

Fiche thématique

Thème	Eau
Fiches en lien	Agriculture – Infrastructure - biodiversité
Rédacteur	Martin BIERNAUX – CEESE ULB

1 Messages clés

- La disponibilité en eau est bonne en Wallonie tandis que la qualité des eaux souterraines et des eaux de surfaces est plus problématique au nord du sillon Sambre et Meuse en raison de la plus forte urbanisation, de l'intensivité de l'élevage et la présence de grandes cultures ainsi que l'industrialisation plus grande du nord de la Région Wallonne.
- Les changements climatiques vont plus impacter la disponibilité en eau que la qualité de celle-ci.
- Les deux vulnérabilités, quantitative et qualitative, devront donc être prises en considération avec la même attention dans l'optique des changements climatiques.
- Des outils et des mesures de gestion durables des ressources en eau existent mais leur efficacité doit être évaluée au regard des changements climatiques.

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 :

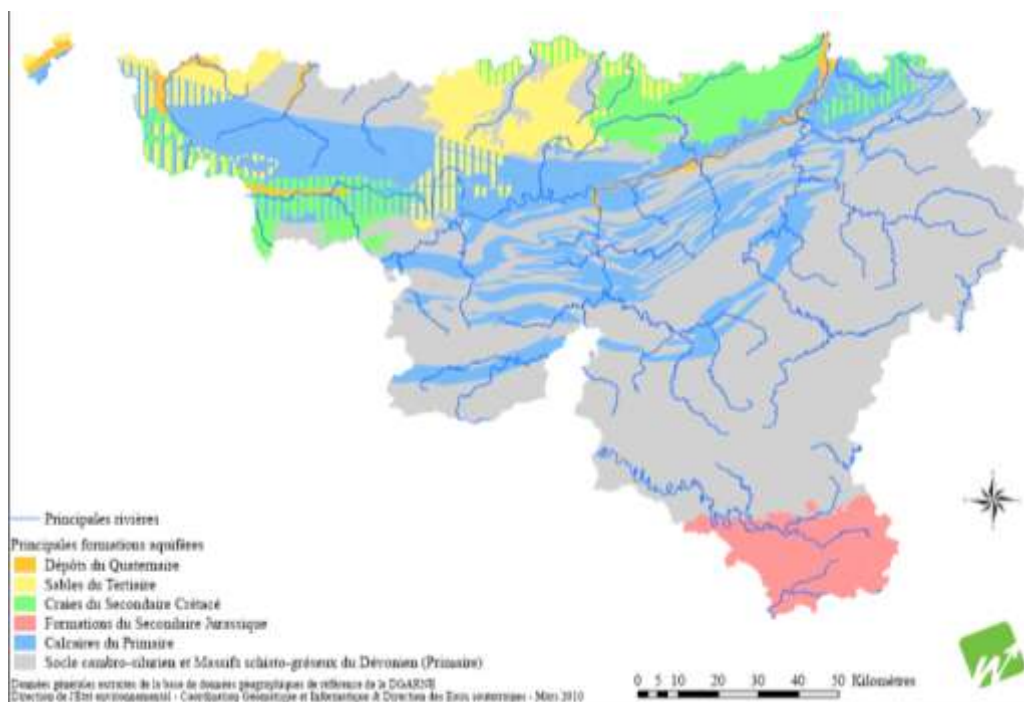
- ALLAN, R. P., (2011), « Climate change : Human influence on rainfall », *Nature*, 470, 344-345.
- BATES, B. C., Z. W. KUNDZEWICZ, S. Wu et J. P. PALUTIKOF, éd., (2008), *Le changement climatique et l'eau*, document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève, 236 p.
- CELLULE ETAT DE L'ENVIRONNEMENT WALLON (2007), *Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007*, MRW - DGRNE, Namur, 736 p.
- CELLULE ETAT DE L'ENVIRONNEMENT WALLON (2010), *Tableau de bord de l'environnement wallon 2010*, SPW-DGARNE-DEE, Namur, 232 p.
- DEPARTEMENT DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'EAU (DEE), (2010), *Etat des nappes d'eau souterraines*, SPW-DGARNE, Namur.
- DROGUE G., FOURNIER, M., BAUWENS, A., BUIDEVELD, 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.
- MARBAIX P. et VAN YPERSELE J-P. (sous la direction de), (2004), *Impact des changements climatiques en Belgique*, Greenpeace, Bruxelles, 42 p.
- SOHIER C., DEGRE A. et DAUTREBANDE S., 2008. Evaluation des mesures prises pour réduire les incidences de la pollution diffuse d'origine agricole et domestique sur la qualité des masses d'eau de surface et souterraines de la Région wallonne à l'aide du modèle EPICgrid. « Projet Qualvados ». Rapport de Convention DGRNE-SPGE-FUSAGx. Unité d'Hydrologie & Hydraulique agricole. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. 145p et annexes.

nappes d'eau souterraine (DEE, 2010). Le temps nécessaire à l'eau de pluie pour atteindre une nappe diffère beaucoup en fonction du type de sol (détail ci-après).

Tous secteurs confondus (domestique, agricole, industriel), les wallons ont une consommation d'eau courante bien inférieure à la moyenne européenne (133 L/habitant/jour contre 300). L'approvisionnement en eau potable (environ 400 millions de m³ par an) provient à 80% des eaux souterraines et à 20 % des eaux de surface. **43,5 % des volumes prélevés sont exportés vers la Région de Bruxelles-Capitale et la Région flamande** (Commission européenne et Gouvernement wallon, 2007). L'importance de la part des eaux souterraines dans l'approvisionnement en eau potable du réseau public est due à leur relative abondance ainsi qu'à la moindre variabilité de leurs caractéristiques chimiques par rapport aux eaux de surfaces.

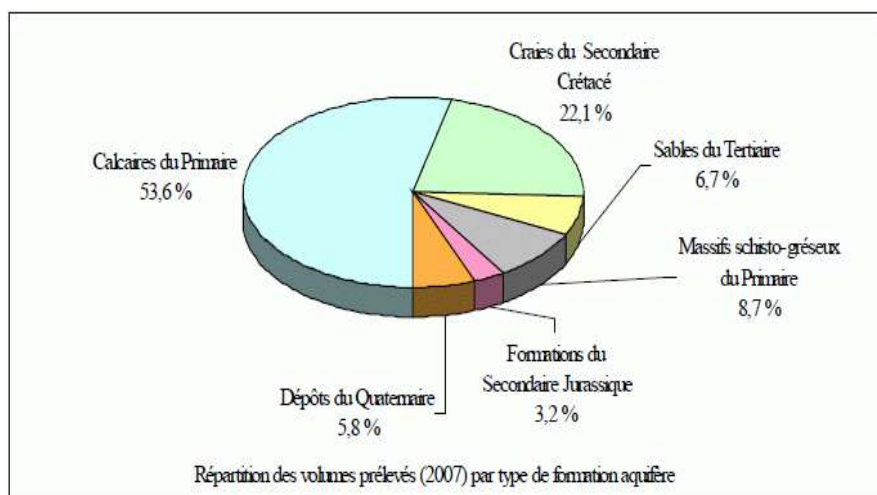
Les eaux souterraines prélevées proviennent de différentes formations aquifères (voir figure 2) qui ont des caractéristiques et des capacités d'exploitation différentes. **53,6% des prélèvements sont opérés dans les calcaires du Primaire et 22,1% le sont dans les craies du Secondaire Crétacé.** Ceci est dû à la bonne capacité de production, à la bonne qualité de l'eau, à l'étendue et à la localisation dans les zones de forte densité de population de ces formations. Les prélèvements dans **les sables du Tertiaire** (6,7% du total) sont intenses en dépit du fait qu'ils **sont moins productifs et plus vulnérables** (voir figure 3). Leur localisation dans des zones densément peuplées, principalement en Brabant wallon (DEE, 2010), explique cette situation.

Figure 2 : les principales formations aquifères de Wallonie.



Source : DEE, 2010

Figure 3 : Répartition des volumes prélevés par type de formation



Source : DEE, 2010.

Bien que le volume de la recharge soit difficile à évaluer, on estime que les **prélèvements totaux en eaux souterraines représentent environ 70% du volume renouvelé naturellement par la recharge pluviométrique** et **80% de ces volumes prélevés servent à alimenter en eau potable la Wallonie, la Région de Bruxelles-Capitale et la Flandre**. Avec un tel taux d'exploitation de ses nappes aquifères, la Région wallonne figure parmi les pays européens qui exploitent le plus leurs aquifères. Ceci est dû aux densités de populations relativement élevées ainsi qu'à l'importance des volumes exportés (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2010). Concernant l'état du réseau de distribution, il est important de noter que **20% de l'eau potable produite est perdue** au cours du transport et retourne dans le sol. Les nappes sont cependant loin d'être surexploitées même si localement, des problèmes peuvent apparaître comme dans le cas de la nappe des Calcaires carbonifères du Tournaisis (DEE, 2010).

Exemple de mauvaise gestion des eaux souterraines : la nappe des Calcaires carbonifères du Tournaisis...

«... dont la baisse généralisée depuis la fin de la dernière guerre a dû faire prendre conscience à un moment donné de la nécessité d'adapter les prélèvements. Dans cette nappe, l'eau était en effet prélevée à un rythme supérieur à son alimentation provoquant une diminution constante de son niveau d'environ 1 à 2 m par an. Or la nappe a toujours été exploitée simultanément par la France, la Flandre et la Wallonie. Des efforts conjoints ont été réalisés pour enrayer cette surexploitation. Actuellement, c'est sans doute cette sage réduction des prélèvements qui est l'origine du retour à une stabilisation relative des niveaux.

(...) Au sein du projet Interreg SCALDWIN, un travail de modélisation de la nappe a été débuté en 2010, qui devrait délivrer en 2013 l'outil nécessaire à définir une gestion équilibrée et partagée de la ressource. Un des nombreux problèmes à considérer reste entre autres la garantie du maintien de la qualité de la nappe. (DEE, 2010, p 7)

3.4 Le nitrate, principale source d'altération de la qualité des eaux souterraines

Concernant la qualité des eaux souterraines, **l'utilisation d'engrais et de pesticides et leur lessivage et lixiviation** sont particulièrement dommageables. « A ce titre, le nitrate constitue indéniablement l'altération principale des eaux souterraines et son origine est essentiellement due à l'utilisation des engrais. Plus de 40% du territoire est affecté. Les niveaux de contamination les plus élevés sont observés dans des zones où la densité de population et/ou les activités agricoles sont importantes. La contamination des eaux souterraines sur tout le territoire wallon a très légèrement progressé ces dix dernières années. Localement, la situation

peut être plus préoccupante. Les niveaux de concentration semblent toutefois s'être stabilisés depuis 2 à 3 ans. Cette situation n'est pas liée uniquement à l'évolution des pratiques agricoles actuelles (réduction des apports d'engrais azotés). **Le degré de contamination des nappes dépend en effet d'autres facteurs difficilement maîtrisables, tels que la pluviosité, le temps de transfert du nitrate vers les aquifères** (qui peut dépasser 15 ans) ou la **quantité d'azote encore présente dans les sols** » (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2010, p 103).

Un phénomène particulier peut également être à l'origine d'une importante pollution des eaux souterraines. Il s'agit des **effondrements karstiques**. En janvier 1977, des effondrements catastrophiques ont eu lieu à Kain. L'Escaut s'est alors engouffré dans la nappe du Calcaire carbonifère. A cette pollution directe se sont ajoutés d'autres formes de pollution dont l'une était induite par la remontée de la nappe, engendrant ainsi des réactions entre l'eau de l'aquifère et les minéraux du sous-sol (Laurent, 1985).

3.5 Une utilisation principalement industrielle des eaux de surfaces

Les prélèvements dans les eaux de surfaces sont 5.5 fois plus importants que ceux effectués dans les eaux souterraines mais **90% des volumes prélevés sont rejetés après avoir été utilisés** comme eaux de refroidissement dans l'industrie et principalement dans la production d'énergie (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2010).

3.6 Des variations de débits importantes et multifactorielles

Les débits des cours d'eau sont très variables (voir figure 4 et 5). Ils varient fortement :

- D'un cours d'eau à l'autre
- En fonction des précipitations et donc:
 - En fonction de la période de l'année. La Meuse et l'Escaut sont des fleuves à régime pluvial avec des débits maximums en hiver et minimums en été.
 - D'une année à l'autre

Illustration des variations multiples des débits

Le *débit médian* (DM) de la Basse Meuse était en 2009 de 124 m³/s tandis que celui de la Senne était de 1,4 m³/s.

Le *débit caractéristique d'étiage* (DCE) est entre 1,5 et 13 fois inférieur au débit médian.

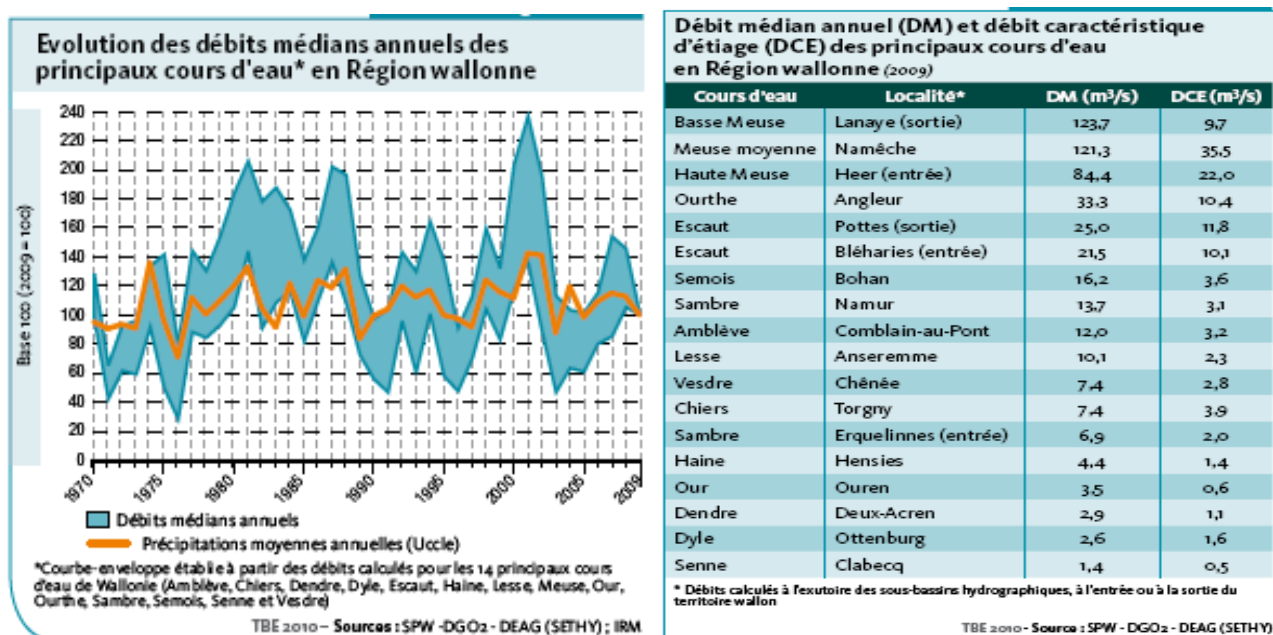
Notons que le rapport entre DM et DCE est « fonction des caractéristiques du bassin versant mais aussi des possibilités d'alimentation du cours d'eau par les eaux souterraines (profondeur de la nappe, porosité des aquifères...) (...) »

« L'évolution des débits médians annuels sur une période de temps relativement importante (1970-2009) présente une allure cyclique (...) »¹

Au cours de ces dernières années, on observe une réduction des débits médians en particulier entre 2001 et 2007, une période pendant laquelle les volumes moyens annuels de précipitations étaient globalement plus faibles » (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2010, p 100).

¹ Cf. définition concernant les limites de cet indicateur

Figures 4 et 5 :



Source : Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2010

3.7 Des pollutions multiples des eaux de surfaces : urbaines, industrielles et agricoles

La qualité des eaux de surfaces est dégradée en raison de leur contamination par la matière organique, les nitrates, les phosphates et divers micropolluants comme les métaux lourds ou les pesticides. **Ces pollutions sont dues aux rejets directs urbains et industriels** mais également à **l'apport diffus résultant du ruissellement d'eau contaminée** suite à son passage sur des terres agricoles, des terrains pollués et d'autres types de revêtement comme les voiries.

Ces dernières années, **la pollution liée aux rejets directs a nettement diminué** grâce notamment à l'assainissement croissant des eaux usées, à l'application de taxes sur le déversement d'eaux usées et aux mutations de l'industrie (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2010).

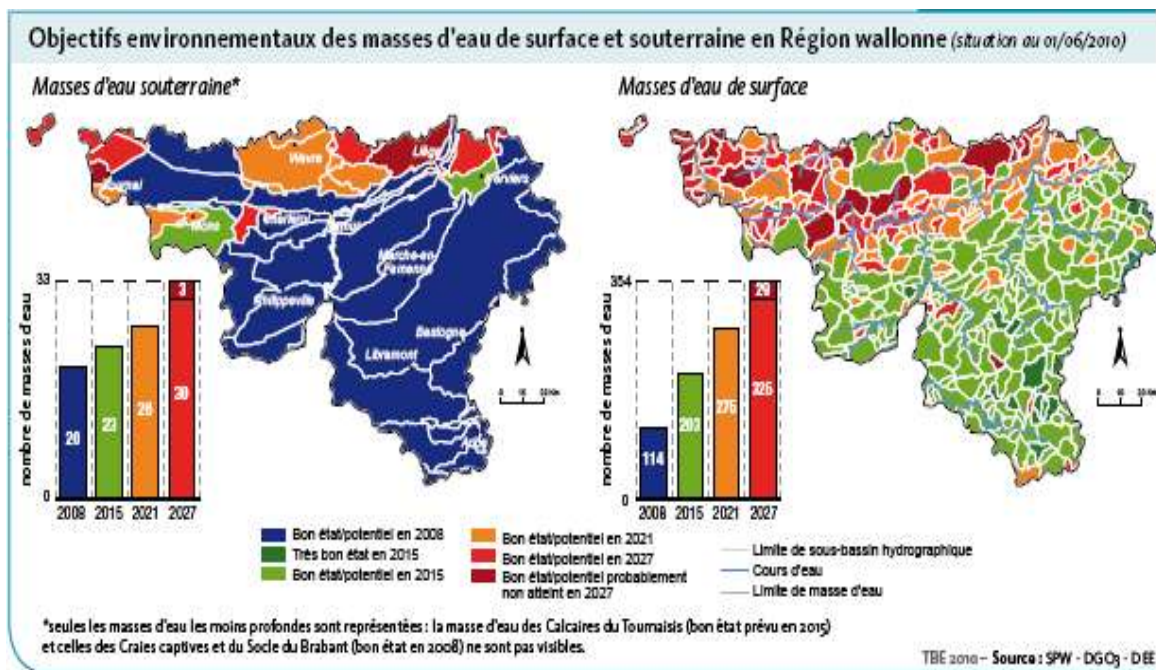
« **L'évolution des apports diffus est plus difficile à interpréter** car ceux-ci varient davantage en fonction de la couverture des sols et des conditions climatiques (...) » (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2010, p 99).

3.8 Des perspectives en demi-teinte

Des efforts ont été entrepris par la région dans le cadre de la transposition de **la directive cadre européenne (DCE) sur l'eau** (2000/60/CE) (épuration, permis d'environnement, méthodes agro-environnementales, contrats de rivière ...). Les principaux objectifs poursuivis étant de **restaurer et améliorer l'état des ressources en eau** et celui des écosystèmes et des zones humides associés, **de réduire et supprimer les apports de substances dangereuses**, d'atteindre le bon état d'ici fin 2015 : bon état écologique et chimique pour les eaux de surface, bon état quantitatif et chimique pour les eaux souterraines et de promouvoir une utilisation durable de l'eau.

La gestion intégrée des « masses d'eau » repose essentiellement sur la mise en œuvre de Plans de gestion qui contiennent un catalogue de mesures à appliquer. **Les perspectives pour 2015 sont en demi-teinte** comme le montre la figure 6. Les problèmes se situent principalement dans le district de l'Escaut et dans quelques sous-bassins mosans (Sambre, Vesdre et Meuse aval).

Figure 6 : Objectifs environnementaux des masses d'eau de surface et souterraine en Région wallonne.



Source : Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2010

3.9 La nécessité d'une gestion raisonnée et d'amélioration qualitative

La Wallonie est bien pourvue en eau souterraine et en eau de surface mais la région figure parmi celles d'Europe qui exploitent le plus leurs nappes aquifères. **Ceci nécessite une gestion raisonnée des prélèvements** (cas de la nappe des Calcaires carbonifères du Tournaisis).

La pollution des eaux souterraines et des eaux de surfaces reflète généralement bien l'organisation des activités humaines (urbanisation, agriculture et activités industrielles). Une **nette opposition nord/sud du sillon Sambre et Meuse apparaît**. La plus forte urbanisation, l'intensivité de l'élevage et la présence de grandes cultures ainsi que l'industrialisation plus importante du nord de la région wallonne expliquent cette situation.

Si la tendance de ces dernières années est à l'amélioration de la qualité des eaux de surface, **la situation reste plus problématique en ce qui concerne les eaux souterraines**. Ce constat ne signifie pas que les mesures menées sont inefficaces, mais s'explique par un temps de réponse aux efforts entrepris plus long qui est dû à la durée du temps de transfert (cf. 1.4).

4 Les vulnérabilités actuelles et les paramètres climatiques

Cet état des lieux amène donc à envisager les vulnérabilités actuelles de l'eau wallonne d'une part sur le plan quantitatif, avec la question centrale de la recharge des nappes aquifères, et sur le plan qualitatif, avec les problèmes de pollution qui concernent les eaux souterraines et les eaux de surface. Les précipitations et les températures jouent un rôle essentiel sur les deux plans.

4.1 Analyse des vulnérabilités quantitatives

Sur le plan quantitatif, les précipitations (fréquence, régularité, intensité et volume) et les températures sont des paramètres clés.

4.1.1 L'influence croisée et parfois conjointe des deux facteurs : températures et précipitations

Une réduction de réserves en eau peut être causée par de longues et fréquentes saisons sèches, une variabilité interannuelle des précipitations, de hautes températures et une forte évaporation.

De telles conditions concourent à **réduire le niveau d'une nappe aquifère**. « Des étés plus secs et une évaporation accrue peuvent (même avec des hivers plus humides) diminuer significativement les réserves d'eau souterraine en Belgique » (Marbaix et Van Ypersele, 2004, p 33). En effet, des prélèvements supérieurs à la recharge pluviométrique peuvent mener à la rareté de la ressource, les besoins en eau étant supérieurs aux ressources hydriques exploitables dans des conditions durables. Nous avons vu qu'une telle situation est possible comme l'a démontré le cas de la surexploitation de la nappe des Calcaires carbonifères du Tournaisis (cf. 1.3).

Des étés secs conduisent également à **une réduction des débits des cours d'eau**, ce qui a également pour effet de diminuer les apports en eau des nappes souterraines en provenance du cours d'eau (The Danish government, 2008). Parallèlement, la réduction des débits des cours d'eau aura surtout un impact négatif sur la biodiversité de l'écosystème. Notons également qu'en période d'étiage, l'écoulement alimente le débit du cours d'eau.

Du côté de l'impact des températures, **les températures élevées impliquent une plus grande demande d'eau de la part des hommes et des plantes**.

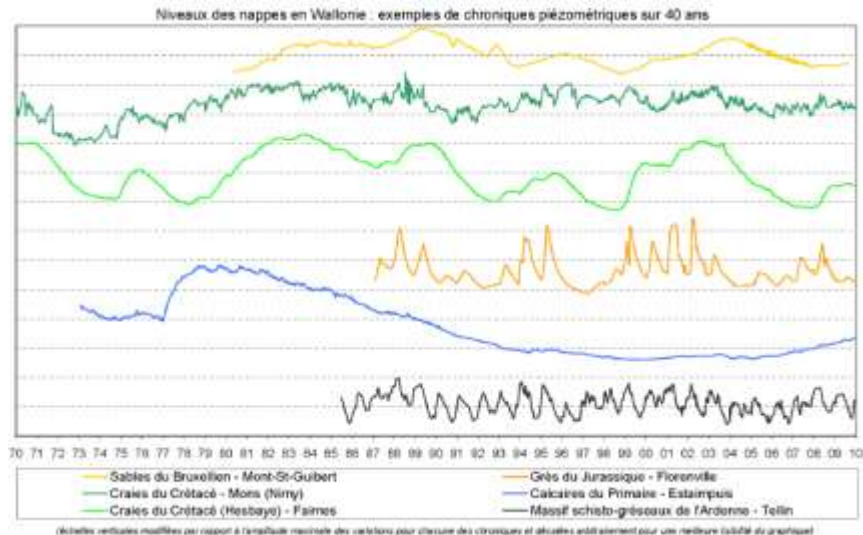
Des analyses ont suggéré que le pic de demande à Londres, en 2006, année qui fut fort sèche, était presque deux fois plus important qu'en 2007, qui comparativement était une année plus froide avec un été humide.

- Des étés plus chauds et plus secs augmentent le taux de transpiration des plantes, puisant de la sorte plus d'eau du sol. Parallèlement, des hivers plus doux vont allonger la période de croissance de la végétation, augmentant ainsi la demande en eau, et réduisant ainsi la recharge hivernale des aquifères. L'évaporation et la transpiration des plantes augmentent donc avec la température (dans les limites de la disponibilité en eau).

Notons que si des étés secs abaissent le niveau des nappes, de fortes pluies hivernales peuvent s'écouler directement dans les cours d'eau avant de pouvoir être absorbées dans le sol pour recharger les aquifères (Greater London Authority, 2010). **La régularité des précipitations compte plus que le volume dans la recharge des aquifères**. La **phase des précipitations est également importante** pour l'efficacité de l'infiltration, les précipitations neigeuses permettant une meilleure infiltration.

Afin de surveiller les niveaux des nappes, il est nécessaire d'effectuer des *mesures piézométriques*. Comme le montre le graphique ci-dessous (figure 7), le niveau des nappes varie suivant les saisons et les années, et leur temps de réponse à l'infiltration faisant suite aux précipitations varie de l'une à l'autre.

Figure 7 : Niveaux des nappes en Wallonie : exemple de chroniques piézométriques sur 40 ans.



Source : DEE, 2010

4.2 Analyse des vulnérabilités qualitatives

Sur le plan qualitatif, les mêmes paramètres climatiques, à savoir la fréquence, la régularité, l'intensité et la quantité des précipitations ainsi que les températures moyennes constituent les paramètres clés.

Les précipitations influencent le lessivage, l'érosion hydrique, le niveau des nappes ainsi que le débit des cours d'eau. De la sorte, leur quantité, leur intensité et leur répartition saisonnière auront **un impact sur la qualité des eaux souterraines et des eaux de surfaces.**

4.2.1 L'influence multiple des précipitations

La fréquence et la régularité des précipitations influencent le transfert des polluants comme les nitrates et les pesticides des couches supérieures du sol vers les nappes par **le processus de lessivage et/ou de lixiviation.**

Dès lors, de plus abondantes précipitations, si elles se traduisent par une grande infiltration efficace, entraînent un important phénomène de lessivage et/ou lixiviation, peuvent entraîner un accroissement de la pollution de l'eau souterraine. Il faut également mentionner le fait que la remontée de la nappe consécutive à une forte recharge pluviométrique peut également se traduire par une plus grande contamination (DEE, 2010).

« Sur le plan environnemental, toute eau souterraine susceptible d'être contaminée de façon significative est vulnérable. Sur le plan socio-économique, seule une eau souterraine exploitable est vulnérable » (Sohier, Degré et Dautrebande, 2008, p 133).

Importance de la contamination provoquée par les précipitations

Le fait que la contamination des eaux souterraines due au lessivage et à la lixiviation des sols ait progressé ces dix dernières années et ce, malgré les efforts visant à limiter l'emploi d'engrais souligne l'importance des autres facteurs que sont la pluviosité, le phénomène de remontée de nappe et surtout le temps de transfert.

Les temps de transferts des nitrates ont été cartographiés dans le cadre du projet « Qualvados ». L'impact des mesures de lutte contre la pollution prises en surfaces se fait ressentir dans un laps de temps variable selon les aquifères. Les masses d'eau des craies de la Haine, des sables de la vallée de la Haine, du Crétacé du bassin du Geer, des sables et craies du bassin de la Meuhaigne, des sables du Bruxellien et du Crétacé du Pays de Herve sont des zones pour lesquelles on ne peut espérer d'amélioration rapide (Sohier, Degré et Dautrebande, 2008). Cette étude a débouché sur une pondération des responsabilités de chaque pollueur et sur l'identification de différents scénarios de gestion à l'horizon 2027

Les précipitations jouent également un rôle essentiel dans l'**érosion hydrique**. Or celle-ci a un **impact important sur la qualité des eaux de surface**. En effet, l'érosion hydrique, qui trouve son origine dans les précipitations et le ruissellement, entraîne des nutriments et des micropolluants fixés sur les particules de sols et la matière organique érodée vers les cours d'eau (Cellule Etat de l'Environnement wallon, 2007).

Plusieurs facteurs liés à la nature des sols, à leur utilisation ou encore à la topographie influencent ce phénomène (voire fiche « agriculture »). On trouve fort logiquement parmi ceux-ci les précipitations et plus précisément, l'érosivité des précipitations. **« L'intensité de la pluie qui tombe influence beaucoup plus l'érosivité des précipitations que la quantité totale tombée. Plus les pluies sont intenses (orages estivaux par exemple), plus elles sont « érosives » et favorisent l'arrachement des particules de sol (et un petit peu leur déplacement). En effet, pour les précipitations de forte intensité, le diamètre des gouttes de pluie est en moyenne plus grand ; elles ont alors une vitesse de chute plus élevée et développent une plus forte énergie (cinétique) de frappe »** (Biielders, Cordonnier et Dautrebande, 2006, p 13).

Illustration de l'érosivité des précipitations

« A titre d'exemple, une averse de 60 litres par mètre carré tombant pendant 1 heure aura un pouvoir érosif (érosivité) trois fois plus élevé que si cette même averse est répartie sur 24 heures ». (Biielders, Cordonnier et Dautrebande, 2006, p 13)

Enfin, notons que la phase des précipitations revêt une importance. En effet, la neige est moins érosive que la pluie (Bates et al, 2008).

4.2.2 Les débits et la dilution des polluants

Les débits des cours d'eau et leur variation dans le temps ont une influence **sur la qualité de l'eau**. En effet, des débits importants se traduisent par une grande capacité de dilution tandis que, inversement, de plus faibles débits limitent la capacité de dilution, ce qui se traduit par de plus grandes concentrations de polluants. Par exemple, **les débits des cours d'eau du bassin de l'Escaut sont plus faibles ce qui favorise la concentration des polluants**. Notons cependant que des débits plus importants entraînent une plus grande érosion fluviale et donc un plus grand transport de matériaux érodés (Bates et al, 2008).

Influence des débits sur la pollution des cours d'eau

La hausse des débits médians observée en 2007 et 2008 explique probablement une partie des améliorations observées ces deux années sur le plan de la pollution organique. En jouant sur la concentration ou la dilution de la pollution organique, la variation des débits influence l'évolution de la qualité des cours d'eau (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2010).

Les périodes d'étiages se traduisent donc fort logiquement par de plus fortes concentrations en polluants. Par ailleurs, **l'effet conjugué d'une hausse des températures durant ces périodes accentue la détérioration de la qualité de l'eau**. En effet, une augmentation de la température de l'eau se traduit par une diminution du taux de saturation en oxygène de l'eau, nuisant ainsi à la qualité biologique de l'eau (Commission Nationale Climat, 2009).

Au-delà de ces impacts sur la qualité des eaux, si de faibles débits d'étiage se prolongent dans le temps, des interruptions critiques de navigation ainsi que des problèmes importants

touchant à l'irrigation et au refroidissement des centrales électriques sont à craindre (cf. fiche énergie).

Exemple d'influence croisée : débit – hautes températures

Un exemple récent de diminution du débit d'étiage en période de forte chaleur est celui de la canicule de 2003 qui a sévi en Europe. Celle-ci s'est accompagnée d'un déficit de précipitations. Les débits étaient si faibles que « 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, de l'irrigation et du refroidissement des centrales électriques (Beniston et Diaz, 2004; Zebisch *et al.*, 2005) » (Bates *et al.*, 2008, p45).

4.3 Les vulnérabilités inter-thématiques liées aux inondations

Le bâti et les infrastructures, l'agriculture ou encore la santé sont des secteurs présentant une grande vulnérabilité face aux risques d'inondations. Ces points sont abordés dans les chapitres correspondants. Cependant, **les inondations, influencées en partie par la pluviométrie, ont un impact sur la qualité de l'eau elle-même et jouent donc un rôle dans sa vulnérabilité face au climat.**

Il existe trois types d'inondations : les inondations par **débordement de cours d'eau**, par **ruissellements** et/ou par **remontée de nappes**. Des averses de fortes intensités ou des périodes prolongées de fortes précipitations y sont à l'origine.

Quel que soit le type d'inondation, celles-ci **augmentent la quantité de polluants et de matières organiques qui rejoint les cours d'eau** (Greater London Authority, 2010).

De plus, en cas d'inondation, le débordement des déversoirs d'orage et des réseaux de collecte des eaux usées va également contribuer à détériorer la qualité de l'eau en relâchant de l'eau non traitée augmentant ainsi les concentrations en microorganismes fécaux (Cellule Etat de l'Environnement wallon, 2010).

La récurrence des inondations enregistrées en Belgique **a déjà augmenté durant les dernières décennies**. Des inondations majeures ont eu lieu en 1995, 1998, 2002, 2003, 2005 et récemment en 2010 et 2011. **La pluviométrie à elle seule n'explique pas cette augmentation**. En effet, si les cumuls pluviométriques annuels ont augmenté depuis le 19^{ème} siècle, les précipitations de courtes durées n'ont pas augmenté (IRM, 2008). Les conditions hydrométéorologiques actuelles ne sont de la sorte pas plus extrêmes que ce qui était observé dans les années 1960. **L'augmentation des épisodes d'inondations s'explique donc par d'autres facteurs comme l'urbanisation** (Commission Nationale Climat, 2009).

5 Les vulnérabilités futures

Rappelons que les paramètres climatiques que sont la fréquence, la régularité, l'intensité et la quantité des précipitations ainsi que les températures moyennes constituent les paramètres clés.

5.1 Les projections des volumes des précipitations difficiles à interpréter et une intensification des précipitations

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 changements sensibles tandis que les projections humides indiquent une augmentation de près de 17% à l'horizon « 2085 ».

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 10 au point 3.3.).

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 11 au point 3.3.).

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 changements sensibles 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**. Une **nette tendance à l'intensification des précipitations** se dégage également.

5.2 Pollution des eaux souterraines, un risque à anticiper sérieusement

Les **processus de lessivage et de lixiviation** jouent un rôle essentiel dans la pollution des eaux souterraines. L'**augmentation du volume des précipitations annuelles** suggérée par les projections « moyennes » et les projections « humides » laisse présager une **amplification de ces processus**.

Une question qui se pose est de savoir dans quelle mesure cette augmentation du volume se traduira en **infiltration efficace**. La réponse à cette question n'est pas évidente. Cette augmentation du volume annuel résulte de l'augmentation projetée des précipitations durant les périodes les plus pluvieuses de l'année, à savoir l'automne et l'hiver. Le modèle de référence projette une augmentation du nombre de jours de pluies durant le trimestre décembre-janvier-février (voir figure 8) tout comme les deux autres modèles. Cela laisse présager une augmentation de la fréquence des précipitations. Cependant, une augmentation de l'intensité des précipitations est également projetée durant la même période de l'année (voir figure 9). Il est donc difficile d'évaluer quelle part de l'augmentation des précipitations contribuerait aux processus de lessivage et de lixiviation.

D'un autre côté, **l'augmentation du volume et de l'intensité des pluies favorisera indirectement le lessivage de l'azote**. En effet, la saturation du sol en eau peut engendrer l'asphyxie des racines ce qui réduit leur développement et engendre une **baisse de la photosynthèse**. Le métabolisme étant bloqué, il n'y a **plus d'utilisation des minéraux par les plantes** et donc une plus grande quantité d'azote lessivé.

Par ailleurs, la **température joue également un rôle dans la minéralisation de l'azote**. En effet, jusqu'à une certaine limite, les activités biologiques et les taux de minéralisation augmentent avec les augmentations de température (N'Dayegamiye, 2007).

Malgré les incertitudes concernant l'évolution du risque de pollution des eaux souterraines, il convient de l'anticiper sérieusement étant donné l'importance de l'eau en tant que ressource non substituable.

Nous avons souligné précédemment la difficulté de parvenir rapidement à un bon état qualitatif des eaux souterraines et ce, malgré les efforts entrepris.

Figure 8 : Evolution du nombre de jours humides durant le trimestre décembre-janvier-février

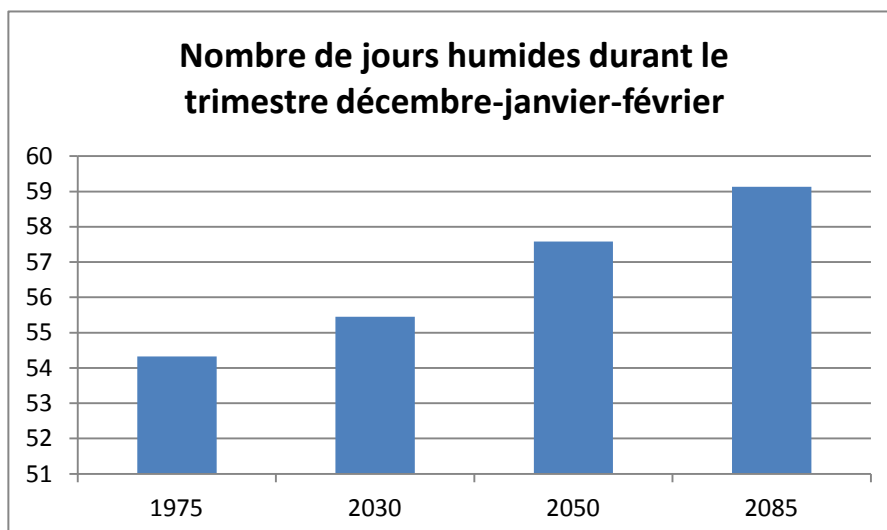
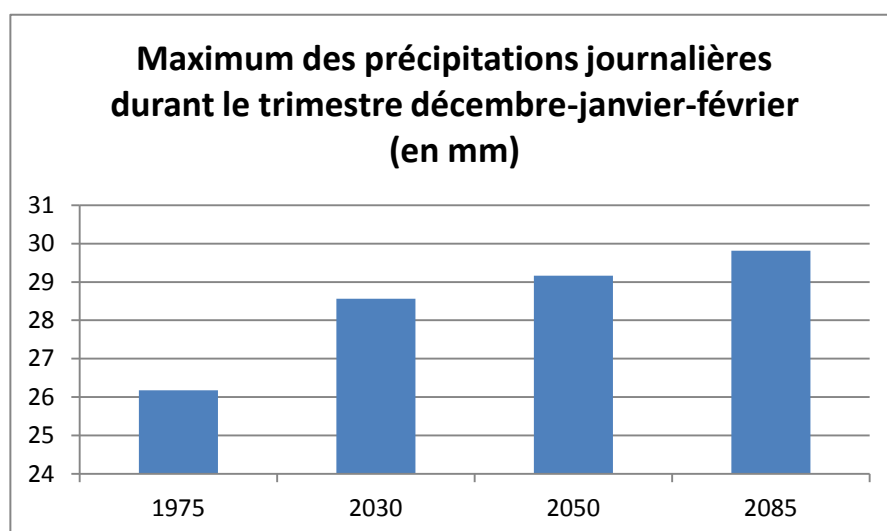


Figure 9 : Evolution du maximum des précipitations journalières durant le trimestre décembre-janvier-février



5.3 Pollution des cours d'eau consécutive au ruissellement et aux inondations

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 10).

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 11).

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**. Là aussi, les résultats indiquent une tendance à l'intensification des précipitations.

De telles conditions engendreraient un ruissellement et une érosion hydrique accrus et par conséquent, l'entraînement vers les cours d'eau d'une plus grande quantité de polluants.

Comme mentionnées dans le chapitre précédent, **les inondations augmentent la quantité de polluants et de matières organiques qui rejoint les cours d'eau**. Or, les preuves reliant le changement climatique et l'augmentation du risque d'inondation sévère existent (Allan, 2011). Il est donc prévu que le risque de pollution des cours d'eau par ce type d'évènement augmente parallèlement à l'augmentation de l'intensivité des précipitations et l'augmentation projetée des volumes de précipitations automnales et hivernales. L'évolution du risque d'inondation est évoqué plus en détail dans la fiche « Aménagement du territoire et infrastructures ».

Figure 10 : Evolution des maximums de précipitations journalières en Wallonie

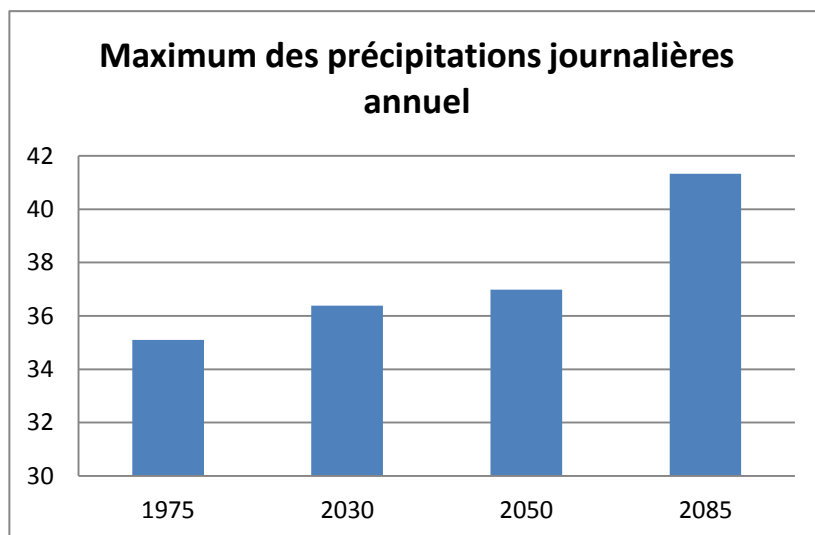
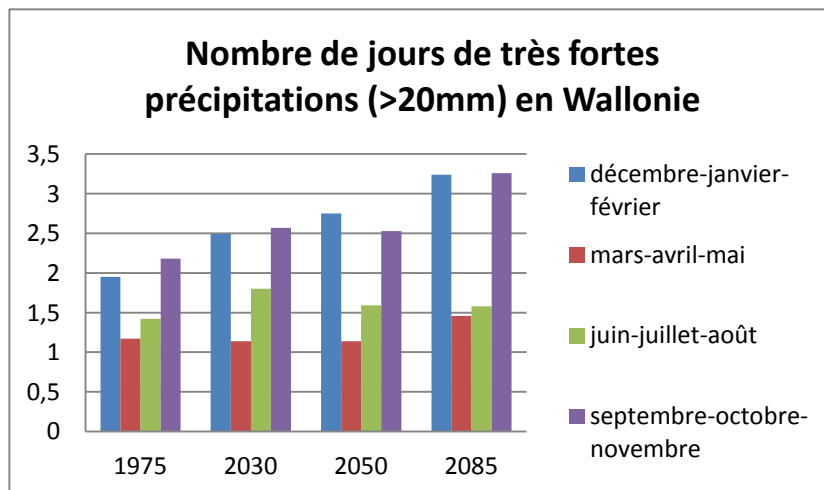


Figure 11 : Evolution du nombre de jours de très fortes précipitations en Wallonie



5.4 Etiages importants et détérioration de la qualité des eaux de surfaces

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 projections « sèches » indiquent une diminution de respectivement 8,1% et les projections « humides » une diminution de 25,5 % pour ce même trimestre.

Cette importante diminution projetée du volume des précipitations estivales se combine à une élévation projetée des températures durant la même période. Les projections « moyennes » indiquent une augmentation de 3,16° C à l'horizon « 2085 » amenant la moyenne des températures pour ce trimestre à 18° C (voir figure 12). Les deux autres modèles prévoient respectivement 16.51° C et 21.84° C. La conséquence de tels changements sera **l'augmentation de l'évapotranspiration**. La combinaison de celle-ci avec la diminution projetée du volume des précipitations durant le trimestre juin-juillet-août se traduit par un **risque d'étiages plus importants**. Les premiers résultats du projet Amice (voir figure 13) indiquent que les étiages sont appelés à devenir plus importants dans le bassin de la Meuse, qu'il s'agisse du scénario sec ou du scénario humide. Le scénario hydrologique extrême pour les basses eaux prévoit une diminution de 10% des débits minimum en été (MAM7) pour 2021-2050 et de 40% pour 2071-2100 (Drogue et al, 2010).

La **combinaison de la diminution des débits et de l'augmentation des températures** en période estivale projetée a pour conséquences **de plus fortes concentrations de polluants dans les cours d'eau et une diminution du taux de saturation en oxygène** de l'eau. Cette situation aboutirait à la détérioration sérieuse de la qualité des eaux de surface.

Figure 12 : Evolution des températures moyennes du trimestre juin-juillet-août

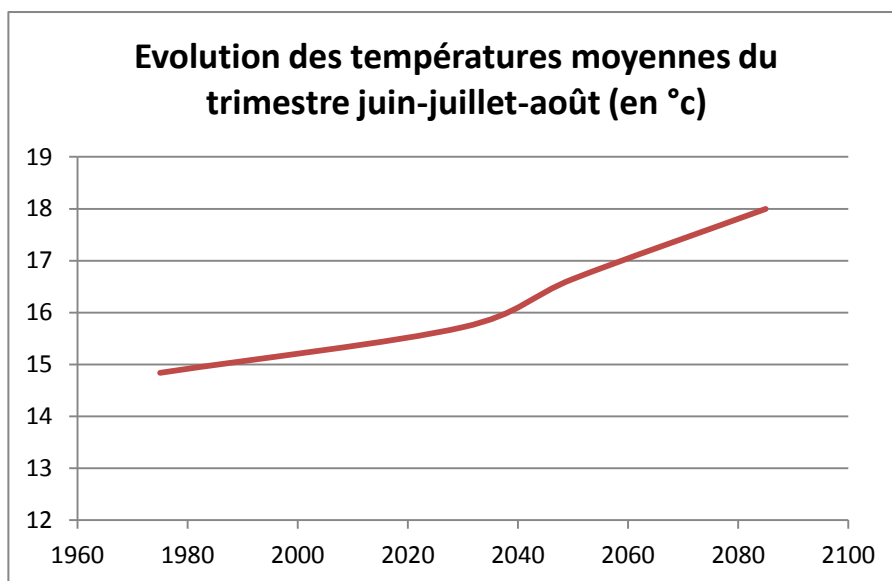


Figure 13 : Facteurs de changement climatique obtenus pour les variables MAM7 et Qhx₁₀₀, scénarios climatiques humides (en bleu) et sec (en orange).

		Meuse St- Mihiel	Meuse Stenay	Meuse Montcy	Meuse Chooz	Meuse Sint- Pieter	Lesse Gendron	Vesdre Chaudfontaine	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 : Droge et al, 2010

5.5 Abaissement des nappes en été

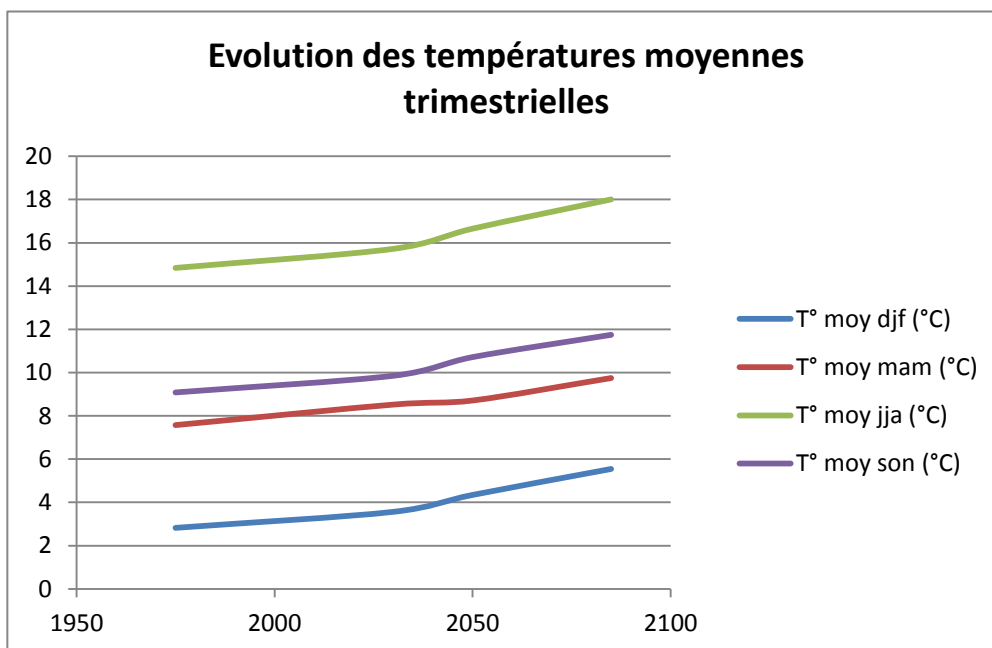
L'estimation du volume de la recharge des nappes n'est pas évidente et prédire l'évolution celle-ci en lien avec le changement climatique l'est encore moins. Certaines tendances peuvent néanmoins être dégagées.

D'une part, l'augmentation des volumes automnal et hivernal des précipitations suggérées par les projections « moyennes », si elle se traduit en augmentation de l'infiltration efficace, devrait engendrer une meilleure **recharge hivernale** des aquifères. D'autre part, l'augmentation des températures projetée à toutes les saisons (voir figure 14) augmentera (les limites de la disponibilité en eau) l'évapotranspiration, et éventuellement la demande en eau des hommes. De même, l'éventuel allongement de la période de croissance de la végétation, augmenterait la demande en eau, réduisant ainsi la recharge hivernale des aquifères. Enfin, des étiages plus importants contribueraient à **l'abaissement des nappes** car l'écoulement de celles-ci alimente le cours d'eau en période d'étiage.

Notons également que si la régularité des précipitations compte plus que le volume dans la recharge des aquifères, leur **phase** est également importante pour l'efficacité de l'infiltration, les précipitations neigeuses permettant une meilleure infiltration. Or, le nombre de jours de gel sera quasiment divisé par 3 selon les projections « moyennes ».

Ainsi, même avec **des hivers plus humides, des étés plus secs et plus chauds pourraient diminuer significativement les réserves d'eau souterraines en Belgique** (Marbaix, Van Ypersele, 2004). Bien que les comportements des nappes diffèrent, une **tendance à la diminution semble se dégager en raison principalement de l'augmentation attendue de l'évapotranspiration présageant un risque de déficit pour l'avenir** (Cellule Aménagement – Environnement, 2006).

Figure 14 : Evolution des températures moyennes trimestrielles en Wallonie



6 Pistes pour l'adaptation

L'examen des principales vulnérabilités actuelles et futures de l'eau wallonne nous permet à présent de dégager **les axes d'adaptation prioritaires** et de formuler certaines recommandations. La disponibilité en eau est bonne en Wallonie. Cependant, c'est l'aspect quantitatif qui risque d'être le plus impacté par les changements climatiques. L'aspect qualitatif, plus problématique actuellement devrait être moins impacté et est déjà plutôt maîtrisé (PGDA, Plan de gestion...). Ainsi, sur base de l'analyse des vulnérabilités actuelles et futures, deux grands axes d'adaptation, regroupant différentes actions plus précises et se déclinant sous forme de recommandations, se dégagent :

- Assurer la disponibilité de la ressource et adapter la gestion de l'offre et de la demande à la nouvelle donne climatique
- Poursuivre et intensifier les efforts entrepris pour assurer la qualité des eaux souterraines et des eaux de surfaces

A ces deux axes s'ajoutent un axe transversal et un dernier axe concernant la gouvernance.

6.1 Assurer la disponibilité de la ressource et adapter la gestion de l'offre et de la demande à la nouvelle donne climatique

Les Plans de Gestion élaborés dans le cadre de la directive cadre européenne sur l'eau (2000/60/CE) comporte un volet d'amélioration quantitative. En effet, concernant les eaux souterraines, ils visent à atteindre le bon état quantitatif et chimique et à promouvoir une utilisation durable de l'eau. Bien que la disponibilité en eau souterraine ne soit actuellement pas problématique en Région wallonne (sauf localement comme dans le cas de la nappe du Tournaisis), il convient d'inclure les changements climatiques dans les Plans de Gestion de la directive cadre européenne (DCE) sur l'eau. Ceci constitue d'ailleurs une demande de l'Union Européenne concernant l'élaboration des nouveaux Plan de gestion des districts hydrographiques prévus pour 2015.

Proposition de recommandation 1 : Inclure le CC dans le plan de Gestion de la DCE

Etant donné que les étiages sont appelés à devenir de plus en plus marqués, il convient d'améliorer la gestion des débits minimums. Il s'agit de mettre en place des outils permettant de garantir les débits minimums au cours du temps et de moduler les autorisations de prélèvement.

Proposition de recommandation 2 : Améliorer la gestion des débits minimum

Bien que la consommation des Wallons soit nettement inférieure à la moyenne européenne, il convient tout de même de promouvoir une utilisation rationnelle des ressources en eau afin de prévenir le risque d'une baisse de la disponibilité. Cela doit cependant s'accompagner d'une adaptation de la fiscalité de l'eau afin de garantir un financement suffisant de l'entretien des réseaux de distributions, et donc de pérenniser un approvisionnement en eau potable de qualité.

Proposition de recommandation 3 : Promouvoir l'utilisation rationnelle de l'eau et revoir le mode de financement d'entretien des réseaux

6.2 Poursuivre et intensifier les efforts entrepris pour assurer la qualité des eaux souterraines et des eaux de surface.

Le Plan de Gestion Durable de l'Azote semble être l'outil approprié pour maîtriser le risque de pollution par l'azote qui pour rappel constitue la principale altération des eaux souterraines. Le PGDA semble faire ses preuves comme nous l'avons vu précédemment mais ses effets ne se font pas encore sentir partout en raison du temps de transfert qui peut être très long pour certaines nappes. Une nouvelle programmation est en cours, mais il est nécessaire de mieux connaître les effets des précédentes avant de formuler des recommandations d'amélioration du programme. Il est cependant clair que les efforts sont à poursuivre voire à intensifier, et il faut donc veiller à l'application du PGDA afin de diminuer la quantité de nitrates dans l'eau.

Proposition de recommandation 4 : Evaluer et renforcer la lutte contre la pollution azotée

Certaines mesures agroenvironnementales (MAE) et certaines mesures du plan P.L.U.I.E.S visent à lutter contre l'érosion hydrique et donc de diminuer la quantité de polluants qui rejoint les cours d'eau. Il convient donc de poursuivre et d'intensifier la lutte contre l'érosion notamment avec l'aide des MAE ciblées et donc via le secteur agricole.

Proposition de recommandation 5 : Lutter contre la pollution consécutive à l'érosion hydrique

La gestion de la pollution des cours d'eau passe également par la lutte contre les inondations et donc par la gestion des eaux de ruissellement. Le plan P.L.U.I.E.S. constitue à ce titre un bon outil. Il convient donc de veiller à sa bonne application et de l'ajuster si nécessaire en fonction de l'évolution du risque en lien avec les changements climatiques afin de diminuer la quantité de polluants qui rejoint les cours d'eau.

Proposition de recommandation 6 : Lutter contre les inondations

Nous avons vu que la gestion intégrée des masses d'eau souterraines et des masses d'eau de surfaces repose essentiellement sur la mise en œuvre de Plans de Gestion élaborés dans le cadre de la directive cadre européenne sur l'eau (2000/60/CE). Ces Plans de Gestion sont de des outils permettant d'améliorer l'état qualitatif des eaux de surfaces et des eaux souterraines. Or ceux-ci ne permettront pas d'atteindre le bon état de toutes les masses d'eau pour 2015. Il convient donc d'intensifier les efforts afin d'atteindre ces objectifs mais également d'inclure les changements climatiques dans les nouveaux Plans de Gestion prévus pour 2015.

Proposition de recommandation 7 : Atteindre le bon état des masses d'eau

6.3 Axe Transversal

Dans les deux grands axes d'adaptation, il était logique de ne pas préconiser des études difficilement réalisables parce que des outils de gestion (PGDA, plan PLUIES, etc.) et des mesures existent actuellement et qu'il convient dans un premier temps d'évaluer leur efficacité. Il s'agit donc de lancer des études afin opérer cette évaluation et de mettre en place un monitoring efficace. Il importe ensuite de s'approprier les résultats des évaluations pour refixer les objectifs en termes de résultats en fonction de l'évolution du contexte et d'adapter les mesures de façon à permettre l'atteinte de ces objectifs. Le projet Qualvados a déjà permis d'évaluer certains résultats obtenus par la mise en place du PGDA, des projets tels AMICE permettraient de leur côté aussi d'alimenter le suivi et l'évaluation de certaines mesures en indicateurs pertinents.

Proposition de recommandation 8 : Monitoring

6.4 Assurer la coopération transfrontalière

La gestion de certains risques nécessite une coopération transfrontalière. Ceci est particulièrement vrai lorsqu'il s'agit de problématiques liées à l'eau. Afin de désamorcer les conflits d'usage et de gérer durablement les ressources en eau, il conviendra donc d'adapter la gouvernance à la nouvelle donne climatique et d'adopter une approche coordonnée au niveau du bassin hydrographique. Cet aspect devra être pris en considération dans les mesures d'adaptation.

Proposition de recommandation 9 : Adapter gouvernance à la nouvelle donne climatique pour arbitrer les conflits d'usage et adopter une approche coordonnée au niveau du bassin hydrographique

7 Glossaire

Débit médian : médiane des débits mesurés sur une journée (DM journalier), sur une année (DM annuel). La notion de débit médian est utilisée pour caractériser les débits habituels des cours d'eau.

Débit caractéristique d'étiage : débit exceptionnellement faible d'un cours d'eau, qu'il ne faut pas confondre avec les basses eaux saisonnières habituelles, même s'il en est l'exacerbation. Il est calculé sur une longue série (plusieurs années) de débits journaliers classés, débit au-dessous duquel l'écoulement descend dix jours par an. Précaution : Cet indicateur ne permet pas de détecter la durée des périodes de débit exceptionnellement faible qui est un paramètre important à prendre en compte quand on veut mettre en évidence des impacts sur la navigation et surtout, sur l'écosystème. L'indicateur MAM07 du projet AMICE, calculé sur base de moyennes mobiles permet par contre de détecter cette durée.

Le rapport entre DM et DCE est « fonction des caractéristiques du bassin versant mais aussi des possibilités d'alimentation du cours d'eau par les eaux souterraines (profondeur de la nappe, porosité des aquifères...) ».

Lessivage des sols : le lessivage est le transport des éléments solides du sol par les eaux de surfaces (pluie). Ce phénomène a deux conséquences l'appauvrissement et dégradation des sols lessivés (pertes en sol), transport de polluants fixés sur les particules solides du sol.

Lixiviation : En pédologie, la lixiviation désigne l'entraînement de sels solubles vers la profondeur (alors que le lessivage désigne l'entraînement de particules solides, comme les argiles).

Mesures piézométriques : Mesures de hauteur des nappes par forage permettant le suivi des niveaux et l'étendue des nappes.

8 Les sources bibliographiques

BIELDERS, C ; CORDONNIER H ; DAUTREBANDE, S et THIRION, M, (2006), « Lutter contre l'érosion des terres », *Les livrets de l'agriculture*, 12, MRW - DGA, 41 p.

CELLULE AMÉNAGEMENT – ENVIRONNEMENT, (2006), *Les risques majeurs en Région wallonne. Prévenir en aménageant*, MRW - DGATLP, Namur, 317 p.

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

COMMISSION NATIONALE CLIMAT, (2009), Cinquième communication nationale sur les changements climatiques en vertu de la Convention-Cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques, Bruxelles.

GREATER LONDON AUTHORITY, (2010), *The draft climate change adaptation strategy for London. Public consultation draft*, London

INSTITUT ROYAL METEOROLOGIQUE DE BELGIQUE (IRM), (2008), *Vigilance climatique*, Bruxelles.

LAURENT, E., (1985), « Réflexions sur la protection des aquifères karstiques et sur des activités humaines génératrices de karsts accélérés. Les exemples du Tournaisis et de la Gileppe », *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 108 : 125 – 135.

N'DAYEGAMIYE, A., (2007), « La contribution en azote du sol reliée à la minéralisation de la MO : facteur climatique et régies agricoles influençant les taux de minéralisation d'azote », Communication préparée pour la conférence organisée par le Centre de Référence en Agriculture et en Agroalimentaire du Québec (CRAAQ) et l'Ordre des Agronomes du Québec (OAQ) sur l'azote, 2007.

THE DANISH GOVERNEMENT, (2008), *Danish strategy for an adaptation to a changing climate*, Danish Energy Agency, Copenhagen, 48 p.

Sites web

COMMISSION EUROPEENNE, Eurostat, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>, dernière visite le 21 février 2011.

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE, (2006), *Atlas de Wallonie*, <http://sder.wallonie.be/ICEDD/CAP-atlasWallonie2006/>, dernière visite le 15 mars 2011