



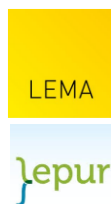
Diagnostic de vulnérabilités pour augmenter la résilience wallonne à travers l'adaptation aux changements climatiques

Scénarios, impacts et mesures

Rapport Final



ICEDD



Pouvoir adjudicateur :





Auteurs

Manu Harchies - mha@icedd.be

Comité de relecture

François Tamigneaux – fta@icedd.be

Personne de contact

Manu Harchies, Responsable d'équipe - mha@icedd.be



Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable

Boulevard Frère Orban 4

B-5000 NAMUR

+32 81 25 04 80

www.icedd.be

Photo de couverture : Jonas Jaeken from Unsplash

Namur, le 5 juin 2025

Comment citer ce rapport

Harchies, M et al. (2025). *Risques climatiques en Wallonie. Rapport final de l'étude de vulnérabilité et d'adaptation de la Wallonie*. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).



ICEDD est certifié ISO 9001 :2015



Table des matières

PARTIE A : Introduction et concepts	4
1. Introduction	5
2. Concepts	6
3. Approche générale de l'étude	10
PARTIE B : Projections climatiques	12
1. Scénarios et modèles	13
2. Résultats – Projections climatiques wallonnes	15
3. Résumé des futurs possibles	21
PARTIE C : Indicateurs de risque	22
1. Identification des indicateurs	23
2. Biodiversité.....	23
3. Dynamique Eau et Sols	30
4. Agriculture.....	41
5. Environnement urbain.....	47
6. Social	54
7. Santé.....	57
8. Economie	62
9. Logements et population	69
10. Infrastructures	76
PARTIE D : Coût de l'inaction	84
1. Approche et limites	85
2. Biodiversité.....	86
3. Inondations	88
4. Agriculture.....	89
5. Santé.....	91
6. Secteurs économiques	92
7. Energie.....	94
8. Synthèse des coûts de l'inaction	96
PARTIE E : Feuille de route	97
1. L'urgence de s'adapter	98



2. Le terreau de la résilience.....	98
3. Mesures	107
4. Pistes de financement	107
PARTIE F : Glossaire	110
PARTIE G : Bibliographie	114

PARTIE A : Introduction et concepts

1. Introduction

1.1. Contexte

Dans le cadre de la lutte contre les changements climatiques, la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) a présenté l'atténuation et l'adaptation comme deux réponses conjointes aux changements climatiques. L'atténuation vise à limiter l'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. L'adaptation vise à réduire la vulnérabilité des systèmes ou territoires par des actions qui permettent de réduire les impacts effectifs des changements climatiques ou d'améliorer la capacité de réponse de la société. Les travaux du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) ont montré que les émissions de gaz à effet de serre liées aux activités humaines étaient responsables des changements climatiques en cours. Dans son dernier rapport analysant l'écart entre les besoins et les perspectives en matière d'émission (PNUE 2024), le programme des nations unies pour l'environnement identifiait que le monde continue de se diriger vers un réchauffement planétaire de +3°C (niveau de réchauffement mondial moyen par rapport à la période pré-industrielle 1850-1900).

Le rapport souligne toutefois que si tous les engagements conditionnels les plus ambitieux de réductions d'émissions déjà pris individuellement par les États dans le cadre de l'Accord de Paris étaient mis en œuvre et en tenant aussi compte des engagements à atteindre des émissions « nettes nulles » dans un futur proche, alors le réchauffement aurait 66% de chances d'être limité à un niveau situé entre 1.8 et 2.3°C. Selon ce scénario, la probabilité d'atteindre +3°C serait alors quasiment nulle.

Les efforts d'atténuation des changements climatiques sont donc à considérer comme prioritaires par rapport à toute mesure d'adaptation car ils impactent fortement l'ampleur des enjeux auxquels il faudra s'adapter. En effet, les conséquences sociales, économiques et environnementales d'un réchauffement de +1,5°C sont décrites comme mettant en péril des populations et occasionnant des coûts matériels et humains importants (IPCC, 2018). Cependant, les conséquences d'un réchauffement de +2°C sont sans commune mesure, les impacts n'étant en effet pas linéaires. Les conséquences au-delà de +2°C sont très difficilement estimables.

Des plans d'adaptation ont donc commencé à voir le jour au niveau européen et belge. En Wallonie, le cadre juridique est donné par le Décret neutralité carbone adopté en 2023 et qui inclut un chapitre spécifique consacré à l'adaptation imposant un état des lieux annuel des changements climatiques et une stratégie d'adaptation visant à (i) réduire la vulnérabilité et l'exposition aux risques ; (ii) augmenter la capacité de prévision et d'action ; (iii) renforcer la gestion de crise ; (iv) identifier et exploiter les effets bénéfiques des changements climatiques et (v) identifier les pistes de financement et d'accompagnement des mesures. La plateforme Wallonne pour le GIEC a publié en mai 2022 un état des lieux et un cadre de référence scientifique des études existantes en Wallonie sur l'adaptation aux changements climatiques. C'est sur base de ces recommandations qu'a été menée la présente étude.

1.2. Objectifs

L'objectif de la présente étude était de faciliter le passage de la compréhension du phénomène climatique à la mise en œuvre concrète des mesures et actions d'adaptation.

Une première phase de l'étude a consisté à actualiser les projections climatiques régionales.

Ensuite plusieurs équipes d'experts ont identifié et collecté les données nécessaires pour développer des indicateurs de risque thématiques et évaluer ainsi les zones à risque sur le territoire wallon.

Enfin, un benchmarking a permis d'identifier des mesures d'adaptation pertinentes et suggérer des priorités parmi ces mesures, en lien avec l'évaluation des risques afin alimenter la future stratégie d'adaptation.

Des rapports spécifiques à chaque volet de l'étude ont été produits. Ce dernier rapport rassemble les éléments clés des différents documents afin de donner une vue d'ensemble de l'analyse.

2. Concepts

Les concepts qui suivent doivent être compris dans le contexte de l'étude, c'est-à-dire la vulnérabilité et l'adaptation aux changements climatiques.

2.1. Le concept de risque et ses composants

Le risque est le résultat de la présence d'un *danger* (inondations, sécheresses...), de l'*exposition* (d'un système, d'une population, d'infrastructures) et de la *vulnérabilité* (de l'élément exposé) au danger (IPCC, 2022).

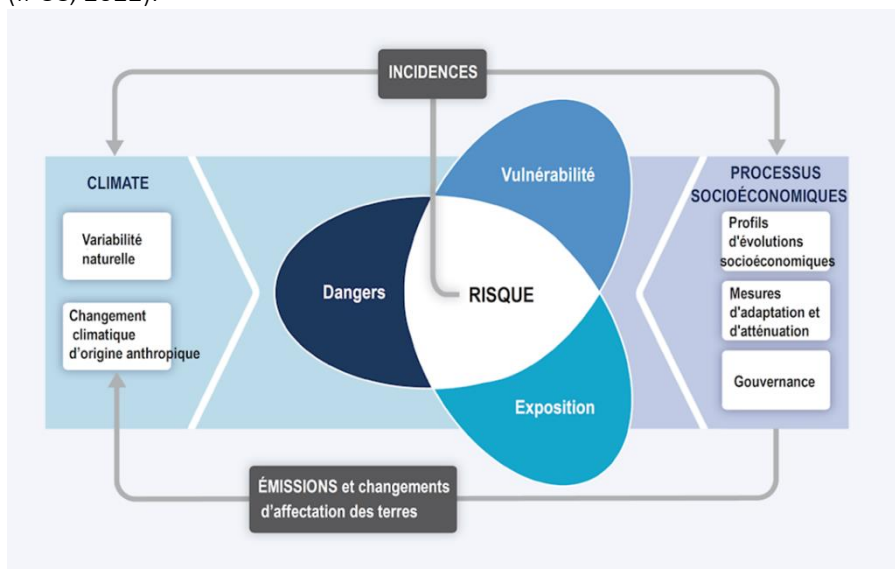


Figure 1 – Composantes du risque (IPCC, 2022)

Le danger

Définition : Un événement d'origine naturelle ou humaine susceptible de causer des pertes humaines, des dommages ou des dégâts aux infrastructures, à la biodiversité...

Caractéristiques : sévérité, durée, fréquence.

L'exposition

Définition : la présence d'éléments à risque dans le champ géographique d'un danger.

Evaluation : superposition spatiale de la zone géographique du danger et de la présence d'éléments potentiellement vulnérables.

Caractéristiques : éléments exposés (nombre de personnes exposées, valeurs des infrastructures...).

Vulnérabilité

Définition : le degré auquel un système est sensible et incapable de faire face au danger.

Dimensions : physique, technologique, humaine, socio-économique...

La vulnérabilité est composée de deux éléments :

- La *sensibilité* : la prédisposition des éléments exposés à être affecté négativement, c'est-à-dire à subir des dommages.
- La *capacité adaptative* : les ressources et caractéristiques qui aident les éléments à s'adapter au danger, à diminuer les impacts potentiels.

La sensibilité a donc un effet négatif sur le niveau de vulnérabilité et la capacité adaptative un effet positif.

Les solutions d'adaptation visent à diminuer le niveau de risque (via une réduction de la probabilité d'occurrence du danger, une réduction des éléments exposés ou une réduction de leur vulnérabilité).

La toute grande priorité pour l'adaptation sont donc les mesures d'atténuation (limitation des émissions de gaz à effet de serre), puisqu'elles contribuent à réduire la composante première du risque : le danger.

2.2. Les impacts

Les impacts sont la conséquence de la combinaison des différentes dimensions du risque (danger, exposition et vulnérabilité).

Les impacts peuvent être direct ou indirect et sont souvent en cascade (exemple : le danger de sécheresse impacte la productivité agricole qui indirectement impacte le secteur alimentaire qui lui-même impacte la santé).

Le cadre conceptuel du risque est généralement appliqué à l'aide de chaînes de causes à effets.

Les étapes sont les suivantes :

1. Identifier les principaux dangers, expositions, vulnérabilité et impacts du système à risque.
2. Etablir les chaînes de causes à effets.
3. Retenir les principaux éléments identifiés à l'étape 1.
4. Sélectionner des indicateurs pour l'ensemble des facteurs identifiés.

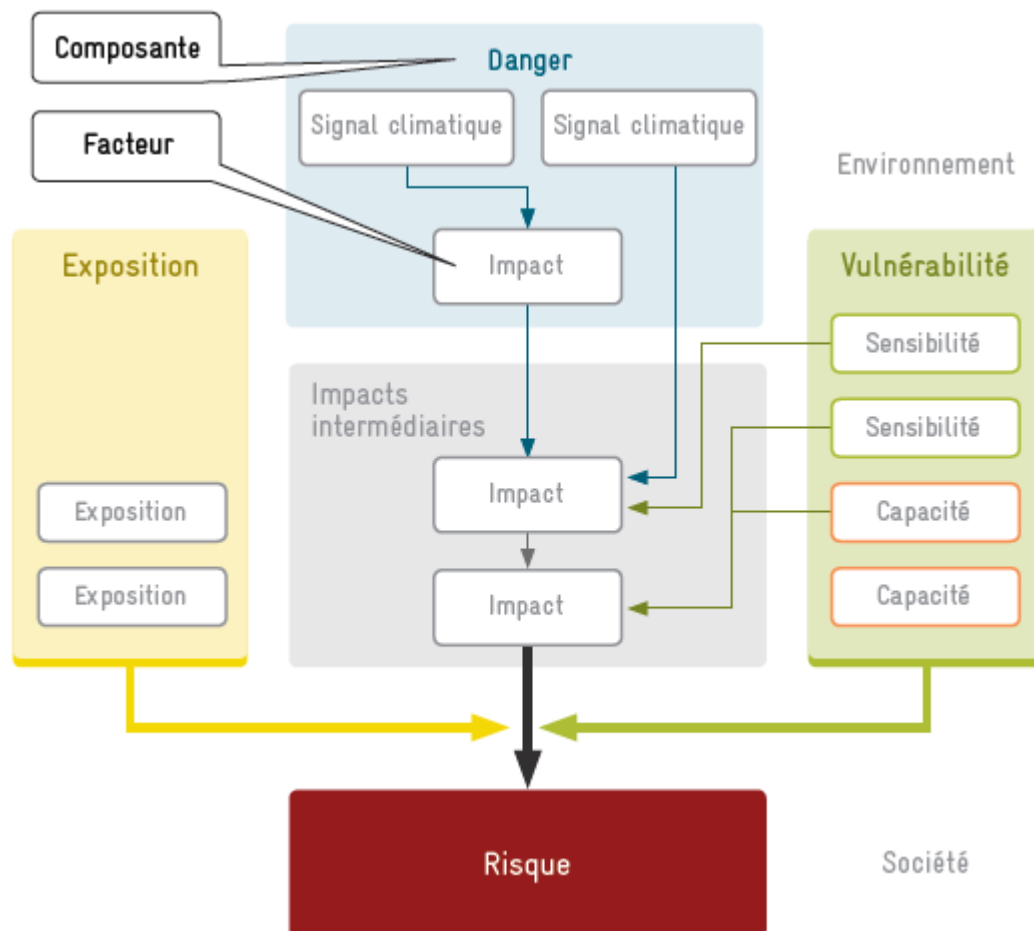


Figure 2 – Chaîne d'impact et composantes du risque (« Vulnerability Sourcebook » - GLZ, 2017)

L'exemple suivant montre l'application du schéma précédent au risque de sécheresse dans l'agriculture.

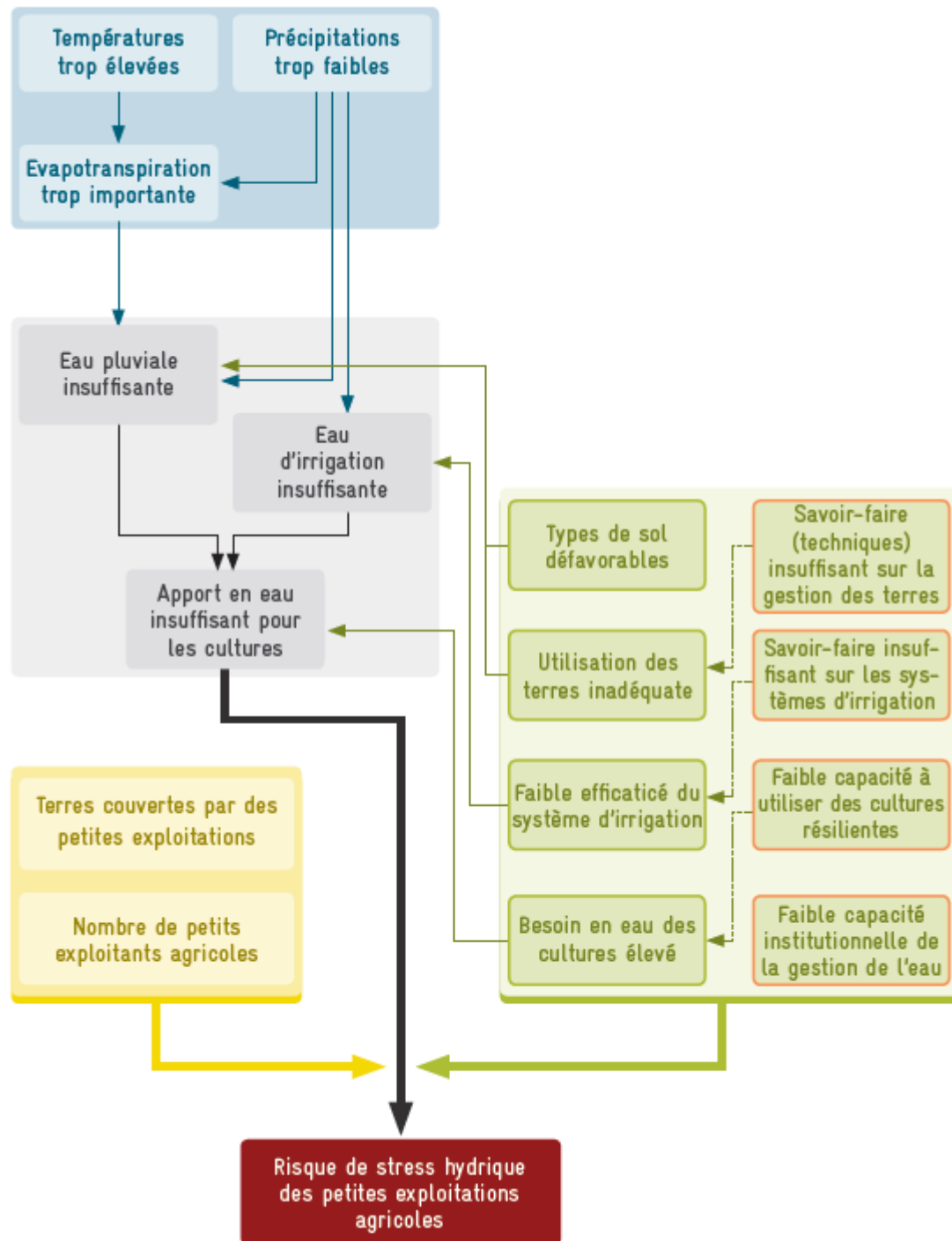


Figure 3 – exemple de chaîne d'impact au départ du danger de « sécheresse » (« Vulnerability Sourcebook » - GIZ, 2017)

Légende :

- Le cadre bleu représente le danger.
- Le cadre gris représente les impacts intermédiaires.
- Le cadre jaune représente l'exposition.
- Le cadre vert clair représente la vulnérabilité au sein duquel les cadres vert foncé représentent la sensibilité et les cadres rouges le manque de capacité adaptative.

2.3. L'adaptation et la résilience

L'**adaptation** est le processus d'ajustement au climat actuel ou prévu et à ses effets, afin d'atténuer les dommages ou d'exploiter les opportunités bénéfiques.

On considère généralement 5 étapes dans le cycle d'adaptation : (a) la prise de conscience, (b) l'évaluation, (c) la planification, (d) la mise en œuvre et (e) le suivi et l'évaluation.

S'il s'agit de mesures d'adaptation qui visent à poursuivre de manière plus prononcée des solutions/mesures déjà existantes, il s'agit d'adaptation « incrémentale ». Si au contraire les mesures d'adaptation envisagées n'existent pas actuellement dans le système étudié, on parle alors d'adaptation transformative.

Pour certains risques, les mesures d'adaptation peuvent être limitées. Ces limites peuvent être de deux types : *soft* ou *hard*.

- *Hard limit* : Aucune mesure d'adaptation n'est possible pour éviter les risques intolérables.
- *Soft limit* : Des options peuvent exister mais ne sont pas actuellement disponibles pour éviter des risques intolérables par des mesures d'adaptation.

La combinaison de ces notions est présentée dans le schéma ci-dessous.

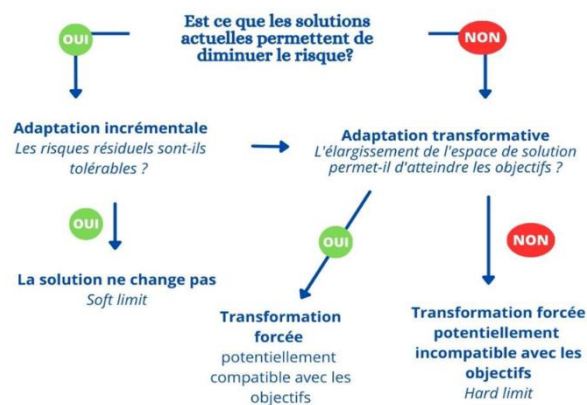


Figure 4 – Schéma des limites soft/hard de l'adaptation incrémentale/transformatrice

La **résilience** est la capacité des systèmes sociaux, économiques et environnementaux à faire face à un événement dangereux de manière à préserver leurs fonctions essentielles.

On distingue généralement les étapes suivantes participant à la résilience d'un système face à un choc : (a) résistance au choc, (b) capacité du système à fonctionner en mode dégradé durant le choc, (c) vitesse de récupération du système après le choc, (d) nouvel équilibre du système.

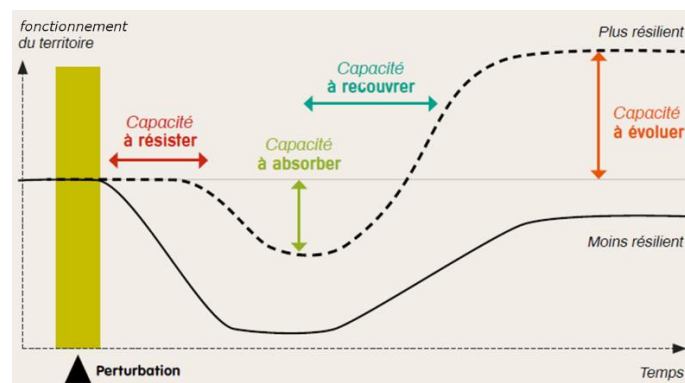


Figure 1 – courbe de la résilience (CEREMA, 2020)

3. Approche générale de l'étude

3.1. Dangers climatiques

Les dangers climatiques suivants font partie de la liste des aléas climatiques pertinents pour la Wallonie et suivi par la Belgique dans le cadre de la Governance Regulation et les analyses de risques climatiques au niveau national. Les définitions sont extraites du glossaire du GIEC (IPCC, 2023) :

Modification de la température de l'air : Altération de la température atmosphérique.

Modification de la température de l'eau douce : Altération de la température des rivières et des lacs.

Variabilité de la température : Altérations des schémas journaliers, mensuels et saisonniers des températures de l'air.

Vague de chaleur : Période de chaleur anormalement élevée, allant de cinq jours à plusieurs mois.

Feu de forêt : Conditions météorologiques favorables au déclenchement et maintien des feux de forêt.

Tempête : Événements météorologiques pouvant engendrer des conditions dangereuses telles que des vents rectilignes destructeurs, des éclairs et de la grosse grêle.

Variabilité des précipitations et/ou hydrologique : Modifications des schémas mensuels et saisonniers des précipitations.

Pénurie d'eau : Manque d'eau de qualité suffisante pour répondre à la demande.

Sécheresse : Période exceptionnelle de pénurie d'eau affectant les écosystèmes existants et la population humaine (en raison de faibles précipitations, de températures élevées et/ou de vents).

Précipitations intenses : Grandes quantités de pluie, de neige ou d'autres types de précipitations sur une courte période.

Inondation : Débordement des limites normales d'un cours d'eau ou d'un autre plan d'eau, ou accumulation d'eau sur des zones normalement non submergées. Les inondations incluent les crues fluviales, les crues soudaines, les inondations urbaines, les inondations par pluie (pluviales), les débordements d'égouts, et les inondations côtières.

Érosion des sols : Déplacement du sol sous l'effet de l'eau ou du vent.

Glissement de terrain : Déplacement soudain et sévère de sols et roches, principalement sur des pentes.

Affaissement : Enfoncement du sol.

3.2. Systèmes exposés

Chaque exercice d'évaluation des risques climatiques implique l'identification de systèmes et de sous-systèmes exposés pertinents pour le contexte et afin d'organiser l'analyse.

La présente étude répondait à des attentes de l'administration wallonne formulée selon quatorze « domaines d'analyse » :

- | | |
|---|--------------------------|
| - Services écosystémiques | - Villes |
| - Eau (inondations/sécheresses) | - Infrastructures |
| - Sol, indépendamment de l'usage du sol | - Santé |
| - Agriculture | - Santé environnementale |
| - Nature et biodiversité | - Energie |
| - Forêts | - Tourisme |
| - Socio-économique | - Patrimoine |

La Wallonie s'inscrit par ailleurs dans un contexte national et européen. Au niveau européen l'évaluation des risques climatiques (EUCRA) distingue 5 grands systèmes, que sont : (i) Ecosystèmes ; (ii) Alimentation ; (iii) Santé ; (iv) Infrastructures et (v) Economie.

Les mêmes systèmes ont été repris par l'analyse des risques au national belge, menée par le Centre d'évaluation des risques climatiques et environnementaux (Cerac).

Les 14 domaines ont tous été explorés et, afin d’être cohérent avec le niveau national et européen tout en adressant la spécificité du contexte wallon et des méthodes d’analyse, les résultats de la présente étude sont regroupés en 9 systèmes :

- | | |
|--------------------------|--------------------|
| 1) Biodiversité | 6) Santé |
| 2) Dynamique Eau et Sols | 7) Economie |
| 3) Agriculture | 8) Logements |
| 4) Environnement urbain | 9) Infrastructures |
| 5) Social | |

3.3. Structure du rapport

Projections

La première section de ce rapport présente les modalités et résultats de l’actualisation des projections des paramètres climatiques qui ont été faites afin de disposer des données les plus à jour au niveau wallon.

Analyse de risque

La seconde section présente pour chaque système (biodiversité, agriculture, économie, population, etc.) les conclusions de l’état des lieux ayant permis d’identifier les indicateurs les plus adéquats pour caractériser les différentes dimensions du risque (danger, exposition et vulnérabilité) pour chaque système.

Afin de ne pas alourdir ce rapport, les méthodologies de construction de ces indicateurs ne sont pas reprises. Il faut s’en référer pour cela à chacun des rapports méthodologiques.

Les résultats de l’analyse des indicateurs sont cependant succinctement présentés (un portail web a été développé en parallèle afin de permettre d’explorer toutes les données spatialisées pour tous les indicateurs).

Les mesures d’adaptation appropriées au regard des risques identifiés sur le territoire wallon sont également présentées directement à la fin de la présentation de chaque indicateur.

Coût de l’inaction

La troisième section synthétise l’actualisation qui a été faite des coûts estimés des changements climatiques si aucune mesure d’adaptation n’est mise en œuvre.

Feuille de route

La quatrième section propose, au regard de l’analyse de risque et des coûts de l’inaction, une feuille de route avec des axes structurants pour adresser les priorités en matière d’adaptation en Wallonie. Le financement de l’adaptation étant toujours une question centrale pour les pouvoirs publics, des pistes pour la Wallonie sont également discutées dans ce chapitre.

PARTIE B : Projections climatiques

1. Scénarios et modèles

Les projections climatiques sont des évolutions futures possibles d'une grandeur ou d'un ensemble de grandeurs, souvent estimée à l'aide d'un modèle. Les projections se distinguent des prévisions en ce sens qu'elles reposent sur des hypothèses concernant par exemple l'évolution socio-économique et technologique, qui peuvent ou non se réaliser. Elles permettent de suggérer des évolutions possibles du climat moyen (et non au jour le jour comme en météo) de nombreux paramètres climatiques et extrêmes associés qui peuvent ensuite être utilisés pour modéliser l'évolution des aléas et risques liés à de telles conditions climatiques.

Ce chapitre est une synthèse non technique du rapport méthodologique détaillé du volet 2 de l'étude (Fettweis et al 2024).

1.1. Données

Le **Coupled Model Intercomparison Project (CMIP)** est un ensemble de simulations climatiques globales internationales coordonnées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC). Il regroupe les données de multiples modèles climatiques pour améliorer la compréhension des réactions du climat aux différentes concentrations de GES. CMIP6 est la base des projections utilisées dans le sixième rapport du GIEC. Ce sont ces données qui ont été utilisées dans le cadre de ce portail.

1.2. Modèles globaux

Les **modèles climatiques globaux (global climate models - GCM)** simulent les interactions entre l'atmosphère, les océans, la biosphère et la cryosphère. Ils sont essentiels pour comprendre le climat à l'échelle planétaire, mais leur résolution spatiale est souvent insuffisante pour prédire les impacts locaux. Il existe une centaine de GCM dans le projet CMIP6. Dans le cadre de cette étude les projections sont basées sur 6 modèles globaux. Ce sont les 6 modèles recommandés par EURO-CORDEX pour étudier les changements climatiques en Europe¹ :

- MIROC6,
- NOR-ESM2-MM,
- MPI-ESM1-2-HR,
- EC-EARTH3-VEG,
- CMCC-CM2-SR5 et
- IPSL-CM6A-LR.

¹ <https://zenodo.org/records/7673400#.ZAWmhezMLP8>

1.3. Modèles régionaux

Pour affiner les projections à l'échelle locale, on utilise des **modèles climatiques régionaux (regional climate models - RCM)**, qui augmentent la précision des données. On emploie des techniques de **downscaling** (réduction d'échelle) : le modèle régional calcul des projections fines pour la région d'étude (ici la Wallonie), tout en étant imbriqué dans le modèle global afin d'assurer la cohérence avec les projections climatiques mondiales. Trois modèles climatiques régionaux sont recommandés pour travailler sur la Belgique : ALARO, COSMO et MAR. Dans le cadre de cette étude c'est le modèle climatique régional MAR², développé à ULiège, qui a été utilisé. Les projections basées ici sur le MAR uniquement pourraient être mise à jour en 2026 lorsque les projections futures réalisées par les deux autres modèles régionaux belges seront disponibles dans le cadre du projet CORDEX.BE 2.

1.4. Scénarios

Un élément important à introduire dans les modèles climatiques sont les estimations des futures émissions de gaz à effet de serre (GES). Le GIEC travaille pour cela avec 5 scénarios de trajectoires socio-économiques futures (ex : SSP1, SSP5), qui sont associés à des trajectoires d'émission de GES jusqu'à l'horizon 2100 (ex. RCP2.6, RCP8.5).

Si les projections et études sont basées sur les scénarios SSP et RCP, ceux-ci sont parfois difficiles à appréhender pour le grand public. Dans le domaine de l'adaptation on utilise dès lors la notion de niveau de réchauffement globaux (**global warming level - GWL**) qui permet d'associer les différents scénarios à une projection de la période future durant laquelle un seuil d'augmentation de la température moyenne mondiale par rapport à l'ère préindustrielle sera franchi. Les seuils clés sont +1,5°C, +2°C, +3°C et +4°C. Dans le cadre de cette étude ce sont les seuils de 2°C, 3°C et 4°C qui sont explorés. Les périodes futures durant lesquelles ces niveaux de réchauffement seraient atteint dépendent bien entendu des GCM et scénarios utilisés. Pour les 6 GCM utilisés dans cette étude et selon le scénario SSP3-7.0 (dit « rivalité régionale »), les niveaux de réchauffement seraient en moyenne atteint :

- +2°C aux alentours de 2030 - 2060
- +3°C aux alentours de 2060 - 2080

Le niveau de réchauffement mondial de 4°C n'est atteint que dans un scénario SSP5-8.5 (dit « développement fossile ») et serait en moyenne aux alentours de 2080 - 2100.

Dans son rapport final de l'AR6 (2023), le GIEC conclut que sans renforcement des politiques de réduction de gaz à effet de serre, un réchauffement climatique de 3,2 [2,2 à 3,5] °C est prévu d'ici 2100 (degré de confiance moyen). Alors qu'il devient de moins en moins probable d'éviter un réchauffement de +1,5°C (ne fut-ce que pendant quelques décennies), une trajectoire à +3°C reste évitable.

Attention, quand on évoque +2°, +3° et +4°C, il s'agit de niveau de réchauffement moyen au niveau mondial par rapport à 1850-1900. Le climat wallon se réchauffera quant à lui plus rapidement que cela (typiquement, il faut rajouter au réchauffement global +1°C à l'échelle annuelle et +2°C en été en Ardenne). Par ailleurs la dénomination de « niveau de réchauffement global » ne doit pas faire oublier que de nombreux autres paramètres climatiques que la température sont impactés tels que la pluviométrie, le vent, l'ensoleillement, etc...

1.5. Période de référence

Les projections climatiques sont généralement comparées à des périodes de référence, afin de montrer le changement qui va se produire. Ces périodes de référence varient. Pour les niveaux de réchauffement globaux il s'agit d'une comparaison par rapport aux températures moyennes sur le globe durant la période « pré-industrielle », c'est-à-dire 1850-1900. Une autre période de référence couramment

² <https://gmd.copernicus.org/articles/18/1965/2025/>

utilisée est 1981-2010. Elle permet d’associer les changements projetés à une réalité relativement récente pour laquelle on dispose de plus d’observations. C’est cette période de référence (qui correspond à un réchauffement de +0.7°C à l’échelle globale et de +1.3°C à Uccle) qui est utilisée dans le cadre des projections disponibles sur le portail.

2. Résultats – Projections climatiques wallonnes

L’ensemble des chiffres donnés dans cette section sont des extraits des tableaux et cartes disponibles dans le rapport méthodologique (Fettweis et al. 2024).

Ces résultats sont moyennés sur la Wallonie par degré de réchauffement. La valeur absolue est donnée pour la période de référence 1981-2010 et l’anomalie est fournie pour chaque degré de réchauffement.

Une anomalie « rouge » signifie plus chaud/sec. Une anomalie « bleue » signifie plus froid/humide.

Les cases grisées signifient que le changement est non-significatif par rapport à la variabilité interannuelle.

Enfin, ces projections seront à mettre à jour en 2026 lorsque d’autres sorties de modèles régionaux du climat seront disponibles dans le cadre du projet CORDEX.BE 2.

2.1. Indicateurs relatifs à la température

Températures moyennes

Les changements des indicateurs relatifs à la température sont toujours significatifs, sauf pour le nombre de jours de gel où le changement n’est significatif que si le réchauffement global vaut au minimum 3°C. Néanmoins, un réchauffement global de 2°C est suffisant pour provoquer plusieurs changements significatifs.

L’été est la saison qui va se réchauffer le plus car les étés vont devenir plus secs et ensoleillés ce qui va emballer la hausse des températures, en particulier en Ardenne.

Température journalière		1981-2010 (+0.7°C)	+2°C	+3°C	+4°C
Moyenne	Année	9,50 +/- 0,76	1,35 +/- 0,83	2,27 +/- 0,75	3,50 +/- 0,72
	Été	17,27 +/- 1,28	1,73 +/- 1,32	2,93 +/- 1,37	4,72 +/- 1,14
maximale	Été	21,20 +/- 1,73	1,98 +/- 1,71	3,33 +/- 1,80	5,47 +/- 1,50
minimale	Été	13,44 +/- 0,95	1,48 +/- 1,04	2,55 +/- 1,04	4,00 +/- 1,00

Tableau 1 – Indicateurs de température

Vagues de chaleur et de froid

Le nombre de jours d’été (jour dont la température max dépasse 25°C), de vagues de chaleur, de jours en vigilance canicule (moyenne des températures maximales sur 3 jours supérieure à 34°C) va significativement augmenter qu’importe le degré de réchauffement.

Pour le nombre de jours de gel annuel et la durée de la période de croissance végétative (PCV) – un paramètre essentiel pour connaître l’impact sur la croissance des végétaux – un réchauffement de 3°C est nécessaire pour avoir des changements significatifs.

Enfin, seul un réchauffement global de 4°C permet une diminution statistiquement significative du nombre de jours de gel en mars (gelées tardives qui impactent fortement la végétation).

		1981-2010 (+0.7°C)	+2°C	+3°C	+4°C
J-été	Année	25,20 +/- 11,83	15,39 +/- 14,93	26,47 +/- 16,65	46,72 +/- 15,47
J-gel	Année	49,06 +/- 16,83	-15,04 +/- 14,97	-24,93 +/- 11,23	-32,95 +/- 10,20
	Mars	7,87 +/- 5,60	-2,87 +/- 4,89	-4,07 +/- 4,05	-5,61 +/- 3,27
	Avril	2,18 +/- 2,69	-1,37 +/- 1,56	-1,82 +/- 0,85	-2,04 +/- 0,66
Deg-jour	Année	2921,54 +/- 231,54	-361,63 +/- 232,68	-594,02 +/- 189,42	-855,91 +/- 200,34
PCV	Année	262,24 +/- 32,56	26,30 +/- 33,59	42,57 +/- 29,85	59,77 +/- 26,65

Tableau 2 - Nombre de jours d'été et de gel, le nombre de degrés-jours et la période de croissance végétative

		1981-2010	+2°C	+3°C	+4°C
J-canicule	Année	0,16 +/- 0,70	0,90 +/- 1,86	2,32 +/- 3,63	6,31 +/- 5,89
Vague chaleur5	Année	2,38 +/- 4,02	5,04 +/- 8,09	11,10 +/- 12,01	24,29 +/- 13,84
Vague chaleur7	Année	1,66 +/- 3,25	3,84 +/- 6,88	9,08 +/- 10,63	20,94 +/- 13,84
Vague chaleur10	Année	0,91 +/- 2,22	2,23 +/- 6,88	6,29 +/- 8,59	15,84 +/- 12,44
Vague chaleur15	Année	0,23 +/- 0,99	0,92 +/- 2,92	3,41 +/- 5,95	9,37 +/- 10,18

Tableau 3 - Vagues de chaleur (5, 7, 10 et 15 jours consécutifs) et nombre de jours en vigilance canicule.

2.2. Indicateurs relatifs aux précipitations

Précipitations moyennes

Les changements des indicateurs relatifs aux précipitations ne sont jamais significatifs en moyenne sur la Wallonie mais nous donne toutefois une tendance générale. En climatologie, on considère qu'une anomalie est statistiquement significative si elle est supérieure à la variabilité interannuelle sur la période de référence (1981-2010). Par exemple, la quantité moyenne de précipitations annuelles simulée par MAR sur la Wallonie est de 916 +/-122 mm/an et donc toutes anomalies inférieures à 122 mm/an en valeur absolue n'est pas significative. Néanmoins, nous avons pu identifier certains changements localement significatifs lorsque le réchauffement global vaut 4°C. Bien que ces changements ne soient pas significatifs, les hivers devraient être plus pluvieux. A l'inverse, les étés devraient être plus secs.

		1981-2010	+2°C	+3°C	+4°C
Somme précip	Année	916,18 +/- 121,93	36,35 +/- 139,97	42,65 +/- 137,76	53,72 +/- 141,83
	Hiver	240,54 +/- 63,10	22,74 +/- 65,77	37,04 +/- 68,69	60,59 +/- 64,79
	Printemps	204,31 +/- 49,40	14,63 +/- 55,66	11,46 +/- 49,33	15,50 +/- 64,02
	Été	234,52 +/- 59,21	-13,94 +/- 70,77	-23,01 +/- 68,59	-40,45 +/- 76,15
	Automne	236,39 +/- 55,67	13,15 +/- 69,85	16,09 +/- 70,27	17,58 +/- 69,27

Tableau 4 – Précipitations annuelles et saisonnières.

La Belgique est située dans une zone d'incertitude concernant l'évolution de la pluviométrie et la saisonnalité. Selon les modèles climatiques globaux utilisés pour la régionalisation wallonne, ces évolutions divergent. Cela témoigne de la grande incertitude liée aux précipitations même si en moyenne, nos projections sont en accord avec la moyenne d'ensemble présentée dans le dernier rapport du GIEC (à savoir pas de changement significatif à l'échelle annuelle mais une diminution des précipitations en été).

Pour l'hiver et le printemps, l'ensemble des modèles s'accordent dans les deux cas sur une augmentation des précipitations pour ces deux saisons.

En automne, MAR-MPI, meilleur modèle sur le climat présent, va à contresens des autres modèles en prévoyant des automnes plus secs.

En été, 5 modèles sur six prévoient des étés plus secs en moyenne. Ces changements sur 30 ans cachent toutefois le fait qu'on aura une augmentation de la probabilité d'avoir aussi bien des étés très humides (comme les étés 2021 et 2024) ou une probabilité (une peu plus élevée) d'avoir des sécheresses estivales (comme les étés 2019 et 2022) et qu'on aura donc moins souvent des étés dits "normaux".

Le seul changement de tendance intervient pour la somme des précipitations annuelles où MAR-MPI, qui prévoit des années plus sèches dans un monde à +3°C, prédit le contraire dans un monde à +4°C.

Bien que faible et pas statistiquement significative, il semble en conséquence plus probable d'avoir des années plus humides dans un monde à +4°C.

		CMCC	EC3	MIR	MPI	NOR	IPSL
+3°C							
Somme précip	Année						
	Hiver						
	Printemps						
	Été						
	Automne						
+4°C							
Somme précip	Année						
	Hiver						
	Printemps						
	Été						
	Automne						

Tableau 5 - Tendances de chaque GMC (couplé au modèle régional MAR) pour la somme des précipitations selon les niveaux de réchauffement +3° et +4°C. Rouge : plus sec / Bleu : plus humide par rapport à la période de référence 1981-2010.

Fortes précipitations

Concernant le nombre de jours de fortes précipitations, on constate une croissance partout sauf en été dans un monde plus chaud de 3°C et 4°C.

Enfin, les conclusions relatives au nombre de jours de très fortes précipitations (>20 mm) sont relativement identiques à celles du nombre de jours de fortes précipitations (>10mm).

En accord avec Brajkovic (et al 2025) qui utilisent les mêmes projections MAR que ce travail, l'intensité des événements pluvieux journaliers de fréquence de retour de 20 ans augmenterait d'environ +7% par GML. Les régions les plus impactées seront la vallée de la Vesdre et de la Semois où l'intensité des événements d'une fréquence de retour de 20 ans est plus élevée que pour le reste du pays. Par ailleurs, un événement d'une fréquence de retour de 50 ans sur 1950-2021 (comme le 14juillet 2021 où il est tombé 100mm en un jour dans la vallée de la Vesdre) aura une période de retour de ~30 ans (respectivement ~ 20ans) dans un monde à +2°C (resp. +3°C). Ces nouveaux résultats diffèrent quelques peu des conclusions du rapport du Plan Vesdre qui utilisait des projections d'une version précédente du MAR qui surestimait les précipitations et qui n'avaient pas été corrigées statistiquement comme dans Brajkovic et al. (2025). De plus, une approche probabiliste a été utilisée dans ce travail contrairement au rapport du Plan Vesdre où des événements similaires avaient juste été comptabilisés.

		1981-2010	+2°C	+3°C	+4°C
Jours précip	Hiver	43,91 +/- 8,45	1,52 +/- 7,97	2,45 +/- 7,98	4,28 +/- 7,54
	Printemps	42,76 +/- 8,26	1,32 +/- 8,19	0,04 +/- 7,73	-0,79 +/- 8,48
	Été	46,46 +/- 9,17	-4,24 +/- 9,34	-5,95 +/- 8,95	-8,73 +/- 10,13
	Automne	42,20 +/- 7,92	-0,65 +/- 8,21	-0,60 +/- 7,93	-1,42 +/- 8,13
Jours fortes précip	Hiver	5,33 +/- 2,78	1,02 +/- 3,06	1,70 +/- 3,09	2,73 +/- 3,12
	Printemps	3,36 +/- 2,05	0,53 +/- 2,25	0,53 +/- 2,10	0,99 +/- 2,59
	Été	3,48 +/- 2,23	0,02 +/- 2,48	-0,11 +/- 2,55	-0,63 +/- 2,42
	Automne	5,27 +/- 2,52	0,81 +/- 3,07	1,04 +/- 3,06	1,23 +/- 2,95
Jours très fortes précip	Hiver	0,67 +/- 0,85	0,23 +/- 0,96	0,40 +/- 1,11	0,69 +/- 1,17
	Printemps	0,43 +/- 0,69	0,06 +/- 0,73	0,10 +/- 0,70	0,23 +/- 0,88
	Été	0,50 +/- 0,75	0,04 +/- 0,83	0,09 +/- 0,83	-0,05 +/- 0,74
	Automne	0,81 +/- 0,94	0,34 +/- 1,17	0,34 +/- 1,17	0,49 +/- 1,17

Tableau 6 - Nombre de jours (fortes/très fortes) précipitations.

Sécheresses

Le nombre maximum de jours secs consécutifs devrait diminuer en hiver et au printemps. Cette diminution est en revanche très faible pour le printemps dans un monde à +4°C.

En revanche, les modèles prédisent tous une augmentation en été qui est la saison la plus impactée par les changements (ici diminutions) de précipitations.

Pour rappel, plus le réchauffement sera grand, plus les étés vont devenir contrastés, soit extrême secs (signal dominant), soit extrêmement humides (comme en 2021) à cause du ralentissement de la dynamique atmosphérique qui permet aux systèmes météo de rester plus longtemps sur place.

Le cumul maximum journalier et sur 5 jours (somme des précipitations en mm) devrait augmenter pour toutes les saisons, sauf en été si on atteint les 4 degrés de réchauffement planétaire. L'hiver et l'automne sont pour cet indicateur les saisons les plus impactées.

		1981-2010	+2°C	+3°C	+4°C
Max j secs	Hiver	10,78 +/- 4,46	-0,53 +/- 4,00	-1,06 +/- 4,35	-1,61 +/- 3,92
	Printemps	11,28 +/- 4,47	-0,49 +/- 4,25	-0,30 +/- 4,31	-0,07 +/- 3,99
	Été	9,91 +/- 4,18	1,38 +/- 4,76	1,60 +/- 4,77	3,19 +/- 6,55
	Automne	11,16 +/- 4,54	0,27 +/- 4,78	0,09 +/- 4,33	0,76 +/- 5,20
Max cumul 5j	Hiver	44,26 +/- 13,16	3,34 +/- 12,56	5,99 +/- 15,02	9,27 +/- 13,46
	Printemps	39,09 +/- 12,53	1,99 +/- 14,77	3,04 +/- 13,07	3,36 +/- 13,94
	Été	43,75 +/- 15,80	0,07 +/- 16,66	0,06 +/- 17,25	-3,45 +/- 16,15
	Automne	45,74 +/- 13,43	6,01 +/- 19,72	5,62 +/- 17,58	7,33 +/- 18,92
Cumul max	Hiver	19,29 +/- 6,44	1,27 +/- 6,15	2,71 +/- 7,53	4,71 +/- 8,35
	Printemps	17,95 +/- 6,78	1,12 +/- 8,30	1,84 +/- 8,16	2,14 +/- 8,01
	Été	19,33 +/- 9,33	0,32 +/- 10,44	1,01 +/- 10,72	-0,69 +/- 10,54
	Automne	21,45 +/- 7,89	3,13 +/- 10,48	2,98 +/- 10,21	3,99 +/- 10,76

Tableau 7 - Nombre maximum de jours secs consécutifs, cumul maximum sur 5 jours et cumul maximum journalier.

2.3. Autres indicateurs

Vent

L'impact du réchauffement climatique sur le vent à 10m sera relativement limité bien qu'on aille vers une diminution du vent. Aucun changement significatif n'a été mis en évidence. Néanmoins, l'été sera la saison la plus impactée par une diminution de la vitesse du vent ainsi que sa variabilité interannuelle. La vitesse du vent sera donc plus faible, en particulier si nous atteignons les 4°C de réchauffement. Les changements, bien que moins importants, sont similaires pour l'automne à ceux de l'été. En hiver, l'inverse se produit dans une moindre mesure avec une légère augmentation de la vitesse de vent. Enfin, le vent durant le printemps devrait être relativement épargné par les changements climatiques.

		1981-2010	+2°C	+3°C	+4°C
Vitesse du vent à 10 mètres (en m/s)	Hiver	5,04 +/- 0,55	0,06 +/- 0,52	0,07 +/- 0,52	0,18 +/- 0,52
	Printemps	4,02 +/- 0,36	-0,03 +/- 0,29	-0,02 +/- 0,29	0,03 +/- 0,29
	Été	3,39 +/- 0,24	-0,08 +/- 0,16	-0,11 +/- 0,18	-0,18 +/- 0,19
	Automne	4,18 +/- 0,42	-0,05 +/- 0,35	-0,14 +/- 0,36	-0,14 +/- 0,37

Tableau 8 – Vitesse du vent.

Humidité

L'humidité spécifique de l'air, très dépendante de la température, augmente de manière significative pour toutes les saisons et degrés de réchauffement. En moyenne, si la température moyenne journalière augmente de 1°C, l'humidité spécifique augmente de 5,5 à 7,5 %.

		1981-2010	+2°C	+3°C	+4°C
Humidité spécifique (g/kg)	Hiver	4,48 +/- 0,33	0,38 +/- 0,43	0,67 +/- 0,39	1,01 +/- 0,42
	Printemps	6,07 +/- 0,26	0,48 +/- 0,50	0,77 +/- 0,48	1,13 +/- 0,5
	Été	9,32 +/- 0,52	0,89 +/- 0,71	1,53 +/- 0,72	2,46 +/- 0,8
	Automne	7 +/- 0,32	0,57 +/- 0,5	1,02 +/- 0,52	1,61 +/- 0,55

Tableau 9 - Humidité spécifique.

Ensoleillement

L'éclairement solaire à la surface ne subira pas de changements significatifs même dans un monde à +4°C sauf localement en été où il fera plus ensoleillé. A l'inverse, il diminue pendant l'hiver et ne varie que très peu pendant le printemps. Des changements localement significatifs ont été mis en évidence dans le sud de la Belgique durant l'été si la planète se réchauffe de 4°C.

		1981-2010	+2°C	+3°C	+4°C
Eclairement solaire à la surface (W/m²)	Hiver	69663 +/- 10066	-1300 +/- 9228	-2830 +/- 9321	-5055 +/- 8877
	Printemps	320641 +/- 36950	-546 +/- 33435	2181 +/- 32431	5623 +/- 34977
	Été	484868 +/- 51038	19233 +/- 39863	27388 +/- 40329	48843 +/- 34706
	Automne	178117 +/- 20668	3675 +/- 21226	3247 +/- 20748	10614 +/- 20012

Tableau 10 - Eclairement solaire à la surface.

Evapotranspiration

Enfin, l'évapotranspiration (quantité d'eau qui s'évapore par le sol et les végétaux) augmente pour presque tous les mois, et ce quel que soit le degré de réchauffement. Les changements les plus importants sont durant l'été et ceux-ci deviennent significatifs pour plusieurs mois à partir du moment où nous vivons dans un monde plus chaud de 4°C.

		1981-2010	+2°C	+3°C	+4°C
Evapotranspiration potentielle (en mm/j)	Janvier	0,06 +/- 0,05	0 +/- 0,05	0 +/- 0,05	0,01 +/- 0,06
	Février	0,23 +/- 0,07	0,01 +/- 0,08	0 +/- 0,07	0,01 +/- 0,08
	Mars	0,65 +/- 0,17	0,04 +/- 0,19	0,06 +/- 0,19	0,06 +/- 0,20
	Avril	1,40 +/- 0,36	0,07 +/- 0,39	0,10 +/- 0,36	0,19 +/- 0,39
	Mai	2,21 +/- 0,52	0,11 +/- 0,52	0,26 +/- 0,52	0,46 +/- 0,60
	Juin	2,93 +/- 0,62	0,29 +/- 0,66	0,43 +/- 0,69	0,89 +/- 0,64
	Juillet	3,35 +/- 0,72	0,33 +/- 0,60	0,52 +/- 0,59	0,88 +/- 0,60
	Août	2,70 +/- 0,51	0,32 +/- 0,47	0,57 +/- 0,51	0,84 +/- 0,46
	Septembre	1,57 +/- 0,36	0,19 +/- 0,44	0,24 +/- 0,43	0,48 +/- 0,39
	Octobre	0,53 +/- 0,15	0,07 +/- 0,17	0,09 +/- 0,17	0,19 +/- 0,24
	Novembre	0,10 +/- 0,06	0,01 +/- 0,06	0,02 +/- 0,06	0,03 +/- 0,07
	Décembre	0,03 +/- 0,05	0 +/- 0,05	0,00 +/- 0,10	-0,01 +/- 0,05

Tableau 11 - Evapotranspiration de référence.

3. Résumé des futurs possibles

3.1. +2°C : possible à l’horizon 2030 - 2060

Un niveau de réchauffement planétaire de +2°C par rapport à la période préindustrielle (1850-1900) pourrait être atteint dès 2030-2040 dans plusieurs scénarios SSP. Il serait possible de plafonner durablement à ce niveau de réchauffement si on diminue drastiquement nos émissions de gaz à effet de serre rapidement (engagements les plus ambitieux actuellement pris) et qu’on atteint des émissions nettes nulles d’ici 2050. Selon le modèle régional du climat MAR de l’ULiège forcé par 6 modèles globaux du GIEC et avec application du scénario SSP370, en Wallonie, cela impliquerait une augmentation de la température moyenne d’environ +1,4°C par rapport au climat récent (période de référence 1981-2010). C’est-à-dire un climat similaire au climat actuel du Val de Loire en France, mais avec plus d’instabilité et d’extrêmes climatiques. Dans un tel monde, la fréquence (deux fois plus fréquent) et l’intensité (+7%) des fortes pluies augmenteraient, surtout l’hiver (~ +25%), engendrant des ruissellements intenses pouvant mener à de l’érosion, des coulées boueuses ou des inondations. Les vagues de chaleur doubleraient également (en moyenne 10-15 jours par été) et l’intensité des sécheresses devrait s’accroître (~ +15%). On connaîtrait de plus en plus des étés exceptionnellement pluvieux comme 2021, 2023, 2024, ou exceptionnellement chauds et secs comme 2019 et 2022. Enfin, le risque de gelées tardives restera grand.

3.2. +3°C : possible à l’horizon 2060 - 2080

Si les engagements les plus ambitieux ne sont pas suivis et qu’on poursuit simplement l’action climatique actuellement mise en œuvre, dans un contexte de rivalités régionales, le GIEC suggère dans son dernier rapport de 2023 qu’on se dirigerait vers un réchauffement planétaire de +3°C à la fin du siècle par rapport à la période préindustrielle (scénario SSP370). Dans un tel monde on se rapprocherait du climat actuel de la Charente-Maritime avec encore plus d’instabilité et d’extrêmes. Le risque de fortes pluies continuerait d’augmenter (~ +14% et trois fois plus fréquent) selon le modèle MAR. Des événements comme le 14 juillet 2021 (où il est tombé 100mm sur 1 jour dans la vallée de la Vesdre) auraient une fréquence de retour de ~ 20 ans. Dans un tel monde, ce serait toutefois la fréquence et l’intensité des vagues de chaleur (près de 5 fois plus fréquentes par rapport à la période 1981-2010, c’est à dire en moyenne presque 1 mois de canicule par an) qui deviendrait probablement le risque prépondérant. Combiné au problème de sécheresse, le risque de feux de forêt importants serait grand près d’un été sur deux en Wallonie.

3.3. +4°C : possible à l’horizon 2080 - 2100

Dans le cas où les politiques feraient machine arrière en matière d’action climatique et miseraient plutôt sur un développement fort basé sur les ressources fossiles (scénario SSP585), un réchauffement planétaire de +4°C par rapport à la période préindustrielle pourrait alors être atteint. On aurait alors le climat actuel du Gers en France avec toutefois une plus grande variabilité interannuelle et une multiplication d’extrêmes climatiques. Les inondations et fortes pluies continueraient à s’intensifier selon une même trajectoire. Les températures associées à la définition de vagues de chaleur deviendraient la normale durant tout l’été. Les nuits tropicales (température ne descendant pas en-dessous de 20°C ce qui affecte le sommeil et la santé) se produiraient pendant 1 à 2 mois d’été. Des épisodes importants de restriction d’eau et de risque d’incendies de forêt chaque été comme dans le sud de la France s’appliqueraient en Wallonie.

Ces chiffres, déjà alarmants, ne rendent toutefois probablement pas compte de l’ampleur des catastrophes d’une telle trajectoire au vu de nombreux autres facteurs d’incertitude (points de bascule, rétroactions, combinaisons d’événements, ...).

PARTIE C : Indicateurs de risque

1. Identification des indicateurs

Un état des lieux des initiatives proposées en Région Wallonne des bases de données et outils disponibles a été réalisé ainsi qu'un benchmark au niveau Belge et dans les pays voisins.

Cet état des lieux a permis d'identifier, en fonction des données disponibles, les indicateurs spatialisés permettant de caractériser au mieux les risques climatiques pour chaque système exposé et leur répartition sur le territoire afin de mettre en évidence les zones à risque.

Voir rapport de benchmarking complet pour la liste des initiatives et outils consultés dans chaque thématique.

Les prochains chapitres présentent pour chaque système exposé la synthèse de l'état des lieux, les indicateurs élaborés et les conclusions qui en ressortent en matière de risque sur le territoire wallon.

Ces informations sont basées sur le contenu des 36 rapports méthodologiques liés à chaque indicateur (voir Partie G : Bibliographie, page 114).

2. Biodiversité

2.1. Etat des lieux

Nonante-cinq pourcent (95%) des types d'habitats naturels sont en état de conservation défavorable en Wallonie. Sur 1322 espèces de plantes présentes en Wallonie, 448 sont considérées comme menacées (34%). Pour les espèces animales ce taux varie autour des 20 à 40%.

Les principales pressions sur les milieux et les espèces sont la perte directe des surfaces d'habitat et leur fragmentation, l'intensification des pratiques agricoles et sylvicoles, la pollution (engrais azotés, pesticides, pollution lumineuse) et les espèces exotiques envahissantes. A ces moteurs de perte de biodiversité se superpose celui des changements climatiques, aggravant les pressions pesant sur les écosystèmes.

Il existe plusieurs risques et impacts des changements climatiques sur la biodiversité : modification des aires de distribution des espèces, modification des interactions entre espèces dues aux changements phénologiques, naturalisation et invasion d'espèces exotiques envahissantes, etc. Les événements extrêmes de sécheresse et de canicule impacteraient plus particulièrement certains habitats tels que les tourbières ou les prairies de fauches, et les espèces des milieux froids (plateaux ardennais). Certaines des principales essences de production de bois en Wallonie (hêtre, épicéa, chêne pédonculé...) sont également susceptibles de subir des dépérissements et déplacements d'aires à cause des modifications de régime hydrique induites par les changements climatiques.

La perte de biodiversité impacte la capacité de nos milieux naturels à fournir des services écosystémiques tels que le stockage de carbone dans le sol, la pollinisation, la valeur récréative et sanitaire de la nature, etc. Ceci est vrai pour les grands espaces naturels, mais aussi pour les zones urbaines et agricoles, qui peuvent abriter une biodiversité importante et agir comme corridors au sein du réseau écologique

Les analyses de vulnérabilité climatique en Belgique et dans les pays voisins concernent principalement les thématiques agricoles, forestières et de santé. Peu de modélisations ou analyses de vulnérabilité ont été réalisées sur les habitats naturels, et il s'agit principalement d'analyses non quantitatives, basées sur des avis d'expert.

2.2. Chaîne d'impact

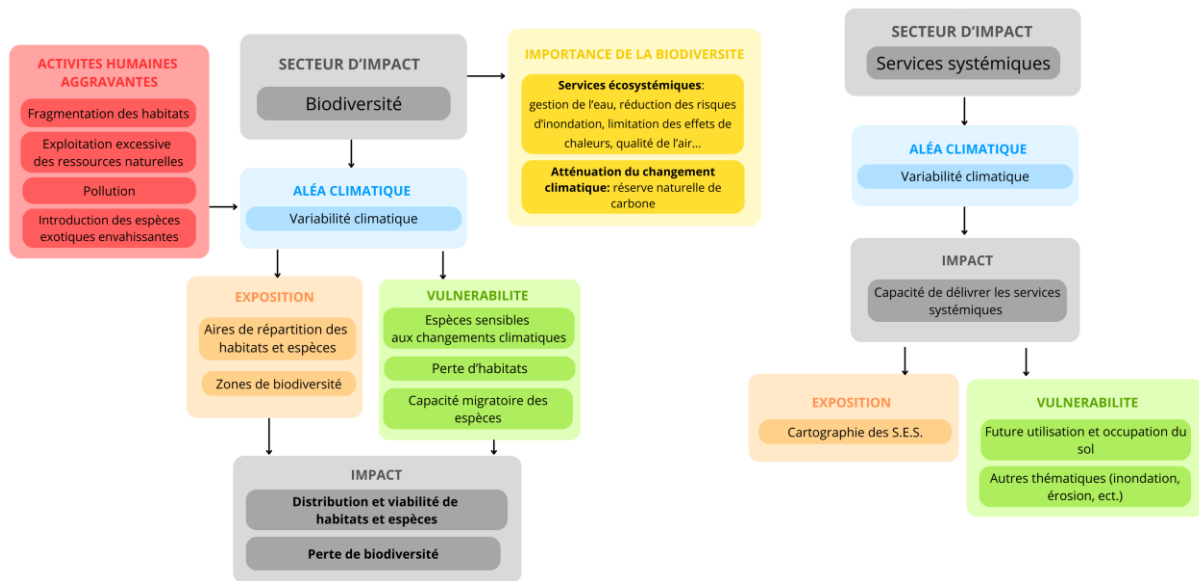


Figure 2 – chaînes d'impacts pour le système « Biodiversité »

2.3. Périmètre et indicateurs

Les indicateurs élaborés se concentrent sur le changement graduel des paramètres climatiques et la manière dont cela va modifier les aires de distribution des espèces. Il s'agit en effet du danger climatique principal pour la biodiversité et pour lequel des données sont disponibles pour analyser les tendances. Deux types d'indicateurs en découlent :

- L'inadéquation future des aires de répartition actuelles des espèces et habitats
- La réduction du potentiel de fourniture de services écosystémiques

Une approche cartographique spécifique aux forêts a par ailleurs été développée, ainsi qu'une analyse de l'impact des changements climatiques sur l'expansion des espèces exotiques envahissantes.

Ces indicateurs se focalisent donc sur deux des trois composantes du risque, les aspects « dangers » (modification graduelle des paramètres climatiques) et « exposition » (espèces, habitats, services écosystémiques). La dimension « vulnérabilité » n'a pas pu être prise en compte (sauf pour les forêts) par manque de données centralisées et validées. Il s'agit notamment du réseau écologique, la qualité de ses connexions ainsi que l'état de conservation/dégradation actuel de chaque site de biodiversité. Cette analyse devra donc venir se rajouter à un niveau local pour mieux calibrer les mesures de gestion.

2.4. Résultats et zones à risque

Indicateurs « Habitats et Espèces »

Un indicateur de risque a été construit pour 6 habitats et les 19 espèces wallonnes.

Pour chaque point de localisation auquel cet habitat ou cette espèce est présent sur le territoire, l'indicateur permet d'identifier le nombre de paramètres climatiques pour lesquels l'habitat/espèce, en raison des changements climatiques, ne serait plus dans sa « niche climatique » (optimum viable) ce qui pourrait entraîner à minima un stress, voire une disparition de cet habitat/espèce à cet endroit.

L'indicateur permet de visualiser le risque selon la moyenne des modèles climatiques globaux ou selon le modèle le plus « sec », ainsi que dans des niveaux de réchauffement global de +2°C, +3°C et +4°C.

Il ressort que **tous les habitats sont à risque** de sortir de leur niche en Wallonie pour au moins un indicateur, à des degrés de réchauffement variables. Les habitats forestiers sont les plus sensibles, particulièrement les hêtraies atlantiques acidophiles pour lesquelles des modifications importantes de structure et de composition peuvent survenir dès un réchauffement de +2°C.

84% des espèces étudiées sortent de leur niche climatique. Les deux paramètres les plus impactants, sont l'évolution de la température moyenne annuelle et de la température du mois le plus chaud. Les espèces thermophiles liées à des habitats plus secs y sont moins sensibles que les espèces liées à des milieux plus frais. Le risque est accentué dans les modèles suggérant des changements climatiques plus secs, en raison de l'impact du manque d'eau en été.

L'analyse indique une sensibilité particulière des forêts et des **zones à risques** les plus importantes dans la zone géographique atlantique (**hêtraie acidophile atlantique**), ainsi que dans la zone de sols à régime hydrique alternatif sur les **reliefs de Fagne-Famenne**. A contrario, la zone de Haute Ardenne montre un risque moins important.

Il est à noter qu'un risque élevé de sortie de niche climatique ne signifie pas strictement une transformation en un autre type d'habitats non forestiers mais plus probablement des changements de structure (couvert, hauteur, ...) et de composition floristique au sein de l'habitat. La faible superficie et connectivité écologique des massifs forestiers en bon état de conservation écologique accentue la vulnérabilité des espèces au changement de leur niche climatique et pourrait amener à terme à une diminution de la richesse en espèces déjà fortement dégradée. Pour les habitats forestiers sur sols à régime secs et/ou alternatifs, on ne peut pas exclure une évolution vers des formes d'habitats correspondant à des fourrés clairs, voire des habitats ouverts dans les niveaux de réchauffement les plus extrêmes.

Outre les forêts, les zones soutenant des habitats de climat frais et/ou sur sols humides correspondant aux habitats tels que **les tourbières et les prairies humides au sens large**, sont également considérées à **risque**. Bien que les habitats de tourbières présentent un risque modéré de sortie de niche climatique en Wallonie, leurs espèces spécialisées présentent un risque élevé, tout comme les espèces des prairies humides. Il existe donc une probabilité importante de dégradation de ces habitats et d'appauvrissement de la diversité des espèces qui en dépendent.

Indicateurs « Services Écosystémiques »

Un indicateur de risque a été construit pour 13 services écosystémiques.

L'indicateur permet d'identifier un pourcentage de variation de la capacité de chaque zone du territoire à fournir le service écosystémique. La variation se rapporte au potentiel de service (variant de 0 à 5) issu de la « *matrice des capacités des écosystèmes à fournir des services* » (SPW 2023). De la même façon que pour établir cette matrice, un groupe de travail d'experts a été organisé pour déterminer les pourcentages de variation en fonction des changements climatiques. Les variations de capacité ont été réfléchies « toute chose restant égale », c'est-à-dire sans intégrer la mise en place de stratégies d'adaptation, de nouveaux scénarios agricoles ou sylvicoles, d'outils d'aménagement du territoire visant à améliorer la résilience des écosystèmes.

L'indicateur permet de visualiser le risque selon trois niveaux de réchauffement : +2°C, +3°C et +4°C.

Les cartes résultantes mettent en évidence un risque important de réduction des services écosystémiques à la fois dans les zones naturelles et les zones plus anthropisées. **Cette diminution est généralisée sur toute la Wallonie et il n'est pas possible d'identifier des zones à risques spécifiques.** On peut toutefois dégager quelques spécificités liées aux différents types de services écosystémiques :

- Pour les **services de production**, une baisse notable est observée dans les zones rurales (productions alimentaires, de fourrage et élevage) et forestières (bois d'œuvre), en raison des stress climatiques croissants tels que les sécheresses et la hausse des températures.
- Pour les **services de régulation**, les analyses soulignent une réduction de la hauteur de la végétation et une dégradation des écosystèmes amenant à une moindre capacité de temporisation des événements extrêmes. Les sols aux extrêmes hydriques (à engorgement permanent ou à l'inverse superficiels et secs) sont ceux qui présentent la perte potentielle de services de régulation la plus élevée.

La capacité des écosystèmes à stocker du carbone sera également considérablement affectée par les changements climatiques, notamment dans les écosystèmes forestiers. Déjà en 2023,

les forêts européennes ont perdu 20% de leur capacité à stocker du carbone, essentiellement en raison d’une baisse de la croissance des arbres et d’une hausse de leur mortalité liée aux incendies, aux sécheresses et aux attaques de ravageurs. Si des sécheresses estivales intenses venaient à assécher des écosystèmes de tourbières, ceux-ci pourraient également voir leur capacité de stockage de carbone diminuer.

- Pour les **services culturels** (environnement pour les loisirs et pour la vie courante), des impacts importants sont attendus à partir de +3°C, surtout en région ardennaise, et principalement dans les milieux forestiers et humides. Les causes sont :
 - o Fermeture plus fréquentes et plus longues des massifs forestiers en raison du risque d’incendie ;
 - o Restriction d’accès aux milieux humides, aux zones de baignade, aux tronçons praticables en kayak en été pour cause de sécheresse ou de mauvaise qualité de l’eau, ou à l’inverse pour cause d’excès d’eau (inondations, dégâts aux infrastructures, risque de noyade, etc.) ;
 - o Baisse de l’attractivité des massifs forestiers à cause de dépérissements ou dégâts visibles.

Focus sur les forêts

Un indicateur de risque a été construit pour les hêtraies et pessières.

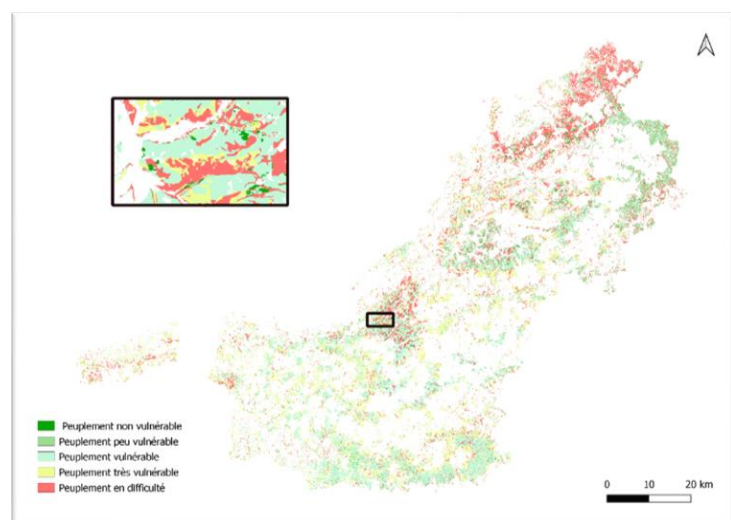
Cet indicateur croise la vulnérabilité des stations (morceau de forêt homogène) avec des cartes d’aptitude des essences (type d’arbre). L’analyse est limitée aux pessières et aux hêtraies pures de Wallonie du fait de l’impossibilité d’identifier les espèces de chêne par la télédétection. Cette analyse ne concerne donc que 35 % de la forêt wallonne, mais une grande partie des forêts non cartographiées, souvent composée de mélanges d’essences, peut être considérée comme moins vulnérable.

Pour le scénario d’évolution, l’impact a été déterminé sur base d’avis d’experts dans un contexte de réchauffement global de +4°C. Cette analyse est limitée à l’Ardenne qui dispose d’un guide des stations identifiant les essences avec précision.

En termes de zones à risque prioritaires l’analyse montre que :

- **En Wallonie : 43% de la forêt wallonne est vulnérable et 12% très vulnérable.** On y trouve principalement les stations aux sols superficiels de la région mosane, en particulier les sols schisteux de la Fagne-Famenne où de nombreuses mortalités s’observent déjà.
- Dans les hêtraies et pessières pures d’Ardenne (qui représentent 50 % de la forêt ardennaise), **25% de la surface de ces peuplements ardennais sont très vulnérables à long terme et 25% sont déjà en difficulté.** Cela s’explique par le fait que, d’une part, ces essences seront défavorisées par les changements climatiques, et d’autre part, que l’analyse menée concerne les peuplements purs par nature plus vulnérables. En raison de cette vulnérabilité qui s’est déjà exprimée lors d’événements climatiques extrêmes (périodes sèches de 2018 à 2022), une partie de ces peuplements est déjà en voie de transition, par diversification à l’occasion de trouées ou par remplacement à l’occasion de dégâts de scolytes.

Figure 3 - carte de la vulnérabilité des peuplements purs de hêtres et d’épicéas en Ardenne dans un niveau de réchauffement global de +4°C.

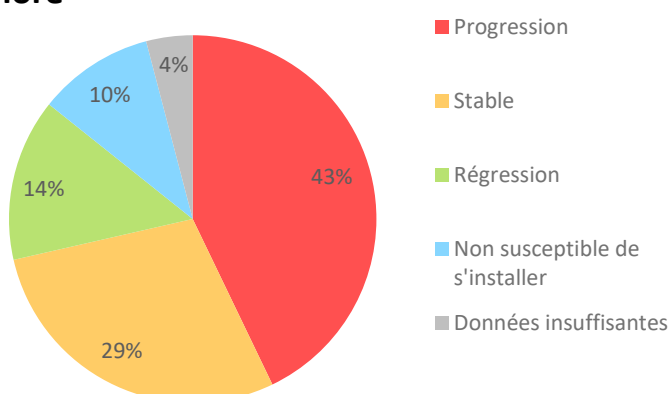


Espèces exotiques envahissantes

Les données disponibles n'ont pas permis d'établir un indicateur relatif aux espèces exotiques envahissantes, mais une revue de la littérature européenne à ce sujet permet de tirer quelques conclusions pour la Wallonie. Les études montrent que les changements climatiques permettent généralement aux EEE de gagner du terrain, surtout dans les pays du nord. La Belgique est par ailleurs actuellement une des régions du monde les plus envahies par les espèces exotiques.

Plus spécifiquement, l'analyse de la littérature scientifique pour 91 EEE a permis de mettre en évidence quelques tendances dans l'évolution de leur distribution sur le territoire wallon sous l'influence des changements climatiques.

Flore



Faune

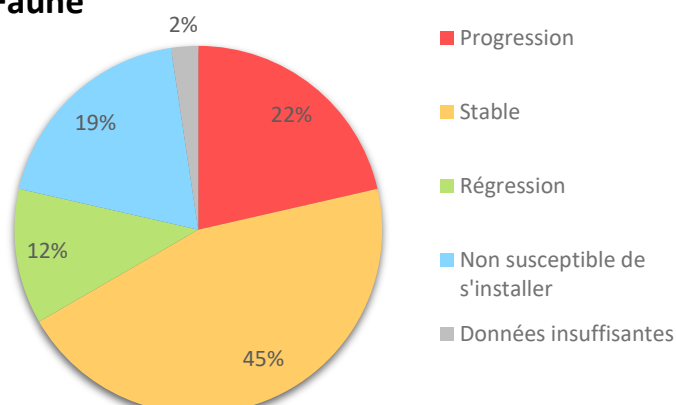


Figure 4 – Tendance dans les évolutions de la distribution de la flore (à gauche) et de la faune (à droite) exotiques envahissantes en Wallonie sous l'influence des changements climatiques

Environ un tiers des espèces sont capables de s'installer dans les conditions climatiques actuelles tout comme dans celles projetées en cas de changements climatiques.

Un autre tiers des espèces verraient leur implantation et progression **favorisées par des températures moyennes plus élevées**. Certaines ont jusqu'à présent été incapables de s'installer et/ou de se reproduire en Wallonie à cause de leur sensibilité au gel ou de leur caractère thermophile. Elles sont considérées comme des espèces émergentes potentielles. Il faut également garder en tête que certaines de ces espèces entraînent aussi des conséquences, parfois graves, en termes de santé publique. En effet, plusieurs d'entre elles comme l'ambrosie à feuilles d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia*), la fausse camomille (*Parthenium hysterophorus*) ou le houblon du Japon (*Humulus scandens*) ont des pollens allergisants, pouvant entraîner des effets allant du simple inconfort à des pathologies plus sévères (rhinites, asthme, dermatites, ...).

Un sixième des espèces, sont particulièrement sensibles à la chaleur ou au manque d'humidité et tendront à être défavorisées par les conditions climatiques futures retrouvées en Wallonie.

Le dernier sixième, sont les espèces actuellement non présentes en Wallonie et qui ne sont pas susceptibles de s'y installer même dans les conditions climatiques futures.

Du fait de la généralisation des espèces exotiques envahissantes à l'ensemble du territoire wallon, et de la diversité des niches écologiques des espèces à risque d'installation sous les niveaux de réchauffement globaux, il n'est pas possible d'identifier, sur base de l'analyse bibliographique réalisée, des zones de risques plus importantes.

2.5. Mesures d'adaptation

Facteurs non climatiques

Rappelons que l'état de conservation actuel des milieux naturels en Wallonie est mauvais et que le déclin de la biodiversité est dû à 5 principales pressions anthropiques sur les milieux et les espèces :

- perte directe des surfaces d'habitat et leur fragmentation dû à l'artificialisation des sols,
- les pratiques agricoles et sylvicoles intensives,
- la pollution (engrais azotés, pesticides, lumineuse),
- les espèces exotiques envahissantes,
- les changements climatiques.

Les mesures adressant les 3 premières pressions (planifier l'arrêt de l'artificialisation des terres et leur désimperméabilisation, coordonner une transition agroécologique et une exploitation forestière durable) doivent donc être des priorités.

Réseau écologique en bon état de conservation

Concernant l'impact spécifique des changements climatiques, l'analyse montre que tous les milieux subiront des stress climatiques et sortiront de leur niche écologique. D'une manière générale, augmenter la part d'habitats en bon état de conservation est une priorité pour conserver les espèces et SES fournis. Pour cela, il faut encourager les programmes de **restauration écologique** et prioriser les actions sur les **zones centrales** et de **rupture du réseau écologique**, afin de favoriser l'accueil et faciliter les migrations d'espèces. À ce titre, les zones associées aux **liaisons écologiques identifiées dans le Code du Développement Territorial (CODT)** constituent des **zones d'intervention prioritaires**.

Il est aussi important de mentionner que les critères utilisés pour définir la qualité de conservation d'un habitat sont généralement basés sur des listes d'espèces datant de plusieurs décennies. Or, les changements climatiques impacteront très certainement les assemblages d'espèces. Par exemple, la plupart des hêtraies de Wallonie laisseront petit à petit place à des chênaies de substitutions, au vu du déplacement de l'aire de répartition du hêtre vers le nord et en altitude. Ces chênaies peuvent être tout aussi intéressantes, voire plus, en termes de capacité d'accueil de biodiversité et de SES rendus. Une **révision des critères de qualité de certains habitats naturels** devrait donc être réfléchie pour tenir compte de l'évolution des communautés spécifiques.

Enfin, en considérant la Wallonie dans son contexte européen, la vallée mosane constitue également une zone d'intervention prioritaire pour la restauration des habitats afin de rétablir le corridor écologique mosan, maillon essentiel de la connectivité du réseau écologique européen.

Forêts naturelles

L'analyse a mis en évidence l'impact particulièrement important des changements climatiques sur les habitats forestiers, en particulier les hêtraies et pessières wallonnes. Afin d'augmenter leur résilience il est nécessaire de **diversifier les essences**, favoriser une sylviculture plus proche de la nature en favorisant la **régénération naturelle** et tester la migration assistée d'essences plus adaptées aux conditions futures, telles que le chêne sessile et les essences indigènes plus thermophiles (tilleul, charme, ...). Protéger au maximum les sols en évitant et limitant leur tassement lors de l'exploitation forestière est également crucial. Une série d'autres recommandations sont adressées aux propriétaires, gestionnaires et décideurs dans une synthèse préparée à leur destination en 2017 (Himpens et al., 2017) qui est plus que jamais d'actualité, et ont, pour la plupart, été transcrites dans la toute récente stratégie forestière régionale. Les mesures qui y sont préconisées peuvent être résumées comme suit :

- | | |
|--|-----------------------------------|
| - Développement de couloirs de liaison | - Contrôle des espèces invasives |
| - Monitoring des zones protégées | - Diversification des espèces et |
| - Protection des espèces rares | provenances et mélange d'essences |

- Structure forestière complexe, gestion des lisières
- Contrôler la densité de gibier
- Sylviculture dynamique
- Optimiser l'équilibre station/essence
- Eclaircies adaptées à l'essence
- Eviter le tassement du sol
- Limiter la pollution atmosphérique
- Améliorer la disponibilité en eau des sols
- Limiter la consommation en eau par la végétation
- Supprimer les drainages
- Structure du sol : exploitation diversité des enracinements
- Surveiller les parasites et pathogènes : modification des relations hôte/parasite
- Concept « Pro Silva »
- Gérer les densités de plantation
- Favoriser la régénération naturelle
- Observatoire de la santé des forêts
- Nouveau fichier écologique des essences
- Dictionnaire des provenances recommandables
- Simulation de la sensibilité des stations
- Sensibilisation de l'administration et des propriétaires privés
- Formation de personnel spécifique
- Plans (chablis, incendies, pathogènes, ...).

Biodiversité urbaine et agricole

Au vu de l'importance de la biodiversité pour soutenir « l'adaptation fondée sur les écosystèmes » (AfE) dans de nombreux autres systèmes exposés aux changements climatiques, les actions en faveur de la biodiversité ne doivent pas seulement être réalisées dans des zones protégées (réserves, Natura 2000), mais également encouragées dans les zones agricoles et dans l'espace urbain.

Lutte contre les espèces exotiques envahissantes

La première manière de lutter contre les EEE consiste à prévenir leur introduction sur le territoire. Un cadre légal existe à ce sujet et mentionne particulièrement des mesures concernant les espèces encore peu répandues en Wallonie ainsi qu'une liste recensant les espèces interdites à la plantation. À côté de cela, la priorité est de cibler **la détection et l'éradication précoce** des EEE émergentes. Le cas de l'Observatoire Wallon des Ambrosies constitue un exemple d'initiative appropriée, à répliquer pour les futures EEE potentielles évoquées dans l'analyse.

Analyses complémentaires

Les indicateurs développés suffisent à tracer les grandes lignes de l'impact des changements climatiques sur la biodiversité wallonne. Au vu des autres pressions anthropiques, les mesures d'adaptation doivent de toute manière être pensées à une échelle intégrée sur tout le territoire. Malgré cela, pour affiner encore l'analyse, différents axes de recherche peuvent être envisagés :

- traiter un ensemble plus diversifié d'habitats et espèces structurantes,
- étudier les communautés plutôt que des espèces isolées en modélisant l'évolution des interactions entre espèces (prédation, mutualisme, etc.),
- combiner la modélisation du risque climatique avec d'autres pressions anthropiques : la fragmentation de l'habitat, la pollution.

L'indicateur sur les services écosystémiques pourrait également être enrichi de croisement avec certains enjeux socio-économiques si la dépendance au service écosystémique peut-être mieux caractérisée et spatialisée.

3. Dynamique Eau et Sols

3.1. Etat des lieux

Les vulnérabilités actuelles liées à l'eau en Wallonie doivent être estimées en prenant en compte l'aspect quantitatif ainsi que l'aspect qualitatif. Les projections climatiques nous indiquent une accentuation des phénomènes climatiques extrêmes comme les inondations ou les sécheresses ainsi qu'une saisonnalité plus marquée. Les sécheresses météorologiques (absence de pluies) engendrent deux différents types de sécheresses :

- Les sécheresses hydrologique, impliquant une réduction du niveau des nappes et du débit d'étiage, qui combiné à une augmentation des demandes en eau de différents secteurs (consommation humaine, refroidissement industriel, irrigation, tourisme, ...) durant une même période peuvent engendrer des conflits d'usage
- Les sécheresses édaphiques, impliquant une diminution de la réserve en eau disponible pour les plantes et potentiellement une diminution du rendement des cultures. La réserve en eau utile (REU) des sols dépend de plusieurs facteurs dont le type de sol, la teneur en matière organique (MO) et la structure des sols. Les sols de plus faible profondeur et à faible capacité de rétention d'eau du sud de la Wallonie seront par exemple plus sensibles au stress hydrique.

Les fortes pluies hivernales vont au contraire engendrer du ruissellement et du lessivage (nitrate, pesticides). Les pluies plus intenses vont générer davantage de ruissellement et une érosion hydrique des sols importante pouvant mener à des inondations et des coulées boueuses ainsi qu'à une dégradation des sols et de la qualité des eaux de surface. Les sols artificialisés, en combinaison des pluies plus intenses peuvent augmenter les risques d'inondations. Les impacts sont d'ordre environnemental mais aussi socio-économique et géopolitique (Maes et al., 2020).

L'état des lieux a permis de mettre en évidence que plusieurs dispositifs sont mis en place en Wallonie comme la cellule « Sécheresse » pilotée par le Centre régional de crise en Wallonie qui propose des mesures de gestion de l'eau, le « Dispositif sécheresse pour la Wallonie » qui vise à protéger les ressources hydriques et limiter les usages en eau ou encore le Schéma Régional des ressources en eau 2.0 lancé en 2020 qui vise à mieux prendre en compte l'évolution du climat au niveau de la gestion de l'offre et de la demande. Cependant, le rapport de 2022 de la plateforme wallonne pour le GIEC a mis en évidence plusieurs risques et impacts des changements climatiques sur l'eau (PWG 2022).

Concernant les outils et données, la Wallonie dispose d'un monitoring et de modèles adéquats pour représenter les risques actuels liés à l'eau. L'intégration de l'impact des changements climatiques ou d'analyse de vulnérabilité plus fine est parfois disponible au niveau local ou sur certaines projections, mais ne forme pas actuellement un tout cohérent dans ces différents outils.

3.2. Chaines d'impact

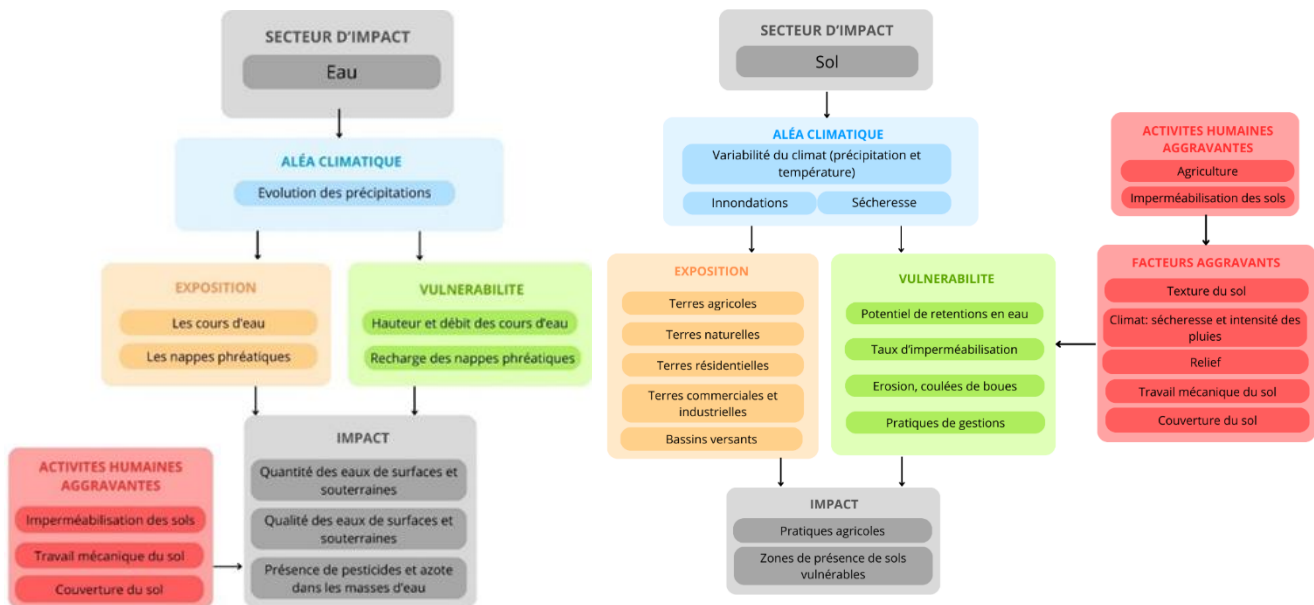


Figure 5 – chaînes d'impacts de l'eau et du sol en tant que sujets exposés au risque

3.3. Périmètre et indicateurs

L'eau et les sols sont ici considérés comme sujets d'impact des changements climatiques. Il s'agit principalement d'étudier comment la variabilité des précipitations va modifier la qualité et la quantité d'eau sous ses diverses formes (souterraine, surface, dans les sols). Ces modifications vont elles-mêmes entraîner d'autres risques (inondations et sécheresses) qui sont étudiés dans les autres systèmes (agriculture, santé, économie, tourisme, infrastructures, énergie, villes).

Cinq types d'indicateurs de risque en découlent :

- Aggravation de l'aléa d'inondation
- Erosion des sols et coulées boueuses
- Sécheresse des nappes et des cours d'eau
- Sécheresse des sols
- Pollution de l'eau par le nitrate

Par ailleurs deux autres types d'indicateurs viennent compléter l'analyse :

- Evolution de l'imperméabilisation des sols
- Sensibilité des sols aux variations hydrique fortes (engorgement, sécheresses)

Ces indicateurs se focalisent donc sur les aspects « dangers » (variabilité des pluies) et comment ils se transforment en impacts intermédiaires liés à l'eau. La dimension « vulnérabilité » n'a pas pu être intégrée dans la modélisation des indicateurs. Certaines propriétés des sols ont toutefois été reprises en parallèle pour compléter l'analyse.

3.4. Résultats et zones à risque

Indicateur d'aggravation de l'aléa d'inondation

Un indicateur de l'aggravation du risque d'inondations a été construit, sur base du pourcentage d'augmentation ou de diminution du ruissellement direct par rapport au climat actuel.

L'indicateur permet de visualiser les projections de la moyenne des modèles climatiques ou du modèle ayant les projections extrêmes les plus humides. Les projections sont faites selon les trois niveaux de réchauffement mondial : +2°C, +3°C et +4°C.

Les projections climatiques montrent une augmentation progressive importante du ruissellement direct dans le futur à mesure que la température augmente. Dans des niveaux de réchauffement globaux de +3 et +4°C, le ruissellement direct augmente de plus de 100% dans une partie de la Wallonie. Les **zones les plus à risque** dans le futur sont les **bassins versants de la Vesdre, du Roer, de Chiers et de Sure**, ainsi que dans une moindre mesure, les bassins versants de l'Escaut, la Dendre, la Senne, l'Amblève et la Semois.

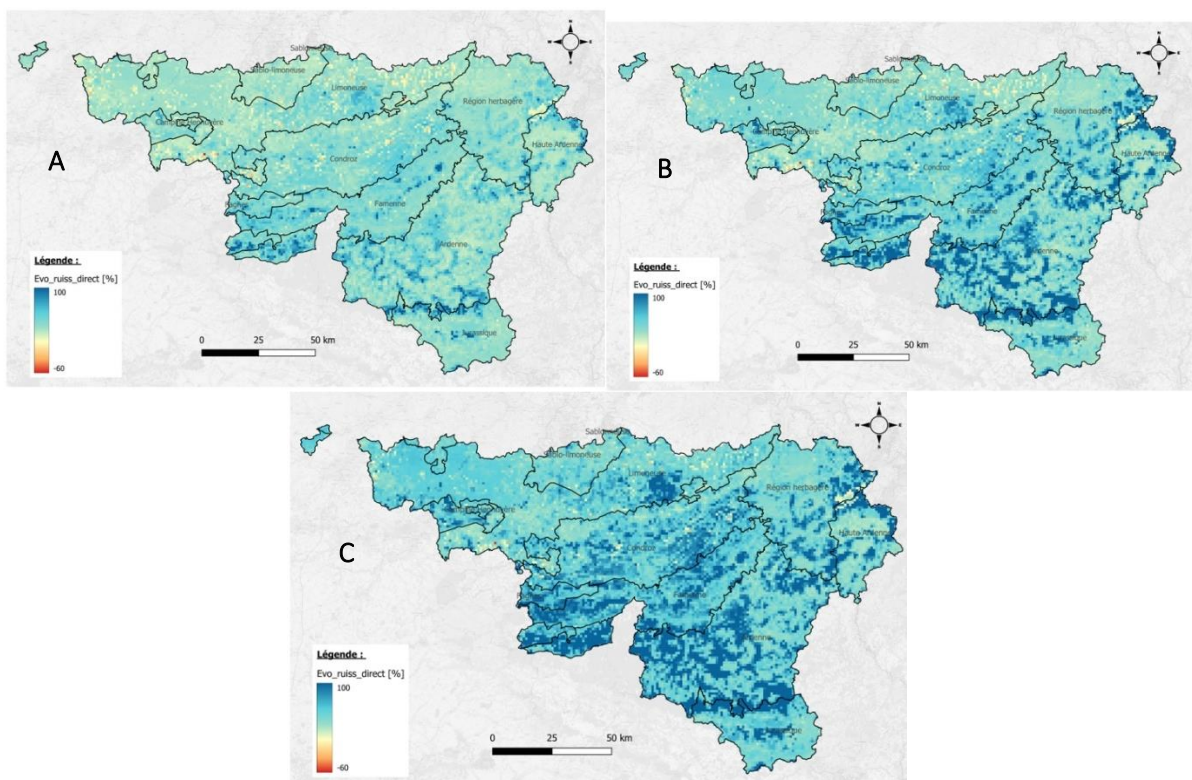


Figure 6 - Evolution du ruissellement direct en pourcentage dans un monde à +2 (A), +3 (B) et +4°C (C) pour la moyenne des modèles climatiques globaux

Indicateur du risque d'érosion des sols et coulées boueuses

L'analyse du risque d'érosion des sols est faite au travers d'un indicateur d'évolution de l'érosivité des pluies. Il faut noter que l'érosivité des pluies est un facteur parmi d'autres (pente, couverture du sol, ...) dans le risque d'érosion.

L'indicateur permet de visualiser les projections de la moyenne des modèles climatiques ou du modèle ayant les projections extrêmes les plus humides. Les projections sont faites selon les trois niveaux de réchauffement mondial : +2°C, +3°C et +4°C.

De manière générale, pour la moyenne des modèles, **l'érosivité des pluies va augmenter** pour l'ensemble de la Wallonie, cette augmentation étant plus marquée pour un niveau de réchauffement mondial +4°C qu'à +2°C. **L'Ardenne** montre l'augmentation la plus importante à +4°C alors qu'elle présente déjà la plus grande érosivité des pluies dans le climat actuel. Le plateau hennuyer quant à lui montre des augmentations importantes de l'érosivité des pluies, mais présente actuellement les plus faibles valeurs et est donc considéré moins à risque.

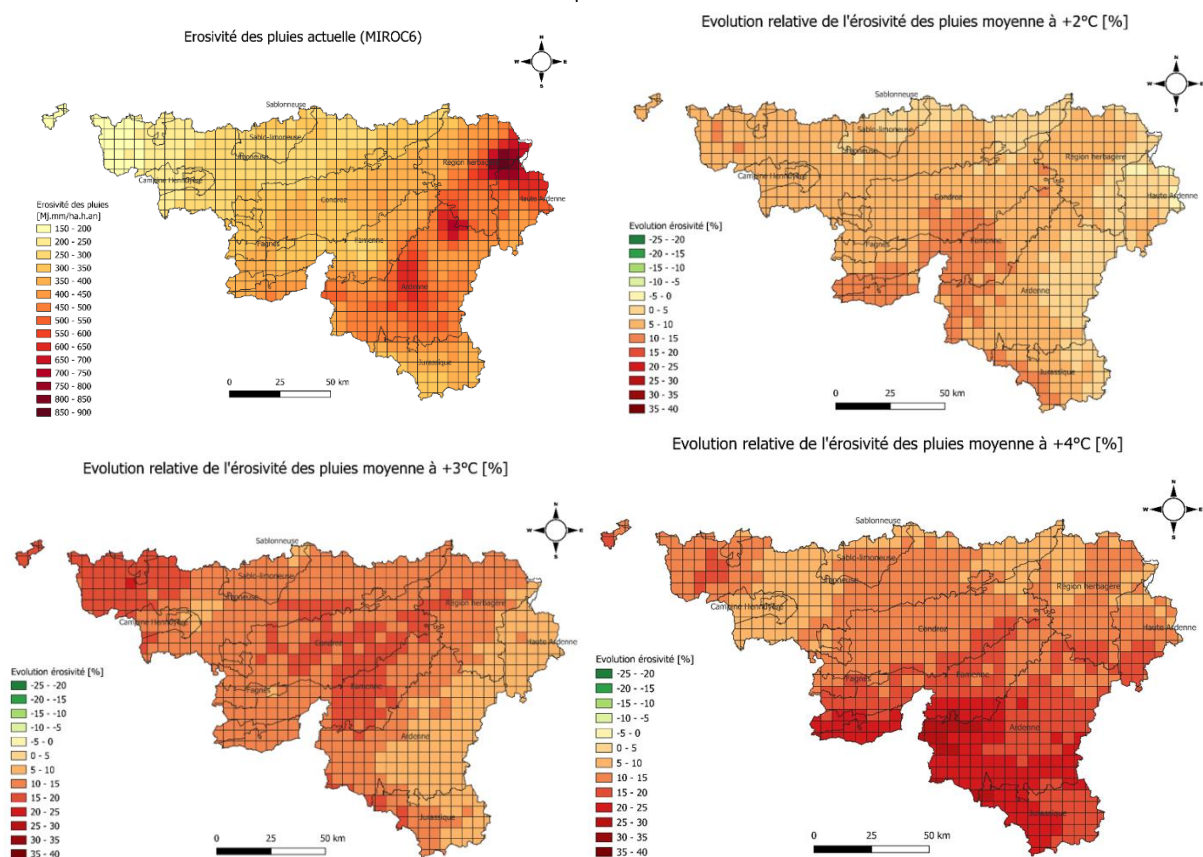


Figure 7 - Erosivité des pluies actuelle et évolution dans un monde à +2°, +3° et +4°C pour la moyenne des modèles globaux.

Indicateur du risque de sécheresse des nappes et cours d'eau

L'analyse du risque de sécheresses hydrogéologiques (des nappes) a été réalisée pour chaque masse d'eau souterraine, sur base du cumul (moyen et maximal) de percolation sur 12 mois, ainsi que la durée maximale d'un déficit de percolation. Ce déficit a par ailleurs été croisé avec les données de prélèvement actuel des nappes afin d'aboutir à un indicateur de risque d'approvisionnement.

L'analyse du risque de sécheresse hydrologique des cours d'eau a été réalisé sur base de modélisation de l'apport en eau aux cours d'eau à chaque saison.

Ces indicateurs permettent de visualiser les projections de la moyenne des modèles climatiques ou du modèle ayant les projections extrêmes les plus sèches. Les projections sont faites selon les trois niveaux de réchauffement mondial : +2°C, +3°C et +4°C.

Pour les nappes, dans les niveaux de réchauffement mondiaux de +2 et +3°C, il semble que la **masse d'eau souterraine RWM100, en Ardenne, présente la plus grande vulnérabilité au risque de sécheresse hydrogéologique**. En effet, du fait de sa géologie et de sa couverture, la plupart des modèles présente de faibles percolations moyenne et minimale sur la période de référence, et une diminution de celles-ci dans la plupart des modèles. Lors de la sécheresse de 2017, plusieurs communes ont déjà pris des mesures quant à l'utilisation de l'eau dans cette région. Pour le reste de la Wallonie les résultats sont contrastés entre les modèles et ne permettent pas d'affirmer un risque accru de sécheresse.

Pour un niveau de réchauffement global de +4°C, les résultats semblent montrer des augmentations du cumul moyens et minimaux de percolation et une diminution des périodes de sécheresse et du risque d'approvisionnement en eau. Attention il s'agit d'un scénario « toutes choses égales par ailleurs » : des prélèvements d'eau constant et une capacité des sols à infiltrer l'eau qui resterait identique (pas d'imperméabilisation supplémentaire).

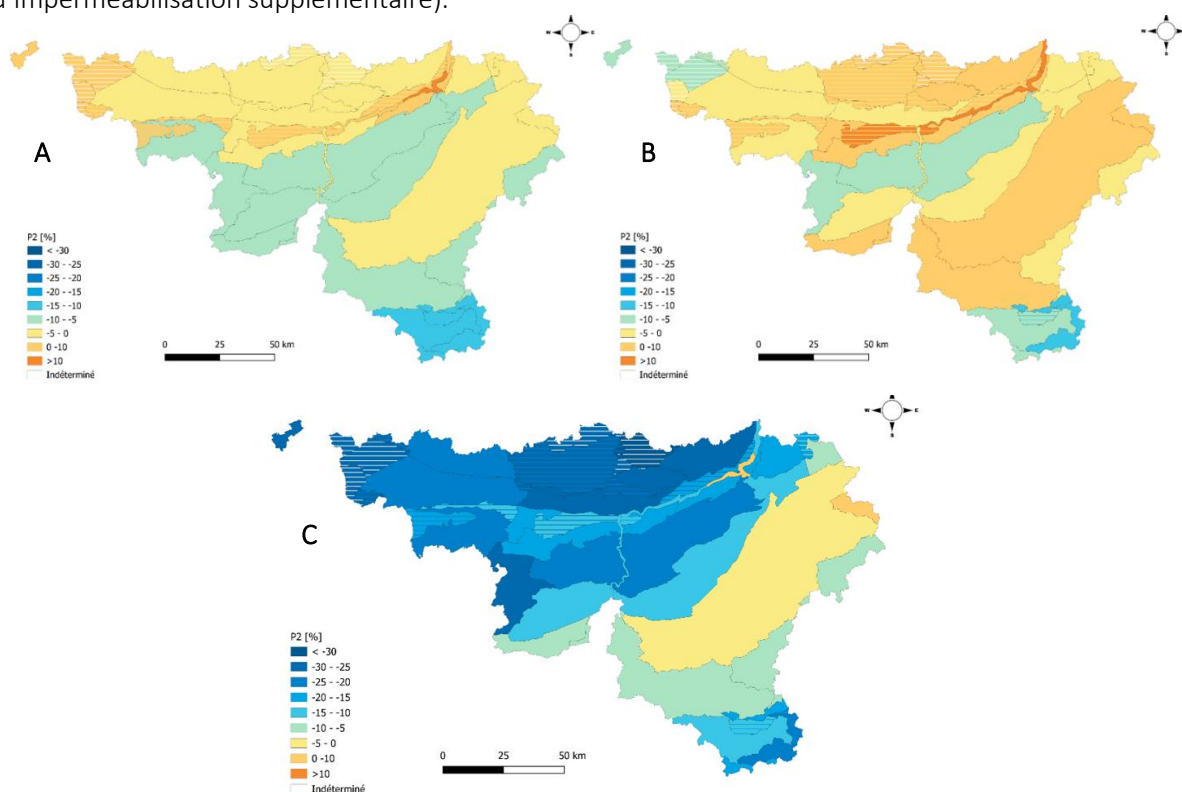


Figure 8 - Evolution du risque pour l'approvisionnement des nappes en pourcentage dans un monde à +2° (A), +3° (B) et +4°C (C) pour le modèle extrême sec CMCC.

Pour les cours d'eau, les résultats de l'analyse montrent une forte variabilité entre les modèles. Globalement les apports augmentent en automne, en hiver et au printemps pour les trois niveaux de réchauffement mondiaux (+2, +3, et +4°C).

Pour l'été, les résultats sont contrastés entre les modèles avec tout de même une suggestion d'augmentation des apports pour la plupart des cours d'eau à +2°C, une variabilité spatiale à +3°C (sécheresses dans le nord de la Wallonie et une partie de l'Ardenne) et des apports qui diminuent de manière généralisée et jusqu'à -70% dans certains bassins versants pour +4°C de réchauffement mondial. Les **zones à risque identifiées** en été se concentrent principalement dans le nord de la Wallonie, notamment autour des **bassins versants de la Dyle, de la Gette et de la Sambre**, dès une augmentation de +2°C. Avec une hausse de +3°C, les sécheresses affectent également les cours d'eau de la Meuse, de l'Ourthe et de l'Escaut. À +4°C, une diminution significative des apports en eau touche la majeure partie de la Wallonie. Les bassins versants les plus vulnérables incluent alors également la Lesse, la Sûre, la Semois, l'Amblève et l'Our.

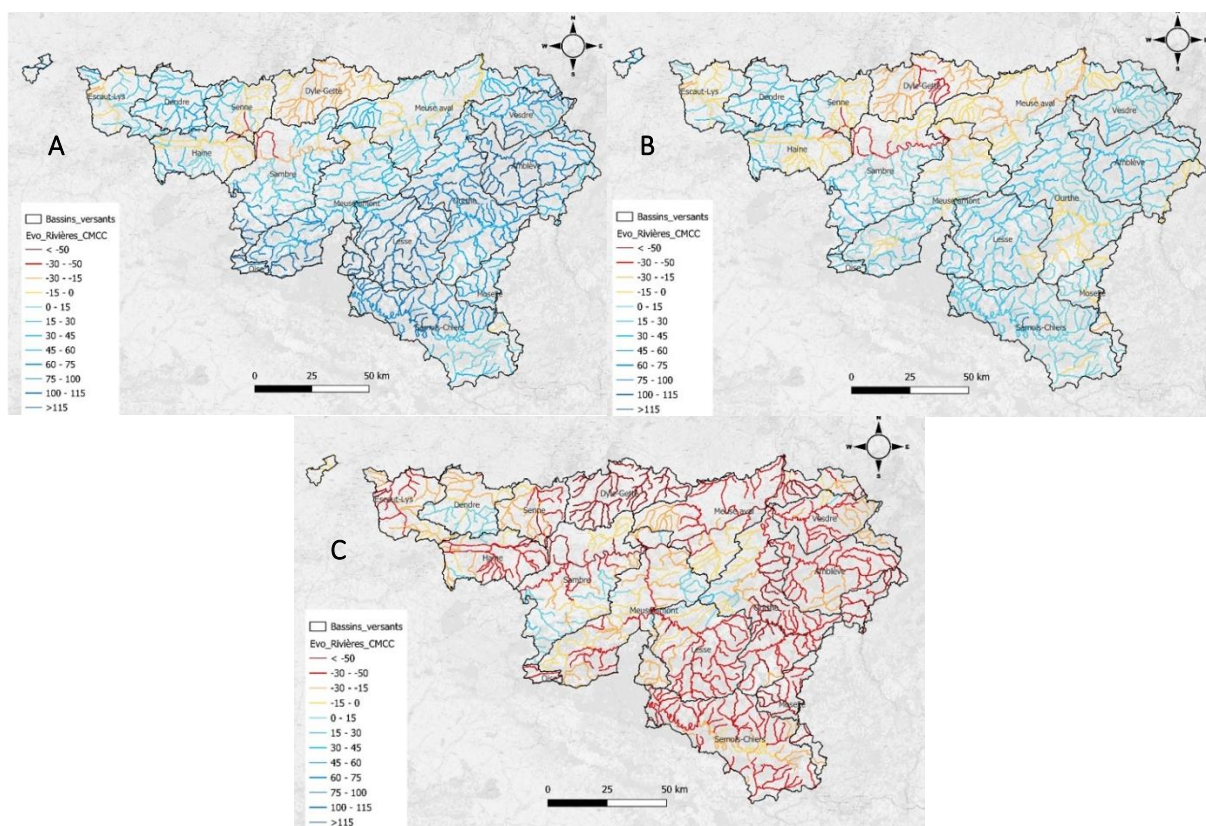


Figure 9 - Evolution de l'apport en eau aux cours d'eau en été, en pourcentage dans un monde à +2° (A), +3° (B) et +4°C (C) pour le modèle extrême sec CMCC.

Indicateur du risque de sécheresse des sols

Afin de caractériser le risque de sécheresse édaphique, un indicateur d'intensité du déficit hydrique a été élaboré sur base des teneurs en eau minimale dans les sols et des durées de déficit.

Cet indicateur permet de visualiser les projections de la moyenne des modèles climatiques ou du modèle ayant les projections extrêmes les plus sèches. Les projections sont faites selon les trois niveaux de réchauffement mondial : +2°C, +3°C et +4°C.

Ces indicateurs montrent une augmentation significative du risque de sécheresse édaphique dans un contexte de réchauffement climatique pour la majorité de la Wallonie. L'intensité du déficit hydrique augmente fortement au niveau des sols tourbeux ou peu profonds de la Région herbagère, de Haute Ardenne et d'Ardenne, avec des augmentations majeures (jusqu'à 20 fois supérieures à sa valeur actuelle) pour un niveau de réchauffement mondial de +4°C.

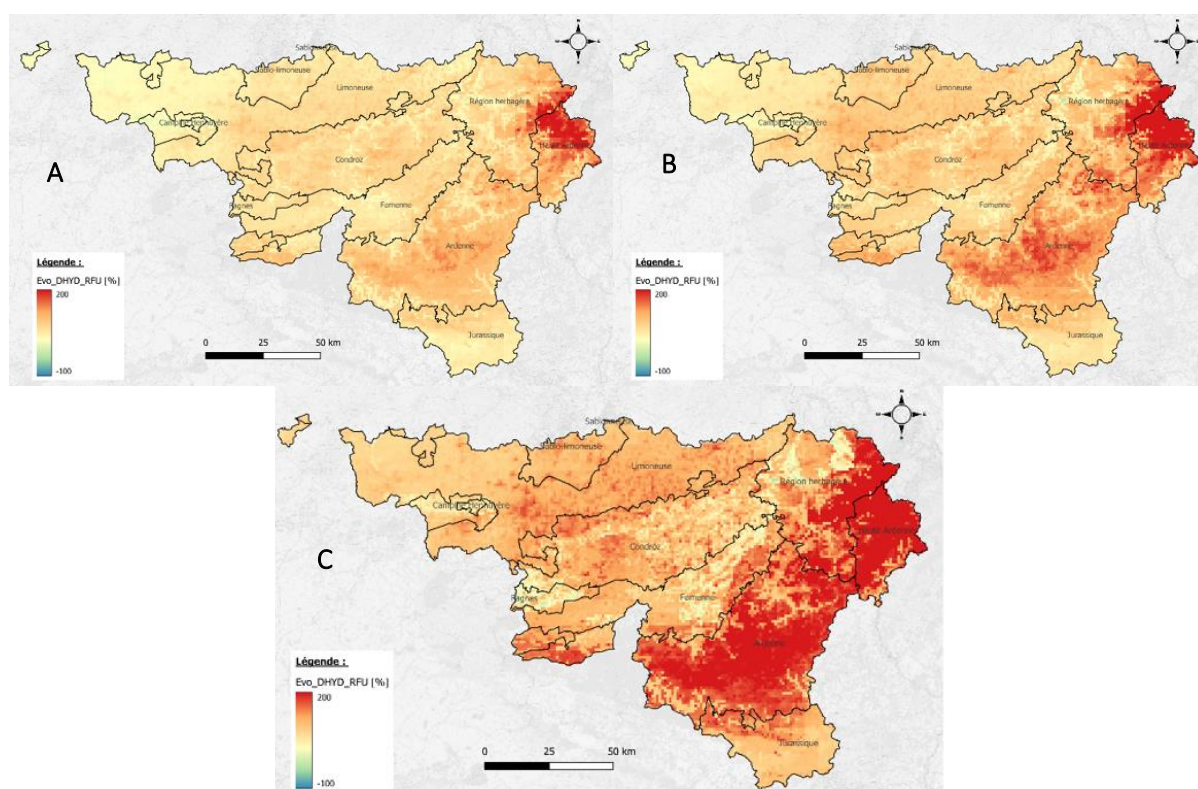


Figure 10 - Evolution de l'intensité du déficit hydrique des sols entre 0 et 40 cm, en pourcentage dans un monde à +2°C (A), +3°C (B) et +4°C (C) pour le modèle extrême sec CMCC.

Indicateur du risque de pollution de l'eau par les nitrates

Un indicateur de l'évolution du risque de pollution des nappes et cours d'eau a été élaboré sur base des variations de flux de nitrate.

Cet indicateur permet de visualiser les projections de la moyenne des modèles climatiques ou du modèle ayant les projections extrêmes les plus sèches. Les projections sont faites selon les trois niveaux de réchauffement mondial : +2°C, +3°C et +4°C.

Les projections montrent que la pollution en nitrate des eaux de surface et des nappes phréatiques s'intensifiera sur toute la Wallonie et pour tous les niveaux de réchauffement. L'augmentation sera particulièrement forte dans les **zones vulnérables comme la Famenne, l'Ardenne** et certaines parties de la Région herbagère. Les augmentations peuvent atteindre près 50% pour les cours d'eau et 75% pour les nappes. Une exception concerne la Région limoneuse, où une diminution des flux de nitrate, allant jusqu'à -64 % selon le modèle climat global « sec », a été observée. Cette tendance est probablement liée aux réglementations agricoles et à la baisse des apports hydriques dans cette région. Les flux actuels de nitrate restent toutefois préoccupants, atteignant des pics de pollution élevés.

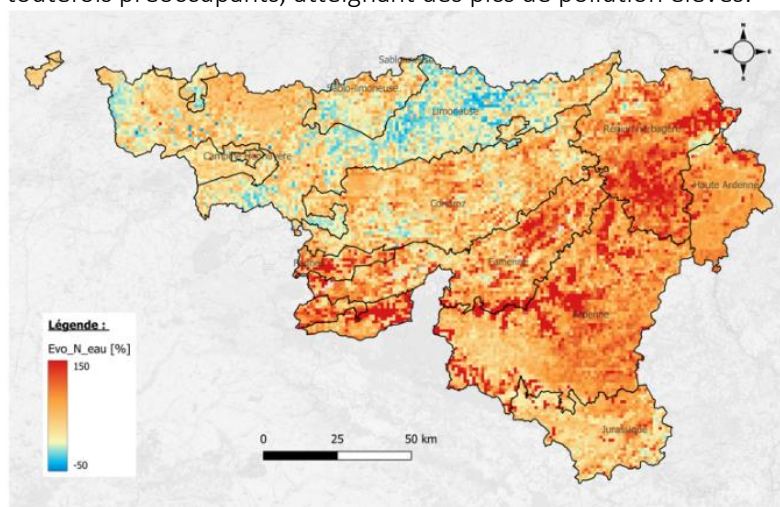


Figure 11 - Evolution de la pollution en nitrate des eaux vers les nappes dans un monde à +2°C pour le modèle extrême sec

Indicateur de l'évolution de l'imperméabilisation des sols

Outre l'évolution climatique, un facteur important d'augmentation des risques de ruissellement et de diminution de la percolation de l'eau et l'imperméabilisation des terres. Selon les projections du projet ReCOVeR, en 2070, presque 10% des sols pourraient être imperméabilisés, ce qui correspondrait à une augmentation de 1,3% par rapport à 2020. Cette imperméabilisation se concentre généralement autour des centres urbains et est principalement due à la croissance des zones résidentielles.

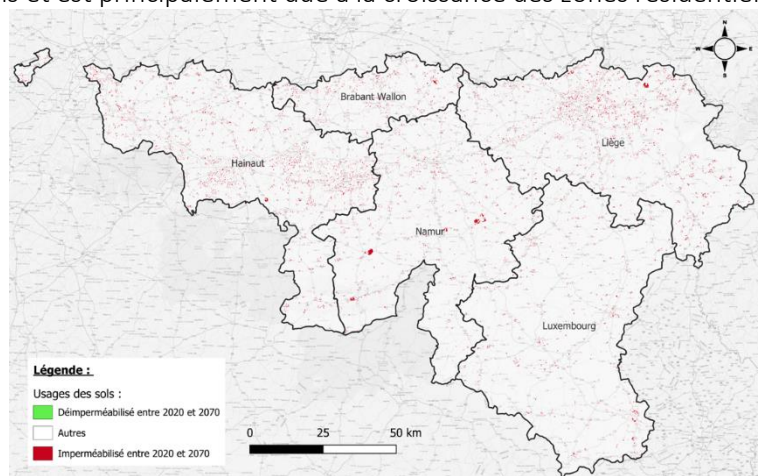


Figure 12 - Evolution de l'imperméabilisation des sols entre 2020 et 2070 du scénario Bussiness-As-Usual (source : ReCOVeR).

Indicateurs de vulnérabilité de sols à la variabilité de l'eau

Il existe différents types de sols qui sont plus ou moins sensibles aux processus impliqués dans les indicateurs précédemment développés (ruissellement, érosion, percolation, rétention d'eau, ...).

Trois indicateurs des sols sensibles et stratégiques face aux changements climatiques ont été construits à partir des propriétés principales des sols wallons :

- les sols les plus sensibles à la sécheresse : sols argileux, peu profonds ou à faible teneur en matière organique (Famenne, Condroz, Lorraine belge),
- les sols les plus sensibles à l'engorgement : sols du sud de la Wallonie (Ardenne, Famenne et région herbagère),
- les sols favorables à la gestion hydrique : sols limoneux du nord de la Wallonie, de bonne qualité agronomique.

3.5. Mesures d'adaptation

Zéro Artificialisation nette

Le facteur non climatique majeur de perturbation du cycle de l'eau et d'aggravation des phénomènes d'inondations, ruissellement, érosion des sols et sécheresses, est l'imperméabilisation des terres et l'appauvrissement de la couverture végétale du sol (en particulier sur les terres de cultures sarclées au printemps).

Des mesures de gestion durable des sols doivent être mises en place afin de réduire l'imperméabilisation et promouvoir la désimperméabilisation. Les sols déjà artificialisés devraient être remobilisés en priorité plutôt que de « consommer » des nouvelles terres. La Commission européenne a invité les États membres à établir des objectifs contraignants et prendre des mesures pour atteindre un taux de zéro artificialisation nette d'ici 2050.

Cette planification de l'objectif devrait intégrer les différentes cartographies des risques d'inondation, de ruissellement et l'identification des sols à potentiel de rétention en eau élevées afin de les **protéger prioritairement du changement d'occupation des sols et de l'artificialisation**.

Des initiatives de désimperméabilisation des sols pourraient également être envisagées dans les zones à risques, comme c'est déjà le cas en France et aux Pays-Bas.

Gestion intégrée et paysagère de l'eau

Face à l'intensification attendue des événements climatiques, une gestion intégrée des eaux pluviales et des sols apparaît indispensable.

Afin de favoriser l'infiltration de l'eau, des aménagements du paysage au sein des bassins versants peuvent être mis en place comme :

- | | |
|---|--|
| - les noues, | - les haies, |
| - les fossés de rétention, | - la restauration des zones humides, |
| - les puits d'infiltration, | - des zones tampons autour des cours d'eau pour filtrer l'eau, |
| - la création de jardins de pluie ou d'espaces verts, | - une réduction de la linéarisation des cours d'eau, |
| - les zones humides, | - une reconnexion des lits majeurs. |
| - les bandes enherbées, | |
| - les tournières, | |

Ces aménagements peuvent également servir de zones de développement de biodiversité. La gestion des bassins versants à l'échelle du paysage jouera un rôle crucial afin de limiter le ruissellement et l'érosion des sols. En milieu agricole il s'agit par exemple de limiter les longueurs de pente et en redessiner le parcellaire agricole.

Sur le risque d'érosion hydrique, les initiatives de la cellule GISER qui émet des recommandations en matière de pratiques antiérosives et sur l'impact de nouvelles constructions, sont à encourager.

Il s'agit également de poursuivre et enrichir la pratique des Plans de gestion du risque d'inondations (PGRI) qui tendent à encourager une vision globale de la gestion hydrologique en rassemblant les différents gestionnaires de territoire et de cours d'eau.

Etant donné que l'Ardenne ressort comme une région à risque élevé en matière des risques liés à l'eau et aux sécheresses, un focus particulier est à mettre sur le Plan de gestion du district du Rhin.

Pratiques agricoles

Le ruissellement est particulièrement érosif sur les sols nus ou peu couverts comme au printemps ou sur des cultures sarclées peu couvrantes, d'autant plus que les parcelles sont longues dans le sens de l'écoulement et pentues. D'autant plus s'il s'agit de sols agricoles pauvres en matière organique et de texture limoneuse à sablo-limoneuse sont particulièrement sensibles à l'érosion.

Pour protéger, mieux gérer les sols agricoles et favoriser l'infiltration de l'eau, les pratiques agricoles permettant d'augmenter la teneur en matière organique, la perméabilité des sols et la formation d'agrégats doivent être généralisées. L'augmentation de la matière organique des sols permet d'améliorer leur structure et leur résistance à l'érosion, mais joue également un rôle central dans le maintien de la fertilité, de la biodiversité, de la réserve en eau utile pour les plantes, dans le stockage de carbone et la filtration de l'eau, toutes ces fonctions étant essentielles au maintien des services écosystémiques des sols. Voir chapitre « Agriculture » pour les pratiques concrètes.

Les mesures agroenvironnementales et climatiques (MAEC) offrent aux agriculteurs la possibilité de subventions pour la mise en place de ces pratiques. Le renforcement de la prise en compte des changements climatiques dans la définition des MAEC est nécessaire, en y incluant des mesures spécifiques de lutte contre l'érosion.

A ce titre les initiatives de conseils auprès des agriculteurs par Natagriwal sont à soutenir.

Réduction des consommations d'eau

Bien que le risque d'approvisionnement en eau des nappes ne soit pas particulièrement prononcé, à part pour une combinaison du niveau de réchauffement mondial de +4°C et l'utilisation du modèle climatique global « sec », les potentiels futurs conflits d'usage de l'eau, appellent à des mesures de sobriété dans l'utilisation des eaux. Dans ce sens, une recherche d'alternatives aux cultures hautement consommatrices d'eau doit également être soutenue. La diversification des sources d'eau comme les eaux de pluie pour le logement, les eaux de sorties des stations d'épuration pour l'agriculture ou de certaines eaux industrielles doit être favorisée.

Cartographie dynamique et évolutive de l'aléa d'inondation

La carte d'aléa d'inondation en vigueur est basée sur des périodes de retour historique et ne tient pas compte de l'évolution du climat. L'indicateur d'aggravation du risque d'inondation est une première approche qui devrait être intégré dans la future révision de la cartographie d'aléa. Le défi majeur de cette intégration résidant dans un objectif d'aboutir à un produit final clair malgré l'incertitude liée aux différents modèles et scénarios.

Actuellement cette cartographie est contraignante en matière d'urbanisme uniquement dans les zones d'aléa élevé. L'analyse a montré que le ruissellement est un facteur crucial dans le phénomène d'inondation. Il est dès lors nécessaire d'intégrer la notion de bassin versant dans la réglementation et d'imposer également des mesures urbanistiques sur toutes les parcelles d'un bassin versant situées en amont et qui contribuent à alimenter des zones d'aléa. Un renforcement réglementaire du référentiel de gestion durable des eaux pluviales est à envisager.

Au-delà de l'aspect réglementaire de la carte d'aléa, elle est également un outil de sensibilisation qui touche de nombreux acteurs. Afin de renforcer le potentiel de sensibilisation de nombreux pays développent des versions dynamiques, 3D, voire en réalité virtuelle de ces cartes d'aléa.

Recherches complémentaires

En matière d'érosion des sols, pour réaliser une analyse de risque plus poussée, les différents types d'érosion pourraient être pris en considération. En effet, seul le risque d'érosion hydrique, liée à l'érosivité des pluies a été étudié dans ce travail. Or, peu de données existent concernant le ravinement (érosion hydrique concentrée) et aucune donnée consolidée n'existe pour l'érosion aratoire (déplacement de terre au sein de la parcelle du fait des travaux agricoles) ni pour l'érosion de récolte (exportation de terre lors des récoltes de racines ou tubercules). De plus, la carte de sensibilité des sols à l'érosion pourrait être mise à jour en prenant en compte les aménagements antiérosifs existants, la redéposition des sédiments en aval, la couverture du sol et la connectivité entre les parcelles. Ensuite, des scénarios d'évolution des pratiques agricoles pourraient être intégrés à l'analyse afin de prendre en compte la sensibilité des différentes cultures et pratiques agricoles à l'érosion.

Pour les cours d'eau, une modélisation plus poussée des débits des cours d'eau pourrait être développée, ce qui permettrait une meilleure évaluation du risque d'étiage. Les aménagements humains récents tels que les dérivations, les barrages ou les freins hydrauliques pourraient également être pris en considération. De plus, travailler à une résolution localement plus fine permettrait d'identifier les zones critiques de façon plus précise pour les acteurs de terrain. Des hypothèses et scénarios sur l'évolution des pratiques agricoles et des prélèvements en eau issus des masses d'eau de surface renforceraient également l'interprétation des résultats.

Pour les sols, les risques de sécheresse édaphique n'ont été étudiés que pour la couche superficielle du sol, entre 0 et 40 cm, en raison de sa plus grande pertinence. Une prise en considération de l'ensemble de la profondeur des sols pourrait améliorer les prédictions. Il serait également utile d'intégrer dans les modèles des hypothèses et scénarios sur l'évolution des pratiques agricoles et des teneurs en matière organique des sols.

Concernant la pollution de l'eau, une modélisation plus poussée pourrait être développée afin de prendre en compte les changements de pratiques agricoles futures et des plans de réduction d'intrants. D'autres sources diffuses de pollution que l'agriculture pourraient également être intégrées (domestiques, industrielles). De même avec l'intégration d'autres polluants que l'azote, comme les pesticides ou les substances persistantes, bioaccumulables et toxiques comme les hydrocarbures aromatiques.

4. Agriculture

4.1. Etat des lieux

L'agriculture et l'élevage sont à la fois contributeurs des changements climatiques et particulièrement vulnérables à leurs effets en Wallonie. En tant que source d'émissions de GES, ces secteurs vont devoir adapter leurs pratiques vont devoir s'adapter pour réduire les émissions et certaines peuvent même contribuer à l'atténuation des effets du CC. Par ailleurs, leur forte dépendance aux conditions météorologiques rend ces secteurs particulièrement sensibles aux impacts du climat, qui influencent directement les rendements. D'une part, les projections indiquent des effets positifs sur les rendements des plantes liées aux augmentations des températures (allongement de la période de croissance) et à l'augmentation de l'efficacité de la photosynthèse suite à l'augmentation de la concentration en CO₂ en particulier sur les cultures d'hiver et les prairies. D'autre part, les événements extrêmes (sécheresses prolongées, irrégularité des précipitations, inondations, vagues de chaleur) ont des conséquences délétères sur les cultures et les animaux d'élevage avec, entre autres, des pertes de récolte, des pertes de performances de croissance et de reproduction, une augmentation de la mortalité et l'apparition de nouvelles maladies qui rendent cette activité vulnérable. Enfin, l'agriculture est un acteur majeur dans l'occupation et l'utilisation du sol qui peut ainsi, en fonction des pratiques culturelles, favoriser ou impacter négativement la biodiversité, le sol et la ressource eau, impactant alors fortement le contexte local et les conséquences des phénomènes climatiques extrêmes.

Le territoire agricole wallon est marqué par une diversité importante d'usage de la surface agricole utile en raison des différences topographiques, hydrographiques et pédo-climatiques. On distingue habituellement en Wallonie dix régions agricoles en fonction de la plus ou moins forte spécialisation vers les grandes cultures ou l'élevage qui y sont pratiquées. Cependant, au sein de chaque région agricole, on observe également une diversité des conditions pédologiques. Cette hétérogénéité spatiale du potentiel agricole et de son usage requiert une approche spatialisée de l'étude de l'impact du CC en vue de pouvoir caractériser la vulnérabilité de l'agriculture et l'élevage wallons au CC pour ultérieurement guider les agriculteurs dans le choix de nouvelles pratiques et de conseiller les pouvoirs publics sur les mesures de soutien, et ce en fonction des scénarii de CC proposés par le GIEC.

L'analyse des initiatives et outils en Wallonie, Belgique et en Europe montre une grande diversité de dimensions à étudier : systèmes agricoles, aspects économiques, agro-écosystèmes, systèmes d'approvisionnement, sécurité alimentaire, santé ...

Il y a toutefois un manque de données de base sur l'effet des changements climatiques sur les cultures et les animaux d'élevage en Wallonie. Par conséquent, le travail durant cette étude se concentrera sur ces données de bases. Ceux-ci pourront alors ultérieurement alimenter les analyses sur les autres dimensions.

4.2. Chaîne d'impact

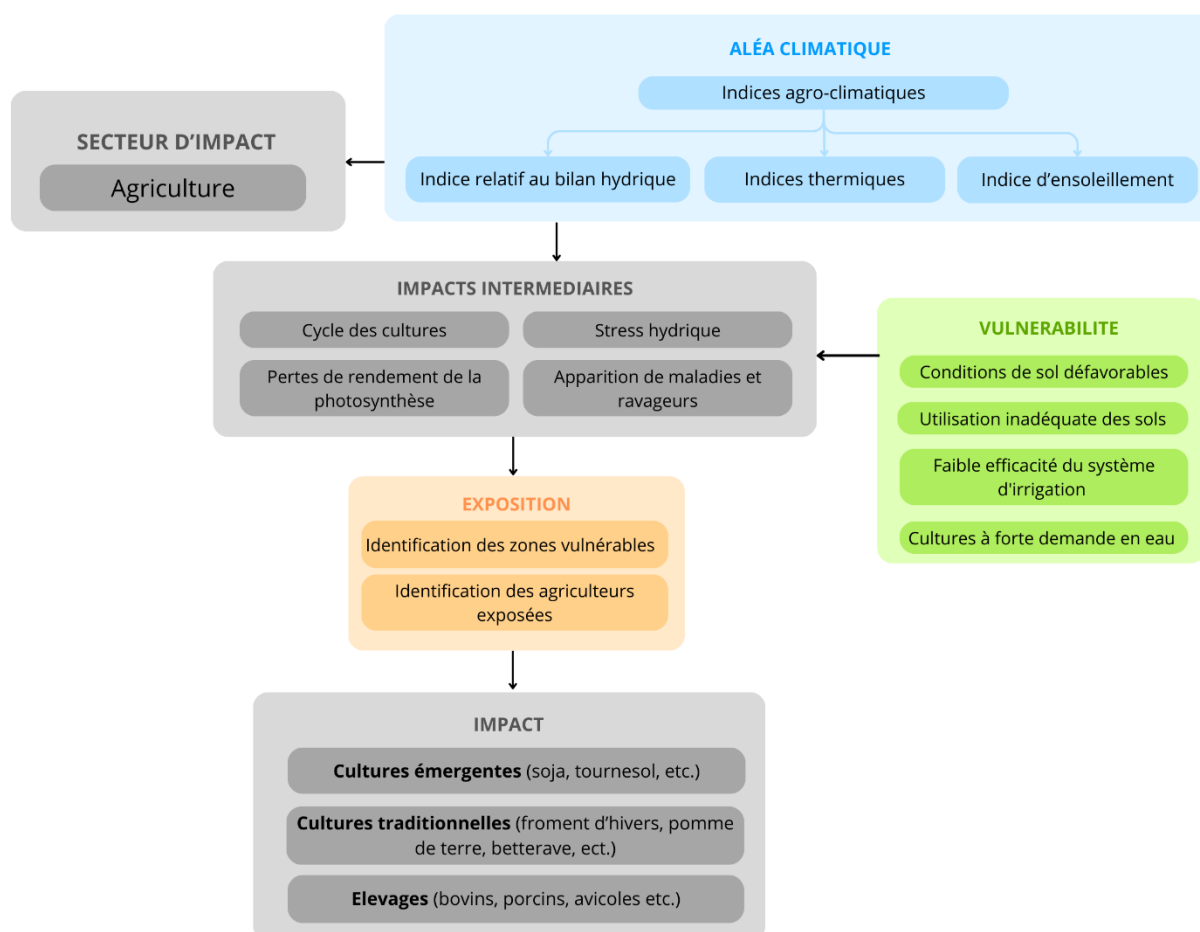


Figure 13 – chaînes d'impacts pour l'agriculture

4.3. Périmètre et indicateurs

Afin de fournir la base essentielle aux nombreuses analyses agricoles possibles, les indicateurs élaborés se concentrent sur l'impact des changements graduels des paramètres climatiques et des événements extrêmes sur la productivité agricole.

Deux types d'indicateurs en découlent :

- L'évolution des rendements des principales cultures
- L'évolution du stress thermique pour les animaux d'élevage

Ces indicateurs sont bien des indicateurs de risque complet, intégrant à la fois la dimension de « danger » (modification graduelle des paramètres climatiques et événements extrêmes), la notion « d'exposition » (avec une sélection de cultures et d'animaux visés et une cartographie spatialisée sur le territoire) et la « vulnérabilité » (avec des modèles précis de sensibilité pour chaque culture et des formules d'identification de seuils de risque pour chaque animaux).

4.4. Résultats et zones à risque

Rendements des cultures

Un indicateur d'évolution des rendements a été construit pour les cinq principales cultures wallonnes (froment, colza, pomme de terre, betterave, maïs) et pour la prairie.

L'indicateur permet de visualiser l'évolution des rendements et de leur stabilité selon trois différents modèles climatiques globaux, ainsi que dans des niveaux de réchauffement de +2°C, +3°C et +4°C.

Sous +2°C, la majorité des cultures simulées prédisent une chute du niveau de production par rapport à la période de référence. Cela implique donc qu'à court terme, les productions agricoles risquent de chuter. En revanche sous un réchauffement global de +3 et +4°C, les modèles de cultures prédisent une augmentation du niveau de rendement. Cette augmentation est expliquée en partie par l'effet fertilisant du CO₂ (amélioration de l'efficacité photosynthétique). Le maïs grain est la culture qui semble la plus négativement impactée par le réchauffement climatique tandis que la betterave est celle qui semble en bénéficier le plus positivement au niveau des rendements moyens.

La réponse au sein de la Wallonie n'est toutefois pas identique selon les différentes régions agricoles. Selon les cultures, **les régions les plus à risque sont :**

- **Froment:**
Jurassique, Fagne et Famenne
- **Colza:**
Jurassique, Limoneuse et sablo-limoneuse
- **Betterave:** Jurassique
- **Pomme de terre:**
Jurassique, Limoneuse et sablo-limoneuse
- **Maïs grain:**
Campine hennuyère, Limoneuse et sablo-limoneuse



Figure 14 - Différentes régions agricoles de Wallonie. (source : SPW ARNE- 2024)

	+2°C	+3°C	+4°C
Froment	↘		≈
Colza			
Betterave	↗	↗	↗
Pomme de terre	↘	↗	↗
Maïs	↘	↘	↘

Tableau 12 - Récapitulatif des tendances de l'évolution des rendements médians par rapport à la période historique pour les différents niveaux de réchauffement globaux par culture. La cellule est grisée quand la tendance d'un modèle diverge des deux autres. La cellule est vide quand les trois modèles divergent.

De plus, pour toutes les cultures et de manière croissante selon les niveaux de réchauffement, **la stabilité des rendements entre les années sera vraisemblablement fortement négativement impactée** par le réchauffement climatique. Toute une série de cultures telle que la betterave auront une variabilité de rendement beaucoup plus importante ; signifiant que les rendements pourront être (bien) meilleurs comme très mauvais. Selon le modèle climatique et la culture, **il pourrait arriver que certaines années les rendements en colza et en betteraves soient nuls.**

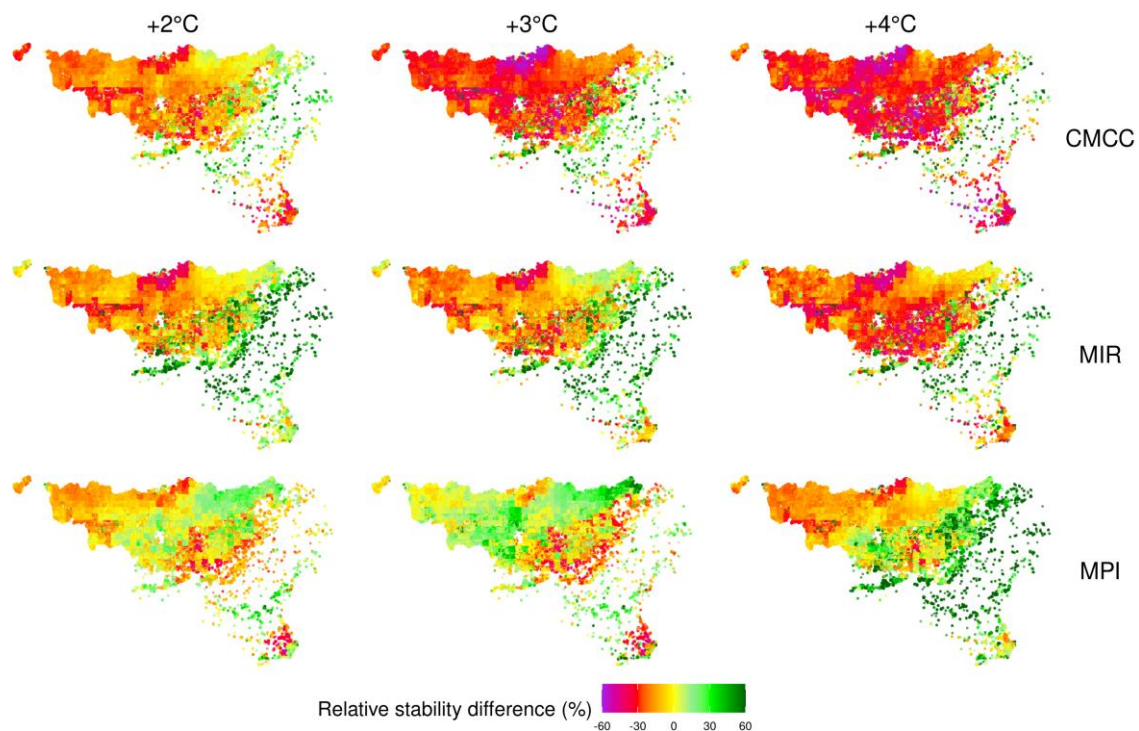


Figure 15 - Cartes d'évolution de stabilité des rendements de betterave entre la période de référence (1980-2010) et les projections dans des niveaux de réchauffement de +2, +3 et +4°C.

Concernant les prairies, la pousse de l'herbe aura tendance à augmenter avec le réchauffement climatique, mais avec, toutefois, un changement dans la dynamique de pousse de l'herbe. En effet, celle-ci aura une croissance plus importante au printemps et à l'automne. A contrario, la pousse de l'herbe sera fortement réduite durant la période estivale. De plus, la variabilité des niveaux de rendements interannuels aura tendance à augmenter ; ce qui impliquera une nécessaire adaptation de gestion de l'affouragement par l'agriculteur au cours de l'année, mais aussi entre les années. Les régions de basse altitude seront les plus négativement impactées en raison du stress thermique.

Stress thermique pour l'élevage

Des indicateurs de stress thermique pour quatre types d'animaux d'élevage (ruminants, porcs, poules pondeuses et poulets de chair) ont été calculés. Ils sont basés sur la température, l'humidité relative et les seuils de tolérance de chaque espèce.

L'indicateur permet de visualiser le nombre de jours moyen par an où les animaux seront soumis à différentes catégories de stress (de léger à mortel), selon la moyenne des modèles climatiques globaux, dans les différents niveaux de réchauffement (+2°C, +3°C et +4°C).

Les stress thermiques des différentes espèces d'animaux d'élevage vont selon les projections des modèles climatiques augmenter de manière croissante avec les niveaux de réchauffement.

Pour certaines espèces comme le porc, les risques de mortalité deviendront en moyenne fréquents (allant jusqu'à une durée d'un mois selon les projections à +4°C). Les poulets de chair ainsi que les poules pondeuses seront aussi sujets aux risques de mortalité accrue due au stress thermique dans le futur. Pour les ruminants, aucun risque de mortalité n'a été recensé. Ils subiront néanmoins des stress importants impactant directement le bien-être animal et sa productivité (chute de production laitière, chute de fertilité). La période des stress thermiques faibles et modérés des ruminants sera de plus d'un mois respectivement dans le niveau de réchauffement mondial de +4°C.

La Lorraine belge et une partie de la Hesbaye sont les zones les plus à risque de stress thermique des animaux d'élevage.

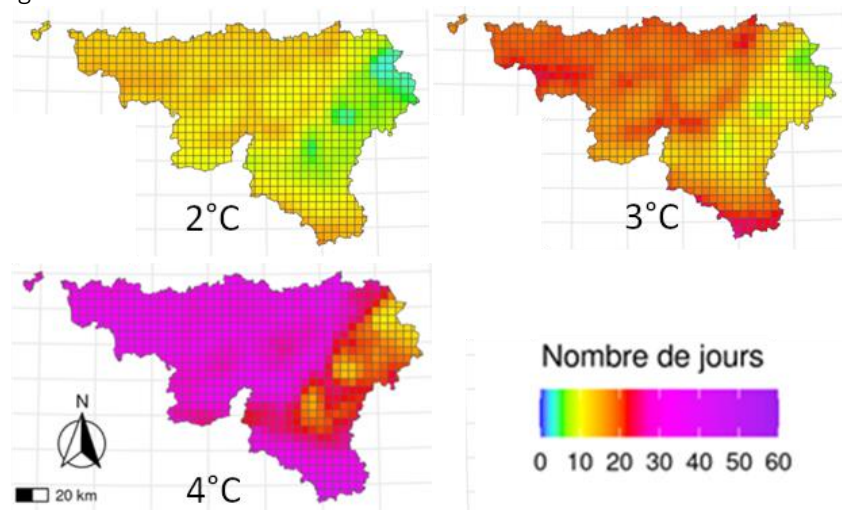


Figure 16 - Nombre moyen de jours par an de stress thermique « mortel » pour les porcs.

4.5. Mesures d'adaptation

Pratiques agroécologiques

L'agriculture wallonne nécessite globalement une transition agroécologique adaptée aux changements climatiques. La liste des mesures concrètes possibles est assez longue. On peut lister à titre d'exemples :

- la modification des dates de semis,
- la diversification des variétés de cultures semées,
- la sélection végétale, guidée par la modélisation sur le plus long terme,
- le retour des résidus de culture et compost,
- l'apport d'effluents d'élevage, fumier,
- la réduction d'usage des intrants, notamment via l'extension des zones vulnérables au nitrate avec des restrictions d'épandage et l'augmentation de la surveillance de qualité des eaux,
- les couverts végétaux,
- le semis direct,
- réduction du labour intensif,

- amélioration des conditions de stockage et transformation sur site,
- la sensibilisation des agriculteurs et des décideurs locaux.

Au-delà de la sélection de variétés adaptées, les agriculteurs pourraient être accompagnés dans le choix de cultiver d'autres plantes mieux adaptées aux nouvelles conditions agro-climatiques (moins consommatrices d'eau, à enracinement profond, ...), comme le soja, tournesol, sorgho. Ces nouvelles cultures seront toutefois tributaires d'un développement de filière ;

Le développement de l'irrigation des grandes cultures est fort peu souhaitable sur le long terme pour la Wallonie en raison des coûts élevés de déploiement des infrastructures ainsi que des risques que cela pose sur la ressource hydrique et les conflits d'usage qui en découleront.

Enfin, le recours à l'agroforesterie ne peut s'envisager que sur le long terme, mais en tant que solution basée sur la nature, elle peut apporter de nombreux co-bénéfices :

- réduction des risques d'érosion,
- support à la biodiversité,
- piégeage de carbone dans les sols (et donc d'atténuation des changements climatiques).

Réduction du stress thermique dans les élevages

Les mesures d'adaptation différeront drastiquement selon qu'il s'agit d'élevage principalement en extérieur ou en intérieur.

En extérieur les mesures d'adaptation viseront à :

- favoriser l'ombrage en prairie, par exemple par la plantation d'arbres et de haies vives,
- diversifier l'apport fourrager (haies fourragères),
- adapter les pratiques de pâturage (plus tôt ou tard durant les températures fraîches),
- créer de nombreux points d'eau.

A l'intérieur des bâtiments d'élevage l'objectif sera d'éviter autant que possible le recours aux équipements de refroidissement qui renforceraient le problème climatique par les émissions de GES induites par la consommation d'énergie. C'est à cette solution à court-terme qu'auront recours les éleveurs si aucune anticipation n'est faite. Les mesures d'adaptation concernent notamment :

- maximiser l'ombre portée sur les bâtiments,
- améliorer la conception de l'isolation et l'aération naturelle des bâtiments,
- installation de brumisateurs,
- adaptation du nourrissage et l'abreuvement en période de stress thermique.

Recherches complémentaires

Les indicateurs de rendement proposent un tout premier travail de diagnostic au niveau wallon. Une série d'améliorations et de recherches complémentaires peuvent être envisagées :

- Améliorer la précision des données sur les sols, leur portance et leur profondeur ;
- Calibrer les modèles de cultures avec plus d'essais dans différentes régions ;
- Simulation séquentielle avec définition de séquences culturales ;
- Intégration des projections de diminution de carbone dans les sols ;
- Intégration des stress biotiques (relatifs aux bioagresseurs)
- Intégration des dégâts sur les cultures des phénomènes d'érosion et coulées boueuses ;

5. Environnement urbain

5.1. Etat des lieux

En milieu urbain, les effets des changements climatiques prennent des formes particulières en raison des spécificités de la ville par rapport au milieu rural. La densité du bâti, l'artificialisation des sols, le manque de verdure en ville ou encore les émissions de chaleur anthropiques, créent un microclimat plus chaud que les campagnes environnantes, connu sous le nom d'îlot de chaleur urbain. De plus, l'imperméabilisation des surfaces urbaines accentue le ruissellement et peut aggraver les inondations, tandis que les espaces végétalisés plus étendus en milieu rural offrent une meilleure régulation naturelle de la température et de l'eau. Les populations urbaines sont ainsi exposées à des contraintes environnementales spécifiques, notamment des chaleurs plus intenses et une qualité de l'air souvent dégradée.

Ce chapitre se concentre sur trois problématiques spécifiques :

Les arbres urbains

La végétalisation des espaces urbains, en particulier par des arbres, offre de nombreux services écosystémiques, en particulier de régulation : régulation du climat local par l'apport de fraîcheur, filtration de la pollution atmosphérique, stockage de carbone, régulation des eaux de pluies. De plus, la végétation urbaine joue un rôle de soutien à la biodiversité en participant comme élément de liaison du réseau écologique.

Cependant, la ville pose des défis particuliers pour les arbres : sols déstructurés et tassés, disponibilité réduite d'eau, faible humidité, chaleur plus intense, grande diversité d'habitats allant des parcs aux canyons urbains. Les évolutions climatiques prévues, couplées à l'effet des îlots de chaleur urbain, accentuent le stress sur les arbres. Dès lors, le choix des essences à planter en milieu urbain doit concilier les exigences bioclimatiques des essences, la configuration urbaine, les objectifs de service et les projections climatiques, afin de garantir la prospérité des arbres urbains et les services qu'ils peuvent rendre aux hommes et à la nature.

L'analyse des ressources disponibles et initiatives en Wallonie, Belgique et Europe a mis en évidence un certain nombre d'études et projets (articles scientifiques, inventaires, outils et recommandations). On y retrouve un niveau variable d'espèces décrites, une description attributaire hétérogène et la prédominance de critères qualitatifs. Un travail de synthèse et de recoupement d'informations afin de fournir un inventaire complet et adapté au contexte wallon est donc requis.

L'étude du problème inverse, à savoir l'identification des essences non-adaptées aux changements climatiques, n'est que très peu abordée. Un retour d'expérience d'experts et d'acteurs gestionnaires des arbres en zone urbaine apparaît indispensable pour consolider un tel listing dans le cadre de ce marché.

La pollution de l'air

En Europe, la qualité de l'air est une des préoccupations majeures des dernières décennies, à laquelle s'est ajoutée plus tard la lutte contre les changements climatiques. Si l'inventaire des différentes sources de pollution atmosphérique, leur surveillance et les mesures contraignantes prises par l'Union Européenne a permis de réduire fortement les émissions, les changements climatiques sont aussi à considérer dans l'analyse des risques liés à la pollution atmosphérique, car on enregistre souvent des épisodes de fortes pollutions lors d'événements météorologiques particuliers comme les inversions de température en hiver ou les vagues de chaleur en été. Des températures élevées impactent les réactions photochimiques de production d'ozone troposphérique et d'oxydes d'azote (NO_x). Les concentrations en particules, quant à elles, dépendent de la fréquence et de l'intensité des précipitations ainsi que du

vent. Ces pics de pollution ont des effets directs sur la santé (maladies cardio-respiratoires) et sur les écosystèmes (réduction de la croissance). En 2023, 5000, 1300 et 2600 décès prématurés seraient respectivement attribuables à l'exposition aux particules fines ($PM_{2.5}$), au dioxyde d'azote (NO_2) et à l'ozone (O_3) en Belgique selon la Cellule interrégionale de l'Environnement.

En 2021, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a mis à jour ses lignes directrices relatives à la qualité de l'air ambiant en abaissant les valeurs seuils des principaux polluants atmosphériques. Fin 2024, la nouvelle Directive européenne 2024/2881 sur la qualité de l'air ambiant est entrée en vigueur. Les États membres devront respecter d'ici 2030 des valeurs limites qui s'alignent encore davantage sur les recommandations OMS. En 2021, un peu plus de 50 %, 30 % et 80 % de la population wallonne, dont la majorité de la population urbaine, a été exposée à des concentrations supérieures aux seuils recommandés par l'OMS pour respectivement le NO_2 , les PM_{10} et les $PM_{2.5}$ (ISSeP, 2021).

Il ressort de l'analyse des initiatives et outils en Wallonie, Belgique et Europe, que s'il y a beaucoup de données de suivi historique et de prédictions à court-terme (basées sur les prévisions météorologiques), les projections à long-terme prenant en compte les changements climatiques et les scénarios d'émissions manquent à ce jour pour la Wallonie.

Les vagues de chaleur et l'effet d'îlot de chaleur urbain

Avec les changements climatiques, les vagues de chaleur sont de plus en plus fréquentes, intenses, durables, précoces et même tardives en Belgique (PwG 2022). Or, ces vagues de chaleurs sont généralement plus intenses en ville, car elles sont amplifiées par le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU). En effet, les constructions urbaines stockent la chaleur le jour et la restituent la nuit, tandis que leur configuration empêche une bonne ventilation de la ville. La forte activité humaine génère aussi des flux de chaleur. La faible présence du végétal et de l'eau diminue l'effet de rafraîchissement de l'air ambiant par l'évapotranspiration. En conséquence, la température est plus élevée en ville qu'à la campagne et particulièrement durant la nuit. L'effet d'îlot de chaleur urbain s'additionne à l'augmentation moyenne des températures et aux événements extrêmes, avec des impacts notamment sur le confort thermique et la santé des citoyens. Un excès de mortalité est observé dans les villes belges lors des vagues de chaleur particulièrement dans les groupes de population vulnérables tels que les personnes âgées, les jeunes enfants, les personnes souffrant de maladies chroniques ou d'affections préexistantes (NCC 2020 ; Van De Vel et al., 2021 ; Demoury et al., 2022).

Il ressort de l'analyse des initiatives et outils en Wallonie, Belgique et en Europe, que la Wallonie ne dispose pas à ce jour d'une cartographie fine de l'effet d'îlot de chaleur urbain couvrant tout le territoire, ni de projections quant au stress thermique pour la population dû aux changements climatiques. Il apparaît une certaine diversité dans les approches possibles pour remédier à ce manque de données (mesures météorologiques, méthodes statistiques, données satellitaires ou aéroportées, simulations sur base de modèles numériques). En l'absence de mesures et de modélisations numériques et statistiques fines en Wallonie, l'utilisation du référentiel LCZ (local climate zone) est préconisée. Il s'agit d'une modélisation basée sur 17 zones climatiques locales au comportement climatique homogène sur base de leur propriété de surface, végétations, hauteur et espacement du bâti, artificialisation du sol. Certains types de LCZ sont ainsi associés à des ICU plus au moins intenses.

5.2. Périmètre et indicateurs

Arbres

L'analyse a permis l'élaboration de recommandations et d'un outil d'aide à la sélection d'essences pour la plantation d'arbres urbains, basé sur 18 sources d'information et des entretiens avec des experts de terrain.

Pollution atmosphérique

Les concentrations en polluants atmosphériques actuelles (données du réseau de stations de mesure interpolées avec la méthode RIO) et futures (projetées avec le modèle de chimie atmosphérique CHIMERE pour des niveaux de réchauffement mondiaux de +2 °C et +3 °C par rapport à la période pré-industrielle) ont été cartographiées sur l'ensemble du territoire wallon à une résolution spatiale de 4 km. À partir des concentrations moyennes journalières (PM_{2.5}, PM₁₀ et NO₂) et des concentrations moyennes journalières maximales sur 8 heures (O₃) des quatre polluants majeurs dans l'air ambiant, l'indice BelAQI (*Belgian Airquality Index*) journalier a été calculé. Basé sur les effets de la pollution de l'air sur la santé, le BelAQI permet de transposer les données de la qualité de l'air (mesurées ou modélisées) en une seule évaluation qualitative compréhensible (wallonair.be). Cet indice s'exprime suivant une échelle graduée allant de 1 à 10 ; plus la valeur de l'indice est élevée, plus la qualité de l'air est mauvaise. La valeur du sous-indice (relatif aux concentrations d'un des quatre polluants) la plus élevée est attribuée à l'indice BelAQI.

Les concentrations simulées ont aussi été comparées aux valeurs limites européennes pour 2030 ainsi qu'aux lignes directrices de l'OMS.

La pollution atmosphérique ayant également une incidence sur les écosystèmes, l'indice AOT40 pour la végétation en générale ou les forêts (AOT pour *accumulated dose over a threshold* correspond au cumul des doses horaires en O₃ et permet d'estimer la surcharge en ozone) a été calculé.

Vagues de chaleur et îlot de chaleur urbain

Trois indicateurs d'aléa de chaleur (diurne, nocturne et combiné) ont été construits, ainsi qu'une cartographie de présence de l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU).

Les indicateurs d'aléa de chaleur permettent de visualiser leur évolution pour le climat présent et des niveaux de réchauffement de +2°C et +3°C par rapport à l'ère préindustrielle.

Ces indicateurs couvrent la dimension « danger » du risque. Ils doivent être combinés avec des sujets exposés aux dangers (ex : travailleurs, ménages, logements, infrastructures). Le choix de l'élément exposé influencera le choix d'indicateur (ex : diurne pour les travailleurs). Les éléments de vulnérabilité du sujet exposé doivent également être ajoutés. Certains de ces croisements (exposition, vulnérabilité, risque) sont abordés dans les autres chapitres.

• Résultats et zones à risque

Arbres

L'analyse des sources et les entretiens ont mis en avant un point crucial dans la stratégie de plantation des arbres urbains qui est la diversification des espèces en vue d'augmenter la résilience du patrimoine arboré des villes. Deux types de diversification sont recommandées : (a) la règle de Santamour, limitant la proportion d'arbres sur un territoire donné à 10 % pour une même espèce, 20 % pour un même genre, et 30 % pour une même famille ; (b) la diversification fonctionnelle basée sur les caractéristiques morphologiques et physiologiques des arbres. En complément, il est recommandé de répartir sur l'ensemble du territoire les plantations d'une même espèce pour éviter leur concentration, renforçant ainsi la diversité spatiale et biologique des arbres urbains et leur résilience. Il est également conseillé de varier les types de croissance des arbres.

Pour mettre en œuvre des stratégies de diversification et choisir les espèces à planter, il est également recommandé de commencer par une analyse approfondie de la diversité des arbres présents sur un territoire donné.

La liste des espèces a ensuite été organisée en trois tableaux : les espèces invasives à proscrire, les espèces avec menaces à éviter, et une liste de 226 espèces suggérées et leurs critères comme outil d'aide à la décision. Les critères de sélection ont été regroupés en trois catégories : fonctionnels, climatiques et écosystémiques liés au climat.

Pollution atmosphérique

La cartographie des concentrations moyennes des principaux polluants dans l'air et les dépassements des valeurs seuils européennes et de l'OMS permettent d'identifier les zones les plus exposées actuellement en Wallonie : les grandes villes wallonnes et le nord du Sillon-Sambre-et-Meuse. La Figure 17a montre le nombre de jours par an (pour la période 2014-2023) avec un indice BelAQI journalier supérieur ou égal à 6 (qualité de l'air médiocre à exécrable).

Dans le futur, avec le modèle climatique global MPI-ESM1-2-HR, les variations dans les concentrations moyennes annuelles des quatre principaux polluants (PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂ et O₃) par rapport aux niveaux actuels ne sont pas très importantes (entre – 5 et 5 %) si on ne tient compte que des changements climatiques. Les figures Figure 17b,c,d indiquent les variations du nombre de jours par an avec un indice BelAQI ≥ 6 projetées avec le modèle CHIMERE avec différents niveaux de réchauffement mondiaux et scénarios d'émissions : (b) + 2 °C et émissions polluantes anthropiques actuelles, (c) + 3 °C et émissions anthropiques actuelles et (d) + 2 °C et émissions anthropiques projetées en 2050 (en diminution).

La comparaison des niveaux de réchauffement mondiaux de + 2 °C et + 3 °C (avec émissions anthropiques actuelles) démontre bien que la température ne peut pas expliquer seule les changements dans les niveaux de pollution futurs et que les variations d'autres variables comme les précipitations peuvent être plus critiques pour la qualité de l'air. La réduction des émissions anthropiques projetée pour 2050 permettrait clairement d'améliorer la qualité de l'air dans les zones les plus peuplées et les plus exposées actuellement. Ces résultats sont bien entendu à considérer avec prudence étant donné qu'en raison du temps de calcul important, un seul modèle climatique global a été utilisé.

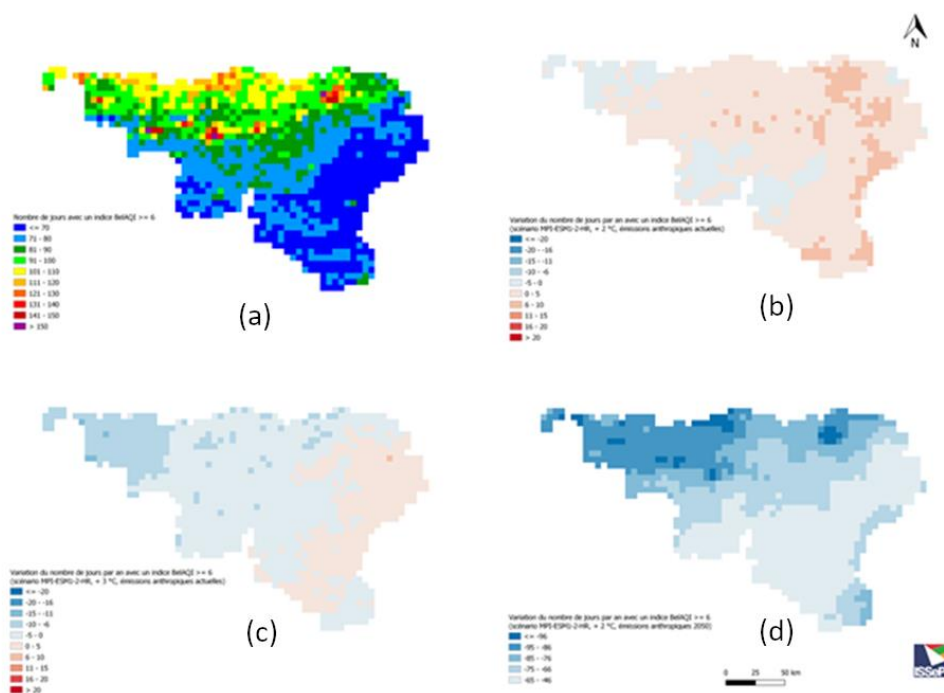


Figure 17 - Nombre de jours par an avec un indice BelAQI journalier supérieur ou égal à 6 (qualité de l'air médiocre à exécrable) pour (a) la période actuelle (2014-2023) et variations de ce nombre de jours suivant différents niveaux de réchauffement et scénarios d'émissions : (b) + 2 °C et émissions polluantes anthropiques actuelles, (c) + 3 °C et émissions anthropiques actuelles et (d) + 2 °C et émissions anthropiques projetées en 2050 (en diminution).

Vagues de chaleur et îlot de chaleur urbain

Deux faciès d'ICU émergent : un faciès très intense dans les centres et tissus urbains très denses des plus grandes villes wallonnes, et un faciès plus modéré dans les tissus moins denses de type banlieues, centres villageois, zoning commercial et industriel.

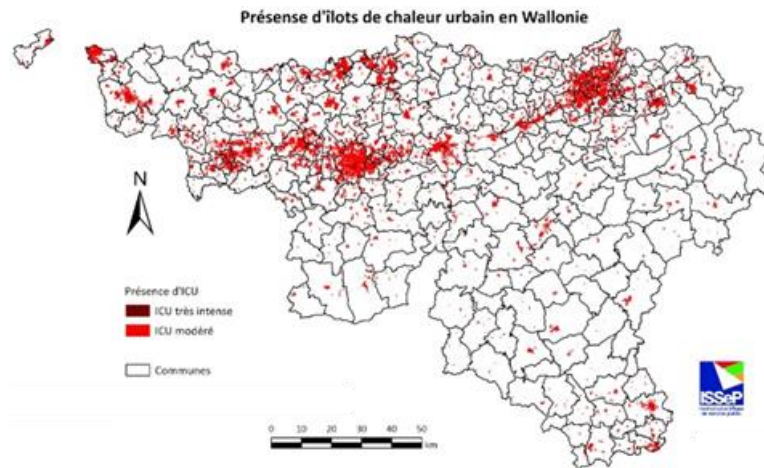


Figure 18 - Phénomène d'îlot de chaleur urbain en Wallonie.

Les **zones à risques** (définies comme les portions du territoire soumises à des niveaux d'aléas modérés à très élevés) varient suivant le niveau de réchauffement considéré :

- Actuellement, les zones à risques se concentrent dans les centres urbains des grandes villes ;
- A +2°C, les zones à risques s'étendent dans les grandes villes et commencent à gagner certaines villes de plus petites tailles ;
- A +3°C, les zones à risques s'étendraient particulièrement et gagnant aussi les noyaux villageois. Le Sillon-Sambre-et-Meuse serait particulièrement touché. Pratiquement toutes les communes auront au moins une fraction de leur territoire en zones à risques.

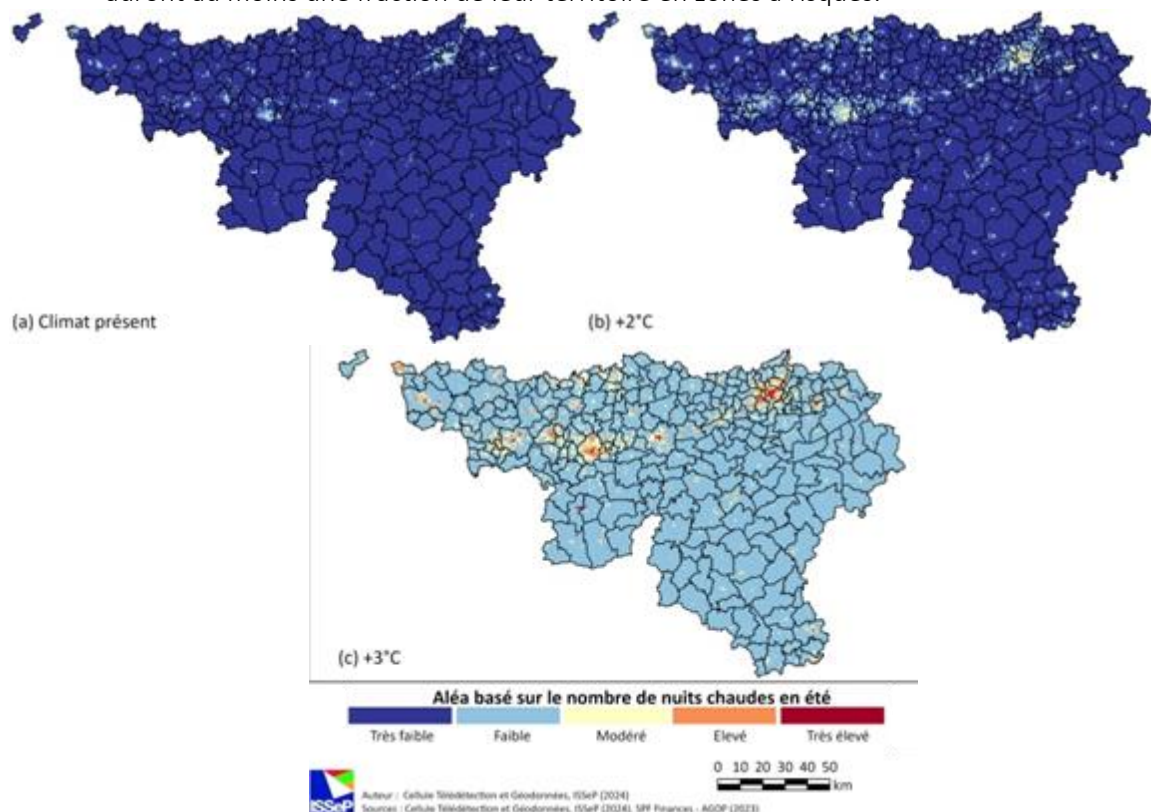


Figure 19 - Cartographies de l'aléa nocturne actuel et selon les niveaux de réchauffement globaux de +2°C et +3°C.

- **Mesures d'adaptation**

Végétalisation des villes

L'adaptation des villes requerra la création d'espace verts et l'implantation de nombreux arbres. Parmi les pistes pour renforcer cette dynamique :

- Intégration au CoDT des priorités de plantation d'arbres ;
- Etablir un cadastre des arbres de chaque ville ;
- Adaptation des plans de plantation actuels et futurs vers des espèces plus résilientes ;
- Développement au niveau régional d'un outil de simulation permettant d'estimer l'impact des projets de plantation d'arbres sur le microclimat urbain et leur fonctionnement (ex. outil LASER.T en France) ou d'un outil modélisant les services écosystémiques des arbres (ex. outil Sésame en France)
- Stratégie de conservation et/ou remplacement progressif de certains arbres en ville (gestion proactive du patrimoine arboré) ;
- Diversification des plantations, d'une manière globale et locale ;
- Monitoring des plantations, des maladies et pathogènes ;
- Contrôle des espèces invasives ;
- Amélioration de l'accès à l'eau des plantations (plantation comme zone tampon) ;

Outre la prise en compte des aspects bioclimatiques et de contexte local, plusieurs contraintes spécifiques propre au milieu urbain doivent également orienter la prise de décision, notamment les aspects de risque allergique, caractère invasif, branches cassantes, dépôt de miellat, fructification, système racinaire, etc.

Urbanisation adaptée

La cartographie de l'aléa de chaleur et du phénomène d'îlot de chaleur urbain pourrait être envisagé comme un outil similaire à la carte d'aléa d'inondation. Des contraintes urbanistiques seraient alors imposées dans les zones à risque afin d'assurer une adéquation avec le risque futur de chaleur :

- Isolation thermique adéquate, ventilation naturelle favorisée ;
- Utilisation de revêtements à albedo élevé (surfaces claires) ;
- Maximisation des ombrages ;
- Préservation et redéploiement du végétal et de l'eau ;
- Formes urbaines bioclimatiques favorisées ;
- Réduction du trafic routier et des moteurs thermiques ;
- Limitation de la climatisation.

Le centre de ressource pour l'adaptation de l'Ademe renseigne plusieurs guides pratiques à destination des villes françaises que l'on pourrait transposer aux villes wallonnes.

Amélioration de la qualité de l'air en ville

Les véritables mesures efficaces pour améliorer la qualité de l'air et réduire les risques sur la santé sont de limiter l'utilisation des moteurs thermiques et favoriser fortement la mobilité active dans la zone la plus large possible. Cela nécessite de prendre des mesures en matière de mobilité notamment réduire l'impact du trafic automobile (instaurer des zones basses émissions, favoriser les transports en commun ou partagés, rendre les voitures électriques accessibles).

D'autres pistes pertinentes peuvent être avancées comme :

- Pérenniser le télétravail ;
- Rénover et isoler le bâti (bâtiments publics en priorité) ;
- Réduire la dissémination d'intrants chimiques (pesticides, herbicides et engrais) dans l'environnement ;
- Accélérer la transition énergétique.

Plans chaleurs

Le renforcement de la gestion sanitaire des canicules est une priorité du rapport T0. Le déploiement à l'échelle de la Région d'un plan chaleur pour les bâtiments en zone à risque d'ICU et composant avec des personnes sensibles sera étudié. De même, la Wallonie pourrait profiter de son « Plan Wallon Forte Chaleur et Pic d'Ozone » pour activer les mesures préventives au niveau des bâtiments susmentionnés lorsque nécessaire voire imposer des mesures concrètes à prendre comme annuler ou postposer des manifestations de masse (sportives, culturelles ou autres) afin de limiter les effets néfastes des fortes chaleurs. Finalement, la Région pourrait également prescrire de renforcer la présence de points d'eau potable sur l'espace public permettant aux citoyens de s'hydrater facilement en période de forte chaleur.

Le projet SCORCH (Vanderplanken et al 2019) a synthétisé les enseignements des plans d'urgence et plans vagues de chaleur de 15 pays européens, dont la Belgique.

Recherches complémentaires

Il serait bénéfique de compléter l'analyse LCZ par des études plus locales, tenant compte des microclimats et des particularités locales qui peuvent influencer les conditions thermiques. Cela pourrait inclure l'analyse de la végétation, des matériaux de construction, et des activités humaines spécifiques. L'utilisation de modèle plus complexes, comme les modèles de climat urbain, les régressions linéaires multiples ou le machine learning permettrait de mieux prendre en compte l'impact de ces caractéristiques locales sur les variations thermiques et les interactions complexes entre les LCZ.

L'introduction de scénarios d'évolution de l'urbanisation du territoire et d'évolution des LCZ est également une piste d'amélioration importante de la cartographie d'aléa de chaleur.

6. Social

6.1. Etat des lieux

La vulnérabilité, telle que définie dans le dernier rapport du GIEC, est « la propension ou la prédisposition à subir des effets néfastes et englobe divers concepts et éléments, notamment la sensibilité ou la susceptibilité aux dommages et le manque de capacité à faire face et à s'adapter. » (IPCC, 2022). La vulnérabilité sociale traduit le fait que, bien que toute la population soit exposée aux changements climatiques, tous les groupes ne sont pas égaux face à celui-ci. Certains individus ou communautés sont plus vulnérables car ils sont plus sensibles ou moins bien préparés aux conséquences de ce changement. La vulnérabilité des populations exposées aux risques climatiques revêt des dimensions socio-économiques, démographique et sanitaires. De plus, la résilience des communautés dépend aussi de la capacité de celles-ci à se mobiliser en cas de catastrophe. Ce “capital social” englobe le sens de communauté, l’attachement à un endroit, l’engagement citoyen et le soutien social perçu. Ces aspects sont toutefois difficilement mesurables.

L’analyse des initiatives et outils en Wallonie, Belgique et en Europe a montré que la plupart des ressources se limitent à la question de la vulnérabilité de la population face aux vagues de chaleur. Peu de ressources traitaient explicitement de l’aléa d’inondation et aucune ne concernait les incendies.

La vulnérabilité de l’environnement bâti (tel que la qualité des logements, la taille de ceux-ci, le nombre d’étage en cas d’inondation, la qualité du réseau routier et de l’infrastructure de transport en cas d’évacuation et pour acheminer les secours) ainsi que l’accessibilité physique du lieu influencent aussi la vulnérabilité des communautés en cas de crise. Bien qu’essentiels, ces points ne peuvent pas être intégrés dans l’indicateur de vulnérabilité en raison d’un manque de données spatialisées. La littérature souligne aussi le risque d’incertitude lié aux projections d’évolution des données démographiques et socio-économique. Une hypothèse de constance sera donc posée sur l’indicateur de vulnérabilité.

6.2. Périmètre et indicateurs

Un indicateur de vulnérabilité sociale composite a été élaboré et cartographié. L’objectif de cet indicateur est d’identifier les populations et groupes vulnérables aux aléas climatiques à l’échelle des secteurs statistiques. Il est défini pour la période actuelle et ne dispose pas de projections futures.

Les données d’entrées qui composent cet indicateur composite sont :

- Age :
 - o Enfants âgés de moins de 10 ans
 - o Personnes âgées de 65 ans et plus
- Santé : statut affections chroniques de l’INAMI
- Présence de lieux recevant des publics vulnérables :
 - o Hôpitaux
 - o Maisons de repos et de soins
 - o Milieux d’accueil de la petite enfance
 - o Ecoles
 - o Internats
 - o Centres de soin
 - o Lieux d’actions sociales
 - o Services d’accueil pour personnes immigrées
- Statut socio-économique :
 - o ISD – composante revenu
 - o ISD – composante précarité sur marché du travail

- ISD – revenus de transfert
- Social :
 - ISD – origines
 - Ménages d’une seule personne
 - Ménages monoparentaux
 - Niveau d’instruction
 - Locataires
- Environnement : Accès aux espaces verts
- Accessibilité des services médicaux :
 - Distance moyenne aux 3 hôpitaux les plus proches
 - Distance moyenne aux 3 médecins généralistes les plus proches

6.3. Résultats et zones à risque

Les résultats obtenus pour l’indicateur mettent en évidence que les agglomérations urbaines des grandes villes wallonnes ont une vulnérabilité plus élevée que dans les zones rurales. À l’échelle de la Wallonie, 62 % de la population, soit plus de 2 250 000 personnes, habitent dans un secteur statistique avec une vulnérabilité élevée à très élevée. Dans les agglomérations, 64 % de la population a une vulnérabilité très élevée. Ainsi, la majorité des habitants des dix plus grandes villes wallonnes présente une vulnérabilité très élevée.

La cartographie de l’indicateur de vulnérabilité est basée sur la valeur de l’indicateur composite exprimée en pourcentage de population. Ainsi, c’est bien la structure de la population, indépendamment du nombre de personnes présentant cette vulnérabilité, qui influe sur la vulnérabilité totale du secteur. Les centres urbains ressortent comme ayant une vulnérabilité élevée à très élevée. En zone péri-urbaine et rurale, les résultats sont plus contrastés avec une vulnérabilité variant de très faible à très élevée. Les centres villageois des communes rurales présentent généralement une vulnérabilité plus élevée que les secteurs statistiques environnants, bien que cela ne se vérifie pas partout.

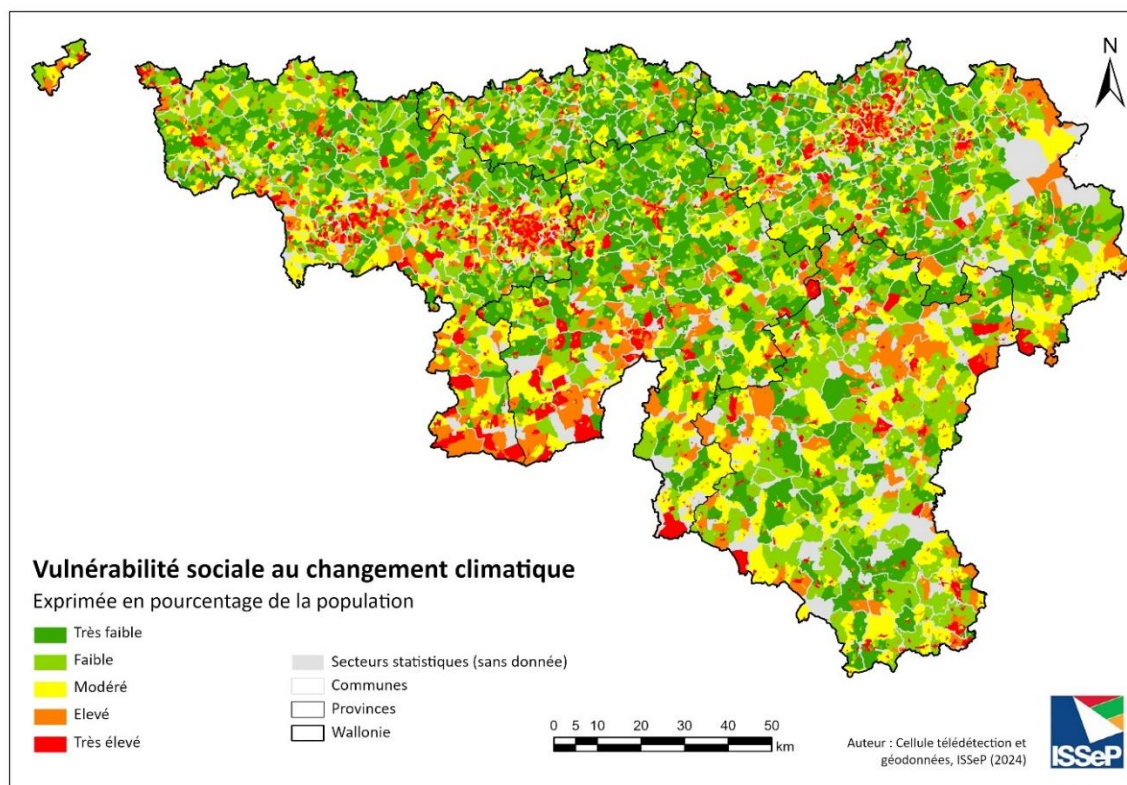


Figure 20 - Vulnérabilité sociale aux changements climatiques exprimée en pourcentage de population

6.4. Mesures d'adaptation

Les mesures d'adaptation ciblant spécifiquement les populations vulnérables ne sont pas largement abordées dans la littérature consultée. On peut toutefois mentionner les travaux du Haut comité pour une transition juste de la Belgique (180 recommandations concernant les questions d'alimentation, de logement, de santé et de mobilité³). La résilience juste ainsi que de « ne laisser personne de côté » (leaving no one behind) sont au centre des politiques européennes d'adaptation aux changements climatiques telles que le Green Deal européen et la stratégie d'adaptation de l'UE (Climate ADAPT). Ces documents stratégiques spécifient que « les mesures d'adaptation mises en place ne doivent pas créer ou augmenter la vulnérabilité des groupes de population plus vulnérables ». Il est donc essentiel d'identifier ces groupes et que leurs besoins soient entendus lors du choix des mesures d'adaptation.

Au niveau local, une piste d'action importante est d'identifier et mettre en place des réseaux de contacts des personnes vulnérables et isolées.

³ <https://justtransition.be/sites/default/files/2025-02/JT-Blueprint-FR.pdf>

7. Santé

7.1. Etat des lieux

Les changements climatiques attendus génèrent divers risques et impacts significatifs sur la santé.

En premier lieu, l'augmentation des températures, en particulier les fortes chaleurs estivales, constitue la principale menace, engendrant des problèmes tels que l'épuisement, les coups de chaleur, les maladies rénales et respiratoires. Ces effets seront d'autant plus sévères pour les personnes âgées, les individus atteints de maladies chroniques, les populations défavorisées sur le plan socio-économique ou encore les résidents urbains exposés aux îlots de chaleur.

De plus, les maladies à transmission vectorielle, notamment celles propagées par les tiques (comme la maladie de Lyme et l'encéphalite à tiques) ainsi que celles transmises par les moustiques, sont favorisées par les conditions climatiques changeantes. Les épisodes de fortes pluies, de sécheresses et de températures élevées augmentent également les risques de maladies d'origine hydrique et alimentaire, causées par la prolifération de bactéries et de virus, entraînant des troubles gastro-intestinaux, neuraux et dermiques (PwG, 2022).

En outre, les températures plus élevées et les concentrations élevées de CO₂ et de NO₂ ont des répercussions sur la distribution saisonnière, l'allergénicité et la répartition géographique des espèces allergisantes et des aéroallergènes, avec l'émergence de nouvelles plantes allergisantes comme l'ambrosie.

Les changements climatiques affectent également la santé mentale, engendrant des problèmes tels que l'anxiété et les risques de suicide, à la fois directement et indirectement à travers ses effets physiques.

De plus, le personnel de santé est davantage soumis à une surcharge de travail, ce qui rend difficile la gestion des besoins de soins supplémentaires résultant de vagues de chaleur plus longues et plus intenses. Les systèmes de santé, déjà sous pression en raison de la pénurie de personnel et du sous-financement, font face à des défis financiers accrus lorsqu'ils doivent gérer des taux élevés de mortalité et de morbidité dans la population.

En vue de s'adapter, il est utile de disposer d'indicateurs permettant d'identifier les impacts sur la santé et la surmortalité de ces aléas climatiques, ainsi que de différencier l'impact selon la vulnérabilité démographique et socio-économique.

L'analyse des données, outils et initiatives en Wallonie, Belgique et Europe a mis en évidence un défi majeur d'accès aux données. Pour mener à bien ce type d'analyse, il est nécessaire de disposer des données remontant à plusieurs années afin de pouvoir effectuer une analyse rétrospective solide. Les données doivent également être suffisamment détaillées pour permettre de déceler un lien de causalité avec les effets des changements climatiques mais également de mettre en lumière de manière précise les groupes de population vulnérables, que ce soit basé sur l'âge, le niveau socio-économique ou encore la géographie - avec des distinctions telles que ville/campagne ou encore la proximité à des espaces verts ou des étendues d'eau. Outre l'absence de données, il y a également les problèmes de restriction d'accès liées à la protection de la vie privée.

7.2. Chaîne d'impact

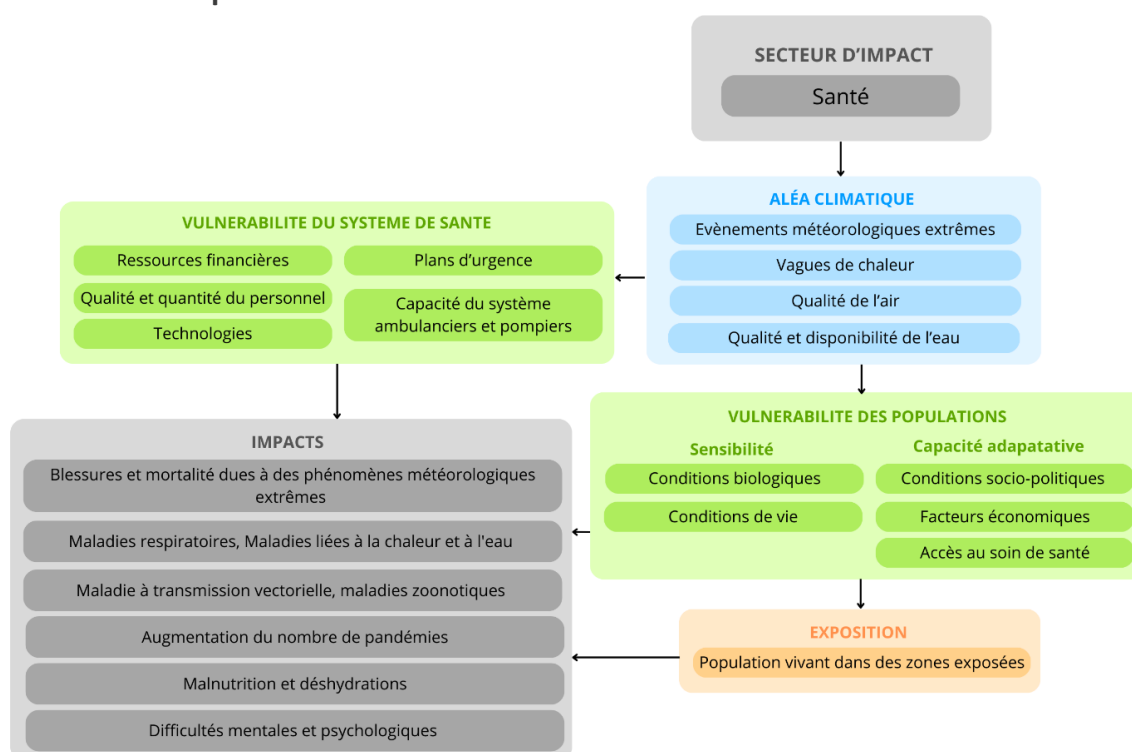


Figure 21 – chaîne d'impact de la thématique Santé

7.3. Périmètre et indicateurs

N'ayant pas pu obtenir des données suffisamment fines pour obtenir des indicateurs robustes statistiquement, aucun indicateur n'a été élaboré pour cette thématique.

Quatre analyses ont toutefois été réalisées couvrant les aspects suivants :

- La surmortalité liée aux vagues de chaleur
- Les risques liés au vecteur « tiques »
- Les risques liés au vecteur « moustiques »
- L'accès aux soins de santé

7.4. Résultats et zones à risque

Surmortalité liée aux vagues de chaleur

L'analyse s'est basée sur deux ensembles de données : (1) mortalité agrégée mensuellement et par tranche d'âge décennale et (2) causes de mortalité agrégées mensuellement, par tranche d'âge décennale, pour 4 types de maladies.

Ces données proviennent du projet Be-MOMO qui surveille la mortalité et compare nombre de décès observés à ceux attendus, en segmentant les données par âge, sexe et région. Les étés marqués par des vagues de chaleur, comme ceux de 2003, 2006 ou 2022, ont connu des surmortalités significatives au niveau belge, attribuées en partie à des facteurs tels que la température et les concentrations de particules fines.

Les analyses statistiques montrent un impact significatif des canicules sur la mortalité. Les données disponibles ne permettent toutefois pas de quantifier précisément l'effet pour chaque tranche d'âge afin de caractériser des classes de vulnérabilité. Les données ne permettent pas non plus d'effectuer une analyse à un niveau plus fin tel que les secteurs statistiques ou les communes wallonnes. Il n'y a donc pas de zone à risque spécifique identifiée sur le territoire.

Tiques

L'analyse s'est basée sur les données de morsures de tiques provenant de TiquesNet, une initiative citoyenne et scientifique de collecte de données.

Parallèlement, la constitution d'un indice d'habitat favorable (Habitat Suitability Index - HSI) permet d'identifier les régions offrant des conditions favorables aux tiques, intégrant des données d'occupation du sol et de densité des ongulés sauvages.

L'analyse des données entre 2016 et 2023 a montré une corrélation significative entre l'HSI et les incidences de morsures, soulignant l'intérêt de cet indice comme outil prédictif pour la gestion des risques liés aux tiques. Celui-ci ne permet toutefois pas à ce stade d'évaluer les tendances futures pour le risque.

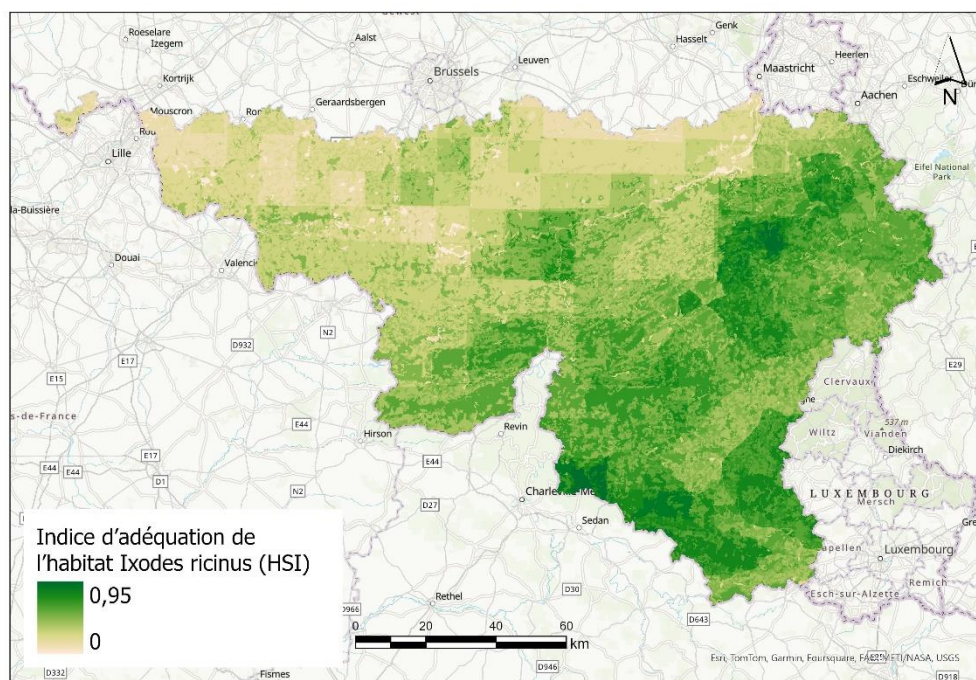


Figure 22 - Indice d'adéquation de l'habitat du tique *Ixodes ricinus*

L'analyse ne permet pas de conclure que les changements climatiques vont augmenter les risques de transmission de la maladie de Lyme via une progression de l'aire de répartition des tiques ou une augmentation de leur activité.

Moustiques

L'analyse s'est basée sur les données du programme d'étude et de surveillance MEMO+, une initiative citoyenne et scientifique de collecte de données.

Cette analyse montre que le moustique tigre est présent, mais qu'il n'y a pas encore eu de propagation significative vers les zones résidentielles.

Les changements climatiques pourraient prolonger les périodes d'activité des moustiques et accroître leur survie hivernale, augmentant ainsi le risque d'établissement et de propagation des populations locales.

Le dispositif de surveillance actuel se concentre principalement sur les zones à risque d'introduction : aires d'autoroutes, aéroports, canaux navigables et ports fluviaux, ainsi que sur les signalements volontaires de la population.

Sur base de ces éléments, une attention particulière est suggérée pour les communes de Sprimont, Namur, Dinant, Tournai et Liège, où la combinaison d'observations, de densité d'infrastructures

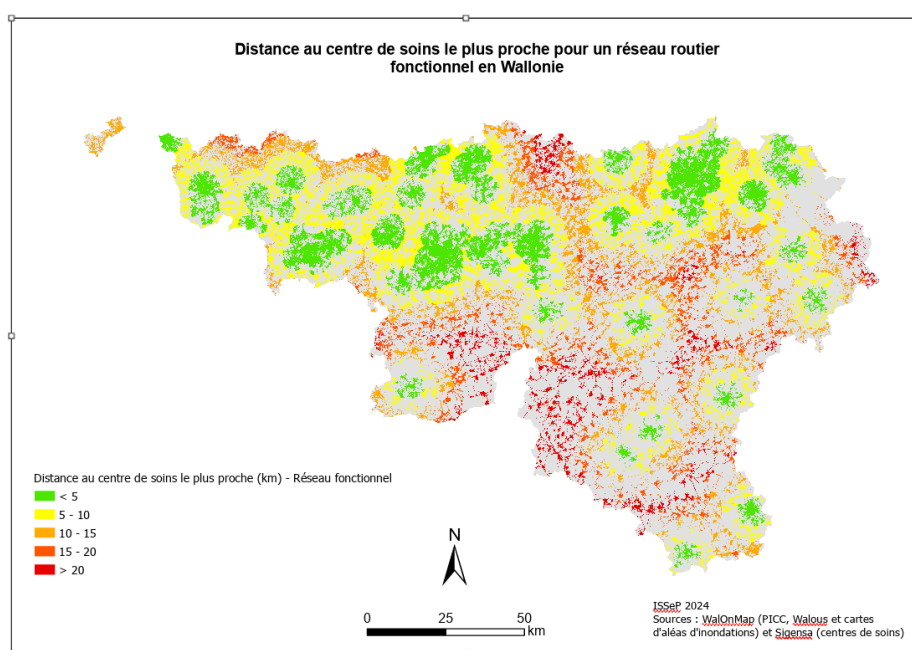
favorables et de conditions environnementales justifie le renforcement de la surveillance, la gestion des eaux stagnantes, et la sensibilisation de la population pour limiter les risques d'établissement durable.

Accès aux soins de santé

Une analyse de l'accessibilité aux soins de santé en Wallonie en cas d'inondation a été réalisée.

Une première approche s'est basée sur le calcul en tout point du territoire de la distance à vol d'oiseau aux médecins généralistes et hôpitaux les plus proches. Les résultats ont servi à alimenter l'indicateur de vulnérabilité sociale.

Une seconde approche a pris en compte les distances par le réseau routier via des « surfaces de coûts » et a été appliquée aux centres de soins afin de mettre en évidence l'impact des crues sur leur accessibilité. Cette cartographie met en lumière les difficultés de plusieurs zones du territoire wallon liées à l'accès aux soins, notamment dans les zones rurales. C'est notamment le cas d'une large part de la province du Luxembourg, à l'exception de l'extrême sud entre Arlon et Aubange. D'autres zones concernées incluent l'extrême est de la province de Liège (Hautes Fagnes, région de Büllingen), le sud du Hainaut (région de Couvin et Viroinval), ainsi que le sud de la province de Namur (région de Gedinne et Paliseul).



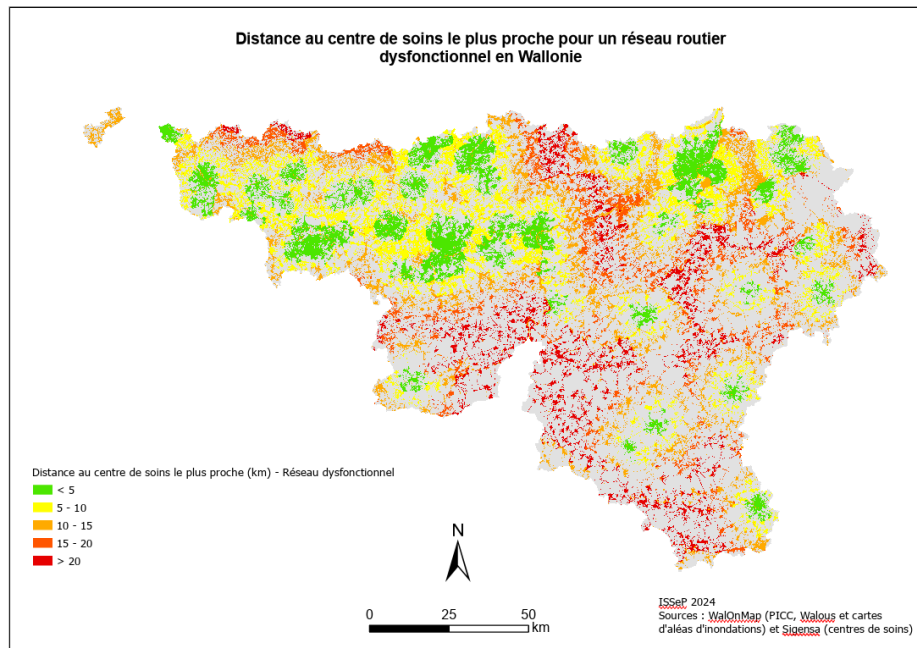


Figure 23 - Distance au centre de soins le plus proche pour un réseau routier fonctionnel (haut) et inondé (bas).

7.5. Mesures d'adaptation

Les mesures d'adaptation préconisées dans les autres chapitres (environnement urbain, logements, économie, ...) auront des impacts directs sur les effets sur la santé de ces risques.

L'analyse de l'accessibilité aux soins de santé montre la pertinence d'investissement dans les systèmes de santé de première ligne en zone rurale.

En matière de risques de maladies vectorielles, la sensibilisation, la surveillance et la gestion des introductions sont essentielles.

L'accent est également mis sur le besoin d'améliorer la compréhension des impacts de la chaleur sur la mortalité pour adapter les mesures préventives. Pour cela un accès élargi à des données plus granulaires, notamment au niveau infrarégional et par catégories de population (âge, conditions médicales, statut socio-économique...), est fortement recommandé. Cela permettrait une analyse approfondie et le développement d'interventions ciblées pour mieux protéger les populations à risque. Il ne s'agit pas nécessairement de créer de nouvelles collectes, mais surtout d'exploiter au mieux les données déjà disponibles dans un cadre sécurisé. Ceci devra être discuté avec le SPF Santé au niveau fédéral étant donné que le partage de données en matière de santé est un sujet sensible, tant sur le plan éthique que juridique.

8. Economie

8.1. Etat des lieux

Les changements climatiques et les événements météorologiques extrêmes qui y sont associés pourraient sérieusement affecter l'économie wallonne. Deux types de risques directs sont identifiés : les risques de transition (principalement ceux liés à la conversion vers une production et des opérations à faibles émissions de gaz à effet de serre) et l'exposition aux risques climatiques physiques (De Ridder et al., 2020) tels que la hausse tendancielle des températures et les vagues de chaleur, les catastrophes naturelles, comme les inondations et les tempêtes, et les épisodes de sécheresse. Le tissu économique présente également la particularité d'être vulnérable à une multitude de risques indirects pouvant causer des dommages à l'économie globale en plus du seul coût sectoriel (ETUC, 2020). Ces mécanismes peuvent être renforcés par différents facteurs de risque, en particulier la localisation du tissu économique local, que ce soient des industries, des PME qui constituent l'essentiel du paysage économique wallon ou du commerce de détail.

L'analyse des initiatives et outils en Wallonie, Belgique et Europe a montré qu'il n'existe encore que peu d'études et de recherches concernant les effets des changements climatiques sur l'emploi et les secteurs secondaire et tertiaire dans l'Union Européenne (ETUC, 2020). Ces quelques études mettent en évidence combien les changements climatiques ont d'ores et déjà des impacts importants et non linéaires sur certaines activités économiques (Banque de France, 2022).

En particulier, le secteur de l'industrie et des services a été largement sous-étudié, tandis que le secteur primaire a été bien étudié (IPCC, 2014). Le secteur primaire belge faisant l'objet de chapitres spécifiques (agriculture, forêts), cette section se focalise sur le secteur tertiaire.

Une approche sectorielle, via les chaînes de production et d'approvisionnement est recommandée pour le secteur secondaire mais ne pourra pas être abordée dans cette étude.

Un focus sectoriel spécifique a toutefois été considéré pour le tourisme. Globalement, il apparaît de l'analyse des études existantes que la Wallonie pourrait dans une certaine mesure, tirer son épingle du jeu dans ce contexte de disruption climatique.

8.2. Chaîne d'impact

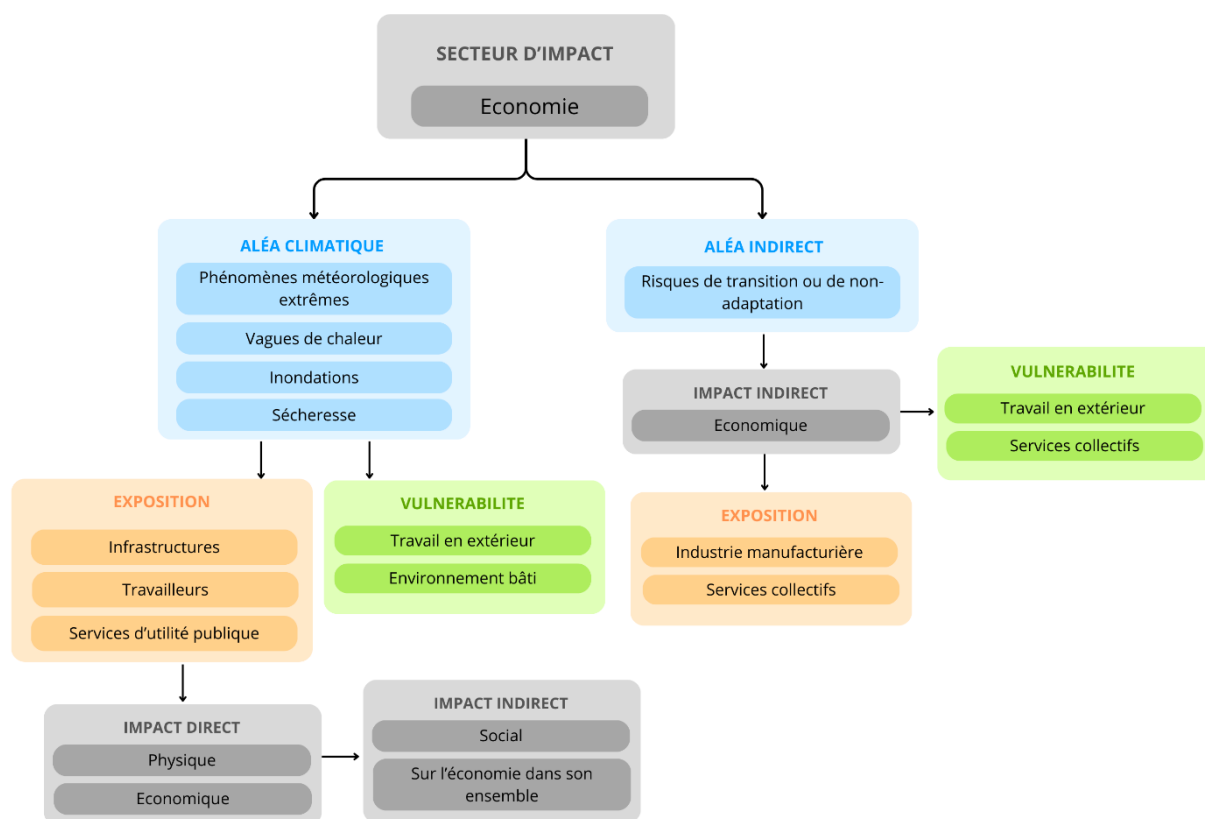


Figure 24 – chaîne d'impacts pour l'économie

8.3. Périmètre et indicateurs

Trois indicateurs ont été élaborés, permettant d'identifier le nombre et la part des entreprises wallonnes exposées à trois risques climatiques majeurs :

- Inondations par débordement et ruissellement
- Aléa de chaleur diurne
- Incendies

Ces indicateurs englobent les dimensions « exposition » (entreprises) et « dangers » (inondations, chaleurs, incendies) du risque. La dimension « vulnérabilité » n'y est pas abordée par manque de connaissance des caractéristiques de vulnérabilité selon le secteur et la typologie des entreprises.

Une analyse sectorielle spécifique a également été menée en ce qui concerne l'impact des changements climatiques sur le tourisme et le patrimoine wallon.

8.4. Résultats et zones à risque

Inondations

L'indicateur d'exposition (nombre et part) des entreprises à l'aléa d'inondation est basé sur un croisement de la banque carrefour des entreprises avec la carte d'aléa d'inondation (carte d'aléa en vigueur, affinée pour le bassin de la Vesdre avec les recalculs effectués dans le cadre de l'étude MODREC suite aux inondations 2021) ainsi que dans une zone de 20 mètres autour des axes de ruissellement concentrés. La carte d'aléa n'intégrant pas l'évolution climatique, l'indicateur ne permet pas de visualiser les évolutions projetées de cette exposition.

188.000 entreprises wallonnes (28%) sont localisées dans des zones à risque d'inondation par débordement ou ruissellement. Ces zones à risque pourraient un jour être confrontées à des inondations, avec des conséquences potentiellement graves. Une inondation majeure dans ces zones pourrait avoir des répercussions significatives, non seulement sur l'emploi, mais aussi sur les chaînes d'approvisionnement et les infrastructures, perturbant considérablement l'activité économique régionale.

	Zones d'aléa	Axes de ruissellement	Zones d'aléa et axes de ruissellement	Total
Province du Brabant-wallon	15.111	15.889	2.542	28.458
Province du Hainaut	28.128	28.002	3.596	52.534
Province de Liège	38.091	28.407	3.416	63.082
Province de Luxembourg	7.892	7.957	1.457	14.392
Province de Namur	18.075	14.071	2.333	29.813
Wallonie (# d'entreprises)	107.297	94.326	13.344	188.279
Wallonie (% entreprises)	16 %	14 %	2 %	28 %

Tableau 13 : Nombre d'entreprises impactées par les inondations (débordement et ruissellement concentré)

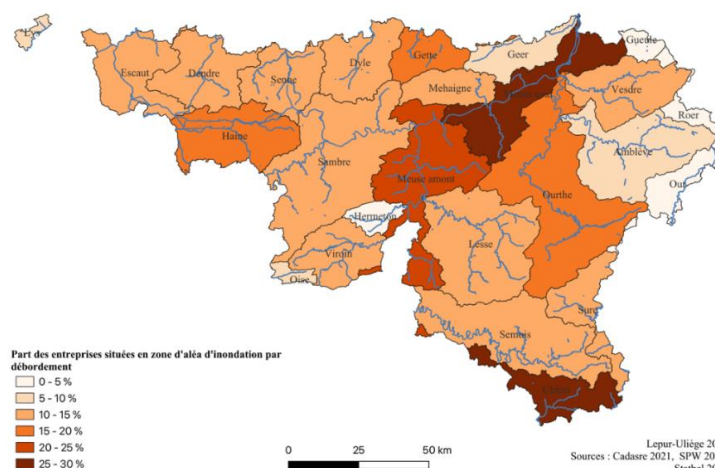


Figure 25 : Part des entreprises en zone d'aléa d'inondation par débordement à l'échelle des sous-bassins hydrographiques

Rappelons que le chapitre « Eau » identifiait un risque d'aggravation de l'aléa d'inondation dans les bassins versants de la Vesdre, du Roer, de Chiers et de Sure, ainsi que dans une moindre mesure, les bassins versants de l'Escaut, la Dendre, la Senne, l'Amblève et la Semois. **Le bassin versant de Chiers combine donc une part élevée d'entreprises situées en zone d'aléa avec un risque que l'aléa s'aggrave.** Certaines entreprises, en raison des activités qui s'y déroulent, nécessitent une attention renforcée. Cela concerne notamment les établissements soumis à la Directive européenne relative aux émissions industrielles (IED), et les entreprises du secteur énergétique. Il en va de même pour les entreprises relevant de la directive Seveso, soumises à une réglementation stricte en raison des substances dangereuses présentes sur leurs sites, comme les installations pétrochimiques, les raffineries ou les sites de fabrication d'explosifs.

Chaleur

L'indicateur d'exposition (nombre et part) des entreprises à l'aléa de chaleur est basé sur un croisement de la banque carrefour des entreprises avec la carte d'aléa diurne réalisée dans le chapitre « environnement urbain » de la présente étude.

L'indicateur permet de visualiser l'évolution de l'exposition selon deux niveaux de réchauffement : +2 et +3°C.

Dans la situation actuelle un tiers des entreprises sont situées en aléa très faible et le reste en aléa faible. Dès le niveau de réchauffement +2°C l'entièreté des entreprises sont en aléa faible. À +3°C, les deux tiers des entreprises wallonnes (actuellement en aléa faible) passeront à des aléas moyens, élevés et très élevés. Les zones où la part d'entreprises exposées à un aléa « moyen à très élevé » est haute (plus de 60 %) devraient être considérées comme des zones à risques et d'intervention prioritaire.

Aléa	Très élevé	Elevé	Moyen	Faible	Très faible
Actuel	0 %	0 %	0 %	67 %	33 %
+2°C	0 %	0 %	0 %	100 %	0 %
+3°C	2 %	5 %	60 %	33 %	0 %

Tableau 14 : Part des entreprises wallonnes impactées par l'aléa de chaleur diurne.

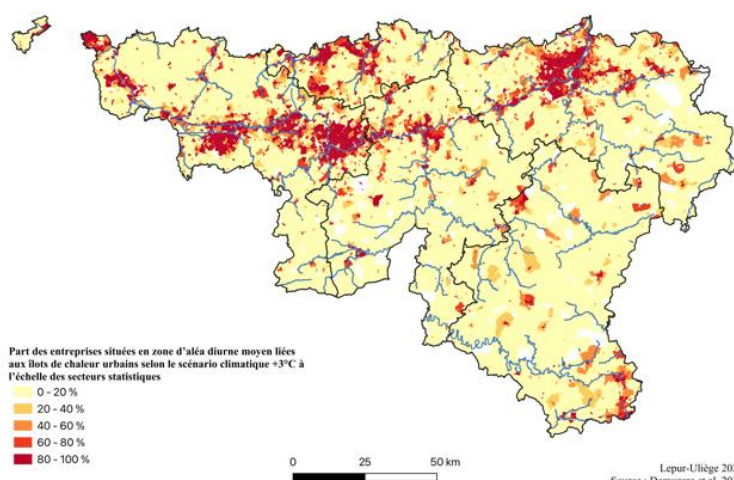


Figure 26 : Part des entreprises situées en zone d'aléa moyen en cas de réchauffement de +3°C

Incendies

L'indicateur d'exposition (nombre et part) des entreprises à l'aléa d'incendie est basé sur un croisement de la banque carrefour des entreprises avec la carte de probabilité de départ d'incendies (Depicker et al. 2020), retravaillée avec des seuils adaptés à l'échelle Wallonne. Ont été considérées exposées les entreprises situées dans une zone de 200 mètres autour des zones à risque d'incendie.

La carte d'aléa n'intégrant pas l'évolution climatique, l'indicateur ne permet pas de visualiser les évolutions projetées de cette exposition.

11,4% des entreprises wallonnes sont exposées à un aléa d'incendie moyen-élevé à élevé. L'analyse mériterait une approche différenciée pour caractériser plus finement le risque :

- Dans les bassins économiques majeurs (Charleroi, Liège, Mons et Namur) où la densité d'entreprises est élevée, mais les zones de forêts sujettes à des départs d'incendies plus éparées,
- Les zones plus rurales où l'aléa d'incendie peut-être très élevé, mais la densité d'entreprises moindre, en particulier dans le Luxembourg, le sud du namurois et l'est de la province de Liège. La vulnérabilité de ces entreprises pourrait par ailleurs y être accrue de par leur éloignement aux infrastructures de secours.

Elevé	Moyen élevé	Moyen faible	Faible
2 %	9,4 %	62,1 %	11,5 %

Tableau 15 : Part des entreprises wallonnes situées à moins de 200 mètres d'une zone d'aléa d'incendie en fonction du niveau d'aléa

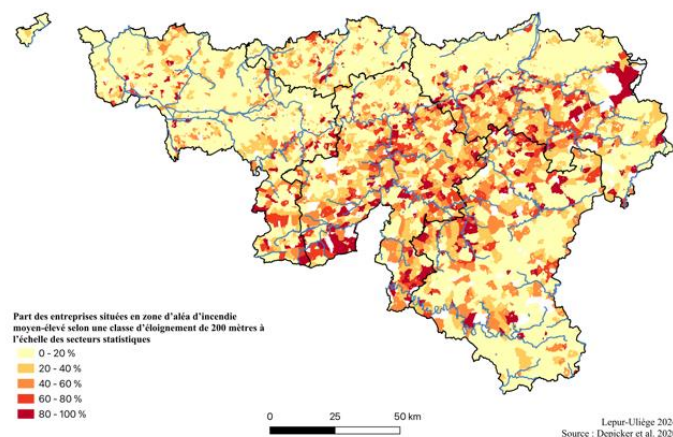


Figure 27 : Part des entreprises situées à moins de 200 mètres d'une zone d'aléa d'incendie moyen-élevé

Tourisme

Une analyse a été menée pour le secteur touristique sur base de groupes de travail d'experts et de partie prenantes, informés par des cartes de croisement des scores de touristicité (calculés par communes et maison du tourisme) et d'infrastructures touristiques (hébergements, attractions, patrimoine classé) avec quatre aléas climatiques majeurs :

- Inondations
- Sécheresses des cours d'eau
- Chaleurs
- Incendies

Les effets potentiellement : (i) bénéfiques de la modification des températures moyennes, de la pluviosité et de l'ensoleillement et (ii) négatifs de la baisse d'attractivité dû au déclin de la biodiversité, ont également été considérés.

Le premier enseignement de l'analyse est une prise de conscience des acteurs touristiques face à des enjeux jusque-là très peu considérés.

Le risque d'incendies leur apparaît comme le plus important, dans la mesure où il est susceptible d'affecter une grande partie du territoire wallon, de causer des dégradations et des destructions irréversibles d'espaces naturels ou d'éléments patrimoniaux et, plus globalement, de diminuer l'attractivité touristique de la RW. Cela concerne principalement le tourisme en Ardenne et dans les cantons de l'Est.

Les risques d'inondations ne sont pas négligeables non plus. Quelques vallées (Semois, Vesdre, Hogue, Dendre etc.) fortement fréquentées par les touristes sont particulièrement concernées.

L'étiage des cours d'eau (baignade, pêche et kayak) et les vagues de chaleur (touchant le tourisme culturel et urbain) l'été ne concernent qu'une partie limitée des territoires et des acteurs du tourisme wallon, mais peut avoir un impact majeur à l'échelle de ces acteurs.

Les zones à risque identifiées sont ainsi respectivement :

- Etiage des cours d'eau : Ourthe, Semois, Amblève, Haute Lesse et Haute Sûre.
- Ilots de chaleur urbains : Liège, Charleroi, Namur, Mons, Tournai, Huy.

Malgré ces risques accrus quand on se limite au contexte wallon, dans un contexte Européen, le tourisme wallon est susceptible de bénéficier des tendances négatives plus marquées dans les régions plus au Sud. Des touristes en quête de fraîcheur l'été pourraient être attirés par les forêts et vallées qui sont au cœur de l'attractivité touristique de la Wallonie. Le secteur touristique n'est donc pas considéré comme un secteur où il est pertinent d'identifier des zones prioritaires d'intervention en matière d'adaptation aux changements climatiques, mais les mesures d'adaptation dans les forêts et les vallées sont à soutenir pour préserver le patrimoine naturel et culturel wallon et renforcer les possibilités de développement touristique sur ces deux axes.

8.5. Mesures d'adaptation

Partenariats Publics-Privés pour lutter contre les chaleurs et les inondations

Les zones à risque pour les entreprises en matière de chaleur sont similaires aux zones à risque identifiées comme enjeux dans le contexte urbain. Les solutions d'adaptation y sont donc similaires (végétalisation, ombrage, aération, ...).

L'identification à une échelle fine de l'exposition spécifique des entreprises ouvre la porte à des opportunités de partenariat publics-privés pour soutenir la végétalisation des espaces urbains où se situent ces entreprises.

De la même manière dans les zones à haut risque d'inondation où un grand nombre d'entreprises pourraient être touchées, une coordination territoriale public-privée pourrait offrir des opportunités d'aménagements du paysage permettant de lutter efficacement contre le risque.

Enfin l'analyse sectorielle pour le tourisme (notamment en ce qui concerne les campings, les attractions touristiques et, plus largement, le patrimoine naturel et architectural) montre également l'intérêt d'engager ce type de réflexions afin de mettre en œuvre des mesures qui augmenteront le développement économique d'un côté et la résilience de l'autre.

Analyses et Plans de résilience des entreprises

Les mesures d'adaptation aux changements climatiques à l'échelle d'une entreprise peuvent être subdivisées en deux catégories : d'une part, les mesures organisationnelles via le renforcement des capacités d'adaptation, et d'autre part, les mesures structurelles via la mise en place d'investissements adaptés (EPE et ONERC, 2014).

Ces mesures permettent de préparer une entreprise à poursuivre la fourniture de ses produits et services, même en cas d'événements climatiques perturbateurs. La démarche d'adaptation se déroule en deux phases :

- 1) un diagnostic de la vulnérabilité climatique de l'entreprise, liée à la transition ainsi qu'au risque physique potentiels sur les actifs et la chaîne d'approvisionnement,
- 2) une mise en œuvre de stratégies visant à renforcer la résilience et à assurer la continuité des activités.

À cet égard, ADEME (2020) a identifié un ensemble de méthodes et d'outils internationaux à disposition des entreprises pour les appuyer dans la réalisation de leur diagnostic, tels que l'outil « www.climate-ability.eu » ou l'outil Ocara développé par Carbone 4.

Rappelons également l'entrée en vigueur, en janvier 2023, de la directive européenne « Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) » relative à la publication d'informations en matière de durabilité par les entreprises, qui inclut une section concernant l'analyse de vulnérabilité face au climat.

Validation d'une carte d'aléa d'incendie

L'aléa d'incendie a été très peu étudié en Wallonie au vu de l'absence de risques majeurs constatés jusqu'à présent, mais devrait devenir un enjeu important dans les prochaines décennies. La carte d'aléa actuelle mériterait d'être approfondie puis officialisée, en particulier pour :

- Calibrer le risque de départ d'incendies avec des données historiques sur la gravité des incendies ;
- Affiner le risque de départ dans les zones non forestières ;
- Etudier la corrélation entre incendies en milieu naturel et dégâts aux infrastructures adjacentes selon la distance ;
- Intégrer l'impact des changements climatiques sur l'augmentation du risque de départ d'incendie afin de développer des projections à +2°C, +3°C et +4°C. Cela nécessitera davantage de recherche en ce qui concerne la pondération des facteurs de surgissement e l'aléa (sécheresse, vents, ...).

9. Logements et population

9.1. Etat des lieux

Les changements climatiques et les événements météorologiques extrêmes qui y sont associés vont fortement impacter la population wallonne au travers de leur logement. Celui-ci sera soumis à un possible inconfort thermique dû à la hausse tendancielle des températures et les vagues de chaleur (amplifiées dans les zones de forte densité de logement par le phénomène d'îlot de chaleur urbain), les catastrophes naturelles, comme les inondations, les tempêtes, les épisodes de sécheresse et les possibles incendies qui en découlent. Les impacts sont de deux types : d'une part la probabilité que les personnes se trouvent dans le logement et soient directement affectées par l'aléa climatique et d'autre part les dégâts matériels sur le logement des aléas climatiques qui peut peser très lourd sur le budget d'un ménage.

En Europe du Nord, le parc de logements est vulnérable aux vagues de chaleur, car les bâtiments résidentiels ont toujours été conçus pour assurer une protection contre le froid plutôt que le chaud (Taylor et al., 2023) et sont actuellement soumis à une réglementation plus limitée en termes de surchauffe et de confort d'été. Or, des températures extrêmes et prolongées au sein des principaux espaces de vie et de nuit exposent les habitants à des risques importants en termes de santé et de mortalité.

Les inondations de 2021 en Wallonie ont démontré la vulnérabilité importante des fonds de vallée où se concentrent l'urbanisation et la population, dans les zones les plus à risque de nos territoires. La mise à jour des débits caractéristiques réalisée dans le cadre de modélisations hydrauliques suite aux événements de juillet 2021, annonce un élargissement des zones d'aléa dans tous les fonds de vallée.

Les feux de forêts sont de plus en plus fréquents sous l'effet des périodes de sécheresse et des canicules (PwG, 2022). L'urbanisation tend à augmenter les interfaces entre zones naturelles et zones résidentielles et donc le risque d'incendies urbains suite à un feu de forêt. D'une part, les villes s'étendent sur des territoires autrefois réservés à l'agriculture, réduisant les espaces tampons entre les forêts et les zones urbanisées et densifiant les zones à risque à proximité des forêts. D'autre part, les trames bâtie et forestière s'entremêlent progressivement, créant un contact direct entre la source d'allumage (les bâtiments) et le combustible (les forêts). Si les zones bâties sont souvent à l'origine du départ de feu, elles permettent néanmoins de limiter leur propagation à d'autres zones. Les changements climatiques, et en particulier l'augmentation des températures, tendent à augmenter le risque d'incendie en asséchant les sols et la végétation, mais va surtout modifier la structure de la végétation, amplifiant ou atténuant leur sensibilité aux incendies.

La structure territoriale et urbaine en Wallonie est telle que les centres urbains (où l'urbanisation est plus dense) hébergent souvent des quartiers où la population est plus précarisée. Ces villes s'étant par ailleurs historiquement développées sur des axes navigables, les centres sont également souvent situés dans l'ancien lit majeur des cours d'eau aujourd'hui linéarisé et contenus. La population plus précarisée de Wallonie est dès lors proportionnellement plus exposée aux aléas d'inondation par débordement et à l'amplification de l'aléa de chaleur par le phénomène d'îlot de chaleur urbain. L'analyse des risques climatiques sur le logement doit donc tenir compte de la vulnérabilité socio-économique des habitants qui y sont exposés.

L'analyse des outils et initiatives en Wallonie, Belgique et Europe a montré que :

- La vulnérabilité du logement vis-à-vis des vagues de chaleur est principalement étudiée à travers des modélisations de la performance énergétique des bâtiments. Ces analyses sont généralement réalisées au cas par cas ou proposent des comparaisons de plusieurs configurations afin de hiérarchiser les mesures d'adaptation les plus efficaces dans différents contextes.
- La vulnérabilité des logements face aux inondations est particulièrement critique car les politiques de gestion du risque se sont jusqu'à présent focalisées sur des mesures de résistance plutôt que d'adaptation. Le travail réalisé suite aux inondations 2021 dans le bassin de la Vesdre

mériterait d’être étendu à l’ensemble de la Wallonie, sans refaire toutes les analyses qui ont déjà été réalisées, mais en reprenant les méthodes développées pour un territoire plus large et en y attribuant et les recommandations avancées par ailleurs.

- Le manque de connaissances en lien avec les incendies urbains, en particulier en Europe où les publications à ce sujet sont rares et concernent principalement les pays de la Méditerranée (France, Espagne, Italie).

9.2. Chaîne d’impact

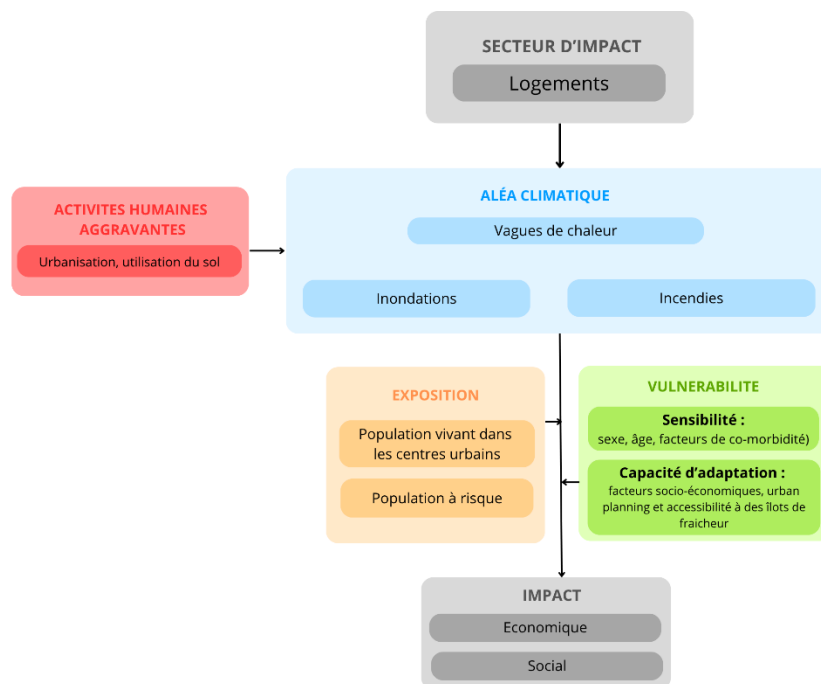


Figure 28 – chaîne d’impacts pour le logement

9.3. Périmètre et indicateurs

Trois indicateurs ont été élaborés, permettant d’identifier le nombre et la part des ménages wallons exposés à trois risques climatiques majeurs :

- Inondations par débordement et ruissellement
- Aléa de chaleur combiné (diurne et nocturne)
- Incendies

Ces indicateurs englobent les dimensions « exposition » (logements) et « dangers » (inondations, chaleurs, incendies) du risque.

La dimension « vulnérabilité » a également été considérée pour les inondations et les vagues de chaleur au travers d’indices de difficultés socio-économiques au vu de la proportion plus importante des ménages précarisés touchés par ces deux aléas. Pour constituer des indices complets de risque, les caractéristiques de sensibilité des logements face aux différents aléas devraient être considérées (type de matériaux, étages, isolation, systèmes techniques, ...). Ceci n’a toutefois pas pu être fait dans cette étude par manque de données spatialisées complètes et fiables aux autres données.

9.4. Résultats et zones à risque

Inondations

L’indicateur d’exposition (nombre et part) des ménages à l’aléa d’inondation est basé sur un croisement des données du census 2021 sur les ménages privés et bâtiments cadastraux avec la carte d’aléa d’inondation (carte d’aléa en vigueur, affinée pour le bassin de la Vesdre avec les recalculs effectués

dans le cadre de l'étude MODREC suite aux inondations 2021) ainsi que dans une zone de 20 mètres autour des axes de ruissellement concentrés.

Les données d'exposition sont également couplées avec des données sur le statut socio-économique des ménages.

La carte d'aléa n'intégrant pas l'évolution climatique, l'indicateur ne permet pas de visualiser les évolutions projetées de cette exposition.

500.000 ménages (31%) se situent soit en zone d'aléa d'inondation par débordement soit à proximité d'un axe de ruissellement. Conformément à ce qui était anticipé, plus le niveau socio-économique d'un ménage tend vers la précarité, plus le taux de ménages exposés aux inondations par débordement de ce statut est élevé. Les analyses statistiques montrent que les ménages très précarisés sont surtout sur-représentés dans les zones d'aléas d'inondation « faible », tandis que les ménages ayant un indice de précarité moyen et élevé sont sur-représentés dans les zones d'aléas d'inondation moyen et élevé.

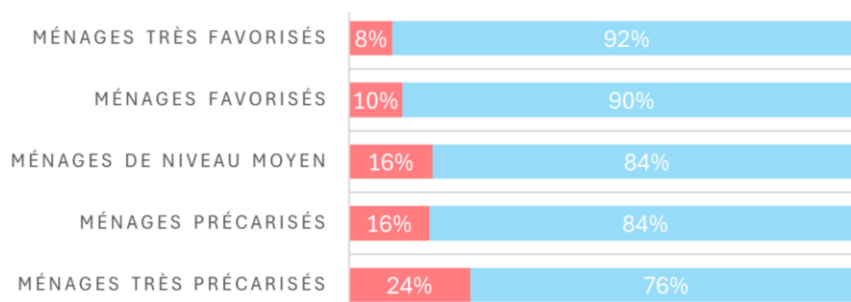


Figure 29 - Répartition de la part des ménages exposés (en rouge) au risque d'inondation par débordement en fonction de leur niveau socio-économique

L'échelle des sous-bassins hydrographiques s'impose comme celle de prédilection pour traiter la question des inondations. De ce point de vue, plusieurs bassins sont particulièrement vulnérables par rapport à la densité de ménages impactés : les bassins de la Vesdre, de l'Ourthe aval, de la Meuse (amont et aval), de la Senne, de la Dyle, de la Haine et de la Meuse. Une attention spécifique doit être apportée à ces bassins versants et des plans ou schémas doivent être adoptés pour réduire la vulnérabilité de ces sous-bassins versants.

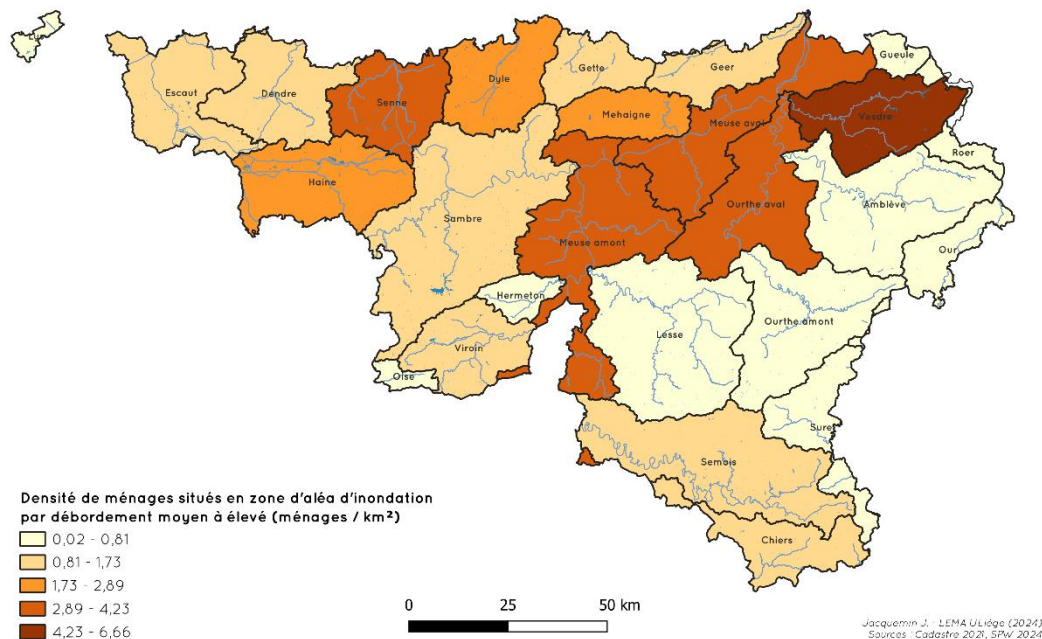


Figure 30 : Densité de ménages situés en zone d'aléa d'inondation par débordement moyen à élevé

Rappelons que le chapitre « Eau » identifiait un risque d'aggravation de l'aléa d'inondation dans les bassins versants de la Vesdre, du Roer, de Chiers et de Sure, ainsi que dans une moindre mesure, les bassins versants de l'Escaut, la Dendre, la Senne, l'Amblève et la Semois. Les bassins versant de la Vesdre et de la Senne combinent donc une densité élevée de ménages exposés avec un risque que l'aléa d'inondation s'aggrave.

Aléa de chaleur combiné

L'indicateur d'exposition (nombre et part) des ménages à l'aléa de chaleur est basé sur un croisement des données du census 2021 sur les ménages privées et bâtiments cadastraux avec la carte d'aléa diurne réalisée dans le chapitre « environnement urbain » de la présente étude et l'indice de vulnérabilité sociale également calculé dans le cadre de la présente étude.

L'indicateur permet de visualiser l'évolution de l'exposition selon deux niveaux de réchauffement : +2 et +3°C.

Les résultats montrent qu'**actuellement**, entre **3 et 5 %** de la population et des ménages wallons sont exposés à des **aléas de chaleur combinés modérés à très élevés**, répartis sur 17 communes. Dans un monde à **+2°C**, cette proportion pourrait atteindre **19 à 30 %** et concerner 96 communes. À **+3°C**, jusqu'à **87 %** de la population et des ménages seraient exposés et pratiquement toutes les communes auraient des zones de leur territoire où la population serait exposée à ces aléas.

A court terme, il est donc envisageable de se concentrer sur les zones à risque dans les centres urbains des plus grandes villes, mais à long-terme et dans des niveaux de réchauffement important, l'aléa se généralisera à tous les noyaux villageois.

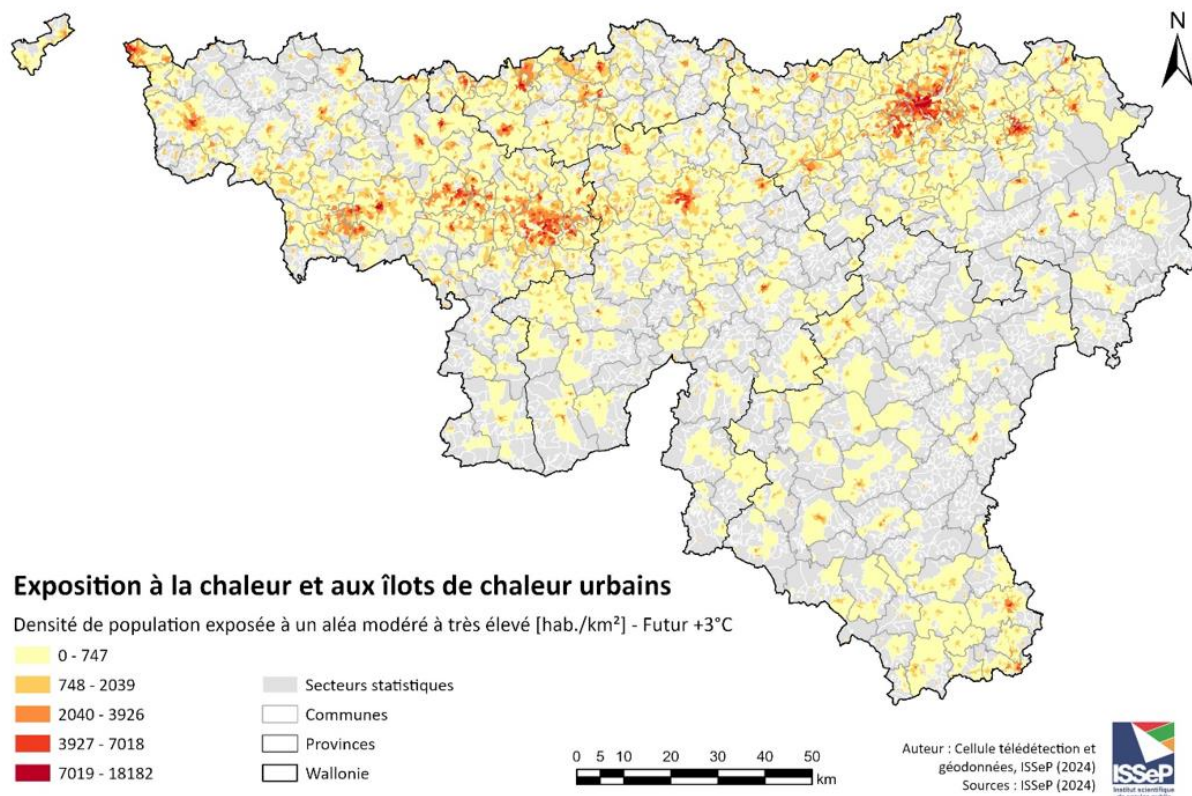


Figure 31 – Densité de population exposée à un aléa modéré à très élevé dans un futur à +3°C de réchauffement global.

Concernant la vulnérabilité socio-économique de la population exposée à un aléa modéré à très élevé, on constate que plus la vulnérabilité est élevée, plus la part de population exposée est importante. Pour le climat présent, 11% des personnes très vulnérables sont exposées alors que la moyenne toute classe confondue se situe à 5%.

Dans un futur à +2°C, 54% des personnes très vulnérables devraient se situer dans une zone d'aléa modéré à très élevé, la moyenne toute classe confondue étant de 30%.

Dans un futur à +3°C, le phénomène n'épargne plus personne. 98% des personnes très vulnérables sont touchées, la moyenne toute classe confondue étant de 87%.

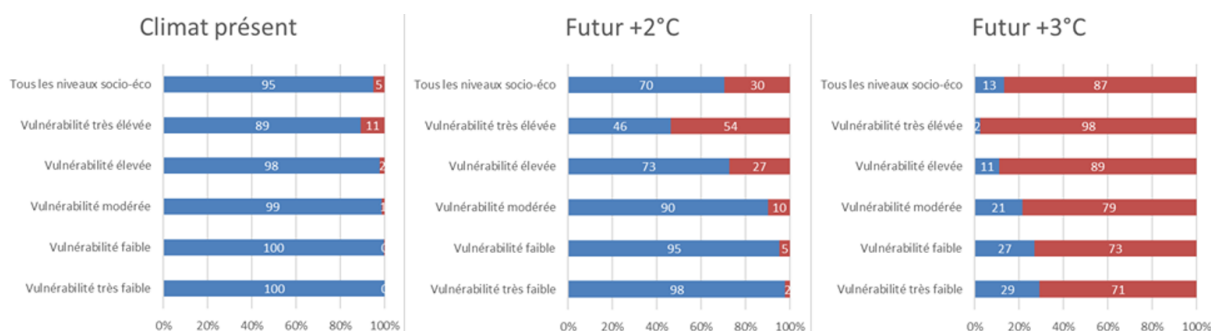


Figure 32 – Part de la population exposée à un aléa modéré à très élevé (en rouge) en fonction de leur vulnérabilité socio-économique selon le climat présent et des futurs à +2°C et +3°C.

La population ayant une vulnérabilité socio-économique très élevée est très majoritairement située dans les centres urbains des grandes villes du sillon Sambre-et-Meuse.

Incendies

L'indicateur d'exposition (nombre et part) des ménages à l'aléa d'incendie est basé sur un croisement des données du census 2021 sur les ménages privées et bâtiments cadastraux avec la carte de

probabilité de départ d'incendies (Depicker et al. 2020), retravaillée avec des seuils adaptés à l'échelle Wallonne. Ont été considérées exposés les ménages situés dans une zone de 200 mètres autour des zones à risque d'incendie.

La carte d'aléa n'intégrant pas l'évolution climatique, l'indicateur ne permet pas de visualiser les évolutions projetées de cette exposition.

Les dimensions de vulnérabilité du risque n'ont pas non plus pu être explorées dans cet indicateur.

541.000 ménages (34% de la population wallonne) se trouvent à moins de 200 mètres d'une zone de probabilité d'incendie supérieure à moyen-élevée. 49 communes comptent plus de 50% de leurs ménages dans cette zone d'aléa et 131 communes en comptent plus d'un tiers.

Celles-ci sont réparties sur à peu près tout le territoire. Les régions suivantes pourraient toutefois être considérées comme prioritaires : Vallées de la Dyle, de l'Amblève, Meuse Amont (y compris Viroinval), Mons – Borinages, le Parc Naturel de Gaume, les Hautes-Fagnes et les lisières de forêts de manière générale.

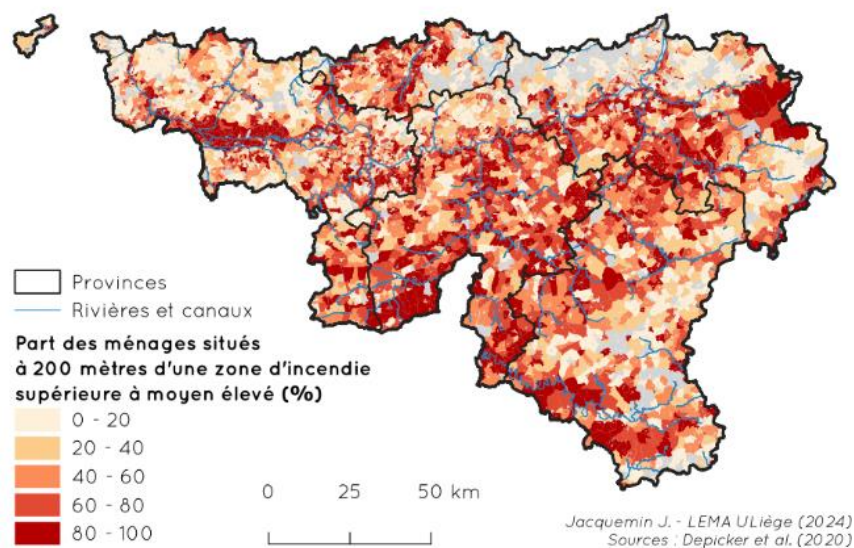


Figure 33 : Part des ménages situés en zone de probabilité d'incendie supérieure à moyen-élevée.

9.5. Mesures d'adaptation

Adaptation des logements aux chaleurs

La végétalisation du centre-ville évoquée au chapitre environnement urbain, participe à créer un micro-climat qui permet de rafraîchir localement les espaces urbains. Cela doit s'accompagner d'autres mesures à l'échelle du bâtiment et du comportement de ses occupants (Taylor et al., 2023). Sans anticipation par les pouvoirs publics, le recours systématique à la climatisation s'impose peu à peu en Europe à l'échelle des individus. Or il s'agit d'une mesure qui risque de mettre péril la logique d'atténuation en augmentant les consommations électriques et le risque de « surchauffe urbaine » (Dolques & Dépoues, 2022).

Il est donc important de renforcer la dimension surchauffe dans la réglementation PEB et y encourager l'usage de solutions passives plutôt qu'actives (végétalisation de toitures, réduction et protection des surfaces vitrées, revêtements de couleur blanche). Ce renforcement des normes actuelles doit se faire en tenant compte des projections futures en termes de température plutôt que des données historiques ou des statistiques climatiques actuelles.

Sensibilisation aux comportements face aux chaleurs

Les mesures appliquées au bâtiment doivent s'accompagner de recommandations à destination du grand public, car le comportement des occupants est déterminant en termes de gestion de crise et

d'efficacité des systèmes mis en place (ex : manipulation des protections solaires mobiles, horaire de la ventilation naturelle) (Sukanen et al., 2023). En Europe, de nombreux outils sont déjà disponibles à cet égard (par exemple, le plan wallon forte chaleur ou encore des guides techniques de l'ADEME en France), mais se concentrent plutôt sur l'hydratation, l'habillement, les sorties, etc. plutôt que sur l'opération du bâtiment.

Planification urbaine par bassin versant pour lutter contre les inondations

Les mesures concernant l'adaptation des logements aux inondations rejoignent celles préconisées dans la thématique eau pour les espaces urbanisés :

- Normes urbanistiques pour la résilience du bâti aux inondations ;
- Sensibilisation aux types d'habitations qui n'imperméabilisent pas le sol ;
- Identification et accompagnement des bâtiments à risque d'inondations et sensibles, dans l'élaboration de plans d'urgence spécifiques hôpitaux/crèches/homes/écoles ;

L'analyse de vulnérabilité suggère de répliquer l'étude hydrologique et la mise à jour des cartes d'aléa d'inondation réalisée dans le bassin de la Vesdre ainsi que l'élaboration du schéma stratégique, pour 5 autres bassins par ordre de priorité :

- Meuse amont
- Ourthe aval
- Meuse aval
- Senne
- Haine

Il convient de préciser qu'une amélioration significative de la situation des bassins versants de la Meuse aval et amont implique de travailler dans les sous-bassins versants situés en amont de ceux-ci. Des interventions limitées au sein même de ces deux bassins versants ne pourraient avoir que des effets modérés sur l'exposition des ménages concernés.

Adaptation des abords et interfaces pour lutter contre le risque d'incendies

Tout comme évoqué dans le chapitre économique, la carte d'aléa d'incendie élaborée dans le cadre de ce projet mériterait d'être approfondie puis validée à l'échelle régionale. Elle pourra alors permettre de mieux préciser les zones à risque. Les mesures d'adaptation face au risque d'incendie issu de feux liés au climat sont notamment :

- Gestion des distances et type de végétation aux abords d'une maison située en lisière forestière,
- Création de bande coupe-feu dans les coulées vertes urbaines

Plans de gestion incendies

Par ailleurs un renforcement du monitoring, de la vigilance et de la sensibilisation des habitants et des touristes en vue de limiter les départs de feu est à prévoir en s'inspirant des régions plus arides du sud de l'Europe actuellement confrontées au niveau de risque que le climat futur amènera en Wallonie.

Une planification stratégique est également à prévoir pour de potentiels investissements au niveau des services de secours (localisation des tours de guet et des casernes).

Recherches complémentaires

L'approche développée dans cette étude est conservatrice concernant l'exposition et la vulnérabilité. Le vieillissement de la population qui est prévu devrait avoir un impact négatif sur la vulnérabilité de la population Wallonne et donc le risque.

Par ailleurs l'analyse gagnerait à être affinée par des hypothèses de développement des zones résidentielles, nécessitant de préciser la politique de développement territoriale.

10. Infrastructures

10.1. Etat des lieux

Les répercussions des changements climatiques sur les infrastructures bâties par la société humaine pourront être multiples car celles-ci y sont souvent peu adaptées. Elles subiront alors des dégradations à plusieurs niveaux :

- Sur les infrastructures elles-mêmes : dégradations subies des infrastructures (endommagement, déformation ou destruction structurelle) nécessitant des réparations voire la reconstruction complète.
- Sur l'environnement de ces infrastructures : mouvements du sol, glissements de terrain, inondations...

Ces dégradations entraîneront des effets en cascade liés aux perturbations voire des arrêts (temporaire ou définitif) de la fonctionnalité des infrastructures. Par exemple, les infrastructures de transport touchées impacteront les chaînes d'approvisionnement des entreprises, la mobilité des personnes et augmenteront les coûts de transport. Tout cela mettra en danger la population et pourrait perturber l'accès des services de secours et/ou l'évacuation des personnes en danger.

L'analyse des initiatives et outils en Wallonie, Belgique et Europe a montré qu'il existe de nombreuses études identifiant les interrelations entre infrastructures et aléas climatiques, mais très peu de croisement de données quantitatives et cartographiques. Les aléas les plus systématiquement pris en compte sont l'évolution des précipitations et les inondations d'une part, et l'évolution des températures extrêmes et sécheresses d'autre part. Pour ces aléas, ainsi que pour le risque de feux de forêts découlant des sécheresses, il existe des méthodes d'analyse des risques potentiellement exploitables pour une application en Wallonie. En revanche, les tempêtes et le retrait/gonflement des argiles ne font l'objet d'aucune modélisation quantitative bien que ces aléas soient identifiés dans la littérature.

Enfin, il convient de noter que la littérature met également en avant l'accroissement des risques lorsque des aléas se combinent ou que des interrelations profondes existent avec d'autres secteurs. C'est d'autant plus vrai que la majorité des secteurs d'activités et systèmes d'urgence reposent d'une manière ou d'une autre sur l'énergie délivrée par le système énergétique. Les défaillances en cascade sont donc extrêmement probables dès lors que le système énergétique est interrompu, ne serait-ce que partiellement.

10.2. Chaîne d'impact

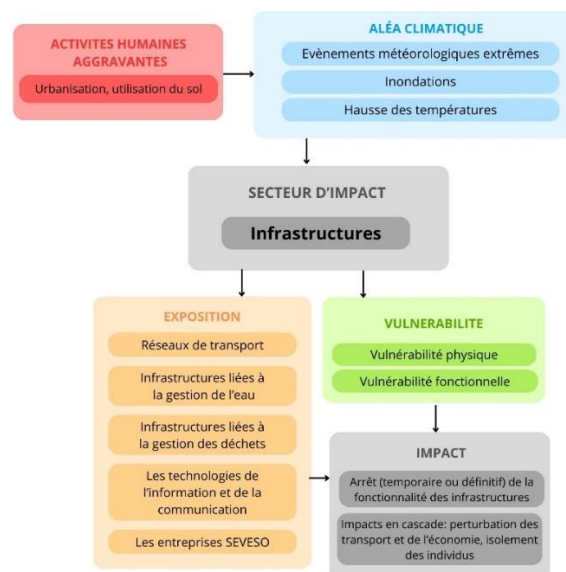


Figure 34 – Chaîne d'impacts pour les infrastructures

10.3. Périmètre et indicateurs

Au vu du nombre d'infrastructures potentiellement concernées, de la diversité des aléas climatiques impactant et des difficultés d'accès aux données, les indicateurs développés ne fournissent pas une image exhaustive du risque. Notamment en ce qui concerne les risques d'effets en cascade, l'objectif a été d'explorer ce champ d'analyse.

Indicateurs analysés :

- Inondations et infrastructures critiques
- Inondations et réseaux électriques
- Inondations et réseau de gaz
- Chaleurs extrêmes et réseaux électriques
- Incendies et réseaux électriques
- Effet en cascade des inondations sur la mobilité des pompiers
- Combinaison des inondations et d'un effet en cascade des black-out électrique sur les infrastructures critiques
- Tensions climatiques sur les sources énergétiques

10.4. Résultats et zones à risque

Inondations et infrastructures critiques

Une des balises préconisées par le « Référentiel Construction et Aménagement en Zone Inondable⁴ » est d'éviter de localiser des fonctions essentielles en zone d'aléa ou sur un axe de ruissellement. En effet, certaines fonctions du territoire tels que des services d'urgence, de communication ou des services de base se situent en zone d'aléa d'inondation et peuvent, par conséquent, être paralysés en cas d'inondation.

L'indicateur développé met en évidence les secteurs statistiques ayant le plus grand **nombre de fonctions essentielles exposées à d'aléa d'inondation**.

Pour calculer cet indicateur, les 19 fonctions essentielles suivantes sont prises en compte :

- | | |
|---|--|
| - Captages d'eaux en surface | - Services de distribution d'électricité de gaz et d'énergie thermique |
| - Centrales hydro-électriques | - Service de santé et d'action sociale |
| - Etablissements classés visés par les permis d'environnement | - Sites industriels à risque (SEVESO) |
| - Etablissements visés par la Directive Européenne relative aux émissions industrielles | - Stations d'épuration |
| - Réseau ferroviaire | - Transport aérien |
| - Réseau routier | - Transport fluvial |
| - Service administratifs publics, défense et sécurité sociale | - Casernes de pompiers |
| | - Etablissements pour aînés |
| | - Hôpitaux |
| | - Police |
| | - Ecoles |

L'analyse montre qu'il existe un **nombre important de fonctions essentielles qui se situent en zone d'aléa d'inondation partout sur le territoire wallon** : les valeurs observées oscillent entre 0 et 107 fonctions vulnérables par kilomètres carrés. Le bassin de la Vesdre ainsi que les vallées de la Sambre et de la Meuse ressortent particulièrement, identiquement aux points de confluence.

Cet indicateur a été créé afin de mener une analyse macro des fonctions vulnérables en zone d'aléa d'inondation. Les résultats observés sont donc limités par l'aspect volontairement simpliste de la méthodologie. Une étape future de l'analyse nécessiterait d'associer à chaque fonction une pondération qui évalue l'importance de cette fonction ainsi qu'une métrique permettant de relativiser la part inondable de la fonction au sein du secteur statistique (nombre, kilomètre de voirie, superficie).

⁴ Teller J. et al. (2022). <https://ediwall.wallonie.be/referentiel-constructions-et-amenagements-en-zone-inondable-2022-numerique-107594>.

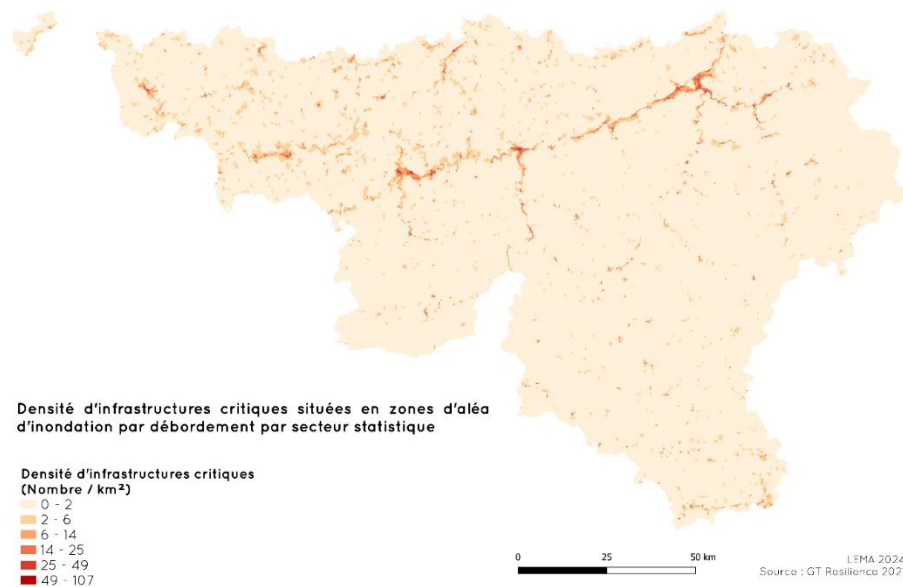


Figure 35 – Densité des infrastructures critiques situées en zone d'aléa d'inondation

Inondations et réseaux électriques

Un indicateur d'exposition de la consommation d'électricité a été élaboré par le croisement des postes de transformation électrique situés en zone d'aléa d'inondation. Le résultat a été pondéré par la consommation communale d'électricité.

Concernant le réseau de distribution, 103 communes sont considérées comme vulnérables ou très vulnérables. Les plus à risque sont : Charleroi, Liège, Mons, Mouscron, Namur, Tournai et Verviers. Il s'agit également des communes les plus densément peuplées de Wallonie, représentant 21,5% de la population wallonne et 24% de la consommation électrique.

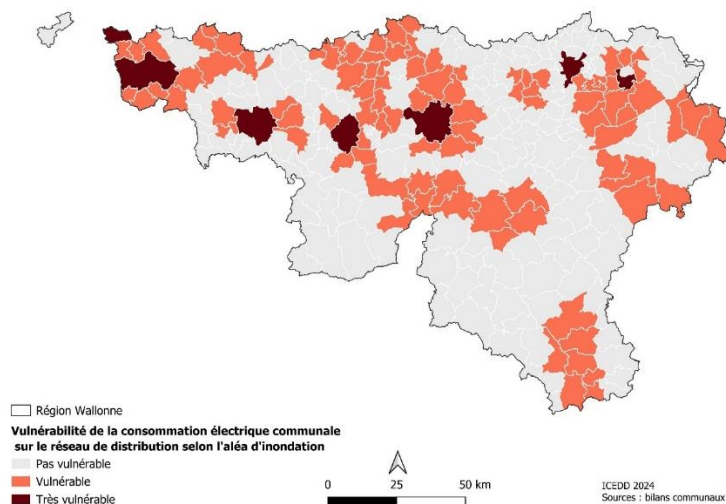


Figure 36 – Vulnérabilité de la consommation électrique du réseau de distribution aux aléas d'inondation

Sur le réseau de transport, la commune la plus vulnérable est Saint-Ghislain, qui accueille notamment le *data center* de Google.

Inondations et réseau de gaz

Un indicateur d'exposition de la consommation de gaz a été élaboré par le croisement des postes de détente et du réseau de canalisation de gaz situés en zone d'aléa d'inondation. Le résultat a été pondéré par la consommation communale de gaz.

Globalement, 43,1% de la population wallonne est considérée en zone vulnérable. La vulnérabilité se répartit davantage dans le nord-ouest du Hainaut et au nord du sillon Sambre et Meuse. Cela s'explique par la présence du réseau de distribution de gaz naturel, qui à l'inverse est peu présent sur une grande partie du sud de la Wallonie. Les centres urbains de villes telles que Tournai, Namur ou Liège par exemple constituent les zones les plus vulnérables du territoire.

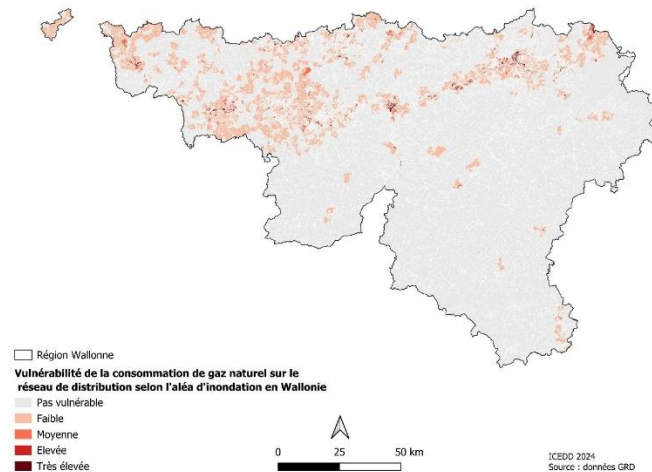


Figure 37 – Vulnérabilité de la consommation et du réseau de gaz aux aléas d'inondation

Chaleurs extrêmes et réseaux électriques

A l'instar des inondations, nous évaluons la vulnérabilité de la consommation sur base des risques pour les postes de transformation. Ce risque est déterminé selon le nombre de jours où les températures maximums de surface – moyennées sur une heure - dépassent 40°C pour des réchauffement globaux de +2°C, +3°C et +4°C.

Selon les projections climatiques, les zones du territoire qui seront particulièrement soumises à une plus grande fréquence de températures extrêmes se situent essentiellement au nord du sillon Sambre et Meuse. A l'inverse, les Ardennes seront moins impactées étant donné l'altitude moyenne qui y est plus élevée. Dans un monde à +4°C, ce sont 30 communes wallonnes qui sont considérées comme de vulnérabilité élevée, dans lesquelles se concentrent 34% de la population wallonne pour 43% de la consommation du réseau de distribution électrique.

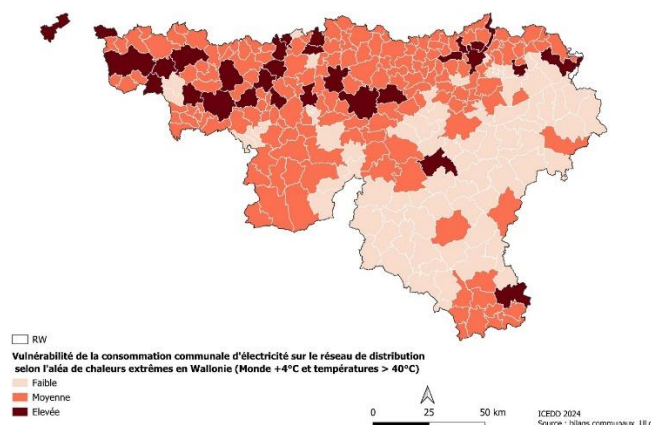


Figure 38 – Vulnérabilité de la consommation et du réseau électrique aux aléas de chaleurs extrêmes

Incendies et réseaux électriques

Un indicateur d'exposition de la consommation d'électricité a été élaboré par le croisement des lignes électriques aériennes et la carte de probabilité d'incendie.

L'analyse montre que 28,5% des lignes électriques du réseau de distribution et 54,7% des lignes du réseau de transport, sont exposées aux aléas d'incendies, majoritairement en zone d'aléa « moyen ». Les zones à risque prioritaires sont essentiellement les zones où les lignes électrique du réseau de transport sont situées en zones d'aléas 'élevé', voire 'moyen élevé' (26% du réseau de transport).

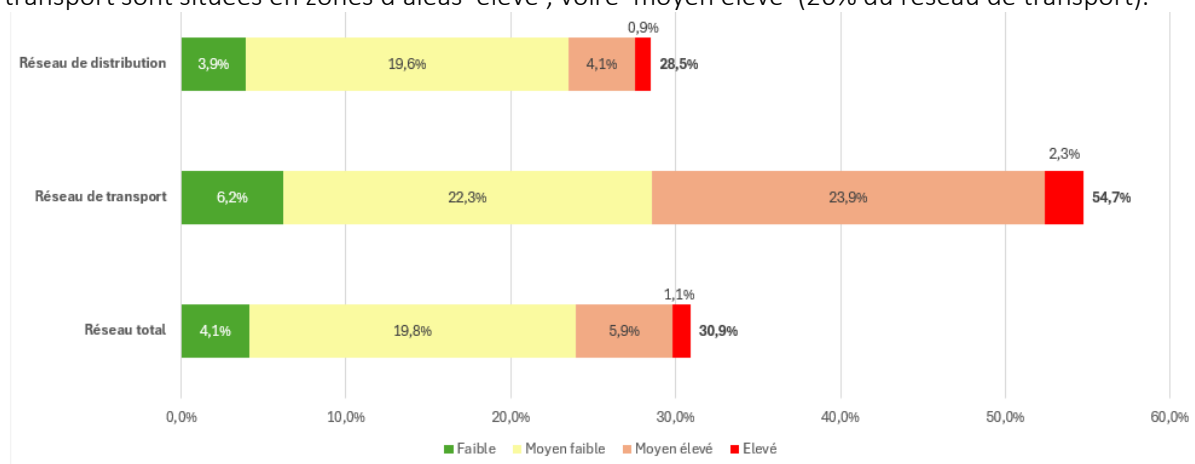


Figure 39 – Part des lignes électriques aériennes exposées à l'aléa d'incendie.

Effet en cascade des inondations du réseau routier sur la mobilité des pompiers

Les aléas d'inondations sont susceptibles de causer des impacts structurels sur les routes (vulnérabilité physique). Par ailleurs, durant l'inondation un effet cascade se répercute sur le bon fonctionnement du réseau routier (vulnérabilité fonctionnelle).

Une première analyse de l'impact potentiel des inondations sur le réseau routier montre une importante part (9 à 14%) des routes situées en zone inondable. L'évolution lié au climat n'est pas prise en compte.

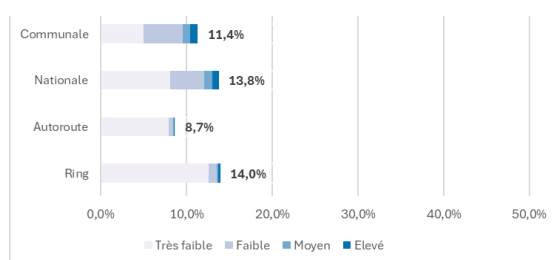


Figure 40 – Part des routes exposées aux inondations par type de route et niveau d'aléa.

Une seconde analyse a ensuite évalué l'impact des inondations sur l'accessibilité du territoire pour les pompiers. Il s'agit d'un indicateur de temps supplémentaire nécessaire pour atteindre chaque zone du territoire au-travers d'un calcul d'isochrones, tenant compte de niveaux d'aléa d'inondation par débordement « moyen » et « élevé ». Le territoire est considéré comme vulnérable lorsque le délai d'intervention dépasse 20 minutes.

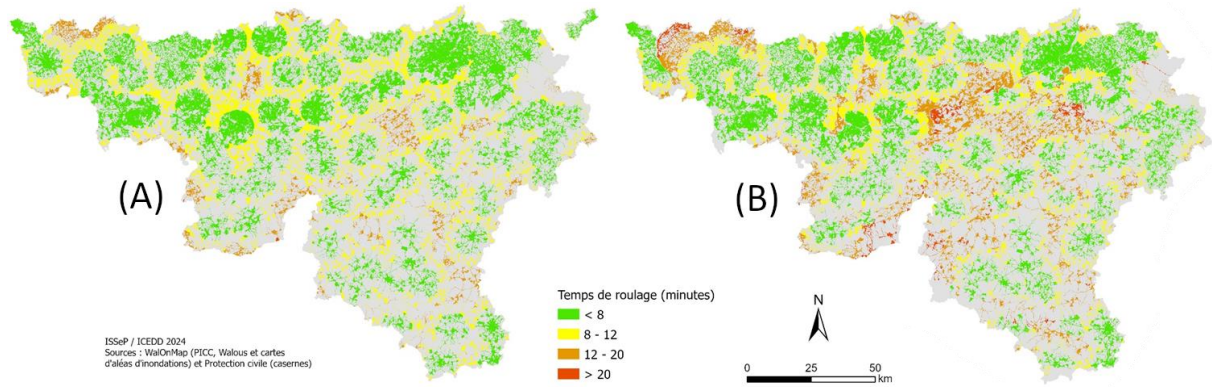


Figure 41 – Comparaison des isochrones de délai d'intervention depuis les casernes de pompiers en cas de réseau routier (A) fonctionnel / (B) dysfonctionnel (inondé).

Cette analyse montre qu'en cas d'inondation c'est potentiellement 3% du territoire qui basculerait en zone à risque (délai d'intervention des pompiers passant à >20 minutes).

Temps de parcours (min)	Part du territoire couvert – réseau fonctionnel	Part du territoire couvert – réseau dysfonctionnel	Evolution
0-8	60,9 %	54,5 %	- 6,4 %
8-12	32,4 %	24,9 %	- 7,5 %
12-20	6,5 %	17,6 %	+11,1 %
>20	>0,1 %	3,0 %	+2,9 %

Tableau 16 – Parts du territoire selon le temps d'accès pompier en cas de réseau routier fonctionnel/dysfonctionnel (inondé)

Ces zones à risque doivent être considérées comme zones prioritaires d'intervention dès lors qu'elles se combinent avec des endroits où les impacts humains, économiques et fonctionnels seraient importants. Par exemple, la zone s'étendant de Namur à Amay enregistre une population importante alors que la densité commerciale et industrielle est élevée le long des berges de Meuse. Similairement, la région de Tournai à Lessines est densément peuplée et connaît des temps de roulage élevé dans un réseau routier dysfonctionnel. La présence de sites sensibles (ex. entreprises SEVESO) et stratégiques (production électrique, stations d'épuration...) doivent également être considérées pour définir les zones d'intervention prioritaire.

Combinaison des inondations et effet en cascade des black-out électrique sur les infrastructures critiques

En cas d'évènement climatique extrême, les services critiques tels que définis par le groupe de travail transversal sur les inondations – GTI - (pompiers, police, hôpitaux et protection civile) assurent des services essentiels à la population. Ils ne peuvent se permettre d'être non-opérationnels, au risque d'amplifier la catastrophe. D'une manière ou d'une autre, tous ces services dépendent d'électricité que ce soit pour opérer ou pour être tenu informés.

L'indicateur élaboré vise à présenter le risque d'effet cascade pour ces services en cas d'interruption de l'approvisionnement électrique dû au risque d'inondation sur les postes de transformation du réseau électrique. Nous évaluons la part des services critiques à risque d'interruption de service.

Les zones vulnérables étant relativement dispersées sur tout le territoire de la Wallonie la cartographie à l'échelle régionale n'est pas très lisible. Celle-ci doit être visualisée à l'échelle locale.

Il apparaît néanmoins que les zones les plus à risque sont généralement des centres urbains. Ainsi, certains secteurs statistiques de Tournai, Mons, Charleroi, Namur et Liège sont particulièrement vulnérables.

10.5. Mesures d'adaptation

Une '*climate resilient infrastructure*' est une infrastructure capable de maintenir les services qu'elle rend en cas de crise (OECD, 2018). Les mesures d'adaptation doivent donc pouvoir permettre d'atteindre cet objectif. Ces mesures peuvent être à la fois techniques (*design* des installations) ou managériales (pilotage des installations, création de centres d'alerte, systèmes de surveillance et de suivi...).

A ce stade il apparaît surtout que les premières pistes d'analyses doivent à présent être poursuivies et validées par les services adéquats.

Inondations et infrastructures critiques

Il est nécessaire de poursuivre l'analyse en mobilisant le groupe de travail transversal « inondations » - GTI - sur :

- 1) la définition d'une pondération de l'importance des fonctions essentielles et des métriques adéquates pour relativiser l'identification des zones à risque pour les infrastructures critiques,
- 2) analyser des cas de terrain pour identifier l'adéquation de l'indicateur avec la réalité, ainsi que les éléments de vulnérabilité/adaptation pertinent à intégrer à l'indicateur.

Réseaux de gaz et d'électricité

L'hypothèse d'un découpage territorial où chaque point du territoire dépend du point de transformation/détente le plus proche est une simplification du fonctionnement des réseaux. De la même manière l'application d'une consommation par point de transformation/détente plutôt que la consommation communale permettrait d'affiner l'analyse. Enfin, la définition du réseau électrique en maillage permet d'acheminer de l'électricité depuis plusieurs postes, ce qui permet de contrer l'éventuelle interruption de service d'un poste en particulier.

Il apparaît donc nécessaire de confier à ou de mobiliser les gestionnaires de réseau dans la poursuite de l'analyse avec les données précises dont ils disposent.

Dans un second temps un échantillon de cas de terrain devrait être analysés afin d'identifier in situ les éléments de vulnérabilité et de protection pertinents à intégrer à l'indicateur. En fonction du type de caractéristique de vulnérabilité ou de protection des postes, des analyses par télédétection pour l'ensemble du réseau pourraient ensuite être envisagées.

Incendies et lignes électriques

Un quart des lignes électriques du réseau de transport d'électricité sont situés dans des zones d'aléa « moyen-élevé » d'incendie. Une analyse de terrain de tout ce linéaire est nécessaire afin de s'assurer que les mesures adéquates de prévention contre les incendies sont en place (type de végétation et distance par rapports aux lignes).

Effet en cascade des inondations sur la mobilité des pompiers

Il apparaît pertinent de poursuivre l'analyse en mobilisant les services de secours sur :

- le niveau d'aléa d'inondation à partir duquel analyser le risque de blocage (actuellement aléa moyen et élevé),
- la pertinence d'analyser également l'aléa par ruissellement,
- étudier différentes hypothèses concernant la vitesse de roulage.

Il est important de préciser également que l'outil utilisé pour l'analyse des temps de parcours est un outil cartographique de base. Des outils spécifiques plus avancés pourraient être utilisés pour améliorer le résultat.

Lorsque l'analyse permettra une bonne appréciation du risque, des analyses plus fines devront être menées dans les zones à risque afin d'identifier la réalité des potentiels blocages du réseau routier liés aux inondations, les routes alternatives ou les aménagements d'infrastructure nécessaires pour empêcher le blocage.

Effet en cascade des black-out électrique sur les infrastructures critiques

Les mêmes critiques que pour l'analyse du réseau électrique sont valables. Une amélioration de l'indicateur sur base des données internes des gestionnaires de réseau est donc nécessaire dans un premier temps.



En collaboration avec les services critiques, une pondération selon la part de la population dépendante de ces services pourrait également être envisagée.

PARTIE D : Coût de l'inaction

1. Approche et limites

La mise à jour de l'analyse des coûts de l'inaction climatique pour la Wallonie s'est appuyée sur deux documents principaux :

1. « L'identification et l'évaluation des coûts de l'inaction face aux changements climatiques en Wallonie », a été élaboré par l'ICEDD en 2014 pour l'AWAC (ICEDD, 2014).
2. Le rapport national « Evaluation of the socio-economic impact of climate change in Belgium », a été produit par Vito en 2020 pour la Commission nationale climatique (NCC, 2020).

L'analyse a visé à quantifier monétairement un maximum d'impacts dans chaque système exposé retenu dans le périmètre de cette étude. Dans la mesure du possible les estimations issues des sources mentionnées ci-dessus ont été remis à l'échelle et adaptés pour être cohérent avec le territoire wallon, les niveaux de réchauffement et les horizons temporels choisis pour la présente étude. Ces études basaient leurs estimations des coûts sur différents horizons temporels et scénarios SSP-RCP que nous avons essayé d'associer au mieux à des équivalences de degré de réchauffement mondial utilisés dans la présente étude. Deux combinaisons revenaient régulièrement dans ces études : le scénario RCP8.5 à l'horizon 2050 et à l'horizon 2100 que nous avons associé respectivement à +2°C et +4°C de niveau de réchauffement mondial.

Certaines données ont pu être actualisées et des facteurs de mise à l'échelle ont également permis d'estimer la répartition des coûts à l'échelle communale. Les choix et hypothèses sont explicités dans le rapport méthodologique lié à ce volet de l'étude (Horevoets et al. 2024).

Des coûts ont pu être estimés dans les thématiques suivantes de l'étude :

Thématique	Estimation de coût
Biodiversité	Pertes économiques liées au déclin des services écosystémiques
Eau – inondations	Domages maximaux et annuels attendus dus aux inondations (dont réseau routier)
Agriculture	Baisses de rendements des cultures et des productions issues de l'élevage
Economie	Perte de productivité au travail due aux vagues de chaleur
Tourisme	Gains économiques liés à l'attractivité d'un climat plus chaud
Energie	Impact économique des risques sur la consommation et la production
Santé	Estimation du coût des impacts sur la mortalité et les soins de santé des vagues de chaleur

Tableau 17 – Types de coûts économiques estimés dans les différentes thématiques de l'étude

Ces impacts économiques ne couvrent pas toujours l'ensemble des risques identifiés dans l'étude et n'ont jamais pu être directement liés aux indicateurs spatialisés qui en sont ressortis. Pour certaines thématiques aucun indicateur d'impact économique n'a pu être identifié. C'est le cas notamment de :

- Biodiversité : l'impact des espèces exotiques envahissantes
- Eau : l'impact de la baisse de recharge des nappes, des épisodes d'étiage (sauf pour ce qui est du rendement des centrales énergétique), des pénuries d'eau et de la pollution de l'eau
- Sols : aucun impact économique n'a pu être quantifié pour cette thématique, tant en ce qui concerne les conséquences des épisodes de sécheresses édaphiques, d'érosion des sols et coulées boueuses et de pollution.
- Social : le coût de l'accroissement des inégalités causés par la plus grande exposition des populations plus précaires aux aléas climatiques n'a pas pu être quantifié.
- Santé : plusieurs risques climatiques ont été croisés avec l'exposition de la population sans toutefois pouvoir chiffrer quantitativement l'impact possible en termes de mortalité ou hausse des soins de santé. C'est le cas notamment des inondations, incendies, pollutions des eaux, sols et de l'air.
- Economie : l'impact des arrêts d'activité des industries et entreprises en raison d'événements climatiques extrêmes ou de rupture des chaînes d'approvisionnement de matériaux/énergie n'ont pas pu être quantifiés.

- Tourisme : l'impact économique des risques de baisse d'attractivité suite au déclin de la biodiversité, l'impact de la baisse des cours d'eau sur les activités nautiques n'ont pas pu être quantifiés.
- Inondations : l'impact en termes de vies humaines, dommages psycho-sociaux et dégâts de santé à long-terme (humidité des logements).
- Infrastructures : les surcoûts de protection, maintenance et de gestion des dégâts aux infrastructures critiques n'ont pas pu être estimés.
- Energie : les coûts engendrés par les possibles ruptures d'approvisionnement énergétique et black-out n'ont pas pu être estimées.

Faute de projections socio-économiques précises pour chaque secteur, les analyses de coûts s'appuient généralement sur la situation actuelle en Wallonie (scénario de référence figé). Cela revient à appliquer les conditions climatiques prévues aux différents niveaux de réchauffement (+2, +3 et +4°C) à l'économie et à la société telle qu'elle est aujourd'hui, afin de voir comment elle réagirait si ce climat arrivait dès maintenant.

Cette approche présente plusieurs avantages :

- Elle permet de mesurer l'impact du climat futur sans être perturbé par d'autres changements possibles.
- Créer des scénarios socio-économiques pour le futur est complexe et long.
- Cela évite d'ajouter des incertitudes économiques aux incertitudes climatiques.
- Les taux d'actualisation ne sont pas nécessaires.

Enfin, cela permet de bien définir les limites de l'étude : les résultats ne sont pas des prévisions, mais plutôt un exercice théorique pour commencer à évaluer les impacts physiques et leurs coûts.

Pour garantir l'homogénéité des impacts, les données utilisées datent de 2022 (année pour laquelle toutes les informations étaient disponibles, certaines n'étant pas encore disponibles pour 2023). Les coûts monétaires présentés sont donc tous exprimés en euros de 2022.

2. Biodiversité

Pour cette thématique, l'ensemble des résultats du rapport national (NCC, 2020) pour la Région Wallonne sont repris et également transposés à l'échelle communale. Les scénarios et horizon temporels de l'étude nationale sont similaires au niveau de réchauffement +2°C de la présente étude. Les services écosystémiques monétarisés sont le stockage carbone, la filtration de l'air, les bénéfices sur la santé, les bénéfices récréatifs, la pollinisation et finalement les services liés à l'eau douce.

Il est important de mentionner trois grandes limites à cette approche :

1. La valeur économique ne représente qu'une partie infime de la réelle valeur des services écosystémiques. Les coûts présentés ci-dessous ne reflètent donc qu'un impact partiel des réelles pertes, autant au niveau humain que de la faune et la flore, liées à la perte de biodiversité.
2. La dégradation de la biodiversité réagit de manière non linéaire au réchauffement planétaire. Des niveaux de réchauffement de +3°C et +4°C pourraient engendrer bien plus de dégâts que ce que ne laisse entrevoir l'estimation à +2°C.
3. La perte économique identifiée ici ne concerne que la dégradation du service écosystémique liée à l'évolution du climat. L'imperméabilisation des terres et leur changement d'affectation engendre des pertes bien plus importantes.

2.1. Réduction du carbone stocké dans les sols

Certaines surfaces de sol absorbent plus de CO₂ que d'autres. A l'échelle mondiale, l'absorption de carbone par les écosystèmes terrestres augmente en raison des concentrations atmosphériques élevées en CO₂. Cependant, une hausse supplémentaire des températures pourrait engendrer une dégradation

plus rapide de l'humus (formée par la décomposition des plantes et des animaux, joue un rôle crucial dans la fertilité du sol et la séquestration du carbone) que de la production de biomasse (matière végétale produite par les plantes lors du phénomène de photosynthèse). Ce déséquilibre inverserait le rôle de séquestrateur en producteur de CO₂. L'accroissement des périodes de sécheresse détérioreraient aussi les forêts et les tourbières engendrant une perte de séquestration de carbone ainsi que le risque de feu de forêt.

Pour un contexte proche d'un réchauffement de +2°C, l'étude nationale (NCC, 2020) estimait à 172 millions d'euros par an la perte potentielle due à la réduction du stockage de carbone dans les terres. Pour ramener ce chiffre à l'échelle de la Région Wallonne (et au niveau communal), la superficie totale du territoire est utilisée comme facteur d'échelle. Ceci représente un biais car selon le type d'occupation du sol, la quantité de stockage de carbone assimilé dans les sols varie fortement. Le coût économique annuel associé à la perte du stockage de carbone pour la Wallonie s'élèverait dès lors à **- 109 millions d'euros par an**, sous un niveau de réchauffement mondial de +2°C.

2.2. Réduction des services de qualité de l'air, bienfaits récréatifs et sanitaires

Le résultat du rapport de la Commission nationale du climat (NCC 2020) a été repris pour calculer l'impact des services écosystémiques sur les aspects récréatifs et sanitaires. Pour un contexte proche d'un réchauffement de +2°C, l'étude nationale (NCC, 2020) estimait 218 millions d'euros par an la perte potentielle de ces services écosystémiques.

Pour ramener ce chiffre à l'échelle de la Région Wallonne (et au niveau communal), les superficies agricoles et forestières du territoire ont été utilisées.

Le coût économique annuel associé à la perte du stockage de carbone en Wallonie s'élèverait dès lors à **- 157 millions d'euros par an** à l'horizon 2050, sous un niveau de réchauffement mondial de +2°C.

2.3. Pollinisation

La perte de biodiversité a un impact direct sur l'activité économique, notamment à travers la pollinisation. La diminution du nombre de pollinisateurs entraîne une baisse de la production agricole, car de nombreuses cultures dépendent de ces insectes pour leur reproduction.

Pour un contexte proche d'un réchauffement de +2°C, l'étude nationale (NCC, 2020) estimait à 23,7 millions d'euros (0,005% du PIB Belge) la perte potentielle de ces services écosystémiques.

Remis à l'échelle de la Région wallonne en utilisant la surface agricole comme facteur d'échelle, la perte économique s'élève à **15 millions d'euros par an** sous un niveau de réchauffement mondial de +2°C.

2.4. Services écosystémiques de l'eau douce

Les écosystèmes d'eau douce (lacs, rivières, zones humides) sont une ressource naturelle offrant des services écosystémiques essentiels comme l'approvisionnement en eau et en électricité, le transport fluvial, la régulation de la qualité de la nourriture et de l'eau ainsi que le développement et l'équilibre de la biodiversité.

Avec la diminution des précipitations estivales, la hausse des températures moyenne, les périodes de sécheresse risque de mettre cette ressource sous pression. Les débits des rivières risquent de chuter pendant les étés secs, comme cela a déjà été observé en Belgique. Les pénuries ou la baisse de l'eau potable peuvent engendrer une hausse du prix par m³ et des restrictions de consommation sévères.

Pour un contexte proche d'un réchauffement de +2°C, l'étude nationale (NCC, 2020) estimait à 797 millions d'euros par an la perte potentielle de ces services écosystémiques.

En appliquant le facteur d'échelle des superficies des plans d'eau en Région Wallonne, on parvient à une estimation de coût économique à **-155 millions d'euros par an** sous le niveau de réchauffement mondial de +2°C.

2.5. Production de bois

Comme évoqué dans le chapitre concernant les forêts, deux des principales productions forestières (hêtraies et pessières) vont être soumises à des stress climatiques important et des coûts importants vont affecter leur rentabilité :

- Perte de rendement dû à la sortie de l'optimum écologique
- Pertes liées aux Scolytes
- Diminution des prix suites aux événements extrêmes
- Feux de forêts
- Chablis

Pour un contexte proche d'un réchauffement de +2°C, l'étude nationale (NCC, 2020) estimait à 172 millions d'euros par an la perte potentielle pour la filière bois.

En appliquant le facteur d'échelle des superficies forestières en Région Wallonne, on parvient à une estimation de coût économique à **-141 millions d'euros par an** sous le niveau de réchauffement mondial de +2°C.

2.6. Tableau récapitulatif des coûts liés à la perte des services écosystémiques

Les coûts sont exprimés en million d'euros 2022 par an.

+2°C				
Séquestration carbone	Pollinisation	Eau douce	Filtration de l'air, loisir et santé	Production de bois
109	15	155	157	141

Tableau 18 – Pertes économiques pour la Wallonie liées à la diminution des services écosystémiques en raison des changements climatiques induits par un réchauffement global de +2°C

3. Inondations

Le cas le plus récent et significatif des inondations dans la province de Liège sur le bassin de la Meuse en 2021 a montré des coûts élevés sur le plan financier, matériel et humain. Selon une estimation de la Commission spéciale à la reconstruction de la Région Wallonne (2022), l'ensemble du coût financier aura coûté à 5.164 millions d'€. Les coûts liés aux inondations en Région wallonne se répartissent entre les indemnités versées par Assuralia pour les biens privés et les dépenses engagées par le domaine public. Assuralia a versé un total de 3.531 millions d'€ pour couvrir les dommages aux habitations (1.481 millions €), aux entreprises (655 millions €), aux bâtiments publics (239 millions €), et aux véhicules (93 millions €). En parallèle, le domaine public a dû assumer des coûts de 1.811 millions €, incluant les réparations des infrastructures publiques (1.294 millions €), les bâtiments publics (285 millions €), la continuité des services publics (119 millions €), et la gestion des déchets et pollutions (112 millions €). Les bâtiments, infrastructures et biens matériels représentent une partie des dégâts seulement. Les impacts indirects sont donc nombreux (chômage technique, fermeture d'activités, destruction de récoltes, prise en charge médicale et psychologique des victimes, congés maladies...) qui engendrent aussi un coût financier et humain difficilement chiffrables. Ceux-ci ne seront pas inclus dans l'analyse de coût de cette étude.

3.1. Dommages économiques maximum

Une première méthode pour évaluer le risque économique lié aux inondations est d'évaluer la valeur économique de ce qui se situe en zone inondable. Pour ce faire, nous sommes repartis du nombre de parcelles du cadastre (2021) impactés par les différents aléas (débordement et ruissellement) selon la carte d'aléa en vigueur et corrigée sur le bassin de la Vesdre suite à l'étude hydrologique du projet MODREC. Sur base du code de description des parcelles du cadastre, les parcelles ont été catégorisées

afin de correspondre aux facteurs économiques repris dans l'étude des coûts au niveau national (NCC, 2020).

Cette estimation mène à un montant total de dommages maximaux des inondations (coût si tous les bâtiments, infrastructures, cultures et forêts situés en zone inondables étaient dégradés en une gigantesque inondation) en Wallonie de **36 milliards d'euros** (euro 2023), dont 11 milliards pour le résidentiel et 25 milliards pour les industries, entreprises et infrastructures.

3.2. Coût du risque annuel des inondations

Les dommages annuels attendus (en €/an) est une méthode qui permet d'estimer la sévérité des dommages grâce à des courbes de dommage associé à des probabilités de différent degré de sévérité d'inondation selon les différents niveaux de réchauffement mondiaux.

Cette analyse a été réalisé dans le rapport national (NCC 2020).

Les résultats ont été mis à l'échelle wallonne en utilisant la part de la superficie inondable wallonne dans la superficie inondable totale belge. L'hypothèse sous-jacente est que la zone inondable possède la même répartition de catégories de sol (résidentiel/entreprises) entre les régions. Pour obtenir des chiffres à l'échelle communale, nous avons utilisé la proportion des superficies communales des bâtiments inondables par rapport à la superficie totale de la Wallonie, selon les données du cadastre 2021, car ce sont les seules données communales disponibles à cette échelle.

En appliquant cette mise à l'échelle, on parvient à une estimation du coût économique annuel des inondations fluviales pour la Wallonie, de **69 millions d'euros par an** sous le niveau de réchauffement mondial de +2°C.

4. Agriculture

4.1. Impact économique de l'évolution des rendements des grandes cultures

Estimation des rendements futurs

Les hypothèses qui ont été utilisées pour estimer les coûts sont que : les pratiques, les prix et les superficies agricoles ainsi que le calendrier technique (la rotation des cultures et pratiques agricoles) sont constants.

L'analyse de vulnérabilité a montré des résultats très contrastés selon les modèles et que c'est surtout la stabilité des rendements qui sera très négativement impacté (avec des années à rendement nul). Afin de ne pas diluer le risque dans une moyenne, il a été décidé d'attribuer à chaque culture et à chaque degré de réchauffement la variation de rendement la moins favorable (perte la plus forte ou gain le plus faible). Ces valeurs ne sont donc pas toutes issues d'un même modèle.

	+2°C	+3°C	+4°C
Froment	-12,4	-4,4	2,2
Colza	-11,6	-6,5	-19,7
Maïs	-9,3	-9	-10,5
Betteraves	+7	+6,1	+3,3
Pommes de terre	-14,4	-4,9	-9,1

Tableau 19 - Variation des rendements agricoles.

Les variations des rendements estimés de la culture de betterave (et le froment à +4°C) augmentent positivement, contrairement au maïs, colza et à la pomme de terre.

Ces variations de rendements sont appliquées aux rendements agricoles de 2022 (cf. Tableau 19). Les résultats de rendement et de productions agricoles sont présentés ci-dessous.

	2022		+2°C		+3°C		+4°C	
	Rendement	Volume	Rendement	Gains et pertes	Rendement	Gains et pertes	Rendement	Gains et pertes
Froment	92.7	1 718 785	81.2	-213 129	88.6	-75 627	94.7	37 813
Colza	42.4	36 465	37.5	-4 230	39.6	-2 370	34	-7 184
Maïs grain	95.2	598 515	86.3	-55 662	86.6	-53 866	85.2	-62 844
Betteraves	890.8	4 743 710	953.2	332 060	945.1	289 366	920.2	156 542
Pommes de terre	394.1	3 272 314	337.3	-471 213	374.8	-160 343	358.2	-297 781

Tableau 20 - Variation des rendements agricoles (100kg/ha) et des pertes/gains de volumes (Tonnes). Calcul ICEDD 2024

Quantification monétaire pour la Région Wallonne

Afin de traduire ces variations de quantité de production en quantité monétaire, les prix agricoles de 2022 de Statbel ont été utilisés. L'hypothèse de prix constants est donc d'application, ce qui constitue une grande limite pour les résultats puisqu'il est plus que probable que les prix varient dans le futur. En raison du volume de production et du prix à la tonne, c'est la pomme de terre qui pèse le plus lourd dans le résultat final.

		+2°C	+3°C	+4°C
	Prix 2022 (€/T)	Gains / Pertes (M€)	Gains / Pertes (M€)	Gains / Pertes (M€)
Froment	321	-68,4	-24,3	12,1
Colza	703	-3	-1,7	-5
Maïs	244	-13,6	-13,1	-15,3
Betteraves	28	9,3	8,1	4,4
Pommes de terre	231	-108,8	-37	-68,8
Total		-184,5	-68	-72,6

Tableau 21 – gains et pertes monétaires de la variation de rendement des grandes cultures.

Le coût économique des variations de rendement pourrait s'élever à :

- **184 millions** d'euros par an de pertes dans un niveau de réchauffement mondial à +2°C
- **68 millions** d'euros par an de pertes dans un niveau de réchauffement mondial à +3°C
- **73 millions** d'euros par an de pertes dans un niveau de réchauffement mondial à +4°C

Il est important de rappeler que l'analyse de vulnérabilité a montré que le risque principal pour les cultures n'était pas la diminution du rendement, mais l'augmentation de la variabilité de ces rendements avec potentiellement des années catastrophiques. L'effet de cette variabilité ne se voit pas dans cette estimation du coût, mais aurait des impacts importants sur les exploitations et filières agricoles.

4.2. Impact du stress thermique sur la production de bétail

Les pertes économiques calculées à l'échelle de la Belgique (NCC, 2020) ont été ramenées à l'échelle de la Région Wallonne en utilisant la part du cheptel régional dans le cheptel belge selon chaque espèce. Les scénarios et horizon temporels utilisés au niveau de la Belgique sont associables au niveau de réchauffement mondial de +2°C de la présente étude.

+2°C		
Produit et espèce	Variation de production (% vs. 2022)	Coût économique en région wallonne (M€)
Lait	-0.88	-5.97
Volaille	0.00	-0.00
Porcs	-0.88	-0.80
Bovins	-0.88	-4.66
Total		-11.43

Tableau 22 – Pertes monétaires de la variation de production des élevages.

5. Santé

Bien que les impacts des changements climatiques sur la santé soient multiples (dégâts physiques directs, stress, maladies vectorielles, allergies, santé mentale, impacts sur les infrastructures de santé, ...), les données disponibles pour quantifier monétairement ces impacts sont limitées. Seuls les coûts liés aux prises en charge hospitalières et à la surmortalité lors des vagues de chaleur ont pu être pris en compte.

Estimer le coût monétaire lié à la mortalité est une entreprise incertaine et éthiquement délicate. La perte d'un être humain engendre évidemment bien plus que des dégâts monétaires et ne peut être résumé à un chiffre.

5.1. Surmortalité due aux vagues de chaleur

Entre 1980 et 2010, les vagues de chaleur étaient la cause d'en moyenne 70 décès par an (Forzieri et al., 2017). Cela varie significativement en fonction du nombre de vagues de chaleur, leurs sévérités et leurs durées.

L'étude nationale (NCC, 2020) estimait le nombre de décès liés à la chaleur à hauteur de :

- 962 décès par an, pour un contexte proche d'un réchauffement de +2°C ;
- 2280 décès par an, pour un contexte proche d'un réchauffement de +4°C.

Une première approche de l'étude nationale (NCC 2020) utilise le concept de « Value of a Statistical Life » (VSL), la valeur d'une vie statistique, qui estime ce qu'un individu serait prêt à payer pour réduire le risque annuel de mourir d'une probabilité définie. Les résultats varient d'une enquête à une autre de par le caractère hautement subjectif de la question. La valeur reprise dans l'étude nationale (moyenne des estimations et actualisée en €2022) est de 2,46M€.

Toutefois les décès liés aux vagues de chaleur touchent principalement les personnes âgées ou ceux touchés par d'autres conditions physiques. Le nombre d'années de vie perdues est donc probablement plus bas que celle de la population générale (en prenant en compte toutes les catégories d'âge). C'est pourquoi une deuxième valeur monétaire est préconisée par l'étude nationale (NCC 2020) : celle de la valeur d'une année de vie humaine (value of a life year - VOLY). L'étude reprends un ratio de 6,67 années de vie perdues en moyenne par décès lié à la chaleur et une valeur de 860 430 (€2022) par année de vie perdue (moyenne des valeurs reprises dans NCC 2020 et indexé en €2022).

Ramené à la population wallonne et aux décès estimés, cela représente :

- **174,56 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +2°C ;
- **413,71 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +4°C.

Une interpolation linéaire entre ces deux valeurs suggère des coûts de **294,13 millions d'euros par an**, pour un réchauffement à +3°C.

Il existe toutefois une grande incertitude sur ces chiffres car si on prend l'ensemble des méthodes, études et hypothèses utilisées dans les sources, les fourchettes d'estimations pour la Wallonie vont de :

- 35 millions à 1,4 milliard d'euros par an pour un niveau de réchauffement mondial de +2°C,
- 51 millions à 2,7 milliards d'euros par an pour un niveau de réchauffement mondial de +3°C,
- 66 millions à 4 milliards d'euros par an pour un niveau de réchauffement mondial de +4°C.

5.2. Coût hospitalier lié aux vagues de chaleur

Selon le rapport national (NCC 2020), il n'existe presque aucune information sur les coûts de morbidité liés à la température en Belgique. Cette étude fait donc une estimation grossière basée sur le nombre d'hospitalisations liées à la chaleur (environ 2000 par jour) et les coûts d'hospitalisation en Belgique. Bien que cette estimation repose sur des hypothèses fragiles, elle est comparable à d'autres études à l'échelle européenne.

Ramené à la population wallonne, cela représenterait des surcoûts de :

- **48 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +2°C

6. Secteurs économiques

6.1. Baisse de productivité du travail liée aux fortes chaleurs

L'effet du stress thermique sur la productivité au travail est un impact économique clé des changements climatiques qui pourrait affecter la production nationale et les revenus des travailleurs.

Certains secteurs sont plus sensibles que d'autres. Les métiers physiques, en extérieur, sont les premiers affectés par les températures extrêmes.

L'étude nationale (NCC, 2020) estimait les pertes à hauteur de :

- 0,73% du PIB (de 2022), pour un contexte proche d'un réchauffement de +2°C
- 1,9% du PIB (de 2022), pour un contexte proche d'un réchauffement de +4°C

Ramené au PIB wallon, cela représente :

- **922 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +2°C
- **2-399 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +4°C

Une interpolation linéaire entre ces deux valeurs suggère un coût de **1-660 millions d'euros par an**, pour un réchauffement à +3°C.

L'agriculture et le secteur de la construction, particulièrement affectés par l'impact des vagues de chaleur sur la productivité des travailleurs pourraient compter pour près de la moitié de ces pertes de productivité.

6.2. Hausse de l'attractivité touristique

Le tourisme représente 3.6% de la valeur ajoutée brute wallonne, soit 7 milliards d'€ par an et 58740 postes salariés en 2021.

En s'appuyant sur l'indice d'attractivité climato-touristique (ICT) du modèle Peseta, il ressort pour le nord de l'Europe, des résultats montrant des augmentations du nombre de nuitées d'ici 2080, de :

- Un peu moins de 2 % pour un réchauffement proche de +2°C,
- Environ 3 % pour un réchauffement proche de +4°C.

Sur base du nombre de nuitées touristiques en Wallonie en 2022, 9281177 (Walstat) et le prix moyen d'une nuitée de 45€, on déduit le revenu touristique de 418M€ en 2022 en ce qui concerne le seul secteur de l'hébergement reconnu.



Il en ressort donc des bénéfices (dans le tableau récapitulatif des coûts de l'inaction ils sont donc exprimés en valeurs négatives) attendus de :

- **3,4 millions d'euros par an**, pour un réchauffement proche de +2°C,
- **12,24 millions d'euros par an**, pour un réchauffement proche de +4°C,

Une interpolation linéaire entre ces deux valeurs suggère des bénéfices de **8,65 millions d'euros par an**, pour un réchauffement à +3°C.

7. Energie

Les changements climatiques vont avoir divers impacts économiques liés à la production et la consommation d'énergie :

- Les sécheresses entraîneront des baisses de débits dans les cours d'eau qui diminueront la productivité des centrales hydroélectriques,
- La baisse de débit ainsi que l'augmentation de température des cours d'eau diminueront également les capacités de refroidissement des centrales thermiques, baissant donc également leur productivité,
- Les températures plus élevées entraîneront des pertes plus importantes de charge sur le réseau de transport et de distribution d'électricité,
- La hausse des températures hivernales impliquera pour la population belge des « bénéfices » en réduction des consommations pour le chauffage
- La hausse des températures estivales impliquera à l'inverse une hausse de la consommation d'électricité pour la climatisation

7.1. Baisse de rendement de la production hydroélectrique

L'hydroélectricité exploite l'énergie potentielle de l'eau, souvent stockée dans un réservoir créé par un barrage, pour faire tourner des turbines et générer de l'électricité. La production d'énergie dépend de deux facteurs clés : le débit (m^3/s) et la charge hydraulique (m). Ces deux paramètres déterminent la quantité d'électricité que la turbine peut produire.

L'estimation de production sont repris du projet AMICE (2013), utilisé dans l'étude de coût de l'inaction en Wallonie de 2014 (ICEDD 2014), qui avait évalué les ventes futures annuelles d'hydroélectricité pour les centrales situées en bord de Meuse dans un contexte de réchauffement proche de +2°C.

Une actualisation de ces chiffres suggère une perte de production équivalent à un coût pour la Wallonie de **10 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +2°C.

Selon une autre étude (privée, non publiée), le productible hydroélectrique pourrait baisser de 17% d'ici la fin du siècle. Ce résultat est modélisé sur base d'une moyenne entre deux scénarios RCP (4.5 et 8.5) à l'horizon 2085. Considérant que la production nette d'hydroélectricité moyenne de 2013 à 2022 s'élève à 314,7 GWh et repartant des prix de l'électricité (minimum, maximum et moyenne Day-ahead 2015 à 2023), les chiffres de l'étude AMICE peuvent être nuancés. Selon ces nouvelles hypothèses, la perte économique pour la Région wallonne oscillerait entre 1,7 M€ et 13,1 M€.

7.2. Perte de production d'énergie des centrales à cycles thermiques

Les centrales à cycle de Rankine (les centrales nucléaires ou à combustibles fossiles classiques) convertissent de l'eau en vapeur, grâce à la combustion ou la fission nucléaire, qui enclenche une turbine, qui active à son tour un alternateur. La vapeur doit ensuite revenir à l'état d'eau liquide afin d'être réinjectée dans le processus de production. Le refroidissement de l'eau se fait généralement dans une source d'eau froide provenant directement d'un fleuve comme la Meuse pour les sites de Tihange. A nouveau une actualisation a été faite des estimations réalisées dans l'étude de coût de l'inaction en Wallonie de 2014 (ICEDD 2014), basées sur les données du projet AMICE (2013) de diminution de la disponibilité d'eau pour production d'énergie en Wallonie. Ces projections sont disponibles pour des niveaux de réchauffement proche de +2°C et +4°C.

L'actualisation de ces chiffres suggère une perte de rendement équivalent à un coût pour la Wallonie de :

- **28 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +2°C.
- **126 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +4°C.

Une interpolation linéaire entre ces deux valeurs suggère des coûts de **77 millions d'euros par an**, pour un réchauffement à +3°C.

A noter qu'il y aurait également un effet de l'augmentation de moyenne de température des cours d'eau, mais qui n'a pas pu être modélisée. Plus la différence de température entre la source d'eau froide et l'eau chaude est élevée, plus le rendement de la centrale sera important. A l'inverse, plus la température est élevée et la quantité insuffisante, plus le rendement sera faible et peut même engendrer une fermeture temporaire des centrales.

7.3. Pertes de tension sur le réseau électrique

Chaque année, le transport et la distribution d'électricité engendre des pertes. Ces pertes arrivent soit le long de câbles ou au sein des transformateurs lors de la variation du niveau de pression. L'importance de ces pertes dépendent de la quantité d'énergie injectée dans le réseau, mais aussi de la température ambiante.

En 2022, selon les bilans de l'ICEDD, les pertes s'élevaient à 1020.746GWh (PCI).

L'étude de coût de l'inaction en Wallonie de 2014 (ICEDD 2014), estimait cette perte de transport à hauteur de 1% par degré de réchauffement supplémentaire (Frontier economics, 2013). En appliquant cette valeur aux pertes estimées en Wallonie en 2022, et en estimant que le degré de réchauffement actuel s'approche des 1.5°C, nous obtenons les coûts estimés suivant :

- **0,79 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +2°C.
- **2,38 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +3°C.
- **3,96 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +4°C.

7.4. Impacts sur la demande d'énergie (chauffage et climatisation)

L'augmentation moyenne des températures laisse prévoir une diminution de la consommation d'énergie à usage de chauffage et une augmentation de la consommation d'électricité à usage de climatisation. Cependant, de nombreuses autres variables impacteront aussi la consommation finale (la population, les conditions économiques, le prix de l'énergie, le comportement des consommateurs, les politiques énergétiques...). Les estimations suivantes sont faites à économie constante. Cela équivaut à analyser comment la consommation d'énergie serait influencée sous les températures modélisées futures.

Baisse de la demande de chauffage

La demande d'énergie est estimée en fonction des degrés-jours de chauffage.

La méthodologie du rapport de l'ICEDD de 2014 a été actualisée avec les données jusqu'en 2022. Il est considéré que 30% de la consommation de chauffage est fixe et 70% dépendante des conditions météorologiques. Il en ressort les gains (non-consommation) estimés suivant :

- **266 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +2°C.
- **436 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +3°C.
- **629 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +4°C.

Dont 77% concernerait le secteur domestique et 23% le secteur tertiaire.

Augmentation de la demande de climatisation

La demande d'énergie est estimée en fonction des degrés-jours de climatisation. En l'absence d'un calcul précis des degrés-jours de climatisation, le nombre de jours d'été (T° maximale > 25°C) a été utilisé comme proxy. Pour le domestique, le taux de pénétration des appareils de climatisation fixe actuel est à hauteur de 3% dans les ménages wallons et a été estimé à 30.5% dans le futur (ICEDD 2014). La méthodologie du rapport de l'ICEDD de 2014 a été actualisée avec les données jusqu'en 2022.

Il en ressort les coûts (surconsommation) estimés suivant :

- **83 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +2°C.
- **125 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +3°C.
- **166 millions d'euros par an**, pour un réchauffement de +4°C.

Dont 22% concernerait le secteur domestique et 78% le secteur tertiaire.

8. Synthèse des coûts de l'inaction

Le tableau suivant reprend l'ensemble des surcoûts estimés pour la Wallonie en raison des changements climatiques.

Il s'agit de coûts annuels en millions d'euros.

Les cases grisées représentent les estimations interpolées pour le niveau de réchauffement +3°C quand des estimations étaient disponibles à +2 et +4°C.

Les chiffres négatifs représentent des gains potentiels.

Ces différents coûts ne peuvent pas être simplement sommés car ils ont été obtenus au travers de méthodes et hypothèses différentes.

Thématique	Impact	2°C	3°C	4°C
Biodiversité – Services Ecosystémiques	Séquestration de carbone	109		
	Filtration de l'air, loisirs et santé	157		
	Pollinisation	15		
	Régulation de l'eau douce	155		
	Production de bois	141		
Inondations	Surcoût annuel des inondations fluviales	69	81	
Agriculture	Rendements des cultures	184	68	73
	Stress thermique sur l'élevage	11		
Economie	Baisse de productivité liée aux chaleurs	922	1.660	2.399
	Attractivité touristique	-3,4	-8,65	-12,24
Energie	Baisse de production hydroélectrique	10		
	Perte de rendement des centrales thermiques	28	77	126
	Perte sur le réseau électrique	0,79	2,38	3,96
	Baisse de la demande de chauffage	-266	-436	-629
	Augmentation de la demande de climatisation	83	125	166
Santé	Surmortalité liée aux chaleurs	174,56	294,13	413,71
	Coûts hospitalier liés aux chaleurs	48		

Tableau 23- Synthèse des coûts de l'inaction climatique (millions euros par an).

PARTIE E : Feuille de route

1. L'urgence de s'adapter

Le 6ème rapport d'évaluation du GIEC (IPCC, 2022) réaffirme que la Terre se réchauffe et que le climat change. Depuis 1950, des changements ont été observés dans l'ensemble du système climatique et dans toutes les régions du monde : réchauffement de l'atmosphère et de l'océan, réduction de l'étendue et du volume de la neige et de la glace, élévation du niveau des mers et augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Les changements climatiques induit par l'homme ont des effets négatifs généralisés et causent des pertes et des dommages à la nature et aux personnes. Les changements climatiques appellent une action urgente à différents niveaux : réduction des émissions de gaz à effet de serre (atténuation), adaptation à l'impact des changements climatiques (adaptation) et prévention et gestion des pertes et dommages.

Des mesures visant à limiter le réchauffement planétaire à 1,5°C réduiraient considérablement les pertes et les dommages, mais ne peuvent pas totalement les contrer. Plus le réchauffement climatique est élevé, plus les mesures d'adaptation doivent être drastiques.

Les changements climatiques actuels et prévus dans le futur affecteront de nombreux secteurs : transports, santé, économie, agriculture, énergie... Nous devons nous préparer à ces changements et nous y adapter afin de minimiser l'impact négatif des changements climatiques et de tirer un profit maximal des éventuelles opportunités. Les efforts consentis en termes d'adaptation aux changements climatiques permettent de réduire notre vulnérabilité aux changements climatiques et d'augmenter notre résilience.

2. Le terreau de la résilience

De manière générale, les leviers d'adaptation aux changements climatiques sont étroitement liés aux stratégies et plans sectoriels qui renforcent la durabilité et la résilience des systèmes exposés. Il ne s'agit pas d'élaborer une nouvelle stratégie séparée, mais bien de soutenir les dimensions adaptatives des mesures préconisées dans chacun de ces systèmes.

L'adaptation est dès lors abordée à travers le prisme de chacun des grands systèmes exposés aux risques climatiques.

Huit « piliers de résilience » sont abordés dans les pages qui suivent. Pour chacun d'eux, nous avons :

- Résumé les grands enjeux tirés de l'analyse de vulnérabilité et du coût de l'inaction dans les principaux systèmes exposés.
- Proposé une esquisse de ce que serait un réel changement de paradigme de nos sociétés permettant d'imaginer un système vraiment résilient face aux changements climatiques.
- Suggéré les mesures prioritaires, en cohérence avec les initiatives actuellement en place et permettant de poursuivre une dynamique de transition vers de tels paradigmes.
- Synthétisé les Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces dans un tableau d'analyse SWOT.

2.1. Une biodiversité au premier plan

La biodiversité wallonne est aujourd'hui dans un état critique : 95 % des types d'habitats naturels sont en mauvais état de conservation, et près d'un tiers des espèces animales et végétales sont menacées. Aux pressions anthropiques telles que l'artificialisation et la fragmentation des terres, l'exploitation intensive, la pollution et les espèces envahissantes, s'ajoutent désormais les changements climatiques. Les impacts du climat sont multiples : déplacement des aires de répartition des espèces, perturbation des cycles de vie naturels (comme la floraison et la reproduction), altération des rapports entre les espèces.

Les changements climatiques menacent également la biodiversité dite "ordinaire", présente en zones agricoles et urbaines, et compromet la capacité des écosystèmes à fournir des services essentiels : stockage du carbone, régulation des crues et du climat local, pollinisation, qualité de l'eau et activités récréatives. La traduction en termes monétaires de certains de ces services écosystémiques fait partie des postes majeurs dans l'estimation des coûts de l'inaction.

Les analyses révèlent que tous les habitats sont à risque dès un réchauffement climatique de +2°C. Les forêts, notamment les hêtraies et pessières, sont particulièrement sensibles.

Enfin, les espèces exotiques envahissantes pourraient tirer parti des changements climatiques : environ un tiers d'entre elles seraient favorisées dans des conditions de changements climatiques. Ces espèces ont des effets néfastes à la fois sur les écosystèmes et la santé publique (ex : pollens allergisants).

En résumé, la résilience des écosystèmes wallons est à mettre au tout premier plan de la feuille de route, car d'une part elle est fortement sujette aux risques climatiques et d'autre part elle joue un rôle crucial de protection des systèmes socio-économiques contre les impacts climatiques, mais uniquement si ces écosystèmes sont en bonne santé. Ces actions sont à mettre en place rapidement car l'impact sur le terrain nécessite généralement des temps longs (nécessaire à la croissance et la stabilisation des écosystèmes), or chaque niveau de réchauffement supplémentaire augmente le stress qui pèse sur ces écosystèmes, réduisant ainsi les effets bénéfiques des mesures.

A ce titre un changement complet de paradigme replacerait l'humain au sein des écosystèmes naturels et non plus dans une dichotomie nature/humains. Les activités humaines y seraient adaptées dans une perspective de ne plus dégrader mais au contraire régénérer ces écosystèmes. En l'absence de ce changement de paradigme, dans le contexte sociétal actuel et une approche de « gestion de la nature », les mesures devront viser à rétablir un réseau écologique vaste, connecté et en très bon état de conservation.

La mesure prioritaire dans ce sens étant une priorisation de restauration des parties du réseau écologique qui offrent des services de soutien face aux risques climatiques. En matière de financement, la restauration de réseau écologique à l'heure actuelle est principalement financée au travers de fonds européens comme le programme LIFE.

Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Aires protégées et plan de réseau écologique existants ; Richesse biologique encore notable (capital naturel) ; Acteurs scientifiques et associatifs engagés dans la conservation.	Habitats très fragmentés et déjà dégradés par l'activité humaine ; Certaines espèces endémiques ou spécialisées à tolérance climatique limitée ; Manque de connectivité entravant la migration des espèces face au climat.	Solutions fondées sur la nature promues dans les politiques (restauration d'écosystèmes, trame verte et bleue) ; Sensibilisation croissante du public et des décideurs à la protection de la nature ; Synergies possibles entre adaptation et atténuation (puits de carbone).	Prolifération d'espèces invasives et de ravageurs avec le climat plus doux ; Poursuite de l'artificialisation des sols réduisant la résilience naturelle ; Risque d'extinction locale d'espèces clés entraînant des effets en cascade sur les écosystèmes.

2.2. Cohabiter avec l'eau

Les projections climatiques concernant la pluviométrie sont incertaines. De plus il faut faire face à un double défi : une accentuation des sécheresses d'un côté et une aggravation des risques d'inondations de l'autre. Les sécheresses météorologiques provoquent deux types de stress :

- Sécheresses hydrologiques, affectant les nappes phréatiques et les cours d'eau, avec risque de conflits d'usage (alimentation, irrigation, industrie) en période de pénurie.
- Sécheresses édaphiques, réduisant la quantité d'eau disponible dans les sols pour la végétation naturelle et les cultures, aggravées dans les sols peu profonds et pauvres en matière organique.

À l'opposé, les pluies hivernales plus intenses favorisent le ruissellement, l'érosion des sols et le lessivage des polluants agricoles vers les eaux de surface. L'enjeu majeur aujourd'hui n'est toutefois pas les changements climatiques, mais l'artificialisation des sols, en croissance constante, et qui a un impact majeur sur tous ces risques. Les indicateurs étudiés montrent :

- Inondations : le ruissellement pourrait plus que doubler dans certaines régions à +4°C de réchauffement, notamment dans les bassins de la Vesdre, du Roer et de la Semois.
- Érosion des sols : l'intensité des pluies érosives augmentera partout.
- Sécheresses des nappes : certaines masses d'eau souterraines, notamment en Ardenne, présentent un risque de déficit d'approvisionnement.
- Sécheresses des sols : la région herbagère et l'Ardenne verront leur déficit hydrique s'aggraver jusqu'à 20 fois dans les modèles climatiques globaux les plus secs et aux niveaux de réchauffement mondial les plus élevés.
- Pollution par les nitrates : une hausse généralisée est attendue, aggravant la qualité déjà fragile des eaux de surface et souterraines.
- Imperméabilisation : augmenterait de près de 10 % d'ici 2070, surtout autour des pôles urbains.

En résumé, la gestion durable de l'eau devient un enjeu stratégique majeur pour limiter les impacts combinés des changements climatiques sur l'environnement, l'agriculture, la santé et l'économie wallonnes. A ce titre un changement complet de paradigme impliquerait de repenser la gestion de l'eau de pluie dans une perspective de perturbation minimale du cycle de l'eau. Celle-ci doit être stockée, ralentie et infiltrée au plus près de là où elle tombe. Ce processus se fait naturellement en augmentant considérablement la matière organique contenue dans les sols et en densifiant la végétation de surface. Il est également nécessaire d'envisager redonner à l'eau son espace naturel d'écoulement, notamment en ce qui concerne les méandres et lits majeurs des cours d'eau. Il est naturel qu'une rivière déborde. La mesure prioritaire est de poursuivre la mise en œuvre du schéma stratégique de la Vesdre et d'en tirer les enseignements pour alimenter les futurs plans de gestion du risque inondations, la mise à jour de carte d'aléa tenant compte des changements climatiques et la réplication de schéma stratégiques à l'échelle d'autres bassins versants à risque (Meuse aval et amont, Ourthe, Senne et Haine).

Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Ressource en eau abondante en moyenne (précipitations annuelles élevées) ; Système d'approvisionnement en eau potable bien développé (stations de traitement, distribution) ; Cadre réglementaire européen (Directive Cadre sur l'Eau) encourageant une gestion intégrée.	Forte variabilité saisonnière accrue et tendances incertaines (risque de sécheresse estivale et crue hivernale) ; Réseaux de distribution et d'assainissement vieillissants, sensibles aux pluies intenses (débordements d'égouts) ; Pollution diffuse préexistante (nitrates, pesticides) exacerbée par le ruissellement et les basses eaux d'été ; Gouvernance morcelée entre bassins versants et usages (potable, agricole, industriel, écosystémique).	Initiatives régionales en cours pour une vision à long terme de gestion de l'eau ; Nouvelles technologies de recyclage de l'eau et de gestion efficace (irrigation goutte-à-goutte, réutilisation des eaux usées) ; Sensibilisation du public à la sobriété hydrique après les sécheresses récentes ; Financements disponibles (fonds européens, plans de résilience) pour des infrastructures hydrauliques adaptatives.	Sécheresses plus fréquentes et intenses réduisant la disponibilité en eau en été ; Inondations hivernales catastrophiques endommageant les infrastructures et la potabilité de l'eau ; Conflits d'usage accrus en cas de pénurie (eau potable vs. agricole vs. écologique) ; Réchauffement des eaux de surface altérant les écosystèmes aquatiques (mortalité piscicole, prolifération d'algues).

2.3. Une agriculture vivante

Ce secteur, étroitement lié aux conditions météorologiques, voit ses perspectives bouleversées par l'évolution du climat. Les possibles effets positifs à court-terme liés à l'augmentation de croissance en raison du taux plus élevé de CO₂ seront rapidement contrebalancés par l'impact négatif des événements extrêmes (sécheresses, vagues de chaleur, pluies irrégulières, inondations) qui auront des conséquences délétères sur les cultures et le bétail : pertes de rendement, baisse de la productivité animale, hausse de la mortalité et apparition de nouvelles maladies.

Les projections climatiques sont contrastées selon les modèles en ce qui concerne les rendements, mais dans tous les cas une forte augmentation de la l'instabilité des rendements (fortes variations d'une année à l'autre) est prévue, exposant les exploitations à des risques économiques accrus.

Concernant les prairies, la pousse d'herbe serait plus intense au printemps et à l'automne, mais fortement réduite en été, nécessitant une adaptation de l'affouragement.

En élevage, le stress thermique deviendra un problème majeur :

- Les porcs et volailles sont les plus sensibles : à +4°C, ils pourraient subir jusqu'à un mois de stress thermique mortel par an.
- Les ruminants, bien que non exposés à des stress mortels, connaîtront une baisse notable de leur bien-être et de leur productivité.

En résumé, sans adaptation rapide, l'agriculture wallonne risque de voir sa stabilité, sa productivité et sa rentabilité sévèrement mises à mal par les changements climatiques.

Dans ce secteur, un changement complet de paradigme impliquerait un accompagnement de l'ensemble des agriculteurs dans une transition agroécologique des exploitations. Les principes majeurs de cette transition seraient de voir la qualité du sol comme un partenaire majeur de l'agriculture et d'accompagner une dynamique d'agro-écosystème naturel plutôt qu'un contrôle strict des cultures.

La mesure prioritaire est de poursuivre le travail qui a été mené au travers du référentiel de pratiques agroécologiques wallon et d'étudier la faisabilité d'une conversion à grande échelle des exploitations wallonnes à ces pratiques.

Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Diversité des productions agricoles en Wallonie (grandes cultures, élevage, arboriculture...), offrant une certaine flexibilité face au climat ; Expertise agronomique et programmes de recherche (CRA-W, universités) soutenant l'innovation variétale et agronomique ; Systèmes de soutien et assurances récolte existants (mécanismes d'indemnisation en cas de calamités).	Forte dépendance climatique des cultures et de l'élevage ; Instabilité accrue des rendements ; Sensibilité élevée de certaines filières aux événements extrêmes ; Manque de données locales précises sur l'impact du climat ; Pauvreté des sols déjà observée ; Spécialisation de certaines filières (ex. pommes de terre, lait) les rendant vulnérables si les conditions deviennent défavorables ; Endettement et marges réduites de certaines exploitations freinant les investissements dans l'adaptation.	Développement de cultures et races adaptées au climat futur ; Valorisation de l'agroécologie et de l'agriculture régénérative ; Programmes de soutien et de résilience (PAC, politiques climatiques) ; Opportunités de valorisation des produits locaux en circuit-court.	Canicules et sécheresses plus intenses provoquant des pertes de récoltes et du bétail (stress thermique); Prolifération de ravageurs et maladies (insectes exotiques, champignons) auparavant absents sous nos latitudes ; Concurrence accrue pour l'eau entre usages agricoles et autres en été ; Instabilité des revenus agricoles liée aux aléas climatiques répétitifs (risque d'abandon de terres ou de faillites d'exploitations).

2.4. Des villes fraîches et perméables

Le milieu urbain présente une vulnérabilité spécifique face aux changements climatiques liée à la densité des éléments exposés, les contraintes d'espace et l'imbrication forte des réseaux. En Wallonie, les villes sont particulièrement concernées par trois grandes problématiques : les inondations, les vagues de chaleur amplifiées par les îlots de chaleur urbains (ICU) et, possiblement dans le futur, le risque d'incendie.

Pour les deux premiers se rajoute une problématique d'inégalité d'exposition : les populations les plus précaires sont proportionnellement plus exposées aux aléas d'inondation et de chaleur.

A ces éléments du risque viennent s'ajouter des facteurs aggravants tels que la très grande imperméabilisation des sols, la pollution de l'air et des contraintes d'adaptation, par exemple le stress hydrique et d'espace pour le développement des arbres urbains.

Face à ces enjeux, les villes devront combiner végétalisation accrue, amélioration de la qualité de l'air et adaptation de leur tissu urbain pour protéger leur population des impacts croissants des changements climatiques. Le changement de paradigme pour les villes dispose en Belgique d'un imaginaire collectif que sont les utopies biomimétiques de l'artiste François Schuiten. Celles-ci brossent le double visage de ce vers quoi la ville devrait tendre : une ville végétale et « éponge » pour favoriser la fraîcheur et la capacité d'absorber la variabilité des pluies. Les inspirations urbanistiques de clarté et ventilation naturelle des espaces urbains venant des pays du sud sont également pertinentes.

Les mesures prioritaires sont de (i) renforcer les aspects surchauffe dans l'outil PEB; (ii) augmenter les ambitions (en incluant les projections climatiques de pluviométrie) et l'aspect contraignant du référentiel wallon de gestion durable des eaux pluviales ; (iii) intégrer les aspects de risques climatiques dans les schémas de développement communaux et les guides communaux d'urbanisme ; (iv) renforcer la formation des acteurs du territoire et de la construction aux risques climatiques.

Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Présence d'outils d'aide à la décision pour identifier les zones à risque et sélectionner des essences urbaines ; Réseaux de surveillance de la qualité de l'air bien développés ; Forte concentration d'initiatives de verdissement urbain en cours.	Végétation urbaine sous stress croissant ; Îlots de chaleur urbains marqués augmentant le stress thermique ; Imperméabilisation élevée aggravant le ruissellement et réduisant l'évapotranspiration (peu d'espaces verts infiltrants et respirants) ; Quartiers vulnérables avec population précaire ou âgée moins à même de faire face aux aléas (logements mal isolés, peu de mobilité, peu de moyens financiers) ; Infrastructures critiques (hôpitaux, réseaux) souvent situées en ville et potentiellement exposées. Les risques climatiques ne sont pas encore pris en compte dans les schémas de développement communaux et les guides communaux d'urbanismes.	Renforcement de la résilience urbaine par la diversification végétale et l'aménagement vert ; Réduction simultanée des risques climatiques et des pollutions par des politiques intégrées ; Financements européens pour des projets de ville durable et verte ; Plan de rénovation à élaborer dans le cadre des objectifs d'atténuation des changements climatiques.	Exposition croissante aux vagues de chaleur aggravées par l'urbanisation ; Dégradation de la qualité de vie urbaine (santé, confort) ; Aggravation des inégalités sociales face aux risques climatiques en ville ; Augmentation de la mortalité lors d'épisodes extrêmes.

2.5. Des entreprises engagées et outillées

Les changements climatiques représentent un risque majeur pour l'économie wallonne, avec des impacts potentiels sur les entreprises, les infrastructures, les emplois et le secteur touristique.

Le tissu économique wallon, principalement constitué de PME, est particulièrement vulnérable, notamment en raison de son implantation marquée dans les zones à risque :

- Inondations : 28 % sont situées en zones à risque d'inondation par débordement et/ou ruissellement.
- Chaleur : à +3°C de réchauffement, deux tiers des entreprises seront exposés à un aléa de chaleur moyen à très élevé, impactant le confort au travail et la productivité (il s'agit du poste le plus élevé dans les estimations des coûts de l'inaction).
- Incendies : environ 11 % des entreprises sont situées dans des zones de risque d'incendie.

Les entreprises wallonnes seront donc contraintes d'investir dans des stratégies d'adaptation pour se protéger. Il s'agit d'une opportunité importante à saisir par les pouvoirs publics, d'établir des partenariats publics-privés pour mettre en œuvre des mesures d'adaptation conjointes qui bénéficieront à toutes les parties prenantes tout en assurant des synergies et une allocation raisonnée des ressources. Par exemple la végétalisation de certains espaces urbains, ou encore la construction d'aménagements de stockage et infiltration d'eau dans les parcs et zones d'activité économique. La région a un rôle important à jouer de communication, sensibilisation et coordination des acteurs économiques.

Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Tissu économique diversifié (PME, industries, services) ; Montée en puissance de la transition verte ; Atouts naturels pour un tourisme de fraîcheur.	Insuffisante prise en compte des risques climatiques dans la planification économique actuelle (sous-estimation des coûts futurs) ; PME et agriculteurs parfois mal informés ou mal préparés aux aléas (peu de plans de continuité d'activité en cas de catastrophe) ; Manque d'anticipation dans certains secteurs industriels et tertiaires ; Dépendance de certaines industries à des ressources vulnérables (eau de refroidissement, matières premières importées sensibles au climat) ; Poids important du transport routier et logistique, exposé aux perturbations (routes coupées, approvisionnement interrompu).	Développement de nouvelles filières d'emplois verts et d'innovation (construction durable, énergies renouvelables, conseil en adaptation climatique) ; Financements internationaux pour le climat pouvant bénéficier aux acteurs économiques locaux (subventions, investissements verts) ; Opportunité d'accroître l'indépendance alimentaire et énergétique en misant sur le local, ce qui réduit l'exposition aux chocs extérieurs ; Gains ponctuels liés à un climat modéré (moins de dépenses de chauffage, nouvelles productions agricoles) pouvant être valorisés avec les bonnes stratégies.	Perte d'activité en cas de catastrophes climatiques majeures ; Perturbations des chaînes d'approvisionnement ; Réduction d'attractivité économique pour les territoires exposés ; Hausse des coûts assurantiels et financiers pour les entreprises ; Risque de décroissance économique et de chômage si les entreprises ne s'adaptent pas et subissent de plein fouet les conséquences du climat (perte de compétitivité).

2.6. Une population résiliente

Les changements climatiques accentuent les vulnérabilités humaines, sociales et territoriales en Wallonie. Trois volets principaux sont concernés : dimension sociale, santé et localisation du logement. La vulnérabilité sociale face aux risques climatiques est multifactorielle : âge (enfants, personnes âgées), état de santé, situation économique (revenu, emploi, logement) et accès aux services (soins de santé, espaces verts). Les grandes villes présentent une vulnérabilité très élevée, liée à la concentration d'une population plus précarisée.

Les changements climatiques génèrent de nombreux risques pour la santé humaine :

- Vagues de chaleur : augmentation de la surmortalité et des soins hospitaliers durant les fortes chaleurs, surtout parmi les personnes âgées et fragiles. Il s'agit d'un poste très important de l'estimation des coûts de l'inaction.
- Maladies vectorielles : prolifération des tiques (maladie de Lyme) et possibilité accrue d'implantation du moustique tigre.
- Autres maladies d'origine hydrique et alimentaire, allergies et stress sur la santé mentale.

Le système de soins est sous tension : surcharge du personnel médical, difficultés d'accès en zones rurales, aggravées lors d'événements extrêmes comme les inondations et localisation dans des zones d'aléa de certaines infrastructures de santé ou d'établissement accueillant des personnes fragiles.

Enfin, le logement est un vecteur direct d'exposition économique et sanitaire aux risques climatiques :

- Inconfort thermique : Les bâtiments wallons, conçus historiquement contre le froid, sont vulnérables aux vagues de chaleur prolongées.
- Inondations : Plus de 500 000 ménages sont exposés au risque d'inondation, souvent parmi les plus précaires, notamment dans les bassins de la Vesdre et de la Senne.
- Incendies : En raison de l'urbanisation diffuse, environ 34 % des ménages vivent à proximité d'une zone à risque d'incendie, particulièrement dans certaines vallées et lisières forestières.

Les populations urbaines et précarisées sont les plus exposées aux multiples aléas climatiques (chaleur, inondations, incendies), renforçant ainsi les inégalités sociales.

Sans actions ciblées, les changements climatiques risquent d'impacter significativement la santé et les logements de la population wallonne, la pression sur la santé publique et l'augmentation des inégalités. Un changement de paradigme social impliquerait que toute la population puisse faire face aux risques climatiques avec les mêmes capacités d'adaptation et de résilience.

Les mesures prioritaires sont (i) d'établir des objectifs chiffrés de réduction des inégalités climatiques avec un suivi des indicateurs et (ii) vérifier que chaque action du plan d'adaptation s'adresse en priorité aux personnes précaires et fragiles et qu'aucune ne renforce ces inégalités.

Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Système de santé robuste et universel, capable de déployer des plans d'urgence (plans canicule et ozone, hôpitaux performants) ; Bonne couverture sociale en Wallonie (assurance maladie, aide aux personnes âgées) atténuant en partie les inégalités d'accès aux soins ; Culture de la solidarité et de la prévention (ex. réseau d'associations locales).	Part de population âgée en augmentation, sensible aux canicules et au stress ; Forte concentration de populations vulnérables dans les centres urbains ; Fragilité du parc immobilier face à la chaleur et aux inondations ; Inégalités socio-économiques exposant les plus pauvres et avec des logements moins adaptés ; Infrastructure sanitaire elle-même soumise aux chocs (hôpitaux, personnel soignant épuisé en crises successives) ; Perception limitée du risque climat par une part du public (banalisation des alertes météo, faible préparation individuelle).	Intégration du risque climat dans les politiques de santé ; Systèmes d'alerte et de surveillance en amélioration (bulletins ozone, suivi pollinique, veille sanitaire sur vecteurs) ; Co-bénéfices possibles d'actions climatiques pour la santé : verdissement urbain améliorant la qualité de l'air, promotion de la mobilité douce réduisant pollution et maladies chroniques, etc. ; Financement disponible via des programmes internationaux pour renforcer la résilience sanitaire (OMS, UE).	Canicules de plus en plus intenses engendrant mortalité et morbidité ; Apparition de maladies infectieuses (virus, parasite) jusque-là tropicaux, difficile à maîtriser (ex. moustique) ; Succession rapprochée de crises (ex. une inondation suivie d'une vague de chaleur) surchargeant le système d'aide et de soins ; Angoisse climatique et troubles mentaux en hausse dans la population, pouvant aussi peser sur le tissu social ; Dégradation de la santé mentale et du tissu social.

2.7. Des infrastructures solides

Les infrastructures de Wallonie sont fortement vulnérables aux changements climatiques. Construites pour des conditions historiques stables, elles sont de plus en plus exposées à des risques multiples : inondations, chaleurs extrêmes, incendies, et effets en cascade en cas de défaillances combinées.

Beaucoup de services essentiels (hôpitaux, casernes de pompiers, réseaux d'eau, d'énergie, écoles...) sont situés dans des zones inondables. Cela menace directement leur fonctionnement lors de crues majeures.

Des premières analyses ont permis de montrer une exposition importante des réseaux électriques, de gaz et de transport aux aléas d'inondation, chaleurs extrêmes et incendies.

L'exploration du risque d'effet cascade des inondations sur la mobilité des secours et l'approvisionnement en électricité des services critiques a montré des résultats inquiétants.

Les analyses menées doivent encore être validées et appropriées par les gestionnaires d'infrastructures. Elles montrent toutefois que les infrastructures wallonnes sont confrontées à des risques climatiques croissants, susceptibles d'engendrer des défaillances en cascade.

La mesure prioritaire est d'imposer aux gestionnaires d'infrastructures des analyses détaillées des points critiques de leur réseaux, puis soutenir et coordonner l'adaptation et la protection de ces infrastructures critiques.

Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Bon maillage du territoire par les infrastructures de transport et d'énergie (multiplicité des routes, alternances possibles en cas de coupure locale) ; Savoir-faire technique en génie civil et en hydraulique (compétences pour développer des solutions d'adaptation : digues, bassins d'orage, etc.) ; Suivi accru des réseaux (télésurveillance, maintenance préventive en évolution) offrant des données pour anticiper les problèmes ; Volonté croissante d'intégrer les risques climatiques dans la planification.	Nombre élevé de services critiques en zones inondables ; Réseaux énergétiques vulnérables à la chaleur, aux incendies et aux crues ; Manque actuel d'intégration systémique des effets en cascade ; Ancienneté de certaines infrastructures (ponts, canalisations) atteignant leur limite de vie ; Entretien parfois insuffisant par manque de moyens, ce qui les rend moins résistantes face aux chocs ; Constructions passées en zones aujourd'hui à risque (habitations en plaines inondables, industrie en fond de vallée) héritées d'un aménagement historique dépassé ; Dépendance de secteurs entiers à des infrastructures critiques uniques (ex. une seule station d'épuration pour une grande zone, une seule ligne haute tension majeure), créant des points faibles.	Modernisation des infrastructures pour améliorer leur résilience ; Investissements dans des réseaux énergétiques plus intelligents et décentralisés ; Amélioration de la gestion des urgences grâce à une meilleure cartographie et anticipation des risques ; Intégration planifiée de la résilience climatique dans tous les nouveaux projets d'infrastructure (révision des normes Eurocodes, schémas de développement tenant compte des aléas futurs) ; Solutions fondées sur la nature pour protéger les ouvrages (restaurer des zones d'expansion de crues, reboiser pour stabiliser les sols) qui offrent des co-bénéfices environnementaux ; Opportunité de reconstruction améliorée après les catastrophes : reconstruire en mieux et plus sûr (« build back better ») grâce aux fonds de relance et à la prise de conscience post-crise ; Collaboration interrégionale et internationale pour sécuriser les réseaux (grilles électriques interconnectées, solidarité en cas de panne, partage de bonnes pratiques).	Risques d'interruptions graves des services essentiels en cas d'aléas extrêmes ; Coûts élevés de réparation et de reconstruction après catastrophe ; Amplification des effets domino en cas de défaillance simultanée de plusieurs infrastructures critiques ; Répétition accrue d'événements extrêmes dépassant les capacités de conception actuelles (orages plus violents que le débit maximal des conduites, etc.) ; Effondrement ou mise hors service d'infrastructures critiques (ponts, digues, centrales) entraînant des effets dominos sur l'économie et la sécurité publique ; Coûts d'entretien et de renforcement exponentiels si le climat se détériore plus que prévu (risque de ne pas pouvoir tout financer simultanément) ; Opposition du public ou de certains acteurs face à des projets d'adaptation locaux (ex. refus de nouvelles digues ou réservoirs, par manque d'acceptation sociale), ralentissant les améliorations nécessaires.

2.8. Une recherche participative et orientée action

Chaque analyse de vulnérabilité a identifié des pistes d'amélioration des indicateurs construits durant cette étude. Plusieurs de ces indicateurs doivent par ailleurs être appropriés et validés par les gestionnaires des systèmes exposés. L'actualisation des estimations de coût de l'inaction a également mis en évidence certaines lacunes empêchant d'avoir une image vraiment réaliste de l'impact socio-économique des changements climatiques. Des hypothèses et analyses statistiques supplémentaires seraient également nécessaires pour relier les indicateurs de vulnérabilité qui ont été établis avec les facteurs de coût de l'inaction. Cela permettrait alors une vision plus fine de ces coûts à l'échelle adéquate pour chaque système.

Enfin, les informations trouvées pour alimenter la base de données des mesures d'adaptation contiennent très peu de données quantitatives pour calculer les budgets nécessaires à leur mise en œuvre. Ceci est en partie dû au fait que l'adaptation climatique est une thématique encore relativement récente en Europe. Il n'y a pas encore suffisamment de retours de terrain analysés, synthétisés et centralisés permettant d'évaluer les coûts et l'efficacité des mesures.

Il apparaît donc primordial de ne pas considérer la présente étude comme un produit statique. L'analyse dans chaque secteur doit être poursuivie et enrichir le portail web d'exploration de la vulnérabilité du territoire wallon qui a été développé.

Idéalement la poursuite de cette recherche doit se faire en associant à présent les experts académiques avec les institutions en charge de la gestion des systèmes ou de la mise en œuvre des mesures, ainsi que des bénéficiaires des effets de l'adaptation.

L'adaptation climatique offre une très grande opportunité pour ce genre de recherche-action participative. Des secteurs comme la biodiversité ou la santé utilisent déjà des citoyens engagés pour la collecte de données. Les citoyens pourraient être utilement mobilisés aussi sur le suivi d'indicateurs tels que les îlots de chaleur urbain et les impacts de pluies abondantes. Inclure les citoyens et acteurs de l'adaptation permet non seulement d'augmenter sensiblement les données collectées à moindre coût, mais cela participe également à : (i) assurer une cohérence entre la recherche et les besoins de terrain et (ii) participer à la sensibilisation aux enjeux d'adaptation.

Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Une base solide d'indicateurs de vulnérabilité déjà construite pour de nombreux secteurs ; Portail web existant pour centraliser les données et permettre une actualisation continue ; Potentiel d'implication des experts académiques, gestionnaires de systèmes et citoyens ; Adaptation climatique de plus en plus reconnue comme priorité politique et scientifique.	Indicateurs encore perfectibles et parfois non validés par les gestionnaires des systèmes exposés ; Manque de données quantitatives sur les coûts et efficacités réelles des mesures d'adaptation ; Difficulté à relier directement indicateurs de vulnérabilité et facteurs de coûts de l'inaction ; L'adaptation reste une thématique récente : faibles retours d'expérience consolidés.	Mobiliser les citoyens pour le suivi de données (crowdsourcing : îlots de chaleur, pluies abondantes...) ; Créer des dynamiques de recherche-action participative à forte valeur ajoutée ; Enrichir progressivement l'analyse économique des coûts d'inaction et de l'adaptation ; Valoriser les données collectées pour guider et soutenir les politiques d'adaptation régionales.	Risque que l'étude devienne obsolète si elle n'est pas mise à jour régulièrement ; Difficulté à maintenir un intérêt et une mobilisation constante des parties prenantes (citoyens, gestionnaires, experts) ; Problèmes de financement pour assurer la continuité de la collecte et l'analyse des données ; Enjeu de validation des données collectées par des personnes au niveau d'expertise variable ; Manque d'harmonisation des méthodologies entre secteurs et acteurs.

3. Mesures

Une base de données de près de 100 mesures d'adaptation a été fournie à au gouvernement wallon. Celle-ci synthétise la connaissance des mesures préconisées à l'échelle européenne, de la Belgique et dans différents pays voisins. Les mesures sont décrites selon des caractéristiques facilitant la sélection pour la création d'une stratégie et d'un plan d'action. La construction des mesures proposées dans cette feuille de route repose donc sur un premier socle d'analyse de la littérature scientifique et technique. Afin d'être transformée en une stratégie et un plan régional d'adaptation, ce socle devrait à présent être approfondi dans trois directions : la première direction est d'examiner les aspects réglementaires, ainsi que les ambitions européennes, belges et wallonnes pour chacun des grands systèmes exposés. Ensuite, la deuxième direction implique une enquête et une analyse des actions d'adaptation actuellement menées ou prévues par les acteurs wallons. Enfin, la troisième direction est l'élaboration de scénarios d'adaptation contrastés à l'horizon 2050.

L'approfondissement de la feuille de route dans ces trois dimensions pourrait alors servir de base à une série de consultations avec diverses parties prenantes afin de mettre en lumière les principaux défis d'adaptation en Wallonie. La Wallonie disposerait alors de tous les éléments requis pour se définir un rôle structurant dans l'adaptation de son territoire.

La mise en œuvre de ces mesures devrait ensuite se faire selon un processus itératif, dans lequel l'évaluation des mesures prises doit jouer un rôle important, intégré dans un processus d'apprentissage pour lequel l'expertise scientifique doit être maintenue et développée en continu.

4. Pistes de financement

Les impacts des changements climatiques se font déjà sentir et les pertes dues aux catastrophes météorologiques et climatiques représentent rapidement des montants élevés, la plupart n'étant pas assurée. Les pertes liées au climat vont augmenter en raison des changements climatiques si les investissements publics et privés adéquats ne sont pas réalisés.

Cependant, la Wallonie doit faire face à des défis majeurs pour financer ces investissements. Avec une dette représentant 257% de ses recettes annuelles en 2022, et des risques de déficit persistant, l'espace budgétaire pour des investissements est très limité. Pourtant, ne pas investir aujourd'hui dans l'adaptation coûtera beaucoup plus cher demain.

Un rapport spécifique sur les financements a été réalisé dans le cadre de l'étude et donne quelques pistes pouvant aider à structurer la stratégie d'adaptation, dont voici les éléments clés.

Intégration de l'adaptation dans les cadres politiques existant

Les enjeux d'adaptation font partie intégrante de secteurs et thématiques disposant pour la plupart déjà tous de leur propre cadre stratégique, de planification et de financement. Il s'agit donc avant tout de s'insérer dans ces cadres afin de diriger les ressources disponibles vers des actions bénéfiques en matière d'adaptation et formant une cohérence globale. Il conviendra notamment de définir des objectifs, des indicateurs et des cibles clairs facilement intégrables dans les documents régionaux de planification.

Orienter les financements privés

Pour les mesures devant s'appliquer à une échelle locale, il est préférable d'envisager leur mise en œuvre au travers de normes et réglementations permettant d'ajuster les investissements privés (citoyens, entreprises) dans des directions adéquates en matière d'adaptation. Cela peut concerner par exemple la définition de normes urbanistiques contre la surchauffe ou le risque d'inondation. En matière d'infrastructures ce type d'investissement est également préconisé en imposant des normes aux gestionnaires dont le financement se répercutera au travers des coûts des services.

Une première étape prioritaire dans ce domaine est de s’assurer de l’alignement de la réglementation actuelle avec les objectifs d’adaptation aux changements climatiques dans chaque secteur.

Budget régional

Quand la mise en œuvre de l’adaptation au travers de normes n’est pas possible ou requiert au préalable des études de faisabilité, projets pilotes ou soutien à la mise en place des techniques, la Région Wallonne devra évaluer les investissements pertinents (au regard des coûts de l’inaction).

Plusieurs pistes peuvent être évoquées pour dégager le budget nécessaire :

- **ETS 2** : utiliser une partie des revenus de l’ETS 2 pour financer les mesures d’adaptation.
- **Réforme de la fiscalité et des taxes existantes** : repenser certaines taxes immobilières, sur le patrimoine ou sur les successions pour réorienter les recettes vers l’adaptation.
- **Obligations vertes** : continuer à émettre des emprunts spéciaux où l’argent est exclusivement utilisé pour des projets écologiques.
- **Charges urbanistiques** : utiliser adéquatement les principes de charge urbanistique et mécanisme de compensation dans le cadre des permis afin que ceux-ci servent à la mise en œuvre d’aménagements contribuant à l’adaptation du territoire.

Fonds européens

Plusieurs fonds européens peuvent être mobilisés pour venir compléter les budgets régionaux et leur permettre une ambition à l’échelle du territoire.

- **Fonds LIFE** : ces projets permettent de mobiliser des budgets importants, avec deux piliers pertinents, portant sur la biodiversité, l’adaptation au climat.
- **Horizon Europe** : finance la recherche sur l’adaptation climatique (ex : programmes Climaax et Pathways2Resilience).
- **Interreg** : appuie des projets transfrontaliers, notamment sur la résilience des territoires face aux inondations.
- **FE(A)DER** : pour financer des projets de développement régionaux et agricoles favorisant l’environnement.
- **Fonds social pour le climat** : prévu à partir de 2026, il aidera à compenser l’impact social de la transition verte. Parmi les dépenses éligibles, celles pour la rénovation du bâti et l’investissement dans les infrastructures pourraient être pensées de manière à contribuer à l’adaptation.
- **Fonds pour une Transition Juste (JTF)** : soutien financier pour les régions européennes les plus touchées par la transition.
- **Fonds de solidarité de l’UE** : mobilisable après des catastrophes naturelles majeures.

Le rôle crucial des assurances

Les catastrophes naturelles vont être plus fréquentes. Le système actuel d’assurance en Belgique n’est pas encore adapté à cette nouvelle réalité. Il est urgent :

- Veiller à ce que le cadre politique de l’assurance soit propice à l’investissement dans la réduction des risques, notamment par la tarification et les modalités ;
- D’améliorer la couverture pour assurer la prise en compte des risques climatiques pour tous les logements ;
- Soutenir l’adoption de l’assurance contre les risques climatiques par un grand nombre d’acteurs, en explorant la possibilité de mettre en place de nouvelles approches tels que l’assurance paramétrique ;
- Créer un véritable partenariat public-privé pour éviter que les événements extrêmes ne soient laissés à la charge exclusive de l’État ou des victimes et coordonner des mécanismes de réassurance conjoints en explorant notamment les options de réassurance communes.

Même si le cadre légal des assurances relève du niveau fédéral, les régions ont un poids fort dans les négociations de par leur compétence en matière de fond catastrophes et par le nombre de contrats assurantiels sous sa tutelle.



Agir sur l'assurance est également une manière d'orienter l'investissement privé. L'expérience de la PEB démontre de l'importance de ce type de leviers : la réelle amélioration à grande échelle des niveaux de performance PEB ne s'est faite qu'à partir du moment où le niveau PEB a influencé l'octroi d'emprunts hypothécaires.

PARTIE F : Glossaire

Bassin versant : Un bassin versant est un territoire géographique correspondant à l'ensemble de la surface recevant les eaux qui circulent vers une même masse d'eau. Des lignes de partages des eaux délimitent les différents bassins versants. En Wallonie, quatre bassins versants (la Meuse, l'Escaut, le Rhin et la Seine) sont subdivisés en quinze sous-bassins versants.

Capacité d'adaptation : La capacité d'adaptation se réfère aux ressources et caractéristiques qui aident les groupes humains à s'adapter à des dangers et à en diminuer les impacts potentiels. La capacité est scindée en la capacité de se préparer aux dangers potentiels, en la capacité de réponse au moment de la crise et la capacité de récupération une fois la crise passée.

Charge de la maladie : Il s'agit d'un concept utilisé pour quantifier l'impact global d'une maladie en termes de morbidité et de mortalité sur une population. Une des mesures couramment utilisées pour estimer cette charge est l'Année de Vie Ajustée sur l'Incapacité (DALY, pour "Disability-Adjusted Life Year" en anglais). Le DALY est une mesure qui combine à la fois les années de vie perdues à cause d'une mortalité prématurée et les années de vie vécues avec une incapacité. En somme, il donne une vue d'ensemble des années de "bonne santé" perdues. Il est calculé par la somme du YLL (Years of Life Lost = Années de vie perdues en raison d'une mortalité prématurée) et du YLD (Years Lived with Disability = Années vécues avec une incapacité, égales au produit du nombre de cas d'une maladie par la durée de cette maladie et par un facteur de pondération qui reflète la gravité de la maladie)

Confort d'été : « Capacité d'un bâtiment à maintenir une température intérieure maximale agréable l'été » (Dolques & Dépoues, 2022).

Courbes IDF : Les courbes Intensité-Durée-Fréquence représentent l'évolution de l'intensité des pluies en fonction de leur durée et de leur fréquence exprimée en période de retour. Ces courbes sont réalisées par l'IRM en se basant sur les données historiques des précipitations.

Débit d'étiage : Le débit d'étiage est le débit minimal d'un cours d'eau calculé sur un pas de temps donné, à la période où le niveau d'un cours d'eau a atteint son point le plus bas.

Dette d'invasion : risque d'établissement future et de l'augmentation du phénomène des invasions

Données limnimétriques : Les données limnimétriques sont les mesures de la hauteur d'un cours d'eau au cours du temps. En Wallonie, plus de 180 stations de mesures limnimétriques enregistrent la hauteur des cours d'eau toutes les 2 à 10 minutes.

Erosion aratoire : Détachement et déplacement de particules du sol sous l'effet de certaines pratiques agricoles comme le travail du sol

Erosion de récolte : Détachement et déplacement de particules du sol sous l'effet de la récolte des cultures de racines et de tubercules

Erosion hydrique : L'érosion hydrique est provoquée par les fortes précipitations et le ruissellement de l'eau sur les sols, en particulier sur les sols agricoles, qui vont déplacer des particules de sols et engendrer des pertes de sol.

Espèces Exotiques Envahissantes (EEE) : espèces végétales ou animales qui ont été introduites par l'homme en dehors de leur aire d'origine et qui constituent une menace pour la biodiversité et les services fournis par les écosystèmes (production végétale, épuration de l'eau, pollinisation, etc.). Elles peuvent aussi causer d'importantes nuisances socio-économiques (biodiversite.wallonie.be)



Infrastructure verte (IV) : réseau constitué de zones naturelles, semi-naturelles et d'autres éléments environnementaux faisant l'objet d'une planification stratégique, conçu et géré aux fins de la production d'une large gamme de services écosystémiques. Il intègre les espaces verts (ou aquatiques) et d'autres éléments physiques des zones terrestres et marines » (Commission européenne, 2013).

Jardin de pluie : Zone combinant différents dispositifs de ralentissement, de stockage, d'infiltration et d'évaporation des eaux tout en proposant des services de paysage, de loisirs et même de refuge pour la biodiversité.

Limites d'adaptation :

Les limites de l'adaptation sont les seuils à partir desquels les besoins d'un système ne peuvent pas être garantis par des mesures d'adaptation climatique face à des risques intolérables. Les risques intolérables sont ceux qui menacent fondamentalement une norme privée ou sociale. On parle de **limites souples** quand des options d'adaptation peuvent exister mais ne sont pas actuellement disponibles pour éviter des risques intolérables. On parle de **limites dures** quand aucune action d'adaptation n'est possible pour éviter des risques intolérables. (IPCC, 2022).

Maladaptation : mise en place d'actions susceptibles d'accroître des effets négatifs liés au climat, notamment via une augmentation des émissions de GES, une augmentation ou un transfert de vulnérabilité, l'aggravation d'injustices ou encore la diminution de bien-être, maintenant ou à l'avenir. (IPCC 2023).

Mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC) : Mesures volontaires pour répondre voire anticiper les conséquences de certains phénomènes climatiques extrêmes ou contrecarrer leur amplitude

Modèle de distribution des espèces (SDM) : modèle qui décrit ou prévoit la probabilité de la présence ou de l'absence d'une espèce à travers les paramètres environnementaux dans une zone géographique spécifiée (Pearman et al., 2008).

Mortalité vs Morbidité : La mortalité se réfère au nombre de décès dans une population donnée, tandis que la morbidité désigne la fréquence et la prévalence des maladies ou des problèmes de santé au sein de cette population, qu'ils entraînent ou non la mort

Nature-Based Solutions (NBS) : solutions inspirées et soutenues par la nature, qui sont rentables, offrent simultanément des avantages environnementaux, sociaux et économiques, et contribuent à renforcer la résilience. De telles solutions introduisent davantage de biodiversité et de processus et éléments naturels dans les villes, les paysages et les espaces marins, grâce à des interventions adaptées localement, efficaces en termes de ressources et systémiques (Commission Européenne).

Noüe : La noüe est une dépression peu profonde et large qui favorise le stockage des eaux pluviales et leur infiltration dans les sols.

PASH : Plan d'assainissement par sous bassin hydrographique

PEB : Performance énergétique des bâtiments.

PICC : Projet informatique de cartographie continue : référence cartographique numérique en 3 dimensions de l'ensemble de la Wallonie.

Réseau écologique (RE) : ensemble des habitats susceptibles de fournir un milieu de vie temporaire ou permanent aux espèces végétales et animales, dans le respect de leurs exigences vitales, et permettant d'assurer leur survie à long terme (biodiversite.wallonie.be).

Réserve en eau utile (REU) : La réserve en eau utile du sol est la quantité maximale d'eau que le sol peut retenir et restituer à la plante.

Sécheresse édaphique : La sécheresse édaphique ou agricole correspond à un manque d'eau disponible dans les sols qui impacte la production végétale.

Sécheresse hydrologique : La sécheresse hydrologique correspond à une diminution du débit des cours d'eau et un niveau bas des nappes d'eau souterraines sur une période prolongée.

Sécheresse météorologique : La sécheresse météorologique correspond à une longue période sans précipitations.

Sensibilité : la sensibilité des populations se définit comme la prédisposition de celles-ci à être négativement affectée.

Services écosystémiques (SES) : biens et les services réalisés par la biodiversité, les processus écologiques, les écosystèmes et le support de l'activité humaine pour améliorer le bien-être de l'humanité (biodiversite.wallonie.be).

Végétations Naturelles Potentielles (VNP) : végétation qu'on supposerait (sur des bases scientifiques, généralement phytosociologiques) présente dans un milieu naturel, s'il n'avait pas subi d'influence anthropique significative.

Vulnérabilité : La vulnérabilité se définit comme la propension ou la prédisposition d'un système à être négativement affecté.

Wildland-Urban Interface (WUI) : Interface entre les zones « sauvages » (naturelles) et les zones urbaines.



PARTIE G : Bibliographie



Références citées dans ce rapport

ADEME. (2020). Diagnostic des impacts du changement climatique sur une entreprise.

AMICE (2013). Adaptation of the MEUSE to the Impacts of Climate Evolution. <http://www.amice-project.eu/fr/>

Banque de France. (2022). Adaptation des économies au changement climatique.

Brajkovic Josip, Xavier Fettweis, Brice Noël, Hans Van De Vyver, Nicolas Ghilain, Pierre Archambeau, Michel Piroton, Sébastien Doutreloup (2025). Increased intensity and frequency of extreme precipitation events in Belgium as simulated by the regional climate model MAR. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102399>.

Cerema (2020). La boussole de la résilience. Repères pour une résilience territoriale. <https://www.cerema.fr/fr>

Commission européenne (2013) – Résolution du Parlement européen du 12 décembre 2013 sur l'infrastructure verte – Renforcer le capital naturel de l'Europe. <https://www.europarl.europa.eu/>.

De Ridder, K., Couderé, K., Depoorter, M., Liekens, I., Pourria, X., Steinmets, D., Vanuytrecht, E., Verhaegen, K., Wouters, H. (2020). Evaluation of the socio-economic impact of climate change in Belgium. Study commissioned by the national climate commission (2020/RMA/R/2271).

Demoury, Claire, Katrien De Troeyer, Finaba Berete, Raf Aerts, Bert Van Schaeybroeck, Johan Van der Heyden, and Eva M. De Clercq. 2022. "Association between Temperature and Natural Mortality in Belgium : Effect Modification by Individual Characteristics and Residential Environment." *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT* 851. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158336>.

Depicker, Arthur, Bernard De Baets, and Jan Baetens. 2020. "Wildfire Ignition Probability in Belgium." *NATURAL HAZARDS AND EARTH SYSTEM SCIENCES* 20 (2): 363–76. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-363-2020>.

Dolques, G. Dépoues, V. et Nicol, M. (2022). Se donner les moyens de s'adapter aux conséquences du changement climatique en France : De combien parle-t-on ? I4CE – Institute for climate economics.

EPE et ONERC. (2014). Les entreprises et l'adaptation au changement climatique.

ETUC. (2020). Adaptation au changement climatique et monde du travail.

EUCRA, 2024. European climate risk assessment. DOI 10.2800/8671471.

Forzieri, G., Cescatti, A., Batista e Silva, F., Feyen, L., 2017. Increasing risk over time of weather-related hazards to the European population: a data-driven prognostic study. *The Lancet Planetary Health*, e200–e208

Frontier economics, Irbaris LLP, Ecofys, 2013, The economics of climate resilience buildings and infrastructure theme: UK power generation and transmission CA0401

GIZ, 2017. Vulnerability Sourcebook. Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments.

Himpens S., Laurent C., Marchal D. (coord.) (2017). Le changement climatique et ses impacts sur les forêts wallonnes. Recommandations aux décideurs, propriétaires et gestionnaires. D/2017/11802/65

ICEDD, 2014. L'identification et l'évaluation des coûts de l'inaction face au changement climatique en Wallonie. <https://awac.be/>

IPCC. (2014). Climate Change : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects.

IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

IPCC, 2023: Annex I: Glossary [Reisinger, A., D. Cammarano, A. Fischlin, J.S. Fuglestedt, G. Hansen, Y. Jung, C. Ludden, V. Masson-Delmotte, R. Matthews, J.B.K. Mintenbeck, D.J. Orendain, A. Pirani, E. Poloczanska, and J. Romero (eds.)]. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the



Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 119-130, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.002.

ISSeP, 2021. « Réseaux de surveillance de la Qualité de l'Air – Rapport annuel 2021 ».

Maes, J., et al. 2020. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An EU ecosystem assessment, Publications Office of the European Union, Luxembourg, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/757183>, JRC120383.

NCC. 2020. De Ridder, K., Couderé, K., Depoorter, M., Liekens, I., Pourria, X., Steinmets, D., Vanuytrecht, E., Verhaegen, K., Wouters, H. Evaluation of the socio-economic impact of climate change in Belgium. Study commissioned by the national climate commission (2020/RMA/R/2271).

OECD. 2018. "Climate-resilient infrastructure", OECD Environment Policy Papers, No. 14, OECD Publishing, Paris, [Link: <https://doi.org/10.1787/4fdf9eaf-en>]

Peter B. Pearman, Christophe F. Randin, Olivier Broennimann, Pascal Vittoz, Willem O. van der Knaap, Robin Engler, Gwenaëlle Le Lay, Niklaus E. Zimmermann, Antoine Guisan. 2008. Prediction of plant species distributions across six millennia. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01150.x>

PNUE, 2024. Rapport 2024 sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions. <https://www.unep.org/>

PwG, 2022. Lamarque, P. Tondeur, A. Marbaix, P. Gaino, B. van Ypersele, J-P. L'adaptation aux changements climatiques en Wallonie : synthèse et points d'attention pour l'actualisation des connaissances. <https://plateforme-wallonne-giec.be/>

ReCOVeR. <https://www.issep.be/recover/>

SPW, 2023. Matrice des capacités des écosystèmes à fournir des services. <https://geoportail.wallonie.be/catalogue/>.

SPW, 2024. L'agriculture wallonne (Infographie). Amélie Turlot et Aurélie Noiret, Direction de l'analyse économique agricole (SPW ARNE – DEMNA)

Sukanen H, Taylor J, Castaño-Rosa R, Pelsmakers S, Lehtinen T, Kaasalainen T. Passive mitigation of overheating in Finnish apartments under current and future climates. *Indoor and Built Environment*. 2023;32(7):1372-1392. doi:10.1177/1420326X231160977

Taylor, Marcus. (2023). Rethinking Climate Change Adaptation. 10.4324/9781003409748-33.

Teller J. Flas, M., Moulana, M. L., Onan, L., & Pivot, J. (2022). Référentiel. Constructions et aménagements en zone inondable.

Van De Vel et al. 2021 ; Impact of Climate Change on the Healthcare System in Belgium. Study commissioned by the Federal Public Service Health, Food Chain Safety and Environment.

Vanderplanken, K. J van Loenhout, P van den Hazel. 2019. The health impact of heat waves in Europe: insights from national plans and key informant interviews, *European Journal of Public Health*, Volume 29, Issue Supplement_4, ckz185.159, <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckz185.159>

Rapports de l'étude ayant servi de base pour ce rapport final

Ce rapport est, dans sa majeure partie, basé sur le contenu des différents rapports produits tout au long de l'étude (selon les différents volets). Nous invitons le lecteur qui souhaite approfondir le sujet à consulter ces différents rapports et les bibliographies complètes qu'ils contiennent :

Volet 1 – Etat des lieux et benchmarking

Harchies, M et al. (2023). *Etat des lieux et benchmarking des outils, données et initiatives en Wallonie, Belgique et Europe permettant de caractériser la vulnérabilité du territoire et élaborer des mesures d'adaptation*. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Volet 2 – Actualisation des projections climatiques

Fettweis, X. Denis, T. Fiol, L. Harchies, M. (2024). *Actualisation des projections climatiques sur la Wallonie à l'aide du modèle régional MAR forcé par les données les plus récentes (CMIP6) de 6 modèles climatiques globaux selon les scénarios SSP370 et SSP585*. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Volet 3 – Analyse de risque

Fanal, A., Harchies, M., Mahy, G. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur de risque pour la biodiversité face aux changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).



Fanal, A., Harchies, M., & Mahy, G. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur de risque pour les services écosystémiques face aux changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Cubelier, P., Harchies, M., Claessens, H. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur de risque pour les forêts face aux changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Fanal, A., Claessens, H., Harchies, M., Mahy, G. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateurs et méthodologie de suivi des mesures d'amélioration de la résilience des forêts wallonnes face aux changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Dagnelie, C., Fanal, A., Harchies, M., Mahy, G. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur de risque pour les espèces exotiques envahissantes face aux changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Pirlot, C., Sohier, C., Harchies, M., Degré, A. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur d'aggravation de l'aléa d'inondation dû aux changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Hutzemakers, J., Pirlot, C., Orban, P., Brouyere, S., Sohier, C., Harchies, M., Degré, A. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur de risque de sécheresse des cours d'eau face aux changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Pirlot, C., Sohier, C., Harchies, M., Degré, A. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur de risque de sécheresse des cours d'eau face aux changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Pirlot, C., Sohier, C., Harchies, M., Degré, A. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur d'aggravation des sécheresses édaphiques due aux changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Pirlot, C., Harchies, M., Degré, A. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur d'aggravation de l'érosivité des pluies due aux changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Pirlot, C., Harchies, M., Degré, A. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateurs de vulnérabilité des sols face aux changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Lacroix, C., Bindelle, J., Harchies, M., Dumont, B. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateurs de rendements des grandes cultures face aux changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Lacroix, C., Bindelle, J., Harchies, M., Dumont, B. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateurs de stress thermique dans l'élevage face aux changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Decrop, A., Fanal, A., Harchies, M. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateurs de risque pour le tourisme. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Loozen, Y., Habran, S., Harchies, M. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur de vulnérabilité sociale de la population face aux aléas climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence wallonne de l'Air et du Climat (Awac).

Hallot, E., Harchies, M. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Analyse de l'évolution du risque sanitaire lié aux tiques en raison des changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Hallot, E., Harchies, M. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Analyse de l'évolution du risque sanitaire lié aux moustiques en raison des changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Hallot, E., Harchies, M. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Analyse de l'accès aux soins de santé en Wallonie et l'impact sur la vulnérabilité de la population face aux changements climatiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Hallot, E., Harchies, M. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Analyse de la surmortalité induite par les changements climatiques en Wallonie. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Fettweis, R., Harchies, M., Teller, J. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur d'exposition du secteur tertiaire aux inondations. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Fettweis, R., Harchies, M., Teller, J. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur d'exposition du secteur tertiaire aux vagues de chaleur. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Fettweis, R., Harchies, M., Teller, J. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur d'exposition du secteur tertiaire à l'aléa d'incendie. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).



Wyard, C. Harchies, M. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur d'aléas liés à la chaleur et aux îlots de chaleur urbain. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Petit, S., Loozen, Y. Harchies, M et Wyard, C. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Outil de sélection d'arbres urbains adaptés aux changements climatiques. Rapport méthodologique.

Jacquemin, J., Harchies, M. Teller, J. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateurs de risque pour les logements face aux inondations. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Jacquemin, J., Harchies, M. Teller, J. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateurs de risque pour les logements face aux incendies. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Wyard, C. Jacquemin, J. Harchies, M. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur de risque pour les logements et la population face aux vagues de chaleur et au phénomène d'îlot de chaleur urbain. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Jacquemin, J., Tamigneaux, F. Teller, J. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur de vulnérabilité des fonctions essentielles face au risque d'inondation par débordement. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Tamigneaux, F., Harchies, M. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur d'effet cascade inondations et accessibilité pompiers. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Tamigneaux, F., Harchies, M. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur de longueur de routes exposées aux aléas d'inondations. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Tamigneaux, F., Harchies, M. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur d'impact des inondations, chaleurs extrêmes, incendies sur la consommation énergétique wallonne. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Tamigneaux, F., Harchies, M. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur d'impacts des inondations et des incendies sur la production électrique wallonne. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Tamigneaux, F., Harchies, M. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur d'effet cascade de rupture d'approvisionnement électrique pour les services critiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Tamigneaux, F., Harchies, M. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Indicateur de longueur de lignes électriques aériennes en zone d'aléa d'incendie. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Gehrenbeck, R., Tamigneaux, F. Harchies, M. (2025). Risques climatiques en Wallonie. Analyse qualitative de la tension sur les ressources et infrastructures énergétiques. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Volets 4 et 5 – Mesures et pistes de financement

Horevoets, A. Baily, C. Harchies, M. (2024). *Actualisation des estimations de coûts économiques des impacts climatiques en cas d'inaction*. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).

Horevoets, A. Harchies, M. (2024). Analyse des pistes de financement de l'adaptation climatique en Wallonie. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).



Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable asbl

Boulevard Frère Orban 4
B-5000 NAMUR
00 32 81 25 04 80
www.icedd.be
icedd@icedd.be

N° registre de commerce : sans objet
N° TVA : BE0407.573.214
Représenté par : Gauthier Keutgen, Secrétaire Général
N° de compte bancaire : BE59 5230 4208 3426 / BIC TRIOBEBB