

Hydrogéologie du bassin du Hoyoux

Pierre BRIERS, Pierre JAMIN, Ingrid RUTHY, Philippe ORBAN & Serge BROUYÈRE
Groupe d'Hydrogéologie et de Géologie de l'Environnement, Université de Liège

Introduction – Contexte hydrogéologique général

Les eaux souterraines du bassin du Hoyoux constituent une ressource de première importance. De nombreux captages y sont implantés pour l'alimentation en eau potable des zones avoisinantes mais également de la région bruxelloise. Ce bassin

a donc fait l'objet de nombreuses études au cours des dernières années, notamment grâce aux financements octroyés par le Service Public de Wallonie et la Société Publique de Gestion de l'Eau. En particulier, le projet Synclin'Eau (Brouyère *et al.*, 2009a, b et c) a fourni une caractérisation hydrogéologique régionale des aquifères calcaires et gréseux du Synclinorium de Dinant,

au sein desquels l'essentiel du bassin du Hoyoux est situé (Figure 1). Plus récemment, le projet ESO-ESU (Brouyère *et al.*, 2016) a permis d'étudier de manière plus détaillée les interactions entre les eaux souterraines et les cours d'eau au sein de plusieurs sous-bassins versants du Hoyoux. Les principaux résultats de cette étude obtenus sur le sous-bassin du Triffroy font l'objet d'un chapitre spécifique (Briers *et al.*, ce volume). Enfin, de manière plus générale, le projet de la Carte hydrogéologique de Wallonie a synthétisé l'état des connaissances hydrogéologiques par cartes au 1/25 000. Le bassin du Hoyoux s'étend sur plusieurs cartes hydrogéologiques : 48/7-8 Modave-Clavier, 48/3-4 Huy-Nandrin, 48/5-6 Gesves-Ohey, 54/3-4 Maffe-Grandhan, 54/1-2 Natoye-Ciney, 48/1-2 Andenne-Couthuin (cartes classées selon leur emprise dans le bassin). Cet article est une synthèse des informations acquises lors de ces différentes études.

Le Hoyoux et ses affluents recoupent les formations géologiques du Paléozoïque depuis l'Ordovicien jusqu'au Carbonifère (voir Marion *et al.*, ce volume). D'un point de vue hydrogéologique (Figure 2), le bassin peut être divisé en deux zones.

Au sud, en amont de Roiseux, localité à la confluence avec

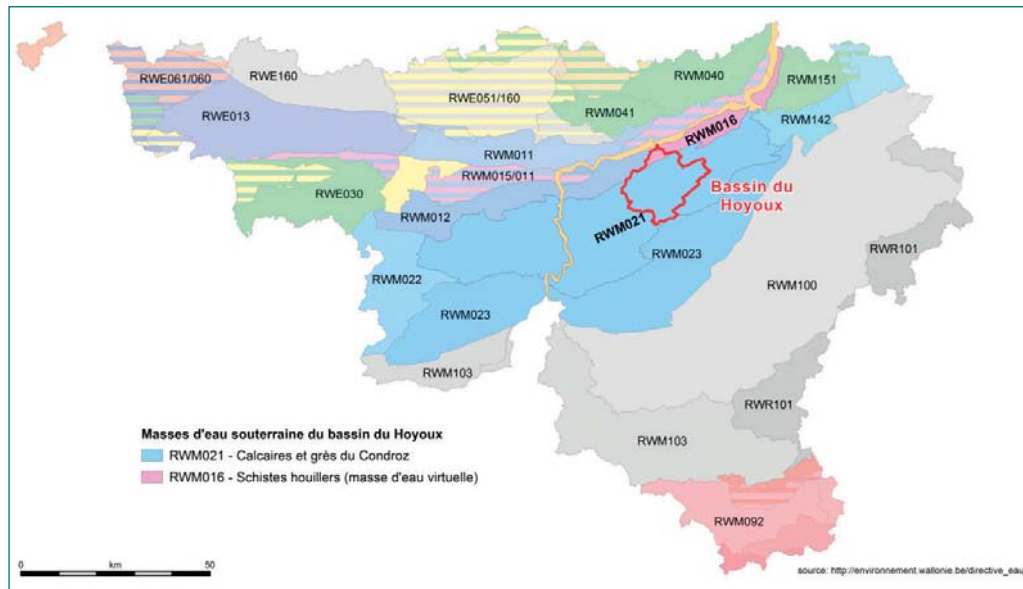


Fig. 1 – Masses d'eau souterraine de Wallonie – Localisation du bassin du Hoyoux.

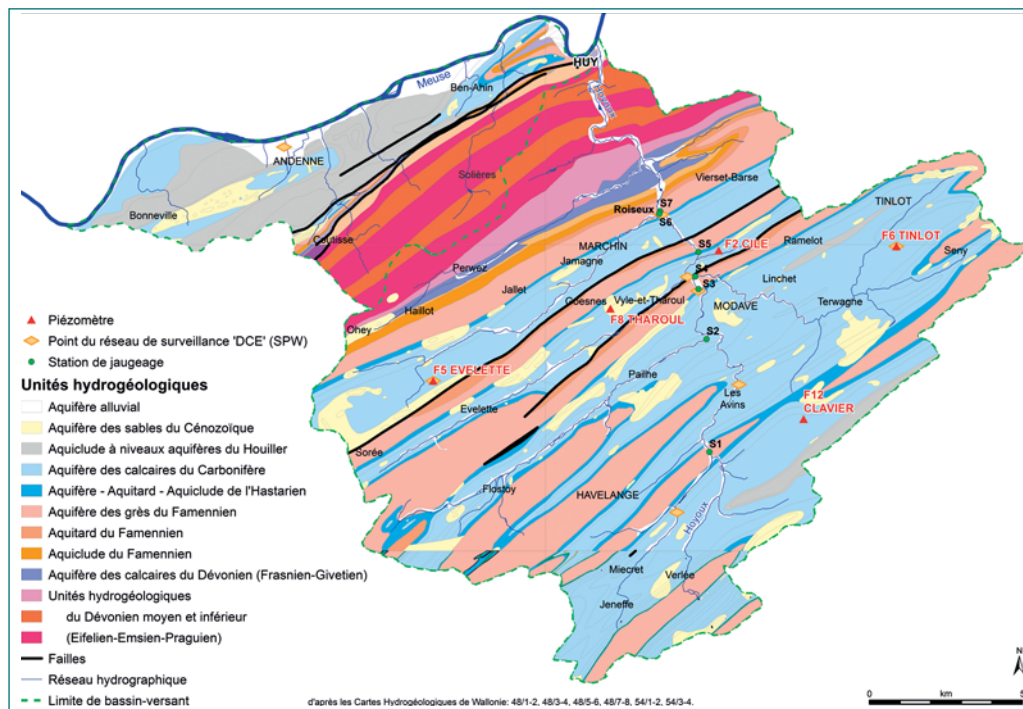


Fig. 2 – Unités hydrogéologiques du bassin du Hoyoux et localisation des stations de jaugeage, des piézomètres du réseau Piez'Eau et des points de mesure du réseau de surveillance « DCE ». Cette figure du contexte hydrogéologique du bassin hydrographique du Hoyoux est une compilation de six cartes hydrogéologiques. Ces cartes étant basées sur des cartes géologiques d'époques, d'échelles et d'auteurs différents, quelques discontinuités entre unités hydrogéologiques en bordure des cartes sont donc visibles.



Le Triffoy, le bassin est principalement constitué des formations aquifères du Carbonifère et du Famennien. Le schéma hydrogéologique général de cette partie se présente comme suit. La région est constituée d'une succession de plis synclinaux dont les cœurs sont formés par des calcaires du Carbonifère et plus rarement par des schistes et grès du Houiller, et de plis anticlinaux formés généralement par des grès du Famennien. A la base des calcaires carbonifères, des shales (dénommés localement schistes du Pont d'Arcole de l'Hastarien) constituent des barrières hydrogéologiques peu perméables séparant les aquifères des calcaires carbonifères des aquifères des grès fameniens. Au nord du bassin, en aval de Roiseux, les formations géologiques schisto-gréseuses sont moins perméables à l'exception des niveaux calcaires du Frasnien et du Givétien.

Les potentialités aquifères, et par conséquent les principaux captages, se trouvent essentiellement dans la partie sud du bassin du Hoyoux (amont de Roiseux) dans les formations des calcaires du Carbonifère et des grès du Famennien. Les informations fournies dans cet article concerneront donc principalement cette partie du bassin. Le fonctionnement hydrologique et hydrogéologique du bassin sera décrit à la fin de l'article sur base de l'ensemble des informations et données discutées dans le texte.

Aspects quantitatifs

Bilans hydrologiques

Dans le cadre des projets Synclin'EAU (Brouyère *et al.*, 2009b) et ESO-ESU (Schmit *et al.*, 2016), une série de bilan hydrogéologiques ont été réalisés dans le but d'estimer les ressources en eau souterraine disponibles et de mettre en évidence des échanges entre bassins hydrologiques. La connaissance des différents termes du bilan est donc primordiale pour une gestion efficace et durable des ressources en eau du bassin. Ces bilans ont été réalisés tant au niveau du bassin du Hoyoux qu'au niveau des sous-bassins délimités par ses affluents.

Le bilan hydrologique a été calculé pour l'ensemble du bassin du Hoyoux correspondant à la station de Roiseux pour la période 1983 à 2007 (Tableau 1) en négligeant les variations de réserves ($\Delta R = \Delta S = 0$). Ce bilan donne les valeurs annuelles moyennes suivantes :

Tableau 1 : Bilan hydrologique du bassin du Hoyoux à la station de Marchin pour la période de 1983 à 2007

P	=	ETR	+	Q _{exutoire}	+	Q _{captage}	+	$\epsilon_{fermeture}$
924 mm	=	529 mm	+	240 mm	+	115 mm	+	38 mm
100 %	=	57 %	+	26 %	+	13 %	+	4 %

L'évapotranspiration réelle (ETR) sur le bassin du Hoyoux atteint 57 % des précipitations (P). Cette évapotranspiration réelle correspond à la quantité d'eau retournant vers l'atmosphère suite à l'évaporation et la transpiration des plantes. Elle est calculée sur base des paramètres climatiques enregistrés dans le bassin et d'un modèle hydrologique. Les 43 % restant correspondant à l'eau utile (EU) qui est l'eau qui alimente le ruissellement à la surface du sol et l'infiltration vers l'eau souterraine. La lame d'eau écoulee à l'exutoire du bassin (Q_{exutoire}) représente

26 % des précipitations. Les volumes d'eau exportés (Q_{captage}) en dehors des limites du bassin suite aux prélèvements d'eau s'élèvent à 13 % du total des pluies annuelles et à 29 % de l'eau utile. L'erreur de bilan ($\epsilon_{fermeture}$) correspond à la différence entre les flux entrants (précipitations) et les flux sortants (autres termes du bilan). Ce terme est faible (4 %), ce qui indique qu'il y a vraisemblablement peu de transfert d'eau souterraine vers ou en provenance des bassins voisins du Hoyoux (Bocq, Samson, Ourthe) et donc que le bassin est relativement fermé du point de vue hydrogéologique.

Afin d'avoir une idée des échanges souterrains au sein du bassin du Hoyoux, des bilans similaires ont été réalisés à l'échelle des sous-bassins et des affluents du Hoyoux. La Figure 3 reprend une synthèse des termes (à l'exception de P et ETR considérés comme constant pour l'ensemble de la zone) des différents bilans hydrologiques historiques effectués de 1987 à 2007 et des bilans hydrogéologiques effectués pour les années 2006-2007 et 2013-2014. Ces bilans ont permis de mettre en évidence des échanges d'eau souterraine très importants via les synclinaux calcaires au travers des frontières de certains des sous-bassins hydrologiques du Hoyoux. A titre indicatif, les débits moyens sont repris au Tableau 2.

Tableau 2 : Débit moyen calculé aux différentes stations de jaugeage situées dans le bassin du Hoyoux

Station	Rivière	Débit (L/s)
S1	Hoyoux à Petit Avin	305
S2	Pailhe	196
S3	Hoyoux à Modave	756
S4	Torrent de Bonne	27
S5	Hoyoux à Limet	966
S6	Triffoy	151
S7	Hoyoux à Roiseux	1847

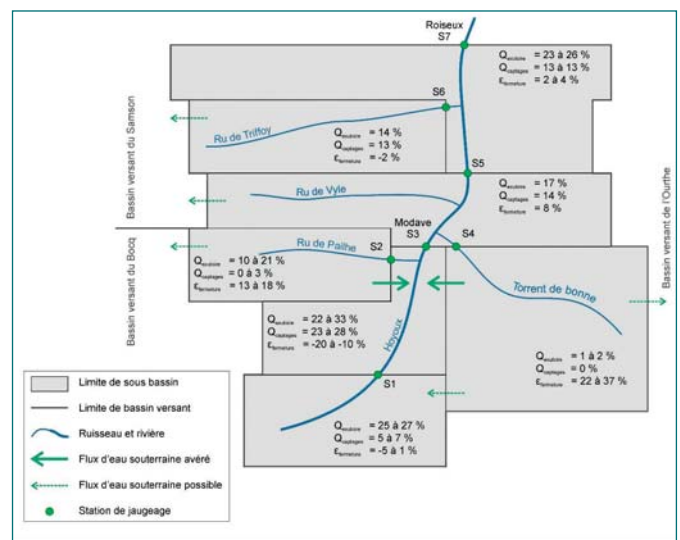


Fig. 3 – Schéma synoptique des sous-bassins des affluents du Hoyoux. Les termes des différents bilans hydrologiques réalisés pour tout le bassin situé en amont de la station considérée de chaque bassin sont repris en pourcentage des précipitations. Un flux d'eau souterraine important traverse les frontières hydrologiques des bassins du Ru de Pailhe et du Torrent de Bonne via le synclinal calcaire de Modave pour alimenter directement de Hoyoux. D'autres échanges plus faibles peuvent se produire vers les bassins du Bocq, du Samson et de l'Ourthe.

Ainsi, le bassin du Hoyoux Amont, limité à la station de Modave (S3), présente un excès d'écoulement à l'exutoire (flux sortants > flux entrants) traduisant un apport d'eau important via le milieu souterrain. A l'inverse, le bassin du Torrent de Bonne (S4) est quant à lui nettement déficitaire (flux sortants < flux entrants) traduisant des exports d'eau via le milieu souterrain. Ces deux bassins sont connectés entre eux via différents synclinaux calcaires. Le calcul des bilans à l'échelle des sous-bassins a permis de mettre en évidence les transferts importants d'eau souterraine du Torrent de Bonne vers le Hoyoux Amont. La présence des captages gravitaires, à une cote altimétrique proche de celle du Hoyoux, à Modave n'explique pas ces échanges souterrains. Le niveau de base de la nappe est imposé par le Hoyoux à une cote topographique plus basse que celle du Torrent de Bonne, ce qui en fait donc une rivière perchée.

De manière contrastée, le bilan réalisé pour le bassin du Triffoiy montre que celui-ci fonctionne comme un système quasiment fermé (flux entrants équivalents aux flux sortants). Ceci traduit le fait qu'il n'existe vraisemblablement quasiment pas d'exports d'eau depuis le bassin du Triffoiy vers le Hoyoux via le milieu souterrain, le Triffoiy drainant quasiment l'ensemble des eaux souterraines circulant dans son bassin d'alimentation (voir encart 3A. Triffoiy).

Piézométrie et recharge de la nappe

Dans le bassin du Hoyoux, les fluctuations annuelles des niveaux d'eau souterraine dans les nappes calcaires présentent des amplitudes de 3 à 15 m (Figure 4). L'amplitude de ces variations est notamment fonction de l'emplacement du point de mesure dans le bassin hydrogéologique ainsi que de la profondeur de la nappe (la nappe réagissant plus vite aux précipitations quand elle est peu profonde).

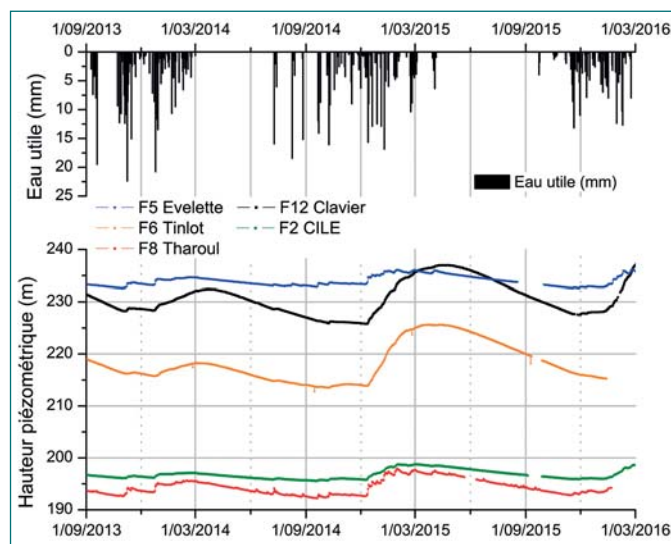


Fig. 4 – Evolution de la piézométrie au sein du bassin du Hoyoux sur base des données du site web « Piez'EAU ».

La disponibilité en eau utile se limite principalement à la période qui encadre l'hiver (soit d'octobre à avril). Durant cette période, les nappes d'eau souterraine sont rechargées et on observe une remontée générale des niveaux piézométriques. La dynamique de la nappe est, en général, assez rapide, avec une hausse des niveaux piézométriques synchronisée avec les périodes de disponibilité de l'eau utile.

La faible densité du réseau piézométrique et l'hétérogénéité du milieu géologique ne permettent pas de tracer des cartes piézométriques précises des aquifères du bassin du Hoyoux. Néanmoins, grâce aux mesures ponctuelles disponibles et en intégrant les informations sur les transferts d'eau entre sous-bassins dérivées des bilans hydrogéologiques, les directions principales d'écoulement ont pu être identifiées et cartographiées dans les aquifères calcaires (Figure 5).

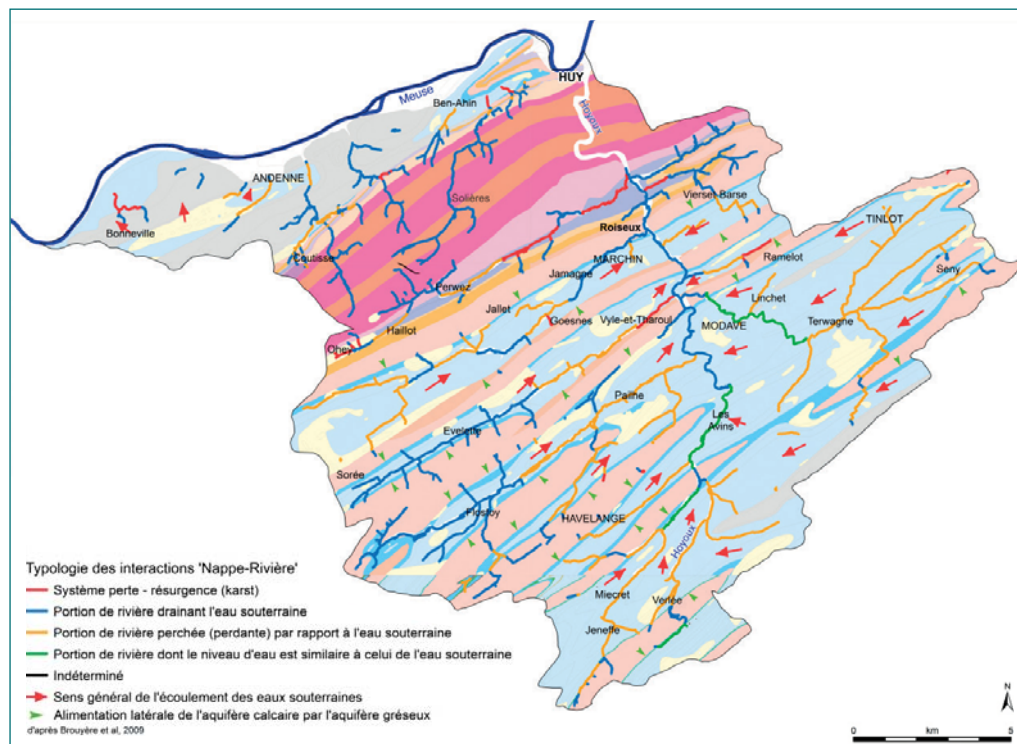


Fig. 5 – Directions principales des écoulements souterrains dans le bassin du Hoyoux et modes d'interactions entre les rivières et les eaux souterraines (Brouyère et al., 2009c) ; les écoulements souterrains sont transversaux au niveau des crêtes gréseuses et longitudinaux au niveau des calcaires.

La faible densité du réseau piézométrique et l'hétérogénéité du milieu géologique ne permettent pas de tracer des cartes piézométriques précises des aquifères du bassin du Hoyoux. Néanmoins, grâce aux mesures ponctuelles disponibles et en intégrant les informations sur les transferts d'eau entre sous-bassins dérivées des bilans hydrogéologiques, les directions principales d'écoulement ont pu être identifiées et cartographiées dans les aquifères calcaires (Figure 5). Au niveau des anticlinaux gréseux, les écoulements souterrains sont transversaux aux couches, en direction des fonds de vallées. Des sources émergent aux contacts de formations de perméabilités différentes et s'infiltrent à nouveau dans les calcaires où les écoulements souterrains sont globalement parallèles aux axes des synclinaux, en direction du Hoyoux. Les mesures piézométriques locales combinées à des mesures de débits réalisées le long des cours d'eau ont également permis d'identifier ou de présumer les interactions entre les nappes d'eau souterraine et les rivières (Brouyère et al., 2009c, Briers et al., 2016a). Quatre systèmes d'échange ont été identifiés (Figure 5) :

- 1) Système drainant : dans ce cas, le niveau d'eau est plus élevé dans la nappe d'eau souterraine et celle-ci alimente le cours d'eau, contribuant à maintenir un débit dans la rivière. Ces systèmes sont principalement observés dans les formations les moins perméables et dans les secteurs situés à l'aval des cours d'eau. La qualité des eaux du cours d'eau est dans ce cas également influencée par la qualité des eaux souterraines.
- 2) Système perdant : dans ce cas, le niveau d'eau dans le cours d'eau est plus élevé que le niveau de la nappe et le cours d'eau alimente la nappe. Dans ce cas, puisque l'eau souterraine n'alimente pas le cours d'eau, son débit dépend essentiellement du ruissellement, d'apports venant de l'amont hydrologique et de rejets anthropiques (ex : eaux usées). Ces cours d'eau sont généralement non permanents et souvent de qualité chimique moindre.
- 3) Système où le niveau de la nappe est similaire à celui de la rivière : les fluctuations de la nappe (hautes eaux – basses eaux) et du ruisseau (crues ou étiages) font en sorte que le sens des échanges peut être variable, de la nappe vers le cours d'eau ou du cours d'eau vers la nappe.
- 4) Système perte-résurgence : dans les zones karstiques, le cours d'eau peut présenter des sections où l'essentiel des écoulements sont souterrains et d'autres sections où ces écoulements ont lieu à la surface du sol. Les pertes correspondent aux points d'entrée des eaux de surface dans le milieu souterrain et les résurgences correspondent à leur réapparition en surface. D'un point de vue qualitatif, en cas de pollution des eaux de surface, la qualité des eaux souterraines peut être directement altérée par les polluants venant de la surface, en l'absence de filtration ou de dégradation suffisantes. Ces systèmes constituent donc des zones où l'intrusion d'un polluant dans la nappe peut être très rapide.

Qualité des eaux souterraines dans le bassin du Hoyoux

Composition chimique naturelle des eaux souterraines

Différentes campagnes d'échantillonnages ont été réalisées dans le bassin du Hoyoux lors de projets de caractérisation évoqués précédemment. De plus, les captages font l'objet d'analyses régulières de la part des producteurs d'eau et plusieurs ouvrages faisant partie du réseau de surveillance DCE (Directive Cadre sur l'Eau) du SPW sont localisés dans le bassin du Hoyoux et sont fréquemment échantillonnés. Sur base de toutes ces informations, il est possible de décrire la composition chimique des eaux souterraines du bassin du Hoyoux. Un moyen clair de représenter et de caractériser l'eau souterraine d'un point de vue chimique est le diagramme de Piper. Ce diagramme est composé de deux triangles dans lesquels sont reportées les proportions relatives en cations (calcium, magnésium, sodium et potassium, triangle de gauche) et en anions (carbonates/bicarbonates, sulfate, chlore et nitrate, triangle de droite). Le losange permet de regrouper ces informations et de caractériser l'eau analysée sous forme d'un faciès chimique.

A part un point vraisemblablement atypique, la majorité des échantillons d'eau prélevés possèdent un faciès de type « bicarbonaté calcique et magnésien » (Figure 6). Une légère distinction semble se marquer entre les unités hydrogéologiques du Carbonifère et du Famennien, ce dernier présentant des eaux

qui sont proportionnellement un peu moins riches en calcium. Ces faciès sont logiques au vu des lithologies des formations géologiques rencontrées dans le bassin du Hoyoux. En effet, la composition chimique de l'eau souterraine est le reflet du milieu souterrain dans lequel elle s'écoule et des impacts associés aux activités anthropiques localisées dans le bassin versant (agriculture, rejets industriels ou domestiques...). En traversant le sol, l'eau de pluie qui s'infiltre s'enrichit en CO₂ suite à la dégradation de la matière organique. Cet enrichissement en CO₂ a pour conséquence de rendre l'eau « agressive », ce qui provoque la dissolution de minéraux carbonatés qui composent les roches calcaires mais également le ciment calcaire de certaines formations gréseuses du bassin. L'eau se charge donc principalement en bicarbonates de calcium et magnésium dans les grès avant de rejoindre les calcaires où elle accentue sa minéralisation suite à la dissolution de la roche. Le karst est la conséquence extrême de ce phénomène de dissolution des roches carbonatées. Lors du drainage de la nappe par le cours d'eau, les conditions physico-chimiques sont modifiées et cette eau fortement chargée en bicarbonates et en calcium se retrouve sursaturée ce qui peut conduire, si les conditions s'y prêtent, à la formation des travertins.

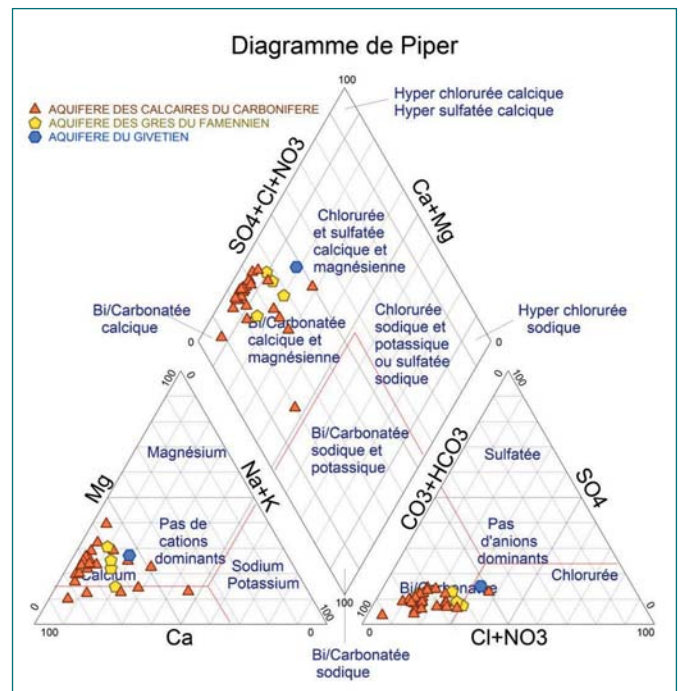


Fig. 6 – Diagramme de Piper des eaux souterraines du bassin du Hoyoux en fonction des unités hydrogéologiques dans laquelle l'échantillon a été prélevé (réalisé à l'aide du logiciel « Diagrammes » développé par l'Université d'Avignon).

Impacts anthropiques sur la qualité des eaux souterraines

Suite à l'intensification de l'agriculture après la deuxième guerre mondiale, une augmentation des concentrations en nitrate a été observée de manière générale dans les eaux souterraines européennes au cours des dernières décennies. De ce fait, du point de vue contamination des eaux souterraines, le nitrate constitue souvent un des paramètres les plus sensibles en zone rurale. La Figure 7 présente la répartition spatiale des concentrations en nitrate pour le bassin du Hoyoux. De manière générale, l'eau souterraine présente une contamination en nitrate importante mais inférieure à la norme de potabilité (50 mg/L).

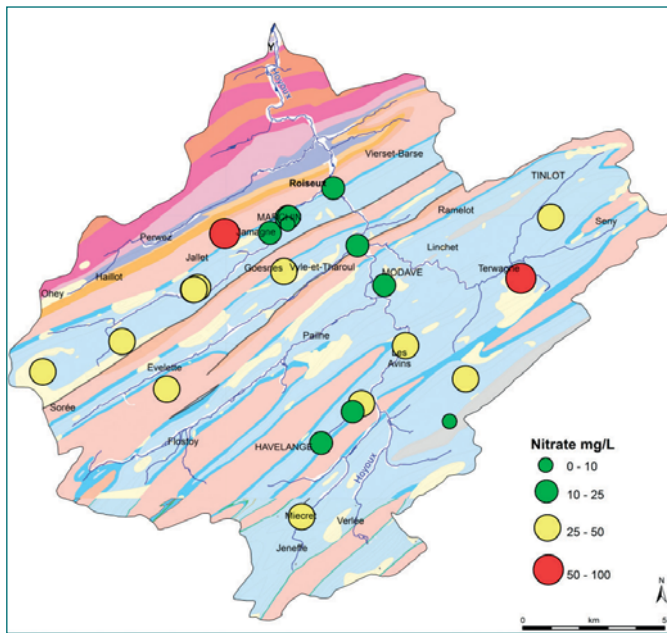


Fig. 7 – Répartition spatiale des concentrations en nitrate dans les eaux souterraines dans le bassin du Hoyoux. Les données représentées proviennent pour la plupart de la campagne d'échantillonnage réalisée dans le cadre du projet SPW ESO-ESU. En vue d'une meilleure couverture spatiale, ces données ont cependant été complétées par des mesures effectuées dans le cadre du projet Synclin'EAU.

Les rivières du bassin étant essentiellement alimentées par les eaux souterraines, le nitrate est également drainé par le cours d'eau où les concentrations sont à la limite du bon état écologique (25 mg/L). Cependant aucun impact du nitrate sur les systèmes aquatiques n'a été mis en évidence (Briers *et al.*, ce volume).

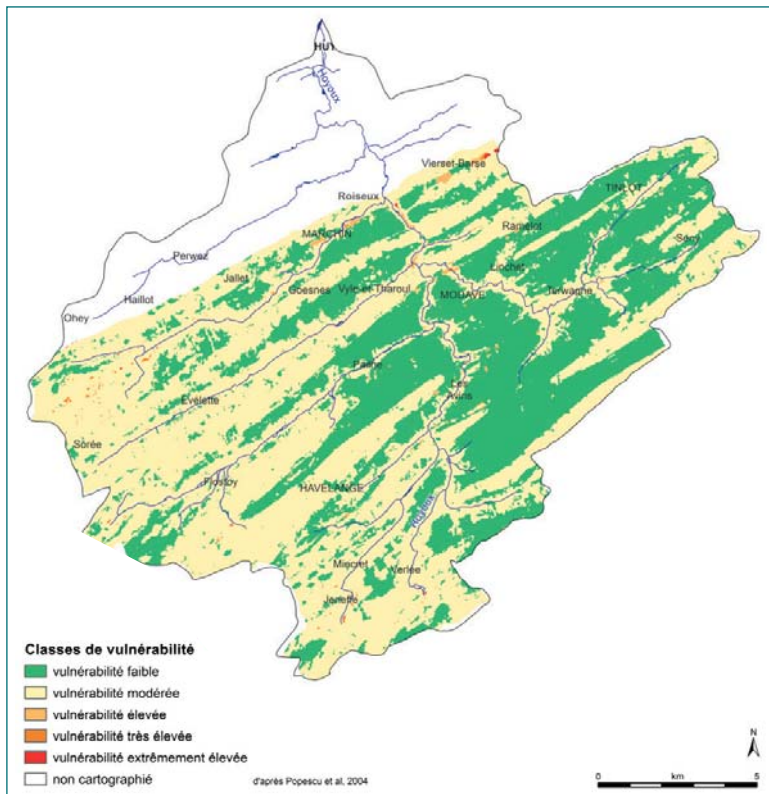


Fig. 9 – Cartographie des zones de vulnérabilité du bassin du Hoyoux.

L'évolution sur le long terme des concentrations en nitrate dans les eaux souterraines est illustrée à la Figure 8 par les données nitrate disponibles pour 2 des principaux captages du bassin du Hoyoux : les captages Vivaqua à Jamagne et à Modave. Une stabilisation, voire une décroissance des concentrations en nitrate semble se marquer depuis le début des années 2000 et ce, vraisemblablement suite à la mise en place des Programmes de Gestion Durable de l'Azote (PGDA).

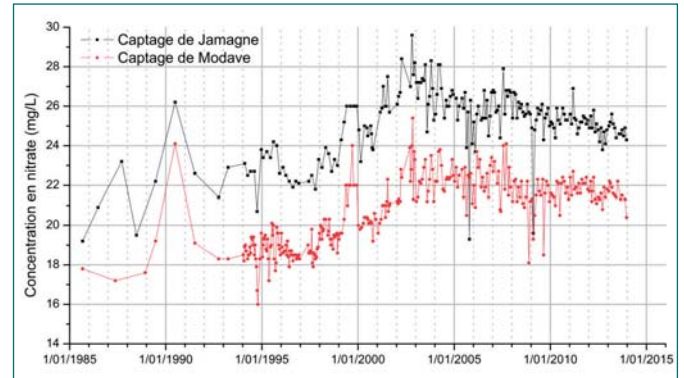


Fig. 8 – Evolution des concentrations en nitrate dans les eaux souterraines des captages de Jamagne (Vivaqua) et de Modave (Vivaqua).

Vulnérabilité des eaux souterraines

Dans le cadre d'une convention avec la Région Wallonne (Popescu *et al.*, 2004), une nouvelle méthode de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines a été développée : la méthode Apsù (Protection des aquifères par évaluation de leur sensibilité – vulnérabilité). Celle-ci diffère des méthodes traditionnelles par le fait qu'elle repose sur des principes physiques reflétant la sensibilité de l'eau souterraine

à la pollution, par exemple le temps de transfert des polluants depuis la surface du sol vers la nappe. Cette méthode tient également compte de l'écoulement possible des polluants à la surface du sol, en particulier vers les points sensibles que sont les pertes et les dolines dans le karst qui jouent souvent le rôle de court-circuit vers les eaux souterraines.

La méthode Apsù a été appliquée pour la première fois sur la planchette IGN Modave-Clavier et plus précisément sur les bassins amont du Hoyoux et du Néblon (correspondant principalement aux zones recouvrant les aquifères du Dévonien et du Carbonifère). La Figure 9 présente un extrait de la carte de vulnérabilité correspondant à la partie amont du bassin du Hoyoux. Le critère cartographié est le temps de transfert (calculé sur base d'un modèle mathématique), qui est le temps que mettrait un polluant pour traverser les différentes couches du sol et du sous-sol qui surmontent la nappe. De manière générale, cette carte montre que les eaux souterraines du bassin du Hoyoux sont caractérisées par une vulnérabilité intrinsèque faible à modérée. Des secteurs plus vulnérables sont cependant mis en évidence dans les fonds de vallée, là où la nappe est subaffleurante. De même, à proximité des dépressions karstiques, la vulnérabilité des calcaires est importante vu que les eaux de

surface peuvent s'y infiltrer très rapidement. Néanmoins, à l'exception de ces points, vu que la nappe s'y trouve généralement à une profondeur plus importante, les formations calcaires du Carbonifère apparaissent moins vulnérables que les formations schisto-gréseuses du Famennien qui sont, elles, souvent subaffleurantes.

Exploitation des ressources en eau

Les calcaires du Carbonifère et les grès du Famennien du bassin du Hoyoux sont fortement exploités. Ces ressources en eau souterraine sont majoritairement sollicitées pour l'approvisionnement en eau potable de la population. Il s'agit essentiellement de prises d'eau gravitaire, soit des galeries, soit des drains, soit des sources. Un des chapitres suivant étant exclusivement consacré aux prises d'eau et à l'exploitation des eaux souterraines dans le bassin du Hoyoux, nous n'entrerons pas dans les détails des volumes prélevés. Épinglons, aussi, que l'eau prélevée par les captages de VIVAQUA, au nombre de trois dans le bassin du Hoyoux, est acheminée vers Bruxelles et sa région, à raison d'environ 30 millions de mètres cubes par an. Cette part importante d'eau exportée hors du bassin du Hoyoux est à prendre en considération lors du calcul du bilan hydrologique.

Il faut aussi noter que les prélèvements d'eau souterraine dans le bassin du Hoyoux représentent une part importante de l'eau s'y écoulant globalement. Par exemple, pour les bassins du Triffoy et du Hoyoux en amont de Modave, les indicateurs calculés dans le cadre du projet ESO-ESO montrent que les volumes prélevés représentent de 40 à 50 % des eaux d'infiltration et sont presque équivalents aux volumes d'eau écoulés par ces 2 rivières (Briers *et al.*, 2016b). L'impact des captages sur le régime d'écoulement des cours d'eau est donc très important. Vu que cette situation est un héritage du passé, il est difficile d'établir dans quelles mesures l'état quantitatif et qualitatif de ces cours d'eau a été modifié.

Conclusion : le bassin du Hoyoux, un exemple type du fonctionnement hydrogéologique des bassins versants du Condroz

Sur base de l'ensemble des données et observations disponibles et décrites précédemment dans cette synthèse, on peut proposer une description schématique « type » du fonctionnement hydrogéologique d'un bassin dans le Condroz (Figure 10). Le bassin est alimenté par les eaux de précipitations qui sont majoritairement réémises vers l'atmosphère par évapotranspiration. Cette partie est d'autant plus importante que la couverture végétale est abondante et la température élevée, elle est donc variable dans l'année. L'Eau Utile, celle qui demeure après réalimentation du stock d'humidité du sol, est, par après, disponible pour l'alimentation directe du cours d'eau par le ruissellement et pour la recharge de la nappe d'eau souterraine par l'infiltration.

Le cours d'eau s'écoule globalement perpendiculaire aux couches géologiques et recoupe la succession d'anticlinaux gréseux (tiges) et de synclinaux calcaires (chavées). Les formations gréseuses comportent des nappes d'eau souterraine d'extension et de capacité limitées. Ces nappes généralement perchées alimentent les aquifères calcaires situés en contrebas,

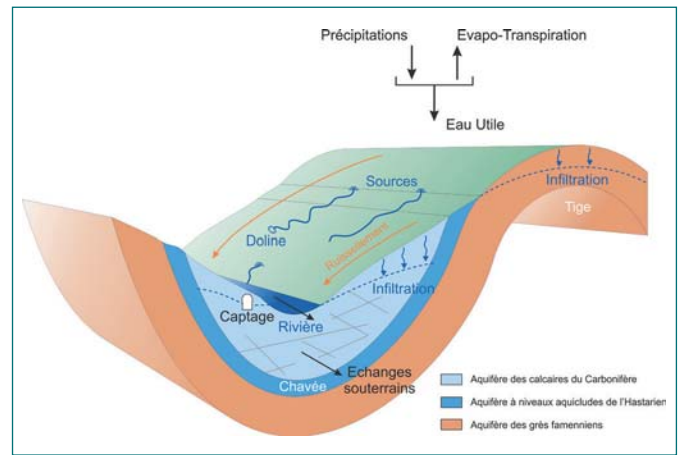


Fig. 10 – Coupe schématique du contexte hydrogéologique classique du Synclinorium de Dinant (Condroz) : succession de synclinaux calcaires du Carbonifère et d'anticlinaux gréseux du Famennien. Les calcaires sont alimentés par trois processus principaux : les précipitations tombant directement sur les calcaires, le ruissellement sur les terrains gréseux alimentant les calcaires et le déversement via des sources de l'eau infiltrée au niveau des grès. Dans un contexte de rivière perchée, la nappe peut également être alimentée par l'infiltration de la rivière. Suite à une karstification intense, la nappe dans les calcaires est fortement rabattue par rapport à la surface du sol. Par ailleurs, le niveau de la nappe est en équilibre avec le Hoyoux.

par drainage latéral au droit des failles et fractures ou par débordement. Des lignes de sources sont souvent visibles au contact de formations de perméabilités différentes (Famennien/Hastarien). Ainsi, d'une manière générale, les écoulements souterrains au sein des aquifères des grès du Famennien sont orientés vers les calcaires du Carbonifère. Ces sources de débordement alimentent de nombreux ruisseaux qui se perdent fréquemment au sein des calcaires carbonifères et participent à la recharge de la nappe.

Au sein des synclinaux calcaires fissurés et localement karstifiés, les eaux souterraines s'écoulent principalement de manière longitudinale en direction du cours d'eau principal. La recharge de la nappe dans les calcaires fait suite à l'infiltration diffuse ou ponctuelle des eaux de précipitations (par ex. via des pertes et dolines) et contribue à la remontée du niveau piézométrique et au renouvellement associé des réserves en eau souterraine ainsi qu'aux écoulements souterrains. Ces écoulements alimentent généralement la rivière et de manière plus prononcée dans la partie aval des affluents lorsque les vallées sont encaissées (ex : Triffoy). Si la rivière ne constitue pas l'exutoire de ces écoulements, des transferts souterrains d'eau entre bassins sont présents (ex : Torrent de Bonne).

Au cours de son cheminement, l'eau se minéralise selon la lithologie rencontrée. Les grès étant à ciment calcaire, l'eau se charge déjà principalement en bicarbonate de calcium et magnésium avant de rejoindre les calcaires où elle accentue sa minéralisation suite à la dissolution de la roche. L'eau acquiert ainsi une hydrochimie qui, retournant dans le cours d'eau et soumise à des changements physico-chimiques, est propice à la précipitation des travertins. Le Hoyoux présente probablement des conditions (ruptures de pente, des conditions de turbulence et d'oxygénation...) favorables au développement de ces cascades typiques.

Les études réalisées au sein du bassin du Hoyoux montrent que les réserves en eau souterraine y sont déjà fortement exploitées par les compagnies d'eau, avec des taux de prélèvement

qui peuvent représenter jusqu'à 48 % de l'eau utile et 53 % de l'infiltration. Du point de vue du taux d'exploitation strict des réserves en eau souterraine, on reste encore relativement loin d'une surexploitation et donc d'un risque de tarissement des nappes. Par contre, pour ce qui est de l'alimentation des cours d'eau, on peut conclure que l'influence des captages est très significative, avec des réductions de débits qui peuvent avoisiner les 50 %. Toute augmentation des prélèvements d'eau souterraine risque donc d'avoir des conséquences sur le fonctionnement du bassin du Hoyoux ainsi que sur sa biodiversité (travertins...).

Du point de vue de la qualité, les eaux souterraines du bassin du Hoyoux présentent globalement en bon état chimique. Notamment, l'augmentation des concentrations en nitrate qui y a longtemps été observée comme ailleurs semble maintenant être sous contrôle, à l'exception de quelques points qui devraient faire l'objet d'études au cas par cas. Les derniers monitorings opérés par le Service Public de Wallonie sur les pesticides dans le Hoyoux ne signalent rien d'alarmant non plus sur ce point même si certains produits et leurs métabolites y sont régulièrement détectés et doivent faire l'objet d'un suivi attentif.

Bibliographie

- Briers P., Orban P., Brouyère S., 2016a, Quantification des échanges nappe-rivière pour les bassins tests, Délivrable D3.5 du projet de « Caractérisation complémentaire des masses d'eau dont le bon état dépend d'interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines (Projet ESO-ESU) », Convention SPW et HGE-ULg.
<http://hdl.handle.net/2268/195405>
- Briers P., Orban P., Brouyère S., 2016b, Développement d'indicateurs des interactions entre eaux souterraines et eau de surface, Délivrable D4.1 du projet de « Caractérisation complémentaire des masses d'eau dont le bon état dépend d'interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines (Projet ESO-ESU) », Convention SPW et HGE-ULg.
<http://hdl.handle.net/2268/195406>
- Brouyère S., Gesels J., Goderniaux P., Jamin P., Robert T., Thomas L., Dassargues A., Bastien J., Van Wittenberge F., Rorive A., Dossin F., Lacour J.-L., Le Madec D., Nogarède P., Hallet V., 2009a, Rapport de caractérisation de masse d'eau souterraine – partie RWM021, Délivrable D2.22 du projet de « Caractérisation hydrogéologique et support à la mise en œuvre de la Directive Européenne 2000/60 sur les masses d'eau souterraine en Région Wallonne (Projet Synclin'Eau) », Convention RW et SPGE-Aquapole.
<http://hdl.handle.net/2268/151991>
- Brouyère S., Gesels J., Goderniaux P., Jamin P., Robert T., Thomas L., Dassargues A., Bastien J., Van Wittenberge F., Rorive A., Dossin F., Lacour J.-L., Le Madec D., Nogarède P., Hallet V., 2009b, Rapport sur la caractérisation hydraulique des aquifères et l'estimation des ressources en eaux souterraines – partie RWM021, Délivrable D3.12 du projet de « Caractérisation hydrogéologique et support à la mise en œuvre de la Directive Européenne 2000/60 sur les masses d'eau souterraine en Région Wallonne (Projet Synclin'Eau) », Convention RW et SPGE-Aquapole.
<http://hdl.handle.net/2268/87171>
- Brouyère S., Gesels J., Goderniaux P., Jamin P., Robert T., Thomas L., Dassargues A., Bastien J., Van Wittenberge F., Rorive A., Dossin F., Lacour J.-L., Le Madec D., Nogarède P., Hallet V., 2009c, Rapport sur les interactions avec les eaux de surface (volet quantitatif et qualitatif), Délivrable D3.52 & D4.52 du projet de « Caractérisation hydrogéologique et support à la mise en œuvre de la Directive Européenne 2000/60 sur les masses d'eau souterraine en Région Wallonne (Projet Synclin'Eau) », Convention RW et SPGE-Aquapole.
<http://hdl.handle.net/2268/91689>
- Brouyère S., Briers P., Schmit F., Sohier C., Degré A., Descy JP., Hallet V., Orban P., 2016, Rapport final du projet de « Caractérisation complémentaire des masses d'eau dont le bon état dépend d'interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines (Projet ESO-ESU) », Convention SPW et HGE-ULg.
<http://hdl.handle.net/2268/195783>
- Piez'Eau – Réseau piézométrique de la Direction des Eaux souterraines.
<http://piezo.environnement.wallonie.be>
- Popescu I.C., Dachy M., Brouyère S., Dassargues A., 2004, Tests d'une méthode de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque applicable aux nappes aquifères de la Région Wallonne. Application à l'aquifère calcaire du Néblon. Convention RW-ULg.
<http://hdl.handle.net/2268/100538>
- Ruthy I., Hallet V., Péters V., Gogu R.C., Monjoie A., Dassargues A. (2015). Carte hydrogéologique de Wallonie, Planchettes Moldave – Clavier 48/7-8 Edition : Service public de Wallonie, DGO3 (DGARNE), Belgique, 1 notice explicative 110 p + annexes. Ainsi que les cartes 48/1-2 ; 48/3-4 ; 54/3-4 ; 54/1-2 ; 48/5-6.
Cartes hydrogéologiques de Wallonie :
<http://environnement.wallonie.be/cartosig/cartehydrogeo/>
- Schmit F., Hallet V., Briers P., Brouyère S., 2016, Bilans hydrogéologiques, Délivrable D3.1 du projet de « Caractérisation complémentaire des masses d'eau dont le bon état dépend d'interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines (Projet ESO-ESU) », Convention SPW et HGE-ULg.
<http://hdl.handle.net/2268/195407>

