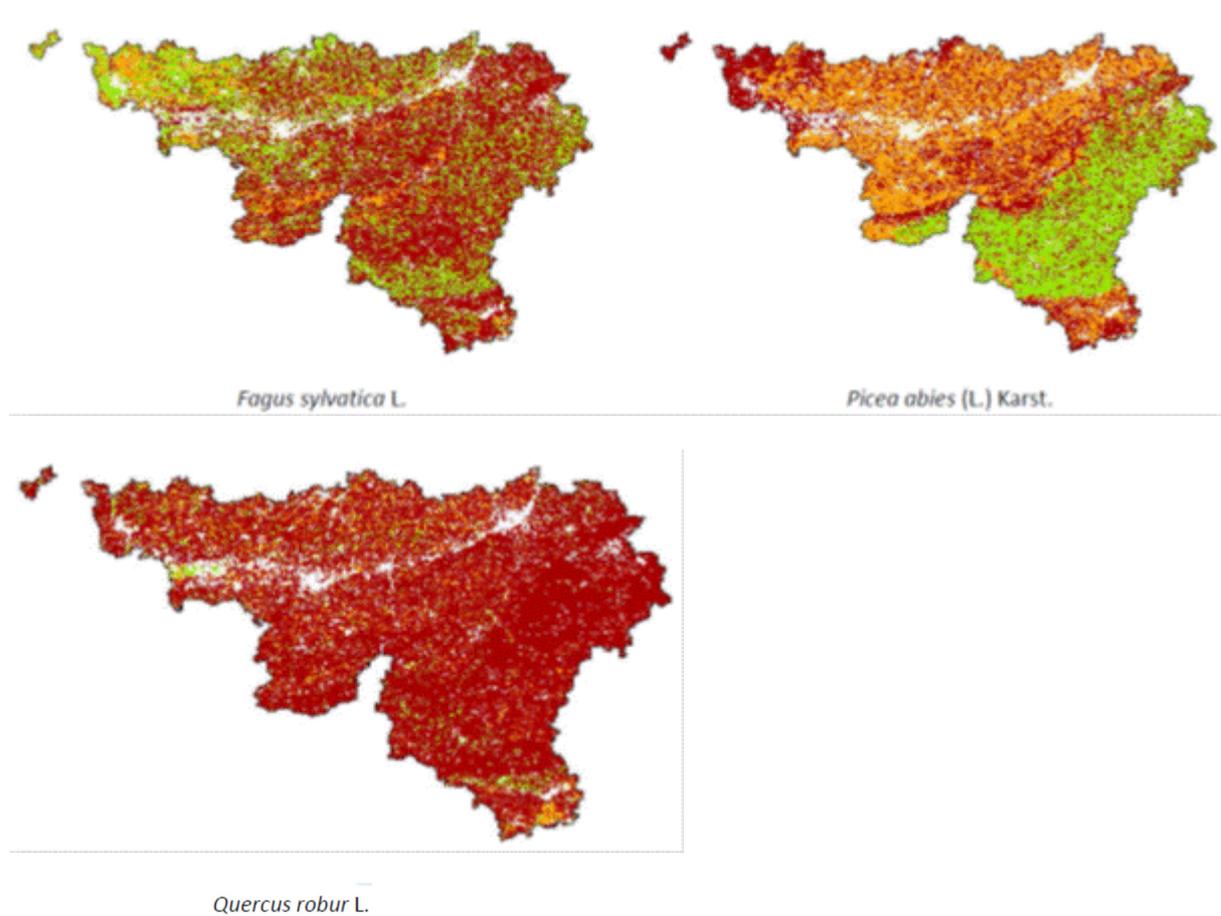
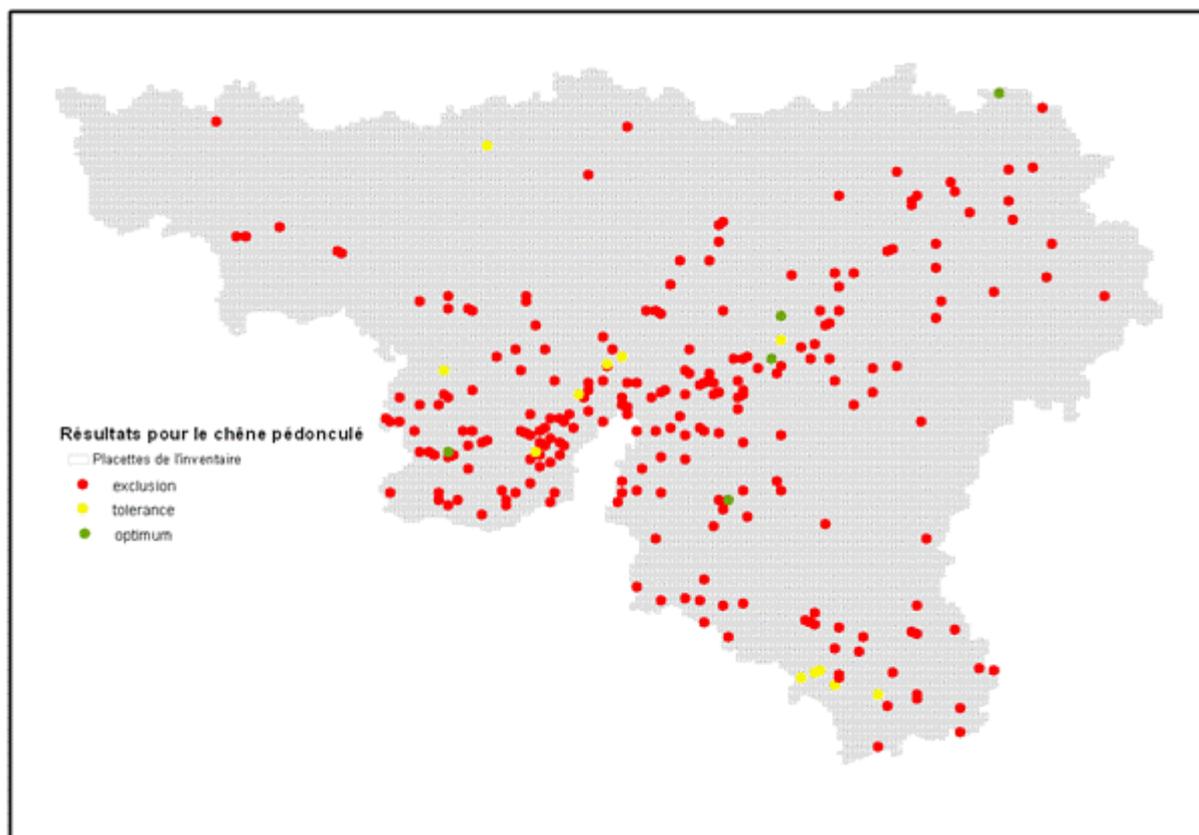
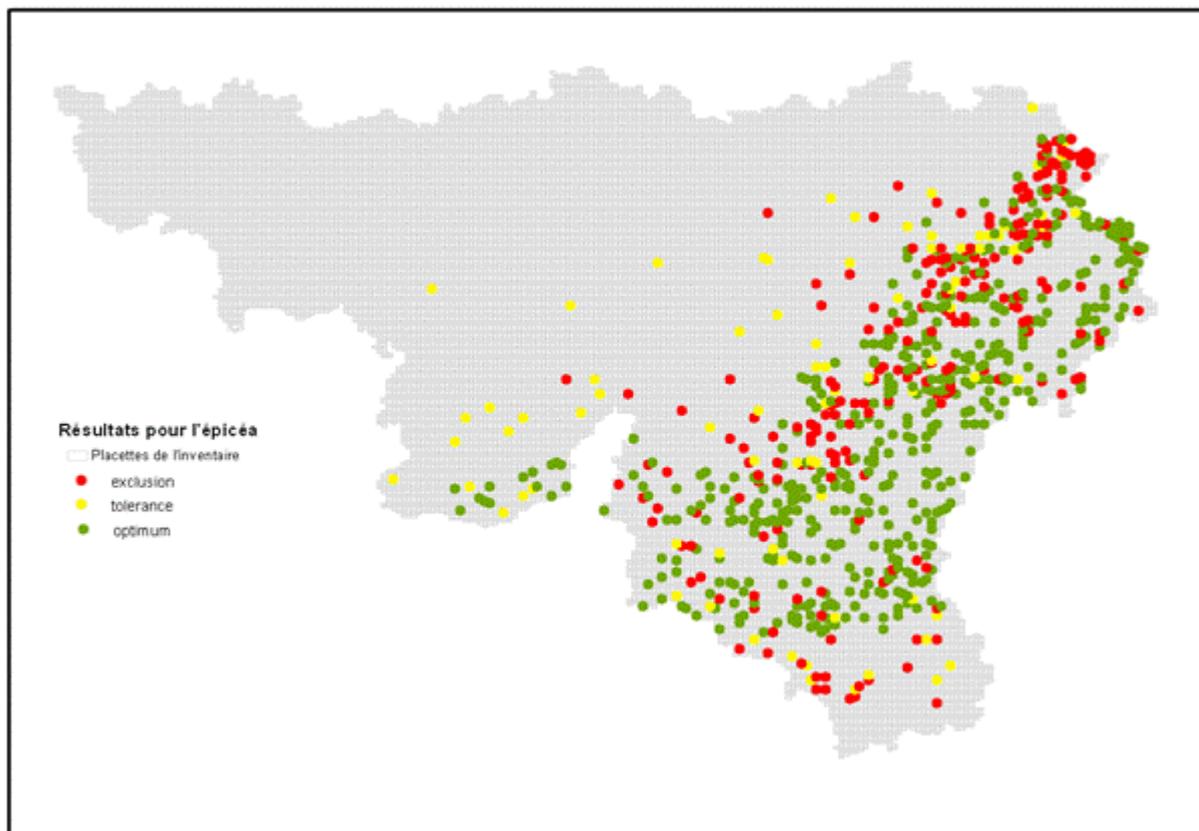


Figure 62. Aptitude des 3 essences cibles en Wallonie. Source : Traitement F. Ridremont.

Finalement, la **dernière étape** a constitué à ne garder des placettes de l'inventaire que celles pour lesquelles l'inventaire indiquait que l'essence considérée était présente en peuplement pur (composition du peuplement principal à hauteur de minimum 80% pour les résineux et 66.7% pour les feuillus).

Les cartes ainsi obtenues nous renseignent sur les placettes sur lesquelles existent des peuplements purs et si ces peuplements se trouvent en optimum, en tolérance ou en exclusion.



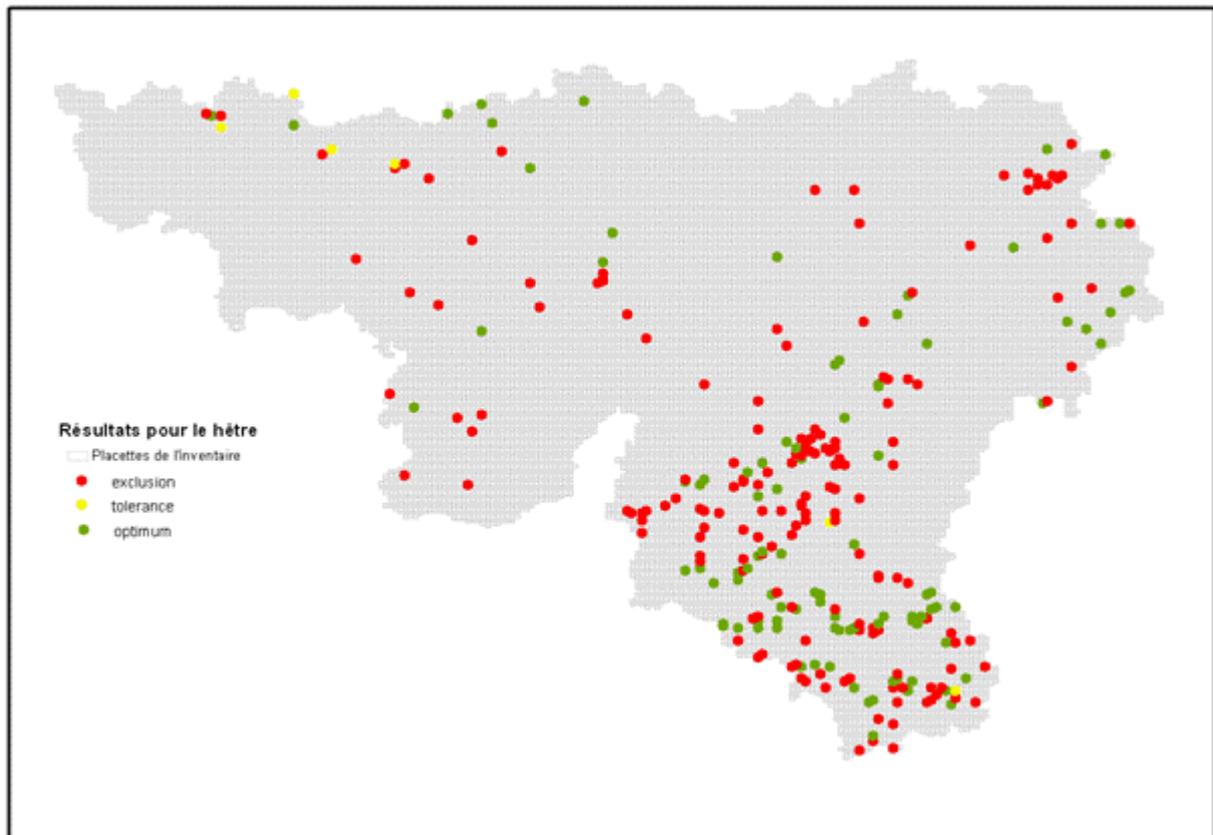


Figure 63. Cartes des aptitudes des 3 essences cibles en Wallonie couplée à la présence de peuplements purs des trois essences. Source : Inventaire permanent forestier et traitements F. Ridremont et ICEDD.

L'impact du changement climatique a ensuite été évalué (les détails spécifiques aux différentes essences sont présentés ci-après) sur base des données d'entrées suivantes :

- L'âge du peuplement de chaque placette pure considérée en 2010 (donnée disponible dans l'inventaire forestier. Pour les âges indéterminés, une régression polynomiale a été effectuée sur base des âges existants et de leur corrélation avec la hauteur dominante du peuplement ou le volume sur écorce du peuplement – cette hypothèse est simpliste puisqu'elle suppose que tous les peuplements ont le même taux de croissance pour un âge donné, mais c'est la seule manière que nous avons d'estimer les âges manquants).
- Les données de Life Expectation Value (LEV) telles que présentées dans (Hanewinkel et al. 2013). Ces données donnent une information sur la valeur économique de chaque hectare de forêt en fonction de l'âge, du scénario climatique considéré et d'un taux d'escompte donné. Il prend en compte la valeur totale que pourrait atteindre le peuplement à la fin de sa période de croissance, les revenus nets provenant des éclaircies, le coût de la replantation, et le taux d'intérêt sur la période. La maximisation de cette valeur est l'une des méthodes développées en économie forestière pour connaître l'âge optimal auquel il est économiquement judicieux d'exploiter un peuplement. Le taux d'escompte utilisé dans ce cas est de 2%.

Sur base de ces données nous avons calculé une matrice de valeurs :

- En abscisse, nous avons pris trois hypothèses :
 - Seuls les peuplements en exclusion actuellement disparaîtront en raison du changement climatique

- Les peuplements en exclusion et en tolérance actuellement disparaîtront en raison du changement climatique
- Les peuplements en exclusion, en tolérance et ceux pour lesquels l'optimum est situé dans les zones pour lesquels le régime hydrique pourra devenir limitant. Ces zones sont déterminées sur base des régimes hydriques dans lesquelles les essences se situent actuellement à l'optimum. Les deux régimes hydriques maximaux sur l'échelle de l'optimum de l'essence sont considérés comme pouvant devenir limitants à l'avenir en raison des sécheresses de plus en plus importantes.

La démarche est illustrée ci-après en prenant l'exemple de l'épicéa.

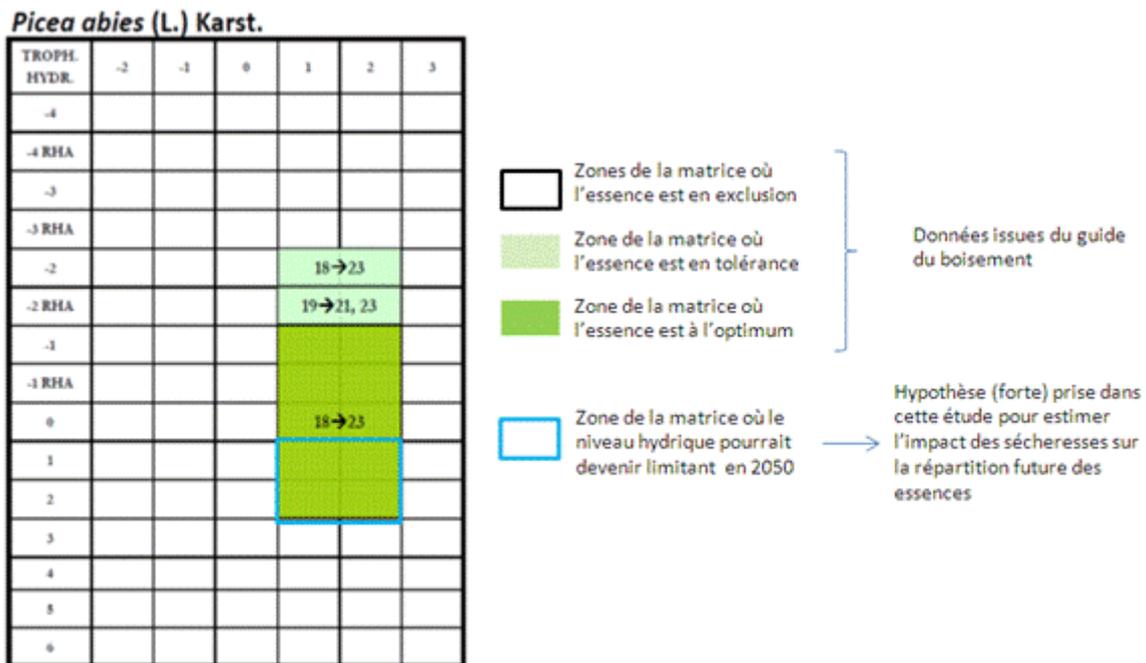


Figure 64. Illustration de la dernière hypothèse prise pour estimer l'impact de la sécheresse sur la répartition des essences ; exemple pour l'épicéa

- En ordonnée, nous avons calculé la différence de valeur entre la valeur totale des différents peuplements s'ils étaient tous exploités à leur âge d'exploitation optimal au vu des LEV pour le scénario A1F1 et les trois chiffres suivants :
 - La valeur totale des différents peuplements si ils étaient exploités à l'âge qu'ils auraient en 2050 (supposant toutefois que tous les peuplements qui ont atteint l'âge optimal avant 2050 ont été récoltés de manière normale) ;
 - La valeur totale des différents peuplements si ils étaient exploités à l'âge qu'ils auraient en 2040 (supposant toutefois que tous les peuplements qui ont atteint l'âge optimal avant 2040 ont été récoltés de manière normale) ;
 - La valeur totale des différents peuplements si ils étaient exploités à l'âge qu'ils auraient en 2030 (supposant toutefois que tous les peuplements qui ont atteint l'âge optimal avant 2030 ont été récoltés de manière normale) ;

Cette manière de procéder nous donne un aperçu de trois magnitudes d'impacts (hypothèse basse, moyenne et haute). Elle revient à dire que les peuplements qui ne seront plus en station seront exploités ou disparaîtront en 2030, 2040 ou 2050.

Ces hypothèses sont détaillées ci-après pour les trois essences séparément.

Hypothèses spécifiques et résultats pour le hêtre

Pour le hêtre, la régression polynomiale pour obtenir l'âge des peuplements pour lesquelles les informations dans l'inventaire étaient manquantes a été réalisée sur le nombre de tiges à l'hectare. Le r^2 de la fonction était de 0.79. Sur base de cette régression, nous avons attribué un âge estimé à tous les peuplements purs de hêtre pour les différentes placettes de l'inventaire. Nous avons ensuite calculé l'âge que ces peuplements auraient en 2030, 2040 et 2050, en arrondissant les âges à la dizaine.

Pour l'hypothèse basse, le chiffre de valeur totale des peuplements a été calculé de la manière suivante : tous les peuplements, indépendamment de leur âge en 2050, seront exploités à leur âge optimal et reçoivent donc une valeur de LEV optimale (qui se situe aux alentours de 120 ans – voir tableau ci-après). Ce chiffre a été comparé à la valeur obtenue en sommant toutes les LEV qu'auront les peuplements en 2050 sur base de leur âge en 2050. Par exemple, un peuplement planté en 2000, de 10 ans en 2010 serait exploité selon notre hypothèse, à 50 ans en 2050, soit à une valeur de LEV de -212 €/ha. Cette valeur négative montre que les coûts liés à la plantation sont encore majoritaires et que les revenus des éclaircies n'ont pas encore contrebalancé l'investissement. Le chiffre ainsi obtenu tente d'approcher la perte de valeur en lien avec le changement climatique puisque c'est la différence entre la récolte des peuplements à leur optimum économique et la récolte à un âge contraint par les conditions stationnelles devenues trop défavorables à la croissance de l'espèce. Tous les peuplements qui ont atteint l'âge optimal d'exploitabilité avant l'année 2050 sont considérés comme ayant été récoltés à leur âge optimal. Pour l'hypothèse moyenne, la même méthode est appliquée, sauf que le LEV utilisé est celui de 2040 et que l'on considère que tous les peuplements seront exploités à l'âge qu'ils auront en 2040. Pour l'hypothèse basse, le LEV utilisé est celui de 2030.

age du hêtre	LEV en 2030 (€/ha)	LEV en 2040 (€/ha)	LEV en 2050 (€/ha)
10	-5 304	-5 304	-5 304
20	-1 946	-1 946	-1 946
30	-1 161	-1 159	-1 158
40	-663	-671	-680
50	-136	-174	-212
60	302	293	284
70	214	350	486
80	552	1 116	1 680
90	1 042	1 574	2 105
100	2 338	2 515	2 692
110	2 701	2 548	2 394
120	2 765	2 581	2 397
130	2 256	2 205	2 153
140	2 259	2 324	2 388

Tableau 47. Life Expectation Value (LEV) pour le hêtre en 2030, 2040 et 2050, scénario A1F1. Source : traitement ICEDD d'après Hanewinkel et al. 2013.

Ces trois hypothèses ont été appliquées à des placettes de l'inventaire différentes. Dans un premier cas, elles ont été appliquées uniquement aux placettes pour lesquelles les peuplements de hêtre se trouvent en exclusion. Dans un second temps, elles ont été appliquées uniquement aux placettes pour lesquelles les peuplements de hêtre se trouvent en exclusion et en tolérance. Finalement, elles ont été appliquées aux placettes pour lesquelles les peuplements de hêtre se trouvent en exclusion, en tolérance, et en optimum avec des régimes hydriques de niveau 1 et 2 dans la grille du guide du boisement.

Ceci suppose que les sols de niveau 1 et 2 (bien drainés à bonne réserve en eau) sur lesquelles le hêtre se trouve aujourd'hui à l'optimum tendraient à devenir plus secs et donc moins favorables à la croissance de l'espèce à l'avenir. Cette hypothèse est bien entendu très grossière et elle ne remplace en rien un modèle de répartition de l'espèce sous les différentes conditions climatiques. Nous avons appelé les placettes présentant ces régimes hydriques les placettes en 'nouvelle exclusion'.

<i>Fagus sylvatica</i> - perte en €	hypothèse basse	hypothèse moyenne	hypothèse haute
Peuplements en exclusion	5 772 442	10 321 181	15 475 883
Peuplements en exclusion et tolérance	5 950 075	10 635 277	15 976 993
Peuplements en exclusion, tolérance et nouvelle exclusion	8 045 327	14 473 259	21 431 433

Tableau 48. Coût estimé pour le hêtre, scénario A1F1. Source : traitement ICEDD d'après Hanewinkel et al. 2013.

Hypothèses spécifiques et résultats pour le chêne

En raison du très faible nombre de données d'âge que nous avons pour les placettes de l'inventaire, nous avons basé notre estimation des âges sur base de la circonférence des arbres de la futaie à 1,50 m. A nouveau, cette hypothèse est très simplificatrice, puisqu'elle ne tient pas compte des différences connues de croissances en fonction des différents types de sols et du lien évident entre densité du peuplement et croissance. Elle a juste l'avantage de se baser sur une donnée qui s'approche le plus de la valeur commerciale du bois.

Les calculs de la perte de valeur en lien avec le changement climatique se sont effectués selon les mêmes principes que ceux présentés pour le hêtre. Les trois hypothèses (moyenne, basse et haute) sont calculées sur base des données présentées au tableau suivant. En nous fournissant les données, le Professeur Hanewinkel nous a cependant mis en garde sur le fait que le terme d'exploitabilité optimal pour les forêts de chênes indigènes était relativement faible dans ses tableaux (en effet, on peut voir que ce terme tourne aux alentours de 110 ans). Il explique cela par le fait que les données utilisées proviennent des données actuelles d'exploitation des chênes en Europe qui sont dans certains cas exploités avec des termes plus courts en raison des dangers dus aux feux de forêts.

age du chêne	LEV en 2030 (€/ha)	LEV en 2040 (€/ha)	LEV en 2050 (€/ha)
10	-5 304	-5 304	-5 304
20	-1 946	-1 946	-1 946
30	-1 207	-1 209	-1 210
40	-651	-652	-652
50	-88	-81	-73
60	321	381	440
70	836	876	916
80	2 336	2 402	2 467
90	2 351	2 450	2 550
100	2 219	2 313	2 407
110	2 405	2 587	2 769
120	2 320	2 488	2 656
130	2 251	2 343	2 436
140	2 369	2 423	2 477

Tableau 49. Life Expectation Value (LEV) pour le chêne en 2030, 2040 et 2050, scénario A1F1. Source : traitement ICEDD d'après Hanewinkel et al. 2013.

Si les trois hypothèses sont les mêmes, les peuplements auxquels elles ont été appliquées diffèrent un peu en raison du fait que dans certains cas, il n'est pas possible de faire une distinction entre les peuplements de chêne pédonculé et les peuplements de chêne sessile. Dans certaines placettes, seule l'identification « chêne indéterminé » est communiquée. Ces derniers sont en effet repris sous le vocable 'chênes indigènes'.

Dès lors, nous avons appliqué les hypothèses sur les placettes pour lesquelles l'analyse phytosociologique mentionnait clairement que le chêne pédonculé était l'essence majoritaire, pour les placettes en exclusion pour l'espèce et celles en exclusion et en tolérance.

A titre de comparaison, nous avons également appliqué cette analyse sur les placettes qui mentionnaient les peuplements de chêne pédonculé et tous les peuplements de chênes indéterminés. Les ordres de grandeur sont conservés, mais le deuxième cas est évidemment plus coûteux.

On notera que nous n'avons pas appliqué l'exercice des placettes en 'nouvelle exclusion' dans ce cas, car, comme on a pu l'observer sur la carte de répartition des placettes de chênes en fonction de leur aptitude stationnelle, il y a très peu de station en Wallonie sur lesquelles le chêne pédonculé se trouve à l'optimum.

<i>Quercus robur</i> - perte en €	Hypothèse basse	Hypothèse moyenne	Hypothèse haute
Peuplements en exclusion - chêne pédonculé	2 368 006	4 604 440	7 272 289
Peuplements en exclusion et tolérance - chêne pédonculé	2 742 912	5 124 052	7 949 684
Peuplements en exclusion - chêne pédonculé et indéterminé	3 067 566	6 345 388	10 025 699
Peuplements en exclusion et tolérance - chêne pédonculé et indéterminé	3 442 471	6 883 194	10 739 482

Tableau 50. Coût estimé pour le chêne, scénario A1F1. Source : traitement ICEDD d'après Hanewinkel et al. 2013.

Hypothèses spécifiques et résultats pour l'épicéa

La répartition des âges s'est faite pour l'épicéa sur base d'une régression linéaire. Le nombre de peuplements pour lesquelles l'information sur l'âge était disponible est cependant beaucoup plus important que dans les deux autres cas, cette régression a donc été faite pour un nombre très faible de placettes (38 placettes, soit 4.89% de l'ensemble des placettes considérées). La démarche poursuivie suit en tout point celle présentée pour le hêtre, mais sur base du tableau de LEV correspondant à l'épicéa présenté ci-après.

age de l'épicéa	LEV en 2030 (€/ha)	LEV en 2040 (€/ha)	LEV en 2050 (€/ha)
10	-20 216	-20 216	-20 216
20	-7 351	-7 351	-7 352
30	-4 335	-4 331	-4 328
40	-1 950	-1 937	-1 923
50	2 580	2 611	2 641
60	7 074	6 790	6 505
70	8 917	8 485	8 053
80	7 221	6 689	6 158
90	4 792	4 618	4 444
100	3 617	3 680	3 743
110	2 896	3 097	3 298
120	2 827	2 897	2 967
130	2 073	2 149	2 225
140	1 499	1 677	1 856

Tableau 51. Life Expectation Value (LEV) pour l'épicéa en 2030, 2040 et 2050, scénario A1F1. Source : traitement ICEDD d'après Hanewinkel et al. 2013.

Ces trois hypothèses ont été appliquées à nouveau sur les placettes pour lesquelles l'épicéa se trouve actuellement en exclusion, en exclusion ou tolérance, ou bien en exclusion, tolérance ou 'nouvelle exclusion'. Les nouvelles exclusions sont les placettes pour lesquelles l'espèce est à l'optimum actuellement, mais pour des niveaux hydriques de 1 et 2 (sols bien drainés à bonne réserve en eau) qui risqueraient de devenir moins favorables à l'avenir.

<i>Picea abies</i> - perte en €	hypothèse basse	hypothèse moyenne	hypothèse haute
Peuplements en exclusion	11 966 750	23 249 323	40 946 419
Peuplements en exclusion et tolérance	17 759 188	35 841 451	62 484 181
Peuplements en exclusion, tolérance et nouvelle exclusion	50 043 730	89 250 563	144 691 543

Tableau 52. Coût estimé pour l'épicéa, scénario A1F1. Source : traitement ICEDD d'après Hanewinkel et al. 2013.

L'impact des tempêtes sur l'épicéa

L'essence la plus sensible aux risques de chablis lié aux vents a été identifiée comme étant l'épicéa. Aucune donnée n'existant pour la Wallonie, l'exercice a donc consisté à trouver des informations quant aux pertes en volume de cette essence pour les différents scénarios climatiques en raison de l'augmentation des vitesses de vent dans les années à venir, et ce pour des régions comparables à la Wallonie et pour l'épicéa.

La revue de la littérature scientifique a permis démontrer que l'épicéa est une essence particulièrement bien étudiée pour ces problématiques dans les pays nordiques puisqu'elle représente un potentiel économique important pour ces pays, mais que les données concernant des régions proches sont bien moins nombreuses.

L'essentiel de l'analyse s'est donc basée sur l'article de (Panferov et al. 2009) qui fournit des estimations de dommages absolus liés aux chablis pour l'épicéa sur 4 périodes de temps pour la région de Solling dans le sud de l'Allemagne (51.6°N – 52° N et 9.4°E - 9.8°E), située à la frontière entre la Suisse et la France.

Il nous a été impossible de comparer si les hypothèses des vitesses de vent prise par les auteurs étaient comparables aux situations que nous allions observer pour la Wallonie, mais à nouveau, nous avons pris l'hypothèse simplificatrice et réductrice que c'était le cas. Nous tenons à souligner que l'auteur principal de l'étude, le Professeur Panferov, a émis de sérieux doutes quant à la qualité des résultats que nous allions obtenir en utilisant cette approche. D'après lui, en effet, les régions, bien que relativement proches, sont difficilement comparables.

Sur base de ces hypothèses simplificatrices, nous avons obtenu des pourcentages, en valeur absolue, d'augmentation de chablis dans les peuplements d'épicéa pour le scénario climatique A1B pour la période de temps P2 (2041-2070) et nous avons comparé ce chiffre avec la même valeur pour la période de temps P0 (1981-2010), supposée représenter les conditions actuelles.

Les hypothèses du modèle sous les suivantes : i) tous les peuplements forestiers sont intacts au début des simulations, ii) les événements ne créent pas de grandes mises à blanc – les dommages sont répartis dans les peuplements et iii) les arbres survivants sont quantifiés comme étant une part du peuplement total (Panferov et al. 2009). Ces calculs ont été faits sur base des données issues du scénario A1B, pour le type de sol Cambisol (shallow), pour les trois classes d'âge des peuplements identifiées : 45, 65, et 85.

Le choix du type de sol à considérer s'est fait sur base d'une comparaison entre le tableau 2 de l'article présentant les caractéristiques des sols et les informations sur les données pédologiques en provenance de l'inventaire forestier. C'est principalement la charge caillouteuse qui a été à la base du choix du Cambisol (shallow) plutôt que du Cambisol (depth), celle-ci étant relativement élevée dans les peuplements wallons.

Une fois ces choix faits, les étapes suivantes ont été réalisées pour effectuer les calculs :

- Sur base des âges des peuplements présents dans l'inventaire, nous avons calculé l'âge qu'auraient les peuplements en 2050.
- Trois classes d'âge ont été calculées pour 2050 puisque nous n'avons d'information chiffrée que pour trois classes : 45, 65, et 85. Les peuplements d'un âge inférieur à 30 ans sont considérés comme non sensibles aux chablis de vent. Les peuplements âgés de 31 à 54 ans ont été attribués au risque des peuplements de la classe 45, ceux de 55 à 74 à la classe de 65 et ceux âgés de plus de 75 à la classe de 85.
- Les dommages selon ces hypothèses (P2-P0) ont été appliqués à l'ensemble des peuplements d'épicéa et plus particulièrement au paramètre VHA (volume de bois fort tige sur écorce) afin de calculer les m³ de perte supplémentaires dus au changement climatique. Ces calculs ont été faits pour les tous les peuplements, indépendamment de leur adaptation à la station ainsi que pour les peuplements situés dans des stations où ils se trouvaient à l'optimum sauf sous niveaux hydriques 1 et 2, et ce, afin de rester cohérent avec les analyses précédentes. Dans le deuxième cas, les tempêtes n'affectent en effet que les peuplements qui sont encore présent en 2050. L'hypothèse la plus forte faite dans ce cas est la suivante : on suppose que la répartition des classes de circonférences dans les parcelles de l'inventaire aujourd'hui est représentative de la répartition des classes de circonférence dans les parcelles de 2050, à tous le moins pour les parcelles à l'optimum sauf sous niveaux hydriques 1 et 2.

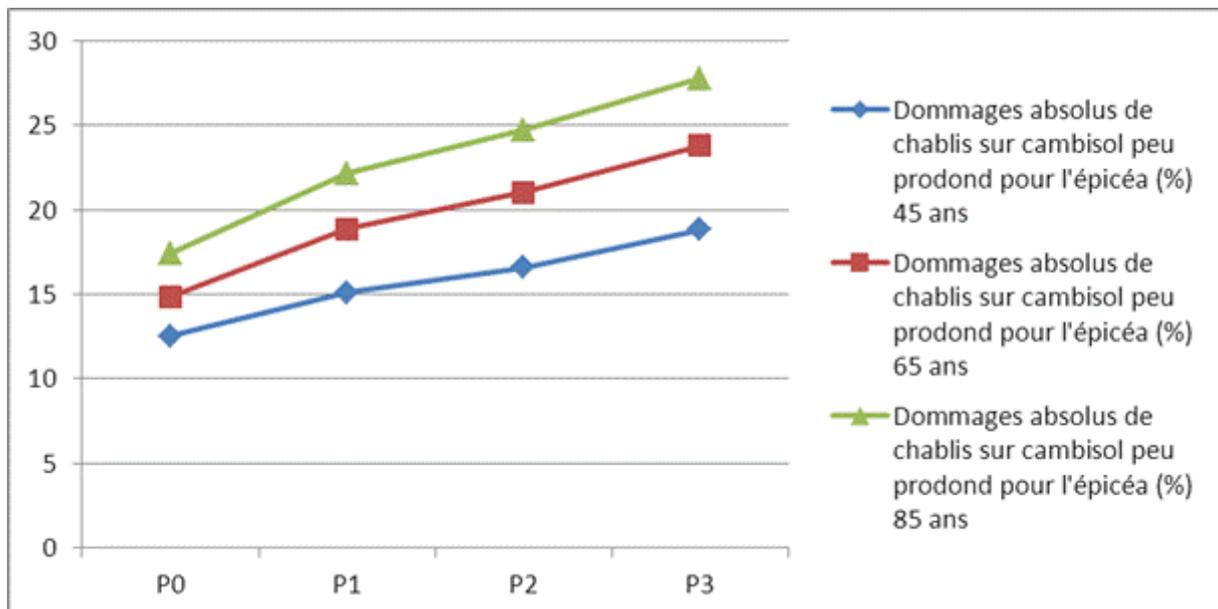


Figure 65. Dommages absolus de chablis pour l'épicéa à Solling pour les trois classes d'âge et les 4 périodes (P0=1981-2010 ; P1=2011-2040 ; P2=2041-2070 ; P3=2071-2100). Source : Courtesy of Prof. Panferov, personal communication 2013.

Les données en m³ ont ensuite été transformées en euros sur base du prix au m³ du bois d'épicéa, pour les différentes classes de circonférences à 1,5 m présentées dans (OEWB 2013) : 40-59 cm, 60-69, 70-89, 90-119, 120-149. Le prix des chablis a ensuite été calculé en prenant la différence entre la valeur des bois sur pied à leur classe de circonférence donnée et le prix moyen du bois de chauffage. Cela suppose donc que les chablis ont en quelque sorte déclassé les bois tombés en les ramenant au prix du bois de chauffage (25 €/m³) et ce indépendamment de leur valeur marchande initiale. La décote est de ce fait d'autant plus grande que l'on se trouve en présence d'arbres de grande circonférence. Dans certains cas, cette hypothèse surestime la perte (le bois n'est pas autant déprécié), mais dans d'autre la perte est plus importante car il ne vaut pas la peine économiquement d'aller récolter le bois tombé. On suppose donc cette hypothèse valable pour le niveau de certitude nécessaire dans nos estimations.

Les résultats finaux sont présentés au tableau suivant.

Hypothèse	Volume de bois perdu en raison de l'augmentation du risque des chablis dus aux tempêtes en 2040-2070, scénario AB1 (m ³)	Coût total en 2012 si les pertes dues aux tempêtes sont vendues au prix du bois de chauffage (€)
Hypothèse où l'on applique la perte de 2040-2070 aux volumes actuels, supposant dès lors que ces peuplements sont à l'équilibre et que le volume sur pied total restera identique en 2050	833 505.3	19 761 584
Hypothèse où l'on applique la perte de 2040-2070 aux volumes actuels des stations à l'optimum, hors niveaux hydriques 1 et 2 du guide du boisement	177 474.5	4 087 899

Tableau 53. Coût estimé des dommages générés par les tempêtes sur le bois. Source : ICEDD, 2014.

Les chiffres présentés en seconde colonne sont des chiffres moyens pour la période de 2041 à 2070. On rappellera, à titre de comparaison, que les volumes d'accroissement annuels en épicéa pour 2013 sont de 2 068 800 m³ (OEWB 2013).

Pour éviter du double comptage et rester cohérent avec les hypothèses prises ci-dessous, nous proposons de garder le chiffre de la seconde hypothèse et de supposer que le risque ne s'applique que l'épicéa ne devrait plus se trouver en 2050 sur les stations non optimales, soit un coût total de 4 087 899 €.

LE COÛT DE L'INACTION SUR LE SECTEUR FORESTIER

SECTEUR	FORETS
Descriptif de l'impact	
<p>Réduction en termes de superficies totales puis de valeur au sein de la Région wallonne des trois essences les plus vulnérables au changement climatique : le hêtre, l'épicéa et le chêne pédonculé. Cette réduction s'explique par le fait que les trois essences ne trouvent plus leur optimum dans des stations qui autrefois pouvaient leur convenir et/ou elles pouvaient encore s'adapter.</p>	
Cadre de l'analyse	
<p>L'analyse présentée ici se base sur la méthode dite du « guide du boisement » et a été réalisée en collaboration avec l'Ulg – Gembloux Agro Biotech – Gestion des Ressources Forestières et des Milieux Naturels puisqu'aucune modélisation de la répartition future des principales espèces commerciales n'était disponible à l'échelle de la Région wallonne. Les trois essences choisies l'ont été sur base de la sensibilité des essences commerciales estimée par les experts et présentés dans l'analyse à l'échelle de la Région wallonne de (Bemelmans et al. 2009). Elle suppose que les forestiers ne prennent aucune action particulière pour remplacer les peuplements existants qui ne seraient plus adaptés et que dès lors les pertes ne sont pas compensées par la replantation d'une autre essence plus adaptée à la station (hypothèse similaire à celle du 'dumb farmer' pour la partie agriculture).</p>	
Méthode	
<p>La méthode développée ici se base sur la cartographie initiale des 3 cartes à l'échelle de la Région wallonne : la carte des régimes hydriques, la carte des régimes trophiques et la carte des secteurs écologiques. Sur base des informations du guide du boisement et de ces trois cartes, il a été possible de déterminer quelles étaient les placettes de l'inventaire permanent forestier au sein desquelles les 3 essences vulnérables se situaient, dans les conditions actuelles, en zone optimale, en zone de tolérance ou en zone d'exclusion.</p>	
<p>Les différentes hypothèses poursuivies pour déterminer la perte due au changement climatique sont de deux ordres :</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • on considère que les peuplements en exclusion (hypothèse basse), en exclusion et en tolérance (hypothèse moyenne), ou en exclusion, en tolérance et à l'optimum pour des régimes hydriques qui pourraient devenir contraignants (hypothèse haute) sont amenés à disparaître en raison de conditions de croissance de plus en plus défavorables en lien avec le changement climatique ; • on considère que la perte est liée à la différence entre la valeur qu'auraient atteint les peuplements si ils avaient été coupés à leur optimum économique de croissance (calculé selon la fonction LEV de (Hanewinkel et al. 2013) pour le scénario A1F) et la valeur qu'ils atteignent si on les coupe à l'âge qu'ils ont en 2030, 2040 ou 2050. Le manque à gagner diminue avec le temps, puisque l'on se rapproche de l'optimum. 	

On suppose donc, tout comme pour l'agriculture :

- Plantations inchangées : pas de changement dans l'évolution des superficies plantées en différentes essences, (ne prend pas en compte une évolution possible).
- Non prise en compte des facteurs externes : influence des modifications législatives, de l'organisation des structures agricoles.

Quantification de l'impact physique

La quantification de l'impact physique n'a pas été réalisée puisque nous sommes directement passés à l'impact monétaire sur base de données de LEV chiffrées en €/ha.

Traduction en termes monétaires

Données d'entrée

Les données d'entrées proviennent de :

- l'Inventaire Forestier Permanent (Monsieur H. Lecomte)
- des tableaux de LEV pour les trois essences considérées (Professeur Hanewinkel)
- des cartes de régime hydrique, trophique et des secteurs écologiques, réalisées par l'unité de Gestion des Ressources Forestières et des Milieux Naturels (Professeur Claessens, et Monsieur F. Ridremont)

Résultats (Estimation des coûts des impacts)

Espèce	Calcul	Hypothèse basse	Hypothèse moyenne	Hypothèse haute
hêtre	Peuplements en exclusion, tolérance et nouvelle exclusion	8 045 327	14 473 259	21 431 433
épicéa	Peuplements en exclusion, tolérance et nouvelle exclusion	50 043 730	89 250 563	144 691 543
chêne	Peuplements en exclusion et tolérance - chêne pédonculé et indéterminé	3 442 471	6 883 194	10 739 482
Total		61 531 528	110 607 016	176 862 458

Type de coût	Manque à gagner par rapport à la valeur d'avenir de certains arbres : la perte provient du fait que les arbres sont récoltés avant leur optimum pour des raisons en lien avec le fait qu'ils montrent des sensibilités, des fragilités du fait qu'ils ne sont plus situés en station où leur croissance est optimale.
Coût relatif	0,18% du PIB

	2% du chiffre d'affaires du secteur forestier
Public cible	Gestionnaires forestiers
Limites et incertitudes	
<p>La méthode développée ici nous semblait être la seule envisageable étant donné le temps imparti et les données disponibles à l'échelle de la Région wallonne. Elle comporte bien évidemment d'importantes incertitudes, que nous avons tenté de répercuter dans la fourchette de valeurs présentées (différences entre l'hypothèse haute et l'hypothèse basse).</p> <p>Tout d'abord, l'hypothèse que les pratiques restent exactement constantes, même des adaptations spontanées (remplacement de l'épicéa par du douglas en stations défavorables à l'épicéa) ne sont pas considérées, rend les résultats plutôt pessimistes.</p> <p>Ensuite, outre les incertitudes liées à la création des trois cartes qui ont servi de base à l'analyse et qui sont présentées ci-avant, des grandes incertitudes pèsent encore sur la répartition des différentes essences en 2050. Nous avons tenté, par des hypothèses simplistes, de déterminer la part des peuplements qui pourraient être affectés par le changement climatique, mais ces hypothèses ne remplacent en rien des estimations basées sur des modèles plus précis, notamment de modifications de régimes hydriques en lien avec le changement climatique. Il n'y a en effet aucun lien précis avec un scénario climatique donné (A1B1 ou autre) comme on peut l'observer dans les autres thèmes.</p> <p>On notera finalement que nous n'avons pu, faute d'éléments disponibles, chiffrer les impacts des événements que nous appellerons les événements secondaires. L'augmentation des maladies, des attaques de ravageurs... est en effet un événement secondaire qui arriverait de manière plus fréquente car les arbres seraient soumis à des stress plus intenses et dès lors fragilisés. Il est impossible de chiffrer ces éléments car il subsiste encore trop d'inconnues à ce jour sur les mécanismes qui déclenchent ce genre d'événements secondaires. Ces questions devraient cependant être approfondies, et notamment la question des feux de forêts et des insectes ravageurs car elles sont souvent considérées comme les principales causes de perte de productivité en forêt.</p>	

SECTEUR	FORETS
Descriptif de l'impact	
Réduction de la valeur de bois sur pied de l'épicéa entre 2040 et 2070 en lien avec l'augmentation des vitesses moyennes des vents et dès lors l'augmentation des chablis dus au vent dans les peuplements.	
Cadre de l'analyse	
L'analyse présentée ici se base sur des données d'un article étudiant la sensibilité de l'épicéa dans la région de Solling en Allemagne pour deux scénarios climatiques : A1B et B1 et fournissant des chiffres de % absolus de réduction dus aux chablis sous les périodes actuelles et futures.	
Méthode	
La méthode développée ici se base sur les données en provenance de l'article du Prof. Panferov. Les données qui ont été utilisées sont prises pour les sols Cambisols (shallow), l'épicéa, le scénario A1B, et les trois classes d'âge considérées. L'augmentation en valeur absolue des % de chablis dans les peuplements est appliquée aux peuplements d'épicéa situés en stations optimales hors niveau de régime hydrique 1 et 2 (voir guide du boisement et hypothèse ci-dessus). Ces valeurs obtenues en m ³ sont ensuite transformées en € en supposant que le manque à gagner provient uniquement de la différence entre la valeur du bois sur pied et la valeur du bois si il était vendu comme bois de chauffage (en supposant dès lors que la dépréciation due à la tempête fait que l'arbre n'est plus vendable que comme bois de chauffage).	
Quantification de l'impact physique	
Hypothèse	Volume de bois perdu en raison de l'augmentation du risque des chablis dus aux tempêtes en 2040-2070, scénario AB1 (m ³)&èè
Hypothèse où l'on applique la perte de 2040-2070 aux volumes actuels des stations à l'optimum, hors niveaux hydriques 1 et 2 du guide du boisement	177 474
Traduction en termes monétaires	
Données d'entrée	
Les données d'entrées proviennent de :	
<ul style="list-style-type: none"> • l'Inventaire Forestier Permanent (Monsieur H. Lecomte) • des cartes de régime hydrique, trophique et des secteurs écologiques, réalisées par l'unité de Gestion des Ressources Forestières et des Milieux Naturels (Professeur Claessens, et Monsieur F. Ridremont) • des tableaux de valeurs commerciales de l'épicéa pour différentes classes de circonférences à 1,5 m tels que présentés dans (OEWB 2013). 	

Résultats (Estimation des coûts des impacts)	
Hypothèse	Prix total en 2012 des pertes supplémentaires dues aux tempêtes (€)
Hypothèse où l'on applique la perte de 2040-2070 aux volumes actuels des stations à l'optimum, hors niveaux hydriques 1 et 2 du guide du boisement	4 087 899
Type de coût	Manque à gagner dû au fait que les arbres tombés sont dépréciés et ne pourront être vendus au prix qu'ils représentaient sur pied.
Coût relatif	
Public cible	Gestionnaires forestiers
Limites et incertitudes	
<p>Les limites de l'approche ont été présentées tout au long de l'analyse sont multiples. Il est bien entendu que l'utilisation de données qui ont été développées pour un site d'étude se situant à Solling en Allemagne (sud de l'Allemagne, à la frontière entre la Suisse et la France) représente un grand raccourci.</p> <p>L'hypothèse la plus forte pour calculer les impacts en terme physiques est la suivante : on suppose que la répartition des classes de circonférences dans les parcelles de l'inventaire aujourd'hui est représentative de la répartition des classes de circonférence dans les parcelles de 2050, à tous le moins pour les parcelles à l'optimum sauf sous niveaux hydriques 1 et 2.</p> <p>A nouveau, des études de stabilité de peuplement en Wallonie ainsi que des études poussées de régimes des vents actuels et à venir seraient bien préférables aux hypothèses simplificatrices prises ici.</p>	

Tableau 54. Synthèse des résultats des impacts analysés sur le secteur forestier. Source : ICEDD, 2014.

PERSPECTIVES FUTURES

Pour aller plus loin...

- Etudes de stabilités des peuplements
- Modèles de circulation des vents
- Modélisation des répartitions des essences forestières, notamment en lien avec le régime hydrique changeant (travaux en cours à l'Ulg- GxABT- GRFMN)
- Développer la compréhension de la résilience des écosystèmes forestiers
- Développer la compréhension des mécanismes liant les effets primaires (sécheresses, carences induites...) et les effets secondaires (attaques de pathogènes).
- Développer la compréhension de la limitation potentielle de l'impact de la limitation en éléments nutritifs sur les prédictions d'augmentation de NPP sous une atmosphère enrichie en CO₂.
- Suivre les résultats du projet MASC débuté en janvier 2014.

Tableau 55. Proposition de recherches futures pour affiner les résultats de l'analyse sur le secteur forestier. Source : ICEDD, 2014.

Plusieurs pistes de recherche permettraient d'avancer dans la connaissance des possibles impacts du changement climatique sur les forêts. Il s'agirait de mieux connaître les valeurs elles-mêmes de la forêt, des produits et des aménités qu'elle procure, l'économie de la gestion forestière et des mesures de protection, de type incendie.

Il apparaît également très important de recenser et d'évaluer les ressources génétiques forestières présentes, ainsi que leurs capacités d'adaptation aux différents stress susceptibles de se produire lors des prochaines rotations sylvicoles. Une meilleure appréciation du comportement des sols à long terme et de l'aspect carbone dans les forêts (dont les sols) serait également utile.

2.6 RESSOURCE EN EAU, INFRASTRUCTURES ET AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

2.6.1 IDENTIFICATION DES IMPACTS

IMPACTS SUR LE CYCLE DE L'EAU

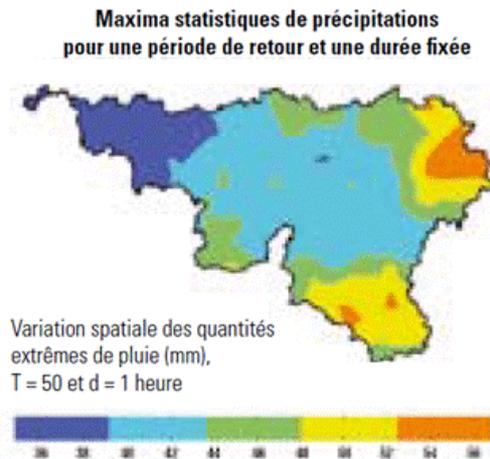
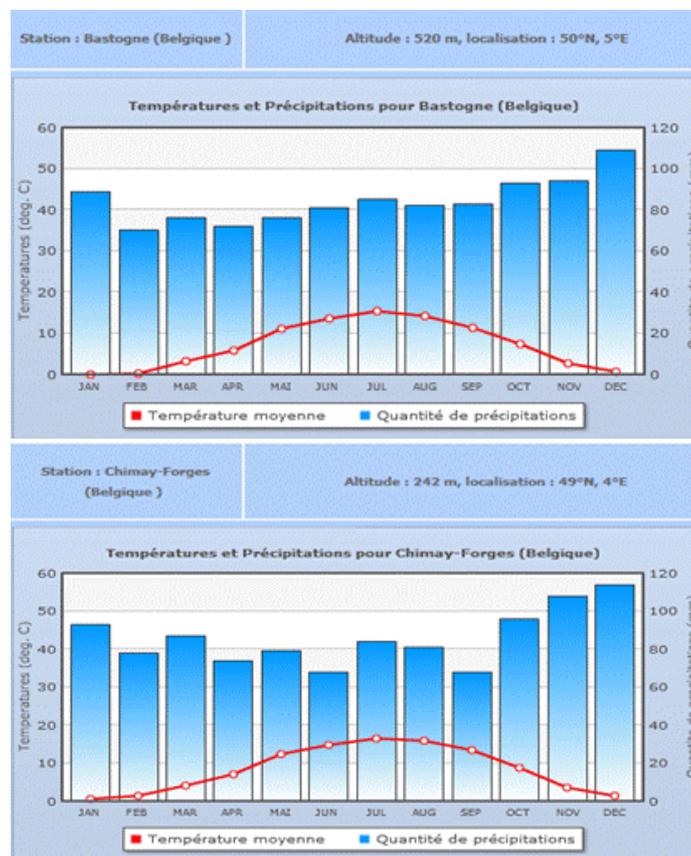


Figure 66. Répartition de la pluviométrie sur l'ensemble du territoire en Région wallonne. Sources : UCL-GERU (programme PIRENE) ; MET-DGVH-SETHY (2004).

Les variations mensuelles sur une année des températures et des précipitations enregistrées dans 5 stations wallonnes sont présentées ci-après.



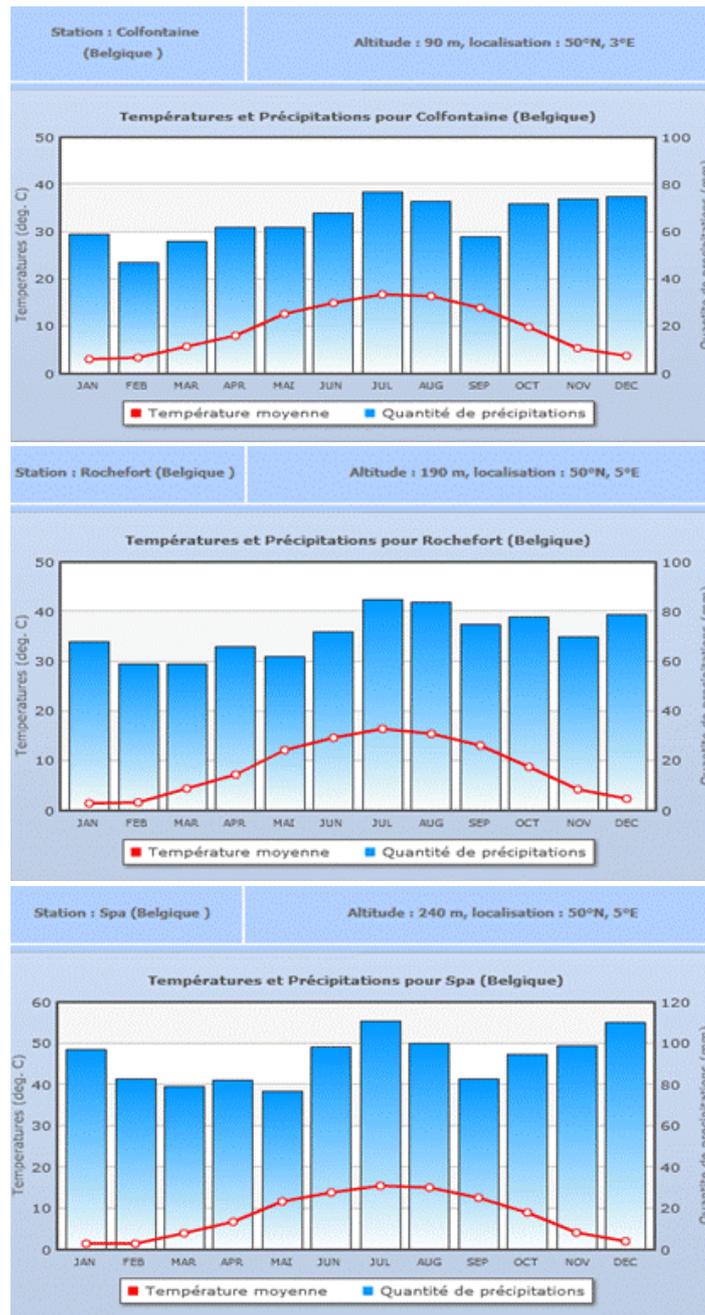


Figure 67. Variations mensuelles des précipitations. Source : <http://www.meteobelgique.be/article/climatogramme.html>, 2014

La Région wallonne dispose sur son territoire, de ressources en eau douce estimées à 13 milliards de m³ (environ 12 milliards de m³ par an d'eaux de surface qui correspondent aux cours d'eau, lacs, étangs, barrages,... et environ 550 millions de m³ par an d'eaux souterraines qui correspondent aux nappes aquifères).

Le changement climatique aura un impact sur les eaux superficielles et sur les eaux souterraines.

La progression de la température de l'air aura pour conséquence une progression de la température des eaux de surface. La littérature scientifique montre un lien direct entre la modification de la température moyenne de l'air et la modification de la température moyenne des cours d'eau. L'augmentation de la température des cours d'eau pourrait contribuer à la fragilité des milieux, particulièrement dans un contexte où les fortes chaleurs et les périodes de canicule seraient plus nombreuses.

L'augmentation de la température de l'eau est par ailleurs dommageable pour la qualité de l'eau. Les quelques prélèvements de surface pour l'eau potable pourraient être affectés lors de canicules, toutefois la Wallonie dépend dans sa très large majorité des eaux souterraines pour sa consommation. L'impact resterait donc très faible.

L'augmentation des précipitations intenses en hiver pourrait conduire à des volumes ruisselés en contexte rural ou en contexte urbanisé, bien supérieurs à ceux connus actuellement.

Des études menées sur l'Escaut et la Meuse mettent en avant une réduction drastique des débits d'étiages aux horizons 2050 et 2100. En revanche, la perturbation des débits de pointe des événements extrêmes d'inondations apparaît moins clairement. Toutefois il est mis en évidence que les débits de pointe des crues de périodes de retour supérieures à un an pourraient augmenter.

La variation des débits suivrait les tendances des précipitations. Les rivières du district de l'Escaut étant essentiellement des « rivières pluviales », leur fonctionnement hydrologique pourrait être fortement perturbé. De nombreux cours d'eau, dont les plus importants, subiraient une réduction sévère des étiages en été, tandis qu'en hiver les débits de pointe progresseraient et la fréquence des crues extrêmes serait augmentée, accroissant ainsi le risque d'inondation.

La baisse des volumes écoulés en saison estivale compromettrait les principaux captages de surface. Mais la réduction des volumes et des débits entraînerait aussi une réduction de la dilution des pollutions. La concentration plus forte de certains polluants pourrait conduire à la fermeture de captages (à l'image par exemple des fermetures ayant été opérées dans le Limbourg hollandais en 2003 suite à des baisses drastiques du débit de la Meuse).

En ce qui concerne l'eau souterraine, le fonctionnement des nappes est lié en partie aux précipitations annuelles. L'évolution de la recharge et donc du niveau des aquifères sera donc en partie dépendante de l'évolution des pluies. Une réduction de la pluviométrie en été ne sera pas forcément dommageable pour les aquifères si les précipitations hivernales permettent une recharge suffisante. Tout dépendra donc du nouvel équilibre entre les pressions en été et la capacité de recharge en hiver. Si, par exemple, la hausse des précipitations en hiver se fait essentiellement par des pluies intenses plus fréquentes, elle ne permettra pas une bonne recharge car ces précipitations généralement aboutissent à un ruissellement généralisé.

Sur base des effets actuels et attendus, il faut s'attendre à avoir des impacts sur le cycle de l'eau en Wallonie. Les principaux impacts concerneront le risque d'inondations, la recharge des nappes aquifères et, dans une moindre mesure, peut-être les usages de l'eau et la qualité de l'eau.

ALTÉRATION DE LA RECHARGE DES NAPPES

La Wallonie dispose d'importantes ressources en eau souterraine.

Les principales formations aquifères peuvent être caractérisées par leur nature lithologique et leur type de porosité: les roches meubles, où l'eau circule plus ou moins abondamment (ex. graviers versus sables) et les roches cohérentes, imperméables à l'échelle microscopique, mais dont les fissures, permettent des flux d'eau plus ou moins importants localement (ex. grès, quartzites, calcaires). Du fait de leur texture (ex. craies) ou d'altérations particulières (ex. manteau d'altération de l'Ardenne, karstification des calcaires) certaines roches cohérentes peuvent présenter plusieurs types de porosité superposés, et, de ce fait, devenir localement encore plus perméables.



Figure 68. Principaux aquifères en Région wallonne. Source : Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon, 2006-2007

Les eaux souterraines représentent environ 78% de l'eau de distribution en Wallonie.

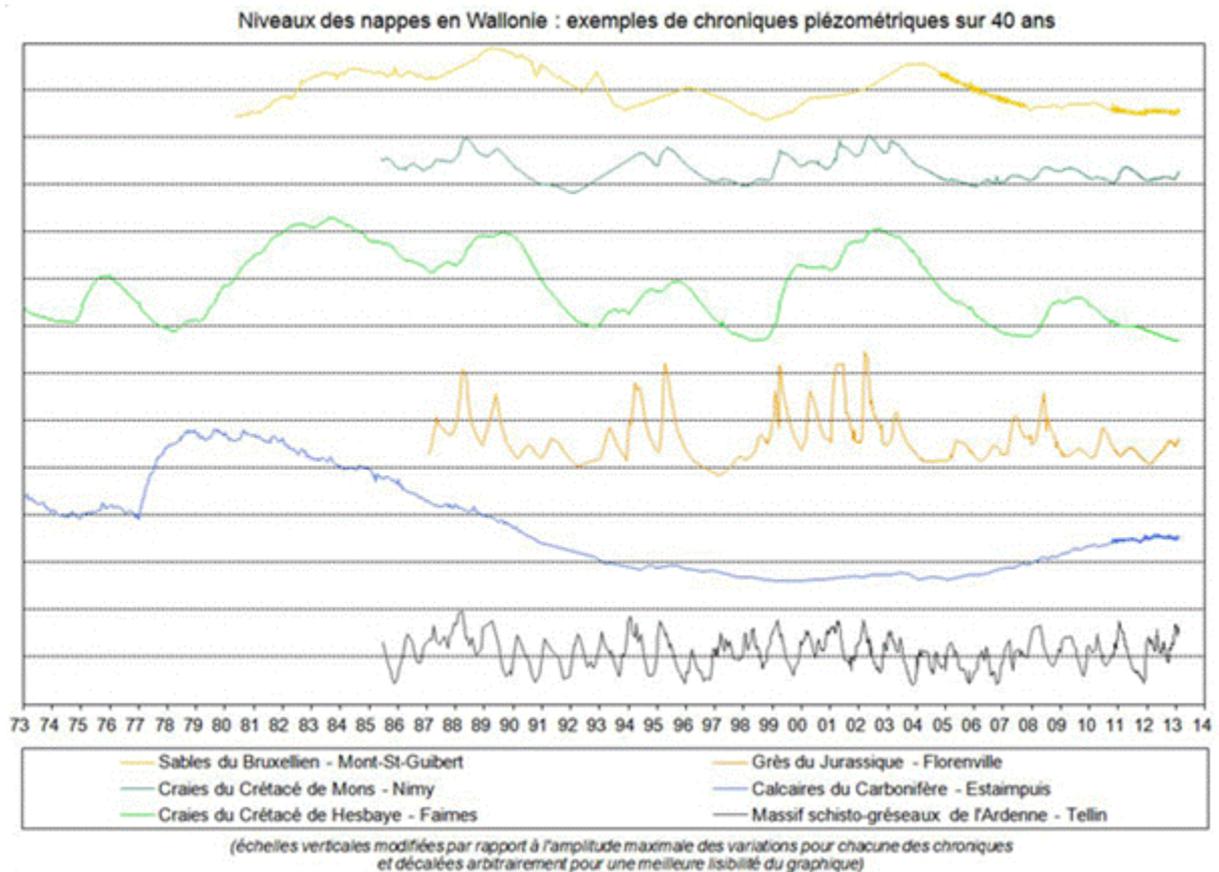


Figure 69. Niveau des nappes en Wallonie. Source : SPW-DGO3 (2013).

Le rapport du GIEC (2008) sur le changement climatique et l'eau aborde sommairement le cas des eaux souterraines. Il constate ainsi que le niveau de nombreux aquifères dans le monde tend à diminuer ces dernières années mais que cela est souvent lié à leur surexploitation ainsi qu'aux prélèvements dans les cours d'eau qui leur sont associés.

Le rapport du GIEC mentionne également que, du fait du manque de données et de la forte inertie des aquifères, aucune modification sensible de la recharge des nappes liée au climat n'a encore été observée. Cependant, le GIEC insiste sur le fait que très peu de recherches ont été menées sur l'incidence du changement climatique sur les eaux souterraines.

Le modèle hydrologique mondial « WGHM - WaterGAP Global Hydrology Model » a été calé sur 4 scénarios de changements climatiques eux-mêmes basés sur les scénarios A2 et B2 du SRES. Il apparaît que l'alimentation des nappes souterraines dans les années 2050 diminuerait essentiellement au nord-est du Brésil, au sud-ouest de l'Afrique et au sud du bassin méditerranéen.

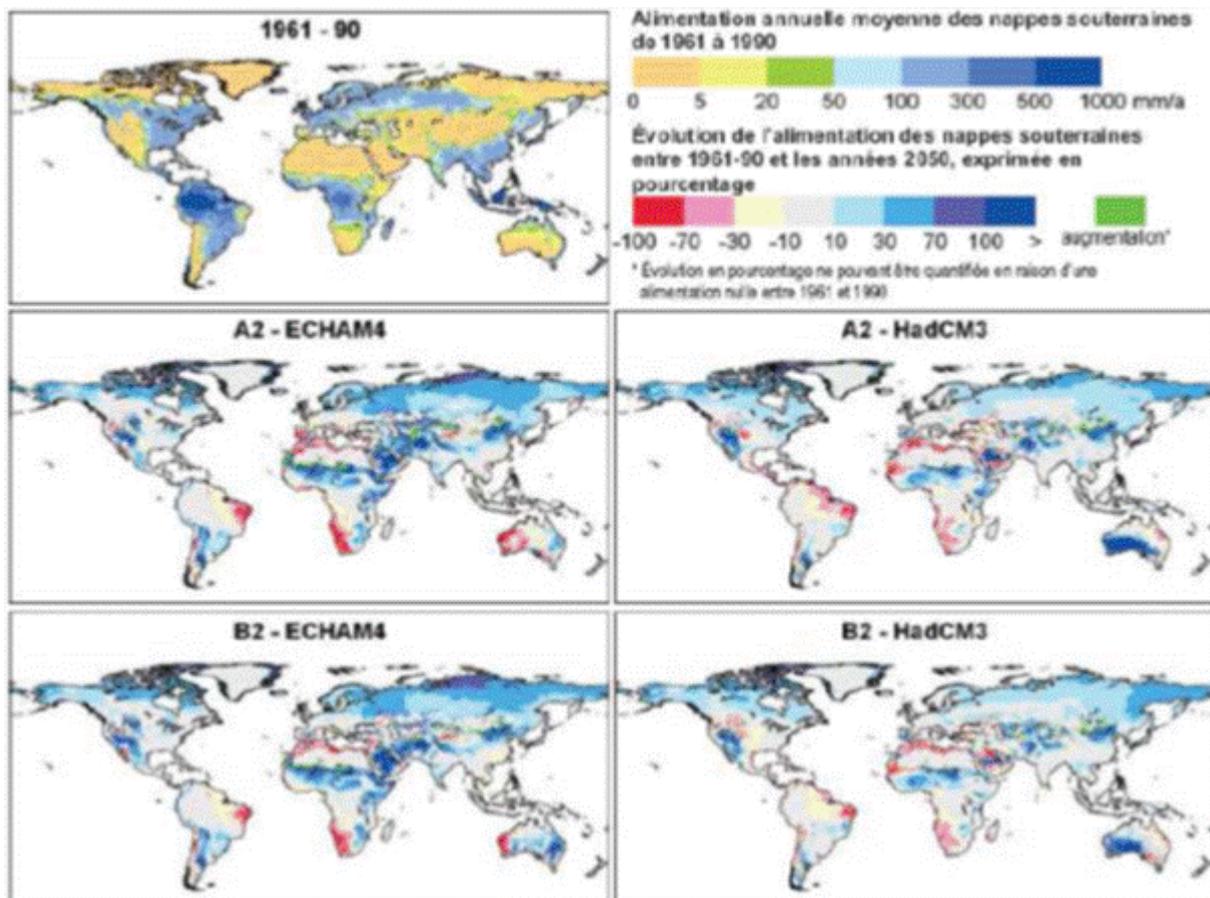


Figure 70. Incidence simulée du changement climatique sur l'alimentation des nappes souterraines à long terme : Variations exprimées en pourcentage de l'alimentation moyenne des nappes souterraines sur 30 ans, depuis la période actuelle (1961-1990) jusqu'aux années 2050 (2041-2070), calculées par le modèle hydrologique mondial WGHM à partir de quatre scénarios de changement climatique différents (sur la base des modèles climatiques ECHAM4 et HadCM3, ainsi que des scénarios d'émissions A2 et B2 du SRES). Source : Döll et Flörke, 2005 dans GIEC, 2008.

Dans de nombreux aquifères, il est prévu que la période d'alimentation printanière soit décalée vers l'hiver et qu'il n'y ait (presque) plus d'alimentation en été.

L'Europe ne semble pas touchée par cette baisse et conserverait ainsi des valeurs d'alimentation des nappes identiques voire légèrement supérieures mais la résolution du modèle n'est pas assez fine à cette échelle. A l'échelle du continent, le changement climatique devrait amplifier le ruissellement en Europe occidentale (atlantique) et septentrionale alors que l'alimentation des nappes souterraines pourrait diminuer en Europe centrale et orientale (Eitzinger et al., 2003 en GIEC, 2008).

Selon Good et al. (2006), la durée de la période de sécheresse estivale pourrait augmenter de 50% dans le centre de l'Europe, tandis qu'en hiver, le risque de crue liée à des précipitations très excédentaires augmenterait également.

L'étude de Ducharne et al. (2009) indique une baisse de la recharge des nappes, qui représente environ 30% de la recharge actuelle en fin de siècle, et 25% en milieu de siècle, sur les bassins de la Seine et de la Somme.

Cependant, les rares études menées en Europe sur l'incidence du changement climatique sur les nappes montrent des résultats spécifiques suivant les régions et les modèles pris en compte. Ainsi, l'étude d'un aquifère crayeux en Belgique par Brouyere et al. (2004) en utilisant un modèle hydrogéologique intégré (MOHISE), indique une diminution progressive du niveau de la nappe du bassin de Geer du fait de l'impact pluriannuel du changement climatique sur les eaux souterraines plutôt que d'un impact saisonnier pour la majorité de scénarios utilisés. Selon cette étude, les scénarios climatiques ECHAM4 et HADCM2 prévoient une diminution claire du niveau de la nappe tandis que le scénario CGCM1 prévoit une stabilisation voire une légère augmentation du niveau de la nappe.

Au final, le rapport du GIEC (2008) conclut que les eaux souterraines, comparées aux eaux de surface, ne sont pas vues accorder suffisamment d'importance jusqu'à présent.

En ce qui concerne la Belgique, l'augmentation des précipitations pourrait sembler bénéfique a priori pour la recharge des nappes. Des périodes de suralimentation ont déjà été observées pour des nappes en adéquation avec des précipitations exceptionnelles mais il n'est pas simple d'affirmer que le phénomène se généralisera avec l'augmentation des précipitations et des extrêmes en hiver. Toutefois Greenpeace, Marbaix et Van Ypersele (2004) avancent ce phénomène comme très probable. Si la recharge des nappes continue (comme c'est le cas ces dernières années) à dépendre de l'intensité des précipitations, la régularité de la recharge des nappes pourrait être altérée. En analysant les conclusions sur l'évolution des précipitations en été, on pourrait s'attendre à une baisse générale des volumes des aquifères de 8 à 15 % (IRGT, 2004).

ALTÉRATION DANS LES USAGES DE L'EAU

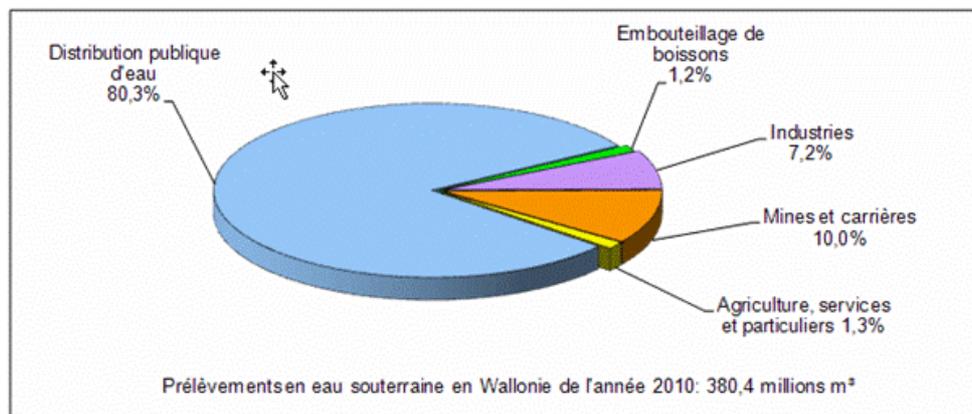


Figure 71. Prélèvements en eau souterraine en 2010. Source : SPW-DGO3 (2013).

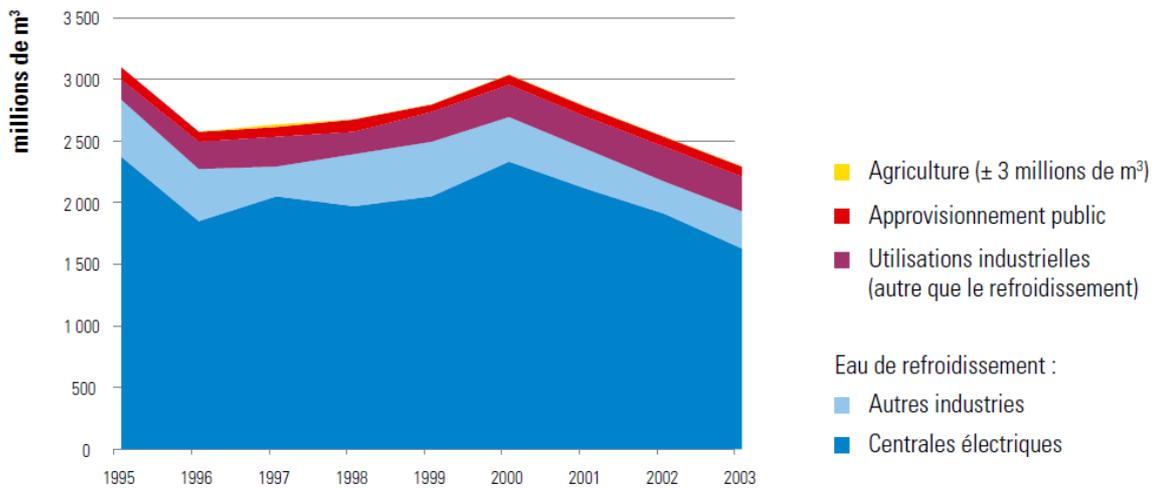


Figure 72. Prélèvements en eau de surface en Région wallonne. Source : MRW-DGRNE-DE

La consommation d'eau domestique en Wallonie est parmi les plus faibles que l'on puisse observer au sein des pays dits développés. Cette consommation d'eau domestique est stable, voire en légère diminution ces dernières années. Cependant, la fréquence et/ou l'intensité des canicules seront probablement augmentées. Aussi, la consommation d'eau en été risque d'être plus importante lors de ces événements extrêmes. Sachant cela, on peut estimer que la variabilité moyenne des consommations entre les saisons risque d'augmenter.

Pour l'eau industrielle plusieurs types d'impacts semblent être envisageables : l'augmentation de la demande énergétique en été du fait de la hausse des températures (refroidissement), associée à de plus faibles débits, la baisse des débits et la hausse de la température de l'eau en été pourraient poser problème pour le refroidissement et la baisse de la demande énergétique en hiver (moins de chauffage) (cfr. chapitre énergie).

L'eau agricole est aussi sensible aux évolutions climatiques. La hausse des températures et la baisse des précipitations pourraient induire une hausse de la demande en eau d'irrigation. De par l'évapotranspiration des plantes cultivées, c'est aussi l'usage qui consomme le plus d'eau, c'est-à-dire dont les retours au milieu sont les plus faibles par rapport aux prélèvements (Amigues et al., 2006).

Sous le climat actuel, les cultures d'hiver restituent plus d'eau au milieu que les cultures de printemps. En effet les cultures d'hiver ne sollicitent pas les réserves en eau du sol en été et permettent ainsi une reprise du drainage plus précoce par les pluies d'automne (Amigues et al., 2006). Cet « avantage » des cultures d'hiver sur les cultures d'été risque de disparaître dans des conditions de changement climatique, les cycles des cultures d'été se raccourcissant et la demande des cultures d'hiver augmentant face à des sols plus secs au printemps (Itier, 2010).

Il faut également prendre en compte l'impact des changements de température sur la durée des cycles de croissance des cultures, ce qui influe sur leurs besoins en eau (Amigues et al., 2006 ; Levraut, 2010). Ainsi certaines cultures dont le cycle serait raccourci pourraient devenir moins consommatrices d'eau, par exemple. Toutefois l'utilisation de cultivars à cycle plus long serait certainement nécessaire pour éviter des baisses de rendement, annulant alors l'effet de réduction de la demande en eau.

L'impact sur les rendements des cultures pluviales doit également être mentionné car s'il est trop fort de nouvelles demandes pourraient apparaître pour l'irrigation. Par exemple, une forte baisse du confort hydrique est prévue pour la vigne dans les zones de culture les plus au nord, et pour le tournesol au sud (Itier, 2010 ; Brisson et Levraut, 2010).

DIMINUTION DE LA QUALITÉ DE L'EAU

Si les effets du changement climatique sur la quantité des eaux commencent à être relativement bien étudiés, les effets sur la qualité de l'eau sont nettement moins connus (Delpla et al., 2009).

Des températures de l'eau plus élevées, une intensité accrue des précipitations et des périodes plus longues du débit d'étiage devraient aggraver de nombreuses formes de pollution de l'eau, y compris les sédiments, les nutriments, le carbone organique dissous, les agents pathogènes, les pesticides et la pollution thermique.

Les inondations et les étiages vont modifier la qualité de l'eau directement par dilution ou concentration des substances dissoutes.

La température de l'air doit également être considérée, elle influence la quasi-totalité des équilibres physico-chimiques et des réactions biologiques (Delpla et al., 2009).

Mais la qualité des eaux est également affectée par des facteurs non climatiques (Kundzewicz et al., 2009).

Cependant, les impacts du changement climatique sur la qualité de l'eau ne semblent pas avoir fait l'objet de beaucoup de modélisations à ce jour. De ce fait les impacts développés ci-dessous relèvent des rares modélisations existantes ainsi que d'hypothèses basées sur l'expertise des auteurs cités.

L'utilisation de modèles de qualité requiert de connaître les paramètres morphologiques, hydrauliques et écologiques de la rivière, les sources de polluants (fixes ou diffuses) et les polluants. Ils permettent de simuler la qualité de l'eau sur base des quantités d'eau à l'aval d'un point donné. Différents modèles existent, de simulation ou d'optimisation ; les premiers prédisent les changements de qualité de l'eau suite à une source de pollution, alors que les seconds simulent une allocation optimale des ressources (Sharma et al., 2012).

Ducharne (2007) a étudié l'influence du changement climatique sur l'hydrologie et la qualité de l'eau dans le bassin de la Seine (pollution azotée diffuse d'origine agricole, rejets ponctuels). L'étude a aussi évalué l'incertitude inhérente à l'ensemble de ces changements. La méthodologie utilisée repose sur le couplage de modèles numériques du milieu et de scénarios prospectifs des principaux facteurs de changement de l'hydrosystème à l'horizon 2100. Les principaux résultats concernent les impacts relatifs de ces facteurs sur l'hydrologie du bassin, sa contamination azotée, et la qualité biogéochimique de l'eau (nutriments, biomasse planctonique, oxygène). L'impact du changement climatique sur le bassin de la Seine dessiné par l'ensemble de ces résultats n'est pas catastrophique.

van Vliet et al. (2008) ont évalué l'impact des sécheresses sur la qualité des eaux de la Meuse. Dans cette optique, ils se sont basés sur les données provenant de deux sécheresses sévères : 1976 et 2003. La qualité des eaux durant ces événements a été comparée à la qualité des eaux sous un régime hydrologique commun et des relations empiriques ont été établies afin d'estimer les effets du changement climatique sur la qualité des eaux en fonction des débits et de la température de l'eau. Une dégradation générale de la qualité des eaux de la Meuse est observée durant les sécheresses où respectivement la température de l'eau, l'eutrophisation, les éléments majeurs et certains métaux lourds interviennent dans ce phénomène. Cette diminution de la qualité des eaux est principalement due aux conditions favorables ainsi obtenues pour le développement d'algues et à une diminution de la capacité de dilution dans les zones de relâchage d'effluents suite à la diminution des débits estivaux (van Vliet et al., 2008 ; Kundzewicz et al., 2009).

Whitehead et al. (2009) ont établi une synthèse des impacts potentiels du changement climatique sur la qualité des eaux de surface en Grande Bretagne, où les projections climatiques suggèrent également une hausse des précipitations hivernales associée à une occurrence accrue d'événements extrêmes, et une baisse des précipitations estivales. On s'attend également à une hausse des températures de l'eau.

Les forts débits occasionnés par les pluies intenses en hiver peuvent mener à une augmentation de la charge sédimentaire, altérant la morphologie des rivières et impactant les habitats hydrobiologiques. Les événements pluviaux brutaux accentuent aussi le problème de gestion des eaux pluviales dans les zones imperméabilisées. Ainsi en milieu urbain les problèmes de qualité de l'eau liés au changement climatique seraient largement dus aux événements de précipitations intenses et à la gestion des eaux pluviales.

Les débits réduits auraient pour conséquence le rallongement des temps de résidence, une moindre dilution et un accroissement de la demande biologique en oxygène avec la possibilité de blooms algaux.

En ce qui concerne les concentrations en nutriments, le cas des nitrates est cité : une hausse de la température pourrait encourager la minéralisation et ceci, associé à une occurrence plus fréquente d'événements de lessivage, pourrait causer une hausse des concentrations en nitrates dans les cours d'eau.

L'augmentation des températures de l'eau affecte la cinétique des réactions chimiques et l'état écologique des hydrosystèmes. Les réactions biochimiques pourraient être accélérées, et les taux de croissance du phytoplancton et des macrophytes affectés. Les plans d'eau peu profonds seront particulièrement sensibles à la hausse de températures. Si les températures augmentent à un rythme rapide, les impacts pourraient être d'autant plus importants.

Enfin pour les substances toxiques, la question majeure posée par le changement climatique serait la mobilisation éventuellement accrue de ces substances par l'érosion.

Des pluies plus intenses conduiront à une augmentation des matières solides en suspension (turbidité) et à une introduction de polluants (Mimikou et al., 2000; Neff et al., 2000; Bouraoui et al., 2004).

Héduit et al. (2007) ont examiné les conséquences possibles du changement climatique (plus de sécheresses, d'inondations, moins de précipitations en été, et une hausse des températures) sur la conception, le dimensionnement et l'exploitation des systèmes d'assainissement. Trois scénarios ont été envisagés : une vague de forte chaleur associée à l'absence de précipitations, des précipitations de forte intensité et de courte durée, et une vague de froid intense.

Dans le cas d'une vague de chaleur associée à une sécheresse, la baisse des volumes d'eau transités favorise la formation de dépôts. Les concentrations se trouvent accrues, ainsi que le temps de séjour.

Avec la hausse des températures des eaux usées, des réactions de sulfato-réduction peuvent se produire, menant à la production d'hydrogène sulfuré (H₂S) et de S₂. Les conditions d'anaérobiose favorables à la production de méthane (CH₄) et de CO₂ sont également plus susceptibles d'apparaître.

Les principales conséquences de ces phénomènes seraient les odeurs et la corrosion des réseaux d'assainissement.

Les vagues de chaleur mènent aussi à des problèmes d'odeurs au niveau des prétraitements, et à une perte d'efficacité des dégraisseurs. Au niveau de l'épuration, la hausse de la vitesse de dégradation peut mener à optimiser l'apport d'oxygène pour un meilleur fonctionnement. Enfin les compresseurs peuvent se trouver en situation de surchauffe, menant à leur renouvellement prématuré.

Les impacts des événements de précipitation intense concernent principalement les réseaux unitaires, avec des risques de rejets directs et de débordements. Les stations d'épuration pourraient nécessiter un redimensionnement si les fortes précipitations devaient augmenter en fréquence et en intensité.

RISQUE D'INONDATIONS

Du fait de l'augmentation très nette de l'intensité moyenne des précipitations et de la fréquence des pluies importantes, on doit en principe s'attendre à une hausse du risque d'inondations. Cependant, il serait réducteur d'associer si facilement les événements pluvieux extrêmes et les inondations ; celles-ci dépendent également de facteurs humains (urbanisation, aménagement de zones tampons, dimensionnement des réseaux d'évacuation d'eaux pluviales, ...) qui doivent être pris en compte également.

Aussi, afin de prévenir des effets qui pourraient être désastreux, il est essentiel d'adopter une politique d'aménagement du territoire qui tienne compte de ces phénomènes attendus. Certaines mesures sont déjà envisagées dans le cadre du « Plan PLUIES » (Prévention et Lutte contre les Inondations et leurs Effets sur les Sinistrés).

Mais au-delà de celles-ci, l'urbanisation du territoire ne cesse de s'accroître. Cette urbanisation s'accompagne d'une imperméabilisation des sols couplée à une extension des réseaux d'assainissement. Enfin, le dimensionnement des infrastructures doit, dès aujourd'hui, être adapté en fonction de la variabilité attendue du climat et des usages potentiels de l'eau.

En effet, les infrastructures, et principalement les canalisations d'eau et d'assainissement (adductions, égouts, collecteurs), ont une durée de vie très longue. Aussi, les canalisations qui sont posées aujourd'hui seront toujours en service au moment où les effets du changement climatique seront les plus aigus (après 2050).

La première conséquence des inondations serait donc une augmentation du risque pour les populations résidant le long des cours d'eau principaux. Cet enjeu de sécurité serait doublé d'une probable augmentation des coûts annuels liés aux inondations (quel que soit le secteur concerné).

ALTÉRATION D'AUTRES ALÉAS NATURELS

La thématique « risques naturels et changement climatique » se trouve au cœur des préoccupations internationales actuelles à la fois comme récepteur des impacts du changement climatique et comme source d'impacts. En effet, les aléas naturels sont régis par l'interaction de nombreux facteurs, dont les paramètres météorologiques et climatiques, qui peuvent être à l'origine du déclenchement de nombreux phénomènes naturels. Ainsi, toute modification climatique est a priori susceptible d'avoir des conséquences sur les aléas naturels, en modifiant leur intensité, leur fréquence, ou encore leur occurrence spatiale et temporelle. Et les phénomènes ou aléas naturels ont des impacts sur la population, les habitations, les infrastructures...

Un risque naturel découle de la conjonction d'un phénomène ou aléas naturel (aléatoire) et de la présence de biens ou d'activités vulnérables. Ainsi, un orage de très forte intensité entraîne un risque faible dans une zone déserte ou peu habitée, tandis que des pluies d'intensité moyenne peuvent provoquer des dommages considérables si elles surviennent dans des villes.

La Wallonie est vulnérable aux risques naturels suivants qui ont été identifiés dans la présente étude :

- les inondations dues à la crue d'un fleuve ou à la saturation des nappes phréatiques ;
- les ruissellements de boue, notamment sur des pentes fragilisées par la déforestation, les glissements ou effondrements de terrain ;
- les feux de forêt.

Pour certains aléas naturels, comme les crues, des lois mathématiques liant une de leurs caractéristiques (par exemple le débit d'un cours d'eau ou la hauteur du plan d'eau) à la probabilité de dépassement d'une intensité ont pu être établies ; ainsi, l'impact du risque d'inondation a pu être quantifié dans la présente analyse. Toutefois, de telles lois ne peuvent être déduites que d'observations, donc de mesures qui doivent être nombreuses et précises pour les rendre fiables, surtout pour les phénomènes rares. Des modèles physiques réduits de la réalité permettant d'imiter certains phénomènes naturels peuvent également être réalisés pour la conception d'ouvrages ou de travaux. Les différentes études des scientifiques peuvent aider à la compréhension, à la prévision et à la prévention des catastrophes naturelles. La prévision s'appuie en premier lieu sur l'historique des phénomènes naturels (causes, fréquence, déroulement, intensité, conséquences) et sur les études géologiques : des modèles sont élaborés, qui précisent par exemple des trajectoires ou des élévations de niveau.

A titre illustratif, le phénomène de retrait-gonflement des argiles est présenté ci-après.

Le phénomène de retrait-gonflement des argiles est un mouvement de terrain lent et continu dû à des variations de la quantité d'eau dans certains terrains argileux. Dans les sols, le volume des matériaux argileux tend à augmenter avec leur teneur en eau (gonflement) et, inversement, à diminuer en période de déficit pluviométrique (retrait). Ces phénomènes peuvent provoquer des dégâts au niveau des constructions localisées dans des zones où les sols contiennent des argiles. Ils peuvent provoquer des dégâts au niveau des habitations et des routes tels que la fissuration, la déformation et le tassement. En Wallonie, cet impact n'est pas très important. Cependant, une partie du territoire wallon est affectée par des glissements de terrain : la région des Collines dans le nord-ouest et le Pays de Herve dans le nord-est.

La Région des Collines est affectée par de très nombreuses traces de glissements dont la genèse est liée à la présence d'un niveau imperméable d'argiles d'une dizaine de mètres d'épaisseur (Formation d'Aalbeke), surmonté de dépôts sableux (Formation de Tielt). Lors de fortes pluies, les sables se chargent en eau, des sources apparaissent au contact avec les argiles et des masses sableuses sommitales glissent générant ainsi un abrupt de décrochement au sommet et un bourrelet d'accumulation au pied du versant. Si ces glissements de terrain sont particulièrement présents en région flamande, ils le sont également en région wallonne au niveau des communes du Mont-de-l'Enclus et de Frasne-les-Anvaing. Pour ce qui est du Mont-de-l'Enclus, en avril 1994, suite à des pluies présentant une période de retour légèrement inférieure à 50 ans, un glissement de terrain a endommagé plusieurs habitations de la rue du Renard et de la rue du Caumont et a nécessité l'intervention du Fonds des Calamités pour plus de 1,25 millions d'euros.

Le Pays de Herve présente, sur les flancs de la crête de Battice à Henri-Chapelle, 18 glissements de terrain reconnus datant d'il y a environ 2000 ans. Les smectites de Herve contribuent à l'apparition de tassements et de gonflements d'ampleur d'ordre centimétrique. La smectite est une argile gonflante constituée principalement de montmorillonite ayant la propriété d'accumuler de grande quantité d'eau (phénomène de gonflement) et, inversement, de se dessécher fortement en période de sécheresse (phénomène de retrait). Les argiles sableuses de Vaals, entre Thimister-Clermont et l'ouest de Herve, et les sables d'Aachen sont propices à la présence de nappes d'eau piégées dans les lentilles sableuses et sont soumis à des phénomènes de bouance (soulèvement brutal du sol par la pression de l'eau piégée). On y observe les plus importants glissements de terrains, caractérisés par des déplacements décimétriques à métriques, plus ou moins rapides, de volumes importants de terrains meubles. Par ailleurs, les glissements peuvent être soumis à des réactivations comme ce fut le cas, à Manaihan (Herve), le 14 septembre 1998, suite à de fortes pluies (plus de 100 mm de précipitation en moins de 24 h). Ceci a provoqué la destruction d'une maison, d'importants dégâts à une station de distribution de gaz, la rupture d'une canalisation d'eaux usées industrielles et le basculement d'une annexe d'une menuiserie.

IMPACT SUR LES INFRASTRUCTURES

Ces secteurs utilisent du capital dont la durée de vie est très longue et subiront le changement climatique. Par conséquent, ce capital va devoir rester productif dans un climat changeant. Ces secteurs incluent les infrastructures urbaines et le secteur des transports.

Les infrastructures urbaines

Les bâtiments, dont une des fonctions principales est la protection des personnes et des biens contre les conséquences directes et indirectes des aléas climatiques, sont concernés à divers titres par la perspective d'une nouvelle donne climatique.

Les zones densément urbanisées sont soumises à des microclimats spécifiques. La géométrie des villes et l'imperméabilisation des surfaces, conjuguée avec la réduction de la trame verte, entraînent notamment la formation d'un "îlot de chaleur" urbain. Cet écart de température entre la ville et les banlieues ou campagnes environnantes peut atteindre plusieurs degrés. Il est plus marqué la nuit que le jour. En journée, alors qu'à la campagne l'énergie solaire est utilisée pour l'évapotranspiration des plantes, elle est stockée par les surfaces urbaines. Ces dernières commencent à la restituer en fin de journée, ce qui limite le rafraîchissement nocturne de l'air en ville. L'écart se creuse encore lors des pics de chaleur et des canicules. La végétation en milieu urbain peut jouer un rôle positif en lien avec ses impacts sur des « micro-climats », mais aussi de façon plus générale pour son rôle sur les crues ou sur la tenue des sols.

Des sécheresses plus fréquentes devraient par ailleurs augmenter les risques d'incendies dans certaines zones, avec des impacts sur les infrastructures.

Les citoyens et les entreprises implantées en ville ne pourraient pas survivre sans un approvisionnement fiable en eau potable. Les effets de sécheresse due au changement climatique, couplés avec l'accroissement de la demande en eau de la part de la population urbaine en été, vont soumettre les services assurant la fourniture de l'eau à des pressions considérables. Il est certain que les conditions d'exploitation des infrastructures vont être impactées à la fois par la gestion de nouvelles crises (ou à des fréquences différentes) mais aussi de façon quotidienne parce que l'environnement des infrastructures ou son utilisation pourraient s'en trouver significativement modifiés.

Les systèmes d'évacuation des eaux urbaines doivent consommer énormément d'eau pour chasser les déchets solides et les transporter vers les stations d'épuration. Sous l'effet de la sécheresse, les égouts peuvent recevoir moins d'eaux usées, ce qui signifie qu'il n'y aura peut-être pas assez d'eau pour permettre aux systèmes d'évacuation classiques de fonctionner correctement dans des conditions climatiques en évolution.

Les communes wallonnes reposent dans leur majorité sur des infrastructures de distribution d'eau et d'évacuation des eaux usées qui sont vieillissantes et rigides. Leur remplacement est difficile et coûteux et poserait des problèmes aux communes même sans la perspective du changement climatique.

S'agissant du risque d'inondation, certaines infrastructures pourraient y être soumises alors qu'elles ne l'étaient pas auparavant, en particulier dans le cas d'inondations liées au ruissellement en milieu urbain ou périurbain, ou l'être de façon plus intense.

L'accroissement de la fréquence des inondations pourrait porter atteinte à l'intégrité des zones urbaines. Les villes wallonnes implantées en bordure des grands fleuves présentent des risques en lien avec les conséquences économiques et sociales des inondations. Les grandes crues ne causent pas seulement des dommages physiques aux infrastructures, aux immeubles et aux biens, mais bouleversent aussi parfois de manière profonde et durable les structures économiques, sanitaires et sociales (COR, 2011).

La plupart des infrastructures urbaines ont été conçues pour durer plusieurs décennies, appliquant des normes qui présupposaient que le climat serait constant. C'est le cas des systèmes de transport (vitaux pour les déplacements quotidiens, la circulation des marchandises, le tourisme) comme des infrastructures d'eau et d'assainissement et des réseaux de distribution d'électricité, dont dépendent tous les services, publics ou privés, marchands ou non marchands. Ces infrastructures risquent de s'avérer incapables d'affronter de nouvelles conditions telles que l'accroissement de la fréquence et de l'intensité des inondations, ou l'élévation des températures moyennes.

Compte tenu des menaces physiques qui pèsent sur les villes, toutes les estimations prévoient l'augmentation des pertes liées aux aléas météorologiques au cours des prochaines années ou des prochaines décennies. Là où le développement et la croissance économique vont se poursuivre, la valeur des biens exposés au risque continuera aussi de monter, ce qui signifie que l'ampleur des pertes s'accroîtra dans des proportions correspondantes au fil du temps. Comme la croissance économique, en valeur, tend à se concentrer dans les villes, les risques liés au changement climatique augmenteront plus fortement en milieu urbain que dans les zones périurbaines et rurales.

Les zones bleues (cours d'eau, lacs, étangs, estuaires, etc.) et vertes (jardins, parcs, bois, forêts, champs, friches, etc.) contribuent à la régulation des eaux de crue, à la réduction de l'îlot de chaleur urbaine, à l'amélioration de la qualité de l'air et au développement d'activités sociales durables. Elles sont menacées par des phénomènes comme le stress thermique et les inondations (éventuellement aggravés par le changement climatique), mais aussi par l'étalement et le développement urbains; elles deviennent en même temps toujours plus précieuses et toujours plus menacées.

Les infrastructures de transport

Les risques de dommages et de perturbations sur les réseaux de transports pourraient être modifiés du fait de la perturbation du cycle de l'eau et des conditions de température ou de vent sous changement climatique. L'évolution attendue des températures et des précipitations représentent ainsi des risques physiques et des impacts opérationnels sur les différents types de transport.

Les modifications des moyennes de températures et de précipitations de même que de la fréquence et de la sévérité des événements climatiques extrêmes affecteront à la fois l'usage des moyens de transport et les infrastructures nécessaires à leur fonctionnement: dégâts causés directement par les inondations ou les tempêtes, déformation ou flambage des rails de chemin de fer et gondolement des routes sous contraintes thermiques, fonte du revêtement routier, affaissement des rails et des routes en raison de la sécheresse, etc.

Les voies navigables jouent un rôle important avec leurs réseaux de canaux et de rivières entre les ports d'Anvers et de Rotterdam et l'intérieur des terres. Les changements affectant la distribution des températures et des précipitations ont des conséquences sur le niveau des eaux et, par conséquent, sur le secteur de la navigation intérieure. En particulier, les faibles niveaux d'eau peuvent conduire à une interruption du transport fluvial. Ils forcent également les navires et péniches à travailler à une capacité inférieure à leur capacité maximale afin de diminuer le tirant d'eau de ceux-ci (Koetse et al., 2009). Lors de hautes eaux, le transport fluvial peut aussi être impacté. La navigation peut même être interdite lorsque le niveau des eaux devient critique. Différentes raisons peuvent en être la cause (PIANC, 2009). Dans le cas où le secteur de la navigation intérieure ne serait pas capable de s'adapter, la fiabilité du transport fluvial et les coûts de transports risquent d'augmenter fortement (Middelkoop et al., 2001).

Les fortes précipitations sont aussi une menace pour la stabilité des sillons ferroviaires, les tempêtes et périodes de chaleur peuvent endommager les lignes de contact et les voies. Outre le coût de la réparation de ces dommages physiques, une telle situation peut entraîner un certain nombre d'impacts d'ordre opérationnel, notamment une baisse des vitesses d'exploitation, une réduction de la charge payante et une éventuelle interruption totale du service.

On peut s'attendre en principe à des conséquences de moindre ampleur pour les routes, car de par sa construction, le réseau routier est généralement moins sensible. D'autres facteurs, par exemple une nouvelle élévation de la limite de poids des camions ou un nombre nettement plus élevé de véhicules lourds, auraient très probablement des conséquences plus marquées que le changement climatique attendu. Vu sa très forte densité, le réseau routier a en outre un avantage de flexibilité sur le réseau ferré : si un tronçon de route est menacé ou impraticable, il existe souvent des itinéraires de substitution.

La modification de la teneur en eau ou de la température des sols peut être à l'origine d'une recrudescence des aléas gravitaires - glissement de terrain, chute de blocs, accroissant le risque d'endommagement des voies de transport : hausse de fréquence des dommages, et apparition de dommages dans des zones jusqu'ici épargnées. En plus, les systèmes de transport sont extrêmement sensibles aux effets d'interruptions liées au climat, dans lesquelles un incident affectant une simple partie du réseau peut provoquer des perturbations étendues et entraîner des coûts indirects importants du fait de retards, de déviations et d'annulations de voyages (Koetse & Rietveld, 2009).

Les aléas naturels qui ont le plus d'influence sur les routes seront à priori les crues. En outre, des avalanches, tempêtes d'hiver et chute de grêle pourront porter atteinte au trafic routier.

La chaleur peut nuire à l'infrastructure des transports, comme les routes, les chemins de fer, les ponts et les pistes des aéroports. Des étés plus chauds et des vagues de chaleur peuvent également faire en sorte que les transports en commun soient plus inconfortables.

La littérature montre que l'évolution des moyennes et des extrêmes de température conduirait principalement à l'augmentation de l'usure des infrastructures liée à la température. De la même façon, l'augmentation de la température est susceptible d'avoir des incidences d'ordre opérationnel, qu'il s'agisse du bon fonctionnement d'un réseau ferroviaire du fait de la dilatation thermique des rails ou encore de la capacité des réacteurs d'avions à fonctionner normalement à des températures élevées.

Plusieurs impacts indirects sont également envisageables, tels que le changement de comportement des conducteurs au volant provoqué par les températures élevées (stress lié à la chaleur) ou la baisse de visibilité – quel que soit le mode de transport – du fait de l'augmentation de l'activité des feux de forêt. En effet, les recherches concernant l'impact de la température sur le comportement des conducteurs au volant indiquent quant à elles une augmentation du risque d'accidents du fait de conditions de stress lié à la chaleur (Koetse & Rietveld, 2009).

L'augmentation de la température et plus particulièrement les vagues de chaleur peuvent générer un phénomène de dessiccation des sols occasionnant des problèmes de portance des chaussées, un phénomène de ressuage des enduits et une multiplication des fissures pour les chaussées à base de liants hydrauliques.

Une augmentation de la durée d'insolation pourrait par ailleurs produire des désordres sur les enrobés et les enduits au niveau routier, une baisse de la durabilité de certains produits ou ouvrages de constructions et des dommages sur les infrastructures ferroviaires.

Cependant, le changement climatique peut avoir aussi un effet bénéfique. En effet, il y aura un effet positif probable sur l'indice de gel lequel constitue une source fondamentale de données utilisée pour concevoir les chaussées. La Wallonie peut s'attendre à une période hivernale généralement plus courte et à des épisodes neigeux ou de gel moins nombreux, pouvant conduire à réduire les dégâts dus au cycle gel/dégel ainsi que le nombre d'accidents provoqués par le verglas ou la neige.

Actuellement en Wallonie, les températures froides hivernales constituent un problème beaucoup plus important que la chaleur estivale dans le secteur des infrastructures de transport. La fissuration de la chaussée sous l'effet des gels et dégelés successifs est un problème bien connu. La détérioration prématurée de la chaussée des routes et des pistes d'atterrissage est associée à une fréquence élevée des cycles de gel/dégel. Ainsi le changement climatique pourrait réduire la fréquence des cycles de gel/dégel de sorte que les chaussées seraient moins endommagées et que les coûts d'entretien en seraient diminués.

2.6.2 ANALYSE DES COÛTS

Impacts quantifiés	En termes physiques		En termes monétaires
	Situation actuelle	En 2050	
Risques d'inondation	X	X	X
Diminution de la production d'eau potable	X	X (état de l'art)	Estimation partielle (eaux douces) et indirecte (services écosystémiques)
Recharge des nappes	Lacune de connaissances		
Altération de la qualité des eaux	Manque de modélisations		
Altération d'autres aléas naturels	Difficilement chiffrable : occurrence et magnitudes incertaines		
Impact sur les infrastructures de transport	X	X (état de l'art)	Estimation partielle (inondations) et autres données manquantes

Tableau 56. Synthèse des impacts quantifiés sur la ressource en eau, les infrastructures et l'aménagement du territoire. Source : ICEDD, 2014.

Les paragraphes qui suivent présentent la quantification de l'impact des inondations en Wallonie en 2050.

Le lien complexe entre conditions climatiques et aléas naturels est difficile à préciser, notamment parce que l'étude du climat porte préférentiellement sur des valeurs moyennes alors que les aléas naturels sont plutôt contrôlés par les valeurs extrêmes (de précipitation par exemple). De plus, étant donné la dimension très locale et la très grande rapidité des phénomènes, de nombreuses difficultés se posent aux modélisateurs rendant l'impact très difficilement chiffrable.

L'impact sur la production d'eau potable à partir des eaux douces est estimé dans les services écosystémiques. Cependant, la situation actuelle en Wallonie et l'état de l'art sont présentés.

A l'instar de tous les autres compartiments du cycle de l'eau, les aquifères seront en effet également touchés par le changement climatique attendu mais la bibliographie consultée dans le cadre de cette étude met en évidence un manque de connaissances dans ce domaine. En outre, les impacts du changement climatique sur la qualité de l'eau ne semblent pas avoir fait l'objet de beaucoup de modélisations à ce jour. De ce fait les impacts ont été identifiés et décrits dans la section précédente sur base d'hypothèses de la littérature mais ne pourront pas être quantifiés ni en termes physiques ni monétaires.

L'examen de la littérature des impacts du changement climatique sur les infrastructures de transport met en évidence une grande majorité de publications consacrées aux effets des événements extrêmes (impact des tempêtes et inondations). C'est encore plus vrai lorsqu'on s'intéresse aux analyses quantitatives, souvent issues de chiffrage de la reconstruction post catastrophes. En dehors de ces événements extrêmes, le lien entre changement climatique et infrastructures de transport est assez peu documenté et souvent à travers des approches empiriques ou des retours d'expérience. Certains auteurs jugent d'ailleurs qu'un rapport de référence comme celui de Stern est très peu approfondi sur ce thème des transports, en relation avec une documentation encore très éparse (Koetse et Rietveld, 2009).

En plus, la bibliographie laisse à penser que les coûts d'entretien des infrastructures de transport ne devraient normalement pas augmenter en Wallonie du fait de l'évolution des variables températures et climat. Certains modèles anticipent même une baisse des coûts car les coûts d'entretien hivernaux devraient diminuer. Cependant, la situation actuelle en Wallonie et l'état de l'art sont présentés dans les paragraphes qui suivent et une revue de la littérature est résumée en annexe.

QUANTIFICATION GLOBALE DU RISQUE D'INONDATIONS EN WALLONIE

La situation actuelle en Wallonie

Aujourd'hui, de nombreuses communes wallonnes sont régulièrement confrontées aux phénomènes de coulées boueuses et d'inondations. Conjugués à l'érosion hydrique des sols, ces phénomènes entraînent une perte de rendement des terres agricoles, une dégradation des biens publics (voiries, etc.) et des dommages parfois importants aux habitations. Ces phénomènes favorisent la dégradation générale des sols et l'envasement des cours d'eau.

L'imperméabilisation des sols est créée par l'urbanisation. En Région Wallonne, 14% du territoire est urbanisé et 2,6% est imperméabilisé. L'eau ne pouvant s'infiltrer sature les égouts et ruisselle, contribuant par son flux à aggraver les conséquences des inondations.

Les nécessités économiques de l'après-guerre et le désir d'autonomie alimentaire ont transformé le type d'occupation du sol et les pratiques culturales (on est passé d'une agriculture traditionnelle à une agriculture intensive). L'augmentation progressive de la taille des parcelles, la mécanisation de plus en plus poussée, l'utilisation généralisée de pesticides, la suppression des petits éléments naturels freinant le ruissellement, la place faite aux productions industrielles et aux cultures de printemps qui laissent le sol nu en hiver et le découplage agriculture-élevage, sont autant d'éléments qui contribuent à l'érosion, au ruissellement, et aux inondations par ruissellement.

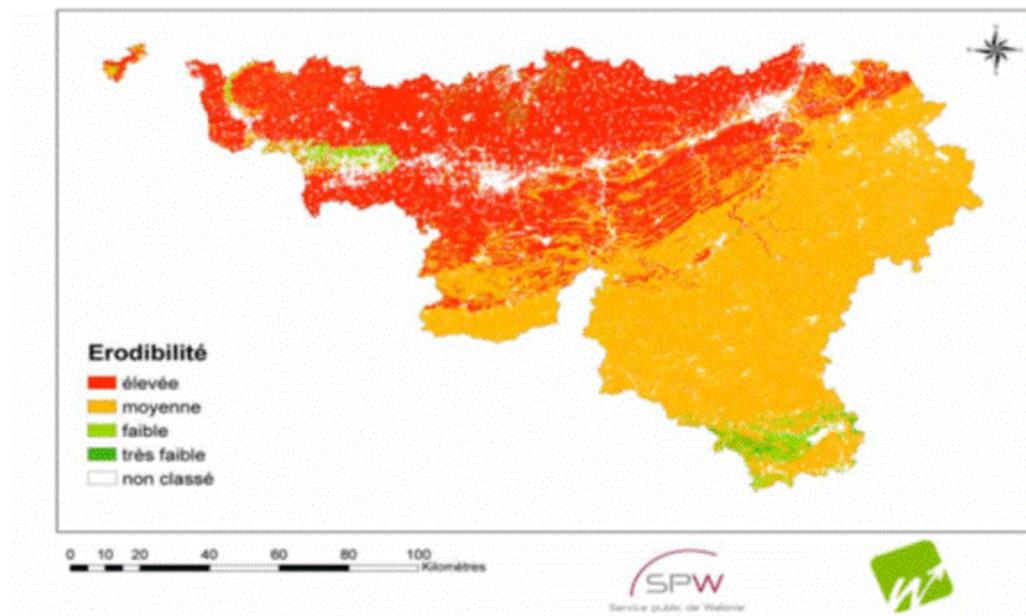


Figure 73. Erodibilité des sols wallons. Source : SPW, 2013.

Parmi les sols wallons, ceux situés au nord du sillon Sambre-et-Meuse et en Condroz sont les plus érodables.

Cette partie du territoire est caractérisée par une topographie relativement modérée où se pratiquent les cultures sarclées. La densité des réseaux de transport et de la population sont en moyenne plus élevées que dans les autres zones de la Région. La conjugaison de tous ces facteurs explique que le risque et l'aléa d'inondation par coulée boueuse soient particulièrement grands au nord du sillon Sambre-et-Meuse et Condroz.

Afin de répondre aux exigences de la Directive européenne cadre sur l'eau, quatre districts hydrographiques internationaux (DHI), constitués de 15 bassins sous-hydrographiques, ont été définis au sein de la Région wallonne: DHI de l'Escaut : Dendre, Dyle - Gette, Escaut - Lys, Haine, Senne ; DHI de la Meuse : Amblève, Lesse, Meuse amont, Meuse aval, Ourthe, Semois – Chiers, Sambre, Vesdre ; DHI de la Seine : Oise et DHI du Rhin : Moselle.

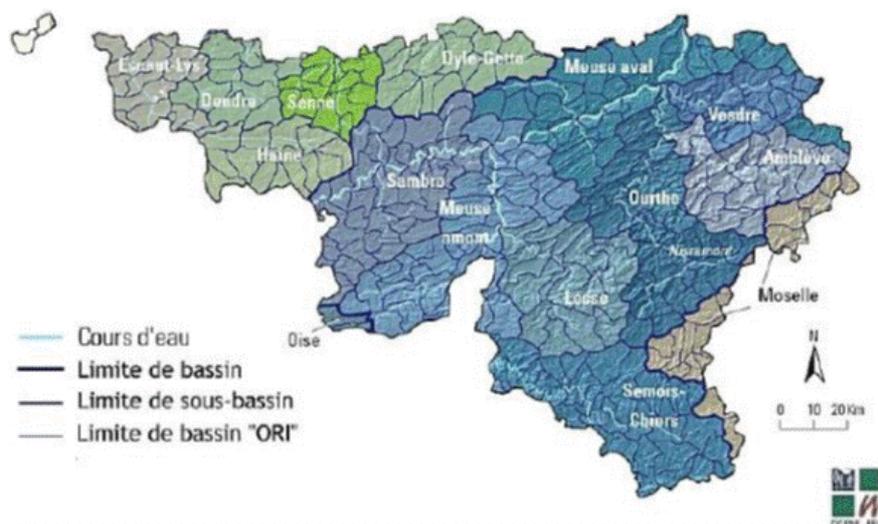


Figure 74. Sous-bassins hydrographiques en Région wallonne. Source : Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon, 2006-2007

Avec 18000 km de linéaire de cours d'eau et un volume de transit annuel (différences moyennées entre les volumes d'eau totaux entrant et sortant du territoire wallon) représentant environ 5000 millions de m³, les eaux de surface représentent une ressource en eau très importante en Région wallonne.

Les inondations par débordement de cours d'eau, relativement fréquentes en Région wallonne, font suite à des crues, lorsque le flux d'eau à évacuer dépasse la capacité d'écoulement du lit mineur. Le cours d'eau déborde alors de son lit et les eaux peuvent venir submerger les terres voisines situées dans son lit majeur. Les crues constituent un phénomène naturel généré par des précipitations (pluie, neige,...) abondantes sur un bassin versant. Ce processus n'entraîne pas nécessairement des inondations ; celles-ci sont fonction de la capacité d'écoulement des rivières. De plus, l'occupation du lit majeur des cours d'eau n'est pas obligatoirement synonyme de catastrophe. Tout dépend de la "vulnérabilité" de la zone inondée, c'est-à-dire de la quantité de biens susceptibles d'y être touchés et des perturbations occasionnées à la vie économique et sociale.

Les inondations sont ainsi des catastrophes naturelles auxquelles la Wallonie n'a pas échappé. Par exemple, des inondations considérables ont eu lieu sur la vallée de la Meuse pendant l'hiver 1925-1926, sans oublier les événements plus récents de janvier et décembre 1993, suivis de près par la crue de janvier 1995.

En Région Wallonne, les dommages causés par les inondations survenues dans le bassin de la Meuse en janvier 1995 ont dépassé les 25 M€ et ce malgré les réflexes positifs acquis par les riverains lors du désastre de 1993. En effet, les coûts directs (dommages matériels, intervention des secours...) ont été estimés à environ 25 millions d'euros et les coûts indirects (pertes d'exploitation, préjudice causé au tourisme...) à 0,15 million d'euros. Plus récemment, à titre d'exemple, l'inondation causée par la Meuse en août 2002 a engendré environ 3,5 millions d'euros de dommages.

Les importantes inondations de décembre 1993 et janvier 1995, la sécheresse d'août 2003 ont rappelé aux citoyens et aux gestionnaires la vulnérabilité du bassin, de ses infrastructures et de sa population, face aux événements extrêmes. Les signes d'une probabilité croissante d'inondations ont été documentés dans de nombreuses zones des bassins du Rhin et de la Meuse. L'augmentation des pics de crue de la Meuse et de ses affluents semble être affectée par la variabilité climatique, et plus particulièrement par l'intensité accrue des précipitations (Fenicia et al., 2009).

Au cours des dernières années, des événements de crue se sont produits régulièrement sur les cours d'eau wallons. Sans tenir compte de leur intensité, ils ont été particulièrement nombreux en août 2002 et janvier 2003, plus spécifiquement sur la Dendre, la Dyle et la Haine.

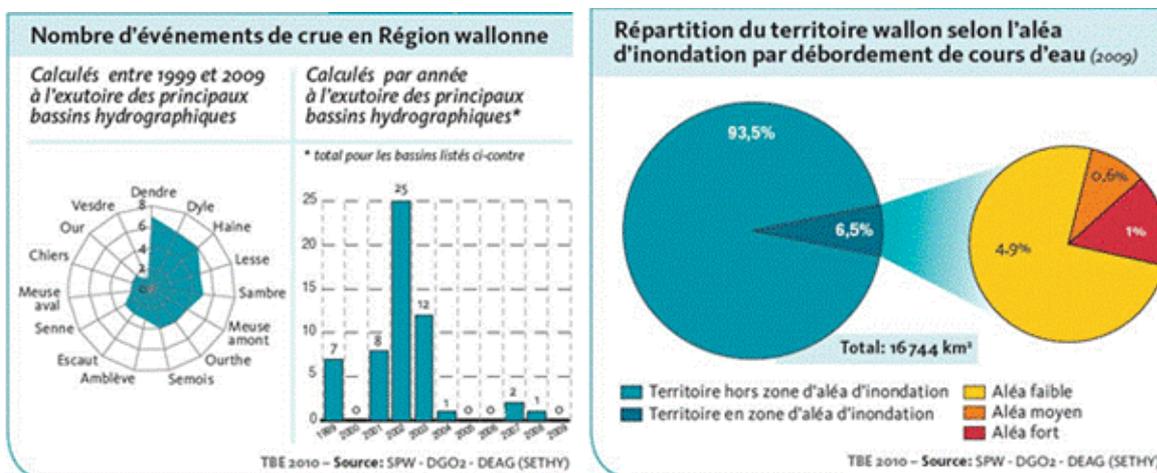


Figure 75. Nombre d'événements de crue (gauche) et répartition de l'aléa d'inondation par débordement de cours d'eau (droite) en Région wallonne. Source : SPW – DGO2 – DEAG (SETHY), 2010.

Les données détaillées sur le nombre d'événements de crue et la répartition du territoire selon l'aléa d'inondation par débordement de cours d'eau en Région wallonne sont présentées en annexe.

Le débordement des cours d'eau et le ruissellement des eaux ont provoqué, en période de pluies intenses, des inondations généralisées causant des dégâts importants dans un grand nombre de communes. Au total, 98 % des communes ont été touchées par des inondations ces dix dernières années.

Plus de 60 % des communes ont subi au moins 4 inondations entraînant des dégâts aux habitations depuis 1967, suite à des pluies abondantes de longue durée ou de forte intensité. La période de retour d'un sinistre peut y être dès lors évaluée à 10 ans. Par ailleurs, près de 15 % des communes wallonnes ont été inondées au moins 7 fois durant cette même période, ce qui correspond à un sinistre tous les 6 ans.

Entre 1967 et 2008, la Wallonie a été touchée par 7 événements majeurs reconnus en tant que calamité publique au Moniteur Belge et couvrant plus du tiers de son territoire. Ces dernières années, les inondations ont été reconnues au moins une fois dans 258 des 262 communes wallonnes.

Selon une enquête menée en 2001, deux tiers des communes wallonnes auraient été affectés par des inondations issues du débordement d'un cours d'eau, et la moitié par des inondations causées par le ruissellement d'eau provenant de terres agricoles (coulées boueuses).

La carte ci-après montre les parties du territoire wallon qui ont été le plus régulièrement touchées par les inondations.

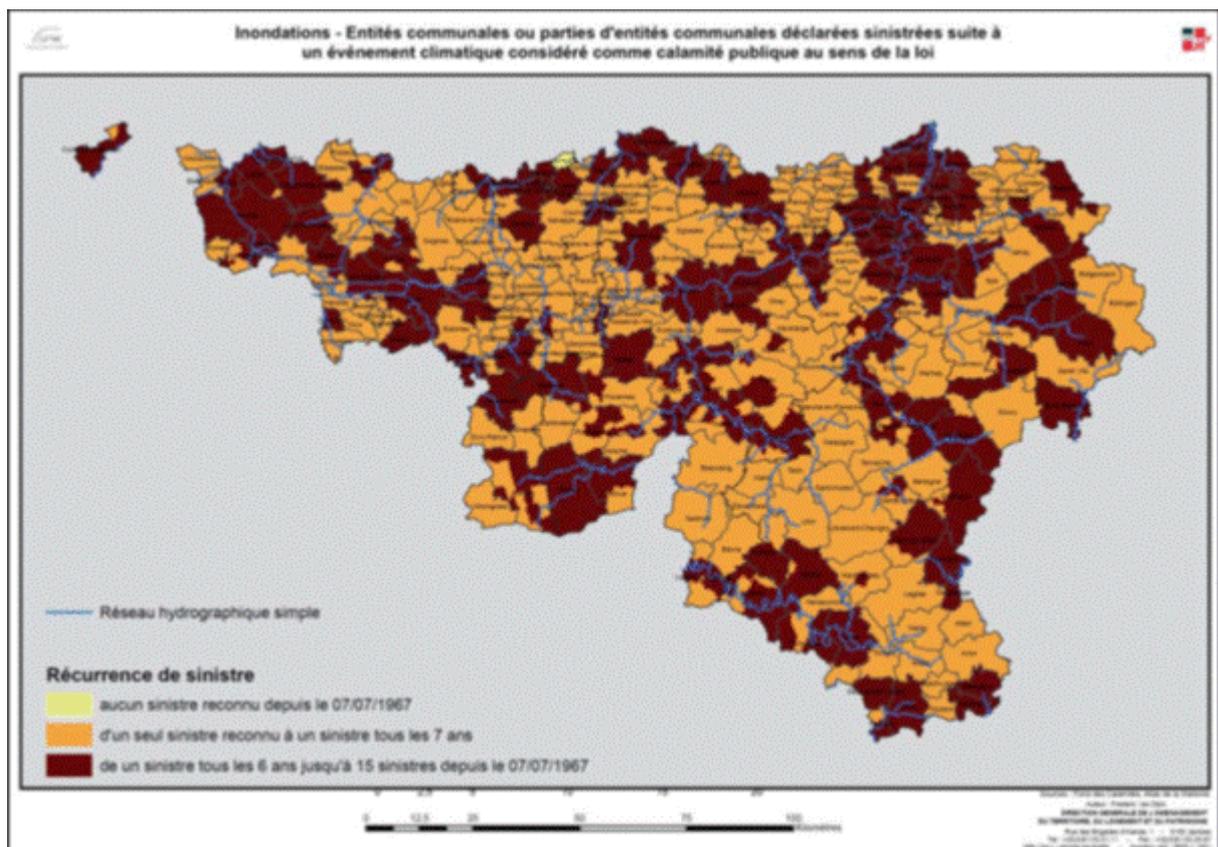


Figure 76. Communes wallonnes les plus régulièrement touchées par les inondations.

Ainsi, on constate que les communes situées dans les vallées de la Meuse et de l'Ourthe jusqu'à la tête de leur bassin versant, ainsi que dans le bassin de l'Escaut sont les plus souvent concernées.

Même si, au vu du nombre d'événements observés, il est statistiquement logique de constater de tels écarts, il semble malgré tout peu probable qu'ils résultent uniquement de causes liées au milieu physique. L'analyse du nombre de déclarations par sinistre introduites au Fonds des Calamités ou auprès des assureurs et du contenu de celles-ci pourrait permettre d'identifier les causes des disparités observées au niveau des communes. D'autre part, bien que les données précitées ne permettent pas de conclure que les événements caractérisés par des pluies de forte intensité ont tendance à se multiplier ces dernières années, en l'absence de statistiques et d'interprétation de l'Institut Royal Météorologique de Belgique pour la période considérée, il y a néanmoins lieu de constater que les événements pluvieux considérés comme calamiteux sont assez fréquents (Brouyaux et al., 2004).

Au total, 61 événements de type inondation reconnus comme calamiteux ont été répertoriés en Wallonie depuis 1967. Ils concernaient en moyenne une dizaine de communes. Alors que ces événements ne sont légalement reconnus comme calamités que lorsque le critère du Fonds des Calamités relatif au montant minimum des dégâts (1250 k€) est atteint, on constate parfois que des événements météorologiques importants, à l'échelle communale, ne sont pas reconnus comme calamité naturelle au sens de la loi, bien qu'ils soient localement exceptionnels en ce qui concerne le volume des précipitations relevé au mètre carré. En effet, des pluies dépassant 100 litres/m² peuvent se produire très localement (à l'échelle d'une commune ou d'une ancienne entité communale), sans qu'elles soient répertoriées par l'IRM. Pourtant de telles pluies peuvent parfois engendrer des dégâts importants, mais ne dépassant pas le montant minimum susvisé.

On constate par ailleurs que durant cette période, les records de précipitations mensuelles furent régulièrement battus de janvier à avril et d'août à décembre, soit les deux périodes pendant lesquelles le couvert végétal est le plus faible. Ces périodes sont particulièrement critiques vis-à-vis des inondations, même pour des pluies considérées comme «non catastrophiques», lorsqu'une partie importante du bassin versant est localisée en zone agricole à dominante culturale, comme c'est souvent le cas au nord du Sillon Sambre et Meuse (Van Dijck, 2006).

A titre d'information, des données plus détaillées sur les calamités au cours des dernières décennies sont présentées en annexe.

Si la Région wallonne n'a pas connu de crues importantes et généralisées ces dernières années, des inondations localisées dues principalement à des coulées boueuses provenant d'orages violents associés à des précipitations particulièrement intenses, sont observées pratiquement chaque année. En effet, entre mai et septembre, le même scénario se reproduit : un orage s'abat sur les campagnes et il en résulte des torrents de boue envahissant les routes et les habitations.

Le réseau d'égouttage et les fossés sont régulièrement pointés du doigt par les sinistrés, parlant d'un manque d'entretien de la part des autorités compétentes. Ceci joue peut-être un rôle mineur, mais il convient de remonter plus en amont pour trouver l'origine de ce ruissellement. En effet, au printemps, lorsque les sols labourés et ensemencés sont laissés nus, une croûte superficielle dite de « battance » se forme suite à l'action dégradante des pluies successives. Lorsqu'un orage s'abat sur une telle surface, presque toute l'eau ruisselle, entraînant au passage des particules de sol, lui conférant un caractère boueux.

L'eau se concentrant vers l'aval peut également former des rigoles ou des ravines, avant d'aboutir dans les zones habitées.

Les inondations boueuses se produisent surtout en mai et en juin, l'été étant plutôt marqué par des ruissellements d'eaux claires, le sol étant fortement encroûté, ce qui limite la mise en transport de particules de sol.

En outre, les opérations de remembrement ont conduit à l'agrandissement des parcelles cultivées, à la disparition des éléments jouant le rôle de tampon dans le paysage (tels les fossés et les haies) et le réseau de chemins ruraux a été modifié en tenant compte davantage de la maximisation de l'accessibilité aux parcelles que de la circulation des eaux de ruissellement au sein des bassins versants.

A l'opposé, d'autres arguments permettent de relativiser cette éventuelle recrudescence des inondations. En effet, suite à la périurbanisation croissante, de nombreuses habitations ont été construites dans des zones susceptibles d'être inondées.

Les dégâts concernent plus particulièrement des habitations et des routes. Les dégâts subis par les particuliers sont indemnisables, sous certaines conditions, au titre des catastrophes naturelles. Les drames humains et psychologiques sont une des conséquences les plus graves des coulées boueuses. Les coulées boueuses surviennent avec une telle rapidité et une ampleur telle qu'ils créent de véritables états de choc au niveau des personnes et des familles qui les subissent.

Les dommages aux biens et aux personnes des suites de l'inondation dans une zone urbanisée - meubles, voitures, maison, clôtures... - constituent une partie des dégâts. Des animaux (vaches, poules, etc.) peuvent être emportés par les flots et retrouvés noyés. Des bâtiments (fermes, usines, commerces, etc.), voire des zones d'activités toutes entières (situées le plus souvent en zone inondable) peuvent engendrer la cessation de l'activité. Chômage technique et fermeture d'usines peuvent être des conséquences indirectes des inondations.

D'autres dégâts, concernant plus particulièrement les collectivités, peuvent être recensés : destruction des routes, bâtiments publics endommagés, fossés, talus d'accotement détériorés. Ces dégâts peuvent avoir un coût extrêmement important.

Les consultations médicales, les achats de médicaments et les journées d'arrêt de travail consécutifs aux épisodes d'inondation pèsent sans doute lourd dans les budgets sociaux.

Par exemple, sur la commune de Gembloux, l'étude AMHY ((Aménagements hydrauliques des bassins versants) a évalué le coût total des dommages à environ 20.000 euros/an (dégâts supportés par les riverains plus les frais d'intervention, nettoyage). Pour les riverains, 30% des frais consistaient en des réparations sur la structure même de leur habitation. L'étude AMHY a montré que le coût moyen des dégâts sur les biens privés varie entre 41 et 664 euros/an.habitation en fonction du degré d'exposition aux dommages des habitations. Dans certains cas exceptionnels, le coût des dommages supporté par les riverains peut dépasser 40.000 euros/habitation.

Quantification et monétarisation de l'impact physique en 2050

Au niveau mondial, d'ici à 2050, le nombre de personnes exposées aux inondations devrait passer de 1,2 milliard à 1,6 milliard (presque 20 % de la population mondiale). On prévoit que la valeur économique des biens exposés avoisinera 45 000 milliards USD à l'horizon 2050, soit une augmentation de plus de 340 % par rapport à 2010 (OCDE, 2012).

En Wallonie, le changement climatique devrait avoir différentes influences sur les régimes hydriques, dont notamment une probable augmentation des précipitations hivernales. Par conséquent, le risque d'inondations pourrait augmenter en hiver. De même, il est attendu une augmentation probable du nombre de jours consécutifs de fortes pluies en hiver. Par ailleurs, les projections climatiques de la note d'orientation stratégique de l'AWAC pour la Wallonie prévoient des hivers plus doux et humides (avec d'avantages d'épisodes de pluies intenses en hiver) et des étés plus chauds et secs. Ces évolutions sont également rappelées par Sinaba et al, 2012. Ces nouvelles conditions climatiques auront donc pour conséquence un accroissement du risque d'inondations hivernales sur l'ensemble ou sur des portions du territoire wallon.

Les inondations pourraient dès lors augmenter d'ampleur et de fréquence du fait de la fréquence accrue des épisodes de fortes précipitations, qui peuvent accroître l'écoulement dans la plupart des zones et faciliter la recharge des nappes souterraines dans certaines plaines inondables. La Région wallonne doit ainsi s'attendre à une augmentation des risques d'inondations dans les bassins hydrographiques suite à l'intensification des précipitations extrêmes.

Sinaba et al, 2012 ont réalisé une analyse des coûts du risque d'inondations dans le bassin de la Meuse dans un contexte de changement climatique dans le cadre du projet Interreg IV B – AMICE (Adaptation of the Meuse to the Impacts of Climate Evolutions). La zone géographique considérée couvre les parties française, wallonne, flamande et néerlandaise du bassin de la Meuse. La présente analyse se limite aux résultats propres au tracé wallon de la Meuse. Le projet a évalué les dommages sur la partie wallonne du bassin de la Meuse pour différents scénarios hydrologiques (crues de différentes périodes de retour, étiages) et différents horizons temporels (présent, 2020-2050, 2070-2100).

Les inondations considérées par Sinaba et al, 2012 sont caractérisées par des débits de crues égaux à Q_{25} , Q_{50} , Q_{100} , $Q_{100+15\%}$, $Q_{100+30\%}$. La valeur indicielle donnant la période de retour de la crue Q_{25} représente, par exemple, le débit qui a une chance sur 25 d'être égalé ou dépassé au cours d'une année à venir. $Q_{100+15\%}$ et $Q_{100+30\%}$ représentent le débit d'une crue centennale (une chance sur 100) augmenté respectivement de 15 et de 30%.

Cette même étude prend comme hypothèse une augmentation de la fréquence des inondations liée au changement climatique (cfr tableau ci-dessous). Ainsi par exemple, la crue centennale (Q_{100}) dans les conditions climatiques actuelles aurait une période de retour de 40 ans à l'horizon 2050 et de 25 ans à l'horizon 2100.

Discharge value	Return Period		
	Present	Future Scenario I 2021-2050	Future Scenario II 2071-2100
Q_{25}	25	10	5
Q_{50}	50	25	10
Q_{100}	100	40	25
$Q_{100+15\%}$	300	100	50
$Q_{100+30\%}$	1250	250	100

Tableau 57. Période de retour pour le temps présent et pour les scénarios futurs. Source : Sinaba et al, 2012.

Cette étude chiffre alors sur base de l'occupation du sol actuelle et des valeurs de 2009, le dommage économique subi par différents types d'actifs (résidentiels, industriel,...) dans le cas des inondations Q_{25} , Q_{50} , Q_{100} , $Q_{100+15\%}$, $Q_{100+30\%}$ dans le bassin de la Meuse.

Il faut préciser que l'analyse se limite aux pertes directes tangibles générées par les phénomènes de crues. Elle ne prend pas en compte les pertes directes 'intangibles' (par exemple les dommages écologiques) ni les pertes indirectes comme par exemple les pertes de production ou encore les dommages psychologiques liés aux crues.

La quantification du risque de dommages dus aux inondations est calculée pour une année donnée par l'intégrale de la courbe de risque qui reprend en abscisse les fréquences des crues et en ordonnées les coûts associés à celles-ci.

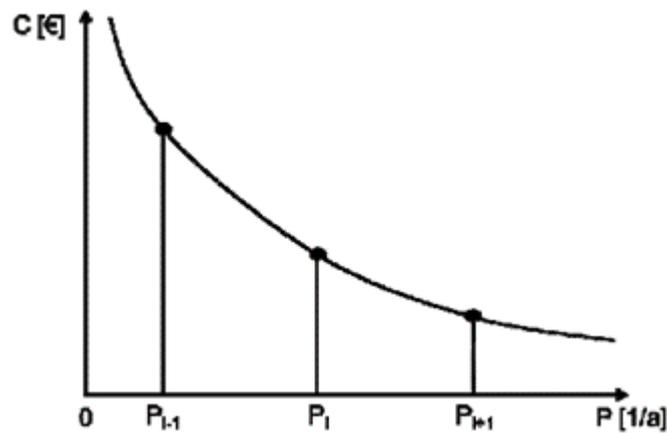


Figure 79 : Courbe de risque. Source : Sinaba et al, 2012.

Sinaba et al, 2012 donne une approximation du risque de dommages dus aux inondations pour un ensemble discret de coûts d'inondations (Q_{25} , Q_{50} , Q_{100} , $Q_{100+15\%}$, $Q_{100+30\%}$) par la formule suivante :

$$R = \sum_{i=1}^k C_i \cdot \left(\frac{P_{i+1} - P_i}{2} + \frac{P_i - P_{i-1}}{2} \right) = \sum_{i=1}^k C_i \cdot \left(\frac{P_{i+1} - P_{i-1}}{2} \right)$$

R = Integrated Flood Risk [€/a]

P_i = Probability of a discrete undesirable event i [1/a]

C_i = Consequence/Damage potential of a undesirable event i [€]

En reprenant les résultats obtenus par Sinaba et al, 2012 sur le filaire de la Meuse et sur base d'un facteur d'extrapolation, on obtient une valeur approchée de l'augmentation du risque de dommages dus aux inondations pour l'ensemble de la Wallonie à l'horizon 2050 dans un contexte de changement climatique compatible avec le Future Scenario I de Sinaba et al, 2012. Dans ces conditions, à occupation du sol constante, **le surcoût du risque de dommages dus aux inondations en 2050 pour l'ensemble de la Wallonie se monterait à 150 millions d'euros** (pour des actifs évalués à leur valeur de 2009). En appliquant la même méthode de travail on arriverait pour 2100 à un surcoût de 400 millions d'euros (avec les périodes de retour d'inondations de 'Future Scenario II')³¹.

Rappelons que cette valeur est obtenue sous une hypothèse d'économie constante. Elle donne donc une estimation du surcoût du risque d'inondations auquel nous aurions à faire face si les conditions climatiques de 2050 étaient déjà présentes aujourd'hui (plus précisément en 2009).

Il est également utile d'insister sur le fait que ce surcoût ne se rapporte pas à un événement d'inondation particulier. Il s'agit plus exactement d'un surcoût de type assurantiel qui correspond à l'augmentation du coût du risque de dommages dus aux inondations auquel devra faire face l'ensemble des détenteurs d'actifs mobiliers et immobiliers (on est proche du concept de primes d'assurances) si nous nous trouvons aujourd'hui dans les conditions climatiques projetées pour l'année 2050 c'est-à-dire avec une Q_{25} qui se produit tous les 10 ans, une Q_{50} qui se produit tous les 25 ans,...

³¹ La méthodologie de calcul du dommage du projet AMICE est synthétisée en annexe.

Enfin, il faut rappeler les incertitudes qui continuent à peser sur les conséquences locales des changements climatiques. Ainsi, (Dumas et al, 2013) note que les estimations d'impacts et de coûts peuvent être très différentes voire diamétralement opposées en fonction des méthodologies utilisées, certainement à une échelle locale. Par contre, il précise aussi que ces incertitudes devraient inciter les décideurs à mettre en place des politiques adaptées (entre autre en matière d'aménagement du territoire) pour faire face au risque futur d'inondations.

QUANTIFICATION DE L'IMPACT SUR LA PRODUCTION D'EAU POTABLE EN WALLONIE

Situation actuelle

L'Union européenne³² fixe les exigences de qualité auxquelles doit répondre l'eau potable sur la base de normes de base fixées par l'Organisation mondiale de la santé. Le contrôle de l'eau potable est d'abord réalisé par les compagnies des eaux mêmes, ou par des laboratoires indépendants sur ordre des autorités communales, provinciales ou régionales. L'assainissement de l'eau potable est assuré par les stations d'épuration.

L'eau potable produite est acheminée chez l'utilisateur via un réseau de canalisations. Les activités de production et de distribution de l'eau potable sont généralement l'apanage d'une même entreprise. Les réservoirs d'eau et les châteaux d'eau permettent de créer la pression sur le réseau, de stocker l'eau pour une période de quelques heures et d'absorber les variations au niveau de la consommation. Après consommation, les eaux usées domestiques arrivent dans les égouts, les fosses septiques ou s'écoulent librement. Les égouts peuvent être mixtes (eaux de pluie et eaux usées) ou séparés, même si les nouvelles constructions doivent toujours prévoir désormais un système d'égouts séparés (double réseau d'évacuation). L'eau des différents réseaux d'égout sont récoltées dans un collecteur et transportées de là vers une installation d'épuration des eaux usées. Les trop-pleins³³ ne sont présents que dans des égouts mixtes et veillent, en cas de fortes pluies, à l'évacuation des d'eaux d'égout diluées avec l'eau de pluie dans le cours d'eau le plus proche. Une fosse septique n'est plus nécessaire si les égouts sont raccordés à une installation d'épuration des eaux usées mais de nombreuses maisons disposent encore d'une fosse.

Production – distribution d'eau potable	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Nombre de Producteurs d'eau ²	57	56	55	54	53	53	52
Nombre de Distributeurs d'eau	57	56	55	52	51	51	51
Long. des canalisations hors raccordement ³ (x 1.000 km)	38,2	38,2	38,2	38,2	39,0	39,2	39,6
Nombre de compteurs (X 1.000)	1.428,7	1.450,5	1.471,6	1.490,5	1.508,7	1.528,4	1.545,6
Volume produit ¹ (Millions m ³)	395,2	384,0	382,5	*	387,7	385,1	382,8
Volume distribué (Millions m ³)	163,0	163,4	161,8	160,2	161,0	161,5	159,4

Tableau 58. Production et distribution d'eau potable en Wallonie. Source : SPW – DGO3

De nombreux producteurs d'eau potable sont également distributeurs. Cinquante-un distributeurs étaient actifs en Wallonie en 2012 : 42 administrations communales et 9 intercommunales. A une seule exception près, tous les distributeurs étaient également producteurs d'eau potable. La Société wallonne des eaux (SWDE) est le principal distributeur d'eau wallon avec plus de 2/3 des compteurs.

³² Directive 80/778/CEE du Conseil du 15 juillet 1980 portant sur la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.

³³ Un trop-plein est une sorte d'évacuation de secours dans les égouts mixtes qui assure le déversement dans les eaux de surface du trop-plein d'eaux usées fortement diluées en cas de forte averse de pluie." (Belgaqua, Livre bleu 2008)

En Wallonie, la Société Publique de Gestion de l'Eau (SPGE) est chargée du financement et de la coordination de l'ensemble du réseau d'assainissement de l'égout à la station d'épuration (la SPGE est également responsable de la protection des captages). Des relations contractuelles la lient avec les différents acteurs de la filière qui sont alors chargés entre autres de réaliser les investissements prévus. Le réseau d'égouttage est géré par la commune (contrat d'égouttage avec la SPGE). L'exploitation des ouvrages de collecte, de pompage et d'épuration et les investissements s'y rapportant sont assurés par des intercommunales reconnues comme Organismes d'Épuration Agréés (OEA, au nombre de 7). Ces OEA sont donc financées par la SPGE avec qui elles ont conclu un contrat d'épuration.

La Région wallonne applique depuis 2005 une nouvelle structure de tarification pour la consommation d'eau potable, conformément au principe de récupération du coût des services liés à l'eau. Elle instaure un prix unique et identique pour tous les consommateurs wallons pour chaque m³ d'eau distribué par le même distributeur au sein d'un même sous-bassin (avant 2005, le prix du m³ d'eau de distribution pouvait varier du simple au quadruple et ce, d'une commune à l'autre, même lorsque celles-ci étaient limitrophes). Cette tarification uniformisée est fonction des volumes annuels consommés et repose sur deux types de « coûts-vérité » :

- le Coût-Vérité à la Distribution: le coût réel de la production et de la distribution d'un m³ d'eau ;
- le Coût-Vérité à l'Assainissement : le coût réel de l'assainissement d'un m³ d'eaux usées.

D'autre part, depuis juin 2007, les prix sont calculés sur base d'une comptabilité uniforme appliquée à l'ensemble des distributeurs.

Malgré le fait que la distribution d'eau potable est une matière régionale, les prix maximum doivent être approuvés par le SPF Economie. L'organe de régulation du prix de l'eau est le Comité de Contrôle de l'Eau. Celui-ci participe à la mise en place du système de tarification basé sur le coût-vérité de l'eau et à l'harmonisation des prix. Il a pour mission de contrôler si les opérateurs appliquent la structure tarifaire conformément au plan comptable défini par le Code de l'eau et garantit l'application des conditions générales de la distribution publique de l'eau en Wallonie. Toute modification du prix de l'eau doit être obligatoirement soumise pour avis au Comité de Contrôle de l'Eau. Le Comité de Contrôle de l'Eau vérifie alors la conformité du changement de prix vis-à-vis de la comptabilité wallonne. En parallèle le SPF économie se charge du contrôle du niveau de prix. Le Comité de Contrôle de l'Eau réalise également des études, rend des avis et formule des recommandations relatives à la politique des prix de l'eau.

Le Coût-Vérité Distribution (CVD) comprend l'ensemble des coûts supportés par le producteur- distributeur d'eau potable suivant un schéma comptable prédéfini. Le CVD varie donc selon les sociétés de distribution d'eau et les sous-bassins hydrographiques dans chacun desquels un même distributeur applique un tarif uniforme.

Le Coût-Vérité Assainissement (CVA) représente quant à lui l'ensemble des coûts liés à l'assainissement des eaux usées domestiques. Il sert au financement des infrastructures de collecte et d'épuration des eaux usées ainsi que d'une partie de l'égouttage. Le montant du CVA est fixé annuellement par la Société Publique de Gestion de l'Eau avec l'accord des autorités régionales et fédérales. Il est établi uniformément pour l'ensemble du territoire wallon.

La formule de tarification du prix de l'eau s'articule autour de ces deux éléments tout en introduisant une certaine progressivité. Elle comprend les éléments suivants :

- Une redevance de base égale à 20 CVD + 30 CVA. Celle-ci couvre une partie des frais fixes liés à la mise à disposition de l'accès ininterrompu aux services d'eau et cela même en l'absence de consommation.
- Un coût pour la fourniture de chaque m³ d'eau, calculé en fonction de la consommation d'eau répartie en trois tranches distinctes :
 - De 0 à 30 m³ : ½ CVD;
 - De 31 à 5.000 m³ : CVD + CVA;
 - Au-delà de 5.000 m³ : 0,9 CVD + CVA
- Une contribution au Fonds social wallon, permettant entre autres aux CPAS d'intervenir dans les factures d'eau de consommateurs en difficulté de paiement.
- Pour le calcul du prix de l'eau moyen en Wallonie, les compagnies des eaux suivantes sont analysées : CILE, IECBW et SWDE (celles qui représentent la plus grande part de marché sur la base de la consommation).
- Pour la période 2005-2011, toutes les sous-périodes pour lesquelles un certain tarif était appliqué ont été pondérées sur la base du nombre de mois de l'année correspondante. Le tarif moyen pour une année se compose dès lors de la moyenne pondérée des tarifs de plusieurs années. Le tableau ci-dessous indique par exemple que le tarif moyen de 2006 se compose pour 25 % de la deuxième tranche tarifaire et pour 75 % de la troisième tranche tarifaire.

Période	Poids
01/01/2005-31/08/2005	2005: 8 mois = 8/12 = 66,7 %
01/09/2005-31/03/2006	2005: 4 mois = 4/12 = 33,3 %
	2006: 3 mois = 3/12 = 25,0 %
01/04/2006-30/04/2008	2006: 9 mois = 9/12 = 75,0 %
	2007: 12 mois = 12/12 = 100,0 %
	2008: 4 mois = 4/12 = 25,0 %

Source : SPF Economie.

Tableau 59. Ponderation du tarif moyen de l'eau de 2006 en Région wallonne.

- Une préférence a été donnée aux tarifs des communes qui sont également utilisés pour le calcul du chiffre de l'indice des prix à la consommation: cela concerne ici 32 arrondissements wallons. Lorsqu'au sein d'une même commune deux compagnies sont/étaient actives, nous avons également opté pour la compagnie dont les tarifs sont utilisés pour le calcul du chiffre de l'indice général.

	2005	2006	2007	2008
Belgique	2,33	2,32	2,31	2,31
Région de Bruxelles-Capitale	2,03	2,04	2,04	2,05
Région flamande	2,39	2,38	2,37	2,36
Région wallonne	2,32	2,31	2,3	2,3
dont la communauté germanophone	2,4	2,39	2,38	2,37

Tableau 60. Taille moyenne des ménages particuliers au 1er janvier, par an et par région (2005-2008). Source : DGSIE

- Le tableau ci-dessous présente les résultats d'une simulation pour une consommation moyenne par ménage de 85 m³. Les statistiques de la population montrent en effet qu'un ménage wallon moyen compte 2,3 personnes. Chaque membre du ménage consomme environ 100 litres d'eau par jour, ce qui représente une consommation de presque 84.000 litres d'eau.

Abonnement / redevance fixe ^(c)	51,74	55,91	61,88	71,04	80,50	83,61	88,22
Consommation	122,45	126,34	129,38	134,14	140,69	151,59	157,32
Épuration et assainissement ^(a)	28,76	34,38	43,73	58,03	71,94	71,94	77,39
Total hors 6 % TVA	202,95	216,62	234,99	263,20	293,13	307,14	322,92
Total TVAC 6 %	215,13	229,62	249,09	278,99	310,72	325,57	342,30
Prix de l'eau total TVAC par m ³	2,53	2,70	2,93	3,28	3,66	3,83	4,03

Source : calculs propres sur base des données des compagnies des eaux

(a) Redevances d'assainissement communale et supra-communale

(b) Location du compteur comprise

(c) Contribution au Fonds social wallon comprise

Tableau 61. Tarif annuel moyen en euros pour une consommation de 85 m³ par ménage en Wallonie (2005-2011). Source : Calculs du SPF Economie sur base des données des compagnies des eaux.

- Là où un ménage belge payait en 2005 un prix total pour l'eau de 2,53 euros par m³, le prix total en 2011 s'élevait à 4,03 euros, ce qui représente une augmentation de 59,1 %. L'augmentation la plus frappante est sans conteste l'augmentation des frais d'épuration et d'assainissement (+169%). Les frais d'abonnement et redevance fixes ont aussi augmenté (+70,5%) dû en partie aux frais d'assainissement qui sont facturés en Wallonie via la redevance fixe annuelle (20 CVD + 30 CVA). L'augmentation des dépenses pour la consommation réelle d'eau reste limitée (+28,5%). Cela montre que le prix total de l'eau pour le consommateur a fortement augmenté au cours de ces dernières années. On peut en outre s'attendre à ce que le prix du mètre cube d'eau poursuive sa progression à l'avenir, notamment en raison d'une consommation d'eau plus durable (et donc réduite). Les compagnies des eaux sont principalement confrontées à des frais fixes qui sont facturés au consommateur.

Estimation en 2050

Des étés plus chauds et plus secs d'une part, et l'évolution des changements des besoins en eau d'autre part, rendront nécessaires une optimisation de la gestion de l'eau pour en assurer l'approvisionnement. Des menaces pour les systèmes d'approvisionnement en eau peuvent aussi éventuellement survenir de l'intensité et de la fréquence plus élevées des étiages influencés par le climat.

L'administration wallonne a développé un « Plan Sécheresse » qui tente de coordonner les mesures à prendre en cas de sécheresse prolongée par les différents acteurs de l'eau : producteurs d'eau potable, transport fluvial, industrie électrique, tourisme, agriculture, etc. Ce plan, combiné à la mise en place d'un schéma régional des ressources en eau, devrait permettre à l'avenir de diminuer l'impact d'une crise de sécheresse.

Les évolutions démographiques et les projets industriels des années à venir vont occasionner une demande croissante – mais limitée – en eau potable (< 5 %). En effet, la consommation d'eau n'augmente pas au même rythme que la population, les dispositifs d'économie d'eau étant de plus en plus répandus dans les ménages (chasse d'eau, électro-ménagers moins gourmands en eau, citerne d'eau de pluie). La surface occupée par des zones industrielles va croître de près de 5000 ha d'ici 10 à 15 ans. La demande en eau va augmenter en conséquence, même si les processus utilisés actuellement visent à réduire au maximum l'utilisation d'eau ou à recycler une partie de celle-ci. La prévision des besoins d'ici 20 ans doit être intégrée dans l'établissement d'un schéma régional des ressources en eau, notamment en dimensionnant les adductions et en vérifiant les volumes d'eau de réserve.

La solution visant à la sécurisation de l'approvisionnement en eau en discussion actuellement à la Région wallonne passe par l'établissement d'un maillage de conduite liaisonnant les grands centres de production d'eau dont les barrages en eau de surface, actuellement sous-exploités. La réalisation de ces liaisons dans un délai de 10 à 20 ans devrait augmenter sensiblement la proportion d'eau de surface utilisée pour la distribution publique (d'environ 25 % à 40 %). Cela devrait permettre une plus grande diversité des sources d'approvisionnement, mieux à même de faire face aux défis prévisibles des changements climatiques (modification du régime des précipitations favorisant le ruissellement au détriment de l'infiltration et donc de la recharge des masses d'eau souterraine).

Le projet AMICE a collecté des données concernant les arrêts de prise d'eau ayant eu lieu entre 2007 et 2010 dans le bassin versant de la Meuse. L'analyse des données pour cette période a révélé que tous les arrêts constatés avaient été causés par des défaillances techniques ou une qualité d'eau insuffisante, et non par des problèmes de quantité. En outre, les arrêts de prise d'eau n'ont jamais duré au-delà de la période maximale durant laquelle le point de captage peut être approvisionné par des sources alternatives ou des réserves d'eau.

D'un côté, l'analyse de coûts des services écosystémiques tient compte de la diminution de la disponibilité d'eaux douces en Wallonie. D'un autre côté, les eaux souterraines représentent environ 78% de l'eau de distribution en Wallonie mais pour évaluer la diminution de la disponibilité d'eaux souterraines il faut de modèles régionales climatiques et hydrologiques qui ne sont pas disponibles actuellement.

En plus, la probabilité est grande que l'approvisionnement en eau continuera d'être assuré malgré les modifications de la demande (p.ex. une hausse des besoins en été) et les étiages, grâce à une gestion optimale de l'eau. En effet, une comparaison des ressources actuellement disponibles et des besoins montre qu'il y a une marge importante en Wallonie. Le changement climatique semble donc ne pas avoir d'impacts importants sur la production d'eau potable. L'impact sera probablement plus important en matière de traitement des eaux usées : les températures en hausse, les périodes de sécheresse, mais aussi des précipitations intenses exigeront éventuellement des adaptations de l'exploitation des stations d'épuration mais le manque de données et des recherches en la matière ne permettent pas de quantifier cet impact.

QUANTIFICATION DES IMPACTS DE L'AUGMENTATION DE TEMPERATURE SUR LES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT EN WALLONIE

Les infrastructures de transport en Wallonie

Le transport des personnes et des marchandises se fait via quatre grands types de réseaux (route, rail, voies navigables, air).

Concernant le réseau routier, la Wallonie disposait, en 2009, de 80826 kilomètres de routes dont 869 kilomètres d'autoroutes. La longueur du réseau routier a progressé de 9,72 % de 1990 à 2009. Le réseau routier wallon se répartit entre les autoroutes (1,1 %), les routes régionales (8,5 %), les routes provinciales (0,9 %) ainsi que le domaine des voiries communales (89,5 %) dont 10 % ont une vocation de grande circulation. L'infrastructure routière présente une emprise au sol de près de 4,4 % du territoire de la Wallonie. Cette infrastructure induit une perte de ressources agricoles, forestières et naturelles et présente des impacts sur le cycle de l'eau dus à l'imperméabilisation des sols (ruissellement, impact sur les débits des cours d'eau, etc.).

Dans le cadre du « plan routes », 575 chantiers d'entretien du réseau régional sont prévus d'ici à 2014 pour un montant global de 885 millions d'euros. De plus, les pouvoirs locaux consacrent annuellement 630 millions d'euros pour l'entretien et la gestion des voiries communales.

En 2010, 50 kilomètres d'autoroutes wallonnes étaient considérées comme saturées à plus de 70 %. Les périodes de forte utilisation du réseau autoroutier sont en augmentation depuis 1995 et tendent à se multiplier selon le Bureau fédéral du Plan.

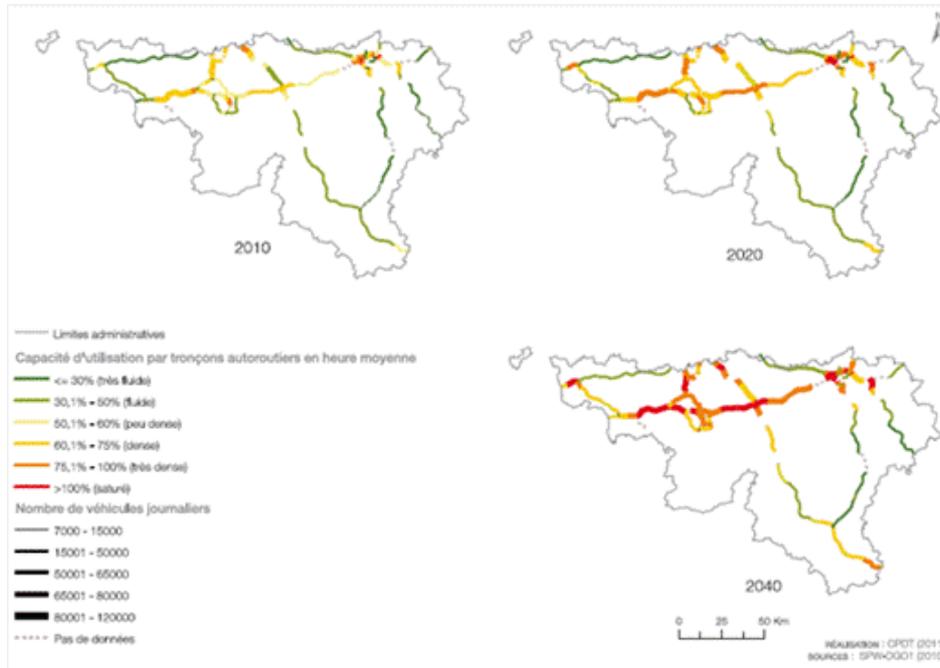


Figure 80. Evolution du taux d'utilisation des tronçons autoroutiers de 2010 à 2040 sur base d'un scénario tendanciel.

Cette tendance devrait se poursuivre avec pour conséquence une diminution des vitesses commerciales et de l'accessibilité des principales villes wallonnes.

Le réseau ferroviaire wallon présente une densité de 99 km /1.000 km² ce qui est inférieur aux 126 km /1.000 km² de la Flandre. La Wallonie disposait, en 2009, de 1665 kilomètres de voies ferrées dont 90 % électrifiées.

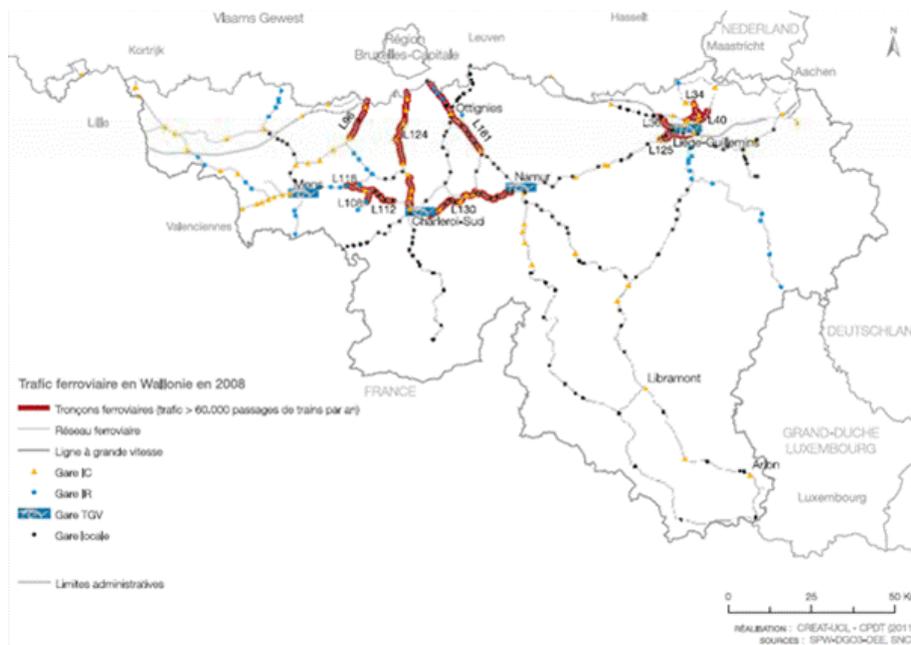


Figure 81. Réseau ferroviaire wallon et trafic ferroviaire en 2008

La longueur du réseau ferroviaire a progressé de 3,7 % de 2001 à 2009. Au niveau du transport de marchandises, la Wallonie est connectée aux corridors européens sur l'axe Anvers-Lyon et sur l'axe Anvers-Aix-la-Chapelle. L'infrastructure ferroviaire est actuellement gérée par Infrabel et relève de la compétence fédérale. En 2008, 200 kilomètres de voies ferrées, principalement réparties sur des tronçons des lignes L34, L36, L40, L96, L108, L112, L118, L124, L125, L130 et L161 subissaient un nombre de passages supérieur à 60.000 trains par an, induisant une probabilité accrue de risque de retard.

Concernant le réseau des voies navigables, la Wallonie dispose de 450 kilomètres de voies navigables dont 365 kilomètres sont au gabarit européen de 1350 tonnes ou plus (Classe IV et plus).

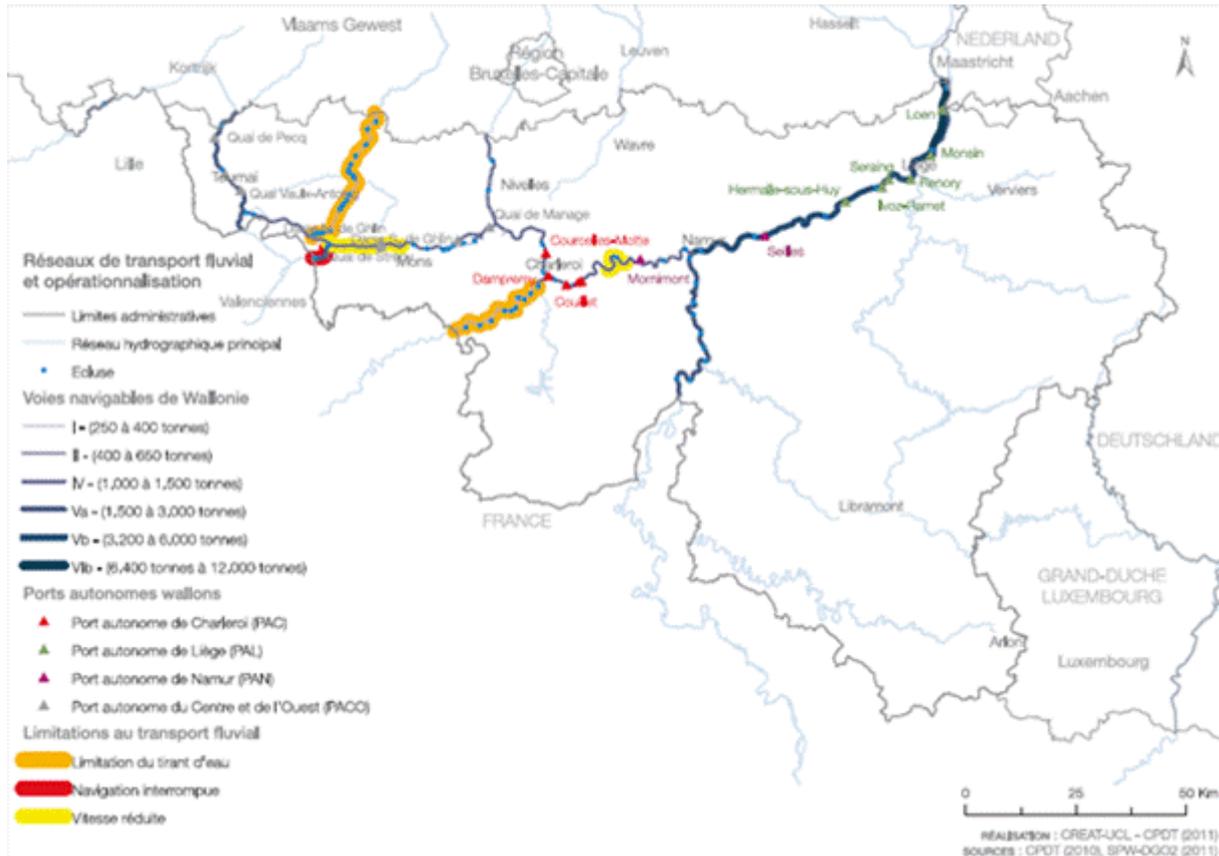


Figure 82. Réseaux de transport fluvial en Wallonie et opérationnalisation de la navigation

Le réseau fluvial connecte les différents bassins versants de Wallonie (Escaut, Dendre, Senne, Sambre et Meuse) et permet de relier les ports maritimes de Rotterdam et d'Anvers via la Meuse et le canal Albert. En ce qui concerne l'entretien du réseau, les estimations en termes de dragage se chiffrent à six millions de mètres cubes à traiter au total. Les travaux prioritaires estimés à deux millions de mètres cubes sont chiffrés à 400 millions d'euros étalés sur huit ans. La problématique de l'entretien du réseau est donc urgente et restera une préoccupation dans les prochaines décennies.

La Wallonie dispose de deux infrastructures aéroportuaires récentes, l'aéroport de Liège et l'aéroport de Charleroi, qui représentent pour la Wallonie des portes d'entrée à l'échelle internationale. Ces deux aéroports se distinguent par leur orientation première : l'aéroport de Charleroi accueille plusieurs compagnies low-cost et a pour vocation principale le transport de passagers ; l'aéroport de Liège (Bierset) est principalement tourné vers le transport de marchandises.

En Wallonie, la longueur totale des voies destinées exclusivement aux modes doux (sentier piéton, piétonnier, piste cyclable autonome) a été estimée à ± 3.535 kilomètres dont 1.300 font partie du Réseau Autonome de Voies Lentes (RAVeL).

Le projet Weather a analysé les coûts des événements extrêmes passés sur le secteur du transport en Europe (2,5 billions d'euros chaque année – moyenne 2000-2010). L'impact financier plus élevé se trouve sur le transport routier (1,8 billions d'euros annuellement). Ces coûts sont liés majoritairement à l'infrastructure physique (53%) suivi par les pertes de temps (16%) et les impacts sur la sécurité (13%). L'évènement qui engendre les coûts plus élevés c'est sont les inondations. La figure ci-après montre les coûts moyens sur le transport routier par type d'évènement extrême (Enei, et al, 2011).

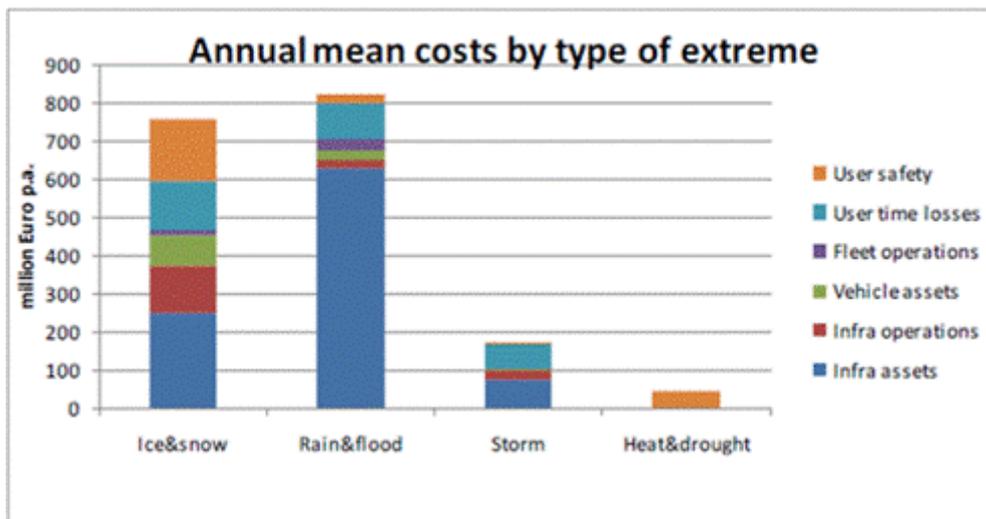


Figure 83. Coûts moyens sur le transport routier par type d'évènement extrême passé en Europe. Source : Enei, et al, 2011.

Les coûts annuels de l'impact des événements extrêmes sont d'environ 0,3 billions d'euros sur le transport ferroviaire (les inondations étant à l'origine de 80 % des dommages) et 0,36 billions d'euros sur le transport aérien. Les coûts supportés par le transport maritime et la navigation intérieure sont mineurs (d'environ 20 et 4 million d'euros respectivement).

Estimation en 2050

L'impact financier des inondations sur les infrastructures de transport en Wallonie à l'horizon 2050 a été évalué dans les sections précédentes.

Sur la base des informations présentées précédemment (ex. les résultats du projet WEATHER ci-dessus), il est cependant très probable que les coûts liés à la neige et au gel diminueront en Wallonie à l'horizon 2050.

En ce qui concerne l'augmentation de la température, il n'existe pas en Région wallonne des recherches sur l'impact du changement climatique sur les infrastructures de transport en 2050.

Les études sur l'impact quantitatif du changement climatique, hors épisodes extrêmes, ont été presque uniquement identifiées pour des pays non européens et avec des contraintes climatiques parfois très éloignées de la Wallonie. Ces études, dont un résumé est présenté en annexe, ne sont pas directement exploitables pour estimer l'impact du changement climatique (hors inondations) sur les infrastructures de transport en Wallonie en 2050.

A titre d'information, les paragraphes qui suivent donnent les résultats quantifiés dans d'autres régions européennes. Etant donné la spécificité de ce secteur (référentiels et normes techniques non comparables et conditions d'exploitation ainsi que types de trafic supportés différentes) ainsi que les paramètres climatiques et/ou morphologiques divers, les résultats présentés ci-après sont difficilement extrapolables à l'échelle de la Région wallonne.

En ce qui concerne l'impact du changement climatique (hors événements extrêmes) sur les **infrastructures de transport routières**, les britanniques (DEFRA 2006 et 2013) sont pratiquement les seuls à avoir avancé des chiffres. Ils estiment que, les années de canicule, ils consacraient 15% de leur budget annuel d'entretien dans la réparation des dégâts (pas de variations attendues pour la saison hivernale). Pour cette estimation, ils ont travaillé à des échelles territoriales très localisées en utilisant des données budgétaires (surcoûts d'entretien pendant la canicule de 2003).

Les australiens (Austroads, 2004) prévoient un effet global du changement climatique (chaleur, pluie, etc.) négligeable sur le coût d'entretien global. Les variations sont de l'ordre de -2 à +4% annuellement.

En ce qui concerne la **navigation**, d'ici le milieu du siècle, le débit annuel moyen des cours d'eau diminuera dans certaines régions sèches des latitudes moyennes. Cette diminution aura un impact sur la navigation fluviale. Cet impact a été estimé pour le Rhin et pour l'un des trois complexes néerlandais de la Meuse.

Les restrictions au chargement des bateaux navigant sur le Rhin pourraient passer de 19 jours actuellement à 34 jours en 2050 (Middelkoop et al., 2001).

Une quantification approximative des surcoûts générés par l'étiage est réalisée, à titre d'exemple, par le projet AMICE à l'aide du logiciel SIVAK³⁴. Les stratégies d'économie d'eau pour les périodes de sécheresse, engendrent des temps d'attente et/ou des coûts supplémentaires pour la navigation. Sur une base annuelle, les temps d'attente supplémentaires peuvent être exprimés en termes de coûts monétaires. La simulation a démontré que plus le climat est sec, plus les coûts supplémentaires sont importants. Pour le complexe de Maasbracht, selon les données relatives à l'extrême sécheresse de 1976 (équivalent à la période 2071-20100) et à l'année sèche de 2003 (équivalent à la période 2021-2050), il a été constaté que les surcoûts pouvaient s'élever à 16 fois et 36% respectivement les coûts d'une année moyenne.

³⁴ Afin de calculer le coût total et le temps d'attente pour chaque navire devant passer l'écluse, le logiciel utilise les caractéristiques des sas, les différences de niveau d'eau entre l'amont et l'aval, le trafic (intensité du trafic fluvial pour cette écluse) et le coût lié à l'attente et aux navires pour chaque classe.

LE COÛT DU RISQUE D'INONDATION

SECTEUR	RESSOURCES EN EAU, INFRASTRUCTURES ET AMENAGEMENT DU TERRITOIRE
Descriptif de l'impact	
<p>Les inondations sont appelées à devenir de plus en plus fréquentes avec le changement climatique, même si d'autres facteurs doivent être aussi pris en compte comme l'urbanisation ou les pratiques agricoles. En effet, l'augmentation des dommages causés par des phénomènes météorologiques extrêmes est également fonction des pratiques agricoles, de l'augmentation de la population et du niveau d'activité économique dans les zones exposées au risque d'inondation. Dès lors, pour un même taux de précipitations on pourrait avoir plus d'inondations, mais l'incertitude est grande. Il est toutefois probable que la hausse des températures intensifiera le cycle hydrologique, conduisant à des inondations plus importantes et plus fréquentes. Cette position s'inscrit dans la droite ligne des travaux du GIEC qui dans son dernier rapport de mars 2012 indiquait: "des signes montrent que le changement climatique a provoqué des modifications dans certains épisodes extrêmes depuis 50 ans et les modèles numériques prévoient une intensification lors des prochaines décennies".</p>	
Cadre de l'analyse	
<p>Quantification monétaire de l'impact du risque des inondations en 2050 à partir de données de la littérature (projet AMICE avec modélisation climatique et hydrologique régionale).</p>	
Méthode	
<p>Le travail d'évaluation se base sur une analyse bibliographique, complétée par des entretiens avec des experts. La méthode générale de quantification est la suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dans une première étape, les dommages économiques aux horizons 2050 et 2100 sont obtenus à partir de la littérature (projet AMICE) pour le bassin versant de la Meuse. • Dans une seconde étape, ces résultats sont extrapolés à l'ensemble du territoire wallon en utilisant un coefficient d'extrapolation basé sur le jugement d'experts. <p>Hypothèses principales :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la période de retour d'inondations de sévérité croissante. • Evaluation des dommages économiques aux prix de 2009. 	
Quantification et monétisation de l'impact	
Données d'entrée	
<p>Dommages économiques liés au surcoût d'inondations de sévérité croissante dans le bassin de la Meuse issus du projet INTERREG IV B -AMICE.</p>	

Résultats	
Le surcoût du risque d'inondation s'élèverait à environ 150 millions d'euros par an en 2050.	
Type de coût	Marchand
Coût relatif	0,18% du PIB wallon
	10 fois le budget de base du Fonds des calamités belge
Public cible	Population, Assurances et Secteur public
Limites et incertitudes	
<p>Trop d'incertitudes entourent les effets réels du changement climatique sur les risques d'inondation. À l'échelle de la Wallonie, les limites et incertitudes résultent d'un manque de données de longue durée de ce type, ainsi que de la difficulté de modéliser les phénomènes météorologiques extrêmes et de faire le tri entre les impacts du changement climatique et ceux qui peuvent avoir d'autres causes.</p> <p>Les connaissances de base pour appréhender le risque inondation concernent la fréquence et l'intensité des inondations, l'exposition des enjeux aux inondations, leur vulnérabilité et susceptibilité à subir des dommages. L'aspect multidisciplinaire du risque inondation ainsi que les divers modèles nécessaires à l'évaluation du risque sont à l'origine d'une complexité contenant plusieurs sources d'incertitude.</p> <p>Les limites de l'analyse réalisée tiennent aussi au degré de qualité des données utilisées dans l'analyse. Les sources d'erreurs, les approximations dans le recueil ou le manque de données sont susceptibles d'affecter les résultats de l'analyse. Ces incertitudes peuvent être d'ordre hydraulique, hydrologique, géographique, économique, etc.</p> <p>Deux types de dégâts liés aux inondations peuvent être distingués : les dégâts tangibles et les dégâts non tangibles. Les premiers peuvent faire l'objet d'une estimation monétaire puisqu'ils se rapportent à des biens et des services marchands. Les seconds sont quant à eux difficilement traduisibles en terme monétaire. Puisque l'analyse des coûts s'opère en euros, seuls les dommages tangibles peuvent intégrer l'analyse tandis que des dommages tels que la mortalité humaine, traumatismes psychologiques, impacts sur l'environnement, dégradation du patrimoine architectural, impacts sur l'image de marque d'un territoire touristique, etc., ne sont pas intégrés. En plus, les dommages indirects peuvent être considérables et ne sont pas non plus intégrés (ex. impact sur l'économie de réseaux endommagés temporairement, coût de relogement des sinistrés, coût du dysfonctionnement des services publics, etc.).</p> <p>En outre, l'hypothèse à économie constante où l'on considère que le territoire wallon est figé dans son développement sur plusieurs décennies ne permet pas de prendre en compte l'évolution inévitable de l'aménagement sur le territoire. En effet, il est fort probable que les zones d'activités humaines subiront une évolution dans leur extension ou des modifications de leur vulnérabilité tandis que la durée d'analyse considérée est de plusieurs décennies.</p>	

Tableau 62. Synthèse des résultats de l'impact du risque d'inondation. Source : ICEDD, 2014.

PERSPECTIVES FUTURES

Pour aller plus loin...

- Améliorer la connaissance du facteur qui a permis d'extrapoler les résultats du surcoût des inondations du bassin de la Meuse à l'ensemble de la Wallonie.
- Etudier l'impact du changement climatique sur la recharge des nappes.
- Il serait par ailleurs souhaitable de lancer des travaux d'études et de recherche plus spécifiques sur les effets de l'augmentation de la température sur les infrastructures (détérioration accrue des routes et des ouvrages d'art en période de canicule mais détérioration réduite du fait d'hiver moins rigoureux).
- Sur base des résultats des études de recherche, il serait intéressant de tenter d'identifier et d'analyser les impacts du changement climatique sur les risques naturels.

Tableau 63. Proposition de recherches futures pour affiner les résultats de l'analyse sur les secteurs de la ressource en eau, des infrastructures et de l'aménagement du territoire. Source : ICEDD, 2014.

Les impacts des changements climatiques sur la gestion de l'eau urbaine ne peuvent être évalués qu'en partie. Des informations hydrologiques supplémentaires sont nécessaires, notamment sur l'évolution des niveaux des eaux souterraines, la fréquence d'épisodes de pluie courts mais intenses, les débits futurs, la fréquence des extrêmes et les variations annuelles.

Pour faire face aux différentes incertitudes inhérentes à la prévision de l'impact du changement climatique sur le comportement des nappes souterraines, seules des approches régionales permettront d'obtenir des informations quantitatives fiables et précises. Il est en effet essentiel d'avoir recours à des données détaillées en termes de prévision des évolutions de précipitations et de température. Pour ce faire, des modèles climatiques régionaux permettraient d'obtenir une précision et une fiabilité satisfaisantes concernant ce type d'informations. On notera à ce titre que les études de cas traitant du comportement futur des eaux souterraines sont encore relativement rares.

Du fait du manque de données, il n'a pas été possible d'analyser pleinement les multiples variables liées à l'impact de la température sur les infrastructures. Une modélisation plus précise s'impose en vue de mieux comprendre les impacts à petite échelle et les coûts afférents, pour des types d'infrastructures données.

Depuis 1997, la Wallonie intègre la gestion des risques naturels dans sa politique d'aménagement du territoire et d'urbanisme en axant ses priorités sur la prévention. À ce propos, la Direction générale opérationnelle Aménagement du Territoire, Logement, Patrimoine et Energie (DGO4) a commandité une série d'études pour définir des zones de contraintes autour des différents aléas (mise à jour de l'Atlas du Karst wallon et définition des zones de contraintes en relation avec les phénomènes karstiques ; inventaire des glissements de terrain et définition des zones de prévention ; classification des versants susceptibles de produire des éboulements de parois rocheuses et définition des zones de contraintes en relation avec cet aléas). Sur base des résultats de ces études, il serait intéressant de tenter d'identifier et d'analyser les impacts du changement climatique sur les risques naturels.

Cependant, il faut garder à l'esprit la complexité des phénomènes physiques intervenant dans le déclenchement et la propagation des aléas naturels ainsi que les incertitudes liées aux modélisations climatiques, et donc traiter les résultats disponibles avec précaution. Les tendances observées sont le plus souvent très localisées, parfois contradictoires et ne peuvent donc être généralisées pour l'instant.

Quant aux évolutions futures, il s'agira essentiellement de directions générales relevant du bon sens.

Il convient aussi de bien distinguer l'aléa, phénomène générateur de danger, du risque, situation potentielle dans laquelle un enjeu humain, un secteur, une activité... (avec un degré de vulnérabilité associé) est exposé à un aléa. Les conclusions dégagées des études peuvent donc n'être pas nécessairement transposables aux risques : ces derniers peuvent s'accroître même dans une situation d'aléa inchangée, si la vulnérabilité vient à augmenter, par exemple à cause d'une occupation croissante des zones exposées ou bien d'un défaut d'entretien des ouvrages de protection, ou encore d'un relâchement des précautions individuelles.

Toutefois, l'exigence d'anticipation veut que des solutions souples et évolutives soient adoptées dès à présent afin de « se préparer à l'inattendu » et de promouvoir une gestion flexible des risques naturels et de ce fait, il serait intéressant d'approfondir l'analyse.

2.7 SANTÉ

2.7.1 IDENTIFICATION DES IMPACTS

Le réchauffement climatique pourrait avoir deux types d'effets sur la santé humaine : d'une part des effets directs sur l'organisme, et de l'autre des effets indirects (changement des conditions de développement de germes pathogènes et de leurs vecteurs) (Ceron et Dubois, 2006).

En effet, d'après les analyses d'impact réalisées dans plusieurs pays européens et les travaux de recherche financés par l'Union européenne et l'EURO-OMS, le changement climatique devrait avoir des effets sur l'épidémiologie de nombreuses maladies et affections. Des rapports de l'OMS et du GIEC décrivant les incidences négatives de ce phénomène sur la santé humaine vont également dans ce sens.

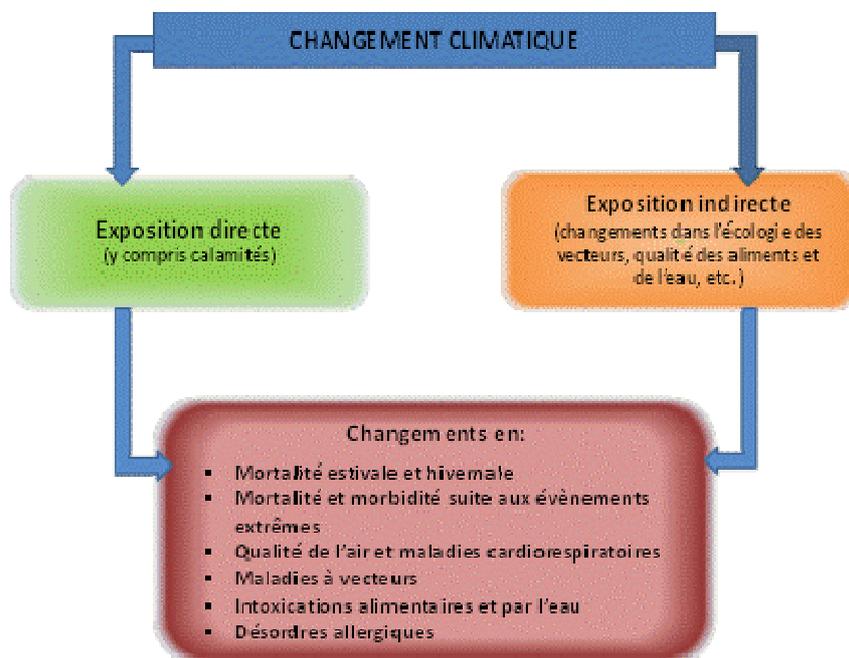


Figure 84. Impacts du changement climatique sur la santé. Source : European Climate Change Programme, Working Group II Impacts and Adaptation, Human Health Sectoral Report, 2007.

Cependant, en Wallonie, le risque infectieux et parasitaire est devancé, et de loin, par les méfaits directs du stress thermique.

LA SURMORTALITÉ ET MORBIDITÉ DÛ AU STRESS THERMIQUE

Un phénomène de stress lié à la chaleur pourrait survenir, ainsi que l'apparition d'un pic de surmortalité durant l'été. Un pic de surmortalité important a ainsi été observé durant la période caniculaire de l'été 1994 et 2003 (1250 décès supplémentaires en août 2003 en Belgique, par exemple).

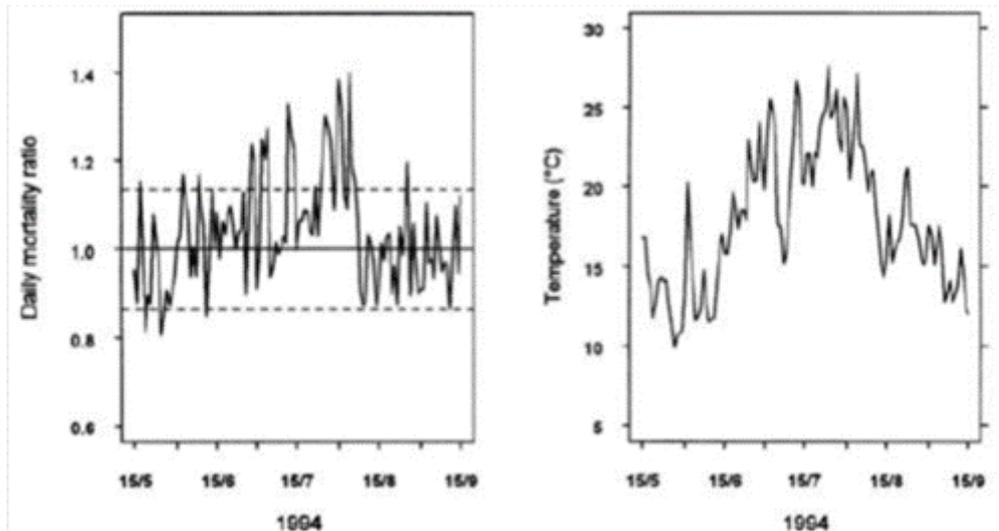


Figure 85. Ratio de la mortalité journalière et température observées durant l'été 1994 en Belgique. Source : ISP

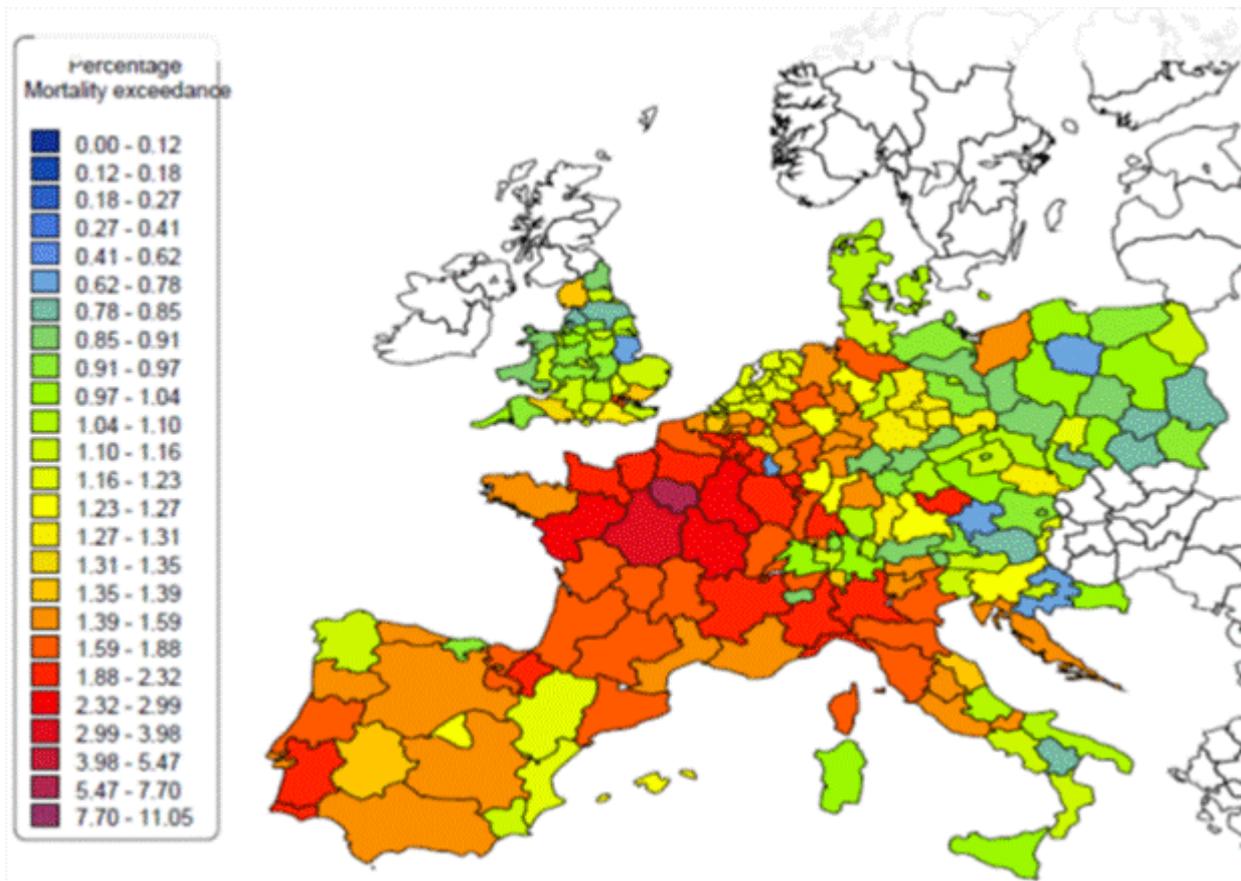


Figure 86. Pourcentage des décès excédentaires dans les différentes régions européennes le 12 août 2003. Source : Inserm, 2007.

De nombreux articles citent une baisse de la mortalité hivernale attendue grâce au changement climatique. Par exemple, au niveau européen, le projet PESETA estime que la diminution de la mortalité hivernale, assimilée à une mortalité liée à la baisse des températures, pourrait compenser l'augmentation de la mortalité estivale. Cependant, l'augmentation de mortalité observée en hiver peut être causée par de nombreux facteurs autres que la chute des températures : grippe, changement de régime alimentaire, baisse de luminosité.... De très grandes disparités sont ainsi observées en Europe, les pays les plus touchés n'étant pas les plus froids. Entre 1988 et 1997, la plus forte mortalité hivernale est observée au Portugal (+28 % [25-31 %]), en Espagne (+21 % [19-23 %]) et en Irlande (+21 % [18-24 %]). Il est difficile de projeter l'impact du changement climatique sur l'évolution de la mortalité hivernale, et une meilleure compréhension des mécanismes sous-tendant la mortalité hivernale et la mortalité spécifiquement liée au froid est nécessaire.

En Wallonie, le pic de surmortalité se produit actuellement en hiver. L'augmentation des températures durant l'hiver devrait réduire celui-ci, mais la hausse des températures en été ferait surgir un pic de surmortalité estivale. On assisterait donc à une inversion du rythme annuel de la mortalité. Selon l'ampleur de la hausse des températures, la surmortalité estivale compenserait ou non- ou même dépasserait- la surmortalité hivernale.

Les personnes les plus touchées par le stress thermique seraient les catégories les plus défavorisées de la population, et les femmes (qui règlent moins facilement leur température interne au-delà de 60 ans) (Greenpeace 2004).

LES MALADIES

Le premier type d'impacts indirects sur la santé serait l'apparition de maladies absentes actuellement, ainsi que la propagation de maladies qui y sont déjà présentes.

Maladies vectorielles

Dans la littérature, une grande attention est accordée à l'évolution des maladies vectorielles à la suite du changement climatique. Le GIEC s'attend à des modifications dans la transmission de maladies infectieuses par des vecteurs tels que les moustiques et les tiques en raison de l'évolution de leur aire de distribution, de leur période d'activité et de la taille de leur population (Confalonieri et al., 2007).

Des changements sont déjà observés dans la distribution des tiques. La limite de leur aire de distribution dans l'Union européenne se déplace vers le Nord et monte également en altitude; de plus, l'évolution vers des hivers plus doux pourrait conduire à un développement de leur population et, par conséquent, de l'exposition humaine à la borréliose de Lyme et à l'encéphalite à tiques.

L'encéphalite à tiques est une méningo-encéphalite virale transmise par des piqûres de tiques. A l'opposé que la borréliose de Lyme, cette maladie, également appelée FSME (Frühsommer Meningo-Enzephalitis), n'est pas présente en Belgique, mais bien dans les régions boisées d'Europe centrale et de l'est et dans certaines régions d'Europe du Nord.

Des études ont été effectuées pour déterminer si l'expansion de la distribution géographique de la maladie de Lyme vers le nord et l'augmentation de la densité du vecteur étaient reliées aux changements climatiques. Le vecteur primaire de la maladie en Europe est *Ixodes ricinus*. Le risque de contact avec des tiques est présent dès le début du printemps, lorsque la température se réchauffe, jusqu'à la fin de l'automne. Les tiques peuvent aussi être actives en hiver si la température est douce.

Selon plusieurs études, la distribution géographique et la densité de la population de la tique sont influencées par plusieurs facteurs d'interaction biotiques et abiotiques. Par exemple, l'accès à une population d'hôtes et à une végétation adéquate servant d'abris sont des facteurs importants pour la survie et le développement de la tique. Par contre, le climat représenterait la limite absolue quant à la distribution géographique possible de la tique et influence directement ou indirectement la densité de la population. En effet, il existe un seuil de température bioclimatique (température limite) permettant l'activité de la tique (4-5 °C), le développement et déposition des œufs (8-11 °C). Les nymphes et adultes résistent au gel, mais les œufs et larves y sont plus sensibles.

Un hiver plus léger et une augmentation du nombre de jours avec une température entre 5-8 °C (due à un prolongement du printemps et de l'automne) ont été notés dans les années '90 (comparativement aux années '80). Les observations scientifiques sont entre autre que la limite de la distribution de la tique repoussée vers le nord est liée à une diminution du nombre de jours en hiver avec une température inférieure à 12 °C, qu'une densité importante de tiques dans une région donnée semble être liée à un hiver moins rude combiné à une prolongation du printemps et de l'automne. Ainsi la limite nord de la distribution des tiques serait déterminée par le nombre annuel de jours au-dessus du seuil de température bioclimatique. Étant donné que le changement climatique est suspecté d'affecter d'avantage la température minimale que la température maximale dans les latitudes nordiques, les tiques peuvent se répandre dans des régions à plus haute latitude et aussi devenir plus abondantes dans les régions où une population était déjà établie si le climat est plus doux. Le climat influence ainsi la propagation de la tique et influence la période saisonnière permettant la transmission.

Ce phénomène est connu en Belgique : il y a une augmentation du nombre de cas de maladie de Lyme depuis le début des années 1990. Au cours de la dernière décennie, le nombre de personnes atteintes de la maladie de Lyme a connu une augmentation rapide en Belgique: on est passé de moins d'une centaine de cas à plus d'un millier par an (https://www.wiv-isp.be/epidemiologie/epifr/plabfr/plabanfr/10_041f_v.pdf).

Comme le nombre de tiques augmente lorsque les hivers sont doux, le changement climatique joue un rôle dans l'augmentation du nombre de personnes touchées par cette maladie. Ainsi, l'augmentation de l'incidence de la borréliose de Lyme en Europe est souvent mentionnée comme étant causée par le changement climatique (ce dernier provoquant aussi une augmentation de la densité des petits rongeurs, hôtes intermédiaires des tiques). Cette augmentation peut avoir plusieurs causes, mais des chercheurs suédois ont montré que la progression des tiques entre 1960 et 1998, était corrélée à l'augmentation des minima journaliers de température. Ceci suggère que les changements climatiques pourraient à l'avenir contribuer à l'augmentation du nombre de cas en Belgique. Divers auteurs ont toutefois soulevé des hypothèses contradictoires : en Belgique, une tendance des familles aisées à rechercher des habitations à proximité de forêts pourrait expliquer le phénomène (Linard C et al., 2007).

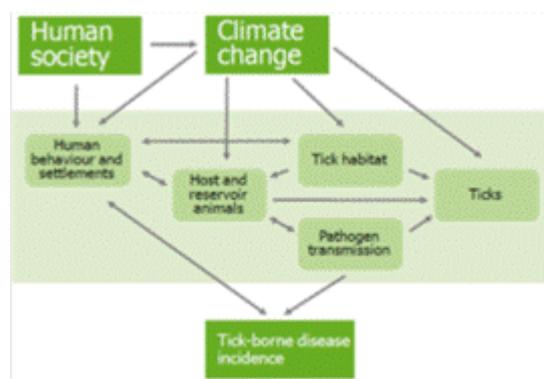


Figure 87. Changement climatique et incidence de la maladie de Lyme. Source : European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), 2014.

Intoxications alimentaires

Par ailleurs, l'accroissement des températures en été pourrait multiplier les risques d'intoxications alimentaires (Salmonella sp., etc.).

Salmonella est une bactérie qui cause une maladie appelée salmonellose chez les humains.

Dans l'Union européenne, plus de 100 000 cas humains sont signalés chaque année.

L'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) a estimé que le coût global de la salmonellose humaine pourrait atteindre 3 milliards d'euros par an.

Salmonella est fréquemment présente dans les intestins d'oiseaux et de mammifères sains. Elle peut se propager à l'homme par l'intermédiaire d'aliments contaminés. Dans les aliments, elle est le plus souvent détectée dans les œufs et la viande crue de porc, de dinde et de poulet. Selon Pires et al. (2011), dans 73,70 % des infections humaines d'origine alimentaire causées par Salmonella en Belgique, la viande de porc constitue la source de contamination. Avec ce chiffre, la Belgique est presque en tête parmi les Etats membres de l'Union européenne. Ce résultat peut néanmoins s'expliquer en partie par l'évolution favorable observée pour les salmonelles dans le secteur avicole (AFSCA, 2010 et Pires et al., 2011).

Les troubles allergiques

Les conditions météorologiques favorisent la production et la dispersion du pollen, et le climat influe sur les essences existantes dans une zone géographique donnée.

Le changement climatique devrait induire des modifications des zones de végétation (remontée de certaines espèces méditerranéennes vers le nord par exemple), allongement des périodes de pollinisation, déjà observé pour certaines espèces, voire augmentation des quantités de pollen produites.

La fin de la période de pollinisation est également souvent retardée, avec un retard moyen de cinq jours sur l'ensemble du continent européen et pour l'ensemble des espèces, même si l'on trouve des exceptions pour certaines plantes et localités. Ceci entraîne donc d'ores et déjà un allongement de la période d'exposition aux pollens allergisants pour les malades, allongement qui pourrait s'amplifier dans les années à venir.

De plus, même si peu d'études sont pour l'instant réalisées, l'élévation des températures devrait rendre le pollen plus allergisant. Ceci a été montré au niveau européen pour le bouleau, dont le pollen renferme d'autant plus d'allergène B et v1 que la température est élevée, et pour l'ambrosie *Ambrosia artemisiifolia* pour laquelle un réchauffement de 3,5 °C entraînerait une augmentation de 30 à 50 % en allergène Amb a1 dans les grains de pollen.

En plus, l'augmentation du CO₂, qui accompagne le réchauffement climatique, est susceptible d'accroître les quantités de pollen produite et leur allergénicité. Des modélisations sur le pollen d'ambrosie ont montré que la production de ce pollen devrait augmenter de 32 à 55 % entre 2070 et 2100, à cause de l'augmentation de la teneur en CO₂ de l'atmosphère (Chapman et al. 2014).

Avec le changement climatique, l'ambrosie profiterait d'un décalage des premières gelées en fin de saison pour produire plus de semences ou pour terminer son cycle de développement dans de nouvelles zones géographiques plus au nord.

Les effets de la hausse des températures sur la pollution pourraient se faire sentir par une recrudescence de l'asthme et des bronchiolites. En cause principalement, les pollens des arbres, des plantes et des herbes relâchés dans l'air durant la période de floraison, soit entre février et septembre, selon les espèces. De plus, la concentration des pollens dans l'air peut subir d'importantes variations, d'un jour à l'autre, d'une région à l'autre, fonction de la météo, des vents dominants, des espèces en présence et du calendrier des floraisons. Les jours secs et venteux connaissent des pics de pollen particulièrement élevés.

Une augmentation de la saisonnalité et de la durée des troubles allergiques («rhume des foins», asthme) est également possible avec le changement climatique, ce qui aurait des répercussions sur les coûts directs liés aux soins et aux médicaments ainsi que sur le nombre d'heures de travail perdues.

Enfin, le changement climatique pourrait avoir d'autres effets sanitaires indirects, à travers d'autres déterminants de la santé, comme la qualité de l'air intérieur et extérieur, le niveau de pollution atmosphérique et la nature, la dangerosité et la périodicité des allergènes présents dans l'air, comme le pollen ou la moisissure.

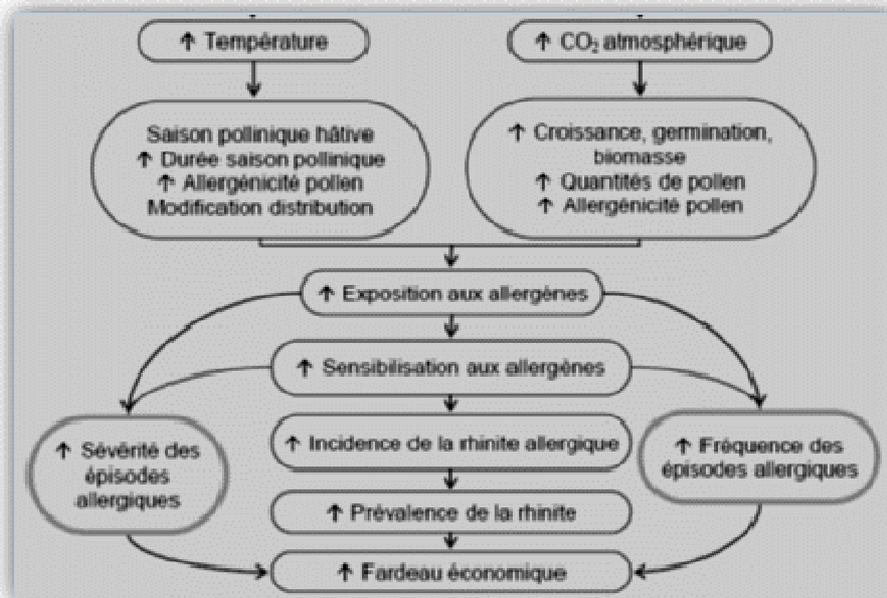


Figure 88. Impact du changement climatique sur les troubles allergiques saisonniers.

Le changement climatique pourrait ainsi induire plusieurs conséquences sur la pollinisation: une augmentation des concentrations de pollens dans l'air du fait de la fréquence accrue d'un temps chaud, ensoleillé et exempt de fortes précipitations (Besancenot, 2007) ; une précocité des saisons polliniques comme cela a été prouvé pour le bouleau au niveau européen (Emberlin et al., 2007) et un déplacement de l'aire de répartition de nombreuses espèces végétales (dont certaines fortement allergisantes) du Sud vers le Nord (ambroisie, pollen d'oliviers, certaines graminées...).

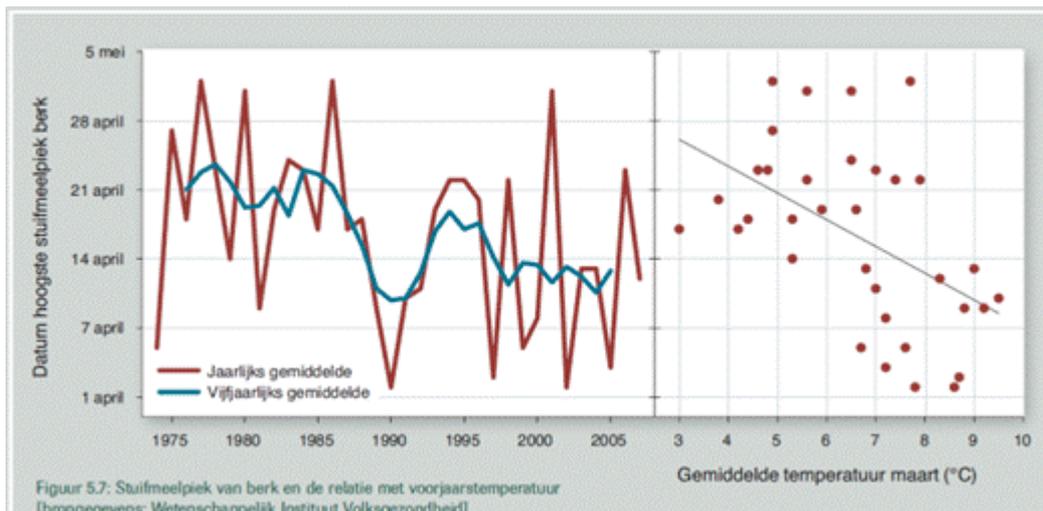


Figure 89. Date du plus grand pic de pollen de bouleau. Source : ISP, 2013.

La plus grande précocité de la date de début de pollinisation est bien décrite dans le cas du bouleau, mais est aussi retrouvée dans la plupart des taxons d'arbres fleurissant en fin d'hiver ou au printemps.

En effet, sous les effets du réchauffement climatique et de certains polluants capables d'agir sur la croissance des végétaux, les pollens sont de plus en plus variés et apparaissent de plus en plus précocement, notamment en fin d'hiver et en début de printemps. Au final, la quantité des pollens s'est fortement accrue car la saison des pollens ne s'est pas seulement décalée dans le temps mais s'est aussi étendue en durée. Les groupes potentiellement menacés comprennent les enfants et les personnes âgées ainsi que les personnes souffrant déjà de maladies respiratoires chroniques telles que l'asthme, des allergies graves ou la bronchopneumopathie chronique obstructive.

Maladies liées à une plus forte exposition aux UV

Un autre effet indirect du changement climatique sur la santé est lié à l'évolution potentielle des rayonnements ultraviolets. L'évolution des UV dans une perspective de changement climatique est à l'heure actuelle incertaine. Certains modèles prédisent une diminution très marquée des précipitations et de la couverture nuageuse au-dessus d'une partie de l'Europe en été qui conduirait à une augmentation du rayonnement ultraviolet. Des premières mesures de quantité d'UV par maille de 25 km² ont montré une augmentation du rayonnement UV en juin durant la dernière décennie comparée à la décennie précédente. De plus, des étés plus longs et une augmentation des journées ensoleillées pourraient conduire à des changements comportementaux qui augmenteraient l'exposition de la population aux rayonnements ultraviolets.

Il semble logique que si l'ensoleillement augmente, statistiquement les maladies liées à une plus forte exposition aux UV, comme des cancers de la peau, devraient augmenter. En effet, les UV-A, comme les UV-B, sont mutagènes pour les cellules de la peau humaine.

En Europe, on prévoit dans les prochaines années une augmentation de 22 % du nombre de ce type de cancers chez les sujets âgés de plus de 65 ans, et de 50 % chez ceux de plus de 80 ans.

De plus, le réchauffement climatique peut engendrer un développement des sorties à l'extérieur exposant plus aux rayonnements UV les effets délétères pourraient se combiner : à l'augmentation de l'ensoleillement estival associée à une exposition probablement plus fréquente des individus, se cumulerait l'augmentation globale d'UV consécutive à la diminution de la couche d'ozone. En effet, il a déjà été démontré que la hausse des

températures ambiantes aura une influence sur les choix vestimentaires et sur le temps passé à l'extérieur, ce qui pourrait accroître l'exposition aux ultraviolets dans certaines régions (Confalonieri et al., 2007).

Le projet EUROSUN relatif à la quantification de l'exposition au soleil en Europe et de ses effets sur la santé examine certains aspects de la menace potentielle que représentent les UV. Ce projet financé par le programme communautaire dans le domaine de la santé vise à surveiller l'exposition aux ultraviolets et ses liens avec l'incidence des cancers de la peau, dont le mélanome malin, et de la cataracte.

DIMINUTION DU CONFORT, DU BIEN-ÊTRE ET DE LA PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL

L'être humain doit maintenir constante la température de son organisme. L'effort physique la fait augmenter, ce qui diminue la tolérance à la chaleur. Les vagues de chaleur sont une entrave aux performances des travailleurs. A des températures de plus de 30 °C, une baisse des performances intellectuelles et physiques est constatable aux latitudes moyennes de l'Europe centrale, les Etats Unies ou l'Australie (Ramsey, 1995). Une humidité élevée est un handicap supplémentaire qui nuit également aux performances déjà amoindries par la chaleur.

Le stress thermique est la charge totale qui s'exerce sur l'organisme et qui résulte de la production métabolique de chaleur à l'effort, de l'apport de chaleur de sources externes (température de l'air, humidité relative, circulation de l'air, ensoleillement et rayonnement de surfaces) et de l'isolement procuré par les vêtements.

Pour la plupart des gens, la plage de températures de confort se situe entre 20 et 27°C, pour une plage d'humidité comprise entre 35 et 60 %. En dehors de ces plages de température et d'humidité, ils éprouvent une sensation d'inconfort. Tant que l'organisme est capable de réagir et de s'adapter aux conditions de chaleur et d'humidité ambiantes, il n'en subit pas de conséquences néfastes. Au-delà, il existe des conséquences pour la santé (exceptionnellement très graves) et pour la productivité du travail.

Un organisme humain en santé maintient une température corporelle constante d'environ 37°C. Une fluctuation de moins de 1°C selon l'heure de la journée, le niveau de dépense énergétique lié à l'effort et l'état de stress ou hormonal est normale. Un écart de plus de 1 °C est le signe d'un dépassement des mécanismes de thermorégulation. Lorsque la température ambiante augmente, la température corporelle a tendance à augmenter. L'organisme réagit pour maintenir sa température interne constante en augmentant le débit sanguin périphérique et en augmentant les déperditions calorifiques par la sueur. Il augmente ainsi le transfert de chaleur vers l'environnement pour contrebalancer l'apport de chaleur ambiante. Dans une ambiance chaude très sévère, le gain de chaleur dépasse les capacités d'élimination et la perte et la température corporelle augmente, ce qui pose des risques pour la santé.

Au niveau international, au cours des dernières décennies, la hausse des températures moyennes et de l'humidité ambiante durant les mois les plus chauds ont diminué de 10% la capacité de travail pour les activités exposées au stress thermique, (Dunne et al., 2013). D'ici 2050, cette capacité de travail pourrait chuter de 20% au total, les travailleurs employés dans l'agriculture, la construction et les forces armées faisant partie des professions les plus exposées. D'après les modélisations informatiques réalisées pour l'étude de Dunne et al., 2013, les pays à risque sont ceux qui sont déjà soumis à un stress thermique important. Par ordre décroissant, les zones les plus vulnérables sont la péninsule arabique, le sous-continent indien, l'Asie du sud-est, le nord de l'Australie et toute la région des Caraïbes, y compris la basse vallée du Mississippi. Le modèle utilisé dans l'étude est fondé sur une hausse de 0,8 °C et de 5% d'humidité en 2010 par rapport à la moyenne annuelle d'une période s'étendant de 1860 à 1960. Il prévoit un réchauffement compris entre 1,4 et 1,7°C et une hausse de l'humidité de 11% d'ici 2050 par rapport à la même période de référence.

2.7.2 ANALYSE DES COÛTS

Impacts quantifiés	En termes physiques		En termes monétaires
	Situation actuelle	En 2050	
Mortalité estivale	X	X	X
Morbidité estivale (maladies respiratoires à cause de la chaleur)	X	X	X
Mortalité hivernale	Lien direct avec le changement climatique pas démontré		
Intoxication alimentaire (Salmonellose)	X	X	X
Maladies à vecteurs (maladie de Lyme)	X	X (état de l'art)	
Recrudescence des pollinoses	X	X (état de l'art)	
Exposition aux rayonnements UV	Manque d'évidence scientifique		
Diminution de la productivité du travail	Impact très faible ou nul en Wallonie (pays du Sud plus concernés)		

Tableau 64. Synthèse des impacts quantifiés sur la santé. Source : ICEDD, 2014.

Pour comprendre les répercussions du changement climatique sur la santé, il est plus facile de parler de variations du taux de décès et de l'incidence des maladies supplémentaires que l'on peut prévoir en général. Toutefois, une estimation (même grossière) des effets économiques peut s'avérer utile pour illustrer et évaluer les répercussions du changement climatique sur la santé. En effet, le changement climatique comporte des coûts sociaux qui, sans se retrouver dans les livres comptables nationaux, demeurent importants au moment d'attribuer les fonds publics. Pour cette raison, les paragraphes suivants montrent une estimation des impacts sur la mortalité et la morbidité liées à la chaleur en termes physiques et monétaires à l'horizon 2050.

De nombreux articles citent une baisse de la mortalité hivernale attendue grâce au changement climatique. Cependant, l'augmentation de mortalité observée en hiver peut être causée par de nombreux facteurs autres que la chute des températures. De très grandes disparités sont ainsi observées en Europe, les pays les plus touchés n'étant pas les plus froids (par exemple, entre 1988 et 1997, la plus forte mortalité hivernale est observée au Portugal, en Espagne et en Irlande). Le nombre de décès en hiver en Wallonie est principalement attribuable aux décès par pneumonie et infections respiratoires et par accidents cardio-vasculaires, davantage que les rares décès à cause du froid intense (p. ex., hypothermie). Les pics de mortalité en hiver s'observent pendant les vagues de froid, les épidémies de grippe (et autres infections) et les périodes de pollution. Par conséquent, la hausse des températures relative aux futurs changements des conditions climatiques est peu susceptible d'être un facteur important des taux de décès en hiver en Wallonie. Par conséquent, la diminution de la mortalité hivernale en 2050 n'est pas estimée dans la présente étude. De plus, il est difficile de projeter l'impact du changement climatique sur l'évolution de la mortalité hivernale car une meilleure compréhension des mécanismes sous-tendant la mortalité hivernale et la mortalité spécifiquement liée au froid est nécessaire.

Une quantification de l'évolution des cas de salmonelloses et de leurs coûts associés est présentée dans les paragraphes qui suivent.

Concernant la maladie de Lyme, il n'est pas possible de prédire l'effet du changement climatique sur l'augmentation de la population de tiques en Wallonie. Un climat plus doux et sec aura une influence sur la biologie des tiques. Le contact humain avec les tiques est susceptible d'augmenter sous un climat plus doux qui

ferait augmenter les activités récréatives à l'extérieur. Cependant, il pourrait y avoir une augmentation ou une diminution de la proportion de tiques infectées avec les génotypes Borrelli qui génèrent la maladie de Lyme. Le lien entre le changement climatique et l'émergence de maladies transmises par vecteur est très complexe et reste encore à prouver. L'écologie des maladies transmises par des vecteurs est extrêmement complexe, ce qui rend la transmission et le mécanisme de production des maladies difficiles à comprendre. Le réchauffement global peut être certes un facteur de risque, mais on ne peut savoir à quel point. Les prédictions d'une augmentation considérable de la maladie de Lyme ne sont pas démontrées dans la littérature et le niveau élevé d'incertitudes ne permet pas de quantifier cet impact potentiel. Cependant, la situation actuelle en Wallonie ainsi qu'un état de l'art découlant des recherches les plus récentes sur la situation future sont présentés dans la présente étude.

Les projections actuelles montrent une augmentation de l'exposition au pollen qui entraînerait une augmentation des allergies. Cependant la disponibilité de données aerobiologiques et épidémiologiques est limitée pour pouvoir associer l'évolution de l'asthme et des allergies aux changements climatiques observés car les études climatologiques se basent généralement sur des séries données sur une période d'au moins 30 ans. En plus, les nouveaux pollens allergisants qui apparaîtraient pourraient toucher la population qui n'est pas vulnérable actuellement. Les preuves scientifiques actuelles suggèrent que les changements qui ont eu lieu ces dernières décennies sur la phénologie, la production de pollen, la prévalence des allergies et la distribution géographique des plantes sont spécifiques aux espèces et aux régions. Une floraison plus précoce a aussi été démontrée mais les effets sur les allergies sont spéculatifs et la relation cause-effet n'a pas été tout à fait démontrée (la prévalence des allergies diminue dans certains pays contrairement à l'évolution de la phénologie et de la production de pollen). Pour ces raisons, l'augmentation des allergies à l'horizon 2050 en Wallonie n'a pas pu être quantifiée mais des travaux de recherche en cours qui pourraient permettre cette quantification dans le futur sont exposés dans les paragraphes qui suivent.

L'impact sur la santé de l'exposition aux rayonnements ultraviolets (UV) n'a pas été quantifié parce qu'actuellement les relations entre le changement climatique et la radiation solaire n'ont pas été démontrées scientifiquement (Paci, 2014, PESETA II).

En ce qui concerne la quantification de la productivité au travail, l'être humain peut s'adapter à une hausse des températures moyennes. La comparaison avec des pays du Sud montre que travail et performances sont possibles aussi à des températures plus hautes. Le changement climatique aura des impacts négatifs sur la productivité du travail seulement dans quelques régions. Le projet ClimateCost a estimé les impacts du changement climatique sur la productivité au travail future en pertes du nombre de jours de travail liées à la chaleur. L'étude conclut que le climat actuel et futur a seulement un impact dans le Sud de l'Europe (les auteurs estiment qu'on passerait d'environ 0,14% de jours perdus actuellement à 0,4 - 0,9% en 2080 sous le scénario A1B). Sous les scénarios climatiques futurs, les pertes de productivité étaient négligeables à l'Ouest et au Nord de l'Europe. Ces régions ont des climats tempérés et la majorité de l'emploi se trouve dans le secteur des services ce qui limite l'exposition des travailleurs à des températures extrêmes. Les pertes de productivité estimées pour l'Europe représentent 300 - 740 millions € en 2080 (A1B) en utilisant une valeur monétaire de perte de productivité de 287 € par jour. Dans le passé, des innovations ont plusieurs fois entraîné des mutations subites et profondes du monde du travail. La diffusion des ordinateurs et d'Internet par exemple n'était pas prévisible il y a quarante ans. Parallèlement à cette évolution, la majorité des emplois est passé ces dernières décennies, en Wallonie, de travaux physiques en plein air à des activités assises, en bureaux et à l'intérieur. A l'avenir donc, la montée de la température moyenne n'influera que faiblement sur les prestations de travail en Wallonie. En plus, l'importance future du climat pour le monde du travail est difficile à évaluer en comparaison à d'autres changements. Par contre, l'adaptation à court terme à des vagues de chaleur est difficile. Si ces dernières augmentent, comme on s'y attend, cela pourrait donc avoir des effets négatifs sur les prestations de travail.

Les données de mortalité sont disponibles via le Registre national qui centralise les données de population et de mortalité transmises par les communes de Belgique.

Il ressort de ces données que la mortalité est plus importante pendant les mois d'hiver. Une augmentation hivernale est observée pour les décès par pneumonie et infections respiratoires et par accidents cardiovasculaires. Les pics de mortalité en hiver s'observent pendant les vagues de froid, les épidémies de grippe (et autres infections) et les périodes de pollution. Les pics de mortalité d'été sont plutôt à mettre en relation avec les températures extrêmes parfois associées à des pics d'ozone.

Il n'existe pas une définition globale d'une vague de chaleur. Deux définitions sont utilisées en Belgique:

- Pour l'Institut royal météorologique (IRM), une vague de chaleur correspond à une température maximale quotidienne de 25 °C ou plus pendant 5 jours et atteignant en outre au moins 30 °C pendant 3 jours au cours de cette période.
- Dans le plan vague de chaleur et pics d'ozone belge, une vague de chaleur est définie comme suit : une période d'au moins 3 jours consécutifs avec une température moyenne minimale (c.-à-d. la moyenne sur ces 3 jours et non par jour) supérieure à 18,2 °C à Uccle (percentile 95) et une température moyenne maximale supérieure à 29,6 °C à Uccle (percentile 95).

Les épisodes de forte chaleur peuvent être associés à un accroissement de la mortalité. Les décès se produisent surtout chez des personnes fragilisées et/ou isolées chez qui l'hyperthermie ou la déshydratation peuvent provoquer des perturbations graves du métabolisme.

Durant la période caniculaire du mois d'août 2003 en Europe, plus de 50000 décès excédentaires ont été enregistrés (Brücker, 2005), essentiellement parmi les personnes de 65 ans et plus.

En Belgique, une étude de l'Institut Scientifique de Santé Publique a montré que la vague de chaleur de l'été 1994, associée à des valeurs élevées d'ozone troposphérique, avait causé en six semaines 1226 décès supplémentaires (dont 236 dans le groupe d'âge 0-64 ans). Les vagues de chaleurs des étés 2003 et 2006 ont causé en Belgique une surmortalité de 1230 cas et plus (Sartor F., 2004) et de 1263 cas (Maes, S. et al., 2006) parmi les personnes de 65 ans respectivement. Les données d'excès de mortalité de la vague de chaleur de 2010 pour toute la population belge sont estimées à 4% chez les personnes âgées de 65-84 ans, et à 5% chez les personnes âgées de plus de 85 ans. Le nombre de décès serait supérieur de 8,5% durant l'été de 2013, ce qui représente 600 décès supplémentaires. Les données actuellement disponibles ne permettent pas de mettre en évidence, durant les étés 2010 et 2013, une augmentation comparable à celle, significative, de 2003 et 2006 en termes d'excès de mortalité (toutes causes confondues).

Les données sur la mortalité du Registre National sont utilisées par le programme Be-Momo (Belgian Monitoring of Mortality). Ce programme a mis en place un modèle statistique permettant d'estimer aussi rapidement que possible les excès de mortalité en période de canicules. Ce programme est géré au niveau de l'Institut Scientifique de Santé Publique (WIV-ISP). Be-MOMO utilise les données de mortalité comme mesure précoce d'impact en cas d'évènement de santé publique de portée nationale ou internationale. À cette fin, le programme statistique de Be-Momo tourne chaque semaine afin de détecter d'éventuels excès de mortalité. Pendant les périodes à risque (vague de froid, épidémie de grippe, pandémie, canicule, autre), un bulletin hebdomadaire est soumis aux autorités de santé afin de les informer de la situation. D'autre part, la Belgique participe au projet Euro-Momo qui propose un modèle statistique simplifié standardisé entre les pays européens participants. Les données agrégées d'EUROMOMO sont publiées chaque semaine dans les bulletins de l'ECDC (WISO) et l'OMS-EURO (EUROFLU).

Depuis 2008, le Service public fédéral (SPF) Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement a mis en place un plan de gestion des vagues de chaleur et des pics d'ozone³⁵. Ce plan est mis en œuvre avec les régions.

En Région wallonne, en 2003, durant la vague de chaleur du 31 juillet au 13 août, on a observé un excès significatif de décès (Cox, 2008) essentiellement chez les personnes de 65 ans et plus. La surmortalité a été de 31 % chez les 65-84 ans et de 36 % chez les personnes de 85 ans et plus. Au total, on estime que 364 personnes de 65 ans et plus sont décédées de manière anticipée dans le décours de cette vague de chaleur.

En 2006, durant la vague de chaleur du 10 au 30 juillet, on a observé un excès de mortalité de 12 % en Wallonie chez les personnes âgées de 65 à 84 ans et de 22 % chez les personnes de 85 ans et plus, soit un total de 257 décès.

Vague de chaleur du 31 juillet au 13 août 2003	Personnes âgées de 65 à 84 ans		Personnes âgées de 85 ans et plus	
	Surmortalité en %	Nombre de décès excédentaires	Surmortalité en %	Nombre de décès excédentaires
Région wallonne	31	231	36	133
Région bruxelloise	20	37	33	40
Région flamande	16	179	24	148

Vague de chaleur du 10 au 30 juillet 2006	Personnes âgées de 65 à 84 ans		Personnes âgées de 85 ans et plus	
	Surmortalité en %	Nombre de décès excédentaires	Surmortalité en %	Nombre de décès excédentaires
Région wallonne	12	131	22	126
Région bruxelloise	8	20	15	27
Région flamande	12	208	21	208

Tableau 65. Pourcentage et nombre de décès excédentaires constatés lors des vagues de chaleur des années 2003 et 2006 en Belgique selon les régions. Source : ISP, 2007

Les chercheurs soulignent le fait que les résultats ci-dessus sous-estiment probablement la mortalité due à la chaleur, car, pendant ces deux étés, un excès significatif de mortalité a également été observé pendant les périodes chaudes ne répondant pas à la définition de vague de chaleur de l'IRM (soit du 13 au 23 juillet 2003 et du 30 juin au 6 juillet 2006).

³⁵ Cfr. <http://www.health.belgium.be/eportal/Myhealth/Risksanddiseases/Healthrisks/Ozoneandheatwaves/index.htm>

Estimation de la mortalité en 2050

Plusieurs études qui ont estimé l'augmentation annuelle en nombre de cas de mortalité prématuré et d'hospitalisations liés à la chaleur pour la période 2021-2050 montrent que l'impact en nombre de décès excédentaires et d'hospitalisations serait bien supérieur que celui observé pendant la vague de chaleur de 2003 en Europe.

La méthode de retour d'expérience ne peut pas être appliquée pour évaluer la mortalité. Dans ce cas, sur la base de l'impact quantitatif des vagues de chaleur historiques sur la mortalité, et sur la base d'un nombre projeté de répétition de cet événement en contexte de changement climatique en 2050, on pourrait tenter d'évaluer l'impact potentiel des événements caniculaires sur la santé. Concrètement on regarderait combien de fois une vague de chaleur de type 2003 pourrait se reproduire et on en déduirait les coûts associés. Cependant, la contrainte posée à ce travail est d'avoir une méthodologie à la fois simple et suffisamment robuste sur le plan théorique pour définir le nombre de vagues de chaleur de type 2003 que l'on estime pouvoir se produire à l'horizon 2050. Le modèle climatique présenté dans le premier chapitre donne des projections sur les températures futures et sur l'augmentation avérée du nombre de jours de canicules estivales à partir de 2050 (entre + 0,41 et + 18 jours en 2050 selon le scénario humide ou sec ; + 2,3 jours selon les projections moyennes) en Wallonie. Néanmoins, cette tendance sur les températures futures ne peut pas être directement extrapolée à la multiplication des épisodes des vagues de chaleur de type 2003, 2006 ou 2010. Ainsi, si les températures moyennes ou le nombre de jours de canicules estivales augmentent en valeur de x % en été, on ne peut pas en déduire mécaniquement que les vagues de chaleur augmenteront de x % en fréquence et de y % en impact.

De nombreuses études ont été menées sur l'impact de l'augmentation de la température sur la mortalité et, dans une moindre mesure, sur la morbidité via des indicateurs de recours aux soins. Une revue de la littérature est présentée à l'annexe santé. Cette annexe montre une série d'articles scientifiques qui ont projeté la mortalité attribuable au changement climatique futur en utilisant différents scénarios climatiques ainsi que les scénarios et hypothèses utilisés et les résultats publiés par quelques pays et régions.

La plupart des articles et des études montrent une augmentation considérable de la mortalité avec le changement climatique. **En plus, la plupart des études ne tiennent pas compte des changements démographiques futurs (tel que le vieillissement de la population, les personnes plus âgées étant les plus vulnérables à la chaleur, les résultats des études risquent d'être sous-estimés).** L'acclimatation diminuera la mortalité due à l'augmentation de la température et aux vagues de chaleur mais ne va pas éliminer l'impact du changement climatique sur la mortalité. Les études existantes utilisent différents modèles climatiques, scénarios d'émission, périodes, expositions à la température et hypothèses. Par conséquent, il est difficile de comparer les résultats des études existantes et d'utiliser des résultats harmonisés pour différentes périodes et localisations. De plus, des interrogations demeurent sur l'existence ou non de seuils critiques de température par rapport à la santé publique dans la majorité des articles. **Il n'est donc pas possible de réaliser une méta-analyse des études répertoriées pour obtenir une estimation des impacts du changement climatique sur la mortalité liée à l'augmentation de la température et aux vagues de chaleur pour la Wallonie en 2050.**

Cependant, la relation entre la température et la mortalité est en train de prendre une importance toute nouvelle dans le contexte du changement climatique et ces toutes dernières années la Commission européenne a été très active dans le domaine. Les figures ci-après montrent les résultats des articles scientifiques sélectionnés qui ont étudié la relation entre la température et la mortalité sur lesquels se sont basés les projets européens en cours.

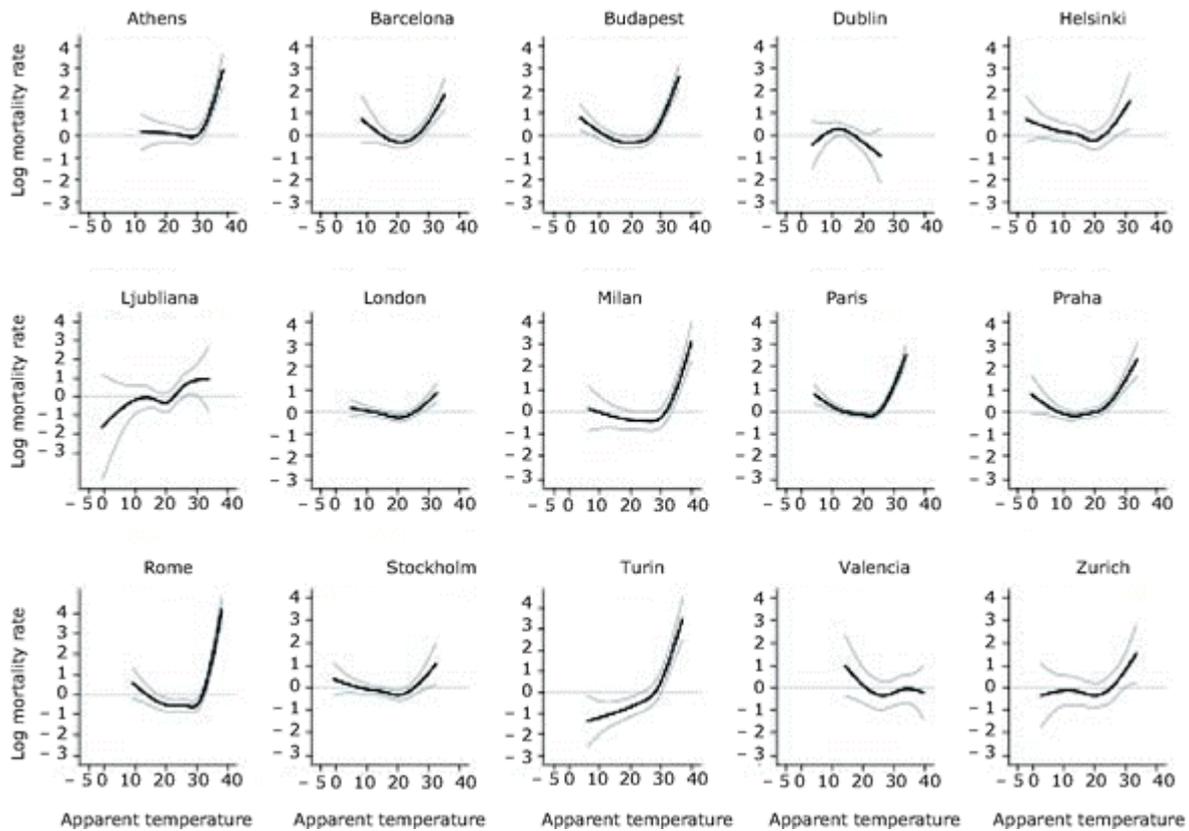


Figure 92. Relation entre la température et la mortalité dans 15 villes européennes. Source: World Health Organization Regional Office for Europe (WHO/Europe), European Environment Agency (EEA).

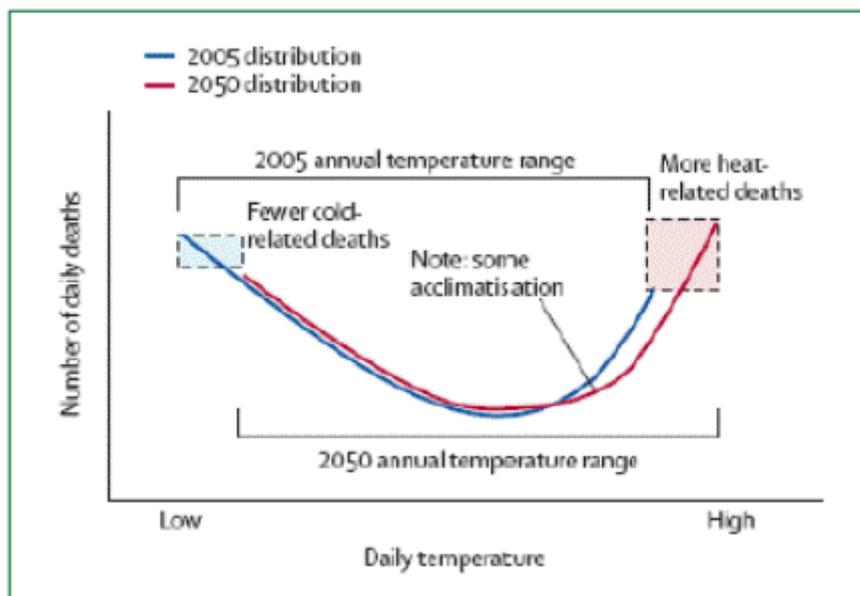


Figure 93. Distribution de la température et la mortalité, Source: McMichael et al., 2006.

L'existence d'une telle courbe en "U" ou en "V" a déjà été mise en évidence dans différents pays.

La démonstration a été faite que la relation température-mortalité suit dans les pays soumis à un climat "tempéré" de latitudes moyennes, une courbe en "U" plus ou moins dissymétrique. Cette courbe est caractérisée par l'existence d'un optimum thermique souvent bien marqué, spécialement chez les personnes âgées. Mais, toutes choses égales par ailleurs, cet optimum se situe à un niveau d'autant plus élevé que l'on considère un climat plus chaud.

Un réchauffement uniforme dans le temps comme dans l'espace (hypothèse par laquelle il est indispensable de passer) se traduirait par une diminution du nombre de jours inférieurs à l'optimum et par une augmentation du nombre de jours supérieurs à ce même optimum.

Compte tenu de la pente plus forte de la courbe température-mortalité du côté des fortes chaleurs, la mortalité générale pourrait s'en trouver légèrement accrue en Wallonie en 2050. Mais la répercussion la plus franche serait une inversion du rythme annuel de la mortalité, avec passage de l'actuelle surmortalité d'hiver à une franche surmortalité d'été où les maladies cardiovasculaires et respiratoires pourraient jouer un rôle prépondérant.

A partir des conclusions tirées de toutes les études récentes consultées, un relèvement thermique de 2,8°C (prévision d'augmentation de la température moyenne en Wallonie en 2050) serait suffisant pour entraîner une telle inversion. Encore le développement de phénomènes d'adaptation est-il susceptible de neutraliser ou, à tout le moins, de ralentir cette évolution.

Le plus inquiétant pour l'avenir n'en reste pas moins la probable multiplication des paroxysmes thermiques, du côté du froid mais surtout du côté de la chaleur. Dans ce cas, il faut s'attendre à de dramatiques épisodes de surmortalité, à l'image de ce que la France a vécu, par exemple, durant l'hiver 1985 ou l'été 2003, le vieillissement de la population et sa concentration de plus en plus forte dans les agglomérations urbaines pouvant contribuer à accentuer les risques, surtout sur la saison estivale, éventuellement élargie à la fin du printemps et au début de l'automne.

Comme l'ont relevé les climatologues, le réchauffement concernerait essentiellement les températures nocturnes, ce qui provoque généralement le maximum de mortalité dans la mesure où l'organisme, après avoir supporté la chaleur de la journée, ne trouve plus le moyen de récupérer pendant la nuit.

Selon le GIEC (2012), à horizon 2050, les vagues de chaleur qu'actuellement auraient lieu une fois tous les 20 ans, auront lieu en moyenne tous les 2 à 5 ans.

A noter que la quantification en termes de mortalité et de morbidité réalisée dans la présente étude prennent en compte les impacts potentiels des vagues de chaleur qui engendraient des décès et des hospitalisations additionnels au ceux générés par l'augmentation de la température.

Au niveau international, on estime que la mortalité augmente de 2 à 5 % lorsque la température croît d'un degré sous un certain seuil (WHO-EURO, 2008).

Dans les pays de l'UE, on estime que la mortalité augmente de 1 à 4 % lorsque la température croît d'un degré, ce qui signifie que la mortalité liée à la chaleur pourrait connaître :

- une hausse de 30000 décès par an d'ici les années 2030 et de 50000 à 110000 décès par an d'ici les années 2080 (projet PESETA).
- une hausse de 26000 décès par an d'ici les années 2020, de 89000 décès par an d'ici les années 2050 et de 127000 décès par an d'ici les années 2080 (scénario A1B, projet ClimateCost).

Le projet PESETA II, en utilisant et affinant les résultats de ces deux projets, vient d'estimer une augmentation de 41556 décès supplémentaires par an pendant la période 2010-2040 et de 140000 pendant les 30 dernières années du siècle en Europe (résultats publiés en février 2014, les fonctions exposition-réponse utilisés dans la modélisation de ce projet sont présentés en annexe).

Si la mortalité due à la chaleur augmentera dans toutes les régions, le Sud de l'Europe expérimentera des niveaux plus élevés de décès supplémentaires.

Dans les paragraphes qui suivent, le nombre de décès excédentaires attribuables au changement climatique en Wallonie est estimé en utilisant deux méthodes :

- Le projet ClimatCost a estimé le nombre annuel de décès supplémentaires attribuables à la chaleur en Belgique en 2050. Une estimation du nombre de décès excédentaires en Wallonie est réalisée en utilisant le ratio des décès excédentaires historiques lors de vagues de chaleur en Wallonie et en Belgique et le ratio mortalité wallonne/mortalité belge.
- Le projet PHEWE (Baccini et al., 2008) a estimé le changement de la mortalité totale en % par 1°C sur le seuil de température estivale de 23,3 °C. Une estimation du nombre de décès attribuables au changement climatique est réalisée en utilisant les projections climatiques pour la Wallonie en 2050 et le changement de la mortalité en % par 1°C sur le seuil de température estivale de 23,3 °C par groupe d'âge.

Les données sur l'évolution de la mortalité en Wallonie totale et par groupe d'âge sont présentées dans l'annexe Santé.

Estimation selon les résultats du projet ClimateCost

Selon les projections du projet ClimateCost, environ 1500 décès se produiront en Belgique en 2050 à cause de la chaleur.

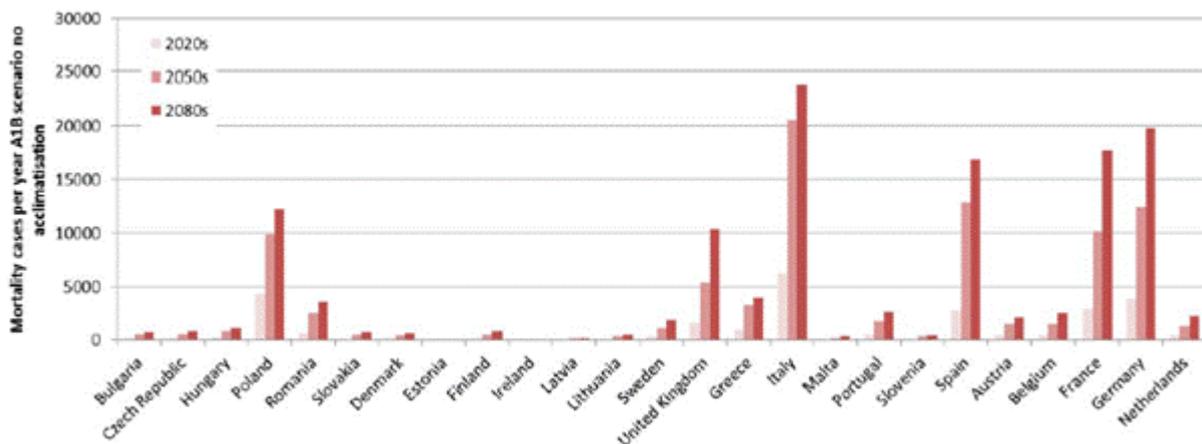


Figure 94. Mortalité annuelle liée à la chaleur (nombre de décès par pays) compare au scénario climatique de référence 1961-1990, en 2020 (2011- 2040), 2050 (2041-2070) et 2080 (2071-2100) pour le scénario d'émissions A1B sans acclimatation. Source : ClimateCost project, 2011 (www.climatecost.eu).

En tenant compte que 35% de la mortalité belge se produit en Wallonie mais que les vagues de chaleur de 2006 et 2003 ont généré 36 et 47% de décès chez les personnes belges âgées de 65 ans et plus en Wallonie, la mortalité annuelle attribuable au changement climatique en Wallonie s'élèverait à **environ 600 décès excédentaires en 2050.**

Estimation selon les résultats de Baccini et al., 2008

	Mediterranean	North-continental
Heat threshold	29.4	23.3
0-64	0.92 (-1.92, 3.13)	1.31 (-0.94, 3.72)
65-74	2.13 (-0.42, 4.74)	1.65 (-0.5, 3.87)
75+	4.22 (1.33, 7.20)	2.07 (0.24, 3.89)
All ages	3.12 (0.60, 5.72)	1.84 (0.06, 3.64)

Tableau 66. Effets de la chaleur sur la mortalité par groupe d'âge: Changement de la mortalité en % par 1°C au-dessus d'un seuil de température (intervalle de confiance 95%). Source: Baccini et al., 2008

A partir des conclusions tirées de cette étude, de la température estivale maximale moyenne en Wallonie (d'environ 22°C de juin à août) et de l'augmentation moyenne de température de 2,8°C prévue en Wallonie en 2050, la relation entre chaque augmentation de 1 °C et l'augmentation des décès à appliquer à la Wallonie serait de 1,31% pour les personnes de 0 à 64 ans, 1,65% pour les personnes de 65 à 74 ans et 2,07% pour les personnes de 75 ans et plus.

Les décès qui se produiraient à cause du changement climatique peuvent être prédits à l'aide des données de mortalité par groupe d'âge en Wallonie (voir annexe) en appliquant ces pourcentages d'augmentation du nombre de décès.

Sur cette base, **le nombre de décès supplémentaires, attribuables à la chaleur, que pourrait susciter le changement climatique en Wallonie sont estimés à 670 en 2050.**

Estimation de la morbidité en 2050

L'augmentation prévue de la température moyenne et les vagues des chaleurs qui auront lieu dans les prochaines décennies à cause du changement climatique auront des impacts sanitaires sur la morbidité.

Les maladies respiratoires constituent la deuxième cause de décès en Europe et les coûts associés à ces maladies sont importants. En outre, la littérature montre que les vagues de chaleur ont un impact important sur la mortalité et la morbidité et génèrent une augmentation des maladies respiratoires.

Åström C et al. 2013 ont évalué le nombre d'admissions hospitalières à cause de problèmes respiratoires occasionnés par la chaleur en Europe dans un climat futur.

La figure ci-après montre que la proportion d'admissions hospitalières à cause de problèmes respiratoires sous l'effet de la chaleur pourrait varier entre 0,1 et 0,37% en Belgique d'ici à la moitié du siècle. L'intervalle de ces chiffres montre cependant une grande étendue des valeurs possibles, qui varient selon les scénarios climatiques utilisés. Le scénario A2, qui est un scénario d'émissions élevé, montre des chiffres plus bas que le scénario moyen A1B parce que l'augmentation de la température dans le scénario A1B est plus élevée jusqu'à 2050.

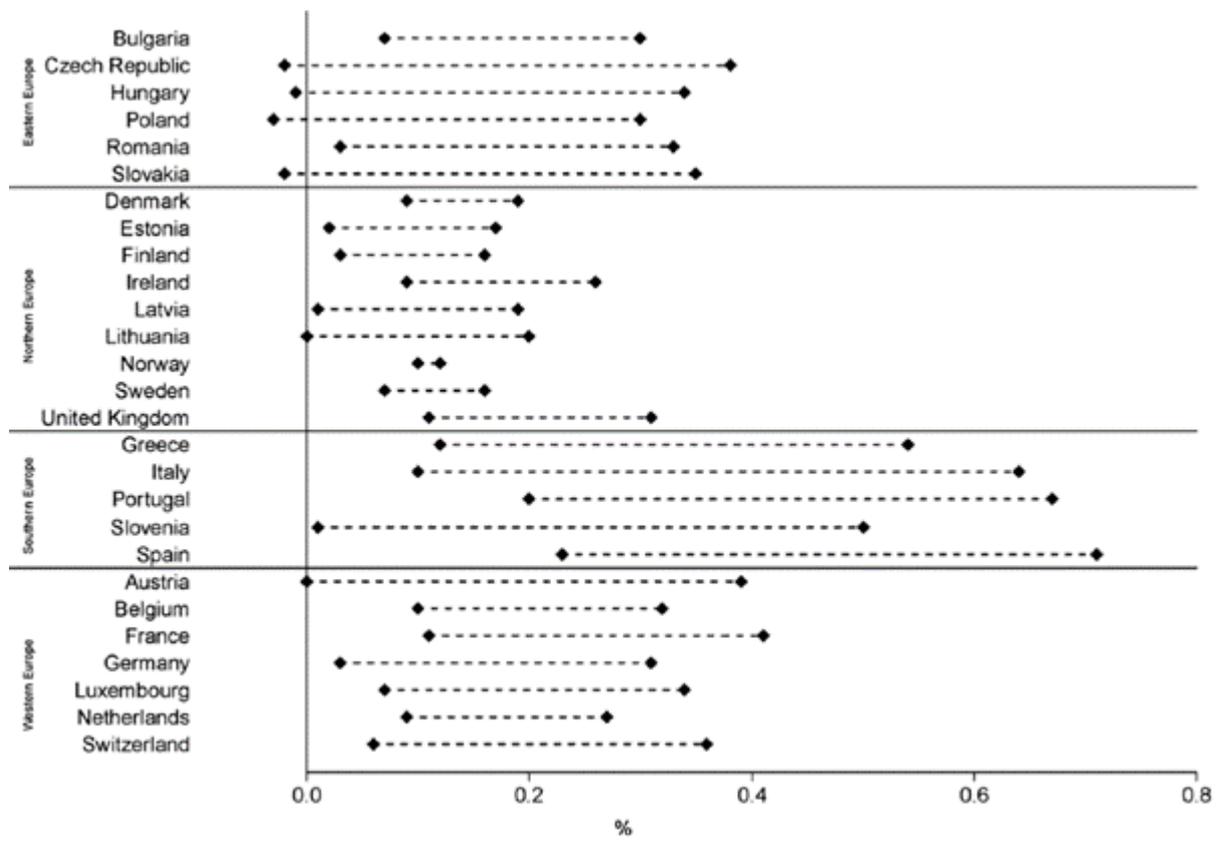


Figure 95. Intervalle d'augmentation des hospitalisations avec des problèmes respiratoires dus à la chaleur entre 1981–2010 et 2021–2050 en pourcentage du nombre espéré d'hospitalisations respiratoires dans chaque pays européen (les points indiquent les estimations plus élevées et plus basses pour quatre modèles climatiques sous les scénarios d'émission A1B et A2). Source : Åström C et al. 2013.

En 2050, environ 0,4% des admissions hospitalières en relation au système respiratoire en Europe seraient dues à la chaleur ce qui représente 26000 admissions annuelles. Dans la période actuelle, environ 0,18% des admissions hospitalières pour des problèmes respiratoires sont liées à l'effet de la chaleur, ce qui représente environ 11000 admissions annuelles. Ces résultats suggèrent que le nombre d'hospitalisations pour cause de problèmes respiratoires dus à la chaleur vont plus que doubler en Europe à l'horizon 2050.

Region	1981–2010	2021–2050	Change
Eastern Europe	0.17% (0.16–0.19%)	0.31% (0.29–0.35%)	0.14% (0.11–0.17%)
Northern Europe	0.13% (0.10–0.15%)	0.27% (0.19–0.32%)	0.14% (0.07–0.17%)
Southern Europe	0.23% (0.18–0.26%)	0.64% (0.42–0.68%)	0.41% (0.23–0.44%)
Western Europe	0.18% (0.16–0.20%)	0.39% (0.34–0.45%)	0.21% (0.17–0.26%)
EU27	0.18% (0.10–0.26%)	0.40% (0.19–0.68%)	0.21% (0.07–0.44%)

Tableau 67. Pourcentage d'admissions hospitalières attribuées à la chaleur dans chaque région européenne. Les intervalles montrent les pourcentages nationaux maximal et minimal dans chaque région européenne. Source : Åström C et al. 2013.

Les données relatives au nombre d'admissions hospitalières en Belgique et en Wallonie sont présentés en annexe.

Pendant la période 2000-2010, une moyenne de 3 millions d'admissions hospitalières a eu lieu en Belgique dont 1,7 million en hospitalisation classique (avec nuitée). Environ 117000 admissions hospitalières annuelles pour des problèmes respiratoires sont enregistrées en Belgique dans les hôpitaux classiques.

En Wallonie, on dénombre en moyenne une admission à l'hôpital pour 6 habitants (162 séjours pour 1000 habitants), ce qui représente environ 550000 admissions par an dont **environ 44000 admissions hospitalières pour des problèmes respiratoires.**

Selon les estimations d'Astrom et al. 2013, environ 79 hospitalisations pour des problèmes respiratoires par an seraient attribuables à la chaleur actuellement en Wallonie. Avec le changement climatique, le nombre annuel d'hospitalisations classiques passerait à environ 171 en 2050, ce qui représente **une augmentation de 92 hospitalisations classiques (avec nuitée) annuelles pour des problèmes respiratoires à cause de la chaleur en Wallonie à la moitié du siècle.** Cette augmentation concernerait surtout les maladies respiratoires chez les personnes les plus âgées.

A noter qu'en Belgique, l'hospitalisation classique – avec nuitée – est complétée par un système d'hospitalisation de jour et de policlinique dont le nombre d'admissions n'est pas repris ici. En effet, en cas d'hospitalisation de jour, le patient subit un traitement pour lequel une infrastructure hospitalière est requise mais rentre chez lui le jour-même. On distingue aussi l'hospitalisation de jour chirurgicale et l'hospitalisation de jour non chirurgicale liée à une utilisation ou non du bloc opératoire. Depuis 2004, le nombre d'hospitalisations de jour augmente d'année en année et atteint aujourd'hui le même nombre d'admissions que l'hospitalisation classique.

Traduction en termes monétaires

Mortalité liée à la chaleur

Pour évaluer les coûts de l'inaction qui découlent de la non-adoption de mesures d'adaptation permettant de faire baisser la surmortalité due à la chaleur (et d'autres mesures environnementales comme celles qui permettent de limiter l'exposition à la pollution atmosphérique), on peut utiliser des estimations de la valeur d'une vie statistique (VVS) tirées d'études d'évaluation contingente (estimations du consentement à payer) ou d'études sur le marché du travail (prix hédonistes).

Au départ de tout débat sur les conséquences économiques du changement climatique sur la santé, il faut reconnaître que la vie humaine n'a pas de prix. Au lieu d'essayer d'attacher une valeur à la vie d'une personne, la plupart d'études recourent à un paramètre reconnu, un indicateur de bien-être appelé « valeur d'une vie statistique » (VVS). Généralement parlant, on obtient la VVS en calculant le montant qu'une population est disposée à déboursier pour réduire un peu le risque de décès, autrement dit sa volonté de payer pour éviter un décès en son sein. Les gouvernements emploient fréquemment la VVS pour quantifier les avantages d'une nouvelle réglementation destinée à réduire les risques de décès au sein d'une population. Ils peuvent ensuite comparer ces avantages aux coûts de la réglementation au moyen d'une analyse coûts-bénéfices.

Si la valeur d'une vie statistique (ou valeur d'une fatalité évitée) est le consentement à payer d'un individu pour une réduction marginale de son risque de mortalité (cette valeur correspond à ce qu'un individu est prêt à payer pour une réduction à la marge d'un risque mortel), la valeur d'une année de vie est le consentement à payer des individus pour une augmentation de leur espérance de vie.

L'étude NEW EXT de la DG Recherche de la Commission européenne a estimé ces valeurs pour analyser les coûts des morts prématurés dues à la pollution de l'air en Europe en se basant sur trois enquêtes réalisées simultanément au Royaume Uni, en France et en Italie (évaluation contingente). Cette étude utilise 1,11 million d'euros comme valeur d'une vie statistique et 59000 euro de valeur d'une année de vie. Ces valeurs ont été utilisées par le projet PESETA pour estimer les coûts de la mortalité due à la chaleur en Europe sous un climat futur. Cependant, les deux dernières études européennes (ClimateCost et PESETA II) ont affiné ces valeurs et utilisent 1,16 million d'euros comme valeur d'une vie statistique et 63000 euros de valeur d'une année de vie.

On dit que les gens qui meurent prématurément ont perdu des années potentielles de vie. L'espérance de vie à la naissance de l'ensemble de la population résidant en Wallonie (sexes réunis) est de 78,7 ans en 2013. On peut définir le terme « prématurément » en fonction de l'espérance de vie moyenne d'une personne selon son sexe, ou encore appliquer une valeur arrondie (disons 79 ans) à tous. Ainsi, une personne qui meurt à 65 ans à cause d'une vague de chaleur aurait perdu 14 années potentielles de vie.

Jusqu'à présent, il n'y a pas d'évidence empirique robuste sur les années perdues suite à la mortalité pour la chaleur. Dans la pratique, cela dépendra de l'âge au moment du décès, des régions et de l'exposition des personnes. Les analyses réalisées par ClimateCost et PESETA II ont utilisé, en se basant sur les études d'impact de la pollution de l'air les plus récentes, une valeur moyenne de 0,5 années de vie perdues pour chaque décès dû à la chaleur.

Les études précédentes (Kovats et al, 2006; Watkiss and Hunt, 2011) ont utilisé une valeur moyenne de 8 années de vie perdues pour chaque décès dû à la chaleur. Cependant, les études récentes européennes sur les risques environnementales de la pollution de l'air utilisent des valeurs entre 0,5 et 2 années de vie.

Les décès excédentaires estimés pour la Wallonie en 2050 avec l'hypothèse de 0,5 années de vie perdues en moyenne sont utilisés pour indiquer l'impact (en termes d'années potentielles de vie perdue et de valeur d'une vie statistique) de la chaleur sur la population wallonne à l'horizon 2050.

Nombre de décès excédentaires	Coût à partir de la valeur d'une année de vie (0,5 années de vie perdues en moyenne) Million d'euros	Coût à partir de la valeur d'une vie statistique Million d'euros
670	21,1	777

Tableau 68. Coût estimé de la mortalité à partir de la valeur d'une année de vie et de la valeur d'une vie statistique. Source : ICEDD, 2014

Les problèmes respiratoires à cause de la chaleur

Les coûts moyens d'hospitalisation par séjour ont été repris de la dernière version des indicateurs de la santé de l'OCDE et de la banque de données belge relatives à l'utilisation des moyens médicaux dans les hôpitaux qui contient des informations sur les coûts des traitements médicaux et sur le type de soins dispensés (<https://tct.fgov.be/webetct/etct-web/html/fr/index.jsp>) car les données spécifiques wallonnes sur le coût des hospitalisations ne sont pas disponibles.

Coûts hospitaliers		Source
Coût moyen par séjour	5445 euros	Banque de données belge, 2014
Coût moyen par séjour	4200 euros	OCDE, 2011
Durée moyenne du séjour	3,4 jours	OCDE, 2011

Tableau 69. Coût moyen par séjour hospitalier en Belgique.

A partir des données de la banque de données belge, le **coût annuel de la morbidité attribuable à l'augmentation d'hospitalisations classiques à cause de problèmes respiratoires générés par la chaleur en 2050 est estimé à environ 0,5 million d'euros en Wallonie.**

QUANTIFICATION DES IMPACTS DE LA SALMONELLE EN WALLONIE

L'impact en Wallonie

Les salmonelles sont des bactéries très fréquentes dans l'alimentation. On pourrait presque dire qu'elles contaminent tous les aliments. Toutefois, elles se développent lorsque les conditions sont favorables: chaleur et humidité participent beaucoup à leur multiplication.

En Europe, bien que la salmonellose ait significativement décliné ces dernières années, elle restait en 2011 la deuxième maladie zoonotique la plus fréquemment signalée chez l'homme, avec 95548 cas signalés. La diminution constante des cas chez l'homme reflète les résultats des programmes de contrôle de *Salmonella* mis en place par les États membres de l'Union européenne et la Commission européenne, qui ont conduit au déclin des infections à *Salmonella* dans les populations de volailles, en particulier chez les poules pondeuses (et donc dans les œufs) et les poulets.

Selon la littérature, l'infection alimentaire chez l'homme se fait le plus souvent en préparant ou en cuisant mal des aliments déjà contaminés. Avant tout, sont connus pour leur risque de contamination avec *Salmonella* la viande de poule, les œufs crus et les produits de viande, comme le porc ou le bœuf (moins fréquent), mais aussi le lait, les fruits de mer et les jus de fruits frais.

Ceci dit, chez le consommateur à la maison il existe aussi des possibilités d'intoxication avec *Salmonella*, à travers la contamination croisée qui peut se produire dans la cuisine. Par exemple, les planches, en bois ou en PVC, pour couper les légumes ou la viande, et encore plus les serpillières sont reconnues comme espace de contamination avec *Salmonella* dans la maison.

Chaque année en Belgique, on estime que 150 nouveaux cas de salmonellose apparaissent pour 1000 habitants, ce qui en fait le premier problème de toxi-infection causée par la consommation d'aliments.

Depuis 1962 toutes les données belges concernant les salmonelloses sont gérées par le Centre de Référence National des *Salmonella* et *Shigella* (CNRSS) de l'Institut Scientifique de santé publique (ISP) à Bruxelles.

A partir de données de la base de données européenne de la Santé pour tous (<http://www.euro.who.int/fr/data-and-evidence/databases/european-health-for-all-database-hfa-db>) et du rapport annuel de l'ISP (2013), l'évolution du nombre de cas de salmonellose en Belgique est présentée ci-après.

Belgique	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Nombre de cas de salmonellose	10891	10391	10840	11294	10754	12008	14239	14514	15774	14088	11065

Belgique	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Nombre de cas de salmonellose	10075	12792	9543	4916	3693	3975	3944	3208	3660	3231	3170

Tableau 70. *Salmonella* d'origine humaine : Evolution du nombre de cas (six sérovars les plus importants) de 1990 à 2010. Source : ISP, 2013

Les salmonelles vivent dans le tube digestif et, lors de l'abattage, peuvent se retrouver dans la chaîne alimentaire via des contaminations lors des manipulations en abattoir. En Belgique, les cas les plus fréquents sont observés avec les poulets. En effet, la petite taille des animaux favorise, lors de ces manipulations, les contaminations de la viande par les bactéries du tube digestif. C'est pourquoi des normes strictes d'hygiène y sont appliquées. Les salmonelles peuvent également être présentes dans le jaune d'œuf mais beaucoup moins souvent qu'auparavant. Les poules pondeuses de batterie sont actuellement vaccinées contre *Salmonella* afin de limiter les problèmes. Il est à noter que les œufs de poules élevées au sol contiennent un peu plus souvent des salmonelles.

Selon les données du CRNSS il existe en Belgique depuis la fin des années 80 une augmentation épidémique des cas de salmonelloses chez l'homme. La quantité totale de cas d'infections à *Salmonella* a connu son niveau le plus haut en 1999, avec 15774 cas.

L'augmentation, depuis les années quatre-vingt, est due presque intégralement à l'accroissement du sérotype le plus fréquent, *Salmonella enteritidis*. La présence de *Salmonella enteritidis* a été multipliée par dix et représentait en 1999, 2003 et 2004 respectivement 66, 71 et 58 % de tous les cas d'infections à *Salmonella* chez l'homme en Belgique. Les infections dues à ce sérotype chez l'homme se produisent principalement par la consommation d'œufs crus ou insuffisamment cuits (par exemple, dans la mayonnaise fraîche ou dans des desserts : tiramisu, mousse au chocolat) ou de viande de poules insuffisamment cuite (par exemple, pour la préparation de potage).

À partir de 1999, on a observé en Belgique chaque année une réduction des cas dus au sérotype *enteritidis*, et donc également de la totalité des cas d'infections à *Salmonella*, à l'exception de 2003. L'augmentation en 2003 doit probablement résulter de l'influence des températures élevées de cette année, bien que d'autres facteurs aient sans doute pu aussi jouer un rôle.

Après le sérotype *enteritidis*, le deuxième type que l'on découvre est *typhimurium*. Ensemble, ces deux types représentent 90 % de tous les différents sérotypes de *Salmonella* qu'on trouve chez l'homme en Belgique. Les infections à *Salmonella typhimurium* proviennent le plus souvent en consommant de la viande crue ou insuffisamment cuite de porc et dans une moindre mesure de bœuf.

En conséquence, les œufs et les produits de viande de volaille et de porc représentent le risque le plus grand pour l'infection chez l'homme par *Salmonella*.

Le nombre de cas confirmés de salmonelloses a fortement diminué depuis 2004. Cette diminution s'explique par la mise en place du programme de lutte chez les pondeuses et par la vaccination obligatoire depuis 2005. Cette vaccination a pour effet de réduire à la fois l'excrétion de germes de *Salmonella* dans l'environnement et le nombre de germes excrétés par les œufs.

La présence de *Salmonella* dans la chaîne d'alimentaire est influencée par les saisons et montre son pic chaque année pendant les mois d'été. Cette présence est confirmée par l'échantillonnage d'animaux dans le Centre d'Études et de Recherches Vétérinaires et Agrochimiques (CERVA) et par l'Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire (AFSCA).

Pendant l'année 1997, en Belgique 21 personnes sont mortes suite à une infection à *Salmonella*, dont 7 hommes et 14 femmes. Les personnes mortes étaient le plus souvent des personnes âgées de plus de 65 ans : 19 des 21 décès, dont 11 de plus de 80 ans. Le nombre de décès suite à *Salmonella* pour cette même année était de 18,4 % du nombre total de morts suite à une infection du tube digestif dans la population belge.

En 2003 les infections à *Salmonella* se présentaient le plus souvent chez les enfants âgés de moins de 5 ans, c'est à dire 40 % de tous les cas. Il n'y a pas de grandes différences entre les sexes. Les cas de décès dus à *Salmonella* se présentent le plus souvent chez les personnes âgées de plus de 65 ans. Cette tendance se répète si l'on analyse consécutivement les sérotypes *enteritidis* et *typhimurium*.

Bien qu'il soit connu dans quelle mesure la chaîne alimentaire (poules, poulets, porc et bœuf) est affectée par les contaminations à *Salmonella*, il n'existe en Belgique aucune recherche sur la façon par laquelle le consommateur s'infecte par *Salmonella* à travers certains aliments dans sa maison. De plus, on suspecte que le nombre de cas d'épidémies de toxi-infections alimentaires dus à *Salmonella* (plus de deux cas provenant de la même source alimentaire) rapportés à l'AFSCA soit sous-estimé.

Une autre tendance au niveau des infections à *Salmonella* en Belgique est le fait que les provinces flamandes soient plus touchées que la Wallonie.

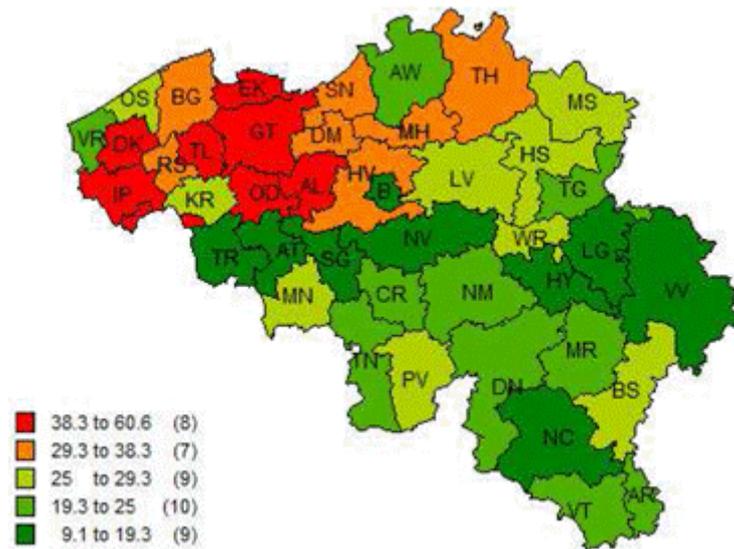


Figure 96. *Salmonella* totales d'origine humaine, distribution par arrondissement et taux d'incidence (nombre de cas confirmés par le CNRSS/100000 habitants, Belgique, 2012). Source : ISP, 2013

En 2012 la plupart des arrondissements flamands comptaient entre 29 et 61 infections à *Salmonella* par 100000 habitants. Pour la Wallonie, le nombre de cas par 100000 habitants et par arrondissement se situe entre 9 et 29.

La cause pour les possibles différences entre la Flandre et la Wallonie, et dans une certaine mesure entre la Belgique et ses pays voisins, pourrait être vue dans le cadre de l'utilisation plus fréquente d'œufs crus dans la préparation de repas chez le consommateur (par exemple pour la mayonnaise fraîche, la purée de pommes de terre, les desserts, etc.) ou de viande crue (haché de porc).

Estimation de cas de salmonellose en 2050

Les maladies infectieuses sensibles à la température, comme les infections d'origine alimentaire par *Salmonella* risquent de prendre de l'importance avec le changement climatique futur.

D'après une étude récente de la salmonellose en Europe (cCASHh project), la fréquence de cette maladie augmente de 5-10% pour chaque augmentation de 1°C de la température de l'air au-delà d'une base de 5°C, (D'Souza et al., 2004).

Des études récentes indiquent que la charge de morbidité pourrait être considérable en Europe :

- Le projet PESETA (scenarios A2 et B2), sur la base de Kovats, 2003, donne une estimation d'environ 20000 cas supplémentaires par an d'ici les années 2030 et 25000 à 40 000 cas supplémentaires par an d'ici les années 2080 sans tenir compte de la réglementation actuelle dans le domaine de la sécurité alimentaire qui montre une tendance du nombre de cas à la baisse.
- Le projet ClimateCost (scenario A1B), sur la base de Kovats, 2004, donne une estimation d'environ 5600 cas supplémentaires par an d'ici les années 2020 (période 2011-2040), 8800 cas supplémentaires par an d'ici les années 2050 (période 2041-2070) et 9300 cas supplémentaires par an d'ici les années 2080 (période 2071-2100). Cependant, si le nombre de cas ne diminue pas dans le futur en continuant la tendance actuelle (tendance des années 2000 stable), le nombre annuel de cas supplémentaires de salmonelloses attribuables au changement climatique est estimé à 6800 en 2020 (période 2011-2040), 13030 en 2050 (période 2041- 2070) et 16915 en 2080 (période 2071-2100).

Les résultats du projet ClimateCost sont présentés ci-après.

Additional salmonellosis cases/year for EU27, A1B scenario			
	2020s (2011-2040)	2050s (2041-2070)	2080s (2071-2100)
Population change only, constant rate			
Climate change, constant case rate	6848	13,030	16,915
Climate change, decreasing case rate	5614	8834	9319

Tableau 71. Estimation du nombre annuel de cas de salmonelloses attribuables au changement climatique dans l'UE 27 en 2020 (2011-2040), 2050 (2041-2070) et 2080 (2071-2100) pour le scénario A1B. Source : ClimateCost project, 2011 (www.climatecost.eu).

Des séries du taux d'incidence de la Salmonella en Europe et par pays sont présentées dans l'outil de données HEIDI - DG SANCO, Commission européenne³⁶. Le pourcentage des cas de salmonelloses en Belgique dans le total de l'UE27 estimé sur base de ces données est d'environ 5% jusqu'à 2004 et de 3% au cours des dernières années. A partir des conclusions tirées des rapports annuels de l'ISP et de la proportion actuelle de cas de salmonelloses en Belgique par rapport au total en Europe, le pourcentage du nombre de cas de salmonelloses en Wallonie en relation à l'Europe serait d'environ 1%.

A l'aide des prévisions pour 2050 en l'UE27 en tenant compte de la tendance actuelle à la baisse de l'incidence des salmonelloses et du taux de cas en Wallonie en relation à l'UE27, le nombre annuel de cas supplémentaires de salmonelloses que pourrait générer le changement climatique en Wallonie sont estimés à environ **90 cas supplémentaires en 2050**.

³⁶ HEIDI est une application interactive qui présente des informations sur la santé au niveau européen. L'outil présente une liste de 88 indicateurs, regroupés en quatre sections (facteurs démographiques et socio-économiques, l'état de santé, déterminants de la santé et interventions de santé: les services de santé, une cinquième section sur la promotion de la santé est actuellement en cours de développement). Les indicateurs ont été identifiés par le projet ECHI (indicateurs de santé de la Communauté européenne) et mis au point par un groupe d'experts. La plupart des données sont fournies par Eurostat, mais de nombreux indicateurs sont compilés en s'appuyant également sur d'autres sources, telles que the European Surveillance System (TESSy), l'OMS, l'OCDE, des programmes spécifiques et des bases de données spécialisées. Les données couvrent tous les États membres de l'UE, et les pays de l'AELE et souvent également les pays candidats. L'outil de données HEIDI permet aux visiteurs d'analyser les données par pays et par an, et aussi par région (niveau sous-national) si l'information est disponible. Les résultats peuvent être affichés dans les graphiques linéaires, des graphiques à barres, de cartes ou de tables; les utilisateurs peuvent exporter les données et les images dans les formats les plus courants.

Traduction en termes monétaires

Les projets PESETA et ClimateCost (sur base de valeurs récentes de Watkiss & Hunt 2011), estiment tous les deux un coût entre 3500 et 7000 euros par cas de salmonellose avec un coût moyen de 5250 euros pour tous les pays. Ce coût moyen est aussi similaire au coût estimé par Buzby et al. (1996).

Sur cette base, **le coût annuel des cas supplémentaires de salmonelloses attribuables au changement climatique en Wallonie serait d'environ 0,47 million d'euros en 2050 (0,7 million d'euros si l'incidence ne diminue pas dans le temps suite à la mise en place d'une meilleure réglementation).**

Une méthode plus précise d'estimation des coûts consisterait à estimer les coûts supplémentaires que le changement climatique inflige au système de soins de santé en Wallonie. Elle porterait essentiellement sur les cas supplémentaires de maladies associées à l'intoxication alimentaire. L'estimation des coûts qui découlent de ces maladies tiendrait compte des dépenses publiques consacrées à l'hospitalisation, aux consultations en salle d'urgence, aux médicaments et aux consultations dans les cabinets médicaux. Ces données, qui serviraient à estimer les coûts, ont été demandées à l'INAMI mais ne sont pas disponibles dans les bases de données belge.

QUANTIFICATION DES IMPACTS DE LA MALADIE DE LYME EN WALLONIE

L'impact en Wallonie

Incidence de la maladie de Lyme

La maladie de Lyme ou borréliose, provoquée par la bactérie *Borrelia burgdorferi*, est l'affection la plus fréquemment transmise par des tiques. Les vecteurs responsables de la transmission de la bactérie sont des tiques, acariens du genre *Ixodes*. En Europe, il s'agit d'*Ixodes ricinus*, la tique commune.

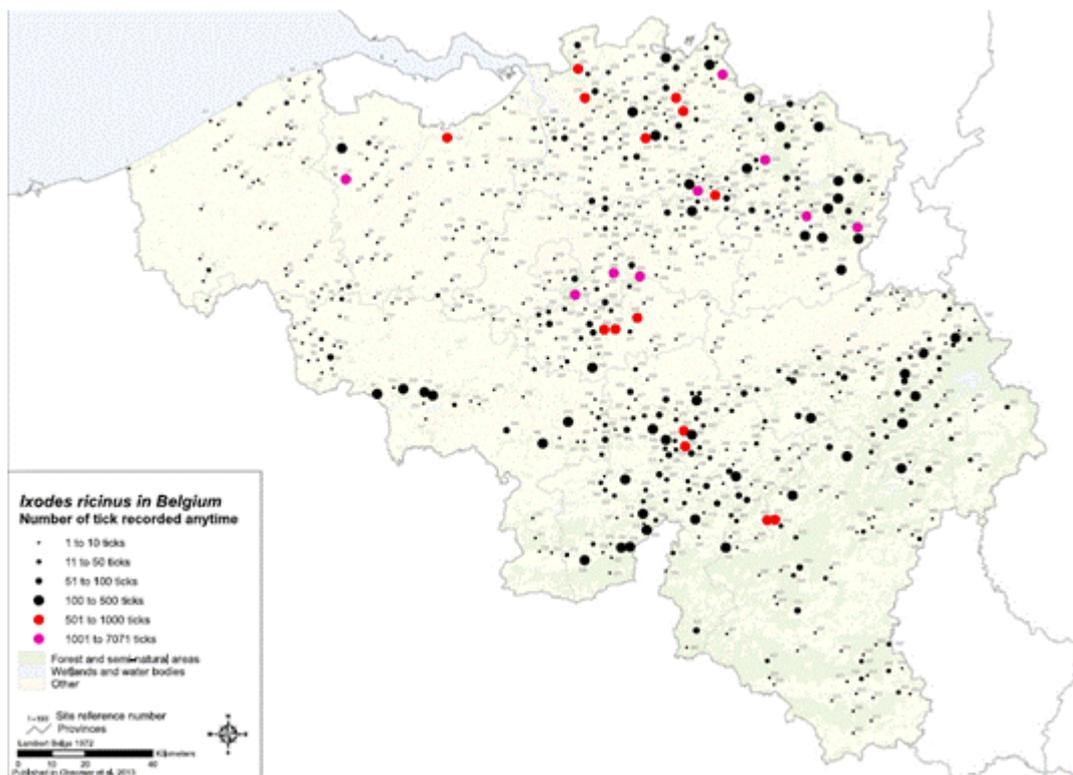


Figure 97. Population d'*ixodes ricinus* en Belgique. Source: Obsomer et al. Parasites & Vectors 2013

Les tiques ne sont pas toutes contaminées par *Borrelia*, et seulement un faible pourcentage de personnes développe la maladie après une piqûre de tique.

En Belgique, l'incidence est la plus élevée entre juin et octobre, surtout dans les régions où il y a beaucoup de forêts en Campine (anversoise et limbourgeoise), dans les cantons de l'Est et les Ardennes, et dans la forêt de Soignes.

	2001	2006	Moyenne 2001-2006
BELGIQUE	9,7	13,5	13,0
WALLONIE	8,5	10,8	9,2
BRUXELLES	1,9	6,5	4,2
FLANDRE	11,6	15,8	16,4
NAMUR			
Dinant	39,1	65,9	53,1
Namur	2,5	4,8	6,6
Philippeville	17,9	60,2	27,2
LUXEMBOURG			
Arlon	1,9	0,0	19,1
Bastogne	27,1	23,4	18,7
Marche-en-Famenne	27,8	3,8	15,3
Neufchâteau	89,9	79,8	74,6
Virton	24,8	17,9	39,5
LIÈGE			
Huy	1,0	3,8	2,6
Liège	3,6	2,4	3,0
Verviers	12,4	14,6	12,0
Waremme	0,0	2,8	0,7
HAINAUT			
Ath	3,8	6,2	2,5
Charleroi	3,6	1,9	3,0
Mons	2,0	4,4	3,3
Mouscron	0,0	0,0	1,0
Solignies	4,0	11,2	5,9
Thuin	10,3	26,5	12,5
Tournai	0,7	5,6	1,8
BRABANT WALLON			
Nivelles	10,6	8,7	6,9

Tableau 72. Taux d'incidence pour 100 000 habitants de la maladie de Lyme, 2001-2006. Source : ISP, 2001-2006

L'incidence élevée dans les arrondissements de Neufchâteau, Arlon, Virton et Bastogne s'explique par la présence importante des forêts : en climat tempéré, la contamination se produit presque toujours lors de promenades en forêt ou dans les landes, le long des routes forestières, parfois dans les jardins, les terrains boisés ou autres milieux naturels ou semi-naturels riches en herbacées et petits ou grands mammifères.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Tendance
Maladie de Lyme	361	283	356	238	283	327	370	334	368	412	

Tableau 73. Nombre de cas de malades infectés par la maladie de Lyme en Wallonie (2000-2009). Source : ISP, 2011

Le taux d'infestation est très variable : 5 à 20 % des tiques infectées selon les études.

Le risque de transmission en zone d'endémie est de 1 à 4 %, maximal entre 28 et 72 heures après la piqûre.

Estimation de l'évolution en 2050

Selon l'OMS (Lindgren, 2006), il est probable que les futurs changements climatiques faciliteront la propagation de la borréliose de Lyme car, depuis les années 80, la diminution des périodes de grand gel a pour conséquences une présence accrue des tiques en des latitudes plus diversifiées et une augmentation de tiques adultes infectées ayant survécu à l'hiver. Un des impacts les plus immédiats et observables du changement climatique est ainsi la modification de la distribution géographique et l'abondance de tiques. Une expansion de la distribution et une population plus abondante affectent nécessairement la prévalence des maladies transmises.

Les études récentes montrent que les tiques pourront prolonger leur période d'activité, de mars à novembre actuellement jusqu'à janvier dans le futur à cause des hivers plus doux et de l'augmentation de la température (Gage KL et al. 2008, Gray JS et al. 2009, Gray JS 2008, Dautel H et al. 2008, Dantas-Torres F et al. 2013).

Des populations de tiques plus abondantes pourraient survivre à l'hiver et augmenter la probabilité de piqures de tiques et ainsi aussi la transmission de la maladie de Lyme.

En plus, plusieurs stades de vie de la tique pourraient devenir actifs et chercher une hôte simultanément (Gray JS 1991, Jaenson TGT et al. 2012). Larves et nymphes pourraient parasiter le même hôte en même temps, favoriser la transmission de pathogènes et augmenter l'efficacité de transmission de la maladie (Gern L et al. 1996).

Enfin, Porretta et al. (2013) suggèrent une augmentation potentielle considérable dans les années à venir sous les scénarios climatiques A2 et B2. Ainsi la maladie de Lyme pourrait apparaître dans areas géographiques actuellement non-endémiques.

La prévision de la distribution géographique d'*Ixodes ricinus* en 2050 et 2080 par Porretta D. et al., 2013 est présentée ci-après.

Situation actuelle: 3.1x10 ⁶	A2	Ratio	B2	Ratio
2050	6.9 x10 ⁶	2.2	7.4 x10 ⁶	2.4
2080	7.1 x10 ⁶	2.3	7.4 x10 ⁶	2.4

Tableau 74. Augmentation de la distribution géographique d'*Ixodes ricinus* : situation actuelle, en 2050 et en 2080 en km² (scénarios A2 et B2) et taux d'augmentation de l'area par rapport à la situation actuelle.

Une augmentation de la niche climatique d'environ deux fois l'aire actuelle est prédite sous les scénarios A2 et B2 du GIEC. Cette augmentation a lieu de façon latitudinale et longitudinale comme le montre la figure ci-après.

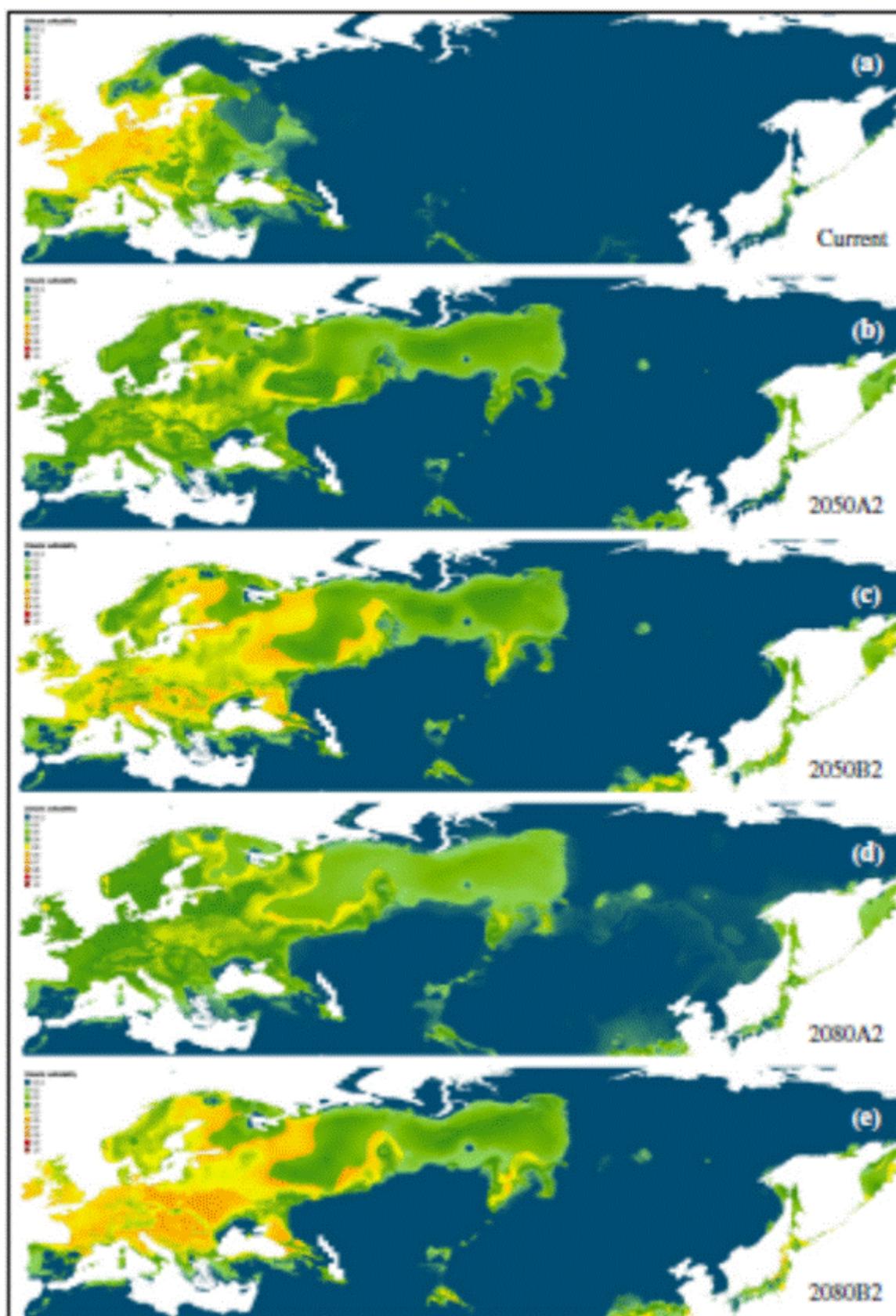


Figure 98. Distribution géographique attendue selon le modèle de distribution de tiques (a) situation actuel, (b-c) scénarios A2 et B2 en 2050 et (d-e) scénarios A2 et B2 en 2080.

Source : Porretta et al. *Parasites & Vectors* 2013, 6:271, <http://www.parasitesandvectors.com/content/6/1/271>

Cependant, des recherches approfondies sont nécessaires pour affiner les données actuellement disponibles et obtenir des informations plus précises sur le risque que représente *Ixodes ricinus* pour la santé humaine.

En résumé, il y a actuellement très peu de données et d'informations, il est donc évident qu'on ne peut faire de quantification de l'impact du réchauffement global sur l'incidence de la maladie de Lyme en Wallonie.

QUANTIFICATION DES IMPACTS SANITAIRES DES POLLINISATIONS EN WALLONIE

L'impact en Wallonie

Le changement climatique en cours est en train de modifier la chronologie et la géographie des pollinisations. Et avec elles, l'épidémiologie des allergies.

Les conditions climatiques, notamment la température, les précipitations et l'humidité, l'ensoleillement, etc. conditionnent l'installation de telle ou telle plante en un lieu donné. Mais à côté des facteurs climatiques, d'autres paramètres encore déterminent le taux de pollen dans l'air, notamment la physiologie propre à chaque espèce végétale et son impact. Ce dernier, en écologie, est en fait la déviation des dynamiques naturelles d'évolution, aboutissant à des modifications de l'état d'un système.

La distribution du pollen de l'ambrosie en Europe est présentée ci-après.

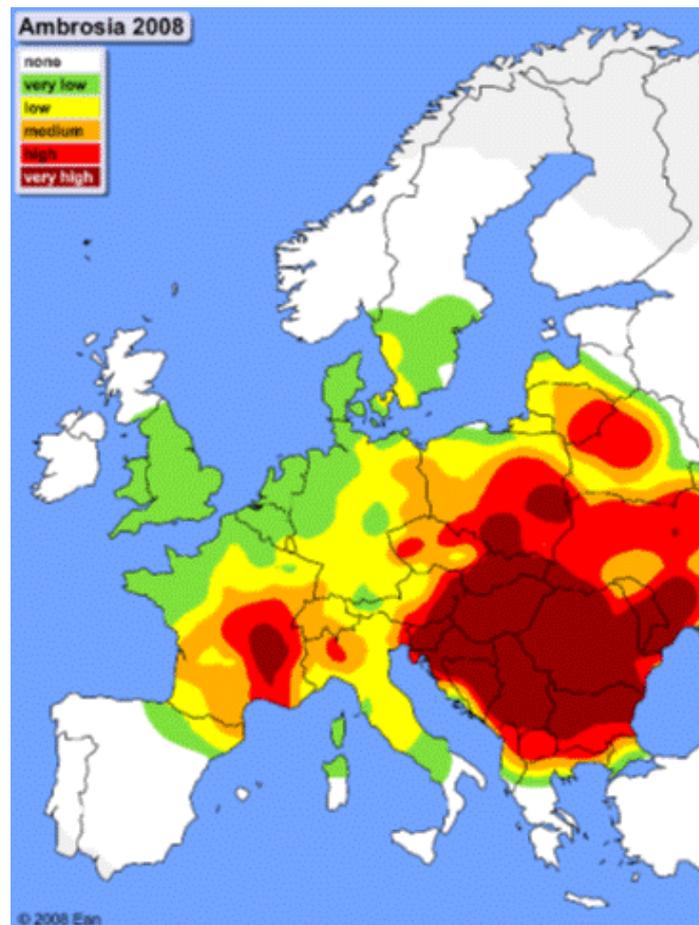


Figure 99. Carte de la distribution du pollen. Source : EAN (European Aeroallergen Network <https://ean.polleninfo.eu/Ean>) og epi (European Pollen Information <http://www.polleninfo.org>).

Dans le cadre d'une étude du réseau de recherche GA²LEN, Global Allergy and Asthma European Network, plus de 2000 patients dans dix pays européens ont été testés pour l'allergie à l'ambroisie. Les résultats de l'étude, publiés sur le site Internet du journal "Allergy", montrent une extension inattendue de la sensibilisation à l'ambroisie. Ces résultats suggèrent que de plus en plus d'Européens sont susceptibles de développer une allergie à l'ambroisie ou sont déjà allergiques. Le pollen d'ambroisie est la principale cause de rhinite allergique en Amérique du Nord, mais l'Europe était jusqu'à présent peu touchée.

Plusieurs points de présence de l'espèce ont été rapportés en Belgique. Ils sont surtout situés dans les zones urbaines et l'ambroisie n'est pas encore complètement établie en Wallonie.

Les pollens de graminées, du bouleau, du noisetier, de l'aulne, du frêne et de l'armoise sont responsables de la majorité des allergies en Wallonie. Dans un climat relativement frais, le noisetier et le frêne ne prospèrent pas et l'armoise se fait plus discrète.

En Belgique, les deux principales espèces responsables de problèmes allergiques, appartiennent à la famille des bétulacées : ce sont le noisetier et le bouleau. Les premiers grains de pollen capté par le réseau de surveillance belge proviennent du noisetier.

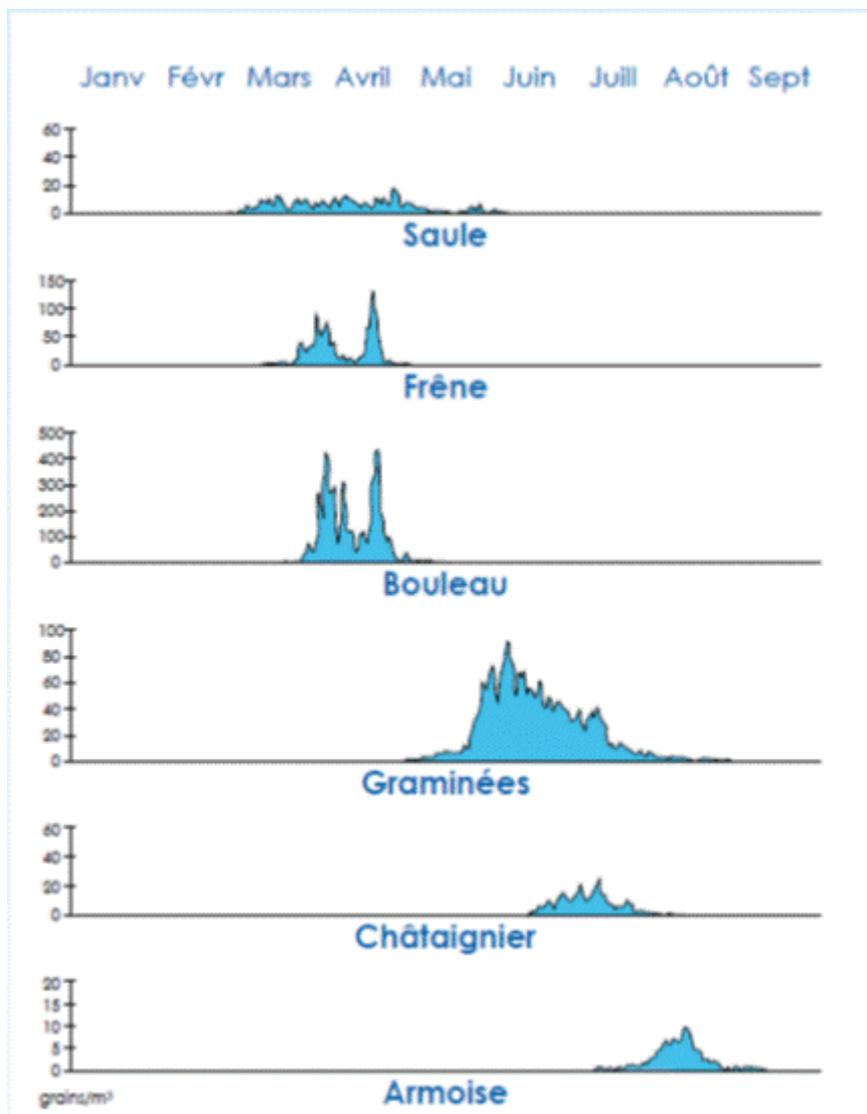


Figure 100. Calendrier pollinique des principaux végétaux allergisants en Wallonie

Les pollens de bouleau et de charme se trouvent dans l'air entre fin mars et fin avril ; le frêne est parfois présent un peu plus tôt, dès la mi-mars.

Le bouleau fleurit en avril - mai et ses chatons mâles libèrent d'énormes quantités de grains de pollen allergisant. C'est la plus importante des plantes allergisantes au printemps. Ces arbres libèrent en effet des quantités astronomiques de grains de pollen dans l'air, et sont aujourd'hui en Belgique les arbres les plus allergisants. Précisons cependant que la pollinisation, et donc les réactions allergiques, varie naturellement selon les années. Le pollen de bouleau est ainsi un facteur majeur d'allergie saisonnière aux pollens d'arbres.

En ce qui concerne les allergies aux pollens d'été, les graminées occupent clairement la première place. Elles sont les plus grandes pourvoyeuses de grains de pollen dans l'air, et leur saison est longue, de fin mai à fin juillet en général. En Wallonie, la famille des graminées comprend une centaine d'espèces différentes. On les trouve à l'état sauvage (en prairie et aux bords des chemins) ou cultivées (céréales). Le pollen des graminées est l'agent principal du « rhume des foins ». La période de pollinisation est très longue dû au nombre important d'espèces et au fait que plusieurs périodes de floraison peuvent se suivre.

Le châtaignier, présent en plus faibles quantités, cause tout de même des allergies, entre mi-juin et fin-septembre.

Enfin l'armoise (*Artemisia vulgaris*), mauvaise herbe très commune et envahissante, pollinise essentiellement au mois d'août.

Les teneurs en pollens et en spores fongiques dans l'air sont suivies depuis 1974 en Belgique (Institut scientifique de santé publique (ISP) ; www.airallergy.be). Le risque d'allergie est estimé en fonction du nombre de grains de pollen trouvés par m³ d'air (Elevé : plus de 30 grains/m³ d'air ; Moyen : 6 à 30 grains/m³ d'air ; Faible : 1 à 5 grains/m³ d'air et Nul : absence de pollen dans l'air).

En Belgique, environ un tiers des grains de pollen d'arbre présent dans l'air provient du bouleau, dont chaque inflorescence peut libérer six millions de grains.

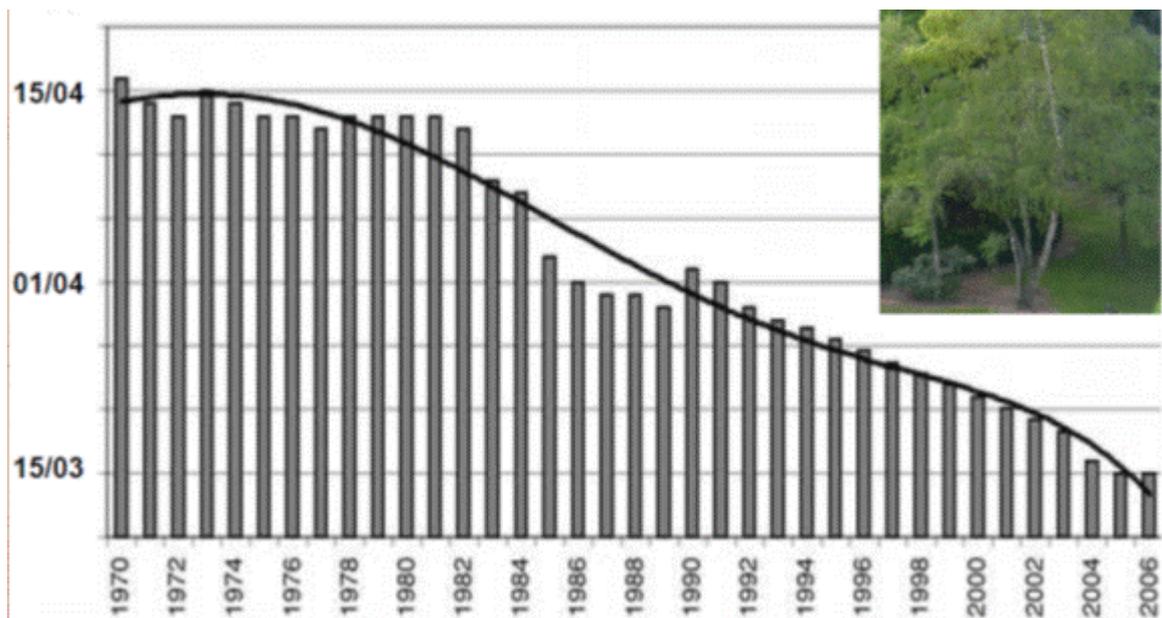


Figure 101. Exemple du bouleau à Bruxelles (Belgique). Source : J. Emberlin et al., 2007.

Emberlin et al. (2007) ont constaté un réchauffement printanier associé à des dates de début de pollinisation du bouleau plus précoces dans plusieurs pays européens. Cette tendance est très nette à Bruxelles (23 jours depuis 1982).

L'analyse des données enregistrées de 1982 à 2007 en Belgique n'indique pas d'évolution à long terme des totaux annuels de grains récoltés (de 1000 à 18000 grains/an par échantillonneur - Echantillonnage en continu (10 l/min, débit proche de la respiration), ni de la durée de la saison pollinique (de 7 à 40 j/an, entre fin mars et début mai), ni de son intensité (concentration > 80 grains/m³ durant 2 à 27 j/an). Par contre, elle indique aussi une saison pollinique plus précoce au fil des ans.

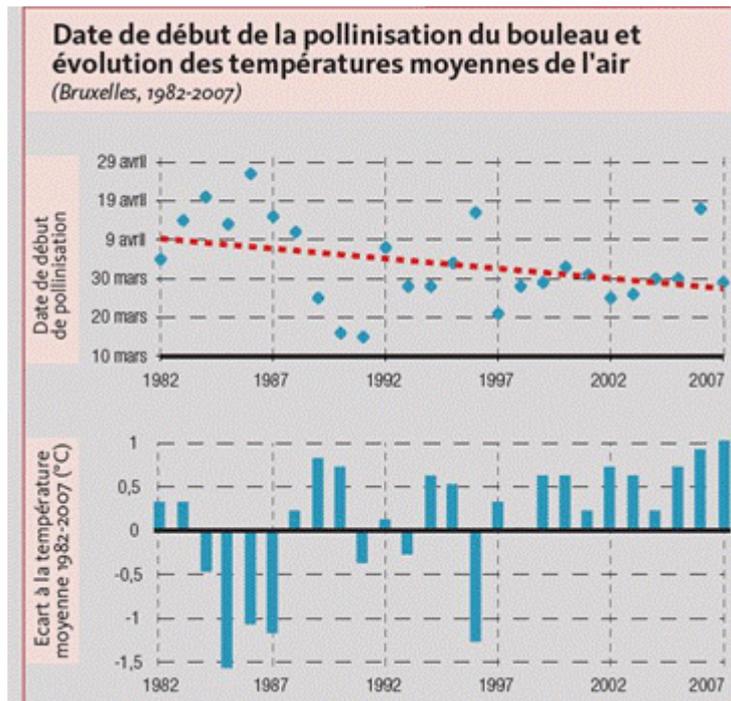


Figure 102. Date de début de la pollinisation du bouleau et évolution des températures moyennes de l'air (Bruxelles, 1982-2007).
Source : ISP - Mycologie et aérobiologie (Monique Detandt), IRM

Une évolution semblable a été observée dans d'autres pays européens. L'évolution comparée des écarts à la température moyenne et de la date de début de pollinisation permet d'avancer l'élévation progressive des températures comme facteur explicatif. La pollinisation d'autres espèces semble aussi se produire plus tôt dans l'année (noisetier, aulne, graminées...). Cette évolution, conjuguée à l'implantation naturelle ou provoquée d'espèces végétales à floraison tardive, risque d'entraîner un allongement de la période d'exposition aux pollens allergisants. Près de 30 % de la population belge y est aujourd'hui sensible, avec des conséquences parfois importantes sur la qualité de vie (Selon Bachert C. et al. (2006), la prévalence de la rhinite allergique dans la population belge est de 29,8%).

En effet, en plus d'affecter les yeux et les voies respiratoires, la sensibilité au pollen s'accompagne souvent d'allergies alimentaires en raison de phénomènes d'allergie croisée : environ 70 % des personnes allergiques au pollen de bouleau sont ainsi allergiques à divers produits végétaux consommés crus (noix, kiwi, pomme, poire, pêche, cerise, amande, carotte, céleri...).

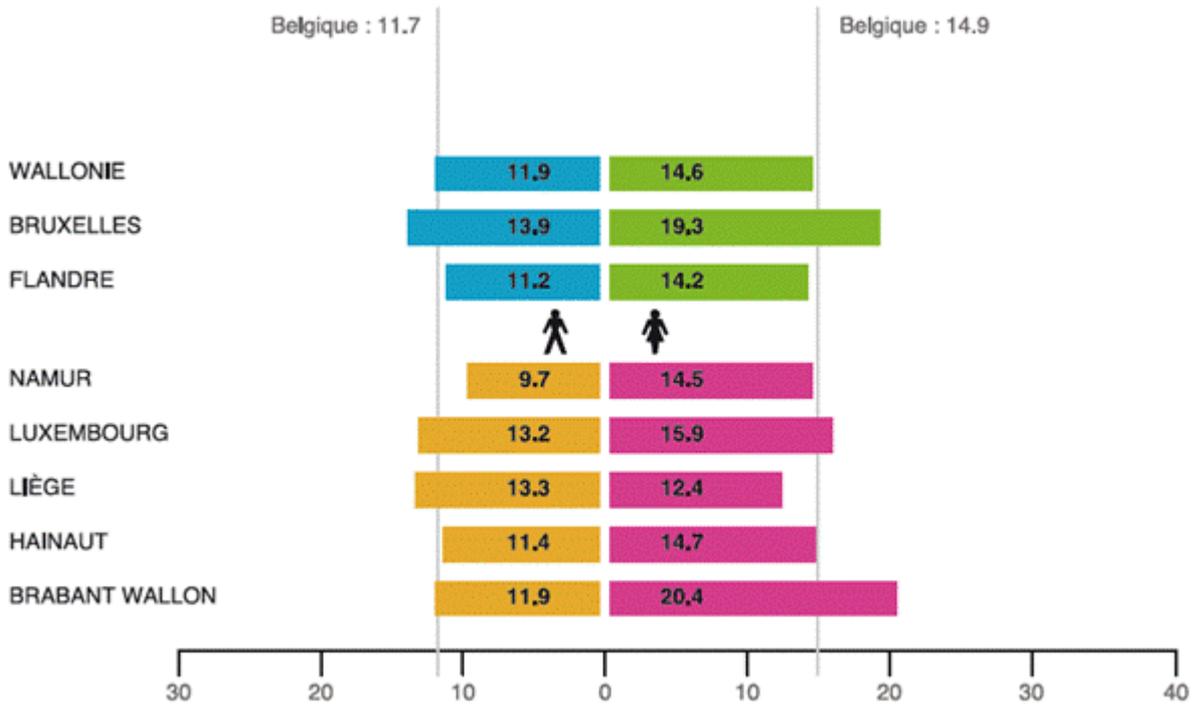


Figure 103. Proportions de personnes déclarant souffrir ou avoir souffert d'allergie chronique au cours des 12 derniers mois (%). Source : HIS 2004, INSTITUT SCIENTIFIQUE DE SANTÉ PUBLIQUE, Bruxelles

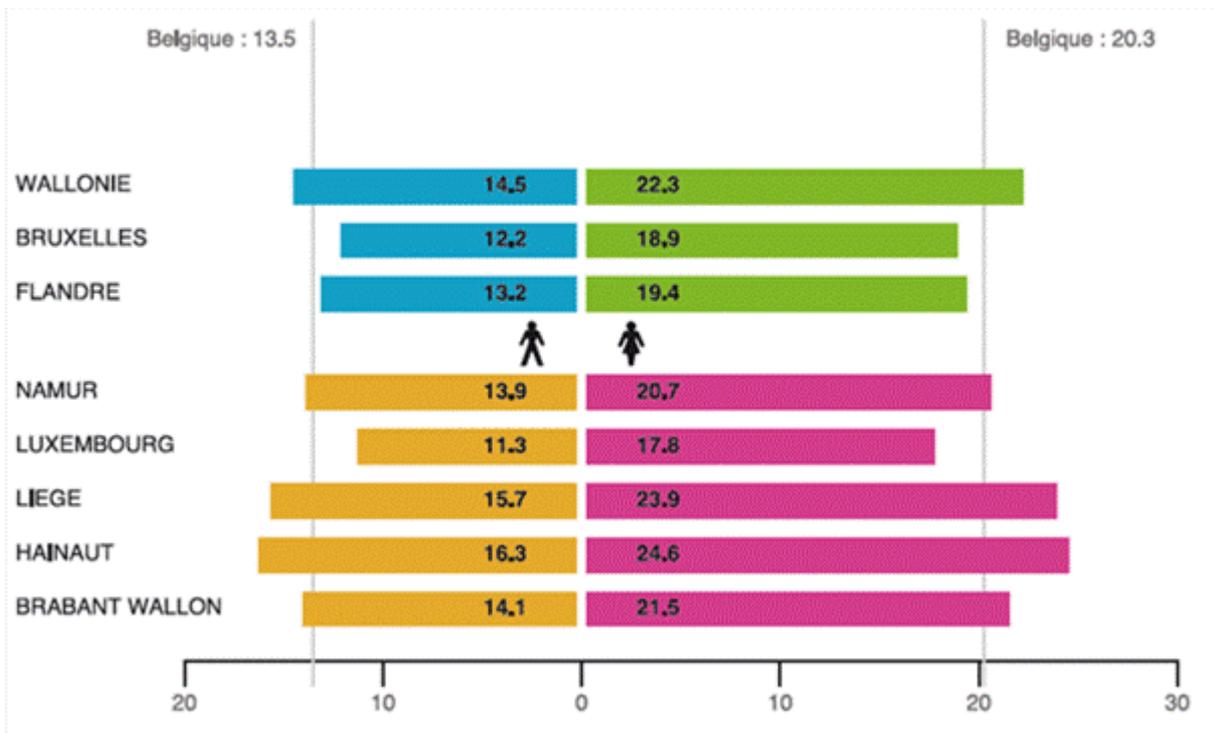


Figure 104. Consommations standardisées d'antihistaminiques (anti H1) ayant donné lieu à un remboursement INAMI en Doses Moyennes Journalières pour 1 000 habitants, par jour. Source : INAMI, Pharmanet, 2006

Estimation en 2050

Selon la littérature scientifique, on pourrait s'attendre en 2050 à :

- un déplacement de la végétation à des altitudes plus élevées (il pourrait y avoir plus de pollens qu'aujourd'hui lors d'un climat plus chaud),
- une apparition de nouvelles espèces végétales allergènes (immigration possible de plantes thermophiles, c.-à-d. des plantes allergènes de la région méditerranéenne (cyprès, pariétaire – *Parietaria*, éventuellement l'olivier) qui risquent d'allonger la durée d'apparition des symptômes allergiques ou de provoquer des allergies à des personnes qui n'en manifestaient pas jusqu'alors,
- une apparition encore plus précoce de la saison pollinique,
- une éventuelle augmentation des quantités de pollens,
- une propagation de l'ambroisie et une augmentation de la quantité de son pollen (l'ambroisie se répand principalement en raison de l'activité humaine, mais le réchauffement climatique contribue à la colonisation de nouveaux lieux d'implantation de cette plante envahissante).

Quand la température est plus basse, les plantes produisent en général moins de pollen et la saison pollinique est beaucoup plus courte. Etant donné que la croissance des plantes dépend fortement de la température, la question se pose de l'influence des changements climatiques sur l'évolution des allergies. Ainsi, l'abondance des grains de pollen libérés dans l'air dépend fortement du type d'hiver. Or, justement, les changements climatiques à prévoir promettent des hivers plus doux mais plus humides, ainsi que des étés plus chauds mais plus secs. Ces conditions météorologiques favoriseraient des saisons polliniques plus précoces et plus longues, sans compter que l'augmentation de la quantité de CO₂ dans l'atmosphère amène les végétaux à produire davantage de pollen. Les saisons polliniques risquent donc bien d'être non seulement plus précoces et plus longues, mais aussi plus intenses. On constate depuis quelques années une modification dans le calendrier de floraison de plusieurs milliers d'espèces végétales observées en collection. Certaines plantes avancent leur floraison tandis que d'autres la retardent. L'ambroisie a été étudiée en France de ce point de vue. Il s'agit d'une plante à feuille composée, originaire d'Amérique du Nord et introduite involontairement en Europe, notamment en France. Son pollen est allergisant. Les chercheurs français ont constaté que si la date de démarrage de la pollinisation de cette plante n'a pas significativement changé entre 1987 et 2004, le nombre de jours à risque allergique moyen à élevé, a augmenté.

Les rhino-conjonctivites (rhume des foins) risqueraient de présenter des pics énormes aux périodes de dissémination maximale des grains de pollen qui malheureusement ont cours presque toute l'année (à la fin de l'hiver et au début du printemps, il s'agit du pollen d'arbres et d'arbustes ; à la fin du printemps et au début de l'été, du pollen de graminées et, à la fin de l'été, comme au début de l'automne, du pollen d'armoise et d'ambroisie).

En outre, le réchauffement du climat amènerait des déplacements vers le nord de nombreuses espèces végétales dont certaines très allergisantes. Une hausse de 1°C de la température moyenne annuelle équivaut à une translation des espèces de 200 km vers le Nord ou à une remontée d'environ 150 m en altitude (ex. l'olivier remonterait jusqu'en Belgique en 2050!). Cependant, l'établissement de nouveaux pollens allergisants en 2050 est très difficile de prévoir.

Les journées de beau temps chaud et ensoleillé augmenteraient les quantités de pollen libérées.

Aujourd'hui, l'OMS classe l'allergie au 4ème rang des pathologies mondiales. La part de la population qui a déjà subi une pathologie allergique s'élève à 30%. Les études épidémiologiques montrent que la fréquence de ces allergies a doublé en 30 ans. Selon certaines estimations, cette proportion devrait atteindre 50% entre 2035 et 2050.

Pour comprendre quel est l'impact des changements climatiques sur les maladies allergiques liées au pollen en Europe, le projet Atopica (Atopic diseases in changing climate, land use and air quality) a été lancé fin 2011 pour une durée de trois ans. Des chercheurs du CNRS, du CEA et de l'Ineris vont, durant trois ans, étudier les allergies aux pollens et leurs liens avec le changement climatique. Travaillant dans le cadre du programme Atopica, financé par l'Union européenne, l'équipe développera des modèles statistiques et physiques de l'évolution de la concentration des pollens dans l'air. Une analyse rétrospective sur 20 ans devrait permettre de voir s'il y a un impact du climat sur la prévalence de ces allergies. L'objectif final est d'établir une évaluation des risques sanitaires, en particulier chez les populations à risque, comme les enfants ou les personnes âgées. Par ailleurs, le projet Atopica proposera une analyse rétrospective des différents allergènes sur les deux dernières décennies en Europe et de leurs liens avec le climat et le changement d'usage des sols.

Les effets futurs de ces changements et de leur impact sanitaire sur le territoire wallon, essentiels pour estimer leur coût économique, sont par essence plus difficiles à estimer mais les résultats des modèles des recherches en cours permettront néanmoins une caractérisation utile des évolutions futures.

LE COÛT DE L'INACTION SUR LE SECTEUR DE LA SANTÉ

SECTEUR	SANTE
Descriptif de l'impact	
<p>La chaleur, qui a des conséquences sanitaires importantes en termes de mortalité prématurée et de morbidité aggravée, a été identifiée comme étant liée au changement climatique. En Wallonie, c'est l'aléa climatique exceptionnel le plus susceptible d'augmenter en fréquence et en intensité à cause du changement climatique. La présente analyse évalue les éléments de coût disponibles pour les conséquences pour la santé de la chaleur (mortalité et morbidité) et des intoxications alimentaires par salmonelle. De même, les risques accrus de transmission de la maladie de Lyme et des troubles allergiques (pollinoses) ont été identifiés comme effets du changement climatique et quantifiés qualitativement.</p>	
Cadre de l'analyse	
<p>Quantification de l'impact de la chaleur en nombre de décès et en nombre d'admissions hospitalières pour des troubles respiratoires générées par la chaleur et de l'impact des intoxications alimentaires en nombre de cas de salmonelloses à partir de données belges et wallonnes et de la littérature (évolution en 2050) et traduction en termes monétaires.</p>	
<p>Analyse qualitative de l'impact sanitaire de la population de tiques et des pollens dans un climat futur.</p>	

Méthode

- Mortalité due à la chaleur : En estimant la valeur, pour la société, des années de vie perdues à 63000 euros par an, sur la base des recommandations des projets NEWEXT, ClimateCost et PESETA II.
- Morbidité due à la chaleur : En utilisant le montant moyen des couts hospitaliers par séjour par des troubles respiratoires en Belgique.
- Salmonelloses : En utilisant le coût médical moyen européen par cas de Salmonellose.
- Maladie de Lyme : Analyse qualitative basée sur la littérature récente.
- Pollinoses : Analyse qualitative basée sur la littérature récente.

Quantification de l'impact physique

Le nombre de décès supplémentaires, attribuables à la chaleur, que pourrait susciter le changement climatique en Wallonie sont estimés à 670 en 2050.

On constaterait une augmentation de 92 hospitalisations classiques (avec nuitée) annuelles pour des problèmes respiratoires à cause de la chaleur en Wallonie à la moitié du siècle.

Le nombre annuel de cas supplémentaires de salmonelloses que pourrait susciter le changement climatique en Wallonie est estimé à environ 90 cas supplémentaires en 2050.

Recrudescence de la maladie de Lyme et des troubles allergiques en 2050.

Traduction en termes monétaires**Données d'entrée**

Coût unitaires		Source
Valeur d'une année de vie	63000 euros	Projets ClimateCost et PESETA II, 2014
Années de vie perdues en moyenne	0,5	Projet PESETA II, 2014
Valeur d'une vie statistique	1,16 million d'euros	Projets ClimateCost et PESETA II, 2014
Couts hospitaliers maladies respiratoires : Cout moyen par séjour	5445 euros	Banque de données belge, 2014

Résultats (Estimation des coûts des impacts)

Mortalité due à la chaleur	Nombre de décès excédentaires	Coût à partir de la valeur d'une année de vie (0,5 années de vie perdues en moyenne) Million d'euros	Coût à partir de la valeur d'une vie statistique Million d'euros
	670	21,1	777
Morbidité due à la chaleur	Nombre d'hospitalisations excédentaires	Coût annuel Million d'euros	
	92	0,5	
Salmonelloses	Nombre de cas excédentaires	Coût annuel Million d'euros	
	90	0,5-0,7	
Type de coût	Non-marchand		
Public cible	Santé publique		
Limites et incertitudes			
<p>Par nécessité, des simplifications lors l'analyse ont été réalisées. Ces simplifications amènent une certaine incertitude dans l'analyse, et influencent l'ampleur et la direction des répercussions physiques estimées et des couts correspondants.</p> <p>Les relations entre la température et les taux de décès trouvées dans la documentation pertinente sont transférées à la Wallonie, aux fins de l'analyse. Si une attention particulière a été portée dans la sélection des études sources applicables au contexte wallon, les relations peuvent, dans les faits, varier à cause de différentes circonstances environnementales, géographiques et sociales. Les relations entre la température et les taux de décès sont linéaires pour chaque intervalle de temps. Les répercussions par groupe d'âge n'ont pas été identifiées à cause des restrictions des données. Les répercussions seront différentes d'un groupe d'âge à l'autre, chez les enfants, chez les aînés, et ceux dont la santé est déjà fragile et qui sont les plus vulnérables. L'effet de la chaleur sur les taux de décès sont traités comme s'ils étaient indépendants et cumulatifs. La qualité de l'air et la chaleur pourraient avoir des effets de synergie sur la santé, aggravant les résultats généraux.</p> <p>L'approche est justifiée du fait que les études sources pour la dérivation des effets de la chaleur et de l'ozone contrôlaient l'autre facteur environnemental dans leur analyse. Aucune prémisse n'a été faite concernant l'acclimatation à la hausse des températures au fil du temps. Les gens sont susceptibles de s'acclimater aux températures plus élevées, mais une incertitude demeure quant à l'ampleur et au rythme de ce phénomène.</p>			

Un degré d'acclimatation est inhérent à l'analyse réalisée, étant donné qu'elle se base sur des relations observées entre la température et les taux de décès. Cependant, s'il y a meilleure acclimatation, les répercussions du changement climatique seront moindres que ce que la présente analyse n'estime. Les gens peuvent, de leur propre chef, s'adapter à des températures plus chaudes, et les systèmes de réponse aux alertes de chaleur qui émergent actuellement peuvent également améliorer l'adaptation. Une société future plus riche peut être capable de s'offrir de meilleurs niveaux de confort (par exemple, bâtiments plus adaptés, dispositifs d'air conditionné...). Ceci pourrait réduire les taux de décès découlant de la hausse de la température.

Pour la quantification en termes physiques, l'effet des changements de la température moyenne sur les taux de décès est évalué plutôt que les effets des changements d'intensité et de durée des vagues de chaleur. La fréquence, l'intensité et la durée des vagues de chaleur doivent augmenter à mesure du changement climatique. Les résultats ainsi obtenus sont donc prudents. Une des hypothèses utilisée est que la hausse de température attribuable au changement climatique est le seul facteur influençant sur la concentration d'ozone pour l'avenir. Il aurait fallu faire des hypothèses pour élaborer des prévisions de la qualité de l'air, y compris les concentrations d'ozone, ce qui dépassait la portée de cette analyse. Une autre hypothèse est qu'une hausse des concentrations d'ozone est le seul impact du changement climatique sur la qualité de l'air. D'autres études prévoient une hausse des émissions de composés chimiques nocifs par les plantes (composés organiques volatils) et les sols (oxyde nitrique), par la production de pollens et autres aeroallergènes.

La traduction en termes monétaires a recours à la VVS pour estimer l'impact économique de l'augmentation du risque de décès. D'autres paramètres d'évaluation économique semblables font varier les estimations de coût selon le nombre estimé d'années desquelles les décès sont retardés et selon la qualité de la santé d'une personne pendant ces années. En ce qui a trait à la VVS, il y a moins consensus quant à la valeur appropriée de ces techniques d'évaluation de rechange, mais de façon générale, les coûts estimés par ces approches seraient moindres qu'à l'aide de la VVS.

En ce qui concerne les maladies, les écarts statistiques tendent à sous-estimer le coût réel pour le système de soins de santé public. Certaines catégories de coût se sont révélées impossibles, de façon appropriée. Au sein de certaines catégories de coût, les coûts ne sont pas tous représentés, les données manquantes les plus importantes étant les coûts des médecins associés aux hospitalisations et aux rendez-vous aux urgences.

Les coûts unitaires européens et belges ont été utilisés. Des coûts unitaires mis à jour et établis pour la Région wallonne amélioreraient les estimations, tout comme une répartition par maladie des dépenses pour le régime public par rapport au régime privé.

Les cas de salmonelloses diminueront probablement dans le futur avec la mise en place d'une meilleure réglementation sur l'hygiène alimentaire. Cette hypothèse a été prise en compte dans l'analyse.

L'impact bénéfique sur la diminution de la mortalité hivernale due au froid n'a pas été estimé ni l'augmentation de l'incidence de la maladie de Lyme et des pollinoses.

Le travail réalisé a consisté à identifier les impacts possibles du changement climatique sur la santé en Wallonie, sans toutefois parvenir à une hiérarchisation du risque ni à disposer d'estimations ou d'indications fiables sur la probabilité de réalisation, les populations potentiellement concernées et les échéances temporelles. Réaliser une évaluation économique de l'ensemble de ces impacts dans ces conditions nécessiterait des études complémentaires longues impliquant un temps et des moyens qui ne sont pas à la disposition de la présente étude. Aussi, le choix a été fait de se centrer uniquement sur l'estimation du coût lié à la chaleur et à la salmonellose. Il convient de souligner que les coûts estimés pour le secteur ne sont pas les seules dépenses à prendre en compte mais sont les plus facilement quantifiables aujourd'hui (par exemple, la valeur de la perte de qualité de vie des personnes âgées, ayant vu leur état de santé se dégrader n'a pas pu être chiffrée, la perte de productivité à cause de l'absentéisme suite aux maladies, etc.). Elles ne sont cependant représentatives que d'une fraction de l'impact économique réel supporté par la société à court, moyen et long terme. Aussi ces résultats sont présentés uniquement à titre indicatif, et ne présumant pas du coût réel du changement climatique dont les conséquences dépendront par ailleurs de nombreuses variables : modification du climat, de la vulnérabilité des populations, du système de santé, de l'évolution économique...

L'évolution qui sera donnée par tous les acteurs concernés dans les années futures à la prévention des risques sanitaires concernant notamment la climatisation, l'alimentation, la surveillance de certaines pathologies, etc, aura une influence sur les conséquences du changement climatique sur la santé de la population wallonne et les coûts en résultant.

Les effets du changement climatique sur la santé dépendent de multiples facteurs de risque, interagissant le plus souvent entre eux dans des enchaînements de cause à effet rendant donc complexes leur analyse et leur prévision. De manière générale, étant donné ces limites et incertitudes, les résultats doivent être considérés uniquement comme des ordres de grandeur.

En l'état actuel des connaissances et des données disponibles, il n'est pas possible de faire des projections de coût des impacts sanitaires du changement climatique en Wallonie. L'analyse présente simplement des évaluations financières correspondant aux dépenses d'événements climatiques et de pathologies passés. Ne prenant en compte qu'une partie des coûts des impacts, et ignorant le long terme, il ne s'agit donc que d'une fraction du coût réel de ces événements pour la société.

Tableau 75. Synthèse des résultats des impacts analysés sur la santé. Source : ICEDD, 2014.

PERSPECTIVES FUTURES

Pour aller plus loin...

- Etudier la mortalité liée à la chaleur avec de données de mortalité spécifiques à la Wallonie en tenant compte des populations plus vulnérables, du vieillissement de la population ainsi que l'effet de l'îlot de chaleur.
- Etudier les changements futurs dans la fréquence et intensité des événements climatiques extrêmes.
- Améliorer les données disponibles au niveau régional en matière d'intoxications alimentaires.
- Suivre les résultats de la recherche Tekentiques en Belgique (<https://www.uclouvain.be/eli-tekentiques.html>).
- Suivre les résultats du projet européen de recherche ATOPICA.

Tableau 76. Proposition de recherches futures pour affiner les résultats de l'analyse sur le secteur de la santé. Source : ICEDD, 2014.

En parallèle de l'augmentation des températures, la concentration des populations dans les zones urbaines et le vieillissement de la population vont conduire à une augmentation du nombre de personnes vulnérables à la chaleur. Les zones urbaines sont particulièrement sensibles du fait de l'amplification des températures, notamment nocturnes, par l'îlot de chaleur urbain.

Le changement climatique affecte les vecteurs, composants importants dans la transmission de l'agent infectieux et donc de l'établissement d'une pandémie. La modification du climat accentuée durant ces dernières décennies, influence l'émergence des maladies transmises par vecteur, surtout à cause de son impact sur le vecteur même (distribution géographique, densité de la population) qui favorise les probabilités de transmission. Ce n'est sûrement pas la hausse globale de moins d'un degré qui affecte les vecteurs, mais bien le changement climatique régional résultant (dont les effets sont surtout notables dans les régions à haute latitude). Bien que l'on ne sache pas encore comment le changement global climatique peut influencer l'émergence de ces maladies, comment il affecte le risque de l'introduction de maladies et comment il augmente la dispersion de ces vecteurs, le problème est tout de même là. Il est donc important de bien cerner l'impact, notamment en raison de son importance sur la santé publique. Étant donné qu'un nombre inimaginable de facteurs peuvent influencer l'émergence des maladies transmises par vecteur et que l'impact du réchauffement global n'est pas totalement prouvé, des études plus poussées concernant cette hypothèse sont encouragées. Il est nécessaire mieux comprendre le phénomène du réchauffement global afin de mieux apprécier tous les impacts néfastes. Étant donné la complexité de la problématique et les nombreux facteurs inconnus et connus intervenant, des recherches écologiques bien conçues au sujet des maladies et de leur cycle naturel doivent être menées. Ces études doivent être multidisciplinaires (incluant la botanique, foresterie, zoologie, entomologie, microbiologie, climatologie, épidémiologie, etc.) afin de mieux discerner les effets de la température sur le maintien du cycle naturel, sur l'incidence de la maladie et le potentiel épidémique. Les études doivent se faire à la fois sur le terrain et en laboratoire. Les recherches concernant l'interaction complexe entre les facteurs climatiques et les vecteurs constituent une étape importante parce que sans cette compréhension, les projections des effets potentiels du changement climatique sur les maladies demeureront insaisissables. Pour déterminer le rôle de la tendance du climat à long terme, il faudra d'abord comprendre comment ces maladies persistent dans la nature.

Finalement, les études épidémiologiques sont malheureusement surtout réalisées sur du court-terme. Les études ne concernent souvent que des épisodes de courte durée.

Un approfondissement des interactions entre les polluants atmosphérique et les allergènes sur le risque allergique est aussi nécessaire. Aussi l'impact de modifications de la température, du CO₂ atmosphérique, et de la ressource en eau sur le développement des plantes et la modification de leur potentiel allergène est encore mal connu et doit être encouragé.

A l'issue de ce travail d'évaluation financière concernant l'augmentation de la chaleur et des infections par salmonellose, il ressort un besoin en données et un besoin d'améliorer les connaissances. Pour ce faire il est souhaitable de développer les retours d'expérience et les évaluations systématisés, homogènes sur le territoire wallon (pour pouvoir comparer les évènements climatiques) au niveau épidémiologique, recueillis dans le cadre de dispositifs d'alerte et de gestion établis sur la base de protocoles prédéfinis. Cela devrait permettre de disposer de données harmonisées pouvant servir de base à des évaluations plus précises. Les résultats épidémiologiques seront dépendants des progrès accomplis en matière d'alerte, de gestion par le secteur santé mais aussi les autres secteurs et les collectivités locales ; ceci plaide pour la systématisation des retours d'expérience.

Pour être plus précis dans l'évaluation financière des impacts dus au stress thermique il faudrait disposer d'études épidémiologiques précisant la fréquence des troubles observés, et différenciant les gens affectés. Par ailleurs, sur le moyen et long terme d'autres pathologies liées à l'existence d'un stress chronique pourraient se répercuter dans les domaines cardiovasculaire, pulmonaire, gynécologique, gastro-entérologique, neurologique et rhumatologique. Là encore, une évaluation économique complète devrait prendre en compte l'impact de la morbidité en termes de coûts indirects et de coûts intangibles. Au-delà de la nécessité d'améliorer la qualité des données épidémiologiques, il sera également indispensable d'élargir le cadre des éléments pris en compte dans l'évaluation économique de l'impact des conséquences des changements climatiques sur la santé. Au-delà des seules dépenses relevant de la valeur statistique de la vie, il est indispensable de prendre en compte les dépenses supportées par la population elle-même, l'impact sur la capacité de production, et sur la qualité de vie avec la valeur que notre société accorde à la qualité et à la durée de la vie (coûts indirects et intangibles).

2.8 TOURISME

2.8.1 IDENTIFICATION DES IMPACTS

Les éléments du climat futur devraient avoir un impact sur le tourisme en Wallonie et, en particulier sur l'attractivité territoriale et par rapport au problème de la ressource en eau et les promenades en forêt.

Le tourisme est très clairement lié au climat, et ce sur plusieurs plans. D'une part, de nombreuses ressources touristiques sont liées aux conditions climatiques, aussi bien des ressources environnementales (enneigement, phénologie, biodiversité, débit des cours d'eau par exemple) que culturelles (par exemple les espaces publics urbains, les sites archéologiques,...). Selon le degré de dépendance de leurs ressources aux variables climatiques, les destinations seront plus ou moins climato-sensibles : variations saisonnières, et variations à plus long terme en raison de changements climatiques. D'autre part, certains obstacles à la venue des touristes (maladies infectieuses, risques d'incendie, événements extrêmes) dépendent également des conditions climatiques (Buzinde et al 2009).

Par ailleurs, notons que si les conditions climatiques sont essentielles pour les lieux de destination, elles le sont aussi pour les espaces d'origine des touristes. En effet, un climat « domestique » plus favorable au tourisme peut inciter les touristes (souvent originaires de pays du nord) à rester dans leur pays durant leurs vacances plutôt qu'à choisir un tourisme international.

Selon la littérature, deux types d'effets se produiraient sur les flux touristiques suite aux changements climatiques : une modification spatiale des flux, et un changement dans leur saisonnalité.

La conclusion principale des différentes études traitant de ce sujet est que les flux de touristes devraient opérer un glissement vers le nord.

Les modèles disponibles laissent penser que les changements climatiques auraient plutôt des effets bénéfiques rendant la Wallonie plus attractive par l'accroissement des températures et la diminution des précipitations estivales. Ainsi, la saison touristique pourrait s'avérer plus longue mais, par contre, les hivers moins favorables.

Parallèlement, on pourrait assister à une diminution de l'attractivité des pays méditerranéens actuellement très prisés (sauf pour les touristes plus jeunes et en bonne santé capables de résister à des conditions plus difficiles) parce que "hors zone de confort" pour les touristes les plus âgés et les plus sensibles aux fortes chaleurs. Ce qui conduirait à une redistribution d'une partie des flux de touristes vers les régions plus septentrionales. Les éléments suivants viennent à l'appui de cette thèse : augmentation des températures dans les régions du sud de l'Europe, augmentation de la sécheresse, surtout en été, des vagues de chaleur, de l'érosion côtière, augmentation des risques de maladies (même si ceux-ci semblent être minimes). Un autre facteur, lié au climat des régions d'origine des touristes, renforcerait ce phénomène: tant la hausse des températures que la baisse des précipitations particulièrement en été, pourraient amener les touristes à préférer un tourisme domestique au tourisme international. Perry (2006) a ainsi pu montrer que le niveau des flux touristiques depuis le Royaume Uni vers la Méditerranée est influencé par les précipitations au Royaume Uni l'été précédent. L'été exceptionnel qu'a connu le Royaume Uni en 1995 a provoqué une baisse du tourisme international et une forte réduction de la demande durant la haute saison d'été pour les voyages « package » vers la Méditerranée. Une autre étude, réalisée sur des touristes néerlandais, (Perry citant une étude WISE), montre, lors d'étés chauds, que ceux-ci préfèrent les vacances aux Pays-Bas plutôt qu'à l'étranger.

Les habitants de l'Europe du Sud pourraient ainsi venir se "rafraîchir" en Europe du Nord durant la saison estivale. Les zones géographiques situées au nord de la Loire pourraient récupérer une partie du tourisme du

sud de l'Europe et devenir des zones de séjour envisageables pour les habitants du nord de l'Europe (de touristes supplémentaires), avec toutefois un bémol pour la Wallonie dans la mesure où la France sera moins affectée que les autres pays méditerranéens et bénéficiera davantage de la redistribution que la Wallonie.

Cependant, la baisse des précipitations en été est problématique pour le tourisme. En effet, la baisse du débit des rivières et l'étiage des lacs trop important peut engendrer des difficultés pour le kayak, la baignade et les activités récréatives plus largement ; la pénurie d'eau peut entraîner des conflits d'usage par exemple entre l'agriculture et certains équipements touristiques : golf, piscine, ... et la difficulté d'approvisionnement peut en outre être exacerbée par l'accroissement de la population estivale.

Les impacts potentiels du changement climatique sur les forêts wallonnes pourraient aussi perturber les activités récréatives outdoor.

2.8.2 ANALYSE DES COÛTS

Impacts quantifiés	En termes physiques		En termes monétaires
	Situation actuelle	En 2050	
Variation de la demande touristique	X	X	X
Impact sur les activités nautiques	NA	NA	X
Impact sur les promenades en forêt	NA	NA	X

Tableau 77. Synthèse des impacts quantifiés sur le tourisme. Source : ICEDD, 2014.

L'identification ses impacts du changement climatique a permis de mettre en évidence les impacts potentiels suivants :

- L'augmentation de la température qui pourrait augmenter l'attractivité touristique de la Wallonie ;
- Les baisses potentielles des réserves en eau douce (localement et selon les saisons) et restrictions, tensions, voire conflits d'usages entre activités touristiques et autres utilisations ainsi que des variations de la valeur récréative de la forêt wallonne, qui pourraient affecter pour partie certaines activités touristiques.

Deux analyses parallèles ont été réalisées dans la présente étude pour quantifier l'impact du changement climatique sur le secteur touristique wallon:

- d'une part, la quantification de l'effet positif de l'augmentation de la température dans la demande touristique à partir de l'application des résultats du projet PESETA (mise en œuvre de l'indice climatique de Mieczkowski et modélisation en variation de nuitées touristiques sur différentes régions européennes);
- d'autre part, l'impact monétaire sur les activités nautiques et en forêt à partir des principaux résultats de l'étude effectuée sur les services écosystémiques en Wallonie présentée dans les sections précédentes.

QUANTIFICATION DE L'IMPACT DE L'AUGMENTATION DE LA TEMPERATURE SUR LA DEMANDE TOURISTIQUE EN WALLONIE

Le secteur touristique en Wallonie

En termes économiques, la part du tourisme dans le PIB wallon est de l'ordre de 5 %.

La demande touristique

La fréquentation des hébergements touristiques

La fréquentation des hébergements touristiques en Wallonie (hors tourisme rural) se situe entre 7 et 6,5 millions de nuitées entre 1995 et 2012, pour un total d'environ 2,6 millions d'arrivées au cours des dernières années.

Le nombre de nuitées d'excursionnistes (visiteurs résidents) a légèrement baissé de 1995 à 2012 malgré d'une faible augmentation du nombre de nuitées des non-résidents.

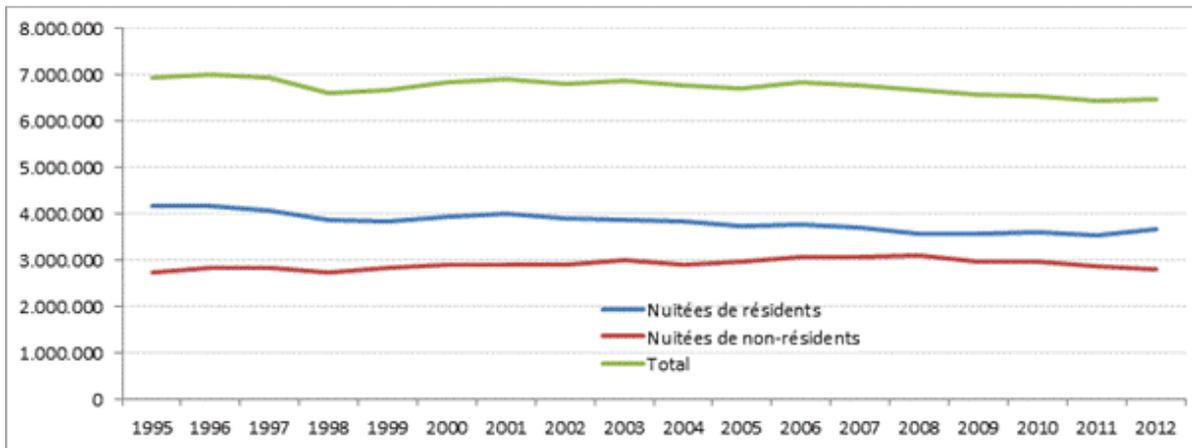


Figure 105. Nombre de nuitées dans les hébergements touristiques wallons (1995-2012) hors tourisme rural. Source : Eurostat, 2014.

De manière générale, le nombre de nuitées est resté relativement stable pendant les années, parallèlement à une croissance relative du nombre d'arrivées. La durée des séjours va plutôt en diminuant, soit 2,6 jours en moyenne.

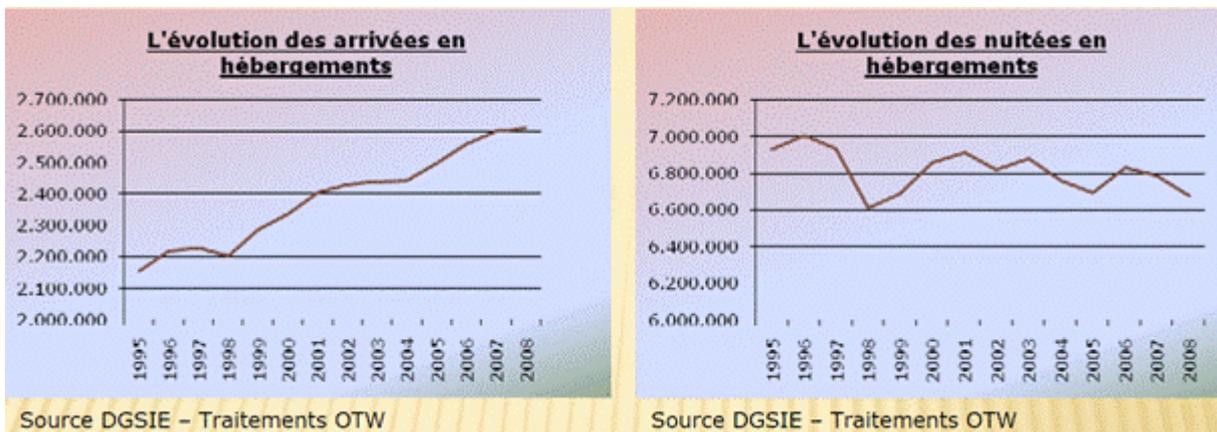


Figure 106. Evolution des arrivées (gauche) et des nuitées (droite) en hébergements en Wallonie. Source : DGSIE – Traitements OTW, 2013.

On observe environ 6,8 millions de nuitées en moyenne pendant la dernière décennie (hors tourisme de terroir qui représente environ 2 millions), une augmentation des arrivées mais avec une diminution des nuitées comme conséquence d'une durée de séjour plus courte (on est passé de 3,21 jours en moyenne en 1995 à 2,5 jours en 2012) et une augmentation générale des arrivées essentiellement dues au secteur hôtelier (+500.000 au cours de la dernière décennie).

Le tourisme d'affaires représente environ 20% des arrivées.

En tourisme de terroir, le taux d'occupation moyen est de 30% (nombre de nuitées comparables à celles du secteur hôtelier).

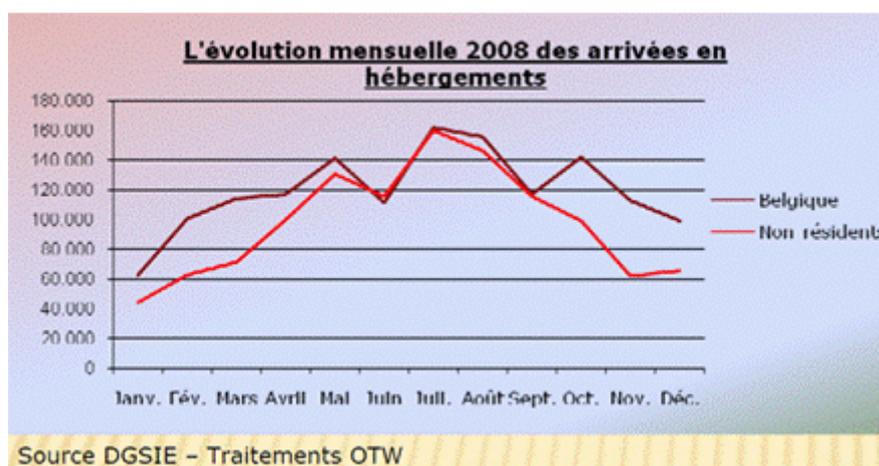


Figure 107. Evolution mensuelle des arrivées en hébergements en Wallonie. Source : DGSIE – Traitements OTW, 2013.

Les dix dernières années ont confirmé la demande croissante d'hébergement touristique et les changements notés dans la saisonnalité dès 1999 : les courts séjours (de 1 à 3 nuits) sont répartis de manière plus ou moins égale au cours de l'année. Par contre, les longs séjours (4 nuits et plus) se concentrent sur 2 périodes : les mois d'avril et de mai et les mois de juillet et d'août. Globalement, on observe en Wallonie une saisonnalité des départs en vacances (ce qui suit la tendance mondiale).

Les étrangers sont plus présents en période de vacances (juillet-août) tandis que la clientèle belge est toujours plus nombreuse et les belges sont présents également hors saison.

Les principales clientèles en 2008			
Belgique	1.439.376	Etats-Unis	24.047
Pays-Bas	449.197	Pologne	22.135
France	246.629	Espagne	22.081
Allemagne	109.472	Luxembourg	15.291
Royaume-Uni	103.637	Autres	133.770
Italie	44.444	TOTAL	2.610.079

Source DGSIE – Traitements OTW

Tableau 78. Les principales clientèles en 2008. Source : DGSIE – Traitements OTW, 2013.

La clientèle belge est légèrement majoritaire aux autres nationalités (les belges et touristes frontaliers représentent 87% des clientèles en arrivées).

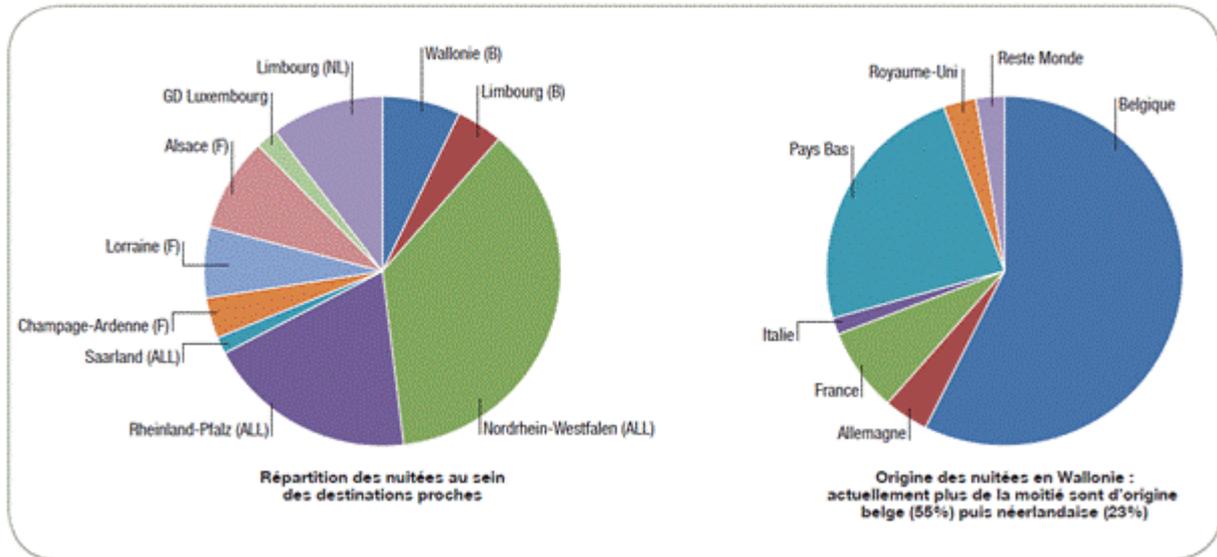


Figure 108. Répartition par destination (gauche) et origine des nuitées (droite) en Wallonie. Source : CPDT, 2014.

La clientèle est donc essentiellement belge (environ 72% des arrivées et 55% des nuitées en 2012).

	Unité	2004	2005	2006	2007	2008
Séjours avec nuitées						
Région flamande ¹	Milliers	14 489	14 181	14 475	14 448	14 267
Région wallonne	Milliers	3 851	3 738	3 772	3 705	3 587

Tableau 79. Tourisme interne avec nuitée(s). Source : Direction générale Statistique et information économique (DGSIE) de la Région wallonne.

	Unité	2004	2005	2006	2007	2008
Total arrivées internationales	Milliers	6 776	6 803	7 054	7 101	7 221
Région flamande ¹	Milliers	5 711	5 710	5 914	5 935	6 051
5 principaux marchés						
<i>Pays-Bas</i>	Milliers	1 275	1 279	1 350	1 371	1 404
<i>Allemagne</i>	Milliers	684	676	678	691	688
<i>France</i>	Milliers	777	799	842	789	845
<i>Royaume-Uni</i>	Milliers	1 029	985	970	950	934
<i>États-Unis</i>	Milliers	264	271	271	275	251
Région wallonne	Milliers	1 065	1 093	1 140	1 166	1 170
5 principaux marchés						
<i>Pays-Bas</i>	Milliers	442	450	454	452	449
<i>France</i>	Milliers	223	225	245	255	247
<i>Allemagne</i>	Milliers	96	97	10	102	109
<i>Royaume-Uni</i>	Milliers	102	94	102	105	104
<i>Italie</i>	Milliers	35	39	46	44	44

Tableau 80. Tourisme récepteur - arrivées internationales. Source : Direction générale Statistique et information économique (DGSIE) de la Région wallonne.

Les cinq principaux pays d'origine sont les Pays-Bas, la France, l'Allemagne, le Royaume-Uni et l'Italie. Ensemble, ces cinq pays représentent environ un million d'arrivées.

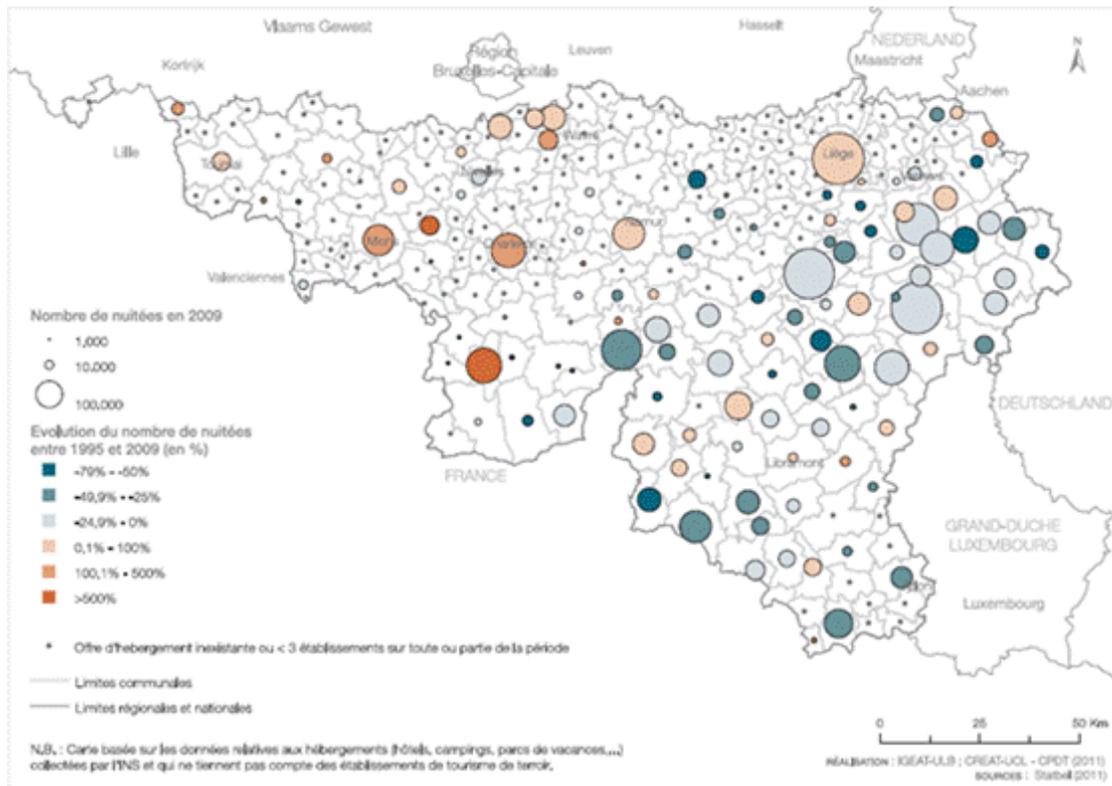


Figure 109. Fréquentation des hébergements en Wallonie (1995 - 2009). Source : CPDT, 2011.

La fréquentation dans les grandes villes (liée en partie seulement aux loisirs) a augmenté significativement.

Par contre, on assiste à une diminution globale de la fréquentation des établissements recensés par l'INS (hôtels, campings, villages de vacances) pour les grands pôles traditionnels du sud du sillon Sambre-et-Meuse (à l'exception de celui de l'Eau d'Heure), potentiellement compensée par le tourisme de terroir pour lequel aucune donnée de fréquentation à l'échelle locale n'est malheureusement disponible mais dont la capacité augmente de manière régulière.

La fréquentation des attractions touristiques

Si les dix dernières années reflètent une évolution positive, à l'échelle de la Wallonie, de la fréquentation des attractions pour lesquelles un droit d'entrée est demandé, des nuances importantes sont perceptibles à une échelle plus fine.

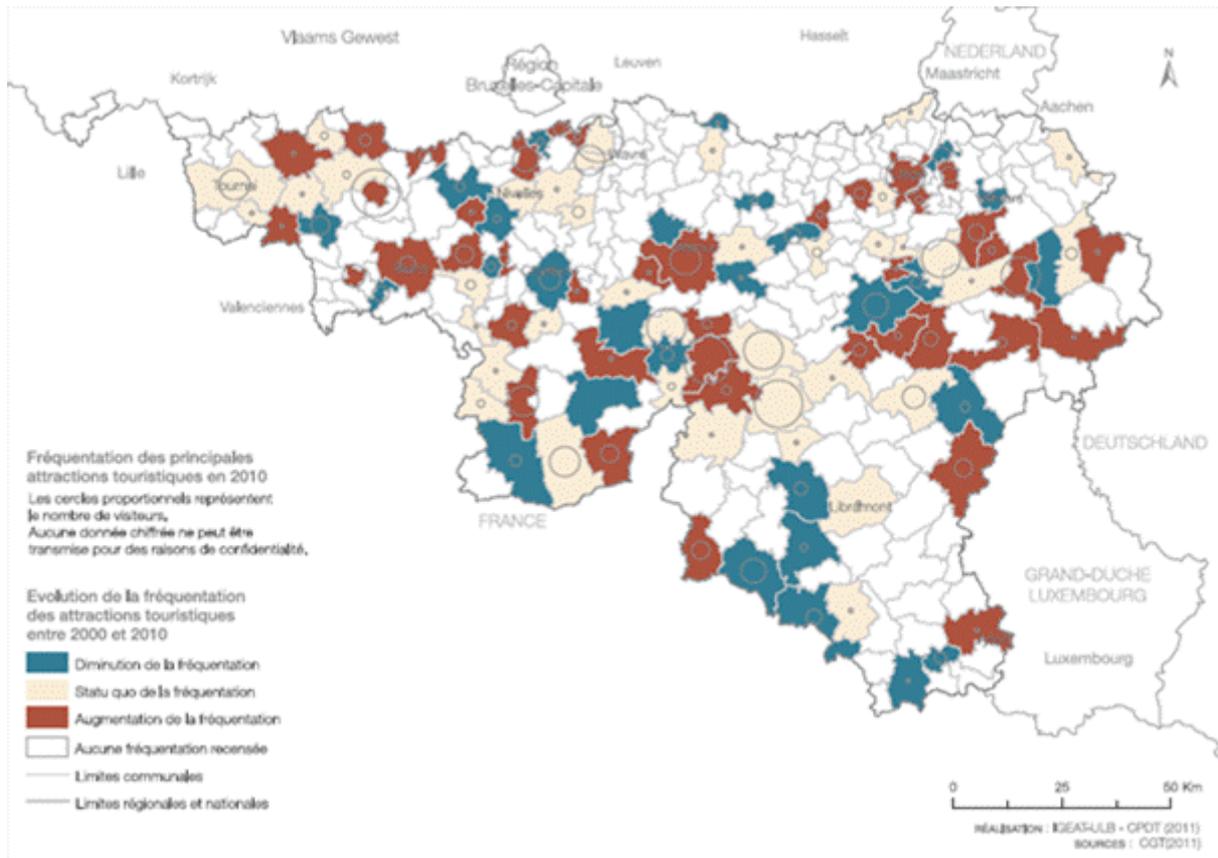


Figure 110. Evolution de la fréquentation des attractions touristiques (2000-2010). Source : CPDT, 2011.

Depuis le début de la saison touristique (avril), il y a une croissance globale du nombre de visiteurs des attractions. Cette hausse est plus marquée dans les provinces de Liège et du Hainaut, avec des très bons résultats dans les attractions « nature » (+18%) et de moins bons résultats dans les demeures/monuments historiques et musées.

On note notamment l'envol de la fréquentation des attractions de la commune de Brugelette (Pairi Daiza accueille plus de 500.000 visiteurs/an), de Stavelot, de Froidchapelle, de Boussu (site du Grand Hornu), de Dinant, Liège, Namur, etc. A contrario, on remarque la diminution significative de la fréquentation des attractions pour les communes de Seneffe, Morlanwelz, Braine-le-Comte, Bouillon et Durbuy.

Néanmoins, pour plus de huit attractions sur dix, la fréquentation était inférieure à 50.000 visiteurs/an en 2006. Elle est dépendante d'un public majoritairement belge (huit personnes/dix) et surtout belge francophone (cinq personnes/dix).

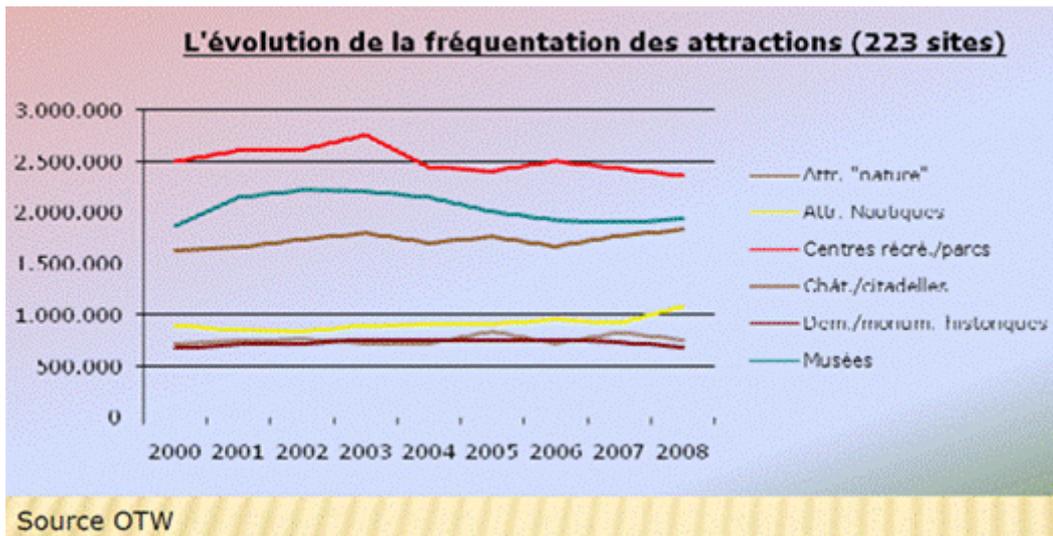


Figure 111. Evolution de la fréquentation des attractions (2000 – 2008). Source : OWT, 2013.

Dans un échantillon d'environ 252 attractions touristiques, plus de 9 millions de visiteurs ont été enregistrés, dont 55 % des excursionnistes dans les sites outdoor.

On observe une légère augmentation de la fréquentation outdoor l'année 2003 marquée très probablement par la canicule (avec des effets positifs et négatifs sur le tourisme).

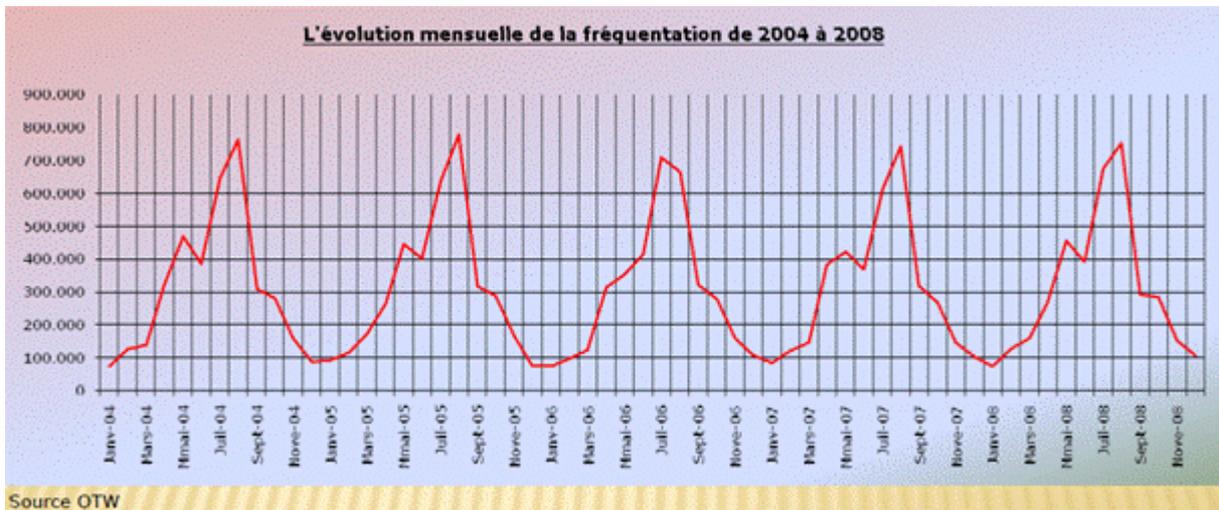


Figure 112. Evolution mensuelle de la fréquentation des attractions (2004 – 2008). Source : OWT, 2013.

L'effet de saisonnalité est marqué. Les pics et les creux sont plus marqués pour les attractions outdoor.

On peut aussi observer l'effet de la météo (juillet et août 2006 moins bons) et l'influence du calendrier des congés (longs WE, vacances de Pâques).

Les origines 2008 (142 attr.)	
Belges francoph.	49,9%
Belges néerland.	22,6%
Pays-Bas	9,5%
France	9,8%
Allemagne	1,3%
Royaume-Uni	1,1%
Autres	5,8%
Source OTW	

Tableau 81. Les origines des visiteurs des attractions en 2008. Source : OWT, 2013.

Les flamands sont plus nombreux dans les attractions « nature » et les Français plus présents le long de la frontière.

Les loisirs

La zone de loisirs en Wallonie porte sur une superficie totale de 8.622 hectares. 38,6 % de cette affectation est occupé par des terres artificialisées. Le reste se répartit en terres agricoles (33,6 %), forêts et milieux semi-naturels (25,4 %) et surfaces en eau (2,4 %). Environ 1400 hectares de zones de loisirs sont identifiés en aléa d'inondation par débordement de cours d'eau dans le cadre du plan P.L.U.I.E.S.

Une enquête (Colson, 2006) indique que les milieux forestiers connaissent un succès particulier auprès des personnes qui pratiquent la promenade de détente (96 % des répondants), l'observation de la faune et de la flore (74 %), et la randonnée pédestre (58 %). Les activités sportives concernent principalement la pratique du vélo (53 %) et du ski (24 %), alors que les sports «aventures» y sont moins prégnants (13 %). Certains sports moteurs (motocross, quad...) sont également pratiqués en forêt (8 %).

Les aires boisées rencontrent un succès plus important dans les régions au taux de boisement plus élevé. En province de Luxembourg, les personnes interrogées sont 62 % à se rendre en forêt, contre 35 % dans le Hainaut. On s'y rend principalement les week-ends (93 % des répondants) et durant les congés (83 %), et nettement moins en semaine (34 %).

La pratique du canoë et du kayak rencontre un succès saisonnier relativement marqué en période estivale. En 2003, environ 7 000 embarcations ont été déclarées par l'ensemble des sociétés de location. La majorité des kayaks disponibles à la location concerne l'Ourthe (environ 2 900 kayaks), la Lesse (près de 2 500 kayaks) et la Semois (approximativement 1 200 kayaks). Cependant, aucune donnée n'est disponible actuellement concernant l'intensité de cette pratique. Mis à part l'estimation du nombre de kayaks mis en location, il faut tenir compte du fait que certaines personnes ou groupes de touristes utilisent leurs propres embarcations, et qu'au sein des locations, un même kayak peut être utilisé plus d'une fois dans la même journée.

La navigation sur les différents cours d'eau et plans d'eau en Région wallonne est soumise à réglementation. Un débit minimum du cours d'eau est requis pour permettre la navigation, ainsi que des horaires de navigation en fonction des saisons. Si le débit est inférieur au seuil autorisé, la pratique est interdite³⁷.

³⁷ Interdictions temporaires de circuler pour raisons de conservation de la nature (art.6 de l'Arrêté du Gouvernement wallon du 30 juin 1994 réglementant la circulation des embarcations et des plongeurs sur et dans les cours d'eau).

Depuis mai 2004, la Région wallonne compte officiellement 34 zones de baignade (soit un site de baignade pour environ 100 000 habitants).

Les préférences des touristes

Afin de mieux cerner les attentes des touristes qui viennent en Wallonie, l'Observatoire du Tourisme Wallon s'est doté d'un nouvel outil en 2012 : un sondage clientèle trimestriel. L'étude est menée auprès des Belges (francophones et néerlandophones), des Français et des Néerlandais. Pour les Pays-Bas et la France, seules les régions frontalières à la Wallonie ont été retenues. Les paragraphes qui suivent présentent les constatations principales du sondage pour l'ensemble de l'année 2012.

Le voyage en couple reste le mode d'accompagnement le plus courant pour l'année 2012. La part de répondants ayant voyagé en couple passe la barre des 4 personnes sur 10 avec 42% des répondants qui déclarent voyager en couple. La grande majorité des répondants (71%) déclare également être venue en Wallonie pour les loisirs.

Le voyage de courte durée est majoritaire durant l'année 2012. Il a duré un jour pour la moitié des répondants, 2 à 3 jours pour 35% des répondants, 4 à 7 jours pour 12% de ceux-ci.

L'activité la plus réalisée par les répondants est la promenade : 50% de ceux-ci se baladent durant leur séjour en Wallonie. Le shopping et les visites de villes et villages arrivent en deuxième ex-æquo avec 35%.

L'hébergement privilégié par les répondants est l'hôtel (44% des répondants déclarent préférer ce type d'hébergement). À la deuxième place, l'hébergement dans la famille ou chez des amis avec 19% et, en troisième place, la location de vacances avec 16%.

Le choix du logement diffère en fonction du marché : Les Belges francophones logent principalement dans la famille ou chez des amis (36%), puis à l'hôtel (30%). Les Français privilégient fortement l'hôtel (50%) comme mode d'hébergement lors de leur venue en Wallonie. Les Belges néerlandophones ainsi que les Néerlandais privilégient l'hôtel (respectivement 39% et 47%) et les locations de vacances (respectivement 23% et 20%).

La destination varie en fonction des marchés : Les Belges néerlandophones (40%) et francophones (28%) se rendent principalement dans la province du Luxembourg, les Néerlandais dans les provinces de Liège (39%) et les Français dans la province du Hainaut (40%).

Les 3 critères principaux qui ont amené les répondants à se rendre en Wallonie en 2012 sont : la beauté des villes et villages, la proximité / l'accessibilité et les richesses naturelles (71% à 75% des répondants ont choisi la Wallonie comme destination par rapport à une autre compte tenu de ces critères).

La très grande majorité des répondants sont satisfaits de leur séjour en Wallonie (91%) et envisagent d'y revenir (56% envisagent certainement y revenir, 37% probablement).

En ce qui concerne le tourisme international de la population wallonne, environ 2,6 millions de wallons partent en vacances à l'étranger chaque année.

	Unité	2006
Voyages touristiques		
Région flamande	Milliers	7 539
Région wallonne	Milliers	2 613

Tableau 82. Tourisme émetteur - départs internationaux. Source : Direction générale Statistique et information économique (DGSIE) de la Région wallonne.

Les dépenses touristiques

Au cours de l'année 2012, environ 69% des répondants ont dépensé moins de 300 € lors de leur séjour en Wallonie. Un touriste sur cinq a dépensé entre 300 et 700 € et 11% plus de 700 €.

Suivant l'origine du touriste sondé, la dépense peut varier de plusieurs euros. Ainsi, pour 2012, la dépense moyenne par personne et par jour atteint :

France (N=361)	Pays-Bas (N=361)	Belgique - Francophone (N=558)	Belgique - Néerlandophone (N=527)
68,76€	62,95€	52,23€	63,07€

Tableau 83. Les dépenses de touristes par région et pays. Source : Sondage OWT 2012.

Si l'on ramène ces montants à un chiffre par personne et par jour, on obtient une moyenne de 60,8 € de dépenses par personne et par jour.

En fin d'année, les touristes ouvrent un peu plus leur portefeuille. On obtient ainsi une moyenne de 63,9 € de dépenses par personne et par jour pour la période allant de novembre 2012 à janvier 2013. La moyenne était de 62,21 € de dépenses par personne et par jour pour la période allant d'août à octobre 2012 ; de 59,27 € pour la période de mai à juillet et de 57,97 € pour la période de février à avril.

L'offre touristique

L'offre touristique en Région wallonne est nombreuse et diversifiée, tant en termes d'hébergements que d'attractions. Cependant, des contrastes apparaissent dans les profils touristiques des provinces. Celles de Liège, de Luxembourg et de Namur apparaissent comme des lieux de séjour principalement, et celles du Brabant wallon et de Hainaut semblent être concernées davantage par l'excursionnisme.

La province de Luxembourg présente l'offre en hébergements et en capacité d'accueil les plus importantes avec un plus grand nombre de nuitées, notamment en tourisme de terroir. Cependant, la fréquentation des attractions est la plus faible.

Dans la province de Liège la capacité d'accueil est relativement élevée et la fréquentation des hôtels et des hébergements de tourisme social est particulièrement élevée. Cependant, la capacité et fréquentation en attractions sont faibles.

La province de Namur présente une offre en hébergements relativement élevée ainsi qu'une fréquentation « moyenne » des hébergements. Cependant, la fréquentation des attractions est la plus élevée.

Dans la province de Hainaut l'offre en hébergements est faible mais elle possède le plus grand nombre d'attractions.

La province du Brabant wallon présente une offre en hébergements et en attractions faible, mais une fréquentation importante qui s'explique par la présence de l'attraction la plus fréquentée de Wallonie (Walibi : plus d'1 million de visiteurs par an).

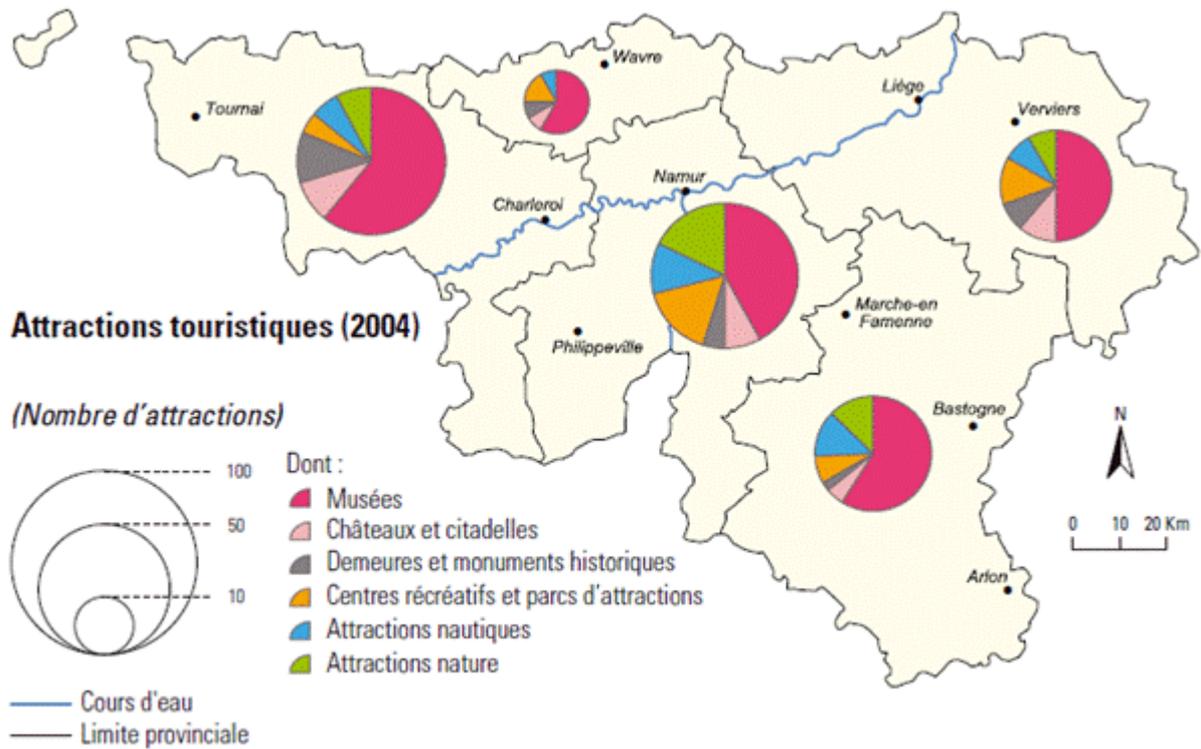


Figure 113. Attractions touristiques en Wallonie. Source : MRW – DGEE – OTW, 2004.

Les figures ci-après montrent un développement important et généralisé du tourisme de terroir sur l'ensemble du territoire. En parallèle, une partie de l'offre hôtelière diminue progressivement.

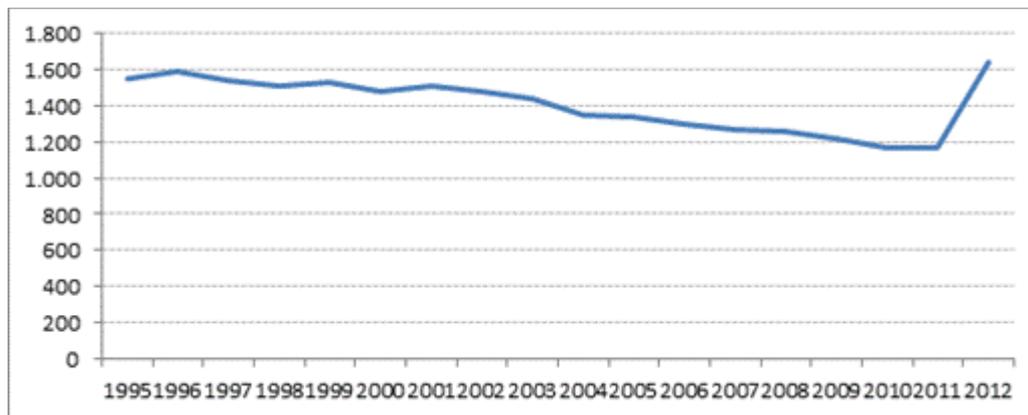


Figure 114. Nombre d'établissements touristiques (Hôtels, hébergement touristique et autre hébergement de courte durée, terrains de camping et parcs pour caravanes ou véhicules de loisirs), 1995-2012. Source : Eurostat, 2014.

	Unité	2004	2005	2006	2007	2008
Total	Établissements	7 535	7 563	6 886	7 440	7 315
Région flamande						
Voyagistes et agences de voyages	Établissements	1 151	1 140	1 127	1 106	1 273 ¹
Hôtels	Établissements	1 064	1 134	1 163	1 194	1 270
Campings et autres installations de loisirs en plein air	Établissements	253	246	249	252	252
Hébergements destinés à des groupes cibles (ex. auberges de jeunesse)	Établissements	510	502	482	510	535 ²
Total	Établissements	2 978	3 022	3 021	3 062	3 330
Région wallonne						
Voyagistes et agences de voyages	Établissements	492	483	496	497	496
Hôtels	Établissements	512	509	512	494	486
Campings	Établissements	275	283	251	246	231
Établissements - tourisme rural	Établissements	3 185	3 173	2 513	3 048	3 175
Villages de vacances	Établissements	29	29	29	29	29
Hébergements - groupes	Établissements	64	64	64	64	64
Total	Établissements	4 557	4 541	3 865	4 378	3 985

Tableau 84. Entreprises du tourisme. Source : Direction générale Statistique et information économique (DGSIE) de la Région wallonne.

L'évolution du nombre d'hébergements reconnus									
Type/Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Camping	302	292	286	287	275	283	251	246	231
Hôtellerie	547	521	518	518	512	509	512	494	486
Tour. Terroir	2.180	2.329	2.556	2.872	3.185	3.173	2.513	3.048	3.175
Total	3.029	3.142	3.360	3.677	3.972	3.965	3.276	3.788	3.892

Source OTW

Tableau 85. Evolution du nombre d'hébergements reconnus (2000 – 2008). Source : OWT, 2013.

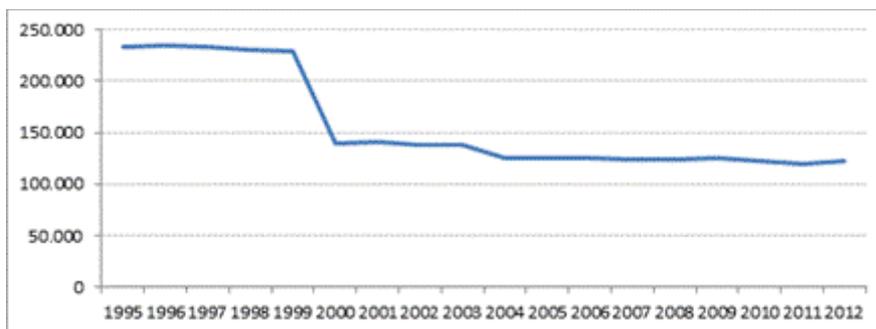


Figure 115. Nombre de places-lits (Hôtels, hébergement touristique et autre hébergement de courte durée, terrains de camping et parcs pour caravanes ou véhicules de loisirs), 1995-2012. Source : Eurostat, 2014.

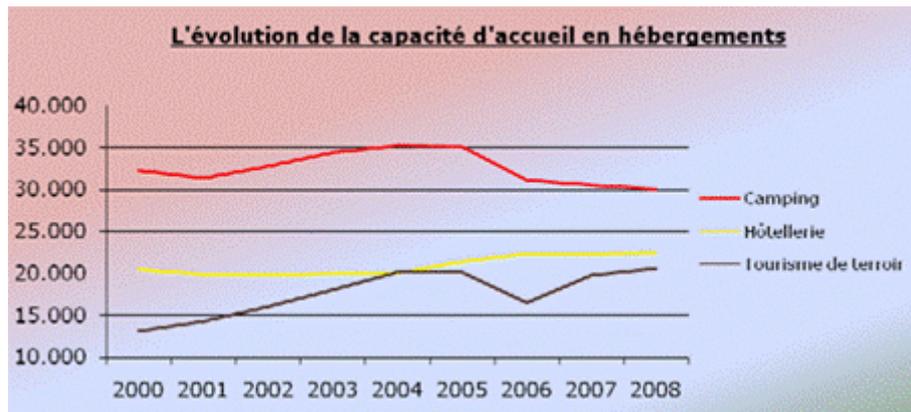


Figure 116. Evolution de la capacité d'accueil en hébergements (2000 – 2008). Source : OWT, 2013.

On observe une chute du tourisme en camping depuis 2006, une grosse diminution en tourisme de terroir en 2006 due à la réglementation et une augmentation de la capacité hôtelière autour des pôles urbains (Charleroi, Liège).

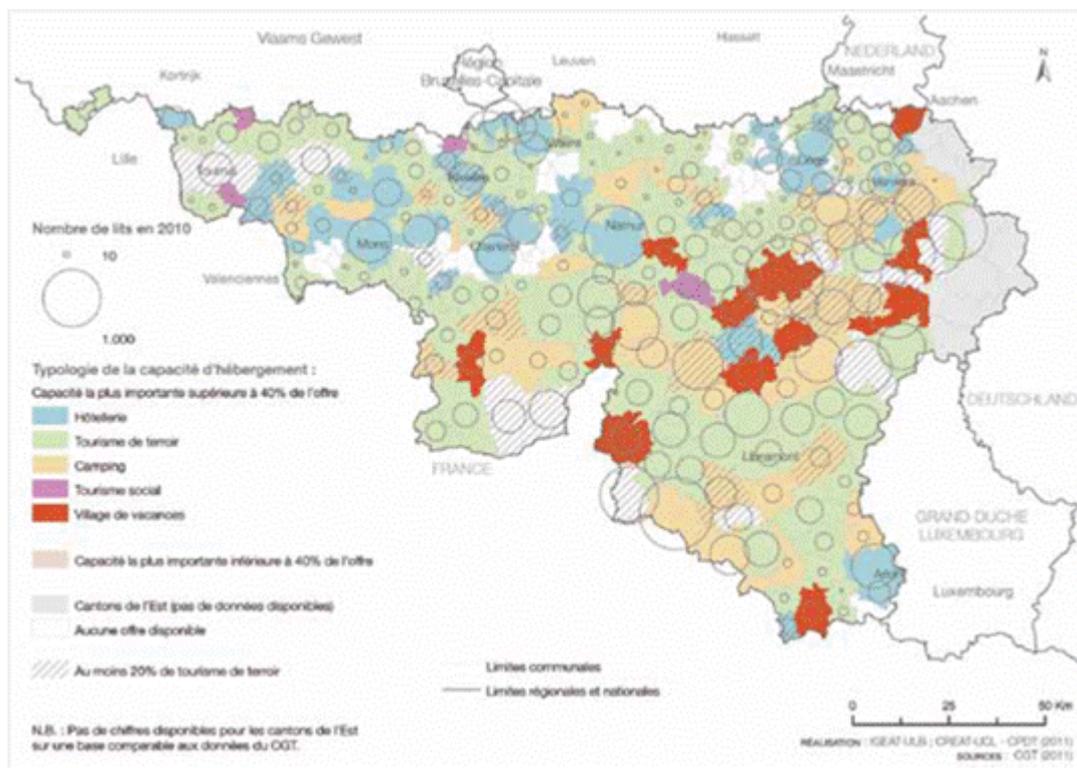


Figure 117. Capacité d'hébergement en Wallonie en 2010. Source : CPDT, 2011.

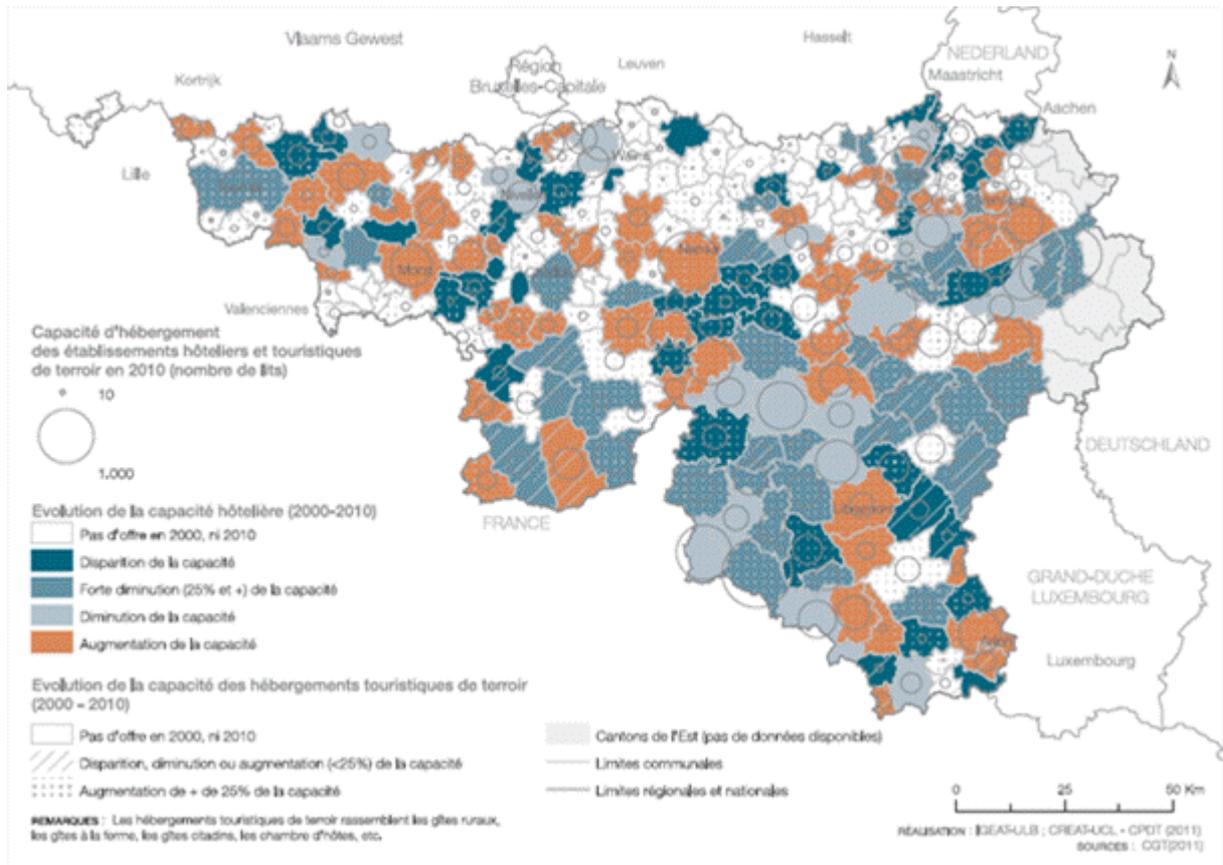


Figure 118. Evolution de la capacité d'hébergement des établissements hôteliers et touristiques de terroir (2000-2010). Source : CPDT, 2011.

La Province du Luxembourg dispose de la plus grande capacité d'accueil (environ 42 %). Elle présente une densité touristique 4 à 24 fois supérieure à celle des autres provinces (près de 12.000 lits pour 100.000 habitants). Par ailleurs, les communes de Bouillon, La Roche-en-Ardenne, Durbuy, Houffalize et Vresse-sur-Semois représentent à elles seules 20 % de l'offre totale.

Aux côtés de cette offre et des établissements reconnus, apparaissent des flux et une offre qui échappent à tout recensement ou presque : les hébergements ne bénéficiant pas de la reconnaissance des organismes publics et les résidences secondaires.

Les grandes lignes directrices (grandes vallées du sud du sillon Sambre-et-Meuse, villes) qui président à la hiérarchisation du territoire touristique en termes d'attractions et de curiosités ont peu varié au cours du temps – la plupart d'entre elles remontent en effet au milieu du XIXe siècle – même si de nouvelles attractions (souvent liées à l'ouverture aux activités touristiques du patrimoine industriel) sont apparues ces dix à vingt dernières années, renforçant encore l'offre particulièrement dense et importante de la province de Hainaut.

Estimation de la demande touristique en 2050

D'après les modèles climatiques, il apparaît que, à l'échelle de 20 ou 30 ans, les impacts du changement climatique sur le secteur touristique soient relativement modérés. Pour l'instant, le seul impact réellement notable est la baisse de l'enneigement en montagne, phénomène qui a conduit certains pays à développer des stratégies d'adaptation (par exemple, l'Autriche). A un horizon de 80-100 ans, les impacts du changement climatique apparaissent plus irréversibles et susceptibles de modifier en profondeur l'attractivité touristique de régions entières.

Les touristes devraient opérer un glissement vers le nord pour les mêmes produits touristiques c'est-à-dire les produits de la nature, la campagne, la forêt. Ce que la Wallonie peut espérer c'est une augmentation du tourisme intérieur et de celui des régions voisines. Un climat plus favorable peut inciter les touristes à rester chez eux ou à proximité durant leurs congés plutôt que de partir vers le sud. Dans la zone des destinations proches, les principaux concurrents pour la Wallonie sont les régions allemandes.

Les impacts du changement climatique sur l'activité touristique en Wallonie sont abordés ici selon deux étapes: d'abord en utilisant les résultats du projet PESETA pour la région d'Europe Nord-centrale avec une augmentation de 2,5°C à l'horizon 2080 et ensuite en partant de l'hypothèse d'une évolution pratiquement linéaire pour évaluer et projeter à l'horizon 2050 l'impact physique du changement climatique sur le secteur touristique en Wallonie en termes de changement dans le nombre de nuitées.

Le projet PESETA utilise l'approche de Mieczkowski (1985) qui propose un indice climato-touristique (ICT), destiné à évaluer l'attractivité climatique des destinations en question ainsi qu'un modèle pour identifier les composantes saisonnières, cycliques et tendanciennes de la demande touristique et destiné à analyser et à prévoir le nombre de nuitées ainsi que la dépense touristique à l'horizon 2080.

L'ICT de Mieczkowski vise à évaluer et à comparer l'attractivité climatique entre destinations. Datant des années 80, il est constitué de la somme pondérée de 5 sous-indices: deux indices de confort, un indice pluviométrique, un indice d'ensoleillement, et un indice anémométrique. L'auteur fournit un ensemble de tableaux et d'abaques qui permettent, en fonction de données climatiques locales de déduire la valeur de chaque sous-indice. Une grille des valeurs favorables au tourisme est fournie.

Les variables prises en compte pour l'établissement de l'indice sont les suivantes: la température moyenne, la température maximale, l'humidité moyenne, l'humidité maximale, les précipitations, l'ensoleillement et le vent.

A partir de ces sept variables, 5 sous-indices sont élaborés : l'indice de confort thermique pendant la journée (CID en °C), l'indice de confort thermique journalier (CIA en °C), les précipitations totales mensuelles (P en mm), les heures d'ensoleillement (S en h/jour) et la vitesse du vent (W en km/h).

Chaque indice fait l'objet d'une cotation, allant de 5 (optimal) à -3 (extrêmement défavorable). Une pondération rend compte de son importance, elle s'exprime comme suit:

$$ICT = 2[(4 \times CID) + CIA + (2 \times P) + (2 \times S) + W]$$

Cet indice s'inscrit dans une fourchette de -30 (impossible) à 100 (idéal) et tente de capter les caractéristiques climatiques de la destination qui ont un impact sur la satisfaction des individus visitant le pays. Afin de faciliter l'interprétation des données, l'échelle de notation de l'ICT est divisée en catégories descriptives.

Le tableau ci-après présente le système de notation de l'ICT, tel qu'utilisé dans le programme PESETA.

Valeur numérique de l'ICT	Description du niveau de confort de l'activité touristique
>90	Idéal
> 80	Excellent
70-79	Très bon
60-69	Bon
40-59	Acceptable
< 40	Défavorable

Tableau 86. Système de notation de l'ICT. Source : Programme JRC- PESETA.

L'ICT global est donc calculé en combinant les différents sous-indices, pondérés. Le score maximum est de 100. Une valeur élevée de l'ICT signifie ainsi que le pays dispose d'un climat attractif pour le tourisme.

Si l'indice n'avait au départ pas été développé dans cette optique, il a été utilisé par de nombreux auteurs pour mesurer les effets provoqués par les changements climatiques sur les ressources touristiques. Une revue de la littérature qui utilise l'ICT est présente dans l'annexe tourisme.

L'ICT est calculé en utilisant les données climatiques mensuelles du passé, à partir desquelles il est possible d'effectuer une simulation à un horizon donné à l'aide de modèles climatiques et de scénarios d'émission futurs.

PESETA 2009 a appliqué ce modèle à l'ensemble des pays de l'Europe, en évaluant pour chaque mois de l'année un indice climato-touristique. Les données climatiques utilisées vont de 1961 à 1990 selon les scénarios A2 et B2 et deux modèles climatiques. D'abord les données climatiques ont été utilisées pour estimer l'ICT dans tous les scénarios. La valeur moyenne de l'ICT pour chaque saison et chaque scénario climatique futur est ensuite comparée aux valeurs respectives de l'ICT dans la période de contrôle (1961-1990). Cette comparaison donne une perception des changements possibles de l'attractivité climatique pour le tourisme général d'été.

Si l'on se penche à présent sur le positionnement des différentes destinations on peut remarquer que l'ICT varie actuellement fortement entre les régions (avec les valeurs plus basses pour l'hiver en Scandinavie, et les plus hautes en été en Méditerranée). La plupart des destinations présentent une distribution saisonnière marquée par un pic estival (exceptées la Péninsule ibérique et la Méditerranée qui fonctionnent selon des pics bimodaux, les températures y étant déjà –légèrement- trop élevées en été) (Perch-Nielsen et al 2010).

Pour les activités légères, l'été est donc actuellement la meilleure saison dans la plupart des pays d'Europe, en particulier pour le tourisme balnéaire. Les conditions sont excellentes sur la côte méditerranéenne. Sur la moitié sud de l'Europe, les conditions sont bonnes à excellentes en automne et particulièrement au printemps. Dans le nord elles sont, au mieux, acceptables. En hiver elles sont défavorables dans toute l'Europe.

Enfin, pour réaliser l'analyse de la demande touristique, une équation touristique en nuitées avec résolution régionale et saisonnière a été estimée statistiquement avec les niveaux de prix, de revenus, des effets saisonniers fixes et l'ICT comme variables explicatives. L'influence du climat est explicitement considérée en insérant l'ICT dans l'équation.

En introduisant les ICT simulés avec les scénarios dans l'équation de la demande touristique, les changements dans le nombre de nuitées peuvent être estimés en gardant tous les autres déterminants de la demande constants.

Le tableau ci-dessous présente les résultats de leur évaluation.

	Change (%) in bed nights			
	B2 HadAM3h	A2 HadAM3h	B2 ECHAM4	A2 ECHAM4
	2.5°C	3.9°C	4.1°C	5.4°C
Northern Europe	4	6	20	25
British Isles	3	4	14	18
Central Europe North	2	3	13	16
Central Europe South	2	3	14	17
Southern Europe	-1	-1	-2	-4
<i>EU</i>	1	1	6	7

Tableau 87. Changements simulés en nuitées en 2080 par rapport à 1970. Source : PESETA 2009.

Le changement climatique engendrera des conditions plus favorables dans la plupart des régions ce qui se traduit par une augmentation du nombre de nuitées avec un impact positif faible au niveau de l'ensemble de l'Europe. Le Sud de l'Europe (qui compte actuellement plus de la moitié de la capacité européenne d'hébergement touristique) serait la seule région à présenter une diminution du nombre de nuitées à l'horizon 2080 (de -1% à -4%, selon le scénario climatique considéré). Une augmentation du nombre de nuitées est estimée pour le reste de l'Europe (de 13% à 25% pour les scénarios avec une augmentation de la température plus élevée).

A partir des résultats du projet PESETA, on peut supposer que le changement climatique engendrera une augmentation de l'ordre d'environ 1% sur la demande touristique en nombre de nuitées en Wallonie à l'horizon 2050.

Traduction en termes monétaires

L'impact économique peut être estimé en utilisant les dépenses moyennes des touristes par nuitée. Le nombre moyen de nuitées autour des années nonante se situait en Wallonie à environ 7 millions. Une augmentation d'environ 1% représenterait un nombre excédentaire de nuitées d'environ 70000 en 2050. En considérant une dépense moyenne de 61 euros par nuitée, le changement climatique engendrait **un gain d'environ 5 millions d'euros par an dans le secteur touristique en Wallonie en 2050 (6,4 millions d'euros si l'on tient compte du tourisme de terroir).**

LE COÛT DE L'INACTION SUR LE SECTEUR TOURISTIQUE

SECTEUR	TOURISME
Descriptif de l'impact	
<p>Le changement climatique pourrait à la fois allonger la saison et permettre un certain déplacement vers le nord des pratiques touristiques. Globalement les potentialités touristiques des intersaisons devraient se trouver largement accrues. Ceci pourrait entrer en résonance avec des phénomènes actuels comme le fractionnement des vacances et le développement des courts séjours.</p>	
Cadre de l'analyse	
<p>Quantification de l'impact de l'augmentation de l'attractivité touristique de la Wallonie en flux touristiques (nombre de nuitées) et traduction en termes monétaires.</p>	
Méthode	
<p>Utilisation des projections du projet européen PESETA 2009 pour la région nord centrale de l'Europe et des dépenses moyennes des touristes.</p>	
Quantification de l'impact physique	
<p>Le nombre de nuitées augmentera de 1% en 2050 (70000 nuitées excédentaires).</p>	
Traduction en termes monétaires	
Données d'entrée	
<p>61 euros par nuitée selon les résultats du sondage annuel de 2012 de l'Observatoire wallon du Tourisme.</p>	
Résultats (Estimation des coûts des impacts)	
<p>Le changement climatique engendrait un gain d'environ 5 millions d'euros par an dans le secteur touristique en Wallonie en 2050 (6,4 millions d'euros si l'on tient compte du tourisme de terroir).</p>	
Type de coût	Marchand

Coût relatif	61 euros par nuitée ou par personne et par jour
	6% du chiffre d'affaires du tourisme wallon de 2012
Public cible	Secteur touristique
Limites et incertitudes	
<p>Le changement climatique pourrait se traduire par une redistribution des flux touristiques entre les provinces (donc sans perte nette), à l'échelle internationale (redistribution qui dépendra des conditions climatiques des pays émetteurs et des autres destinations), mais également entre les saisons.</p> <p>Les facteurs climatiques influencent dans le processus décisionnel du départ et du choix de lieu de vacances ou de séjours, mais ils jouent de façon complexe et évolutive avec d'autres facteurs comme le prix, mais aussi également d'autres variables liées à l'expérience touristique acquise, ou aux liens (familiaux, résidentiels...) des individus.</p> <p>L'indice climat-touristique (ICT) global est calculé en combinant différents sous-indices pondérés. Si le fait d'être constitué de facteurs différents est le point fort de cet indice, il présente toutefois des limitations importantes (Amelung et Moreno 2009). La première de celle-ci est son importante subjectivité. En effet, la pondération des différents facteurs est basée sur la littérature biométéorologique et sur des avis d'experts, mais n'est pas validée par les préférences effectives des touristes. La validation empirique du pouvoir prédictif de l'ICT est donc limitée. Une autre limite réside dans le fait qu'implicitement les facteurs sont considérés comme indépendants les uns des autres. Enfin, le TCI a été développé en ne tenant compte que du confort pour des activités touristiques légères (sightseeing, plage). Les activités touristiques plus spécifiques ne peuvent donc s'y retrouver.</p> <p>En plus, l'attractivité climatique obtenue avec l'ICT c'est seulement un des facteurs qui influencent les choix des touristes. Autres facteurs cruciaux tels que le niveau des revenus des touristes et le prix des services touristiques devront être considérés pour faire des estimations plus précises du changement du flux touristique dans le futur. En effet, le climat constitue un facteur de décision parmi d'autres dans les choix des touristes. L'attractivité touristique globale d'une zone dépend d'un grand nombre de facteurs, tels que la présence d'infrastructures adaptées, la distance, l'offre d'activités, le patrimoine, la nature, et l'offre culturelle ou encore le prix du séjour. L'importance du facteur climat diffère également selon le type d'activités : les activités de plein air sont par exemple plus sensibles au climat que le tourisme de ville.</p> <p>S'il existe un consensus scientifique autour du calcul du confort thermique humain, le principal désaccord réside dans la décision d'accorder le plus grand poids (50% de la valeur totale de l'ICT) au confort thermique, alors que celui-ci est en grande partie lié à la perception du sujet. L'ICT est fondé sur des appréciations qualitatives de certaines variables (attribution de notes allant de 1 à 5) ce qui implique une certaine subjectivité, et des seuils fixés de manière artificielle (sur la base de la « meilleure approximation possible de l'opinion de la majorité des personnes concernant le confort thermique »). Des travaux récents s'attachent donc à valider l'indice climatique pour les touristes sur la base d'études de terrain.</p> <p>Au vu de la multiplicité et de la complexité des facteurs influençant les choix de destination des touristes, l'évolution de l'ICT en un lieu donné ne conditionne pas forcément l'évolution de la fréquentation touristique. Ainsi, si l'ICT d'une région augmente ou diminue, nous ne pouvons en tirer de conclusions directes sur l'évolution de la fréquentation. Une région connaissant un ICT élevé peut en effet connaître une faible fréquentation touristique, et vice-versa. Les indices en tant que tels sont en conséquence d'une utilité limitée.</p> <p>En l'état actuel, ces travaux fournissent donc des résultats pour un nombre limité de destinations et sont fondés sur des échantillons de taille réduite. Ils ne permettent pas de façon satisfaisante d'analyser les différences des attentes des touristes selon leur origine (pays « émetteur »).</p>	

En zone méditerranéenne, si le climat constitue un atout de taille qui attire les touristes, dans des régions moins clémentes comme la Wallonie, le climat n'est probablement pas le facteur le plus important de décision de séjour.

Un certain nombre d'impacts du changement climatique susceptibles de se répercuter sur la demande et l'offre touristique ne sont pas considérés. Les aléas climatiques choisis sont restreints aux températures et ensoleillement et ne rendent compte ni de la variabilité du climat, des phénomènes extrêmes (feux de forêt, canicules, inondations), de l'érosion de la biodiversité ou encore de la baisse de disponibilité de l'eau.

Tableau 88. Synthèse des résultats des impacts analysés sur le secteur touristique. Source : ICEDD, 2014.

PERSPECTIVES FUTURES

Pour aller plus loin...

- Appliquer les résultats du projet de recherche de la CPDT « IMPACT DE LA MODIFICATION CLIMATIQUE A 30 ANS SUR LE TOURISME EN WALLONIE » afin d'affiner l'analyse.

Tableau 89. Proposition de recherches futures pour affiner les résultats de l'analyse sur le secteur touristique. Source : ICEDD, 2014.

L'objectif de cette recherche est « dans un premier temps, d'évaluer l'impact des changements climatiques et des mesures d'atténuation et d'adaptation de ceux-ci à la fois sur les flux touristiques vers la Wallonie et sur les flux touristiques au sein du territoire wallon. Cette recherche estimera le nombre de touristes en Wallonie (domestiques/belges et internationaux) et le nombre de départs de touristes wallons/belges à l'étranger à l'horizon 2050. Les résultats seront disponibles mi-2014.

Avec les résultats de cette recherche, il sera possible de réaliser une monétarisation en termes de variation des dépenses des touristes en Wallonie et des touristes wallons à l'étranger attribuable au changement climatique en fonction de l'évolution du nombre de touristes et de la durée des séjours (en différenciant touristes domestiques et internationaux) et des dépenses moyennes de chacune de ces deux catégories de touristes par voyage.

3 REFERENCES

Plus d'un millier de publications de langue française ou anglaise ont été dépouillées. La liste qui suit en retient moins du vingtième. Elle privilégie, d'une part, un certain nombre d'études de synthèse, elles-mêmes pourvues d'abondantes bibliographies, d'autre part les travaux les plus récents.

GENERAL

Bibliographie

"Assessing the cost of climate change and its wider impact on society." Phys.org. 7 Aug 2013.
<http://phys.org/news/2013-08-climate-wider-impact-society.html>

Ecores et al, (2011) L'adaptation au changement climatique en Région wallonne, Rapport final, AWAC

EEA Report No 12/2012: Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012.

GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat), 2000. Rapport spécial du groupe de travail III du GIEC. Scénarios d'émissions. Résumé à l'intention des décideurs. Genève, Suisse : GIEC.

GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat), 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des groupes de travail I, II, III au quatrième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Genève, Suisse : GIEC.

Greenpeace. Changements climatiques: quels impacts en France?

Groupe interministériel Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France (2009). Évaluation du coût des impacts du changement climatique et de l'adaptation en France. Rapport de la seconde phase. Partie III – Rapports des groupes sectoriels. 231 p. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapport-du-groupe-de-travail.html>

Klein, R.J.T., E.L. Schipper and S. Dessai, 2005: Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy: three research questions. Environ. Sci. Policy, 8, 579-588.

L'adaptation au changement climatique en Région wallonne, note d'orientation stratégique par Ecores-TEC pour l'Agence Wallonne de l'air et du climat, mai 2011

National Climate Commission (2010) "Belgian national climate change adaptation strategy", 51 pages.

Ouranos (2008), L'évaluation des avantages et des coûts de l'adaptation aux changements climatiques.

Pameseb asbl. L'objectif de l'asbl Pameseb est de promouvoir l'agrométéorologie. Pameseb possède un réseau de 30 stations agrométéorologiques en Wallonie. L'asbl fournit également les mesures météorologiques sous demande.

Marbaix P. & van Ypersele J.-P., 2004. Rapport : impacts des changements climatiques en Belgique. Bruxelles : Greenpeace, 44p

Stern, N. (2006). The Economics of Climate Change: The Stern Review, Cambridge, 712 p.

Vigilance climatique. Publié par l'institut royal météorologique de Belgique. ISBN 02008/0224/049.

AGRICULTURE

Bibliographie

- ALEXANDROV V.A. AND HOOGENBOOM G., (2000): Vulnerability and adaptation assessments of agricultural crops under climate change in the Southeastern USA. *Theoretical and Applied Climatology*, 67, 45-63 pp.
- ASSENG S., JAMIESON P.D., KIMBALL B., PINTER P., SAYRE K., BOWDEN J.W., HOWDEN S.M., (2004): Simulated wheat growth affected by rising temperature, increased water deficit and elevated atmospheric CO₂. *Field Crops Research*, 85, 2-3, 85-102pp.
- Aurambout J. P., Finlay K. J., Luck J. & Beattie G. A. C. 2009 - A concept model to estimate the potential distribution of the Asiatic citrus psyllid (*Diaphorina citri* Kuwayama) in Australia under climate change - A means for assessing biosecurity risk. *Ecological Modelling* 220(19): 2512-2524.
- Bacon, S. J., Aebi, A., Calanca, P., Bacher, S. (2014), Quarantine arthropod invasions in Europe: the role of climate, hosts and propagule pressure. *Diversity and Distributions*, 20: 84-94. doi: 10.1111/ddi.12149
- Bauwens A., Sohier C. & Degré A., 2011 Hydrological response to climate change in the Lesse and the Vesdre catchments: contribution of a physically based model (Wallonia, Belgium). *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 1745-1756.
- Bauwens A., Sohier C., Deraedt D. & Degré A., 2012. How could Mosan agriculture be impacted by climate change and future droughts? *Geophys. Res. Abstr.*, 14.
- Bodson, B. (2012). La culture de la betterave - Caractéristiques.
- Bosco, C., de Rigo, D., Dewitte, O., Poesen, J. and Panagos, P. (2012), Modelling Soil Erosion at European Scale. Towards Harmonization and Reproducibility, Joint Research Centre.
- BRADLEY, B. A. (2009), Regional analysis of the impacts of climate change on cheatgrass invasion shows potential risk and opportunity. *Global Change Biology*, 15: 196-208. doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01709.x
- Bradley, B.A., Wilcove, D.S., and Oppenheimer, M. (2010), Climate change increases risk of plant invasion in the Eastern United States. *Biol. Invasions*, 12 (6): 1855 - 1872. doi:10.1007/s10530-009-9597-y.
- Butterworth, Michael H.; Semenov, Mikhail A.; Barnes, Andrew; Moran, Dominic; West, Jonathan; Fitt, Bruce D. L., (2010), North-South divide : contrasting impacts of climate change on crop yields in Scotland and England. *Journal of The Royal Society Interface*, Vol. 7, No. 42, p. 123-130.
- Bergant Klemen, Stanislav Trdan, Dragan Žnidarčič, Zalika Črepinšek, and Lučka Kajfež-Bogataj (2005), Impact of Climate Change on Developmental Dynamics of Thrips tabaci (Thysanoptera: Thripidae): Can It Be Quantified?, *Environmental Entomology*, 34(4):755
- BOIKETE Philippe (2012), L'agriculture belge, Bilan et Perspective.
- Bouquiaux J-M, J-M. Marsin et R. Daniel, Direction de l'Analyse Economique Agricole ; M-H Buron, Centre d'Economie Rurale de Marloie, 2013, Performances et rentabilité en agriculture wallonne (années 2008 à 2011).
- Bourgeois Gaétan, Alain Bourque & Gaétan Deaudelin, (2004), Modelling the impact of climate change on disease incidence: a bioclimatic challenge, *Canadian Journal of Plant Pathology*, Volume 26, Issue 3, pages 284-290.

- Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007. « L'érosion hydrique », Rapport Analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007, MRW - DGRNE, Namur, chapitre 11, pages 476-485, 2007. Téléchargeable en ligne : <http://etat.environnement.wallonie.be/index.php?page=le-rapportanalytique-2006-2007>
- Chiffres clés de l'agriculture 2013, Direction générale Statistique et Information économique du Service Public Fédéral Economie.
- CUCULEANU V., MARICA A., SIMOTA C., (1999): Climate change impact on agricultural crops and adaptation options in Romania. *Cli-mate Research*, 12, 153-160 pp.
- Dairyman, 2011, Caractérisation de la durabilité de la Wallonie, du secteur agricole et du secteur laitier. CENTRE WALLON DE RECHERCHES AGRONOMIQUES (CRA-W).
- DAUTREBANDE S., SOHIER C., 2006. L'érosion hydrique et les pertes en sol agricoles en Région Wallonne, Etat de l'Environnement wallon, Etudes – Expertises, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, juin 2006. Téléchargeable en ligne : <http://etat.environnement.wallonie.be/index.php?page=don4&myid=44&name=L%E2%80%99C3%A9rosion%20hydrique%20des%20sols%20&alias=Lerosion-hydrique-des-sols>
- Economie Agricole de la Wallonie en cartes (2011), SPW, Portail de l'Agriculture wallonne.
- EEA and JRC, 2010. SOER 2010 – Thematic assessment – Soil.
- Estay, S.A., Lima, M., Labra, F.A. (2009): Predicting insect pest status under climate change scenarios: combining experimental data and population dynamics modelling. – *J. Appl. Entomol.* 133(7): 491-499. doi: 10.1111/j.1439-0418.2008.01380.x
- European Commission - JRC - IPTS – IES (2009), Climate change impacts in Europe. Final report of the PESETA research project.
- Evans N, Baierl A, Semenov MA, Gladders P, Fitt BD., (2008), Range and severity of a plant disease increased by global warming. *J R Soc Interface.* 5(22):525-31.
- Evolution de l'économie agricole et horticole de la Wallonie, 2011 – 2012. SPW, Direction générale opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement Département de l'Etude du Milieu naturel et agricole Direction de l'Analyse économique agricole.
- EWERT F., ROUNSEVELL M.D.A., REGINSTER I., METZGER M.J., LEEMANS R., (2005): Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 107, 101-116 pp.
- FAO (2008). Changement climatique et ravageurs et maladies transfrontières.
- Galko, E. (2007), Modélisation de l'offre agricole européenne face à de nouveaux enjeux : réformes politiques, effet de serre et changement climatique, thèse de doctorat.
- Gerald C. Nelson, Mark W. Rosegrant, Jawoo Koo, Richard Robertson, Timothy Sulser, Tingju Zhu, Claudia Ringler, Siwa Msangi, Amanda Palazzo, Miroslav Batka, Marilia Magalhaes, Rowena Valmonte-Santos, Mandy Ewing et David Lee, 2009, « Changement climatique, Impact sur l'agriculture et coûts de l'adaptation », Institut international de recherche sur les politiques alimentaires IFPRI, Washington, D.C., Actualisé en Octobre 2009, (<http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/pr21fr.pdf>)
- Hallett, R.H., Goodfellow, S., Weiss, R.M., et Olfert, O.O. (2009). « MidgEmerge, a new predictive tool, indicates the presence of multiple emergence phenotypes of the overwintered generation of swede midge. », *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 130(1), p. 81-97. doi : 10.1111/j.1570-7458.2008.00793.x

- Huber, S.; Prokop, G.; Arrouays, D.; Banko, G.; Bispo, A.; Jones, R.J.A.; Kibblewhite, M.G.; Lexer, W.; Möller, A.; Rickson, R.J.; Shishkov, T.; Stephens, M.; Toth, G.; Van den Akker, J.J.H.; Varallyay, G.; Verheijen, F.G.A.; Jones, A.R. (eds.), 2008. Environmental Assessment of Soil for Monitoring: Volume I Indicators and Criteria. EUR 23490 EN/1. Office for the Official Publication of the European Communities, Luxembourg, 339 pp.
- Jarnevich Catherine S. and Thomas J. Stohlgren, (2009), Near term climate projections for invasive species distributions, *Biological Invasions*, Volume 11, Issue 6, pp 1373-1379
- Jeffrey C. E. and Jeffrey E. P., (1996), Redistribution of the Potential Geographical Ranges of Mistletoe and Colorado Beetle in Europe in Response to the Temperature Component of Climate Change, *Functional Ecology*, Vol. 10, No. 5 (Oct., 1996), pp. 562-577
- Klimaatpark Arenberg, Leuven, 2008, ADAPTATIEMOGELIJKHEDEN VAN DE VLAAMSE LANDBOUW AAN KLIMAATVERANDERING, Anne Gobin, Philippe Van De Vreken, Jos Van Orshoven, Wannes Keulemans, Rony Geers, Jan Diels, Hubert Gulinck, Martin Hermy, Dirk Raes, Walter Boon, Bart Muys, Erik Mathijs.
- KRITICOS, D. J., WATT, M. S., POTTER, K. J. B., MANNING, L. K., ALEXANDER, N. S. and TALLENT-HALSELL, N. (2011), Managing invasive weeds under climate change: considering the current and potential future distribution of *Buddleja davidii*. *Weed Research*, 51: 85–96. doi: 10.1111/j.1365-3180.2010.00827.x
- Livre Vert du projet CLIMATOR. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Agroclim (INRA) ; Agropole, Juin 2012 - 16x23,5 - 336p.
- Middelkoop H. & Kwadijk J.C.J., 2001. Towards integrated assessment of the implications of global change for water management – The Rhine experience. *Phys. Chem. Earth Part B*, 26, 553-560.
- Muller C. (2010) « Climate Change Impacts on Agricultural Yields », note d'information du rapport annuel publié par la Banque mondiale « World Development Report 2010 ».
- Newman, J. A., 2006: Using the output from global circulation models to predict changes in the distribution and abundance of cereal aphids in Canada: a mechanistic modeling approach. *Global Change Biology* 12(9): 1634-1642
- OLESEN J.E., CARTER T.R., DÍAZ-AMBRONA C.H., FRONZEK S., HEIDMANN T., HICKLER T., HOLT T., MINGUEZ M.I., MORALES P., PALUTIKOF J.P., QUEMADA M., RUIZ-RAMOS M., RUBAEK G.H., SAU F., SMITH B., SYLES M.T., (2007). Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Climatic Change*, 81, 123-143 pp.
- OLESEN J.E., TRNKA M., KERSEBAUM K.C., SKJELVÅG A.O., SEGUIN B., PELTONEN-SAINIO P., ROSSI F., KOZYRA J., MICALE F., (2011). Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*, 34, 96-112pp.
- Olfert O. and R. M. Weiss, (2006a), "Bioclimatic model of *Melanoplus sanguinipes* (Fabricius) (Orthoptera: Acrididae) populations in Canada and the potential impacts of climate change," *Journal of Orthoptera Research*, vol. 15, pp. 65–77.
- Olfert, O. and R. M. Weiss, (2006b), Impact of climate change on potential distributions and relative abundances of *Oulema melanopus*, *Meligethes viridescens* and *Ceutorhynchus obstrictus* in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113:295–301.
- Olfert, O. , R. M. Weiss, S. Woods, H. Philip, and L. Dosdall, (2004), "Potential distribution and relative abundance of an invasive cereal crop pest, *Oulema melanopus* (Coleoptera: Chrysomelidae), in Canada," *The Canadian Entomologist*, vol. 136, no. 2, pp. 277–287.
- Porter, J. H., M. L. Parry, and T. R. Carter. 1991. The potential effects of climatic change on agricultural insect pests. *Agriculture and Forest Meteorology* 57:221–240.

- RÖTTER R.P., PALOSUO T., PIRTIOJA N.K., DUBROVSKY M., SALO T., FRONZEK S., AIKASALO R., TRNKA M., RISTOLAINEN A., CARTER T.R., (2011). What would happen to barley production in Finland if global warming exceeded 4°C? A model-based assessment. *European Journal of Agronomy*, 35, 4, 205-214pp.
- Salinari, Francesca; Giosuè, Simona; Tubiello, Francesco-Nicola; Rettori, Andrea; Rossi, Vittorio; Spanna, Federico; Rosenzweig, Cynthia; Gullino, Maria-Lodovica, 2006: Downy mildew Plasmopara viticola epidemics on grapevine under climate change. *Global change biology* 12(7): 1299-1307
- Seguin B., 2010, Le changement climatique : conséquences pour l'agriculture et la forêt, Rayonnement du CNRS n° 54, juin 2010.
- Seguin B., 2008, Impact du changement climatique et adaptation de l'agriculture, INRA.
- SEMENOV M.A., (2007). Development of high-resolution UKCIP02-based climate change scenarios in the UK. *Agricultural and Forest Meteorology*, 144, 127-138pp.
- Sinaba B., Bauwens A., Boeckx L., Deckers P., Degré A., Deraedt D., De Keizer O., Döring R., Drogue G., Fournier M., Hissel F., Huber N. P., Kufeld M., Pontégnie D., 2013, Quantification of the impacts of future low-flows on the economy in the transnational Meuse basin, WP1 report - Action, AMICE project.
- TRNKA M., DUBROVSKY M., ZALUD Z., (2004). Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. *Climatic change*, 64, 227-255 pp.
- Trnka, M.; Muska, F.; Semerádová, D.; Dubrovsky, M.; Kocmanková, E.; Zalud, Z., 2007: European Corn Borer life stage model Regional estimates of pest development and spatial distribution under present and future climate. *Ecological Modelling* 207(2-4): 61-84
- Van Passel Steven, Emanuele Massetti, Robert Mendelsohn, 2012, A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change on European Agriculture, *Climate Change and Sustainable Development*, 2012.083 Note di lavoro

Contacts

Aurore Degré, Soil – Water Systems, ULg Gembloux Agro-Bio Tech, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux. Tél. +3281622187.

Patrice Dumas, Chercheur CIRAD au CIREN sur l'adaptation au changement climatique en situation d'incertitude, en particulier dans les secteurs de l'eau et de l'agriculture. Egalement impliqué dans la modélisation intégrée et l'évaluation des conséquences économiques des événements climatiques. Egalement en collaboration avec le CERES (Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Environnement et la Société) à l'ENS, sur les questions d'assimilations de données en économie, et sur les modèles de cycle économiques. Associé au Laboratoire de Météorologie Dynamique. Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement – CIREN, 45bis, Av de la Belle Gabrielle, F-94736 Nogent-sur-Marne, France, Tél. +33143947390.

Claude Desjarlais, Directeur de l'Analyse économique, Ouranos, 550 Sherbrooke Ouest, 19e, Montréal, (QC) H3A 1B9, Canada, Tél.: 514 282-6464 #231, Fax.: 514 282-7131, e-mail : Desjarlais.Claude@ouranos.ca

BIODIVERSITÉ, SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES ET FORÊTS

Bibliographie

- Abdalla, Mohamed, Matthew Saunders, Astley Hastings, Mike Williams, Pete Smith, Bruce Osborne, Gary Lanigan, and Mike B. Jones. 2013. "Simulating the Impacts of Land Use in Northwest Europe on Net Ecosystem Exchange (NEE): The Role of Arable Ecosystems, Grasslands and Forest Plantations in Climate Change Mitigation." *Science of The Total Environment* 465 (November): 325–36. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.12.030.
- Bellard, Céline, Cleo Bertelsmeier, Paul Leadley, Wilfried Thuiller, and Franck Courchamp. 2012. "Impacts of Climate Change on the Future of Biodiversity: Biodiversity and Climate Change." *Ecology Letters* 15 (4): 365–77. doi:10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x.
- Bemelmans, Daniel, Monique Carnol, Hughes Claessens, Charles De Cannière, Louis François, Etienne Gerard, Jean-Claude Grégoire, et al. 2009. "Le Changement Climatique et Ses Impacts Sur Les Forêts Wallonnes. Recommandations Aux Décideurs et Aux Propriétaires et Gestionnaires". Rapport d'études pour le compte de la Région wallonne.
- Carraro, Carlo, Peter Carter, Francesco Bosello, and Paulo ALD Nunes. 2009. "Impacts of Climate Change and Biodiversity Effects". European investment bank. Venise, Italie.
- Chapman, Daniel S., Tom Haynes, Stephen Beal, Franz Essl, and James M. Bullock. 2014. "Phenology Predicts the Native and Invasive Range Limits of Common Ragweed." *Global Change Biology* 20 (1): 192–202. doi:10.1111/gcb.12380.
- Ciscar, Juan-Carlos, Ana Iglesias, Luc Feyen, László Szabó, Denise Van Regemorter, Bas Amelung, Robert Nicholls, et al. 2011. "Physical and Economic Consequences of Climate Change in Europe." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, January, 201011612. doi:10.1073/pnas.1011612108.
- Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change, and Secretariat of the Convention on Biological Diversity. 2009. *Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change*. Montreal, Quebec, Canada: Secretariat of the Convention on Biological Diversity. <http://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-41-en.pdf>.
- De Bryun, Luc, Geert De Knijf, Dirk Maes, and Beatrijs Van der Aa. "Natuurrapport - Deel 2 - 05 - Klimaatverandering". Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- Delvaux, J., and A. Galoux. 1967. "Les Territoires Écologiques Du Sud-Est Belge. Travaux Hors Série". Bruxelles: Université Libre de Bruxelles.
- Ding, Helen, Silvia Silvestri, Aline Chiabai, and Paulo ALD Nunes. 2010. "A Hybrid Approach to the Valuation of Climate Change Effects on Ecosystem Services: Evidence from the European Forests." http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1603826.
- Dupras, Jérôme, Jean-Pierre Revéret, and Jie He. 2013. "L'évaluation Économique Des Biens et Services Écosystémiques Dans Un Contexte de Changements Climatiques – Un Guide Méthodologique Pour Une Augmentation de La Capacité À Prendre Des Décisions D'adaptation. Final Report for Ouranos". Final report for Ouranos. http://www.ouranos.ca/media/publication/277_RapportReveret2013.pdf.
- Durmortier, Myriam, Luc De Bryun, Maarten Hens, Johan Peymen, Anik Schneiders, Toon Van Daele, and Wouter Van Reeth. 2007. "Anticiper Op Klimaatverandering En Invasieve Soorten." *Milieu En Natuur* 11.

- Dury, M, A Hambuckers, P Warnant, A Henrot, E Favre, M Ouberdous, and L François. 2011. "Responses of European Forest Ecosystems to 21st Century Climate: Assessing Changes in Interannual Variability and Fire Intensity." *iForest - Biogeosciences and Forestry* 4 (2): 82–99. doi:10.3832/ifer0572-004.
- Eglin, T., P. Ciais, S. L. Piao, P. Barre, V. Bellassen, P. Cadule, C. Chenu, et al. 2010. "Historical and Future Perspectives of Global Soil Carbon Response to Climate and Land-Use Changes." *Tellus B* 62 (5): 700–718. doi:10.1111/j.1600-0889.2010.00499.x.
- Ekins, P., A note on the impossibility of deriving a scientifically valid, ethically sound or policy-useful estimate of the social cost of carbon, technical note, Policy Studies Institute, 2005.
- Feehan, Jane, Mike Harley, and Jell Minnen. 2009. "Climate Change in Europe. 1. Impact on Terrestrial Ecosystems and Biodiversity. A Review." *Agronomy for Sustainable Development* 29 (3): 409–21. doi:10.1051/agro:2008066.
- GIEC. 2002. "Bilan 2007 Des Changements Climatiques. Contribution Des Groupes de Travail I, II et III Au Quatrième Rapport D'évaluation Du Groupe D'experts Intergouvernemental Sur L'évolution Du Climat [Équipe de Rédaction Principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié Sous La Direction de Lenny Bernstein, Peter Bosch, Osvaldo Canziani, Zhenlin Chen, Renate Christ, Ogunlade Davidson, William Hare, Saleemul Huq, David Karoly, Vladimir Kattsov, Zbigniew Kundzewicz, Jian Liu, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Bettina Menne, Bert Metz, Monirul Mirza, Neville Nicholls, Leonard Nurse, Rajendra Pachauri, Jean Palutikof, Martin Parry, Dahe Qin, Nijavalli Ravin- Dranath, Andy Reisinger, Jiawen Ren, Keywan Riahi, Cynthia Rosenzweig, Matilde Rusticucci, Stephen Schneider, Youba Sokona, Susan Solomon, Peter Stott, Ronald Stouffer, Taishi Sugiyama, Rob Swart, Dennis Tirpak, Coleen Vogel, Gary Yohe". Genève, Suisse.
- Goidts, E., B. Van Wesemael, and M. Crucifix. 2009. "Magnitude and Sources of Uncertainties in Soil Organic Carbon (SOC) Stock Assessments at Various Scales." *European Journal of Soil Science* 60 (5): 723–39. doi:10.1111/j.1365-2389.2009.01157.x.
- Groupe interministériel Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France. 2009. "Evaluation Du Cout Des Impacts Du Changement Climatique et de L'adaptation En France, Partie III – Rapports Des Groupes Sectoriels."
- Habiba, Gitay, Avelino Suarez, Robert T. Watson, and David J. Dokken. 2002. "Les Changements Climatiques et La Biodiversité". Document technique V du GIEC. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
- Hamann, Andreas, and Tongli Wang. 2006. "Potential Effects of Climate Change on Ecosystem and Tree Species Distribution in British Columbia." *Ecology* 87 (11): 2773–86.
- Hanewinkel, Marc, Dominik A. Cullmann, Mart-Jan Schelhaas, Gert-Jan Nabuurs, and Niklaus E. Zimmermann. 2013. "Climate Change May Cause Severe Loss in the Economic Value of European Forest Land." *Nature Climate Change* 3 (3): 203–7. doi:10.1038/nclimate1687.
- Hoffmann, Ary A., and Carla M. Sgrò. 2011. "Climate Change and Evolutionary Adaptation." *Nature* 470 (7335): 479–85. doi:10.1038/nature09670.
- ICEDD, VITO, and FPB, 2013. "Towards 100% Renewable Energy in Belgium by 2050."
- Jo Smith, Pete Smith, Martin Wattenbach Jeannette Meyer, Marcus Lindner Sönke Zaehle, Roland Hiederer Robert J.A. Jones, Luca Montanarella Mark Rounsevell, Isabelle Reginster, and Susanna Kankaanpää. 2006. "Projected Changes in Mineral Soil Carbon of European Forests, 1990–2100." *Canadian Journal of Soil Science* 86 (Special Issue): 159–69. doi:10.4141/S05-078.

- Jump, Alistair S., Csaba Mátyás, and Josep Peñuelas. 2009. "The Altitude-for-Latitude Disparity in the Range Retractions of Woody Species." *Trends in Ecology & Evolution* 24 (12): 694–701. doi:10.1016/j.tree.2009.06.007.
- Jump, Alistair S., and Josep Peñuelas. 2005. "Running to Stand Still: Adaptation and the Response of Plants to Rapid Climate Change." *Ecology Letters* 8 (9): 1010–20. doi:10.1111/j.1461-0248.2005.00796.x.
- Lindner, Marcus, Jordi Garcia-Gonzalo, Marja Kolström, Tom Green, Ricardo Reguera, Michael Maroschek, Rupert Seidl, et al. 2008. "Impact of Climate Change on European Forests and Options for Adaptation". Report to the European Commission Directorate General for Agriculture and Rural Development AGRI-2007-G4-06. European Forest Institute, University of natural resources and applied sciences in Vienna, Institute of forest entomology pathology and forest protection, INRA, Italian academy of forest sciences.
- Lindner, Marcus, Michael Maroschek, Sigrid Netherer, Antoine Kremer, Anna Barbati, Jordi Garcia-Gonzalo, Rupert Seidl, Sylvain Delzon, Piermaria Corona, and Marja Kolström. 2010. "Climate Change Impacts, Adaptive Capacity, and Vulnerability of European Forest Ecosystems." *Forest Ecology and Management* 259 (4): 698–709.
- Lo, Yueh-Hsin, Juan A. Blanco, J. P. Kimmins, Brad Seely, and Clive Welham. 2011. "Linking Climate Change and Forest Ecophysiology to Project Future Trends in Tree Growth: A Review of Forest Models." *Climate Change-Research and Technology for Adaptation and Mitigation*, 64–86.
- Lo, Yueh-Hsin, Juan A. Blanco, Brad Seely, Clive Welham, and J.P. (Hamish) Kimmins. 2010. "Relationships between Climate and Tree Radial Growth in Interior British Columbia, Canada." *Forest Ecology and Management* 259 (5): 932–42. doi:10.1016/j.foreco.2009.11.033.
- Lousteau, Denis, A. Granier, J. Balesdent, R. Disnar, E. Dufrêne, J. Ogée, C. François, et al. 2004. "Rapport Final Du Projet CARBOFOR: Séquestration de Carbone Dans Les Grands Écosystèmes Forestiers En France. Quantification, Spatialisation, Vulnérabilité et Impacts de Différents Scénarios Climatiques et Sylvicoles." *Programme GICC 2001: "Gestion Des Impacts Du Changement Climatique" - Convention Gip ECOFOR n°3/2001* INRA.
- Lugato, Emanuele, Francesca Bampa, Arwyn Jones, Panos Panagos, and Luca Montanarella. 2014. "Potential Carbon Sequestration of European Arable Soils Estimated by Modelling a Comprehensive Set of Management Practices." *Global Change Biology*, n/a–n/a. doi:10.1111/gcb.12551.
- Maclean, I. M. D., and R. J. Wilson. 2011. "Recent Ecological Responses to Climate Change Support Predictions of High Extinction Risk." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108 (30): 12337–42. doi:10.1073/pnas.1017352108.
- Maddison, D., Further comments on the stern review, working paper, 2007.
- Massu, Natacha, and Guy Landmann. 2011. "Connaissance Des Impacts Du Changement Climatique Sur La Biodiversité En France Métropolitaine - Synthèse de La Bibliographie". ECOFOR. <http://ccbio.gip-ecofor.org>.
- McMahon, Sean M., Sandy P. Harrison, W. Scott Armbruster, Patrick J. Bartlein, Colin M. Beale, Mary E. Edwards, Jens Kattge, Guy Midgley, Xavier Morin, and I. Colin Prentice. 2011. "Improving Assessment and Modelling of Climate Change Impacts on Global Terrestrial Biodiversity." *Trends in Ecology & Evolution* 26 (5): 249–59. doi:10.1016/j.tree.2011.02.012.
- Metcalf, C. Jessica E., and Samuel Pavard. 2007. "Why Evolutionary Biologists Should Be Demographers." *Trends in Ecology & Evolution* 22 (4): 205–12. doi:10.1016/j.tree.2006.12.001.
- Millenium Ecosystem Assessment. 2005. "Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis". Island Press, Washington DC. <http://www.maweb.org/documents/document.356.aspx.pdf>.

- Mooney, Harold, Anne Larigauderie, Manuel Cesario, Thomas Elmquist, Ove Hoegh-Guldberg, Sandra Lavorel, Georgina M Mace, Margaret Palmer, Robert Scholes, and Tetsukazu Yahara. 2009. "Biodiversity, Climate Change, and Ecosystem Services." *Current Opinion in Environmental Sustainability* 1 (1): 46–54. doi:10.1016/j.cosust.2009.07.006.
- Nussey, Daniel H., Erik Postma, Phillip Gienapp, and Marcel E. Visser. 2005. "Selection on Heritable Phenotypic Plasticity in a Wild Bird Population." *Science* 310 (5746): 304–6. doi:10.1126/science.1117004.
- OEWB. 2013. "Panorabois Wallonie 2012-2013". Office économique wallon du bois.
- Onclincx, F., M. Tanghe, A. Galoux, and F. Weissen. 1987. "La Carte Des Territoires Écologiques de La Wallonie." *Revue Belge Géographie* 111: 51–59.
- Panferov, O, C Doering, E Rauch, A Sogachev, and B Ahrends. 2009. "Feedbacks of Windthrow for Norway Spruce and Scots Pine Stands under Changing Climate." *Environmental Research Letters* 4 (4): 045019. doi:10.1088/1748-9326/4/4/045019.
- Parmesan, Camille. 2006. "Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change." *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37 (1): 637–69. doi:10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100.
- Peñuelas, Josep, Josep G Canadell, and Romà Ogaya. 2011. "Increased Water-Use Efficiency during the 20th Century Did Not Translate into Enhanced Tree Growth: Tree Growth in the 20th Century." *Global Ecology and Biogeography* 20 (4): 597–608. doi:10.1111/j.1466-8238.2010.00608.x.
- Raquez, Perrine, and Nicolas Dendoncker. 2013. "Dossier Scientifique Sur Les Services Rendus Par Les Écosystèmes En Wallonie En Vue de La Préparation Du Rapport Analytique 2012-2013 Sur L'état de L'environnement Wallon". Rapport final. Namur, Belgique: FUNDP pour le compte du SPW.
- Reyer, Christopher, Peter Lasch, and Martin Gutsch. 2011. "Simulated Forest Productivity and Biomass Changes under Global Change in Europe." *Proceedings of the COST FP0603: Modelling Forest Ecosystems - Concepts, Data and Application*, 151–58.
- Ridremont, François. 2012. "Accord-Cadre 'Recherche et Vulgarisation Forestières' (2009-2014). Groupe 1. Gestion Sylvicole Adaptative et Écologie Des Essences Forestières : Régénération, Croissance & Production Ligneuse. Action 2.3.1. Développement de Modèles Autécologiques et « Fichier Écologique Des Essences » Révisé En Vue de La Gestion Adaptative Des Forêts. Rapport Annuel Succinct". Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité de Gestion des Ressources forestières et des Milieux naturels.
- Schulp, Catharina J.E., Gert-Jan Nabuurs, and Peter H. Verburg. 2008. "Future Carbon Sequestration in Europe—Effects of Land Use Change." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 127 (3-4): 251–64. doi:10.1016/j.agee.2008.04.010.
- Sevrin, D., H. Claessens, P. Lejeune, and Jacques Rondeux. 2008. "Accord-Cadre de Recherche et Vulgarisation Forestières 2004-2009. Thème 1. Connaissances Fondamentales de L'écosystème Forêt : Relation « Sol-Arbre-Milieu ». Action 1.5.1 Changements Climatiques et Forêts de Demain : Réactualisation Des Connaissances de L'adéquation « Essence-Station » et Adaptation Du « Fichier Ecologique Des Essences » et de « Guide de Boisement ». Rapport Annuel Détaillé". Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Unité de Gestion des Ressources forestières et des Milieux naturels.
- Smith, Jo, Pete Smith, Martin Wattenbach, Sönke Zaehle, Roland Hiederer, Robert J.a. Jones, Luca Montanarella, Mark D.a. Rounsevell, Isabelle Reginster, and Frank Ewert. 2005. "Projected Changes in Mineral Soil Carbon of European Croplands and Grasslands, 1990–2080." *Global Change Biology* 11 (12): 2141–52. doi:10.1111/j.1365-2486.2005.001075.x.

- Svenning, Jens-Christian, and Flemming Skov. 2004. "Limited Filling of the Potential Range in European Tree Species: Limited Range Filling in European Trees." *Ecology Letters* 7 (7): 565–73. doi:10.1111/j.1461-0248.2004.00614.x.
- TEEB. 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity, the Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations*. Edited by Pushpam Kumar. Earthscan, London and Washington. <http://www.teebweb.org/our-publications/teeb-study-reports/ecological-and-economic-foundations/#.Ujr1xH9mOG8>.
- Thuiller, Wilfried, Sandra Lavorel, Miguel B. Araújo, Martin T. Sykes, and I. Colin Prentice. 2005. "Climate Change Threats to Plant Diversity in Europe." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102 (23): 8245–50. doi:10.1073/pnas.0409902102.
- Usher, Michael B. 2007. *Conserver La Diversité Biologique Européenne Dans Le Contexte Du Changement Climatique*. Vol. 149. Council of Europe. [http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=8YVtTuyJGD0C&oi=fnd&pg=PA5&dq=%22quasiment+g%C3%A9n%C3%A9ral+pour+consid%C3%A9rer+que+le+CO2,+en+association+avec+un+certain+nombre%22+%22compos%C3%A9s+chimiques\)+dans+l%E2%80%99atmosph%C3%A8re+provoquera+un+changement+rapide+et+important+du%22+%22leur+immense+majorit%C3%A9,+les+chercheurs+admettent+que+la+concentration+croi&ots=M_TxaiFOVh&sig=dINCSaw4O7yqxMCRAKSFrrxDiTM](http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=8YVtTuyJGD0C&oi=fnd&pg=PA5&dq=%22quasiment+g%C3%A9n%C3%A9ral+pour+consid%C3%A9rer+que+le+CO2,+en+association+avec+un+certain+nombre%22+%22compos%C3%A9s+chimiques)+dans+l%E2%80%99atmosph%C3%A8re+provoquera+un+changement+rapide+et+important+du%22+%22leur+immense+majorit%C3%A9,+les+chercheurs+admettent+que+la+concentration+croi&ots=M_TxaiFOVh&sig=dINCSaw4O7yqxMCRAKSFrrxDiTM).
- Visser, Marcel E. 2008. "Keeping up with a Warming World; Assessing the Rate of Adaptation to Climate Change." *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 275 (1635): 649–59. doi:10.1098/rspb.2007.0997.
- Vitasse, Yann, Christophe François, Nicolas Delpierre, Eric Dufrêne, Antoine Kremer, Isabelle Chuine, and Sylvain Delzon. 2011. "Assessing the Effects of Climate Change on the Phenology of European Temperate Trees." *Agricultural and Forest Meteorology* 151 (7): 969–80. doi:10.1016/j.agrformet.2011.03.003.
- Walther, G. R. 2010. "Community and Ecosystem Responses to Recent Climate Change." *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365 (1549): 2019–24. doi:10.1098/rstb.2010.0021.
- Way, Danielle A., and Ram Oren. 2010. "Differential Responses to Changes in Growth Temperature between Trees from Different Functional Groups and Biomes: A Review and Synthesis of Data." *Tree Physiology* 30 (6): 669–88. doi:10.1093/treephys/tpq015.
- Weissen, F., L. Bronchart, and A. Piret. 1994. "Guide de Boisement de Stations Forestières de Wallonie". Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement.
- Wesemael, Bas van, Keith Paustian, Jeroen Meersmans, Esther Goidts, Gabriela Barancikova, and Mark Easter. 2010. "Agricultural Management Explains Historic Changes in Regional Soil Carbon Stocks." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107 (33): 14926–30. doi:10.1073/pnas.1002592107.
- Zaehle, Sönke, Alberte Bondeau, Timothy R. Carter, Wolfgang Cramer, Markus Erhard, I. Colin Prentice, I. Reginster, et al. 2007. "Projected Changes in Terrestrial Carbon Storage in Europe under Climate and Land-Use Change, 1990–2100." *Ecosystems* 10 (3): 380–401. doi:10.1007/s10021-007-9028-9.

Contactés biodiversité et services écosystémiques

Dr Etienne **Branquart**, Monsieur Louis-Marie **Delescaille**, Monsieur Philippe **Goffart**, DEMNA, DGO3, SPW ; pour les questions liées aux habitats, espèces et espèces envahissantes.

Professeur Nicolas **Dendoncker**, UNamur – département de géographie, rue de Bruxelles, 61 à 5000 Namur ; pour une discussion sur la meilleure méthodologie à adopter en ce qui concerne la quantification et la monétarisation des services écosystémiques.

Professeur Marc **Dufrêne**, Ulg, Gembloux Agro-Biotech. Forêts, Nature et paysage / biodiversité et paysage. Batiment G1, passage des déportés, 2 à 5030 Gembloux ; pour une discussion sur la meilleure méthodologie à adopter en ce qui concerne la quantification des services écosystémiques.

Aleksandar RANKOVIC, diplômé en affaires internationales (IEP de Paris), en biologie et en sciences de l'environnement (Université Pierre et Marie Curie), Expert dans l'évaluation économique des services écosystémiques, thèse de doctorat en écologie au laboratoire Bioemco (unité mixte UPMC – CNRS – INRA – IRD – ENS – AgroParisTech – UPEC) dans l'équipe « Biodiversité et Fonctionnement des Écosystèmes » située à l'École Normale Supérieure.

Claude DesJarlais, Directeur de l'Analyse économique, Ouranos, 550 Sherbrooke Ouest, 19e, Montréal,(QC) H3A 1B9, Canada, Tél.:514 282-6464 #231, Fax.: 514 282-7131, e-mail : Desjarlais.Claude@ouranos.ca

Contactés forêts

Professeur Hugues **Claessens**, Ulg et Monsieur **Ridremont** Gembloux Agro-Biotech – forêts, nature et paysage / gestion des ressources forestières et des milieux naturels ; Passage des déportés, 2 à 5030 Gembloux ; pour le développement de la méthodologie du guide du boisement.

Professeur Louis **François**, Ulg – Département d'astrophysique, géophysique et océanographie / modélisation du climat et des cycles biogéochimiques. Allée du 6 août, 17 à 4000 Liège ; pour le travail sur le modèle CARAIB.

Professeur Alain **Hambuckers**, Ulg – département de biologie, écologie et évolution/ biologie du comportement, éthologie et psychologie animale. Quai van beneden, 22 à 4020 Liège; pour la coordination du travail réalisé en collaboration avec le Professeur François sur le modèle CARAIB.

Professeur Marc **Hanewinkel**, Research Unit forest resources and management, Swiss Federal Research Institute WSL, Zuercherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Switzerland; pour les données détaillées sur le LEV issues de son article (Hanewinkel et al. 2013).

Monsieur **Hugues Lecompte** du SPW, pour les données de l'inventaire forestier.

Monsieur **Christian Laurent** du SPW, pour des informations générales sur les peuplements actuels et leurs prix de vente.

Professeur **Oleg Panferov**, Universität Göttingen ; forest sciences and forest ecology ; bioclimatology ; pour les données détaillées issues de son article (Panferov et al. 2009).

Claude DesJarlais, Directeur de l'Analyse économique, Ouranos, 550 Sherbrooke Ouest, 19e, Montréal,(QC) H3A 1B9, Canada, Tél.:514 282-6464 #231, Fax.: 514 282-7131, e-mail : Desjarlais.Claude@ouranos.ca

ENERGIE

Bibliographie

- AMICE project, 2013, Impacts of droughts and low flows, Action 7 Report.
- DOE - US Department of Energy. 2013. "U.S. Energy Sector Vulnerabilities to Climate Change and Extreme Weather."
- Ebinger J. and Vergara W. (2011). Climate Impacts on Energy Systems - Key Issues for Energy Sector Adaptation. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, 224 p.
- Eskeland G. and Mideksa T.K. (2011). Climate Change Adaptation and Electricity Demand in Europe. Journal of Mitigation and Adaptation to Climate Change, Vol.15, pp. 877–897
- Förster H. and Lilliestam J. (2010). Modeling thermoelectric power generation in view of climate change. Regional Environmental Change Volume 10, Number 4, pp.327-338.
- Frontier economics, Irbaris LLP, Ecofys, 2013, The economics of climate resilience buildings and infrastructure theme: UK power generation and transmission CA0401
- GIEC (2011). IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1075 pp.
- Groupe interministériel Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France. 2009. "Evaluation Du Cout Des Impacts Du Changement Climatique et de L'adaptation En France, Partie III – Rapports Des Groupes Sectoriels."
- Haberl H., Erb K.H., Krausmann F., Bondeau A., Lauk C., Müller C., Plutzer P. and Steinberger J.K. (2011). Global bioenergy potentials from agricultural land in 2050: Sensitivity to climate change, diets and yields. Biomass and Bioenergy, Vol.35, p. 4753-4769.
- Hamududu B. and Killingtveit A. (2010). Estimating effects of climate change on global hydropower production. In: Hydropower'10, 6th International Conference on Hydropower, Hydropower supporting other renewables. Tromso, Norway, 1-3 February 2010, 13 pp.
- ICEDD. 2013. "Bilan Énergétique de La Wallonie 2011."
- Kirkinen J., Martikainen A., Holttinen H., Savolainen I., Auvinen O. and Syri S. (2005). Impacts on the energy sector and adaptation of the electricity network business under a changing climate in Finland. FINADAPT Working Paper 10, Finnish Environment Institute Mimeographs 340, Helsinki, 36 pp.
- KOCH, H. AND VOEGELE, S., 2009: Dynamic modelling of water demand, water availability and adaptation strategies for power plants to global change, Ecological Economics, Vol.68, pp. 2031-2039
- Lafrance, Gaetan, and Desjarlais, Claude. 2006. "Impact Socio-Économique Du Changement Climatique: La Demande D'énergie."
- LATU, M., 2003: Vers une modélisation des relations entre température de l'eau en rivière et température de l'air dans le bassin de la Seine , Mémoire de Maitrise de Sciences de la Terre, UPMC, Année 2002-2003
- Lehner B., Czisch G. and Vassolo S. (2005). The impact of global change on the hydropower potential of Europe: a model-based analysis. Energy Policy 33: 839–855.

Linnerud K., Mideksa T.K. and Eskeland G.S. (2011). The Impact of Climate Change on Nuclear Power Supply. *The Energy Journal*, Vol. 32, Issue 1, pp. 149-168.

Moriarty P. and Honnery D. (2012). What is the global potential for renewable energy? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, pp. 244– 252

Rübbelke D. and Vögele S. (2011). Distributional Consequences of Climate Change Impacts on the Power Sector: Who gains and who loses? CEPS Working Document No. 349, Centre for European Policy Studies, 21 p.

Seljom P., Rosenberg E., Fidje A., Haugen J-A, Meir M., Rekstad J. and Jarlset T. (2011). Modelling the effects of climate change on the energy system — A case study of Norway. *Energy Policy*, doi:10.1016/j.enpol.2011.08.054

STROBL, T. AND ZUNIC, F., 2006: Wasserbau, Aktuelle Grundlagen – Neue Entwicklungen, Springer, Berlin Heidelberg New York

WANEK, M., THEIBING, M. AND ZISLER, M., 2011: Kraftwerke im Klimawandel - Auswirkungen auf die Erzeugung von Elektrizität, 7. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, Wien

Contacts

Claude DesJarlais, Directeur de l'Analyse économique, Ouranos, 550 Sherbrooke Ouest, 19e, Montréal,(QC) H3A 1B9, Canada, Tél.:514 282-6464 #231, Fax.: 514 282-7131, e-mail : Desjarlais.Claude@ouranos.ca

RESSOURCES EN EAU, INFRASTRUCTURES ET AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

Bibliographie

- Amigues J.P., B. Debaeke, G. Lemaire, et al. (éd), 2006. Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport. INRA (France), 72 p.
- Approvisionnement en eau potable en Belgique : analyse du secteur. SPF Economie, 2012.
- Atkins, 2006. The impacts of climate change on London's transport system. Presentation to the CIWEM Met Branch Conference, 22 February.
- Austrroads, 2004, Impact of Climate Change on Road Infrastructure.
- Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S. & Palutikof J.P., 2008. Le changement climatique et l'eau, document technique. Genève, Suisse : GIEC.
- Beckers, B. Dewals, S. Erpicum, S. Dujardin, S. Detrembleur¹, J. Teller, M. Piroton, P. Archambeau, Contribution of land use changes to future flood damage along the river Meuse in the Walloon region, Natural Hazards and Earth System Sciences, 2013 (<http://www.nat-hazards-earth-systsci.net/13/2301/2013/nhess-13-2301-2013.html>)
- Blenkinsop S. & Fowler H.J., 2007. Changes in European drought characteristics projected by the PRUDENCE regional climate models. Int. J. Climatol., 27, 1595-1610.
- Bouraoui, F., B. Grizzetti, K. Granlund, S. Rekolainen and G. Bidoglio, 2004: Impact of climate change on the water cycle and nutrient losses in a Finnish catchment. Climatic Change, 66, 109–126.
- Brisson, N. et F. Levraut, 2010. Synthèse du projet Climator. Ademe.
- Brouyaux, F., Mormal, P., Tricot, Ch. et Vandiepenbeeck, M., 2004 - La Belgique au fil du temps – Les événements météorologiques marquants du vingtième siècle en Belgique – Institut Royal Météorologique de Belgique, Ed. Le Roseau Vert.
- Brouyère S., Carabin G., Dassargues A. (2004): "Climate change impacts on groundwater resources: modeled deficits in a chalky aquifer, Geer basin, Belgium". Hydrogeology Journal (2004) 12 : 123–134
- Bureau, Dominique, 2008. Transports et changement climatique: cadre de référence pour l'action publique, Notes de synthèse du SESP, 170.
- Cechet Bob, 2004, Climate Change Impact on the Pavement Maintenance and Rehabilitation, Costs associated with the Australian National Highway Network.
- Cochran Ian, 2009, Infrastructures de transport en France : Vulnérabilité au changement climatique et possibilités d'adaptation, Etude Climat, Caisse des Dépôts.
- COR (Comité des Régions), 2011, Adaptation au changement climatique, Instruments d'action pour l'adaptation des grandes villes et zones métropolitaines européennes au changement climatique. Ecologic Institute, AEA group, ICLEI et REC.
- DEFRA, 2006, Quantify the Cost of Impacts and Adaptation. Climate Change Impacts and Adaptation: Cross-Regional Research Programme, Royaume-Uni, Metroeconomica LTD.
- DEFRA, 2013, The Economics of Climate Resilience Buildings and Infrastructure Theme: Strategic Road and Rail, CA0401. Frontier Economics Ltd, London | Irbaris LLP | Ecofys.

- De Groof A. et al., 2006. Intermediary report WP1-3: adapt - towards an integrated decision tool for adaptation measures. Case study: floods. Work package I: general study and evaluation of potential impacts of climate change in Belgium. Brussels : CEESE-ULB.
- Delpla I. et al., 2009. Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environ. Int.*, 35, 1225-1233.
- De Wit M.J.M. et al., 2007. Impact of climate change on low-flows in the river Meuse. *Clim. Change*, 82, 351-372.
- Ducharne A, Habets F, Déqué M, Evaux L, Hachour A, Lepaillier A, Lepelletier T, Martin E, Oudin L, Pagé C, Ribstein P, Sauquet E, Thiéry D, Terray L, Viennot P, Boé J, Bourqui M, Crespi O, Gascoin S, Rieu J., 2009. Rapport de fin de contrat : Impact du changement climatique sur les ressources en eau et les extrêmes hydrologiques dans les bassins de la Seine et de la Somme. Programme GICC. Paris : Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer.
- Ducharne A, 2007, La Seine en 2100 ? Impacts croisés du changement climatique et des pressions anthropiques directes.
- Dumas, P., Hallegatte, S., Quintana-Segui, P., and Martin, E.: The influence of climate change on flood risks in France – first estimates and uncertainty analysis, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 809-821, doi:10.5194/nhess-13-809-2013, 2013.
- Enei, R., C. Doll, S. Klug, I. Partzsch, N. Sedlacek, J. Kiel, N. Nesterova, L. Rudzikaite, A. Papanikolaou, V. Mitsakis (2011); — Vulnerability of transport systems- Main report Transport Sector Vulnerabilities within the research project WEATHER (Weather Extremes: Impacts on Transport Systems and Hazards for European Regions) funded under the 7th framework program of the European Commission. Project co-ordinator: Fraunhofer-ISI. Karlsruhe.
- Fenicia F., Savenije H.H.G. & Avdeeva Y., 2009. Anomaly in the rainfall-runoff behaviour of the Meuse catchment.
- Gaustad, André, 2006. Effet de serre, Changement climatique et Politique des transports, Groupe Interdisciplinaire de Réflexion Sur Les Traversées Sud-Alpines et l' Aménagement du Territoire Maralpin, France.
- GIEC (2008). "Climate Change and Water." IPCC Technical Paper VI: 214p.
- Giron E. et al., 2008. Final report (phase 1): adapt – towards an integrated decision tool for adaptation measures. Case study: floods. Brussels: Belgian Science Policy.
- Government of Victoria, 2007. Infrastructure and climate change risk assessment for Victoria. Report to the Victorian Government.
- Héduit, A., R. Pujol, B. Tisserand et al., 2007. Conséquences des changements climatiques sur les systèmes d'assainissement. *Techniques - Science - Méthodes* 12, 85–92.
- IRGT-KINT, D'Ieteren E., Hecq W., De Sutter R. & Leroy D., 2003. Effets du changement climatique en Belgique : impacts potentiels sur les bassins hydrographiques et la côte maritime. Phase 1 : état de la question. Bruxelles : CEESE-ULB et ECOLAS.
- IRGT-KINT, 2004, Effets du changement climatique en Belgique, Impacts potentiels sur les bassins hydrographiques et la côte maritime. Phase 2 : étude proprement dite – présentation des recommandations pour une gestion durable.
- Itier, B., 2010. Confort hydrique et restitution d'eau aux nappes, in Changement climatique, agriculture et forêt en France: simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007 - 2010), ADEME., N. Brisson et F. Levraut, p. 79–92.

- Kahrl, Fredrich and David Roland-Holst, 2008. California Climate Risk and Response. Department of Agricultural and Resource Economics Research Report No. 08102801, University of California, Berkeley.
- Kinsella, Y. and F. McGuire, 2005, Climate Change Uncertainty and the State Highway Network: A Moving Target. Transit New Zealand.
- Koetse M.J. & Rietveld P., 2009. The impact of climate change and weather on transport: an overview of empirical findings. *Transport. Res. Part D*, 14(3), 205-221.
- Kundzewicz Z.W. & Krysanova V., 2009. Climate change and stream quality in the multi-factor context. An editorial comment. *Clim. Change*, 103, 353-362.
- Larsen Peter H., Scott Goldsmith, Orson Smith, Meghan L. Wilson, Ken Strzepek, Paul Chinowsky, Ben Saylor, 2007, Estimating future costs for Alaska public infrastructure at risk from climate change, *Global Environmental Change*.
- LCCP, 2005. Climate Change and London's transport systems: Summary Report. London climate change partnership, Mayor of London.
- Levrault, F., 2010. Changement climatique et irrigation, in *Présentation des méthodes et des résultats du projet Climator (17-18 juin 2010, INRA Versailles)*, 73 p.
- Michel R. et Van Dijck F., 2010, Les risques naturels en Région wallonne.
- Middelkoop H. et al., 2001. Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. *Clim. Change*, 49, 105-128.
- Middelkoop H. & Kwadijk J.C.J., 2001. Towards integrated assessment of the implications of global change for water management – The Rhine experience. *Phys. Chem. Earth Part B*, 26, 553-560.
- Middelkoop H., K. Daamen, D. Gellens, W. Grabs, J. C. J. Kwadijk, H. Lang, B. W. A. H. Parmet, B. Schädler, J. Schulla, K. Wilke, April 2001, Impact of Climate Change on Hydrological Regimes and Water Resources Management in the Rhine Basin, *Climatic Change*, Volume 49, Issue 1-2, pp 105-128
- Mideksa T.K. & Kallbekken S., 2010. The impact of climate change on the electricity market: a review. *Energy Policy*, 38(7), 3579-3585.
- Mimikou, M., E. Blatas, E. Varanaou and K. Pantazis, 2000: Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators. *J. Hydrol.*, 234, 95-109.
- Neff, R., H. Chang, C. Knight, R. Najjar, B. Yarnal and H. Walker, 2000: Impact of climate variation and change on Mid-Atlantic Region hydrology and water resources. *Climate Res.*, 14, 207-218.
- Ntegeka V., Willems P., Baguis P. & Roulin E., 2008. Climate change impact on hydrological extremes along rivers and urban drainage systems. Summary report phase 1: literature review and development of climate change scenarios. Brussels: Belgian Science Policy & Royal Meteorological Institute of Belgium; Leuven, Belgium: K.U.Leuven, Hydraulics section.
- PIANC, 2009. Sustainable waterways within the context of navigation and flood management. Report No 107. Brussels: PIANC.
- Ramsbottom, D., Sayers, P. and Panzeri, M. (2012), Climate Change Risk Assessment for the Floods and Coastal Erosion Sector. UK 2012 Climate Change Risk Assessment, Defra, London. Project code GA0204
- Sharma D. & Kansal A., 2012. Assessment of river quality models: a review. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, DOI: 10.1007/s11157-012-9285-8.

- Sinaba B., Huber N., Fournier M., Bauwens A., Buiteveld H., Brede R., Deckers P., Degré A., De Keizer O., Detrembleur S., Dewals B., Guilmin E., Hissel F., Kufeld M., Marmisse C., Pirotton M., Pontegnie D., Schüttrumpf H., Vanneuville W., Ward P. Quantification of the impacts of future floods on the economy in the transnational Meuse basin, 2012.
- SPW-DGO3 (2013). Etat des nappes d'eau souterraine de Wallonie. Edition : Service public de Wallonie, DGO 3 (DGARNE), Belgique. Dépôt légal D/2013/11802/38 - ISBN 978-2-8056-0111-8.
- Statistiques de l'eau potable et de l'assainissement des eaux usées en Wallonie. Rapport 2013, AquaWall.
- Suarez, Pablo, William Anderson, Vijay Mahal & T.R. Lakshamanan, 2005. "Impacts of flooding and climate change on urban transportation: A systemwide performance assessment of the Boston Metro Area." *Transportation Research Part D*, 10:231-244.
- Thornes, J., Rennie, M., Marsden, H. and Chapman, L. (2012) Climate Change Risk Assessment for the Transport Sector, Defra project code GA0204
- TRB, 2008. Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation. Transportation Research Board Special Report 290. Washington DC: Transportation Research Board.
- Tu M., de Laat P.J.M., Hall M.J. & de Wit M.J.M., 2005. Precipitation variability in the Meuse basin in relation to atmospheric circulation. *Water Sci. Technol.*, 51(5), 5-14.
- USCCSP, 2008. Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: Gulf Coast Study, Phase I. U.S. Climate Change Science Program Synthesis and Assessment Product 4.7.
- Van Dijck, F., 2006. Les risques majeurs en Région wallonne - Prévenir en aménageant. Les calamités naturelles en Wallonie. *Etudes et Documents (DGATLP)* 7, 14-31.
- Van Vliet M.T.H. & Zwolsman J.J.G., 2008. Impact of summer droughts on the water quality of the Meuse River. *J. Hydrol.*, 353(1-2), 1-17.
- Whitehead, P.G., R. L. Wilby, R. W. Battarbee et al., 2009. A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrological Sciences Journal* 54 (1), 101-123.
- Zimmerman, Rae, 1999. "Global Climate Change and Transportation Infrastructure: Lessons from the New York Area." *The Potential Impacts of Climate Change on Transportation: Workshop Summary and Proceedings*. U.S. Department of Transportation Center for Climate Change.

Contacts

Vincent VIGUIÉ, ingénieur du corps des Ponts, des Eaux et des Forêts et économiste au Centre International de Recherche sur l'environnement et le Développement (CIRED), qu'il a rejoint en 2009, après avoir travaillé à la Banque Mondiale. Expert en l'économie de l'adaptation au changement climatique, politiques climatiques urbaines et simulations prospectives. Doctorat en économie et de l'agrégation de physique. Professeur à l'École des Ponts et Chaussées (Ponts ParisTech) ainsi qu'à l'École Nationale de la Météorologie. Coordination de la participation du CIRED aux projets ANR VURCA et MUSCADE, et au rapport annuel de l'Observatoire National des Effets du Réchauffement Climatique auprès du Premier Ministre et du Parlement français. Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED), 45bis, Av de la Belle Gabrielle, F-94736 Nogent-sur-Marne, France, Tel. + (33) 1 43 94 73 64, Mail : viguie@centre-cired.fr

Patrice Dumas, Chercheur CIRAD au CIREC sur l'adaptation au changement climatique en situation d'incertitude, en particulier dans les secteurs de l'eau et de l'agriculture. Egalement impliqué dans la modélisation intégrée et l'évaluation des conséquences économiques des événements climatiques. Egalement en collaboration avec le CERES (Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Environnement et la Société) à l'ENS, sur les questions d'assimilations de données en économie, et sur les modèles de cycle économiques. Associé au Laboratoire de Météorologie Dynamique. Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement – CIREC, 45bis, Av de la Belle Gabrielle, F-94736 Nogent-sur-Marne, France, Tél. +33143947390.

Claude Desjarlais, Directeur de l'Analyse économique, Ouranos, 550 Sherbrooke Ouest, 19e, Montréal,(QC) H3A 1B9, Canada, Tél.:514 282-6464 #231, Fax.: 514 282-7131, e-mail : Desjarlais.Claude@ouranos.ca

Benjamin Englebert, SPW, DGO3 – DCENN Direction des cours d'eau non navigables. Gestion des cours d'eau de première catégorie en Wallonie. Mise en oeuvre de la directive "Inondations" (2007/60/CE).

Delphine Pontégnie, SPW, DGO2, Département des Etudes et de l'Appui à la gestion, Direction de la Gestion hydrologique intégrée (DO.223).

Aurore Degré, Soil – Water Systems, ULg Gembloux Agro-Bio Tech, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux. Tél. +3281622187.

SANTÉ

Bibliographie

- Ariano R, Canonica GW, Passalacqua G, (2010), Possible role of climate changes in variations in pollen seasons and allergic sensitizations during 27 years. *Ann Allergy Asthma Immunol* 104:215–222.
- Astrom DO, Forsberg B, Rocklöv J. Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: a review of recent studies. *Maturitas*. 2011; 69(2):99-105
- Åström C, Orru H, Rocklöv J, et al. Heat-related respiratory hospital admissions in Europe in a changing climate: a health impact assessment. *BMJ Open* 2013; 3:e001842. doi:10.1136/bmjopen-2012-001842
- Baccini M, Biggeri A, Accetta G, et al. (2008) Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology*; 19(5):711–719.
- Baccini M, Kosatsky T, Analitis A, et al. (2011) Impact of heat on mortality in 15 European cities: attributable deaths under different weather scenarios. *J Epidemiol Community Health*; 65(1):64–70.
- Bachert, C., Van Cauwenberge, P., Olbrecht, J. and Van Schoor, J. (2006), Prevalence, classification and perception of allergic and nonallergic rhinitis in Belgium. *Allergy*, 61: 693–698. doi: 10.1111/j.1398-9995.2006.01054.x
- Ballester J, Robine JM, Herrmann FR, et al. Long-term projections and acclimatization scenarios of temperature-related mortality in Europe. *Nat Commun* 2011;2:358.
- Barriopedro D, Fischer EM, Luterbacher J, et al. The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe. *Science* 2011;332:220–4.
- BESANCENOT Jean-Pierre (2008), La mortalité selon le contexte thermique, Réalité présente et scénarios pour le XXIème siècle, Le cas de la France, Rapport final, CNRS.
- Besancenot J.P., 2007. Notre santé à l'épreuve du changement climatique – Synthèse de l'ouvrage ; 2007 ; 6p.
- Bosello, F., Roson, R. and Tol, R.S. 2006, 'Economy-wide estimates of the implications of climate change: human health', *Ecological Economics*, vol. 58, pp. 579–591.
- Bousquet, J., Burney, P.G., Zuberbier, T. et al. (2009). GA2LEN (Global Allergy and Asthma European Network) and asthma epidemic. *Allergy*. 64: 969–977.
- BRITS Ethel, Ides BOONE, Bart VERHAGEN, Marc DISPAS, Herman VAN OYEN, Yves VAN DER STEDE, An VAN NIEUWENHUYSE, (2009), climate change and health, set-up of monitoring of potential effects of climate change on human health and on the health of animals in Belgium.
- Buzby Jean C., Tanya Roberts, C.-T. Jordan Lin, James M. MacDonald, 1996, Bacterial Foodborne Disease: Medical Costs and Productivity Losses. Food and Consumer Economics Division, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture. Agricultural Economic Report No. 741.
- cCASHh (Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health in Europe), EU-funded project, coordinated by the World Health Organization.
- Cecchi, L., D'Amato, G., Ayres, J. G., Galan, C., Forastiere, F., Forsberg, B., Gerritsen, J., Nunes, C., Behrendt, H., Akdis, C., Dahl, R. and Annesi-Maesano, I. (2010), Projections of the effects of climate change on allergic asthma: the contribution of aerobiology. *Allergy*, 65: 1073–1081. doi: 10.1111/j.1398-9995.2010.02423.x

-
- Dantas-Torres F, Otranto D: Seasonal dynamics of ixodes ricinus on ground level and higher vegetation in a preserved wooded area in southern Europe. *Vet Parasitol* 2013, 192:253–258.
- Dautel H, Dippel C, Kämmer D, Werkhausen A, Kah O: Winter activity of ixodes ricinus in a Berlin forest. *Int J Med Microbiol* 2008, 298:50–54
- Dionne G. and Lebeau M. (2010), Estimation of statistical value of life, HEC Montreal
- DOCUMENT DE TRAVAIL DES SERVICES DE LA COMMISSION accompagnant le LIVRE BLANC Adaptation au changement climatique: vers un cadre d'action européen. Les effets du changement climatique sur la santé humaine, animale et végétale {COM(2009) 147 final}
- Donaldson G, Kovats RS, Keatinge WR, McMichael AJ. Heat- and cold-related mortality and morbidity and climate change. In: Expert Group on Climate Change and Health in the UK, eds. *Health Effects of Climate Change in the UK*. London, England: UK Department of Health; 2001:70–80.
- Dunne John P., Ronald J. Stouffer & Jasmin G. John, 2013, Reductions in labour capacity from heat stress under climate warming, *Nature Climate Change*.
- Emberlin J., Laaidi M., Detandt M., Gehrig R., Jaeger S., Myszkowska D., Nolard N., Rantio-Lehtimäki A., Stach A., 2007. Changement climatique et évolution du contenu pollinique de l'air dans sept pays européens : exemple du bouleau – Synthèse d'article. *Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique* ; no.47, 2007; pages 57-63.
- European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), 2012, Assessing the potential impacts of climate change on food- and waterborne diseases in Europe. TECHNICAL REPORT.
- European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). ECDC Technical Document, 2010. Climate change and communicable diseases in the EU Member States. Handbook for national vulnerability, impact and adaptation assessments. http://www.ecdc.europa.eu/en/publications/Publications/1003_TED_handbook_climatechange.pdf
- EFSA (2013), The European Union Summary Report on Trends and Sources of Zoonoses, Zoonotic agents and Food-borne Outbreaks in 2011
- Fouillet A, Rey G, Wagner V, Laaidi K, Empereur-Bissonnet P, Le Tertre A, Frayssinet P, Bessemoulin P, Laurent F, De Crouy-Chanel P, Jouglu E, Hemon D. Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *Int J Epidemiol* 2008;37:309-17.
- Gage KL, Burkot TR, Eisen RJ, Hayes EB: Climate and vector borne disease. *Am J Prev Med* 2008, 35:436–450
- Gern L, Rais O: Efficient transmission of borrelia burgdorferi between cofeeding ixodes ricinus ticks (acar: ixodidae). *J Med Entomol* 1996, 33:189–92.
- GIEC, 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Special report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press.
- Gosselin Pierre, Diane Bélanger, Bernard Doyon, 2008, Santé et changements climatiques : Évaluation des vulnérabilités et de la capacité d'adaptation au Canada. Les effets des changements climatiques sur la santé au Québec.
- Gray JS, Dautel H, Estrada-Peña A, Kahl O, Lindgren E, Gray JS, Dautel H, Estrada-Peña A, Kahl O, Lindgren E: Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Interdiscip Perspect Infect Dis* 2009, 2009:593232

-
- Gray JS: Ixodes ricinus seasonal activity: implications of global warming indicated by revisiting tick and weather data. *Int J Med Microbiol* 2008, 298:19–24
- Gray JS: The development and seasonal activity of the tick ixodes ricinus, a vector of Lyme borreliosis. *Rev Med Vet Entomol* 1991, 79:323–339
- Hajat Shakoor, Sotiris Vardoulakis, Clare Heaviside, Bernd Eggen, 2013, Climate change effects on human health: projections of temperature-related mortality for the UK during the 2020s, 2050s and 2080s, Research report, *J Epidemiol Community Health* doi:10.1136/jech-2013-202449
- Huang Cunrui, Adrian Gerard Barnett, Xiaoming Wang, Pavla Vaneckova, Gerard FitzGerald, Shilu Tong, Projecting Future Heat-Related Mortality under Climate Change Scenarios: A Systematic Review, *Environ Health Perspect* 119:1681-1690 (2011).
- ISP, 2013, Souches de Salmonella et Shigella isolées en Belgique en 2012, Rapport annuel.
- Jaenson TGT, Jaenson DGE, Eisen L, Petersson E, Lindgren E: Changes in the geographical distribution and abundance of the tick Ixodes ricinus during the past 30 years in Sweden. *Parasit Vectors* 2012, 5:8.
- Kovats, S, Lloyd, S, Hunt, A and Watkiss, P. (2011). Technical Policy Briefing Note 5: The Impacts and Economic Costs on Health in Europe and the Costs and Benefits of Adaptation, Results of the EC RTD ClimateCost Project. In Watkiss, P (Editor), 2011. The ClimateCost Project. Final Report. Volume 1: Europe. Published by the Stockholm Environment Institute, Sweden, 2011. ISBN 978-91-86125-35-6.
- Linard C, Lamarque P, Heyman P, Ducoffre G, Luyasu V, Tersago K, Vanwambeke SO, Lambin EF. Determinants of the geographic distribution of Puumala virus and Lyme borreliosis infections in Belgium. *Int J Health Geogr* 2007;6:15.
- Maes, S., et al., Mortaliteit in België in de zomer van 2006.
- Markandya, A. and Chiabai, A. (2008) Assessment of the Likely Financial Costs Necessary for Health Protection for Climate Change. Technical Report for WHO Global consultation on 'Guiding Research to improve health protection from climate change'. World Health Organization, Geneva.
- MASSON Serge (2005), L'évaluation économique de la valeur de la vie humaine, Bureau d'Economie Théorique et Appliquée, ULP-Strasbourg
- McMichael, A.J., R.E. Woodruff, and S. Hales, Climate change and human health: present and future risks. *Lancet*, 2006. 367(9513): p. 859-69.
- McMichael, A.J.; Wilkinson, P.; Kovats, R.S.; Pattenden, S.; Hajat, S.; Armstrong, B.; Vajanapoom, N.; Niciu, E.M.; Mahomed, H.; Kingkeow, C.; Kosnik, M.; O'Neill, M.S.; Romieu, I.; Ramirez-Aguilar, M.; Barreto, M.L.; Gouveia, N.; Nikiforov, B. International study of temperature, heat and urban mortality: The 'ISOTHURM' project. *Int. J. Epidemiol.* 2008, 37, 1121-1231.
- Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFÉ, Volume 2: Health Impact Assessment (2005). Report to the European Commission, DG Environment, AEA Technology plc.
- NEW EXT (2004): New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies. Final Report to the European Commission, DG Research, Technological Development and Demonstration (RTD), Institute for Energy Economics and the Rational Use of Energy (IER).
- Obsomer Valerie, Marc Wirtgen, Annick Linden, Edwin Claerebout, Paul Heyman, Dieter Heylen, Maxime Madder, Jo Maris, Maude Lebrun, Wesley Tack, Laetitia Lempereur, Thierry Hance and Georges Van Impe, 2013, Spatial disaggregation of tick occurrence and ecology at a local scale as a preliminary step for spatial surveillance of tick-borne diseases: general framework and health implications in Belgium, *Parasites & Vectors* 2013, 6:190, <http://www.parasitesandvectors.com/content/6/1/190>

-
- OMS. 2004. Changement climatique et santé humaine – Risque et mesures à prendre. Résumé. ISBN 92 4 259081 9.
- Orru H, Andersson C, Ebi KL, et al. Impact of climate change on ozone related mortality and morbidity in Europe. *Eur Respir J* 2012.
- Paci D., 2014, Human Health Impacts of Climate Change in Europe, Report for the PESETA II project, JRC Technical reports.
- Pascal M, Retel O, Laaidi K, Ung A, Wagner V. Impact des vagues de chaleur sur les recours aux soins : une revue de la littérature. *Bull Epidémiol Hebd.* 2013;(28-29):341-7.
- Pires, S.M.; de Knecht, L.; Hald, T. 2011. Estimation of the relative contribution of different food and animal sources to human Salmonella infections in the European Union. Supporting question No EFSA-Q-2010-00685. <http://www.efsa.europa.eu/en/supporting/pub/184e.htm>
- Porretta D. et al., 2013, Effects of global changes on the climatic niche of the tick *Ixodes ricinus* inferred by species distribution modelling, *Parasites & Vectors*, 6:271, <http://www.parasitesandvectors.com/content/6/1/271>
- Ramsey J. D., 1995: Task performance in heat: a review. *Ergonomics* 38(1), 154–165.
- Rebetez M, Dupont O, Giroud M. An analysis of the July 2006 heatwave extent in Europe compared to the record year of 2003. *Theor Appl Climatol* 2009;95:1–7.
- Sartor F, Snacken R, Demuth C, Walckiers D., (1995), Temperature, ambient ozone levels, and mortality during summer 1994, in Belgium, *Environ Res.* 1995 Aug;70(2):105-13.
- Sartor, F., Oversterfte in België tijdens de zomer 2003, A.E. Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid, Editor. 2004.
- SÉNAT Question écrite n° 5-4182 du 23 décembre 2011 à la vice-première ministre et ministre des Affaires sociales et de la Santé publique, chargée de Beliris et des Institutions culturelles fédérales concernant Audit permanent - Maladie de Lyme - Augmentation des dépenses – Luxembourg.
- Watkiss, P., Horrocks, L., Pye, S., Searl, A. and Hunt, A. (2007) Projection of Economic Impacts of Climate Change in Sectors of Europe based on Bottom up Analysis (PESETA). Human Health. Summary for Policy Makers: Report to JRC / IPTS.
- WHO Executive Board (2008) Climate Change and Health: Report by the Secretariat. WHO, Geneva, EB122/4.
- WHO Regional Office for Europe (2008), Improving Public Health Responses to Extreme Weather/Heat-waves - EuroHEAT. Technical Summary. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
- World Health Organization Regional Office for Europe (WHO-EURO), 2008: Heat Health Action Plans. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe.
- WHO (2006), Lyme borreliosis in Europe: influences of climate and climate change, epidemiology, ecology and adaptation measures. WHO Regional Office for Europe

Contacts

Claude DesJarlais, Directeur de l'Analyse économique, Ouranos, 550 Sherbrooke Ouest, 19e, Montréal,(QC) H3A 1B9, Canada, Tél.:514 282-6464 #231, Fax.: 514 282-7131, e-mail : Desjarlais.Claude@ouranos.ca

TOURISME

Bibliographie

- Amelung B, Moreno A (2009) Impacts of climate change in tourism in Europe. PESETA, Tourism study, JRC scientific and technical reports
- Amelung B, Nicholls S, Viner D (2007) Implications of global climate change for tourism flows and seasonality, *Journal of travel research*, 45, pp 285-296.
- BABOU Isabel et Philippe CALLOT, *Le tourisme à la croisée des chemins : le trèfle des capitaux*, juin 2011
- Berrittella M, Bigano A, Roson R, Tol R (2006) A general equilibrium analysis of climate change impacts on tourism, *Tourism management*, 27, pp. 913-924.
- Buzinde CN, Manuel-Navarrete D, Kerstetter, D et Redcliff M (2009) "Representations and adaptation to climate change", *annals of tourism research*, vol 37, 3, pp 581-603
- Ceron JP et Dubois G (2003) *Tourisme et changement climatique : une relation à double sens : le cas de la France*, <http://www.tec-conseil.com/IMG/pdf/djerba.pdf>
- Ceron JP, Dubois G *Changement climatique: changement de destinations?* http://www.tec-conseil.com/IMG/pdf/pour_02072006.pdf
- Ceron JP et Dubois G (2006) *Adaptation au changement climatique et développement durable du tourisme. Etude exploratoire en vue d'un programme de recherche, Rapport final, TECconseil*
- CERON Jean-Paul, *Le tourisme doit, lui-aussi, agir contre le réchauffement climatique*, *Espaces* 254, décembre 2007
- CERON Jean-Paul et Ghislain DUBOIS, *Changement climatique et tourisme – Une question de temps*, *Espaces* 242, Novembre 2006
- CERON Jean-Paul et Ghislain DUBOIS ; *Changement climatique et tourisme : répondre à un enjeu global ; Séminaire Développement durable et économie de l'environnement ; IDDRI/ Ecole Polytechnique ; Mardi 29 janvier 2008*
- COLSON Vincent. 2006. «La fréquentation des massifs forestiers à des fins récréatives et de détente par la population wallonne et bruxelloise». *Forêt Wallonne*. n°81. Mars 2006. pp. 26-38.
- CPDT (2012-2014), *Impact de la modification climatique à 30 ans sur le tourisme en Wallonie. Projet de recherche ULB-GUIDe*.
- CPDT (2011) *Actualisation du SDER, rapport scientifique, thématique tourisme, rapport final*.
- De Freitas CR (2003) *Tourism climatology: evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector*, *International journal of biometeorology*, 48, pp 45-54
- Denstadli JM, Jacobsen J, Lohmann M (2011) *Tourist perceptions of summer weather in Scandinavia*, *Annals of tourism research*, vol 38, 3, pp 920-940
- Diekmann; A. Bauthier, I. (2011) *Tourism 2020 – Towards the development of a sustainable tourism industry, report for UNI Global and ETLC*
- Dubois G et Ceron JP (2006) *Tourism and climate change: proposals for a research agenda*, *journal of sustainable tourism*, vol 14, 4, 399-415

- Dubois G et Ceron JP (2006) Tourism/leisure greenhouse gas emissions forecasts for 2050: Factors for change in France, *Journal of sustainable tourism*, vol 14, 2, 172-191
- DUBOIS Ghislain et Jean-Paul CERON ; Adaptation au changement climatique et développement durable du tourisme, étude exploratoire en vue d'un programme de recherche, Rapport final, Mai 2006
- FRANGIALLI Francesco; Climate Change – Reality Check and Opportunity for Tourism; 2007
- Gössling S et al (2006) Tourist perceptions of climate change: a study of international tourists in Zanzibar, *current issues in tourism*, 9, 4-5, pp 419-435.
- Gössling S, Haglund L., Kallgren H., Revahl M., Hultman J. (2009) Swedish air travelers and voluntary carbon offsets : towards the co-creation of environmental value ?, *Current issues in Tourism*, 12:1, pp1-19
- Gössling S, Scott D; Hamm C.M., Ceron J-P, Dubois G. (2012) Consumer behavior and demand response of tourists to climate change, *annals of tourism research*, 39, 1, pp 36-58.
- Hares A, Dickinson J, Wilkes K (2010) Climate change and the air travel decisions of UK tourists, *Journal of transport geography*, 18, pp 466-473.
- Hamilton JM, Maddison D, Tol RS (2005) Climate change and tourism: a simulation study, *Global environmental change*, 15, pp 253-266.
- HANNEQUIN Jean-Luc, Alain SOMAT, Gérard CHAVALLIER; Transition décarbonée, une nouvelle perspective d'innovation pour les activités touristiques; Espace 294 – juillet-août 2011
- Hein L, Metzger MJ, Moreno A (2009) "Potential impacts of climate change on tourism; a case study for Spain", *Current opinion in environmental sustainability*, 2009, 1 , pp 170-178
- Mieczkowski, Z. (1985). The Tourism Climatic Index: A Method of Evaluating World Climates for Tourism. *Canadian Geographer*, 29 (3), 220-233.
- Müller H, Weber F, Volken E (2007) Climate change and Switzerland 2050. Expected impacts on environment, society and economy, <http://proclimweb.scnat.ch/portal/ressources/794.pdf>
- Nawijn, J. Peeters P.M. (2012) Travelling 'green': is tourists' happiness at stake ?, *Current issues un tourism*, 13:4, pp381-392
- OMT, TOURISM, AIR TRANSPORT AND CLIMATE CHANGE, September 2007
- Peeters P, Dubois G (2010) Tourism travel under climate change mitigation constraints, *Journal of transport geography*, 18, 2010, pp 447-457
- Perch-Nielsen SL, Amelung B, Knutti R (2010) Future climate resources for tourism in Europe based on the daily Tourism Climatic index (2010) , *Climatic change* 103, pp 363-381
- Perry A (2006) Will predicted climate change compromise the sustainability of Mediterranean tourism? , *Journal of sustainable tourism*, 14, 4, pp 367-375.
- QUERIAT S., 2012, Le tourisme, dans le cadre du Diagnostic territorial de la Wallonie préparatoire à l'actualisation du SDER.
- Scott D, Hall C.M., Gossling S (2012) *Impacts, adaptation and mitigation*, Routledge, 440 pages.
- Serquet G et Thalmann P (dir) (2012) *Impacts des changements climatiques pour le tourisme à Verbier*, REME, EPFL
- SPF Economie – DGSIE. Tourisme 2011. <http://statbel.fgov.be/fr/statistiques/chiffres/travailvie/temps/horeca/>

TOURISM DEVELOPMENT AND CLIMATE CHANGE: UNDERSTANDING, ANTICIPATING, ADAPTING, PARTICIPATING IN THE COMMON EFFORT.
<http://www.iipt.org/pdf/TourismDevandClimateChange.pdf>

UNEP (2008), Simpson, M.C., Gosling S., Scott D., Hall C.M., Gladin E. (2008), Climate change adaptation and mitigation in the tourism sector : Frameworks, Tools, and practices, UNEP, University of Oxford, UNTWO, WMO: Paris, France, 137 pages.

UNWTO (2009) From Davos to Copenhagen and beyond: advancing tourism's response to climate change

Contacts

Dr. Isabelle Bauthier, licenciée en géographie, thèse de doctorat portant sur le développement touristique des territoires. Depuis 2011 elle a rejoint la CPDT comme chercheuse. Elle travaille actuellement sur l'impact que peuvent avoir les changements climatiques sur les flux touristiques à travers l'Europe et en particulier en Wallonie. ULB-IGEAT, CP 130/02, Avenue F.D. Roosevelt, 50, 1050 Bruxelles, Tél: +32 (0)2 650 43 09, Email: ibauthie@ulb.ac.be

Barbara Destrée, Directrice - Direction de la Stratégie touristique, Commissariat général au Tourisme, Avenue Gouverneur Bovesse, 74, 5100 JAMBES, Tél. 081/325.675 - 0479/65.17.63, <http://cgt.tourismewallonie.be>

Claude Desjarlais, Directeur de l'Analyse économique, Ouranos, 550 Sherbrooke Ouest, 19e, Montréal,(QC) H3A 1B9, Canada, Tél.:514 282-6464 #231, Fax.: 514 282-7131, e-mail : Desjarlais.Claude@ouranos.ca

4 CONCLUSIONS

Les projections pour 2050 en Wallonie prévoient un climat globalement plus chaud, des hivers moins froids, avec plus d'épisodes de pluies intenses en hiver et des étés plus chauds et secs avec des canicules estivales plus fréquentes et des saisons intermédiaires plus douces avec une augmentation généralisée des températures au printemps et en automne. Dans ce contexte d'augmentation des températures moyennes et de multiplication des événements extrêmes, ce rapport examine, sur base de la littérature scientifique récente, pour chaque secteur d'activités bien que de manière non exhaustive, les conséquences des changements climatiques attendus en Wallonie à l'horizon 2050.

L'évaluation des coûts liés aux changements climatiques est un problème délicat pour trois raisons. Tout d'abord, les modèles climatiques et hydrologiques restent limités et entachés d'incertitudes. Ensuite, les données et les retours d'expériences manquent de bien des cas. Enfin, il est parfois très difficile de donner une valeur monétaire à certains effets. Une partie des impacts peut être traduite en valeur monétaire même si l'exercice reste imprécis (baisse de consommation de chauffage en hiver, augmentation de la consommation d'électricité pour le conditionnement d'air en été, réparation de dégâts dus aux inondations ...). Par contre, d'autres impacts ne sont pas quantifiables en termes monétaires (quel est le coût d'une vie humaine ?, d'espèces végétales menacées ? de risque épidémiologique,...?).

Malgré ces difficultés méthodologiques et l'absence de certaines données, les impacts repris au tableau ci-dessous ont été identifiés et quantifiés. Si l'identification des impacts s'est basée sur la littérature, l'analyse quantitative a dû être réalisée sur base de différentes hypothèses (selon l'impact étudié) validées par des experts et décrites en détail dans le présent rapport.

Impacts quantifiés	En termes physiques		En termes monétaires
	Situation actuelle	En 2050	
Modification du rendement (grandes cultures et prairies) et effet des sécheresses	X	X	X
Pertes en sol par érosion hydrique	X	X	Pas chiffrable monétairement
Invasion des insectes ravageurs	Impact incertain et données disponibles insuffisantes.		
Changement des cultures	Pas pertinent dans le scénario retenu d'économie constante		
Services de régulation de la forêt - séquestration du carbone	X	X	X
Services de régulation des cultures et prairies – séquestration du carbone	X	X	X
Services culturels de la forêt – usage passif	NA	NA	X
Services d'approvisionnement, de régulation et culturels des eaux douces	NA	NA	X
Services de régulation de la forêt – protection contre les inondations et l'érosion	Pas calculé en raison du manque de données et des difficultés à estimer l'impact sur ces fonctions		
Impact sur la production électrique des centrales à cycles thermiques	X	X	X

Impacts quantifiés	En termes physiques		En termes monétaires
	Situation actuelle	En 2050	
Impact sur la production des centrales hydroélectriques	X	X	X
Modification de la demande énergétique (diminution chauffage et augmentation climatisation)	X	X	X
Pertes de transport et distribution	X	X	X
Variations des potentiels d'énergie renouvelable (hors hydroélectricité)	Impact très faible en Wallonie		
Services de régulation de la forêt - séquestration du carbone	X	X	X**
Services de régulation de la forêt – protection contre les inondations et l'érosion	Pas calculé en raison du manque de données et des difficultés à estimer l'impact du changement climatique sur ces fonctions		
Services de régulation des systèmes agricoles – séquestration du carbone en prairies et terres arables	X	X	X**
Services culturels de la forêt – usage passif			X
Services d'approvisionnement, de régulation et culturels des eaux douces			X
Productivité des forêts	X	X	X
Modification dans l'aire de répartition des essences	X	X	X
Tempêtes		X	X
Feux de forêt ; maladies, dépérissement	Difficilement chiffrable : occurrence et magnitudes incertaines		
Risques d'inondation	X	X	X
Diminution de la production d'eau potable	X	X (état de l'art)	Estimation partielle (eaux douces) et indirecte (services écosystémiques)
Impact sur les infrastructures de transport	X	X (état de l'art)	Estimation partielle (inondations) et autres données manquantes
Altération de la recharge des nappes	Lacune de connaissances		
Altération de la qualité des eaux	Manque de modélisations		
Altération des aléas naturels	Difficilement chiffrable : occurrence et magnitudes incertaines		
Mortalité estivale	X	X	X
Morbidité estivale (maladies respiratoires à cause de la chaleur)	X	X	X

Impacts quantifiés	En termes physiques		En termes monétaires
	Situation actuelle	En 2050	
Mortalité hivernale	Lien direct avec le changement climatique pas démontré		
Intoxication alimentaire (Salmonellose)	X	X	X
Maladies à vecteurs (maladie de Lyme)	X	X (état de l'art)	
Recrudescence des pollinoses	X	X (état de l'art)	
Exposition aux rayonnements UV	Manque d'évidence scientifique		
Diminution de la productivité du travail	Impact très faible ou nul en Wallonie (pays du Sud plus concernés)		
Variation de la demande touristique	X	X	X

Tableau 90. Synthèse des impacts du changement climatique identifiés et quantifiés sur huit secteurs wallons. Source : ICEDD, 2014.

Après avoir recensé certains des impacts physiques probables du réchauffement des températures, des changements dans la configuration des précipitations, des sécheresses, des tempêtes, des vagues de chaleur, des étiages et des crues hivernales découlant du changement climatique en Wallonie, ce rapport évalue les coûts économiques de ces impacts.

La traduction en termes monétaires des impacts qui ont pu être quantifiés s'est basé sur le maintien de la situation socio-économique wallonne actuelle (scénario dit à « économie constante »). Ce scénario de référence statique permet de répondre à la question suivante : **Quelles seraient les conséquences du changement climatique attendu pour 2050 s'il se produisait aujourd'hui** sans que les acteurs économiques ne s'y adaptent ? Ce choix permet d'isoler l'impact du changement climatique de celui d'autres évolutions et de ne pas ajouter des incertitudes macro-économiques aux incertitudes relatives aux aspects climatiques. Pour les secteurs pour lesquels une évolution socio-économique est d'ores et déjà anticipée, les impacts ont été aussi quantifiés selon un scénario dynamique ou évolutif.

Le scénario de référence à économie constante implique de travailler avec de prix fixes. De ce fait, les coûts risquent d'être sous-estimés ou surestimés. Il est en effet possible que sur une longue période, les prix des produits évoluent à la baisse ou à la hausse en termes relatifs. Si on s'attend à une hausse des prix relatifs d'un type de production, l'estimation à prix constant risque de sous-estimer la perte encourue. De même, le revenu pourrait au contraire augmenter si la hausse des prix due aux changements climatiques est supérieure à la baisse de productivité et en ce sens il y aurait un gain net et une surestimation des coûts.

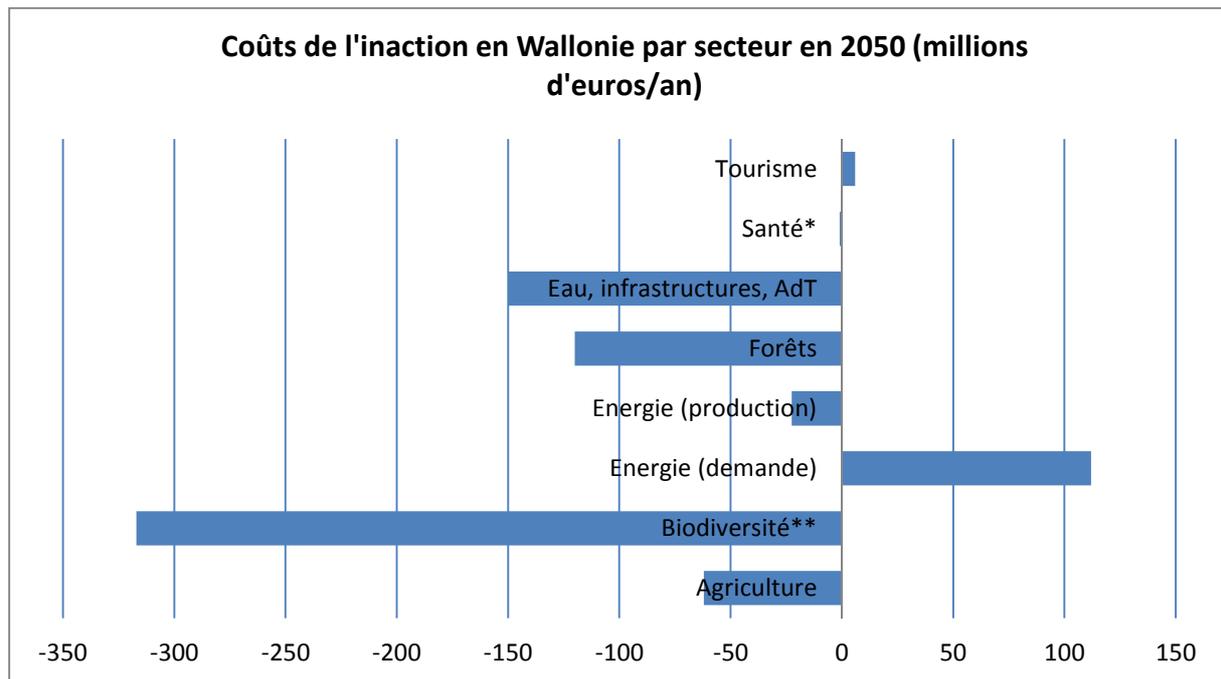
Les limites et les incertitudes de l'étude ainsi que les aspects qui mériteraient des analyses complémentaires sont présentés à la fin de chaque chapitre sectoriel.

Les paragraphes suivants donnent les résultats de l'analyse des coûts (exprimés en euros de 2011) des impacts annuels sans adaptation spontanée sur huit secteurs wallons. Lorsque les données étaient disponibles, l'hypothèse du scénario moyen A1B du GIEC et les projections climatiques pour la Wallonie à l'horizon 2050 ont été utilisées. Dans le cas des services écosystémiques les données du scénario A2 ont été utilisées. Enfin, dans le cas des forêts, aucune projection climatique et de scénario à l'échelle de la Wallonie n'est utilisable à ce jour, rendant nécessaire la construction d'un scénario spécifique à cette étude.

Le rapport établit clairement qu'il existe un coût économique résultant de l'absence de réaction au changement climatique. Si nous vivions aujourd'hui sous le climat attendu pour 2050, le coût total des impacts "monétarisables" sur huit secteurs serait de l'ordre de l'ordre de 0,55 milliards d'euros par an soit encore de l'ordre de 0,65% du PIB₂₀₁₂ pour une augmentation moyenne de la température de 1,9°C, mais les incertitudes restent très importantes.

Ces données ne sont en aucun cas extrapolables à l'année 2100 sur base d'une simple règle de proportionnalité. Les relations entre impact et augmentation des températures sont en effet non linéaires et complexes dans de nombreux secteurs. Par ailleurs, il existe des effets de seuils au-delà desquels certains impacts peuvent changer radicalement (ex. au-delà d'une certaine concentration en CO₂ dans l'atmosphère, l'effet sur la croissance des végétaux devient négatif, il y a aussi des seuils de température dont le « confort thermique » devient du « stress thermique » avec un impact négatif sur l'état de santé des populations...).

Le graphique ci-dessous illustre les valeurs chiffrées par secteur.



* à l'exclusion des 700 décès supplémentaires non chiffrés,

** à l'exclusion du stockage du carbone dans les écosystèmes et les sols – chiffré dans le chapitre mais non sommé ici

Figure 119. Evaluation monétaire partielle de l'impact du changement climatique sur différents secteurs en Wallonie.

D'ores et déjà, des changements sont observés dans le **secteur agricole** sur certaines cultures : modification des calendriers agricoles, changement dans la qualité des produits, déplacement vers le nord de certains ravageurs ... A l'horizon 2050 et sous l'effet des sécheresses, le secteur agricole serait affecté au niveau des rendements des grandes cultures de façon légèrement positive pour le blé et l'orge et négative pour le maïs, les betteraves sucrières, les pommes de terre et les prairies. Pour les cultures d'hiver, il s'agirait d'effets positifs modérés jusqu'à un certain seuil (donc jusqu'à une certaine date...), mais au-delà de celui-ci l'impact serait plutôt négatif. En général, la baisse de disponibilité en eau (stress hydrique) et la multiplication des épisodes caniculaires ou de sécheresses (stress thermique) auraient un effet très négatif sur les rendements avec notamment le risque d'échaudage (mauvais développement des fruits ou des grains dû à de fortes chaleurs). La rentabilité de l'élevage pourrait également se trouver diminuée du fait de l'impact des sécheresses sur les prairies. A l'horizon 2050, les gains sur le chiffre d'affaires annuel du secteur agricole ont été estimés à environ 6,8 millions d'euros tandis que les pertes liées à la diminution du rendement de la culture du maïs, des betteraves sucrières, des pommes de terre et des prairies ont été estimées à environ 68,4 millions d'euros (ce qui représente 4% du valeur de la production agricole – horticulture, grandes cultures et produits animaux – moyenne 2009-2011). Cependant, il est utile de rappeler que les agriculteurs pourront facilement modifier les pratiques agricoles (ex. dates des semis, les variétés cultivées, etc.). Cette adaptation spontanée n'est pas prise en compte par l'hypothèse d'économie constante.

La question de l'évolution de la **biodiversité** face au changement climatique concerne souvent la réponse directe des espèces aux modifications des principaux paramètres physiques du climat (température, pluviométrie...) ou des paramètres chimiques associés (composition de l'atmosphère, pH des milieux aquatiques...). Sur ce point, les connaissances du comportement des différentes espèces sont extrêmement fragmentaires et limitées à quelques espèces « modèles », la notion de modèle étant plus liée à une facilité d'étude qu'à une représentativité vis-à-vis de l'ensemble des espèces. Néanmoins, on observe d'ores et déjà des signes de modification de la biodiversité attribuables aux modifications graduelles induites par le changement climatique. Ils concernent les différents niveaux d'organisation de la biodiversité (génétique, spécifique, écosystémique), etc. Les changements climatiques participeront à la fragilisation des écosystèmes et des habitats, augmentant les facteurs de pressions sur les populations animales et végétales. Les animaux et les plantes qui le pourront remonteront vers le nord à la recherche de climats plus cléments ou modifieront leur cycle de croissance. D'autres espèces, incapables de s'adapter au changement ou de se déplacer, verront leur population diminuer et à terme s'éteindre. La connaissance des impacts futurs du changement climatique sur la biodiversité repose sur des scénarios d'évolution tendancielle entachés d'incertitude. Une des principales conséquences de la perte de biodiversité sera la diminution éventuelle des services écosystémiques et, corrélativement, du bien-être humain. En effet, les changements climatiques affecteront la capacité qu'ont les forêts à absorber et à filtrer l'eau de pluie, ou à stocker du carbone. Ils auront aussi un impact sur la valeur culturelle ou sur les activités récréatives offertes par la forêt wallonne ou les écosystèmes d'eau douce. Même s'il est admis qu'il existe un lien entre biodiversité et service écosystémique (plus la biodiversité est grande, plus nombreux sont les services rendus par un écosystème), ce lien n'est pas direct et varie en intensité. C'est pourtant par le biais des services écosystémiques que cette étude s'attache à évaluer l'impact du changement climatique en termes monétaires, et ce en raison des développements importants de ces dernières années dans ces matières. L'ensemble des coûts estimés pour certains services écosystémiques s'élève à 300 millions d'euros par an à la moitié du siècle. Il est toutefois important de rappeler que cette valeur restera toujours partielle dans la mesure où il est impossible de chiffrer tous les services écosystémiques, certains ayant par définition une valeur extrêmement discutable (les valeurs de non-usage par exemple). De plus, ces chiffres sont issus d'études qui se basent sur les scénarios du GIEC et qui ne retiennent donc pas l'hypothèse d'économie constante. Enfin, la valeur des services écosystémiques de régulation étudiés (ici la quantité de carbone séquestrée dans les premiers 30 cm du sol) est très dépendante des hypothèses de changements d'occupation des sols et de la valeur que l'on attribue à la tonne de CO₂ qui peut être capturée et séquestrée dans les

couches supérieures du sol. Les incertitudes sur la valeur de ce service écosystémique sont telles qu'elle n'a pas été reprise dans la valeur globale des coûts sur les services écosystémiques cités ci-dessus (300 millions d'euros) même si elle a été chiffrée dans le chapitre relatif à la biodiversité.

Le changement climatique aura également des impacts directs sur le **secteur énergétique** : la température a une influence sur les infrastructures de production, de transport et de distribution de l'électricité. La production électrique connaîtra des pertes de rendement liées à la baisse de débit (avec plus de périodes d'étiages) et à l'augmentation des températures de l'eau de refroidissement des fleuves. Les variations de précipitations se traduiront aussi par une évolution négative de la production hydroélectrique. Selon les résultats de l'analyse réalisée, les pertes économiques du secteur énergétique suite à l'augmentation de la température et aux étiages s'élèveront, à la moitié du siècle, à environ 22,5 millions d'euros à économie constante (14,5 millions d'euros si on tient compte du remplacement des centrales nucléaires conformément au Plan Wathélet). Les évolutions climatiques attendues auront un impact faible sur le potentiel de production des énergies renouvelables comme l'éolien ou le photovoltaïque. Par ailleurs, ces équipements présentent des durées de vie relativement courtes (de l'ordre de 20 ans) qui rend possible l'adaptation à de nouvelles conditions climatiques.

Les évolutions de températures attendues pour 2050 engendreront une baisse de la demande énergétique hivernale (liée à des hivers moins rigoureux) mais des besoins en hausse en période de forte chaleur (besoin de refroidissement croissant). La hausse des températures conduira à un repli de la consommation énergétique régionale par rapport à la situation actuelle. Selon les résultats de l'analyse réalisée, les gains économiques dus à la diminution de la demande de chauffage suite à l'augmentation de la température dépasseraient l'augmentation de la climatisation en Wallonie ce qui représenterait un gain net annuel d'environ 112 millions d'euros. Cependant, le taux de pénétration croissant des installations de climatisation entraînera une multiplication des pics de demande électrique en période estivale qui pourrait rendre plus complexe la gestion des réseaux électriques dans ces périodes de crise.

L'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂, l'augmentation des températures, les modifications des précipitations, les inondations, les sécheresses plus fréquentes et de plus longue durée auront des effets significatifs sur la croissance des arbres et des **forêts**. Les changements climatiques auront également des conséquences associées aux perturbations biotiques (la fréquence et les conséquences de l'apparition de maladies et de nuisibles) et abiotiques (changements dans la fréquence des incendies, dans la fréquence et l'intensité des tempêtes) avec de fortes implications pour les écosystèmes forestiers. La production forestière sera contrainte par la disponibilité en eau et en éléments minéraux. La diminution des précipitations annuelles ainsi que les modifications de la répartition inter- ou intra-annuelle de la pluviométrie auront probablement pour résultat une plus forte limitation en eau par rapport à la situation actuelle (augmentation du stress hydrique). La production diminuera dans les sites sujets aux stress hydriques et augmentera là où l'augmentation de la demande évaporative (grâce à des températures plus élevées) sera compensée par une augmentation des précipitations, pour autant que les éléments minéraux ne soient pas limitants. Par conséquent, pour une espèce donnée, les impacts pourront être soit positifs, soit négatifs, selon les conditions du milieu et le changement climatique. La prédisposition des forêts aux dégâts des différents insectes nuisibles et aux maladies fongiques va varier. L'apparition de scolytes dans les forêts dominées par l'épicéa commun augmentera. Les hivers modérés pourront réduire l'endurcissement hivernal chez les arbres, augmentant alors leur vulnérabilité au gel. De plus, les risques d'incendie vont probablement augmenter. La présente étude estime que la réduction des superficies de hêtre, d'épicéa et de chêne pédonculé ainsi que les pertes sur l'épicéa dues aux tempêtes auront un impact financier global d'environ 120 millions d'euros par an sur le secteur forestier wallon à la moitié du siècle, ce qui représente environ 2% du chiffre d'affaires actuel de la forêt wallonne (exploitation et transformations comprises). Les chiffres proposés ici ne se basent pas sur des modèles climatiques et biologiques de répartition des essences (non disponibles à ce jour), mais bien sur une

méthode d'adaptation des essences aux stations dérivée de la méthode du guide du boisement sur base des données de l'inventaire forestier permanent actuel. Ils sont donc à considérer avec une extrême prudence et comme une première approximation. Ils ne remplacent en rien les résultats plus précis que l'on pourrait obtenir sur base de modèles hydrologiques, trophiques, et climatiques locaux et adaptés au contexte régional.

Des changements dans la distribution saisonnière des précipitations seront à l'origine de précipitations plus importantes, particulièrement pendant l'hiver et le printemps, augmentant considérablement les crues en fréquence et en intensité. Les prévisions de débordement des fleuves ne sont pas optimistes et exposeront les communes wallonnes à des **risques d'inondation** importants, qui pourraient fortement croître dans les années à venir. On estime en effet qu'en Wallonie, le niveau de la Meuse lors d'une crue centennale augmentera en moyenne de 60 centimètres à l'horizon 2050, et de 130 centimètres d'ici 2100, favorisant dès lors les risques de débordements. Une estimation de la diminution de la période de retour d'inondations de gravité croissante a permis de chiffrer le surcoût économique de ce risque sur les biens matériels (majoritairement sur les infrastructures et les habitations) à environ 150 millions d'euros à l'horizon 2050.

Les effets du changement climatique sur la **santé** se feront aussi sentir en Wallonie. En 2050, un été sur deux pourrait ressembler à la vague de chaleur de 2003. On peut donc s'attendre à une augmentation de la mortalité et de la morbidité des personnes âgées ou fragiles, estimées dans la présente étude à environ 670 décès excédentaires et 92 hospitalisations supplémentaires pour des troubles respiratoires dus exclusivement à la chaleur (le double que dans la situation actuelle). Le réchauffement climatique pourra aussi favoriser le développement de germes pathogènes, en particulier les agents transmissibles par l'eau ou les aliments (p. ex. les bactéries *Salmonella*) entraînant une augmentation des intoxications alimentaires (90 cas de salmonelloses supplémentaires par an à l'horizon 2050 selon les résultats de la présente étude). Le changement climatique entraînera une modification des aires de distribution des végétaux sur le territoire, en ce compris les plantes et arbres à pollens allergisants, qui tendront pour certains à être plus présents. En plus de l'augmentation des concentrations de pollen dans l'air, la présence de ces pollens dans l'air ambiant se manifestera de plus en plus tôt dans l'année (débourrage plus précoce) et la période pollinique aura tendance à s'allonger, augmentant d'autant les risques d'allergies. La prévalence des allergies polliniques, de 30% aujourd'hui, devrait être, selon l'OMS, de 50% en 2050. On peut aussi s'attendre à un développement des maladies à transmission vectorielle comme la maladie de Lyme, liée aux tiques. Enfin, on s'attend à une aggravation d'autres problèmes de santé tels que des cancers cutanés dus à un rayonnement solaire potentiellement plus intense.

Des études portant sur le **tourisme** dans les pays européens mettent en évidence une augmentation potentielle des flux de touristes vers le nord de l'Europe en été, une partie de l'Europe du sud perdant au contraire de son attractivité relative. Ce processus se trouve toutefois inversé au cours des mois de printemps et d'hiver, traduisant un transfert des flux saisonniers dans ces régions des mois d'été aux mois d'hiver. Selon les résultats du projet PESETA mené à l'échelle européenne, l'évolution des températures hivernales et estivales est susceptible de provoquer une légère augmentation des flux touristiques vers la Wallonie. La présente étude a estimé cet impact positif sur le chiffre d'affaires du secteur touristique à environ 5 millions d'euros par an à l'horizon 2050.

Les données présentées ici se basent sur une **revue de la littérature existante et des entretiens avec des experts suivie d'une régionalisation, d'une extrapolation ou d'un transfert géographique** des résultats. Dans les trois cas, les hypothèses prises pour réaliser l'exercice ont une grande influence sur les résultats obtenus et ont été retenues en raison de leur qualité scientifique. Pour certains secteurs, et lorsque cela était possible, des fourchettes de résultats sont présentées dans les paragraphes récapitulatifs situés à la fin de chaque secteur. Ces fourchettes ne représentent pas des scénarios climatiques différents, mais bien les résultats obtenus selon le même scénario climatique basés sur des hypothèses de calcul différentes. Elles illustrent l'incertitude associée aux résultats qui ne représentent qu'une première approche dans l'estimation des coûts de l'inaction

en Wallonie. Ces résultats sont dès lors à considérer comme partiels et les pistes pour aller plus loin sont nombreuses. Elles sont également détaillées dans le paragraphe récapitulatif situé à la fin de chaque secteur.

Note au lecteur

Les résultats présentés ici proviennent d'une étude exploratoire dont l'objectif est de réaliser des éclairages ponctuels sur le coût de l'inaction face au changement climatique en fonction de la pertinence de l'impact, l'existence de méthodes applicables et la disponibilité des données nécessaires.

En effet, des nombreuses difficultés sont inhérentes à l'exercice de chiffrage des coûts : travaux et méthodes existants très récents ou manquants, incertitude sur les impacts, hétérogénéité des méthodes, manque de données chiffrées, choix des méthodes divergentes (top-down – bottom-up), différents types de coûts existants, difficultés d'estimation de la valeur économique de tous les impacts, non prise en compte de l'adaptation spontanée ou planifiée, non prise en compte des effets cumulatifs des événements extrêmes, incertitude sur les projections, limites inhérentes aux modèles et aux scénarios de départ utilisés, hypothèses simplificatrices, résultats théoriques, etc.

Les résultats quantitatifs doivent donc être interprétés avec beaucoup de prudence.

En effet, bien que l'existence du changement climatique ne soit pratiquement plus remis en cause, les conséquences du changement climatique et surtout les diverses évaluations d'impacts, qu'elles soient monétaires ou non, sont hautement incertaines.

Finalement, il faut encore préciser que les données présentées dans ce rapport sont exprimées en pourcentage du PIB dans le but d'illustrer l'ordre de grandeur des impacts qui ont pu être chiffrés.

5 ANNEXES

ANNEXE GENERALE : LES COÛTS DE L'INACTION DANS LA LITTÉRATURE ET LIMITES DE L'HYPOTHESE À ÉCONOMIE CONSTANTE

Les coûts de l'inaction dans la littérature

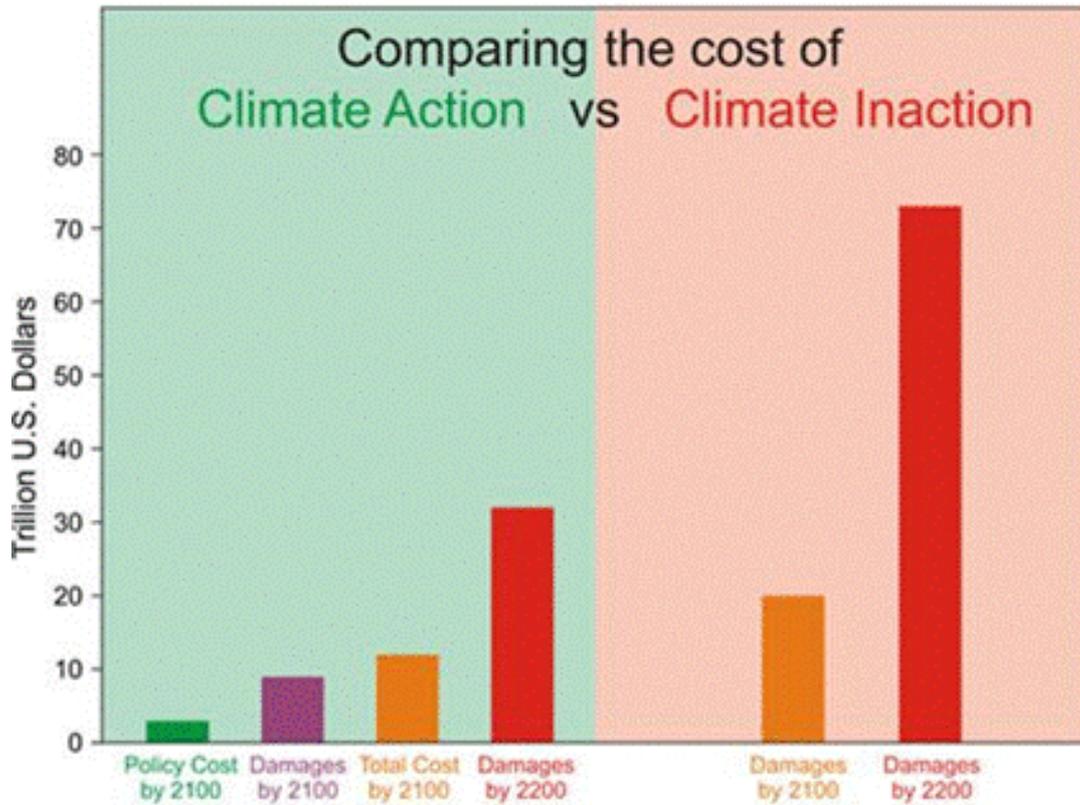
Le rapport Stern doit sûrement une partie de son succès à son chiffrage en termes de point de PIB, qui permet de marquer les esprits en utilisant un indicateur connu de tous. De même, la plupart des modèles coût-efficacité proposent une estimation des coûts en pertes de PIB, en ajoutant parfois des coûts de bien-être obtenus à partir de la fonction d'utilité du consommateur représentatif. Cependant, cette évaluation à partir du PIB pose problème car, comme le rappellent certains économistes, le PIB éprouve les plus grandes difficultés à saisir les effets de contraintes climatiques. En effet, le PIB semble victime de son succès : conçu pour rendre compte d'une croissance économique fondée sur l'accumulation du capital, il a été appliqué à des champs comme le changement climatique où ses faiblesses ont parfois des effets pervers forts.

Par exemple, du point de vue climatique, deux éléments de construction du PIB sont particulièrement problématiques :

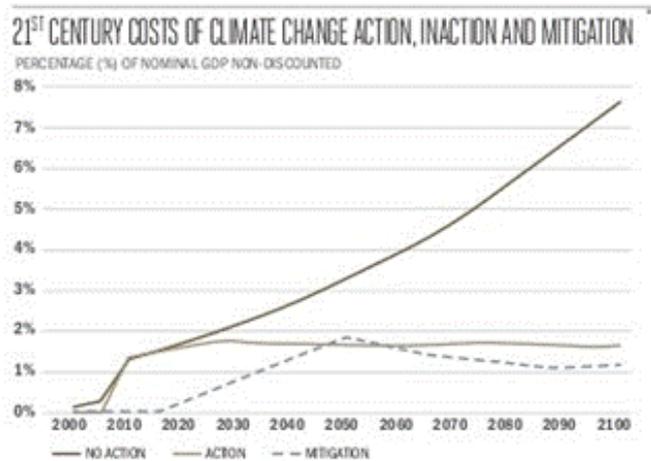
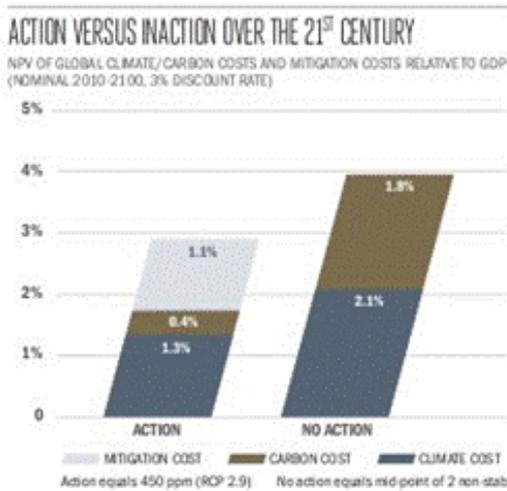
- Comme son nom l'indique, le PIB est présenté en données brutes, sans prise en compte de la dépréciation du capital. Un pays qui consommerait la totalité de son capital naturel verrait tout d'abord son PIB fortement augmenter mais entraverait considérablement ses capacités de développement futur. En considérant les ressources naturelles, le climat ou la biodiversité comme parties du stock de capital et en tenant compte de leur dépréciation, les performances des économies apparaîtraient radicalement différentes.
- Le second point critique renvoie au cœur de l'économie publique. Le climat, et plus généralement le stock de capital naturel, est un bien public, considéré comme gratuit. La pollution (externalité négative) n'a pas de prix et n'entraîne donc pas de paiement compensatoire. En présence d'externalités non internalisées, l'équilibre de l'économie ne correspond pas à un optimum de Pareto. Les bénéfices liés à la préservation de l'environnement sont également oubliés : la beauté des paysages, l'existence de la biodiversité ou des ressources naturelles ne sont pas pris en compte si ce n'est par le biais d'activités économiques traditionnelles comme la pêche ou le tourisme. Ces deux défauts se renforcent mutuellement. D'un côté, le manque de valorisation des bénéfices liés à l'environnement conduit à une sous-estimation des actifs naturels. De l'autre côté, le fait de ne pas payer pour la pollution ou les dommages causés amène à surexploiter les actifs naturels. Ainsi, le PIB crée l'illusion de la croissance économique, mais il n'est pas très efficace du point de vue climatique, car il est en particulier associé à un niveau de consommation trop élevé.

Face aux faiblesses inhérentes au PIB, des indicateurs alternatifs ont été développés comme l'indice de bien-être utilisé dans le projet PESETA.

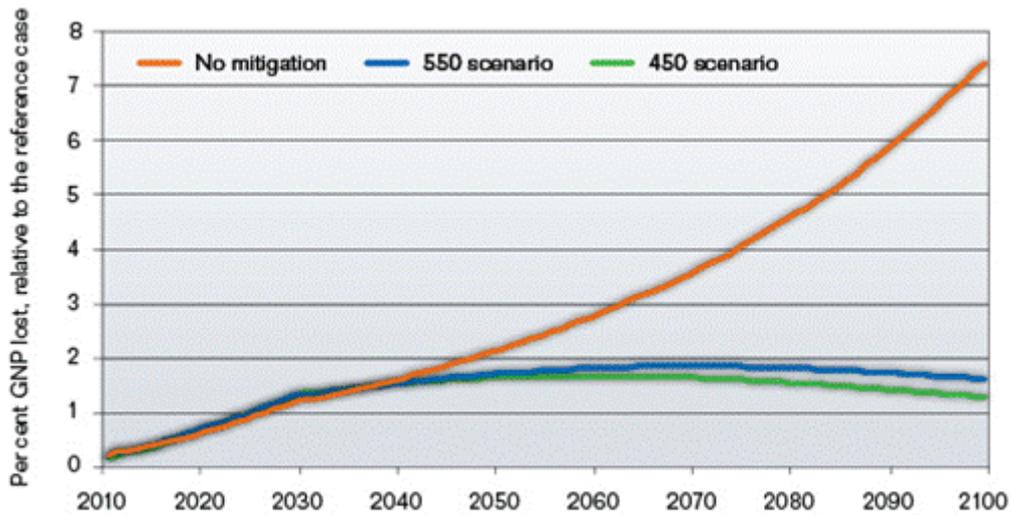
Modèle PAGE développé par l'Université de Cambridge et utilisé dans le cadre de l'étude PESETA.



Guide to a Cold Calculus for a Hot Planet (2012 Report, UK)



The Garnaut Climate Change Review (Australie, 2008)



Paying the Price – The Economic Impacts of Climate Change for Canada, September 2011



Changement climatique, Coûts des impacts et pistes d'adaptation, ONERC, France, 2009

Secteur/Impact	Adaptation	2100/Long terme	
		A2	B2
Agriculture Impacts sur le maïs (hors contrainte eau, variation interannuelle et événements extrêmes) Impacts sur le blé (hors contrainte eau, variation interannuelle et événements extrêmes) Impacts sur le maïs des canicules Impacts sur le blé des canicules Impacts sur la viticulture en Languedoc Impacts sur la viticulture en Languedoc Impacts sur la viticulture en Bourgogne Impacts sur la viticulture en Bourgogne Impacts sur les prairies dans l'arc méditerranéen	Spontanée	-439 à +65 M euros/an	-68 à +30 M euros/an
	Spontanée	-13 à +147 M euros/an	+70 à +111 M euros/an
	Sans adaptation	-120 à -192 M euros/an	-68 à -94 M euros/an
	Sans adaptation	-209 à -334 M euros/an	-118 à -163 M euros/an
	Sans adaptation	-26 à -12 % de rendement ¹ /an	-18 à -6 % de rendement/an
	Spontanée	-3 à +30 % de rendement ¹ /an	+11 à +46 % de rendement/an
	Spontanée	+35,2 % de rendement/an	+41,7 % de rendement/an
Santé Coût de la canicule 2003 pour l'assurance-maladie Coût «humain» de la canicule (années de vie perdue) Coût de l'inondation du Gard, 2002 – prise en charge psychologique en secteur libéral hors long terme	NA	-260 M euros à +10 M	
	NA	-500 M euros en 2003 -234 K euros en 2002 pour 953 personnes	
Forêt Impact sur la croissance des forêts (et donc la productivité) (volume) – sans tenir compte du risque incendie Impact des extrêmes sur la santé des forêts (et donc la productivité) : dépérissements etc. – sans tenir compte du risque incendie	Sans adaptation	Impact clairement négatif, mais non chiffré à ce stade	
	Sans adaptation	Négatif mais non chiffré	
Energie Impact sur la consommation ² d'électricité Impact sur la consommation ² d'électricité Impact sur la consommation ² de gaz naturel Impact sur la consommation ² de fioul Impact sur la consommation d'essence dans les véhicules des particuliers Impact sur la consommation d'essence dans les véhicules des particuliers Impact de l'évolution de la ressource en eau sur la production d'électricité – canicule Impact de l'évolution de la ressource en eau sur la production d'électricité – débits	Sans adaptation	-1,5 M tep/an	-1,2 M tep/an
	Spontanée (climatisation)	+1 M tep/an	+1 M tep/an
	Sans adaptation	-5 à -3,9 M tep/an	-3,9 à -2,5 M tep/an
	Sans adaptation	-1,5 M tep/an	-0,8 M tep/an
	Sans adaptation	+0,8 M tep/an	+0,6 M tep/an
	Spontanée (climatisation)	+1,2 M tep/an	+1 M tep/an
Sans adaptation	-0,2 M tep/an	-0,4 à -0,3 M tep/an	
Sans adaptation	-0,9 M tep/an	-0,9 M tep/an	
Tourisme Chiffre d'affaires estival soumis à une baisse d'attractivité climatique significative	Sans adaptation	15 à 19 Mds euros/an	10 à 18 Mds euros/an (A1 B)
Infrastructures Réseau routier national métropolitain non considéré Impact des canicules de type 2003 Impacts des submersions marines (surélévation globale d'1 mètre du niveau de la mer) Impacts du changement climatique sur les infrastructures et systèmes de transport ferroviaires, fluviaux, portuaires, autres réseaux routiers, transports en commun urbains	Sans adaptation	-70 à +9 M euros/an ³	
	Sans adaptation	-2 Mds euros/an ⁴	
Risques naturels Impacts des inondations sur cinq bassins versants Impact des canicules sur le retrait/gonflement des argiles (RGA) Impact des risques côtiers en Languedoc	Sans adaptation	Voir rapport du groupe	
	Sans adaptation	-1 080 M euros/an	-480 M euros/an
	Sans adaptation	-15 à 35 Mds d'euros (cumulé)	
Biodiversité Coût de la disparition des écosystèmes coralliens (fonctions de régulation) Coût des pertes de services de la forêt : fixation de carbone	Sans adaptation	-6,5 Mds de dollars	
	Sans adaptation	-589 M euros/an	-304 M euros/an
Eau Déficit en Eau pour satisfaire les besoins actuels en Eau potable, industrie et irrigation	Sans adaptation	Négatif mais non chiffré	

Note : en raison des nombreuses limites et incertitudes, il est indispensable de se reporter aux chapitres correspondants avant toute interprétation des éléments rapportés dans ce tableau. Un signe négatif peut ainsi se traduire comme une économie ou comme une perte selon l'impact considéré.

tep : tonne équivalent pétrole.

- La traduction de l'évolution du rendement en coûts/gains monétaire n'est pas directe en viticulture, en raison notamment d'effets sur la qualité et de la relation prix rendements.
- Pour chauffage et refroidissement, dans le résidentiel tertiaire.
- Appréciation forfaitaire du surcoût, obtenue par référence au budget d'entretien annuel moyen du patrimoine considéré, hors prise en compte (non chiffrée) des effets indirects, notamment ceux pouvant être causés aux fondations par la sécheresse et l'abaissement des nappes phréatiques, par les désordres géologiques affectant les falaises et le sous-sol et hors prise en compte (non chiffrée) des pertes d'usage, des impacts sur l'exploitation des réseaux routiers, sur la sécurité routière, sur l'exploitation des tunnels...
- Chiffrage obtenu par appréciation forfaitaire de la valeur patrimoniale du linéaire de routes considéré en première approche comme exposées, hors ouvrages singuliers, hors pertes d'usage et impacts sur l'exploitation des réseaux routiers (non chiffrés).

Les figures ci-après présentent les coûts de l'inaction estimés par impact ou secteur en % du PIB dans les projets européens les plus récents (PESETA I, PESETA II et ClimateCost).

Résultats du projet PESETA I à l'horizon 2080

European regions*	Southern Europe	Central Europe South	Central Europe North	British Isles	Northern Europe	EU
Economic impacts as estimated by the agriculture model						
Welfare Change (%):						
2.5°C	-0,05	0,06	0,01	-0,09	0,58	0,01
3.9°C	-0,37	0,02	-0,05	-0,11	0,59	-0,10
4.1°C	-0,15	-0,01	0,04	0,00	0,56	0,02
5.4°C	-1,00	-0,27	-0,19	0,06	0,72	-0,32
GDP Change (%):						
2.5°C	-0,13	0,11	-0,02	-0,10	0,81	0,02
3.9°C	-0,52	0,06	-0,06	-0,11	0,85	-0,09
4.1°C	-0,22	-0,00	0,05	0,12	0,76	0,04
5.4°C	-1,26	-0,28	-0,17	0,16	1,09	-0,29
Economic impacts as estimated by the river flooding model						
Welfare Change (%):						
2.5°C	-0,13	-0,16	-0,04	-0,06	0,09	-0,08
3.9°C	-0,11	-0,25	-0,09	-0,21	0,01	-0,14
4.1°C	-0,09	-0,15	-0,13	-0,20	0,07	-0,13
5.4°C	-0,14	-0,31	-0,24	-0,37	0,10	-0,24
GDP Change (%):						
2.5°C	-0,01	-0,01	-0,00	0,00	0,00	-0,01
3.9°C	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,00	-0,01
4.1°C	-0,00	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	-0,01
5.4°C	0,00	-0,01	-0,02	-0,02	0,00	-0,01
Economic impacts as estimated by the coastal system model						
Welfare Change (%):						
2.5°C	-0,07	-0,06	-0,27	-0,17	-0,13	-0,16
3.9°C	-0,11	-0,08	-0,29	-0,19	-0,14	-0,18
4.1°C	-0,09	-0,06	-0,28	-0,18	-0,14	-0,17
5.4°C	-0,10	-0,09	-0,30	-0,20	-0,15	-0,18
5.4°C High Range IPCC SLR (88 cm)	-0,38	-0,19	-0,37	-1,02	-0,35	-0,46
GDP Change (%):						
2.5°C	-0,05	-0,05	-0,38	-0,23	-0,11	-0,19
3.9°C	-0,05	-0,05	-0,41	-0,24	-0,12	-0,20
4.1°C	-0,05	-0,05	-0,39	-0,23	-0,11	-0,20
5.4°C	-0,05	-0,05	-0,42	-0,25	-0,13	-0,21
5.4°C High Range IPCC SLR (88 cm)	-0,04	-0,06	-0,50	-0,26	-0,16	-0,24
Economic impacts as estimated by the tourism model						
Welfare Change (%):						
2.5°C	-0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00
3.9°C	-0,03	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01
4.1°C	-0,08	-0,11	0,03	0,05	0,07	-0,02
5.4°C	-0,12	0,18	0,04	0,06	0,08	0,04
GDP Change (%):						
2.5°C	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3.9°C	-0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
4.1°C	-0,03	-0,03	0,01	0,01	0,02	-0,01
5.4°C	-0,05	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01

*European regions: Southern Europe (Portugal, Spain, Italy, Greece, and Bulgaria), Central Europe South (France, Austria, Czech Republic, Slovakia, Hungary, Romania, and Slovenia), Central Europe North (Belgium, The Netherlands, Germany, and Poland), British Isles (Ireland and UK), and Northern Europe (Sweden, Finland, Estonia, Latvia, and Lithuania). Household welfare and GDP are compared to the 2010 values of the baseline scenario.

PESETA I estime l'impact du changement climatique sur l'agriculture, les bassins versants, le tourisme et les systèmes côtiers à environ 0,2 % du PIB européen sous l'hypothèse d'une élévation de température de 2,5°C à l'horizon 2080.

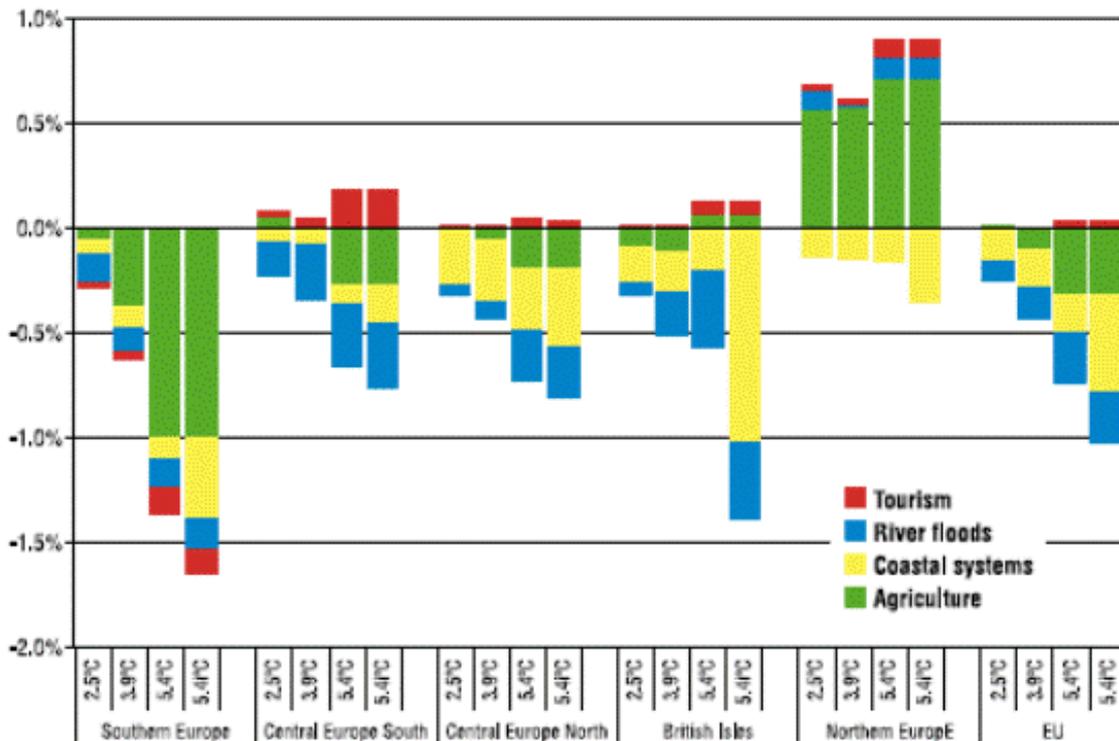
Deux mesures distinctes des impacts économiques sont utilisées lors de la présentation de résultats du projet PESETA: le changement dans le PIB (qui mesure la valeur des biens et services produits) et le changement dans le bien-être (welfare) économique des ménages.

Le PIB est calculé comme la somme des dépenses des ménages, les dépenses publiques, l'investissement des entreprises et les exportations nettes. Le changement climatique affecte le PIB en raison des répercussions sur la demande des consommateurs, la productivité industrielle et les changements dans les prix relatifs.

Mais le changement climatique affecte aussi le bien-être économique des ménages. D'une part, les changements dans la productivité et les prix affectent le pouvoir d'achat des consommateurs et peuvent provoquer une substitution entre travail et loisirs. D'autre part, lorsque le changement climatique affecte la consommation obligée (par exemple en exigeant des dépenses en réparations d'inondation) ceci a un effet direct sur la fraction du budget du consommateur qui est disponible pour la consommation qui contribue au bien-être.

Il faut remarquer que les deux types d'effets (sur le PIB et sur le bien-être économique des ménages) pourraient avoir des signes opposés: dans le cadre des dépenses de réparations d'inondations, ceci affectent négativement le bien être de ménages mais pourraient aussi avoir un impact positif sur le PIB. Au contraire, la diminution de la facture énergétique des ménages aura un impact positif sur le bien-être et négatif sur le PIB.

Sectoral decomposition of regional welfare changes, Final report of the PESETA I research project.

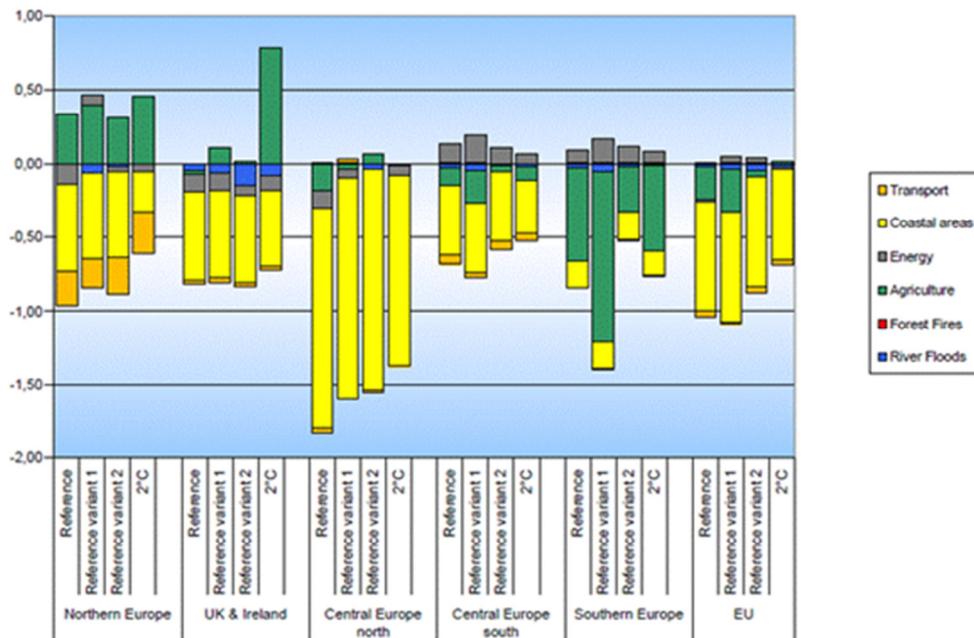


Le projet JRC PESETA II considère 4 modèles à l'horizon 2080: Le modèle de référence se base sur le scénario A1B du GIEC, le modèle Reference Variant 1 est le scénario sec, le modèle Reference Variant 2 est le scénario humide et le modèle 2°C est basé sur le scénario E1 du GIEC.

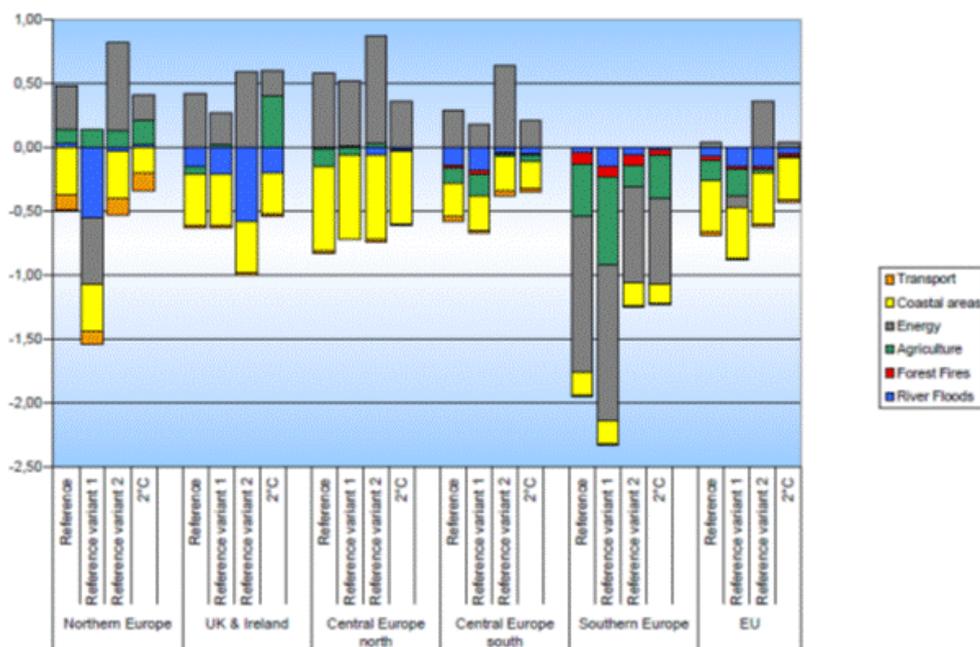
Sous le scénario de référence les pertes économiques représentent 1% du PIB européen, principalement à cause des impacts sur les zones côtières et l'agriculture. Les impacts dus au changement de la demande d'énergie (diminution des besoins de chauffage) sont positifs à l'échelle européenne. En ce qui concerne les impacts régionaux, l'impact financier sur la région nord centrale de l'Europe s'élève à environ 1,7% du PIB, principalement à cause de l'élévation du niveau de la mer. Dans le Sud de l'Europe l'impact économique représente environ 1% du PIB, principalement à cause des impacts sur l'agriculture.

Les résultats sont aussi présentés en « welfare impacts » qui est une mesure indirecte des dépenses des ménages (en positif épargnées en négatif surcoûts).

Résultats préliminaires du projet JRC PESETA II, % du PIB à économie constante



Résultats préliminaires du projet JRC PESETA II, Welfare impacts (% du PIB) à économie constante



Le tableau ci-après présente les coûts par impact principalement tirés du projet ClimateCost en cours.

Région	Secteur	Méthode	Horizon	Coût de l'inaction		Références
				% PIB par an	Euros ou dollars par an	
Mondiale	Tous	Changements en PIB	2050	- 5 % à - 20%		Stern 2006
UE27	Tous	Impact économique scénario A1B	2080	- 0,83%		ClimateCost Watkiss et al. (2011)
UE27	Agriculture	Impact économique scénario A1B	2080	+0,46% nord - 0,02 % centre nord - 0,11 % centre sud - 0,68 % sud		ClimateCost Watkiss et al. (2011)
Royaume-Uni et Irlande	Agriculture	Impact économique scénario A1B	2080	+0,07%		ClimateCost Watkiss et al. (2011)
Mondiale	Biodiversité	Impact de l'élévation de 1°C sur les écosystèmes naturels	Impact de l'élévation de 1°C		-14,7 millions dollars OCDE-Europe -5,4 millions dollars Europe centrale et de l'Est et Russie	Tol, R.S.J. (2002): Estimates of the damage costs of climate change, Part I: Benchmark estimates. Environ. Resour. Econ., 21: 47–73.
Allemagne	Energie (demande d'électricité)	Impact de l'élévation de la température	2020	- 0.07% PIB (combustible solide), - 0.05% PIB (combustible liquide et gaz)		Pilli-Sihvola (2010)
Finlande	Energie (demande d'électricité)	Impact de l'élévation de la température	2020	- 0.35%		Pilli-Sihvola (2010)
Espagne	Energie (demande d'électricité)	Impact de l'élévation de la température	2020	+ 0.22% + 0.16% (gaz)		Pilli-Sihvola (2010)
UE27	Energie (impact sur la demande)	Impact économique scénario A1B	2080	-0,39 % nord - 0,44 % centre nord - 0,04 % centre sud - 0,44 % sud - 0,27 % Europe		ClimateCost Watkiss et al. (2011)
Royaume-Uni et Irlande	Energie (impact sur la demande)	Impact économique scénario A1B	2080	-0,1 %		ClimateCost Watkiss et al. (2011)

Région	Secteur	Méthode	Horizon	Coût de l'inaction		Références
				% PIB par an	Euros ou dollars par an	
Mondiale	Forêts	Impact de l'élévation de 1°C	Impact de l'élévation de 1°C		+ 134 millions dollars OCDE-Europe -134 millions dollars Europe centrale et de l'Est et Russie	Tol, R.S.J. (2002): Estimates of the damage costs of climate change, Part I: Benchmark estimates. Environ. Resour. Econ., 21: 47–73.
UE27	Ressources en Eau, Infrastructures, Aménagement du Territoire	Impact économique scénario A1B Inondations	2080	-0,02 % nord - 0,02 % centre nord - 0,03 % centre sud - 0,02 % sud - 0,02 % Europe		ClimateCost Watkiss et al. (2011)
Royaume-Uni et Irlande	Ressources en Eau, Infrastructures, Aménagement du Territoire	Impact économique scénario A1B Inondations	2080	- 0,01 %		ClimateCost Watkiss et al. (2011)
UE27	Santé (productivité au travail des activités à l'extérieur)	Impact économique scénario A1B	2080	+0,01 % nord - 0,07 % centre nord - 0,17 % centre sud - 1,12 % sud - 0,33 % Europe		ClimateCost Watkiss et al. (2011)
Royaume-Uni et Irlande	Santé (productivité au travail des activités à l'extérieur)	Impact économique scénario A1B	2080	+0,02 %		ClimateCost Watkiss et al. (2011)
UE27	Tourisme	Impact économique scénario A1B Variation des dépenses	2080	+0.3 – 2.4 billion € par an nord +0.4 – 2.3 billion € par an centre nord +0.6 – 5.0 billion € par an centre sud - 1.7 to - 12.8 billion € par an sud 0 Europe		PESETA, Ciscar et al. (2009)

Limites d'un scénario à économie constante (Groupe interministériel Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France 2009)

Le cadre de l'économie constante a entraîné quelques limites dans la portée des travaux tant en France comme en Wallonie:

- on considère que la population n'évolue pas sur un siècle : cela est de nature à sous-estimer l'impact absolu du changement climatique ;
- on considère qu'il n'y a aucune innovation technologique impactant le secteur de l'énergie : cela est de nature à sous-estimer l'impact de l'émergence de nouvelles technologies économes en énergie ou adaptées au changement climatique.

Le cadre d'économie constante a aussi présenté des avantages pour le travail du groupe :

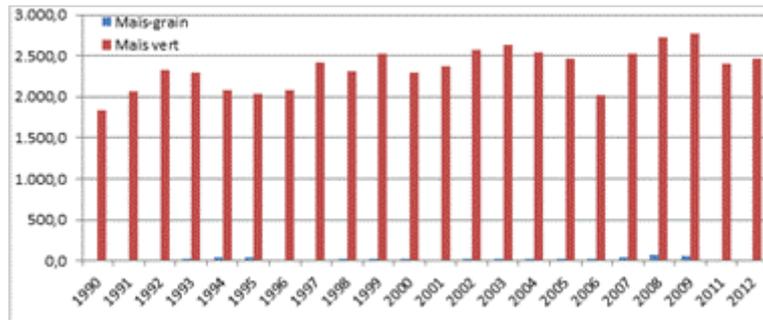
- il a rendu possible l'utilisation des modèles de consommation actuels sur la période d'étude ;
- il a limité le biais de travailler sans taux d'actualisation : si l'économie est constante, la notion de préférence du présent et d'aversion au risque sont beaucoup moins évidentes ;
- il a évité des débats sur les tendances économiques à des horizons divers : exercice difficile et périlleux comme nous le rappelle la conjoncture actuelle ;
- il pose clairement les limites objectives du travail dès le départ : celui-ci s'inscrit dans une première approche quantitative des impacts et l'économie constante peut nous fournir une heuristique des tendances futures.

Néanmoins, le Groupe de travail a fait le choix de proposer dans certains cas des hypothèses complémentaires pour affiner les analyses : ainsi dans le cadre de la consommation électrique liée aux climatiseurs, le groupe a évalué dans un premier temps l'effet à taux d'équipement constant (hypothèse d'économie constante) puis a également considéré des scénarios supplémentaires « probables » qui verraient un équipement renforcé dans le futur (sur la base de données de la littérature, cela sort toutefois du champ strict de l'économie constante).

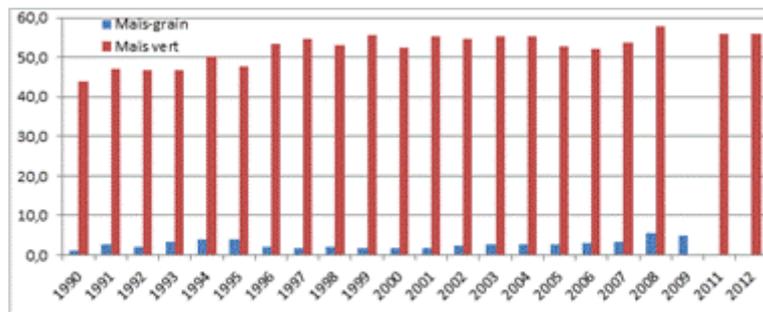
ANNEXE AGRICULTURE

Données sur la production

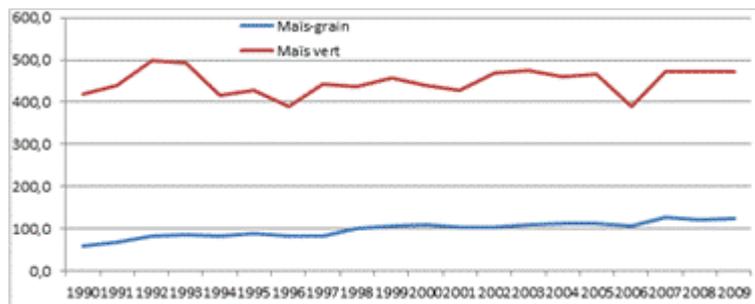
Statistiques Eurostat



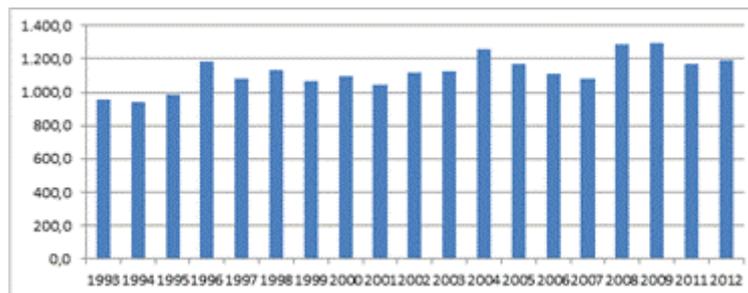
Production récoltée de maïs-grain et maïs vert (1000 t) en Wallonie. Source : Eurostat, 2014.



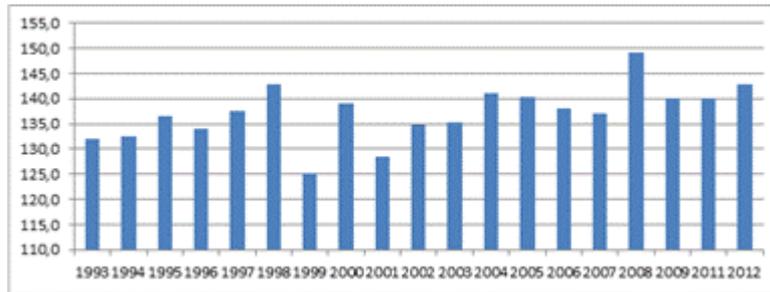
Superficie de maïs-grain et maïs vert (1000 ha) en Wallonie. Source : Eurostat, 2014.



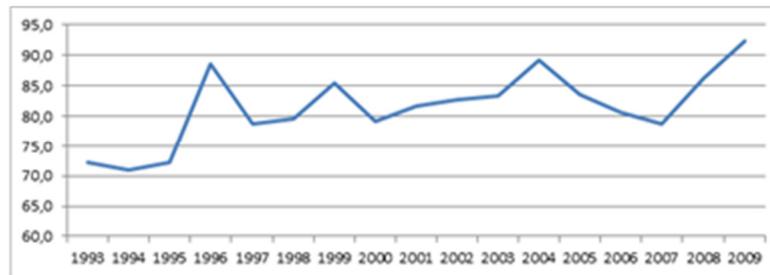
Rendements de maïs-grain et maïs vert (100 kg/ha) en Wallonie. Source : Eurostat, 2014.



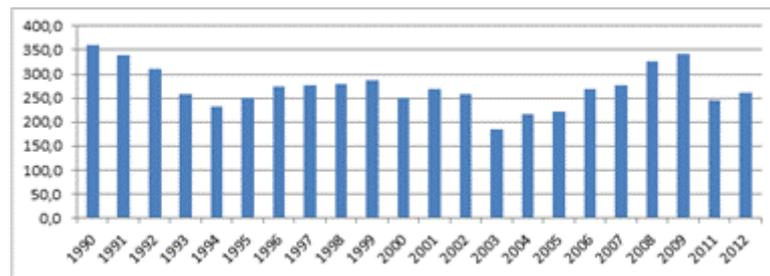
Production récoltée de blé tendre et épeautre (1000 t) en Wallonie. Source : Eurostat, 2014.



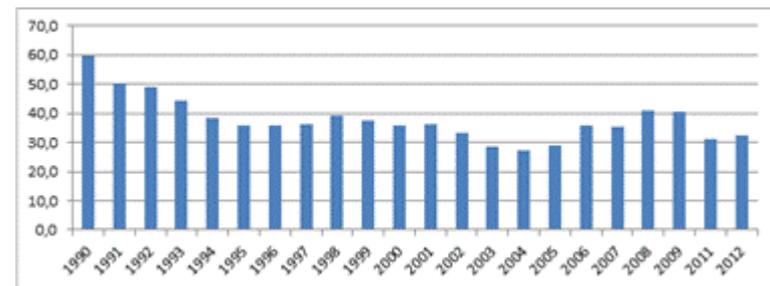
Superficie de blé tendre et épeautre (1000 ha) en Wallonie. Source : Eurostat, 2014.



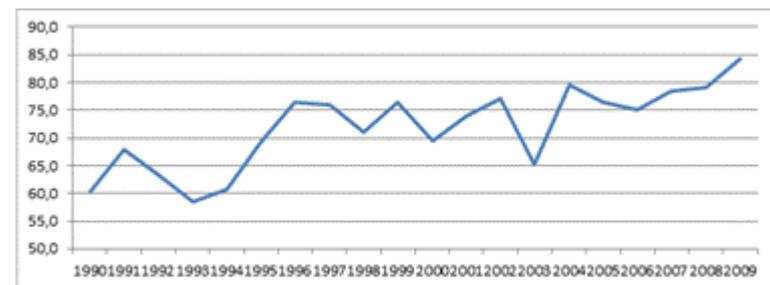
Rendements de blé tendre et épeautre (100 kg/ha) en Wallonie. Source : Eurostat, 2014.



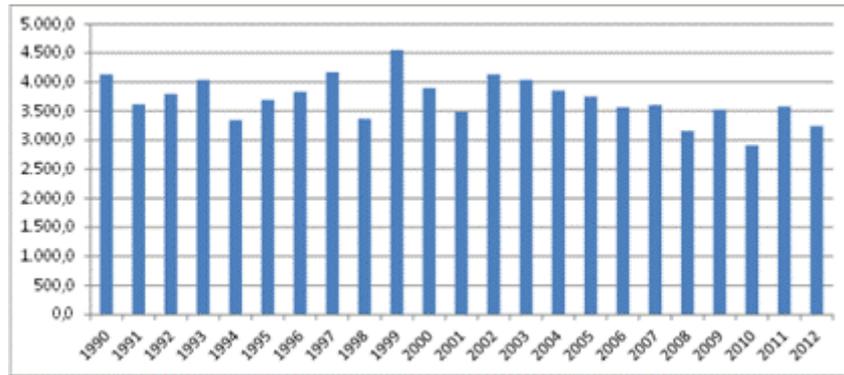
Production récoltée d'orge (1000 t) en Wallonie. Source : Eurostat, 2014.



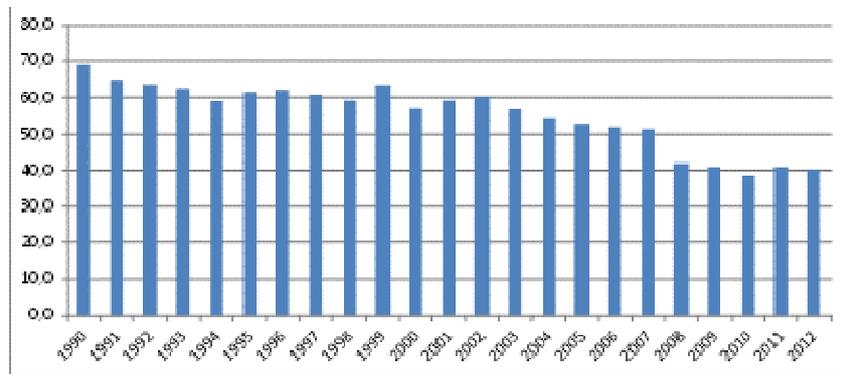
Superficie d'orge (1000 ha) en Wallonie. Source : Eurostat, 2014.



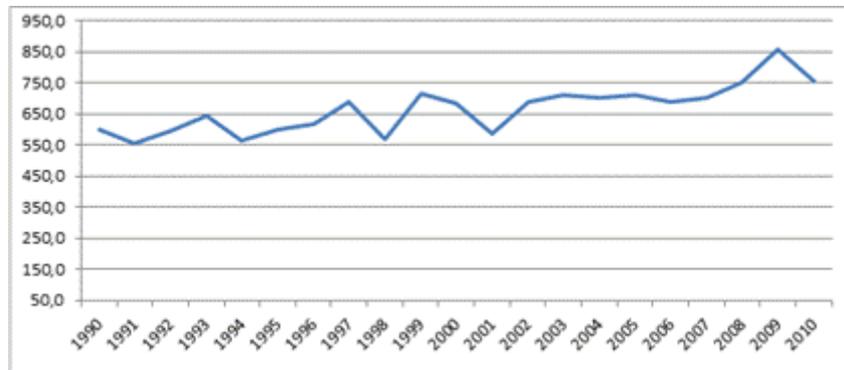
Rendements d'orge (100 kg/ha) en Wallonie. Source : Eurostat, 2014.



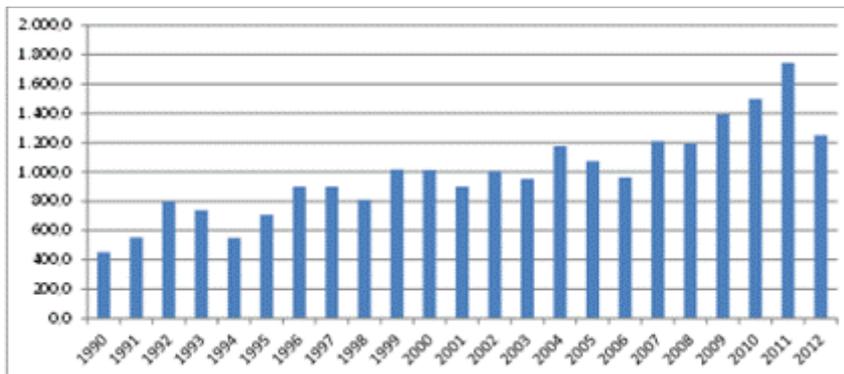
Production récoltée de betterave sucrière à l'exception des semences (1000 t) en Wallonie. Source : Eurostat, 2014.



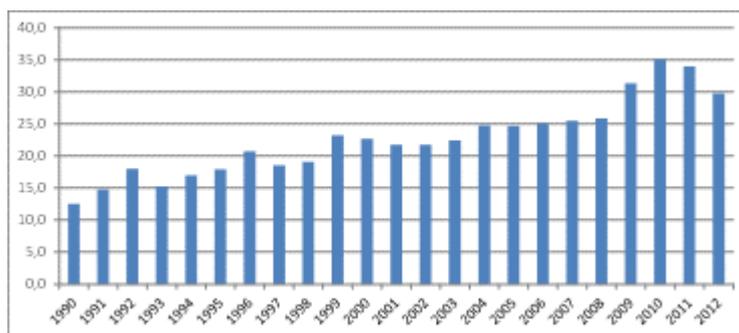
Superficie de betterave sucrière à l'exception des semences (1000 ha) en Wallonie. Source : Eurostat, 2014.



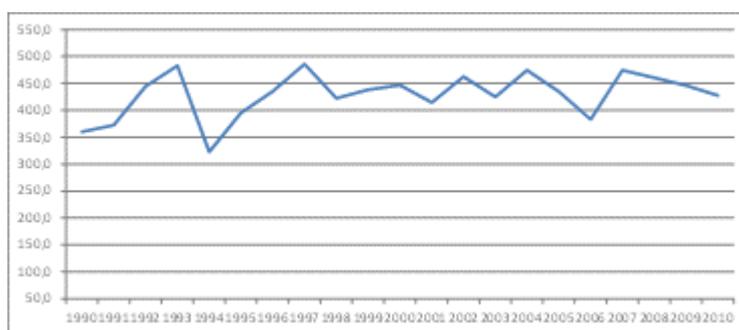
Rendements de betterave sucrière à l'exception des semences (100 kg/ha) en Wallonie. Source : Eurostat, 2014.



Production récoltée de pommes de terre (y compris les primeurs et les plants) (1000 t) en Wallonie. Source : Eurostat, 2014.



Superficie de pommes de terre (y compris les primeurs et les plants) (1000 ha) en Wallonie. Source : Eurostat, 2014.



Rendements de pommes de terre (y compris les primeurs et les plants) (100 kg/ha) en Wallonie. Source : Eurostat, 2014.

Données du SPF-économie – DGSIE (ex-INS) et du recensement agricole et horticole de la Wallonie

	Moyenne 2009-2011		
	Superficie (en ha)	Production (en t)	Rendement (en t/ha)
Céréales	189.343		
dont - froment d'hiver	129.913	1.151.880	8,87
- orge d'hiver	31.664	268.299	8,47
- épeautre	9.276	64.486	6,95
Cultures industrielles	63.647		
dont - betteraves sucrières	40.109	3.342.166	83,33
- lin (paille)	5.971	34.147	5,72
- colza	10.413	44.146	4,24
- chicorée à inuline	6.443	325.754	50,56
Pommes de terre	33.480		
dont - hâtives	1.863	64.925	34,85
- conservation (bintje)	19.974	954.433	47,78
- conservation (autres)	10.333	495.379	47,94
Légumes de plein air	12.862		
dont - pois verts	6.504	46.661	7,17
- haricots verts	2.289	26.343	11,51
Fourrages	425.941		
dont - maïs plante entière	57.346	2.573.643	44,88
- prairies récoltées (ensemble des coupes)			
- temporaires	24.565	221.181	9,00
- permanentes	120.071	714.342	5,95
Cultures permanentes	2.214		
dont - pépinières	652	-	-
- vergers et petits fruits	1.567	-	-

Surface en ares	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Maïs-grain dont:	174.234	158.437	226.530	270.831	265.645	266.895	298.715	341.993	536.901	502.399
Maïs-grain récolté sec	63.268	95.364	80.401	103.051	123.991	115.041	110.958	120.769	295.229	269.797
Maïs-grain récolté humide	110.966	63.073	146.129	167.780	141.654	151.854	187.757	221.224	241.672	232.602

Recensement agricole de la Wallonie de mai 2000-2009

Surface en ares	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Froment dont:	13.007.744	12.068.011	12.690.486	12.732.123	13.115.475	13.105.983	12.927.139	12.738.215	13.681.377	13.081.815
Froment d'hiver	12.871.437	11.823.139	12.572.057	12.314.035	12.984.274	12.989.748	12.755.076	12.634.268	13.518.161	12.878.521
Froment de printemps	136.307	244.872	118.429	418.088	131.201	116.235	172.063	103.947	163.216	203.294

Recensement agricole de la Wallonie de mai 2000-2009

Surface en ares	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Orge dont:	3.599.878	3.634.484	3.335.222	2.838.761	2.716.911	2.889.320	3.580.185	3.516.939	4.112.749	4.040.622
Orge d'hiver	2.978.730	2.735.278	2.883.007	1.989.146	2.206.688	2.338.198	3.049.858	3.106.400	3.675.014	3.628.550
Orge de printemps	621.148	899.206	452.215	849.615	510.223	551.122	530.327	410.539	437.735	412.072

Recensement agricole de la Wallonie de mai 2000-2009

Surface en ares	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Betteraves sucrières	5.690.041	5.916.935	6.012.877	5.675.166	5.465.601	5.276.537	5.192.139	5.136.596	4.207.662	4.102.570

Recensement agricole de la Wallonie de mai 2000-2009

Surface en ares	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Pommes de terre dont:	2.267.532	2.169.063	2.171.585	2.242.760	2.484.593	2.471.193	2.512.416	2.552.574	2.592.674	3.133.962
Pommes de terre hâtives	88.920	125.290	119.799	125.908	152.851	157.445	159.455	132.373	130.346	146.892
Pommes de terre de conservation dont	2.063.747	1.948.295	1.931.289	2.011.600	2.213.031	2.194.369	2.234.554	2.302.329	2.336.690	2.849.174
Pommes de terre de conservation-Bintje	1.568.792	1.466.396	1.358.632	1.395.774	1.561.261	1.607.963	1.633.891	1.641.557	1.646.873	1.881.008
Pommes de terre de conservation-autres variétés	494.955	481.899	572.657	615.826	651.770	586.406	600.663	660.772	689.817	968.166
Plants de pommes de terre	114.865	95.478	120.497	105.252	118.711	119.379	118.407	117.872	125.638	137.896

Recensement agricole de la Wallonie de mai 2000-2009

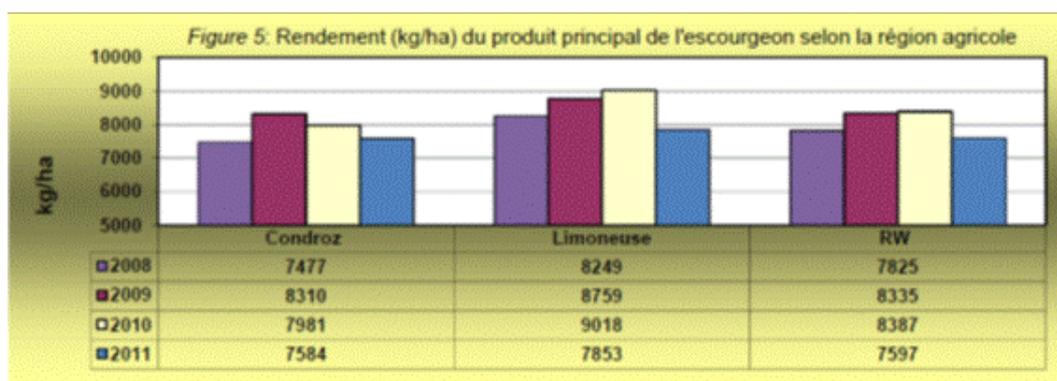
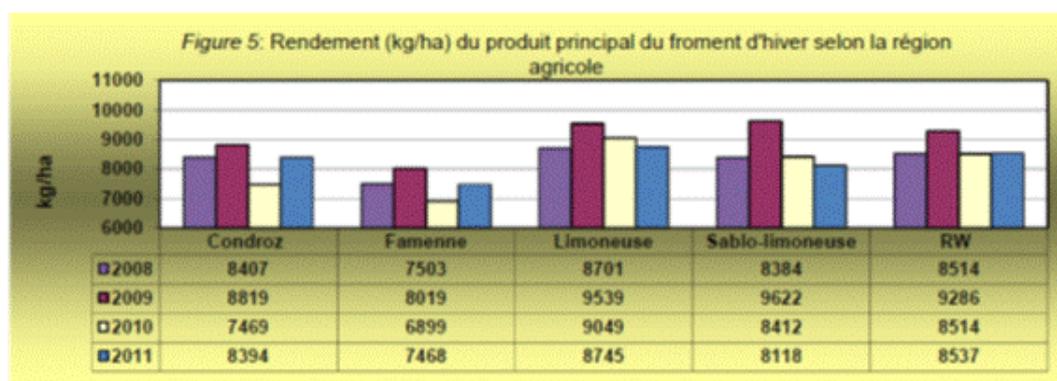
Surface en ares	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Superficie toujours couverte d'herbe dont:	32.734.911	34.029.282	34.901.527	34.993.177	34.848.032	34.560.953	34.771.554	34.167.686	34.126.772	33.956.472
Prairies permanentes principalement pour la fauche	3.394.416	10.527.601	11.118.968	10.862.179	11.069.993	10.925.388	10.886.186	10.689.097	10.739.193	10.647.898
Prairies permanentes principalement pour la pâture	29.340.495	23.501.681	23.782.559	24.130.998	23.778.039	23.635.565	23.885.368	23.478.589	23.108.223	22.969.867

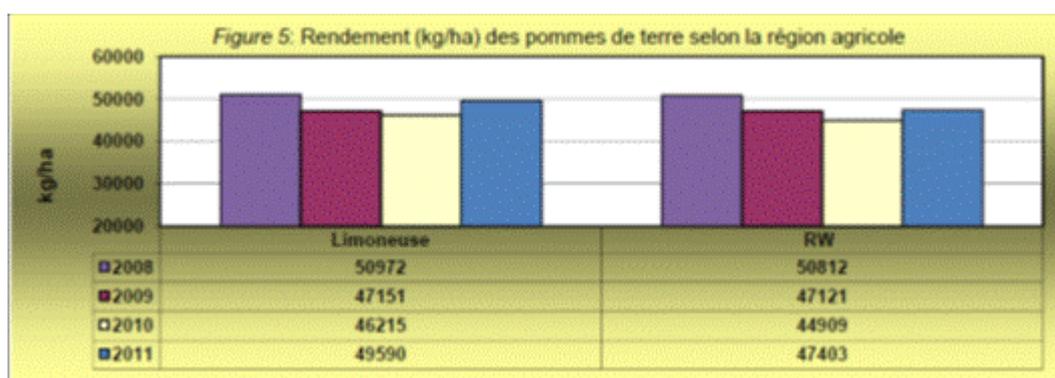
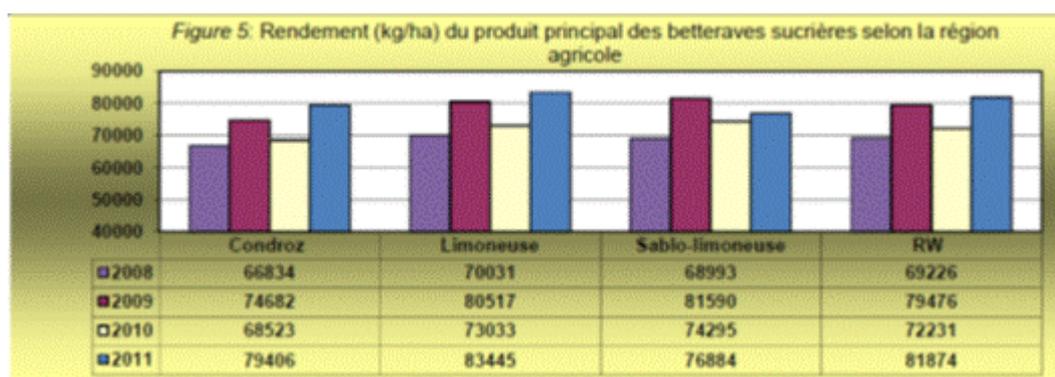
Recensement agricole de la Wallonie de mai 2000-2009

Prairies	2010	2011		
	Production en tonnes de MS	Production en tonnes de MS	Superficie en ha	Rendement (100 kg de MS/ha)
Prairies temporaires fauchées (ensemble des coupes)	210789	207616	25200	82,4
Prairies permanentes fauchées (ensemble des coupes)	795557	604877	113405	53,3

Estimation de la production. Source : SPF-économie – DGSIE (ex-INS), 2013.

Données sur le rendement de « Performances et rentabilité en agriculture wallonne (années 2008 à 2011) », 2013





Données sur l'impact en 2050

Données disponibles dans la littérature

Les paragraphes suivants montrent les données issues de la littérature internationale (IFPRI), européenne (projet PESETA), des études de recherche en différents pays, en Région flamande (Klimaatpark Arenberg, Leuven, 2008) et au niveau wallon (projet européen INTERREG AMICE).

De manière générale, l'évolution climatique attendue aurait des effets contrastés, mais globalement modérés sur le rendement des grandes cultures de blé et maïs : 10 à 20% de différence, à la hausse ou à la baisse, dans l'hypothèse d'une augmentation de 2 à 3°C. Au-delà de 4°C environ, les rendements seraient affectés dans tous les cas, notamment à cause du raccourcissement du cycle qui induit une durée moins longue du fonctionnement photosynthétique. L'impact du stress hydrique, en nette accentuation dans les scénarios récents, aurait tendance à limiter l'effet bénéfique de la fertilisation carbonée atmosphérique de la fin du siècle.

Selon la littérature internationale, européenne, nationale et régionale

La publication « Changement climatique, Impact sur l'agriculture et coûts de l'adaptation », de l'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires IFPRI, Washington, D.C., actualisé en Octobre 2009, (<http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/pr21fr.pdf>) présente l'évolution des rendements par culture en 2050 pour les pays développés. Deux modèles climatiques ont été utilisés pour simuler le climat futur : le modèle du Centre national de Recherche atmosphérique (NCAR), USA, et le modèle de l'Organisation pour la Recherche scientifique et industrielle du Commonwealth (CSIRO), Australie. Tous deux utilisent le scénario A2 du Quatrième Rapport d'Évaluation du GIEC. Le scénario NCAR (plus humide) estime l'augmentation moyenne des précipitations sur les terres à 10 %, tandis que le scénario CSIRO (plus sec) parle de 2 %.

Tableau 1 - Évolution des rendements entre 2000 et 2050, par culture et par système de gestion suite au changement climatique, changement en % entre le rendement sous climat 2000 et celui sous climat 2050

Région	CSIRO No CF	NCAR No CF	CSIRO CF	NCAR CF
Maïs, irrigué				
Pays en développement	-2.0	-2.8	-1.4	-2.1
Pays développés	-1.2	-8.7	-1.2	-8.6
Maïs, pluvial				
Pays en développement	0.2	-2.9	2.6	-0.8
Pays développés	0.6	-5.7	9.5	2.5
Riz, irrigué				
Pays en développement	-14.4	-18.5	2.4	-0.5
Pays développés	-1.5	-5.5	10.5	9.0
Riz, pluvial				
Pays en développement	-1.3	-1.4	4.5	6.4
Pays développés	17.3	10.3	23.4	17.8
Blé, irrigué				
Pays en développement	-26.3	-34.3	-20.8	-27.2
Pays développés	-5.7	-4.9	-1.3	-0.1
Blé, pluvial				
Pays en développement	-1.4	-1.1	9.3	8.5
Pays développés	3.1	2.4	9.7	9.5

Source : données réunies par les auteurs.
Note: pour chaque culture et système de gestion, le tableau montre la moyenne pondérée par zone du changement dans le rendement d'une culture lorsqu'on passe du climat 2000 au climat 2050. CF - avec fertilisation CO₂, No CF - sans fertilisation CO₂.

Evolution des rendements entre 2000 et 2050 suite au changement climatique, source : IFPRI, 2009.

L'étude PESETA (« Climate change impacts in Europe », Final report of the PESETA research project, JRC, 2009,) montre les différents impacts régionaux du changement climatique au travers de l'Union européenne. Le projet PESETA a envisagé plusieurs scénarios d'élévation de la température (de 2,5°C à 5,4°C) et du niveau de la mer (de 48 à 88 cm) en Europe pour les années 2080. A l'échelle européenne, le projet PESETA, dont les résultats ont alimenté le Livre Vert sur l'adaptation publié par la Commission Européenne, fournit des résultats intéressants concernant l'impact du changement climatique sur l'agriculture. L'étude fait état d'un impact contrasté selon les régions d'Europe, tel que l'indique la figure ci-après.

Table 5: Agriculture: crop yield changes (%), compared to the 1961-1990 period

	B2 HadAM3h 2.5°C	A2 HadAM3h 3.9°C	B2 ECHAM4 4.1°C	A2 ECHAM4 5.4°C	2025
Northern Europe	37	29	36	52	62
British Isles	-9	-11	15	19	20
Central Europe North	-1	-3	2	-8	16
Central Europe South	5	5	3	-3	7
Southern Europe	0	-12	-4	-27	15
EU	3	-2	3	-10	17

Evolution des rendements en 2080 suite au changement climatique, source : PESETA, 2009.

A l'horizon 2080 et selon le scénario A2 (+5,4°C), les rendements varient en Europe entre -27% et +52%. Dans le sud de l'Europe, les baisses de rendements pourraient atteindre 27% par rapport à la situation de référence tandis que dans les pays du Nord de l'Europe, le changement climatique aurait des effets bénéfiques sur les rendements agricoles.

Muller C. (2010) montre le pourcentage de changement estimé des récoltes de 11 cultures principales (blé, riz, maïs, millet, petit pois, betterave à sucre, patate douce, soja, pénacs, tournesol et colza) de 2046 à 2055, par rapport à 1996–2005. Les valeurs des changements de récolte ont été évaluées en utilisant trois scénarios d'émission et cinq modèles de climats dans le monde, en écartant toute fertilisation au CO₂ (un possible stimulant à la croissance des plantes et permettant d'économiser de l'eau dans des environnements où la concentration de CO₂ est plus élevée). Des effets négatifs graves sur la production sont prévus dans de nombreuses régions qui dépendent en grande mesure de l'agriculture.

Olesen et al. (2007) ont étudié les incertitudes des impacts projetés du changement climatique sur le maïs en Europe. Les résultats montrent que l'augmentation de température ferait augmenter le rendement de 30-50 % selon les scénarios SRES étudiés. Une augmentation importante de la productivité primaire nette (35-45 %) est projetée pour le nord de l'Europe (Danemark) dû à une augmentation de la période de croissance de la culture et à l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. Le changement du bilan hydrique serait le facteur le plus important au sud de l'Europe avec une diminution ou une augmentation modérée de la productivité primaire nette. En Bulgarie, Alexandrov et Hoogenboom (2000) montrent que le rendement du maïs pourrait diminuer entre 5 et 10 % comme conséquence d'une diminution de la période de croissance. Cuculeanu et al (1999) montrent des résultats similaires en Roumanie, où le rendement diminuerait de 10 % d'ici à la fin du siècle.

Toutes les études sur l'impact du changement climatique sur le blé en Europe indiquent une augmentation du rendement dans le futur. Asseng et al. (2004) ont étudié l'impact d'une augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère (de 350 à 550 ppm) et d'une augmentation de la température de 3°C sur le rendement du blé à Obregon, Mexique avec le modèle APSIM-Nwheat. Le rendement varie fortement d'une diminution à une augmentation considérable. A n'importe quelle saison, la floraison plus précoce due à l'augmentation de température ou la phénologie plus rapide aident à éviter les conditions de déficit d'eau à la fin de la période de la culture, caractéristique de l'environnement méditerranéen à l'ouest de l'Australie. L'impact du changement climatique sur le rendement de blé en Angleterre et Gales est étudié à l'aide du Sirius. Les scénarios climatiques se basent sur la période de référence (1960-1990) et sur HadCM2 pour le futur (2020 & 2050). Les résultats montrent que le rendement moyen du blé augmenterait de 15-23% à l'horizon 2050 comme conséquence d'une meilleure utilisation de la radiation suite à l'augmentation du CO₂ atmosphérique (Richter & Semenov, 2005), et la capacité du blé à atteindre la maturité plus rapidement dans un climat tempéré et éviter les vagues de chaleur de l'été et les sécheresses (Semenov, 2007). Ewert et al. (2005) ont étudié les effets du changement climatique, de l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère et l'évolution technologique aux horizons 2020, 2050 et 2080. Les résultats montrent que le rendement augmenterait entre 43 et 163 % quand ces trois facteurs sont pris en compte selon différents scénarios SRES. Le nord de l'Europe expérimenterait une forte augmentation du rendement du blé en hiver (entre 20 et 40 %) pendant que le sud de l'Europe aurait une augmentation modérée ou une diminution du rendement (Olesen et al, 2007).

Toutes les études relatives à l'impact du changement climatique sur le rendement d'orge en Europe indiquent une augmentation du rendement dans le futur si la température ne dépasse pas un certain seuil. L'évolution du rendement de l'orge est étudiée avec le modèle CERES, sous différents scénarios climatiques d'ici à la fin 21^{ème} siècle en République Tchèque. L'étude tient compte des effets directs et indirects du changement climatique sur l'orge d'automne dans des conditions optimales (la culture reçoit l'eau et les nutriments nécessaires) et non-optimales (eau et nutriments limités). Les effets indirects sont principalement négatifs, le rendement varie entre -19 % et +5 %. Les effets de la fertilisation du CO₂ varient entre 35 et 55 % sous les conditions défavorables et entre 22 et 65 % sous les conditions favorables. Trnka et al. (2004) montrent aussi une augmentation du rendement de l'orge avec le changement climatique. En Finlande, l'orge de printemps est étudié avec les simulations WOFOST selon différents scénarios climatiques à l'horizon 2100. Ces scénarios

comprennent une augmentation de la température moyenne au-dessus de 4°C, un changement de la distribution de la pluie et une variabilité climatique journalière altérée. L'augmentation de la température fait diminuer la période de croissance de la culture et le rendement de façon importante. Une diminution du nombre de jours de pluie génère un effet négatif fort uniquement quand la température augmente de plus de 4°C. Apparemment, les effets positifs d'une augmentation de la température et de l'effet fertilisant du CO₂ sur les céréales à hautes altitudes sont inversés quand l'augmentation de température est supérieure à 4°C, avec un risque plus élevé de perte de rendement (Rötter et al., 2011).

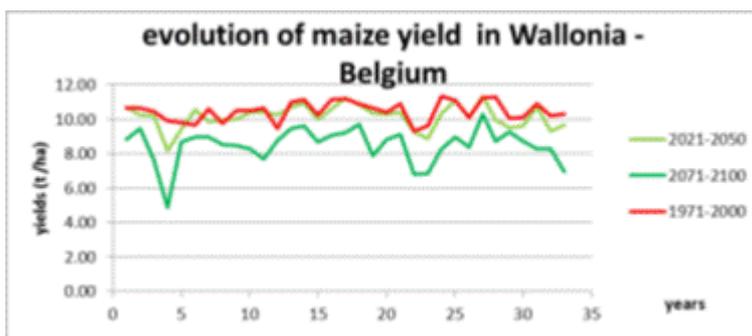
Une évaluation des impacts du changement climatique sur le secteur agricole français est proposée par Galko (2007). L'évolution de la marge brute des agriculteurs est estimée pour deux années représentatives d'un changement climatique moyen et d'une année sèche, selon le scénario B2 du GIEC (modèle Arpège-Climat), pour les cultures de blé tendre et de maïs. L'évolution du rendement estimée à l'aide du modèle STICS développé par l'INRA est traduite en variation de la marge brute des exploitants agricoles via le modèle économique AROPAj, sous une hypothèse d'économie constante. Pour l'année « moyenne », l'étude conclut en un effet positif du changement climatique lorsque l'on tient compte de l'effet fertilisant du CO₂ (+9% de marge brute) ; négatif si cet effet est exclu (-2%). Pour l'année « sèche », le modèle aboutit à une réduction de la marge brute des agriculteurs de -5%, lorsque l'effet fertilisant du CO₂ est exclu et de -1% en tenant compte de l'effet CO₂.

L'étude « Les possibilités d'adaptation de l'agriculture flamande face aux changements climatiques » répertorie et chiffre les possibilités d'adaptation du secteur agricole et horticole flamand face aux changements climatiques. Pour ce faire, l'étude définit plusieurs scénarios d'émissions et de changements climatiques (changements faibles, modérés, élevés). Les résultats de l'étude indiquent que le changement climatique aura un impact négatif sur la croissance de la plupart des plantes et que cet impact sera d'autant plus marqué que le changement climatique sera sévère à la fin du siècle. Pour ce qui est de la production de viande, le rapport prévoit aussi des pertes de productions liées au stress thermique et à l'augmentation de la fréquence des maladies tropicales. Le rapport identifie alors une série de 22 mesures d'adaptations applicables par le secteur agricole. Globalement, les impacts financiers du changement climatique en l'absence de mesures d'adaptation sont estimés à 0.1% du PIB flamand soit 6,6 millions d'euros dans le scénario de changement climatique faible, 1.5% soit 71 millions d'euros dans le scénario modéré et 4.1% ou 201 millions d'euros dans le scénario élevé. Si 70% des exploitations mettent en place des mesures d'adaptation, les impacts seraient limités à 0%, 0.1% et 0.4% en fonction des scénarios. Le rapport précise enfin que la dynamique d'adaptation du secteur agricole reste supérieure à la vitesse des transformations climatiques. Il laisse entendre qu'avec les bonnes politiques l'agriculture flamande pourra s'adapter.

Résultats des simulations du projet AMICE utilisés dans la présente étude

Le tableaux et les figures ci-après présentent les conséquences des scénarios de changement climatique aride commun à tous les partenaires du projet et d'une modélisation plus fine appliquée exclusivement pour la Belgique, établis dans le cadre du projet AMICE, sur les rendements des cultures dans les trois périodes étudiées.

	Yield (t/ha)	Variability (t/ha)	Evolution of yield (%)
1971-2000	10.49	0.57	
2021-2050	10.18	0.69	-3.00
2071-2100	8.52	1.03	-18.85



Évolution des rendements de maïs avec le changement climatique en Wallonie (scénario de changement climatique aride commun pour tous les partenaires du projet). Source : Projet AMICE, 2013.

Rendement (t/ha)	P47_G5 2%	P47_G5 7%	P47_G275 2%	P47_G275 7%	P47_G280 2%	P47_G280 7%
1971-2000	17.9	18.1	18.2	18.2	17.7	17.8
2021-2050	16.3	16.2	17.7	17.3	16.4	16.4
low						
2021-2050 high	15.1	15.1	16.5	16.1	15.2	15.2
2071-2100	14.3	14.3	16.1	15.7	14.6	14.5
low						
2071-2100 high	12.6	12.5	13.8	13.5	12.7	12.7
2071-2100 low avec adaptation	15.0	15.0	17.6	17.0	15.5	15.5
2071-2100 high avec adaptation	13.6	13.6	17.1	16.2	14.2	14.2

Variation du rendement (%)	P47_G5 2%	P47_G5 7%	P47_G275 2%	P47_G275 7%	P47_G280 2%	P47_G280 7%
1971-2000						
2021-2050	-9%	-10%	-3%	-5%	-7%	-8%
low						
2021-2050 high	-16%	-17%	-9%	-12%	-14%	-15%
2071-2100	-20%	-21%	-12%	-14%	-18%	-18%
low						
2071-2100 high	-30%	-31%	-24%	-26%	-28%	-29%
2071-2100 low avec adaptation	-16%	-17%	-3%	-7%	-12%	-13%
2071-2100 high avec adaptation	-24%	-25%	-6%	-11%	-20%	-20%

Évolution des rendements de maïs avec le changement climatique (scénario de changement climatique avec modélisation KUL plus fine qui tient compte de la variation des précipitations en Wallonie). Source : Projet AMICE, 2013.

	Yield (t/ha)	Variability (t/ha)	Evolution of yield (%)
1971-2000	7.77	0.61	
2021-2050	8.42	0.86	+8.43
2071-2100	9.12	0.79	+17.46

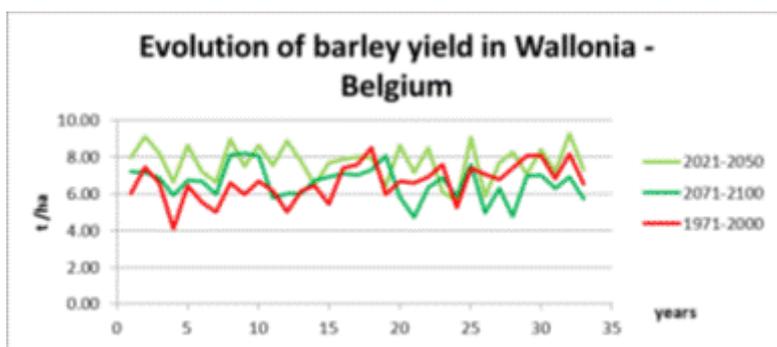
Évolution des rendements de blé avec le changement climatique en Wallonie. Source : Projet AMICE, 2013.

Rendement (t/ha)	P47_G5 2%	P47_G5 7%	P47_G275 2%	P47_G275 7%	P47_G280 2%	P47_G280 7%
1971-2000	7.6	7.5	7.6	7.6	7.6	7.6
2021-2050 low	8.3	8.3	8.3	8.2	8.2	8.2
2021-2050 high	7.8	7.8	7.9	7.8	7.8	7.8
2071-2100 low	8.8	8.7	8.7	8.7	8.6	8.6
2071-2100 high	8.3	8.2	8.1	8.0	7.9	8.0
2071-2100 low avec adaptation	8.6	8.5	8.4	8.4	8.5	8.5
2071-2100 high avec adaptation	8.1	8.1	7.6	7.7	7.8	7.8

Variation du rendement (%)	P47_G5 2%	P47_G5 7%	P47_G275 2%	P47_G275 7%	P47_G280 2%	P47_G280 7%
1971-2000						
2021-2050 low	+9%	+11%	+9%	+8%	+8%	+8%
2021-2050 high	+3%	+4%	+4%	+3%	+3%	+3%
2071-2100 low	+16%	+16%	+14%	+14%	+13%	+13%
+14%2071-2100 high	+9%	+9%	+7%	+5%	+4%	+5%
2071-2100 low avec adaptation	+13%	+13%	+11%	+11%	+12%	+12%
2071-2100 high avec adaptation	+7%	+8%	+0%	+1%	+3%	+3%

Évolution des rendements de blé avec le changement climatique (scénario de changement climatique avec modélisation KUL plus fine qui tient compte de la variation des précipitations en Wallonie). Source : Projet AMICE, 2013.

	Yield (t/ha)	Variability (t/ha)	Evolution of yield (%)
1971-2000	6.62	0.95	
2021-2050	7.84	0.68	+18.45
2071-2100	7.82	0.79	+18.02



Évolution des rendements d'orge avec le changement climatique en Wallonie. Source : Projet AMICE, 2013.

Rendements (t/ha)	P47_G5 2%	P47_G5 7%	P47_G275 2%	P47_G275 7%	P47_G280 2%	P47_G280 7%
1971-2000	6.6	6.6	6.4	6.4	6.4	6.4
2021-2050 low	7.6	7.6	7.5	7.5	7.5	7.4
2021-2050 high	7.3	7.2	7.4	7.3	7.2	7.2
2071-2100 low	8.0	8.0	7.9	7.9	7.9	7.9
2071-2100 high	7.2	7.2	7.1	7.1	7.1	7.1
2071-2100 low avec adaptation	8.2	8.1	8.1	8.1	8.0	8.0
2071-2100 high avec adaptation	7.2	7.2	7.2	7.1	7.1	7.1

Variation du rendement (%)	P47_G5 2%	P47_G5 7%	P47_G275 2%	P47_G275 7%	P47_G280 2%	P47_G280 7%
1971-2000						
2021-2050 low	+15%	+15%	+17%	+17%	+17%	+16%
2021-2050 high	+11%	+9%	+16%	+14%	+13%	+13%
2071-2100 low	+21%	+21%	+23%	+23%	+23%	+23%
2071-2100 high	+9%	+9%	+11%	+11%	+11%	+11%
2071-2100 low avec adaptation	+24%	+23%	+27%	+27%	+25%	+25%
2071-2100 high avec adaptation	+9%	+9%	+13%	+13%	+7%	+7%

Évolution des rendements d'orge avec le changement climatique (scénario de changement climatique avec modélisation KUL plus fine qui tient compte de la variation des précipitations en Wallonie). Source : Projet AMICE, 2013.

Rendements (t/ha)	P33_G274 2%	P33_G274 5%	P43_G274 2%	P43_G274 7%	P44_G280 2%	P44_G280 6%	P47_G280 3%	P47_G280 7%
1971-2000	62.3	62.0	58.1	56.4	57.8	57.7	59.3	59.2
2021-2050 low	43.7	43.3	39.2	37.2	40.0	40.0	43.9	43.8
2021-2050 high	43.3	42.8	40.5	36.8	39.0	38.9	42.1	42.1
2071-2100 low	28.0	27.7	23.6	22.2	24.5	24.5	24.3	24.3
2071-2100 high	28.4	27.8	26.3	22.7	24.2	24.1	23.9	23.9
2071-2100 low avec adaptation	38.4	37.5	30.0	27.7	29.2	29.2	29.6	29.6
2071-2100 high avec adaptation	38.6	36.9	33.6	28.5	28.4	28.4	28.6	28.6

Variation (%)	P33_G274 2%	P33_G274 5%	P43_G274 2%	P43_G274 7%	P44_G280 2%	P44_G280 6%	P47_G280 3%	P47_G280 7%
1971-2000								
2021-2050 low	-30%	-30%	-33%	-34%	-31%	-31%	-26%	-26%
2021-2050 high	-30%	-31%	-30%	-35%	-33%	-33%	-29%	-29%
2071-2100 low	-55%	-55%	-59%	-61%	-58%	-58%	-59%	-59%
2071-2100 high	-54%	-55%	-55%	-60%	-58%	-58%	-60%	-60%
2071-2100 low avec adaptation	-38%	-40%	-48%	-51%	-49%	-49%	-50%	-50%
2071-2100 high avec adaptation	-38%	-40%	-42%	-49%	-51%	-51%	-52%	-52%

Évolution des rendements de betterave avec le changement climatique (scénario de changement climatique avec modélisation KUL plus fine qui tient compte de la variation des précipitations en Wallonie). Source : Projet AMICE, 2013.

Rendements (t/ha)	P33_G215 1%	P33_G215 4%	P35_G215 1%	P35_G215 4%
1971-2000	42.0	41.7	47.7	47.6
2021-2050 low	32.2	32.0	39.5	39.4
2021-2050 high	30.0	29.8	36.4	36.3
2071-2100 low	23.0	22.9	30.6	30.5
2071-2100 high	20.7	20.6	25.9	25.9
2071-2100 low avec adaptation	25.2	25.1	34.5	34.4
2071-2100 high avec adaptation	24.0	23.8	32.9	32.8

Variation (%)	P33_G215 1%	P33_G215 4%	P35_G215 1%	P35_G215 4%
1971-2000				
2021-2050 low	-23%	-23%	-17%	-17%
2021-2050 high	-29%	-28%	-24%	-24%
2071-2100 low	-45%	-45%	-36%	-36%
2071-2100 high	-51%	-50%	-46%	-46%
2071-2100 low avec adaptation	-40%	-40%	-28%	-28%
2071-2100 high avec adaptation	-43%	-43%	-31%	-31%

Évolution des rendements de pommes de terre avec le changement climatique (scénario de changement climatique avec modélisation KUL plus fine qui tient compte de la variation des précipitations en Wallonie). Source : Projet AMICE, 2013.

	Rendements (t MS/ha)	Variabilité (t MS/ha)	Evolution des rendements (%)
1970-2000	10.22	1.01	
2020-2050 dry	11.67	1.18	+14.19
2020-2050 wet	11.36	1.08	+11.13
2070-2100 dry	12.25	1.12	+19.83
2070-2100 wet	12.39	1.18	+21.19

Évolution des rendements des pâtures avec le changement climatique (scénario de changement climatique sec commun à tous les partenaires du projet). Source : Projet AMICE, 2013.

	Rendements (t MS/ha)	Variabilité (t MS/ha)	Evolution des rendements (%)
1970-2000	9.65	0.96	
2020-2050 dry	10.61	1.24	+9.92
2020-2050 wet	10.49	1.12	+8.67
2070-2100 dry	10.82	1.23	+12.07
2070-2100 wet	11.13	1.13	+15.34

Évolution des rendements des prairies de fauche avec le changement climatique (scénario de changement climatique sec commun à tous les partenaires du projet). Source : Projet AMICE, 2013.

Évolution des rendements au sein des régions agricoles du bassin de la Meuse

Crops		1971-2000	2021-2050	2071-2100
Maize	Yields (t/ha)	10.49 ± 0.57	10.18 ± 0.69	8.52 ± 1.03
	Income (€ /ha)	1243 ± 68	1206 ± 81	1009 ± 122
Wheat	Yields (t/ha)	7.77 ± 0.61	8.42 ± 0.86	9.12 ± 1.00
	Income (€ /ha)	933 ± 74	1011 ± 103	1096 ± 121
Barley	Yields (t/ha)	6.62 ± 0.95	7.84 ± 0.68	7.82 ± 0.79
	Income (€ /ha)	721 ± 104	854 ± 74	851 ± 86

Rendement et revenu par hectare pour les trois cultures en Région wallonne selon les trois périodes (scénario aride). Source : Projet européen AMICE, 2013.

Données économiques

Statistiques Eurostat

Maïs

Prix de vente maïs (moyenne 2001-2012)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
13,28	11,02	10,49	12,44	10,40	9,77	11,62	19,15	13,26	12,06	15,94	19,97	11,02

Prix de vente de maïs, Moyenne Allemagne, France et Luxembourg (euros par 100 kg). Source : Eurostat, 2014.

Blé

Prix de vente de blé	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Belgique (euros par 100 kg)	16,04	16,20	16,40	14,83	13,21	13,14	12,87	11,86	10,76	10,69	11,06

Prix de vente de blé (moyenne 2001-2012)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
13,90	10,86	9,88	11,21	10,87	9,01	11,92	17,74	16,49	11,05	15,58	19,83	22,33

Prix de vente de blé tendre, Belgique (euros par 100 kg). Source : Eurostat, 2014.

Orge

Prix de vente d'orge	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Belgique (euros par 100 kg)	14,61	14,53	15,00	12,77	12,58	12,15	11,86	11,11	10,03	10,60	10,34

Prix de vente d'orge (moyenne 2001-2012)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
12,69	9,77	8,84	10,65	9,2	9,37	10,94	17,96	13,21	8,64	14,74	17,35	21,61

Prix de vente d'orge, Belgique (euros par 100 kg). Source : Eurostat, 2014.

Betteraves

Prix de vente des betteraves sucrières (valeur unitaire) (moyenne 2001-2012)	2000	2001	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
33,44	44,35	45,84	37,04	35,90	32,32	33,15	30,98	30,51	29,26	30,73	28,68

Prix de vente des betteraves sucrières (valeur unitaire), Belgique (euros par tonne). Source : Eurostat, 2014.

Pommes de terre

Prix de vente des pommes de terre hâtives (moyenne 2000-2012)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2008	2009	2010	2011	2012
15,75	19,88	41,13	19,11	25,54	4,49	7,13	13,05	7,82	7,56	13,55	13,95

Prix de vente des pommes de terre hâtives, Belgique (euros par 100 kg). Source : Eurostat, 2014.

Prix de vente des pommes de terre de consommation (moyenne 2001-2012)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
11,40	8,12	5,85	11,62	26,64	8,47	15,29	10,55	8,72	6,22	12,72	5,82	16,81

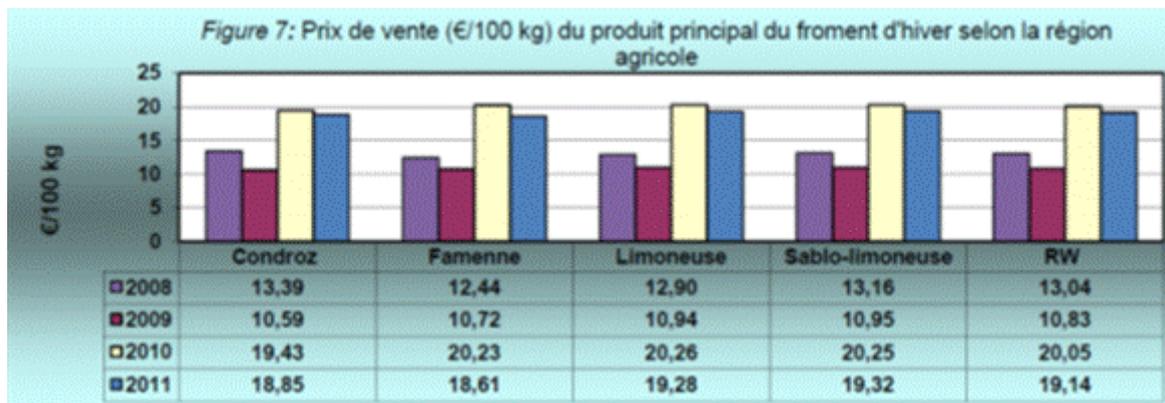
Prix de vente des pommes de terre de consommation, Belgique (euros par 100 kg). Source : Eurostat, 2014.

Prix de vente des pommes de table: ensemble des variétés (moyenne 2001-2012)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
41,91	35,00	29,00	44,93	40,08	34,89	45,24	42,86	54,73	35,47	37,84	51,94	50,92

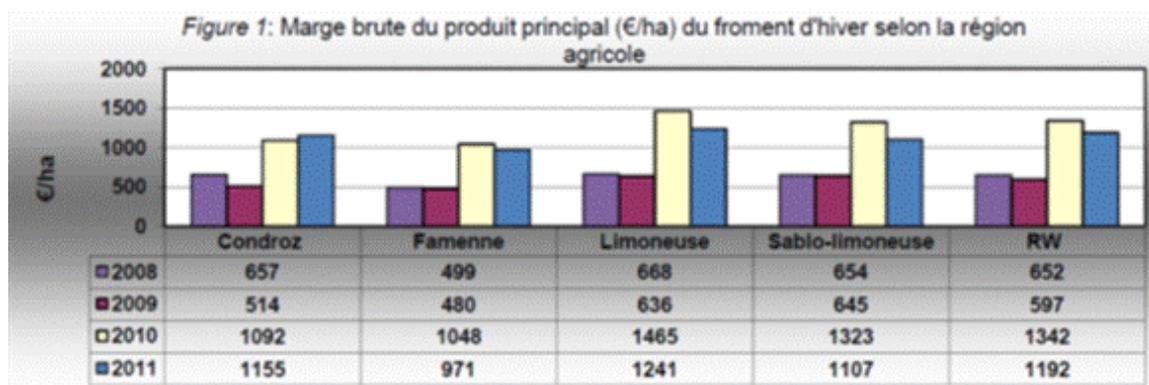
Prix de vente des pommes de table: ensemble des variétés, Belgique (euros par 100 kg). Source : Eurostat, 2014.

Données wallonnes

Blé



Prix de vente du froment d'hiver en Région wallonne (euros par 100 kg). Source : Performances et rentabilité en agriculture wallonne (années 2008 à 2011), 2013.



Marge brute du froment d'hiver en Région wallonne (euros/ha). Source : Performances et rentabilité en agriculture wallonne (années 2008 à 2011), 2013.

Au cours des 5 dernières années, on observe une forte volatilité du prix du froment d'hiver. Il varie de 11 € à 22 € par quintal. Le rendement est très variable aussi, mais c'est le prix qui influence le plus la rentabilité de cette culture.

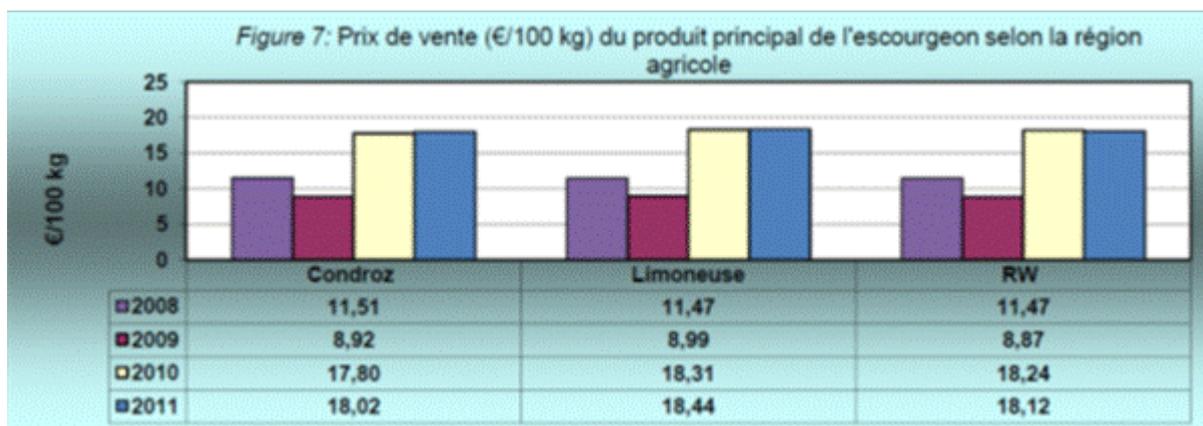
	2007	2008	2009	2010	2011
Rendement (Qx/ha)	75,6	86,4	93	84,49	83,71
Prix moyen (€/100 Kg)	22,1	13,22	10,91	19,97	19,30
Total des produits (€/ha)	1.670	1.129	1.011	1.696	1.616
Charges variables (€/ha)	511	609	555	515	619
Marge brute (€/ha)	1.160	520	456	1.181	997

Évolution des résultats du froment d'hiver, 2007- 2011. Source : réseau comptable de la DAEA, 2013.

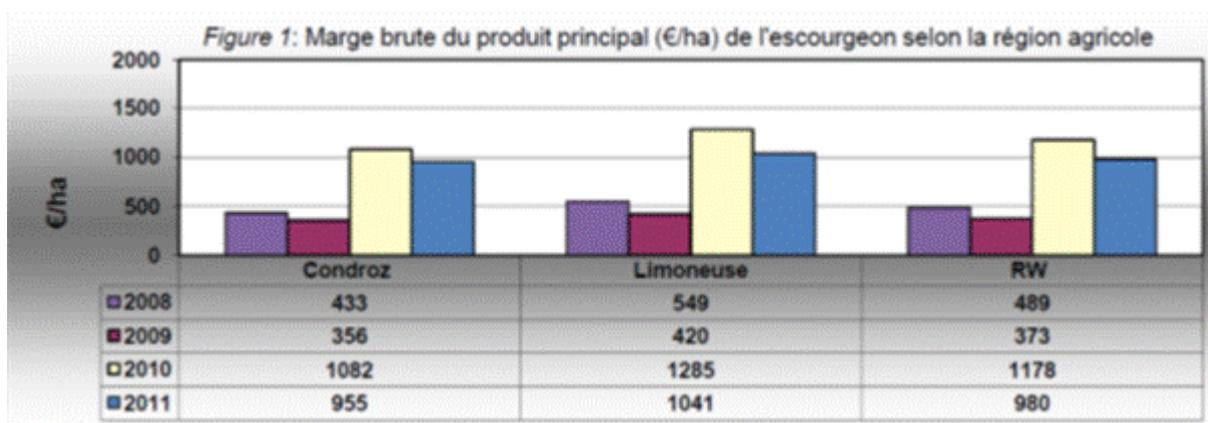
En 2011, le rendement et le prix moyen du froment d'hiver sont légèrement en retrait par rapport à 2010, -1 % et -3,4 % respectivement. Les coûts de production sont en progression de 20 %, engrais et énergie ont augmenté dans cette même proportion si bien que la marge brute s'établit à 997 €/ha, en diminution de 16 % par rapport à 2010. Elle est toutefois nettement supérieure aux marges brutes enregistrées en 2008 et 2009.

Les coûts variables (semences et plants, engrais, produits de traitement, etc.) s'élèvent en moyenne à 562 €/ha.

Orge



Prix de vente de l'orge d'hiver en Région wallonne (euros par 100 kg). Source : Performances et rentabilité en agriculture wallonne (années 2008 à 2011), 2013.



Marge brute de l'orge d'hiver en Région wallonne (euros/ha). Source : Performances et rentabilité en agriculture wallonne (années 2008 à 2011), 2013.

Chiffres repères

Prix des betteraves
€/tonne

récolte	16°Z	Teneur réelle
2001	44,0	48,4
2002	39,6	43,6
2003	38,1	46,0
2004	37,4	44,7
2005	41,1	43,0
2006	32,6	37,0
2007	28,1	33,2
2008	26,4	33,2
2009	25,2	33,0
2010	28,4	31,5
2011	38,4	39,7

Source : DGARNE

Betteraves sucrières

L'instauration des quotas de production pour la betterave sucrière, en 1986, a eu pour effet de stabiliser les prix. Toutefois, depuis 2006, la réforme de ce secteur s'est traduite par une diminution des prix qui a été compensée par des aides directes (droit à paiement unique). En 2005, on a enregistré une légère diminution du prix moyen (16 %) due à une valorisation moins importante en sucre A + B. Cependant, comme la teneur réelle en sucre fut plus élevée en 2005, la diminution est en partie compensée. En 2006, la réforme du secteur est entrée en vigueur. Comme pour les autres productions concernées, elle se traduit par une diminution des prix compensée par une aide directe (DPU). En 2007, on observe une diminution des prix de 3,5 % par rapport à 2006, tempérée par une meilleure valorisation du sucre C. Pour 2008, le prix reste équivalent à celui de 2007, on l'estime à 33,08 euros par tonne. En 2009, le prix varie légèrement à la baisse. On l'estime à 32,99 euros par tonne, soit une diminution de près de 0,3 %. Il diminue encore en 2010, pour s'établir à 31,45 euros par tonne, soit -4,7%. Cette

baisse est surtout due à la quantité de sucre hors quota produite au cours de la campagne précédente et au cours de cette campagne. La campagne betteravière 2011 restera dans les annales car elle bat tous les records de rendement racines (90,31 t/ha à 16 % sucre), de rendement sucre (14,427 t/ha) et de tare totale la plus faible (12,33 %). Les difficultés d'approvisionnement au niveau du marché mondial ont provoqué une hausse sensible du prix du sucre et en conséquence de celui des betteraves sucrières.

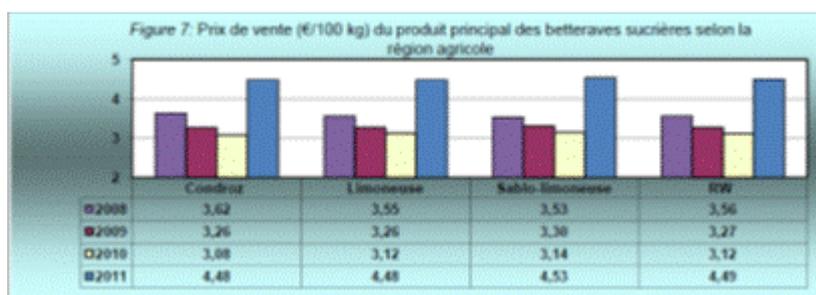
	2007	2008	2009	2010	2011
Rendement (tonnes/ha)	67,6	69,6	78,9	72,3	80,8
Prix moyen (€/tonne)	33,1	35,88	32,99	31,24	45,1
Total des produits (€/ha)	2.235	2.496	2.603	2.259	3.644
Charges variables (€/ha)	1.078	1.126	1.090	1.112	1.123
Marge brute (€/ha)	1.157	1.370	1.513	1.147	2.521

Évolution des résultats en betteraves sucrières. Source : Réseau comptable de la DAEA.

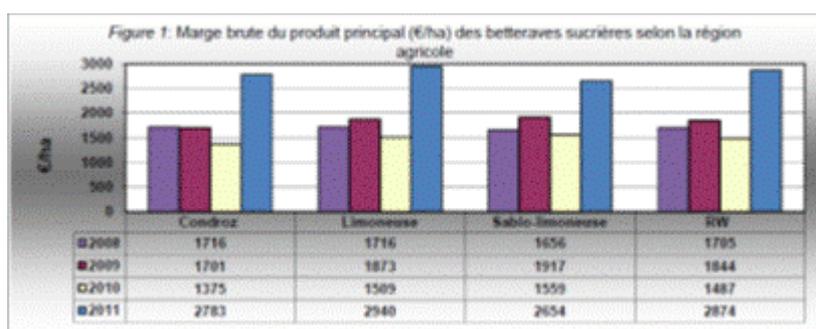
Le prix moyen reçu par les producteurs est relativement stable et dépend de la richesse en sucre des betteraves livrées à la sucrerie sauf comme lorsqu'en 2010-2011, le prix du sucre sur le marché mondial est exceptionnellement élevé.

2011 est une année exceptionnelle en betteraves sucrières à plusieurs titres. Le rendement racines bat tous les records : 80,8 t/ha. Le rendement en sucre atteint 14,4 t/ha. Enfin, le prix moyen observé dans le réseau comptable de la DAEA est de 45,1 €/tonne, soit 35 % de plus que le prix moyen observé au cours de la période 2007-2010.

En conséquence de ces résultats exceptionnels, la marge brute atteint 2.521 €/ha en 2011, soit +94 % par rapport à la période 2007-2010. Les charges directes sont pratiquement constantes d'une année à l'autre si bien que la rentabilité est assurée par le rendement en sucre. Elles s'élèvent en moyenne à environ 1 100 €/ha.

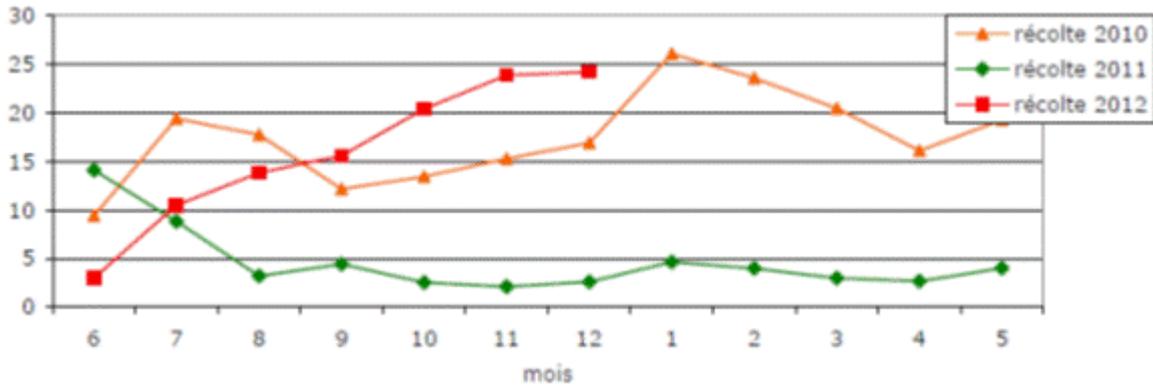


Prix de vente du produit principal des betteraves sucrières en Région wallonne (euros par 100 kg). Source : Performances et rentabilité en agriculture wallonne (années 2008 à 2011), 2013.

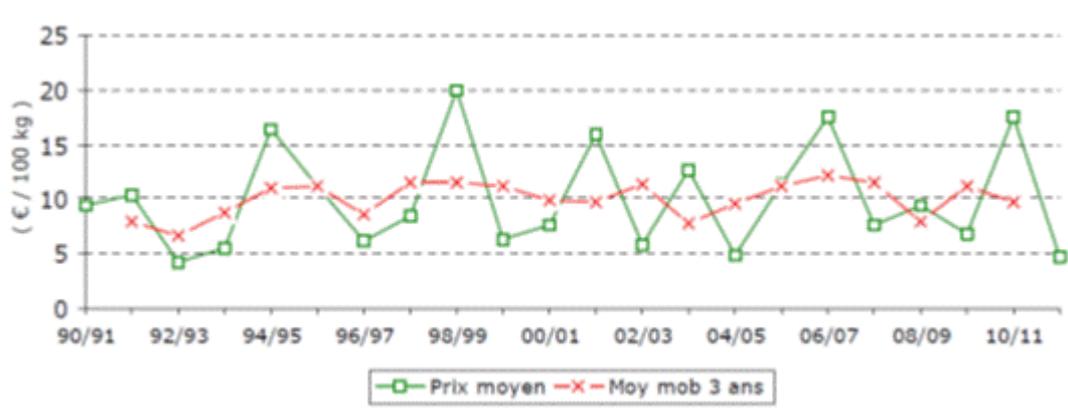


Marge brute des betteraves sucrières (euros/ha). Source : Performances et rentabilité en agriculture wallonne (années 2008 à 2011), 2013.

Pommes de terre



Prix mensuels payés aux producteurs pour les pommes de terre de consommation (€/100 kg), récoltes 2010, 2011 et 2012. Source : DGARNE



Evolution du prix de la pomme de terre, en Belgique, de 1990/91 à 2011/12 (€/100 kg). Source : CEA – DGARNE, 2013.

Non soumis à une organisation de marchés, les prix des pommes de terre sont très fluctuants. Dépendant des superficies et des aléas du climat, les productions peuvent être très variables ce qui explique l'instabilité des prix; une production abondante génère généralement des prix relativement bas tandis qu'une production réduite amène des prix élevés. De plus, des prix élevés une année favorisent un accroissement de la superficie l'année suivante tandis que des prix réduits la diminuent.

Par exemple, l'année 2005 s'inscrit dans ce schéma : production en baisse (globalement -14 %) et hausse sensible des prix (11 euros/100 kg en moyenne contre 4,8 pour la campagne précédente).

La récolte 2009, en hausse (+11,4 %) par rapport à 2008, provoque une baisse sensible du prix moyen de la campagne (-26,5 %).

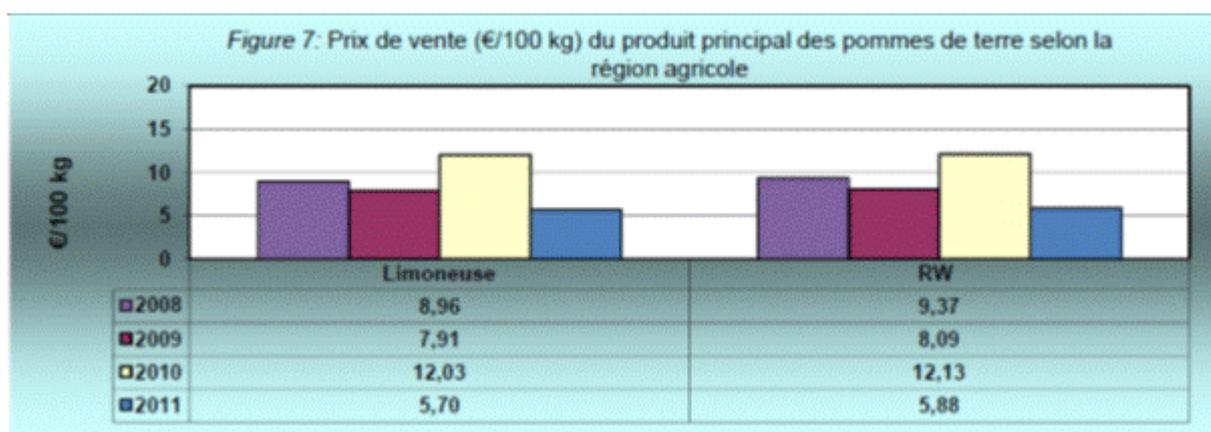
Pour la campagne 2010/2011, la hausse des prix atteint 155 % par rapport à la campagne précédente. Cette hausse de prix est due à la baisse de production observée au niveau européen (baisse moyenne des rendements de 4,5 % et augmentation globale des surfaces de 0,1 %). Situation favorable pour la Belgique qui augmente globalement sa production de 8,8 %.

En ce qui concerne la campagne 2011/12, on observe une chute de prix de 73 %, provoquée par une forte augmentation des rendements.

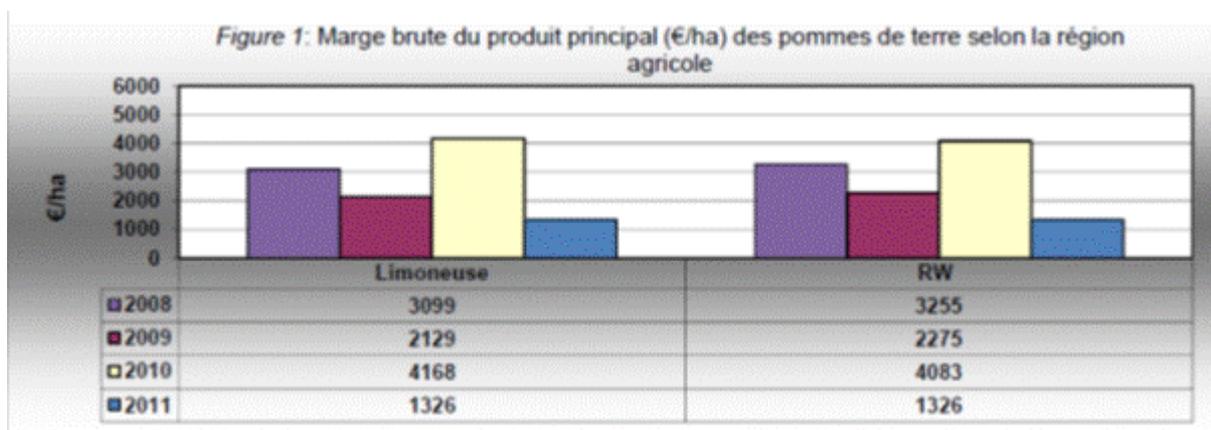
	2007	2008	2009	2010	2011
Rendement (tonnes/ha)	32,60	51,20	29,30	42,50	47,08
Prix moyen (€/tonne)	89,80	90,00	101,46	118,17	62,70
Total des produits (€/ha)	2.943	4.590	2.849	5.056	2.952
Charges variables (€/ha)	1.222	1.804	1.171	1.647	1.719
Marge brute (€/ha)	1.721	2.786	1.678	3.409	1.233

Évolution des résultats en pommes de terre. Source : Réseau comptable de la DAEA.

Prix, rendements et charges sont très variables et, pour cette raison, la rentabilité des pommes de terre doit s'apprécier sur le long terme. Contrairement à la betterave sucrière, l'année 2011 a été très mauvaise en pommes de terre en raison des conditions climatiques défavorables avant et après l'arrachage (chaud et humide) qui ont influé sur la qualité des tubercules et sur les conditions de stockage (pourriture et vitrosité). Le prix de vente a été très bas, 62,7€/tonne en moyenne, soit -37 % sur le prix moyen de la période 2007-2010. En conséquence, la marge brute par ha est très faible : 1233 €/ha. Les charges variables, notamment les produits de lutte, sont très fortement influencées par les précipitations. Elles se répartissent en moyenne pour la période 2007-2011 à 1500 €/ha.



Prix de vente des pommes de terre en Région wallonne (euros par 100 kg). Source : Performances et rentabilité en agriculture wallonne (années 2008 à 2011), 2013.



Marge brute des pommes de terre (euros/ha). Source : Performances et rentabilité en agriculture wallonne (années 2008 à 2011), 2013.

Prairies

Le tableau ci-dessous présente le prix de revient moyen des différents fourrages les plus fréquemment rencontrés dans les exploitations agricoles wallonnes. Ces données sont issues des comptabilités agricoles tenues par l'asbl Brabant wallon Agro-Qualité.

Fourrages	Prix de revient €/ Quintal de MS
Pulpes surpressées	6.87
Maïs pâteux (16T MS/ha)	6.87
Herbes pâturées (8T MS/ha)	4.44
Herbe préfanée :	
- Autochargeuse	6.94
- Ensileuse	9.60
- Balles pressées et enrubannées	13.01
Froment aplati	14.71

Dans le cadre du projet Interreg DAIRYMAN et en partenariat avec la Direction du Développement et de la vulgarisation de la DGARNE, l'asbl Fourrages-Mieux et le Centre d'Essais Bio, le Centre wallon de Recherches agronomiques ont estimé le coût des fourrages en 2012 comme suit : 1kg de MS d'herbe pâturée coute 0,05€, 1 kg de MS de maïs ensilé coute 0,12€, 1 kg de MS d'herbe ensilée coute 0,15€.

Dans le cadre d'une subvention avec le Service public de Wallonie, l'asbl Fourrages Mieux a mis au point un « logiciel informatique dégâts de gibier » aidant les experts agronomes à estimer le montant des dégâts de la faune sauvage (espèces gibier et espèces protégées) dans les zones agricoles de la Wallonie. Les valeurs des bases de données sont tirées de travaux d'instituts agronomiques spécialisés (Centre wallon de Recherches Agronomiques de Gembloux, Centre Indépendant de Promotion Fourragère, Agra-Ost, etc.). Les prix des différentes productions et travaux agricoles sont mis à jour deux fois par an pour suivre l'évolution des marchés : au 1er mars (dégâts en prairies) et au 1er septembre (dégâts en champs de maïs). Afin que les prix intégrés au logiciel soient le fruit d'un consensus, Fourrages Mieux a mis sur pied une plate-forme composée d'un représentant de la Direction de la Chasse et de la Pêche (DCP) du Service public de Wallonie, d'un représentant de la Fédération Wallonne de l'Agriculture (FWA) et d'un représentant de la Fédération des Chasseurs au Grand Gibier de Belgique (FCGGB), au sein de laquelle est avalisée la méthodologie fixant ces prix. L'utilisation systématique de l'outil par les experts agronomes permet, outre une standardisation des indemnités selon des critères objectifs, la collecte systématique de données statistiques pertinentes : montants des dégâts par espèce en cause, par type de culture, par région, par cantonnement, etc. Le prix de l'herbe est fixé tous les 6 mois au sein d'une plate-forme composée d'un représentant de la Fédération Wallonne de l'Agriculture et d'un représentant de la Fédération des Chasseurs au Grand Gibier de Belgique. Le prix de l'herbe intégré au « logiciel dégâts de gibier » pour la période du 1er septembre 2009 au 28 février 2010 est de 117 €/tonne de matière sèche. Ce prix est utilisé pour la traduction de l'impact du changement climatique sur les prairies permanentes wallonnes en termes monétaires dans la présente étude.

A titre d'illustration, une autre méthode alternative d'estimation des coûts est présentée ci-après. Elle n'est pas utilisée dans la présente étude en l'absence de données sur le coût d'achat d'une unité fourragère et des hypothèses lourdes et simplistes nécessaires.

Illustration d'une méthode alternative d'évaluation de coûts pour les prairies permanentes

Etant donné la complexité des transformations et des remaniements moléculaires dans le système digestif des ruminants, l'évaluation de la qualité nutritionnelle d'un fourrage destiné à ces animaux est assez complexe. C'est, pour cette raison, que différents systèmes d'évaluation des besoins alimentaires ont été mis au point.

Pour exprimer la valeur énergétique des aliments destinés aux animaux d'élevage (bovins, ovins, caprins, porcins, équidés), les méthodes existantes utilisent généralement les Unités Fourragères. L'idée de son concepteur, le Professeur Leroy, était de pouvoir comparer de façon simple, l'énergie apportée par 1 kg d'aliment et dont l'animal dispose pour vivre, grandir, produire du lait etc. Il a pris comme référence l'orge (1 kg d'orge apporte 1 Unité Fourragère). Dans ce système, l'avoine apporte 0,85 Unités Fourragères c'est-à-dire que l'avoine est un peu moins énergétique que l'orge. A contrario, le maïs grain apporte 1,15 Unités Fourragères par kg. Cela n'était pas totalement satisfaisant, pour plusieurs raisons : il s'agit d'une énergie nette c'est-à-dire disponible pour l'animal (or, un porc ne digère pas comme une vache, ni un cheval comme une chèvre, ils ne vont donc pas " retirer " la même énergie du kg d'aliment) ; le système marchait pas mal pour des animaux recevant des rations assez concentrées mais sous-estimait la valeur des rations à base de foin et selon le type de production (gain de poids ou lait), l'énergie n'est pas utilisée avec la même efficacité. Pour ces trois raisons, on a établi de nouvelles unités fourragères : Unité Fourragère Lait pour les ruminants à l'entretien ou en croissance modérée et les femelles en lactation, Unité Fourragère Viande pour les ruminants en croissance rapide et Unité Fourragère Cheval spéciale Cheval. Pour reprendre les exemples ci-dessus : 1kg d'orge fait 1 Unité Fourragère Lait, 1 Unité Fourragère Viande et 1 Unité Fourragère Cheval. On a donc toujours bien notre référence à l'orge. Mais 1 kg d'avoine fait 0,85 Unités Fourragères, 0,87 Unités Fourragères Lait, 0,82 Unités Fourragères Viande et 0,88 Unités Fourragères Cheval. Et 1 kg de maïs fait 1,15 Unités Fourragères, 1,10 Unités Fourragères Lait, 1,11 Unités Fourragères Viande et 1,14 Unités Fourragères Cheval.

Les deux systèmes les plus connus sont le système français (UFL, UFV) et le système belgo-hollandais (VEM, VEVI).

Le système belgo-hollandais définit également les besoins en énergie des animaux ou encore les apports des aliments par l'intermédiaire des unités :

- VEM : Unité Fourragère Lait (VoederEenheid Melk) = unité exprimant les besoins ou les apports d'un aliment en énergie pour la production de lait (1 KVEM apporte l'équivalent énergétique d'un kilo d'orge).
- VEVI : Unité Fourragère Viande (VoederEenheid Vleesvee Intensief) = unité exprimant les besoins ou les apports d'un aliment en énergie pour la production de viande.

Une typologie nationale française couvrant les principales régions herbagères donne des références sur la valorisation fourragère des prairies permanentes. L'Inra, l'Institut de l'élevage, l'Université de Lorraine ainsi qu'une quarantaine de chambres d'agriculture, ont entamé un vaste travail pour mieux caractériser les prairies permanentes, et rassembler de références grâce au suivi d'un large réseau de parcelles. Concrètement, les techniciens ont étudié 1 500 parcelles dans 25 départements avant d'en sélectionner 190 reflétant la diversité des utilisations et des situations agro-climatiques. Après un suivi de deux ans (2009 et 2010), ils les ont classées en 19 types, faciles à identifier à partir de critères simples. Le suivi de ces parcelles a fait ressortir une grande diversité des prairies permanentes, aussi bien en termes de production que de valeur nutritive ou de composition botanique. Le travail a abouti à une typologie qui décrit, pour chaque type de prairie, la composition botanique, la quantité d'herbe produite, sa valeur alimentaire et les valorisations possibles (fauche, pâture, types d'animaux, etc.). Le tableau ci-après donne un aperçu du travail réalisé à travers quatre exemples de prairies: prairies de côteaux, prairies de fond (pâturées ou fauchées) humides et bien fertilisées, et prairies de « petites terres ». Pour chaque type de prairies, les valeurs alimentaires saisonnières sont détaillées.

VALEURS ALIMENTAIRES DU FOURRAGE VERT				
Type de prairies		UFL (/kg MS)	PDIN (g/kg MS)	PDIE (g/kg MS)
Prairies de coteaux	Printemps	0,88	84	89
	Fin de printemps	0,74	49	72
	Début d'automne	0,78	124	99
Prairies de « petites terres »	Début de printemps	0,86	0,75	0,85
	Fin de printemps	1,04	57	100
	Début d'automne	0,93	75	97
Prairies de fond fauchées	Fin de printemps	0,80	69	81
	Été	0,87	93	95
	Automne	0,91	124	106
Prairies de fond pâturées	Début de printemps	1,02	122	105
	Fin de printemps	0,80	69	81
	Automne	0,91	124	106

- UFL : Nombre d'unités fourragères de lait par kilogramme de matière sèche
- PDIN : Protéines digestibles dans l'intestin par l'azote
- PDIE : Protéines digestibles dans l'intestin par l'énergie

Pour réaliser l'estimation monétaire, on supposerait ici qu'1 kg de MS fournit A unités fourragères dans les prairies pâturées et B unités fourragères dans les prairies fauchées. Par ailleurs, il faudrait aussi pouvoir disposer du coût d'achat/vente d'une unité fourragère.

ANNEXE ENERGIE

Méthodologie pour le calcul des impacts du changement climatique sur la demande d'énergie

Dans la demande énergétique totale, une partie seulement est liée au climat. Ainsi, le profil de la consommation annuelle montre qu'en période froide la demande tend à s'accroître. Il en va de même en période très chaude. Quand on est dans des plages de températures où ni la climatisation, ni le chauffage ne sont nécessaires, la courbe « consommation / température » a tendance à être stationnaire. On attribue cette variation de consommation aux équipements de chauffage et de refroidissement.

A partir de ces constats, le secteur de l'énergie utilise notamment des modèles de prévision de la consommation en relation avec le climat fondés sur le concept de degré jour.

Pour une énergie donnée, on examine pour quelle plage de température moyenne la demande est la moins sensible à la température. Au-delà de la température seuil de cette plage, on observera une hausse de la consommation liée à l'augmentation des besoins de refroidissement et de façon symétrique en dessous de la température seuil de la plage, la hausse de consommation sera cette fois-ci due à la hausse des besoins de chauffage. On peut alors calculer des degrés-jour «de chauffage» et des degrés-jour «de refroidissement» en faisant la différence entre la température seuil et la température observée/modélisée.

Les degrés-jour sont utilisés pour prévoir les consommations futures selon le climat avec des modèles plus ou moins complexes.

Nous avons choisi d'utiliser ce concept de degré jour pour quantifier l'impact du changement climatique sur la demande : il s'agit de calculer des degrés-jour sur une période de référence (1996-2013) et de comparer les valeurs obtenues aux calculs de degrés-jour à l'horizon 2050 en exploitant les données de la littérature sur le changement climatique. Cette méthodologie est assez fréquemment utilisée dans la littérature portant sur le changement climatique et l'énergie.

Chauffage

La température de l'air est le seul paramètre climatique retenu car l'effet de l'ensoleillement, de la nébulosité et de l'humidité de l'air sont très difficiles à modéliser de façon robuste.

Nous avons calculé les DJC en 2050 pour les scénarios +1.9°C sur la base des DJC 1996-2013 simplement sur la base d'une augmentation des températures répartie uniformément sur l'année entière.

Nous avons calculé la corrélation (sur la base d'une régression linéaire) entre la consommation de chauffage pour le résidentiel et le tertiaire (source : (ICEDD 2013)). Nous avons aussi repris l'hypothèse couramment utilisée dans les analyses des Bilans énergétiques Wallons qu'une partie de la consommation de chauffage (30%) soit indépendante de la température externe.

Sur la base de cette corrélation et de la prévision en DJC nous avons estimé les besoin en chauffage.

Climatisation

Pour les DJC en 2050 nous avons utilisé la même méthode que pour le DJC.

Pour le calcul des besoins en climatisation, pour le tertiaire nous avons utilisé la même méthodologie que pour le chauffage car pour le tertiaire nous avons quelques informations sur les consommations pour la climatisation (et nous ne disposons pas de données sur le taux de pénétration des appareils de climatisation). Pour le tertiaire donc comme la climatisation est déjà en place (4 % de la consommation électrique du secteur, source : bilan énergétique RW), « économie constante » veut juste dire que on utilisera plus de climatisation (plus d'heures et ou plus de climatiseurs) sur la base de la corrélation DJ climatisation / consommation climatisation historique (car nous n'avons pas de données sur le taux de pénétration).

Pour le résidentiel il n'y a pas de données disponibles pour la consommation liée à la climatisation. Donc nous estimons un taux de pénétration de 3% en 2013 et on fait l'hypothèse que ce taux de pénétration monte à 30% à 2050. Ceci est le taux actuel de pénétration dans des pays tels que l'Espagne et l'Italie. Cette hypothèse est la même que dans (Groupe interministériel Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France 2009). On estime la consommation sur la base d'une puissance moyenne par appareil de 2 à 3 kW et une durée de fonctionnement de 3 à 8 heures (sur la base d'une communication personnelle du Facilitateur résidentiel de la RW).

Quand on passe au scénario évolutif on considère pour les ménages une augmentation du parc (plus des ménages donc plus de maisons) plus une augmentation du taux de pénétration de la climatisation. Pour le tertiaire on considère une augmentation du parc (plus de bureaux) plus une augmentation du taux de pénétration de la climatisation (pour ce faire car nous n'avons pas de taux de pénétration nous doublon la part de la consommation électrique dévoué à la climatisation).

Calcul de la facture énergétique

Les gains sur la facture énergétique sont calculé sur la base des prix 2011 des différents vecteurs énergétique. Pour le chauffage un prix moyen par kWh a été calculé sur la base de la répartition du chauffage par vecteur en 2011. Le tableau suivant illustre les hypothèses principales en matière de prix (source : Bilan énergétique RW 2011).

	Euro/kWh (HTVA)			% Consommation			euro/kWh (HTVA)
	Fioul	Electricité	Gaz	Fioul	Electricité	Gaz	Prix moyen chauffage
Résidentiel	0.067	0.2	0.075	0.58	0.04	0.38	0.075
Tertiaire	0.067	0.109	0.038	0.35	0	0.65	0.048

Fourchette

Nous avons calculé la réduction de demande de chauffage et d'augmentation de demande de climatisation selon plusieurs scénarios qui incorporent différentes hypothèses sur la réactivité de la demande à la hausse de températures moyennes.

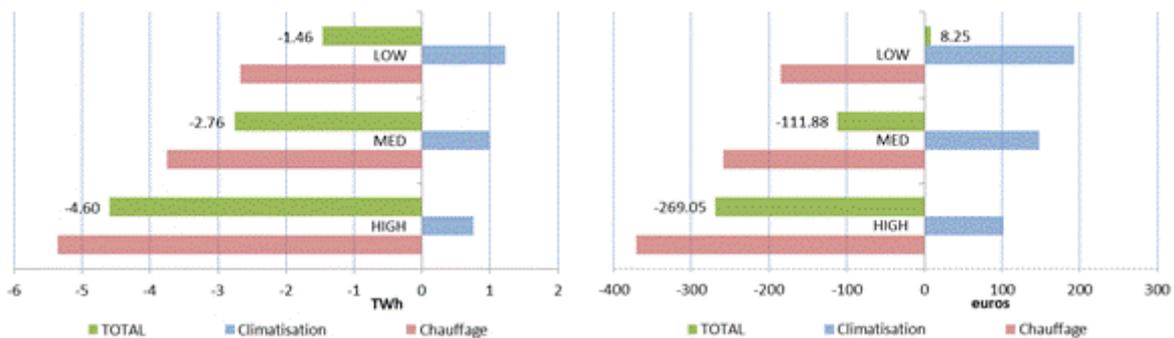
Les scénarios HIGH et LOW incorporent des hypothèses plus ou moins restrictives sur la réaction de la demande à la hausse de températures moyennes. Dans le scénario HIGH nous avons fait l'hypothèse que la hausse de températures moyennes aura un impact plus important dans la réduction de la consommation de chauffage et au même temps entrainera une augmentation limitée de la consommation de climatisation. Dans le scénario LOW nous présentons une situation par contre ou à la fois la hausse de températures moyennes

aura un impact limité sur la réduction de la demande de chauffage et une plus grande augmentation due à la climatisation.

Pour le chauffage nous avons estimés les scénarios HIGH et LOW sur base d'hypothèses différentes sur la réactivité de la demande énergétique à la hausse de températures (DJ). Ces hypothèses concernent la partie de la demande de chauffage qui ne serait pas affecté par le changement de température. Pour la climatisation nous avons estimés les scénarios HIGH et LOW sur base d'hypothèses différentes sur l'utilisation de la climatisation.

Dans le tableau et figures suivant les différents résultats pour les différents scénarios sont présentés.

TWh	HIGH	MED	LOW
Chauffage	-5.35	-3.74	-2.67
Climatisation	0.75	0.98	1.21
TOTAL	-4.59	-2.75	-1.45
M euros	HIGH	MED	LOW
Chauffage	-370	-259	-185
Climatisation	101	147	193
TOTAL	-269	-111	8



ANNEXE RESSOURCES EN EAU, INFRASTRUCTURES ET AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

Nombre d'événements de crue en Région wallonne

Sous-bassin	Cours d'eau	Entrée/ exutoire	Nombre d'événements de crue calculés											
			1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Total
Ambièvre	Ambièvre	Exutoire	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3
Dendre	Dendre	Exutoire	1	0	1	4	1	0	0	0	0	0	0	7
Dyle-Gette	Dyle	Exutoire	0	0	1	2	1	1	0	0	0	1	0	6
Escaut-Lys	Escaut	Exutoire	-	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	3
Haine	Haine	Exutoire	0	0	1	4	1	0	0	0	0	0	0	6
Lesse	Lesse	Exutoire	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	5
Meuse amont	Meuse amont	Exutoire	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4
Meuse aval	Meuse aval	Exutoire	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
Ourthe	Ourthe	Exutoire	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	4
Sambre	Sambre	Exutoire	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	5
Semois-Chiers	Chiers	Exutoire	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
Semois-Chiers	Semois	Exutoire	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	4
Senne	Senne	Exutoire	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3
Vesdre	Vesdre	Exutoire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Moselle	Our	Exutoire	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
Total			7	0	8	25	12	1	0	0	2	1	0	56

Répartition du territoire wallon selon l'aléa d'inondation par débordement de cours d'eau

Part du territoire wallon en zone d'aléa d'inondation par débordement de cours d'eau		
	Superficie (ha)	Superficie (%)
Territoire hors zone d'aléa inondation	1566593,24	93,56%
Territoire en zone d'aléa inondation	107843,22	6,44%
Aléa faible	81436,33	4,86%
Aléa moyen	10245,73	0,61%
Aléa fort	16161,16	0,97%
Total	1674436,46	100,0%

Part de la superficie des sous-bassins hydrographiques wallons en zone d'aléa d'inondation par débordement de cours d'eau	
Sous-bassin	%
Escaut	11,96
Haine	11,37
Lys	10,93
Dendre	9,31
Semois-Chiers	7,41
Senne	6,46
Meuse aval	6,04
Moselle	5,83
Sambre	5,74
Lesse	5,69
Meuse amont	5,57
Dyle-Gette	5,54
Ourthe	5,43
Oise	4,52
Amblève	4,37
Vesdre	4,17
Wallonie	6,44

Données sur les calamités

Le tableau ci-après présente la répartition des types de calamités reconnues entre 1993 et le 11 avril 2013.

Type de calamite	Nombre de calamite
Grêles	3
Inondations	10
Neige	1
Pluies de longue durée	10
Pluies intenses	59
Pluies intenses et grêle	10
Tectoniques	2
Tempêtes	3
Tornades	16

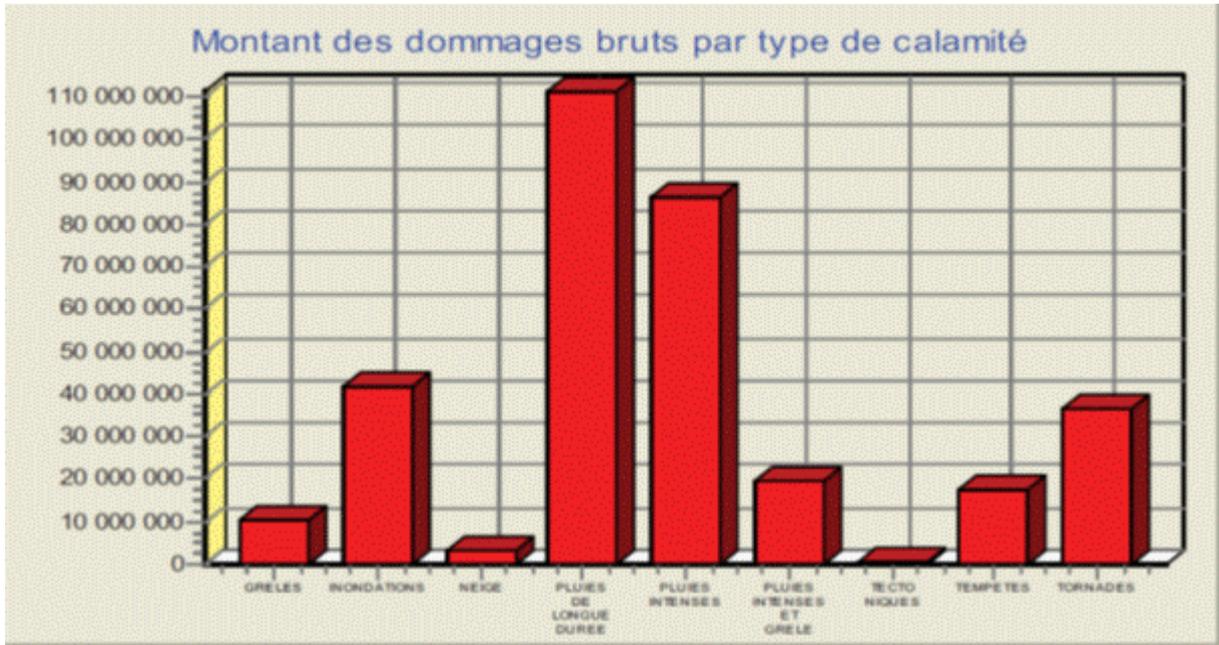
114 calamités ont été répertoriées depuis 1993. Les pluies intenses accompagnées ou non de grêles sont les plus fréquentes.

Le nombre total de biens endommagés est de 70862, pour un dommage brut de 328 millions d'euros ; la vétusté a été estimée à 19 millions d'euros, ce qui donne un dommage net de 309 millions d'euros. La moyenne du dommage brut s'élève à 4632 euros et du dommage net à 4363 euros.

Les pluies de longue durée ont provoqué les dommages bruts les plus élevés, avec 111 millions d'euros.

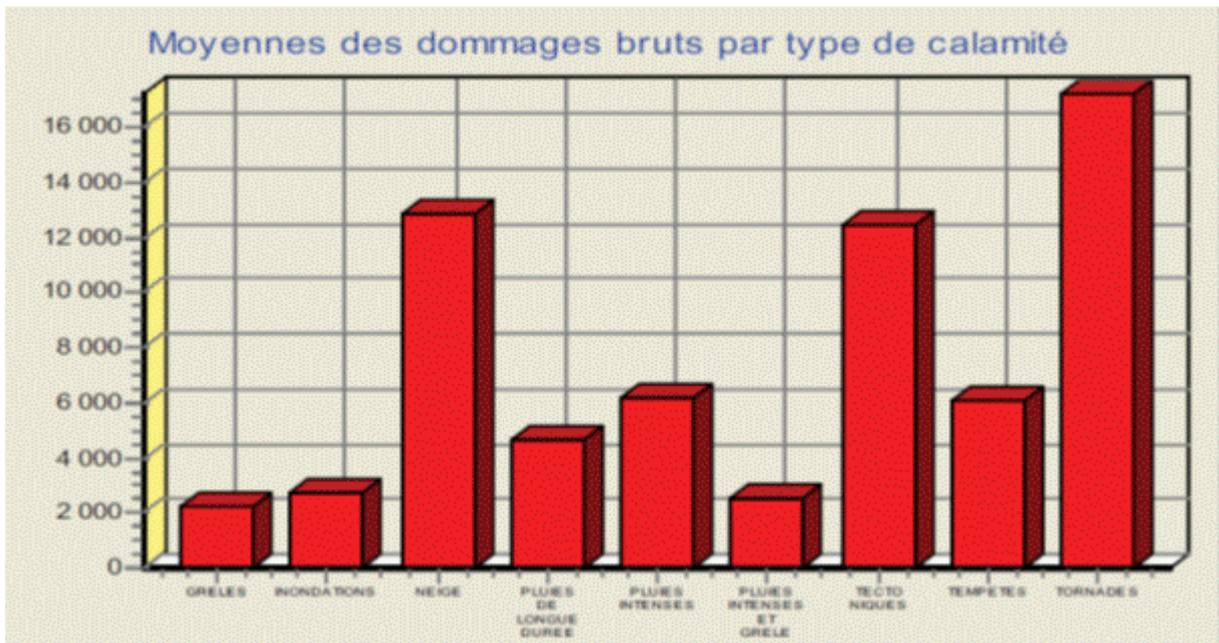
Les calamités "tornades" sont la cause des dommages bruts moyens les plus importants, avec un montant de 17218 euros par bien sinistré.

Les pluies ont touché beaucoup plus de biens que les phénomènes venteux ou "tectoniques", ces derniers ayant heureusement eu un caractère anecdotique depuis 1993.



Montant des dommages bruts par type de calamité.

Les pluies ont provoqué des dommages financiers bruts plus importants que les phénomènes venteux ou "tectoniques".



Moyenne des dommages bruts par type de calamité.

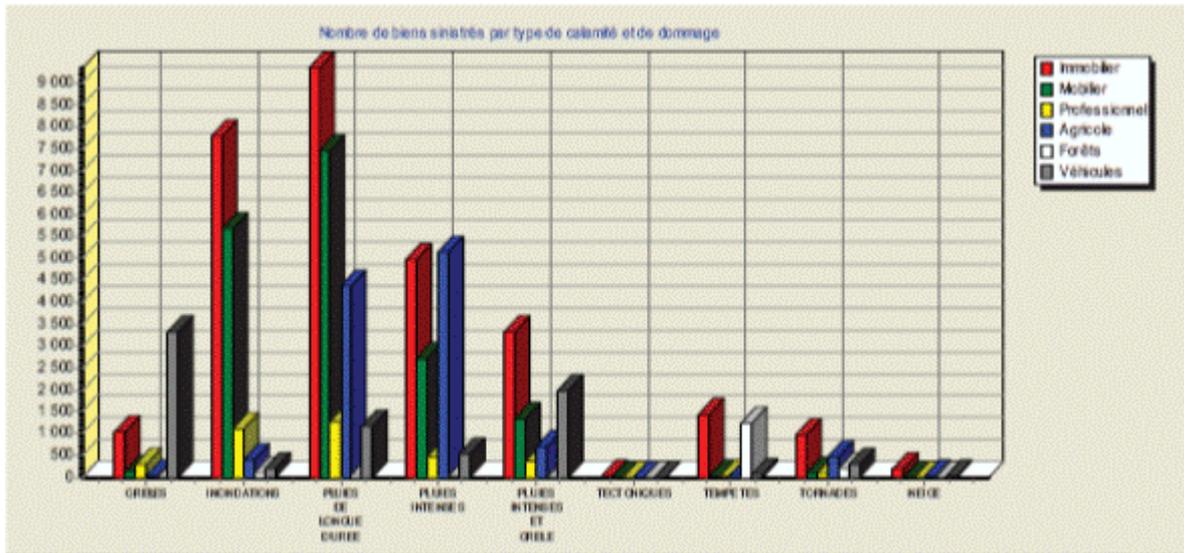
Le dommage brut moyen est de loin le plus élevé lors d'une calamité " neige" parce que c'est la structure même des bâtiments qui est atteinte. Cependant, vu le très faible nombre de sinistrés pour ce type de phénomène, il faut prendre les résultats avec beaucoup de prudence.

Les dommages moyens lors d'intempéries venteuses sont sensiblement plus élevés que lors de phénomènes de type pluvieux.

Aucune conclusion logique ne peut être tirée des différences entre les 4 types de phénomènes pluvieux.

Les types de dommages sont :

- A : biens immobiliers bâtis et locaux mobiles servant d'habitation
- B : Biens meubles d'usage courant ou familial
- C : Biens meubles affectés à toutes activités professionnelles, à l'exclusion de l'agriculture
- D : Agricoles
- E : Terrains affectés à des fins professionnelles et peuplements forestiers
- F : Véhicules



Nombre de biens sinistrés par type de dommages et de calamité.

Le même graphique donne en pourcentage :

Type de calamité	Immobilier	Mobilier	Professionnel	Agricole	Forêts et Immo non bâti	Véhicules privés	Total
GRELES	22%	3%	6%	1%	0%	68%	100%
INONDATIONS	51%	37%	7%	3%	1%	1%	100%
PLUIES DE LONGUE DUREE	39%	31%	5%	18%	0%	5%	100%
PLUIES INTENSES	36%	20%	3%	37%	0%	4%	100%
PLUIES INTENSES ET GRELE	43%	17%	5%	9%	0%	26%	100%
TECTONIQUES	76%	10%	3%	0%	0%	10%	100%
TEMPETES	50%	1%	1%	2%	43%	2%	100%
TORNADES	45%	4%	4%	23%	9%	15%	100%
NEIGE	77%	1%	5%	8%	2%	8%	100%
TOTAL	41%	25%	5%	16%	2%	11%	100%

Pourcentage de biens sinistrés par type de dommages et de calamité.

La proportion de dommages immobiliers est toujours importante, mais elle l'est encore plus lors d'événements tectoniques. A l'avenir, elle devrait diminuer drastiquement suite à l'intervention obligatoire des assureurs après la calamité 2007A pour les calamités provoquées par les pluies et les tremblements de terre.

Pour les événements liés à l'eau, le pourcentage de dommages au mobilier est élevé ; par contre lors de vents violents, de grêles et de neige ce pourcentage est moindre. La même remarque que ci-dessus est d'application.

Les dommages agricoles se rencontrent essentiellement lors des pluies estivales (de courte ou longue durée). Leur proportion augmente progressivement depuis la calamité 2007A (intervention obligatoire des assureurs pour les dommages A et B).

Les dommages forestiers se concentrent lors des tempêtes ; on pourrait s'attendre à les rencontrer lors de tornades mais celles-ci ont une dispersion géographique trop restreinte que pour toucher de nombreux bois.

Les dommages aux véhicules se produisent essentiellement lors des chutes de grêles (68%), pluies intenses et grêles (26%), ainsi que lors des tornades (15%). Lors des inondations, en général les propriétaires ont le temps de mettre leur véhicule à l'abri.

Les dommages agricoles lors des tornades et de la neige sont essentiellement des dommages aux cultures dans les serres, provoqués par la chute des vitres.

Province	Immobilier	Mobilier	Professionnel	Agricole	Forêts et Immo non bâti	Véhicules privés	Total
Anvers	4 250	2 776	474	919	33	675	9 127
Bruxelles	1 916	784	120	0	0	102	2 922
Flandre Occidentale	2 099	928	192	6 863	7	213	10 302
Flandre Orientale	3 289	1 581	627	1 245	18	3 327	10 087
Hainaut	2 455	1 266	152	569	54	171	4 667
Liège	4 212	2 581	466	378	534	940	9 111
Limbourg	2 160	1 331	353	490	48	1 209	5 591
Luxembourg	974	501	164	49	630	34	2 352
Namur	3 718	2 654	594	79	255	312	7 612
Brabant Flamand	3 399	2 658	453	596	48	544	7 700
Brabant Wallon	686	417	80	49	23	137	1 392
Total général	29 158	17 477	3 675	11 239	1 650	7 664	70 863

Nombre de biens sinistrés par type et par province

Type de calamité	Immobilier	Mobilier	Professionnel	Agricole	Forêts et Immo non bâti	Véhicules privés	Total
GRELES	4 932 494	19 274	1 433 314	42 059	0	4 358 518	10 785 659
INONDATIONS	23 774 368	6 441 588	8 755 775	2 326 597	560 238	41 390	41 899 956
PLUIES DE LONGUE DUREE	29 503 848	10 234 036	12 733 485	58 274 814	186 893	424 856	111 357 932
PLUIES INTENSES	9 999 461	2 516 865	4 780 090	68 646 005	37 631	355 205	86 335 247
PLUIES INTENSES ET GRELE	6 665 463	915 171	2 271 571	6 581 262	1 586	3 294 798	19 729 881
TECTONIQUES	299 182	2 624	57 930	0	0	744	360 480
TEMPETES	5 485 230	9 821	103 265	452 980	11 405 366	97 298	17 553 960
TORNADES	7 476 487	35 269	978 218	24 690 713	3 282 305	432 716	36 898 708
NEIGE	2 659 387	0	133 415	471 244	32 708	30 703	3 327 457
TOTAL	90 795 920	20 174 638	31 247 063	161 488 704	15 506 727	9 036 228	328 249 280

Montants des dommages par type de dommages et de calamité

Type de calamité	Immobilier	Mobilier	Professionnel	Agricole	Forêts et Immo non bâti	Véhicules privés	Total
GRELES	46%	0%	13%	0%	0%	40%	100%
INONDATIONS	57%	15%	21%	6%	1%	0%	100%
PLUIES DE LONGUE DUREE	26%	9%	11%	52%	0%	0%	100%
PLUIES INTENSES	12%	3%	6%	80%	0%	0%	100%
PLUIES INTENSES ET GRELE	34%	5%	12%	33%	0%	17%	100%
TECTONIQUES	83%	1%	16%	0%	0%	0%	100%
TEMPETES	31%	0%	1%	3%	65%	1%	100%
TORNADES	20%	0%	3%	67%	9%	1%	100%
NEIGE	80%	0%	4%	14%	1%	1%	100%
TOTAL	28%	6%	10%	49%	5%	3%	100%

Pourcentage du montant des dommages par type de dommages et de calamité

28% du montant des dommages sont de type immobilier alors que 49% sont agricoles.

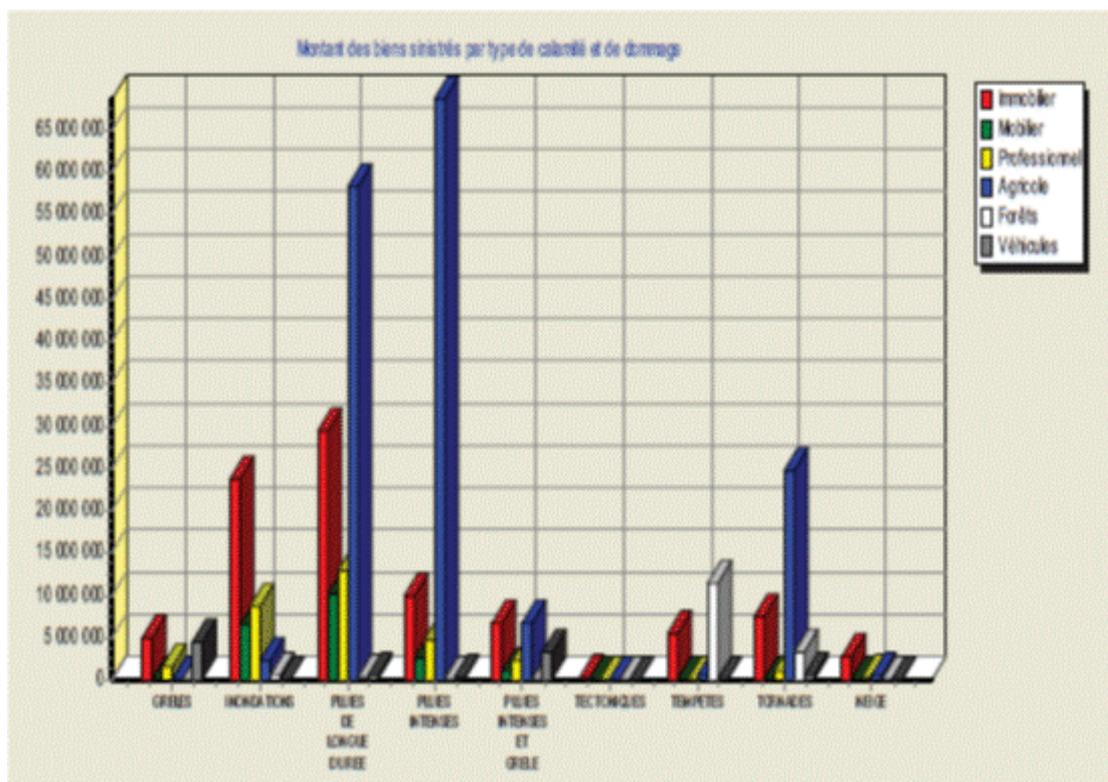
Les dommages agricoles surviennent essentiellement lors des pluies estivales, ce qui est logique : c'est à ce moment qu'il y a le plus de cultures sur pied.

Lors des tempêtes, 65% du montant des dommages sont forestiers.

On notera l'impact des grêles sur les véhicules lors des grêles et des pluies intenses et grêles.

Les calamités tectoniques et les tornades concentrent le montant des dommages sur l'immobilier.

Les proportions de dommages immobiliers et mobiliers diminuent après la calamité 2007A (intervention obligatoire des assureurs pour les calamités de type " pluies " et les tremblements de terre).



Montants en valeur absolue.

Le montant des dommages depuis 1993, ventilé par province, est repris dans le tableau suivant.

Province	Immobilier	Mobilier	Professionnel	Agricole	Forêts et Immo non bâti	Véhicules privés	Total
Anvers	13 962 024	3 496 306	5 070 856	19 903 846	29 450	545 732	43 008 214
Bruxelles	2 209 017	524 618	398 630	0	0	160 380	3 292 645
Flandre Occidentale	5 829 120	971 079	1 564 547	87 768 027	3 686	66 630	96 203 089
Flandre Orientale	12 180 013	1 728 221	5 888 394	15 708 372	34 292	4 589 113	40 128 405
Hainaut	7 896 590	1 318 655	983 714	4 125 511	423 689	223 714	14 971 873
Liège	11 727 847	2 868 842	2 200 459	1 929 436	4 668 340	1 180 675	24 575 599
Limbourg	7 651 921	1 408 480	3 976 271	16 411 180	495 967	1 540 394	31 484 213
Luxembourg	4 611 210	549 095	1 317 233	113 603	5 095 540	17 085	11 703 766
Namur	12 711 606	3 284 223	3 796 276	385 091	4 359 568	309 946	24 846 710
Brabant Flamand	10 195 613	3 534 588	5 816 030	14 162 308	237 917	225 833	34 172 289
Brabant Wallon	1 820 958	490 530	234 652	981 330	158 278	176 727	3 862 475
Total général	90 795 919	20 174 637	31 247 062	161 488 704	15 506 727	9 036 229	328 249 278

Montant des dommages bruts par province et par type

Province	Immobilier	Mobilier	Professionnel	Agricole	Forêts et Immo non bâti	Véhicules privés	Total
Anvers	3 285	1 259	10 698	21 658	892	808	4 712
Bruxelles	1 153	669	3 322	0	0	1 572	1 127
Flandre Occidentale	2 777	1 046	8 149	12 789	527	313	9 338
Flandre Orientale	3 703	1 093	9 391	12 617	1 905	1 379	3 978
Hainaut	3 217	1 042	6 472	7 250	7 846	1 308	3 208
Liège	2 784	1 112	4 722	5 104	8 742	1 256	2 697
Limbourg	3 543	1 058	11 264	33 492	10 333	1 274	5 631
Luxembourg	4 734	1 096	8 032	2 318	8 088	503	4 976
Namur	3 419	1 237	6 391	4 875	17 096	993	3 284
Brabant Flamand	3 000	1 330	12 839	23 683	4 957	415	4 438
Brabant Wallon	2 654	1 176	2 933	20 027	6 882	1 290	2 775
Total général	3 114	1 154	8 503	14 369	9 398	1 179	4 632

Montant moyen des dommages bruts par type et par province : Total depuis 1993

A la lecture de ce tableau, on constate que les montants moyens immobiliers, mobiliers et aux véhicules privés sont relativement homogènes par province.

Il n'en va pas de même pour les autres types de dommages.

La moyenne par province est également très hétérogène.

La moyenne générale s'élève à 4 632 euros.

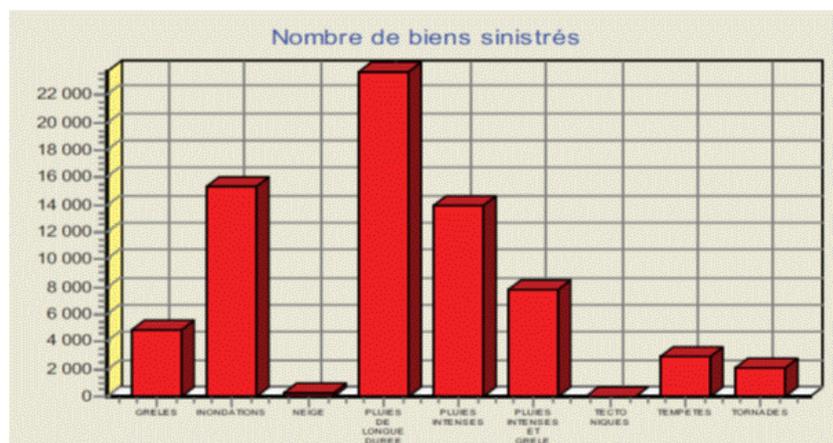
Cette analyse est néanmoins très partielle, car des hypothèses simplificatrices sont nécessaires pour parvenir à un chiffre.

Chaque calamité est unique : utiliser les moyennes passées des dommages pour des prévisions entraîne un risque certain.

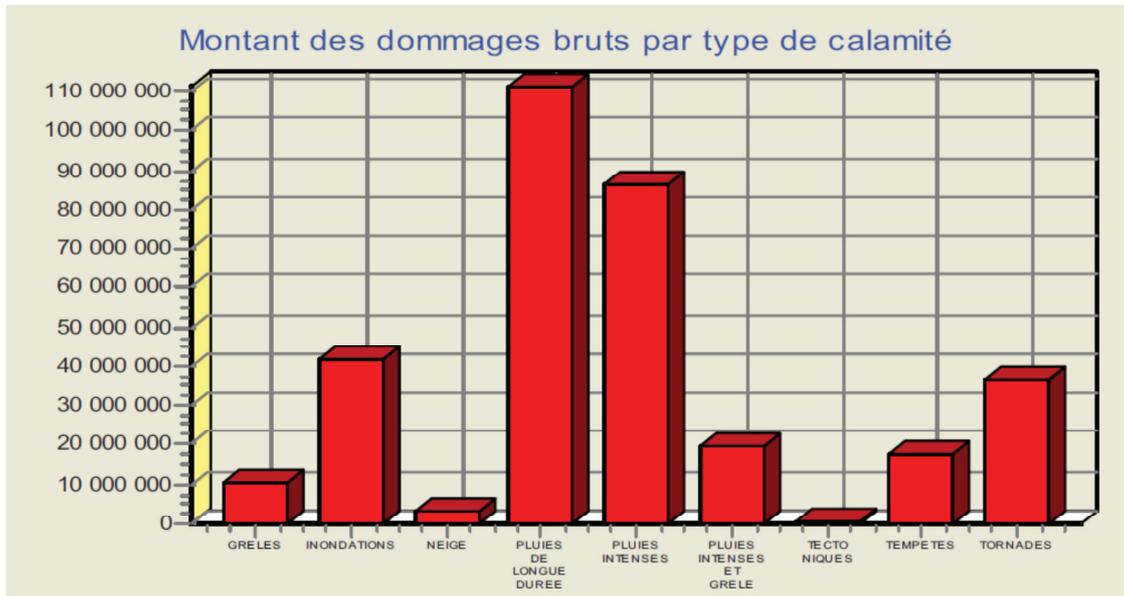
Impact du type de calamités sur le nombre de dommages et sur leur type

TYPES DE CALAMITE	NOMBRE DE BIENS SINISTRES	DOMMAGES BRUTS	VETUSTE	DOMMAGES NETS	MOYENNE DOMMAGES BRUTS	MOYENNE DOMMAGES NETS
GRELES	4 864	10 785 659	1 204 527	9 581 132	2 217	1 970
INONDATIONS	15 289	41 899 956	5 298 801	36 601 155	2 741	2 394
NEIGE	258	3 327 456	769 358	2 558 098	12 897	9 915
PLUIES DE LONGUE DUREE	23 716	111 357 932	5 019 751	106 338 180	4 695	4 484
PLUIES INTENSES	13 929	86 335 248	1 714 714	84 620 534	6 198	6 075
PLUIES INTENSES ET GRELE	7 765	19 729 881	1 258 313	18 471 568	2 541	2 379
TECTONIQUES	29	360 479	36 247	324 232	12 430	11 180
TEMPETES	2 869	17 553 959	1 514 157	16 039 802	6 118	5 591
TORNADES	2 143	36 898 708	2 229 854	34 668 855	17 218	16 178
TOTAL	70 862	328 249 276	19 045 721	309 203 556	4 632	4 363

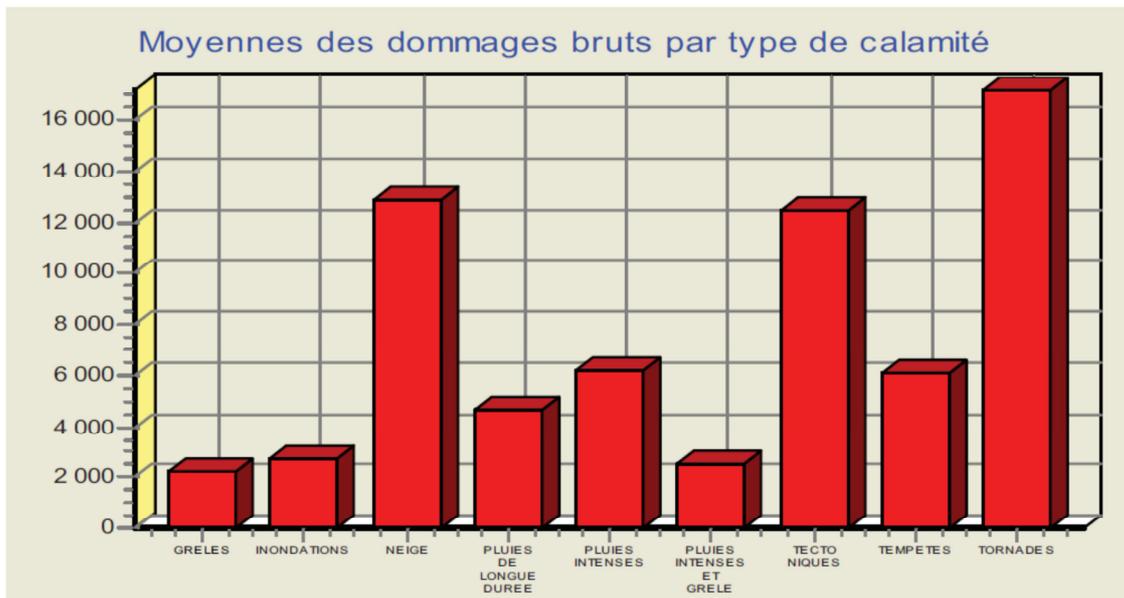
Nombre de biens sinistrés.



Montant des dommages bruts par type de calamité.



Moyenne des dommages bruts par type de calamité.

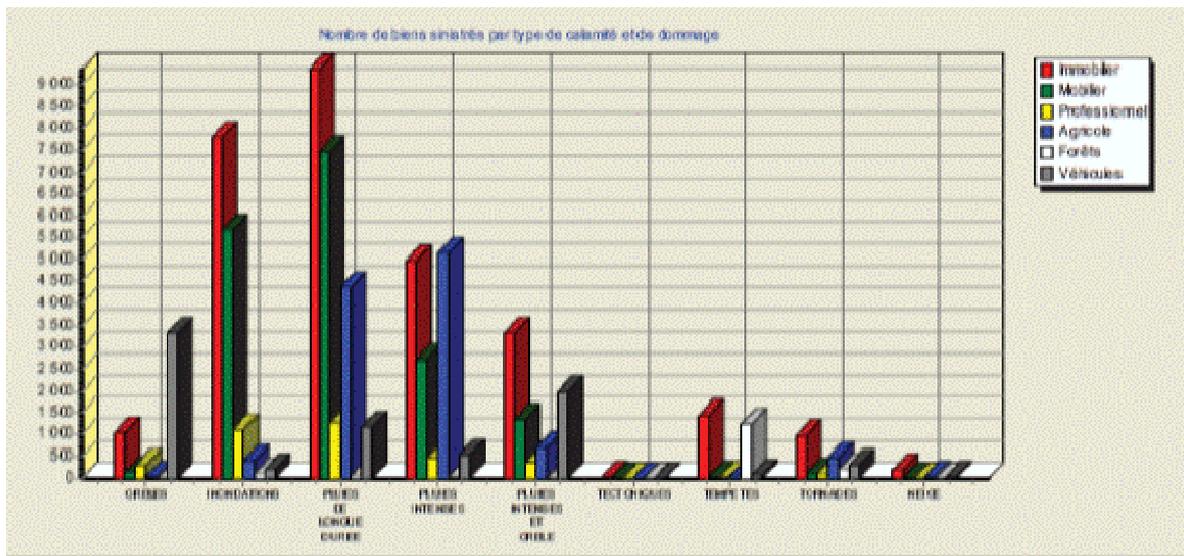


Nombre de Biens sinistrés par type de dommages et de calamité.

Type de calamité	Immobilier	Mobilier	Professionnel	Agricole	Forêts et Immo non bât	Véhicules privés	Total
GRELES	1 059	129	310	46	4	3 316	4 864
INONDATIONS	7 792	5 681	1 111	404	85	216	15 289
PLUIES DE LONGUE DUREE	9 349	7 456	1 269	4 370	80	1 192	23 716
PLUIES INTENSES	4 993	2 740	480	5 138	29	549	13 929
PLUIES INTENSES ET GRELE	3 341	1 346	369	716	3	1 990	7 765
TECTONIQUES	22	3	1	0	0	3	29
TEMPETES	1 442	28	32	61	1 244	62	2 869
TORNADES	960	92	91	483	201	316	2 143
NEIGE	199	2	12	21	4	20	258
TOTAL	29 157	17 477	3 675	11 239	1 650	7 664	70 862

Pourcentage de biens sinistrés par type de dommages et de calamité.

Type de calamité	Immobilier	Mobilier	Professionnel	Agricole	Forêts et Immo non bât	Véhicules privés	Total
GRELES	22%	3%	6%	1%	0%	68%	100%
INONDATIONS	51%	37%	7%	3%	1%	1%	100%
PLUIES DE LONGUE DUREE	39%	31%	5%	16%	0%	5%	100%
PLUIES INTENSES	36%	20%	3%	37%	0%	4%	100%
PLUIES INTENSES ET GRELE	43%	17%	5%	9%	0%	26%	100%
TECTONIQUES	76%	10%	3%	0%	0%	10%	100%
TEMPETES	50%	1%	1%	2%	43%	2%	100%
TORNADES	45%	4%	4%	23%	9%	15%	100%
NEIGE	77%	1%	5%	8%	2%	8%	100%
TOTAL	41%	25%	5%	16%	2%	11%	100%



Nombre de biens sinistrés par type et par province

Province	Immobilier	Mobilier	Professionnel	Agricole	Forêts et Immo non bât	Véhicules privés	Total
Anvers	4 250	2 776	474	919	33	675	9 127
Bruxelles	1 916	784	120	0	0	102	2 922
Flandre Occidentale	2 099	926	192	6 863	7	213	10 302
Flandre Orientale	3 269	1 581	627	1 245	18	3 327	10 067
Hainaut	2 455	1 266	152	569	54	171	4 667
Liège	4 212	2 581	466	378	534	940	9 111
Limbourg	2 160	1 331	353	490	48	1 209	5 591
Luxembourg	974	501	164	49	630	34	2 352
Namur	3 718	2 654	594	79	255	312	7 612
Brabant Flamand	3 399	2 658	453	596	48	544	7 700
Brabant Wallon	696	417	80	49	23	137	1 392
Total général	29 158	17 477	3 675	11 239	1 650	7 664	70 863

Méthodologie d'estimation des dommages liés à l'augmentation du risque d'inondation utilisée dans le projet AMICE

Le dommage est calculé comme suit :

$$\text{Dommage (euros)} = \text{Surface inondée (m}^2\text{)} \times \text{Dommage (\%)} \times \text{Prix spécifique (euros/m}^2\text{)}$$

Pour ce faire, trois étapes ont été réalisées : l'analyse d'exposition, la détermination des courbes de dommages et la détermination du prix spécifique.

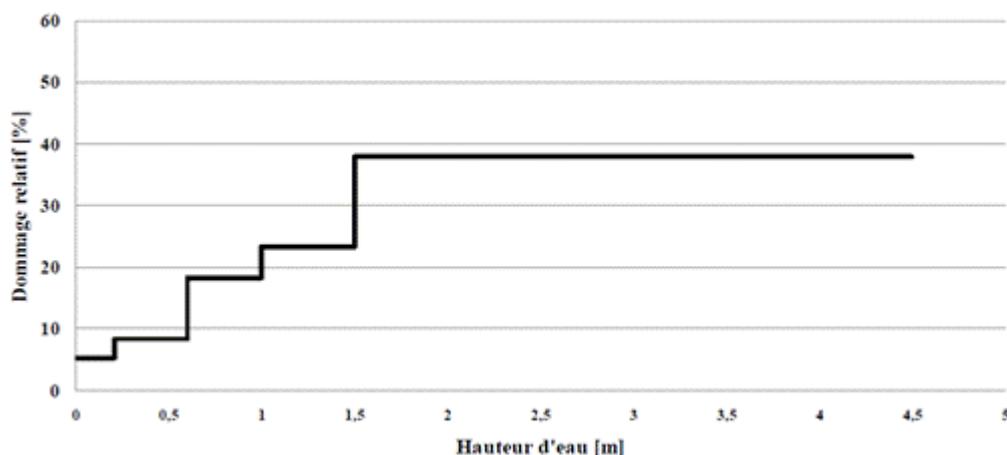
L'analyse d'exposition consiste à déterminer, à partir des emprises d'inondation, les éléments soumis au risque ainsi que leur nature.

Les courbes de dommages relient les variables hydrodynamiques (ici les hauteurs d'eau) et la nature de l'enjeu à un taux de dommage exprimé en pourcents de la valeur totale du bien.

Enfin, plusieurs méthodologies sont utilisées pour déterminer le prix spécifique des biens touchés.

Seuls sont évalués les impacts économiques directs et tangibles, en considérant comme prix de référence ceux de l'année 2009. Les impacts sociaux et environnementaux ne sont par contre pas évalués.

Le lien entre les caractéristiques de l'inondation et les dégâts relatifs occasionnés sont les courbes de dommages, spécifiques à chaque type d'enjeu. Elles relient directement une hauteur de submersion à un dégât relatif et dépendent du bien considéré. Certaines courbes de dommages exploitent également les vitesses de courant mais ces dernières ne sont pas utilisées dans le cadre du projet AMICE.



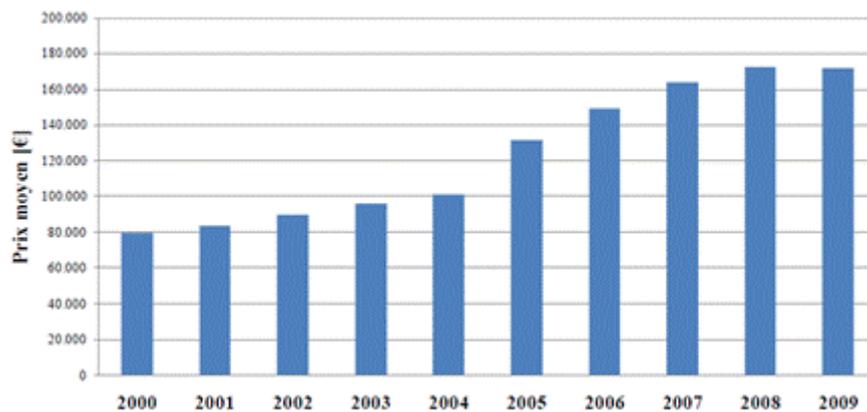
En outre, pour un même type de bien, plusieurs types de courbes sont utilisés en fonction de l'approche retenue. Lors de l'évaluation des dommages, des courbes de dommages spécifiques sont utilisées pour les biens immobiliers (bâtiments, cultures,..) et mobiles (véhicules,...).

Le projet utilise la base de données géographique européenne de référence Corine (qui fournit des cartes d'occupation du sol et comprends 44 catégories) et la base de données du PLI (qui contient les limites du bâti - bâtiments et parcelles associées et les limites des provinces, communes ainsi que des divisions et des sections cadastrales ce qui permet d'identifier la nature du bâti et est très utile lors de l'analyse d'exposition ainsi que lors des diverses méthodologies employées pour déterminer les prix spécifiques).

La Carte d'Occupation du Sol de Wallonie (COSW) permet au même titre que Corine de fournir des indications sur l'occupation du sol. Cependant, un degré de précision nettement plus élevé que les données Corine est atteint sur la dernière version de la COSW. Cette base de données est utile afin de vérifier les hypothèses concernant la prise en compte des infrastructures de transports. Cet aspect n'est en effet pas présent dans le PLI puisque ces infrastructures ne sont pas cadastrées.

La base de données du SPF Economie (ventes de biens immobiliers (1985-2010)³⁸) ainsi que les indices explicités ci-après constituent les données d'entrée exploitées afin d'estimer la valeur absolue des biens touchés par l'inondation.

La base de données du SPF Economie fournit, pour une année et une commune donnée : le nombre de transactions immobilières ; les superficies bâties et les montants totaux associés ainsi que le prix moyen correspondant. Ces données sont entre autre fournies pour les maisons d'habitation ordinaires qui font l'objet d'une étude approfondie.



L'index ABEX (cfr. www.abex.be) est une compilation des observations des membres d'une commission dont l'activité s'exerce au niveau national. Il permet d'analyser le coût de la construction d'habitations et de logements privés. Son origine est fixée à « l'index 1 », sur base de documents relatifs à deux immeubles construits en 1914 qui étaient une maison simple et une maison de commerce. Cet indice est attribué deux fois par année depuis 1975 et reflète l'évolution des prix de la construction (prix des matériaux, coût de la main d'œuvre...). Ainsi, par une simple règle de trois, les valeurs des transactions sont « actualisées ». Les indices ABEX moyens pour les années concernées sont :

³⁸ Il est à signaler que dû à un changement important dans le processus de traitement, une rupture de tendance est constatée entre 2004 et 2005.

Année	Indice ABEX _{moyen}
2009	677,0
2008	693,5
2007	659,5
2006	634,5

L'indice Trevis (cfr. http://www.trevi.be/fr/groupe_indice_fr.php) a été lancé en janvier 2005 pour répondre à la demande d'un nombre croissant d'intervenants sur le marché immobilier résidentiel belge désireux de disposer d'un indice immobilier calculé de façon régulière. Il est basé sur le prix de mise en vente d'un échantillon de 7.500 biens immobiliers recensés au cours du trimestre précédent sa publication.

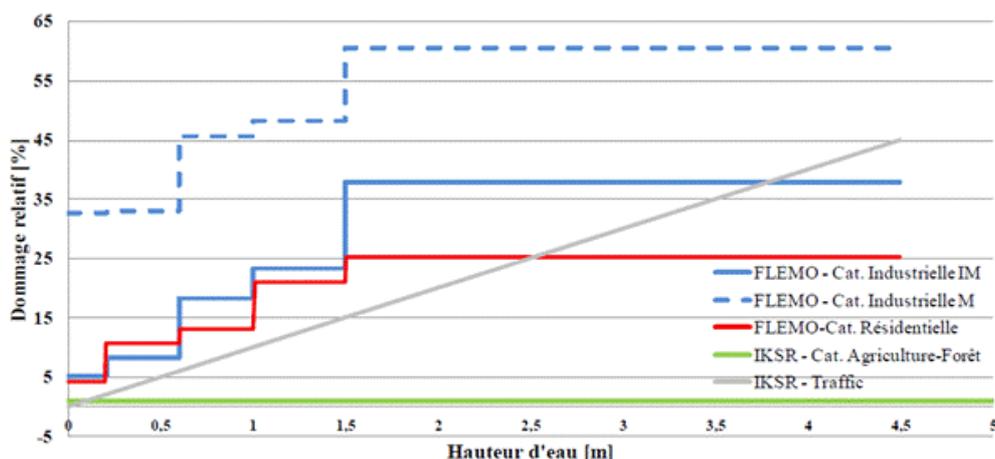
L'indice Trevis est donc un baromètre de l'évolution des prix de l'immobilier résidentiel établi trimestriellement sur un échantillon représentatif de biens répartis dans toute la Belgique.

Année	Indice Trevis _{moyen}
2009	108,045
2008	108,528
2007	109,370
2006	108,695

La première étape du calcul du dommage consiste à réaliser l'analyse d'exposition. Elle comprend la détermination des éléments soumis au risque et est réalisée à l'aide de la base données géographiques européenne Corine et selon la carte d'occupation des sols.

Les nombreuses catégories Corine sont agglomérées en 10 catégories de dommage. De plus, ces informations sont croisées avec les sections cadastrales du PLI afin d'obtenir des entités de calcul qui permettent d'agglomérer, in fine, les résultats selon différentes zones géographiques. Puisque tous les attributs des limites cadastrales et des catégories de dommage sont retenus dans le processus d'évaluation du dommage, il est aisé de reconstituer un dommage final par commune ou par catégorie de dommage.

Une courbe de dommage est nécessaire pour les secteurs résidentiel et industriel, les infrastructures, l'agriculture et les forêts. De plus, pour certaines d'entre elles, la distinction est faite entre les biens immobiliers et mobiliers tandis que les courbes de la classe agriculture et de la classe forêt sont uniques. En l'absence de données de ce type sur le territoire belge, les courbes déjà exploitées dans un précédent projet fédéral (Adapt) sont utilisées. Ces dernières portent le nom de FLEMO et correspondent aux catégories de dommages résidentielles et industrielles.



Une étude similaire menée sur l'atlas du Rhin (cfr. http://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/Dokumente_de/Rhein-Atlas/french/france_text.pdf) fournit les 3 courbes pour les 3 autres catégories que sont les forêts, l'agriculture et le trafic. La courbe de type « résidentiel » et de type « trafic » sont valables à la fois pour le mobile et pour l'immobile.

Le prix spécifique est ensuite déterminé pour chacune des catégories de dommage en faisant la distinction entre biens immobiliers et mobiliers. Cette découpe implique que, au sein d'une zone unique, plusieurs sous-zones peuvent cohabiter. Le prix imputable à une zone est alors une somme pondérée des différentes sous-zones qui la composent.

4 composantes dans le calcul du dommage de la catégorie « Trafic » sont considérés. En effet, outre les deux composantes (mobilier et immobilier) liées aux polygones des zones Corine « Trafic », deux composantes additionnelles considèrent le pourcentage d'infrastructures routières et de véhicules présent dans les zones résidentielles qui ne sont pas explicitement délimitées par les catégories Corine. A l'aide de la base de données du COSW, le pourcentage d'infrastructure routière est estimé à 12.6 % dans les communes inondées wallonnes.

Le calcul est effectué sur tous les polygones d'une même classe auquel cas un prix unique est associé à chacune des 5 classes sur toute la surface inondée en Wallonie. Il est à noter que les 5 prix spécifiques concernant les 5 catégories Corine sont calculés sur l'emprise d'inondation HQ100 et sont employés tels quels pour le calcul du dommage lié aux autres récurrences.

Le dommage monétaire total des inondations à proximité de la Meuse en Région wallonne s'obtient simplement en effectuant la somme des dommages pour tous les polygones.

Il en résulte un coût de l'inaction qui est le coût des futures inondations, dans le cas où aucune mesure n'est prise.

La plus grande contribution à l'ensemble des dommages provient de la catégorie résidentielle et industrielle. En se focalisant sur les dommages immobiliers, la catégorie résidentielle représente la plus grande contribution. D'autre part, les résultats des dommages mobiles montrent que l'industrie et la catégorie « trafic » représentent le plus de dégâts. Ceci est principalement dû à l'énorme coût des machines industrielles et au coût des véhicules.

Revue de la littérature concernant les infrastructures de transport

Les études sur l'impact quantitatif du changement climatique, hors épisodes extrêmes, ont été presque uniquement identifiées pour des pays non européens et avec des contraintes climatiques parfois très éloignées de la Wallonie : Etats-Unis/Alaska (Larsen et al., 2007), Royaume-Uni (DEFRA 2006), Australie (Austroads, 2004 et Cechet, 2004), Nouvelle-Zélande (Kinsella et al., 2005). Ces études ne sont pas directement exploitables pour ce travail car la transposition au niveau wallon peut poser des questions pour les raisons suivantes :

- le cas de l'Alaska est basé sur une situation de permafrost ; l'article étudie le coût de remplacement des infrastructures en Alaska, dans un cadre de changement climatique. Il s'intéresse surtout aux effets de la fonte du permafrost. Compte tenu des différences avec la Région wallonne, l'extrapolation des résultats est impossible, mais l'article propose une méthodologie intéressante.
- le cas britannique est un éclairage territorial restreint géographiquement ;

- le cas australien est basé sur des simulations spécifiques à la structure du réseau routier australien (le modèle combine des données d'entretien en fonction de variables climatiques ainsi que des scénarios d'impact de l'évolution démographique et urbaine du pays) et le modèle utilisé n'est pas dans le domaine public ;
- le cas néo-zélandais repose sur des estimations assez expérimentales de coût de surdimensionnement des ouvrages à dire d'experts néo-zélandais. Le rapport estime le coût approximatif d'adaptation des ponts existant en Nouvelle Zélande à des précipitations accrues causées par le changement climatique ainsi que la rentabilité économique de prendre en compte dès maintenant ces précipitations accrues dans la construction des nouveaux ponts.

Le corpus de recherches le plus important a été établi aux États-Unis, notamment par le « Rapport spécial sur les impacts potentiels du changement climatique sur les transports aux États-Unis » (Special report on the potential impacts of climate change on U.S. Transportation) (2008) réalisé par l'Office de recherche sur les transports (Transport Research Board, TRB) du Conseil national de recherche américain des académies nationales (US National Research Council of the National Academies) ainsi que par l'« Évaluation des impacts sur les infrastructures de transport dans la région côtière du Golfe du Mexique » (Assessment of the impacts on transportation infrastructure in the Gulf Coast region) du Programme scientifique sur le changement climatique des États-Unis (U.S. Climate Change Sciences Program, USCCSP). Ces deux rapports ont reconnu l'importance et le coût potentiellement élevé du changement climatique sur les infrastructures de transport aux États-Unis. Le TRB a montré que l'inondation des routes, des voies ferrées, des systèmes de transports et des pistes d'aéroport situés sur les zones côtières, du fait de l'élévation générale du niveau de la mer, constituait l'impact potentiel le plus important pour le système de transport nord-américain (2008). Par ailleurs, les deux rapports soulignent que l'augmentation des extrêmes climatiques, y compris les phénomènes de canicule, de précipitations intenses, d'ouragans, de sécheresses et d'élévation du niveau de la mer, ainsi que des marées de tempêtes et des affaissements de terrains, constituent, à des degrés divers, des risques significatifs pour divers régions et modes de transports (TRB, 2008, USCCSP, 2008). L'« Étude préliminaire sur les impacts du changement climatique au niveau sectoriel » (Preliminary study of climate change impacts across sectors) réalisée par le gouvernement canadien confirme le résultat des autres rapports, mais montre également que l'adoucissement du climat en hiver au Canada comporte à la fois des risques pour le pays (instabilité du terrain provoquée par la fonte du permafrost) mais aussi des bénéfices potentiels (baisse des coûts de maintenance des routes en hiver) (Ressources naturelles Canada, 2008).

Concernant les études relatives aux impacts pesant sur des régions spécifiques, l'étude préliminaire de l'USCCSP sur la région côtière du Golfe du Mexique identifie plusieurs impacts potentiels, en soulignant l'évolution du schéma de répartition des précipitations, qui entraîne à court terme des phénomènes d'inondation, une élévation du niveau de la mer inondant les infrastructures existantes, et une intensification des tempêtes conduisant à des interruptions de service plus fréquentes et à des dommages accrus sur les infrastructures.

L'évaluation des impacts potentiels qu'a menée le gouvernement de l'État de Victoria, en Australie, est parvenue à des conclusions similaires, en mettant l'accent sur les risques accrus d'inondation provoqués par une hausse de la fréquence des épisodes de vents violents ainsi que sur l'accélération de la dégradation des matériels et des structures. Avec un réseau routier évalué à lui seul à 32 milliards de dollars australiens, l'État de Victoria a reconnu que l'impact du changement climatique pourrait représenter un lourd poids financier sur les opérateurs et les propriétaires, y compris les conseils municipaux, le gouvernement de l'État et les acteurs privés. L'idée forte qui ressort de l'essentiel de la littérature est que le changement climatique pourrait réduire de façon significative la durée de vie de la plupart des infrastructures de transport et en accroître les coûts de maintenance et de remplacement.

La littérature indique que les impacts sur les infrastructures de transport situées en zones urbaines seront comparables à ceux mis en avant par les études portant sur l'impact mondial du changement climatique. Toutefois, du fait de la plus forte concentration et densité d'infrastructures de transport en zones urbaines, les impacts ponctuels au sein des villes pourraient entraîner des dommages bien supérieurs.

La littérature note également que les impacts liés à la température dans les villes pourraient se trouver exacerbés par les effets d'îlots de chaleur urbaine, augmentant le niveau de température moyen au-delà des normes régionales (Atkins, 2006).

Dans le cadre d'une analyse relative aux impacts du changement climatique sur les réseaux de transports de la ville de Londres (LCCP, 2005; Atkins, 2006), les scénarios climatiques montrent que la capitale britannique peut tabler sur des hivers plus humides et plus doux, des averses plus intenses, des étés plus chauds et plus secs, caractérisés par des valeurs de température extrêmes plus fréquentes, et une élévation du niveau de la mer, avec un risque accru de raz-de-marée.

À cet égard, la ville de Londres prévoit une augmentation des phénomènes d'inondation de son métro, des infrastructures routières et ferroviaires, y compris la fermeture prolongée de stations de métro, des dommages sur les infrastructures routières et ferroviaires nationales desservant la zone urbaine et des incidences sur la santé des voyageurs empruntant le système de transport public (LCCP, 2005).

Des études comparables, menées dans la zone métropolitaine de Boston, (Suarez et al., 2005), dans la région de New York (Zimmerman, 1999; TRB, 2008:92-96) et dans la région de Seattle et du Puget Sound (TRB, 2008 :98-100) aux États-Unis présentent des résultats similaires, y compris une vulnérabilité accrue des infrastructures routières et des ponts qui se trouvent bien souvent dans de piètres conditions ; c'est le cas de près de 30 % des 105 ponts que compte actuellement Seattle.

Il convient de noter que, dans bien des cas, les coûts liés aux impacts du changement climatique reposent sur les propriétaires de ces infrastructures, à savoir les municipalités elles-mêmes et sur un nombre croissant d'acteurs privés qui, dans bien des cas, se trouvent confrontés à des situations financières difficiles pour faire face à l'arriéré des réparations d'infrastructures nécessaires (TRB, 2008; Karhl & Roland-Holst, 2008; Gouvernement de Victoria, 2007). S'ils ne sont pas pris en compte, les impacts du changement climatique ne serviront qu'à exacerber les charges financières qui pèsent sur les municipalités.

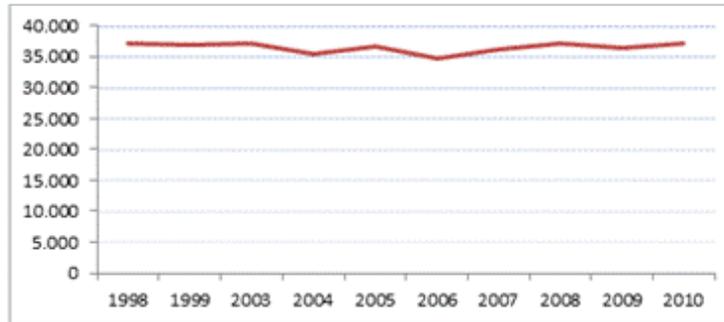
Les impacts du changement climatique sur les infrastructures de transport ont ainsi fait l'objet d'une attention moindre de la part des Européens. Cependant, quelques exemples méritent d'être cités :

- Le Programme du Royaume-Uni sur l'impact du changement climatique a inclus le transport dans le cadre de ses sujets d'étude, et les transports ont été intégrés à l'analyse régionale réalisée dans l'ensemble du Royaume-Uni. DEFRA 2013 (sur base de Thornes et al., 2012 et Ramsbottom et al.2012) a estimé, à titre purement indicatif, des coûts liés aux impacts potentiels des inondations sur le transport.
- Les Pays-Bas ont intégré une partie de cette analyse dans le cadre de leur communication nationale à la CCNUCC, mais l'auteur n'a identifié aucune étude d'ensemble.
- La littérature relative à l'impact du changement climatique sur les infrastructures de transport est très limitée en France. À l'exception de quelques mentions dans des articles concernant principalement la vulnérabilité et la mitigation au sein du secteur des transports (Cochran, 2009 ; Bureau, 2008; Gastaud, 2006), seul le rapport de l'ONERC décrit et quantifie (sommairement) les impacts potentiels en France.

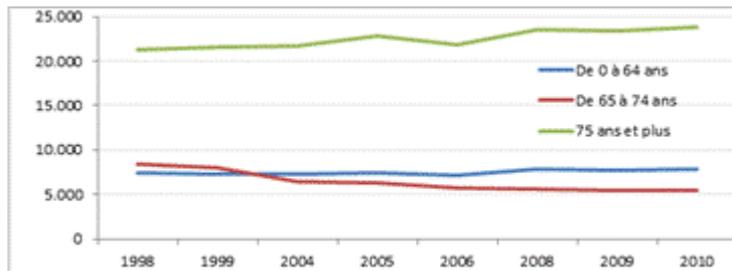
ANNEXE SANTÉ

Evolution de la mortalité et des admissions hospitalières

D'après les tables de mortalité établies et publiées par La Direction générale Statistique et Information économique (DGSIE) du SPF Économie, le nombre de décès enregistrés en Wallonie a évolué de 1998 à 2010 comme suit:



Evolution du nombre annuel de décès en Wallonie (1998-2010). Source : SPF Economie, statistiques population 2014



Evolution du nombre annuel de décès en Wallonie par groupe d'âge (1998-2010). Source : SPF Economie, statistiques population 2014

En Belgique, l'hospitalisation classique – avec nuitée – est complétée par un système d'hospitalisation de jour et de policlinique. En cas d'hospitalisation de jour, le patient subit un traitement pour lequel une infrastructure hospitalière est requise mais rentre chez lui le jour-même. On distingue l'hospitalisation de jour chirurgicale et l'hospitalisation de jour non chirurgicale liée à une utilisation ou non du bloc opératoire.

La figure ci-après montre que depuis 2004, le nombre d'hospitalisations de jour augmente d'année en année.



Évolution du nombre d'admissions hospitalières en Belgique. Source : Mutualité Chrétienne, l'organisation et le financement des hôpitaux, 2013.

Les données de la figure ci-après proviennent de l'analyse des Résumés Cliniques Minimum (RCM) récoltés par le SPF (Service public fédéral) Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement et publiées dans le tableau de bord de la santé de Wallonie - 2009.

Les chiffres d'admissions hospitalières renseignent sur la répartition des principales causes d'hospitalisation (avec nuitée). Ces chiffres sont un reflet indirect de la fréquence des formes les plus sérieuses (celles qui nécessitent d'être hospitalisé) d'une pathologie dans une population. Toutefois, d'autres facteurs influencent la fréquence de l'hospitalisation : accessibilité géographique, offre de services, habitudes de recours aux soins, confiance accordée aux hôpitaux locaux, etc.

Actuellement, en Belgique, les causes d'hospitalisation sont codifiées, selon la neuvième version de la classification internationale des maladies (CIM9). Les séjours hospitaliers sont ensuite regroupés par grands groupes appelés les APRDRG grâce à un logiciel dont disposent les hôpitaux et le SPF. Le regroupement des séjours hospitaliers en APR-DRG entre actuellement en ligne de compte pour le financement des lits d'hôpitaux. L'exploitation épidémiologique de ces données est plus restreinte.

Catégorie majeure de diagnostic RCM 2006	Belgique	Wallonie	Bruxelles	Flandre
Système ostéoarticulaire	23,20	21,15	17,68	24,32
Système circulatoire	20,00	19,99	14,79	20,30
Système digestif	17,88	18,33	15,42	17,72
Grossesse et accouchement	13,96	14,10	19,95	12,64
Système nerveux	12,64	13,73	10,77	12,04
Système respiratoire	12,67	12,87	12,16	12,45
Reins et voies urinaires	6,94	7,03	6,68	6,77
Nez, gorge, oreilles	6,68	6,46	6,28	6,73
Peau, tissu sous-cutané, seins	5,65	5,69	5,63	5,44
Réhabilitation	5,00	5,37	4,66	4,71
Foie, vésicule biliaire et pancréas	4,72	5,21	4,65	4,33
Maladies endocriniennes, nutritives et métaboliques	5,22	4,83	4,18	5,20
Organes génitaux féminins	4,36	4,62	3,75	4,23
Troubles mentaux	2,96	3,47	2,85	2,63
Effets indésirables des traitements	2,73	3,29	2,82	2,29
Maladies myéloprolifératives, lymphomes	3,93	3,02	3,71	4,37
Organes génitaux masculins	2,54	2,38	2,06	2,66
Maladies des yeux	1,76	1,97	1,74	1,58
Maladies infectieuses et parasitaires	2,03	1,94	1,95	2,05
Alcoolisme et usage de drogue	1,39	1,91	1,31	1,07
Sang et organes hématopoïétiques	1,58	1,61	1,54	1,54
Nouveaux-nés - Affections d'origine périnatale	0,97	1,05	1,70	0,78
Traumatismes multiples	0,22	0,26	0,17	0,18
Brûlures	0,13	0,13	0,06	0,14
Infections HIV	0,11	0,08	0,40	0,07
Autres et indéterminés	1,65	1,55	1,42	1,68
Total	160,91	162,02	148,36	157,93

Fréquence des admissions en fonction du diagnostic principal d'hospitalisation : taux brut d'admission pour 1 000 habitants par an en fonction du domicile du patient. Source : SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement, RCM 2006

Le tableau montre environ 130000 admissions hospitalières pour des problèmes respiratoires en Belgique et environ 44000 hospitalisations en Wallonie.

Le taux d'admission à l'hôpital par APR-DRG montre des différences plus importantes entre les différentes provinces wallonnes qu'entre les régions du pays. Le taux global d'hospitalisation est bas en Brabant wallon et élevé en Hainaut. Les mêmes tendances s'observent pour chacun des grands groupes d'hospitalisation. On retrouve les mêmes causes principales d'admission à l'hôpital et le même ordre d'une province à l'autre.

Il s'agit de taux bruts. Les différences peuvent être liées aux caractéristiques démographiques des provinces, à l'état de santé des populations, à l'offre de soins et aux habitudes de recours aux soins.

Catégorie	Namur	Luxembourg	Liège	Hainaut	Brabant wallon
Système ostéoarticulaire	20,60	21,21	20,14	22,80	18,87
Système circulatoire	21,41	19,57	19,55	20,92	16,46
Système digestif	18,08	16,25	18,43	19,79	14,72
Grossesse et accouchement	14,00	14,20	13,96	14,55	12,93
Système nerveux	14,46	13,47	13,21	14,87	10,44
Système respiratoire	12,67	11,10	12,57	14,33	10,03
Reins et voies urinaires	6,97	5,81	7,04	7,53	6,20
Nez, gorge, oreilles	6,16	5,94	6,05	7,43	4,96
Peau, tissu sous-cutané, seins	5,36	4,92	5,55	6,12	5,54
Réhabilitation	6,45	7,55	4,23	5,53	5,08
Autres et indéterminés	36,48	35,81	39,46	38,03	30,69
Total	162,65	155,84	160,20	171,91	135,92

Fréquence des admissions en fonction du diagnostic principal d'hospitalisation : taux brut d'admission pour 1000 habitants par an en fonction du domicile du patient. Source : SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement, RCM 2006

Revue de la littérature sur l'impact de la température sur la mortalité et morbidité en 2050

La figure ci-après montre une série d'articles scientifiques qui ont projeté la mortalité attribuable au changement climatique futur en utilisant différentes scénarios climatiques ainsi que les scénarios et hypothèses utilisés (Huang C. et al., 2011).

Reference	Setting	Study period	Mortality	Temperature exposure	Projection results
Jackson et al. 2010	Four areas in Washington State: the Greater Seattle Area, Tri-Cities, Spokane County, and Yakima County, USA	2025, 2045, 2085	Heat events and air pollution	Humidex	The largest number of projected deaths in all years and scenarios for the Seattle region was found for persons ≥ 65 years of age. Under the middle warming scenario, this age group is expected to have 96, 148, and 266 excess deaths in 2025, 2045, and 2085, respectively.
Hayhoe et al. 2010	Chicago, USA	1961–1990, 2010–2039, 2040–2069, 2070–2099	Heat related	Spatial Synoptic Classification	Annual average mortality rates by the end of this century are projected to equal 1995 levels under lower B1 emissions scenario and to reach twice 1995 levels under higher A1FI emissions scenario.
Baccini et al. 2010	Fifteen European cities: Athens, Barcelona, Budapest, Dublin, Helsinki, Ljubljana, London, Milan, Paris, Prague, Rome, Stockholm, Turin, Valencia, Zurich	2030	Heat related	Maximum apparent temperature	The number of heat-related deaths per summer ranged from 0 in Dublin to 423 in Paris. The highest impact was in three Mediterranean cities (Barcelona, Rome, and Valencia) and in two continental cities (Paris and Budapest). The largest impact was on persons > 75 years of age, but in some cities relatively large proportions of heat-related deaths were also found among younger adults.
Doherty et al. 2009	Fifteen U.K. conurbations in England and Wales	2003, 2005, 2006, 2030	Heat and ozone exposure	Mean temperature	In the summers of 2003, 2005, and 2006 around 5,000 deaths were attributable to heat in England and Wales. The authors did not present the 2030 projection results.
Cheng et al. 2009b	Four cities in south-central Canada: Montreal, Ottawa, Toronto, and Windsor	2040–2069, 2070–2089	Differential and combined impacts of extreme temperatures and air pollution	Synoptic weather typing	Heat-related mortality is projected to be more than double by the 2050s and triple by the 2080s from the current levels. Cold-related mortality could decrease by 45–60% and 60–70% by the 2050s and the 2080s, respectively. Population acclimatization to increased heat could reduce future heat-related mortality by 40%.
Gosling et al. 2009	Six U.S., European, and Australian cities: Boston, Budapest, Dallas, Lisbon, London, and Sydney	2070–2099	Summer heat related	Maximum temperature	Higher mortality is attributed to increases in the mean and variability of temperature with climate change rather than with the change in mean temperature alone. Acclimatization to an increase of 2°C reduced future heat-related mortality by approximately half that of no acclimatization in each city.
Doyon et al. 2008	Three cities in Québec, Canada: Montréal, Québec, and Saguenay	2020, 2050, 2080	Heat and cold related	Mean temperature	A significant increase in summer mortality is projected, and a smaller but significant decrease in fall. The slight changes in projected mortality for winter and spring were not statistically significant. The changes in projected annual mortality are dominated by an increase in mortality in summer, which is not balanced by the decrease in mortality in fall and winter. The difference between the mortality changes projected with the A2 or B2 scenarios was not statistically significant.
Knowlton et al. 2007	New York City region, USA	1990s, 2050s	Summer heat related	Mean temperature	Projected increases in heat-related mortality by the 2050s ranged from 47% to 95%, with a mean 70% increase compared with the 1990s. Acclimatization reduced future summer heat-related mortality by about 25%. Urban counties had greater numbers of deaths and smaller percentage increases than did less urbanized counties.
Takahashi et al. 2007	The entire globe	2091–2100	Heat related	Maximum temperature	When the changes of excess mortality due to heat were examined by country, the results showed increases of approximately 100% to 1,000%. When considered with present population densities, significant increases in excess mortality are predicted in China, India, and Europe.
Hayhoe et al. 2004	Los Angeles, USA	2070–2099	Heat related	Maximum apparent temperature	From a baseline of around 165 excess deaths during the 1990s, heat-related mortality was projected to increase by about 2–3 times under B1 and by about 5–7 times under A1FI by the 2090s if acclimatization was taken into account. Without acclimatization, these estimates were 20–25% higher.
Dessai 2003	Lisbon, Portugal	2020s, 2050s, 2080s	Summer heat related	Maximum temperature	Annual heat-related mortality was estimated to increase from between 5.4–6.0 (per 100,000) for 1980–1998 to between 5.8–15.1 for the 2020s. By the 2050s, the potential increase ranged from 7.3 to 35.6. For the summer months mean approach, acclimatization reduced deaths on average by 15% for the 2020s and 40% for the 2050s, respectively, whereas for the 30-day running mean approach acclimatization reduced deaths by 32% and 54%.
Guest et al. 1999	Five cities in Australia: Adelaide, Brisbane, Melbourne, Perth, Sydney	2030	Heat and cold related	Temporal synoptic indices	After allowing for increases in population and combining all age groups, the projection is a 10% reduction in mortality in the year 2030 when considering reduced winter mortality.
Martens 1998	Twenty cities worldwide: Mauritius, Buenos Aires, Caracas, San Jose, Santiago, Beijing, Guangzhou, Singapore, Tokyo, Amsterdam, Athens, Budapest, London, Madrid, Zagreb, Los Angeles, New York, Toronto, Melbourne, Sydney	2040–2100	Heat and cold related	Mean temperature	For most of the cities, global climate change is likely to lead to a reduction in mortality rates because of decreasing winter mortality. This effect is most pronounced for cardiovascular mortality in elderly people in cities that experience temperate or cold climates at present.
Kalkstein and Greene 1997	Forty-four U.S. cities with > 1 million people	2020, 2050	Heat and cold related	Spatial Synoptic Classification	Increases in the frequency of summer high-risk air masses could contribute to significantly higher summer mortality, especially for the 2050 models. Increases in heat-related mortality ranged from 70% for the most conservative GCM to $> 100\%$ for the other GCMs in 2050, even if the population acclimatized to the increased heat. Winter mortality would drop slightly, but this would not offset the increases in summer mortality to any significant degree.

Reference	Baseline temperature-mortality relationship	Climate change scenario ^a	Climate model ^b	Downscaling	Demographic change	Acclimatization
Jackson et al. 2010	The relationship between age- and cause-specific mortality from 1960 to 2006 and heat events at the 99th Humidex percentile from 1970 to 2006	Three scenarios: high, moderate, and low summer warming	The high scenario was the HadCM-A1B model, the low scenario was the PCM1-B1 model, and the middle scenario was the mean of the two composite models using either the A1B or B1 emissions scenario	Did not consider	Projected county population estimates by age group were obtained for the years 2005–2030; in predicting future heat-related mortality, the population was held constant at the 2025 projection, which allowed differences in excess deaths between years to be interpreted as the component due to climate change	Assumed no acclimatization
Hayhoe et al. 2010	The Spatial Synoptic Classification method to quantify the meteorological and seasonal contributions to heat-related mortality in Chicago for the years 1961–1990	Two scenarios: A1FI and B1	Three GCMs: GFDL CM2.1, HadCM3, and PCM	Statistical downscaling	Assumed no demographic change	Assumed no acclimatization
Baccini et al. 2010	The study of city-specific air-quality-adjusted estimates of mortality risk by maximum apparent temperature over the years 1990–2001 (Baccini et al. 2008)	Three scenarios: B1, A1B, and A2	Did not use any climate models; B1 equal to 1.8°C, A1B equal to 2.8°C, A2 equal to 3.4°C increase in temperature by 2050–2099 relative to 1980–1999	Did not consider	Assumed no demographic change	Assumed no acclimatization
Doherty et al. 2009	Estimates of ozone- and heat-mortality were based on time series of daily mortality for the period May–September 1993–2003 for the 15 English and Welsh conurbations	Three scenarios: optimistic (maximum feasible reduction), pessimistic (SRES A2), and current legislation	The coupled WRF-EMEP4UK model was used to simulate daily surface temperature and ozone	Did not consider	Assumed no demographic change	Did not consider
Cheng et al. 2009b	An automated synoptic weather typing approach was used to assess the relationship between weather types and elevated mortality for the years 1954–2000 (Cheng et al. 2009a)	Three scenarios: IS92a, A2, and B2	Canadian GCM CGCM1, Canadian GCM CGCM2, U.S. GCM GFDL-R30	Statistical downscaling	Assumed no demographic change	The five hottest and coolest summers in each city were selected; the difference in daily mean deaths between the hottest and coolest summers was assumed to be due to acclimatization
Gosling et al. 2009	The relationship between temperature and summer mortality in different cities for the historical years (Boston 1975–1998, Budapest 1970–2000, Dallas 1975–1998, Lisbon 1980–1998, London 1976–2003, and Sydney 1988–2003) (Gosling et al. 2007)	Two scenarios: A2 and B2	The U.K. HadCM3 GCM	Did not consider	Assumed no demographic change	Three possibilities: no acclimatization, acclimatization to an increase of 2°C, and acclimatization to an increase of 4°C relative to present
Doyon et al. 2008	The relationship between total mortality (excluding trauma) and climate for different cities during the period 1981–1999	Two scenarios: A2 and B2	The U.K. HadCM3 GCM	Statistical downscaling	Assumed no demographic change	Assumed no acclimatization
Knowlton et al. 2007	Derived from a study of observed temperature and mortality in 11 eastern U.S. cities for the years 1973–1994 (Curiero et al. 2002)	Two scenarios: A2 and B2	The GISS–MMS linked model	Dynamic downscaling	Assumed no demographic change	Modeled acclimatization by using a heat exposure–mortality response function derived from two U.S. cities with current observed temperatures similar to those projected for the 2050s in the New York region
Takahashi et al. 2007	The relationship between temperature and mortality in the 47 prefectures of Japan for the years 1972–1995	One scenario: A1B	CCSR/NIES/FRCGC GCM	Did not consider	Assumed no demographic change	Assumed no acclimatization

Reference	Baseline temperature-mortality relationship	Climate change scenario*	Climate model†	Downscaling	Demographic change	Acclimatization
Hayhoe et al. 2004	An algorithm was developed for all days with maximum apparent temperatures at or above 34°C to estimate daily heat-related mortality during 1961–1990	Two scenarios: B1 and A1F1	Two GCMs: PCM and HadCM3	Statistical downscaling	Assumed no demographic change	Selected "analogue summers" best duplicating the summers as expressed in the climate change scenarios; for Los Angeles, the five hottest summers over the past 24 years were selected based on mean summer apparent temperature values
Dessai 2003	The climate-mortality relationship of the summer months of 1980–1998 (Dessai 2002)	The median of the modeled values was used because at the time RCMs had not been run with all the SRES scenarios	Two RCMs: PROMES and HadRM2	High-resolution RCMs that yield greater spatial details about climate	The population growth rate from each SRES storyline (A1, A2, B1, and B2) was applied to the 1990 Lisbon population to produce 10-year spaced population figures until 2100; the median population from these calculations was used for simplicity	Assumed that complete acclimatization to an extra 1°C (compared with the 1990s) is reached after three decades
Gust et al. 1999	The relationship between temperature and mortality (cause specific and all cause) during the period 1979–1990	Low and high climate change scenarios	The CSIRO-Mk2 GCM	Did not consider	Data on projected population for 2030 were obtained; these data account for aging as well as growth of the population	Assumed no acclimatization
Martens 1998	A meta-analysis giving an aggregated effect of mean temperature on mortality for total, cardiovascular, and respiratory mortality	Three GCMs scenarios	Three GCMs: ECHAM4-A, UKTR, and GFDL89	Did not consider	Assumed no demographic change	The sensitivity of heat- and cold-related mortality to physiological as well as socioeconomic adaptation was examined
Kalkstein and Greene 1997	An air mass-based synoptic procedure was used to evaluate the relationships between synoptic events and mortality for the period of 1964–1991	Three GCMs scenarios	Three GCMs: GFDL, UKMO, and the Max Planck Institute for Meteorology model	Did not consider	Assumed no demographic change	Analogue cities were established for each city; these analogues represent cities whose present climate approximates the estimated climate of a target city as expressed by the GCMs

D'autres études ont été réalisées aussi au niveau national et régional pour estimer l'impact du changement climatique sur la mortalité.

Par exemple, une augmentation de la mortalité à cause de la chaleur de 257% a été estimée pour le Royaume-Uni en 2050 (Donaldson G. et al. 2001 et Hajat et al. 2013) sans tenir compte de l'acclimatation mais en prenant en compte le vieillissement de la population (par rapport à une mortalité estivale actuelle à cause de la chaleur d'environ 2000 décès annuels).

En France, les précédents des étés les plus chauds des cinquante dernières années (1947, 1949, 1952, 1961, 1962, 1964, 1976, 1978, 1982, 1985, 1986, 1989, 1990, 1991) ont permis d'extrapoler, pour le milieu du siècle prochain, un taux moyen d'augmentation des décès de 12 % à 18 %. Cette prévision est bien inférieure à celles effectuées aux Etats-Unis d'Amérique (doublement ou triplement de la mortalité estivale).

Au Québec, une augmentation de la mortalité estivale de l'ordre de 2 % pour 2020, de 6 % pour 2050, et de 10 % pour 2080, ainsi qu'une augmentation de la mortalité annuelle de l'ordre de 0,5 % pour 2020, 1,5 % pour 2050, et de 3 % pour 2080 est estimée pour le scénario A2. En nombre absolu de décès par année, il s'agirait d'une augmentation de l'ordre de 150 décès annuels en 2020, de 550 décès annuels en 2050, et de 1 400 en 2080 pour le Québec méridional. L'intervalle de confiance à 95 % de ces chiffres montre cependant une grande étendue des valeurs possibles, qui varient aussi selon les scénarios climatiques utilisés. Par contre ces données ne tiennent pas compte du vieillissement prévisible de la population, qui aura tout probablement tendance à faire augmenter le nombre de décès liés au réchauffement (Gosselin et al., 2008).

Fonctions exposition-réponse utilisées par le projet PESETA II pour estimer l'impact de la température et des vagues de chaleur sur la mortalité et la morbidité ainsi que la contamination alimentaire et par l'eau pour chaque augmentation de 1°C au-dessus d'un seuil de température.

Box 1 Exposure- response functions for temperature-related mortality (excluding heatwave impact)

Temperature-related mortality		<i>Number of premature deaths</i>	
Thresholds		°C	
North Continental	Urban	23,3	
	Rural	24,1	
Mediterranean	Urban	29,4	
	Rural	29,9	

% Change for 1C increase above threshold		%Change	
North Continental	0-64	Cardiovascular	1.04
		Respiratory	3.02
	65-74	Cardiovascular	1.5
		Respiratory	3.9
	75+	Cardiovascular	2.55
		Respiratory	6.62
Mediterranean	0-64	Cardiovascular	0.57
		Respiratory	1.54
	65-74	Cardiovascular	1.92
		Respiratory	3.37
	75+	Cardiovascular	4.66
		Respiratory	8.1

Box 2 Exposure-response functions for temperature-related morbidity

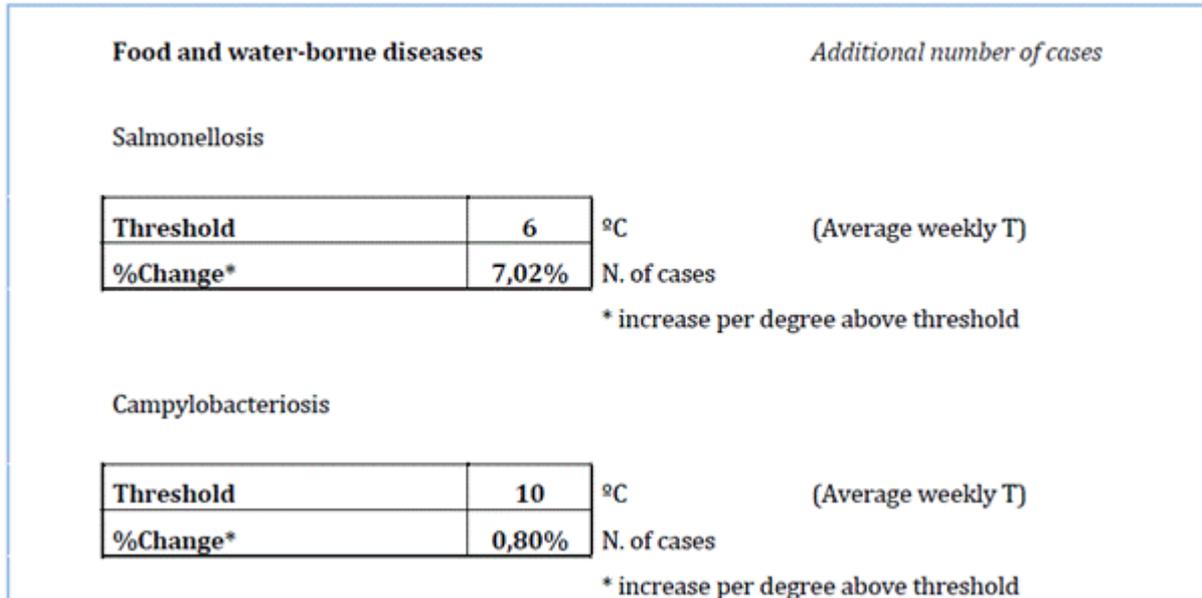
Temperature-related morbidity		<i>Hospital admissions</i>	
Thresholds		°C	
North Continental	Urban	26,4	
	Rural	27,1	
Mediterranean	Urban	33,4	
	Rural	34,4	
% Change for 1C increase above threshold		%Change	
North Continental	0-64	Respiratory	3,02
	65-74	Respiratory	3,9
	75+	Respiratory	6,62
Mediterranean	0-64	Respiratory	1,54
	65-74	Respiratory	3,37
	75+	Respiratory	8,1

Box 3 Heat waves impact on mortality and morbidity

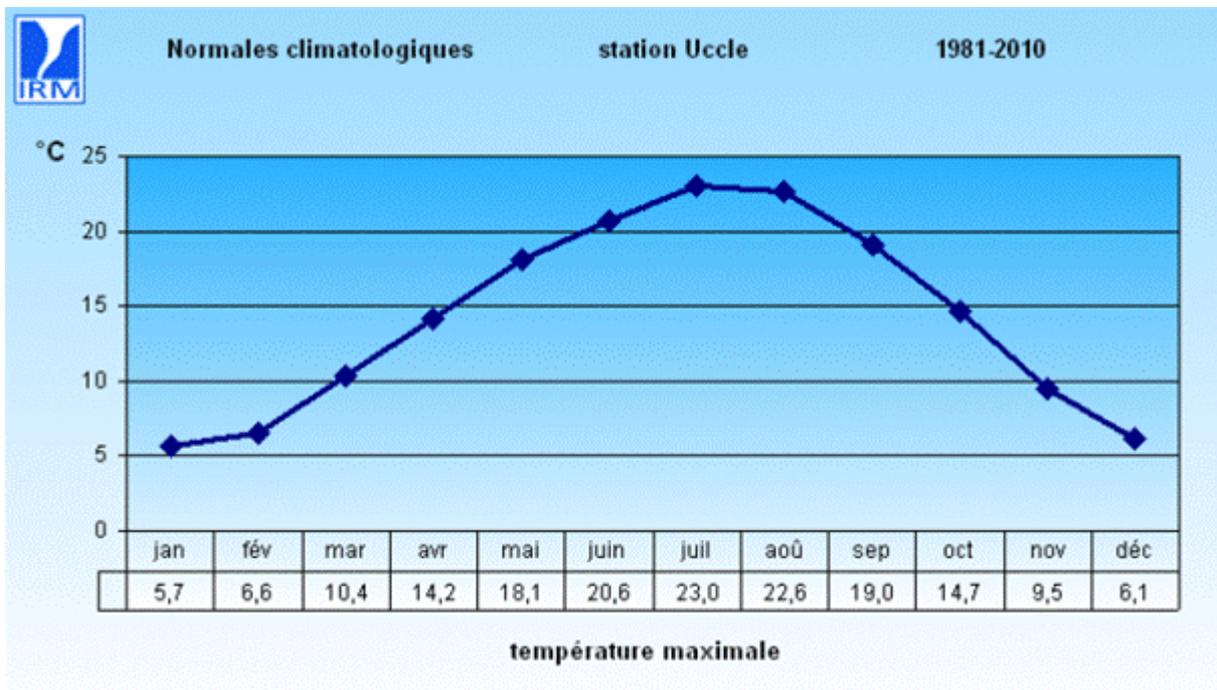
Heat waves mortality		<i>Number of premature deaths</i>	
% Change for additional day with heatwave effect		% Change	
North Continental	0-64	Cardiovascular	5,03
		Respiratory	3,02
	65-74	Cardiovascular	9,55
		Respiratory	3,9
	75+	Cardiovascular	13,38
		Respiratory	6,62
Mediterranean	0-64*	Cardiovascular	13,87
		Respiratory	1,54
	65-74	Cardiovascular	26,35
		Respiratory	3,37
	75+	Cardiovascular	33,7
		Respiratory	8,1

Heat waves morbidity		<i>Hospital admissions</i>	
		% Change	
North Continental	0-64*	Renal Failure	5,03
		Respiratory	3,02
	65-74	Renal Failure	9,55
		Respiratory	3,9
	75+	Renal Failure	13,38
		Respiratory	6,62
Mediterranean	0-64*	Renal Failure	13,87
		Respiratory	1,54
	65-74	Renal Failure	26,35
		Respiratory	3,37
	75+	Renal Failure	33,7
		Respiratory	8,1

Box 4 Exposure-response functions for food and water-borne diseases



Température maximale moyenne en Belgique



Données économiques

Une banque de données relatives à l'utilisation des moyens médicaux dans les hôpitaux est accessible au public sur internet. Elle contient des informations sur les coûts des traitements médicaux et sur le type de soins dispensés. Ces informations sont disponibles par hôpital et pour l'ensemble des hôpitaux sur le site <https://tct.fgov.be/webetct/etct-web/html/fr/index.jsp>.

Montants totaux par maladie en 2010

	Nombre de séjours	Prix journée recalculé à 100%	Médicaments	Prestations	Bio. Clin. (25%)	Autres Montants (Forfaits inclus)	Montant total
MDC	3.844	81.302.393,54	26.814.987,42	40.830.618,09	5.689.496,14	15.969.420,52	170.606.915,71
Pré-MDC							
01 Système nerveux	116.854	427.989.058,61	30.472.518,95	111.842.266,95	6.882.192,75	59.119.608,48	636.305.645,74
02 Affections des yeux	15.840	19.713.614,52	1.088.372,23	15.372.903,43	193.270,14	6.952.331,59	43.320.491,91
03 Nez, gorge, oreilles	92.576	94.052.098,97	6.790.002,45	49.216.265,45	1.138.720,82	27.457.547,12	178.654.634,81
04 Système respiratoire	135.429	488.646.714,76	44.448.004,49	104.264.304,72	11.162.594,47	55.869.698,43	704.391.316,87
05 Système circulatoire	202.569	533.289.832,21	49.776.072,05	288.405.708,63	15.609.712,01	269.253.743,22	1.156.335.068,11
06 Système digestif	179.303	428.430.004,57	47.959.211,80	136.352.616,05	9.067.554,15	80.229.422,20	702.038.808,77
07 Foie, bile et pancréas	50.052	145.624.506,41	17.856.048,76	48.438.506,39	3.890.817,39	28.485.647,78	244.295.526,73
08 Système musculaire et tissu conjonctif	245.049	746.837.764,67	41.230.810,32	260.700.590,52	7.391.195,56	239.381.078,17	1.295.541.439,23
09 Peau, tissu sous-cutané, sein	53.423	137.664.105,97	8.762.415,27	43.010.760,77	1.677.250,84	18.817.719,03	209.932.251,88
10 Maladies endocriniennes, nutritives et du métabolisme	54.971	155.355.059,48	10.641.120,12	44.111.767,42	3.227.591,54	30.956.627,68	244.292.166,24
11 Reins et voies urinaires	74.469	185.306.939,33	17.627.866,19	56.218.566,96	3.907.187,07	30.575.990,08	293.636.549,63
12 Organes génitaux masculins	23.808	51.695.641,52	4.757.108,83	22.656.939,58	643.826,47	14.594.060,82	94.347.577,22
13 Organes génitaux féminins	40.967	68.143.100,43	5.134.763,07	33.028.634,01	708.199,63	17.281.314,43	124.296.011,57
14 Grossesse et accouchement	146.637	276.844.605,93	10.324.958,68	104.934.724,06	3.340.868,85	39.271.301,52	434.716.459,04
15 Nouveau-nés - Affections d'origine périnatale	9.756	56.214.136,69	1.759.557,43	18.773.234,14	1.143.545,56	5.251.901,28	83.142.375,10
16 Sang et organes hématopoïétiques	16.449	49.261.699,65	10.683.543,33	9.421.749,05	1.362.068,36	10.739.992,39	81.469.052,78
17 Maladies myéloprolifératives, néoplasmes peu différenciés	40.110	98.586.871,47	53.593.743,28	18.689.005,46	2.661.596,88	23.695.006,09	197.226.223,18
18 Maladies infectieuses et parasitaires	25.220	95.578.975,48	14.318.559,86	20.009.163,47	3.096.664,16	12.898.037,43	145.901.400,40

	Nombre de séjours	Prix journée recalculé à 100%	Médicaments	Prestations	Bio. Clin. (25%)	Autres Montants (Forfaits inclus)	Montant total
19 Troubles mentaux	23.989	102.870.501,76	2.159.014,89	13.822.775,06	987.492,86	9.809.382,85	129.649.167,42
20 Alcoolisme et usage de drogue	12.656	37.386.063,09	923.354,46	5.630.319,80	593.929,49	4.166.015,31	48.699.682,15
21 Traumatismes, empoisonnements et effets toxiques des médicaments	27.951	66.862.238,41	5.919.542,68	14.674.497,29	1.464.108,02	11.112.776,73	100.033.163,13
22 Brûlures	1.027	10.252.888,90	502.856,26	892.796,30	170.779,93	586.209,22	12.405.530,61
23 Facteurs influençant la santé	49.978	132.944.812,53	6.958.873,70	26.152.444,04	1.598.829,81	23.925.523,61	191.580.483,69
24 Infections HIV	1.022	5.820.693,87	1.348.786,54	904.108,47	170.262,06	625.646,00	8.869.496,94
25 Traumatismes multiples	1.830	16.357.587,10	1.919.522,98	5.610.521,42	553.769,25	2.981.909,83	27.423.310,58
FF Groupe résiduel	12.786	91.434.030,32	9.359.718,76	24.213.626,79	1.937.871,79	16.218.498,16	143.163.745,82
Total	1.658.565	4.604.465.940,17	433.131.334,80	1.518.179.414,31	90.271.396,00	1.056.226.409,96	7.702.274.495,24

Montant moyen par séjour

MDC	Nombre de séjours	Prix de journée recalculé à 100%	Montant des médicaments	Montant des prestations	Biologie clinique	Autres montants	Montant total
<u>-p Pré-MDC</u>	3.844	21.150,47	6.975,80	10.621,91	1.480,10	4.154,38	44.382,65
<u>01 Système nerveux</u>	116.854	3.662,60	260,77	957,11	58,90	505,93	5.445,30
<u>02 Affections des yeux</u>	15.840	1.244,55	68,71	970,51	12,20	438,91	2.734,88
<u>03 Nez, gorge, oreilles</u>	92.576	1.015,94	73,35	531,63	12,30	296,59	1.929,82
<u>04 Système respiratoire</u>	135.429	3.608,14	328,20	769,88	82,42	412,54	5.201,19
<u>05 Système circulatoire</u>	202.569	2.632,63	245,72	1.423,74	77,06	1.329,20	5.708,35
<u>06 Système digestif</u>	179.303	2.389,42	267,48	760,46	50,57	447,45	3.915,38
<u>07 Foie, bile et pancréas</u>	50.052	2.909,46	356,75	967,76	77,74	569,12	4.880,83
<u>08 Système musculaire et tissu conjonctif</u>	245.049	3.047,71	168,26	1.063,87	30,16	976,87	5.286,87
<u>09 Peau, tissu sous-cutané, sein</u>	53.423	2.576,87	164,02	805,10	31,40	352,24	3.929,62

MDC	Nombre de séjours	Prix de journée recalculé à 100%	Montant des médicaments	Montant des prestations	Biologie clinique	Autres montants	Montant total
<u>10 Maladies endocriniennes, nutritives et du métabolisme</u>	54.971	2.826,13	193,58	802,46	58,71	563,14	4.444,02
<u>11 Reins et voies urinaires</u>	74.469	2.488,38	236,71	754,93	52,47	410,59	3.943,07
<u>12 Organes génitaux masculins</u>	23.808	2.171,36	199,81	951,65	27,04	612,99	3.962,85
<u>13 Organes génitaux féminins</u>	40.967	1.663,37	125,34	806,23	17,29	421,83	3.034,05
<u>14 Grossesse et accouchement</u>	146.637	1.887,96	70,41	715,61	22,78	267,81	2.964,58
<u>15 Nouveau-nés - Affections d'origine périnatale</u>	9.756	5.762,01	180,36	1.924,28	117,21	538,33	8.522,18
<u>16 Sang et organes hématopoïétiques</u>	16.449	2.994,81	649,50	572,79	82,81	652,93	4.952,83
<u>17 Maladies myéloprolifératives, néoplasmes peu différenciés</u>	40.110	2.457,91	1.336,17	465,94	66,36	590,75	4.917,13
<u>18 Maladies infectieuses et parasitaires</u>	25.220	3.789,81	567,75	793,38	122,79	511,42	5.785,15
<u>19 Troubles mentaux</u>	23.989	4.288,24	90,00	576,21	41,16	408,91	5.404,53
<u>20 Alcoolisme et usage de drogue</u>	12.656	2.954,02	72,96	444,87	46,93	329,17	3.847,95
<u>21 Traumatismes, empoisonnements et effets toxiques des médicaments</u>	27.951	2.392,12	211,78	525,01	52,38	397,58	3.578,88
<u>22 Brûlures</u>	1.027	9.983,34	489,64	869,32	166,29	570,80	12.079,39
<u>23 Facteurs influençant la santé</u>	49.978	2.660,07	139,24	523,28	31,99	478,72	3.833,30
<u>24 Infections HIV</u>	1.022	5.695,40	1.319,75	884,65	166,60	612,18	8.678,57
<u>25 Traumatismes multiples</u>	1.830	8.938,57	1.048,92	3.065,86	302,61	1.629,46	14.985,42
<u>FF Groupe résiduel</u>	12.786	7.151,11	732,03	1.893,76	151,56	1.268,46	11.196,91
<u>Tous les MDC</u>	1.658.565	2.776,17	261,15	915,36	54,43	636,83	4.643,94

ANNEXE TOURISME

Préférences climatiques des touristes dans la littérature

Les articles sur l'ICT montrent que les conditions climatiques optimales ne sont pas standardisées, les préférences changent selon les activités touristiques (urbaines, plage, montagne...) et le niveau de confort est subjectif.

Le confort dépend fortement de la température dans les études de modélisation macro-économique (Maddison 2001, Lise and Tol 2002, Hamilton 2005, Hamilton et al. 2005, Bigano et al. 2006, Mieczkowski 1985 et Gomez-Martin 2006). Cependant, les études basées sur des enquêtes montrent que la température n'est pas toujours la variable climatique la plus importante dans les décisions touristiques (Morgan et al. 2000, de Freitas et al. 2008, Scott et al. 2008, Moreno 2010).

Approach	Author	Region	Ranking of Relative Importance				Optimal Climate Conditions				
			1	2	3	4	Temperature (°C)	Precipitation (mm)	Sun (hrs)	Cloud (%)	Wind (km/h)
Expert-based	Mieczkowski (1985)	Global	Thermal	Rain	Sunshine	Wind	20-27°C	<15	>10	--	<3
Revealed	Maddison (2001)	UK	Thermal	--	--	--	30.7°C	--	--	--	--
	Lise & Tol (2002)	OECD Nations	Thermal	--	--	--	21°C (Tmean of hottest month of year)	--	--	--	--
	Hamilton (2005)	Germany	Thermal	--	--	--	24°C	--	--	--	--
	Hamilton et al. (2005)	Global	Thermal	--	--	--	14°C (annual mean)	--	--	--	--
	Bigano et al. (2006)	Global	Thermal	--	--	--	16.2°C	--	--	--	--
Stated (Urban)	Gossling et al. (2006)	Tanzania	Rain	Storm	Humidity	Temperature	--	--	--	--	--
	Scott et al. (2008)	Canada, New Zealand, Sweden	Thermal	Rain	Sunshine	Wind	22°C	--	--	25	1-9
	Rutty & Scott (2010)	Canada	--	--	--	--	20-26°C	--	--	--	--
	Jacobsen et al. (2011)	Northern Scandinavia	Sky	Rain	Visibility	Seawave	--	--	--	--	--
Stated (Beach)	Morgan et al. (2000)	UK & Mediterranean	Rain	Sunshine	Wind	Thermal	22-26°C (bathing water)	--	--	--	--
	Mansfeld et al. (2004)	Israel	Wind	Sky	Thermal	RH	20-25°C	--	--	1/8	<2-3m/s
	de Freitas (2008)	Canada	Thermal	Sunshine	Rain	Wind	20-24°C	--	--	--	--
	Scott et al. (2008)	Canada, New Zealand, Sweden	Sunshine	Thermal	Rain	Wind	27°C	--	--	25	1-9
	Moreno (2010)	Mediterranean	Rain	Thermal	Sunshine	Water Temp	--	--	--	--	--
	Rutty & Scott (2010)	Canada	--	--	--	--	27-32°C	--	--	--	--
Stated (Mountain)	Gomez-Martin (2006)	Spain	Thermal	Rain	--	--	22-28°C	>3	>11	--	<5.5-7.9
	Scott et al. (2008)	Canada, New Zealand, Sweden	Rain	Thermal	Sunshine	Wind	20°C	--	--	25	1-9

Préférences des conditions climatiques

Utilisation de l'ICT dans la littérature

Region	Author	Study area	Study goals	Data type
Global	Amelung et al. (2007)	Global	Potential implications of climate change on tourism climate resources	Monthly
Regional (North America)	Scott & McBoyle (2001)	17 North American cities	Impact of climate change on tourism climate resources	Monthly
	Scott et al. (2004)	143 North American cities	Current and future climate resources distributions under 2 climate change scenarios	Monthly
Regional (Europe)	Amelung & Viner (2006)	Mediterranean Region	Impacts of climate change on tourism climatic resources	Monthly
	Hein (2007)	Spain, Mediterranean, Northwest Europe	Impacts of climate change on tourism climate resources and tourist flow	Monthly
	Nicholls & Amelung (2008)	Northwest Europe	Future climate conditions in Northwest Europe	Monthly
	Amelung & Moreno (2009)	Europe	Examine changes of climate conditions in whole Europe under climate change	Monthly
	Hein et al. (2009)	Spain & Europe	Assessed suitability of Spanish climate and major European destinations in 50 years	Monthly
	Perch-Nielsen et al. (2010)	Europe	Presented tourism climate resources distribution under projected climate change scenarios	Daily
Country/Destination	Cengiz et al. (2008)	Canakkale, Turkey	Current climate conditions and potentials	Monthly
	Farajzadeh & Matzarakis (2009)	Northwest Iran	Current climate conditions and potentials	Monthly
	Roshan et al. (2009)	Tehran, Iran	Effects of urban sprawl of metropolis on tourism-climate index oscillation	Monthly
	Yu et al. (2009a)	Florida and Alaska	Developed and tested the Modified Climate Index for Tourism (MCIT)	Hourly
	Yu et al. (2009b)	Alaska	Use MCIT to examine seasonal patterns at two Alaska destinations, King Salmon and Anchorage	Hourly
	Whittlesea & Amelung (2010)	South West England	Impacts of climate change on tourism comfort and seasonality under UK Climate Projections	Monthly