

Fiche thématique

Thème	Infrastructures et aménagement du territoire
Fiches en lien	Eau – Energie - Santé
Rédacteur	Martin BIERNAUX – CEESE ULB

1 Messages clés

- En région wallonne, il existe un clivage nord/sud en termes de densité de population, de bâti et d'infrastructures, le nord du sillon Sambre et Meuse étant très artificialisé.
- Les inondations constituent actuellement le plus grand risque naturel de la Wallonie. Or, ce risque est appelé à s'accroître avec les changements climatiques.
- Le territoire connaît d'autres risques naturels dont notamment le risque karstique. Peu d'études relient les phénomènes karstiques aux changements climatiques, mais il est probable que ce risque augmente. Certains autres risques d'instabilité de terrain seront également influencés.
- Les centres urbains vont souffrir plus que le reste du territoire des vagues de chaleur en raison de l'effet d'îlot de chaleur urbain.
- Le cadre bâti et les infrastructures de transports ont une longue durée d'utilisation et seront perturbés de manière multiple par les changements climatiques.
- Ces éléments amènent au constat que les infrastructures et l'aménagement du territoire devront être adaptés pour faire face à l'augmentation de ces risques.

2 Bibliographie wallonne

Principaux travaux existants sur le thème et son lien au changement climatique pour la Wallonie et/ ou la Belgique ou des territoires proches et similaires :

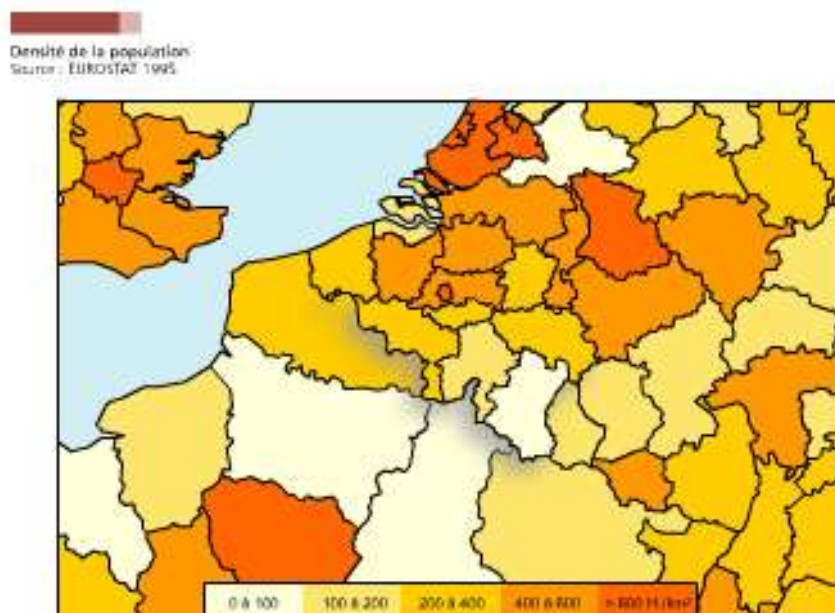
- ALLAN, R. P., (2011), « Climate change : Human influence on rainfall », *Nature*, 470, 344-345.
- CELLULE AMÉNAGEMENT – ENVIRONNEMENT, (2006), *Les risques majeurs en Région wallonne. Prévenir en aménageant*, MRW - DGATLP, Namur, 317 p.
- COCHRAN, I, (2009), « Infrastructures de transport en France : vulnérabilité au changement climatique et possibilités d'adaptation », *Etude Climat. La recherche en économie du changement climatique*, n°18, Caisse des dépôts.
- DROGUE G., FOURNIER, M., BAUWENS, A., BUITEVELD, H., COMMEAUX, F., DEGRE, A., DE KEIZER, O., DETREMBLEUR, S., DEWALS, B., FRANCOIS, D., GUILMIN, E., HAUSMANN, B., HISSEL, F., HUDER, N., LEBAUT, S., LOSSON, B., KUFELD, M., NACKEN, H., PIROTON, M., PONTEGENIE, D., SOHIER, C. et VANNEUVILLE, W., (2010), *Analyse du changement climatique, des scénarios de crue et d'étiage sur le bassin de la Meuse*, Projet AMICE - Résumé du rapport WP1- action 1- 3.
- GIRON, E., JOACHAIN, H., DEGROOF, A., HECQ, W., CONINX, I, BACHUS, K., DEWAEELS, B., ERNST, J., PIROTON, M., STAES, J., MEIRE, P., DE SMET, L., et DE SUTTER, R., (2010), *Towards an integrated decision tool for adaptation measures – case study : floods*, ADAPT Project – Final report, Science for a sustainable development.
- ONERC, *Ville et adaptation au changement climatique*. Rapport au Premier ministre et au Parlement, novembre 2010, pp158.

3 Les principales caractéristiques régionales

3.1 Population

La Région wallonne, avec 204 hab. /km², figure **parmi les régions les plus densément peuplées d'Europe**. Ce chiffre masque cependant **une forte hétérogénéité régionale**. En effet, une différenciation du territoire s'opère déjà au niveau des provinces (voire carte 1). Ainsi, le Hainaut est le plus densément peuplé avec 342 hab. /km², suivi par le Brabant wallon et la province de Liège avec respectivement 339,7 hab. /km² et 271,2 hab. /km². Viennent ensuite la province de Namur (126 hab. /km²) et loin derrière, la province de Luxembourg avec 58,8 hab. /km². (IWEPS, 2007)

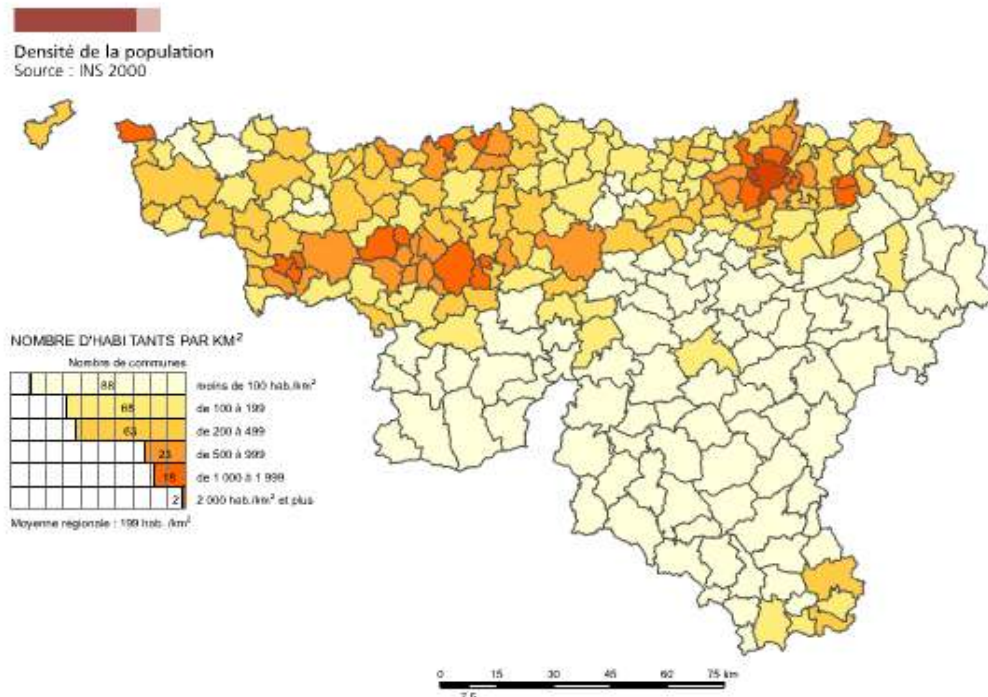
Carte 1 : densité de population



Source : Eurostat, 1995

La carte des densités de population par commune fait quant à elle apparaître une nette **opposition entre le nord et le sud de la région**. Le sillon Haine, Sambre et Meuse ressort nettement et également les couloirs reliant les grandes agglomérations wallonnes situées dans le sillon et la Région Bruxelloise. Le brabant wallon présente parmi les plus fortes densités. Dans la moitié sud du territoire wallon, la partie la plus méridionale de la province de Luxembourg présente également de fortes densités. La carte des densités fait également apparaître quelques pôles au sud du sillon Sambre et Meuse comme Ciney, Dinant, Marche ou Rochefort.

Carte 2 : densité de population par commune.



Source : INS, 2000

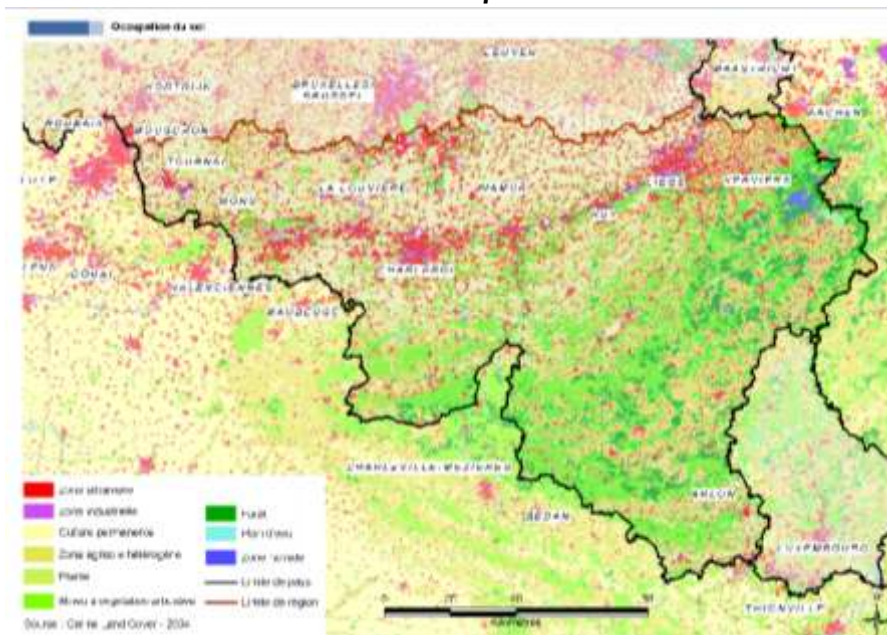
3.2 Occupation du sol

Concernant l'occupation du sol, il ressort que **la dorsale wallonne, le Brabant wallon et les axes reliant la dorsale à Bruxelles concentrent la grande majorité de la superficie urbanisée et industrielle**. La carte de l'occupation du sol ci-dessous met en évidence le contraste entre le nord et le sud de la Région wallonne. Or celle-ci date de 1984 et ce contraste s'est encore renforcé notamment avec la forte progression de l'urbanisation dans le Brabant wallon et le Hainaut occidental. **La superficie bâtie représentait 11,1% du territoire en 1985, et représentait au 1^{er} janvier 2010 14,2%** de la superficie régionale. La part de la superficie bâtie a donc augmenté de 27,6% durant cette période (SPF Economie, 2010).

Durant cette période, la superficie des terrains résidentiels est passée de 581 km² à 917 km² (SPF Economie, 2010). Cette évolution s'explique par **une urbanisation croissante de l'ensemble du territoire** wallon. En effet, les communes de banlieues (premier cercle), la grande banlieue (« zone des migrants alternants ») et les petites villes et communes rurales sont touchées par le phénomène (Grandjean et al, 2006). On assiste donc à **une occupation extensive, croissante et diffuse du sol par l'habitat**.

Le même phénomène de périurbanisation affecte également **les activités économiques**. Toujours entre 1985 et 2010, la superficie des terrains industriels autres que ceux liés aux activités d'extractions (carrières, puits, mines...) est pour sa part passée de 122 km² à 164 km². (SPF Economie, 2010). Le développement des **activités logistiques et de stockage** qui sont fortement consommatrices d'espaces, **l'influence des métropoles** que sont Bruxelles, Lille et Luxembourg, **la lenteur du recyclage des friches industrielles** et **l'inscription de nouvelles zones d'activités économiques** expliquent en partie cette augmentation de superficie (Commission Européenne et Gouvernement wallon, 2007).

Carte 3 : Occupation du sol



Source : Atlas de Wallonie, 2006 (carte réalisée en 1984).

3.3 Infrastructures

Les infrastructures sont quant à elles influencées par l'organisation structurelle des activités humaines, et influencent à leur tour la localisation de celles-ci. Les transports de personnes et de marchandises ont par ailleurs augmenté ces dernières années. **Dès lors, il n'est pas étonnant de constater que les terrains utilisés pour les transports et les communications** (comportant une partie des cours d'eau) **sont passés de 838 km² en 1985 à 891 km² en 2010.** (SPF Economie, 2010)

Le territoire belge a le **réseau ferroviaire le plus dense d'Europe** et le **2^e réseau autoroutier le plus dense**. Notons également que la région wallonne dispose d'un **réseau de voies navigables dense**.

Figure 1 : Longueur et densité des infrastructures de transport en Wallonie

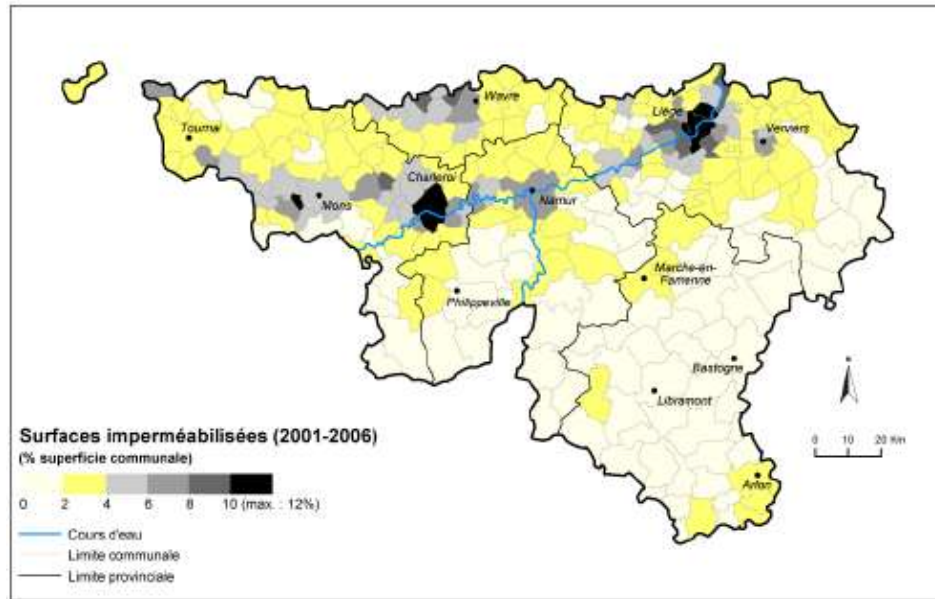
Réseau	Longueur (km)	Densité (km/1000 km ²)
Routier	79 708	4 732
Voies ferrées	1 594	94
Voies navigables	460	38

Source : SPF Economie, 2010

Toutes ces évolutions ont abouti à **une plus grande consommation de l'espace** s'expliquant donc principalement par « l'augmentation de la taille des parcelles destinées au logement, par la croissance du nombre de ménages monoparentaux, par la délocalisation des activités industrielles, artisanales ou de services en périphérie des villes et par le développement important des infrastructures de transport » (Grandjean et al, 2006, p 6).

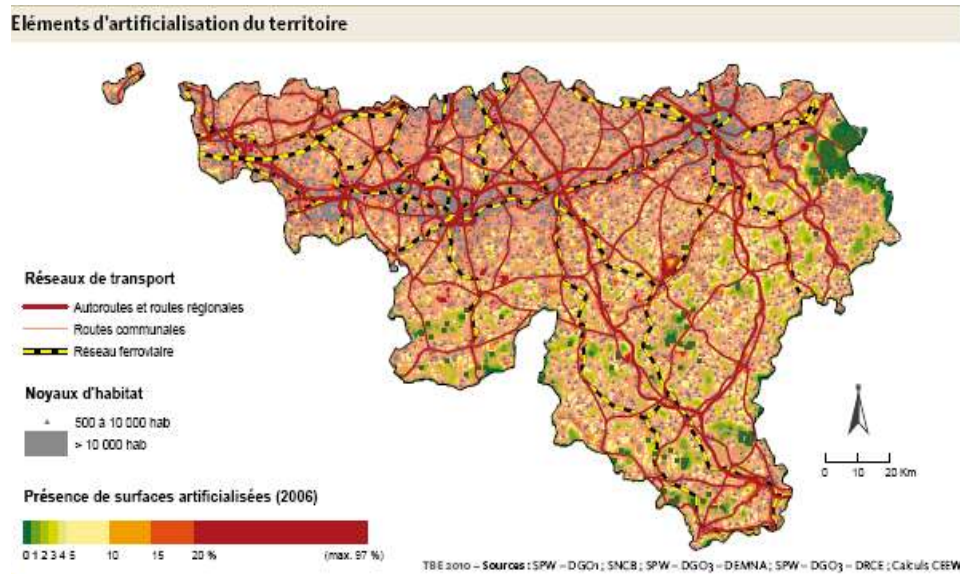
Cette situation a pour corollaire **une imperméabilisation et une artificialisation croissante du territoire wallon** (voire carte 4 et 5). Ceci, conjugué avec des fortes densités de population, d'équipements urbains, d'infrastructures, etc., **augmente la vulnérabilité du territoire wallon aux aléas climatiques**, ce qui sera l'objet du point suivant. Il convient de souligner à nouveau l'opposition entre le nord du sillon Sambre et Meuse, qui est plus densément peuplé et plus agricole, et le sud de celui-ci, qui présente de moins fortes densités de population et qui est plus boisé.

Carte 4 : les surfaces imperméabilisées en Région wallonne.



Source : MRW - DGRNE (SPF Economie – SIE (calculs B. Kestemont))

Carte 5 : Eléments d'artificialisation du territoire



Source : SPW-DGARNE-DEE, 2010.

4 Les vulnérabilités actuelles et les paramètres climatiques

Les infrastructures et le cadre bâti, qui ont une très longue durée d'utilisation, sont soumis à de **nombreux risques liés directement ou indirectement aux aléas climatiques**. Comme expliquées plus haut, l'imperméabilisation et l'artificialisation croissante du territoire wallon contribuent à augmenter la vulnérabilité du territoire. Les principaux risques sont ceux qui sont associés aux **inondations**, aux **épisodes venteux extrêmes**, aux **instabilités de terrain** et aux **vagues de chaleur**.

4.1 Les inondations : des risques élevés dus à de multiples causes

Le risque d'inondation constitue le **risque naturel auquel la Wallonie est le plus confrontée**. Il en existe différents types : les inondations par débordement de cours d'eau, celles liées à une remontée d'eau provenant de la nappe aquifère ou d'un refoulement d'eau du réseau d'assainissement, et les inondations par les eaux de ruissellement (ou inondations pluviales) en milieu urbanisé et sur des parcelles agricoles (coulées de boues).

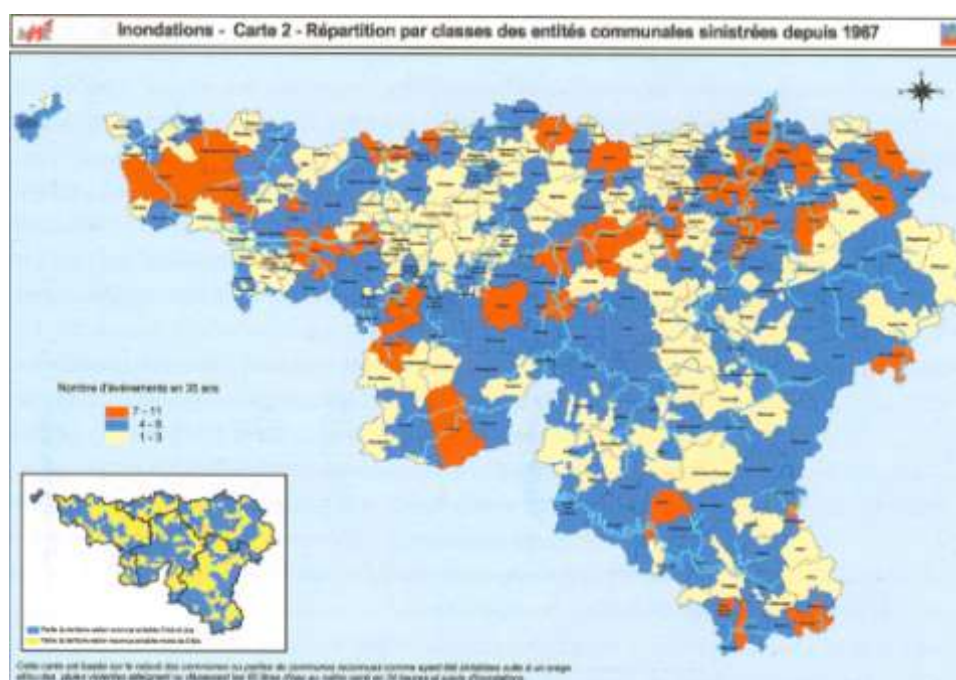
Comme le montre la carte ci-dessous, tout le territoire wallon a été touché par au moins une inondation depuis 1967. Les **communes situées dans la vallée de la Meuse et de l'Ourthe ainsi que celles situées dans le bassin de l'Escaut sont les plus régulièrement touchées**.

D'une part, le **régime pluviométrique**, par l'intensité et l'abondance des précipitations, est à l'origine des inondations. D'autre part, le risque d'inondation est accru en raison de **l'imperméabilisation croissante des sols** et de **la disparition des zones naturelles** de débordements liées à **l'urbanisation des lits majeurs**. **La vétusté et le dimensionnement des infrastructures telles que les réseaux d'évacuation des eaux usées** concourent également à cette vulnérabilité. Enfin, **certaines pratiques agricoles** peuvent elles aussi favoriser le ruissellement superficiel augmentant ainsi les risques de coulées de boues.

L'**importance des dégâts varie selon la hauteur d'eau**, la **vitesse du courant**, l'**occurrence** du phénomène, la **durée** de submersion, la **vitesse de la montée des eaux** ou encore la **charge de l'eau**. En Wallonie, l'intensité des inondations est moins forte que dans les régions montagneuses, et leur ampleur est moindre que certaines régions de plaine voisines, la hauteur d'eau dépassant rarement 2 mètres (Cellule Aménagement – Environnement, 2006).

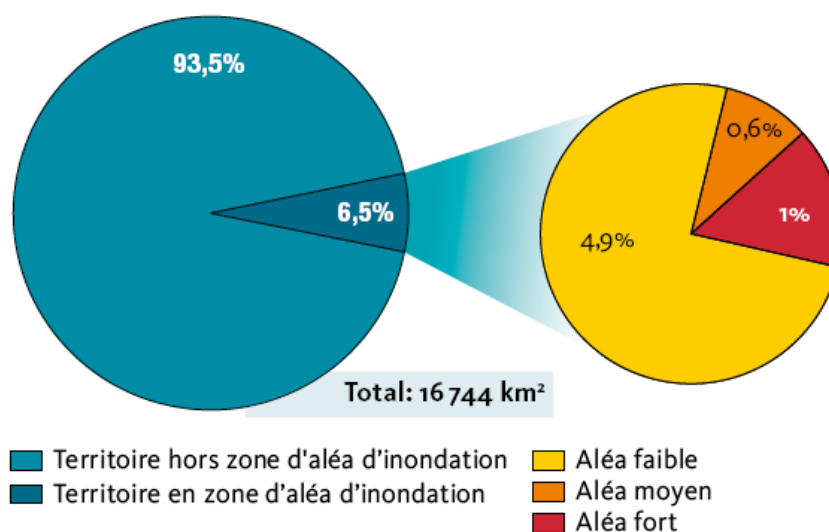
Le Gouvernement wallon a initié le **Plan P.L.U.I.E.S** qui vise à **réduire le risque de dommages causés par les inondations**. Dans le cadre de la gestion de ce risque, une cartographie des zones d'aléa d'inondation par débordement de cours d'eau a été réalisée. Elle révèle que **6,5 % du territoire wallon se trouve en zone d'aléa et que 1 % du territoire se situe en zone d'aléa d'inondation élevé** (voir figure 2). La proportion du territoire exposé à l'aléa varie cependant d'un sous-bassin à l'autre. Par exemple, 12 % du sous-bassin de l'Escaut est susceptible de subir une inondation par débordement alors que cette proportion tombe à 4,2 % pour le sous-bassin de la Vesdre (SPW-DGARNE-DEE, 2010).

Carte 6 : Inondations – Répartition par classes des entités communales sinistrées depuis 1967



Source : Cellule Aménagement – Environnement, 2006

Figure 2 : Répartition du territoire wallon selon l'aléa d'inondation par débordement de cours d'eau (2009)



Source: SPW-DGARNE-DEE, 2010

Les immeubles et les infrastructures sont vulnérables face aux risques de tous les types d'inondations. Or, une récurrence élevée d'inondations majeures de nature différentes a été observée récemment. En effet, de tels épisodes ont eu lieu en 1993, 1995, 1998, 2002, 2003, 2005 et plus récemment en 2010 et 2011 (IRM).

Des épisodes de pluviométrie exceptionnellement élevée sur l'ensemble du pays

En 1993, les inondations de la fin du mois de décembre « comptent parmi les plus catastrophiques de notre histoire contemporaine. Elles sont dues pour l'essentiel à des totaux pluviométriques mensuels exceptionnellement élevés dans l'ensemble du pays. Les totaux les plus importants sont observés en Ardenne : 374 mm à Sugny (Vresse-sur-Semois), 399 mm à Libramont, 411 mm à Arlon, 437 mm à Dohan (Bouillon)... » (IRM).

En 1998, la province de Liège et une grande partie de la Flandre ont connu des précipitations d'intensité exceptionnelle. En effet, le 13 septembre la station de Liège-Monsin a récolté 120 mm en 24 heures. Le lendemain, 40 mm étaient encore enregistrés dans plusieurs stations de la région. En raison de cet épisode pluvieux d'intensité exceptionnelle et des pluies tombées régulièrement depuis le 21 août, des crues et des inondations se sont produites en de nombreux endroits. (IRM)

Inondations fin 2010 : « Selon un document du centre régional de crise, une estimation provisoire du coût des inondations qui ont très durement touché la Wallonie atteint 95.551.240 euros (...) Un tiers de ce montant est à la charge de la seule commune de Tubize ». (L'esoir, 19/11/2010)

4.2 Le vent : tempêtes et tornades

Les phénomènes extrêmes de vent peuvent eux aussi occasionner d'importants dégâts sur les bâtiments et les infrastructures. Toitures arrachées, pylônes effondrés et routes obstruées par les chutes d'arbres en sont des exemples.

Le début de l'année 1990 a connu une série de tempêtes provoquant des dégâts dans tout le pays. « Le 25 janvier, lors de la première tempête, on enregistre à Beauvechain une pointe maximale de vent de 168 km/h : c'est la valeur la plus élevée observée dans le pays au cours du siècle. Ailleurs, les pointes atteignent jusqu'à 145 km/h à Ostende et 152 km/h à Saint-Hubert. » (IRM).

Les tempêtes de 1990

Ces tempêtes ont coûté « plus de 500 millions d'euros aux assureurs, rien que pour la Belgique. Cette année-là, on a enregistré plus de 750 000 déclarations de sinistres. On estime en général que les coûts connexes qui ne sont pas souvent pris en compte doubleraient ce montant s'ils étaient réellement comptabilisés » (Cellule Aménagement – Environnement, 2006, p 20).

Les tempêtes Lothar et Martin de 1999 et les tempêtes Klaus et Xynthia survenues respectivement en janvier et février 2009 ont également causé des dommages dans plusieurs pays, dont la Belgique. Si notre pays a plutôt été épargné par les deux premières (seul l'extrême sud du pays est frôlé par la tempête), la France et l'Allemagne ont payé un lourd tribut en termes de perte de vies humaines et de dégâts matériels. La tempête Xynthia a en revanche durement touché la Belgique et les provinces de Liège, du Hainaut et du Luxembourg ont été les plus touchées du pays, les vents dépassant par endroits les 100 km/h (IRM).

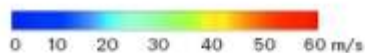
La tempête de 1999

« En région parisienne, environ 60% des toits ont été endommagés ; dans certaines des villes avoisinantes, plus de 80% des bâtiments ont subi des dégâts, parfois importants. (...) Le bilan économique des tempêtes de 1999 s'est chiffré à 12 milliards USD pour « Lothar » et à 6 milliards USD pour « Martin ». (...) Ce bilan compte parmi les plus lourds jamais enregistrés après une tempête en Europe ; la comparaison n'est possible qu'avec la série d'événements de 1990 (« Daria », « Herta », « Vivian » et « Wiebke ») » (Bresh, Bisping et Lemcke, 2000, p. 8)

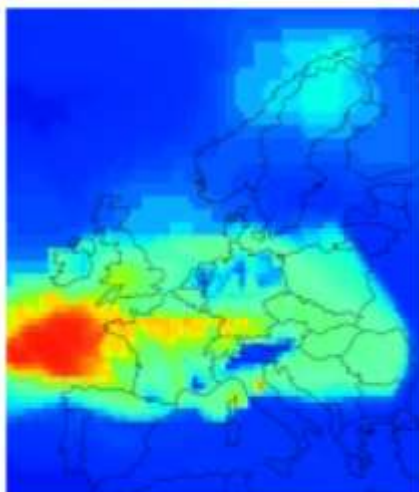
Figure : 3 : Les vitesses de pointe des rafales pour « Lothar » et « Martin ».

Vitesses de pointe des rafales pour « Lothar » et « Martin »

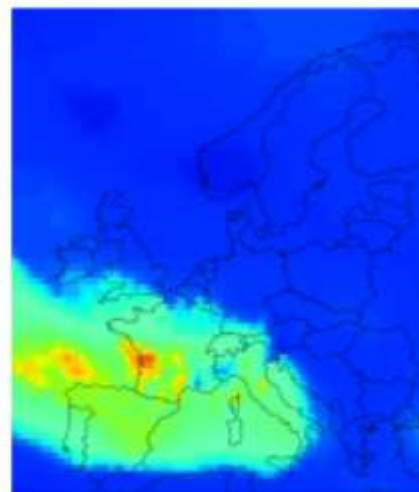
Résultats obtenus sur la base d'EuroWind, le modèle de tempêtes de Swiss Re, et validés au moyen de valeurs effectivement mesurées (vitesse du vent en mètres par seconde).



« Lothar »



« Martin »



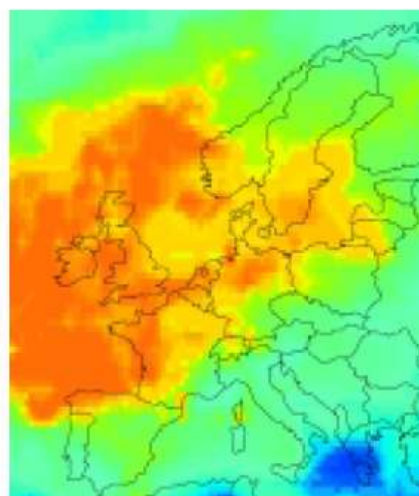
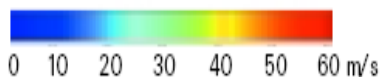
Depuis 1993, le Fonds des calamités est intervenu trois fois pour un total dépassant 5,3 millions d'euros (Pletinckx, 2011).

Un modèle d'évaluation du risque de tempête en Europe fondé sur le calcul de probabilité a été développé. Il s'agit d'EuroWind et celui-ci couvre notamment la Belgique. La figure 4 indique que le pays est parmi les plus exposés au risque de tempête.

Figure 4 : Cartes des risques « vent en Europe »

Carte des risques « vent en Europe »

Sur la base de toutes les tempêtes répertoriées par EuroWind entre 1947 et 1999/2000, la carte des risques montre les vitesses de pointe des rafales (en mètres par seconde) susceptibles d'être enregistrées tous les 50 ans dans les différentes régions.



Source : Bresh, Bisping et Lemcke, 2000

Alors que les tempêtes surviennent à nos latitudes en hiver, les **tornades**, elles, ont plutôt tendance à se produire en été, mais se répartissent sur **toute l'année**. Elles sont **très fréquentes** et, en dépit des surfaces restreintes qu'elles balayent et de leur courte durée, **peuvent causer d'importants dégâts sur les bâtiments et les infrastructures** d'autant plus qu'elles s'accompagnent souvent d'orages. **Les tornades ne sont pas rares en Belgique mais leur petite échelle et l'absence de dégâts majeurs font qu'elles passent souvent inaperçues.** Il arrive cependant que certaines d'entre elles causent de sérieux dégâts aux bâtiments. En 1982, des dégâts énormes ont été occasionnés par une tornade très violente (catégorie F3 selon l'échelle de Fujita) dans le village de Léglise, en province du Luxembourg. Plus de la moitié des maisons du village ont été endommagées et une dizaine entièrement détruites (IRM). En 1999, la ville de Tournai a été touchée par une tornade qui a été également reconnue comme calamité naturelle. **Depuis 1993, le Fonds des calamités est intervenu en tout à 12 reprises, allouant pour la réparation des**

dommages causés aux biens immobiliers par les tornades un montant total dépassant 3,2 millions d'euros (Pletinckx, 2011).

4.3 Les instabilités de terrain

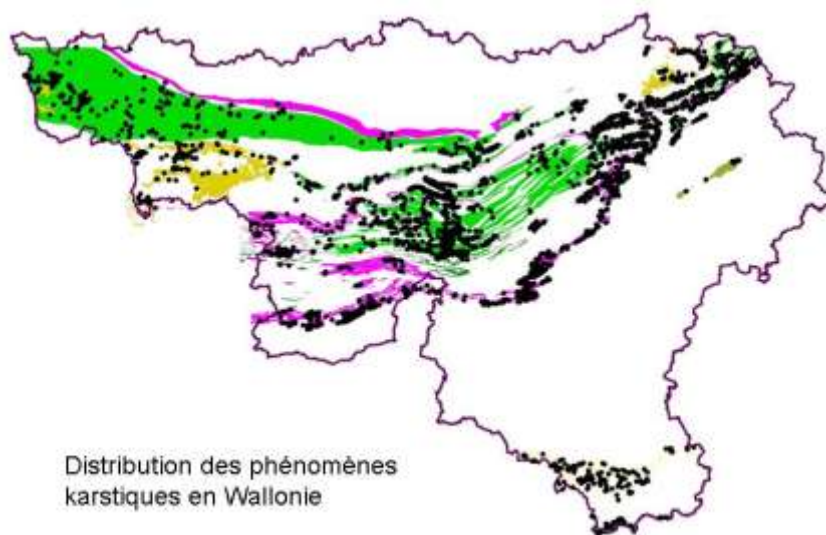
Un autre risque qui affecte les bâtiments et les infrastructures est celui de l'instabilité de terrain. Il en existe différents types et certains peuvent être sensibles aux aléas climatiques comme c'est le cas des **phénomènes karstiques** et du phénomène de **retrait-gonflement des argiles**.

4.3.1 Le risque karstique

Bien que le principal risque naturel en Wallonie soit lié aux inondations, le **risque karstique n'est pas négligeable**.

Le mot « karst » désigne une région calcaire et plus largement une région de roches solubles. En Wallonie, ces roches solubles sont les calcaires, les craies et les dolomies (Cellule Aménagement – Environnement, 2006). Ces **roches carbonatées constituent 30 % du sous-sol wallon or l'établissement du tracé des routes et la désignation des zones d'habitat ont longtemps ignoré la vulnérabilité et l'impact possible sur la stabilité du sol des sites karstiques** (Michel et de Broyer, 2005). Aujourd'hui un atlas du karst wallon a été élaboré et publié. Les roches solubles sont attaquées par les eaux acides qui les dissolvent. Des vides se dessinent et s'agrandissent ouvrant la voie à l'érosion mécanique (Cellule Aménagement – Environnement, 2006). Ce **processus peut aboutir à des tassements, à des effondrements ou encore à des inondations** liées à l'obstruction de points d'enfouissement des eaux, mais également **à l'assèchement du lit de cours d'eau** consécutif à leur enfouissement (Ek, 2005). Par rapport aux phénomènes dits « classiques », les phénomènes karstiques de la région dans le **nord du Hainaut** sont imprévisibles et se produisent souvent sous la forme d'effondrements brutaux (Quinifs, 2005).

Carte 7 : Les affleurements carbonatés de Wallonie avec en surimpression (points noirs) la localisation des phénomènes karstiques.



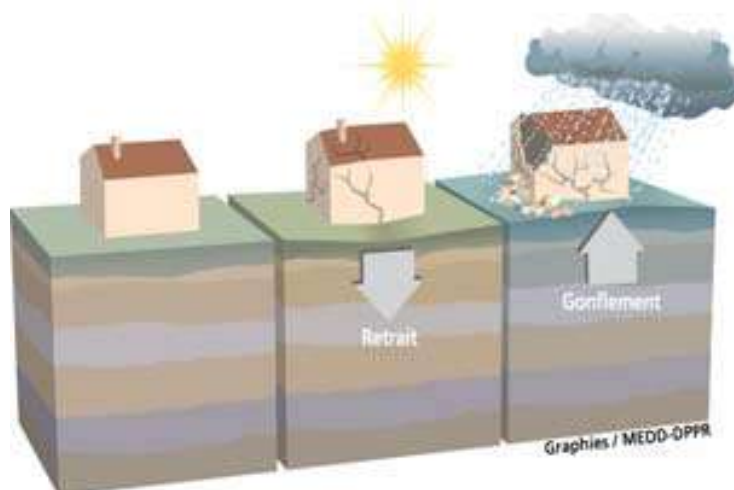
Source : Michel et de Broyer, 2005.

« Dans le karst, **l'hydrologie et le relief sont intimement liés**. Le drainage souterrain et les formes de la surface évoluent en constante interaction. (...) **Des facteurs naturels (variation du niveau piézométrique, instabilité des voûtes, crues brutales...)** et humains (**constructions insuffisamment étudiées, pompages excessifs...**) se conjuguent pour accumuler les aléas. Il est donc fondamental d'être prudent quand on doit construire ou développer une activité dans une région karstique. » (DGATLP, 2006, p 173).

4.3.2 Le phénomène de retrait-gonflement des argiles

Certaines argiles comme la smectite présente une grande sensibilité aux **cycles d'hydratation-dessiccation**. Ces derniers provoquent des **déformations du sol de l'ordre centimétrique** qui peuvent occasionner des **dégâts importants** (voire figure 5). La réhabilitation d'immeubles affectés de gonflements-retraits s'avère dans certains cas aussi coûteuse que la reconstruction d'un édifice détruit par un glissement de terrain (Lejoly, 2006). Les infrastructures comme les routes sont elles aussi exposées à un risque de fissuration.

Figure 5 : Le retrait-gonflement des argiles



Source : Ministère français de l'écologie, du développement et de l'aménagement durable.

« Les phénomènes climatiques exceptionnels sont le principal facteur de déclenchement du phénomène. Les variations de teneur en eau du sol sont liées à des variations climatiques saisonnières. Les désordres seront plus importants dans le cas d'une sécheresse particulièrement marquée, intervenant à la suite d'une période fortement arrosée (par sa durée et par les cumuls de pluie observée). Deux paramètres primordiaux entrent en jeu : l'évapotranspiration et les précipitations » (Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques - SDPRM, 2008, p 8).

L'exemple de la canicule 2003

En 2003, la canicule et la sécheresse ont entraîné un bond spectaculaire du nombre de sinistrés liés au retrait-gonflement des argiles, car de nombreux logements de particuliers ont été affectés par ce phénomène en France (Onerc, 2010). En effet, « au cours de l'été 2003, près de 7000 communes ont demandé une reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle du fait du retrait-gonflement des argiles, ce qui représente plusieurs dizaines de milliers d'habitations sinistrées. Le Ministère de l'Énergie, de l'Environnement, du Développement Durable et de la Mer estime que les coûts moyens d'indemnisation d'un sinistre retrait-gonflement sont de l'ordre de 15 000 € par maison mais ce montant s'avère très variable d'un sinistre à l'autre » (Ministère de l'Écologie et du Développement durable des Transports et du Logement – BRGM, 2011)

Une cartographie de l'aléa du retrait-gonflement des argiles a été réalisée pour le territoire métropolitain français. Cette cartographie indique que l'ensemble du territoire est concerné et que par ailleurs, le département du Nord-Pas-de-Calais, limitrophe à la Belgique et notamment du Tournaisis, est l'un des plus sensibles à ce type de risque. En Belgique, une étude a également étudié ce phénomène dans le Pays de Herve.

4.4 Les vagues de chaleur : des conséquences multithématiques

En Belgique, on parle de vagues de chaleur ou de canicule pour les périodes d'au moins 5 jours consécutifs avec une température de 25°C ou plus (à Uccle) et comprenant au moins 3 jours avec 30 °C ou plus (IRM).

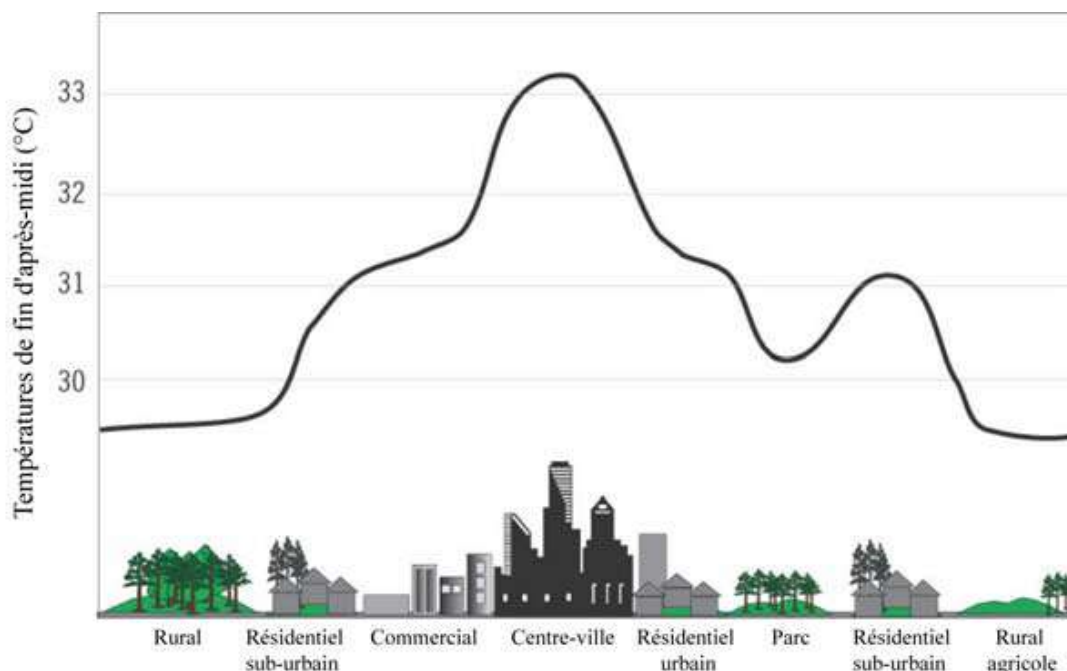
L'urbanisme, l'habitat et les modes de vie jouent un rôle dans la vulnérabilité des établissements humains à ces épisodes de fortes températures. Et les effets des vagues de chaleur dans les zones d'habitat peuvent être importants comme en témoigne la canicule de 2003.

Effet divergeant des températures élevées à Paris et à Séville

« Les températures et humidités à Paris pendant la canicule de 2003 étaient très proches de celles observées à Séville lors d'un été moyen, où ces conditions climatiques n'ont pas de conséquences sanitaires aussi graves. Ceci est notamment dû à un cadre bâti plus adapté aux fortes températures à Séville, et aux habitudes de la population » (Onerc, 2010, p 8).

Cette vulnérabilité augmente dans les villes en raison du **phénomène de « l'îlot de chaleur urbain »** (auquel viennent s'ajouter les effets de la pollution atmosphérique) (voire figure 6). L'intensité de l'îlot de chaleur dépend bien entendu des saisons et des conditions météorologiques. **Il dépend également du rapport entre surfaces minérales et espaces verts, de la densité du bâti**, de la morphologie urbaine ou encore des conditions géographiques locales (Dahech et al, 2006). Ainsi, les zones d'habitat pavillonnaire par exemple comprennent plus de surfaces vertes limitant ainsi l'intensité de l'îlot de chaleur. La présence d'eau, dans le sol ou en surface, et de couloirs éoliens y concourt également.

Figure 6 : Phénomène d'îlot de chaleur urbain



Source : Observatoire savoyard du changement climatique, 2010.

La qualité de l'isolation ainsi que l'albédo des matériaux influencent quant à eux la vulnérabilité à l'échelle de l'habitation. Or le niveau de l'isolation du parc de logement wallon est mauvais. Moins d'un quart des toitures du parc de logement peuvent être considérées comme disposant d'une isolation réelle (Smoos, 2008).

Contrairement aux effets bien connus de l'alternance gel-dégel, **les effets des vagues de chaleur sur les infrastructures routières** sont pour leur part **difficiles à évaluer** indépendamment de l'action du trafic (Onerc, 2010). En revanche, il semble que **les infrastructures ferroviaires** soient **plus sensibles aux fortes températures** susceptibles de dilater ou de déformer les rails. De même, le transport fluvial est lui aussi sensible aux vagues de chaleur et aux sécheresses estivales qui peuvent réduire le débit d'étiage au point **d'interrompre la navigation**.

L'exemple de la canicule 2003

« La canicule de 2003 a fourni un bon exemple des conséquences d'une telle situation (...) en plus des désagréments extrêmes causés aux voyageurs du fait des voitures surchauffées, la dilatation et déformation des rails a entraîné des retards fréquents et significatifs ». (Cochran, 2009, p 12). A la même période, « bon nombre de fleuves importants (par exemple, le Pô, le Rhin, la Loire et le Danube) sont descendus à des niveaux bas records, ce qui a conduit à une interruption de la navigation intérieure... » (GIEC, 2008, p45)

Ainsi, **l'aménagement du territoire, l'urbanisme et les techniques de construction** jouent **un rôle déterminant dans la vulnérabilité des établissements humains aux vagues de chaleur**. Notons que celles-ci portent plus atteinte à la santé humaine qu'aux infrastructures. (Tabeaud, 2010)

5 Les vulnérabilités futures

5.1 Evolution du risque d'inondation

5.1.1 Les projections des volumes des précipitations plus difficiles à interpréter

Le résultat des projections des précipitations est plus difficile à interpréter. Les différents modèles s'accordent sur une **augmentation des précipitations en hiver, sur une diminution des précipitations en été** et sur une intensification des précipitations. En revanche, ils ne s'accordent pas sur le **signe des changements des volumes de précipitations annuelles**. Les « projections moyennes » suggèrent une très légère augmentation (+4,3%) à l'horizon « 2085 ». Les « projections humides » indiquent une augmentation plus sensible avec + 5,5% d'augmentation pour la période 2016-2045 (« 2030 »), + 8% pour la période 2036-2065 (« 2050 ») et 8,7% pour la période 2071-2100 (« 2085 »). Les « projections sèches », quant à elles, suggèrent une légère baisse du volume des précipitations annuelles (- 3,6%) à l'horizon « 2085 ».

Les trois modèles s'accordent tous en revanche sur une **augmentation des volumes des précipitations durant le trimestre décembre-janvier-février**. Cette augmentation est progressive et forte selon les « projections moyennes » avec respectivement +7%, +13,4% et 21,5% pour les horizons « 2030 », « 2050 » et « 2085 ». L'augmentation est du même ordre de grandeur selon les « projections humides » mais elle est bien plus brutale avec un saut de 16,4% pour l'horizon « 2030 ». Enfin, les « projections sèches » indiquent une augmentation rapide (+8,4%) pour l'horizon « 2030 » suivi d'un tassement.

Parallèlement, les trois modèles projettent une **diminution progressive des volumes des précipitations durant le trimestre juin-juillet-août**. Selon les « projections moyennes », la diminution est de 16,9% à l'horizon « 2085 » (ce résultat est une valeur médiane par rapport aux résultats des deux autres modèles).

Les évolutions projetées pour le **trimestre septembre-octobre-novembre** sont moins nettes, mais indiquent globalement une **augmentation moins sensible des volumes des précipitations** à l'horizon « 2085 ».

Concernant le **trimestre mars-avril-mai**, le volume des précipitations diminue de 10% à l'horizon « 2030 » et revient progressivement au niveau actuel aux horizons « 2050 » et « 2085 » selon les « projections moyennes ». Les « projections sèches » n'indiquent pas de changement sensible tandis que les projections humides indiquent une augmentation de près de 17% à l'horizon « 2085 ».

Globalement, les trois modèles projettent donc une **saisonnalité des précipitations plus marquée en raison de l'accroissement des volumes de précipitations durant les mois les plus froids et de leur diminution durant les mois les plus chauds**.

5.1.2 Les inondations

Rappelons que le risque d'inondation constitue actuellement le premier risque naturel en Wallonie. La nécessité de gérer ce risque est bien comprise par les autorités compétentes y compris dans l'optique du changement climatique. Cela se justifie, car **les preuves reliant le changement climatique et augmentation du risque d'inondation sévère existent** (Allan, 2011).

Les trois modèles utilisés projettent une **légère augmentation du maximum des précipitations tombées en 24h à l'horizon « 2050 »**. Tandis que les deux autres types de projections indiquent soit une poursuite de la tendance, soit un tassement, les « projections moyennes » indiquent une nette augmentation faisant passer le maximum de précipitations de 37 mm à l'horizon « 2050 » à 41 mm en 24h à l'horizon « 2085 » (voir figure 7).

La **fréquence des très fortes précipitations projetée tend également à augmenter**. Ceci tient au fait que le réchauffement de l'atmosphère près de la surface terrestre lui permet de contenir une plus grande quantité de vapeur d'eau, ce qui influence l'intensité des précipitations (Allan, 2011). Le **nombre annuel de jours de précipitations supérieures à 20 mm augmente selon les trois modèles**. Cette augmentation est plus marquée selon les « projections moyennes ». Ces dernières indiquent une augmentation sur le long terme pour toutes les saisons. L'augmentation projetée est plus importante et plus constante durant les trimestres septembre-octobre-novembre et décembre-janvier-février (voir figure 8).

Le déplacement du courant Jet de l'Atlantique Nord serait responsable de périodes de **fortes précipitations inhabituellement prolongées** (Allan, 2011). A ce titre, le modèle de référence projette une **augmentation significative du maximum des cumuls de précipitations sur 5 jours des trimestres septembre-octobre-novembre et décembre-janvier-février** (voir figure 9). Là aussi, les résultats indiquent une tendance à l'intensification des précipitations.

De telles évolutions devraient augmenter les risques d'inondations de tous types en provoquant des crues soudaines, le refoulement des systèmes d'évacuation, des coulées de boues, etc.

Figure 7 : Evolution du maximum des précipitations journalières annuel

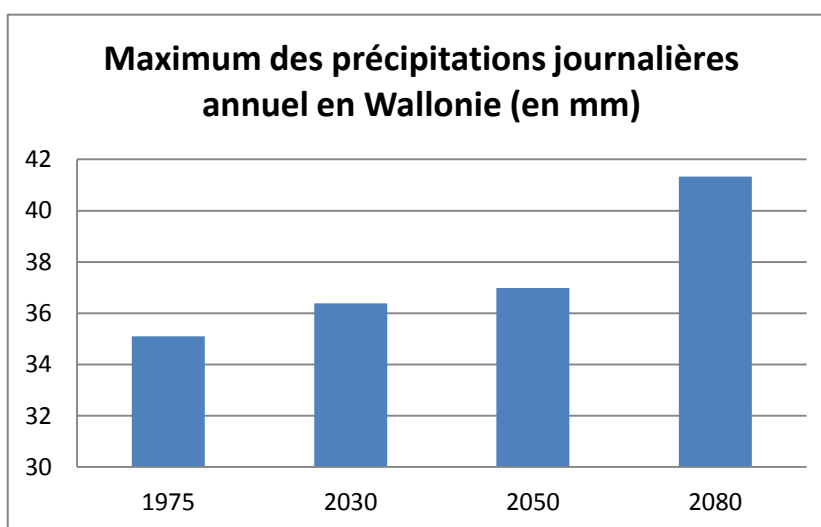


Figure 8 : Evolution du nombre annuel de jours de très fortes précipitations

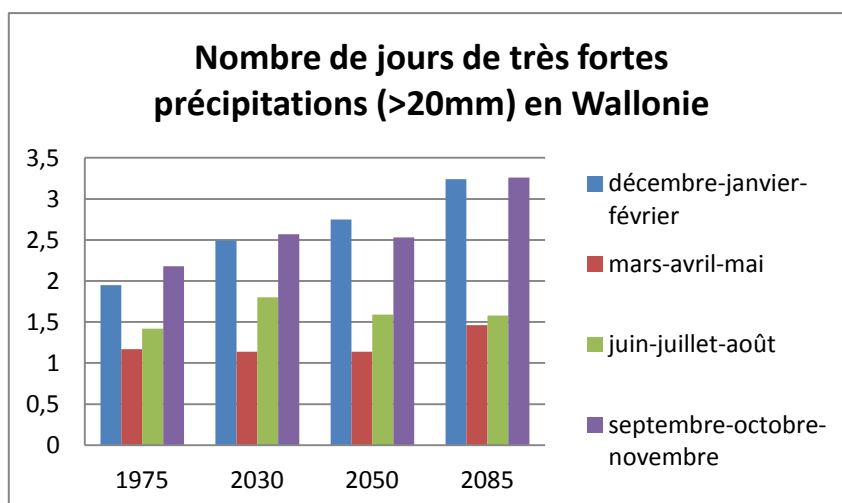
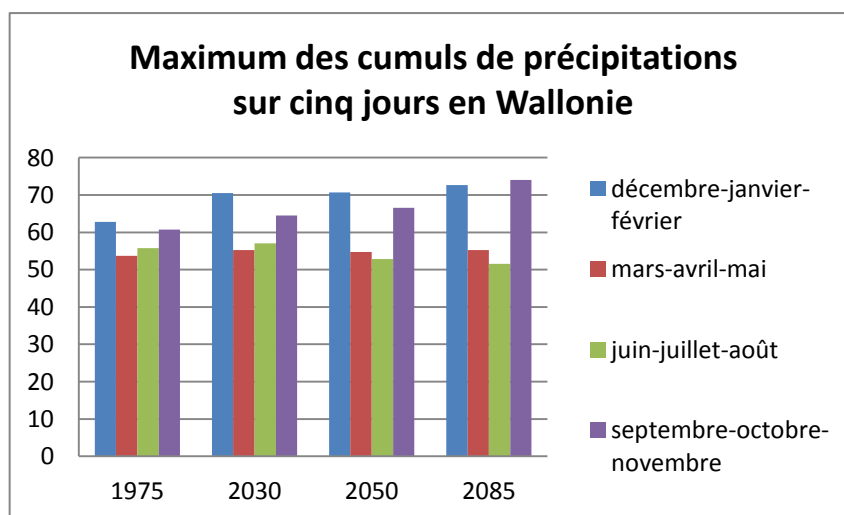


Figure 9 : Evolution du maximum des cumuls de précipitations sur 5 jours



La Meuse et l'Escaut étant des fleuves à régime pluvial avec des débits maximums en hiver et minimum en été, ils sont sensibles aux changements de volumes des précipitations saisonnières. **Il est clair que les changements de précipitations et de températures vont modifier l'hydrologie de tous les bassins versants.**

Concernant l'évolution des volumes des précipitations, nous avons vu que les scénarii et les modèles diffèrent. Deux études récentes de l'impact des changements climatiques sur les débits de cours d'eau sillonnant le territoire belge le soulignent. Le projet ADAPT, qui s'est penché sur les cas de la Dendre et de l'Ourthe, conclut que le risque d'inondation va changer dans les deux cas. Dans le scénario de changement climatique faible, les risques d'inondations devraient diminuer tandis que dans les scénarii de changement climatique moyen et élevé, ces risques sont appelés à augmenter. **Les premiers résultats du projet Amice projettent deux évolutions opposées du risque de crue.** Selon le scénario « humide », les débits de crue sont appelés à augmenter dans tout le bassin de la Meuse à l'horizon 2021-2050 et de manière plus prononcée encore à l'horizon 2071-2100. Les résultats du projet indiquent l'évolution inverse dans le cas du scénario « sec ».

Comme mentionné plus haut, **les projections des trois modèles utilisés** dans le cadre de notre étude, qui divergent sur le volume annuel des précipitations, **indiquent tous une augmentation importante voire très importante des volumes tombés durant le trimestre décembre-janvier-février.** A cet égard, les projections moyennes se rapprochent beaucoup de celles du scénario « humide » du projet Amice. Nul doute que de telles augmentations se traduiront par des crues **à la fois plus fréquentes et plus intenses**, engendrant ainsi un risque d'inondation par débordement accru.

Rappelons que la vulnérabilité du territoire wallon et des infrastructures dépend également de **facteurs non climatiques.** Il n'est pas facile de prévoir l'évolution à moyen et à long terme de l'imperméabilisation du sol et de la quantité de personnes et de biens exposés à ces risques. Cependant, il est clair que la poursuite de la **tendance à l'urbanisation croissante de ces dernières décennies augmentera le risque.**

5.2 Les instabilités de terrain

5.2.1 Le risque karstique

Nous avons évoqué dans le chapitre précédent que des effondrements, des tassements ou encore des inondations pouvaient se produire dans les régions karstiques. Or, les processus de karstification à l'origine de ces événements ne peuvent pas se produire sans eau. En valeur absolue, **plus il y a d'eau disponible, plus de calcaire pourra être dissous.** Ainsi, l'augmentation du volume annuel des précipitations qu'indiquent les projections moyennes impliquerait une

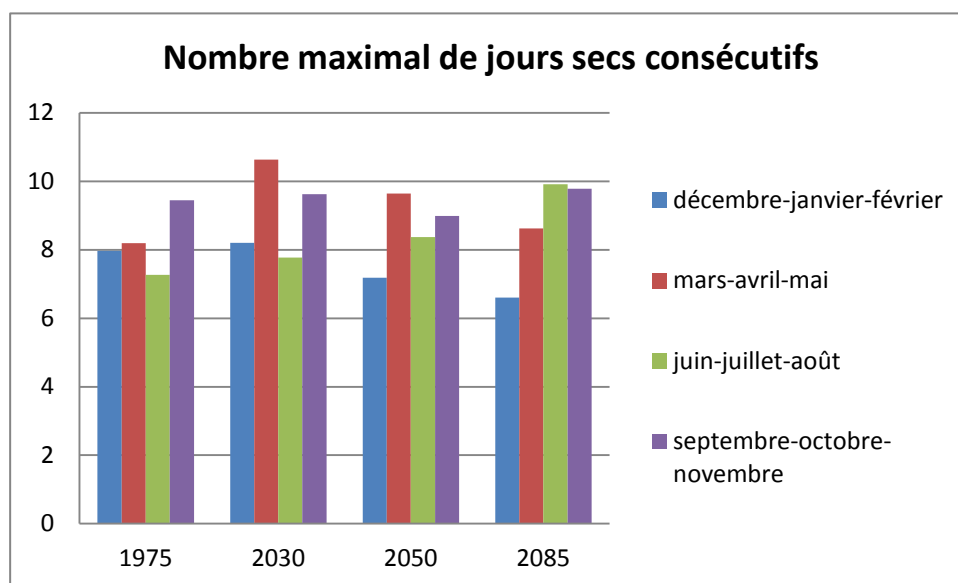
augmentation de la dissolution du calcaire. **D'autres facteurs naturels à l'origine des phénomènes karstiques comme la variation du niveau piézométrique ou des crues brutales risquent d'être favorisés par le changement climatique.** En effet, nous avons vu que la saisonnalité des précipitations est appelée à devenir plus marquée, ce qui est de nature à favoriser les variations du niveau des nappes. De même, une augmentation de la fréquence et de l'intensité des crues est attendue.

Le **rôle de la variation de la température** n'est pour sa part pas négligeable. La température agit sur la solubilité du CO₂ et sur les réactions chimiques. Des eaux plus froides devraient être plus corrosives, car le CO₂ est plus soluble à basse température, mais l'augmentation de la température favorise les réactions de dissolution (Salomon, 1997). « Finalement, il est possible de considérer qu'une augmentation de température tend à annihiler largement les effets d'une plus grande solubilité du CO₂ dans les eaux à basse température. (...) les eaux du milieu tropical dissolvent les carbonates beaucoup plus vite que celles des milieux froids » (Salomon, 1997, p 110). Il est donc permis de penser que **le réchauffement projeté, surtout dans le cas des projections plus extrêmes, pourrait augmenter la vitesse de dissolution des calcaires.** S'agissant du deuxième risque naturel en importance en Wallonie, une éventuelle augmentation de celui-ci est donc à considérer étant donné les dégâts qu'il peut occasionner sur les bâtiments, les infrastructures et la qualité des eaux dans certains cas.

5.2.2 Le retrait-gonflement des argiles

Rappelons que le phénomène de retrait-gonflement des argiles est régi par deux paramètres primordiaux : les précipitations et l'évapotranspiration. Ainsi, la **plus grande variabilité saisonnière des précipitations** projetée (voir plus haut) **couplée à l'augmentation de l'évapotranspiration** consécutive à l'augmentation des températures devrait accentuer ce phénomène. Celui-ci est d'autant plus important dans le cas d'une **sécheresse prolongée, succédant à des périodes fortement arrosées.** Or, les projections moyennes indiquent que le nombre de jours secs consécutifs devrait augmenter en Wallonie durant les mois de mars, avril et mai aux trois horizons temporels avec un pic à l'horizon « 2030 ». Le nombre de jours secs projeté durant le trimestre suivant (juin-juillet-août) est pour sa part en augmentation continue jusqu'à l'horizon « 2080 » (voir figure 10). Nous sommes donc en droit de penser que **les dégâts causés par le phénomène de retrait-gonflement des argiles sont appelés à s'amplifier.**

Figure 10 : Evolution du nombre maximal de jours secs consécutifs

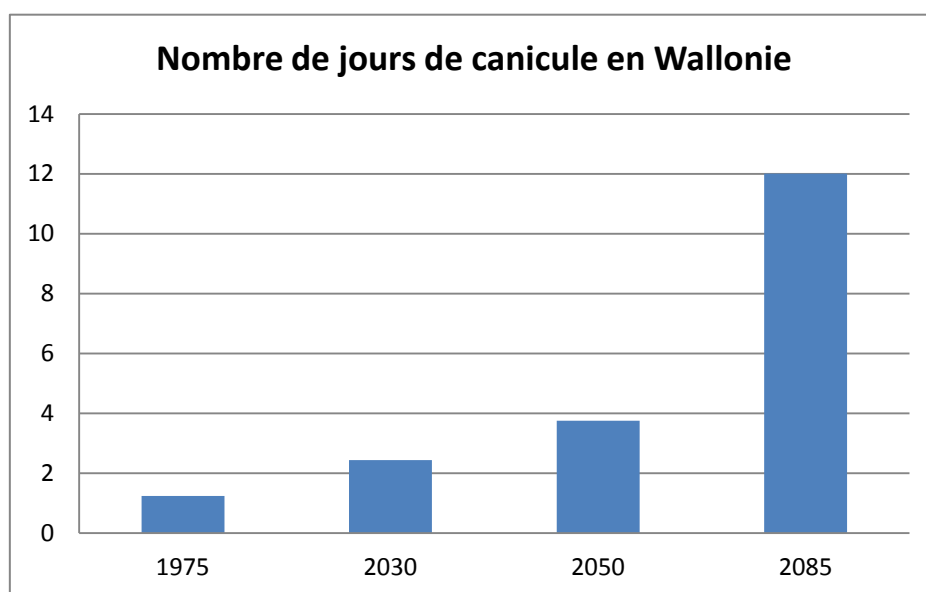


5.3 Le phénomène d'îlot de chaleur urbain

Les projections moyennes indiquent **une augmentation très importante du nombre de jours de canicule** par an en Wallonie, et ce, particulièrement à l'horizon 2071-2100 (voir figure 11). Notons que des différences régionales existent. Le modèle le plus chaud projette quant à lui jusqu'à 45 jours de canicule par an en Wallonie.

Les villes risquent de souffrir de cette augmentation en raison de l'accentuation des canicules par le phénomène d'îlot de chaleur urbain. Ainsi, les grands centres urbains wallons subiront plus les vagues de chaleur que le reste du territoire.

Figure 11 : Evolution du nombre de jours de canicule



5.4 Vulnérabilités des infrastructures de transport

Etant donné leur **longue durée d'utilisation** (voire figure 12), **la plupart des infrastructures existantes et celles qui seront construites connaîtront les changements climatiques.** Comme expliquées précédemment, les infrastructures de transport connaîtront un **risque de submersion** et des risques liés aux **mouvements de terrain** accrus.

Par ailleurs, celles-ci risquent également d'être affectées par les **fortes chaleurs**. En effet, **le risque de dilatation et de déformation du rail devrait augmenter.** En plus des détériorations liées aux canicules, le **réseau routier** risque quant à lui d'être perturbé par **l'augmentation de l'intensité des précipitations neigeuses.** Le réseau des voies navigables devrait également subir les effets du changement climatique. La diminution projetée du volume des précipitations estivales combinée à une évaporation accrue en raison de l'élévation projetée des températures durant la même période (voir figure 13) implique un risque d'étiages plus importants accru, et particulièrement si l'on considère les modèles les plus « secs ». **Les cours d'eau navigables seront donc soumis à un plus grand risque de perturbation voire d'interruption de la navigation.** Ce risque serait également renforcé par une augmentation des débits de crues et de la fréquence de débordement des cours d'eau consécutive à l'augmentation projetée du volume des précipitations hivernales et automnales. Concernant le bassin de la Meuse, le scénario hydrologique extrême pour les basses eaux du projet Amice prévoit une diminution de 10% des débits minimum en été (MAM7) pour 2021-2050 et de 40% pour 2071-2100. Le scénario hydrologique extrême pour les hautes eaux projette quant à lui une augmentation de 15% des débits maximums horaires en hiver (Q_{hx100}) pour 2021-2050 et de 30% pour 2071-2100 (voir figure 14).

Figure 12 : Durée du cycle de vie des infrastructures (adapté de Planning Institute of Australia, 2004)

Ouvrage	Phase	Cycle de vie typique prévu
Bâtiments commerciaux	Modernisation	20 ans
	Démolition	50-100 ans
Habitations	Ajouts et modifications	15-20 ans
	Démolition	60-100 ans
Routes	Entretien	Tous les ans
	Réfection des revêtements	5-10 ans
	Reconstruction/ réfections majeures	20-30 ans
Ponts	Entretien	Tous les ans
	Réfection des revêtements de béton	20-25 ans
	Rénovations importantes	60-100 ans
Chemins de fer	Rénovations importantes	10-20 ans
	Reconstruction/ réfections majeures	50-100 ans
Aéroports	Rénovations importantes	10-20 ans
	Reconstruction/ réfections majeures	50 ans
Ports de mer	Rénovations importantes	10-20 ans
	Reconstruction/ réfections majeures	50-100 ans
Barrages/ alimentation en eau	Rénovations importantes	20-30 ans
	Reconstruction/ réfections majeures	50 ans
Gestion des déchets	Rénovations	5-10 ans
	Réfections majeures	20-30 ans
Égouts	Reconstruction/ réfections majeures	50 ans

Source : Auld et al, 2007

Figure 13 : Evolution des températures moyennes du trimestre juin-juillet-août

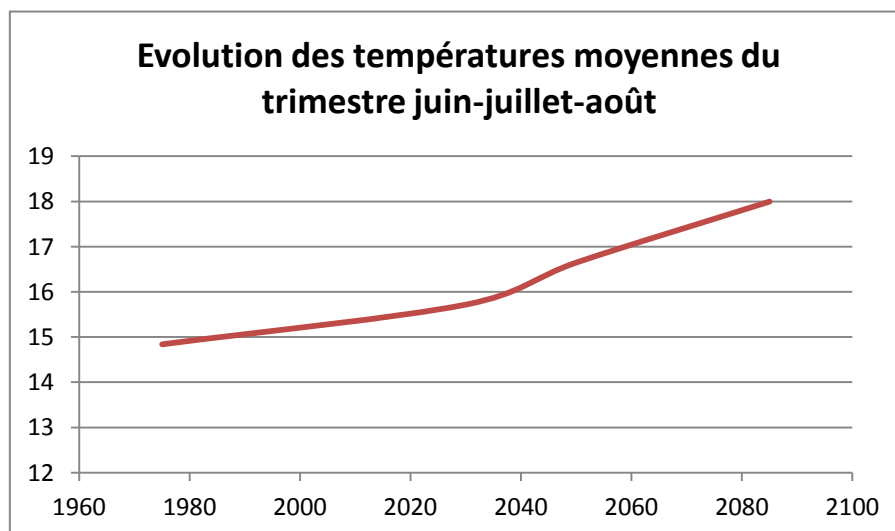


Figure 14 : Facteurs de changement climatique obtenus pour les variables MAM7 et Qhx₁₀₀, scénarios climatiques humides (en bleu) et sec (en orange).

		Meuse St- Mihiel	Meuse Stenay	Meuse Montcy	Meuse Chooz	Meuse Sint- Pieter	Lesse Gendron	Vesdre Chaufontaine	Rur Stah	Niers Goch
MAM7	2021- 2050	0.79	0.73	0.88	0.88	0.82	1.00	1.17	0.68	0.84
		0.61	0.64	0.75	0.74	0.65	0.83	0.93	0.56	0.63
	2071- 2100	0.60	0.50	0.71	0.65	0.60	0.96	1.10	0.71	0.60
		0.43	0.47	0.52	0.52	0.33	0.57	0.67	0.36	0.27
Qhx ₁₀₀	2021- 2050	1.12	1.12	1.12	1.12	1.14	1.19	1.08	1.02	1.11
		0.96	0.96	0.96	0.96	0.95	0.98	0.90	0.88	0.89
	2071- 2100	1.27	1.27	1.27	1.27	1.33	1.55	1.27	1.10	1.24
		0.89	0.89	0.89	0.89	0.91	0.90	0.81	0.61	0.71

Source : Drogue et Al, 2010.

5.5 Des incertitudes sur l'évolution des tempêtes

Les observations actuelles ne permettent pas de dégager une tendance séculaire à l'augmentation de la probabilité des tempêtes en Europe. **Il semble qu'il ne soit pas encore possible de dégager un consensus sur une éventuelle augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes en lien avec l'amplification du réchauffement climatique** (Planton, 2002). Notons que le 5^{ème} rapport du GIEC abordera la question de l'évolution de la fréquence et de l'intensité des tempêtes. Les résultats ne se sont cependant pas encore disponibles et le rapport de synthèse sera finalisé en septembre 2014.

6 Pistes pour l'adaptation

L'examen des principales vulnérabilités actuelles et futures du cadre bâti wallon nous permet à présent de dégager **les axes d'adaptation prioritaires** et de formuler certaines recommandations. Ainsi, sur base des de l'analyse des vulnérabilités, quatre grands axes d'adaptation se dégagent :

- Lutter contre l'accroissement du risque d'inondation
- Anticiper les risques liés aux vagues de chaleur
- Anticiper les risques liés au comportement du sol et du sous-sol pesant sur le cadre bâti et les infrastructures en intégrant les impacts des changements climatiques
- Anticiper les risques de perturbations des réseaux de transport

Ces grands axes d'adaptation regroupent différentes actions plus précises qui se déclineront sous forme de recommandations.

6.1 Lutter contre l'accroissement du risque d'inondation

Un outil permettant de diminuer le risque de dommages causés par les inondations et intégrant les changements climatiques existe. Il s'agit du **plan P.L.U.I.E.S.**, initié par le Gouvernement wallon en 2003. Celui-ci est un plan de gestion du risque d'inondations qui rassemble un large éventail d'actions dont certaines consistent à favoriser l'infiltration et à limiter le ruissellement, à créer de zones à inonder ou encore à construire des ouvrages de protection locale. Par ailleurs, deux actions sont consacrées aux conséquences probables des changements climatiques. Le plan P.L.U.I.E.S. sera adapté d'ici 2015 pour répondre aux exigences de la directrice « inondations » (2007/60/CE) (Cellule Etat de l'Environnement Wallon 2010).

Malgré l'existence de ce plan, des mesures sont à prendre afin de limiter l'accroissement du risque d'inondation. Le meilleur moyen consiste à **diminuer l'exposition des biens et des personnes au risque d'inondation** et à ce titre, le moyen le plus efficace est l'arrêt de la construction en zone d'aléa. Actuellement, la réglementation en matière d'urbanisme n'empêche pas la construction en zone inondable, les communes disposant d'un pouvoir de dérogation et l'avis du gestionnaire des cours d'eau n'ayant qu'une valeur indicative. Ce constat étant fait, une piste d'adaptation s'impose, à savoir de créer un nouveau Règlement Régional d'Urbanisme spécifique aux zones inondables intégrant la carte d'aléas d'inondation dans les plans d'aménagement. Une telle mesure est particulièrement nécessaire pour les zones d'aléas d'inondations sévères.

Proposition de recommandation 1 : Créer un nouveau règlement régional d'urbanisme spécifique aux zones inondables.

Une mesure efficace permettant de lutter contre les inondations consiste à favoriser l'infiltration et à limiter le ruissellement. Il s'agit de **limiter l'imperméabilisation du sol wallon**.

Ainsi, il serait utile d'imposer une réglementation promouvant l'utilisation par exemple de dalles alvéolées en béton, substrat engazonné, de bétons et de bitumes poreux, de fossés végétalisés, de puits d'infiltration, de parking constitués de graviers, etc.

Afin de limiter l'imperméabilisation du sol, il convient également de **densifier les centres urbains et villageois**. A ce titre, les lignes de force de la politique d'aménagement du territoire pour le 21^e siècle du Ministère de l'Environnement, de l'Aménagement du territoire et de la Mobilité vont dans ce sens. Il s'agit donc de poursuivre cette politique, car il n'existe actuellement pas d'outil d'aménagement du territoire au niveau régional qui gère la densité.

Proposition de recommandation 2 : Mettre en place un outil opérationnel pour favoriser la densification des centres urbains et ruraux et limiter l'imperméabilisation du sol wallon.

Enfin, des **mesures de protection peuvent se prendre au niveau de l'habitation**. Il serait intéressant, **via des incitations financières**, de promouvoir des travaux d'adaptation comme par exemple rehausser les prises, le système de chauffage, l'utilisation de matériaux plus résistants à l'humidité, les dispositifs de protection... Ces incitations financières pourraient consister en une diminution des primes d'assurance. Cela permettrait de diminuer le montant des dégâts occasionnés par les inondations.

Proposition de recommandation 3 : Promouvoir des mesures de protection individuelles au niveau de l'habitation

6.2 Anticiper les risques liés aux vagues de chaleur

L'impact des îlots de chaleur mérite d'être nuancé compte tenu de l'urbanisme des villes belges (taille, urbanisme diffus, espaces verts importants...). Toutefois, un certain nombre de mesures « sans regret » peuvent être prises et seront bénéfiques en termes de confort et de cadre de vie.

Différentes mesures prises **au niveau des bâtiments** doivent être promues pour améliorer d'une part le confort et d'autre part pour atténuer l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Pour garantir un confort suffisant des bâtiments, il convient de promouvoir l'adoption de système de refroidissement. Ce refroidissement doit être passif afin de **ne pas aller en contre-sens des efforts d'atténuation** des changements climatiques. Ainsi, afin d'éviter le plus possible la climatisation active, il convient de réguler et labelliser les systèmes de refroidissement individuel. Il convient également d'adapter prioritairement les bâtiments de type **hôpital et maison de retraite** étant donné la plus grande vulnérabilité des malades et des personnes âgées. Les **transports en commun** devront se doter de systèmes de refroidissement plus performants.

Par ailleurs, il convient d'adapter les **règlements régionaux et les règlements communaux** afin de promouvoir les espaces verts et les espaces d'eau la végétalisation des toitures et des murs ainsi qu'un niveau d'albédo des parois élevé.

Proposition de recommandation 4 : Promouvoir le refroidissement passif, réguler et labelliser les systèmes de refroidissement individuel

Il convient également d'adapter les **documents de planification** urbaine dans le but de favoriser l'albédo du cadre bâti ainsi que la circulation de l'air par des couloirs éoliens et ainsi de diminuer le risque lié aux vagues de chaleur dans les villes.

Proposition de recommandation 5 : Prendre en compte le phénomène d'îlot de chaleur dans les documents de planification urbaine (espaces verts, espaces d'eau...)

Si des efforts doivent être réalisés sur le bâti existant, il apparaît logique d'inclure le risque d'îlots de chaleur urbaine au niveau de la conception des nouveaux projets d'aménagement et au niveau des études d'incidences.

Proposition de recommandation 6 : Evaluer le risque d'îlots de chaleur urbains dans les nouveaux projets d'aménagement / dans le cadre des études d'incidence

Enfin, il apparaît utile de lancer un groupe d'étude sur le lien entre les revêtements de sol et le phénomène d'îlot de chaleur urbaine en Wallonie.

Proposition de recommandation 7 : Lancer un groupe d'étude pour adapter les

6.3 Anticiper les risques liés au comportement du sol et du sous-sol pesant sur le cadre bâti et les infrastructures en intégrant les impacts des CC

Les effets des changements climatiques sur les phénomènes karstiques sont insuffisamment étudiés. Etant donné que la cartographie du karst en Wallonie a été réalisée et qu'une part importante (environ 30%) du sous-sol wallon est constituée de roches carbonatées, il apparaît nécessaire d'effectuer une **analyse prospective du risque karstique** en Wallonie en lien avec les changements climatiques.

Proposition de recommandation 8 : Evaluer le risque karstique en Wallonie en lien avec les changements climatiques

Les autres instabilités de terrain comme le phénomène de retrait-gonflement des argiles ou encore les glissements de terrain sont de moindre importance par rapport au risque karstique, sans être pour autant négligeables. Certains de ces risques géotechniques sont appelés à évoluer sous l'effet des changements climatiques. L'impact de ces derniers sur le phénomène de retrait-gonflement des argiles a fait l'objet de nombreuses études, notamment en France, mais il n'en va pas de même pour les autres instabilités de terrain. Il convient donc de **lancer des études afin d'étudier les autres risques géotechniques** sous l'angle des changements climatiques.

Proposition de recommandation 9 : Evaluer les autres risques géotechniques sous l'angle des changements climatiques

Le risque lié au phénomène de retrait-gonflement des argiles n'a pas encore été cartographié. Cela est cependant souhaitable, car les impacts des changements climatiques sur ce risque seront préjudiciables. La cartographie du risque permettra de **localiser les zones pour lesquelles le risque de retrait-gonflement sera accru**. Les **normes et les règlements du secteur de la construction** devront alors intégrer la variable "changements climatiques" (adaptation des fondations, des murs porteurs, joints souples, etc.) pour la construction d'immeubles et d'infrastructures dans les zones à risque.

Proposition de recommandation 10 : Adapter les habitations et les infrastructures à l'évolution des risques de retrait-gonflement des argiles préalablement cartographié

De manière générale, il conviendra d'**intégrer les futures contraintes** imposées par les changements climatiques pour les nouvelles constructions et donc d'intégrer cette dimension **dans l'apprentissage du métier d'architecte**. Cela permettra de limiter le montant des dégâts causés par les instabilités de terrain.

Proposition de recommandation 11 : Informer et former les architectes

6.4 Anticiper les risques de perturbations des réseaux de transport

Toutes les perturbations des réseaux de transport liées à l'augmentation des températures, aux étiages plus marqués, aux crues plus importantes, aux inondations, à l'augmentation des risques d'instabilité de terrain, à l'augmentation de l'intensité des précipitations neigeuses ou encore à l'éventuelle augmentation du risque de tempêtes ne pourront pas être évitées. Il convient alors de **réaliser au un bilan des impacts potentiels** des changements climatiques sur les réseaux. Après avoir préalablement effectué ce bilan, il conviendra d'**établir ensuite un plan d'action** ayant pour but de limiter dans le temps les perturbations occasionnées et de diminuer ainsi les pertes économiques.

Proposition de recommandation 12 : Etablir un plan d'actions pour limiter dans le temps les perturbations du réseau qui pourraient être engendrées par les changements climatiques

Parallèlement, il est nécessaire de lancer un **programme de recherche** sur la nécessité d'adapter les infrastructures et sur les pistes permettant d'augmenter leur résilience de celles-ci (normes de construction, R&D des matériaux...).

Proposition de recommandation 13 : Adapter les infrastructures de transport

7 Glossaire

Ilot de chaleur urbain : Phénomène désignant des élévations localisées des températures enregistrées en milieu urbain par rapport aux zones rurales ou forestières environnantes ().

8 Les sources bibliographiques

AULD H., MACLVER D et KLAASSEN J., (2007) *Les options d'adaptation des infrastructures à l'évolution du climat*, Environnement Canada – Division de la Recherche sur l'adaptation et les Répercussions.

BRESH, D., BISPING, M. et LEMCKE, G., (2000), *Les tempêtes en Europe. Un risque sous-estimé*. Compagnie suisse des réassurances, Swiss Re Publishing, Zurich.

CELLULE ETAT DE L'ENVIRONNEMENT WALLON, (2007), *Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007*, MRW - DGRNE, Namur, 736 pp.

CELLULE ETAT DE L'ENVIRONNEMENT WALLON, (2010), *Tableau de bord de l'environnement wallon 2010*, SPW-DGARNE-DEE, Namur, 232 pp.

COMMISSION EUROPEENNE ET GOUVERNEMENT WALLON, (2007), *Programme wallon de développement rural 2007-2013*, 396 pp.

DAHECH S., BELTRANDO G., DAOUD A. et KHLAIFI, A., (2006). « Les inégalités spatiales de la qualité de l'air dans l'agglomération de Sfax et ses environs : le cas des températures, de la brise, du CO et du SO₂ ». Colloque « les villes au défi du développement durable », 23-27 novembre 2006

DIRECTION DE LA PREVENTION DES POLLUTIONS ET DES RISQUES - SDPRM, (2008), *Le retrait-gonflement des argiles. Comment prévenir les désordres dans l'habitat individuel ?* Ministère français de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durable, Paris.

GRANDJEAN M., HANIN Y. et ROUSSEAUX V. (2006), *Occupation du territoire en Région wallonne. Territ 2 - Terres urbanisées*, Etat de l'Environnement wallon, Unité d'Urbanisme et Développement Territorial.

EK, C., (2005), « Les phénomènes karstiques de Wallonie ». In MRW – DGATLP, éditeur : Sarlet, D., *Karst et aménagement du territoire*, pages 9 - 16, Namur, Moulin de Beez.

HENRY, P. (2010), *Politique d'aménagement du territoire pour le 21^e siècle. Lignes de forces*, <http://gouvernement.cfwb.be/politique-d-amenagement-du-territoire-pour-le-21e-siecle-le-ministre-henry-presente-les-lignes-de-force-de-sa-politique>.

LEJOLY, G., (2006), « Stabilité des sols : la smectite ». La revue Architrave, n°155, 22 – 26.

MICHEL, G. et de BROYER, C., (2005), « L'atlas du karst wallon : outil pour une gestion intégrée des régions calcaires ». In MRW – DGATLP, éditeur : SARLET, D., *Karst et aménagement du territoire*, pages 35 - 46, Namur, Moulin de Beez.

OBSERVATOIRE SAVOYARD DU CHANGEMENT CLIMATIQUE, (2010), *Adaptation des villes au changement climatique*, Dossier Ad & At, 4.

PLANTON, S., (2005), « Le changement climatiques et la probabilité des tempêtes sur l'Atlantique Nord », Météo-France – Annales.org.

PLETINCKX, G., (2011), *Calamités publiques. Etude statistique des calamités depuis 1993*. SPF Intérieur - Direction des Calamités, pp 101.

QUINIF, Y., (2005), « Les effondrements karstiques hennuyers : causes et résultats ». In MRW – DGATLP, éditeur : Sarlet, D., *Karst et aménagement du territoire*, pages 17-34, Namur, Moulin de Beez.

SALOMON, J.-N., (1997), « Les influences climatiques sur la géomorphologie karstique : exemple de milieux tropicaux et arides », *Quaternaire*, volume 8 - numéro 2-3 - 1997, 107-117.

SMOOS, M., (2008), « Enquête qualité des logements: quelques réflexions sur les aspects énergétiques de l'habitat wallon », Union des Villes et Communes de Wallonie asbl, <http://uvcw.be>

TABEAUD, M., (2010), « Climats urbains. Savoirs experts et pratiques sociales », *Ethnologie française*, XL(4) :685-694.

Site web

INSTITUT ROYAL DE METEOROLOGIE (IRM), <http://www.meteo.be>, dernière visite le 15 avril 2011

INSTITUT WALLON DE L'EVALUATION, DE LA PROSPECTIVE ET DE LA STATISTIQUE (IWEPS) (2007), <http://statistiques.wallonie.be/>, dernière visite le 15 mars 2011.

LESOIR.BE (n.d.), <http://www.lesoir.be/>, dernière visite le 25 mars 2011.

MINISTERE DE D'ECOLOGIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT (France) – BRGM, (2011), *Contexte de l'aléa retrait-gonflement des argiles : Prévention des risques*, <http://www.argiles.fr/>, dernière visite le 22 février 2011.

PORTAIL CARTOGRAPHIQUE DE LA REGION WALLONNE (n.d.), <http://cartographie.wallonie.be>, dernière visite le 02 avril 2011

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE, (2006), <http://sder.wallonie.be/ICEDD/CAP-atlasWallonie2006/>, dernière visite le 15 mars 201

SPF ECONOMIE – STATISTICS BELGIUM, <http://www.statbel.fgov.be>, dernière visite le 15 mars 2011.