



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

EAU

Nappes d'eau à risques de sécheresse hydrologique

Rapport méthodologique



ICEDD



LIÈGE université
Climatologie



LIÈGE université
Gembloux
Agro-Bio Tech



LEMA



Jeur



UNIVERSITÉ
DE NAMUR

Pouvoir adjudicateur :



Wallonie



Service public
de Wallonie



ISSeP
Institut scientifique
de service public



JETPACK.AI



Auteurs

Julien HUTZEMAKERS, ULIEGE, j.hutzemakers@uliege.be

Clémence PIRLOT, ULIEGE, clemence.pirlot@uliege.be

Philippe ORBAN, ULIEGE, P.Orban@uliege.be

Serge BROUYERE, ULIEGE, Serge.Brouyere@uliege.be

Aurore DEGRE, ULIEGE, aurore.degre@uliege.be

Comité de relecture

Manu Harchies - mha@icedd.be

Oriane Braconnier – obr@icedd.be

Personne de contact

Julien HUTZEMAKERS, ULIEGE, j.hutzemakers@uliege.be

Photo de couverture : Jonas Jaeken from Unsplash

Gembloux, le 23/12/2024

Comment citer ce rapport

Hutzemakers, J., Pirlot, C., Orban, P., Brouyère, S., Sohier, C., Harchies, M., Degré, A. (2025). *Risques climatiques en Wallonie. Indicateur des nappes d'eau à risques de sécheresse hydrologique dû aux changements climatiques*. Service Public de Wallonie (SPW) - Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC).



Table des matières

1. Introduction.....	4
2. Résumé	4
3. Définition de l'indicateur et périmètre.....	5
4. Matériel et méthode	6
5. Résultats.....	9
6. Discussion.....	14
7. Annexes.....	15

1. Introduction

Ce rapport présente la méthodologie et les résultats de la construction de l'indicateur « Vulnérabilité à la sécheresse hydrogéologique » permettant d'évaluer les risques posés par les changements climatiques en Wallonie pour les ressources en eau souterraine.

En Belgique, les projections climatiques futures moyennes montrent une augmentation de la température estivale de +1,73°C à +4,72°C et une diminution des précipitations estivales de -6% à -17% avec une augmentation du nombre de jours secs consécutifs par 14% à 32% et une augmentation de l'évapotranspiration également située entre 12% et 31% selon les scénarios à +2°C et à +4°C de réchauffement au niveau mondial. Ainsi, les phénomènes climatiques extrêmes comme les sécheresses climatiques seront plus fréquents avec une saisonnalité plus marquée.

Un déficit prolongé de pluie peut avoir un effet sur les ressources en eau souterraine et, à terme, sur les cours d'eau, notamment via la réduction des débits d'étiage. Ces sécheresses hydrogéologiques se caractérisent par une diminution des niveaux d'eau souterraine et des débits d'eau souterraine alimentant les rivières (débits de base). Cela peut alors avoir des conséquences néfastes sur la biodiversité et sur la capacité de distribution de l'eau souterraine. En Belgique, 75% de l'eau de distribution est extraite du sous-sol. En plus d'induire un risque d'augmentation du prix de l'eau, en raison du manque de ressource, d'autres conséquences socio-économiques peuvent être attendues, comme l'augmentation des prix des aliments et la mise en place de restrictions d'usage en eau. Il est à noter qu'en Wallonie, 80% de l'eau captée du sous-sol est dédiée à la distribution publique.

La vulnérabilité de la ressource en eau souterraine à la sécheresse va dépendre du contexte hydrogéologique. Celui-ci est caractérisé par l'ensemble des facteurs influençant la recharge vers les eaux souterraines et la dynamique d'écoulement dans le sous-sol tel que la topographie, la géologie, les propriétés du sous-sol, l'interaction avec des rivières. Mieux comprendre la dynamique d'écoulement et de recharge dans les différentes masses d'eau est une étape essentielle afin d'entreprendre des actions visant à sécuriser un approvisionnement en eau de manière pérenne.

Plusieurs projets sont mis en place en Wallonie afin de pérenniser et sécuriser l'approvisionnement en eau. Par exemple, le Schéma Régional des Ressources en Eau (SRRE, 2022) vise à assurer la pérennité et la diversité des ressources hydriques sur le territoire wallon en impliquant différents opérateurs du domaine de l'eau. De plus, le projet MARWAL, porté par la SPGE, la SWDE et ULiège cherche à évaluer la pertinence et la possibilité de développer la recharge maîtrisée des aquifères (MAR) en Wallonie en vue de stocker de l'eau au sein du milieu souterrain pour la récupérer pour divers usages comme la distribution d'eau.

2. Résumé

Pour étudier l'évolution potentielle des sécheresses hydrogéologiques face aux changements climatiques, une série d'indicateurs ont été développés sur base de scénarios de percolation, flux d'eau quittant le sol pour rejoindre le sous-sol, simulés par le modèle EPICgrid (Sohier, 2011) sous différentes contraintes climatiques. Ces indicateurs sont moyennés à l'échelle de la masse d'eau souterraine et agrégés à des cumuls de 12 mois afin de tenir compte de la dynamique lente d'écoulement dans le sous-sol. Ces indicateurs et leurs évolutions potentielles sont présentés à travers des cartes comparant différentes conditions climatiques à une période de référence 1974-2022. Cette approche percolation a été favorisée à une étude de la piézométrie ou des flux d'eau souterraine, car aucun modèle simulant

les écoulements et les niveaux d'eau souterraine ne couvre la totalité du territoire wallon. Les cumuls de percolation constituent toutefois une première approche adéquate pour visualiser les tendances globales en termes d'évolution des ressources en eau souterraine sur l'ensemble du territoire wallon.

3. Définition de l'indicateur et périmètre

L'étude de l'impact des changements climatiques sur les ressources en eau souterraine devrait se baser sur des données, soit sur les hauteurs piézométriques, soit sur des flux d'eau souterraine. Cette démarche nécessiterait d'avoir des modèles permettant de simuler les niveaux et flux d'eau souterraine sur l'ensemble de la Région wallonne. À l'heure actuelle, des modèles simulant les écoulements d'eau souterraine sont disponibles pour les principales masses d'eau souterraine : les calcaires du bassin nord et sud de la Meuse (RWM011 et RWM012), les calcaires et grès du Condroz (RWM021), les craies du bassin du Geer (RWM040), les calcaires du Tournaisis (RWE060), les calcaires de Soignies – Écaussinnes (RWE013), les craies de la Haine (RWE030) et les grès de la Lorraine belge (RWM092).

Bien que ces modèles couvrent un territoire correspondant aux masses d'eau souterraine les plus exploitées, ils ne recouvrent pas l'ensemble du territoire wallon visé par cette étude. Dès lors, une approche basée sur l'utilisation de l'évolution de la percolation, transfert d'eau quittant le sol pour rejoindre le sous-sol, a été adoptée. Celle-ci repose sur les résultats de simulations de différents scénarios climatiques appliqués au modèle EPICgrid (Sohier, 2011). Ce modèle, couvrant la totalité du territoire wallon, simule les transferts d'eau transitant dans le sol en fonction des contraintes climatiques, du sol et de la végétation avec une résolution d'un kilomètre carré. Naturellement, la percolation n'est pas le seul flux rechargeant les aquifères. En effet, le transfert d'eau depuis d'autres aquifères voisins ou via les rivières perdantes peuvent influencer la dynamique d'écoulement. Cependant, estimer les tendances de la vulnérabilité aux changements climatiques des ressources en eau souterraine en utilisant les données de percolation constitue une première approche satisfaisante, la percolation représentant l'apport d'eau principal vers les aquifères.

La recharge est évaluée à l'échelle des masses d'eau souterraine (MESO), unités de gestion de la ressource en eau souterraine. Cette agrégation permet de s'affranchir de la variabilité locale de la percolation. La valeur calculée par masse d'eau souterraine est la quantité moyenne de percolation arrivant directement sur la masse d'eau souterraine. Pour les masses d'eau de deuxième niveau (c'est-à-dire recouverte pour tout ou en partie par une autre masse d'eau supérieure), la percolation moyenne est calculée sur la partie affleurante de la masse d'eau souterraine. Il est à noter que deux masses d'eau souterraine (RWE060 et RWE080) sont toujours de deuxième niveau. Aucune percolation ne peut dès lors être assignée à celles-ci, et par extension aucun indicateur n'y est calculé. Il existe évidemment des transferts d'eau souterrains qui alimentent ces deux aquifères.

Pour tenir compte de la dynamique plus lente d'écoulement dans le sous-sol et de la variabilité dans les délais d'infiltration à l'échelle de la MESO, les données sont agrégées temporellement sur 12 mois. Le développement des indicateurs est, lui aussi, basé sur le cumul de la percolation sur 12 mois, plutôt que la valeur journalière ou mensuelle.

Les sécheresses hydrogéologiques et leurs potentielles évolutions face aux changements climatiques seront décrites pour chaque masse d'eau souterraine via 4 indicateurs. Les 4 indicateurs sont le cumul moyen de 12 mois de percolation, le cumul minimal de 12 mois de percolation, la durée maximale d'un déficit de cumul de percolation et le rapport entre le volume d'eau extrait de manière anthropique, et celui qui entre via percolation dans la masse d'eau souterraine sur 12 mois. Ce dernier est calculé à partir des données de prélèvement collectées par le SPW, considérées constantes dans le temps. Les

évolutions possibles de volumes captés au cours des saisons ou causées par des changements démographiques et socio-économiques ne sont ici pas étudiées.

4. Matériel et méthode

Scénarios utilisés

En plus des données entre 1974 et 2022 utilisées comme référence, deux scénarios d'émission de gaz à effet de serre du GIEC (SSP3-7.0 et SSP5-8.5) sont utilisés pour trois modèles globaux (MIROC6, MPI-ESM1-2-HR, CMCC-CM2-SR5). Les projections climatiques utilisées sont celles de l'équipe de climatologie de Xavier Fettweis de l'Uliège. Un intervalle de temps au cours duquel les températures mondiales sont 2,3 ou 4 degrés plus importants que lors de la période préindustrielle est identifié pour chaque modèle global. Par exemple, pour le modèle MIROC6, un monde à +2 degrés est simulé entre 2045 et 2074 sous le scénario SSP3-7.0. D'après ce même scénario, le monde continue ensuite de se réchauffer jusqu'à simuler +3 degrés Celsius entre 2071 et 2100. Pour simuler un monde à un degré plus chaud avec le même modèle, il est nécessaire de se baser sur le scénario d'émission plus intense SSP5-8.5 et de considérer la période entre 2081 et 2100. Certains modèles globaux sont plus conservateurs que d'autres et ces intervalles de temps ne sont donc pas identiques. Il en découle que, même si la moyenne des températures est identique pour les trois modèles, les climats simulés diffèrent. Chacun de ces modèles représente plus ou moins bien les phénomènes climatiques à l'échelle mondiale. La prise en compte de plusieurs de ces modèles permet de tenir compte d'une partie de l'incertitude liée aux modèles pour décerner une tendance globale. Les périodes de 30 années durant lesquelles un certain degré de réchauffement est atteint pour les modèles sont données au tableau 1.

Tableau 1. Périodes de 30 années utilisées dans ce projet, représentant les différents scénarios de réchauffement à +2°C, +3°C et +4°C pour les 6 modèles climatiques.

Modèle	2° sur 30 ans (SSP3-7.0)	3° sur 30 ans (SSP3-7.0)	4° sur 20 ans (SSP5-8.5)
CMCC	2024-2053	2048-2077	2060-2079
MPI	2036-2065	2066-2095	2081-2100
MIR	2045-2074	2071-2100	2081-2100

L'évolution des variables climatiques à l'échelle globale est raffinée à l'échelle de la Belgique via le modèle MARv3.14 (Fettweis, 2021). Ensuite, les variables climatiques pour la Wallonie (température, précipitation ...) sont utilisées comme données d'entrée du modèle EPICgrid.

EPICgrid est modèle hydrologique de bassin versant physiquement basé qui permet de fournir l'évolution de différentes variables ayant trait notamment aux ressources en eau (flux vers les eaux de surface et souterraines, stock d'eau dans les sols, ...), aux pressions diffuses d'origine agricole sur les eaux de surface et sur les eaux souterraines (azote, pesticides) et aux flux de sédiments avec un pas de temps journalier et une échelle spatiale de 1km². Il a été développé par l'Axe Echanges Eau- Sol-Plante de Gembloux Agro-Bio Tech (Uliège) (Sohier, 2011). Les données d'entrée utilisées pour la modélisation sont les données climatiques, les données du milieu (topographiques, pédologiques, géologiques, taux de matière organique, ...), les données d'occupation du sol (zones urbanisées, types de cultures, types de forêts, ...), les paramètres de croissance des cultures ainsi que les données relatives aux pratiques agricoles (dates de semis et de récolte, type de travail du sol, quantités de fertilisants organiques et minéraux, ...). La réalisation de simulations prospectives (jusqu'en 2100) a nécessité de réaliser un

certain nombre d'hypothèses liées à l'évolution du climat (hypothèses climatiques) ainsi qu'à l'évolution de l'occupation du sol et des pratiques agricoles (hypothèses agronomiques).

Ce modèle permet ainsi de sortir les bilans hydriques pour l'ensemble de la Wallonie pour les trois scénarios de réchauffement climatiques, à +2, +3 et +4°C et pour la période de référence (10 simulations en tout). Un module est également inclus afin de corriger les biais entre les données climatiques historiques modélisées par chacun des modèles et les données historiques mesurées de l'IRM. Ce biais est ensuite corrigé sur les données modélisées futures afin de pouvoir les comparer avec les données historiques mesurées.

La percolation, quantité d'eau quittant le sol pour rejoindre le sous-sol, est ainsi obtenue pour chaque scénario climatique. Finalement, les données de percolation de l'eau depuis le sol, vers les aquifères, sont analysées pour les 10 simulations, relatives à une température et un modèle global donné.

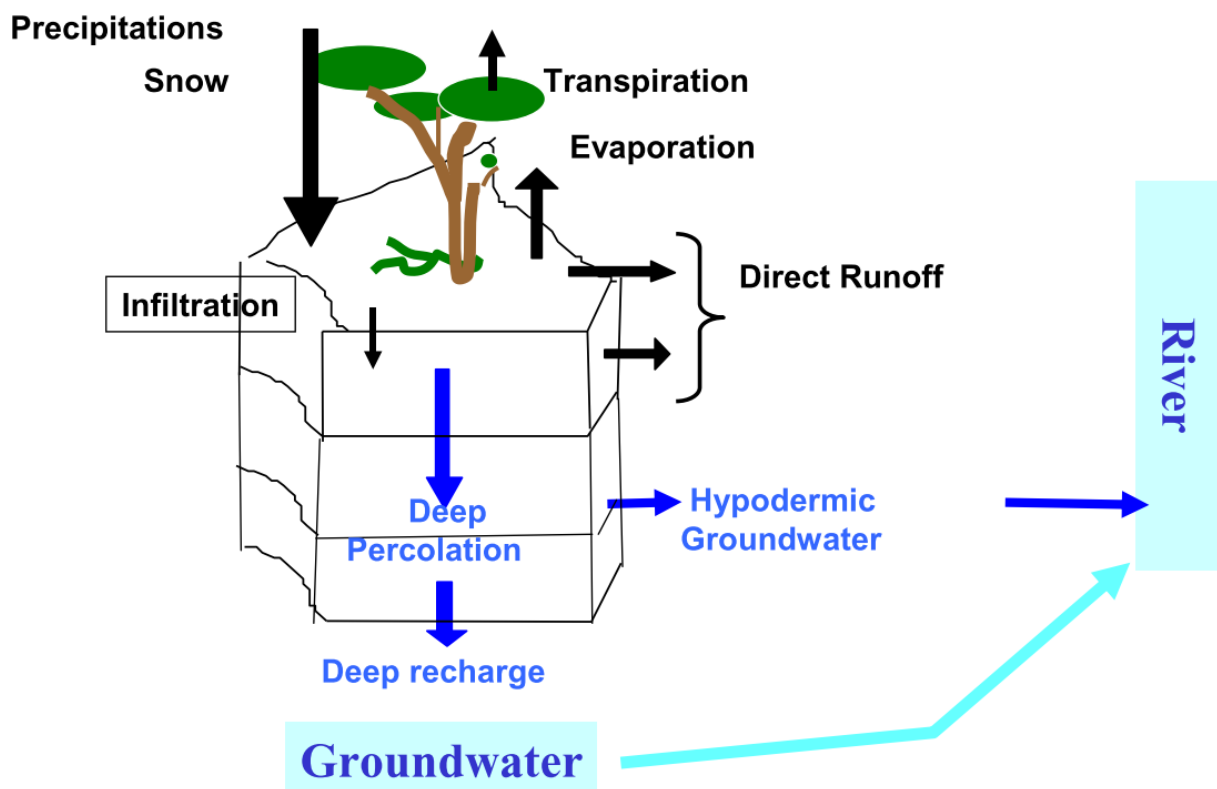


Figure 1. Ensemble des flux d'eau simulés par le logiciel EPICgrid. Illustration reprise de Sohier, 2011.

Construction des indicateurs

Les indicateurs sont développés à partir des cumuls de percolation sur 12 mois. Cela permet de tenir compte de l'effet tampon qu'a le sous-sol sur la dynamique d'écoulement de l'eau. En effet, une période de déficit de percolation prolongée est nécessaire pour affecter les ressources en eau souterraine. Il est à noter que toutes les masses d'eau n'ont pas la même dynamique. Certaines réagissent plus rapidement à un déficit de percolation que d'autres. Le choix de travailler avec des cumuls sur 12 mois constitue un compromis pour représenter l'ensemble de la Wallonie avec une approche commune. Les quatre indicateurs développés pour représenter l'évolution des sécheresses sur les masses d'eau souterraine et le risque d'approvisionnement en eau pour le futur sont calculés comme suit:



- Indicateur 1 : le cumul moyen (recharge moyenne) de percolation sur 12 mois (recharge moyenne) pour la masse d'eau souterraine est calculé pour chaque scénario avec un pas de temps mensuel. Cet indicateur permet d'évaluer si, en moyenne, plus ou moins d'eau rechargera les masses d'eau souterraine.

- Indicateur 2 : le cumul minimal (recharge minimale) de percolation sur 12 mois pour la masse d'eau souterraine est calculé pour chaque scénario avec un pas de temps mensuel. Il permet d'évaluer l'intensité des événements les plus secs simulés dans des conditions climatiques différentes.

- Indicateur 3 : la durée maximale d'un événement anormalement sec continu pour la masse d'eau souterraine est calculée. Afin de déterminer si une valeur de cumul est anormalement sèche d'un point de vue statistique, la même démarche que pour le SPI, Standardized Precipitation Index, a été adoptée pour la percolation (McKee et al., 1993). Ainsi, pour chaque masse d'eau, sur base des données de percolation simulées entre 1974 et 2022, une valeur limite de cumul relative à un SPI de -1 est calculée. Une valeur de cumul plus faible que ce seuil n'est pas rencontrée dans plus de 15% des cas sur la période historique, en faisant un événement anormal d'un point de vue statistique. La valeur de cumul relative à un SPI égal à -1 est unique pour chaque masse d'eau souterraine, car chacune est rechargée différemment. Ensuite, le nombre maximal de mois consécutifs avec un cumul faible est identifié. Ainsi, l'indicateur représente la durée la plus longue simulée avec un déficit de percolation pour chaque scénario. Il est à noter que cet événement long ne coïncide pas toujours avec l'événement le plus intensément sec, décrit par le deuxième indicateur.

- Indicateur 4 : l'indicateur du taux d'exploitation des nappes (risque pour l'approvisionnement). Il s'agit du rapport entre la somme des volumes annuels captés au sein de chaque masse d'eau et le cumul annuel de percolation. Celui-ci est inspiré des indicateurs développés dans le cadre de la convention ESO-ESU (Briers et al., 2016). Bien que d'autres flux existent pour recharger les nappes d'eau souterraine (échanges avec d'autres masses d'eau voisines, avec les rivières), cette valeur comprise en moyenne entre 0 et 1 donne une idée du taux d'exploitation de la plupart des masses d'eau souterraine du territoire. Lorsque celle-ci tend vers 0, les volumes captés deviennent négligeables comparés à la quantité entrant dans le système. Cet indicateur est calculé à partir des données de volumes d'eau souterraine prélevés annuellement au sein de chaque masse d'eau souterraine. Ces données, fournies par le SPW, sont considérées constantes dans le temps. Les évolutions possibles de volumes captés au cours des saisons ou causés par des changements démographiques ou de pratiques agricoles et politiques ne sont ici pas considérées et étudiées.

Les indicateurs sont présentés sous une forme cartographique pour la période de référence de 1974 - 2022 ainsi que leur évolution relative pour les scénarios futurs de +2°C, +3°C et +4°C. Pour tenir compte de la variabilité des trois modèles globaux, les valeurs des indicateurs calculées sur base des données de chacun des trois modèles globaux ont été moyennisées. Si les modèles divergient (un présentait une augmentation tandis qu'un autre présentait une diminution de l'indicateur), l'évolution était considérée comme indéterminée. Si tous les modèles montraient une évolution dans la même direction, la moyenne de cette évolution était calculée. Le coefficient de variation correspond à l'écart-type sur la moyenne des cumuls de percolations et montre la variabilité des prédictions futures entre les 3 modèles globaux. Aussi, afin de mieux observer les scénarios les plus secs, les cartes ont été générées pour les indicateurs issus du modèle le plus déficitaire en termes de percolation, le modèle global CMCC-CM2-SR5.

L'ensemble des calculs ont été réalisés au sein du logiciel MATLAB. Les cartes ont été mises en page sur le logiciel QGIS. Pour les cartes relatives à 1974-2022, les classes sont identifiées sur base des percentiles des valeurs des indicateurs. Pour les cartes d'évolution relative, les classes sont centrées en 0 pour que le code couleur soit cohérent, la taille des classes est constante.

5. Résultats

Les différents indicateurs ainsi que leurs évolutions sont représentés sous forme de cartes. Les résultats sont présentés dans cette section, indicateurs par indicateur.

Indicateur 1 : Cumul moyen (recharge moyenne) de percolation sur 12 mois

La figure 2 montre la recharge moyenne sur 12 mois pour la période de référence de 1974 à 2022.

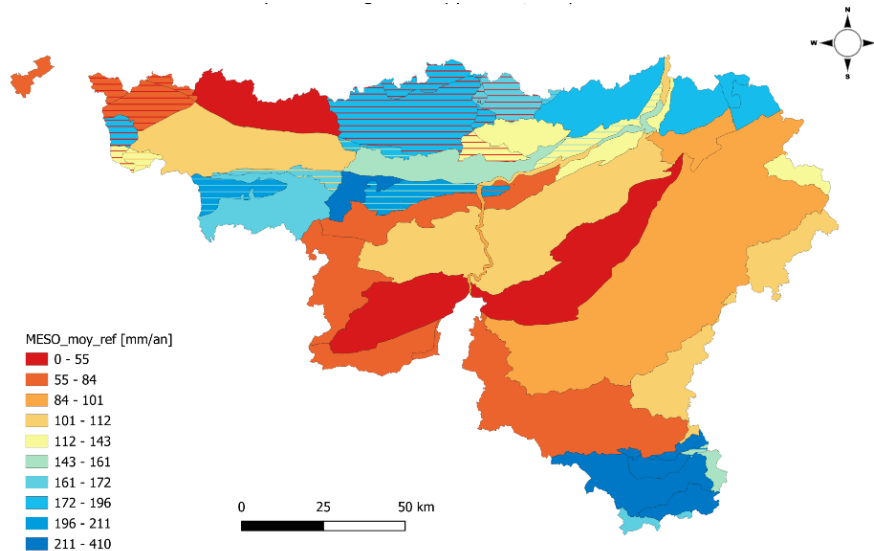


Figure 2. Recharge moyenne de percolation sur 12 mois pour la période de référence de 1974 à 2022.

Les nappes principales se situent dans le nord de la Wallonie ainsi que dans l'extrême sud, au niveau de la Lorraine belge.

La figure 3 représente l'évolution relative du cumul moyen de percolation sur 12 mois en pourcentage d'augmentation ou de diminution, pour le modèle extrême sec CMCC et pour la moyenne des modèles.

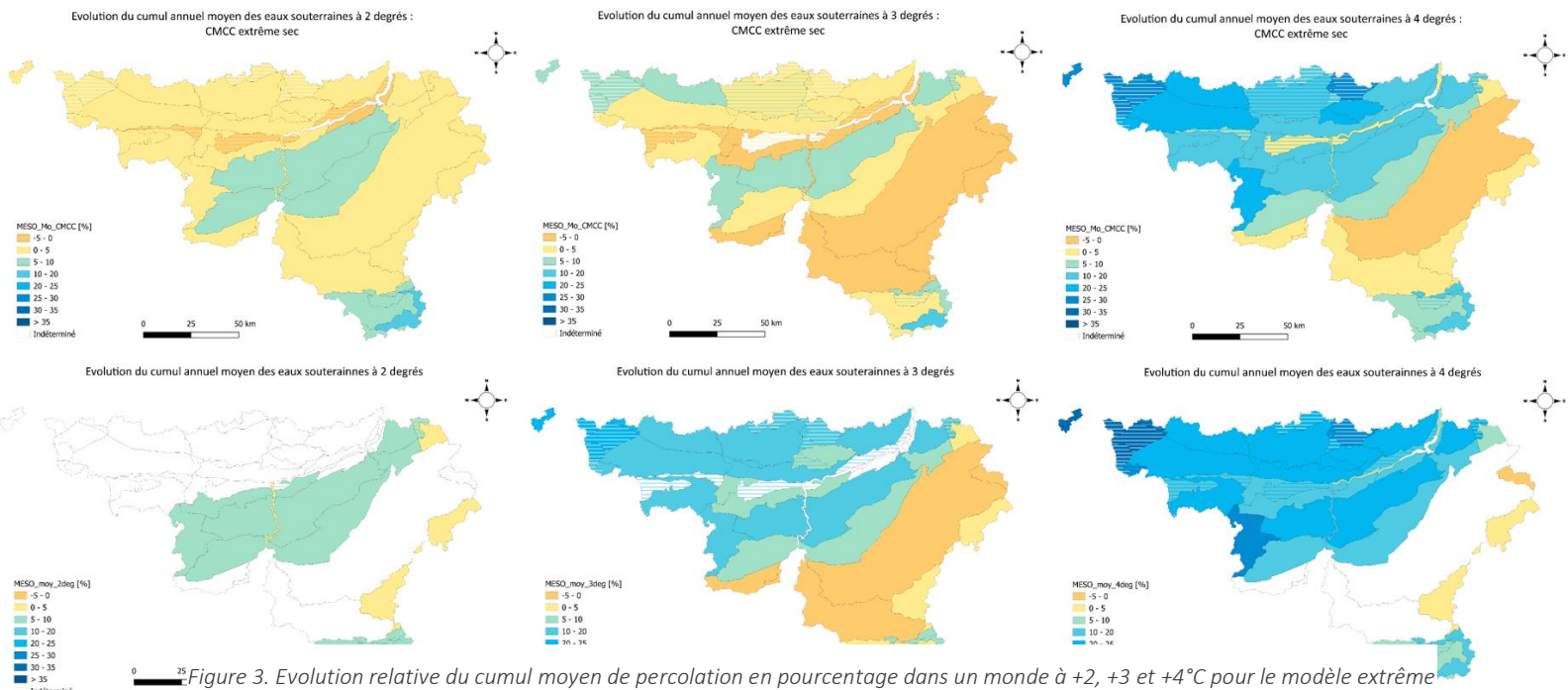


Figure 3. Evolution relative du cumul moyen de percolation en pourcentage dans un monde à +2, +3 et +4°C pour le modèle extrême sec CMCC ainsi que pour la moyenne des modèles.

Si l'évolution du cumul moyen de percolation semble majoritairement indéterminée dans un monde à +2 degrés sur l'ensemble du territoire, la percolation moyenne simulée augmente avec une hausse des températures plus intense. En effet, un air globalement plus chaud peut stocker plus d'eau, et donc augmenter la quantité globale de précipitation. Pour les simulations à +2 et +3°C, une légère augmentation de la percolation moyenne est observée pour les masses d'eau souterraine au centre (notamment la RWM021) et au sud (notamment la RWM092) du territoire. A +4°C, une augmentation du cumul moyen est observée pour l'ensemble du Nord de la Wallonie, où se situe les nappes principalement utilisées pour l'approvisionnement en eau. En Ardenne, les masses d'eau montrent une tendance à la diminution de la percolation. Cette évolution relative risque de ne représenter qu'une faible variation absolue, la percolation moyenne de référence étant faible dans cette région.

Indicateur 2 : Cumul minimal (recharge minimale) de percolation sur 12 mois

La figure 4 montre la recharge minimale sur 12 mois pour la période de référence de 1974 à 2022.

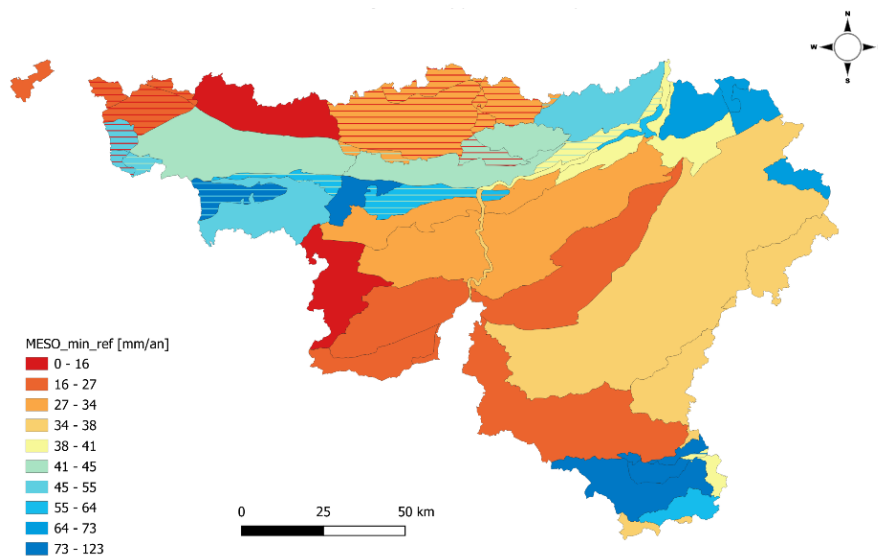


Figure 4. . Recharge minimale de percolation sur 12 mois pour la période de référence de 1974 à 2022.

La figure 5 représente l'évolution relative du cumul minimal de percolation sur 12 mois en pourcentage d'augmentation ou de diminution, pour la moyenne des modèles et pour le modèle extrême sec CMCC.

Le deuxième indicateur permet de montrer que, dans un monde à +2 et +3°C, des événements de sécheresses hydrogéologiques plus intenses peuvent être simulés dans le nord de la Wallonie, près de la frontière avec la Flandre, et moins intense dans le sud. Pour un monde à +4°C, les recharges minimales augmentent fortement sur l'ensemble de la Wallonie, pouvant doubler pour certaines masses d'eau souterraine. De manière générale, on peut considérer que si les cumuls de percolation minimaux vers les nappes augmentent, les masses d'eau souterraine permettront de soutenir l'étiage des cours d'eau plus longtemps en période de sécheresse.

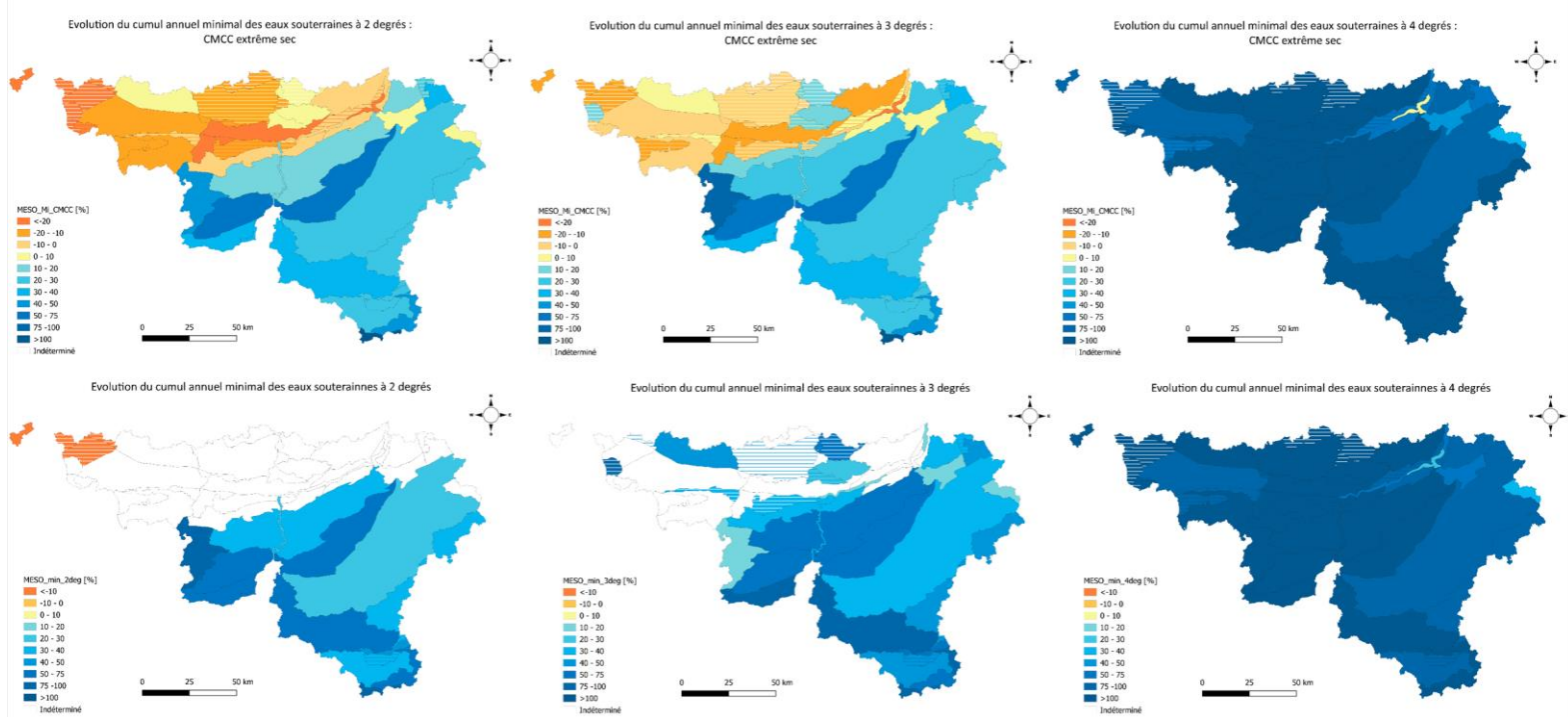
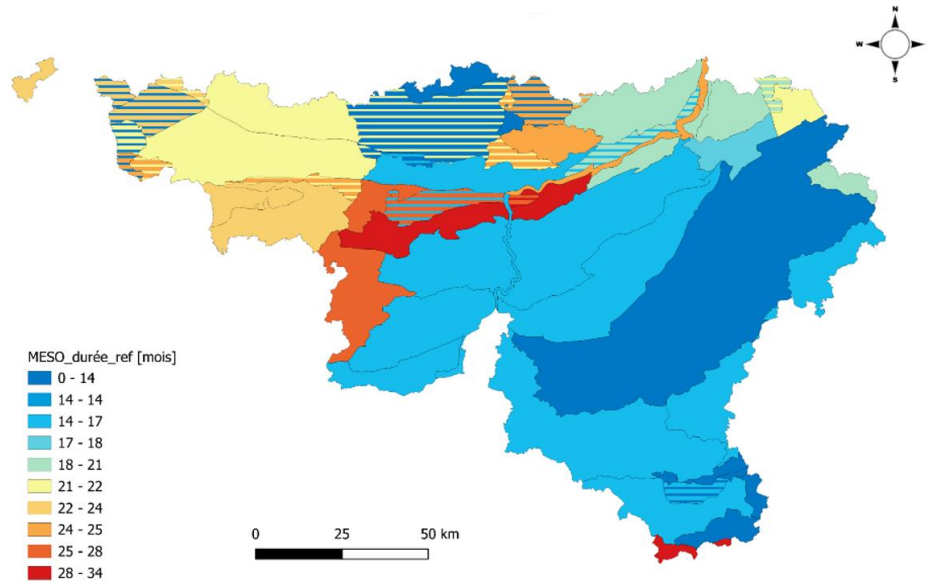


Figure 5. Evolution relative du cumul minimal de percolation en pourcentage dans un monde à +2, +3 et +4°C pour le modèle extrême sec CMCC ainsi que pour la moyenne des modèles.

Indicateur 3 : Durée maximale d'un évènement anormalement sec

La figure 6 montre la durée maximale d'un évènement anormalement sec pour la période de référence de 1974 à 2022.



La figure 7 représente l'évolution relative de la durée maximale d'un évènement anormalement sec en pourcentage d'augmentation ou de diminution, pour la moyenne des modèles et pour le modèle extrême sec CMCC.

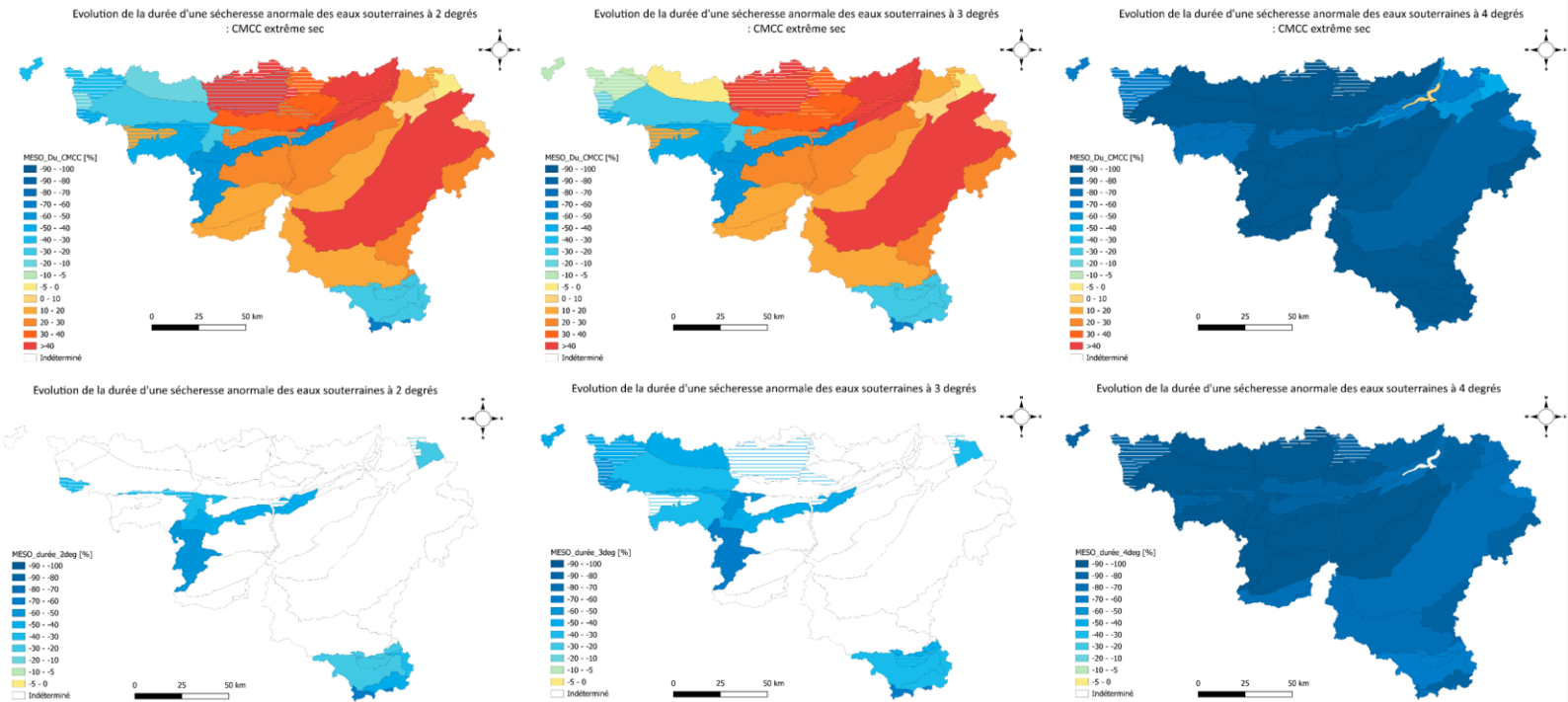


Figure 7. Evolution relative de la durée maximale d'un évènement anormalement sec en pourcentage dans un monde à +2, +3 et +4°C pour le modèle extrême sec CMCC ainsi que pour la moyenne des modèles.

Le troisième indicateur semble montrer plus d'incertitude quant à l'évolution relative du nombre de mois de sécheresse continue pour des scénarios d'augmentation des températures de +2 et +3°C. En effet, la plupart des masses d'eau souterraine présente une augmentation ou une diminution de la durée d'un évènement anormalement sec, selon le modèle global utilisé. Toutefois, dans un monde à +4°C, il semble que les évènements hydrogéologiques considérés comme anormalement secs de ces dernières années pourraient ne plus exister d'ici la fin du siècle. En effet, une diminution de la durée des sécheresses de plus de 70% est observée pour l'ensemble de la Wallonie.

Indicateur 4 : taux d'exploitation des nappes (risques pour l'approvisionnement)

La figure 8 montre les valeurs de l'indicateur relatif au risque pour l'approvisionnement des nappes sur la période de référence.

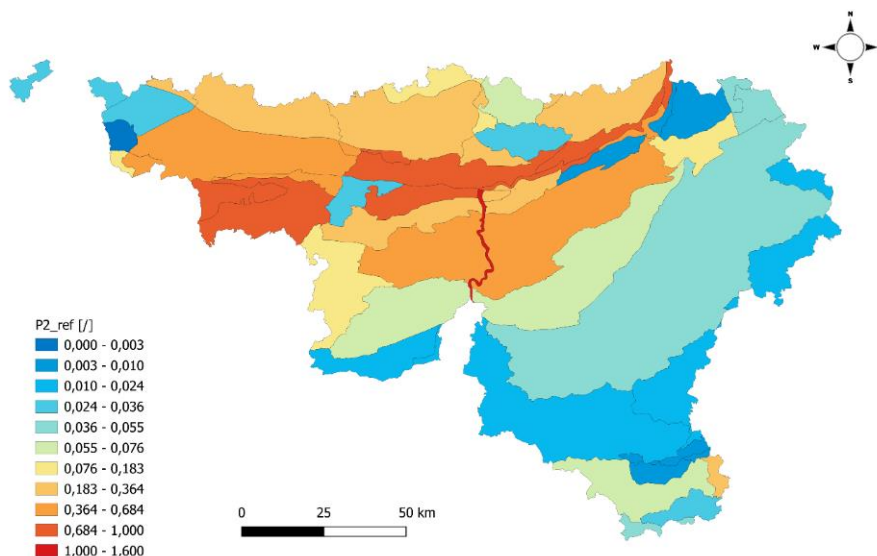


Figure 8. Risques pour l'approvisionnement des nappes pour la période de référence de 1974 à 2022.

La figure 9 représente l'évolution relative du risque pour l'approvisionnement des nappes en pourcentage d'augmentation ou de diminution, pour la moyenne des modèles et pour le modèle extrême sec CMCC

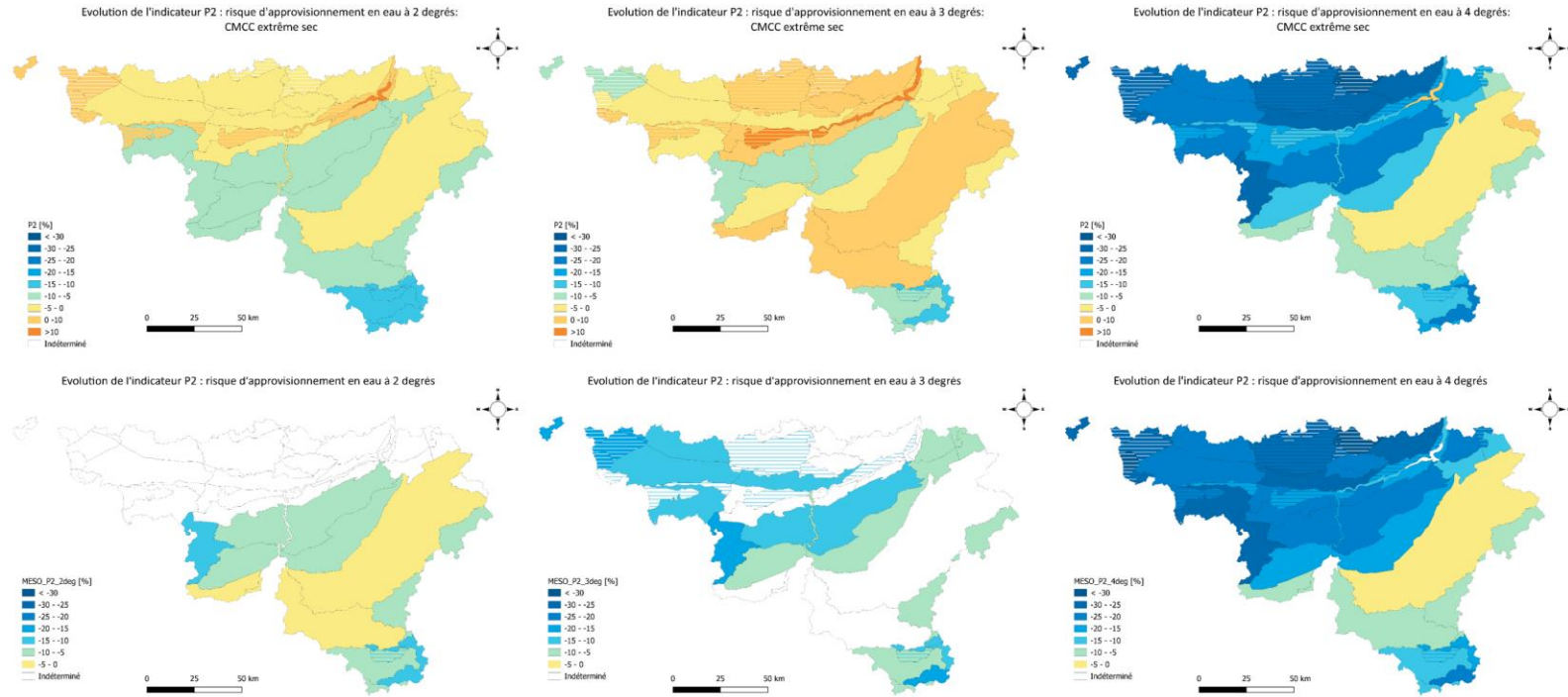


Figure 9. Evolution relative du risque pour l'approvisionnement en pourcentage dans un monde à +2, +3 et +4°C pour le modèle extrême sec CMCC ainsi que pour la moyenne des modèles.

Enfin, en comparant le premier et le quatrième indicateur pour la période de référence, il est possible d'observer que les masses d'eau souterraine généralement plus exploitées sont aussi celles avec la percolation moyenne la plus élevée. En effet, une recharge plus élevée est attendue dans les roches les plus perméables, attractives pour l'exploitation de la ressource. Avec l'augmentation de la percolation moyenne attendue (cfr. Indicateur 1), les ressources en eau souterraine de ces masses d'eau semblent être en moyenne moins sous pression. Il est toutefois important de rappeler que l'indicateur s'intéresse au taux d'exploitation moyen des masses d'eau souterraine et que les débits prélevés des masses d'eau souterraine sont considérés constants pour calculer l'indicateur. Il est possible que les sécheresses édaphiques induisent une augmentation des captages agricoles pour subvenir aux besoins, notamment via des méthodes d'irrigation.

La figure 10 montre le coefficient de variation pour la recharge moyenne dans un monde à +2, +3 et +4°C.

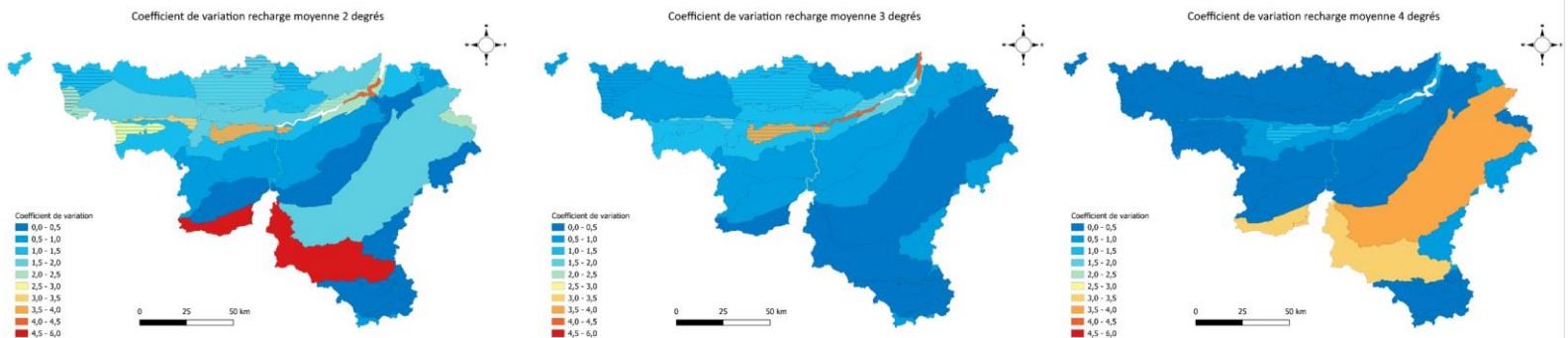


Figure 10. Coefficient de variation de la recharge moyenne des masses d'eau souterraine pour un monde à +2, +3 et +4°C.

Le coefficient de variation montre une plus grande dispersion des modèles pour le scénario de réchauffement à +2°C, allant jusque plus de 6 au niveau de la masse d'eau RWM103. Ce coefficient de variation plus élevé est dû à une opposition des modèles pour ces zones. Le coefficient de variation diminue dans un monde à +3°C par rapport à +2°C. A +4°C, il diminue encore en montrant une plus grande convergence des modèles avec des valeurs en dessous de 1 pour la majorité de la Wallonie. Seules les masses d'eau souterraine en Ardennes montrent une divergence des modèles. La variabilité entre les modèles climatiques reflète leur capacité à représenter la variabilité interannuelle, qui prédomine dans un monde à +2°C. En revanche, lorsque les scénarios tendent vers un monde à +4°C, l'augmentation des températures, et donc de l'évapotranspiration potentielle (ETP), devient le facteur dominant. Cela réduit les divergences entre les modèles climatiques, un effet qui se répercute ensuite sur les modèles hydrologiques.

6. Discussion

Cette étude se base sur l'évolution de la percolation vers les masses d'eau souterraine en fonction des changements climatiques. Dans ce cadre, la percolation est prise comme un indicateur de la vulnérabilité des masses d'eau (élément exposé) à la sécheresse hydrogéologique (risque). Il existe cependant d'autres flux entrants dans les masses d'eau souterraine, notamment via les limites entre masses d'eau souterraine et entre les rivières et la nappe. Si la percolation venait à diminuer, ces autres flux pourraient, à terme, aussi diminuer ce qui pourrait également influencer la vulnérabilité des masses d'eau au risque climatique. Des modèles d'écoulements souterrains pourraient apporter une meilleure compréhension de la dynamique des eaux souterraines, en représentant à la fois les niveaux et flux d'eau souterraine.

Les résultats semblent montrer des augmentations du cumul moyens et minimaux de percolation et une diminution des périodes de sécheresse et du risque d'approvisionnement en eau pour les scénarios climatiques à +4°C.

Pour les scénarios à +2 et +3°C, plus probables considérant les décisions sociologiques, économiques et politiques mondiales, bien qu'ils semblent montrer une légère augmentation des ressources moyennes, les résultats sont plus contrastés en fonction du modèle global évalué. Il convient donc de rester prudent sur l'interprétation de ces résultats. Il semble néanmoins que la masse d'eau souterraine RWM100, en Ardenne, présente la plus grande vulnérabilité au risque de sécheresse hydrogéologique. En effet, du fait de sa géologie et de sa couverture, la plupart des modèles présente de faibles percolations moyenne et minimale sur la période de référence, et une diminution de celles-ci dans la plupart des scénarios à +2 et +3°C. Lors de la sécheresse de 2017, plusieurs communes ont déjà pris des mesures quant à l'utilisation de l'eau dans cette région. Il est possible que ces scénarios présagent d'un besoin d'intervention à l'avenir. Il est toutefois à noter qu'une faible densité de population soit présente en Ardenne et que le réseau de distribution en eau rend la ressource de plus en plus globale à l'échelle de la Wallonie ce qui pourrait constituer des éléments diminuant la sensibilité au risque de cette masse d'eau.

Aussi, comme tout outil de modélisation, ces cartes reposent sur des hypothèses et dépendent de la qualité des modèles climatiques utilisés. En effet, le modèle MARv3.14 reproduit relativement bien les climats de Belgique de manière globale. Celui-ci est cependant tributaire des prédictions d'émission de gaz à effet de serre et des différents modèles globaux plus ou moins conservateurs. De plus, le modèle EPICgrid qui permet de représenter les flux d'eau s'écoulant à travers le sol repose également sur une série d'hypothèses. La discrétisation des sols représentant une valeur par km², et le fait que la capacité de ces sols à infiltrer l'eau ne va pas évoluer dans le temps constituent des hypothèses nécessaires pour



la modélisation à cette échelle. Il est important de noter que les résultats présentés reposent sur une capacité d'infiltration inchangée. Toute imperméabilisation ou toute dégradation de la capacité d'infiltration du sol (compaction, perte de matière organique, diminution des surfaces en végétation permanente, ...) les impacterait potentiellement fortement.

De plus, le choix de travailler à base de cumuls de 12 mois permet de tenir compte de l'effet tampon du sous-sol avec le même indicateur sur l'ensemble du territoire. Il est toutefois important de noter que tous les systèmes hydrogéologiques ne répondent pas avec la même dynamique face à un événement extrême. Par exemple, la couverture limoneuse du plateau de Hesbaye induit un écoulement lent de la percolation vers les sous-sols. En revanche, des calcaires fortement karstifiés rencontrés dans le Condroz en font un système très réactif avec des écoulements plus rapides.

Enfin, les volumes captés dans chaque masse d'eau souterraine sont considérés constants. Les évolutions possibles de volumes captés au cours des saisons ou causées par des changements démographiques et politiques ne sont ici pas développées pour s'intéresser à l'impact direct des changements climatiques.

Tous les éléments qui viennent d'être cités (La couverture, la capacité d'infiltration, la saisonnalité, les changements démographiques et politiques, ...) constituent d'autres paramètres pouvant influencer la vulnérabilité des masses d'eau au risque. Pour décider efficacement ou intervenir en priorité, ces paramètres doivent également être pris en compte.

7. Annexes

7.1. Bibliographie

Indicateur P2 : Briers, P., Orban, P., Brouyère, S., 2016, Délivrable D4.1 Développement d'indicateurs des interactions entre eaux souterraines et eau de surface, Caractérisation complémentaire des masses d'eau dont le bon état dépend d'interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines (ESO-ESU), <https://hdl.handle.net/2268/195406>.

Indicateur SPI: McKee, T.B., Doesken, N., Kleist, J., 1993, THE RELATIONSHIP OF DROUGHT FREQUENCY AND DURATION TO TIME SCALES, Eight Conference on Applied Climatology, Anaheim California.

Modèle EPICgrid SPW: Sohier, C. 2011. Développement d'un modèle hydrologique sol et zone vadose afin d'évaluer l'impact des pollutions diffuses et des mesures d'atténuation sur la qualité des eaux en Région wallonne.

Modèle MAR : Fettweis, X., 2021, Regional climate modelling with the MAR model, MODELE tridimensionnel ATMOSPHERIQUE à l'échelle REGIONALE, y Hubert Gallée (LGGE, Grenoble, France), 5 octobre 2021.

SRRE, 2022, Etat de l'environnement wallon, [Schéma régional des ressources en eau - Etat de l'environnement wallon](#), 15 février 2022.



Institut de Conseil et d'Études en Développement Durable asbl

Boulevard Frère Orban 4
B-5000 NAMUR
00 32 81 25 04 80
www.icedd.be
icedd@icedd.be

N° registre de commerce : sans objet
N° TVA : BE0407.573.214
Représenté par : Gauthier Keutgen, Secrétaire Général
N° de compte bancaire : BE59 5230 4208 3426 / BIC TRIOBEBB