

Le bassin du Triffoy et les eaux souterraines

Exemple de caractérisation des échanges entre nappe et rivière

Pierre BRIERS¹, Jean-Pierre DESCY², Flore SCHMIT³, Vincent HALLET³, Philippe ORBAN¹ & Serge BROUYÈRE¹

¹ Groupe d'Hydrogéologie et de Géologie de l'Environnement, Université de Liège

² Laboratoire d'Ecologie des eaux douces, Université de Namur

³ Département de Géologie, Université de Namur

Introduction

Le Triffoy est un affluent en rive gauche du Hoyoux. Entre avril 2013 et juin 2015, ce bassin a fait l'objet d'une étude de caractérisation des interactions existant entre la nappe d'eau souterraine et la rivière (projet ESO-ESU). Le projet, financé par le Service Public de Wallonie, a été mené par différentes équipes universitaires de Liège et de Namur.

L'objectif était de mieux comprendre et de quantifier les relations et échanges existants entre les eaux souterraines et les eaux de surface, à l'aide d'un grand nombre de mesures de terrain. Les travaux ont également porté sur l'aspect qualitatif de l'eau, notamment du point de vue de l'évolution des concentrations en nitrate dans la rivière et dans les eaux souterraines.

Description du bassin versant

D'une superficie de 30,31 km², le bassin du Triffoy est référencé comme la masse d'eau naturelle de surface MV08R (DGARNE 2015). Cet affluent en rive gauche du Hoyoux s'écoule du sud-ouest vers le nord-est sur une longueur de 11,98 km (Fig. 1). Il porte successivement le nom de ruisseau de Flème, de Goesnes et du Triffoy.

Sa source se situe dans le village de Sorée à une altitude de 260 m. Il traverse ensuite les hameaux de Flème, d'Hodoumont, de Goesnes et de Jamagne. Il s'écoule ensuite au sud de Grand-Marchin et d'Ereffe avant de se jeter dans le Hoyoux à une altitude de 135 m, peu après l'ancienne gare de Roysel (Fig. 2).

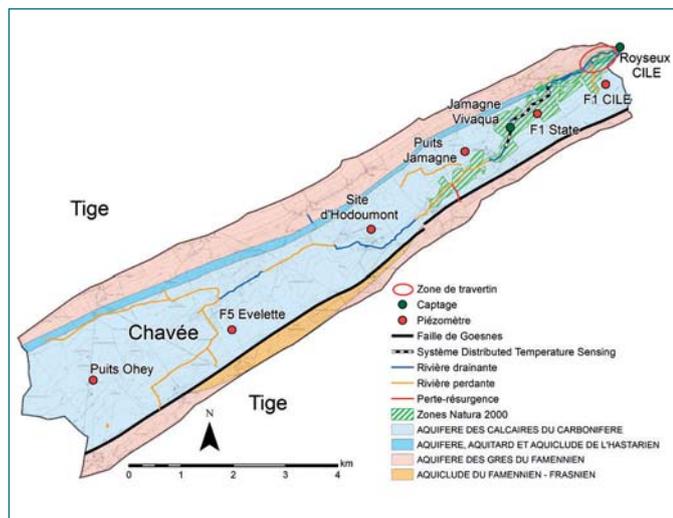


Fig. 1 – Description du bassin versant du Triffoy reprenant les unités hydrogéologiques, la typologie du cours d'eau, la localisation de la zone Natura 2000 et des cascades de travertin ainsi que du système DTS (Distributed Temperature Sensing), les piézomètres et les captages du bassin.

Le ruisseau s'écoule dans un synclinal calcaire carbonifère (chavée), délimité au nord par un anticlinal schisto-gréseux du Frasnien-Famennien (tiges) et au sud par la faille de Goesnes.

L'aquifère des calcaires du Carbonifère est exploité par deux captages importants :

- Le captage de Jamagne de la société Vivaqua, prélève en moyenne 2 600 000 m³/an ;
- Le captage de la CILE, plus en aval, prélève en moyenne 700 000 m³/an.

En termes de qualité de l'eau, le nitrate est le paramètre déclassant ou susceptible de déclasser la qualité physico-chimique de la masse d'eau de surface. L'état écologique de la masse d'eau MV08R est considéré comme « moyen » à cause de l'indice IBGN basé sur les macroinvertébrés benthiques, alors que les autres indicateurs sont au minimum « bons ».

86 % de la superficie du bassin sont occupés par des activités agricoles (48 % de cultures et 38 % de prairies). Les forêts (6 %), les zones d'habitat (7 %) et les milieux naturels (1 %) se partagent la superficie restante (Fig. 2). Aucune industrie n'est recensée au niveau du bassin versant.

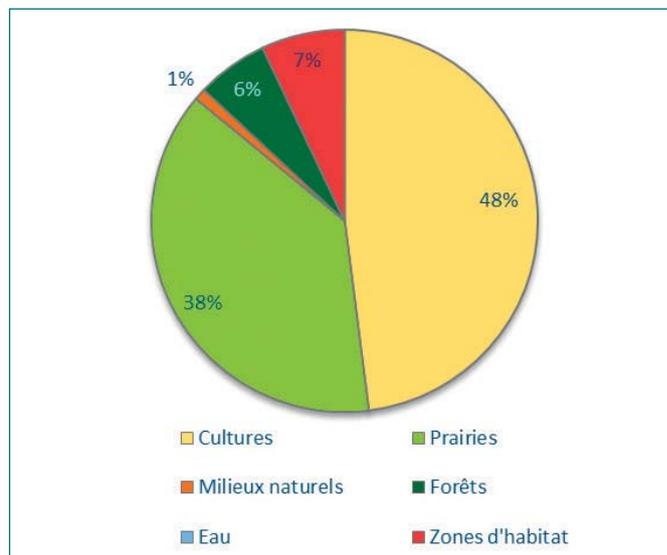


Fig. 2 – Répartition de l'occupation du sol dans le bassin du Triffoy (SPW-COSW).

La variété des substrats géologiques du bassin lui confère une grande diversité d'habitats. Une zone Natura 2000 (BE33011) a d'ailleurs été définie sur la partie aval du cours d'eau (DGARNE 2016). Cette zone représente 11,8 % du bassin (154,9 ha). Les versants forestiers sont ainsi dominés par des forêts calcicoles, tandis que le fond de vallée abrite des forêts alluviales et d'exceptionnels travertins (fig. 3). Le site est par ailleurs jalonné d'une série de milieux rocheux et de pelouses calcaires.



Fig. 3 – Le Triffoiy avant sa confluence avec le Hoyoux (photo : P. Briers).

Bilan hydrologique

Le bilan hydrologique réalisé à l'échelle du Triffoiy permet d'estimer la répartition des eaux de précipitations entre les

différents compartiments du cycle de l'eau (Schmit *et al.*, 2016). En comparant les quantités d'eau rechargeant les aquifères par infiltration ou par échange entre bassins, avec les quantités d'eau prélevées dans ces mêmes aquifères, il est possible d'analyser le degré d'exploitation. Pour une gestion durable, les quantités d'eau prélevées doivent être inférieures à la recharge annuelle mais aussi inférieures à un certain seuil, pour garantir le bon fonctionnement des différents écosystèmes dépendant directement des eaux souterraines.

Le bilan hydrologique a été calculé sur l'année hydrologique allant de septembre 2013 à août 2014 (Tab. 1). L'évapotranspiration réelle et l'eau utile ont été calculées selon la formule de Thornthwaite sur base des données climatiques acquises durant le projet. Les données de débit capté ont été obtenues auprès des compagnies d'eau. Le débit total écoulé par le cours d'eau à l'exutoire du bassin a été mesuré durant le projet.

Tableau 1 : Bilan hydrologique du bassin du Triffoiy

P	= ETR	+ Q_t	+ Q_{capt}	+ ΔRes	+ ΔRFU	+ $\epsilon_{\text{fermeture}}$
896 mm	= 612 mm	+ 129 mm	+ 117 mm	- 12 mm	+ 67 mm	- 17 mm
100 %	= 68 %	+ 14 %	+ 13 %	- 1 %	+ 7 %	- 1 %

- Précipitations annuelles (P) : 896 mm.
- Évapotranspiration réelle (ETR) : 68 % des précipitations (soit 612 mm) ; les 32 % restants correspondent à l'Eau Utile (EU) alimentant le ruissellement et l'infiltration.
- Le débit à l'exutoire du cours d'eau (Q_t) : 14 % des précipitations.
- Les captages (Q_{capt}) exportent un volume d'eau correspondant à 13 % des précipitations.
- La variation de réserve de la nappe (ΔRes) : -1 % des précipitations.
- Variation de réserve facilement utilisable (ΔRFU) : +7 % des précipitations.
- L'écart de fermeture ($\epsilon_{\text{fermeture}}$) = -1 % des précipitations.

Dans ce bilan, le terme de bouclage de -1 % ($\epsilon_{\text{fermeture}}$) représente la différence entre les différents termes de l'équation et les 100 % de précipitations. Cette valeur est inférieure aux 5 % d'erreur généralement admis. Le bassin ne semble donc pas subir d'import ou d'export net conséquents via un écoulement

souterrain entre bassins. Ceci est conforme au cadre hydrogéologique du Triffoiy qui est effectivement isolé par les tiges de part et d'autre, et qui constitue donc bien un bassin isolé.

Etudes des interactions nappe-rivière dans le bassin

Les récents travaux de caractérisation des masses d'eau souterraine (projet Synclin'EAU, Brouyère *et al.*, 2008) ont mis en évidence l'existence d'un risque pour certaines masses d'eau de ne pas répondre aux objectifs environnementaux requis par la Directive Cadre Eau en raison des mécanismes d'interactions entre les nappes d'eau souterraine et les cours d'eau.

Ces interactions nappe-rivière (Fig. 4) représentent les échanges d'eau et de matières (solutés) entre les deux compartiments « eau souterraine » et « rivière ». Les rivières drainantes correspondent aux cours d'eau qui sont alimentés par les eaux souterraines (soit de manière diffuse le long de la rivière, soit via des arrivées ponctuelles comme des sources). A l'inverse, les rivières perdantes alimentent les eaux souterraines par l'infiltration de l'eau du cours d'eau (Winter *et al.* 1998).

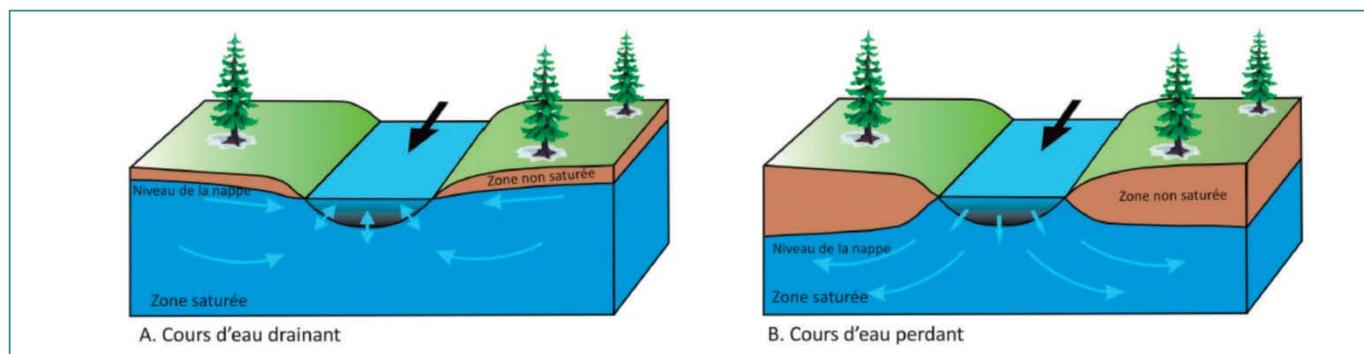


Fig. 4 – Interaction nappe-rivière (A) cours d'eau drainant et (B) cours d'eau perdant (d'après Alley *et al.* 1999).

L'étude sur le Triffoy s'est surtout intéressée à la partie drainante du cours d'eau. Les eaux souterraines y jouent un rôle majeur, tant du point de vue quantitatif (apport d'eau vers la rivière assurant un étiage en été), que du point de vue qualitatif (stabilité des concentrations des éléments chimiques).

L'objectif général du projet était d'effectuer une caractérisation de ces échanges et de leurs modalités (Briers *et al.*, 2016a et 2016b). Différents volets ont été abordés pour détecter les interactions au niveau du cours d'eau, suivre leur dynamique durant l'année et quantifier les échanges. Au point de vue chimique, l'étude s'est particulièrement intéressée au transfert du nitrate entre le sol où ils sont épandus et la rivière.

Mise en évidence des échanges nappe-rivière

Différentes techniques ont été combinées pour cartographier et caractériser les zones d'échanges entre la nappe et la rivière.

Réalisation de profils en long sur le Triffoy

Cette technique consiste à réaliser, au cours d'une même journée, d'amont en aval le long du cours d'eau (Fig. 5), des mesures de débit et de paramètres physico-chimiques (température, conductivité électrique, pH, oxygène dissout...). Ces mesures permettent de repérer les arrivées d'eau souterraine et de caractériser leur importance sur la débitmétrie et la qualité physico-chimique du cours d'eau. Ces mesures ont été réalisées en dehors de périodes de pluie pour s'affranchir du ruissellement éventuel. Ainsi, toute variation observée (augmentation du débit, changement de la physico-chimie) peut être attribuée à de nouvelles arrivées d'eau souterraine se mélangeant à l'eau venant de l'amont du cours d'eau.

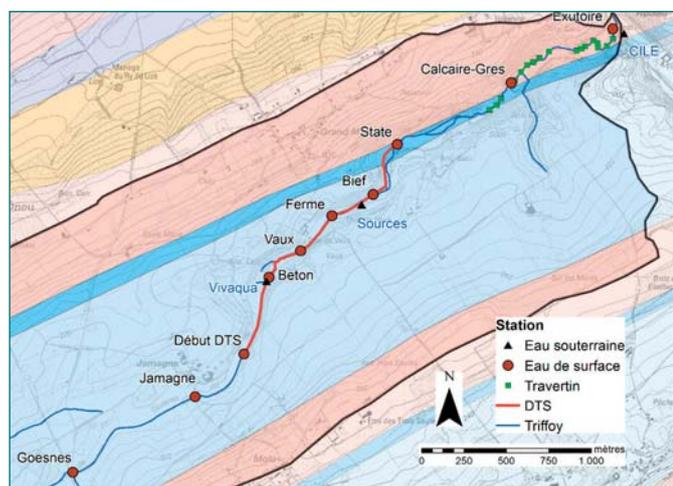


Fig. 5 – Localisation des stations de jaugeage ponctuel et de mesure physico-chimique lors des différentes campagnes de profils en long réalisés sur le Triffoy (les cascades de travertin sont également représentées).

Les débits mesurés aux stations de Goesnes et « Début DTS » (DTS – Distributed Temperature Sensing) indiquent une légère diminution du débit d'amont vers l'aval (Fig. 6). Ce tronçon est donc *a priori* perdant. Le cours d'eau aux stations de « Jamagne » et de « Goesnes » était d'ailleurs asséché en été 2012 et 2013. En aval de la station « Début DTS », le débit de la rivière augmente fortement jusqu'à la station « State », traduisant des apports d'eau souterraine vers la rivière. Le débit augmente ensuite de manière régulière jusqu'à l'exutoire.

Ces apports d'eau souterraine, fortement minéralisée, ont un impact sur la physico-chimie de la rivière. Seule la conductivité électrique est présentée ici. Le comportement de la conductivité électrique relativement constant jusqu'à la station Calcaire-Grés. Ensuite la nette diminution de la conductivité est attribuée aux précipitations de carbonates de calcium au niveau des cascades de travertin (diminution de la charge minérale de l'eau).

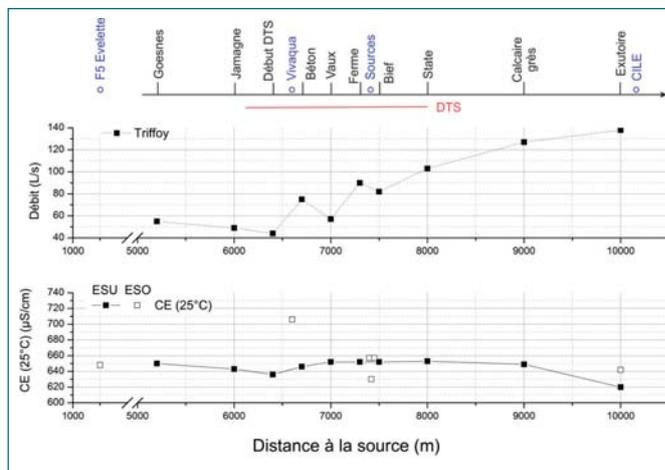


Fig. 6 – Valeurs de débit et de conductivité électrique corrigée à 25°C (CE) des eaux souterraines et des eaux de surface le long du profil réalisé le 2 avril 2014. Le nom des stations de mesure se trouve sur l'axe présenté en haut du graphe (avec un point flottant pour les eaux souterraines et un trait lié à l'axe pour les eaux de surface).

Distributed Temperature Sensing

Pour déterminer plus précisément le caractère ponctuel ou diffus du drainage des eaux souterraines par le cours d'eau entre Jamagne et State, et tenter de localiser des venues d'eau plus ponctuelles (sources), un système de Distributed Temperature Sensing (DTS, Selker *et al.* 2006) a été placé dans la rivière sur ce secteur. Ce système composé d'une fibre optique placée dans la rivière (Fig. 7 et 8) permet d'effectuer des mesures de température précises (de l'ordre de 0.1°C) et de manière spatialisée le long de la rivière.



Fig. 7 – Mise en place de la fibre optique (photo : J. Borghoms).

Les variations de température enregistrées sur la fibre optique (Fig. 9) reflètent le mélange d'eaux (de surface et souterraine), caractérisées par des températures différentes. L'eau de surface est fortement influencée par la température atmosphérique (allant de ± 2°C en hiver à ± 20°C en été), alors que la température des eaux souterraines reste très constante toute l'année (autour de 10°C).

Les profils de température présentent des comportements distincts :

- La partie « amont » (de la cote 6200 à 6700 m) présente des températures stables tout au long du profil.
- La partie « aval » (de 6700 à 8000 m) présente des variations de température beaucoup plus marquées.

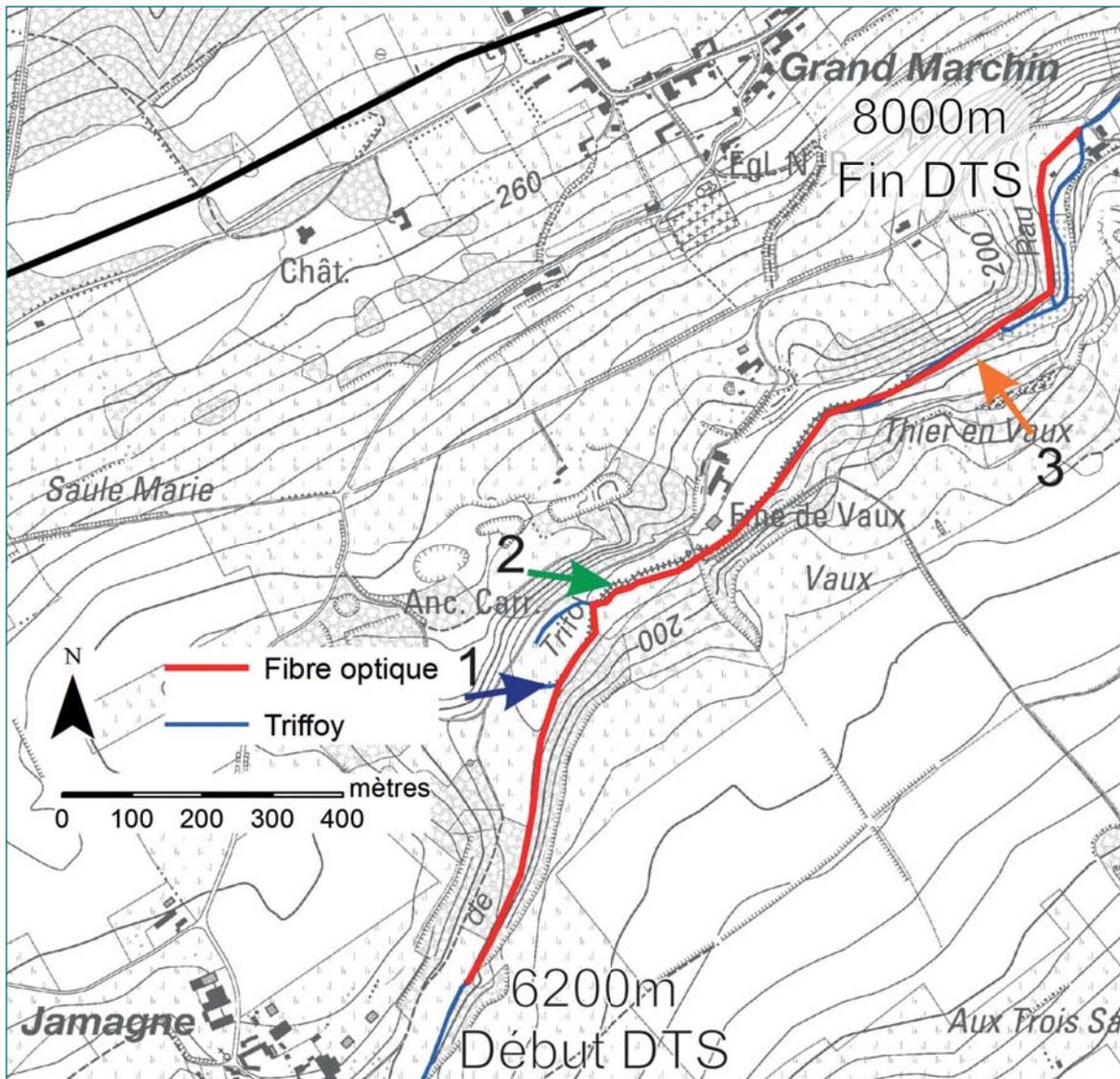


Fig. 8 – Localisation du système DTS le long du Triffoy entre Jamagne (cote de début de la fibre : 6200 m) et State (cote de fin de la fibre : 8000 m). Les flèches correspondent à la localisation des arrivées d'eau ponctuelles.

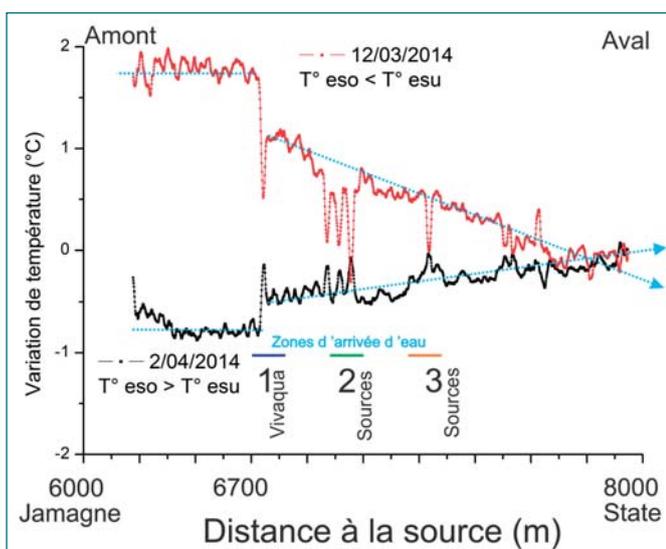


Fig. 9 – Profils de température réalisés grâce au DTS et localisation des zones d'arrivées d'eau ponctuelles (notées 1-2-3). Une tendance linéaire (croissante ou décroissante en fonction du profil et indiquée par les flèches) montre également sur la température l'impact de l'alimentation générale de la rivière par des venues diffuses d'eau souterraine.

La partie « amont » correspond à une portion du cours d'eau qui est bétonnée afin d'empêcher l'infiltration des eaux de surface vers le milieu souterrain, pour protéger les eaux du captage situé à proximité. Cette barrière fonctionne dans les deux sens, bloquant toute arrivée d'eau souterraine dans la rivière. Les températures mesurées dans cette zone sont donc stables et représentatives de la température des eaux de surface.

Sur le secteur « aval », la température du Triffoy présente une dérive relativement linéaire, avec un refroidissement progressif de l'eau en été (quand les apports d'eau souterraine plus froide provoque un refroidissement des eaux de surface) et un réchauffement en hiver (évolution inversée par rapport à la précédente quand la température de l'eau souterraine est supérieure à celle de la rivière).

Au-delà de cette dérive régulière, trois zones de variations nettes de température sont observées (voir flèches numérotés en Fig. 9), correspondant à des arrivées ponctuelles d'eau souterraine (sources).

Les données collectées à l'aide de la méthode DTS permettent à la fois de confirmer les arrivées d'eau souterraine détectées par les profils en long et d'affiner le type d'arrivées d'eau. Des

zones d'arrivées nettes d'eau sont mises en évidence (anomalies locales) en plus de tronçons d'apports diffus (variation linéaire de la température le long du cours d'eau).

Dynamique temporelle des échanges nappe-rivière

Les profils en long et d'autres mesures de type DTS permettent de détecter les interactions nappe-rivière, en particulier les apports en eau souterraine dans le cours d'eau. Elles montrent que la signature des eaux de surface est fortement influencée par l'eau souterraine. Cependant, ces mesures ont un caractère relativement ponctuel dans le temps et elles ont en général été menées hors période de ruissellement. Il est intéressant de vérifier si la dynamique temporelle des interactions est importante et en particulier si, lors d'événements pluvieux, le débit et la chimie des cours d'eau varient substantiellement. Pour ce faire, un monitoring temporel en continu a également été mené à la fois sur les cours d'eau et sur les eaux souterraines.

Relation entre le débit et la conductivité électrique du cours d'eau

La sonde permettant de suivre le niveau et, partant de cela, de déterminer le débit du cours d'eau à l'exutoire du Triffoiy, était également équipée d'un capteur mesurant la conductivité électrique de la rivière. Ce paramètre apporte de l'information quant à la variabilité temporelle des échanges nappe-rivière. Les eaux souterraines étant plus minéralisées (CE à 25°C : ± 600 à 650 µS/cm) que les eaux de ruissellement (CE à 25°C : ± 300 µS/cm), toute diminution conséquente de la conductivité électrique est liée à des apports d'eau par ruissellement.

Sur le Triffoiy, la conductivité électrique est stable et relativement constante tout au long de l'année (Fig. 10). Une diminution de la conductivité électrique est seulement observée pendant les périodes de crues suite aux apports d'eau de ruissellement moins minéralisée qui vient se mélanger à l'eau souterraine drainée par la rivière. Ces données traduisent une fois encore la part prépondérante que représente l'eau souterraine sur le débit du cours d'eau puisque ce n'est que très épisodiquement, lors des crues de l'automne et de l'hiver, que l'on met en évidence ce ruissellement. La plus grande partie du temps, les eaux transitent essentiellement par le milieu souterrain où elles acquièrent leur minéralisation caractéristique au contact des roches calcaires, par dissolution progressive de celles-ci.

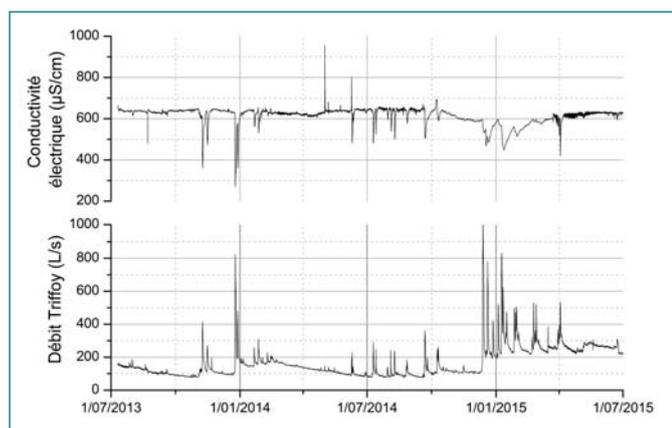


Fig. 10 – Hydrogramme et conductivité électrique (à 25°C) à l'exutoire du Triffoiy. La conductivité électrique est stable au cours du temps sauf lors d'épisodes de crue.

Relation entre débit du cours d'eau et piézométrie

Une relation directe est observée entre la piézométrie (niveau de la nappe) et le débit du cours d'eau (Fig. 11). L'évolution de la piézométrie est illustrée ici via des chroniques mesurées sur trois piézomètres (forages) situés dans le bassin du Triffoiy : F5 Evelette, F1 State et un Puits à Jamagne (cf Fig.1 pour leur localisation dans le bassin). La nappe et la rivière réagissent rapidement et de manière quasi synchrone aux apports d'eau (eau utile).

Les apports d'eau utile se traduisent très rapidement par une augmentation du débit du cours d'eau suite au ruissellement, suivie de manière quasi synchrone mais plus prolongée, par une augmentation du débit de base associé à la remontée de la nappe suite à la recharge par infiltration. L'eau utile étant plus abondante en hiver, la recharge de la nappe est plus importante durant cette période.

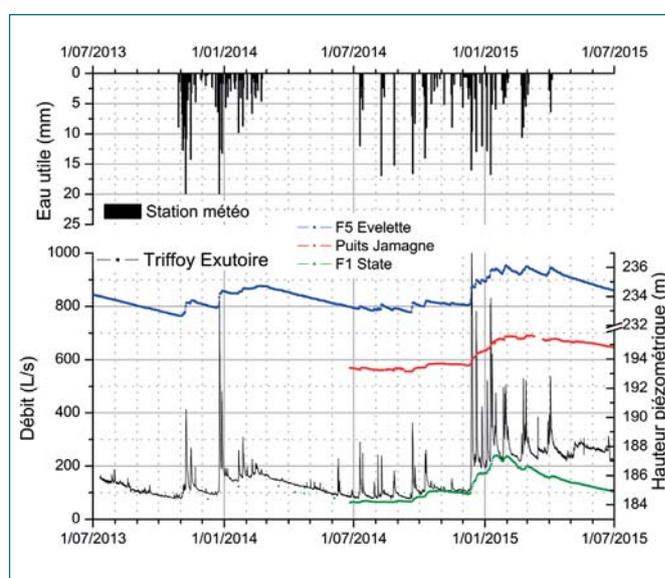


Fig. 11 – Comparaison des évolutions temporelles de l'eau utile, du débit et de la piézométrie du Triffoiy. Les réactions de la nappe et du cours d'eau à l'eau utile sont rapides et quasi synchrones.

Evolution des concentrations en nitrate

Du point de vue des eaux de surface, les concentrations en nitrate à l'exutoire du bassin sont relativement constantes au cours du temps (aux alentours de 22 mg/L) et sont généralement inférieures à la limite du bon état des eaux de surface (25 mg/L) (Fig. 12). Après chaque hiver, une augmentation des concentrations en nitrate est observée dans la rivière. Cette augmentation a conduit à un dépassement ponctuel de la limite du bon état lors des hivers 2014-2015 et 2015-2016.

Dans les eaux souterraines, les concentrations de nitrate varient entre 27 et 32 mg/L (Fig. 13). L'examen conjoint des chroniques d'eau utile et de nitrate montrent toutefois des augmentations fortes des concentrations en nitrate dans les eaux souterraines lors des gros événements pluvieux de fin janvier 2015 et fin février/début mars 2015 (cf. zone encadrée en rouge). Par la suite, les concentrations en nitrate diminuent progressivement pour retrouver des niveaux d'avant l'hiver (aux alentours de 30 mg/L). Une augmentation des concentrations en nitrate se marque à nouveau durant le mois de février 2016.

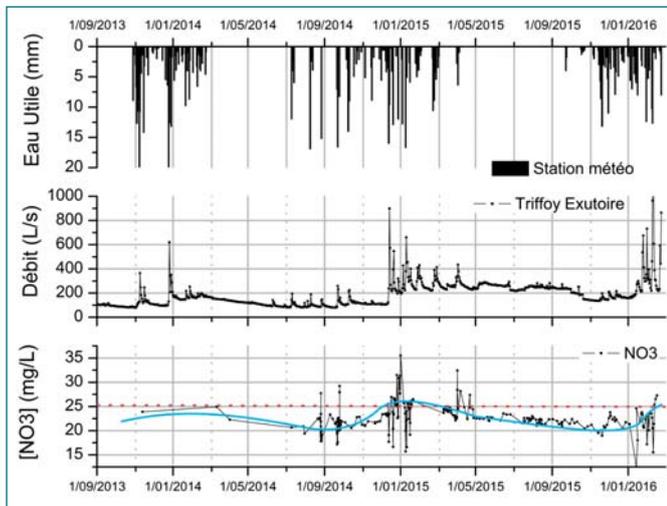


Fig. 12 – Evolution des concentrations en nitrate en eau de surface et du débit à l'exutoire du Triffoy ainsi que de l'eau utile. La limite du bon état (25 mg/L) est indiquée par le trait rouge, la tendance générale par le trait bleu.

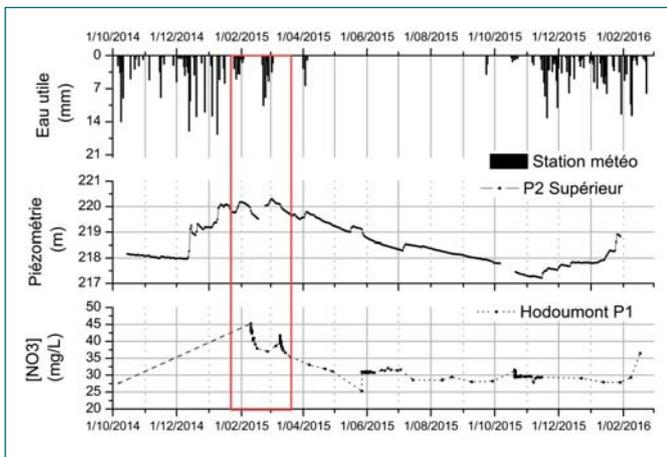


Fig. 13 – Comparaison des évolutions temporelles de l'eau utile, de la piézométrie à P2 Supérieur à Hodoumont et des concentrations en nitrate au P1 à Hodoumont.

Ces augmentations temporaires des concentrations en nitrate tant dans l'eau souterraine que dans la rivière s'expliquent par le lessivage des résidus de fertilisants azotés présents dans les sols agricoles après les récoltes.

Impact des interactions sur l'état écologique du cours d'eau

Dans le cadre des contrôles de l'état écologique des eaux de surface, un ensemble de méthodes sont utilisées pour évaluer l'état des masses d'eau. Ces méthodes sont appliquées dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive-Cadre pour la gestion intégrée de l'Eau (DCE), avec pour objectif l'atteinte du bon état écologique. Ce dernier est estimé sur un ensemble d'indicateurs destinés à estimer l'état hydro-morphologique, physico-chimique, chimique et biologique. La qualité biologique est évaluée sur base de divers « éléments de qualité biologique » : on analyse les communautés aquatiques (diatomées, macro-invertébrés, poissons...) avec pour objectif de mesurer un écart par rapport à une situation non perturbée par l'action humaine. Un faible écart correspond au « bon état » de la masse d'eau.

Dans le cas du Triffoy, les analyses réalisées par le SPW dans le cadre du réseau de surveillance DCE montrent que la qualité

physico-chimique est bonne à très bonne, à l'exception du nitrate, pour lequel des dépassements de la limite du bon état s'observent de temps à autres (en hiver ou au début du printemps). Ces dépassements ont-ils un effet sur la qualité biologique ? On pourrait le penser car la qualité biologique du Triffoy au niveau de la station de contrôle du SPW n'est pas toujours bonne.

L'analyse des indicateurs biologiques dans plusieurs stations réparties entre Jamagne et la confluence avec le Hoyoux montre une qualité bonne à très bonne pour les diatomées (Fig. 14), ce qui correspond bien au diagnostic sur la qualité physico-chimique et suggère que les concentrations élevées en nitrate n'ont pas d'effet détectable sur la biologie (Descy *et al.*, 2015). Par contre, une analyse fine des communautés de macro-invertébrés benthiques en 2 stations révèle une faible diversité biologique et écologique, avec une composition faunistique caractéristique de courants lents, de sédiments riches en matière organique et d'un certain enrichissement en nutriments. Comme la qualité de l'eau est bonne, voire très bonne, ces altérations peuvent résulter de conditions de débit faible favorisant l'accumulation de matière organique sur le fond, associée à une faible diversité des substrats du fond, peut-être influencée par la présence de plusieurs travertins. On est donc face à un cas où l'hydromorphologie est un facteur impactant la qualité biologique. Il reste à évaluer dans quelle mesure les captages d'eau souterraine situés dans le bassin du Triffoy sont responsables des faibles débits...

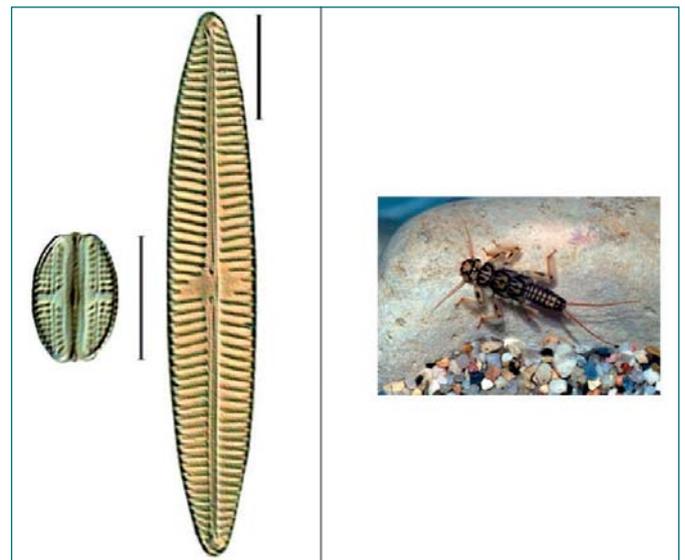


Fig. 14 – A gauche, deux diatomées préférant des eaux alcalines et peu polluées présentes dans le Triffoy (le trait d'échelle correspond à 10 µm) ; à droite, un composant (larve de Perlidé) de la macrofaune benthique de cours d'eau aux eaux froides et non polluées.

Conclusion

Les investigations réalisées durant 3 ans sur le Triffoy, brièvement résumées ici, montrent la dépendance du cours d'eau vis-à-vis de l'alimentation par la nappe. Le cours d'eau peut être qualifié d'alcalin dans le sens où il présente une signature essentiellement « eau souterraine », avec l'écoulement de base qui domine sur une majeure partie de l'année et qui n'est supplanté par le ruissellement que lors des forts événements pluvieux hivernaux. Les mesures hydrochimiques (reflétées par la conductivité électrique) confirment ce constat avec une

minéralisation élevée de l'eau du Triffoy proche de celle des eaux souterraines et constante sur une majeure partie de l'année, à l'exception une fois encore des épisodes de crues.

Les observations de terrain indiquent que, lors des précipitations hivernales, l'eau s'infiltré très rapidement et atteint quasi instantanément la nappe d'eau souterraine dans les calcaires. A l'interface nappe – rivière, les données disponibles montrent que les zones de transfert d'eau peuvent être localisées et que des corrélations fortes sont observées entre la dynamique des cours d'eau et de la nappe.

Un suivi des concentrations en nitrate en eau de surface et en eau souterraine a été effectué. De manière générale, les eaux souterraines sont chargées en nitrate mais à des concentrations conformes aux normes de potabilité (50 mg/L), avec un bruit de fond de 20 à 30 mg/L de nitrate relativement constant. Le cours d'eau qui draine ces eaux souterraines montre des teneurs en nitrate également relativement constantes du printemps à l'automne (hors périodes de crues). Durant la période hivernale, on observe toutefois une augmentation significative des concentrations en nitrate, tant pour la nappe que pour la rivière, liée au lessivage de l'azote résiduel présent dans les terres agricoles après récolte.

L'étude réalisée a permis de mettre en évidence l'importance du milieu souterrain sur la problématique globale de l'eau et des polluants dissous dans le bassin du Triffoy. Toute mesure de gestion visant les eaux de surface de ce bassin devra donc intégrer cette composante « eau souterraine ». De même, toute

mesure affectant la ressource en eau souterraine aura probablement un impact sur les eaux de surface.

Par exemple, l'étude a mis en évidence que l'importance des prélèvements d'eau souterraine dans le bassin est équivalente en volume annuel au débit total s'écoulant dans le même temps à l'exutoire du cours d'eau. Toute augmentation des prélèvements d'eau souterraine engendrerait une diminution du débit dans le Triffoy et à son exutoire. Vu que le débit du Triffoy semble déjà impacter négativement les communautés aquatiques, toute augmentation des prélèvements d'eau souterraine pourrait accentuer cette dégradation de la qualité biologique du Triffoy. De même, il a été observé que l'hydrochimie du Triffoy est globalement constante au cours de l'année, fortement influencée par l'hydrogéochimie des eaux souterraines. C'est d'ailleurs cette signature hydrochimique particulière et sa constance au cours de l'année qui explique la formation des exceptionnels travertins que l'on retrouve dans la partie aval du Triffoy. Toute évolution du chimisme (positive ou négative) des eaux souterraines se répercutera donc au niveau du chimisme des eaux de surface.

Le Triffoy est une rivière caractéristique des cours d'eau s'écoulant dans les synclinaux calcaires du Condroz. L'étude réalisée a permis de caractériser la dynamique des écoulements et du transfert de nitrate à l'échelle annuelle. La poursuite des observations réalisées permettra par exemple d'étudier l'impact à plus long terme des changements climatiques ou de pratiques agricoles pour de tels bassins.

Bibliographie

- Alley, W., Reilly, T., & Franke, L., 1999. Sustainability of Ground-Water Resources, US Geological Survey Circular 1186, 79 p.
- Briers P., Orban P., Brouyère S., 2016a, 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), Délivrable D3.5 Quantification des échanges nappe-rivière pour les bassins tests, Convention SPW et HGE-ULg. <http://hdl.handle.net/2268/195405>
- Briers P., Orban P., Brouyère S., 2016b, 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), Délivrable D4.1 Développement d'indicateurs des interactions entre eaux souterraines et eau de surface, Convention SPW et HGE-ULg. <http://hdl.handle.net/2268/195406>
- Brouyère S., Gesels J., Jamin P., Robert T., Thomas L., Dassargues A., Bastien J., Vanwittenberge F., Rorive A., Dossin F., Lacour JL., Le Madec D., Nogarède P., Hallet V., 2008, 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), D3.12 Rapport de caractérisation de la MESO RWM021, Convention RW et SPGE-Aquapôle.
- Descy JP, Viroux L., Leporcq B., 2015, 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), Délivrable D3.1 Acquisition des données pour l'interprétation de la pression associée des prélèvements d'eau souterraine sur l'état et le fonctionnement écologique des cours d'eau, Convention SPW et HGE-ULg.
- DGARNE – Direction des Eaux de surface, 2015. Mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE), District hydrographique international de la Meuse : Fiche de caractérisation de la masse d'eau MV08R Ruisseau du Triffoy ; <http://spw.wallonie.be/dce/fme/mv08r.pdf>
- DGARNE – Direction de la Nature, 2016. Site Natura 2000 BE33011 – Vallées du Hoyoux et du Triffoy ; <http://biodiversite.wallonie.be/fr/be33011-vallées-du-hoyoux-et-du-triffoy.html?IDD=402653744&IDC=2892>
- Selker, J. S., Thevenaz, L., Huwald, H., Mallet, A., Luxemburg, W., Van De Giesen, N., Stejskal, M., Zeman, J., & Parlange, M. B., 2006. Distributed fiber-optic temperature sensing for hydrologic systems, *Water Resources Research*, 42 (12).
- Schmit F., Hallet V., Briers P., Brouyère S., 2016, 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), D3.3 Bilans hydrogéologiques, Convention SPW et HGE-ULg. <http://hdl.handle.net/2268/195407>
- Winter, T., Harvey, J., Franke, O. & Alley, W., 1998. Groundwater and surface water – a single resource, US Geological Survey, Circular 1139, 87 p.