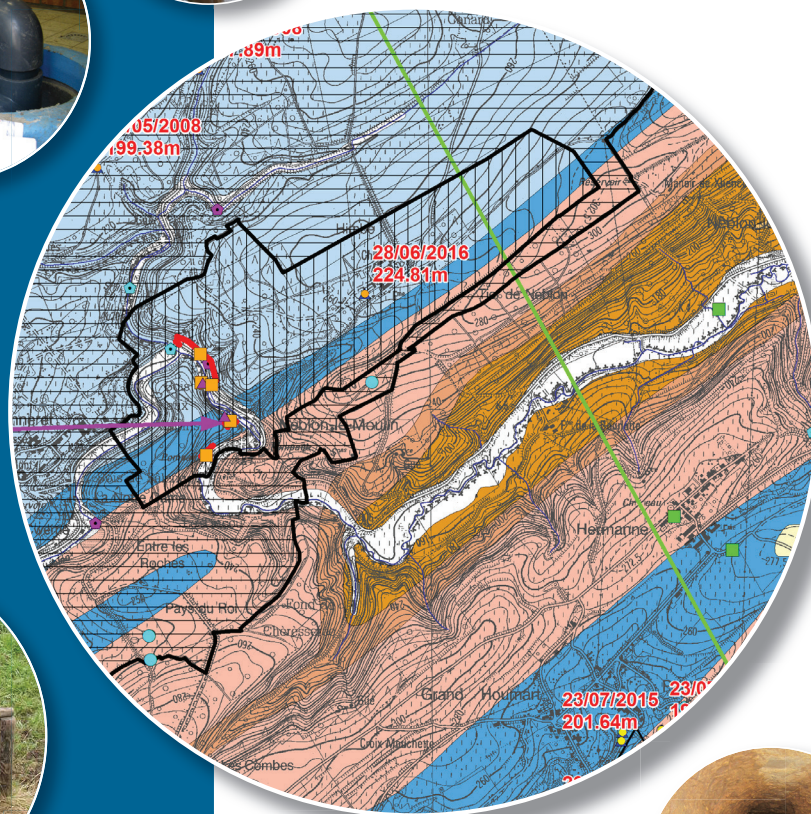


Notice explicative

CARTE HYDROGÉOLOGIQUE DE WALLONIE

Echelle : 1/25 000



Photos couverture © SPW-DGARNE(DGO 3)

Fontaine de l'ours à Andenne

Forage exploité

Argillère de Celles à Houyet

Puits et sonde de mesure de niveau piézométrique

Emergence (source)

Essai de traçage au Chantoir de Rostenne à Dinant

Galerie de Hesbaye

Extrait de la carte hydrogéologique de Hamoir – Ferrières



HAMOIR – FERRIERES

49/5-6

Ingrid **RUTHY**, Alain **DASSARGUES**

Université de Liège
Sart-Tilman - Bâtiment B52 B-4000 Liège (Belgique)



NOTICE EXPLICATIVE

2017

Première édition : Juin 2005
Actualisation partielle : Octobre 2016

Dépôt légal – **D/2017/12.796/2**- ISBN : **978-2-8056-0226-9**

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

**DIRECTION GENERALE OPERATIONNELLE DE L'AGRICULTURE,
DES RESSOURCES NATURELLES
ET DE L'ENVIRONNEMENT
(D GARNE-DGO 3)**

AVENUE PRINCE DE LIEGE, 15
B-5100 NAMUR (JAMBES) - BELGIQUE

Table des matières

Avant-propos	3
I. Introduction	4
II. Cadres géographique, géomorphologique, hydrographique et pédologique	5
III. Cadre géologique	10
III.1. Cadre géologique régional.....	10
III.2. Cadre géologique de la carte	11
III.2.1. Cadre litho-stratigraphique.....	12
III.2.1.1. Formations du Paléozoïque	12
III.2.1.2. Formations du Cénozoïque.....	17
III.2.2. Cadre structural	18
IV. Cadre hydrogéologique	20
IV.1. Description des unités hydrogéologiques	22
IV.1.1. Unités hydrogéologiques du Dévonien.....	22
IV.1.1.1. Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur	22
IV.1.1.2. Aquifère à niveaux aquicludes du Dévonien inférieur	22
IV.1.1.3. Aquitard de l'Eifelien	22
IV.1.1.4. Aquiclude de l'Eifelien	23
IV.1.1.5. Aquifère de l'Eifelien	23
IV.1.1.6. Aquifère des calcaires du Givetien	23
IV.1.1.7. Aquiclude du Frasnien	23
IV.1.1.8. Aquifère des calcaires du Frasnien	23
IV.1.1.9. Aquiclude du Famennien.....	24
IV.1.1.10. Aquitard du Famennien.....	24
IV.1.1.11. Aquifère des grès du Famennien.....	24
IV.1.2. Unités hydrogéologiques du Carbonifère.....	25
IV.1.2.1. Aquifère – Aquitard – Aquiclude de l'Hastarien	25
IV.1.2.2. Aquifère des calcaires du Carbonifère	26
IV.1.3. Unités hydrogéologiques du Cénozoïque	26
IV.1.3.1. Aquifère des sables de remplissage	26
IV.1.3.2. Aquitard limoneux.....	26
IV.1.3.3. Aquifère alluvial.....	27
IV.2. Description de l'hydrogéologie de la carte	29
IV.2.1. Cendroz (RWM021)	30
IV.2.2. Calestienne (RWM023).....	42
IV.2.3. Ardenne (RWM100).....	48
IV.2.4. Phénomènes karstiques.....	50
IV.2.5. Coupes hydrogéologiques	53
IV.2.6. Caractère des nappes	54
IV.2.7. Piézométrie de la carte Hamoir – Ferrières	54
V. Cadre hydrochimique	57
V.1. Caractéristiques hydrochimiques des eaux	59
V.1.1. Aquifère des calcaires du Carbonifère	59
V.1.2. Aquifère des grès du Famennien	62
V.1.3. Aquifère des calcaires du Dévonien.....	63
V.1.4. Unités hydrogéologiques du Dévonien moyen et inférieur.....	64
V.2. Problématique des nitrates.....	66

V.3. Qualité bactériologique	69
V.4. Pesticides	70
VI. Exploitation des aquifères	72
VII. Paramètres d'écoulement et de transport.....	75
VIII. Zones de protection.....	81
VIII.1. Cadre légal	81
VIII.2. Zones de prévention des captages de la SWDE	83
VIII.3. Zones de prévention des captages la CILE	84
VIII.4. Zones de prévention des captages de SPADEL s.a.	87
IX. Méthodologie d'élaboration de la carte hydrogéologique.....	88
IX.1. Origine des informations.....	88
IX.1.1. Données géologiques et connexes.....	88
IX.1.2. Données météorologiques et hydrologiques.....	89
IX.1.3. Données hydrogéologiques	90
IX.1.3.1. Localisation des ouvrages.....	90
IX.1.3.2. Données piézométriques.....	90
IX.1.3.3. Données hydrochimiques et tests sur les puits	91
IX.1.4. Autres données	91
IX.2. Base de données hydrogéologiques.....	91
IX.3. Poster de la carte hydrogéologique	92
IX.3.1. Carte hydrogéologique principale.....	92
IX.3.2. Carte des informations complémentaires et du caractère des nappes	93
IX.3.3. Carte des volumes d'eau prélevés	93
IX.3.4. Tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie'	94
IX.3.5. Coupes hydrogéologiques.....	94
X. Bibliographie.....	95
Annexe 1: Liste des abréviations des institutions et organismes	99
Annexe 2: Table des illustrations	101
Annexe 3: Carte de localisation.....	103
Annexe 4: Coordonnées géographiques des ouvrages cités dans la notice	104

AVANT-PROPOS

La réalisation de la carte hydrogéologique Hamoir – Ferrières s'inscrit dans le cadre du programme de cartographie des ressources en eau souterraine de Wallonie, commandé et financé par le Service Public de Wallonie (SPW), Direction Générale opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement (DGARNE-DGO3). Cette carte hydrogéologique a été réalisée par l'unité 'Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement' du secteur GEO³ du département ArGEnCo de l'Université de Liège. Le projet a été supervisé par le professeur Alain Dassargues et la carte réalisée par Ingrid Ruthy. La première version de cette carte date de juin 2005 (Ruthy & Dassargues, 2005). L'actualisation de cette carte a été effectuée en 2016 par Ingrid Ruthy et Thibault Willems (collaboration à la mise à jour des données cartographiques). Elle prend en compte les données disponibles dans la base de données "BD-Hydro" (outil de travail commun aux équipes universitaires et à l'administration wallonne, DGARNE). Ainsi les données concernées sont les zones de prévention, les volumes prélevés, les nouveaux ouvrages déclarés, des données piézométriques nouvelles encodées dans la base de données. Une collecte exhaustive de données complémentaires n'a pas été menée.

Collaborent au projet 'Carte hydrogéologique de Wallonie' l'Université de Mons (UMons), l'Université de Namur (UNamur) et l'Université de Liège (ULg) dont le site ULg-Arlon.

Les auteurs de la carte hydrogéologique remercient tous les bureaux d'études actifs dans le domaine de l'environnement qui ont fourni de nombreuses données. Nous remercions également la CILE et la SWDE. Nous remercions aussi tous les particuliers qui nous ont permis de visiter leur prise d'eau et d'y faire quelques mesures, lors de la première édition de la carte hydrogéologique. Merci aussi à Jean-Marc Marion, géologue-cartographe à l'Université de Liège (Département de Géologie) pour ses indications précieuses sur la lithologie et le cadre structural de la région. Merci également à Mohamed Bouezmarni (ULg-Campus d'Arlon, Département des sciences et gestion de l'environnement).

La carte hydrogéologique est basée sur un maximum de données géologiques, hydrogéologiques et hydrochimiques disponibles auprès de divers organismes. Elle a pour objectif d'informer de l'extension, de la géométrie et des caractéristiques hydrogéologiques, hydrodynamiques et hydrochimiques des aquifères, toutes personnes, sociétés ou institutions concernées par la gestion tant quantitative que qualitative des ressources en eaux.

Par un choix délibéré, toute superposition outrancière d'informations conduisant à réduire la lisibilité de la carte a été évitée. Dans ce but, outre la carte principale, deux cartes thématiques et deux coupes, géologique et hydrogéologique, ainsi qu'un tableau litho-stratigraphique sont présentés. Les données utilisées pour la réalisation de la carte ont été encodées dans une base de données (GDB-ArcGIS-Esri) qui a été remise à la Direction des Eaux Souterraines (SPW, DGO3 DGARNE).

Depuis mai 2006, la carte hydrogéologique de Wallonie est consultable en ligne via le portail cartographique du Service public de Wallonie. Cette application WebGIS est disponible à l'adresse <http://environnement.wallonie.be/cartosig/cartehydrogeo>.

I. INTRODUCTION

La carte d'Hamoir-Ferrières est située sur les provinces de Liège et de Luxembourg, à une trentaine de kilomètres au sud de Liège (Figure I.1). Les principales ressources en eaux souterraines de la région sont logées dans les aquifères calcaires du Carbonifère et du Dévonien de la partie orientale du Synclinorium de Dinant. Cette ressource en eau, de première importance, est exploitée par les compagnies d'eau pour l'approvisionnement en eau potable de la population. Les eaux du bassin du Néblon sont captées par la CILE afin d'alimenter, entre autres, une partie de l'agglomération liégeoise. Localement, les eaux du massif schisto-gréseux du bassin de Dinant sont captées dans les formations du Dévonien supérieur (Famennien) ou dans celles du Dévonien moyen-inférieur.

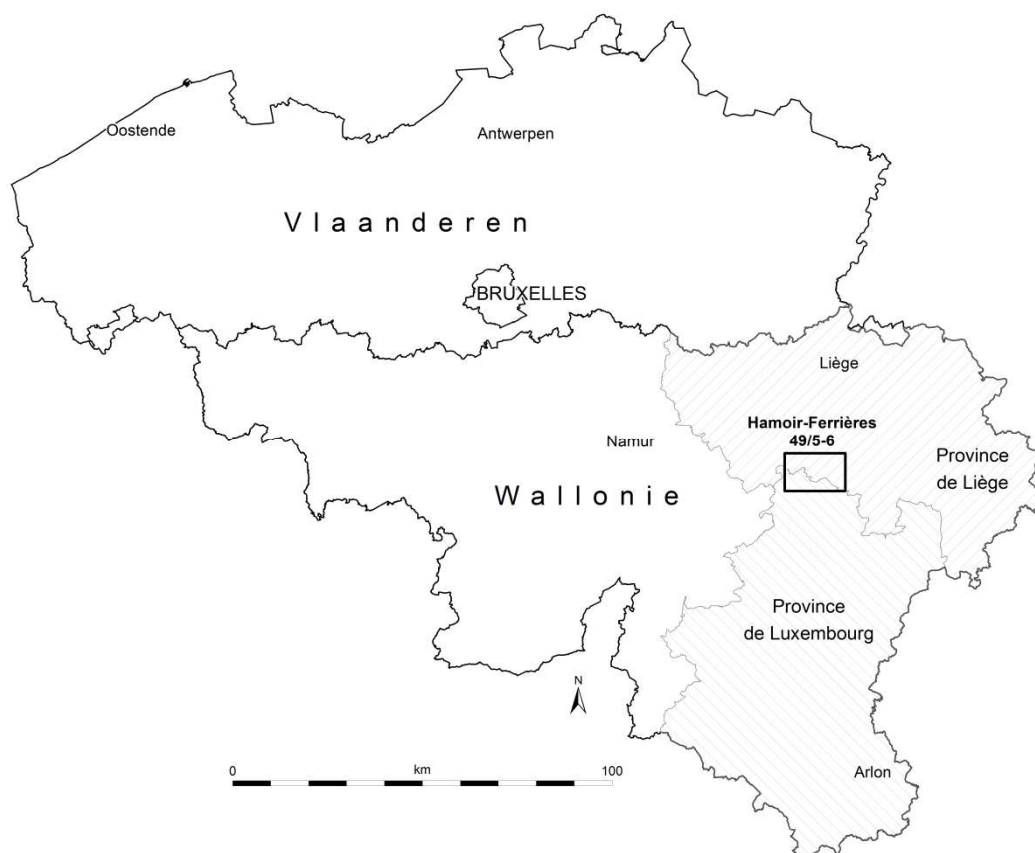


Figure I.1: Localisation de la carte Hamoir – Ferrières

II. CADRES GEOGRAPHIQUE, GEOMORPHOLOGIQUE, HYDROGRAPHIQUE ET PEDOLOGIQUE

La région de Hamoir – Ferrières se positionne sur plusieurs régions géographiques (Figure II.1). Entre le Condroz, au nord-ouest, et la Haute-Ardenne, au sud-est, se trouvent la Fagne-Famenne et sa bordure méridionale, la Calestienne. La partie orientale du Condroz se présente en plateau très découpé, avec une succession de tiges (crêtes gréseuses) et chavées (dépressions calcaires). Ce relief accidenté se marque particulièrement bien dans la zone de transition vers la dépression de la Famenne. Cette dernière zone est peu présente au droit de la carte étudiée, au profit de la Calestienne. Ce replat calcaire, palier par rapport à la dépression schisteuse, forme un gradin étroit précédant le plateau ardennais. Une succession de collines et de vallées creusées par les rivières issues du massif ardennais marque la partie est de la carte (Droeven et *al.*, 2004).

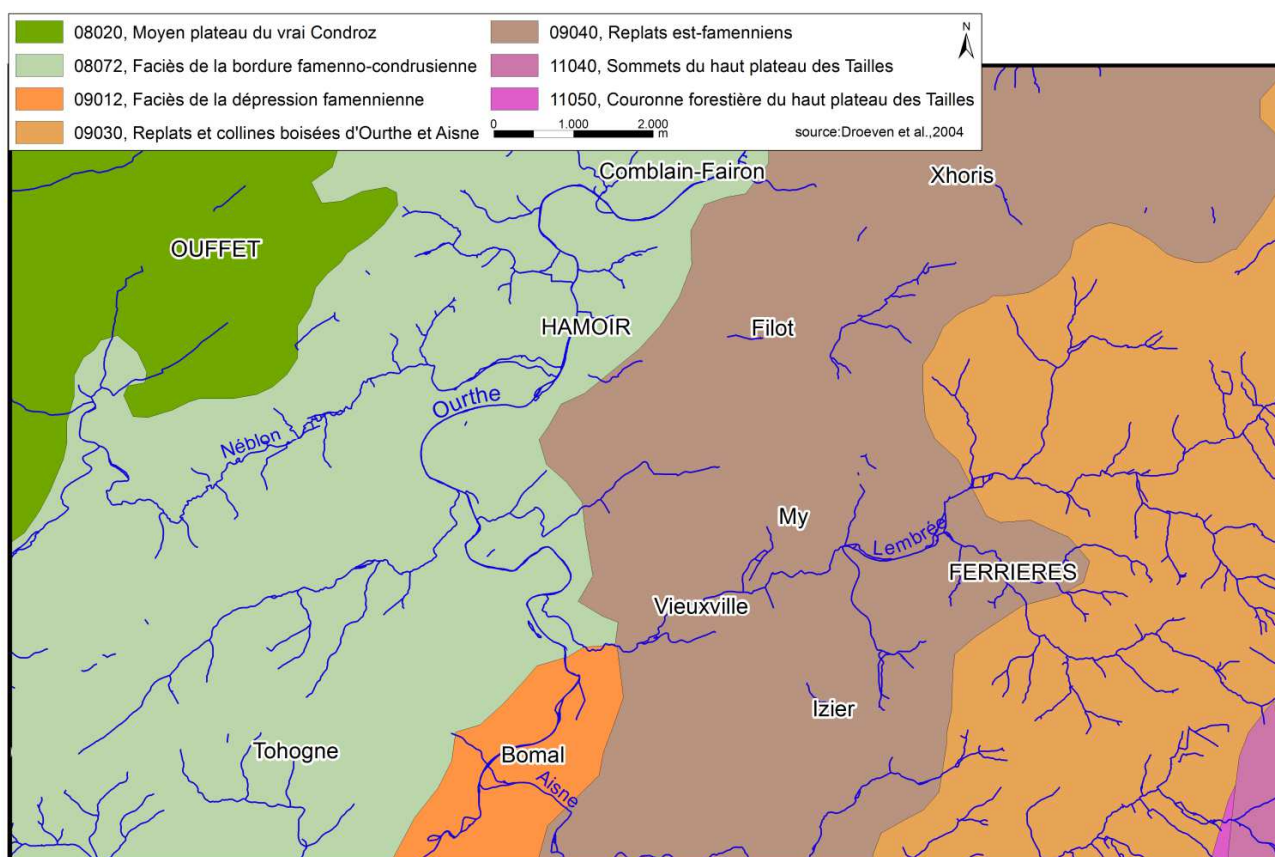


Figure II.1: Territoires paysagers¹ – Hamoir – Ferrières

Le relief de la carte Hamoir – Ferrières est contrasté (Figure II.2). La moitié occidentale est caractérisée par un relief ondulé de manière régulière. La moitié orientale est plus accidentée, avec des altitudes plus élevées et des vallées plus creusées. Le point bas de la carte se situe dans la plaine alluviale de l'Ourthe (à sa sortie de la carte) à l'altitude d'environ 100 m. Le point haut de la carte culmine à environ 430 m dans le coin sud-est, sur le talus ardennais.

¹ 76 territoires paysagers regroupés en 13 ensembles sont distingués en Wallonie. Une carte de ces territoires paysagers, accompagnée d'une notice explicative, est disponible auprès du SPW. Les références complètes de cette publication sont données au chapitre X (Droeven et *al.*, 2004).

Cette région appartient entièrement au bassin hydrographique de la Meuse. Deux bassins-versants majeurs se partagent la carte, en parts inégales (Figure II.2):

- le bassin de l'Ourthe couvre 96 % de la carte (153,5 km²). Ses eaux s'écoulent vers le nord et rejoignent la Meuse à Liège. Sur la carte Hamoir – Ferrières, trois sous-bassins importants y sont identifiés:
 - en rive gauche, le bassin du Néblon occupe environ 12,5 % de la carte (20 km²).
 - en rive droite, le bassin de l'Aisne (11% de la carte, soit 17,5 km²), et
 - le bassin de la Lembrée s'étend sur environ 36 km² (22,5 %).
- le bassin de l'Amblève draine 4 % de la carte (6,5 km²) dans le coin nord-est.

Le réseau hydrographique de la carte Hamoir – Ferrières n'est pas pérenne. En effet, plusieurs rivières se perdent dans des aiguigeois (chantoirs) lors de leur passage sur les roches calcaires. Ce point est développé dans le chapitre consacré aux phénomènes karstiques (chapitre IV.2).

Les caractéristiques climatiques principales du bassin de l'Ourthe dans son entièreté (superficie totale de 1844,23 km²) sont les suivantes (Observatoire des Eaux de Surface, 2004):

- la lame d'eau moyenne précipitée est de 971 mm/an (établie sur une période de 30 ans);
- l'évapotranspiration moyenne est de 554 mm/an (établie sur une période de 30 ans).

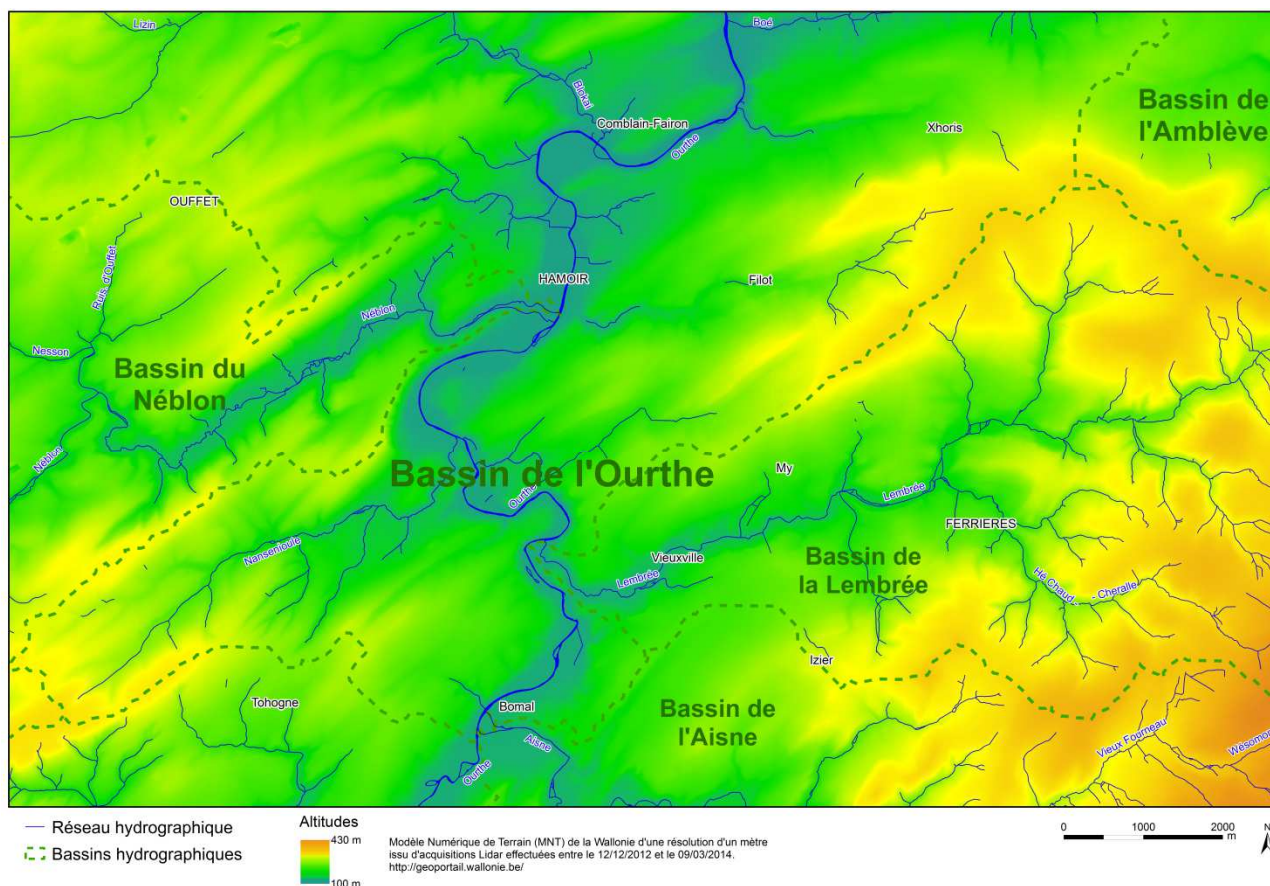


Figure II.2: Relief, bassins-versants, rivières – Hamoir – Ferrières

La nature du sous-sol et du sol influencent le relief et les paysages ainsi que l'affectation du sol. La carte des types de sols (Figure II.3) reflète bien la complexité de la géologie de la région de Hamoir – Ferrières. Les grandes structures géomorphologiques s'y lisent aisément. La succession des tiges et des chavées, dans la partie ouest de la carte, ressort nettement sur la carte pédologique. Cette carte indique une prépondérance des sols autochtones limono-caillouteux. Les données sont extraites de la Carte Numérique des Sols de Wallonie² (CNSW, 2008). La nature de la charge caillouteuse des sols est directement liée à la roche-mère. Les sols à charge schisteuse, psammitique ou schisto-psammitique sont situés au droit des crêtes gréseuses du Condroz, de la zone de transition vers l'Ardenne et du plateau ardennais. Ainsi, ces zones, dont les sols sont plutôt sableux, sont généralement couvertes par des bois, comme cela s'observe aux alentours de Ferrières (Figures II.3 & II.4). Les sols à charge calcaire se retrouvent logiquement davantage au droit des formations carbonatées. Ainsi, les chavées ou dépressions calcaires, ainsi que les versants en pente douce, sont occupés par les labours et les prairies. D'une manière générale, sur l'ensemble de la carte, la classe de drainage naturel, définie par la carte pédologique, est favorable.

La figure II.4 représente la carte d'occupation du sol de la région de Hamoir – Ferrières (répartition selon les 6 classes du niveau 1). Ces données sont extraites de la carte numérique de l'occupation du sol wallon³. Les espaces agricoles occupent environ les deux tiers de la superficie de la carte et les forêts environ un quart. Celles-ci occupent, prioritairement, les versants pentus. Les territoires agricoles sont composés pour un tiers de terres arables (labours) et pour deux tiers de surfaces enherbées (prairies). L'habitat est groupé en villages et hameaux. La catégorie "Territoires artificialisés" ne comprend pas exclusivement les zones d'habitat. Ainsi, les carrières et sablières (zone d'Ouffet) sont incluses dans ce groupe, tout comme le réseau routier. Les principales localités de cette carte sont Ouffet, Hamoir, Bomal, Ferrières ainsi que les villages de Xhoris, Sy, Tohogne... L'économie de la région repose principalement sur l'activité agricole de type mixte et sur le tourisme. Les noms de lieu-dit aux alentours de Ferrières témoignent d'une lointaine industrie métallurgique (Rouge-Minière, Vieux Fourneau).

² Pour plus d'informations, consulter <http://cartopro3.valid.wallonie.be/CIGALE/>

³ La Carte de l'Occupation du Sol en Wallonie (COSW) est dressée au 1/10 000. Elle est basée sur les données cartographiques vectorielles à la Région wallonne. La couche de base est le PLI (Plan de Localisation Informatique – 1/10.000). On peut considérer en effet qu'il couvre l'ensemble du territoire régional, même si une partie de ce dernier n'est pas « cadastrée » (5 % du territoire wallon). La légende de la COSW est hiérarchisée en 5 niveaux de détails. Le niveau 1, le plus global, comporte 6 classes d'occupation du sol et le niveau 5, le plus détaillé, en contient 97. Pour plus d'informations: <http://geoportail.wallonie.be>

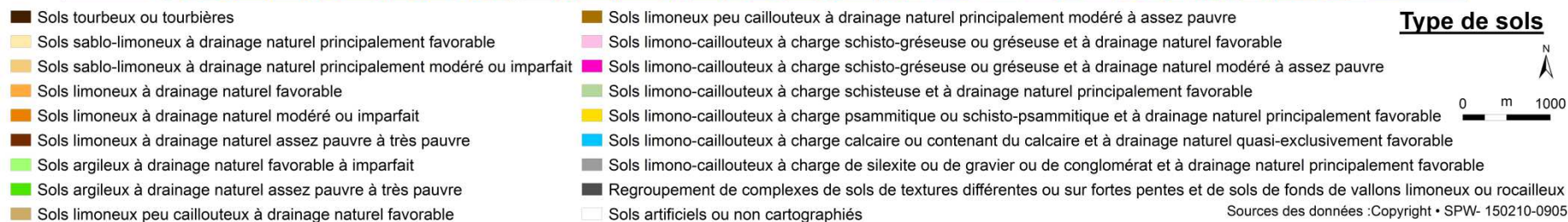
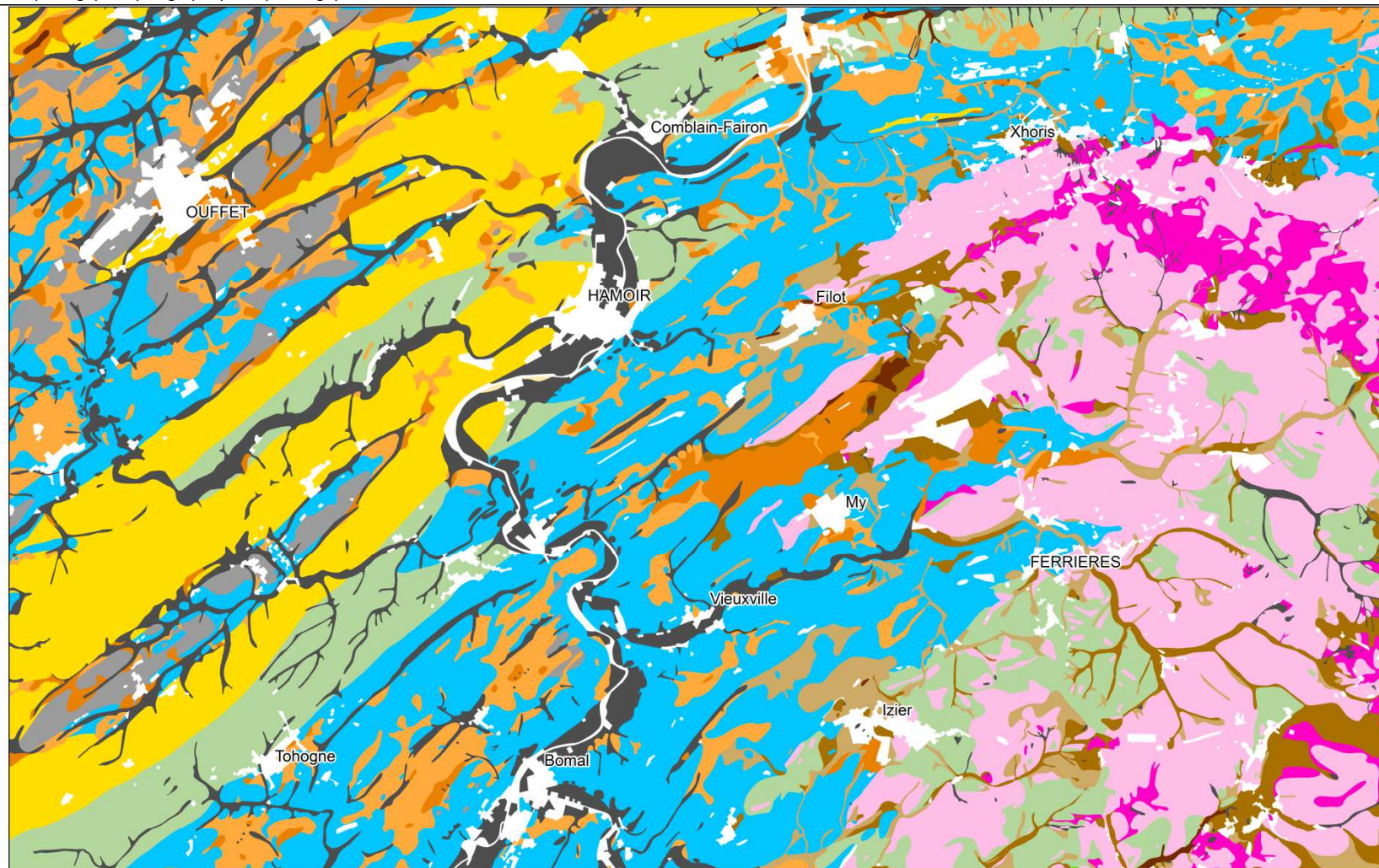
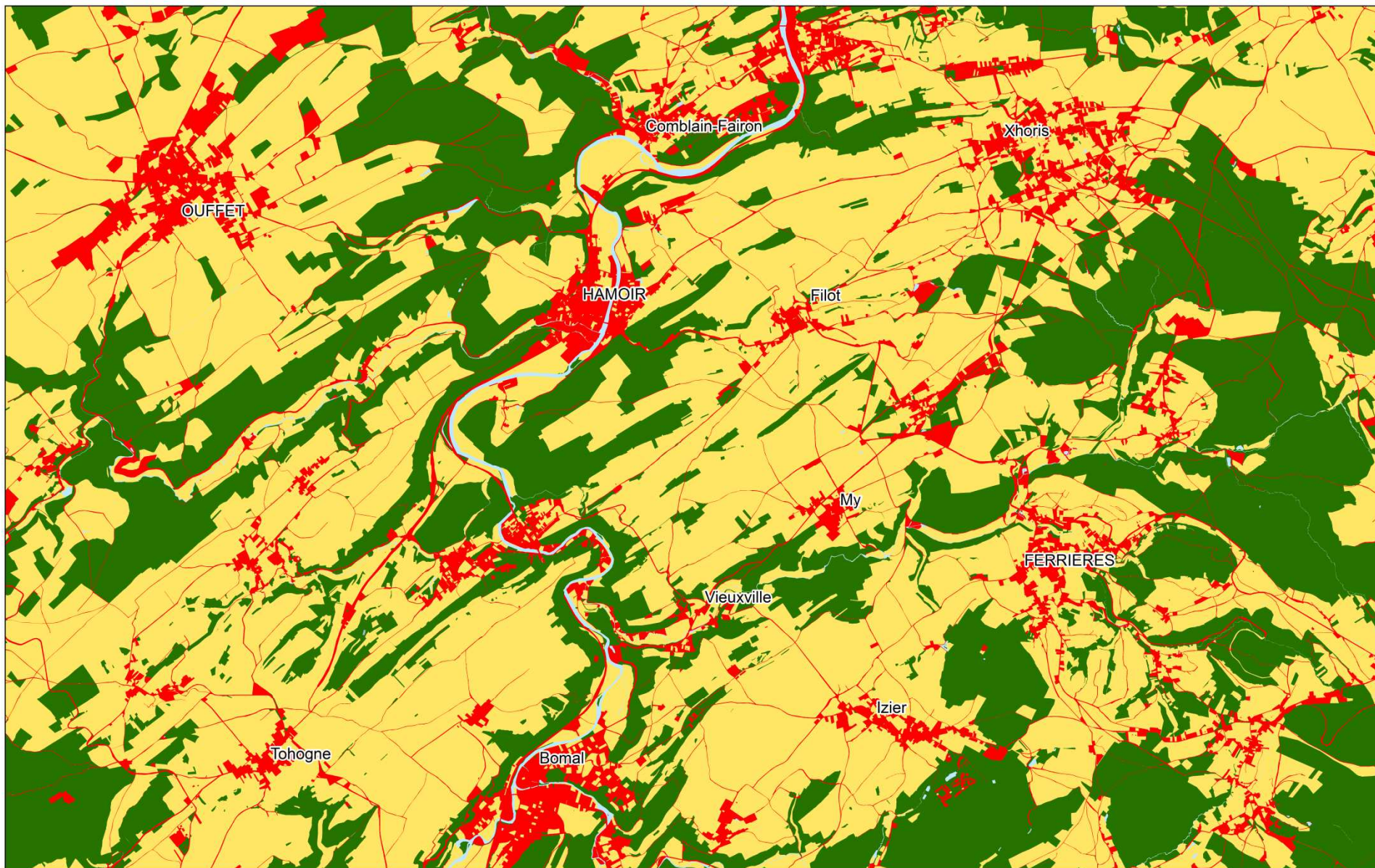
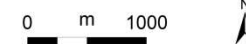


Figure II.3: Carte des types de sol – Hamoir – Ferrières



Occupation du sol (COSW) - Niveau 1

- Territoires artificialisés
- Territoires agricoles
- Forêts et milieux semi-naturels
- Zones humides
- Surfaces en eau



Sources des données : Copvriant • SPW- 150210-0905

Figure II.4: Carte de l'occupation du sol – Hamoir – Ferrières

III. CADRE GEOLOGIQUE

III.1. CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

La carte Hamoir–Ferrières se situe dans la partie orientale du Synclinorium de Dinant (Figure III.1). Cette mégastructure géologique est composée de formations sédimentaires dévono-carbonifères. Elle comprend deux zones synclinales séparées par un axe anticlinal de Philippeville à Durbuy. Dans le Condroz, le Synclinorium de Dinant est caractérisé par une succession d'anticlinaux gréseux à cœur famennien et de synclinaux calcaires carbonifères. Ces formations dévono-carbonifères ont été plissées et faillées lors de l'orogénèse varisque à la fin du Westphalien. Lors de cette phase orogénique, le Synclinorium de Dinant a été charrié vers le nord sur le Parautochtone brabançon par le jeu de la Faille du Midi. Le Synclinorium de Dinant est limité au sud par l'Anticlinorium de l'Ardenne (Boulvain & Pingot, 2011).

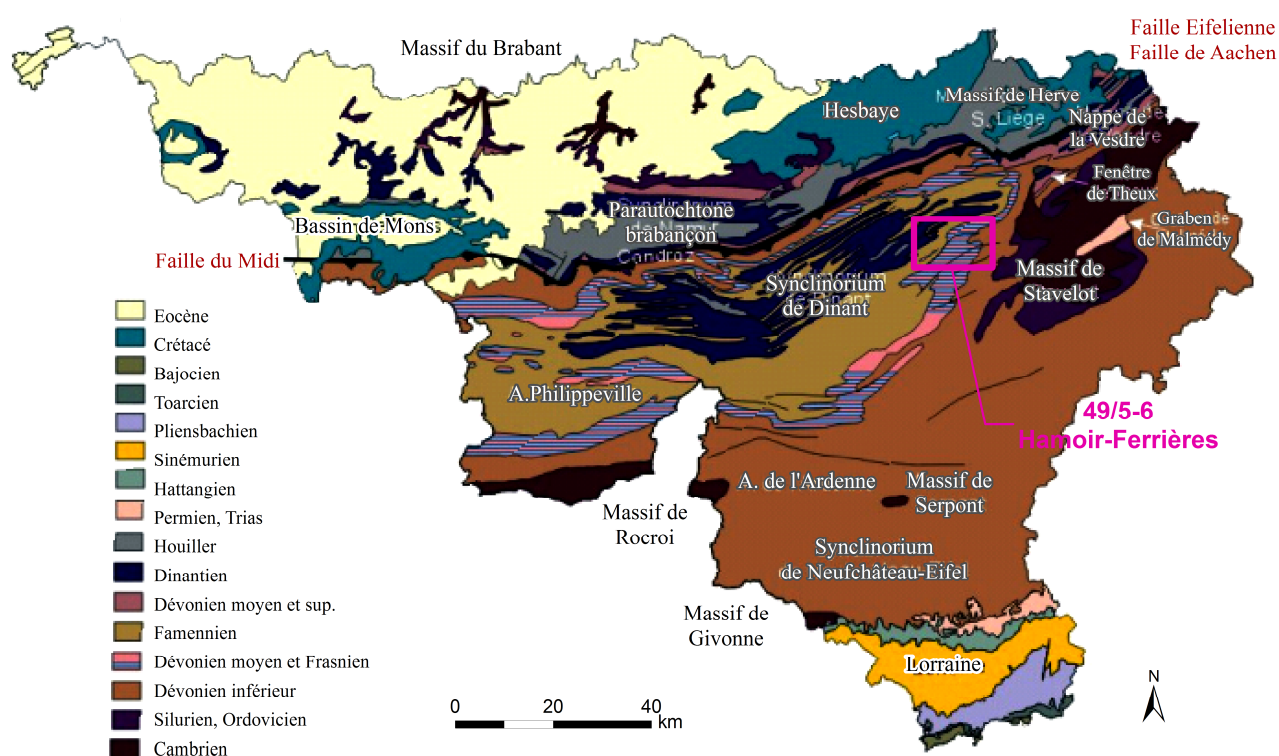


Figure III.1: Carte géologique de la Wallonie (Boulvain & Pingot, 2011; modifié)

III.2. CADRE GEOLOGIQUE DE LA CARTE

Les formations géologiques rencontrées à l'affleurement sur la carte Hamoir – Ferrières sont constituées de roches datant du Gedinnien au Viséen. Elles appartiennent au Synclinorium de Dinant. Après avoir subi l'orogénèse varisque, elles ont été érodées et pénéplanées. Des sédiments meubles, argilo-sableux, d'âge paléogène-néogène ont été piégés dans les paléokarsts. Les dépôts quaternaires sont aussi présents sous forme de dépôts limoneux, de produits d'altération, d'éboulis de pentes, de colluvions ou d'alluvions modernes dans les vallées.

A l'heure de la finalisation de l'actualisation de la carte hydrogéologique Hamoir – Ferrières, la nouvelle carte géologique n'est pas encore éditée. Les tracés sont réalisés mais ils ne sont pas encore validés par les comités de pilotage et de lecture de la carte géologique de Wallonie. Ainsi, la description lithologique des formations fait référence à la carte n°158 de M. Lohest et P. Fourmarier, dressée en 1902. Cette carte sert de fond à la carte hydrogéologique, utilisant ainsi les anciennes dénominations. Dusar (1989) a étudié la région d'Hamoir-sur-Ourthe. Ce levé géologique ne couvre pas l'entièreté de la carte d'Hamoir-Ferrières. La plupart des limites tracées sur la carte géologique de Dusar suivent un canevas biostratigraphique. Néanmoins, l'étude structurale de Dusar est plus complète et précise que la carte de Lohest. Cette information est mentionnée dans le chapitre consacré au cadre tectonique régional.

Rappelons que depuis le début du XX^{ième} siècle, l'échelle stratigraphique et le découpage des unités lithologiques ont changé. La terminologie utilisée actuellement ne correspond donc plus nécessairement à celle utilisée en 1902. A l'époque, la subdivision en assises correspondait à un découpage basé sur la biostratigraphie et la chronostratigraphie alors qu'aujourd'hui, les nouvelles cartes géologiques se basent sur la lithostratigraphie. Plus d'informations sur la nouvelle échelle stratigraphique de Belgique peuvent être trouvées dans Bultynck & Dejonghe (2001).

En outre, certains termes, anciens et locaux, ne sont plus très usités dans la terminologie actuelle (Dejonghe, 2007):

- *Macigno*: grès à ciment argilo-calcaire.
- *Psammite*: mot utilisé jadis en Belgique pour désigner des grès micacés largement employés en construction. La forte proportion de paillettes de micas, disposés en lits parallèles, leur confère une aptitude à se débiter en feuillets.
- *Schiste*: roche argileuse de la classe des lutites⁴, consolidée, ayant pris une schistosité. Notons que le mot schiste a souvent été employé en français dans le sens de shale.

⁴ Lutites: ensemble des roches sédimentaires détritiques dont les éléments sont de diamètre inférieur à 1/16 mm (62,5 µm)

III.2.1. Cadre litho-stratigraphique

III.2.1.1. Formations du Paléozoïque

III.2.1.1.1 Dévonien

Tous les étages du Dévonien affleurent sur la carte de Hamoir – Ferrières, des dépôts terrigènes du Gedinnien (Dévonien inférieur) à ceux du Famennien (Dévonien supérieur).

Gedinnien

Cet étage correspond, approximativement, au Lochkovien dans la nouvelle nomenclature (Dévonien inférieur). Il est composé de grès micacés et de schistes généralement bigarrés, souvent noduleux ou celluleux (Fooz). Sur le flanc nord du Synclinorium de Dinant, le Gedinnien (Gd) peut atteindre 150 à 200 m d'épaisseur. Il affleure très peu sur la carte Hamoir – Ferrières (Figure III.2).

Coblencien

Le Coblencien (Dévonien inférieur) affleure dans la partie orientale de la carte étudiée et au sud de la faille de Xhoris (Figure III.2). Cet étage est subdivisé en trois assises. De la plus ancienne à la plus récente:

- Cb1: schistes, grès à ciment détritique (grauwacke) et grès de Mirwart. Grès d'Anor et de Bastogne.
- Cb2: grès à ciment détritique (grauwacke), grès micacés et grès de Houffalize.
- Cb3: grès et schistes de Vireux.

Dans l'échelle lithostratigraphique révisée, le Coblencien inférieur (Cb1) et moyen (Cb2) correspondent au Praguien (anciennement Siegenien). Le Coblencien supérieur (Cb3) et le Burnotien (Bt) correspondent à l'Emsien.

Burnotien

Le Burnotien (Dévonien inférieur) est caractérisé par des grès et des schistes rouges de Winenne. Cet étage n'est présent qu'au sud de la faille de Xhoris (Figure III.2).

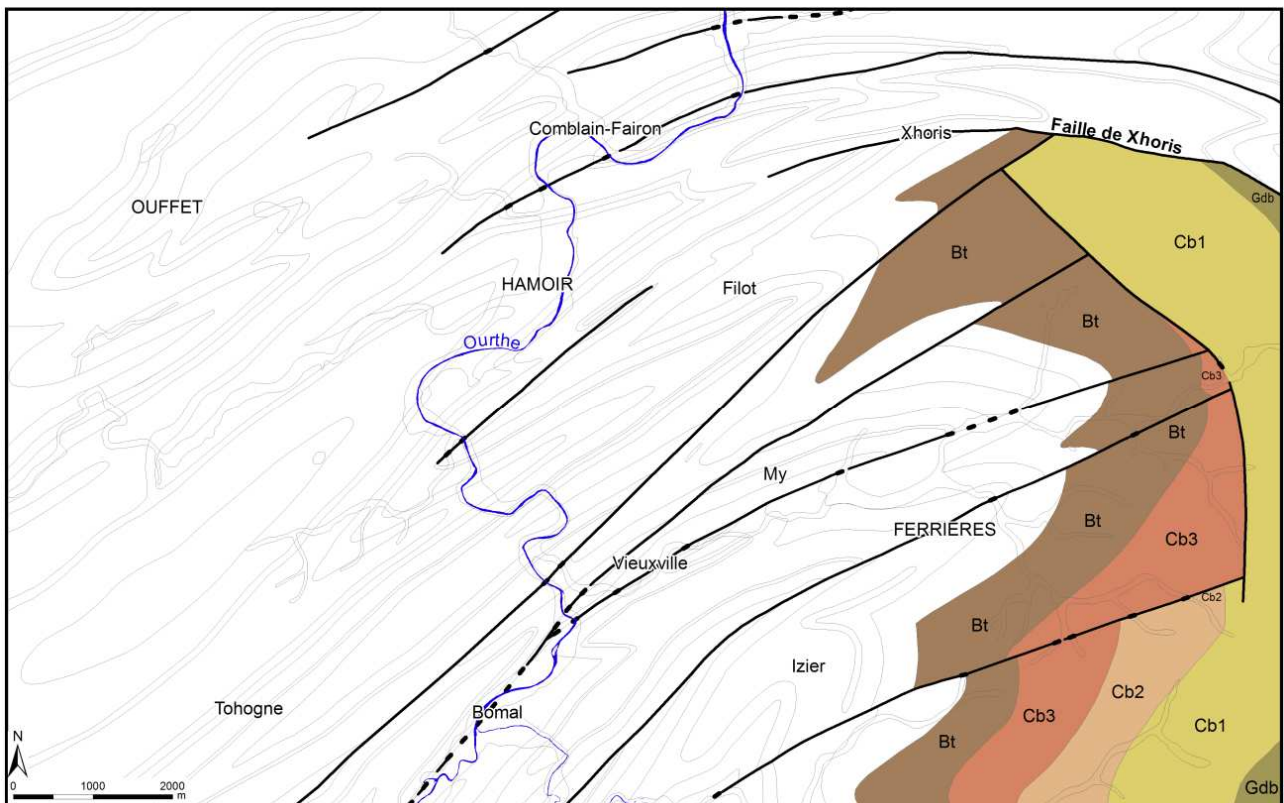


Figure III.2: Zones d'affleurement du Dévonien inférieur –Hamoir – Ferrières

Couvinien

Premier étage du Dévonien moyen, le Couvinien (Co) est composé essentiellement de schistes (Couvin) et de grès (Bure). Quelques passées carbonatées sont observées par endroits (calcaires de Couvin). Il n'affleure qu'au sud de la faille de Xhoris (Figure III.3).

Dans la nouvelle échelle lithostratigraphique de Belgique, cet étage correspond approximativement à l'Eifelien.

Givetien

Le Givetien (Gv) constitue l'étage carbonaté du Dévonien moyen. On y observe le calcaire de Givet et à *Stringocephalus Burtini* (Gva), ainsi que le calcaire à stromatopodes et polypiers avec un horizon schisteux à la base (Gvb). Cet étage affleure dans la partie centrale de la carte et au nord-est (Figure III.3).

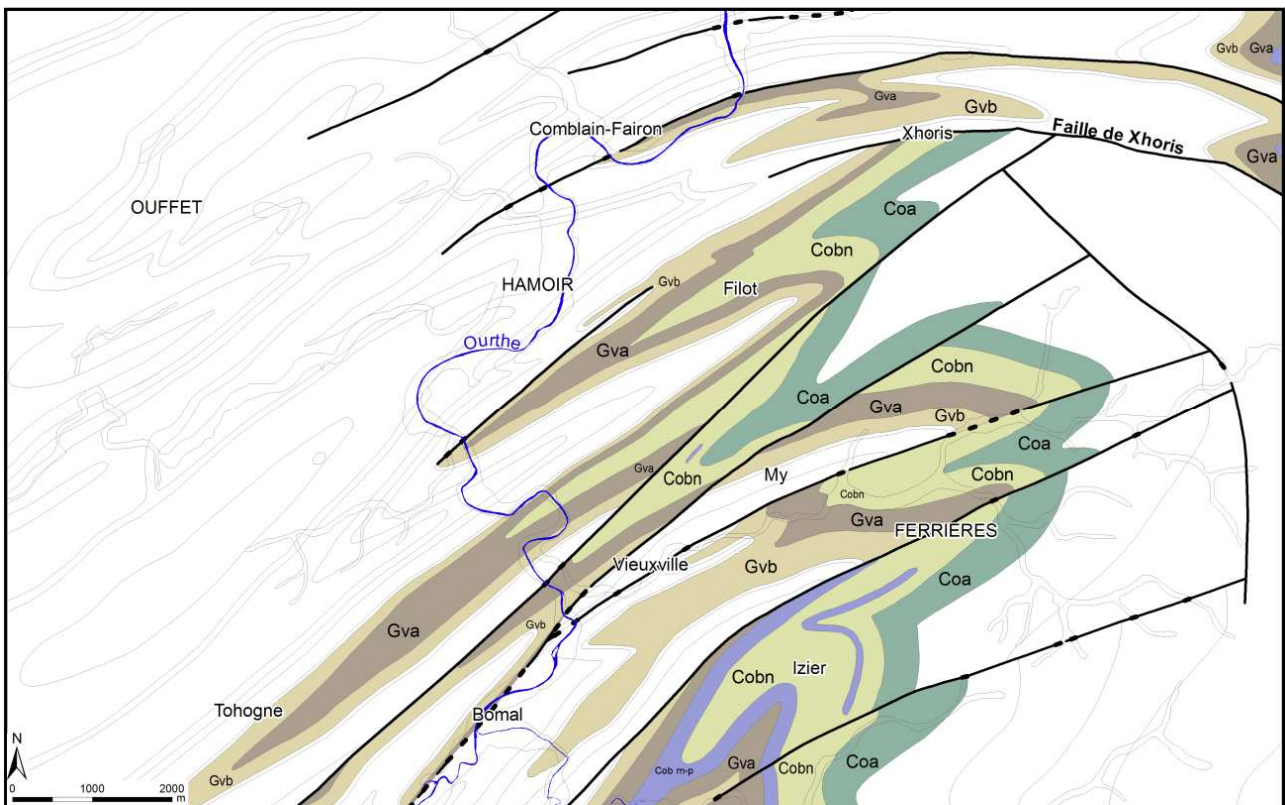


Figure III.3: Zones d'affleurement du Dévonien moyen –Hamoir – Ferrières

Frasnien

Le Frasnien (Fr) marque le début du Dévonien supérieur. Sur cette carte, cet étage à dominance carbonatée est caractérisé par deux couches schisteuses. Le Fr1m est constitué de schistes divers souvent noduleux et au sommet de l'étage, on trouve les schistes de Barvaux, Fr2. Les formations carbonatées sont composées de dolomies (Fr1y), de calcaire stratifié, massif ou noduleux (Fr1o), de calcaire rouge et gris (Fr1p). L'épaisseur totale du Frasnien est de l'ordre de 300 m (Coen, 1974). Il affleure dans le nord-est et sur l'axe central de la carte Hamoir – Ferrières (Figure III.4).

Famennien

Le Famennien, étage psammo-pélique, affleure dans les anticlinaux de l'ouest de la carte, ainsi qu'au droit d'une étroite bande au nord (Figure III.4). L'épaisseur totale du Famennien dans la région d'Hamoir est d'environ 765 m et peut atteindre 870 m dans la vallée de l'Ourthe (Dusar, 1989).

Le Famennien inférieur (Fa1) est représenté par trois assises, non distinguées cartographiquement:

- Assise de Senzeilles (Fa1a): schistes souvent verdâtres, fréquemment noduleux.
- Assise de Mariembourg (Fa1b): essentiellement schistes violacés avec grès micacés.
- Assise d'Esneux (Fa1c): grès micacés stratoïdes et schistoïdes à nombreux spirifères et tiges minces d'encrinites.

Le Famennien supérieur (Fa2) compte quatre assises, de la plus ancienne à la plus jeune:

- Assise de Souverain-Pré (Fa2a): grès à ciment argilo-calcaire ou schistes noduleux avec grès micacés et schistes vers le haut.
- Assise de Monfort (Fa2b): grès micacés stratoïdes en bas de l'assise, massifs en haut.
- Assise d'Evieux (Fa2c): grès micacés et schistes avec grès à ciment argilo-calcaire ou schistes noduleux.
- Assise de Comblain-au-Pont (Fa2d): alternance de calcaire, schistes, grès micacés et grès à ciment argilo-calcaire. Le sommet de cette assise a été rattaché au Strunien.

Les assises supérieures du Famennien supérieur (Fa2 b-c-d) sont cartographiées ensemble sur la carte Hamoir – Ferrières.

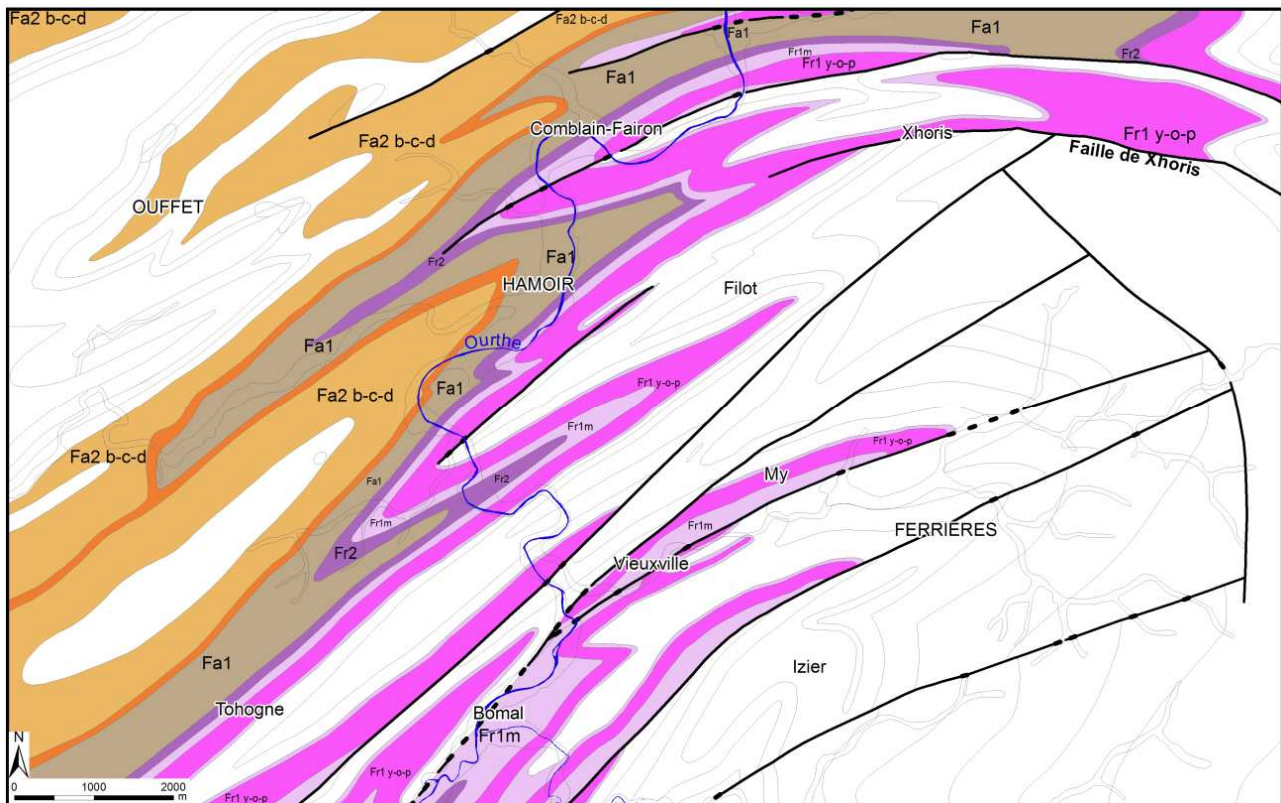


Figure III.4: Zones d'affleurement du Dévonien supérieur –Hamoir – Ferrières

III.2.1.1.2 Carbonifère

La sédimentation du Carbonifère commence par des dépôts carbonatés du Dinantien (Tournaisien-Viséen) et devient terrigène au Silésien (Houiller). Cette dernière série n'est pas représentée sur la carte étudiée. Au Tournaisien, un faciès carbonaté marin de type épicontinental s'installe progressivement avec à la base des schistes et des calcaires en alternance, franchement carbonatés ensuite. Au Viséen, le faciès est nettement plus carbonaté avec des passages dolomités. Le Houiller se caractérise par le retour à un faciès schisto-gréseux de type paralique et riche en matières carbonées.

Plusieurs aires de sédimentation du Dinantien sont observées au sein de la plate-forme carbonatée, située au sud du Massif du Brabant. La carte Hamoir – Ferrières appartient à l'aire de sédimentation du Condroz (ASC)(Hance et al, 2001).

Tournaisien

Le Tournaisien inférieur (T1), défini comme l'Assise d'Hastière sur la carte de 1902 et redéfini en tant qu'Étage Hastarien dans la nouvelle échelle stratigraphique, est constitué de

- T1a: calcaires à crinoïdes avec minces lits schisteux intercalaires.
- T1b: shales bruns foncés. Épaisseur approximative: 10-15 m.
- T1c: calcaires à crinoïdes de Landelies.
- T1ch: calcschistes et calcaires noirs argileux.

Ces formations ne sont pas distinguées cartographiquement sur l'ancienne carte géologique. Elles sont regroupées sous l'Assise d'Hastière, T1.

Le Tournaisien supérieur (T2), défini comme Assise d'Ecaussines et Waulsort sur l'ancienne carte et redéfini en tant qu'Étage Ivorien, regroupe

- T2a: calcaires d'Yvoir à cherts noirs et crinoïdes sporadiques.
- T2b: calcaires à crinoïdes et à débris de paléchinides, sans chert, petit "granit" de l'Ourthe et des Ecaussines.

Comme pour le Tournaisien inférieur, il n'y a pas de distinction cartographique de ces sous-assises sur la carte géologique de 1902. Elles y sont donc regroupées sous le terme T2.

Les assises du Tournaisien affleurent dans la partie occidentale de la carte (Figure III.5). Leur épaisseur totale est de l'ordre de 200 m (Dusar, 1989).

Viséen

Cet étage est subdivisé en deux assises sur la carte géologique de Lohest et Fourmarier (1902): Dinant (V1) et Visé (V2). Dans la nouvelle nomenclature, le Viséen est une série, elle-même subdivisée en trois étages: Moliniacien, Livien, Warnantien.

Sur la carte Hamoir – Ferrières, le Viséen inférieur (V1) est composé de

- V1a: calcaires noirs, souvent dolomités.
- V1b: calcaires noirs et bleus à crinoïdes, généralement dolomités. Encrinite à la base.

Le Viséen supérieur (V2) est composé de

- V2a: calcaires massifs clairs, souvent oolithiques, calcaires gros à grains cristallins.
- V2b: calcaires gris souvent très compacts, parfois grenus.
- V2c: calcaires à stromatolites, calcaires clairs à foncés, souvent algaires, calcaires foncés séquentiels, quelques intercalations argilo-charboneuses. Grande brèche (V2cx).

Ces formations ne sont pas distinguées cartographiquement sur l'ancienne carte géologique (Figure III.5). Elles sont regroupées sous les termes V1 et V2. Elles affleurent au cœur des

synclinaux dans le nord-ouest de la carte. L'épaisseur globale maximale de cet étage est estimée à 420 m (LGIH, 1989b)

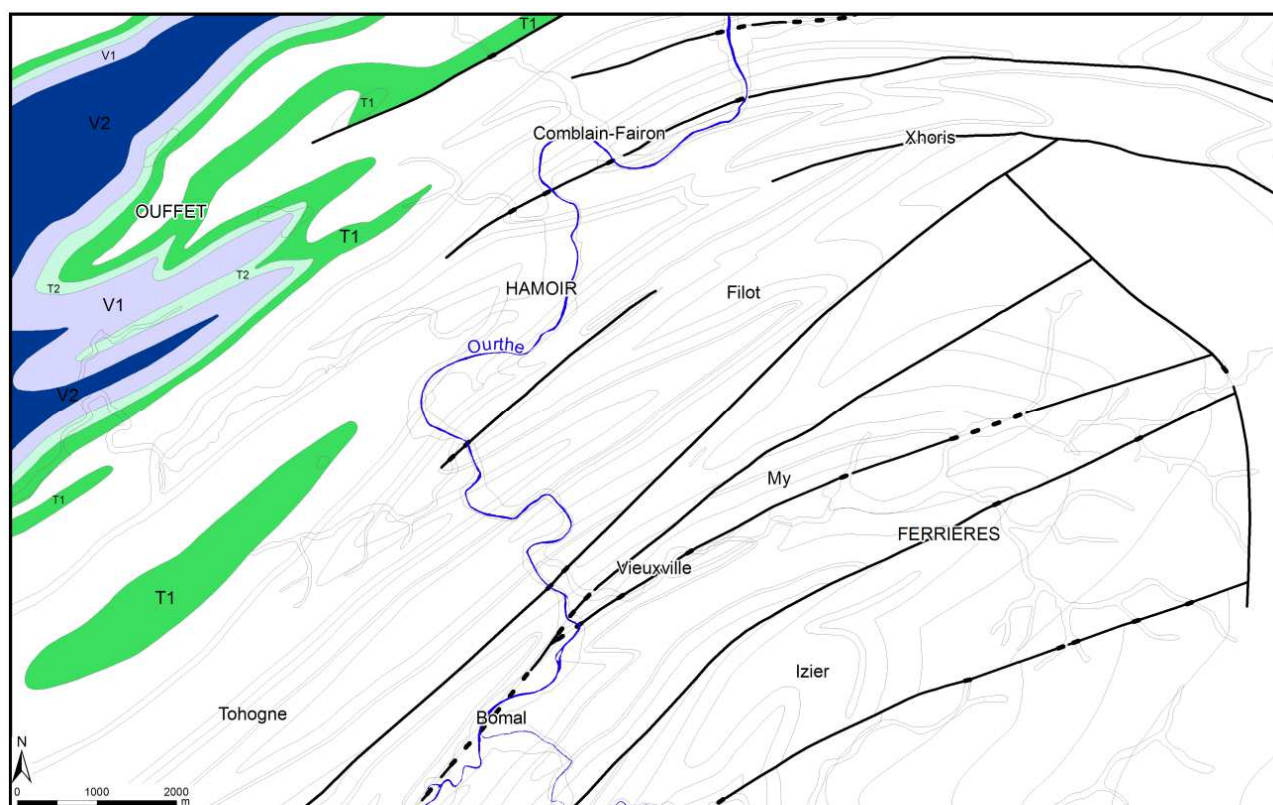


Figure III.5: Zones d'affleurement du Carbonifère –Hamoir – Ferrières

III.2.1.2. Formations du Cénozoïque

III.2.1.2.1 Paléogène

Il subsiste quelques **dépôts sableux** datant de l'Oligocène (Ona, Onx). Ils comblent les paléokarsts affectant les calcaires carbonifères. Ces dépôts, assez hétérogènes, sont composés de sables quartzeux souvent micacés, fins à moyens, sans stratification précise et, parfois avec des lentilles argileuses et des amas de cailloux. Ces poches ont une extension très variable (quelques mètres à quelques dizaines de mètres). Ces dépôts, peu nombreux sur la carte Hamoir – Ferrières, sont essentiellement localisés sur les synclinaux calcaires du Carbonifère (partie ouest de la carte).

III.2.1.2.2 Quaternaire

Les **alluvions modernes** (alm), localisées dans les fonds de vallée, sont formées de limon argileux, de silt, de sable et de gravier. Leur épaisseur est très variable, de quelques décimètres à un ou deux mètres.

D'**autres dépôts quaternaires** sont aussi observés sur la carte Hamoir – Ferrières. Ils ne sont pas cartographiés sur la carte hydrogéologique. Une couverture constituée par des limons d'origine éolienne (lœss) s'étend sur l'ensemble de la région avec des épaisseurs variables selon l'endroit (pente douce ou replat et pente raide).

III.2.2. Cadre structural

La description du cadre structural est basée sur la carte levée par Dusar (1989). La figure III.6 reprend les failles identifiées par cet auteur. A titre comparatif, sur la figure III.7 sont reprises les failles tracées sur la carte de Lohest et Fourmarier (1902). Pour rappel, c'est cette dernière carte qui sert de fond à la carte hydrogéologique. Entre ces deux levés, on constate qu'il y a plus de failles cartographiées chez Dusar et que le tracé de celles déjà observées par Lohest est modifié.

La carte d'Hamoir-Ferrières est située à la bordure orientale du Synclinorium de Dinant. Cette unité structurale majeure comprend deux zones synclinales séparées par un axe anticlinal majeur courant de l'Anticlinal de Durbuy à l'Anticlinorium de Philippeville. L'accident tectonique majeur de la région étudiée est la zone faillée de Xhoris. La faille de Xhoris pénètre ici le Synclinorium de Dinant à partir du Massif de Stavelot. Le système faillé de Xhoris délimite l'Anticlinal de Durbuy vers le sud et le Condroz vers le nord. La pente de la faille de Xhoris, faille de charriage, change graduellement. A Xhoris, elle est la plus faible 40° vers le sud et de direction approximativement est-ouest. Ensuite, elle se dirige vers le sud-ouest et la pente s'accroît, jusqu'à devenir subverticale à hauteur de Durbuy.

Les failles de Herbet, Bomal; Rouge-Minière, Ferrières et Trou dirigées $N60^\circ E$ semblent très redressées (pendage sud de $\pm 70^\circ$). Il s'agit de failles inverses. Les failles de Ferrières et de Rouge-Minière présentent un rejet important sur le terrain (Halleux, 1979).

L'allure des plis varie également. La direction générale de l'axe des plis est de $N40^\circ$ à $80^\circ E$ (Halleux, 1979). Ils sont asymétriques et renversés vers le nord dans les couches les plus anciennes affleurant dans la partie orientale de la région étudiée. Ils deviennent symétriques (style condruzien) dans les couches généralement plus récentes affleurant dans la partie occidentale. L'allure des plis est aussi fortement influencée par la compétence inégale des roches (schistes incompétents, calcaires compétents).

Ces failles et axes de fracturation jouent un rôle important dans l'hydrogéologie régionale puisqu'ils peuvent correspondre à des zones d'écoulement préférentiel des eaux souterraines ou de seuils hydrogéologiques, selon la nature de leur remplissage.

Un grand nombre de failles sont minéralisées, comme au sud de la faille de Xhoris, dans les formations du Givetien, du Couvinien et du Burnotien. Le minerai de fer en provenance des couches sommitales du Couvinien et de l'Emsien est sous la forme de dépôts de sidérose et d'hématite, limonitisés à la surface (Dusar, 1989). En relation directe avec des failles ou des diaclases, des minéralisations de fer et de plomb, accessoirement de cuivre et de zinc ont été observées dans les calcaires comme dans les schistes. Très sporadiquement, quelques gîtes métallifères ont été reconnus aux contacts schiste-grès et calcaire à Houmart (Tohogne). Ces gisements ont été exploités jusque vers la fin du 19^{ième} siècle. D'autres gîtes métallifères ont été localisés à Comblain-Fairon, au nord de la faille de Xhoris, entre les failles de Herbet et de Bomal, dans la zone d'Izier.

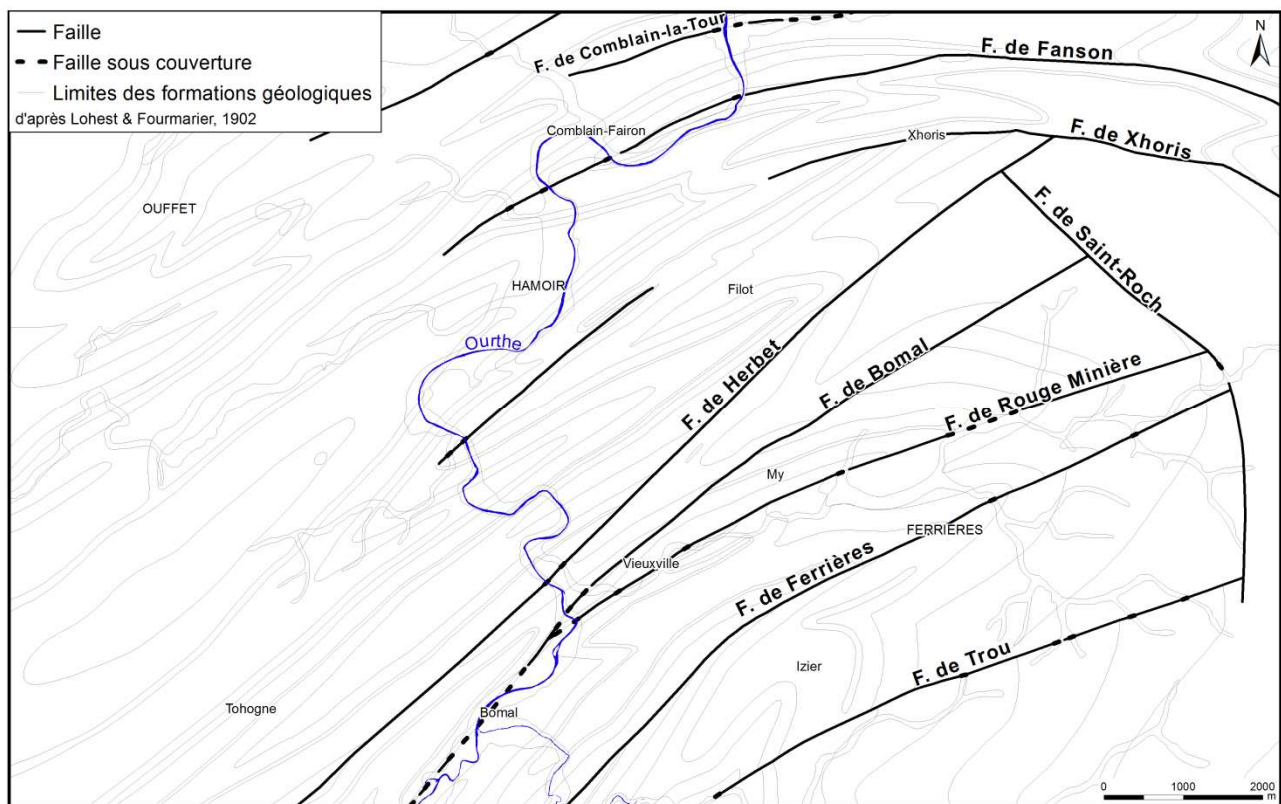
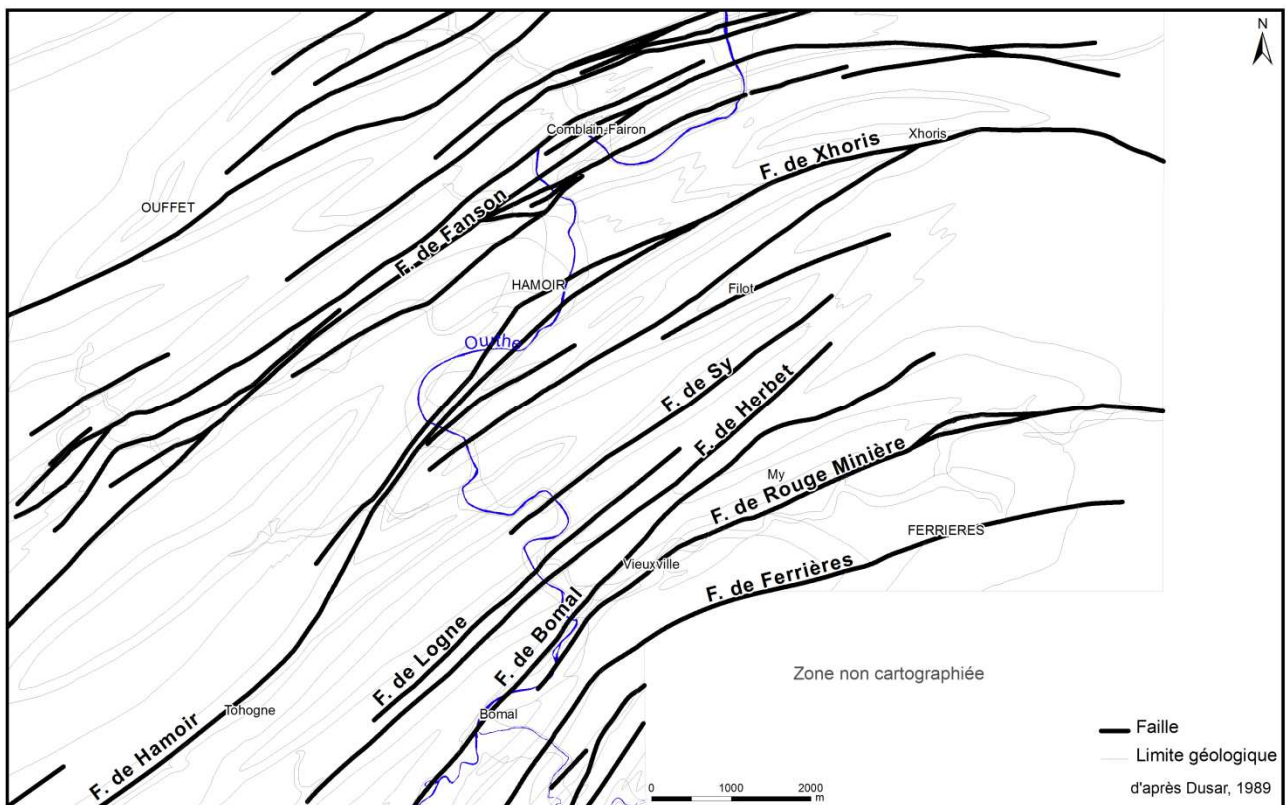


Figure III.7: Schéma structural de la région d'Hamoir-Ferrières d'après Lohest et Fourmarier (1902)

IV. CADRE HYDROGEOLOGIQUE

A l'échelle de la Wallonie, les ressources en eau souterraine de la carte Hamoir – Ferrières sont une des réserves régionalement importantes, avec le captage du Néblon (bien que l'aquifère calcaire alimentant ces galeries se situe majoritairement sur la carte voisine de Modave-Clavier). Les aquifères calcaires du Carbonifère et du Dévonien sont les ressources essentiellement exploités au droit de la carte étudiée. La majorité des prélèvements en eau souterraine est acheminée hors du territoire de la carte étudiée, vers la région liégeoise surtout. D'autres nappes sont également exploitées, généralement afin d'alimenter en eau les communes de la région (Gesels et al, 2014).

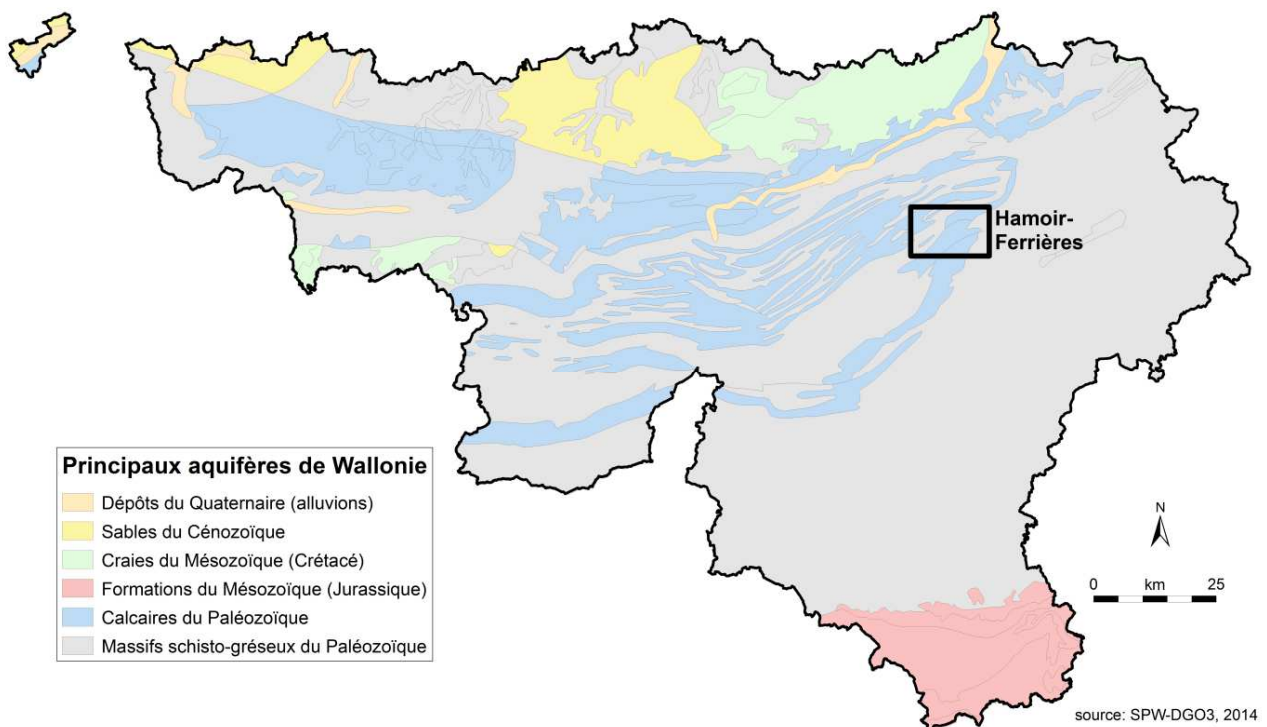


Figure IV.1: Principaux aquifères de Wallonie – Carte de Hamoir – Ferrières (SPW-DGO3, 2014; modifié)

Quelle que soit la formation géologique, l'eau souterraine y est présente. Cependant, le comportement des eaux souterraines et la productivité sont fortement conditionnés par la nature et la structure de la roche dans laquelle l'eau est stockée. Ainsi, les formations géologiques sont regroupées/subdivisées en fonction de leurs caractéristiques hydrodynamiques. Trois termes sont utilisés pour décrire les unités hydrogéologiques selon le caractère plus ou moins perméable des formations (Pfannkuch, 1990; UNESCO-OMM, 1992):

- **Aquifère:** formation perméable contenant de l'eau en quantités exploitables;
- **Aquitard:** formation semi-perméable permettant le transit de flux à très faible vitesse et rendant la couche sous-jacente semi-captive;
- **Aquiclude:** couche ou massif de roches saturées de très faible conductivité hydraulique et dans lequel on ne peut extraire économiquement des quantités d'eau appréciables.

Ces définitions, assez subjectives, sont à manipuler avec précautions. Elles sont utilisées ici afin de renseigner, à une échelle régionale, le caractère globalement perméable, semi-perméable ou peu perméable d'un ensemble de couches géologiques. Elles donnent une idée du potentiel d'exploitation des différentes unités hydrogéologiques. Elles se basent sur la description lithologique de ces unités (formations ou ensembles de formations). Certaines formations géologiques voient leur faciès changer latéralement, il est donc probable qu'une même formation soit définie en terme d'aquifère sur une carte et en termes d'aquitard sur une autre carte (raisonnement par carte).

Il est important de noter également que la plupart des différentes formations exposées sur le territoire couvert par la carte sont constituées de roches cohérentes dont le potentiel hydrogéologique dépend fortement du degré de fracturation-fissuration et/ou d'altération. Les failles, fréquemment minéralisées, peuvent constituer, selon la nature de leur remplissage, des zones de circulation préférentielles des eaux souterraines.

IV.1. DESCRIPTION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES

Au sein des roches cohérentes, la fissuration et l'altération peuvent modifier leur perméabilité. La fracturation va créer un réseau de fractures favorisant la circulation de l'eau. L'altération des roches induit des comportements différents selon leur lithologie. Trois comportements principaux se présentent:

- la roche est un carbonate: l'altération entraîne une dissolution de la roche et un agrandissement du réseau de fractures existant. La perméabilité est augmentée.
- la roche est un grès ou un quartzite: l'altération donne du sable, ce dernier présente une plus grande porosité efficace et la perméabilité est donc augmentée.
- la roche est un shale/schiste: l'altération donne une argile qui colmate le réseau de fractures. La perméabilité est diminuée.

Les unités hydrogéologiques définies sur la carte Hamoir – Ferrières sont décrites ci-dessous dans l'ordre stratigraphique. Les unités hydrogéologiques sont reprises de manière synthétique en fin de chapitre (Tableau IV.1).

IV.1.1. Unités hydrogéologiques du Dévonien

IV.1.1.1. Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur

Composée essentiellement de roches argileuses (schistes, schistes gréseux), cette unité hydrogéologique est globalement caractérisée comme aquiclude. Les niveaux de quartzites et de grès micacés ou conglomératiques peuvent constituer des horizons aquifères localement exploitables. Dans les terrains schisteux, le remplissage des failles généralement argileux leur confère un rôle d'écran peu perméable ou de seuil hydrogéologique, réduisant la circulation des eaux souterraines. Sur la carte Hamoir – Ferrières, les assises regroupées sous le terme "Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur" appartiennent au Gedinnien (Gdb), au Coblencien (Cb2, Cb3) et au Burnotien (Bt).

IV.1.1.2. Aquifère à niveaux aquicludes du Dévonien inférieur

Cette unité hydrogéologique, qualifiée comme aquifère à niveaux aquicludes, ne comprend qu'une seule assise, sur la carte Hamoir – Ferrières: le Coblencien inférieur, Cb1. Il s'agit d'un complexe quartzo-phylladeux avec des bancs de grès, de quartzites micacés ou à enclaves schisteuses alternant avec des schistes quartzeux ou calcaireux. Ces terrains sont relativement faillés et fracturés.

IV.1.1.3. Aquitard de l'Eifelien

Le Couvinien présente un faciès caractérisé par le développement de roches gréseuses aux dépens de roches calcaires et par la présence de couches quartzo-schisteuses. La lithologie du Couvinien inférieur (Coa) est dominée par les schistes et des grès rougeâtres. Les perméabilités au sein de cet ensemble peuvent varier fortement d'un niveau à l'autre, globalement cela justifie leur classification en termes d'aquitard

IV.1.1.4. Aquiclude de l'Eifelien

A la base du Couvinien supérieur (Eifelien), on trouve une couche de nature argileuse (schistes de Couvin, Cobn). Cette lithologie, peu perméable, conduit à définir cette unité hydrogéologique en aquiclude de l'Eifelien.

IV.1.1.5. Aquifère de l'Eifelien

Cette unité hydrogéologique comprend l'Assise supérieure de Couvinien (Eifelien), le *Cobm-Cobp*. Dans la nomenclature de la nouvelle carte géologique de Wallonie, on peut associer cette assise aux Formations de la Lomme et de Hanonet. Constituée, d'une part, de grès et de grès carbonatés et micacés, et d'autre part de calcaires, cette unité hydrogéologique offre des potentialités aquifères non négligeables dans les horizons altérés et fissurés. Quelques horizons plus argileux peuvent réduire localement la perméabilité de l'ensemble.

IV.1.1.6. Aquifère des calcaires du Givetien

Les formations carbonatées du Dévonien des flancs nord et sud du Synclinorium de Dinant présentent des potentialités aquifères intéressantes, étant donné une conductivité hydraulique et une porosité de fissures élevées liées à la fracturation intense et à la karstification.

D'une manière générale, les nappes calcaires karstiques sont alimentées selon deux modes distincts:

- par infiltration diffuse et retardée des eaux météoriques à travers la couverture de limons;
- par infiltration préférentielle et concentrée via les nombreuses pertes.

Essentiellement constitué de calcaires, l'aquifère des calcaires du Givetien (Gva, Gvb) forme un important système aquifère où la circulation des eaux souterraines peut être localement réduite en présence des passées plus schisteuses à la base de l'Assise supérieure (Gvb).

IV.1.1.7. Aquiclude du Frasnien

Le Frasnien comprend plusieurs formations à dominance argileuse. Constituées de shales et de schistes fins, ces roches présentent une conductivité hydraulique très faible les définissant en tant qu'aquiclude.

A la base du Frasnien inférieur, le *Fr1m* constitue un seuil hydrogéologique isolant l'aquifère des calcaires du Givetien de l'aquifère des calcaires du Frasnien. Ce niveau schisteux se retrouve également au sommet du *Fr1*, où il est en continuité avec les schistes de Barvaux du Frasnien supérieur (*Fr2*), aussi définis en tant qu'aquiclude.

IV.1.1.8. Aquifère des calcaires du Frasnien

Comme exposé dans le paragraphe IV.1.1.6, les formations carbonatées du Dévonien des flancs nord et sud du Synclinorium de Dinant présentent des potentialités aquifères intéressantes, étant donné une conductivité hydraulique et une porosité de fissures élevées liées à la fracturation intense et à la karstification.

L'aquifère des calcaires du Frasnien est composé de calcaires et de dolomies de l'Assise inférieure (Fr1y, Fr1o, Fr1p).

D'une manière générale, les nappes calcaires karstiques sont alimentées selon deux modes distincts:

- par infiltration diffuse et retardée des eaux météoriques à travers la couverture de limons;
- par infiltration préférentielle et concentrée via les nombreuses pertes.

IV.1.1.9. Aquiclude du Famennien

Comme le Frasnien, le Famennien comprend plusieurs formations à dominance argileuse. Constituées de shales et de schistes fins, ces roches présentent une conductivité hydraulique très faible les définissant en tant qu'aquiclude.

En continuité géographique de l'aquiclude du sommet du Frasnien supérieur (Fr2), l'aquiclude du Famennien est composé des shales, schistes fins et siltites des Assises de Senzeilles (*Fa1a*) et de Mariembourg (*Fa1b*). L'Assise d'Esneux (*Fa1c*), composée de grès micacés stratoïdes et schistoïdes, se comporte plutôt comme un aquitard. Mais puisque tout le Famennien inférieur (*Fa1*) est cartographié ensemble, ces trois assises sont définies en termes d'aquiclude du Famennien.

IV.1.1.10. Aquitard du Famennien

Les lithologies rencontrées dans les Assises d'Esneux (*Fa1c*) et de Souverain-Pré (*Fa2a*) les définissent en tant qu'aquitard du Famennien. Ces terrains où alternent des grès et grès micacés avec des niveaux schisteux et schisto-gréseux, peuvent présenter des potentialités aquifères intéressantes mais d'intérêt local, lorsque leur degré d'altération et de fissuration le permet. L'Assise de Souverain-Pré renferme des niveaux plus carbonatés augmentant localement la perméabilité des terrains. Sur le territoire de la carte Hamoir – Ferrières, l'Assise d'Esneux est cartographiée avec l'ensemble du Famennien inférieur (*Fa1*). Elle est donc, sur cette carte, associée à cette unité hydrogéologique (Aquiclude du Famennien)

IV.1.1.11. Aquifère des grès du Famennien

L'aquifère des grès du Famennien est globalement l'une des ressources en eaux souterraines importantes en Wallonie. Ces nappes sont généralement libres. Cet aquifère affleure sur un peu moins d'un huitième du territoire couvert par la carte Hamoir – Ferrières.

Cette unité hydrogéologique est formée des assises du Famennien supérieur: Comblain-au-Pont (*Fa2d*), Evieux (*Fa2c*), Montfort (*Fa2b*). Elle est formée principalement de grès micacés et de grès quartzitiques alternant avec quelques horizons schisto-gréseux ou schisteux. Ces terrains peuvent contenir un aquifère relativement important. La porosité des grès assure une capacité importante à cette nappe, mais son exploitabilité dépend fortement de la perméabilité influencée essentiellement par la fracturation. Elle est qualifiée de "nappe de fissures" dans les grès fracturés. Dans la frange sous-jacente à la pénéplanation post-paléozoïque, l'altération des grès en sable

génère une porosité d'interstices conférant à l'aquifère un potentiel accru et un pouvoir de filtration efficace assurant une eau de bonne qualité.

Au sommet du Famennien, se trouve la Formation de Comblain-au-Pont (ou Strunien). Bien que caractérisée par des épisodes carbonatés et par des intercalations de shales et siltites, elle est intégrée à cette unité hydrogéologique. Les calcaires gréseux et les grès carbonatés, caractérisés par une matrice calcaire, vont influencer sur la minéralisation des eaux issues de cette nappe (augmentation de la conductivité électrique et de la dureté, pH plus basique). Les horizons plus schisteux, moins perméables, vont localement isoler l'aquifère des grès du Famennien de l'aquifère calcaire du Tournaisien.

L'aquifère des grès du Famennien, souvent en position topographique haute, alimente les nappes calcaires du Carbonifère situées en contrebas, via les écoulements de surface, le manteau d'altération et les zones de fracturation transversale aux couches.

IV.1.2. Unités hydrogéologiques du Carbonifère

Deux unités hydrogéologiques sont définies parmi les terrains du Carbonifère affleurant sur la carte Hamoir – Ferrières. Elles occupent environ 12 % de la superficie de la carte.

IV.1.2.1. Aquifère – Aquitard – Aquiclude de l'Hastarien

Vu l'hétérogénéité des formations présentes au Tournaisien inférieur (Assise d'Hastière, T1) et leur regroupement cartographique, une unité hydrogéologique globale a été définie: "Aquifère-Aquitard-Aquiclude de l'Hastarien".

Sur la carte géologique de Lohest et Fourmarier (1902), le Tournaisien inférieur est divisé en quatre sous-assises:

- *T1a* peut être considéré comme aquifère, voire aquitard selon l'importance des niveaux schisteux intercalés. Cette sous-assise est intercalée entre les couches schisto-gréseuses du Famennien supérieur et les schistes de *T1b*. L'extension de ce niveau aquifère est limitée en raison de sa faible épaisseur et de la présence de couches peu perméables à sa base et à son sommet.
- *T1b* (que l'on peut associer à la Formation de Pont d'Arcole), composé de schistes, constitue un seuil hydrogéologique au sein de l'aquifère des calcaires carbonifères. Cet aquiclude forme un niveau peu perméable isolant l'aquifère sis dans *T1a* des autres unités hydrogéologiques calcaires du Carbonifère.
- *T1c* à dominante carbonatée, est aquifère. Hydrogéologiquement, cette assise forme un continuum avec l'aquifère logé dans les terrains du Tournaisien supérieur et du Viséen. Cependant, puisque cartographiquement il est regroupé dans l'Assise d'Hastière (*T1*), le *T1c*

est intégré, comme *T1a*, *T1b*, *T1ch*, à l'unité hydrogéologique dénommée 'Aquifère-Aquitard-Aquiclude de l'Hastarien'.

- *T1ch*, composé de calcschistes et de calcaires argileux, forme un horizon aquitard au sein de l'aquifère calcaire.

IV.1.2.2. Aquifère des calcaires du Carbonifère

Les calcaires du Tournaisien et du Viséen forment un aquifère de fissures, pouvant être localement karstifié, comme en témoignent les phénomènes karstiques observés dans la région. En raison du regroupement cartographique d'une partie des terrains du Tournaisien en une seule assise (T1) sur la carte Hamoir – Ferrières, l'unité hydrogéologique 'Aquifère des calcaires du Carbonifère' sensu stricto comprend le Viséen (V1 & V2) et le Tournaisien supérieur (T2).

D'une manière générale, les nappes calcaires karstiques sont alimentées selon deux modes distincts:

- par infiltration diffuse et retardée des eaux météoriques à travers la couverture de limons;
- par infiltration concentrée via les pertes et dolines.

La nappe logée dans les synclinaux calcaires du Carbonifère est aussi alimentée par le débordement de la nappe des grès du Famennien. Les eaux des grès décalcifiés du Famennien sont agressives vis-à-vis des calcaires générant des poches de dissolution dans les zones de débordement préférentiel de la nappe des grès, généralement associées aux axes de fissuration transverse.

IV.1.3. Unités hydrogéologiques du Cénozoïque

IV.1.3.1. Aquifère des sables de remplissage

Sur la carte Hamoir – Ferrières, quelques dépôts sableux, datés de l'Oligocène, comblent les paléokarsts. Renfermant des lentilles argileuses et l'extension réduite des poches, les capacités de cet aquifère sont faibles. Ces dépôts constituent de petites nappes très locales, souvent temporaires. Elles peuvent jouer le rôle de filtre pour les nappes sous-jacentes.

IV.1.3.2. Aquitard limoneux

Non cartographiés sur la carte géologique (uniquement mentionnés dans la légende et via quelques annotations sur la carte), les limons participent au contexte hydrogéologique d'une région. Ces dépôts éoliens, épais de quelques décimètres à quelques mètres, jouent un rôle protecteur lors de l'infiltration des eaux météoriques: infiltration retardée dans le temps et effet de filtration. Cependant, cette couverture limoneuse n'est pas uniforme sur l'ensemble de la carte. Cette unité hydrogéologique n'est pas cartographiée sur la carte principale du poster, elle est uniquement reprise dans le tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie'.

IV.1.3.3. Aquifère alluvial

Les alluvions modernes sont composées principalement de graviers et de sables offrant des potentialités aquifères intéressantes, si leur extension le permet. L'alimentation directe par les eaux météoriques est faible en raison de l'extension, souvent, négligeable de la plaine alluviale. Ainsi, la majeure partie de l'alimentation de ces nappes vient de l'apport des versants, soit par écoulement hypodermique, soit par le déversement de la nappe du bed-rock lorsque celui-ci est aquifère. On peut supposer également des interactions entre la nappe et la rivière, celle-ci n'étant pas (ou peu) canalisée.

Ere	Système	Série	Etage	Assise	Lithologie	Abréviation	Hydrogéologie		
Cénozoïque	Quaternaire	Holocène			alluvions modernes, dépôts limoneux et éboulis des pentes	alm, ale, e	Aquifère alluvial		
		Pléistocène (non cartographié)	Hesbayen		cailloux, gravier, sable	q3o	Aquitard limoneux (non cartographié)		
			Campinien		cailloux, gravier, sable	q2m			
			Moséen		limon	q1n			
	Paléogène	Oligocène	Dépôts supérieurs		cailloux de quartz blanc - glaises plastiques, avec dépôts sableux intercalés	Onx, Ona	Aquifère des sables de remplissage		
		Dépôts inférieurs		sable quartzéux, fin, pailleté, homogène	Om				
Paléozoïque	Carbonifère	Dinantien	Viséen	Visé		calcaire avec lits d'anthracite	V2c	Aquifère des calcaires du Carbonifère	
						calcaire souvent très compact, parfois grenu	V2b		
						calcaire à grains cristallins - calcaire oolithique ou compact	V2a		
				Dinant		calcaire à crinoïdes, généralement dolomitisé	V1b		
						"marbre" noir de Dinant, en partie avec cherts, souvent dolomitisé	V1a		
			Toumaysien	Ecaussines et Waulsort		calcaire à crinoïdes, sans cherts (petit granite de l'Ourthe et des Ecaussines)	T2b		
						calcaire d'Yvoir, avec cherts	T2a		
				Hastière		calcschiste et calcaire argileux	T1ch		Aquifère - Aquitard - Aquiclude de l'Hastarien
						calcaire à crinoïdes de Landelies	T1c		
						schistes foncés	T1b		
		calcaire à crinoïdes - calcaire avec schistes intercalés	T1a						
	Dévonien	Supérieur	Famennien	Comblain-au-Pont	alternance de calcaire, de schistes, de grès micacés et de grès à ciment calcaire	Fa2d	Aquifère des grès du Famennien		
				Evieux	grès micacés et schistes, avec grès à ciment calcaire ou schistes noduleux	Fa2c			
				Monfort	grès micacés massifs à pavés noduleux, avec couches stradoïdes vers le bas	Fa2b			
				Souverain-Pré	grès à ciment calcaire ou schistes noduleux, avec grès micacés et schistes vers le haut	Fa2a	Aquitard du Famennien		
				Esneux	grès micacés stratoïdes et schistoïdes	Fa1c	Aquiclude du Famennien		
				Mariembourg	schistes avec bandes de grès micacés	Fa1b			
			Senzeilles	schistes fréquemment noduleux	Fa1a	Aquiclude du Frasnien			
			Frasnien		schistes de Barvaux		Fr2		
					"marbre" rouge et gris		Fr1p		
					calcaire stratifié, massif ou noduleux		Fr1o		
				dolomie	Fr1y				
				schistes divers, assez souvent noduleux	Fr1m				
				calcaire avec couche de schistes à la base	Fr1g				
		Moyen	Givetien		calcaire de Givet	Gvb	Aquifère des calcaires du Givetien		
						Gva			
Couvinois				grès à ciment calcaire à crinoïdes, grès micacés, schistes	Cobp	Aquifère de l'Eifelien			
			calcaire de Couvin	Cobm					
			schistes de Couvin	Cobn	Aquiclude de l'Eifelien				
			schistes, grauwaacke et grès de Bure	Coa	Aquitard de l'Eifelien				
Inférieur	Burnotien			grès et schistes rouges de Winenne	Bt	Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur			
	Coblencien			grès et schistes noirs de Vireux	Cb3				
			grauwaacke, grès micacés et grès de Houffalize	Cb2					
		schistes, grauwaacke et grès de Mirwart - grès d'Anor et de Bastogne	Cb1	Aquifère à niveaux aquicludes du Dévonien inférieur					
Gedinnien		grès micacés et schistes généralement bigarés, souvent noduleux ou celluleux, de Fozz	Gdb	Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur					

Tableau IV.1: Tableau de correspondance entre la géologie et l'hydrogéologie – Hamoir – Ferrières

IV.2. DESCRIPTION DE L'HYDROGEOLOGIE DE LA CARTE

A l'image du paysage géographique ou du découpage en masses d'eau souterraine, plusieurs entités hydrogéologiques seront distinguées sur la carte Hamoir – Ferrières (Figure IV.2).

- Le Condroz (RWM021), au nord-ouest de la carte, où se succèdent synclinaux calcaires et anticlinaux schisto-gréseux.
- La Calestienne (RWM023) s'étend sur la majorité de la carte et est composée de terrains allant du Famennien à l'Emsien (Burnotien).
- L'Ardenne (RWM100), au sud-est, avec les terrains du Dévonien inférieur.

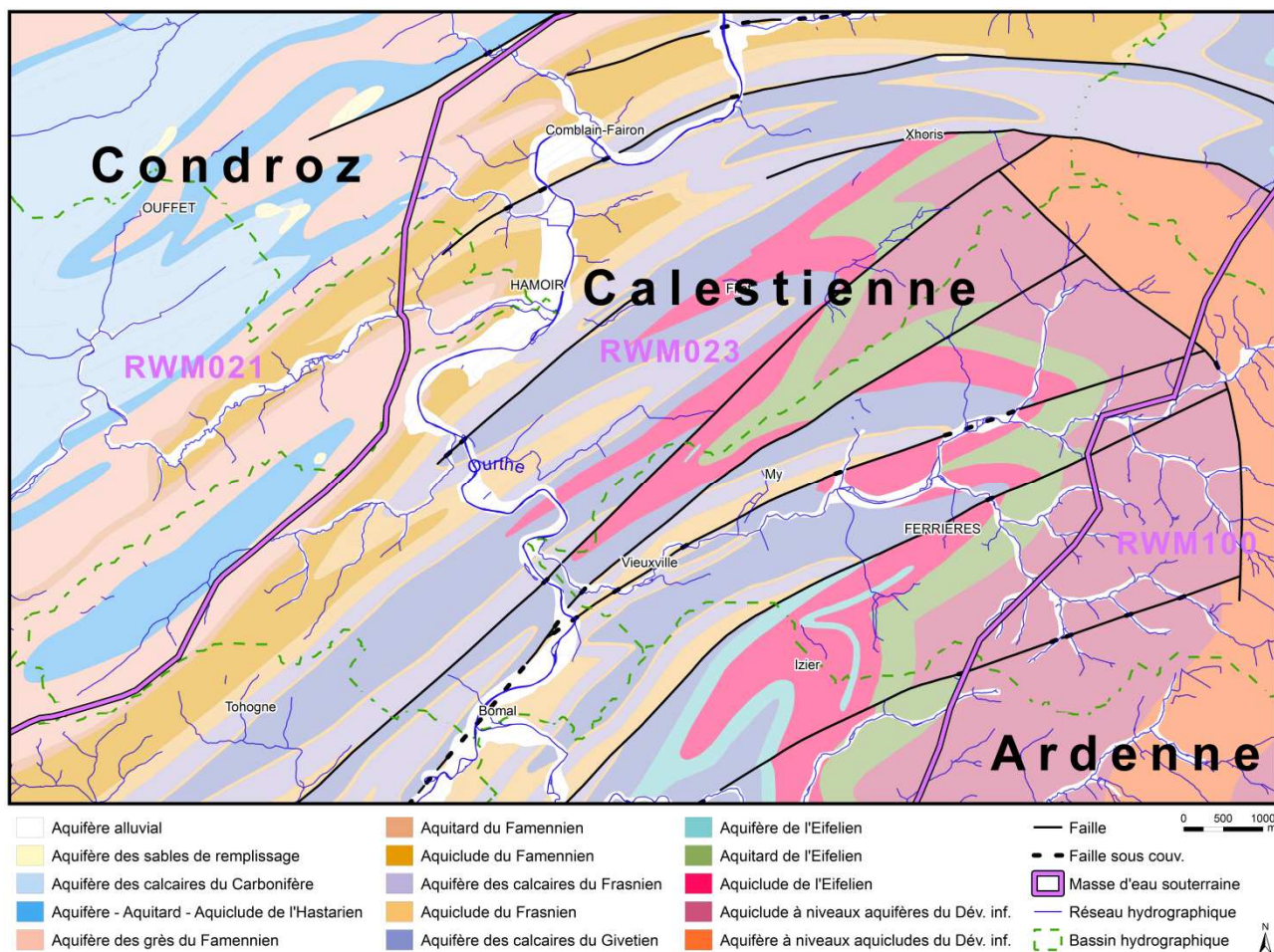


Figure IV.2: Entités hydrogéologiques de la carte Hamoir – Ferrières

Les phénomènes karstiques sont également abordés dans ce chapitre. Ils se situent essentiellement dans les calcaires dévoniens (Calestienne). Néanmoins, quelques manifestations karstiques localisées dans le bassin du Néblon et le bassin d'Anthisnes jouent un rôle important dans le contexte hydrogéologique local.

Une analyse des coupes hydrogéologiques interprétatives ainsi qu'un commentaire sur le caractère des nappes sont donnés dans ce chapitre. Les coupes et la cartographie du caractère des nappes sont présentées sur le poster A0, accompagnant cette notice. En fin de chapitre, une synthèse sur la piézométrie des unités hydrogéologiques de la carte est dressée.

IV.2.1. Condroz (RWM021)

Le schéma hydrogéologique général du Condroz se présente comme suit:

- la région est constituée d'une succession de plis synclinaux dont le cœur est formé par des calcaires dinantiens et plus rarement par des schistes et grès du Houiller, et de plis anticlinaux formés généralement de grès famenniens;
- les formations gréseuses, généralement localisées sur les crêtes topographiques, constituent des nappes, parfois perchées d'extension et de capacité limitée, qui alimentent, par infiltration diffuse au droit des failles et fractures ou via les eaux de surface, les aquifères calcaires situés en contrebas. Les directions d'écoulement des eaux souterraines dans ces aquifères sont dépendantes de la topographie;
- les aquifères calcaires, fissurés et localement karstifiés, sont drainés, en raison des ennoyages, suivant une direction générale SW-NE, et en direction de l'Ourthe, mais aussi de ses principaux affluents (dont le Néblon). La structure brachysynclinale⁵ des calcaires du Carbonifère, comme sur la carte Hamoir – Ferrières, induit une connexion hydrogéologique entre les synclinaux

Les ressources en eau souterraine de la région se logent essentiellement dans les aquifères calcaires du Carbonifère. Les synclinaux calcaires du Carbonifère (et les anticlinaux gréseux du Famennien) du Synclinorium de Dinant, constituant l'une des importantes réserves en eau souterraine de la Wallonie, ont fait l'objet de plusieurs études régionales et locales. Ces aquifères calcaires sont alimentés par l'infiltration des eaux météoriques à travers les terrains de couverture mais aussi par l'éventuel débordement diffus ou concentré des nappes gréseuses voisines vers les dépressions calcaires et le ruissellement des précipitations sur les terrains schisto-gréseux du Famennien. Les aquifères calcaires de la carte Hamoir – Ferrières ont été beaucoup étudiés (études régionales, délimitation des zones de prévention...). De nombreuses données sont ainsi disponibles, permettant une caractérisation hydrogéologique approfondie. Comparativement, les aquifères gréseux et les autres unités hydrogéologiques de la carte ont été nettement moins étudiés.

Une vaste étude de caractérisation hydrogéologique des différentes masses d'eau souterraine wallonne a été entreprise par le SPW. Le quart nord-ouest de la carte Hamoir – Ferrières fait partie de la zone couverte par cette étude, nommée "Projet Synclin'EAU" (Brouyère et al, 2009). Quelques-unes des conclusions les plus pertinentes seront présentées dans ce chapitre.

La partie du Condroz située sur la carte Hamoir – Ferrières a été découpée en trois entités hydrogéologiques, avec, par ordre d'importance, le bassin du Néblon, le bassin d'Anthisnes et le bassin de Houmart (Figure IV.3).

⁵ Brachysynclinal: synclinal à double prolongement dont la longueur maximale équivaut à deux fois la largeur (Office québécois de la langue française, 1980)

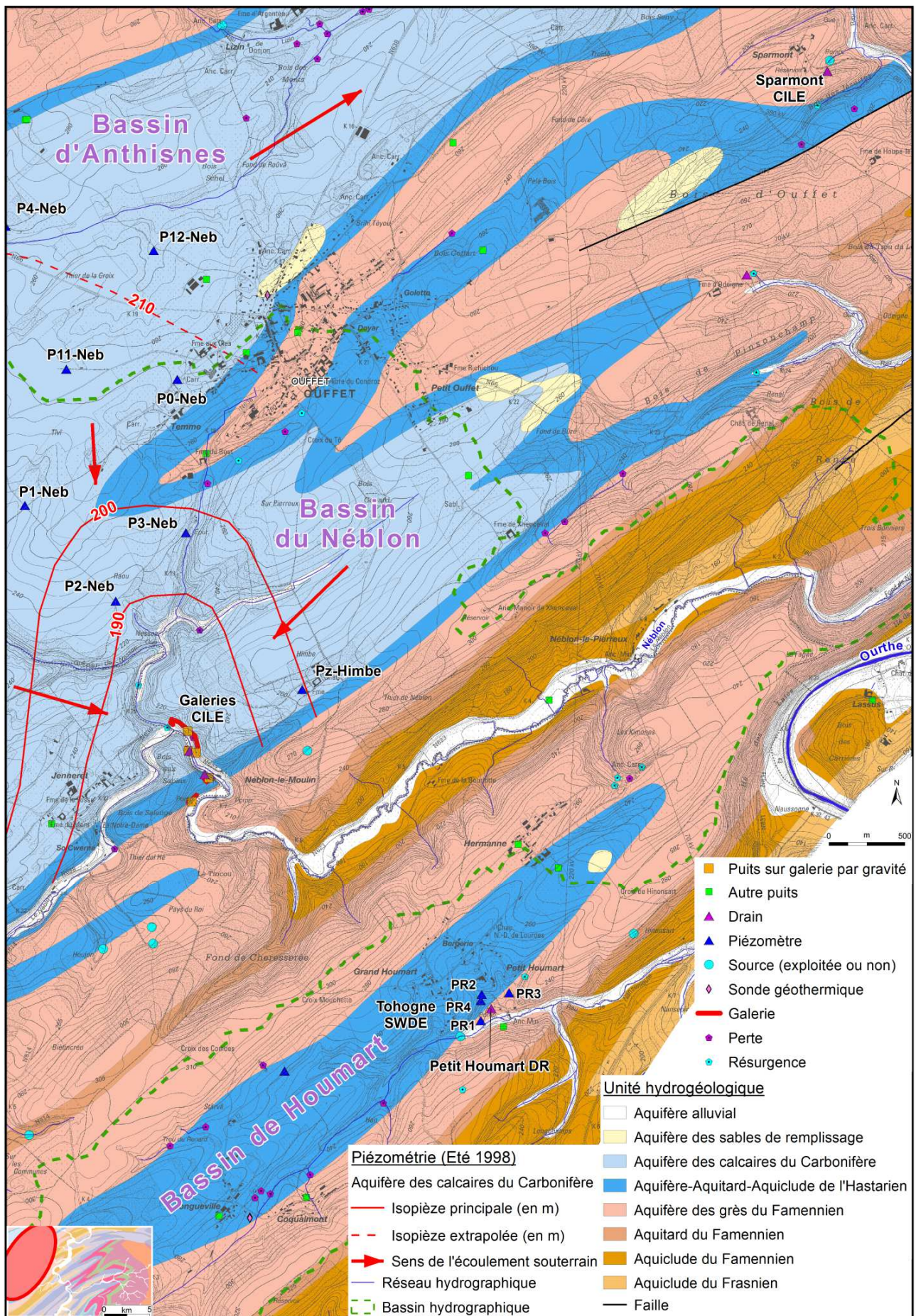


Figure IV.3: Entités hydrogéologiques du Condroz: bassins du Néblon, d'Anthisnes et de Houmart – Carte Hamoir – Ferrières

Bassin du Néblon

Cette entité hydrogéologique est la principale ressource en eau souterraine de la carte Hamoir – Ferrières. Le bassin du Néblon s'étend, cependant, majoritairement sur la carte voisine de Modave-Clavier. La superficie totale du bassin-versant du Néblon est de 75,7 km², dont environ 20 km² sur la carte étudiée. L'exutoire de cette rivière se situe à Hamoir sur la rive gauche de l'Ourthe. Le Néblon draine essentiellement l'aquifère des calcaires du Carbonifère. Des schistes du Houiller occupent le cœur du bassin (carte Modave-Clavier). Les aquifères gréseux du Famennien affleurent dans les zones sud et est du bassin. La partie aval du bassin est dominée par les formations détritiques du Dévonien supérieur (Figures IV.2 & IV.3).

L'aquifère des calcaires du Carbonifère (Hastarien inclus) est drainé de manière diffuse par le ruisseau du Néblon et par les sources de Néblon-le-Moulin, situées à l'altitude ≈ 175 m. Ces sources, captées par le réseau de galeries de la CILE, constituent l'exutoire principal de la nappe, rabattue par ce drainage naturel à hauteur des galeries (Figure IV.4).

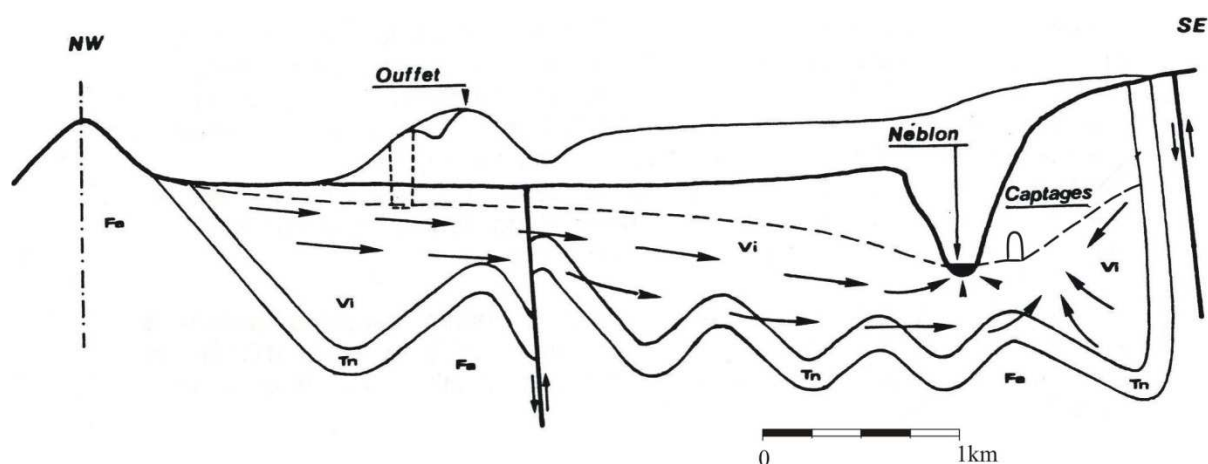


Figure IV.4: Coupe schématique du contexte hydrogéologique des galeries du Néblon (LGIH, 1986)

Plusieurs bilans hydrologiques (ou termes du bilan) ont été calculés sur le bassin du Néblon et ses sous-bassins (LGIH, 1986; 1995; Brouyère et al, 2009). Les bilans réalisés sur l'intégralité du bassin indiquent que les échanges d'eau vers les bassins adjacents via l'écoulement souterrain sont faibles, voire inexistants (erreur de fermeture faible). Cependant, il est probable, aussi, que les flux entrants compensent les flux sortants. Le bilan calculé pour la période de 1987 à 2007, en négligeant les variations des réserves, donne les valeurs annuelles moyennes suivantes (Brouyère et al, 2009):

P	=	ETR	+	Q _{Hamoir}	+	Q _{exporté}	+	ε _{fermeture}
Précipitations	=	Evapotranspiration réelle	+	Écoulement total à l'exutoire	+	Débits pompés exportés hors du bassin	+	Erreur de fermeture du bilan
934,4 mm	=	530,4 mm	+	263,3 mm	+	117,9 mm	+	22,9 mm
100 %	=	57 %	+	28 %	+	13 %	+	2 %

L'évapotranspiration réelle représentant 57 % des précipitations, les 43 % restants correspondent à l'eau utile, soit la quantité d'eau disponible pour le ruissellement et l'infiltration. L'observation des données montre que l'eau utile est non nulle et relativement importante entre novembre et avril. Le volume d'eau souterraine captée et exportée en dehors du bassin est

élevé (essentiellement dû aux prélèvements dans les galeries du Néblon de la CILE pour alimenter l'agglomération liégeoise). L'erreur de fermeture est faible et représente 2 % du volume des précipitations.

Des bilans ont aussi été calculés sur les sous-bassins du Néblon, délimités par la station limnimétrique⁶ de Jenneret (Ruisseau d'Ouffet, au nord) et par la station de Moulin placée à hauteur des galeries. Ce dernier sous-bassin reprend 90 % de la superficie du bassin du Néblon. Ces bilans montrent qu'il existe des transferts internes d'eau dans le bassin du Néblon, donc entre ses sous-bassins. Les bilans calculés pour l'année hydrologique allant d'octobre 2006 à septembre 2007 ont donné les valeurs suivantes (Brouyère et al, 2009):

Station de Jenneret (Ruisseau d'Ouffet)

P	=	ETR	+	Δ Stock	+	Q_{Jenneret}	-	$Q_{\text{importé}}$	+	Δ Réserve	+	$\epsilon_{\text{fermeture}}$
Précipitations		Evapotranspiration réelle		Variation de stock d'eau du sol (zone non saturée)		Écoulement total à l'exutoire		Débit importé vers le bassin		Variation de la réserve d'eau sout. (zone saturée)		Erreur de fermeture du bilan
991,0 mm	=	592,5 m	+	44,7 mm	+	36,9 mm	-	0,6 mm	-	0,4 mm	+	317,4 mm
100 %	=	60 %	+	5 %	+	4 %	-	<1 %	+	<1 %	+	32 %

Station de Moulin

P	=	ETR	+	Δ Stock	+	Q_{Moulin}	-	$Q_{\text{importé}}$	+	$Q_{\text{exporté}}$	+	Δ Réserve	+	$\epsilon_{\text{fermeture}}$
Précipitations		Evapotranspiration réelle		Variation de stock d'eau du sol (zone non saturée)		Écoulement total à l'exutoire		Débit importé vers le bassin		Débit exporté hors du bassin		Variation de la réserve d'eau sout. (zone saturée)		Erreur de fermeture du bilan
1002,7 mm	=	593,5 m	+	48,9 mm	+	158,6 mm	-	0 mm	+	131,9 mm	-	5,7 mm	+	75,6 mm
100 %	=	59 %	+	5 %	+	16 %	-	0 %	+	13 %	-	<<1 %	+	7 %

Le bassin du ruisseau d'Ouffet (délimité par la station de Jenneret) est marqué par plusieurs phénomènes karstiques. En été, ses ruisseaux sont généralement secs. La quasi-totalité des précipitations s'infiltré dans le sol et circule à travers le bassin via l'écoulement souterrain. En effet, sur les 40 % d'eau utile, la lame d'eau écoulee à l'exutoire n'est que de 4 % (ruissellement). Cela signifie que les 36 % restants s'infiltré dans le massif calcaire. Le terme de bouclage montre que ce bilan est largement déficitaire. Un volume important d'eau quitte le bassin via l'aquifère du synclinal calcaire d'Ocquier (sur la carte Modave-Clavier). Le gradient hydrogéologique dans le bassin versant du ruisseau d'Ouffet est dirigé vers le sud-est. Les eaux souterraines traversent la limite du bassin hydrographique du ruisseau d'Ouffet pour alimenter le bassin du Néblon (Brouyère et al, 2009).

Le bassin délimité par la station de Moulin comprend l'ensemble des calcaires dinantiens du bassin du Néblon, ainsi que terrains schisto-gréseux du Famennien. La lame d'eau écoulee à l'exutoire du bassin ne représente que 16 % des précipitations. En effet une partie importante de l'eau souterraine contenue dans ce bassin est captée avant de pouvoir alimenter le réseau hydrographique de surface. Ce bilan montre un bassin légèrement déficitaire, ne correspondant

⁶ Ces deux stations de mesure du débit font partie du réseau de stations limnimétriques installées à des endroits clés (principalement des seuils hydrogéologiques) et suivies dans le cadre et pendant la durée de l'étude 'Synclin'Eau' (Brouyère et al, 2009)

pas à l'examen de la piézométrie et de l'écoulement souterrain. La raison de cette valeur est sans doute dans les incertitudes inhérentes aux mesures de débit du Néblon (problèmes au cours du monitoring du débit) (Brouyère et al, 2009).

Dans le bassin du Néblon, une vaste campagne de terrain menée lors de l'été 1998 a permis de collecter suffisamment de données pour tracer une esquisse de carte piézométrique de l'aquifère des calcaires du Carbonifère (Figure IV.3 & carte principale du poster). Globalement, à l'échelle de l'entièreté du bassin du Néblon, les eaux souterraines s'écoulent vers l'est (voire nord-est), avec un rabattement plus prononcé au droit de la vallée du Néblon. Dans la partie occidentale (rive gauche du Néblon), les eaux souterraines se dirigent vers le sud-ouest. L'exutoire de la nappe est constitué du Néblon et des galeries captantes de la CILE. Les limites hydrogéologiques de l'aquifère du Néblon correspondent a priori aux limites hydrographiques, excepté dans la partie ouest où un transfert d'eau souterraine semble avoir lieu en provenance de l'extrémité amont du bassin du Hoyoux (carte Modave-Clavier) et via les synclinaux calcaires. Entre les sous-bassins des différents ruisseaux du bassin du Néblon, les limites hydrogéologiques sont quasi inexistantes, comme en témoignent les bilans. La limite hydrogéologique au sud correspond à la crête topographique située au droit des grès fameniens. A l'est, la limite hydrogéologique correspond à la crête topographique au droit des formations gréseuses et à la crête de partage des eaux souterraines dans les formations calcaires présentes entre les bassins du Néblon et d'Anthisnes. D'après les données piézométriques disponibles dans ce secteur, cette crête de partage est relativement stable au cours du temps et elle semble se positionner selon la crête topographique joignant Ouffet à Warzée.

Plusieurs piézomètres ont été suivis régulièrement (Figures IV.3 & 5). Le forage Pz-Himbe est toujours relevé hebdomadairement par la CILE. L'examen de ces chroniques piézométriques montre que le niveau de la nappe des calcaires du Carbonifère du bassin du Néblon suit un cycle saisonnier (annuel) et un cycle pluriannuel.

Les hautes eaux se situent généralement en fin de l'hiver et au printemps. Ensuite, la nappe se vidange, parfois quelques pics sont observés suite aux orages d'été, pour atteindre un niveau de basses eaux en automne. La dynamique de la nappe est assez rapide. En effet celle-ci montre une augmentation de son niveau d'eau quasi synchrone avec les pics d'eau utile. Selon la position du forage dans le bassin, l'amplitude des fluctuations piézométriques est petite ou grande. En tête de bassin, à proximité des crêtes hydrogéologiques, les amplitudes sont maximales. A l'inverse, les piézomètres situés près de l'exutoire (cours d'eau drainants, captages), présentent de plus faibles variations du niveau d'eau. Ainsi, les piézomètres P0, P4, P11-NEB montrent des fluctuations saisonnières pouvant s'élever au-delà de 20 m, voire 30 m. Tandis que les amplitudes piézométriques observées en P2 et P3-NEB sont plus faibles, de l'ordre de 10 m, parfois atteignant 15 m. La piézomètre P1-NEB se situe dans une position intermédiaire dans le bassin, avec des fluctuations piézométriques comprises entre 15 et 20 m. Le forage de Himbe, dans l'est du bassin, situé à proximité de la limite méridionale de l'aquifère des calcaires et relativement éloigné du cours d'eau, présente des variations saisonnières du niveau piézométrique pouvant atteindre 25 m.

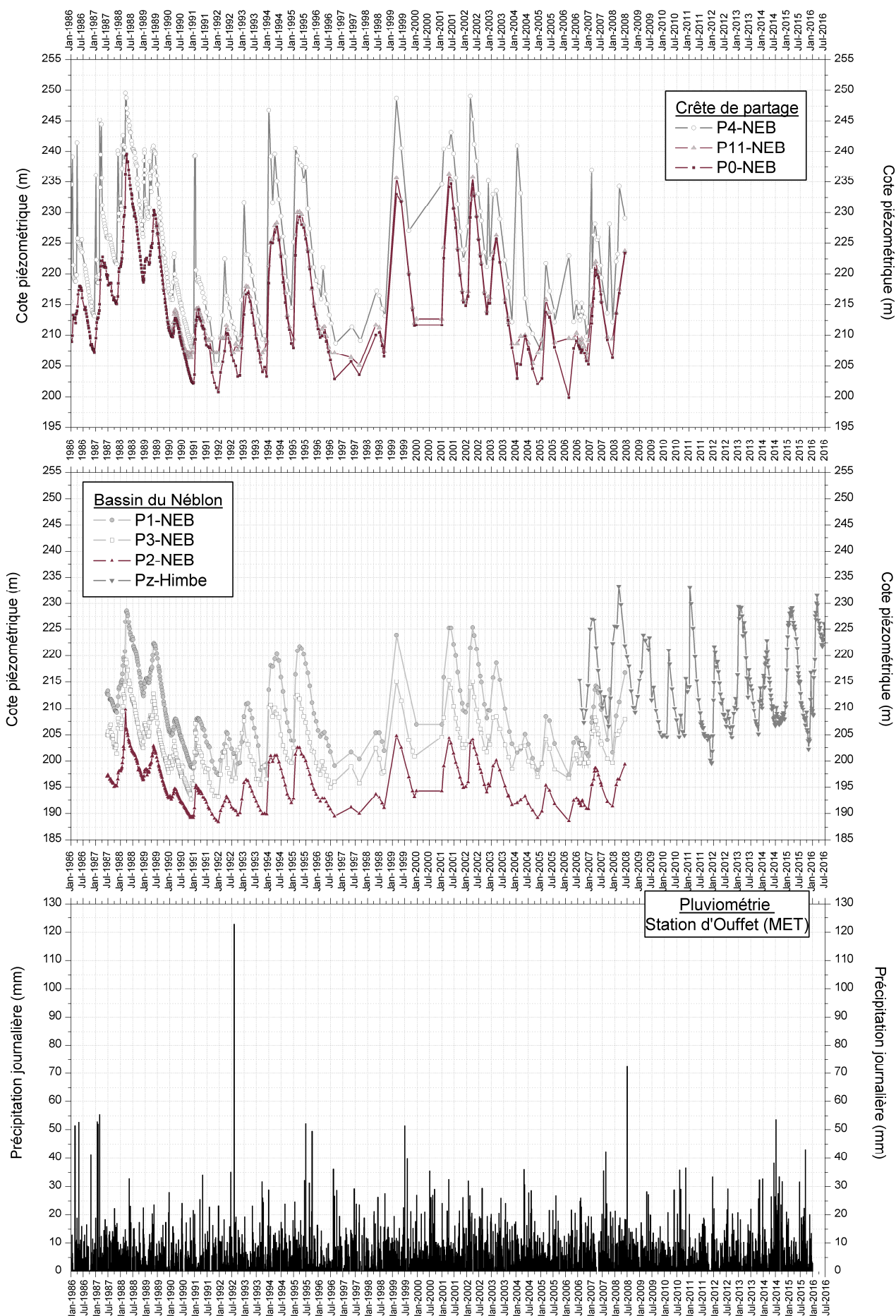


Figure IV.5: Fluctuations piézométriques de la nappe des calcaires du Carbonifère - Bassin du Nèblon & Pluviométrie à Ouffet

L'analyse des chroniques piézométriques de la figure IV.5 permet également de mettre en évidence un cycle pluriannuel. Deux, trois années de hautes eaux (1988-89, 1994-95, 1999-2002) succèdent à une même durée d'années de basses eaux (1990-93; 1996-98, 2003-07). Cependant, cette alternance est moins marquée depuis 2010.

Plusieurs essais de pompage et tests de traçage ont été réalisés sur les ouvrages sollicitant l'aquifère des calcaires carbonifères du bassin du Néblon. Les conductivités hydrauliques calculées varient entre 10^{-6} et 10^{-4} m/s, témoignant de l'hétérogénéité de l'aquifère calcaire du bassin du Néblon. Les résultats de ces tests sont présentés dans le [chapitre VII](#).

Bassin d'Anthisnes

Le synclinal calcaire d'Anthisnes traverse la partie nord-ouest de la carte Hamoir – Ferrières selon une direction sud/ouest à nord-est, sur une largeur d'environ 1600-2400 m (Figure IV.3). A Comblain-au-Pont (sur la carte Tavier-Esneux), il est traversé du sud au nord par l'Ourthe, qui constitue ainsi le niveau de base de l'aquifère des calcaires du Carbonifère. L'encaissement important de la rivière implique un rabattement élevé de la nappe. Le drainage dans le synclinal d'Anthisnes est principalement souterrain. En surface, le réseau hydrographique est peu développé. Des vallées sèches sont observées, comme celle qui parcourt le cœur du synclinal depuis Warzée (zone de P4-NEB, au NW d'Ouffet) jusqu'à La Rock au nord-est (carte Tavier-Esneux). L'exutoire de cette nappe se fait à la résurgence du Moulin à Comblain-au-Pont (carte Tavier-Esneux), à environ 105 m d'altitude.

Sur le territoire de la carte Hamoir – Ferrières, deux piézomètres, régulièrement suivis, sont situés dans le synclinal d'Anthisnes (Figure IV.3). Le forage P12-NEB fait partie du réseau de surveillance mis en place par le SPW. Le piézomètre P4-NEB se situe à proximité de la ligne de partage des eaux. L'examen des données piézométriques disponibles (Figure IV.6) indique que les eaux hautes ont lieu fin de l'hiver-début du printemps (cycle saisonnier). Ensuite, le niveau d'eau décroît et atteint un niveau de basses eaux en automne. Le battement de la nappe des calcaires carbonifères en ces points, positionnés en tête de bassin, est relativement grand, de l'ordre de 20 m, pouvant atteindre parfois 30 m. Un cycle pluriannuel semble également s'esquisser, avec des années de hautes eaux et de basses eaux.

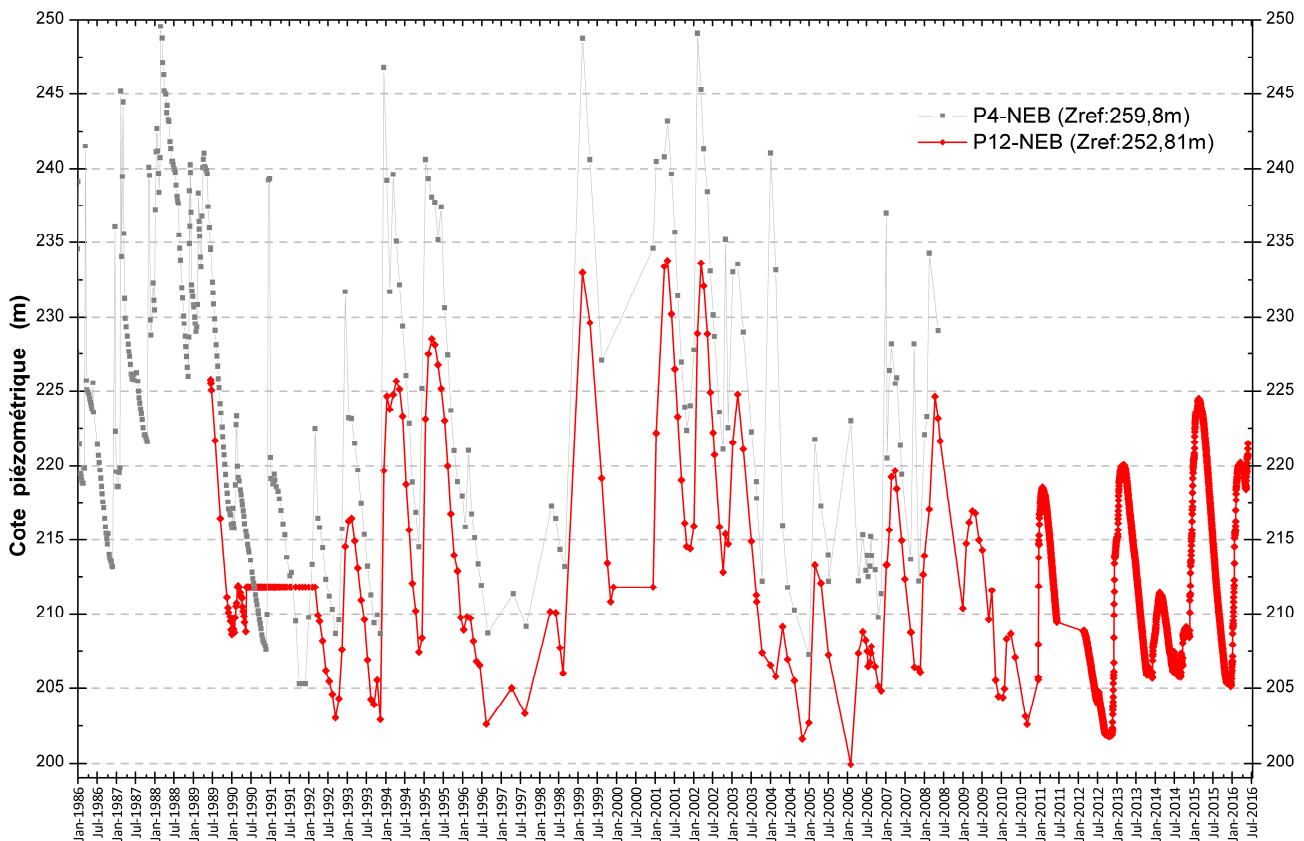


Figure IV.6: Fluctuations piézométriques de la nappe des calcaires du Carbonifère - Synclinal d'Anthisnes

Bassin de Houmart

Orienté SW-NE, le synclinal calcaire de Houmart est coincé entre des terrains grésosammitiques du Dévonien supérieur (Figure IV.3). Il forme ainsi un bassin hydrogéologique relativement isolé. Cette situation est renforcée par la présence d'une couche schisteuse à la base du Tournaisien (T1b ou les shales du Pont-d'Arcole). Sur le flanc sud, plusieurs chantoirs sont observés à la limite entre les formations du Famennien et les calcaires du Tournaisien, avec des vallons généralement secs. Quelques sources, au contact entre les calcaires et les grès, sont également répertoriées dans l'est du synclinal. Le ruisseau de Nansnioule draine cette structure en direction de l'Ourthe.

A Tohogne (Durbuy), le captage de Petit Houmart (SWDE) sollicite la nappe logée dans ce synclinal calcaire (aquifère-aquitard-aquiclude de l'Hastarien)(Figure IV.7). La prise d'eau est composée de 4 drains (longueurs comprises entre 1,7 et 28 m) aboutissant à une chambre de visite. Il s'agit apparemment de l'aménagement de plusieurs sources à l'émergence (GEOLYS, 2009). L'étude de la zone d'alimentation du captage montre que les limites de son bassin hydrogéologique ne correspondent pas aux limites de son bassin hydrographique. Ainsi, la zone d'alimentation des drains de Tohogne s'apparente à une partie de la zone calcaire du Carbonifère (Hastarien) du synclinal de Houmart et est donc plus étendue que la bassin hydrographique du captage (GEOLYS, 2009).

Quatre piézomètres ont été forés dans ce secteur afin de mieux définir le contexte hydrogéologique autour du captage (SWDE, 1999). Tous recoupent les calcaires du

Tournaisien inférieur, selon les logs géologiques et malgré le tracé de la carte géologique (pour rappel, il s'agit de l'ancienne carte, au 1/40 000). Le seuil du bâtiment technique de la prise d'eau se situe à la cote altimétrique 198,39 m. Le niveau d'eau du ruisseau Nansnioule, au sud du site, est à la cote altimétrique, comprise entre 197,99 et 193,88 m (5 points ont été nivelés, en octobre 2008). Les niveaux d'eau mesurés permettent de préciser l'allure piézométrique de la nappe (Tableau IV.2). Le niveau piézométrique aux forages PR1 et PR3 est inférieur à la prise d'eau (sauf en aout 2007 pour PR3), tandis que les cotes piézométriques sont supérieures à la cote du seuil de la prise d'eau. Il semble donc que les piézomètres PR1 et PR3 soient en dehors de la zone d'alimentation des drains. Cette hypothèse est confirmée par l'absence de restitution du traceur injecté au PR3. Les essais de pompage montrent également qu'il y a très peu (voire aucune) d'interactions entre, d'un côté PR2 et PR4 et, de l'autre côté PR1 et PR3. Par contre, on observe des interactions entre PR2 et PR4 et, entre PR1 et PR3 (GEOLYS, 2009).

Tableau IV.2: Cotes piézométriques au droit du site de Petit Houmart à Tohogne (SWDE)

Piézomètre	Cote piézométrique (m) de l'aquifère – aquitard – aquiclude de l'Hastarien (Calcaires du Carbonifère)					
	16/08/2007	12/11/2008	21/11/2008	31/07/2009	22/06/2014	23/07/2015
PR1	195,88	196,9	-	-	197,12	196,48
PR2	203,59	203,53	203,55	204,9	203,44	203,57
PR3	201,87	196,05	195,78	195,36	-	195,04
PR4	201,36	201,39	201,39	201,8	201,55	201,64

Sources: GEOLYS, 2009; données SDWE

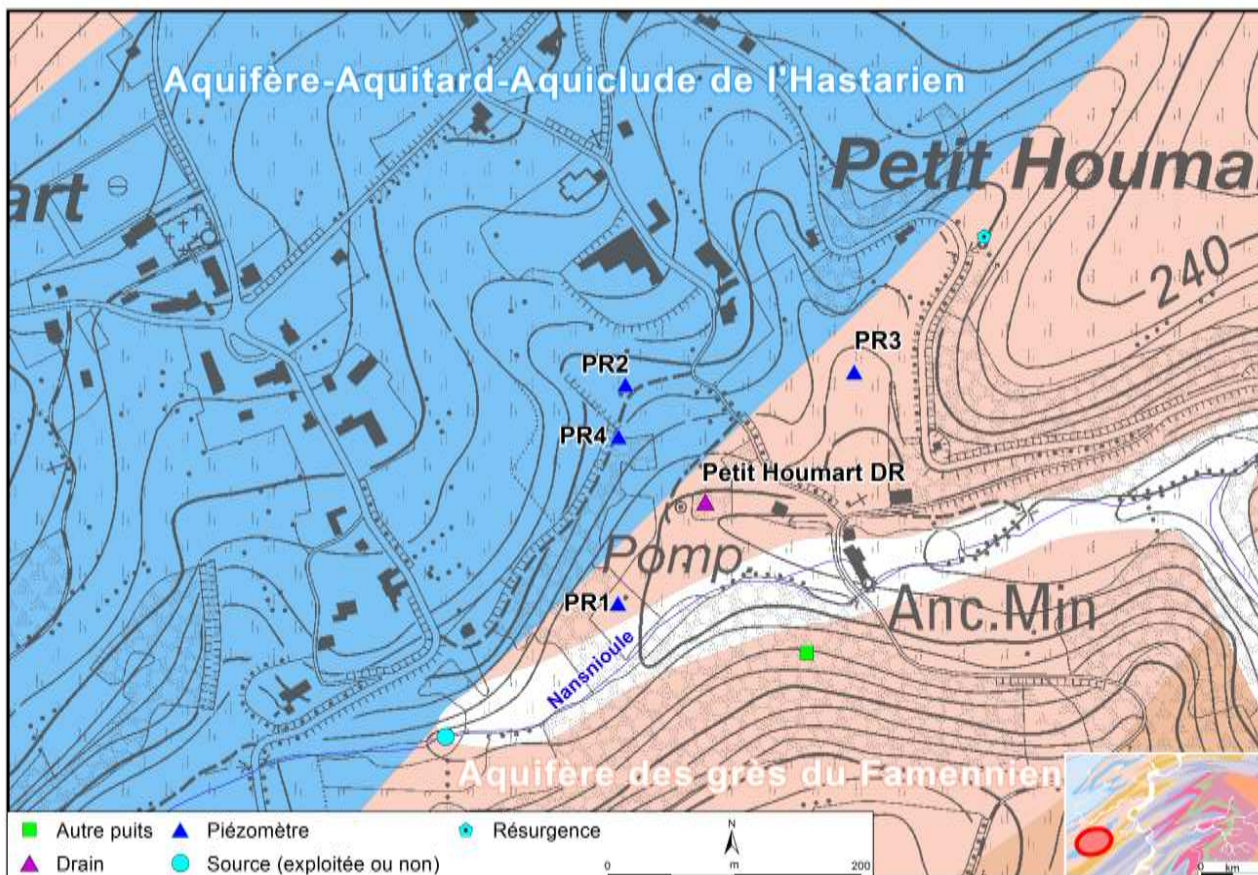


Figure IV.7: Site de captage 'Petit Houmart' à Tohogne (Durbuy) – SWDE

Depuis 2010, le piézomètre PR2-Tohogne fait partie du réseau de surveillance mis en place par le Service Public de Wallonie (Figure IV.8). Les périodes de hautes eaux ont lieu systématiquement en hiver (en général, entre janvier et mars). Ensuite, la nappe se vidange. Quelques remontées du niveau d'eau sont, occasionnellement, observées en périodes estivales, à la suite d'averses importantes. Par exemple, lors de l'été 2012, deux petits pics (mai et août) rompent la décroissance graduelle du niveau piézométrique. Les basses eaux sont atteintes, généralement, en fin d'automne. Ce cycle se répète annuellement. L'amplitude des fluctuations piézométriques varie entre 2 et 5 m. Sur base des données disponibles, un cycle bisannuel semble se dessiner, avec des années de hautes eaux (2011-2013-2015) et des années de basses eaux (2012-2014). Cette hypothèse est, néanmoins, à confirmer dans le futur avec une chronique piézométrique plus longue. En effet, le cycle semble déjà interrompu en 2016 (où on attendait une année de basses eaux).

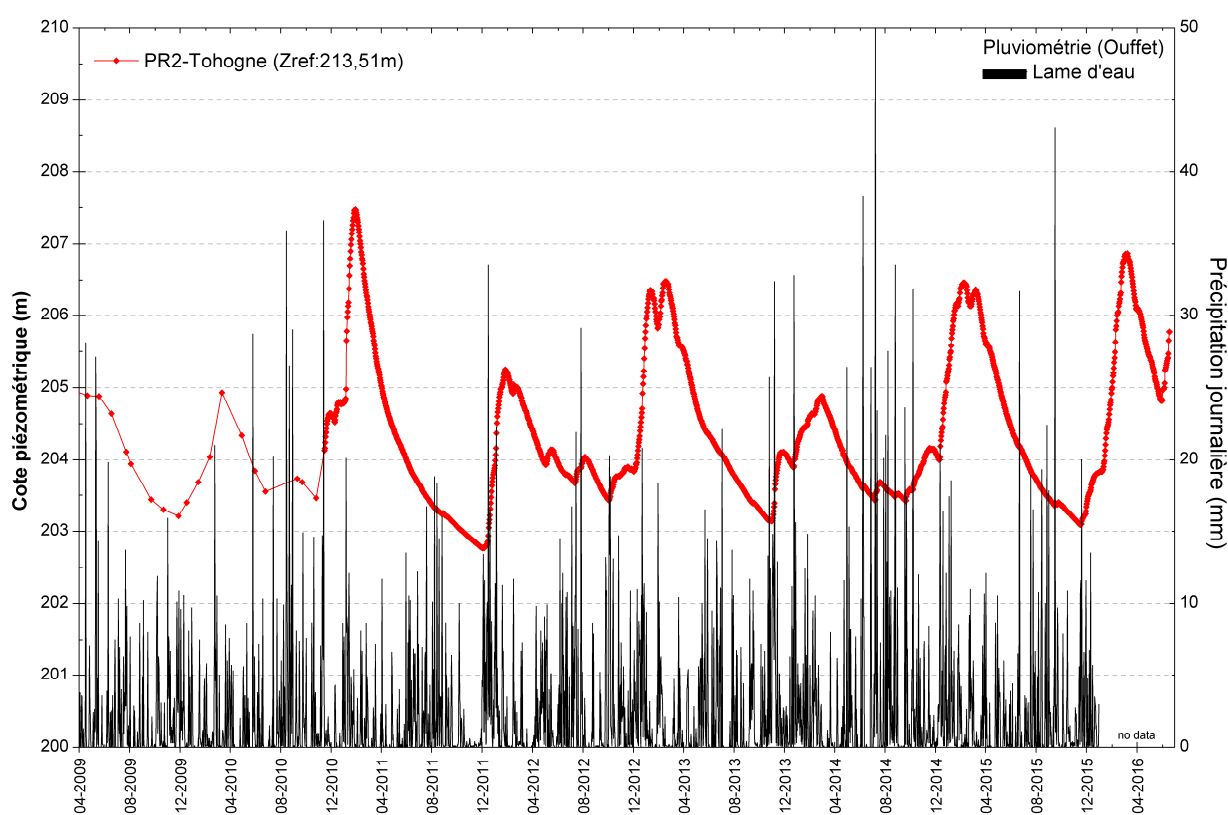


Figure IV.8: Fluctuations piézométriques de la nappe logée dans les calcaires de l'Hastarien (Carbonifère) - Synclinal de Houmart - Tohogne

Aquifère des grès du Famennien

A l'échelle de la carte Hamoir – Ferrières, l'aquifère des grès du Famennien ne représente pas une ressource en eaux souterraines aussi importante que l'aquifère des calcaires du Carbonifère.

S'ils sont suffisamment altérés ou fissurés les grès famenniens peuvent contenir un aquifère. La perméabilité de ces terrains est de deux types: une perméabilité d'interstices, développée dans la frange altérée et une perméabilité de fissures correspondant aux réseaux de fracturation, en profondeur. Les failles transverses augmentent localement la perméabilité des roches. Dans les

grès, elles peuvent jouer le rôle de drains et peuvent mettre en communication différents compartiments.

Une étude régionale sur les potentialités des aquifères gréseux (LGIH, 1989a) a mis en évidence un écoulement axial préférentiel des eaux souterraines logées suivant l'axe des plis, vers les points bas, avec un déversement latéral par débordement au contact avec les schistes peu perméables et vers les rivières qui recoupent les anticlinaux gréseux. En période de non-alimentation, le niveau piézométrique descend sous la cote de débordement, ce qui tarit les sources latérales.

A Sparmont (Figure IV.3), la CILE exploitait jusqu'en 2004 un drain implanté dans la nappe logée dans le manteau d'altération de l'aquifère des grès du Famennien.

Sur la carte d'Hamoir-Ferrières, quelques données piézométriques sont disponibles au droit de l'aquifère des grès du Famennien. Les niveaux d'eau mesurés dans des puits de particuliers (profondeur de 12 à 72 m) sont à des profondeurs allant de 5 à 31 m par rapport au sol. Les cotes piézométriques sont reprises sur la carte hydrogéologique et sur la coupe.

Relation entre les eaux souterraines et les eaux de surface

L'étude de la dynamique des échanges entre les eaux souterraines et les eaux de surface présente un intérêt tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif, et particulièrement dans le cadre de la gestion intégrée d'un bassin hydrographique. Une typologie mettant en évidence quatre mécanismes d'échanges différents a été développée (Brouyère *et al.*, 2009):

- Système potentiellement drainant: l'aquifère alimente le cours d'eau et contribue à maintenir un "niveau de base". Les eaux souterraines assurent le débit d'étiage. Le débit de la rivière augmente de l'amont vers l'aval, tout au long de la section drainante. La qualité des eaux du cours d'eau est influencée, entre autres, par la qualité des eaux souterraines (par ex., les eaux souterraines stabilisent la température des eaux de surface);
- Système potentiellement perdant: le cours d'eau alimente l'aquifère. Le débit de la rivière peut diminuer suite à l'infiltration d'eau de surface vers la nappe. En période d'étiage, ce débit peut être fortement amoindri, allant jusqu'à l'assèchement du cours d'eau si celui-ci n'est pas suffisamment alimenté par le ruissellement dans la partie amont du bassin. La qualité des eaux souterraines est influencée, entre autres, par la qualité des eaux de surface. Rappelons aussi que la quantité d'eau infiltrée dépend principalement de la conductivité hydraulique des sédiments tapissant le lit de la rivière;
- Système en pseudo-équilibre: 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 l'aquifère vers le cours d'eau (ESO→ESU) ou du cours d'eau vers la nappe (ESU→ESO);
- Système Perte-Résurgence: dans les zones karstiques, un 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. Le débit du cours d'eau peut être affecté de manière brutale. Une grande partie ou la totalité du cours d'eau peut s'engouffrer dans ces conduits souterrains.

Pour chacun de ces systèmes, deux états ont été définis: vérifié et extrapolé. Le premier est employé pour les tronçons où des mesures expérimentales ont été réalisées, tels que des jaugeages, des relevés piézométriques, des essais de traçage. En l'absence de telles données, la typologie est basée sur la géologie et sur le contexte local de la dynamique ESO-ESU.

La relation entre les eaux souterraines et les eaux de surface est abordée à l'échelle de la carte Hamoir – Ferrières. Cette cartographie ne concerne que les ruisseaux et rivières s'écoulant sur la masse d'eau souterraine RWM021, aire d'étude du projet Synclin'Eau (Figure IV.9). Les cours d'eau s'écoulant sur les calcaires du Carbonifère sont généralement perdants, à l'exception des têtes de ruisseaux qui sont drainantes. Les ruisseaux prennent leur source sur les formations moins perméables du Dévonien (schistes et grès) où ils sont considérés comme drainants. Ensuite ils se perdent au droit des terrains calcaires. Le Néblon est alimenté tout au long de son parcours, en rive droite, par de nombreux petits affluents issus des schistes de grès du bord sud du bassin. Ces ruisseaux sont supposés drainants vu le caractère peu perméable de ces formations. La rivière est également alimentée par des apports diffus provenant de la masse de calcaires carbonifères constituant le flanc nord du bassin. Les interactions ESO-ESU ont donc lieu depuis les eaux souterraines vers les eaux de surface. Le Néblon est cependant perdant, voire en pseudo-équilibre lorsqu'il traverse l'aquifère des calcaires du Carbonifère. Cette interprétation est soutenue par quelques mesures piézométriques. La zone nord-est de l'aquifère calcaire du bassin du Néblon est fortement karstifiée. Ainsi, sur le territoire couvert par la carte Hamoir – Ferrières, le Nesson est très souvent sec. Le ruisseau d'Ouffet se perd entièrement puis est réalimenté par une résurgence quelques mètres en aval de sa confluence avec le Nesson. A Jenneret, les mesures de terrain indiquent que le débit du Néblon diminue nettement au niveau de son méandre à angle droit (en amont de la confluence avec le ruisseau d'Ouffet). Après Néblon-le-Moulin, le Néblon s'écoule sur les formations schisto-gréseuses du Famennien, moins perméables. Par extrapolation, le caractère drainant a été retenu pour ce tronçon (Brouyère et al, 2009).

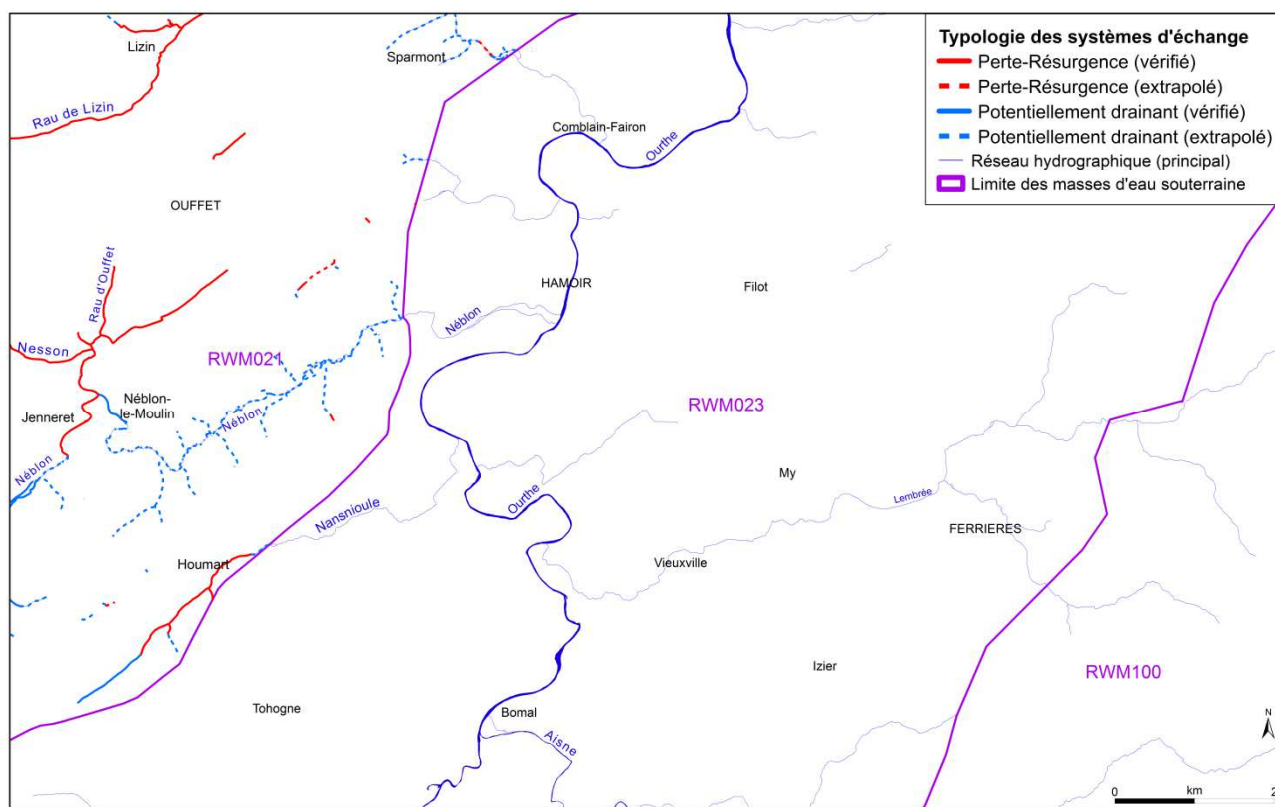


Figure IV.9: Interactions entre eaux de surface et eaux souterraines - MESO RWM021 sur la carte Hamoir – Ferrières (d'après Brouyère et al., 2009)

IV.2.2. Calestienne (RWM023)

La Calestienne, *sensu stricto*, est une bande essentiellement calcaire ou calcaro-schisteuse constituée par les formations du Givetien et du Frasnien. Cette zone régulière et rectiligne, de direction NE-SW, présente une largeur globale variant entre 600 et 1600 m. Elle traverse la Wallonie depuis la région de Chimay-Couvin, en passant par le plateau du Gerny (Rochefort) et se termine à Louveigné (Sprimont). Sur la carte étudiée, la Calestienne passe par les localités de Tohogne, Bomal, Hamoir, Xhoris (Ferrières) (Figure IV.2).

Les terrains du Couvien (Eifelien) constituant l'aquifère, l'aquitard et l'aquiclude de l'Eifelien, ainsi que ceux du Burnotien (Emsien) avec l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur, sont, ici, intégrés à l'entité hydrogéologique de la Calestienne. Ils sont présents uniquement au sud de la faille de Xhoris.

Les calcaires du Frasnien, du Givetien et de l'Eifelien sont des aquifères, souvent, très karstifiés avec des conductivités hydrauliques et des porosités élevées. Cette bande est le siège de phénomènes karstiques ([sous-chapitre IV.2.4](#)).

Deux types de nappes peuvent se rencontrer dans les unités hydrogéologiques de nature schisto-gréseuse:

- une nappe superficielle (nappe libre) développée dans le manteau d'altération. Cet aquifère perché est généralement de faible capacité et temporaire; il est rechargé par les

importantes précipitations automnales et hivernales. Durant les périodes sèches, il se vide via les sources et le réseau hydrographique, et peut finir par se tarir (en fonction de sa capacité et des précipitations antérieures). Ce type d'aquifère est très vulnérable aux activités développées en surface (pouvant générer des pollutions).

- une nappe profonde dans les niveaux fracturés et fissurés. La quantité d'eau qui peut être stockée dans ces fractures et la facilité avec laquelle celle-ci peut s'y déplacer dépendra essentiellement de la nature de la roche. Ce type d'aquifère est généralement mieux protégé des activités anthropiques. Les couches moins perméables (shales, schistes) peuvent rendre localement la nappe sous-jacente captive.

Bien que de nombreux ouvrages souterrains soient recensés dans cette entité hydrogéologique, peu de données piézométriques sont disponibles. Quelques niveaux d'eau ponctuels sont indiqués sur la carte principale du poster. Aucune isopièze n'a pu être tracée. Quelques études hydrogéologiques (mesures piézométriques, essais de pompage et de traçage, prospection géophysique) ont été réalisées au droit de sites de captage destinés à la distribution publique d'eau, permettant ainsi de mieux connaître localement le comportement hydrogéologique des différentes unités hydrogéologiques rencontrées.

A Hamoir, en rive droite de l'Ourthe, la CILE exploite le site de captages de Pêchet. Il comprend une galerie captante (Pêchet I), un forage horizontal (Pêchet I bis) et un forage oblique (Pêchet II) (Figures IV.10 & IV.11). Ils sont situés au droit ou à proximité d'émergences naturelles, liées à la présence de shales au nord-est (Aquiclude du Frasnien). Vu le contexte géologique et les investigations hydrogéologiques menées dans cette zone (LGIH, 2001b; 2002; LuxAquatec, 2006; Vanbrabant, 2006; Hallet, 2008; HGE-ULg, 2011), il peut être considéré que les captages de Pêchet sont essentiellement alimentés par l'aquifère calcaire du Frasnien, situé à l'est du site. Depuis les captages, sur plus de 250 m vers le sud-est, on trouve des calcaires puis des dolomies. Ensuite, on retrouve une fine passée schisteuse, suivie sur une centaine de mètres d'une bande calcaire attribuée au Givetien inférieur (LuxAquatec, 2008) ou au Frasnien inférieur (Vanbrabant, 2006). Le log de forage de Pz F1 révèle la présence de calcschistes et de schistes à une profondeur de 60 m. Ainsi, ces deux niveaux schisteux constituent une barrière hydraulique, limitant l'écoulement d'eau souterraine transversalement aux bancs. Ce schéma hydrogéologique est confirmé par les résultats des traçages entre les chantiers de Filot et d'Insegote et la résurgence de la Fontaine de Rivière. Aucun traceur n'a été détecté dans les ouvrages de Pêchet (LuxAquatec, 2006). L'écoulement souterrain général dans l'aquifère des calcaires du Givetien est donc orienté vers le sud-ouest (drainage par l'Ourthe).

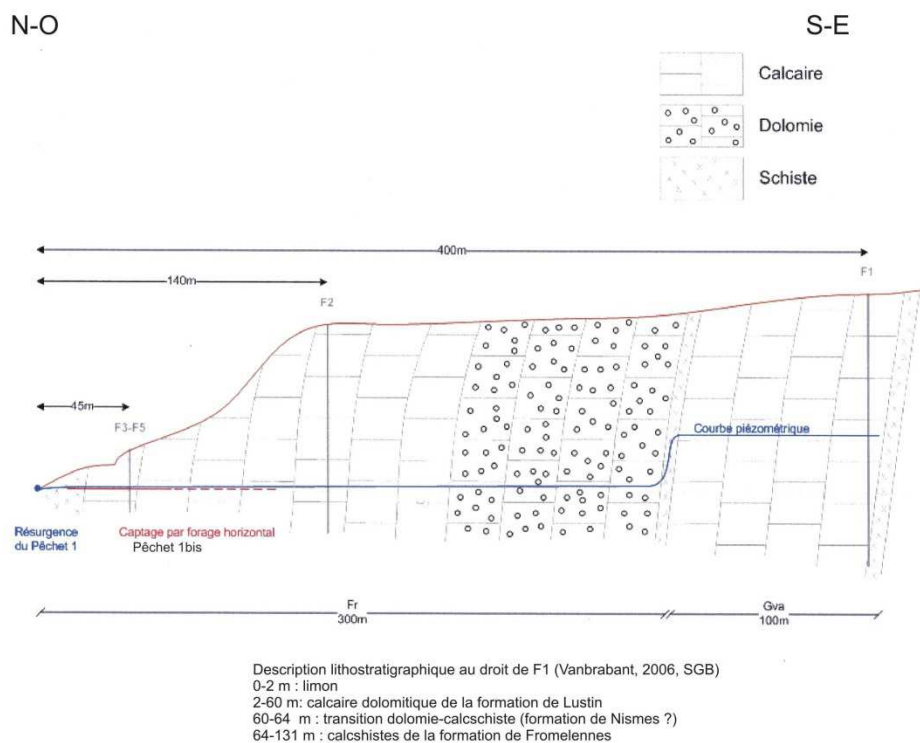


Figure IV.10: Coupe géologique perpendiculaire à la stratification, à l'est du captage de Pêchet (modifiée de LuxAquatec, 2006)

Les mesures piézométriques attestent aussi ce schéma. Le niveau d'eau dans le piézomètre F1 est nettement supérieur à celui dans le F2, et varie plus fortement pendant les épisodes pluvieux (Figure IV.12). Ces faits laissent supposer un compartimentage de l'aquifère par un banc de schistes. Cette observation se répète avec le forage Pz1 Maronniers. La galerie de Pêchet I est à la cote altimétrique de 114,5 m. Le gradient piézométrique entre Pz2 Filot et les captages est assez faible (de l'ordre de 1 %) et parallèle aux bancs (orienté vers le SW). Le gradient orienté du SE vers le NW et donc normal aux couches est plus élevé (de l'ordre de 2 %), indiquant une conductivité hydraulique perpendiculairement aux bancs plus faible que parallèlement.

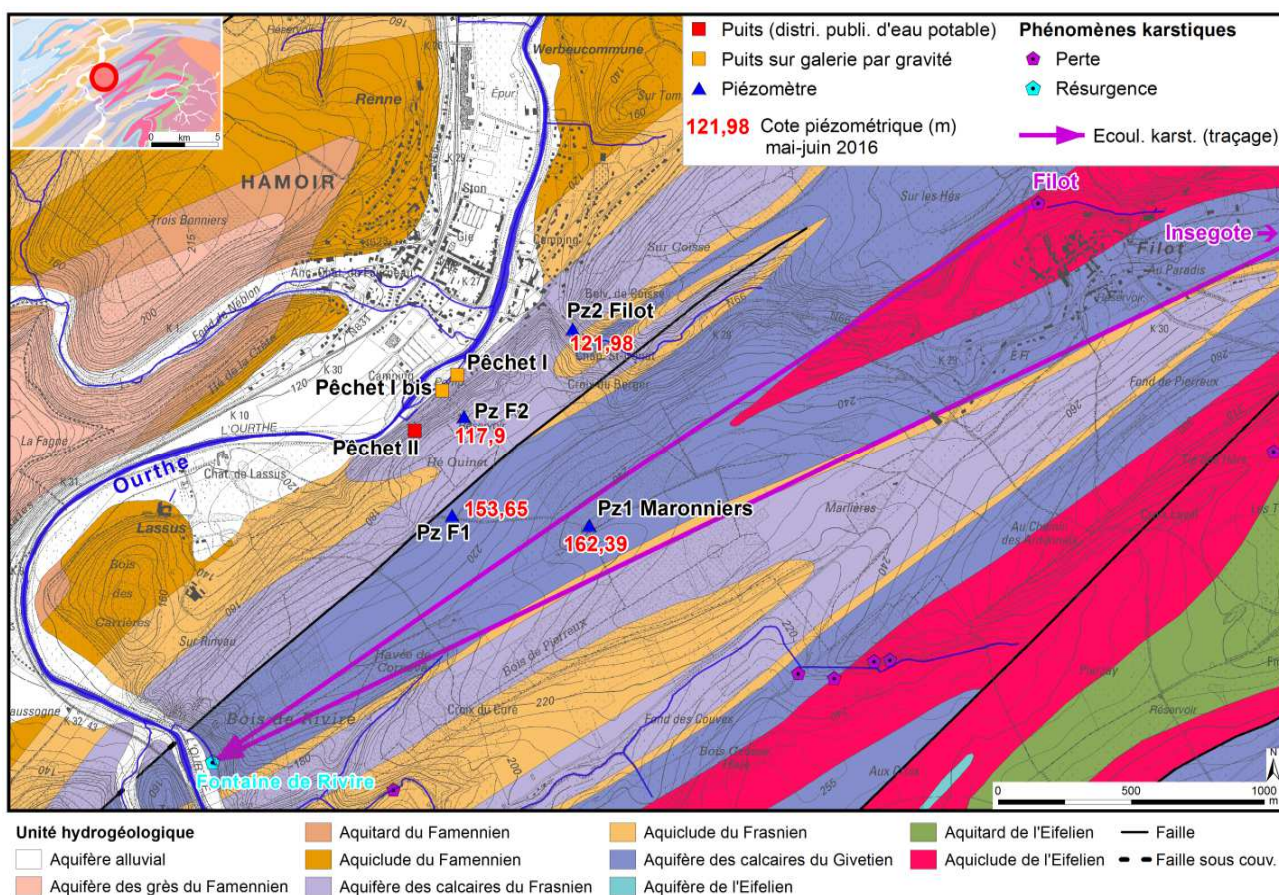


Figure IV.11: Contexte hydrogéologique du captage de Pêchet (CILE)

Initialement, on a estimé qu'un axe de drainage préférentiel des eaux souterraines existe au droit du vallon de Filot, excluant, ainsi ce vallon de la zone d'alimentation des captages de Pêchet (LGIH, 2002). Par la suite, de nouvelles observations sur le terrain dans le vallon de Filot et l'implantation du forage Pz2 avec les diverses mesures réalisées ont permis de préciser le comportement hydrogéologique. Des schistes ont été observés au fond d'une fouille d'un bâtiment en construction, dans le vallon. Malgré la présence de cette barrière moins perméable, aucune source n'est recensée dans le vallon. De plus, les écoulements de surface y sont très rares, même en périodes de fortes précipitations (LuxAquatec, 2006; 2008). Les niveaux piézométriques mesurés dans le forage oscillent autour de 120 m, soit une dizaine de mètres sous le niveau du sol (Figures IV.11 & IV.12). Le vallon de Filot ne draine pas la nappe logée dans les calcaires dévoniens. Mais il est perdant et donc alimente la nappe. Notons aussi que le niveau piézométrique moyen au droit de Pz2-Filot est supérieur à l'altitude du seuil de débordement des sources de Pêchet.

Des essais de pompage et de traçage ont été menés dans quelques forages du site (LGIH, 1990; 2002; HGE-ULg, 2011). La conductivité hydraulique de l'aquifère des calcaires du Frasnien, déterminée à partir des forages F2 et Pêchet II, est comprise entre $0,7 \times 10^{-4}$ et $3,3 \times 10^{-4}$ m/s. Le piézomètre Pz2, dans le vallon de Filot, a aussi été testé. La conductivité hydraulique estimée est égale à $7,3 \times 10^{-8}$ m/s, indication que le forage est dans une zone très peu fracturée de l'aquifère. Les traçages, menés depuis ces trois mêmes ouvrages, ont mis en évidence les connexions entre les points d'injection et les captages. Ils ont aussi permis d'estimer les vitesses de transfert au sein de l'aquifère, en vue de l'établissement des zones de

prévention. Le traceur injecté au F2 est détecté dans tous les ouvrages captants du site (Pêchet I, Ibis, II), bien que le taux de restitution soit faible et que la courbe de restitution soit chaotique. Dans les calcaires du Frasnien, le traceur met environ 6 heures pour parcourir une distance de 145 m dans une direction parallèle aux bancs et environ 22 heures pour une distance de 107 m dans une direction perpendiculaire aux bancs. Plus de détails sur le déroulement et les résultats de ces essais sont présentés au [chapitre VII](#) sur les paramètres d'écoulement et de transport.

Le niveau d'eau des quatre piézomètres forés à proximité des captages de Pêchet est régulièrement relevé par la CILE. Le piézomètre F1 fait aussi partie du réseau de surveillance mis en place par le SPW. Les chroniques piézométriques indiquent que le comportement de la nappe est différent selon le forage (Figure IV.12). Les cotes piézométriques des forages Pz1 et F1, implantés dans les calcaires givetiens, sont nettement plus hautes que celles des forages Pz2 et F2. De plus, le piézomètre F1 réagit plus fort aux épisodes pluvieux. Ces observations semblent indiquer un compartimentage de l'aquifère des calcaires dévoniens par un ou des bancs de schistes ou failles. L'eau est, en général, à une profondeur importante excepté pour le forage Pz2. Les hautes eaux ont lieu en hiver-printemps, puis le niveau baisse progressivement jusqu'aux premières longues pluies automnales et hivernales (cycle saisonnier). Quelques pics piézométriques sont aussi parfois observés après des averses estivales. L'amplitude des fluctuations piézométriques est plus marquée pour les ouvrages implantés dans le Givetien. Ils sont situés plus loin de l'exutoire (pas ou peu d'effet tampon). L'analyse des courbes piézométriques permet aussi de mettre en évidence un cycle pluriannuel avec une alternance d'année de hautes eaux (2011-2013-2015) et d'année de basses eaux (2010-2012-2014). On remarque aussi que l'amplitude saisonnière entre les hautes eaux et les basses eaux est plus marquée les années de hautes eaux. Cette tendance se marque cependant moins pour le piézomètre F2.

L'amplitude des fluctuations piézométriques sont plus importantes au droit des ouvrages forés dans l'aquifère des calcaires du Givetien que dans celui du Frasnien. Cette différence est surtout due à la position des piézomètres dans le bassin. Les puits F1 et Pz1 sont plus éloignés de l'exutoire de la nappe que les puits F2 et Pz2 où l'effet tampon du captage et du cours d'eau intervient davantage. Le battement de la nappe en F2 et Pz2 est de quelques décimètres à maximum quelques mètres (5-6 m). L'amplitude observée en F1 est nettement plus importante, entre 10 et 20-25 m. Au droit de Pz1, elle est plus faible, de l'ordre de 5 à 8 m (Figure IV.12).

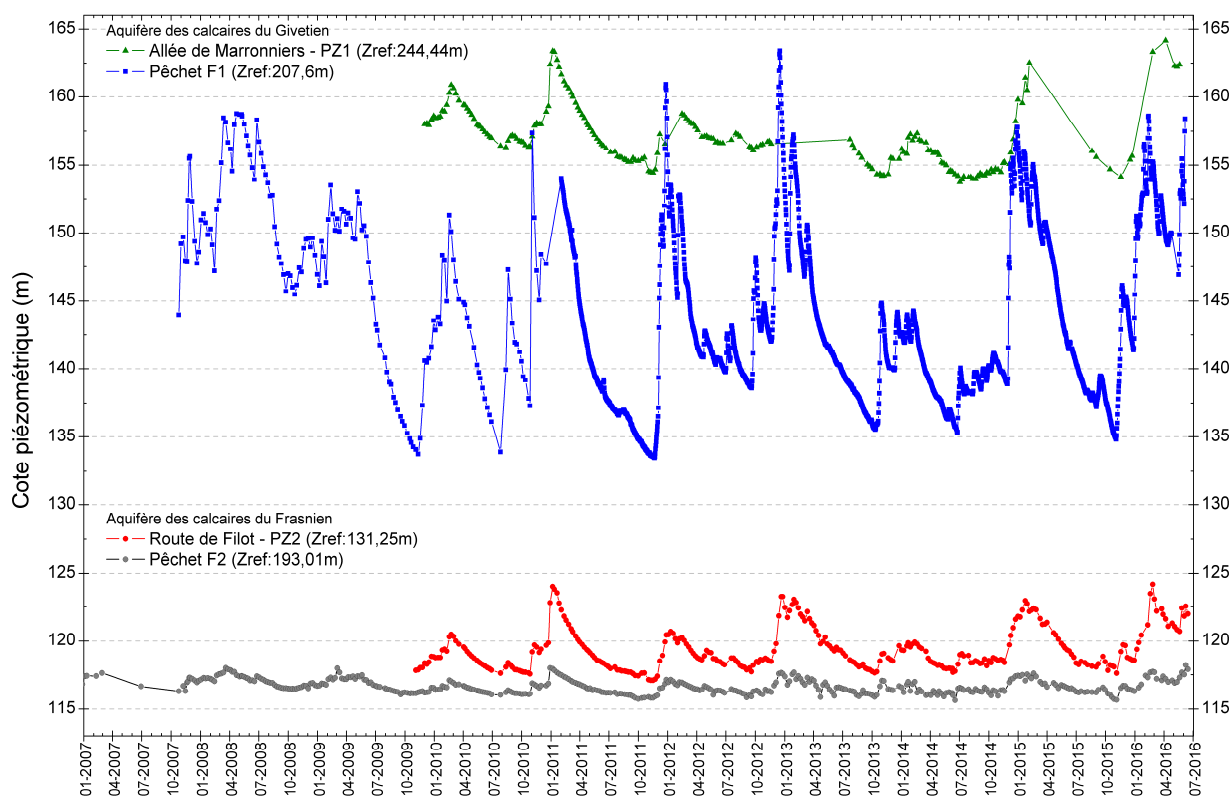


Figure IV.12: Fluctuations piézométriques des nappes des calcaires du Frasnien et du Givetien - Site de Pêchet

Dans le nord-ouest de la carte, à Awan, la SWDE a foré en 1982 un puits dans le Frasnien (P3-Awan). Cet ouvrage, foré jusqu'à 184 m (165 m de calcaire puis 20 m de schistes) était équipé jusqu'à 116 m (fond remblayé par du gravier). La cote piézométrique était de 215 m en juin 1982 (l'eau était à 30 m de profondeur par rapport au sol). Malgré une profondeur importante, les essais de pompage ont montré que l'aquifère a des caractéristiques limitées dans la zone sollicitée (la conductivité hydraulique calculée est de l'ordre de 8×10^{-6} m/s, Q spécifique: 1,28 m³/h/m). Ce puits est, aujourd'hui, remblayé (données SWDE).

Dans la partie orientale de la Calestienne, dans les terrains schisto-gréseux du Dévonien moyen et inférieur des contreforts ardennais, plusieurs ouvrages de prise d'eau sont recensés (publics ou privés). Il s'agit soit des puits forés profonds, soit des captages par écoulement gravitaire (ou quelques puits traditionnels peu profonds). Les premiers sollicitent, en profondeur, les horizons aquifères fracturés. Les seconds captent les eaux logées généralement dans les terrains superficiels altérés. Des mesures piézométriques ont pu être effectuées dans, seulement, quelques puits.

A Ferrières, le drain Rouge Minière draine les eaux logées dans l'aquitard de l'Eifelien. Il était exploité par la SWDE jusqu'en 2011. A Filot (Hamoir), la CILE exploite le drain, nommé Bénite Fontaine. Il sollicite l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur (Burnotien). Nous ne disposons pas d'autres données permettant de caractériser le contexte hydrogéologique de ces zones.

IV.2.3. Ardenne (RWM100)

Le sud-est de la carte Hamoir – Ferrières est occupé par l'Ardenne. Deux unités hydrogéologiques y affleurent:

- l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur
- l'aquifère à niveaux aquicludes du Dévonien inférieur.

Les potentialités aquifères de ces formations sont localisées dans les niveaux gréseux, quartzitiques et psammitiques, altérés et fracturés. Les horizons plus schisteux et donc moins perméables sont, souvent, mis en évidence par les alignements de sources. Ces intercalations schisteuses diminuent la conductivité hydraulique et interviennent dans la compartimentation de l'aquifère.

L'étude de la région de Ferrières a mis en évidence quelques zones présentant un intérêt hydrogéologique (Halleux, 1979). Dans cette partie de la carte, on peut relever:

- la base du Lochkovien (Gedinnien): bien qu'essentiellement composée de grès micacés et de schistes, on observe les horizons de conglomérats et de grès arkosiques relativement perméables et pouvant constituer des niveaux aquifères localement intéressants;
- le contact Praguien-Emsien: en surface, ce contact est généralement très marécageux témoignant d'un changement de perméabilité des terrains entre le Praguien et l'Emsien. De plus, les roches acquièrent dans les zones axiales des plis (direction: N40°E à N80°E et pendage: 20 à 40°W) une fracturation très intense qui engendre une direction de circulation préférentielle. Les charnières sont aussi très favorables à l'existence de nappes. La figure IV.13 en montre divers types compte tenu de la topographie et du style tectonique.

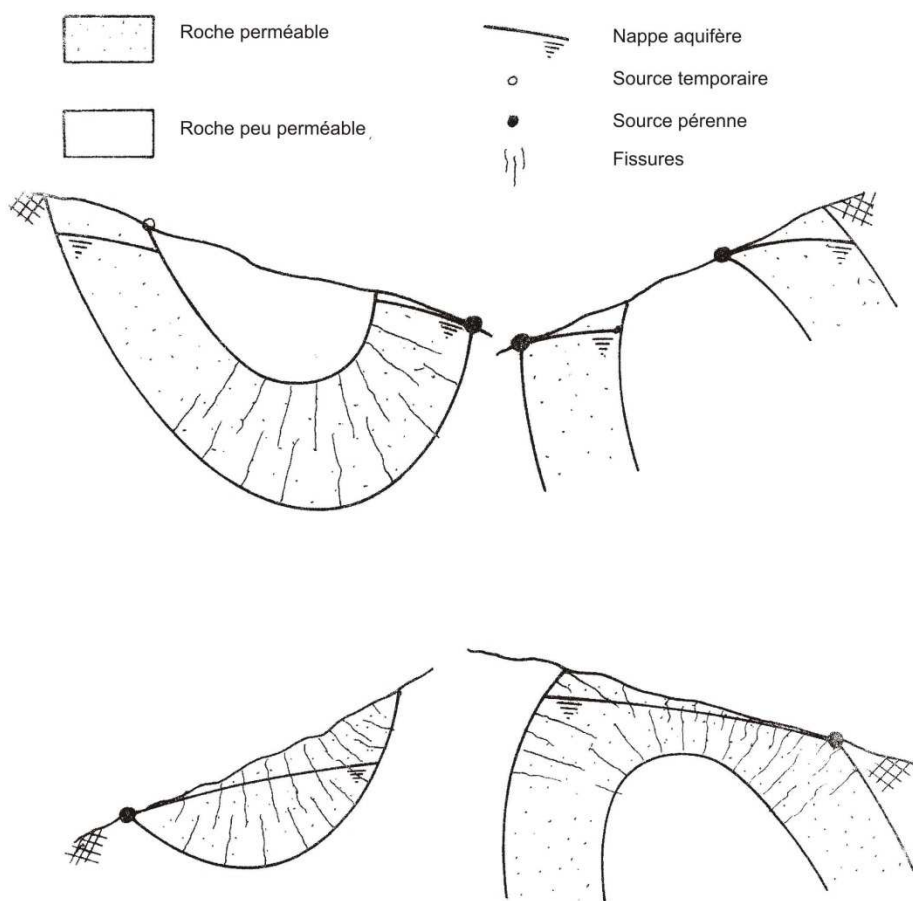


Figure IV.13: Potentialités aquifères dans les zones axiales des plis (Halleux, 1979)

Une vingtaine d'ouvrages est recensée dans cette partie de la carte, dont la moitié appartient à Bru-Chevron s.a. du groupe Spadel. Situés à Harre, ces pouhons et piézomètres ne sont plus utilisés aujourd'hui.

IV.2.4. Phénomènes karstiques

Sur la carte Hamoir – Ferrières, plus de 300 phénomènes karstiques, dont certains ont déjà été mentionnés ci-dessus, sont recensés au sein des calcaires du Carbonifère et du Dévonien (Figure IV.14). Une septantaine de chantoirs et une quarantaine de résurgences sont mentionnées dans l'atlas du karst wallon (CWE PSS, 1996; 2015). Plusieurs liaisons karstiques ont été établies suite à des tests de traçages, d'autres sont supposés. Le karst est assez actif dans cette région. En effet, d'une visite sur le terrain à l'autre, une évolution des sites karstiques est souvent observée, tels que le recul de chantoir ou l'affaissement de dolines.

Des écoulements ont été identifiés au sein des différents systèmes karstiques. Plusieurs ont été validés par des tests de traçage. Ces essais ont permis d'établir les connexions entre des points d'infiltration et des résurgences en déterminant les axes préférentiels de l'écoulement souterrain. Ils ont également permis de quantifier les paramètres hydrodynamiques de plusieurs aquifères calcaires de la carte Hamoir – Ferrières. Les résultats quantitatifs sont présentés dans le [chapitre VII](#), relatif aux paramètres d'écoulement et de transport.

Notons que depuis 2006, un réseau de surveillance des émergences karstiques a été initié en Wallonie (Meus, 2008; SPW-DGO3, 2014). Une sélection de huit émergences, sur deux masses d'eau souterraines (RWM021-RWM023), est suivie en continu quantitativement et qualitativement, dont une est localisée sur la carte Hamoir – Ferrières. Il s'agit de la résurgence n°1 du Moulin dans la vallée de la Lembrée à Ferrières (code SPW: 49/6/7/010, masse d'eau souterraine RWM023).

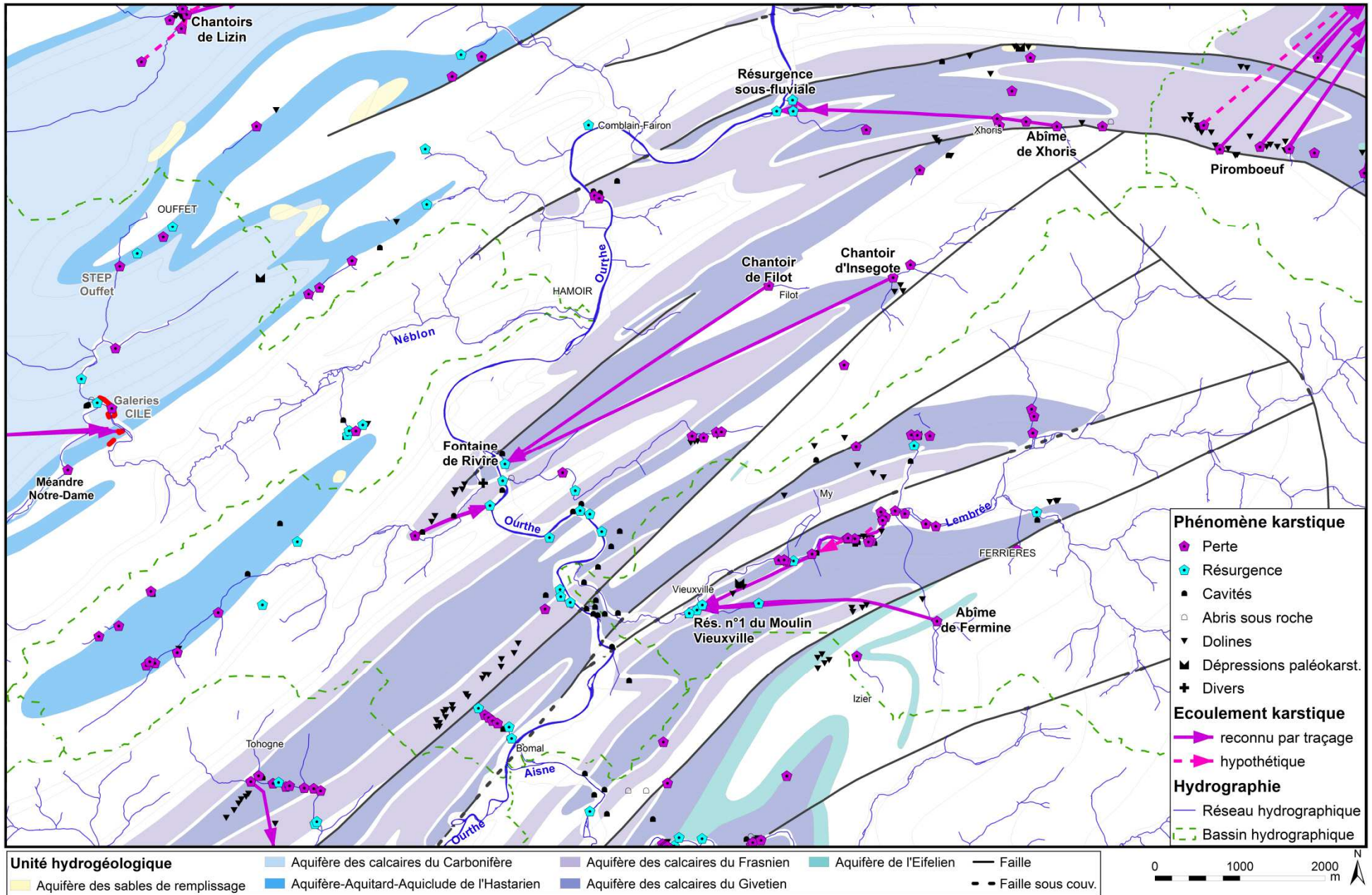


Figure IV.14: Phénomènes karstiques recensés dans la région de Hamoir – Ferrières

Calcaires du Carbonifère (Condroz)

Le système karstique du synclinal d'Anthisnes a fait l'objet de nombreuses études hydrogéologiques. Les premiers traçages datent de 1897 par Beaulieu (*in* Van den Broeck *et al*, 1910). Un colorant avait été injecté aux chantoirs de Lizin et est réapparu à la résurgence du Moulin à Comblain-au-Pont, située sur la carte au nord (Tavier-Esneux). Par la suite, d'autres investigations ont été menées dans ce bassin à partir de pertes et forages localisés sur la carte Tavier-Esneux (LGIH, 1989b; Meus, 1993).

Dans le bassin du Néblon, un premier traçage a été réalisé à partir de la perte du Bois de Marsée, située à l'ouest sur la carte Modave-Clavier (Meus, 1993). Les traceurs ont été détectés à la galerie Communale et, en traces, à la galerie Principale de la CILE, à Néblon-le-Moulin. Il s'agit de la seule connexion validée dans ce bassin. Outre ces zones d'infiltration directe que sont les chantoirs, les zones d'infiltration diffuse et les vallées sèches sont aussi des points sensibles pour les eaux souterraines. Ainsi, d'autres points d'injection ont été testés (Brouyère *et al*, 2009). Le vallon du ruisseau d'Ouffet (en aval de la station d'épuration, STEP) est à sec en périodes estivales malgré les rejets de la station. Des injections ont eu lieu depuis un méandre du Néblon à hauteur de l'étang Notre-Dame. Un troisième point, sur la carte Modave-Clavier, est la zone d'infiltration diffuse de Bende. Aucune restitution de traceur n'a été détectée aux galeries, soit par le fait que les points seraient non connectés (peu vraisemblable), soit qu'il y ait une trop grande dilution des traceurs (plus plausible).

Calcaires du Dévonien (Caestienne)

Dans le nord de la carte, le long de la faille de Xhoris, plusieurs pertes ont été répertoriées dans les calcaires frasniens, au contact avec les roches moins perméables du Siegenien, Emsien et Couvinien. A l'est, au lieu-dit Piromboeuf, les traçages réalisés à partir des chantoirs ont établi la connexion avec le système karstique de la grotte du Châlet à Aywaille (Duyckaerts, 1967). Vers l'ouest, en périodes de hautes eaux, l'abîme de Xhoris est complètement noyé (capacité d'infiltration assez limitée). Le traçage réalisé à partir de ce chantoir indique une connexion avec la résurgence sous-fluviale dans l'Ourthe, un peu en amont de la confluence avec le Bléron. Cette venue d'eau est issue des calcaires givetiens, ce qui implique le passage de la circulation karstique au travers des schistes de la base du Frasien. Ce passage peut avoir lieu à la faveur d'une faille ou d'un amincissement local de la formation schisteuse (Meus, 1993).

La grotte de la Fontaine de Rivière, en rive droite de l'Ourthe entre Sy et Hamoir, est située environ 15 m au-dessus de la rivière. Elle s'est développée dans les calcaires frasniens. A une centaine de mètres au sud-est de cette cavité, se trouve une double résurgence, la Fontaine de Rivière. Située dans les calcaires givetiens, elle est séparée de l'Etage Frasien par deux formations schisteuses d'une dizaine de mètres d'épaisseur (Figure IV.15).

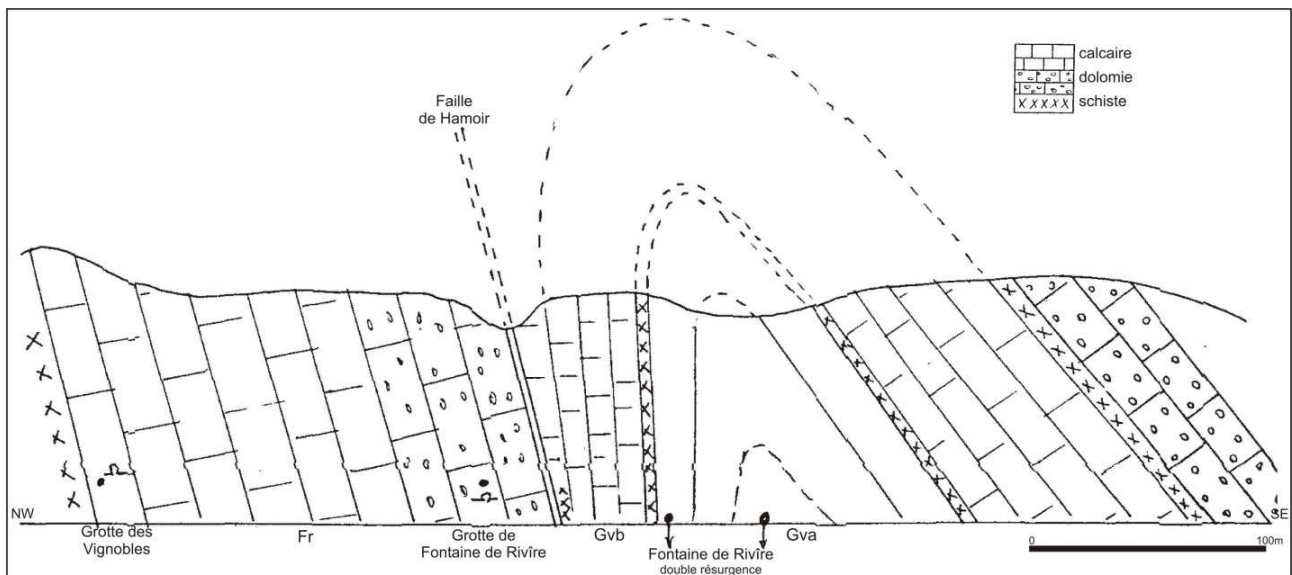


Figure IV.15: Coupe géologique établie le long de la rive droite de l'Ourthe à Hamoir-Lassus (Godissart, 1998)

Depuis les chantoirs de Filot et d'Insegote, des essais de traçage ont été menés (Godissart, 1998; LuxAquatec, 2006). Les traceurs ont été détectés uniquement à la Fontaine de Rivière (résurgence). Les autres points surveillés étaient les captages de Pêchet de la CILE à Hamoir et le lac souterrain de la grotte. Les calcaires givetiens sont donc affectés de phénomènes karstiques qui drainent la nappe vers le sud-ouest.

Le vallon de la Lembrée est parsemé de plusieurs chantoirs, rendant le parcours du ruisseau temporairement souterrain. Divers traçages ont mis en évidence les connexions entre ces pertes et la résurgence du moulin à Vieuxville, de même que la liaison karstique avec l'Abîme de Ferminé à Izier, situé dans le Couvinien.

IV.2.5. Coupes hydrogéologiques

La coupe, orientée NW-SE, traverse les villages et lieux-dits d'Ouffet, Himbe, Houmart et Bomal. Elle est située dans le bassin-versant de l'Ourthe, rivière recoupée dans le sud de la coupe. La partie centrale de la coupe traverse le sous-bassin du Néblon. Géologiquement, la coupe est située dans le Synclinorium de Dinant. La moitié nord de la coupe fait partie du Condroz, caractérisée par la structure typique 'Synclinal-Anticlinal'. La partie sud appartient à la Calestienne, marquée essentiellement par les calcaires dévoniens. Dans cette zone, la coupe rencontre deux failles longitudinales: les failles de Herbert et de Bomal (d'après la carte géologique de Lohest et Fourmarier, 1902). Seules les unités hydrogéologiques du Carbonifère et de Dévonien supérieur et moyen figurent sur la coupe, ainsi que les alluvions modernes des rivières traversées.

Deux coupes ont été dressées, sur le même axe mais avec une échelle des hauteurs différente. L'échelle horizontale des coupes est au 25 000^{ième}, l'échelle verticale est de 1/25 000 pour la coupe géologique et de 1/5 000 pour la coupe hydrogéologique. Ce facteur d'exagération des hauteurs (X5) permet une meilleure visibilité du niveau piézométrique, reporté sur cette coupe. Quelques niveaux piézométriques, situés à proximité de l'axe de la coupe, y sont reportés. Ces

coupes figurent sur le poster A0 accompagnant cette notice explicative. Les coupes présentées sur la carte hydrogéologique sont établies sur base de la carte géologique de 1902 au 1/40.000 où moins de failles sont signalées. Afin que la coupe soit en concordance avec le fond géologique utilisé, les failles décrites par Dusar (1989) n'y figurent pas.

Le report sur la coupe des quelques données piézométriques disponibles fournit de précieux enseignements. Il faut noter que ces mesures ne sont pas toutes synchrones. Les niveaux d'eau mesurés dans les aquifères calcaires sont plus profonds que ceux observés dans les aquifères gréseux. Ces derniers niveaux piézométriques sont, généralement, plus proches de la surface topographique (bien que cela ne soit pas visible de façon significative, spécifiquement sur les données de la coupe de la carte Hamoir – Ferrières). Dans les puits profonds, cela signifie qu'ils captent certainement, la nappe logée dans les horizons profonds fracturés (nappe sous pression). Les puits peu profonds sont alimentés par la nappe superficielle logée dans le manteau d'altération. Les niveaux d'eau mesurés dans l'aquifère des calcaires du Carbonifère reflètent le caractère plus perméable de cette unité hydrogéologique. Les eaux souterraines sont dirigées vers le cœur des synclinaux calcaires avec la nappe logée dans les aquifères gréseux s'y déversant. L'Ourthe constitue le niveau de base des aquifères de la région.

IV.2.6. Caractère des nappes

Le caractère des nappes rencontrées est spécifié: nappe libre, nappe semi-captive (semi-libre) ou nappe captive. Cette détermination est basée sur le contexte géologique et hydrogéologique régional. Notons qu'il a été choisi de caractériser la première nappe rencontrée (nappe à l'affleurement, sous la couverture limoneuse). Cette information est cartographiée sur l'une des cartes thématiques présentées sur le poster. Sur la carte Hamoir – Ferrières, toutes les nappes sont considérées comme des nappes libres. Les nappes logées dans les horizons schisto-gréseux du Dévonien inférieur sont souvent considérées comme semi-captives (voire captives). En effet, dans ces terrains, la nappe, profonde, peut se retrouver en charge sous les couches plus argileuses (shales, siltites, phyllades, argile d'altération).

IV.2.7. Piézométrie de la carte Hamoir – Ferrières

La structure géologique complexe empêche l'établissement d'une carte piézométrique globale pour l'ensemble de la carte hydrogéologique de Hamoir – Ferrières. En effet, les discontinuités géologiques induisent une séparation des aquifères. De plus, les possibilités de mesure du niveau piézométrique ne sont pas homogènes sur tout le territoire de la zone étudiée (répartition inégale de ouvrages, accessibilité des puits...). Ainsi, dans le Condroz, les isopièzes n'ont pu être tracés que dans la zone d'alimentation des galeries du Néblon (captage CILE). La carte piézométrique présente la position de la nappe des calcaires carbonifères en juillet 1998. La position exacte de la ligne de partage des eaux souterraines n'étant pas définie, le symbole 'Isopièze extrapolé' a été utilisé dans cette partie de l'aquifère. Des cotes ponctuelles, avec la date de prise de la mesure, sont également reportées sur la carte principale (1/25 000) et sur plusieurs cartes des figures des sous-chapitres précédents. Le sens de l'écoulement souterrain (flèches rouges) est uniquement indiqué dans les aquifères calcaires du Carbonifère Ceci

permet d'éviter une surcharge d'informations redondantes là où il existe déjà des indications via les écoulements karstiques, comme dans les calcaires du Dévonien. Dans les unités hydrogéologiques schisto-gréseuses du Dévonien, l'écoulement souterrain dans la nappe logée dans les terrains altérés (nappe superficielle) suit, généralement, la topographie.

A défaut d'une couverture piézométrique complète permettant de détailler le sens de l'écoulement souterrain, le niveau de la nappe ou encore le gradient piézométrique, quelques considérations générales peuvent être émises. Les écoulements souterrains ont lieu généralement selon l'étirement des synclinaux calcaires. Les limites des bassins hydrogéologiques correspondent approximativement aux limites de bassins hydrologiques. Un léger décalage est parfois observé. Le réseau hydrographique pérenne constitue, en général, l'exutoire des nappes aquifères (drainage), indiquant ainsi le sens global de l'écoulement des eaux souterraines. L'Ourthe constitue le niveau de base des aquifères de la région étudiée. Ses principaux affluents, tels que le Néblon, l'Aisne ou la Lembrée, remplissent aussi ce rôle (surtout dans la partie aval de leur cours).

Des lignes de sources sont souvent visibles au contact de formations de perméabilités différentes. Ainsi, de tels alignements peuvent être observés entre le Famennien et le Carbonifère, dus à la présence des formations calcschisteuses (T1ch) et schisteuses (T1b) de l'Hastarien.

Dans les aquifères calcaires, la nappe est susceptible d'être plus rabattue que dans les autres unités hydrogéologiques, présentant ainsi des niveaux d'eau relativement profonds. Les écarts entre les hautes eaux et les basses eaux sont également plus marqués. Dans les aquifères moins perméables, la surface piézométrique est souvent proche de la surface topographique et est davantage influencée par la topographie. Dans les unités hydrogéologiques de nature gréseuse, schisto-gréseux, quartzitique ou quartzo-phylladeuse, on rencontre généralement deux types de nappes: nappe superficielle et nappe profonde. Généralement, le schéma piézométrique décrit ci-après est observé dans ces terrains. Des niveaux d'eau peu profonds sont relevés, entre quelques dm à quelques m par rapport à la surface topographique, indiquant une nappe subaffleurante. Des profondeurs d'eau plus importantes sont aussi observées. Ces niveaux d'eau caractérisent la nappe logée dans les terrains plus fracturés et gréseux du bed-rock. Ces horizons aquifères peuvent localement être semi-captifs à captifs.

Sur la carte Hamoir – Ferrières, le niveau d'eau dans les nappes calcaires (Carbonifère et Dévonien) varie annuellement avec des amplitudes de 1 à 10-15 m, voire 20-25 m. Dans le bassin du Néblon, les variations peuvent atteindre 30 m. L'amplitude des fluctuations piézométriques est fonction de l'emplacement des piézomètres dans le bassin hydrogéologique. En tête de bassin, au niveau des zones de crêtes piézométriques, l'écart entre les hautes eaux et les basses eaux est maximal. A l'inverse, au droit des puits situés à proximité de captages ou de cours d'eau drainants ou encore implantés dans un réseau karstique important, le niveau piézométrique varie faiblement. La dynamique de la nappe est, en général, assez rapide. L'élévation du niveau piézométrique est souvent assez synchrone avec les pics d'eau utile. La

disponibilité en eau utile⁷ se limite à la période automne-hiver (soit d'octobre à avril). Les nappes sont alors rechargées (élévation du niveau piézométrique) et un ruissellement est observé. De mai à septembre, le débit des rivières (donc l'écoulement de base) est principalement assuré par la vidange des aquifères, si le cours d'eau est drainant (Brouyère et al, 2009).

⁷ On entend, ici, par eau utile, la quantité d'eau disponible pour le ruissellement et l'infiltration (lame d'eau exprimée en mm).

V. CADRE HYDROCHIMIQUE

Les analyses chimiques présentées dans les paragraphes suivants ont été réalisées sur des eaux brutes (sauf si indiqué), non encore traitées en vue de leur consommation. Nous ne disposons pas de données suffisantes pour offrir le même degré de détails sur l'hydrochimie de toutes les unités hydrogéologiques de la carte.

En Région wallonne, depuis l'entrée en vigueur du Code de l'Eau (3 mars 2005), toute la législation relative à l'eau a intégré les anciens textes réglementaires (décrets et articles). L'arrêté relatif aux valeurs paramétriques applicables aux eaux destinées à la consommation humaine (AGW 15 janvier 2004) se retrouve dans les articles R.252 à R.261 de la partie réglementaire du Livre II du Code de l'Environnement. Les annexes décrivant, entre autres, les valeurs fixées pour les paramètres retenus sont reprises sous les numéros XXXI à XXXIV.

Sur la carte Hamoir – Ferrières, plusieurs carrières (calcaires, dolomies, grès ou 'psammites du Condroz'...), sablières et argilières ont jadis été exploitées dans le Condroz. Dans la région d'Ouffet, quelques sites d'extraction sont toujours en activité (sables, grès, calcaires). Dans la région de My-Ferrières, sur les contreforts ardennais, autrefois, quelques gîtes métalifères ont aussi été exploités (parfois en souterrain). Ces anciens sites d'extraction abandonnés et parfois remblayés avec des déchets et matériaux divers sont des points d'infiltration privilégiés vers les eaux souterraines, tout comme le sont les dolines, chantoirs et autres phénomènes karstiques. Ces chemins directs depuis la surface vers les eaux souterraines sont donc des lieux à surveiller.

La SPAQuE a inventorié les sites potentiellement contaminés en Wallonie. Ils sont répertoriés dans une banque de données, WALSOLS, consultable sur <http://www.walsols.be/>. Sur la carte Hamoir – Ferrières, deux sites sont répertoriés dans cette base de données. Il s'agit d'un ancien garage à Bomal (site:Lx1003-001) et de la cour aux marchandises de Comblain-la-Tour à Hamoir (site:Lg3501-002). Les travaux de réhabilitation de ce lieu, situé dans la plaine alluviale de l'Ourthe, ont démarré en janvier 2016 (info SPAQuE.be). Les polluants observés avant travaux étaient des hydrocarbures pétroliers, des hydrocarbures polycycliques et des métaux lourds (Cu, Zn, Pb)(SPAQuE, 2014).

Dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive cadre sur l'eau (Directive 2000/60/CE, en abrégé DCE), le Service Public de Wallonie a établi un programme de surveillance des 33 masses d'eau définies en Wallonie (http://environnement.wallonie.be/directive_eau). Au niveau des eaux souterraines, un réseau de surveillance de l'état quantitatif et qualitatif a été élaboré et finalisé en décembre 2006. Sur le territoire couvert par la carte, trois masses d'eau souterraine sont distinguées (figure V.1):

- les calcaires et grès du Condroz – RWM021
- les calcaires et grès de la Calestienne et de la Famenne – RWM023
- les grès et schistes du massif ardennais: Lesse, Ourthe, Amblève, Vesdre – RWM100

L'état global DCE de ces masses d'eau est synthétisé dans le tableau V.1. Pour les masses d'eau RWM021 et RWM023, le paramètre 'nitrates' est classé comme 'moyen'. Pour la masse d'eau RWM021, l'altération 'Pesticides' est classée également comme à un niveau 'moyen'. Ainsi ces deux paramètres sont à surveiller pour RWM021, tout comme les interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines, et l'impact du secteur carrier (DGARNE-DESO et Protectis-Cellule DCE, 2010). Sur le territoire de la carte Hamoir – Ferrières, on compte 6 points du réseau de surveillance (dont un site du réseau additionnel, ADD). Ils concernent les masses d'eau RWM021 et RWM023 (Figure V.1). Il s'agit de:

- Galerie Principale (Néblon): 49/5/4/004
- Pz1-Néblon (piézomètre): 49/5/4/015
- Pechêt 1 (galerie): 49/5/6/001
- Séminaire St-Roch (puits trad.): 49/6/6/002
- Résurgence n°1 du moulin (source): 49/6/7/010
- Galerie communale(Néblon): 49/5/4/005 (ADD)

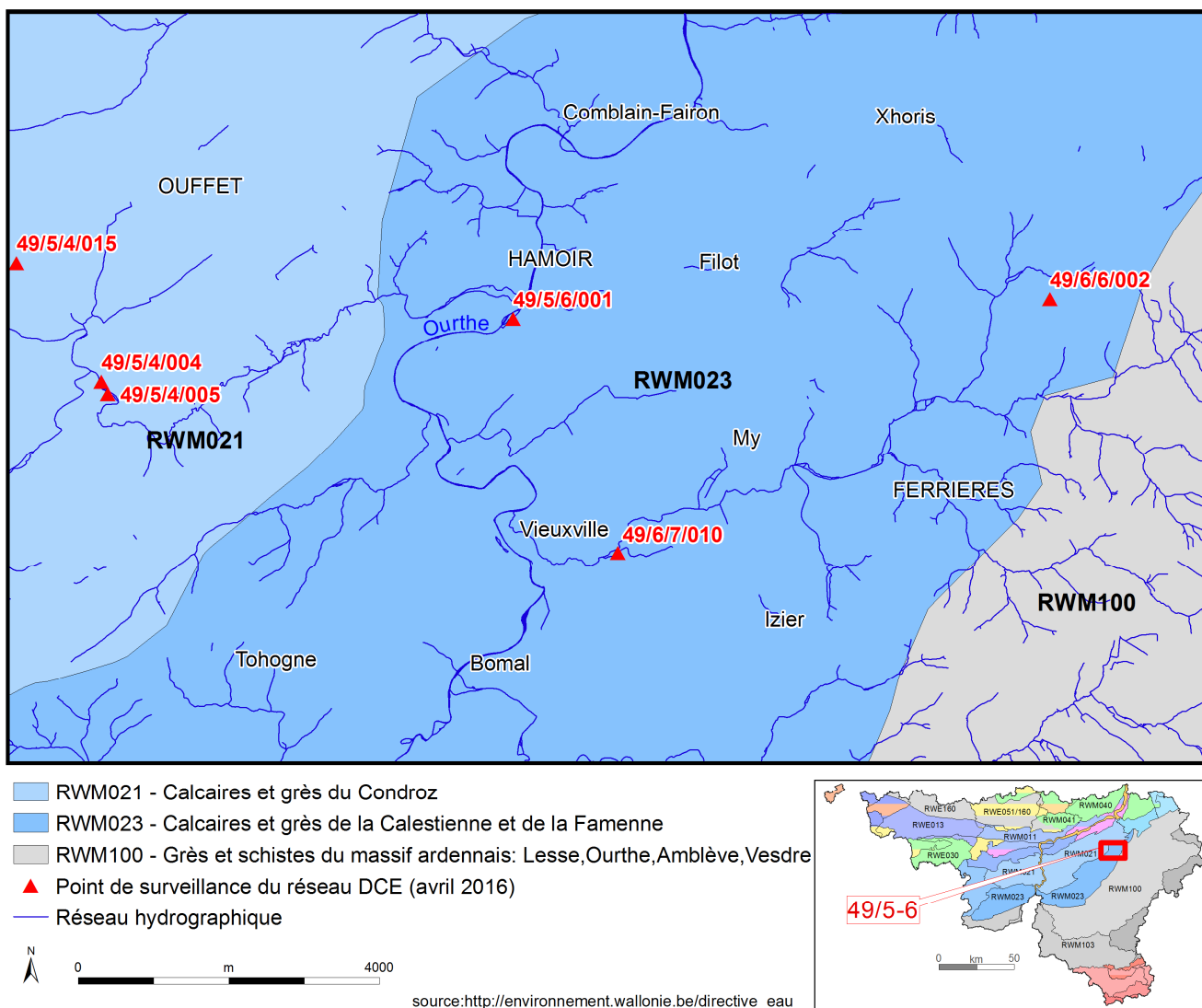


Figure V.1: Masses d'eau souterraine –Hamoir – Ferrières

Tableau V.1: Etat des masses d'eau souterraines présentes sur la carte Hamoir – Ferrières

MESO	Etat global	Etat chimique	Etat quantitatif	Paramètre déclassant	Etat des lieux
RWM021	Bon	Bon	Bon	Aucun	2009
RWM023	Bon	Bon	Bon	Aucun	2009
RWM100	Bon	Bon	Bon	Aucun	2013

source: DGARNE-Direction des Eaux souterraines et Protectis-Cellule DCE. (2010; 2016)

V.1. CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX

Les analyses disponibles pour définir le faciès hydrochimique des eaux logées dans les terrains de la carte Hamoir – Ferrières sont issues des captages destinés à la distribution publique d'eau potable, des réseaux de surveillance du SPW, du groupe Spadel et de campagnes de terrain réalisées par l'équipe d'Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement de l'ULg. Par manque de données (soit absence de prises d'eau, soit pas d'échantillonnage), toutes les unités hydrogéologiques de la carte étudiée ne seront pas caractérisées hydrochimiquement. Afin de compléter les données hydrochimiques issues d'échantillons de prises d'eau localisées sur la carte Hamoir – Ferrières, sont reprises, à titre indicatif, les informations sur la géochimie des aquifères de "l'Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie" (SPW-DGO3, 2014). Ces résultats sont à considérer globalement. Ils sont représentatifs d'une masse d'eau souterraine dans son ensemble, et pas forcément pour la zone de cette masse d'eau présente sur la carte étudiée.

V.1.1. Aquifère des calcaires du Carbonifère

Les eaux des calcaires carbonifères (unité hydrogéologique de l'Hastarien incluse) de la région de Hamoir – Ferrières présentent un faciès bicarbonaté calcique, de dureté et de conductivité élevées. L'alcalinité est moyenne à élevée. Le pH est basique. Les teneurs en nitrates, variables d'un point à l'autre, sont souvent relativement élevées sans pour autant dépasser la norme de potabilité, fixée à 50 mg/l. Outre ce paramètre, les analyses chimiques disponibles ne montrent pas de contamination accidentelle ponctuelle ou d'une pollution avérée. Les tableaux V.2 et V.3 reprennent quelques analyses d'eau effectuées sur des échantillons d'eau souterraines prélevées dans des ouvrages sollicitant l'aquifère des calcaires carbonifères, sensu stricto, et l'aquifère-aquitarde-aquiclude de l'Hastarien.

Tableau V.2: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère des calcaires du Carbonifère – Galeries du Néblon

Elément	Unité	Niveau-guide SPW	Galerie Principale	Galerie Communale	Galerie Tinkou	Bois 1
		Code de l'Eau	18/04/2016	18/04/2016	18/04/2016	13/10/2015
pH		6,5 à 9,5	7,35	7,34	7,20	7,41
Conductivité (K20)	µS/cm	2100	671	662	596	637
Dureté totale (TH)	°F	67,5	38,4	38,1	34,2	38
Alcalinité totale (TAC)	°F	-	29,6	30,2	27,2	30,1
Calcium	mg/l	270*	122,2	124,8	114,4	122
Magnésium	mg/l	50*	19,4	16,8	13,5	18,5
Sodium	mg/l	150	7,7	7,6	10,2	7,5
Potassium	mg/l	12	1,12	1,43	1,6	1,78
Bicarbonates	mg/l	-	361	368	331	367
Strontium	µg/l	750**	167	175	161	170
Fer total dissous	µg/l	200*	<20	<20	<20	<20
Manganèse	µg/l	50*	<0,5	<0,5	<0,05	<0,05

Elément	Unité	Niveau-guide SPW	Galerie Principale	Galerie Communale	Galerie Tinkou	Bois 1
Sulfates	mg/l	250*	31,4	33,7	27	33,29
Chlorures	mg/l	200	20,6	18,7	23,6	21,82
Fluorures	mg/l	1,5*	0,092	0,113	0,066	0,196
Nitrates	mg/l	50	29,9	21,98	23,93	28,4
Nitrites	mg/l	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ammonium	mg/l	0,5*	<0,03	<0,03	<0,03	0,03
Silice (SiO ₂)	mg/l	-	9,8	8,9	9,4	9,4

* norme de potabilité à défaut de valeur-guide - ** selon la Directive européenne

Tableau V.3: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère des calcaires du Carbonifère et de l'aquifère-aquitard-aquiclude de l'Hastarien

Elément	Unité	Niveau-guide SPW	P-Marcourt	P-Gillet	Petit-Houmart D1-HASTARIEN	Calcaires carbonifères du bassin de Dinant (Aq02)
	Code de l'Eau		16/01/2003	06/03/2003	21/04/2016	1994-2000
pH		6,5 à 9,5	7,81	8	7,3	7,4
Conductivité (K20)	µS/cm	2100	814,6	719	601	590
Dureté totale (TH)	°F	67,5	39,5	38,3	31,3	33,2
Alcalinité totale (TAC)	°F	-	30,8	26,8	28,6	-
Calcium	mg/l	270*	116,2	132,3	116,5	107
Magnésium	mg/l	50*	25,4	12,9	5,5	16,6
Sodium	mg/l	150	33,4	19,8	7,2	11
Potassium	mg/l	12	1,2	7,94	2,3	2,31
Bicarbonates	mg/l	-	372,8	323,12	-	324,1
Strontium	µg/l	750**	-	-	156,5	120
Fer total dissous	µg/l	200*	-	-	8	17
Manganèse	µg/l	50*	<30	<30	0,6	3
Sulfates	mg/l	250*	32,01	60,8	23,3	40,9
Chlorures	mg/l	200	72,91	48,5	19,1	32,1
Fluorures	mg/l	1,5*	-	-	0,06	0,11
Nitrates	mg/l	50	32,8	47,8	34,4	23,4
Nitrites	mg/l	0,1	<0,05	<0,05	<0,025	<0,01
Ammonium	mg/l	0,5*	0,46	<0,05	<0,0125	0,01
Silice (SiO ₂)	mg/l	-	8,2	10,6	11	9,4

Dans le cadre du projet 'Vulnérabilité' (Popescu et al, 2004), une étude hydrochimique approfondie a été menée sur les eaux des galeries de la CILE à Néblon-le-Moulin. Un monitoring a été réalisé sur les galeries Tinkou, Communale et Principale. Les paramètres suivis sont la hauteur d'eau, la température, la conductivité électrique spécifique, la turbidité et le pH. Les sondes ont permis d'enregistrer ces paramètres à une fréquence élevée entre décembre 2002 et décembre 2003. De ce suivi physico-chimique, il ressort que ces galeries auraient un mode d'alimentation différent. Les eaux de la galerie Communale sont systématiquement les plus chaudes et les plus conductrices, à l'inverse de celles de Tinkou, les plus froides et les moins conductrices. Concernant les éléments majeurs, la galerie Communale présente les teneurs les plus élevées en calcium et bicarbonates, la galerie de Tinkou, les plus

faibles. Il semblerait donc que la galerie Communale soit alimentée par des eaux dont le temps de résidence dans l'aquifère est plus long (excepté en périodes de crue). La galerie Principale est la plus touchée par les nitrates et présente les plus riches concentrations en magnésium, témoignant d'une eau ayant traversé des roches plutôt dolomitiques.

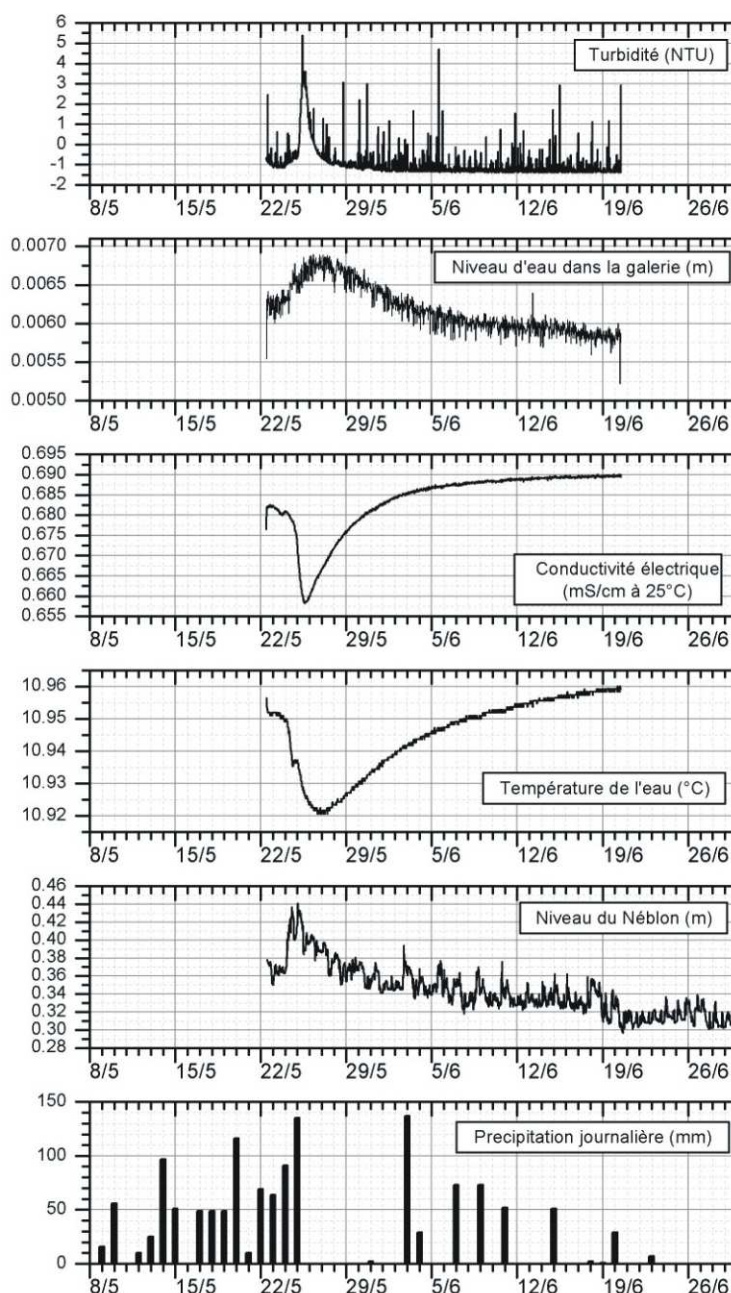


Figure V.2: Réponse de la galerie Communale à une crue (mai-juin 2003) (Popescu et al, 2004)

La galerie Communale réagit rapidement aux crues, comparée aux galeries Principale et Tinkou. La figure V.2 représente l'évolution des paramètres enregistrés dans cette galerie lors d'un épisode de crue survenu en mai 2003. La conductivité électrique et la température chutent brutalement. La turbidité augmente quasi instantanément. Ce pic de turbidité et cette chute de la conductivité indiquent que lors d'une période plus pluvieuse, la galerie Communale est alimentée par de l'eau moins minéralisée et chargée d'éléments en suspension. Cette forte turbidité oblige parfois l'exploitant à déconnecter la galerie du reste du réseau. La turbidité excessive de l'eau n'entraîne pas seulement un désagrément esthétique: les particules

organiques et inorganiques en suspension constituent une source de nutriments et un abri pour les micro-organismes. A l'heure actuelle, l'origine de l'eau alimentant la galerie Communale à l'occasion d'une crue n'est pas connue avec certitude. Elle pourrait provenir soit d'une eau de surface pénétrant rapidement dans le sous-sol provoquant un phénomène de chasse d'eau dans les fissures de l'aquifère, libérant les particules accumulées, soit d'une venue d'eau en provenance du ruisseau du Néblon. Ainsi, on peut affirmer que la galerie Communale est la plus vulnérable des trois galeries de par les interactions évidentes avec les eaux de surface et l'absence de "filtration" lors des épisodes fort pluvieux. Par contre, en dehors des épisodes de crues, elle est la plus stable et elle semble alimentée par des eaux dont le temps de résidence est le plus long. La galerie Communale se distingue donc des deux autres par sa réaction intense aux événements extrêmes. Localiser l'origine des infiltrations rapides d'eau de surface contribuerait à une protection efficace de la galerie Communale.

V.1.2. Aquifère des grès du Famennien

L'aquifère logé dans les grès famenniens du Condroz est caractérisé par une eau moyennement minéralisée et un pH basique (Tableau V.4). Les teneurs, parfois importantes, du calcium, du magnésium et des bicarbonates peuvent être dues au ciment carbonaté et/ou dolomitique présent dans les grès du Famennien. Les teneurs en nitrates (et ammonium), sulfates et chlorures sont parfois non négligeables (pollution anthropique).

Tableau V.4: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère des grès du Famennien

Elément	Unité	Niveau-guide SPW	Sparmont DR		P-Baudoin	Massif schisto-gréseux du bassin de Dinant (Aq11)
			24/05/2000	06/08/2013	22/10/2003	1994-2000
	Code de l'Eau					
pH		6,5 à 9,5	7,32	7,41	7,32	7,3
Conductivité (K20)	µS/cm	2100	660	640	527	443
Dureté totale (TH)	°F	67,5	35,3	-	29,7	22,1
Alcalinité totale (TAC)	°F	-	21,2	-	-	-
Calcium	mg/l	270*	105,4	-	102	65,7
Magnésium	mg/l	50*	21,9	-	10,3	11,9
Sodium	mg/l	150	11,5	-	9,86	9,1
Potassium	mg/l	12	2,2	-	-	1,82
Bicarbonates	mg/l	-	255,4	-	250	185,1
Strontium	µg/l	750**	-	-	-	102
Fer total dissous	µg/l	200*	-	-	1,1	71
Manganèse	µg/l	50*	<30	-	<5	41
Sulfates	mg/l	250*	45,5	-	18,1	31,6
Chlorures	mg/l	200	59,9	-	34,1	23,1
Fluorures	mg/l	1,5*	-	-	-	0,07
Nitrates	mg/l	50	45,5	27,7	31,1	26,5
Nitrites	mg/l	0,1	<0,02	<0,02	<0,05	0,01
Ammonium	mg/l	0,5*	0,173	<0,03	<0,05	0
Silice (SiO ₂)	mg/l	-	10		4,57	13,2

V.1.3. Aquifère des calcaires du Dévonien

Les eaux logées dans les aquifères des calcaires du Dévonien présentent un faciès bicarbonaté calcique avec un pH basique et une minéralisation et une dureté moyennes à élevées. Sur la carte Hamoir – Ferrières, très peu de points permettent de caractériser hydrochimiquement ces aquifères. De plus, on ne compte qu'un seul point sollicitant les calcaires givetiens. Afin de compléter ces quelques analyses hydrochimiques, la caractérisation de l'état hydrochimique de l'aquifère des calcaires dévoniens du bassin de Dinant (Aq12) est également présentée dans le tableau V.5, à titre informatif. Les valeurs des paramètres présentés sont issues d'une série de statistiques tirées des résultats des analyses réglementairement transmises pour les prises d'eau potabilisable, sur la période 1994-2000 (SPW-DGO3, 2014).

Les eaux de la résurgence n°1 du Moulin, située dans le vallon de la Lembrée à hauteur de Vieuxville, ont des teneurs en ions calcium et en bicarbonates plus faibles que les autres analyses (mélange d'eaux, parcours souterrain relativement bref ?). Une étude hydrogéochimique exhaustive de cette résurgence permettrait de mieux analyser cette observation.

Tableau V.5: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère des calcaires du Dévonien

Élément	Unité	Niveau-guide SPW	FRASNIEN				GIVETIEN	Calcaires dévoniens du bassin de Dinant (Aq12)
			Pêchet 1 galerie	Pêchet 2 forage oblique	Résurgence n°1 du Moulin		Fontaine de Rivière	
		Code de l'Eau	24/05/2016	24/05/2016	30/07/2002	18/09/2013	30/07/2002	1994-2000
pH		6,5 à 9,5	7,5	7,24	7,33	7,31	8,22	7,3
Conductivité (K20)	µS/cm	2100	628	723	394	316	534	599
Dureté totale (TH)	°F	67,5	37,5	45,1		14,8	-	32,6
Alcalinité totale (TAC)	°F	-	29,9	38,5		12,6	-	-
Calcium	mg/l	270*	110	139,7		46	90	112,1
Magnésium	mg/l	50*	24,2	24,8		8,1	15,4	12,7
Sodium	mg/l	150	9,1	5,4		12,2	6,5	10
Potassium	mg/l	12	0,69	0,37		2,1	2,3	1,86
Bicarbonates	mg/l	-	364	469		-	284	306,8
Strontium	µg/l	750**	139	129		81	-	192
Fer total dissous	µg/l	200*	<20	<20		172	-	27
Manganèse	µg/l	50*	<0,5	<0,5		25	-	2
Sulfates	mg/l	250*	29,2	31,5		18	26	39,9
Chlorures	mg/l	200	17,5	10,9		23	15,8	28,3
Fluorures	mg/l	1,5*	0,054	0,032		0,08	-	0,07
Nitrates	mg/l	50	20,17	13,17		11,7	20	31,1
Nitrites	mg/l	0,1	<0,01	<0,01		<0,01	-	0
Ammonium	mg/l	0,5*	<0,03	0,03		<0,03	-	0
Silice (SiO ₂)	mg/l	-	9,2	7,9		8	-	8,6

V.1.4. Unités hydrogéologiques du Dévonien moyen et inférieur

Sur la carte Hamoir – Ferrières, quelques données hydrochimiques sont disponibles pour les deux unités hydrogéologiques du Dévonien inférieur et moyen: Aquitard de l'Eifelien & Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur. Les ouvrages échantillonnés appartiennent à la SWDE et au groupe SPADEL sa. Un seul est toujours en exploitation, Bénite Fontaine (exploité par la CILE). Les eaux issues des drains et des puits peu profonds (nappe superficielle) sont basiques (à neutre), douces (faible dureté) et faiblement minéralisées. Les eaux issues de la nappe profonde (puits de Harre) sont plus minéralisées et ont un pH acide (Tableau V.6).

Non repris dans le tableau ci-dessous, l'élément 'Plomb' a été, à plusieurs reprises, observés en quantité non-négligeable (> 10mg/l, niveau-guide) dans des prélèvements issus du puits 'Séminaire St-Roch', à Ferrières. Ce paramètre est à surveiller.

Tableau V.6: Caractéristiques hydrochimiques des unités hydrogéologiques du Dévonien inférieur et moyen

Elément	Unité	Niveau-guide SPW	AQUICLUDE À NIVEAUX AQUIFÈRES DU DÉVONIEN INFÉRIEUR				AQUITARD DE L'EIFELIEN	Massif schisto-gréseux de l'Ardenne (Aq10)
			Code de l'Eau	Bénite-Fontaine DR	Séminaire St-Roch PT	Pouhon de Harre	Puits de Harre	
			22/07/2015 (1994)	10/09/2013	25/01/2002	15/03/2001	01/03/2004	1994-2000
pH		6,5 à 9,5	7,82 (7,41)	6,66	5,58	5,77	7,53	6,5
Conductivité (K20)	µS/cm	2100	508 (240)	276	680	593	142	165
Dureté totale (TH)	°F	67,5	(11)	9,2	-	-	5,7	5,1
Alcalinité totale (TAC)	°F	-	(10,2)	7,1	-	-	4,9	-
Calcium	mg/l	270*	(34,7)	23	43	37,3	18,9	12,9
Magnésium	mg/l	50*	(5,7)	8,5	42,3	28,4	2,4	4,1
Sodium	mg/l	150	(5,3)	17	49,5	46,5	3,9	7,4
Potassium	mg/l	12	(0,7)	2,5	3,2	3,6	0,5	1
Bicarbonates	mg/l	-	-	-	432	384	-	37,3
Strontium	µg/l	750**	(35,4)	48	-	-	39,8	49
Fer total dissous	µg/l	200*	(20)	41	22747	7924	84	17
Manganèse	µg/l	50*	(<5)	1,2	-	355	0,5	19
Sulfates	mg/l	250*	(15,2)	8	2,3	1,8	9,9	7
Chlorures	mg/l	200	(8,2)	43	14,6	14,3	8,7	16
Fluorures	mg/l	1,5*	-	0,12			-	0,05
Nitrates	mg/l	50	24,7 (8,6)	9	<0,2	<0,2	6,15	
Nitrites	mg/l	0,1	<0,02 (0,08)	<0,01	-	-	<0,05	0
Ammonium	mg/l	0,5*	<0,03 (<0,05)	<0,03	-	-	<0,05	0,01
Silice (SiO ₂)	mg/l	-	(9,6)	11	33,6	37,1	12,5	6,2
Anhydride carbonique libre CO ₂	mg/l				2376	1120	4,4	-

La composition chimique des eaux de Harre (pouhon⁸ et puits) atteste qu'il s'agit d'eaux carbonatées (présence importante de CO₂ libre), et fortement minéralisées (teneur en bicarbonates) particulièrement en fer et manganèse. Monjoie (2002) explique le phénomène

⁸ Pouhon: source d'eau minérale pouvant être ferrugineuse ou saline ou bien encore alcaline ou sulfureuse (en wallon: pouhî)

des eaux carbo-gazeuses comme suit: "Les analyses "¹⁸O-deutérium" montrent qu'il s'agit d'eaux météoriques. Les analyses au tritium donnent des valeurs de 1 à 2 u.T. (unité Tritium) à une centaine de mètres de profondeur, avec parfois une augmentation (5 à 10 u.T.) vers la surface par mélange avec des eaux superficielles récentes. Les analyses du rapport C₁₂/C₁₃ indiquent une origine du CO₂ due au métamorphisme thermique des carbonates, sans doute des calcaires du Paléozoïque situés dans le massif sous-jacent à la faille eifélienne.

Concernant les gaz, le CO₂ est prédominant, suivi par le N₂, la somme (CO₂ + N₂) atteignant pratiquement 100%. On constate des teneurs de 97 à 100% de CO₂ dans les eaux les plus anciennes (1 à 2 u.T.) et des teneurs en δ₁₃C de 1 à -2 ‰. Les autres gaz détectés sont Ar, He, et parfois des traces de O₂, H₂, CH₄. La bonne corrélation entre les teneurs Ar et N₂, semble d'origine profonde. Les traces de O₂, H₂, CH₄ paraissent dues à des apports d'eaux superficielles. Ces caractéristiques se retrouvent dans les exutoires ("pouhons") de toute la région de Spa, Chevron et Harre, et semblent indiquer un gisement unique profond avec des émergences distinctes en surface. Le schéma hydrogéologique des venues d'eaux minérales carbo-gazeuses correspond donc à des remontées de l'eau du substratum profond (sans doute sous-jacent à la faille eifélienne) par le biais d'accidents transverses aquifères. Près de la surface, il y a dispersion de l'eau dans les fissures des zones détendues et altérées et une même venue d'eau profonde peut donner lieu à plusieurs "pouhons".

L'eau carbo-gazeuse reste souvent piégée sous les nappes aquifères superficielles et ne sort en surface qu'aux endroits de couverture moins épaisse ou de plus forte perméabilité des terrains. Les "pouhons" semblent localisés sur le tracé d'accidents orientés Nord-Sud, souvent à la rencontre avec d'autres accidents orientés NNE-SSW ou NW-SE.

La minéralisation des différents "pouhons" est évidemment influencée par la nature des roches traversées par l'eau lors de sa remontée. Dans la région Chevron-Harre, la présence de terrains éo-dévonien (Dévonien inférieur) au-dessus du Cambrien peut expliquer la minéralisation un peu plus élevée, surtout en Mg, par rapport aux "pouhons" de Spa.

V.2. PROBLEMATIQUE DES NITRATES

Pour protéger les eaux contre la pollution par les nitrates, plusieurs "zones vulnérables" ont été désignées par arrêtés ministériels (Figure V.3). Ces zones reprennent la quasi-totalité des captages échantillonnés dont la teneur en nitrate dépasse ou risque de dépasser 50 mg/l. Elles ont pour objet la protection des eaux souterraines contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles. Cette désignation implique l'application d'un programme d'actions précis dont les mesures ont été arrêtées dans le code de "bonnes pratiques agricoles" du Programme de Gestion Durable de l'Azote en agriculture (PGDA). Pour plus d'informations, voir www.nitrawal.be, ainsi que le Livre II du Code l'Environnement (Code de l'Eau).

Environ, la moitié du territoire couvert par la carte Hamoir – Ferrières est inclus dans une de ces zones vulnérables aux nitrates définies par le gouvernement wallon, zone 'Sud Namurois' (arrêté ministériel du 22 novembre 2012 modifiant celui du 22 décembre 2006).

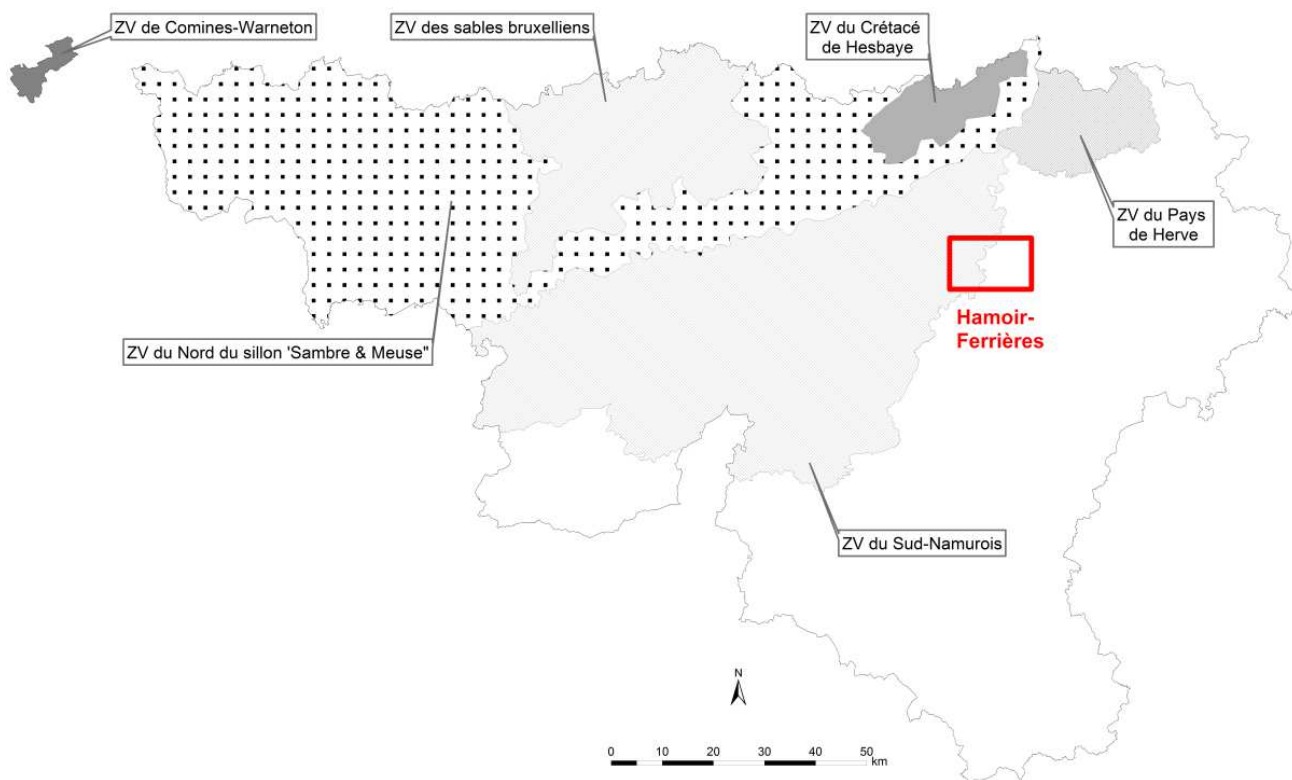


Figure V.3: Zones vulnérables aux nitrates – Hamoir – Ferrières

Depuis plusieurs années, les compagnies de distribution d'eau et l'administration wallonne surveillent de manière très régulière les concentrations en nitrates de plusieurs captages ou puits de contrôle. La teneur maximale admise en Wallonie est 50 mg NO₃/l. On ne dispose pas de suffisamment de données pour présenter un historique représentatif de l'évolution des concentrations des nitrates dans les eaux souterraines pour l'ensemble des unités hydrogéologiques présentes sur la carte Hamoir – Ferrières.

D'après les données disponibles, les concentrations en nitrates des eaux souterraines de la carte étudiée ne dépassent pas les normes de potabilité. Les figures suivantes présentent l'évolution des concentrations en nitrates au cours du temps au droit de plusieurs ouvrages de prise d'eau publics ou du réseau de surveillance.

Les teneurs en nitrates des eaux de l'aquifère des calcaires du Carbonifère de la carte Hamoir – Ferrières sont régulièrement mesurées suite à un échantillonnage régulier dans les galeries du Néblon (CILE). A la lecture de la figure V.4, on constate une lente et constante augmentation des teneurs en nitrates pour l'ensemble des galeries jusqu'au début des années 2000. Ensuite, les concentrations semblent se stabiliser, autour de 24 mg/l pour les galeries Tinkou et Communale et de 28 mg/l pour la galerie Principale et le drain Astrid (ou Bois 2).

Le drain de Petit Houmart (SWDE) sollicite les eaux de l'aquifère-aquitard-aquiclude de l'Hastarien. Les teneurs en nitrates mesurées y sont plus élevées (valeur moyenne: 34 mg/l).

Les concentrations observées dans les aquifères calcaires du Carbonifère (Condroz), bien qu'en deçà de la norme de potabilité, sont non négligeables. Ils sont donc à surveiller, justifiant pleinement que cette partie de la carte Hamoir – Ferrières soit en zone vulnérable aux nitrates (Figure V.3).

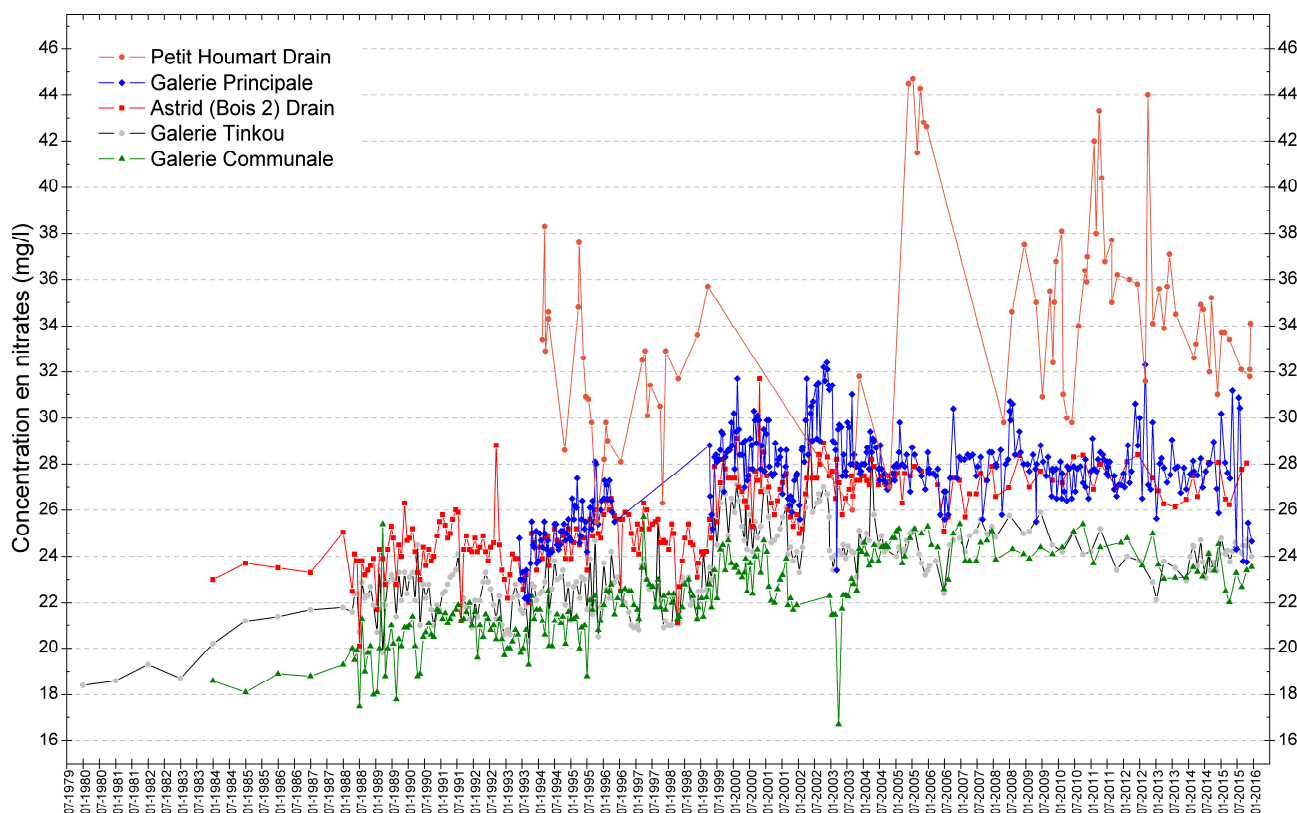


Figure V.4: Evolution des concentrations en nitrates – Aquifère des calcaires du Carbonifère & Aquifère-aquitard-aquiclude de l'Hastarien – Hamoir – Ferrières

Quelques chroniques sur l'évolution des nitrates au cours du temps sont également disponibles pour quelques-unes des autres unités hydrogéologiques présentes sur la carte Hamoir – Ferrières (Figure V.5). Les concentrations mesurées y sont également non négligeables, bien que les unités hydrogéologiques schisto-gréseuses de l'Eifelien et du Dévonien inférieur présentent des teneurs, en général, inférieures à 20 mg/l. Tant au forage Pêchet 2 (calcaires frasniens) qu'au drain de Sparmont (grès famenniens), on remarque une augmentation des concentrations en nitrates jusqu'en 2000. Ensuite, cela semble se stabiliser pour les eaux pompées à Pêchet. Par contre, la courbe de Sparmont semble encore croître.

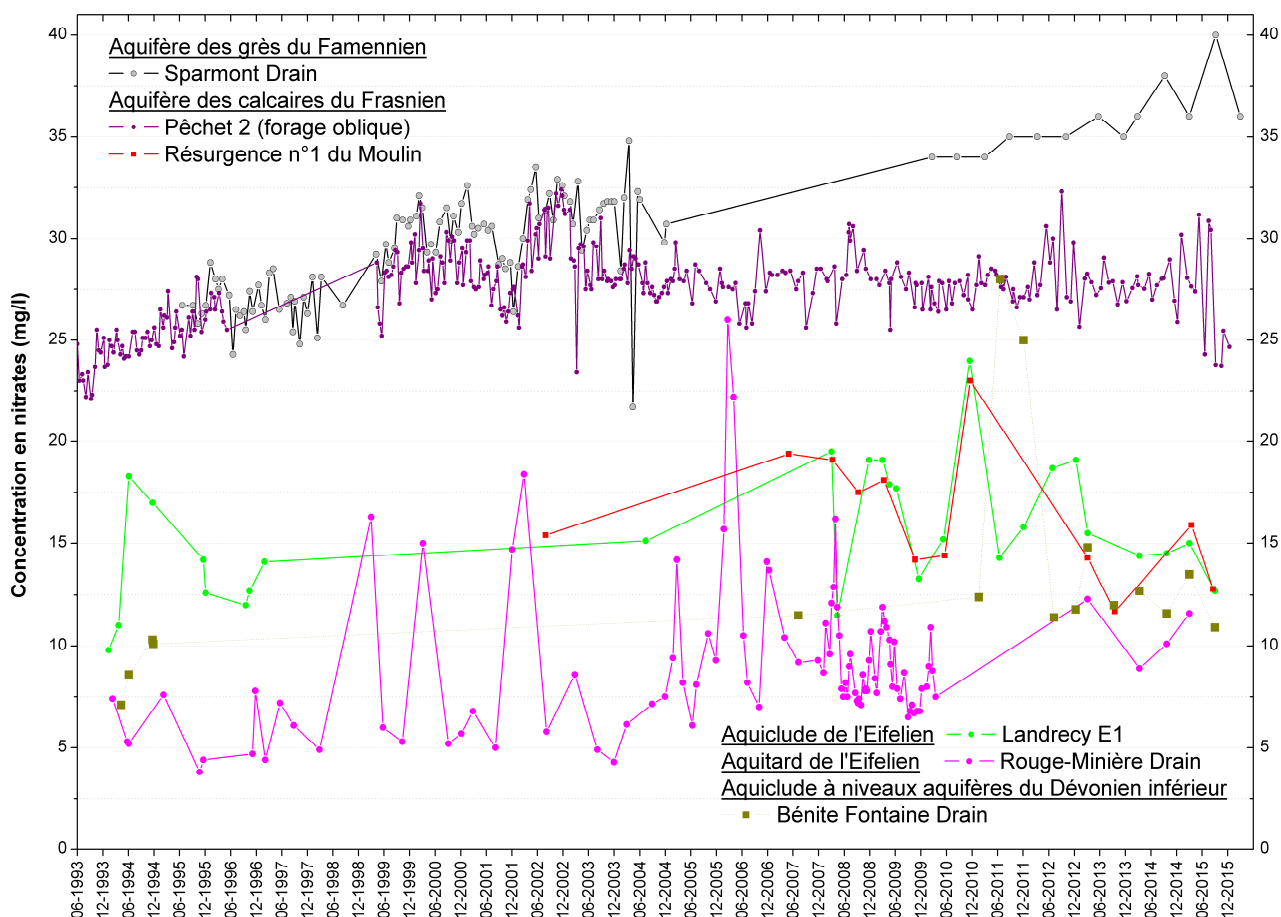


Figure V.5: Evolution des concentrations en nitrates – Hamoir – Ferrières

V.3. QUALITE BACTERIOLOGIQUE

Les paramètres microbiologiques des eaux destinées à la distribution publique sont régulièrement mesurés par les compagnies d'eau. Ainsi, la qualité microbiologique des eaux est mesurée à partir de la présence de bactéries indicatrices de contamination fécale telles que les entérocoques, E.Coli ou les coliformes.

D'après les données disponibles pour les unités hydrogéologiques de la carte Hamoir – Ferrières, il n'y a pas d'anomalies importantes au niveau bactériologique (Tableau V.7). Une chloration est, néanmoins, souvent opérée avant la distribution de l'eau sur le réseau. Durant les périodes de fortes précipitations, la turbidité des eaux peut néanmoins augmenter dans certains captages indiquant des écoulements en milieux fortement fissuré (voire karstifié) et/ou la proximité du réseau hydrographique.

Tableau V.7: Paramètres microbiologiques des eaux souterraines de la carte Hamoir – Ferrières

Unité hydrogéologique			Aquifère des calcaires du Carbonifère (y compris l'UH de l'Hastarien)				Aquifère des grès du Famennien	Aquifère des calcaires du Frasnien		Aquiclude à niveaux aquifères du Dév. inf.
Paramètre	Unité	Niveau- guide	Galerie Principale	Galerie Communale	Galerie Tinkou	Petit Houmart	Sparmont	Pêchet 1	Pêchet 2	Bénite Fontaine
	Code de l'Eau		18/04/2016	18/04/2016	18/04/2016	21/04/2016	13/10/2013	24/05/2016	24/05/2016	22/07/2015
Germes totaux à 22°C	nbre / ml	-	3	57	0	3	4	19	3	0
Germes totaux à 37°C	nbre / ml	-	0	4	0	0	1	8	0	0
Coliformes totaux	nbre / 100 ml	0	1	31	0	0	0	4	0	0
Coliformes fécaux	nbre / 100 ml	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Escherichia coli	nbre / 100 ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Entérocoques fécaux	nbre / 100 ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clostridium perfringens	nbre / 100 ml	0	0	0	0	0	-	0	0	-

V.4. PESTICIDES

La présence de pesticides dans les eaux potabilisables devient, au même titre que les nitrates, relativement préoccupante. Depuis plusieurs années, une centaine de pesticides sont recherchés dans les eaux souterraines destinées à la consommation humaine. Les herbicides font partie des micropolluants les plus problématiques, qu'ils soient d'usage agricole ou non agricole, dans le sens où ils impliquent des traitements de potabilisation spécifiques et parfois très coûteux (SPW-DGO3, 2014; ICEW, 2012).

La figure V.6 montre l'impact des pesticides sur la qualité des eaux souterraines wallonnes. Cette carte illustre l'indicateur 'Pesticides dans les eaux souterraines (n°91)' de l'analyse des composantes de l'environnement présentée dans le rapport sur l'état de l'environnement wallon 'Les Indicateurs clés de l'Environnement Wallon 2012' (ICEW, 2012). Cet indicateur rend compte de manière simplifiée et globale de la qualité des eaux souterraines wallonnes par rapport aux pesticides. Les indices⁹ de qualité révèlent que les aquifères investigués de la région de Hamoir – Ferrières sont classés en catégorie 'Bonne' à 'Très Bonne' pour l'altération 'Pesticides'.

IMPACT DES PRODUITS PHYTOPHARMEUTIQUES SUR LA QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES

→ Voir fiche 10-3

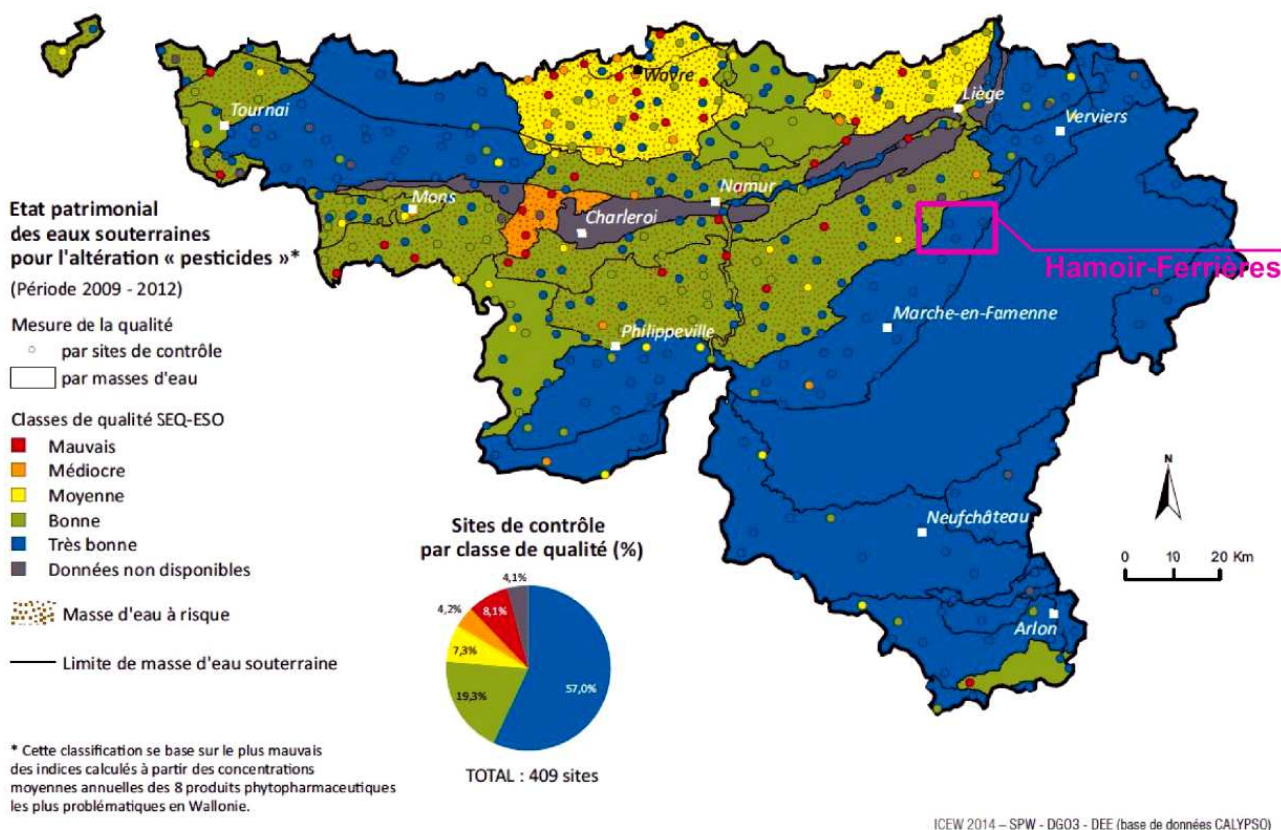


Figure V.6: Pesticides en Région wallonne (ICEW, 2012; carte 19 modifiée)

⁹ Indice calculé à partir des concentrations moyennes annuelles en atrazine, déséthylatrazine, simazine, diuron, isoproturon, chlortoluron, bromacile, bentazone et 2,6-dichlorobenzamide (BAM)

D'après les données disponibles, à ce jour, aucune contamination marquée des eaux souterraines par les pesticides n'est observée (Tableau V.8). A l'instar des analyses microbiologiques, les analyses sur les pesticides concernent généralement les eaux captées par les ouvrages publics et destinées à la distribution. Les concentrations, par produit ou pour l'ensemble des pesticides, restent largement sous la norme de potabilité. Les valeurs maximales admises par le Code de l'Eau pour la plupart de ces produits phytosanitaires (ici, essentiellement des herbicides) sont de 100 ng/l. Cinq types de pesticides sont systématiquement recherchés lors des analyses spécifiques: l'atrazine et son métabolite, le déséthyl-atrazine, la simazine, le diuron et l'isoproturon. Des traces d'atrazine et de ses produits de dégradation (déséthylatrazine), ainsi que de diuron et de 2,6-dichlorobenzamide ont été occasionnellement observées dans les eaux souterraines de la carte Hamoir – Ferrières. Des nouvelles dispositions réglementaires, en lien avec les produits phytopharmaceutiques, sont entrées en vigueur le 1^{er} juin 2015. La phytolice¹⁰, nouveau certificat portant sur les connaissances des utilisateurs professionnels de produits phytopharmaceutiques, est obligatoire depuis le 25 novembre 2015. Ces mesures devraient contribuer à moyen et à long terme à la réduction des pesticides dans les eaux souterraines.

Tableau V.8: Principaux pesticides analysés dans les eaux souterraines de la carte Hamoir – Ferrières

Unité hydrogéologique		Aquifère des calcaires du Carbonifère (y compris l'UH de l'Hastarien)				Aquifère des grès du Famennien	Aquifère des calcaires du Frasnien	
Pesticide	Niveau-guide	Galerie Principale	Galerie Communale	Galerie Tinkou	Petit Houmart	Sparmont	Pêchet 1	Pêchet 2
	Code de l'eau	18/04/2016	18/04/2016	18/04/2016	21/04/2016	17/02/2004	24/05/2016	08/04/2014
Atrazine (ng/l)	100	4	3	3	2	23	<2	<10
Déséthyl Atrazine (ng/l)	100	12	9	7	3	22	<2	<10
Simazine (ng/l)	100	<2	<2	<2	<2	<10	<2	<10
Diuron (ng/l)	100	<2	<2	<2	<2	1	<2	<10
Isoproturon (ng/l)	100	<2	<2	<2	<2	<10	<2	<10
Chlortoluron (ng/l)	100	<2	<2	<2	<2	<10	<2	<10
Bromacile (ng/l)	100	<2	<2	<2	<2	<10	<2	<10
Bentazone (ng/l)	100	<2	<2	<2	<2	<25	<2	<25
2,6-dichlorobenzamide (BAM) (ng/l)	200	<2	<2	<2	14	<25	<2	<25

¹⁰ Infos disponibles sur http://agriculture.wallonie.be/pwrrp/programme_resume.pdf & www.phytolice.be & <http://crphyto.be/>

VI. EXPLOITATION DES AQUIFERES

Occupant un peu plus d'un tiers de la superficie de la carte Hamoir – Ferrières, les aquifères calcaires du Carbonifère (inclus l'unité hydrogéologique de l'Hastarien) et du Dévonien (Frasnien et Givetien) sont, pourtant, la première ressource en eau souterraine de la région étudiée. La moitié des prises d'eau en activité sollicitent ces aquifères calcaires. La seconde moitié prélève dans les autres unités hydrogéologiques dont l'aquifère des grès du Famennien, l'aquifère de l'Eifelien ou l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur.

Les eaux souterraines de la carte Hamoir – Ferrières sont exploitées par des ouvrages appartenant à deux compagnies de distribution publique d'eau potable (CILE et SWDE) mais aussi à des privés (agriculteurs et particuliers). Quelques puits (pompage fermier) sont mis à disposition des agriculteurs par l'administration communale de Durbuy.

Les données présentées dans ce chapitre sont extraites de la base de données du Service Public de Wallonie. Malheureusement, l'encodage des volumes d'eau prélevés n'est pas complet. Ceci concerne principalement les petits exploitants et donc les petits volumes (< 3000 m³/an). Les puits des particuliers et des agriculteurs ne sont pas tous pourvus d'un compteur.

Sur la carte thématique intitulée "Carte des volumes d'eau prélevés", les volumes sont classés selon différentes catégories : les prélèvements d'eau destinés à la distribution publique d'eau potable (pastilles rouges) et les prélèvements à usage privé¹¹ (pastilles vertes). Les volumes présentés sont des volumes de l'année 2015 pour les ouvrages de distribution publique d'eau et de 2014 pour les "autres volumes". Sur cette même carte, sont aussi reportés les volumes moyens sur cinq ans, ici 2010-2014. Ils illustrent de manière plus réaliste l'exploitation des eaux souterraines sur la carte étudiée. Ces valeurs moyennes ne sont pas représentatives du potentiel d'exploitation ni de l'exploitation réelle des nappes. Elles reflètent simplement l'importance d'un site d'exploitation pendant les cinq années considérées. Parmi ces dernières, il se peut que certaines d'entre elles soient des années sans prélèvement.

Prélèvements destinés à la distribution publique d'eau potable

En moyenne, environ 10 millions de m³ d'eau sont prélevés annuellement au niveau de la carte Hamoir – Ferrières. Le volume pour la distribution publique en représente plus de 99 %. La majorité de cet important volume quitte le bassin hydrologique d'où il est issu. En effet, l'essentiel des eaux prélevées par CILE sont exportées vers Liège et sa région. Les eaux prélevées par la SWDE sont destinées à la population de la région environnant le captage, qui s'étend généralement à l'intérieur des limites du bassin.

¹¹ La catégorie "Autres volumes" regroupe les volumes à usage privé, c'est-à-dire les prélèvements des particuliers, des agriculteurs, des industries... tout prélèvement d'eau souterraine qui n'est pas destinée à la distribution publique d'eau potable.

La CILE exploite trois sites de captage sur la carte Hamoir – Ferrières (Figure VI.1).

Les *galeries du Néblon* sollicitent l'aquifère des calcaires du Carbonifère, à raison de 9 à 10×10^6 m³ par an.

Les ouvrages de *Pêchet* captent les eaux logées dans l'aquifère des calcaires du Frasnien (entre 20 000 et 180 000 m³/an). L'eau prélevée à la galerie Pêchet I s distribue aux habitants de la commune d'Hamoir. Les eaux issues du forage horizontal (Pêchet Ibis) alimentent l'usine d'embouteillage de la CILE (eau de source). Dans l'avenir, les eaux pompées à Pêchet II (forage oblique) alimenteront aussi cette usine.

Le drain *Fontaine-Bénite à Filot* appartient à la SWDE (titulaire) mais est géré par la CILE (exploitant), avec un volume de 40 000 à 50 000 m³/an.

Dans le nord de la carte, sur la localité de Comblain-Fairon, la CILE exploitait jusqu'en 2004 le drain de *Sparmont*, implanté dans les grès du Famennien (volume moyen: 1750 m³/an). Lors de fortes pluies, la turbidité de l'eau augmentait de manière excessive entraînant l'arrêt momentanée de l'exploitation.

La SWDE possède plusieurs sites de captage sur la carte Hamoir – Ferrières. Un seul est toujours en activité. Les autres sont actuellement hors service pour des raisons de vétusté des installations, de rendement, de qualité ou encore suite à la réorganisation du réseau de distribution.

Le drain *Petit Houmart*, à Tohogne, sollicite l'aquifère-aquitard-aquiclude de l'Hastarien (Carbonifère). L'exploitation de cette prise d'eau a reprise en 2013 (mise à l'arrêt en 2000), avec un volume moyen de 210 000 m³/an (Figure VI.1).

A Ferrières, le drain de *Rouge-Minière* exploitait jusqu'en 2011 l'aquitard de l'Eifelien, avec un prélèvement moyen de 25 000 m³/an.

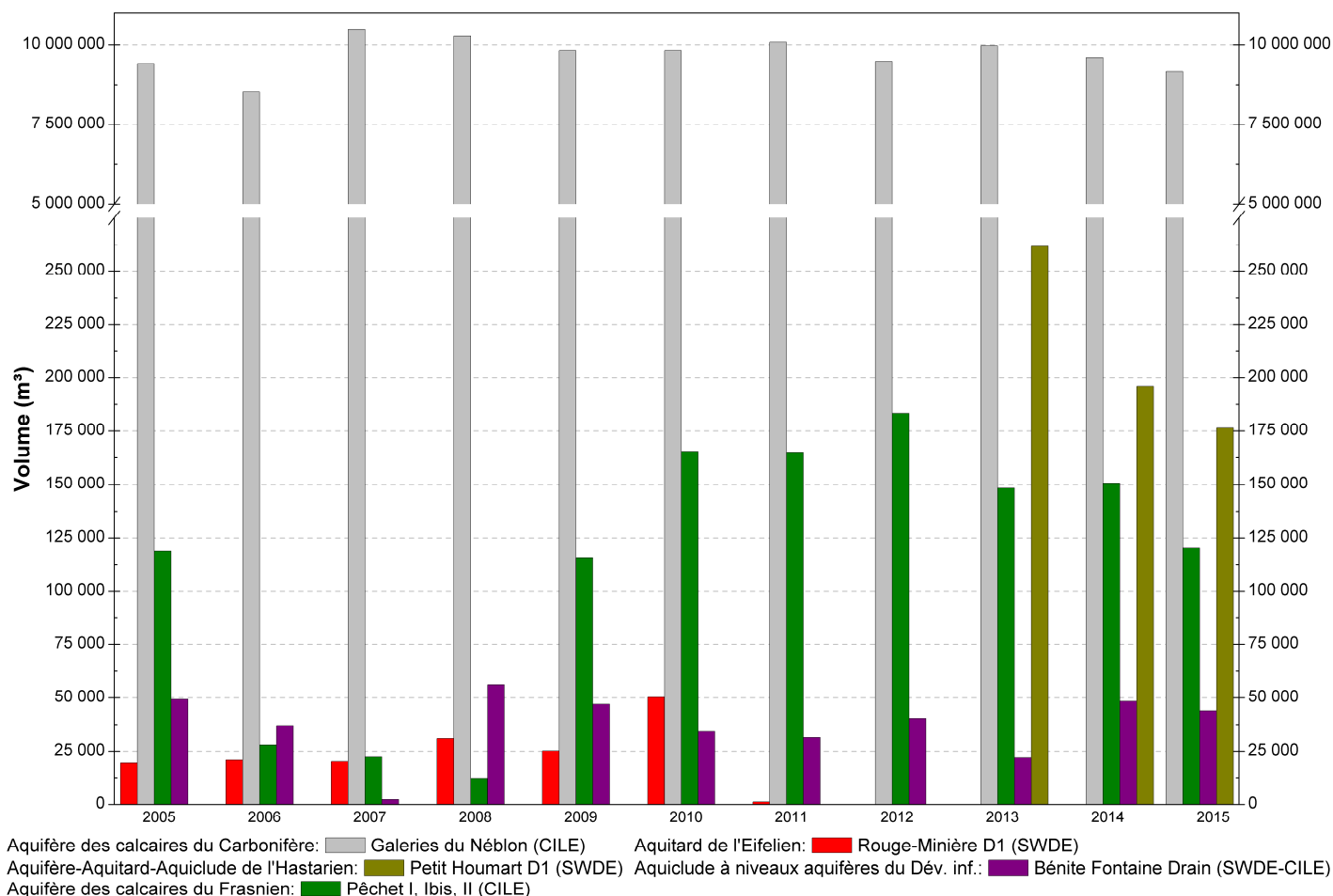


Figure VI.1: Volumes prélevés pour les sociétés de distribution d'eau (CILE & SWDE) sur la carte Hamoir – Ferrières

Autres prélèvements (industries, agriculteurs, particuliers)

Comparativement aux volumes prélevés pour l'approvisionnement public d'eau potable, les quantités d'eau prélevées par les privés (ou assimilés) sont négligeables sur la carte Hamoir – Ferrières. En moyenne (depuis 2010), 60 000 m³ sont prélevés annuellement par l'ensemble des ouvrages privés (contre presque 10 millions par la distribution publique d'eau). Ces captages, implantés généralement à proximité des habitations, sollicitent la plupart des unités hydrogéologiques de la carte. Les volumes prélevés, à usage privé, sont peu importants. Ils varient entre quelques m³ et 15 000 m³/an, en moyenne (sur base des déclarations faites à l'administration). Ces prélèvements sont destinés à un usage domestique (sanitaires, jardin...), à des fins agricoles (alimentation du bétail, irrigation...) ou pour des activités tertiaires (camping). La commune de Durbuy met à disposition de ses agriculteurs des points d'eau (pompages fermier).

La société Bru-Chevron (groupe Spadel sa) possède, à Harre (sud-est de la carte), quelques ouvrages. Les eaux du Pouhon (profondeur: 35 m) et du forage profond (profondeur: 103 m) sont des eaux carbo-gazeuses dont l'exploitation a pris fin en 1998.

VII. PARAMETRES D'ÉCOULEMENT ET DE TRANSPORT

L'objectif des tests sur le terrain (essais de pompage, tests d'injection, traçages...) est souvent de définir les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère à l'aide de méthodes d'interprétation basées sur des solutions analytiques simplifiées ou sur la calibration de modèles numériques. Les principaux paramètres caractérisant l'écoulement d'eau souterraine et le transport de solutés sont respectivement, la conductivité hydraulique (K), le coefficient d'emménagement spécifique (S_s), la porosité effective (ou efficace) de drainage (n_e), la porosité effective de transport et la dispersivité longitudinale.

D'autres paramètres sont souvent cités dans les études consultées et parfois repris dans les notices des cartes:

- la transmissivité (T) exprime le débit d'eau qui s'écoule, pour une largeur unitaire, sur toute l'épaisseur d'un aquifère (de Marsily, 2004). Elle est l'intégration de la conductivité hydraulique (K) sur une épaisseur saturée donnée pour ramener le plus souvent l'écoulement à un processus 2D. Cette épaisseur est habituellement l'épaisseur totale de l'aquifère s'il s'agit d'un aquifère captif, et la hauteur d'eau saturée (très variable) s'il s'agit d'un aquifère libre.
- le coefficient d'emménagement est également une grandeur 2D intégrant le coefficient d'emménagement spécifique sur l'épaisseur de l'aquifère pour les nappes captives. Pour les nappes libres, le coefficient d'emménagement peut être approximé par la porosité effective (ou efficace) de drainage (n_e).

Vu la multitude et la complexité des méthodes et concepts utilisés pour leur définition et leur détermination, la description détaillée de ces notions sort du cadre de cette notice. Nous invitons le lecteur à consulter le site Internet de la carte hydrogéologique de Wallonie (<http://environnement.wallonie.be/cartosig/cartehydrogeo/concepts.htm>). Les concepts majeurs de l'hydrogéologie y sont abordés de manière simplifiée et quelques références bibliographiques y sont renseignées.

Les valeurs des paramètres peuvent varier suivant les échelles d'investigation. On parlera de valeurs à l'échelle macroscopique pour les essais réalisés sur échantillons en laboratoire, par comparaison aux valeurs à l'échelle mégascopique relatives aux zones investiguées lors d'essais menés sur le terrain. A titre indicatif, les tableaux VII.1 et VII.2 présentent quelques valeurs de conductivité hydraulique selon le type de terrain (roche meuble ou indurée, lithologie, degré de fissuration...).

Tableau VII.1: Valeurs du coefficient de perméabilité en fonction de la granulométrie (Castany, 1998)

K en m/s	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
Granulométrie homogène	gravier pur			sable pur		sable très fin			limons		argile		
Granulométrie variée	gravier gros&moy		gravier et sable		sable et limons argileux								

Tableau VII.2: Intervalles de valeurs indicatives pour la conductivité hydraulique de différentes lithologies (échelles macroscopique & mégascopique) (Dassargues, 2010)

Lithologie		K (m/s)
Granites et Gneiss	avec fissures	$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-4}$
	sans fissure	$1 \times 10^{-14} - 1 \times 10^{-10}$
Basaltes	avec fissures	$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-3}$
	sans fissure	$1 \times 10^{-12} - 1 \times 10^{-9}$
Quartzites	avec fissures	$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-4}$
	sans fissure	$1 \times 10^{-12} - 1 \times 10^{-9}$
Shales (argilites)		$1 \times 10^{-13} - 1 \times 10^{-9}$
Schistes (argilites schistosées)		$1 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-5}$
Calcaires	karstifiés	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-1}$
	avec fissures	$1 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-3}$
	sans fissure	$1 \times 10^{-12} - 1 \times 10^{-9}$
Grès	avec fissures	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-3}$
	sans fissure	$1 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-5}$
Craies		$1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-3}$
Tufs volcaniques		$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-3}$
Graviers		$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-1}$
Sables		$1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-2}$
Silts, limons		$1 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-4}$
Argiles et limons		$1 \times 10^{-13} - 1 \times 10^{-7}$

Le sous-sol, constitué de terrains meubles ou de roches consolidées, peut aussi être caractérisé par ses porosités. Pour l'écoulement des eaux souterraines, seule la porosité effective (ou efficace) de drainage (n_e), est considérée car sa valeur tient lieu de coefficient d'emménagement en nappe libre. A titre indicatif, le tableau VII.3 reprend quelques intervalles de valeurs de porosité totale et porosité effective de drainage (n_e) en fonction du type de roches. Comme pour la conductivité hydraulique, ce paramètre est dépendant de l'échelle d'investigation (laboratoire – terrain).

Tableau VII.3: Intervalles de valeurs indicatives pour la porosité (n) et la porosité effective de drainage (n_e) de différentes lithologies (échelles macroscopique & mégascopique) (Dassargues, 2010)

Lithologie	n (%)	n_e (%)
Granites et Gneiss	0,02 - 2	0,1 - 2*
Quartzites	0,5 - 2	0 - 2*
Shales (argilites)	0,1 - 7,5	0,1 - 1*
Schistes (argilites schistosées)	0,1 - 7,5	0,1 - 2*
Calcaires et Dolomies primaires	0,5 - 15	0,1 - 14*
Dolomies secondaires	10 - 30	5 - 15*
Craies	0,5 - 45	0,5 - 15*
Grès, Psammites	3 - 38	3 - 25
Tufs volcaniques	30 - 40	5 - 15
Graviers	15 - 25	5 - 25
Sables	15 - 35	5 - 25
Silts	30 - 45	5 - 15
Argiles et limons	40 - 70	0,1 - 3

*dépendante de la fissuration

De nombreuses données hydrodynamiques sont généralement collectées lors des études des zones de prévention des prises d'eau publiques. Ainsi, pour la carte Hamoir – Ferrières, seules les unités hydrogéologiques sollicitées par des captages publics sont abordées dans ce chapitre. Néanmoins, la majorité des captages s'effectuant par gravité (galeries ou drains) et/ou les prises d'eau étant peu importantes (volumes prélevés faibles), peu d'études hydrogéologiques exhaustives ont été réalisées, en dehors des aquifères logés dans les calcaires du Carbonifère ou du Dévonien. Quelques informations relatives à des tests de traçages dans le karst sont également reprises.

Il est important de rappeler que les valeurs des paramètres d'écoulement et de transport mesurées sont spécifiques à chaque site étudié et ne peuvent être extrapolées à l'ensemble de l'aquifère. Cependant, une estimation moyenne des paramètres hydrogéologiques pour les unités hydrogéologiques du bassin du Néblon peut être fournie. Un modèle régional a été réalisé pour ce bassin (LGIH, 1995; Derouane et al., 1996). Les valeurs de paramètres d'écoulement, suite à la calibration du modèle, sont reprises dans le tableau VII.4.

Tableau VII.4: Estimation moyenne des paramètres hydrodynamiques pour les aquifères des calcaires carbonifères et des grès famenniens dans le bassin du Néblon (LGIH, 1995; Derouane et al., 1996)

<u>Aquifère des calcaires karstifiés du Carbonifère (Tournaisien et Viséen)</u>		
Transmissivité	Valeur moyenne	10^{-3} à 10^{-4} m ² /s
	Fissures	
	Conduites karstiques	- (loi de Darcy non valable)
	Blocs	< 10 m ² /s
<u>Aquifère des grès du Famennien</u>		
Transmissivité	Valeur moyenne	10^{-4} à 10^{-5} m ² /s

Aquifère des calcaires du Carbonifère

Dans les bassins du Néblon et d'Anthisnes, des essais de pompage et de traçage ont été menés sur les nombreux piézomètres implantés dans le secteur. Il s'avère que les valeurs de conductivité hydraulique obtenues sont très hétérogènes en accord avec la structure en partie karstique de l'aquifère. Sur la carte Hamoir – Ferrières, les forages testés sont P0, P1, P2, P11, P12-NEB ainsi que Pz-Himbe (LGIH, 1989b; 2004a; Meus; 1993).

- Sur P1-NEB, le test de pompage (débit moyen de 3,8 m³/h pendant 6 heures) indique que la conductivité hydraulique diminue avec l'augmentation de la profondeur ($K_1 = 6,88 \times 10^{-6}$ m/s; $K_2 = 3,54 \times 10^{-6}$ m/s).
- Sur P2-NEB, l'essai de pompage a compté 4 paliers (1,9 m³/h à 4 m³/h). La conductivité hydraulique calculée est de l'ordre de 10^{-5} m/s. On constate une décroissance des valeurs de K lorsque le débit augmente. Des pertes de charge sont observées avec l'augmentation du rabattement.
- Lors des tests de pompages sur P11-NEB (débit: 0,85 à 1,45 m³/h) et P12-NEB (débit: 2,85 à 5,52 m³/h), les niveaux d'eau ont aussi été suivis dans les piézomètres les plus proches

(750 m et 850 m). Ils n'ont pas été influencés permettant de déduire que les rayons d'influence des pompages effectués sont inférieurs à ces distances. Les conductivités hydrauliques calculées par la formule de Dupuit au P11-NEB varient entre $1,44 \times 10^{-6}$ m/s et $1,69 \times 10^{-6}$ m/s.

- La conductivité hydraulique calculée suite aux essais de pompage réalisés à Himbe est comprise entre $1,61 \times 10^{-5}$ m/s et $0,75 \times 10^{-5}$ m/s. Le niveau d'eau se rabat assez rapidement en début de pompage. L'évolution des courbes rabattement-temps montre que les zones les plus perméables ne sont donc pas situées directement au niveau de Pz-Himbe, mais à une certaine distance. Les résultats du traçage montrent que le traceur a parcouru 850 m (distance à vol d'oiseau entre Pz Himbe - galerie Communale) en 13,5 h (première arrivée), soit une vitesse maximale de 63 m/h.
- En aout 1987 (et en mai 1990), une injection de traceurs fluorescents dans les piézomètres P0 et P2-NEB a été réalisée. Aucun traceur n'a été détecté ni à la résurgence du Moulin (Synclinal d'Anthisnes), ni aux galeries de la CILE (Bassin du Néblon). Un pompage au P2 a été entrepris pour reprendre le traceur montrant une vitesse effective très faible dans la nappe autour de ce point (Meus, 1993).

A Marsée (carte Modave-Clavier), un essai de traçage a permis d'estimer, par formule analytique (modèle CATTI), la dispersivité des calcaires à 15 m (distance de traçage de 3,055 km). Ce traçage a été réalisé à partir de la perte de Marsée en direction des galeries captantes de la CILE (taux de restitution: 51 %). La vitesse maximale du traceur a été de 73 m/h et sa vitesse modale de 60 m/h (Meus, 1993).

En août 2008, un essai de traçage a été réalisé à partir de la vallée du ruisseau d'Ouffet en aval de la station d'épuration (Brouyère et al, 2009). Aucune restitution n'a été observée aux points d'échantillonnage placés dans les galeries du Néblon de la CILE ou dans le Néblon. L'hypothèse de non connexion hydrogéologique entre cette zone d'infiltration diffuse et ces points ne semble pas vraisemblable. Cette non-détection est davantage à imputer à une trop grande dilution du traceur vu les débits importants drainés par les galeries.

Dans le *synclinal de Houmart*, les forages de reconnaissance de la SWDE à Tohogne ont, tous les quatre, fait l'objet de pompages d'essai et trois ont fait l'objet d'un test de traçage. Ces piézomètres sont implantés dans l'aquifère-aquitard-aquiclude de l'Hastarien. Les résultats des essais de pompage (mars 1999), d'une durée de 6 h à 1 j avec remontée et à différents débits, sont synthétisés dans le tableau VII.5. **Tableau VII.5: Valeurs moyennes des paramètres d'écoulement de l'aquifère-aquitard-aquiclude de l'Hastarien - Synclinal de Houmart - Tohogne (SWDE, 1999)**

Piézomètre	PR1	PR2	PR3	PR4
Transmissivité (T) m ² /s	$8,1 \times 10^{-4}$	$5,52 \times 10^{-3}$	$2,14 \times 10^{-4}$	$4,14 \times 10^{-5}$
Conductivité hydraulique (K) m/s	$6,75 \times 10^{-5}$	$4,6 \times 10^{-4}$	$0,76 \times 10^{-5}$	$2,07 \times 10^{-6}$
Epaisseur saturée e (m) (hauteur crépinée)	12	12	28	20

En novembre 2008, un essai de traçage a été réalisé au départ des forages PR2, PR3 et PR4 (GEOLYS, 2009). Seuls les traceurs injectés au PR2 et PR4 ont été détectés à la prise d'eau de Petit Houmart (Tableau VII.6). Aucune restitution du traceur injecté dans le piézomètre PR3

n'est été observée, suggérant que cet ouvrage est localisé en dehors de la zone d'alimentation de la prise d'eau. Aucune restitution d'aucun des trois traceurs fluorescents n'a été observée dans le ruisseau de Nansnioule, tout au long de la période d'échantillonnage de dix semaines. Les deux traceurs détectés sont arrivés assez rapidement au captage. Les paramètres de transport ont pu être déterminés, par l'interprétation analytique des temps de première arrivée (Tableau VII.6).

Tableau VII.6: Caractéristiques et paramètres des essais de traçage sur le site du drain Petit Houmart de la SWDE à Tohogne (GEOLYS, 2009)

Caractéristiques de l'essai			Résultats			Interprétation des résultats (modèle CATTI)	
Point d'injection	Distance m (PR-drain)	Traceur (kg)	Taux de restitution %	Vitesse de 1 ^{ière} arrivée m/s	Vitesse modale m/s	Porosité effective de transport (%)	Dispersion longitudinale (m)
PR2	100	Uranine (2,5)	16,6	$15,9 \times 10^{-3}$	$1,76 \times 10^{-3}$	0,13	49
PR3	180	Naphtionate (6)	-	-	-	-	-
PR4	60	Sulforhodamine B (2)	8	$8,77 \times 10^{-3}$	$4,27 \times 10^{-3}$	0,38	4

Aquifère des calcaires du Dévonien

Sur le site de Pêchet, à Hamoir, des essais de pompage et de traçage ont été réalisés afin de mieux connaître le contexte hydrogéologique autour des captages en vue de la détermination des zones de prévention. Les piézomètres F2 et Pz2 ont fait l'objet d'un essai de pompage de courte durée (HGE-ULg, 2011). Les débits testés s'étendent de 4,8 à 16,5 m³/h, avec une durée de palier de maximum 2 h. L'essai a échoué au droit du Pz2 (dénoyage rapide de la pompe). Un nouvel essai à un débit inférieur (1 m³/h) et plus court (35 min) a alors été réalisé. Les résultats de ces tests sont présentés dans le tableau VII.7. La conductivité hydraulique mesurée sur Pz2 est très faible, confirme que ce forage est dans une zone peu fracturée de l'aquifère. En 1990, un essai de pompage réalisé dans le forage oblique Pêchet II a fourni une valeur de conductivité hydraulique de $0,7 \times 10^{-4}$ m/s (LGIH, 1990).

Tableau VII.7: Valeurs des paramètres d'écoulement de l'aquifère des calcaires du Frasnien - Captage de Pêchet à Hamoir (HGE-ULg, 2011)

F2 e = 22,98 m Méthode (Birsøy-Summer)	Palier 1-2		Palier 3		Palier 4		Remontée	
	T (m ² /s)	K (m/s)	T (m ² /s)	K (m/s)	T (m ² /s)	K (m/s)	T (m ² /s)	K (m/s)
	$6,8 \times 10^{-3}$	$2,9 \times 10^{-4}$	$6,2 \times 10^{-3}$	$2,7 \times 10^{-4}$	$6,7 \times 10^{-3}$	$2,9 \times 10^{-4}$	$7,5 \times 10^{-3}$	$3,3 \times 10^{-4}$
Pz2 Méthode (Theis-Jacob)	K (m/s)	$7,3 \times 10^{-8}$						

Un premier test de traçage a eu lieu sur le site de Pêchet (LGIH, 2002). Un traceur (LiCl) a été injecté dans le forage oblique, Pêchet II. Le traceur est arrivé à la galerie captante, Pêchet I et dans l'Ourthe. En décembre 2009, une nouvelle campagne de traçage a eu lieu, depuis les piézomètres Pz2 et F2 (HGE-ULg, 2011). Seul le traceur injecté en F2 a été détecté à la galerie Pêchet I, au forage horizontal Pêchet Ibis et au forage incliné Pêchet II. L'arrivée du traceur au captage Pêchet I, environ 22 h pour parcourir une distance de 107 m peut être considérée comme représentative des écoulements et du transport de solutés perpendiculairement à la

direction des bancs. L'arrivée au captage Pêchet II sera considérée comme représentative des écoulements parallèles à la direction des bancs (environ 6 h pour une distance de 145 m). Aucune restitution du second traceur, injecté en Pz2, n'a été observée ni dans les captages, ni dans l'Ourthe en aval du vallon de Filot. Dès lors un pompage de reprise a été réalisé sur ce forage. L'analyse des échantillons indique que la fluorescéine est restée piégée à proximité du piézomètre Pz2.

Des tests de pompage ont été effectués sur le *P3-Awan*, situé dans le nord-est de la carte, en juin 1982. Il s'agissait d'essais par paliers avec remontées (débits testés de 8,5 m³/h à 31 m³/h, durée de 48 h à 168 h). La transmissivité moyenne obtenue est de $5,7 \times 10^{-4}$ m²/s, la conductivité hydraulique moyenne calculée est de $8,2 \times 10^{-6}$ m/s, avec une épaisseur de l'aquifère estimée à 70 m (données fournies par la SWDE).

Un traçage a été réalisé à partir de l'Abîme de Xhoris afin de déterminer le lieu de sortie des eaux engouffrées par ce chanoir (Meus, 1993). Le traceur n'a été détecté qu'à la résurgence sous-fluviale de l'Ourthe, quatre jours après l'injection. Le tableau VII.8 reprend les caractéristiques de la courbe de restitution de ce traçage. Les concentrations ont été sous-estimées en raison de la dilution par l'eau de la rivière. En admettant un taux de restitution de 100%, Meus (1993) a calculé une valeur limite de débit pour l'écoulement souterrain. La valeur obtenue, de 90 l/s, constitue la valeur maximum possible.

Tableau VII.8: Caractéristiques de la courbe de restitution du traçage "Abîme de Xhoris/Résurgence sous-fluviale dans l'Ourthe" (Meus, 1993)

Distance (injection-restitution)	Traceur	Masse injectée	Débit approximatif au point de sortie	Vitesse maximale	Vitesse modale	Vitesse apparente de transit	Vitesse moyenne	Taux de restitution
3500 m	uranine	3 kg	90 l/s	37,2 m/h	29,9 m/h	24,6 m/h	27,2 m/h	100

VIII. ZONES DE PROTECTION

VIII.1. CADRE LEGAL

Suite au développement économique, les ressources en eaux souterraines sont de plus en plus sollicitées et en même temps soumises à des pressions environnementales qui menacent leur qualité.

Afin de limiter les risques de contamination des captages, des périmètres de prévention doivent être mis en place. La législation wallonne¹² définit quatre niveaux de protection à mesure que l'on s'éloigne du captage : zones de prise d'eau (Zone I), de prévention (Zones IIa et IIb) et de surveillance (Zone III).

1° Zone de prise d'eau ou zone I

La zone de prise d'eau est délimitée par la ligne située à 10 m des limites extérieures des installations en surface strictement nécessaires à la prise d'eau. A l'intérieur de la zone de prise d'eau, seules les activités en rapport direct avec la production d'eau sont tolérées.

2° Zones de prévention rapprochée et éloignée ou zones IIa et IIb

L'aire géographique dans laquelle le captage peut être atteint par tout polluant sans que celui-ci ne soit dégradé ou dissous de façon suffisante et sans qu'il ne soit possible de le récupérer de façon efficace, s'appelle la "zone de prévention".

Une zone de prévention est déterminée en nappe libre. En nappe captive, une telle zone peut être déterminée à la demande de l'exploitant ou imposée par les autorités régionales.

La zone de prévention d'une prise d'eau souterraine en nappe libre est scindée en deux sous-zones :

- La zone de prévention rapprochée (zone IIa) : zone comprise entre le périmètre de la zone I et une ligne située à une distance de l'ouvrage de prise d'eau correspondant à un temps de transfert de l'eau souterraine jusqu'à l'ouvrage égal à 24 heures dans le sol saturé.

A défaut de données suffisantes permettant de définir la zone IIa selon le critère des temps de transfert, la législation suggère de délimiter la zone IIa par une ligne située à une distance horizontale minimale de 35 mètres à partir des installations de surface, dans le cas d'un puits, et par deux lignes situées à 25 mètres au minimum de part et d'autre de la projection de surface de l'axe longitudinal dans le cas d'une galerie. En milieu karstique, tous les points préférentiels

¹² Arrêté de l'Exécutif régional wallon du 14 novembre 1991 relatif aux prises d'eau souterraines, aux zones de prise d'eau, de prévention et de surveillance et à la recharge artificielle des nappes d'eau souterraine, abrogé par l'arrêté du GW du 3 mars 2005 relatif au livre II du code de l'Environnement, contenant le Code de l'eau (M.B. du 12/04/2005, p.15068)

de pénétration (dolines et pertes) dont la liaison avec le captage est établie sont classés en zone IIa.

- La zone de prévention éloignée (zone IIb) : zone comprise entre le périmètre extérieur de la zone IIa et une ligne située à une distance de l'ouvrage de prise d'eau correspondant à un temps de transfert de l'eau souterraine jusqu'au captage égal à 50 jours dans le sol saturé.

A défaut de données suffisantes permettant la délimitation de la zone IIb suivant les principes définis ci-avant, le périmètre de cette zone est distant du périmètre extérieur de la zone IIa de:

- 100 mètres pour les formations aquifères sableuses ;
- 500 mètres pour les formations aquifères graveleuses ;
- 1000 mètres pour les formations aquifères fissurés ou karstiques

3° Zone de surveillance ou zone III

Une zone de surveillance peut être déterminée pour toute prise d'eau. Cette zone englobe l'entièreté du bassin hydrographique et du bassin hydrogéologique situés à l'amont du point de captage.

Toutes les limites de ces zones (I, II, III) peuvent coïncider avec des repères ou des limites topographiques naturels ou artificiels, rendant leur identification sur le terrain plus aisée.

Mesure de prévention

Diverses mesures de protection ont été définies par les autorités compétentes pour les différentes zones. Ces mesures concernent notamment l'utilisation et le stockage de produits dangereux, d'engrais ou de pesticides, les puits perdus, les nouveaux cimetières, les parkings,... Elles visent à réduire au maximum les risques de contamination de la nappe. Toutes ces mesures sont décrites aux articles R.162 à R.170 de l'Arrêté du Gouvernement Wallon du 12 février 2009¹³.

La Société publique de Gestion de l'Eau¹⁴ assure la gestion financière des dossiers concernant la protection des eaux probables distribuées par réseaux, par le biais de contrats de service passés avec les producteurs d'eau. Pour financer les recherches relatives à la délimitation des zones de prévention et indemniser tout particulier ou toute société dont les biens doivent être mis en conformité avec la législation, une redevance est prélevée sur chaque m³ fourni par les sociétés de distribution d'eau.

¹³ 12 février 2009 : AGW modifiant le livre II du Code de l'Environnement constituant les Codes de l'eau et ce qui concerne les prises d'eau souterraine, les zones de prises d'eau, de prévention et de surveillance (M.B. du 27/04/2009, p.33035)

¹⁴ SPGE, instituée par le décret du 15 avril 1999

La DGARNE met à la disposition du public un site internet où sont exposées les différentes étapes nécessaires à la détermination des zones de prévention et de surveillance en Région wallonne (<http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas>).

Un autre site a également été développé, permettant grâce à une recherche rapide par commune ou par producteur d'eau, de visualiser, soit la carte et le texte des zones officiellement désignées par arrêté ministériel, soit par carte de chaque zone actuellement soumise à l'enquête publique (http://environnement.wallonie.be/zones_prevention/).

VIII.2. ZONES DE PREVENTION DES CAPTAGES DE LA SWDE

A Filot, les zones de prévention autour du drain 'Bénite Fontaine' ont été déterminées. La zone de prévention rapprochée IIa définie a été délimitée sur base des distances fixes, c'est-à-dire par une ligne située à une distance horizontale de 35 mètres à partir de la chambre de collecte des drains. La zone de prévention éloignée IIb a été déterminée sur base des caractéristiques hydrogéologiques du site et bassin d'alimentation de la prise d'eau. Les limites ont ensuite été localement déplacées pour correspondre avec des limites matérialisables sur le terrain (Figure VIII.1). Ces zones de prévention ont été arrêtées par le Gouvernement Wallon, en date du 4 mars 2004: *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée de l'ouvrage de prise d'eau souterraine dénommé "Filot Bénite Fontaine D1", sis sur le territoire de la commune d'Hamoir (Mention au M.B. 19.04.2004).*

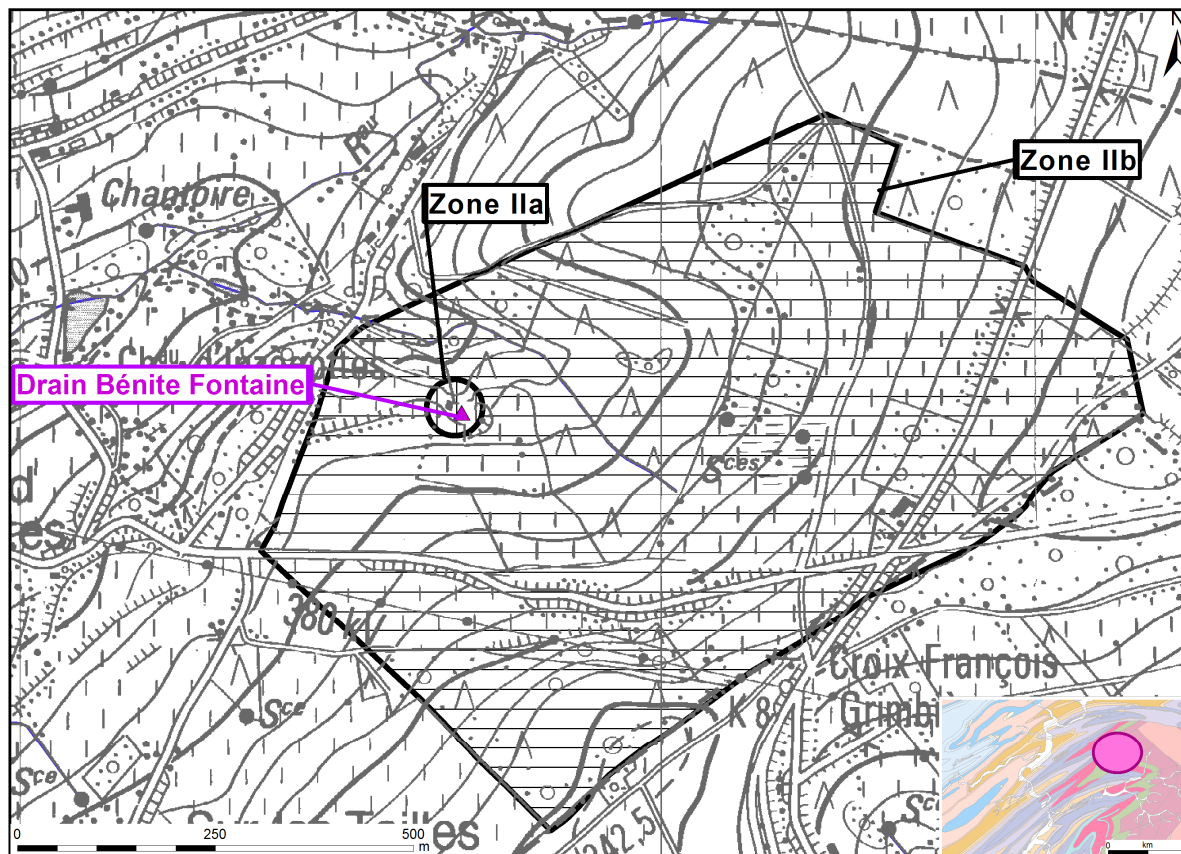


Figure VIII.1: Zones de prévention arrêtées autour du captage 'Bénite Fontaine' à Filot – SWDE

Le dossier relatif aux zones de prévention autour du drain Petit Houmart à Tohogne a été déposé à l'administration régionale (SPW-DGARNE)(SWDE, 2011). Ces zones vont être soumises à l'enquête publique (probablement à l'automne-hiver 2016-2017). En attente de la délimitation officielle de ces zones, le symbole triangulaire 'Zone de prévention à définir' est utilisé sur la carte hydrogéologique principale. Il convient, dès lors, de se référer provisoirement aux distances fixes forfaitaires définies dans la législation:

- pour la zone IIa: une distance horizontale minimale de 35 mètres à partir des installations de surface, dans le cas d'un puits, et par deux lignes situées à 25 mètres au minimum de part et d'autre de la projection en surface de l'axe longitudinal dans le cas d'une galerie ou d'un drain.
- pour la zone IIb: une distance horizontale 1 000 mètres.

La localisation de cette zone de prévention est reprise sur la figure VIII.2.

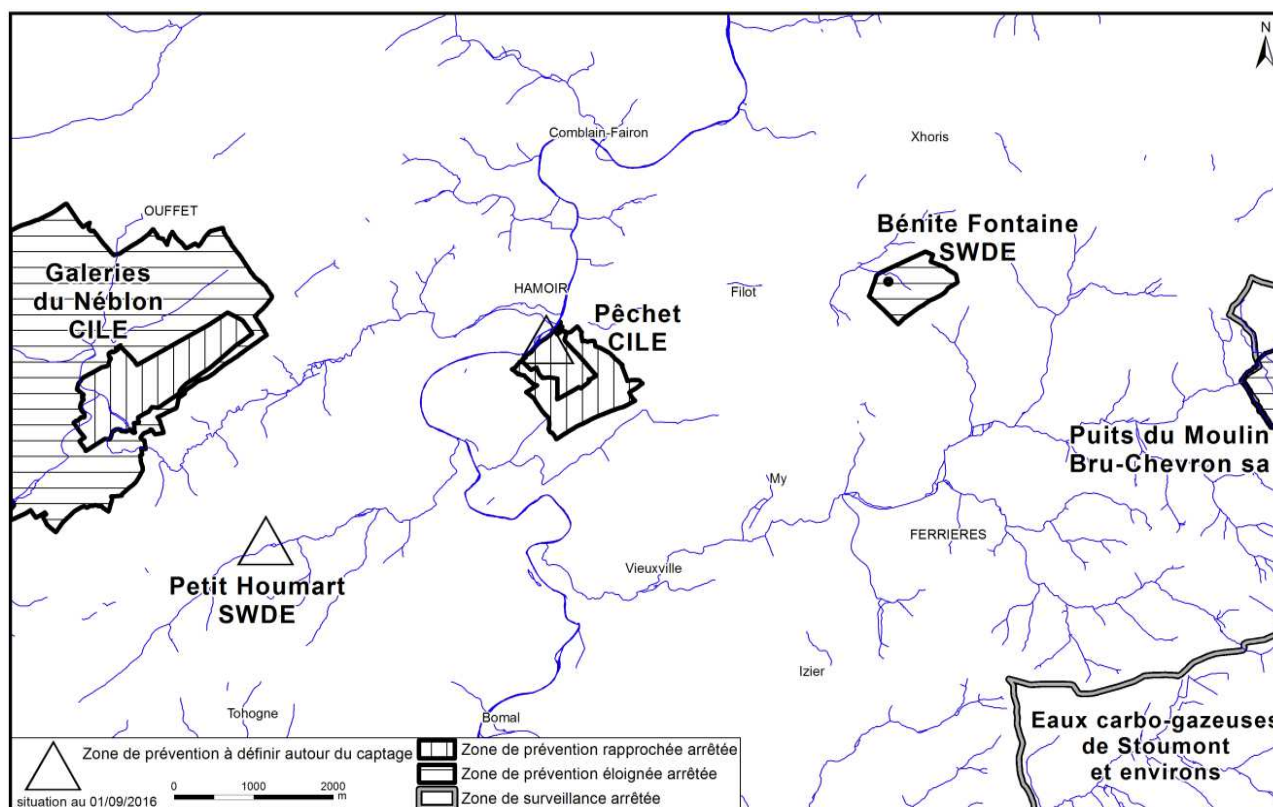


Figure VIII.2: Zones de prévention et de surveillance (arrêtées et à définir) situées sur la carte Hamoir – Ferrières – Situation au 01/09/2016

VIII.3. ZONES DE PREVENTION DES CAPTAGES DE LA CILE

Dans la partie occidentale de la carte Hamoir-Ferrières, se trouvent les galeries du Néblon (Aquifère des calcaires du Carbonifère). Les zones de prévention de cet important captage ont été définies sur base des temps de transfert calculés avec des paramètres moyens déduits à partir des données collectées d'études hydrogéologiques du bassin d'alimentation des galeries. Ensuite, ces limites ont été adaptées aux limites cadastrales et urbanistiques (Figure VIII.3). Ces zones débordent largement sur la carte voisine, Modave-Clavier. Ces zones de prévention

(code SPW: CILE002) ont été arrêtées par le Gouvernement Wallon, en date du 22 octobre 2004: Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée des ouvrages de prise d'eau souterraine dénommés Galerie principale, Sources Bois, Peupliers, Galerie communale et Galerie Tinkou, sis à Néblon-le-Moulin sur le territoire des communes de Ouffet (province de Liège) et Durbuy (province de Luxembourg) (Mention au M.B. 02.12.2004).

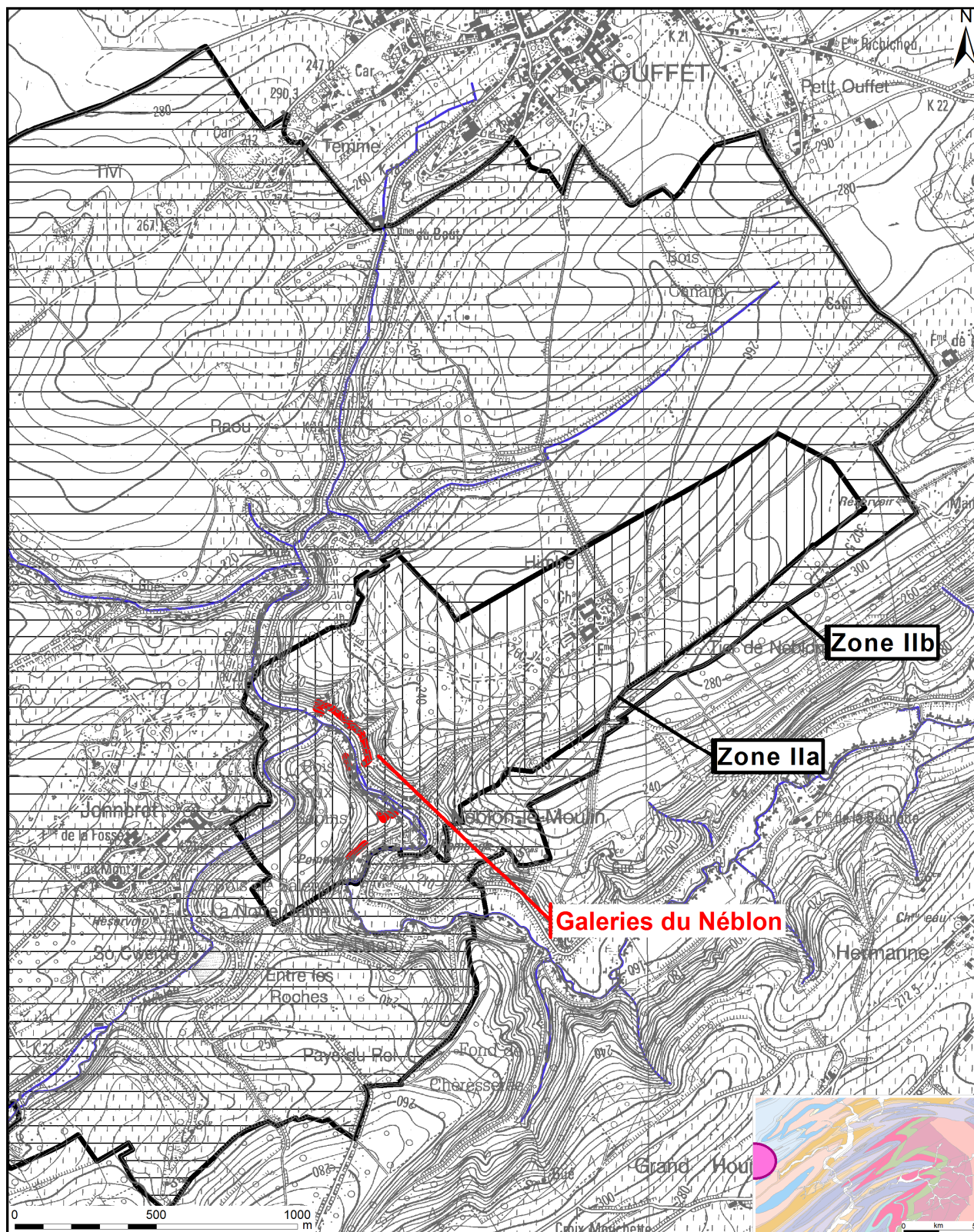


Figure VIII.3: Zones de prévention arrêtées autour des captages du Néblon (carte Hamoir – Ferrières)

Dans la vallée de l'Ourthe, à Hamoir, se situe le site de prise d'eau de Pêchet. Début des années 2000, les zones de prévention des deux captages existant (galerie et puits foré oblique) ont été déterminées sur base des temps de transfert et des caractéristiques hydrogéologiques du site de prise d'eau. Les volumes captés, à cette époque, ne justifiant pas une étude hydrogéologique détaillée (forages, modèles d'écoulement et de transport), la délimitation des zones s'est basée sur les données géologiques et géophysiques ainsi que sur les résultats d'un traçage entre le puits et la galerie (LGIH, 1990, 2001b et 2002). Ces zones de prévention ont été arrêtées par le Gouvernement Wallon, en date du 12 juin 2003: *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée des ouvrages de prise d'eau souterraine dénommés Pêchet 1 et Pêchet 2, sis sur le territoire de la commune d'Hamoir* (Mention au M.B. 04.07.2003).

Par après, de nouvelles données et études hydrogéologiques ont remis en question le tracé de ces zones. De nouvelles investigations ont été menées afin de préciser l'extension des zones de préventions des captages de Pêchet (Hallet, 2008; HGE-ULg, 2011). De plus, une nouvelle prise d'eau (forage horizontal) a été réalisée (LuxAquatec, 2006;2008). Le nouveau tracé de ces zones de prévention est déposé au SPW (Figure VIII.4). La procédure de révision de ces zones de prévention est en cours. Leur contour pourrait être revu suite, entre autres, à l'enquête publique. Lorsque le tracé définitif sera déterminé, un nouvel arrêté ministériel sera établi.

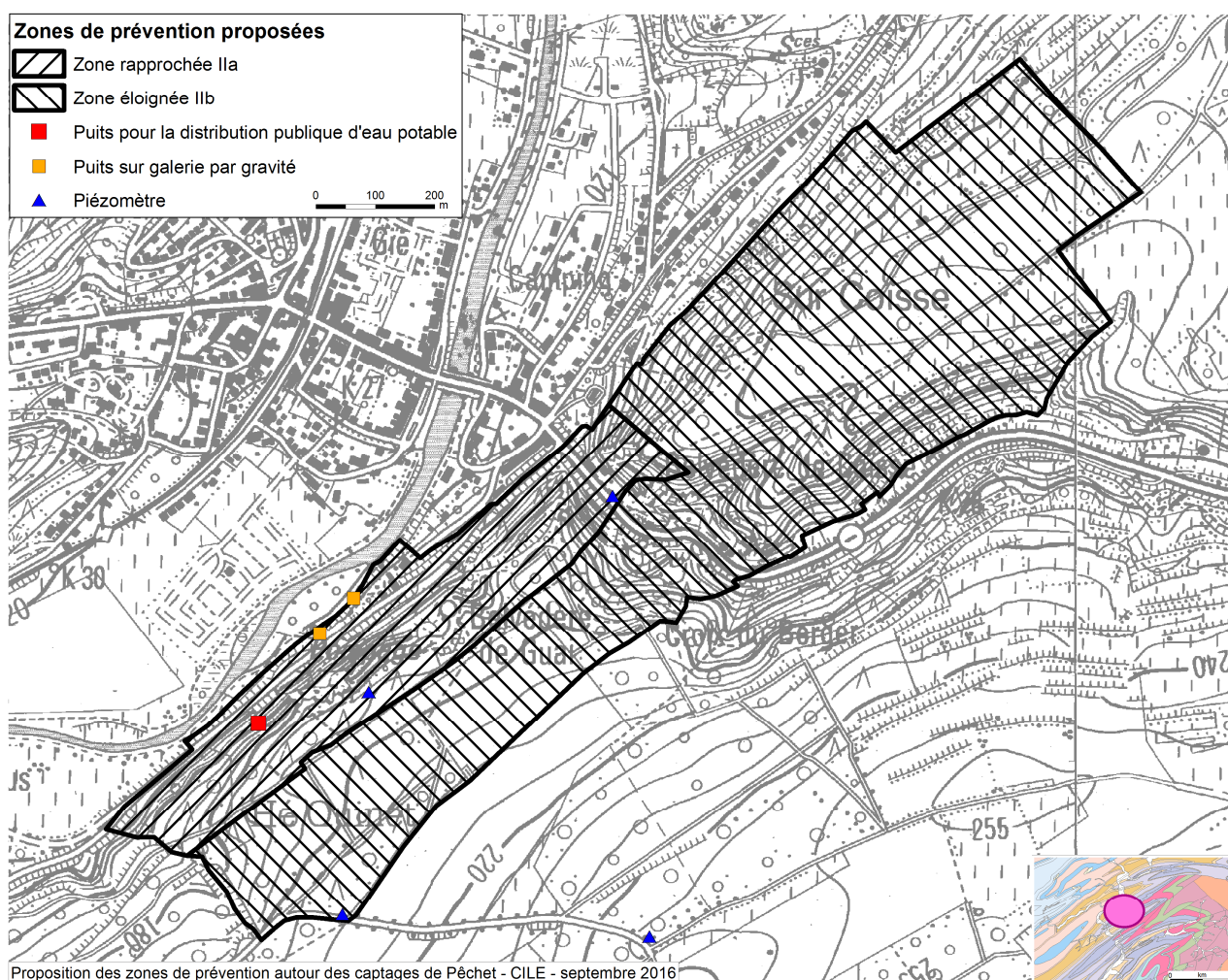


Figure VIII.4: Projet de tracé des zones de prévention révisées autour des captages de Pêchet (Hamoir) - CILE

VIII.4. ZONES DE PREVENTION DES CAPTAGES DE SPADEL S.A.

Le groupe Spadel s.a. compte parmi ses sociétés, Bru-Chevron s.a. dont les captages sont localisés sur la carte voisine, Harzé-La Gleize. A Ernonheid (commune d'Aywaille), la société possède un puits, le Puits du Moulin (eau carbo-gazeuse). Les zones de prévention de cette prise d'eau sont déterminées et la zone IIb est partiellement située sur la carte Hamoir – Ferrières (Figure VIII.5). Ces zones de prévention ont été délimitées sur base des temps de transfert et des conditions hydrogéologiques ainsi que sur base des limites cadastrales et urbanistiques permettant le repérage des zones sur le terrain. Elles (code SPW: SA_BRU-CHEVRON02) ont été arrêtées par le Gouvernement Wallon, en date du 29 avril 2008: *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée de l'ouvrage de prise d'eau souterraine ci-dessous dénommé « Puits du Moulin », sis sur le territoire de la commune d'Aywaille (M.B. 13.06.2008).*

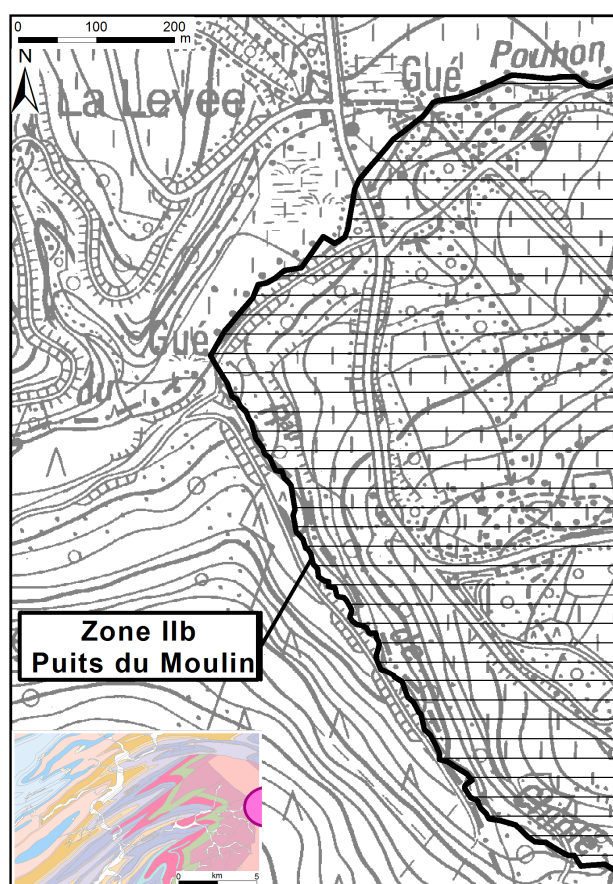


Figure VIII.5: Zone de prévention éloignée du Puits du Moulin – Carte Hamoir – Ferrières

Actuellement, il existe en Wallonie quatre zones de surveillance (zone III). Une est située partiellement sur la carte Hamoir – Ferrières (partie est). Il s'agit de la zone de surveillance des eaux carbo-gazeuses de Stoumont. Les limites ont été localement déplacées pour correspondre avec des limites matérialisables sur le terrain (Figure VIII.2).

La zone de surveillance de Stoumont a été arrêtée par le Gouvernement Wallon, en date du 26 mai 1994: *Arrêté du Gouvernement wallon relatif à l'établissement d'une zone de surveillance pour la protection des eaux carbo-gazeuses de Stoumont et environs (M.B.:14.09.1994, p 23299).*

IX. METHODOLOGIE D'ELABORATION DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE

Ce chapitre décrit brièvement les données géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques utilisées pour construire la carte hydrogéologique Hamoir – Ferrières. Il aborde les principales sources d'informations disponibles pour la région étudiée. Les données collectées sont encodées dans une base de données structurée et mises en cartes. La structure du poster, au format A0, est également présentée dans ce chapitre.

IX.1. ORIGINE DES INFORMATIONS

IX.1.1. Données géologiques et connexes

L'ancienne carte géologique Hamoir – Ferrières, n°158, est utilisée comme fond de référence pour la construction de la carte hydrogéologique. Cette carte a été dressée par Lohest M., Fourmarier P. en 1902 (1/40.000).

Des discontinuités avec les cartes voisines entre les limites géologiques et/ou hydrogéologiques peuvent apparaître. Ces disparités sont le résultat de l'utilisation de fonds géologiques de générations différentes. La méthode de levé des nouvelles cartes géologiques est différente de celle employée auparavant (Dejonghe, 2007), ainsi des discontinuités entre les formations géologiques existent entre les différentes générations de cartes.

- Au nord, la carte hydrogéologique Tavier-Esneux est basée la nouvelle édition de la carte géologique au 1/25.000 du Service Public de Wallonie. Dans l'ensemble, la continuité globale des unités hydrogéologiques est assurée. Néanmoins, quelques petites discontinuités sont observées, localisées essentiellement au niveau du découpage lithostratigraphique des formations calcaires du Carbonifère et du Dévonien.
- A l'est, la carte de Harzé – La Gleize est établie à partir de la carte géologique au 1/25.000 (éditée en 1959). A nouveau, globalement la continuité des unités hydrogéologiques est assurée, avec, toutefois, quelques petits décalages dus aux méthodes et époques de levés différents.
- Au sud et à l'ouest, les cartes de Durbuy-Mormont et de Modave-Clavier sont réalisées, comme la carte Hamoir – Ferrières, sur base de la carte géologique au 1/40.000 du Service Géologique de Belgique. Quelques légères petites différences peuvent néanmoins coexister dues à des variations de faciès des terrains, à des regroupements ou des distinctions au sein d'un même étage, pouvant conduire à une interprétation hydrogéologique dissemblable. Par exemple avec certaines assises du Famennien inférieur, du Couvinien ou encore avec le Dévonien inférieur.

De nombreux phénomènes karstiques sont observés dans les horizons calcaires du Carbonifère et du Dévonien de la carte Hamoir – Ferrières. Ces données proviennent essentiellement de l'atlas du karst wallon (CWEPS, 1996, 2015).

Plusieurs sites de la région étudiée ont fait l'objet d'investigations géophysiques. Ces zones de prospections géophysiques ont été simplement localisées sur la carte hydrogéologique. Le type de prospection géophysique menée et les références bibliographiques sont mentionnées. Ces investigations ont été réalisées pour l'établissement de prises d'eau, de piézomètres ou dans le cadre de l'établissement des zones de prévention autour des captages publics. Elles ont permis de préciser le contexte géologique de la zone prospectée (lithologie et structural) dans le but de mieux déterminer l'emplacement le plus adéquat pour des forages, de définir la nature et l'épaisseur des terrains meubles, de localiser des failles, des axes de fracturation ou des linéaments, de situer l'altitude du sommet du bed-rock.

- Site de Sparmont à Comblain-Fairon (LGIH, 2001a): sondages électriques et sismiques, traînés électriques.
- Site de Pêchet à Hamoir (LGIH, 2001b): tomographies et traînés électriques.
- Site de Himbe (LGIH, 2004a): profils VLF.
- Site de Houmart à Tohogne (GeoHyGeor, 1998): sondages électriques et sismiques, profils de résistivité.
- Site Sr-Roch à Ferrières (Halleux, 1979): sondes et traînés électriques.
- Bassin du Néblon (LGIH, 1986; 1989b): sondages et traînés électriques, profils VLF.

IX.1.2. Données météorologiques et hydrologiques

Sur le territoire de la carte Hamoir – Ferrières, il y a deux stations météorologiques:

- Station d'Izier (K15) de l'Institut Royal Météorologique. Les précipitations et la température y sont mesurées depuis avril 1997.
- Station d'Ouffet (7016) du SPW-SETHY. Les précipitations y sont mesurées depuis janvier 1990.

Cinq stations limnimétriques sont situées sur le territoire de la carte Hamoir – Ferrières. Elles sont gérées par Service Public de Wallonie (DCENN et SETHY):

- Station de Tabreux sur l'Ourthe (n°5921). Les hauteurs d'eau et les débits sont mesurés depuis décembre 1970.
- Station d'Hamoir sur l'Ourthe (n°5922). Les hauteurs d'eau sont mesurées depuis juin 1967.
- Station d'Hamoir sur le Néblon (code: L5630). Les hauteurs d'eau sont mesurées depuis juin 1976.
- Station de Vieuxville sur le Ry de Logne (code: L6300). Les hauteurs d'eau sont mesurées depuis septembre 1991.
- Station de Juzaine sur l'Aisne (code: L5491). Les hauteurs d'eau sont mesurées depuis avril 1999.

IX.1.3. Données hydrogéologiques

IX.1.3.1. Localisation des ouvrages

Dans la base de données BD-Hydro et la GeoDataBase (liée au projet SIG de la carte hydrogéologique), 181 ouvrages ont été encodés dont 94 puits (puits forés et puits traditionnels), 27 piézomètres, 10 galeries (y compris les puits d'accès) et 12 drains. Sont aussi encodées des informations concernant 26 sources (exploitées ou non), 2 points d'eaux carbonatées (pouhon) et 10 forages pour sonde géothermique¹⁵. Ces données proviennent de sociétés de distribution d'eau (CILE et SWDE), d'industriels, de divers rapports techniques (voir liste bibliographique), d'agriculteurs et de particuliers ainsi que de la base de données de la Région Wallonne (10-sous), <http://carto1.wallonie.be/10SousInt>. Ces données ont été complétées par la campagne de terrain menée en 2005 (à l'occasion de la première version de la carte) et par diverses études hydrogéologiques réalisées sur le territoire de la carte.

De plus, selon l'atlas du karst wallon, 44 résurgences et 107 pertes sont recensées sur le territoire de la carte Hamoir – Ferrières. Tous ces éléments karstiques sont repris sur la carte principale du poster.

Lorsqu'il est disponible, le tracé des galeries et des drains figure sur la carte principale au 1/25.000. Sur la carte Hamoir – Ferrières, seules les galeries du Néblon sont reprises. Ces tracés ont été fournis par la CILE. Sur cette carte, on compte une quinzaine de sites de captages comprenant des ouvrages linéaires de prise d'eau (galeries et drains). Actuellement, les sociétés de production et de distribution d'eau en utilisent toujours cinq. On compte aussi quelques prises d'eau par gravité que la commune de Durbuy met à la disposition de ses agriculteurs.

IX.1.3.2. Données piézométriques

La base de données BD-Hydro, la banque de données '10-sous' ainsi que la base de données PIEZ'EAU comptabilisent un bon jeu de données piézométriques. A ce jour, environ 9000 valeurs de niveaux d'eau sont disponibles pour une septantaine de puits et piézomètres répartis sur le territoire de la carte Hamoir – Ferrières. La plupart de ces ouvrages appartiennent aux sociétés de distribution publique d'eau et à l'administration wallonne (SPW-DESO). Ces dernières effectuent des relevés réguliers sur plusieurs forages. Il existe moins de mesures au droit des puits privés, généralement difficilement accessibles.

Une campagne de mesures piézométriques a été réalisée, dans le cadre de la carte hydrogéologique par l'équipe ULg-HGE, durant l'été et l'automne 2004.

Sur la carte principale et la coupe hydrogéologique du poster, quelques données piézométriques sont présentées. Dans le [chapitre IV.2](#), sur base des quelques données disponibles, le contexte piézométrique est développé.

¹⁵ Il s'agit de forages creusés uniquement pour descendre une sonde géothermique en profondeur. Ils sont ensuite rebouchés (cimentés) et c'est le liquide caloporteur qui circule. Il n'y a donc pas de prise d'eau à proprement-dit.

IX.1.3.3. Données hydrochimiques et tests sur les puits

L'essentiel des données hydrochimiques ont été fournies par la Direction des Eaux Souterraines (SPW-DESO). Des résultats d'analyses de campagnes de prélèvements ont aussi été fournis par les compagnies d'eau et dans divers rapports d'études hydrogéologiques.

Ainsi, une trentaine de sites (puits et piézomètres, drains, galeries, sources) sont concernés, comptabilisant environ 40 000 valeurs. Les premières données datent de 1979. Ces analyses caractérisent la plupart des unités hydrogéologiques de la carte Hamoir – Ferrières. Ces points, où des données chimiques sont disponibles, sont reportés sur la carte thématique des informations complémentaires et du caractère des nappes. Le chapitre V décrit, plus en détails, le cadre hydrochimique des unités hydrogéologiques rencontrées sur la carte.

Divers tests sont parfois menés sur les puits, tels que des diagraphies, des essais de pompage, des tests de traçage afin de mieux connaître le contexte hydrogéologique dans lequel ces ouvrages sont implantés. Ces données proviennent généralement des sociétés de distribution publique d'eau, d'études hydrogéologiques diverses. Le résultat de ces tests (essais de pompage essentiellement) est synthétisé au chapitre VII. Sur la carte thématique des informations complémentaires, les points ayant fait l'objet de tels tests sont mis en évidence par divers symboles. Ils sont très peu nombreux. 25 puits, piézomètres ou pertes où des essais de pompage et/ou essais de traçage ont été effectués, sont répertoriés.

IX.1.4. Autres données

La carte hydrogéologique de Wallonie est composée aussi d'informations relatives aux zones de prévention autour des captages, aux zones vulnérables aux nitrates, etc. En fonction de la région étudiée, ces couches d'informations ne sont pas toujours présentes.

Plusieurs zones vulnérables aux nitrates ont été définies en Wallonie. La carte Hamoir – Ferrières est partiellement comprise dans la zone dite du Sud Namurois. Le contour de cette zone a été fourni par le SPW. De plus amples renseignements sont repris au paragraphe V.2.

Sur la carte Hamoir – Ferrières, quatre zones de prévention arrêtées sont reportées sur la carte principale. Le contour de ces zones a été fourni par le Service Public de Wallonie. Auxquelles s'ajoute un autre captage soumis à zones de prévention dont, à ce jour, la délimitation des zones est en cours. Ces zones sont décrites au chapitre VIII.

IX.2. BASE DE DONNEES HYDROGEOLOGIQUES

De telles données, aussi complexes et plus ou moins abondantes, nécessitent une organisation structurée de manière à optimiser leur stockage, leur gestion et leur mise à jour. Ainsi une base de données hydrogéologiques géorelationnelle a été développée (Gogu, 2000; Gogu *et al.*, 2001). Cette première version de la base de données BD-HYDRO a été régulièrement améliorée.

Dans un souci d'homogénéité entre les équipes et d'autres institutions (dont l'administration wallonne, D'GARNE), la base de données a été révisée. Le but est de créer un outil de travail commun et performant, répondant aux besoins des spécialistes impliqués dans la gestion des eaux souterraines. Les données hydrogéologiques dispersées géographiquement devaient être disponibles dans une seule base de données centralisée.

Ainsi les données détaillées de l'hydrochimie, de la piézométrie, des volumes exploités, des paramètres d'écoulement et de transport, de géologie telles que les descriptions de log de forage et d'autres données administratives ou autres sont stockées dans la BD-HYDRO (Wojda *et al.*, 2005). Elle regroupe toutes les informations disponibles en matière d'hydrogéologie en Région wallonne. Parmi les nombreuses et diverses données de la BD-HYDRO on trouve des informations relatives à la localisation des prises d'eau (puits, sources, piézomètres,...), leurs caractéristiques géologiques et techniques, ainsi que des données sur la piézométrie, la qualité physico-chimique des eaux souterraines, les volumes prélevés... Les divers tests (diagraphies, essais de pompage, essais de traçage, prospection géophysique) sont également encodés dans la BD-HYDRO. Elle est également enrichie avec les informations sur les études, rapports et autres documents hydrogéologiques écrits. Ces renseignements se présentent sous la forme de métadonnées.

IX.3. POSTER DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE

Le poster de la carte hydrogéologique est composé de plusieurs éléments:

- la carte hydrogéologique principale (1/25.000);
- les cartes thématiques (1/50.000):
 - Carte des informations complémentaires et du caractère des nappes;
 - Carte des volumes d'eau prélevés;
- la coupe hydrogéologique (avec deux échelles verticales);
- le tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie';
- la carte de la Belgique (1/5.000.000) où est localisée la carte étudiée.

IX.3.1. Carte hydrogéologique principale

La carte principale (1/25 000) comprend plusieurs couches d'informations :

- le fond topographique de la carte IGN 1/10 000, sous licence SPW-DGO3;
- le réseau hydrographique;
- les unités hydrogéologiques;
- les failles;
- les piézomètres;
- les puits des sociétés de distribution d'eau ;
- les puits privés exploités et déclarés à la Région wallonne ;
- les sources exploitées ou non;

- les puits d'accès aux galeries et drains;
- les sondes géothermiques;
- les pertes et résurgences connues;
- les eaux carbo-gazeuses;
- les stations limnimétriques;
- les stations climatiques;
- des valeurs de niveau des autres unités hydrogéologiques, avec la date de la mesure;
- les zones de prévention IIa et IIb arrêtées par le Gouvernement Wallon;
- les zones de prévention à définir;
- le trait localisant le tracé de la coupe hydrogéologique.

IX.3.2. Carte des informations complémentaires et du caractère des nappes

Cette carte localise les différents sites où des données quantitatives ou qualitatives sont disponibles (analyses chimiques, diagraphies, essais de pompage, essais de traçage). Des informations sur l'état hydrochimique des unités hydrogéologiques de la carte étudiée sont détaillées dans le chapitre V. Plusieurs essais de pompage ont été réalisés dans cette région. Les paramètres hydrodynamiques mesurés et calculés sont présentés dans le chapitre VII.

Le caractère des nappes rencontrées est également spécifié. Il s'agit de définir si les nappes sont libres, semi-captives (semi-libres) ou captives (voir [chapitre IV.2.8](#))

Les zones de prospections géophysiques sont également localisées. Le but de ces investigations géophysiques est de mieux connaître le sous-sol, ses caractéristiques géométriques, la nature des terrains en vue, entre autres, d'optimiser l'implantation des futurs puits et piézomètres. La carte hydrogéologique n'ayant pas pour objectif de présenter en détails les méthodes employées et les résultats obtenus, une simple liste des sites étudiés est dressée. Pour plus d'informations sur les campagnes de prospection géophysique, le lecteur est invité à consulter les dossiers mentionnés au paragraphe IX.1.1.

IX.3.3. Carte des volumes d'eau prélevés

Sur cette carte thématique, sont reportés l'ensemble des points hydrogéologiques (forages, drains, sources, résurgences/pertes) classés selon l'unité hydrogéologique sollicitée. Parfois sur certaines cartes, il n'est pas possible de déterminer dans quelle formation géologique les ouvrages ont été implantés ne disposant pas d'information sur le log géologique ou/et la profondeur du puits.

Cette carte, au 50.000^{ème}, reprend également les volumes d'eau prélevés annuellement, informations extraites de la base de données de la Région Wallonne "dix-sous" (DGARNE). Les volumes représentés sont les volumes déclarés par les titulaires au Service Public de Wallonie. Deux catégories de volumes sont répertoriées sur la carte Hamoir – Ferrières, les volumes destinés à la distribution publique d'eau potable et les autres volumes (particuliers, agriculteurs,

industries...). Les données présentées sur cette carte sont les volumes prélevés (selon les déclarations des titulaires), respectivement, en 2015 et 2014.

L'exploitation d'une prise d'eau souterraine est soumise à de nombreux aléas et donc, peut être variable. Les contraintes techniques de l'ouvrage, l'activité économique, liée à ce captage, et l'évolution des conditions hydrogéologiques de la nappe sollicitée, peuvent perturber les capacités de production. La présentation, sur la carte des Volumes, des volumes moyens prélevés, correspond à la moyenne des cinq dernières années (2010-2014) (basés sur les déclarations des titulaire de prise d'eau). Ils illustrent de manière plus réaliste l'exploitation des eaux souterraines sur la carte étudiée. Ces valeurs moyennes ne sont pas représentatives du potentiel d'exploitation ni de l'exploitation réelle des nappes. Elles reflètent simplement l'importance d'un site d'exploitation pendant les cinq années considérées. Parmi ces dernières, il se peut que certaines d'entre elles soient des années sans prélèvement. Le chapitre VI consacré à l'exploitation des aquifères reprend l'historique des principaux captages de la carte.

IX.3.4. Tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie'

Le tableau lithostratigraphique reprend la liste des différentes formations géologiques susceptibles d'être rencontrées sur la carte Hamoir – Ferrières, traduites en termes d'unités hydrogéologiques. La définition de ces unités est présentée en détails dans le chapitre IV.

IX.3.5. Coupes hydrogéologiques

Parmi les éléments présentés sur le poster de la carte hydrogéologique Hamoir – Ferrières figurent les coupes hydrogéologiques. Elles permettent de comprendre dans son ensemble le contexte géologique de la région. Les grandes structures géologiques y apparaissent. Cette coupe est tracée sur base de l'ancienne carte géologique (1902). Une coupe avec exagération des hauteurs (facteur d'échelle X5) a également été dessinée. Ainsi, là où la donnée est disponible, des informations sur le niveau piézométrique des nappes ont été indiquées. Ces coupes sont commentées, en détails, au paragraphe IV.2.4.

X. BIBLIOGRAPHIE

Boulvain F. & Pingot JL. (2011): Genèse du sous-sol de la Wallonie. Classe des Sciences, Collection in-8, ISSN 0365-0936 ; 34. *Académie royale de Belgique*, 190 pp

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. (2009) : 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), délivrables D.2.22 & D.3.12 – partie RWM021 (caractérisation: synthèse), D3.52 & D4.52 (interactions ESU-ESO), Traçages. Convention RW et SPGE-Aquapole

Bultynck, P. & Dejonghe, L. (2001): Guide to a revised lithostratigraphic scale of Belgium. *In Bultynck & Dejonghe, eds, Geologica Belgica*, Brussels, 4/1-2,168 pp.

Castany, G. (1998): Hydrogéologie, principes et méthodes, *Dunod*, 236 p.

CNSW (2008): Carte Numérique des Sols de Wallonie, 1/20.000. SPW - D GARNE - Direction du Développement rural (sous la direction de A. Mokadem). Données vectorielles, Version 1.2, 04-2008.

Coen, M. (1974): Le Frasnien de la bordure orientale du Bassin de Dinant, *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 97. pp. 67-103

CWEPSS (1996): Atlas du Karst Wallon: Inventaire cartographique et descriptif des sites karstiques et rivières souterraines de Wallonie. *D GARNE & CWEPSS* (Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains asbl) <http://www.cwepss.org/atlasKarst.htm> + actualisation des données (version informatique, 2015)

Dassargues, A. (2010): Hydrogéologie, Notes de cours, Université de Liège, non publié.

Dejonghe L. (2007): Guide de lecture des cartes géologiques de Wallonie au 1/25 000. *Service Public de Wallonie*, 3^e édition, 51p.

de Marsily, G. (2004): Cours d'hydrogéologie. Paris, Université Pierre et Marie Curie. 226 p.

Derouane J, Dassargues A. Monjoie A. (1996): Contribution d'un modèle à la détermination des zones de prévention autour d'un captage de sources à l'émergence dans les calcaires du Carbonifère du Condroz (Belgique). ESRA'96. Actes du colloque international Eau Souterraine en Région Agricole. Poitiers (France). Pp 713-716

D GARNE-Direction des Eaux souterraines et Protectis-Cellule DCE. (2010; 2016): Directive cadre de l'eau. Etat des lieux des districts hydrographiques. Fiches de caractérisation des masses d'eau souterraine

<http://spw.wallonie.be/dce/fme/RWM021.pdf> (juin 2010)

<http://spw.wallonie.be/dce/fme/RWM023.pdf> (juin 2010)

<http://spw.wallonie.be/dce/fme/RWM100.pdf> (mai 2016)

- Droeven, E., Feltz, C. & Kummert, M.** (2004): Les territoires paysagers de Wallonie. *Conférence permanente du développement territorial, Etudes et Documents 4*, Service public de Wallonie, Namur, pp 74.
- Dusar, M.** (1989): Stratigraphie et tectonique dans la région d'Hamoir-sur-Ourthe, réédition dans '*Aardkundige Medelingen*', vol 4, Katholieke Universiteit Leuven (geology group) (1ère édition: 1976)
- Duyckaerts, A** (1967): Le réseau du Chalet. Clair Obscur « Tiré à part »
- GeoHyGeor** (1998): SWDE - Houmart (Tohogne) – Etude géophysique. L.Doyen. 52p.
- GEOLYS** (2009): Etude hydrogéologique, essai de traçage et modélisation mathématique du site de captage du Petit-Houmart. SWDE. Rapport final D346/4. 29 p + annexes
- Gesels J, Nogagère P, Hallet V, Brouyère S** (2014): Calcaires et grès du Synclinorium de Dinant *in* Watervoerende lagen & grondwater in België – Aquifères & eaux souterraines en Belgique, Partie 1, Chapitre 22, pp. 257-274. *Academia Press*
- Godissart J.** (1998): La Fontaine de Rivière (Hamoir-Lassus). Esquisse d'une monographie. *Regards (Bull.Union Belge de Spéléologie)*. n°34. pp 2-7
- Gogu, R.C.** (2000): Advances in groundwater protection strategy using vulnerability mapping and hydrogeological GIS databases, *Thèse de doctorat, Université de Liège*.
- Gogu, R.C., Carabin G., Hallet V., Peters V., Dassargues A.,** (2001): GIS-based hydrogeological databases and groundwater modelling, *Hydrogeology Journal*: 9: 555-569.
- Hallet V** (2008): Captage de Pêchet à Hamoir. Synthèse des informations hydrogéologiques et avis sur l'extension des zones de prévention. Rapport CILE/2008/01
- Halleux L.** (1979): Géologie et hydrogéologie de la région de Ferrières. Travail de fin d'étude. Fac.Sc.Appliquées. Université de Liège.
- Hance L, Poty E, Devuyst FX** (2001): Stratigraphie séquentielle du Dinantien type (Belgique) et corrélation avec le nord de la France (Boulonnais, Avesnois). *Bull. Soc. géol. France*. T174, n°4, pp 411-426.
- HGE-ULg** (2011): Captage de Pêchet: Etude hydrogéologique en vue de préciser l'extension des zones de prévention. 30 p. Mars 2011
- ICEW** (2012): Les Indicateurs Clés de l'Environnement Wallon (ICEW 2012)- Direction de l'Etat Environnemental - SPW - D GARNE - DEMNA – DEE- <http://etat.environnement.wallonie.be>
- Légende de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (**CNSW**) – version 2 (2007). Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux – Laboratoire de Géopédologie, en relation avec le PCNSW (convention pour le compte de la Région Wallonne – DGA), 54 p. + 2 annexes
- LGIH** (1986): Etude hydrogéologique de bassin versant du Néblon. LGIH-INIEX-CILE
- LGIH** (1989a): Aquifères gréseux. Zone prototype. Rapport final. RW/892

- LGIH** (1989b): Etude de l'influence des sources de pollution sur l'exploitabilité du potentiel aquifère du synclinal de Comblain-au-Pont-Anthisnes. Rapport final. LGIH-INIEX-CILE.
- LGIH** (1990): Hamoir - Source de Pêchet. Forage de reconnaissance. Etude hydrogéologique. HAM/901
- LGIH**(1995): Etude des zones de protection des captages de la CILE. Phase 1. Galeries captantes du Néblon. CILE/952
- LGIH** (2001a): Prospection géophysique du site de Sparmont. CILE/2001-06
- LGIH** (2001b): Captage de Hamoir – Pêchet. Prospection géophysique. CILE/2001-05
- LGIH** (2002): Captage de Hamoir – Pêchet. Essai de traçage et zones de prévention. CILE/2002-01
- LGIH** (2004a): Captage du Néblon – Secteur d'Himbe: forage d'un piézomètre, essais de pompage et de traçage. CILE/2004-01
- LGIH** (2004b): Captage du Néblon – Secteur d'Himbe: galerie communale: détermination de la zone de prévention IIa. CILE/2004-02
- Lohest M, & Fourmarier P.** (1902): Carte géologique de Belgique, 1/40.000. Planchette 158 de Hamoir – Ferrières, Service Géologique de Belgique
- LuxAquatec** (2006): Ressource du Pêchet à Hamoir. Etude de faisabilité d'un nouveau captage par forage horizontal. Campagne de reconnaissances hydrogéologiques. 24p + annexes
- LuxAquatec** (2008): CILE - Dossier de demande de reconnaissance en eau de source pour le captage par forage horizontal de la source du Pêchet1 à Hamoir.
- Meus Ph** (1993): Hydrogéologie d'un aquifère karstique du calcaire carbonifère de Belgique (Néblon-Anthisnes). Apport des traçages à la connaissance des milieux fissurés et karstifiés. *Thèse de doctorat, Université de Liège*
- Meus Ph** (2008): Eaux souterraines sous la loupe. Mise en place d'un réseau de surveillance des émergences karstiques en Wallonie. *Eco Karst*, 71:6-8
- Monjoie A.** (2002) : Caractéristiques des eaux minérales, carbo-gazeuses et thermales du sud-est de la Belgique. *Géologues (Union Française des Géologues)*, n°133-134, pp. 119-123
- Observatoire des Eaux de Surface** (2004): *Etat des lieux des sous-bassins hydrographiques: Tome I: Etat des lieux – Sous-bassin de l'Ourthe*, MRW, DGARNE, 48 p
- Office québécois de la langue française** (1980): Le Grand Dictionnaire Terminologique (GDT): www.granddictionnaire.com. Gouvernement du Québec, Canada
- Pfannkuch, H-O.** (1990): Elsevier's Dictionary of Environmental Hydrogeology, *Elsevier*.
- Popescu I.C., Dachy M, Brouyère S & Dassargues A.** (2004): Test d'une méthode de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque applicable aux nappes aquifères de la Région Wallonne. Application à l'aquifère calcaire du Néblon. Rapport Final. Convention RW-ULg, Geomac (Hydrogéologie), 154 p.

Ruthy I. & Dassargues A. (2005). Carte hydrogéologique de Wallonie, Hamoir – Ferrières, 49/5-6. 1:25000. Namur, Service Public de Wallonie, Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement, 1 notice explicative de 47 p. + annexes

SPAQuE (2014): "Cour aux marchandises de Comblain-la-Tour" à Hamoir – Lg3501-002. Etat des connaissances. Bilan après investigations <http://www.walsols.be/pdfs/11223/4096.pdf>. Bilan à l'issue des faisabilités <http://www.walsols.be/pdfs/11223/4097.pdf> (mise à jour 17/03/2014).

SPW-DGO3 (2014): Etat des nappes d'eau souterraine de Wallonie. Edition : Service public de Wallonie, DGO 3 (DGARNE), Belgique. Dépôt légal D/2014/11802/11 - ISBN 978-2-8056-0142-2 – Mars 2014 – Treizième année - <http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas/>

SWDE (1999): Réalisation de quatre puits de reconnaissance (PR1 à PR4) à Durbuy (anct. Tohogne) dans le cadre de l'étude des zones de prévention de la prise d'eau: Petit Houmart D1. Service Protection des Ressources et Captages. Rapport technique. RT 119. 15 pp + annexes.

SWDE (2011): Type et nature de l'aquifère alimentant les ouvrages de prise d'eau de Durbuy (Tohogne): Petit Houmart D1. Synthèse de l'étude géologique et hydrogéologique. Service Protection des Ressources et Captages. 11 pp. Juin 2011

UNESCO-OMM, (1992): Glossaire International d'Hydrologie, seconde édition, 413p

Van den Broeck A, Martel E.A, Rahir E. (1910): Les cavernes et les rivières souterraines de Belgique. 2 tomes. 1586 pp. Bruxelles: Edité Chez Les Auteurs

Vanbrabant Y. (2006): Description lithologique des cuttings recueillis lors du forage F1 à Pêchet pour le CILE. 2p. Service Géologique de Belgique

Wojda, P., Dachy, M., Popescu, C., Ruthy, I., Gardin, N, Brouyère, S. & Dassargues, A. (2005): Appui à la conception de la structure, à l'interfaçage et à l'enrichissement de la base de données hydrogéologiques de la Région wallonne, *Convention subsidiée par Service public de Wallonie, DGARNE – Université de Liège*

ANNEXE 1: LISTE DES ABREVIATIONS DES INSTITUTIONS ET ORGANISMES

- **CILE:** Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux
Rue du Canal de l'Ourthe, 8 à 4031 LIEGE (Angleur)
<http://www.cile.be/>
- **HGE-GEO³** : Hydrogéologie & Géologie de l'Environnement- GEO³ - ArGEnCo – ULg
Bâtiment B52, niveau –1, Sart-Tilman à 4000 LIEGE
<http://www.argenco.ulg.ac.be/geo3>
- **IRM:** Institut Royal Météorologique, Section Climatologie.
Avenue Circulaire, 3 à 1180 BRUXELLES
<http://www.meteo.oma.be/IRM-KMI/>
- **ISSeP:** Institut Scientifique de Service Public
Rue du Chéra, 200 à 4000 LIEGE
<http://www.issep.be>
- **LGIH:** Laboratoires de Géologie de l'Ingénieur, d'Hydrogéologie et de Prospection Géophysique, Université de Liège
Suite la succession du Professeur A.Monjoie, les activités sont poursuivies au sein du département HGE-GEO³ (ULg), Bâtiment B52, Sart-Tilman, Liège
- **SGB:** Service Géologique de Belgique.
Département VII de l'Institut royal des Sciences Naturelles de Belgique
Rue Jenner, 13 à 1000 BRUXELLES
<http://www.sciencesnaturelles.be/geology>
- **SPAQuE:** Société Publique d'Aide à la Qualité de l'Environnement
Boulevard d'Avroy, 38/6 à 4000 LIEGE
<http://www.spaque.be> <http://www.walsols.be/>
- **SPW** :Service Public de Wallonie
Depuis le 1^{er} août 2008, le Ministère wallon de l'Équipement et des Transports (MET) et le Ministère de la Région Wallonne (MRW) ont fusionné pour donner naissance au **Service public de Wallonie (SPW)**. Ainsi la DGRNE est reprise dans la Direction générale opérationnelle 3 (DGO3) dont les domaines de compétences sont l'Agriculture, les Ressources naturelles et l'Environnement. La Direction des Eaux Souterraines est incluse dans le Département de l'Environnement et de l'Eau.
DGO3 - Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement (DGRNE)
Département de l'Environnement et de l'Eau
Direction des Eaux souterraines (**DESO**) & Direction des Eaux de Surface

Avenue Prince de Liège, 15 à 5100 Jambes

<http://environnement.wallonie.be/> - <http://aqualim.environnement.wallonie.be>

Département de la Ruralité et des Cours d'eau

Direction des Cours d'eau non navigables (**DCENN**)

DGO2: Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies hydrauliques – **SETHY**:
Direction des voies hydrauliques (D.G.2) - Division des Études et des Programmes- Direction
des Etudes hydrologiques et des Statistiques + service d'études hydrologiques
(SETHY)(D.212).

Boulevard du Nord, 8 à 5000 NAMUR

Depuis le 1^{er} août 2008, ce service fait partie de la Direction Générale Opérationnelle Mobilité
et Voies Hydrauliques (DGO2), Département des études et de l'appui à la gestion.

Anciennement, ce service faisait partie du Ministère wallon de l'Equipement et des Transports
(MET) devenu SPW.

<http://voies-hydrauliques.wallonie.be>

<http://voies-hydrauliques.wallonie.be/opencms/opencms/fr/hydro/crue/>

DGO4: Direction générale opérationnelle - Aménagement du territoire, Logement, Patrimoine
et Energie (DGTALPE)

▪ **SWDE** : Société Wallonne des Eaux

Rue de la Concorde, 41 à 4800 VERVIERS

<http://www.swde.be>

ANNEXE 2: TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

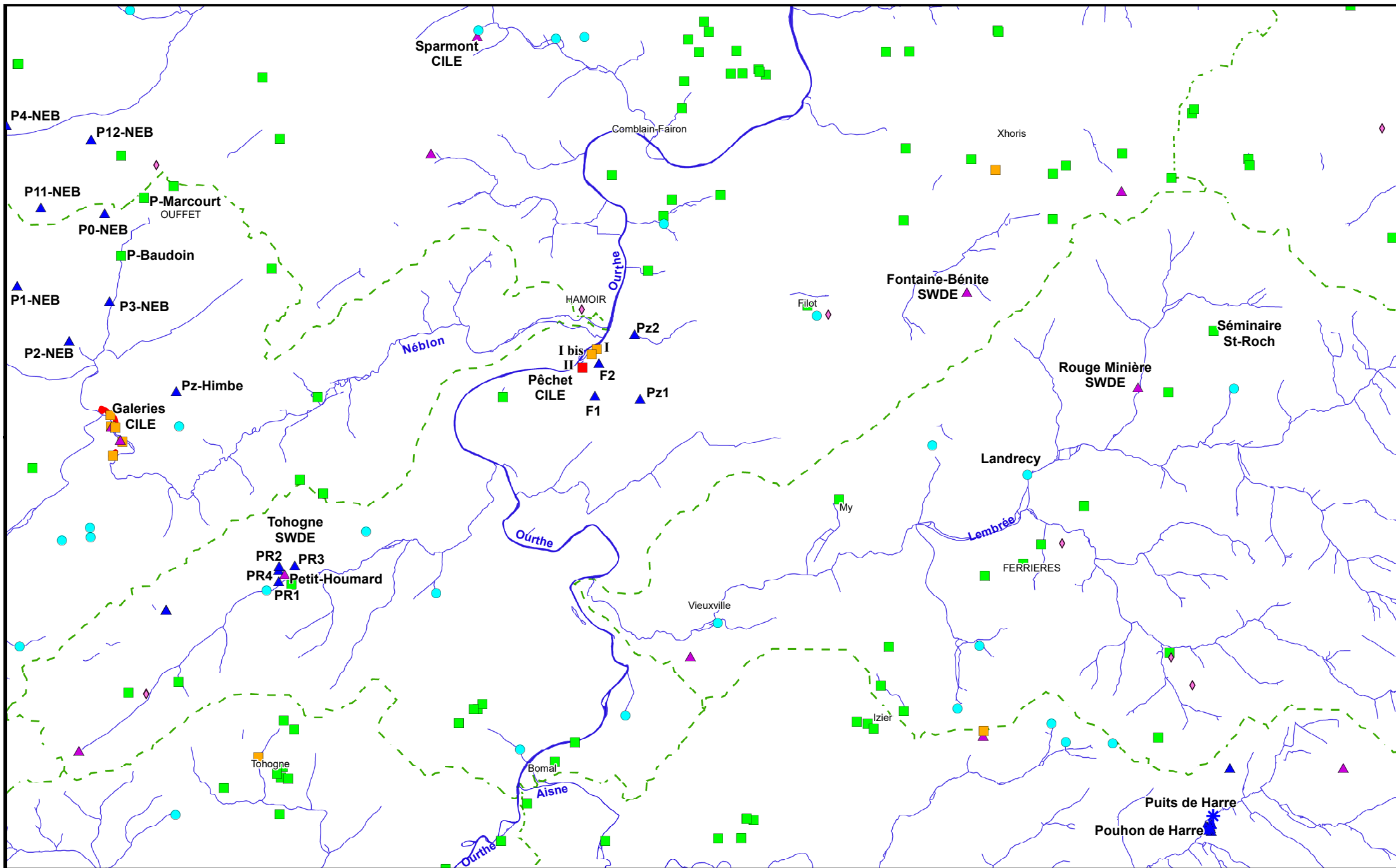
Figure I.1: Localisation de la carte Hamoir – Ferrières.....	4
Figure II.1: Territoires paysagers – Hamoir – Ferrières.....	5
Figure II.2: Relief, bassins-versants, rivières – Hamoir – Ferrières.....	6
Figure II.3: Carte des types de sol – Hamoir – Ferrières.....	8
Figure II.4: Carte de l'occupation du sol – Hamoir – Ferrières.....	9
Figure III.1: Carte géologique de la Wallonie (Boulvain & Pingot, 2011; modifié).....	10
Figure III.2: Zones d'affleurement du Dévonien inférieur –Hamoir – Ferrières.....	13
Figure III.3: Zones d'affleurement du Dévonien moyen –Hamoir – Ferrières.....	14
Figure III.4: Zones d'affleurement du Dévonien supérieur –Hamoir – Ferrières.....	15
Figure III.5: Zones d'affleurement du Carbonifère –Hamoir – Ferrières.....	17
Figure III.6: Schéma structural de la région d'Hamoir-Ferrières d'après Dusar (1989).....	19
Figure III.7: Schéma structural de la région d'Hamoir-Ferrières d'après Lohest et Fourmarier (1902).....	19
Figure IV.1: Principaux aquifères de Wallonie – Carte de Hamoir – Ferrières (SPW-DGO3, 2014; modifié) ..	20
Figure IV.2: Entités hydrogéologiques de la carte Hamoir – Ferrières.....	29
Figure IV.3: Entités hydrogéologiques du Condroz: bassins du Néblon, d'Anthisnes et de Houmart – Carte Hamoir – Ferrières.....	31
Figure IV.4: Coupe schématique du contexte hydrogéologique des galeries du Néblon (LGIH, 1986).....	32
Figure IV.5: Fluctuations piézométriques de la nappe des calcaires du Carbonifère - Bassin du Néblon & Pluviométrie à Ouffet.....	35
Figure IV.6: Fluctuations piézométriques de la nappe des calcaires du Carbonifère - Synclinal d'Anthisnes	37
Figure IV.7: Site de captage 'Petit Houmart' à Tohogne (Durbuy) – SWDE.....	38
Figure IV.8: Fluctuations piézométriques de la nappe logée dans les calcaires de l'Hastarien (Carbonifère) - Synclinal de Houmart - Tohogne.....	39
Figure IV.9: Interactions entre eaux de surface et eaux souterraines - MESO RWM021 sur la carte Hamoir – Ferrières (d'après Brouyère et al., 2009).....	42
Figure IV.10: Coupe géologique perpendiculaire à la stratification, à l'est du captage de Pêchet (modifiée de LuxAquatec, 2006).....	44
Figure IV.11: Contexte hydrogéologique du captage de Pêchet (CILE).....	45
Figure IV.12: Fluctuations piézométriques des nappes des calcaires du Frasnien et du Givetien - Site de Pêchet.....	47
Figure IV.13: Potentialités aquifères dans les zones axiales des plis (Halleux, 1979).....	49
Figure IV.14: Phénomènes karstiques recensés dans la région de Hamoir – Ferrières.....	51
Figure IV.15: Coupe géologique établie le long de la rive droite de l'Ourthe à Hamoir-Lassus (Godissart, 1998).....	53
Figure V.1: Masses d'eau souterraine –Hamoir – Ferrières.....	58
Figure V.2: Réponse de la galerie Communale à une crue (mai-juin 2003) (Popescu et al, 2004).....	61
Figure V.3: Zones vulnérables aux nitrates – Hamoir – Ferrières.....	66
Figure V.4: Evolution des concentrations en nitrates – Aquifère des calcaires du Carbonifère & Aquifère-aquitard-aquiclude de l'Hastarien – Hamoir – Ferrières.....	67
Figure V.5: Evolution des concentrations en nitrates – Hamoir – Ferrières.....	68
Figure V.6: Pesticides en Région wallonne (ICEW, 2012; carte 19 modifiée).....	70
Figure VI.1: Volumes prélevés pour les sociétés de distribution d'eau (CILE & SWDE) sur la carte Hamoir – Ferrières.....	74

Figure VIII.1: Zones de prévention arrêtées autour du captage 'Bénite Fontaine' à Filot – SWDE.....	83
Figure VIII.2: Zones de prévention et de surveillance (arrêtées et à définir) situées sur la carte Hamoir – Ferrières – Situation au 01/09/2016	84
Figure VIII.3: Zones de prévention arrêtées autour des captages du Néblon (carte Hamoir – Ferrières)	85
Figure VIII.4: Projet de tracé des zones de prévention révisées autour des captages de Pêchet (Hamoir) - CILE	86
Figure VIII.5: Zone de prévention éloignée du Puits du Moulin – Carte Hamoir – Ferrières	87

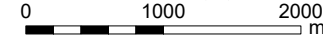
Liste des tableaux

Tableau IV.1: Tableau de correspondance entre la géologie et l'hydrogéologie – Hamoir – Ferrières	28
Tableau IV.2: Cotes piézométriques au droit du site de Petit Houmart à Tohogne (SWDE)	38
Tableau V.1: Etat des masses d'eau souterraines présentes sur la carte Hamoir – Ferrières	58
Tableau V.2: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère des calcaires du Carbonifère – Galeries du Néblon	59
Tableau V.3: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère des calcaires du Carbonifère et de l'aquifère-aquitard-aquiclude de l'Hastarien	60
Tableau V.4: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère des grès du Famennien	62
Tableau V.5: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère des calcaires du Dévonien.....	63
Tableau V.6: Caractéristiques hydrochimiques des unités hydrogéologiques du Dévonien inférieur et moyen	64
Tableau V.7: Paramètres microbiologiques des eaux souterraines de la carte Hamoir – Ferrières	69
Tableau V.8: Principaux pesticides analysés dans les eaux souterraines de la carte Hamoir – Ferrières.....	71
Tableau VII.1: Valeurs du coefficient de perméabilité en fonction de la granulométrie (Castany, 1998)	75
Tableau VII.2: Intervalles de valeurs indicatives pour la conductivité hydraulique de différentes lithologies (échelles macroscopique & mégascopique) (Dassargues, 2010)	76
Tableau VII.3: Intervalles de valeurs indicatives pour la porosité (n) et la porosité effective de drainage (ne) de différentes lithologies (échelles macroscopique & mégascopique) (Dassargues, 2010).....	76
Tableau VII.4: Estimation moyenne des paramètres hydrodynamiques pour les aquifères des calcaires carbonifères et des grès famenniens dans le bassin du Néblon (LGIH, 1995; Derouane et <i>al.</i> , 1996)	77
Tableau VII.5: Valeurs moyennes des paramètres d'écoulement de l'aquifère-aquitard-aquiclude de l'Hastarien - Synclinal de Houmart - Tohogne (SWDE, 1999).....	78
Tableau VII.6: Caractéristiques et paramètres des essais de traçage sur le site du drain Petit Houmart de la SWDE à Tohogne (GEOLYS, 2009)	79
Tableau VII.7: Valeurs des paramètres d'écoulement de l'aquifère des calcaires du Frasnien - Captage de Pêchet à Hamoir (ULg-HGE, 2011).....	79
Tableau VII.8: Caractéristiques de la courbe de restitution du traçage "Abîme de Xhoris/Résurgence sous-fluviale dans l'Ourthe" (Meus, 1993).....	80

ANNEXE 3: CARTE DE LOCALISATION



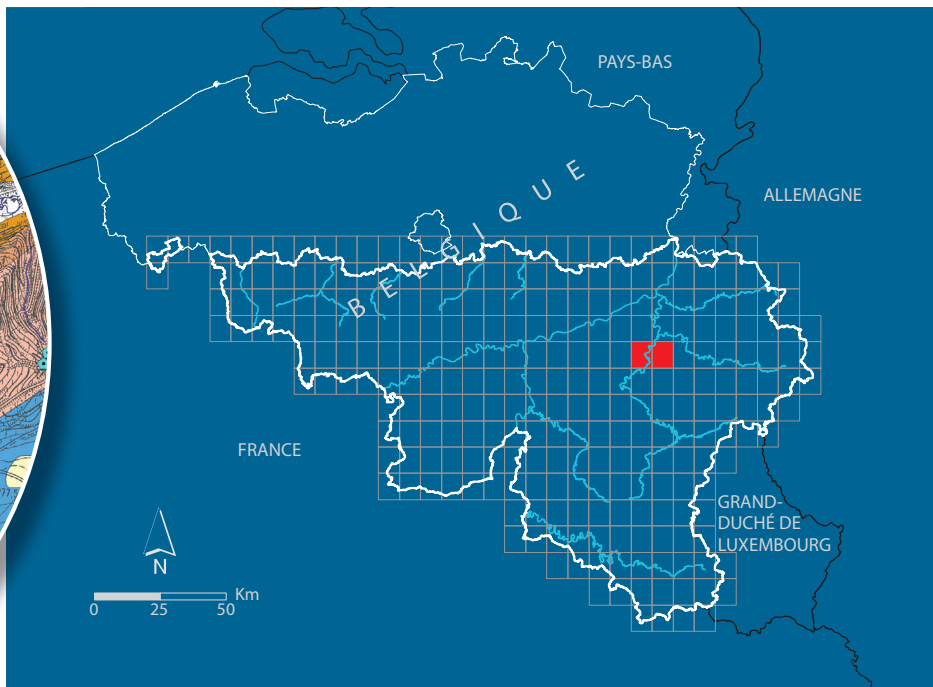
- | | | | | | |
|--|--|---|--|--|---|
| ■ Puits pour la distribution publique d'eau potable | ■ Autre puits | ▲ Piézomètre | ✱ Eau carbogazeuse | — Galerie | — Réseau hydrographique |
| ■ Puits sur galerie par gravité | ▲ Drain | ● Source (exploitée ou non) | ◇ Sonde géothermique | - - - Bassin hydrographique | 0 1000 2000 m |



ANNEXE 4: COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES OUVRAGES CITES DANS LA NOTICE

Nom	Code RW	Identifiant RW	X(m)	Y(m)	Type	Prof.(m)
Galerie Principale (Néblon) CILE	49/5/4/004	1247	227277	123253	Galerie	
Galerie Communale (Néblon) CILE	49/5/4/005	3410	227362	123089	Galerie	
Galerie Bois 1 (Néblon) CILE	49/5/4/002	5276	227228	123264	Galerie	
Drain Bois 2 – Astrid (Néblon) CILE	49/5/4/001	3103	227234	123263	Drain	
Galerie Bouveau (Néblon) CILE	49/5/4/009	3702	227223	123395	Galerie	
Galerie Tinkou (Néblon) CILE	49/5/4/006	5594	227251	122931	Galerie	
Galerie Peupliers (Néblon) CILE	49/5/4/003	7433	227335	123111	Drain	
P0-NEB	49/5/1/001	8024	227155	125713	Piézomètre	
P1-NEB	49/5/4/015	6176	226153	124880	Piézomètre	52,5
P2-NEB	49/5/4/007	7732	226750	124250	Piézomètre	51,92
P3-NEB	49/5/4/008	1561	227212	124700	Piézomètre	46,21
P4-NEB	49/5/4/024	3936	226026,2	126720,5	Piézomètre	51,92
P11-NEB	49/5/1/002	1855	226425	125720	Piézomètre	80,5
P12-NEB	49/5/1/003	4012	227000	126560	Piézomètre	60,32
Pz-Himbe			227977	123671	Piézomètre	96
Petit Houmart (Tohogne) SWDE	49/5/5/002	856	229220	121570	Drain	
PR1-Tohogne	49/5/8/016	66977	229151,1	121490,3	Piézomètre	21
PR2-Tohogne	49/5/5/007	66978	229156,8	121662,9	Piézomètre	40
PR3-Tohogne	49/5/5/008	66979	229337,4	121673	Piézomètre	48
PR4-Tohogne	49/5/5/011	66980	229151,5	121622	Piézomètre	40
Sparmont CILE	49/5/3/002	1326	231430	127740	Drain	
Pêchet I	49/5/6/001	2647	232800	124150	Galerie	
Pêchet Ibis	49/5/6/015	42192	232743	124091	Forage horizontal	
Pêchet II	49/5/6/002	4849	232640	123940	Forage oblique	36
F1-Pêchet	49/5/6/013	34284	232781	123619	Piézomètre	130
F2-Pêchet	49/5/6/014	42132	232825	123993	Piézomètre	100
Pz1-Allée des Marronniers			233296,9	123581,5	Piézomètre	158
Pz2-Route de Filot			233234,9	124323	Piézomètre	37
Fontaine Bénite (Filot) SWDE	49/6/5/021	891	237048	124807	Drain	
Rouge Minière SWDE	49/6/5/003	4225	239010	123715	Drain	
Séminaire St-Roch	49/6/6/002	6006	239880	124360	Puits traditionnel	3

<u>Nom</u>	<u>Code RW</u>	<u>Identifiant RW</u>	<u>X(m)</u>	<u>Y(m)</u>	<u>Type</u>	<u>Prof.(m)</u>
Landrecy (My) SWDE	49/6/5/001	8226	237740	122710	Source	
P-Marcourt	49/5/1/022	12215	227347	126372	Puits foré	123
P-Gillet	49/5/1/020	11966	227609	125888	Puits foré	120
P-Baudoin	49/5/1/019	12313	227345	125221	Puits foré	80
Pouhon de Harre	49/6/9/002	1207	239829	118662	Puits	35
Puits de Harre	49/6/9/004	21713	239872	118636	Puits foré	102



SPW | Éditions, CARTES

Dépôt légal : D/2017/12.796/2 – ISBN : 978-2-8056-0226-9

Editeur responsable : Brieuc QUEVY, DGO 3,
15, Avenue Prince de Liège – 5100 Jambes (Namur) Belgique

N° Vert du SPW : 1718 (Appel gratuit) - www.wallonie.be