

La Résurgence du Trou Bleu : fonctionnement hydrogéologique et contaminations anthropiques du système karstique de Sprimont

Romain DELEU¹, Julien HUTZEMAKERS², Jérémy FLAMENT³, Serge BROUYERE^{2*}

¹ Université de Namur, Département de Géologie, 61 rue de Bruxelles, 5000 Namur (BE)

² Université de Liège, Hydrogeology and Environmental Geology, Université de Liège, Quartier Polytech 1, Bât. B52/3, Allée de la Découverte 9, 4000 Liège (BE)

³ Institut Scientifique de Service Public (ISSEP), 200 rue Chéra, 4000 Liège (BE)

*Auteur correspondant : serge.brouyere@uliege.be

Introduction Contexte hydrogéologique régional

Sprimont est une localité de la Province de Liège située à environ 20 km au Sud de la ville de Liège. Le bassin de Sprimont est caractérisé par une vallée fort encaissée dont le thalweg se situe près de 100m plus bas que les crêtes aux extrémités du bassin. L'altitude la plus élevée est de 320 m, tandis qu'elle est de 80 m à l'exutoire du bassin. Le bassin est caractérisé par de nombreux phénomènes karstiques, en particulier une série de pertes qui alimentent, via un réseau karstique souterrain bien développé,

la Résurgence du Trou Bleu, située dans la vallée de l'Ourthe. Le Trou bleu est l'une des résurgences les plus actives de la région avec un débit moyen de l'ordre de 0.23 m³/s (Meus 2014). Après une mise en contexte géologique et hydrogéologique générale, l'article propose une description du fonctionnement hydrogéologique du bassin de Sprimont sur base principalement de données de monitoring à long terme de la Résurgence du Trou Bleu, de calculs de bilans hydrogéologiques et une synthèse de données hydrochimiques associées aux pertes et à la résurgence.

Le sous-sol du bassin de Sprimont est composé d'une structure

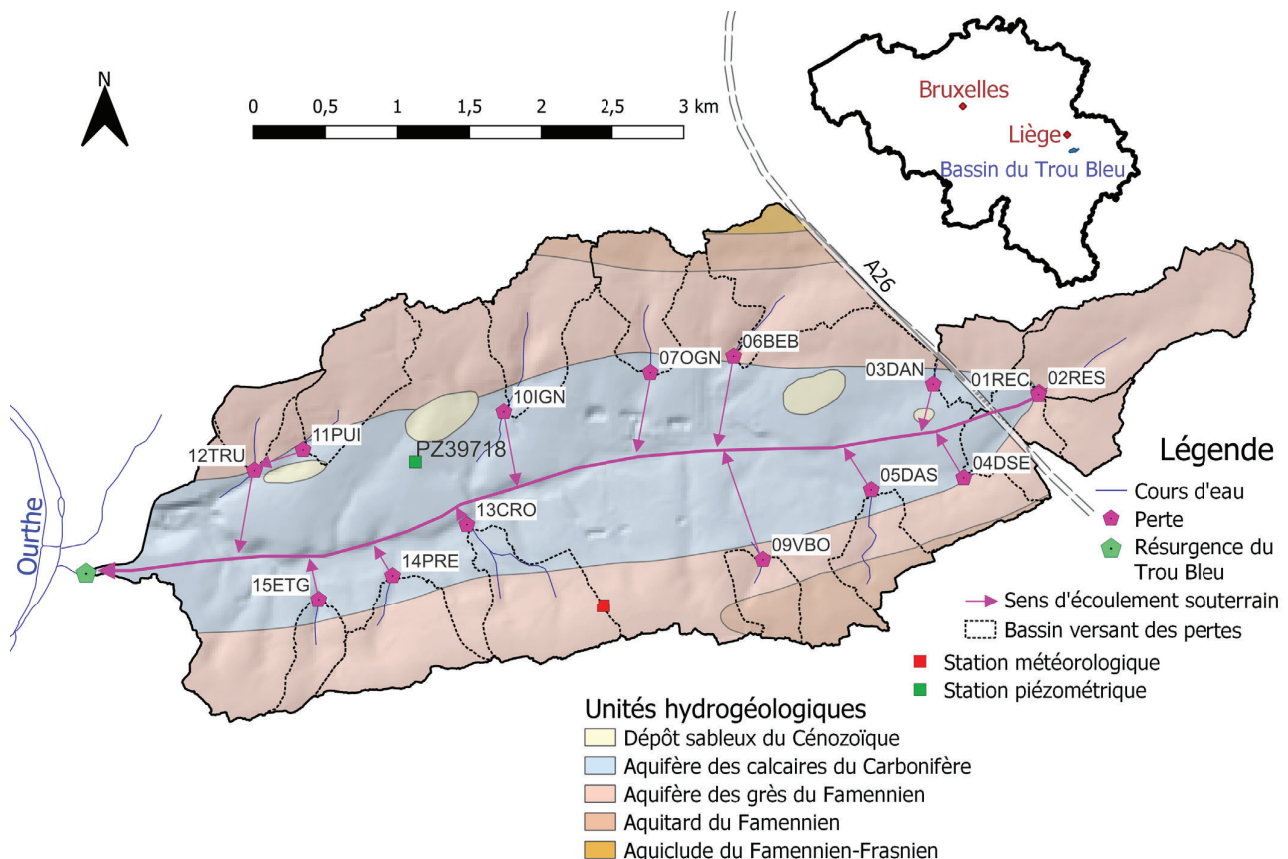


Figure 1. Cadre hydrogéologique du bassin de Sprimont. Le bassin versant de chaque perte est représenté et leur superficie indiquée dans le tableau 1. La présence de l'autoroute A26 à l'Est du bassin a modifié légèrement le sens d'écoulement des eaux météoriques à proximité, expliquant la forme étrange du bassin versant à cet endroit.

synclinal dont le cœur est caractérisé par les calcaires du Carbonifère (325 à 359 millions d'années), qui sont cloisonnés par les grès et shales du Famennien (359 à 385 millions d'années). La structure plissée est due à l'orogénèse varisque ayant affecté la région à la fin du Paléozoïque. La géomorphologie de Sprimont correspond bien au relief typique du Condroz avec des crêtes gréseuses délimitant le bassin, appelées « tiges », et une dépression calcaire en son centre, appelée « chavée ».

L'hydrogéologie du bassin de Sprimont est largement influencée par les nombreux phénomènes karstiques localisés dans les calcaires du Carbonifère. Les eaux météoriques ruissellent sur les crêtes gréseuses moins perméables du Famennien, puis s'infiltrent dans des pertes au contact avec les calcaires, avant de rejoindre le réseau karstique souterrain. Puisque les calcaires du

Carbonifère sont limités latéralement et en profondeur par des niveaux imperméables du Famennien, les eaux souterraines ont pour seul exutoire la résurgence du Trou Bleu. La présence de ces nombreuses pertes explique l'absence de rivière dans le vallon de Sprimont qui peut être considéré comme une vallée sèche. En effet, le cœur calcaire du synclinal est capable d'absorber le débit de l'entièreté des pertes du bassin ainsi que la percolation diffuse, et ce même en période de crue intense.

Fin 2012, un réseau karstique très développé, la grotte du Nou Bleu, a été découvert et en partie exploré (Belga 2014). Ce réseau s'étend axialement au sein des calcaires du Carbonifère sur une distance d'au moins 800 m avec plus de 4 km de galeries.

| Nom et référence d'échantillon (Deleu, 2018) | Nom et référence officiels (Atlas du Karst Wallon, 2023) | Superficie du bassin versant (km ²) | Débit annuel moyen estimé (l/s) |
|--|--|---|---------------------------------|
| Renard Centre (01REC) | Trou du Renard (493-064) | 0.92 | 14.0 |
| Renard Sud (02RES) | Trou du Renard (493-064) | 0.22 | 3.4 |
| Damré Nord (03DAN) | Chantoir des Possous (493-063) | 0.30 | 4.6 |
| Damré Sud-Est (04DSE) | Chantoirs intermittents de Damré (493-054) | 0.20 | 3.1 |
| Damré Sud (05DAS) | Chantoirs de Damré-Village (493-056) | 0.30 | 4.6 |
| Bébert (06BEB) | Chantoir Bébert (492-064) | 0.70 | 10.7 |
| Ogné (07OGN) | Chantoirs d'Ogné (492-060) | 0.46 | 7.0 |
| Vieux-Bac Ouest (09VBO) | Chantoir du Vieux Bac (492-095) | 0.14 | 2.1 |
| Higné ou Igné (10IGN) | Grand chantoir de Higné (492-051) | 0.56 | 8.6 |
| Puits communal (11PUI) | Perte diffuse de la Rue de la Préalle (492-165) | 0.53 | 8.1 |
| Truchette (12TRU) | Perte de la Trutchète (492-047) | 0.24 | 3.6 |
| Croix ou Champs de Maïs (13CRO) | Perte du Champ de Maïs (492-092) | 0.59 | 9.1 |
| Presseux (14PRE) | Chantoir du Fond de Presseux (492-088) | 0.51 | 7.8 |
| Etang (15ETG) | Chantoirs de l'Etang (492-084) | 0.21 | 3.3 |
| Total des pertes = réseau karstique | | 5.89 | 90.0 38% |
| Trou Bleu (16TBL) = total du bassin | Résurgence du Trou Bleu (492-078) | 15.60 | 238.4 100% |
| Percolation diffuse = résurgence – le total des pertes | | 9.71 | 148.4 62% |

Tableau 1. Liste des pertes et résurgence du système karstique de Sprimont

Sur base des données du modèle numérique de terrain (WalOn-Map), les bassins versants de chaque perte ont pu être délimités (Deleu 2018) et sont indiqués sur la figure 1. Les superficies de chacun de ces bassins et l'estimation des débits sur base d'une pluviométrie annuelle moyenne (980 mm/an¹) sont données au tableau 1. Ils permettent d'estimer la proportion entre les deux types d'infiltrations dans le bassin :

- Les eaux d'infiltration rapide s'engouffrant dans les pertes et rejoignant donc le réseau karstique (38%).

- Les eaux de percolation lente et diffuse dans les zones où il n'y a pas de pertes bien localisées et une absence de vallée pour permettre une accumulation des eaux météoriques. Ces eaux rejoignent lentement la nappe au travers de la zone non-saturée (62%).

Par le passé, de nombreux traçages ont été effectués dans le bassin de Sprimont, afin de démontrer le lien existant entre les différentes pertes et la résurgence du Trou Bleu. Une liste non-

exhaustive est proposée dans le tableau 2 ci-dessous. Les vitesses d'écoulement sont caractéristiques d'un réseau karstique bien développé.

| Référence d'échantillon (Deleu, 2018) | Nom et référence officiels (Atlas du Karst Wallon, 2023) | Date | Distance apparente jusqu'au Trou Bleu | Vitesse modale | Référence |
|--|---|------|---------------------------------------|----------------|--------------------------------|
| 01REC 02RES | Trou du Renard (493-064) | 1929 | 6743 m | 57 m/h | L. Nys |
| | | 1974 | | 150 m/h | A. Briffoz |
| | | 1981 | | 200 m/h | A. Briffoz |
| | | 1982 | | 100 m/h | A. Briffoz |
| 03DAN | Chantoir des Possous (493-063) | | 6062 m | | |
| 04DSE | Chantoirs intermittents de Damré (493-054) | | 6153 m | | |
| 05DAS | Chantoirs de Damré-Village (493-056) | | 5476 m | | |
| 06BEB | Chantoir Bébert (492-064) | 1975 | 4737 m | 110 m/h | A. Briffoz |
| | | 2018 | | 186.6 m/h | J.Flament – P.Meus – A.Briffoz |
| 07OGN | Chantoirs d'Ogné (492-060) | 2018 | 4199 m | 171.1 m/h | J.Flament – P.Meus – A.Briffoz |
| 09VBO | Chantoir du Vieux Bac (492-095) | 2015 | 4625 m | Non connecté | J.Flament - A.Briffoz |
| 10IGN | Grand chantoir de Higné (492-051) | 2016 | 3202 m | 60m/h | J.Flament |
| 11PUI | Perte diffuse de la Rue de la Préalée (492-165) | | 1796 m | | |
| 12TRU | Perte de la Truitchète (492-047) | 1980 | 1409 m | 21 m/h | A. Briffoz |
| | | 2016 | | 21 m/h | J.Flament – P.Meus |
| | | 2017 | | 18.4 m/h | J.Flament – P.Meus |
| 13CRO | Perte du Champ de Maïs (492-092) | 2015 | 2689 m | 66.6 m/h | J.Flament |
| 14PRE | Chantoir du Fond de Presseux (492-088) | 2016 | 2143 m | 24.4 m/h | J.Flament |
| 15ETG | Chantoirs de l'Etang (492-084) | 1972 | 1637 m | 50 m/h | A. Briffoz |
| | | 2015 | | 35.5 m/h | J.Flament |

Tableau 2. Liste des traçages effectués dans le bassin de Sprimont.

Bilans hydrogéologiques sur le bassin de Sprimont

Le bilan hydrogéologique constitue un outil efficace pour une meilleure compréhension de la dynamique générale d'un bassin. Bien que celui étudié ici soit dépourvu de réseau hydrographique, les deux conditions primordiales à la réalisation d'un bilan sont réunies : un bassin relativement fermé et un exutoire, les écoulements souterrains convergeant vers la résurgence du Trou Bleu.

Wauters (2012) avait réalisé un premier bilan hydrogéologique entre novembre 2011 et janvier 2012. Celui-ci n'étant pas annuel, les variations de réserves ΔRes (au niveau de la nappe d'eau souterraine) et de stock $\Delta Stock$ (au niveau des sols) avaient été calculées pour fermer le bilan. Le résultat pouvait d'écrire comme suit :

$$P = ETR + Q_{ex} + Q_{capt} + \Delta Res + \Delta Stock + \epsilon$$

$$338,8 = 30,96 + 132,74 + 0 + 46,65 + 100 + 28,65$$

$$100 \% = 9,14 \% + 39,18 \% + 0 \% + 13,71 \% + 29,51 \% + 8,46 \%$$

Avec P la pluviométrie, ETR l'évapotranspiration réelle, Q_{ex} le débit à la résurgence du Trou Bleu, Q_{capt} les débits prélevés et ϵ le terme de fermeture. Le débit à la résurgence avait été mesuré à l'aide d'une sonde limnimétrique placée en 2006, dans le cadre du projet Synclin'EAU.

Le bilan présente une pluviométrie relativement élevée, une évapotranspiration réelle relativement faible et une augmentation du stock et des réserves, ce qui semble cohérent pour un bilan réalisé en période hivernale. En effet, le climat froid et humide entraîne des évapotranspirations plus faibles et une pluviométrie plus forte que pour les autres saisons. Ces valeurs du bilan ne sont donc pas représentatives de la dynamique hydrogéologique sur l'ensemble de l'année. Bien que le terme de fermeture ϵ soit relativement faible pour un bilan sur seulement trois mois, ce qui peut être expliqué par une dynamique rapide de la nappe, il est toutefois supérieur à 5 %. Cela indique qu'il manque de l'eau dans le terme de droite du bilan (bilan déficitaire). Au-delà des incertitudes associées à chacun des termes de ce bilan, son caractère déficitaire peut refléter des transferts d'eau non identifiés vers l'Ourthe, voire une sous-estimation des prélèvements (captages et usages pour

les carrières) dans le bassin.

Dans le cadre du projet «Sécheresse SRRE 2.0», des bilans hydrologiques annuels ont été calculés sur la période 2000 - 2021 pour l'ensemble de la masse d'eau souterraine BERWM021 « calcaires et grès du Condroz » au sein de laquelle se trouve le bassin de Sprimont. Ces bilans annuels ont été calculés notamment sur base de données pluviométriques et d'évapotranspiration potentielle journalières entre 2000 et 2021 fournies par l'IRM. Celles-ci permettent, en appliquant la méthode de Thornthwaite (stock maximum en eau du sol : 125 mm), de calculer l'évapotranspiration réelle et l'eau utile (EU). Les résultats moyennés par année et correspondant au bassin de Sprimont sont présentés à la Figure 4.

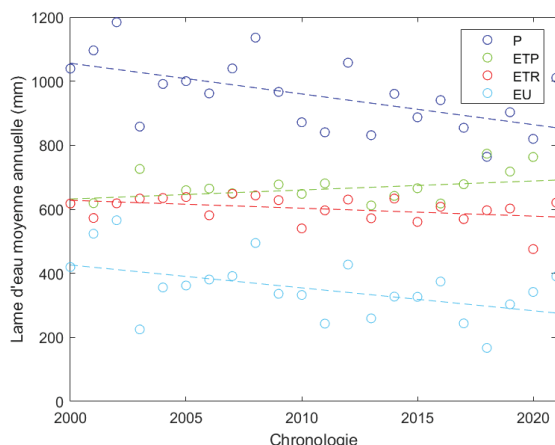


Figure 4 Comparaison de la pluviométrie (P), de l'évapotranspiration potentielle (ETP), réelle (ETR) et de l'eau utile (EU) dans le bassin du Trou Bleu entre 2000 et 2021

Comme le bassin de Sprimont est fermé avec pour seul exutoire supposé la Résurgence du Trou Bleu, l'eau utile doit s'infiltrer et alimenter le Trou Bleu. Le calcul simplifié des moyennes sur les 22 ans permet d'écrire,

$$P = ETR + EU$$

$$1000 \text{ mm} = 629 \text{ mm} + 371 \text{ mm}$$

Plus de 60% de l'eau de pluie s'évapore donc avant s'infiltrer.

Si on en revient aux variations des bilans annuels, l'évolution temporelle des termes du bilan hydrologique peut être mise en évidence sous forme de droites de tendances obtenues par régression linéaire. Celles-ci mettent en évidence le fait que sur les 20 dernières années ; la pluviométrie a diminué de 18,1% tandis que les températures ont augmenté de 3%. L'augmentation de la température a pour conséquence une augmentation de l'ETP de 8,9% sur la même période. L'ETR montre une évolution relativement constante, voire une légère diminution qui s'explique avant tout par la baisse des précipitations (il y a moins d'eau à évapotranspirer), tandis que l'eau utile montre une nette baisse de l'ordre de 33% qui reflète l'écart qui s'est réduit au cours du temps entre les pluies et l'évapotranspiration réelle. Ces constats sont très probablement les premiers reflets du changement climatique et ne s'observent pas que dans la région de Sprimont. Un même constat a par exemple déjà été dressé dans le bassin du Néblon (Popescu et al., 2021).

Dynamique de la piézométrie dans le bassin de Sprimont

Comme décrit précédemment, l'absence de réseau hydrographique indique la prépondérance des écoulements souterrains. Cette section compare quatre types de données afin de décrire la dynamique générale de la nappe (figure 5) :

- L'eau utile mise sous forme de valeurs mensuelles afin d'identifier les saisonnalités ;
- Le niveau du piézomètre PZ39718 situé dans le bassin (localisation exacte figure 1) sur base de près de 1500 mesures (source : site <https://piezometrie.wallonie.be>) entre 2008 et 2022 ;
- La pluviométrie, discutée dans la section précédente ;
- Le débit journalier à la résurgence du Trou Bleu, sur base du

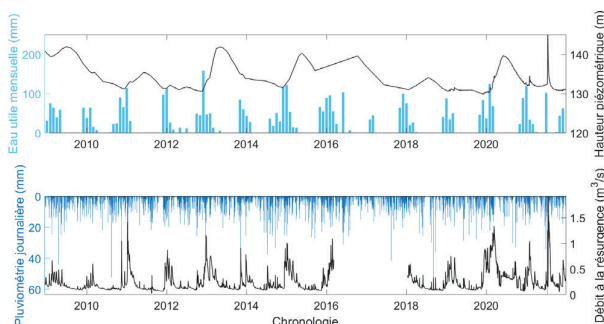


Figure 5 Comparaison de la piézométrie dans les calcaires du bassin du Trou Bleu, de l'eau utile mensuelle, de la pluviométrie journalière et du débit à la résurgence.

suivi de l'ISSeP entre 2008 et 2022.

Des variations piézométriques inter saisonnières de 5 à 10 mètres sont observées dans les calcaires, ce qui correspond bien à un profil karstique. Les maximums piézométriques suivent rapidement (fin avril) les périodes de recharge en hiver. Ceux-ci sont ensuite suivis par un tarissement progressif jusqu'au début de l'hiver suivant. On notera toutefois une anomalie durant l'été 2021, avec une forte hausse temporaire de la piézométrie de l'ordre de 12m, à mettre en relation avec les pluies exceptionnelles de la mi-juillet 2021 qui ont conduits aux inondations catastrophiques qu'a connue la région liégeoise. La dynamique générale souterraine est donc bien corrélée avec la temporalité de l'eau utile dans le bassin calcaire. Hormis l'évènement pluvieux de juillet 2021, une baisse légère de la piézométrie semble se marquer mais de manière moins significative que dans d'autres bassins similaires, comme celui du Néblon (Popescu et al. 2021). Pour conclure de manière plus certaine d'une possible relation avec les premières évolutions climatiques mentionnées précédemment, des chroniques piézométriques plus longues sont nécessaires.

En plus de présenter, comme la piézométrie, une réponse lente (saisonnière) dictée par les variations de réserve dans la nappe, l'émergence du Trou Bleu montre aussi une réponse rapide (quasi journalière) associée au transfert des pluies via les pertes et le réseau karstique.

Les mesures de l'ISSeP ne semblent pas montrer de baisse progressive du débit à la résurgence. Au-delà des incertitudes associées aux mesures de l'appareil, ce phénomène pourrait

s'expliquer par de nouveaux apports d'eau provenant de bassins avoisinants, notamment via le rejet d'eau usée depuis le zoning industriel entre Cornemont et Damre.

Les événements de la mi-juillet 2021 sont également bien visibles et assez impressionnants à l'émergence, qui a enregistré une valeur de débit de 1,92 m³/s (6900 m³/h) le jour même, juste avant de cesser de fonctionner. Le bassin a ensuite retrouvé un régime normal assez rapidement grâce à une dynamique rapide typique d'un système karstique.

Hydrochimie du système karstique de Sprimont

Dans le cadre du mémoire de Master réalisé par Deleu (2018), l'Université de Liège a effectué de nombreuses analyses hydrochimiques poussées sur les pertes du bassin de Sprimont, ainsi qu'à la Résurgence. Les résultats de cette étude sont disponibles en ligne (Deleu, 2018), et les principaux sont résumés ci-dessous. Une campagne d'échantillonnage des pertes et de la résurgence organisée en mars 2018 a permis d'analyser de nombreux paramètres hydrochimiques tels que les éléments majeurs (calcium, magnésium, sodium, nitrate, sulfate, carbonate, ...), des isotopes stables du nitrate ($\delta^{15}\text{N-NO}_3$ et $\delta^{18}\text{O-NO}_3$) et du bore ($\delta^{11}\text{B}$), 49 substances pharmaceutiques, des signatures fluorophores associées à l'activité bactérienne et la matière organique. Ces analyses ont été réalisées sur l'ensemble des pertes connues, ainsi qu'à la Résurgence du Trou Bleu.

Le diagramme de Piper permet d'interpréter les résultats d'analyse des éléments majeurs. Ce diagramme localise les échantillons sur deux diagrammes ternaires (trois axes) et les projette sur un diagramme losangique. Chaque diagramme représente les proportions relatives entre 3 séries de cations (Ca, Mg, Na+K) et anions (CO_3+HCO_3 , SO_4 , $\text{Cl}+\text{NO}_3$). La projection de ces deux diagrammes sur un diagramme combiné losangique permet d'identifier de manière très visuelle le type (faciès) de l'eau. Comme cela peut être observé sur la figure 4, la Résurgence du Trou Bleu ainsi que la plupart des ruisseaux de surface au niveau des pertes, montrent une composition chimique de type bicarbonaté calcique et magnésien caractéristique des eaux souterraines provenant d'aquifères calcaires et dolomitiques. La composition chimique du Trou Bleu est donc en grande partie influencée par l'arrivée d'eau de nappe contenue dans l'aquifère des calcaires du Carbonifère.

Les eaux des pertes quant à elle, montrent pour la plupart également une signature bicarbonatée calcique et magnésienne. Toutefois, les concentrations en ces éléments sont systématiquement plus faibles qu'à la résurgence, comme observable sur le diagramme de Stiff (figure 5). Cette composition ne peut s'expliquer que par la présence de calcaires en amont des pertes. Une localisation précise des pertes indique qu'elles sont souvent localisées en aval de la Formation du Pont d'Arcole, considérée comme imperméable. En amont de cette formation, se situent des formations carbonatées tels que les Formations d'Hastière et de Comblain-au-Pont. L'apport en calcium et carbonate de ces ruisseaux peut donc s'expliquer par l'occurrence d'écoulements de nappe provenant de ces formations. Les ruisseaux pourraient donc être considérés comme drainants en amont de la Formation du Pont d'Arcole. De plus, des ruissellements provenant des premières couches du sol en amont des pertes, qui doivent certainement contenir une charge caillouteuse calcaire, pourraient aussi contribuer à l'apport de calcium, magnésium et carbonates au niveau des pertes.

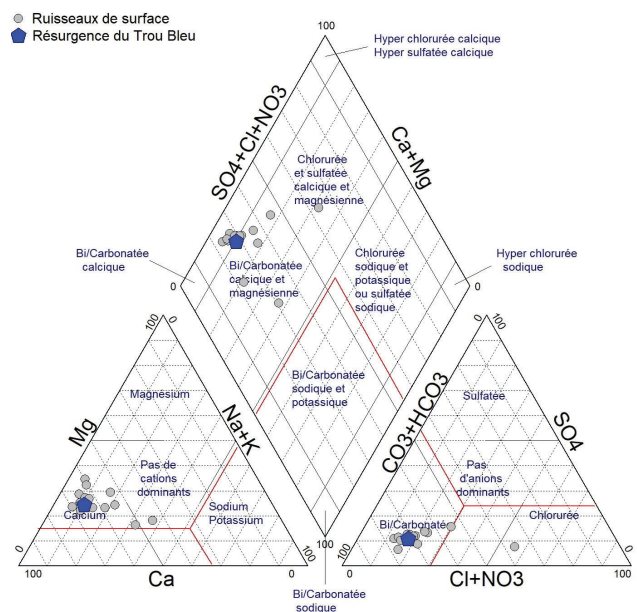


Figure 4. Diagramme de Piper des ruisseaux de surface en amont des pertes ainsi que de la Résurgence du Trou Bleu

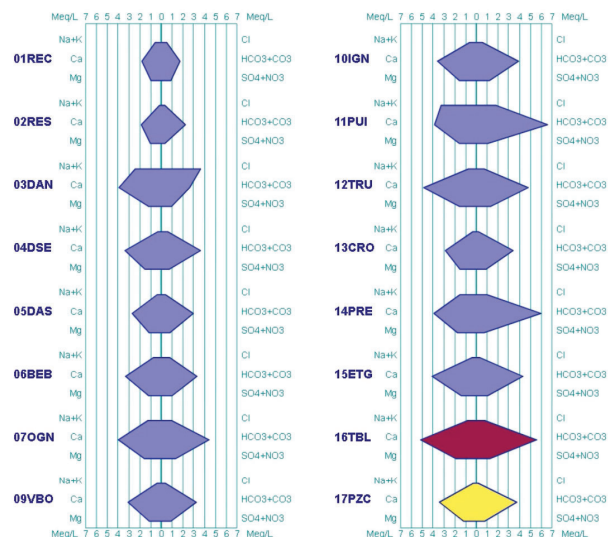


Figure 5. Diagramme de Stiff représentant les concentrations en éléments majeurs des échantillons.

Comme indiqué plus haut, la composition chimique du Trou Bleu est caractéristique d'un aquifère calcaire. La plus grande concentration en éléments majeurs de la Résurgence comparé aux pertes (figure 5) indique que les ruisseaux de surface ne suffisent pas pour enrichir la résurgence en calcium, magnésium, carbonates, ... Les processus de dissolution au sein des calcaires du Carbonifère permettent aux eaux s'engouffrant dans les pertes de continuer à s'enrichir en ions tels que le calcium, le magnésium ou les carbonates. Comme dit plus haut, les eaux provenant des pertes représentent seulement que 38% des eaux arrivant à la résurgence. Le reste du bassin versant qui alimente la résurgence ne présente pas de point d'infiltration localisé. L'eau qui y circule contribue donc plutôt à une percolation diffuse à travers la zone non-saturée (zone vadose) du milieu souterrain. Ces eaux de percolation peuvent subir un enrichissement important en éléments majeurs jusqu'à atteindre la zone saturée (nappe). Il y a

donc un mélange entre les eaux provenant des pertes (38%) et les eaux de nappe (62%) qui se fait en amont de la résurgence. La combinaison de ces deux eaux, enrichies en éléments issus de la dissolution des calcaires et toute autre source anthropique ou non, peut permettre d'expliquer la composition chimique de la résurgence.

Contaminations anthropiques dans le bassin de Sprimont

Le bassin de Sprimont est, dans sa partie centrale, fortement urbanisé. Cette urbanisation n'est pas sans conséquence sur la chimie des eaux de la résurgence. Des analyses hydrochimiques réalisées en 2018 (Deleu 2018) ont révélé de nombreux signes de contaminations de différents types au sein du bassin. Un aperçu de certains des résultats de cette étude sont mentionnés ci-après.

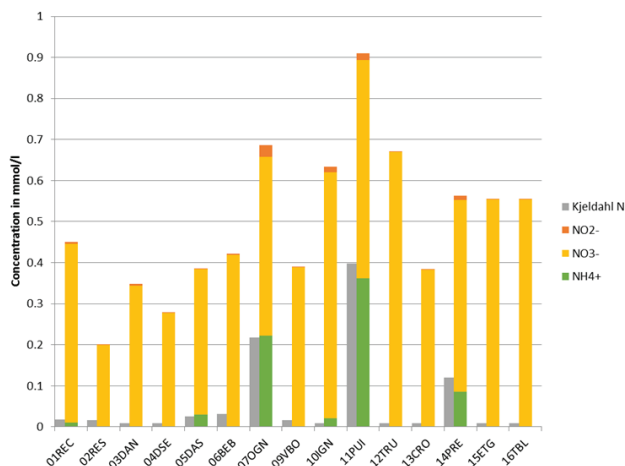


Figure 6. Concentration en nitrite, nitrate et ammonium à chaque perte et à la Résurgence du Trou Bleu. L'azote Kjeldahl représente l'azote provenant de substances organiques et de l'ammonium NH₄⁺. (D'après Deleu, 2018)

Premièrement, des mesures de concentration en différentes formes de l'azote telles que le nitrite, le nitrate, l'ammonium et l'azote Kjeldahl (azote organique + ammonium) montrent des variations importantes entre différents secteurs du bassin. Par exemple, les pertes de Damré-Village (05DAS), d'Ognée (07OGN), de la Rue de la Préalles (11PUI), et du Fond de Presseux (14PRE) montrent toutes des concentrations plus ou moins élevées en ammonium (figure 6). L'ammonium dans les cours d'eau est issu généralement de la décomposition de l'urine humaine et animale par des micro-organismes. La présence d'ammonium démontre donc généralement l'occurrence de rejets d'eaux usées domestiques et/ou d'élevages dans le bassin d'alimentation du point d'échantillonnage. Dans un milieu bien oxygéné, l'ammonium est ensuite rapidement transformé par oxydation en nitrite, qui est à son tour retransformé très rapidement en nitrate (processus de nitrification) :



L'absence d'ammonium n'est donc pas forcément synonyme d'absence d'eaux usées mais peut aussi être due à un rapide processus de nitrification entre la source de la contamination et le point d'échantillonnage.

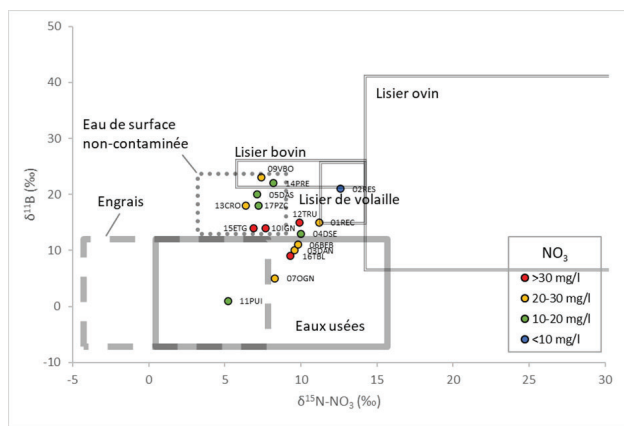


Figure 7. Analyses isotopiques du nitrate et du bore. (D'après Deleu, 2018)

Des analyses isotopiques du nitrate et du bore (figure 7) réalisées sur les mêmes échantillons ont permis d'identifier des sources de contamination. En mettant en relation l'isotope ¹⁵N du nitrate et le ¹¹B du bore, des sources de contamination telles que les eaux usées, les engrais, et le lisier animal peuvent être identifiées (Eppich et al. 2012, Neufcourt 2018). Les isotopes semblent démontrer la présence d'eaux usées dans la perte d'Ognée (07OGN), ainsi que la présence d'eaux usées et/ou d'engrais dans la perte de la Rue de la Préalles (11PUI), ce qui correspond bien avec la présence d'ammonium dans ces deux ruisseaux. De plus, les pertes de Bébert (06BEB) et des Possous (03DAN) ainsi que la Résurgence du Trou Bleu (16TBL) montrent une signature isotopique caractéristique de la présence d'eaux usées. Enfin, les pertes du Vieux Bac (09VBO) et du Fond de Presseux (14PRE) semblent montrer une signature caractéristique de la présence de bovins au sein de leur bassin versant. La perte du Trou du Renard (02RES) ne présentait pas de concentration en nitrate suffisante pour avoir un signal isotopique représentatif.

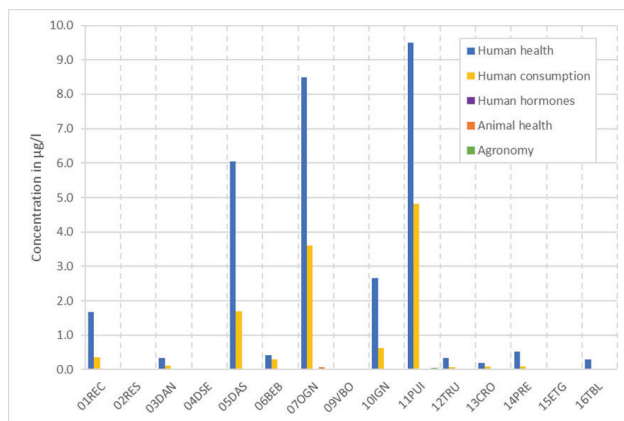


Figure 8. Concentrations cumulées en substances pharmaceutiques associées à différents usages. (D'après Deleu, 2018)

Enfin, des analyses de polluants émergents tels que certains pesticides, les produits pharmaceutiques, les antibiotiques, ... ont été réalisées sur les échantillons. En tout, 49 substances ont été analysées et ont été répertoriées en 5 catégories :

- La santé humaine (« human health »), ibuprofène et paracétamol étant les plus courants ;
- La consommation humaine (« human consumption »), essentiellement la caféine et la cotinine (métabolite de la nicotine) ;

- Les hormones humaines (« human hormones »), notamment des œstrogènes ;
- La santé animale (« animal health »), notamment des antibiotiques.

Comme observé sur la figure 8, la présence de substances « pharmaceutiques » peut être observée dans de nombreux ruisseaux de surface dans le bassin de Sprimont. Particulièrement, les pertes de Damré-Village (05DAS), d'Ogné (07OGN), d'Higné (10IGN) et de la Rue de la Préalles (11PUI) montrent des concentrations « élevées » en substances liées à la santé humaine et en caféine. Certains échantillons ont d'ailleurs montré des valeurs extrêmes, au-delà de la capacité de détection de la méthode d'analyse. Seuls

4 ruisseaux ne montrent pas la présence de ces substances. La présence de substances liées au métabolisme humain confirme l'occurrence de rejets d'eaux usées dans le bassin versant des pertes affectées. La Résurgence du Trou Bleu montre également des concentrations non-négligeables en substances pharmaceutiques.

Grâce aux nitrates, aux isotopes et aux polluants émergents, il est possible d'établir une synthèse des observations de contaminations anthropiques aux différents points de pertes. Le résumé des observations de contaminations est indiqué dans le tableau 3 ci-dessous.

| | Concentration en NH4+ (mg/L) | Concentration totale en pharmaceutiques (µg/L) | Signature isotopique | Synthèse de la contamination en eaux usées |
|-------|------------------------------|--|----------------------|--|
| 01REC | 0,18 | 2,05 | | ++ |
| 02RES | | | | |
| 03DAN | | 0,46 | Eaux usées | + |
| 04DSE | | | | |
| 05DAS | 0,54 | 7,74 | | +++ |
| 06BEB | | 0,72 | | + |
| 07OGN | 4,02 | 12,20 | Eaux usées | +++ |
| 09VBO | | | | |
| 10IGN | 0,38 | 3,30 | | ++ |
| 11PUI | 6,54 | 14,43 | Eaux usées | +++ |
| 12TRU | | 0,42 | | + |
| 13CRO | | 0,29 | | + |
| 14PRE | 1,54 | 0,62 | (Élevage bovin ?) | + |
| 15ETG | | 0 | | |
| 16TBL | | 0,37 | Eaux usées | + |

Tableau 3. Synthèse des contaminations dans les différents sites échantillonnés dans le bassin de Sprimont

Comme observé au tableau 3, de nombreuses pertes montrent des signes de contamination en eaux usées. Toutes les pertes contaminées comportent des habitations dans leur bassin versant, ce qui peut donc facilement expliquer la présence de ces contaminations en ammonium et en substances médicamenteuses. La perte du Fond de Presseux (14PRE) semble moins impactée par des eaux usées, mais elle présente une forte concentration en ammonium. Sa signature isotopique semble en outre être caractéristique de la présence de lisier. Cela colle parfaitement avec la présence d'une grosse exploitation d'élevage à peine 200m en amont de la perte, le long de la Rue de Presseux. Enfin, le Chantoir des Possoux (03DAN) est particulièrement intéressant puisqu'il récolte une grande partie des eaux usées provenant de la zone industrielle de Damré-Sprimont. En effet, les observations de terrain indiquent que ces eaux usées se déversent directement dans la perte sans aucun traitement. Ceci se reflète par des concentrations élevées en chlorure et sodium.

Conclusions

Le bassin de Sprimont est caractérisé par de nombreux phénomènes karstiques qui influencent énormément l'hydrogéologie des formations calcaires carbonifères sous-jacentes. De nombreuses pertes sont localisées au droit des calcaires du Carbonifère et les eaux qui s'y infiltrent ressortent toutes à la Résurgence du Trou Bleu le long de l'Ourthe. Le monitoring à long terme de cette résurgence met en évidence le caractère karstique du système. La réactivité de la résurgence face aux intempéries démontre que le réseau souterrain par lequel s'écoulent les eaux des pertes sont bien développés. De plus, les analyses hydrochimiques réalisées sur les pertes et la résurgence en 2018 semblent confirmer que les eaux du Trou Bleu sont composées d'un mélange entre les eaux des pertes circulant via le système karstique et les eaux de nappe issues de la percolation lente et diffuse dans les zones où aucune perte n'est présente. Ce mélange est estimé à 38% pour les eaux de perte et 62% pour les eaux de nappe. Enfin, les analyses révèlent de nombreuses contaminations anthropiques dans le bassin.

Ces contaminations sont principalement sous la forme de déversement d'eaux usées domestiques et industrielles dans les ruisseaux des pertes, mais aussi liées à l'élevage bovin. Les contaminations sont particulièrement importantes en substances pharmaceutiques notamment, qui sont souvent classées dans la catégorie des polluants émergents. Ces polluants sont étudiés depuis plusieurs années dans de nombreux sites via des programmes de recherche (Nott 2018, ISSeP 2020).

Références

- Belga (2014, 30 avril) Une grotte «exceptionnelle» découverte à Sprimont. *La Libre*. <https://www.lalibre.be/belgique/2014/04/30/une-grotte-exceptionnelle-decouverte-a-sprimont-ZZQ2PB5DPFC77DVQWTWFSOC2AE/> → réf article Albert ?
- Deleu R. (2018) Hydrology of the karstic basin of Sprimont, Belgium : on the use of spectrofluorimetry and pharmaceutical substances as a supporting tool for hydrochemistry analysis. Université de Liège, Université de Stockholm. doi : 10.13140/RG.2.2.24074.54721
- Eppich, G. R., Wimpenny, J. B., Yin, Q., Singleton, M. J., & Esser, B. K. (2012). California GAMA Special Study: Stable Isotopic Composition of Boron in Groundwater – San Diego County Domestic Well Data, 21.
- Gesels J., Gilson M., Brouyère S., Ruthy I. (2012) Hydrogéologie de la commune de Sprimont. Université de Liège. <https://hdl.handle.net/2268/173005>
- Meus P, Moureaux P, Gailliez S, Flament J, Delloye F, Nix P (2014) In situ monitoring of karst springs in Wallonia (Southern Belgium). *Environ Earth Sci* 71(2) : 533–541. doi :10.1007/s12665-013-2760-x
- Neufcourt, G. (2018). Utilisation de substances médicamenteuses comme traceurs du nitrate provenant des eaux usées par opposition à l'origine agricole. Université de Liège.
- Nott, K., Gillet, M., Carbonnelle, P., Fripiat, C., Moutier, M., Ronkart, S., Delloye F. & Brahy V. (2018). Recherche des substances émergentes dans les eaux et intéressant la santé publique et l'environnement.
- Popescu I.-C., Dor C., Orban Ph., Dassargues A., Brouyère S., 2021, Hydrogéologie du Néblon, Atlas du Karst Wallon, Bassin de l'Ourthe Condrusienne, p47-57.
- ISSeP (2020) Projet de recherche IMHOTEP - Inventaire des Matières Hormonales et Organiques en Traces dans les Eaux Patrimoniales et Potabilisables. Rapport final. 409 p.
- Wauter C. (2012) Etude des eaux souterraines du bassin de Sprimont. Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du grade de Bachelier en agronomie finalité environnement. Haute Ecole de la Province de Liège, La Reid, 75p.