

Notice explicative

CARTE HYDROGÉOLOGIQUE DE WALLONIE

Echelle : 1/25 000



Photos couverture © SPW-DGARNE(DGO3)

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 Limbourg - Eupen



LIMBOURG - EUPEN

43/5-6

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

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



NOTICE EXPLICATIVE

2013

Première version : Août 2010
Actualisation partielle : Mars 2013

Dépôt légal – **D/2013/12.796/6** - ISBN : **978-2-8056- 0128-6**

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

**DIRECTION GENERALE OPERATIONNELLE DE L'AGRICULTURE,
DES RESSOURCES NATURELLES
ET DE L'ENVIRONNEMENT
(D GARNE-DGO3)**

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

AVANT - PROPOS	4
I. INTRODUCTION.....	6
II. CADRES GEOGRAPHIQUE, HYDROGRAPHIQUE, GEOMORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE.....	7
III. CADRE GEOLOGIQUE	14
III.1. CARTE GEOLOGIQUE REGIONAL	14
III.2. CARTE GEOLOGIQUE DE LA CARTE.....	15
III.2.1. CADRE LITHO-STRATIGRAPHIQUE.....	15
III.2.1.1. Formations du Paléozoïque	15
III.2.1.2. Formations du Mésozoïque	20
III.2.1.3. Formations du Cénozoïque.....	21
III.2.2. CADRE STRUCTURAL.....	23
III.2.3. GISEMENTS METALLIFERES PLOMB-ZINC	27
IV. CADRE HYDROGEOLOGIQUE.....	28
IV.1. DESCRIPTION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES.....	28
IV.1.1. UNITES HYDROGEOLOGIQUES DU CAMBRO-ORDOVICIEN	29
IV.1.1.1. Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien	29
IV.1.1.2. Aquiclude du socle cambro-silurien.....	29
IV.1.1.3. Aquitard à niveaux aquicludes du socle cambro-silurien.....	29
IV.1.2. UNITES HYDROGEOLOGIQUES DU DEVONIEN	30
IV.1.2.1. Aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur	30
IV.1.2.2. Aquifère à niveaux aquicludes du Dévonien inférieur.....	30
IV.1.2.3. Aquitard de l'Eifelien	30
IV.1.2.4. Aquifères des calcaires du Givetien et du Frasnien	30
IV.1.2.5. Aquitard du Famennien-Frasnien.....	31
IV.1.2.6. Aquifère de Baelen.....	31
IV.1.2.7. Aquifère des grès du Famennien.....	31
IV.1.3. UNITES HYDROGEOLOGIQUES DU CARBONIFERE	32
IV.1.3.1. Aquifère – Aquitard – Aquiclude de l'Hastarien	32
IV.1.3.2. Aquifère des calcaires du Carbonifère	32
IV.1.3.3. Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller.....	33
IV.1.4. UNITES HYDROGEOLOGIQUES DU CRETACE	33
IV.1.4.1. Aquifère-Aquitard de Vaals	33

IV.1.5. UNITES HYDROGEOLOGIQUES DU CENOZOÏQUE.....	33
IV.1.5.1. Aquifère des sables de remplissage.....	33
IV.1.5.2. Aquifère des tourbes	34
IV.1.5.3. Aquifère des terrasses fluviales	34
IV.1.5.4. Aquitard des limons	34
IV.1.5.5. Aquifère alluvial.....	34
IV.2. DESCRIPTION DE L'HYDROGEOLOGIE DE LA CARTE.....	36
IV.2.1. AQUIFERE ALLUVIAL	36
IV.2.2. AQUIFERES DES CALCAIRES DU CARBONIFERE ET DU DEVONIEN.....	37
<i>Aquifères des calcaires du Carbonifère</i>	38
<i>Aquifères des calcaires du Dévonien</i>	42
<i>Phénomènes karstiques</i>	44
IV.2.3. AQUIFERE DES GRES DU FAMENNIEN	50
IV.2.4. AQUITARD A NIVEAUX AQUIFERES DU DEVONIEN INFERIEUR	53
IV.2.5. AQUITARD A NIVEAUX AQUIFERES DU SOCLE CAMBRO-SILURIEN (MASSIF DE STAVELOT)	56
IV.2.6. COUPE HYDROGEOLOGIQUE	62
IV.2.7. PIEZOMETRIE DE LA CARTE LIMBOURG-EUPEN.....	62
V. CADRE HYDROCHIMIQUE.....	64
V.1. CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX	65
V.1.1. GENERALITES	65
V.1.2. AQUIFERES DES CALCAIRES DU CARBONIFERE ET DU DEVONIEN	66
V.1.3. AQUIFERE DES GRES DU FAMENNIEN.....	67
V.1.4. AQUITARD DE L'EIFELIEN	68
V.1.5. AQUITARD A NIVEAUX AQUIFERES DU DEVONIEN INFERIEUR.....	69
V.1.6. AQUIFERE A NIVEAUX AQUICLUDES DE DEVONIEN INFERIEUR	70
V.1.7. AQUITARD A NIVEAUX AQUICLUDES DU SOCLE CAMBRO-SILURIEN.....	71
V.1.8. EAUX DE SURFACE (BARRAGES)	72
V.2. PROBLEMATIQUE DES NITRATES.....	73
V.3. QUALITE BACTERIOLOGIQUE.....	75
V.4. PESTICIDES	75
V.5. AUTRES PARAMETRES.....	76
VI. EXPLOITATION DES AQUIFERES.....	78

VII. PARAMETRES D'ECOULEMENT ET DE TRANSPORT	80
VII.1. AQUIFERE - AQUITARD - AQUICLUDE DE L'HASTARIEN (CARBONIFERE)	80
VII.2. AQUIFERE DES GRES DU FAMENNIEN	81
VII.3. AQUITARD A NIVEAUX AQUIFERES DU DEVONIEN INFERIEUR.....	82
VIII. ZONES DE PROTECTION.....	83
VIII.1. CADRE LEGAL.....	83
VIII.2. ZONES DE PREVENTION DES CAPTAGES 'HEUVEL' A BAELEN.....	86
VIII.3. ZONES DE PREVENTION DES CAPTAGES 'RULTAK' ET 'LA LOUVETERIE' A LIMBOURG	86
VIII.4. ZONES DE PREVENTION A DEFINIR	87
IX. METHODOLOGIE DE L'ELABORATION DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE	89
IX.1. ORIGINE DES INFORMATIONS	89
IX.1.1. DONNEES GEOLOGIQUES ET CONNEXES.....	89
IX.1.2. DONNEES METEOROLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES	90
IX.1.3. DONNEES HYDROGEOLOGIQUES	91
IX.1.3.1. Localisation des ouvrages	91
IX.1.3.2. Données piézométriques	91
IX.1.3.3. Données hydrochimiques et tests sur les puits	91
IX.1.4. AUTRES DONNEES	92
IX.2. BASE DE DONNEES HYDROGEOLOGIQUES.....	92
IX.3. POSTER DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE	93
IX.3.1. CARTE HYDROGEOLOGIQUE PRINCIPALE.....	93
IX.3.2. CARTE DES INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES ET DU CARACTERE DES NAPPES	94
IX.3.3. CARTE DES VOLUMES D'EAU PRELEVES	94
IX.3.4. TABLEAU DE CORRESPONDANCE 'GEOLOGIE-HYDROGEOLOGIE'	95
IX.3.5. COUPE HYDROGEOLOGIQUE	95
X. BIBLIOGRAPHIE	96
ANNEXE 1: LISTE DES ABREVIATIONS DES INSTITUTIONS ET ORGANISMES	101
ANNEXE 2: TABLE DES ILLUSTRATIONS	103
ANNEXE 3: CARTE DE LOCALISATION	105
ANNEXE 4: COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES OUVRAGES CITES DANS LA NOTICE	106

Avant - propos

La réalisation de la carte hydrogéologique Limbourg-Eupen 43/5-6 s'inscrit dans le cadre du programme de cartographie des ressources en eau souterraine de Wallonie, financé par le Service Public de Wallonie (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 d'août 2010¹. L'actualisation de cette carte a été réalisée en mars 2013 et 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, anciennement FPMs), l'Université de Namur (UNamur, anciennement FUNDP) et l'Université de Liège (ULg) dont le site ULg-Arlon.

Nous tenons à remercier vivement Pierre Ghysel et Martin Laloux pour leurs précieux éclaircissements sur la géologie de la région, en particulier son cadre tectonique, Didier Mouchamps et Jean-Paul Malmendier du Service des Eaux de la commune de Theux, ainsi que Dany Kaiser du Service des Travaux de la commune de Limbourg. Nous souhaitons aussi remercier chaleureusement Francis Polrot pour les nombreuses données sur les phénomènes karstiques de la région. Nous remercions aussi tous les bureaux d'études actifs dans le domaine de l'environnement, la Société Wallonne des Eaux, les administrations communales et celles du Service Public de Wallonie qui nous ont donné accès à leurs données. Pour sa relecture attentive et constructive de la carte et de la notice, nous remercions également Mohamed Bouezmarni (ULg-Arlon).

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 nappes 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, une coupe hydrogéologique, et un tableau litho-stratigraphique sont présentés.

¹ Ruthy I. & Dassargues A. (2010). Carte hydrogéologique de Wallonie, Limbourg-Eupen, 43/5-6. 1:25000. Namur, Service Public de Wallonie, Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement, 1 notice explicative de 96 p. + annexes

Les données utilisées pour la réalisation de la carte ont été encodées dans une base de données sous le format «Access - Microsoft» (GeoDataBase) qui a été remise à la Direction des Eaux Souterraines (Département de l'Environnement et de l'Eau, DGO3 DGARNE, SPW).

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

Les ressources en eaux souterraines de la carte Limbourg-Eupen sont principalement localisées dans les formations carbonatées du Carbonifère et du Dévonien, ainsi que dans les terrains gréseux du Famennien. Dans une moindre mesure, les formations gréseuses et quartzitiques du Dévonien moyen et inférieur présentent quelques potentialités, tout comme les terrains du socle calédonien du Massif de Stavelot. Ces ressources d'eaux souterraines, d'intérêt local, ne constituent pas le principal réservoir d'eau de la région étudiée. En effet, deux grands réservoirs-barrages sont situés sur la carte Limbourg-Eupen, les lacs de La Gileppe et de la Vesdre-Eupen. Ils constituent l'une des principales sources d'eau potable pour la distribution publique de la région liégeoise (au sens large).

La carte Limbourg-Eupen, située dans la partie orientale de la Province de Liège (figure I.1), présente une occupation du sol contrastée. Son territoire est majoritairement couvert de forêts, entre autres sur le plateau des Hautes-Fagnes. Le Nord est marqué par quelques importantes agglomérations urbaines dont Eupen.

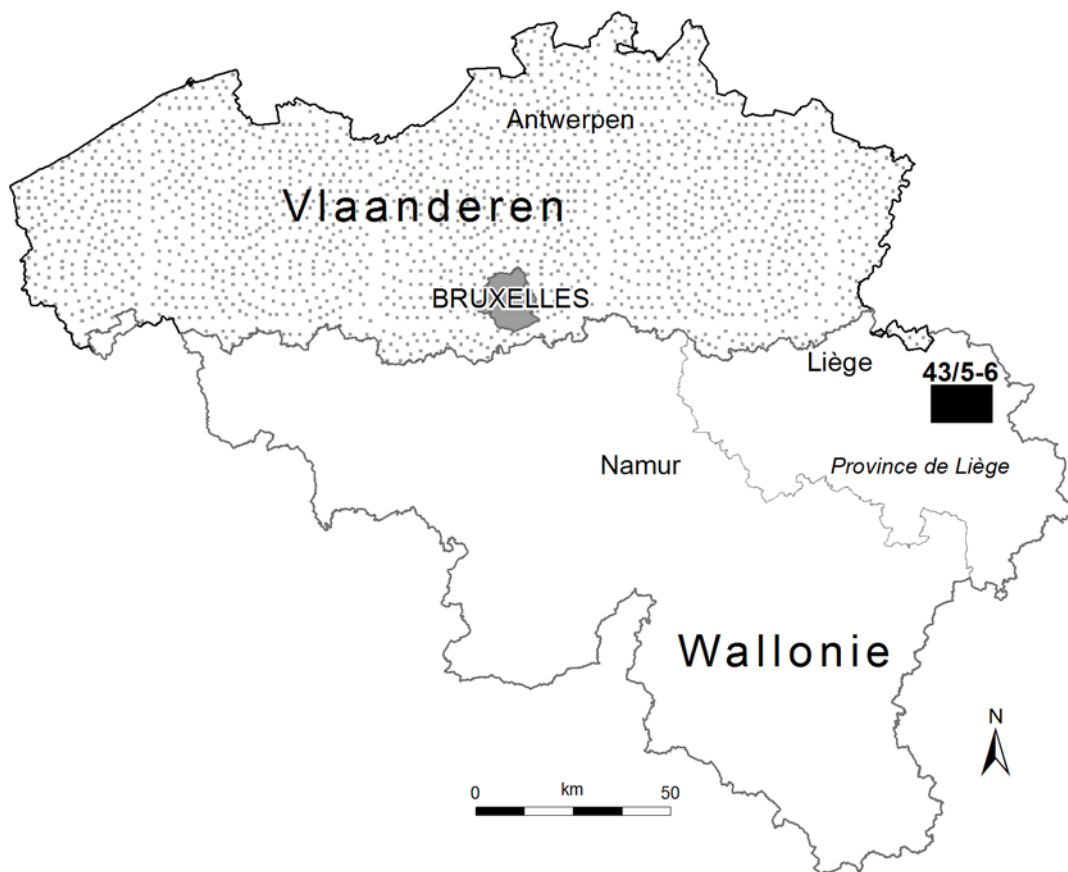


Figure I.1: Plan de situation

II. CADRES GEOGRAPHIQUE, HYDROGRAPHIQUE, GEOMORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE

Située à une trentaine de kilomètres à l'est de Liège, la région de Limbourg-Eupen est également proche de l'Allemagne et des Pays-Bas. Les principales localités sont Eupen, Limbourg, Jalhay, Stembert (arrondissement de Verviers), Baelen-Membach.

Deux ensembles paysagers², eux-mêmes subdivisés en deux territoires, définissent la carte Limbourg-Eupen (figure II.1). Ainsi, on observe, dans la moitié septentrionale, l'Ensemble de l'Entre-Vesdre-et-Meuse (04). A l'ouest, les vallonnements de la Vesdre et de ses affluents (0404) sont caractérisés par un relief de bocages³, sur les pentes douces, fortement découpés par les vallées. Les versants raides et les fonds de vallées sont souvent occupés par des massifs boisés (feuillus essentiellement). La partie orientale est caractérisée par le moyen plateau du Pays de Herve (0402), marqué par la ville d'Eupen et son agglomération, formées à la confluence de la Vesdre et de la Helle sur une topographie vallonnée qui mène vers le nord au plateau de Welkenraedt (Cremasco et *al.*, 2007). La partie méridionale de la carte appartient à l'Ensemble du haut plateau de l'Ardenne du nord-est (11), globalement marqué par une succession de hauts plateaux creusés à leurs pourtours par une érosion intense. Le quart sud-ouest de la carte est occupé par la dépression de la Hoëgne et de ses affluents (1102), caractérisée par des vallées profondes et évasées. La zone orientale fait partie du haut plateau des Fagnes (1101), au relief assez plat, marquée par des tourbières et des massifs boisés et par un habitat quasi inexistant (Droeven et *al.*, 2004).

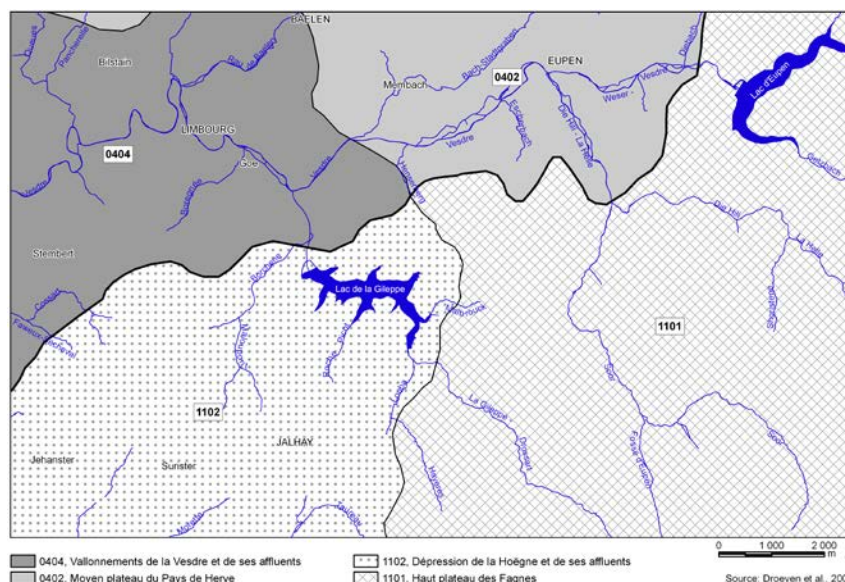


Figure II.1: Territoires paysagers - Limbourg-Eupen

² 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 XI (Droeven et *al.*, 2004).

³ *Bocage*: paysage d'enclous caractérisé par un habitat dispersé combiné à une organisation individuelle de fermes entourées de leurs terrains d'exploitation, souvent enclous de rideaux d'arbres, combinant majoritairement herbages et élevage (Cremasco et *al.*, 2007)

Topographiquement, la carte Limbourg-Eupen est coupée en deux suivant une diagonale SW-NE. Au sud-est, se dressent les contreforts de l'Ardenne et le début du plateau des Hautes Fagnes. Vers le nord-ouest, se sont les bocages de l'Entre-Vesdre-et-Meuse. D'importantes variations d'altitudes sont observées sur cette carte (figure II.2). Ainsi, la plaine alluviale de la Vesdre, au nord de Stembert, est à l'altitude de 178 m. Le point culminant de la zone étudiée se situe sur le plateau des Hautes Fagnes (coin SE de la carte) à la cote de 606 m.

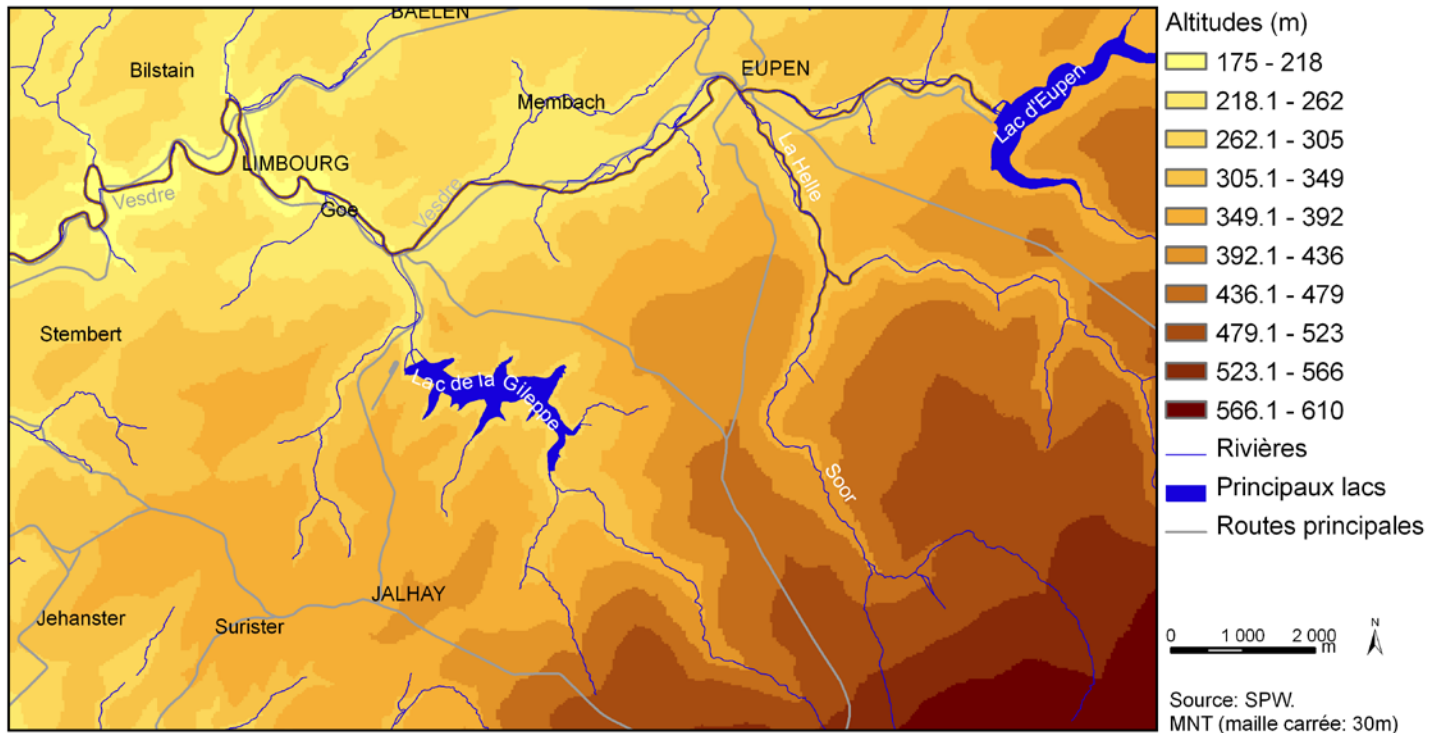


Figure II.2: Carte du relief - Limbourg-Eupen

La carte Limbourg-Eupen appartient au bassin hydrographique de la Vesdre, affluent de l'Ourthe. A l'échelle régionale, la carte est située dans le bassin de la Meuse. Trois sous-bassins s'individualisent (figure II.3):

- Bassin de La Helle: 36,4 km², soit 22,8 % de la superficie de la carte;
- Bassin de La Gileppe: 37,4 km², soit 23,4 %;
- Bassin de la Hoëgne (Hogne): 13,4 km², soit 8,4 %.

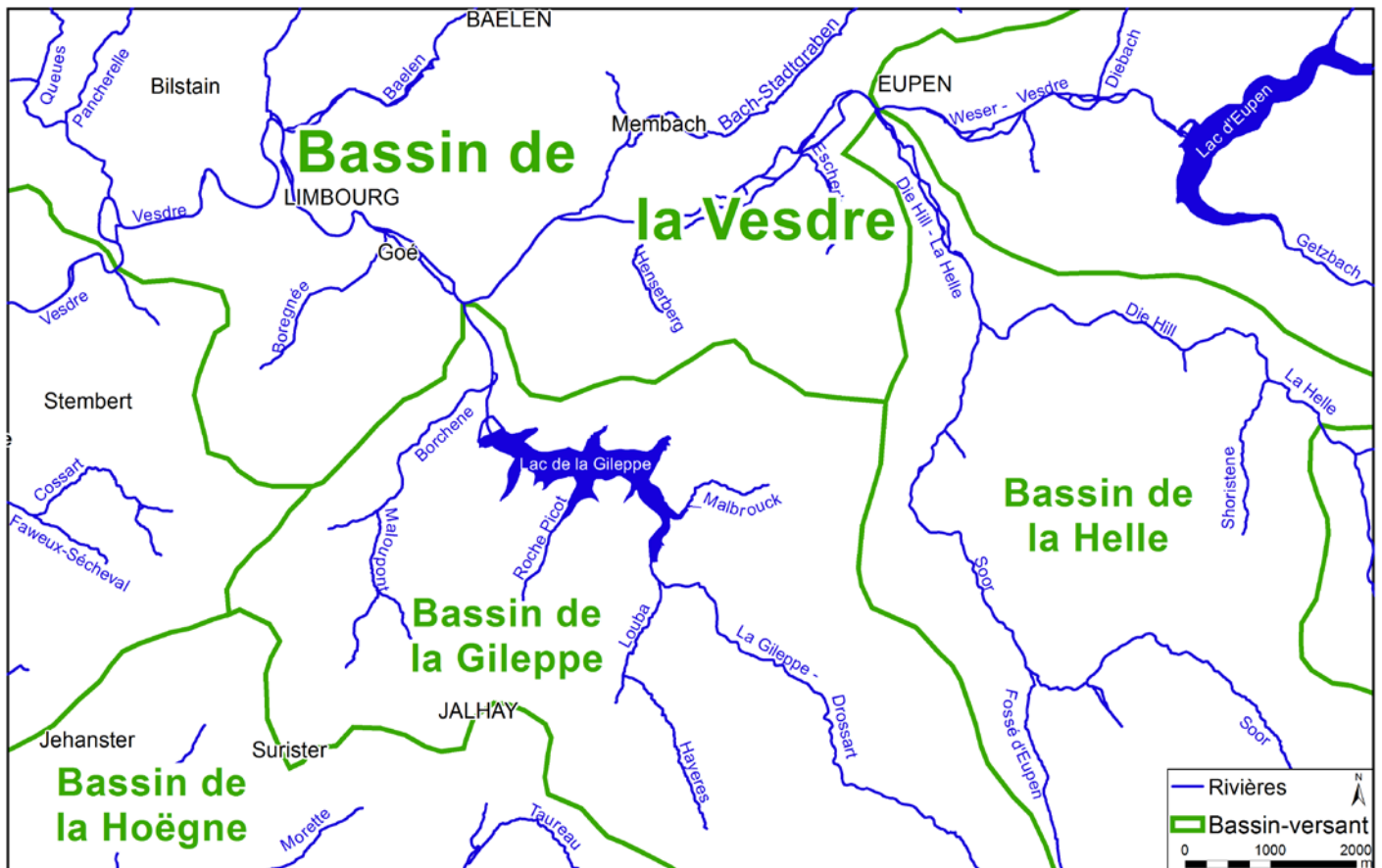


Figure II.3: Rivières et bassins hydrographiques - Limbourg-Eupen

Les figures II.5 et II.4 présentent, respectivement, la carte d'occupation du sol de la région de Limbourg-Eupen et la répartition selon les 6 classes du niveau 1. Ces données sont extraites de la carte numérique de l'occupation du sol wallon⁴. Les forêts représentent presque 60 % de la superficie de la carte. Elles sont essentiellement localisées dans la partie sud-est, avec le Westhertogenwald, important massif forestier centré autour du lac et du ruisseau de la Gileppe sur le plateau des Fagnes. Les forêts sont surtout composées de conifères. Ensuite, ce sont les territoires agricoles qui occupent l'espace septentrional et occidental de la carte. Les surfaces enherbées dominent cette classe (tableau II.1), soulignant le paysage de bocages typique du Pays de Herve. Les zones urbaines représentent moins de 10 % de la surface de la carte. Cependant, quelques grands centres urbains se démarquent tels que Eupen, Verviers est (Stembert), Limbourg. Deux lacs importants caractérisent également cette région: au nord-est de la carte, le lac d'Eupen (avec le barrage de la Vesdre) et, au centre le lac de la Gileppe⁵, Leur superficie maximale est d'environ 125-130 ha. Les tourbières du haut plateau des Fagnes (classe 'Zones humides') occupent un peu moins d'1 % de la superficie de la zone.

Tableau II.1: Répartition détaillée de l'occupation du sol - Territoires agricoles

Surfaces enherbées (essentiellement des prairies permanentes)	95,3 %
Terres arables (essentiellement des cultures sarclées)	3,2 %
Friches agricoles	0,9 %
Cultures permanentes (essentiellement des vergers)	0,6 %

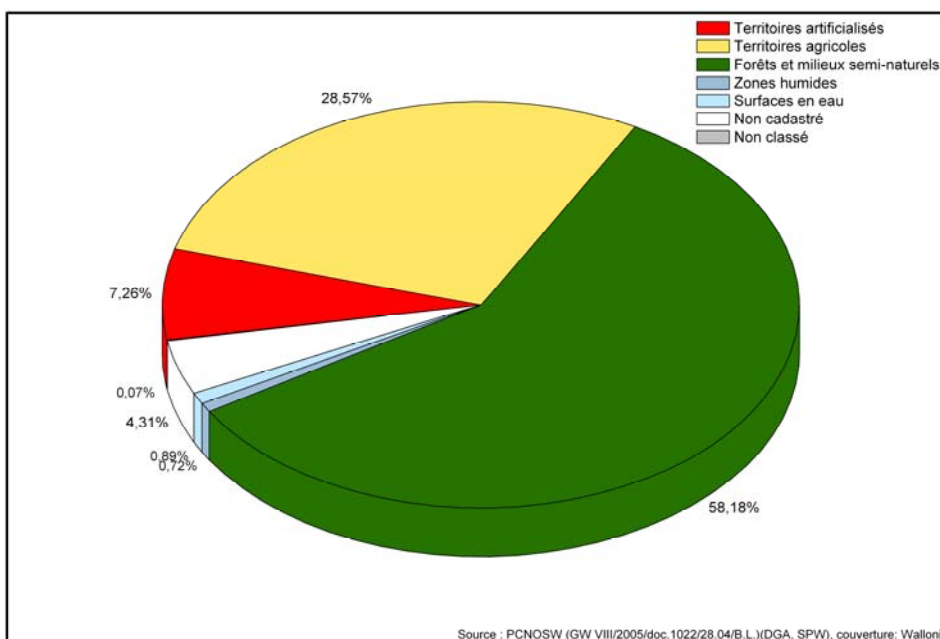
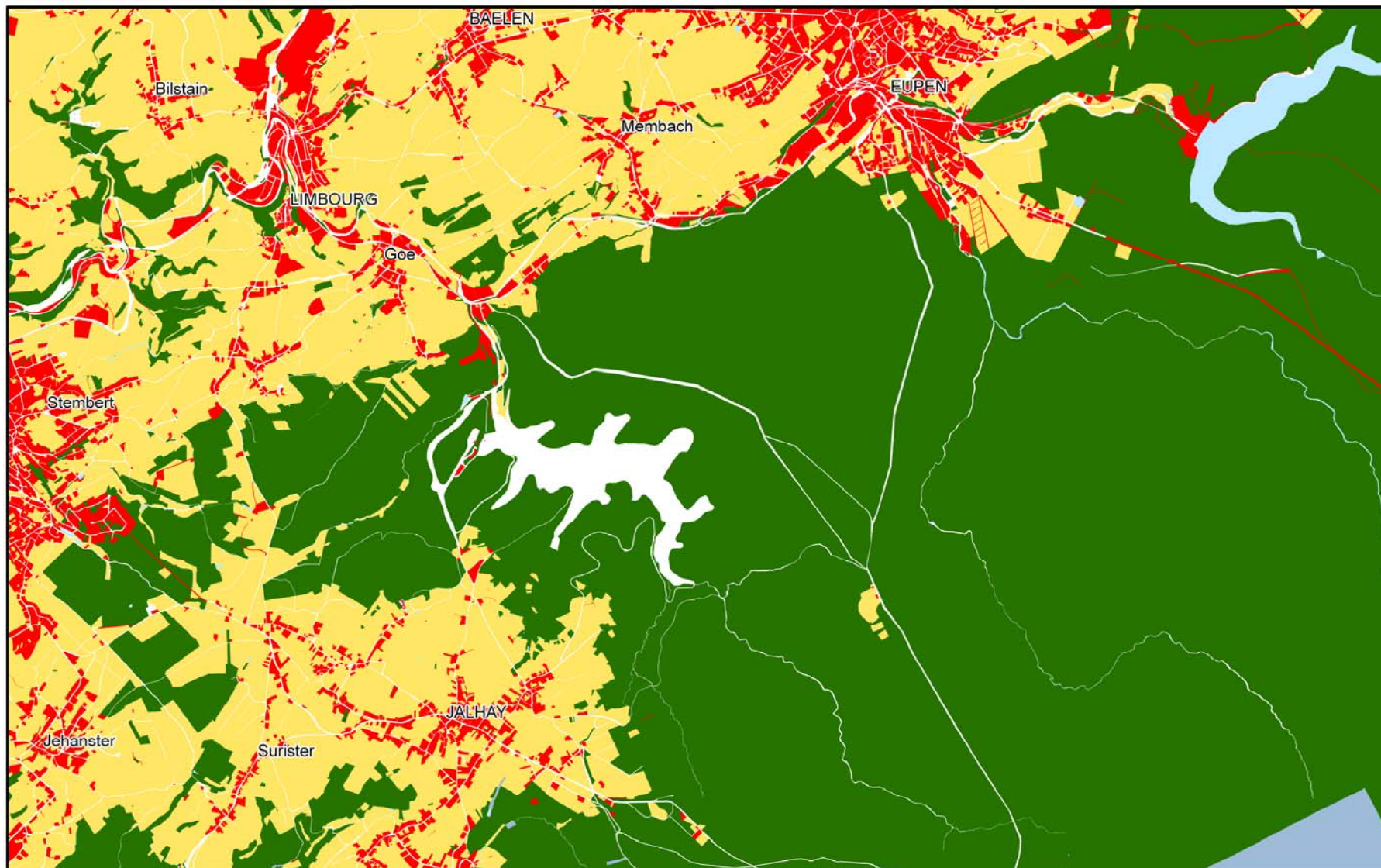


Figure II.4: Répartition de l'occupation du sol - Niveau 1 - Limbourg-Eupen

⁴ 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/>

⁵ Le lac de la Gileppe n'a pas été repris dans la catégorie 'Surface en eaux' dans le COSW mais dans la classe 'Non cadastré'.



Carte d'occupation du sol de Wallonie (COSW) - Niveau 1

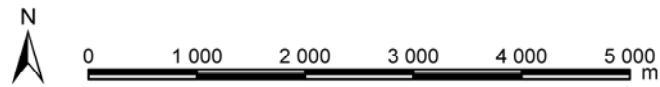
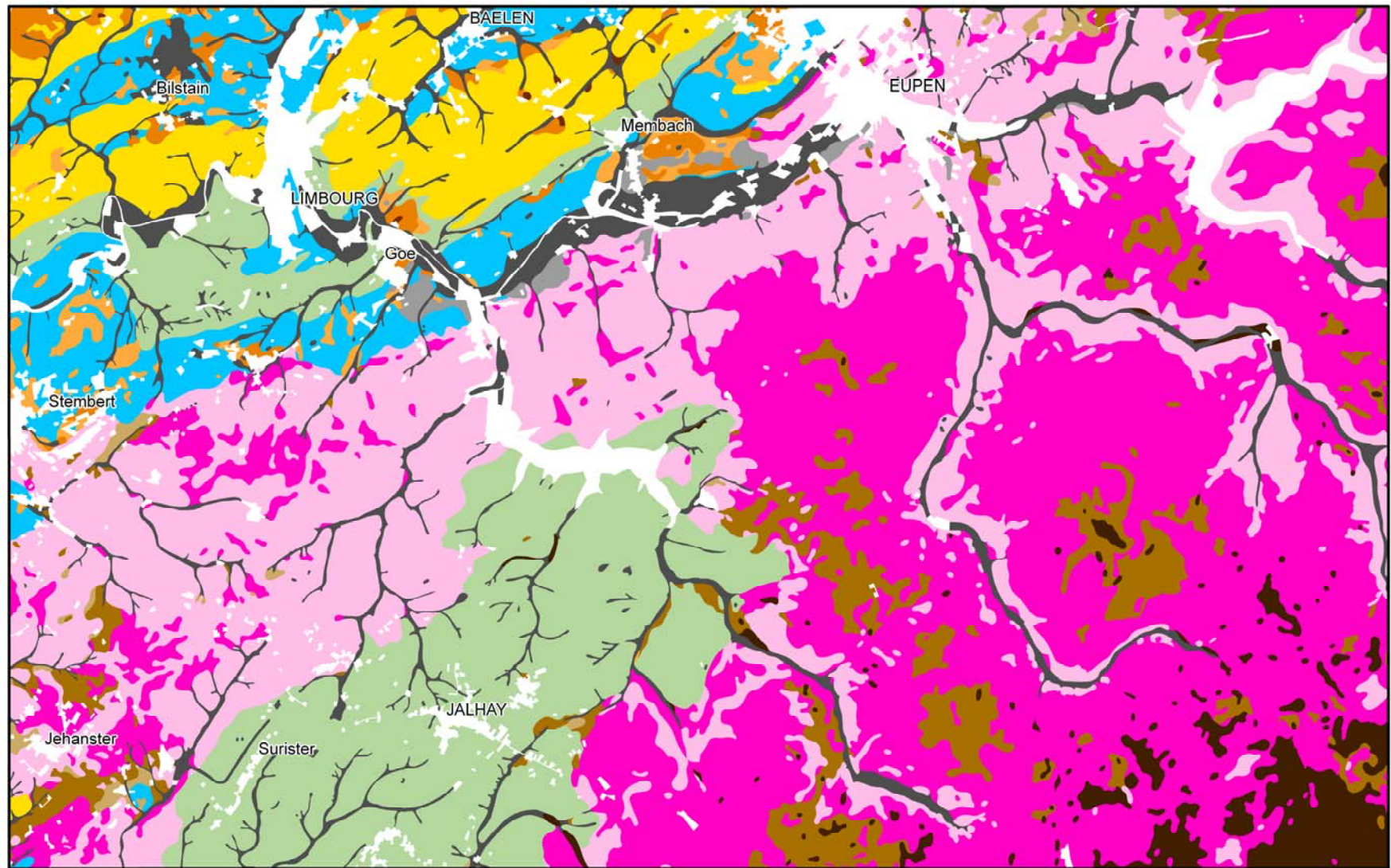
- | | | |
|--|--|---|
| ■ Territoires artificialisés | ■ Zones humides | Non cadastré |
| ■ Territoires agricoles | ■ Surfaces en eau | Non classé |
| ■ Forêts et milieux semi-naturels | | |

0 1 000 2 000 3 000 4 000 5 000 m



Source : PCNOSW (GW VIII/2005/doc.1022/28.04/B.L.)(DGA, SPW), couverture: Wallonie

Figure II.5: Carte de l'occupation du sol (COSW) - Limbourg-Eupen



La légende est présentée sur la page suivante

Source : PCNOSW (GW VIII/2005/doc.1022/28.04/B.L.)(DGA, SPW), couverture: Wallonie

Figure II.6: Carte des types de sols (CNSW) - Limbourg-Eupen

- *Sols tourbeux ou tourbières
- *Sols limoneux à drainage naturel favorable
- *Sols limoneux à drainage naturel modéré ou imparfait
- *Sols limoneux à drainage naturel assez pauvre à très pauvre
- *Sols limoneux peu caillouteux à drainage naturel favorable
- Sols limoneux peu caillouteux à drainage naturel principalement modéré à assez pauvre
- Sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuse ou gréseuse et à drainage naturel favorable
- Sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuse ou gréseuse et à drainage naturel modéré à assez pauvre
- Sols limono-caillouteux à charge schisteuse et à drainage naturel principalement favorable
- Sols limono-caillouteux à charge psammitique ou schisto-psammitique et à drainage naturel principalement favorable
- Sols limono-caillouteux à charge calcaire ou contenant du calcaire et à drainage naturel quasi-exclusivement favorable
- *Sols limono-caillouteux à charge de silexite ou de gravier ou de conglomérat et à drainage naturel principalement favorable
- Regroupement de complexes de sols de textures différentes ou sur fortes pentes et de sols de fonds de vallons limoneux ou rocailloux
- Sols artificiels ou non cartographiés

* ces classes, dont la superficie est inférieure à 4% de la surface totale de la carte, sont regroupées en une seule catégorie sur le diagramme circulaire ci-dessous.
Catégorie: autres

Figure II.7: Légende de la carte des types de sols - Limbourg-Eupen

Les figures II.6, II.7 et II.8 illustrent les différents types de sols répertoriés sur la carte Limbourg-Eupen. La carte des sols reflète assez bien la complexité de la géologie locale. Les grandes régions géomorphologiques et structurales sont aisément identifiables. Les sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuse ou gréseuse représentent la classe dominante. Ensuite viennent la charge schisteuse, puis les charges calcaire et psammitique. La nature de cette charge caillouteuse est directement liée à la roche-mère. En effet, on observe que les charges schisto-gréseuses et schisteuses se localisent essentiellement sur les terrains du Cambro-ordovicien et du Dévonien inférieur (plateau des Hautes Fagnes). Les sols à charge calcaire se retrouvent systématiquement au droit des formations carbonatées tant du Carbonifère que du Dévonien. Le plateau des Hautes Fagnes est également caractérisé par des sols tourbeux et des sols à drainage pauvre à assez pauvre.

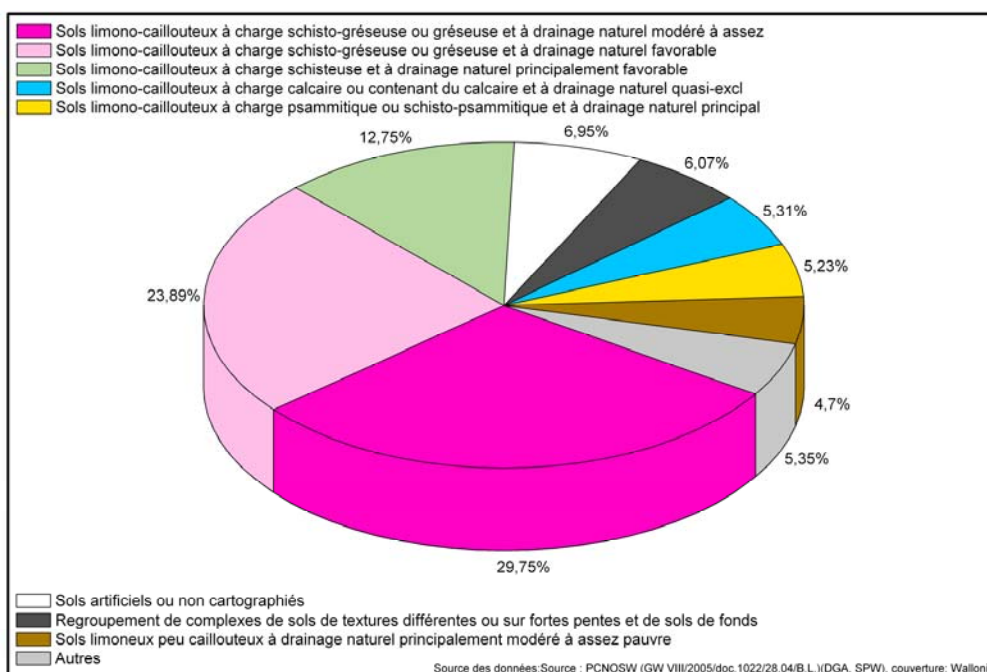


Figure II.8: Répartition des types de sols - Limbourg-Eupen

III. CADRE GEOLOGIQUE

III.1. CARTE GEOLOGIQUE REGIONAL

Le Sud de la Belgique est situé dans la partie occidentale du Massif Schisteux Rhénan. L'Allochtone ardennais, au sud, est charrié sur le Para-autochtone brabançon au nord, par une faille importante et complexe, la Faille du Midi - Faille Eifelienne - Faille d'Aachen. L'allochtone ardennais est composé d'un substratum cambro-silurien sur lequel reposent en discordance des formations sédimentaires dévono-carbonifères. L'axe de l'Anticlinorium de l'Ardenne est matérialisé par l'affleurement des Massifs calédoniens de Rocroi, de Serpont et de Stavelot. Ils séparent le Synclinorium de Neufchâteau-Eifel au sud du Synclinorium de Dinant au nord (Meilliez & Mansy, 1990).

La carte de Limbourg-Eupen se situe à la charnière entre deux grandes unités tectoniques: le Synclinorium de Dinant (son prolongement oriental) et le Massif de Stavelot (figure III.1). Les terrains ont été intensément plissés et faillés par les orogénèses calédoniennes et/ou varisques. Il s'agit d'une région géologiquement complexe avec de nombreuses failles longitudinales de chevauchement qui permettent de subdiviser l'ensemble en unités tectoniques, et des failles transversales, postérieures. La moitié sud-est de la carte expose la partie septentrionale du Massif de Stavelot, avec des roches datées du Cambrien à l'Ordovicien. Dans la moitié nord-ouest, reposent, en discordance sur les précédents, les terrains dévono-carbonifères de plus en plus jeunes vers le NW. Cette zone appartient au prolongement oriental du Synclinorium de Dinant.

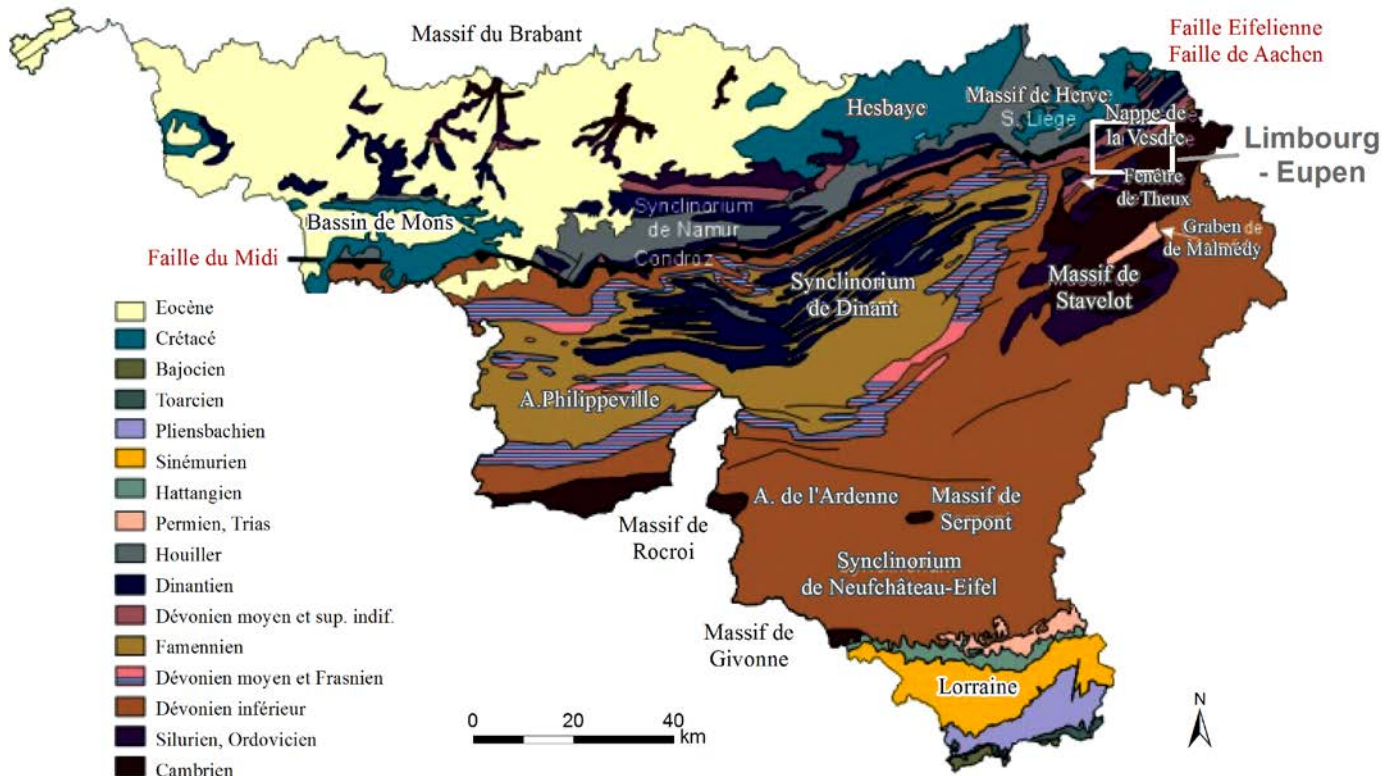


Figure III.1: Carte géologique de la Wallonie (Boulvain & Pingot, 2008; modifiée)

III.2. CARTE GEOLOGIQUE DE LA CARTE

III.2.1. Cadre litho-stratigraphique

La géologie de la carte Limbourg-Eupen est relativement complexe. Au sud-est se trouve le Massif de Stavelot avec des sédiments datés du Cambrien et de l'Ordovicien inférieur. Le nord-ouest de la carte, avec ses roches dévono-carbonifères, se situe dans le prolongement oriental du Synclinorium de Dinant. Ces formations sont surmontées localement par des sables cénozoïques, par des alluvions (anciennes et modernes), par des tourbes et de façon générale par les limons quaternaires. Ces roches sont affectées de nombreuses failles, transversales ou longitudinales de chevauchement.

La description lithologique des formations fait référence à la carte géologique Limbourg-Eupen au 1/25.000, dressée par Laloux *et al.*, éditée en 1996. Cette carte géologique sert de fond à la carte hydrogéologique ; elle a été fournie sous format numérique par le Service Public de Wallonie. Diverses publications du Service Géologique de Belgique ont également été consultées: Godefroid *et al.*, 1994; Bultynck *et al.*, 1991, Boulvain *et al.*, 1999.

III.2.1.1. Formations du Paléozoïque

III.2.1.1.1 Cambrien

Sur la carte Limbourg-Eupen, deux formations sont datées du Cambrien. Elles affleurent dans la partie sud-est de la zone, dans le Massif de Stavelot.

La **Formation de La Venne-Coo (VEN)**, définie en termes de Rv 3-4 (Revinien) par Geukens (1986), est une unité assez hétérogène. La partie supérieure est composée d'une alternance de phyllades noirs et de quartzites gris-vert foncé en bancs épais. La partie moyenne est caractérisée par des bancs très épais de quartzite gris-bleu et des niveaux graveleux. La partie inférieure se différencie par l'abondance de schistes quartzitiques bleuâtres et micacés en bancs bien stratifiés et moins épais que les quartzites de la partie supérieure. On y observe aussi des grès grossiers, des grès fins, des siltites et des phyllades. Epaisseur: > 700 m.

Cette formation est couverte par d'épais matériaux d'altération dont une cartographie est présentée ultérieurement ([III.2.1.3.2 Quaternaire](#)).

La **Formation de La Gleize (GLE)**, anciennement Rv5 (Geukens, 1986), est caractérisée par des phyllades et des quartzophyllades (alternance de grès et de phyllades noirs en lits millimétriques). Il faut aussi noter parfois la présence de nodules dolomitiques au sommet de la formation. Epaisseur: supérieure à 300 m, très variable.

III.2.1.1.2 Ordovicien

Une seule formation représente ce système sur la carte Limbourg-Eupen, il s'agit de la **Formation de Jalhay (JAL)**. Correspondant au Sm1 (Salmien)(Geukens 1986), elle est essentiellement composée de schistes, grès et quartzophyllades vert bleu foncé. Deux membres s'individualisent:

- le *Membre de Solwaster (SLW)*(anciennement Sm1a): quartzophyllades vert bleu foncé, phyllades noirs ou vert bleu, bancs gréseux vers la base. Epaisseur: 200 à 250 m;
- le *Membre de Spa (SPA)*(anciennement Sm1b): quartzophyllades gréseux, à teinte gris bleu foncé et gris verdâtre, avec des niveaux de grès. Epaisseur: ≈ 200 m.

III.2.1.1.3 Dévonien

- Lochkovien (Dévonien inférieur)

Cet étage débute par la **Formation de Marteau (MAR)**, qui est discordante sur le soubassement calédonien. Elle est caractérisée essentiellement par des siltites bordeaux et bigarrées qui alternent avec des grès vert olive ou bigarrés. Dans la partie inférieure, plusieurs barres pluridécimétriques de grès et de quartzites graveleux ont été repérées. De nombreux niveaux incorporent des nodules carbonatés. Dans la vallée de l'Amblève et à Eupen, on observe, à la base de la formation, un conglomérat, le Poudingue de Quarreux. L'épaisseur totale de la Formation de Marteau est estimée entre 160 et 170 m.

Datée du Lochkovien supérieur au Praguien, la **Formation du Bois d'Ausse (BAU)** marquée à la base par des grès grossiers grisâtres grenus, souvent quartzitiques, et par plusieurs niveaux conglomératiques à cailloux de quartz. Les grès grenus kaolineux à galets de shale foncé sont particulièrement caractéristiques. Cette formation à dominante gréso-quartzitique a une puissance de 130 à 250 m.

- Praguien (Dévonien inférieur)

La **Formation d'Acoz (ACO)** est à large dominante de shales, de siltites bordeaux et de grès argileux dans lesquels on retrouve des barres métriques plus gréseuses, voire quartzitiques et souvent de teinte claire. Dans le Massif de la Vesdre, son épaisseur est très variable selon le niveau d'érosion atteint avant le dépôt du Conglomérat de Vicht. Dans la région d'Eupen, elle est de l'ordre de 250 m.

- Eifelien (Dévonien moyen)

Le sommet du Praguien, l'Emsien et la base de l'Eifelien sont caractérisés par une importante lacune stratigraphique. Ainsi la **Formation de Vicht (VIC)** marque le retour de la sédimentation du Dévonien moyen. Elle est composée d'un conglomérat à éléments ovaire à pugilaires de quartz et de quartzite avec localement des bancs lenticulaires de grès. Son épaisseur varie de quelques mètres à 21 m.

La coupe-type de la **Formation de Pépinster (PER)**, datée de l'Eifelien supérieur-Givetien, est localisée sur la carte voisine Fléron-Verviers. Elle englobe la série terrigène depuis le Conglomérat de Vicht jusqu'aux calcaires givetiens (Formation de Névremont). Son épaisseur est de 95 à 97 m. On y observe de bas en haut:

- 1,5 m de siltites vertes, bigarrées au sommet;
- 10 à 12 m de siltites rouges à nodules de carbonates et de barite, avec localement des grès fins très argileux, grisâtres à rouges;
- 24 m de grès verts qui englobent trois niveaux conglomératiques dans les 7,5 m de la base; le niveau supérieur est carbonaté et fossilifère (Membre d'Heusy);
- 60 m de shales et siltites et de grès fins, de teinte rougeâtre dominante. Vers le sommet, le faciès carbonaté fossilifère s'installe (annonçant la formation sus-jacente).

Le faciès gréseux du Membre d'Heusy est surtout développé au sud de la faille d'Oe, avec un caractère graveleux et kaolineux de plus en plus marqué vers l'est. Au nord de cette faille, on observera davantage des conglomérats et des grès blanchâtres graveleux et kaolineux. Au nord de la faille, l'épaisseur des terrains varie entre 65-75 m à Stembert et plus de 250 m à Membach.

- Givetien (Dévonien moyen)

La Formation de Névremont (NEV) est composée à la base de calcaires fins gris clair, laminaires, parfois dolomités à des degrés divers, puis de calcaires organoclastiques. La puissance de la formation est comprise entre 40 et 60 m.

Lui succède la **Formation de Roux (ROU)** dont l'épaisseur croît d'ouest en est (45 m à 90 m). Sa base est souvent marquée, sur une épaisseur de quelques mètres, par des grès micacés feldspathiques ou par des shales. Le corps de la formation est composé de dolomie finement à grossièrement recristallisée et de calcaire dolomitisé. Quelques intercalations récifales sont également observées. Dans la région de Goé, ce niveau de calcaires alternant avec de la dolomie en petits bancs atteint environ 40 m d'épaisseur.

- Frasnien (Dévonien supérieur)

Cet étage débute par les **Formations de Presles et de Nismes**, horizons argileux peu épais qui se relaient latéralement sur la carte Limbourg-Eupen. La Formation de Nismes est essentiellement schisteuse (shales) avec quelques niveaux carbonatés. La Formation de Presles est plus argileuse caractérisée par un développement important des calcaires argileux et de dolomies, souvent imprégnés d'hématite oolithique. Vu leur trop faible épaisseur (4 à 11 m), elles sont cartographiées avec la Formation de Lustin sus-jacente.

La **Formation de Lustin (LUS)** est essentiellement calcaire: calcaire crinoïdique, dolomie, calcaire massif, calcaire stratifié, calcaire fin. Dans la Nappe de la Vesdre, cette formation s'épaissit régulièrement d'ouest en est. Sur cette carte, l'épaisseur varie de ± 80 m à 140 m.

Ensuite, la **Formation d'Aisemont (AIS)** se distingue de la précédente par l'importance de la fraction terrigène argileuse. Deux niveaux calcaires biostromaux encadrent une unité schisteuse plus ou moins carbonatée. Son épaisseur est comprise entre 80 et 100 m.

La **Formation de Lambermont (LAM)** clôture cet étage. La coupe-type se situe sur la carte voisine de Fléron-Verviers dans la bretelle d'autoroute à Lambermont. Cette formation est essentiellement composée de schistes (shales), de schistes noduleux à grands brachiopodes, de schistes (shales et siltites) finement micacés à lits de nodules calcaires à brachiopodes, à lits plus ou moins continus de calcaire argileux ou de schistes noirs. Le sommet de la formation est caractérisé par un complexe de calcaires bigarrés. L'épaisseur de cette formation, dans la région de Limbourg-Eupen est d'environ 110-120 m.

- Famennien (Dévonien supérieur)

La **Formation d'Hodimont (HOD)** est composée de siltites micacées, gris verdâtres, en bancs décimétriques à pluridécimétriques, avec localement des nombreux nodules calcaires décimétriques et plusieurs niveaux d'hématite oolithique. Sa puissance est d'environ 110 à 120 m.

Dans le coin sud-ouest de la carte, cette formation est regroupée avec les deux formations sous-jacentes (Formations de Lambermont et d'Aisemont).

La **Formation d'Esneux (ESN)** est caractérisée par une succession rythmique, en bancs d'épaisseur relativement constante (pluricentimétriques à décimétriques), de grès fins plus ou moins argileux, peu micacés, gris olive, séparés par des joints argileux minces. Son épaisseur est très variable, Elle peut être estimée à 170 m maximum en considérant l'enveloppe du plissement.

La **Formation de Souverain-Pré (SVP)** marque un arrêt provisoire de la sédimentation terrigène du Famennien au profit d'un épisode carbonaté. Elle est constituée de grès fins ou de siltites argileuses où s'intercalent des nodules pluricentimétriques de calcaire fin, crinoïdique, gris bleuté. Son épaisseur maximale est d'une centaine de mètres.

Dans la région de Limbourg-Eupen, cette formation est, en outre, caractérisée par le développement du **Membre de Baelen (BAE)**. Appelé aussi le "Marbre rouge de Baelen", cet épisode calcaire est analogue à un "monticule récifal", sorte de masse construite lenticulaire (monticule micritique). Il s'agit de calcaires fins, relativement purs, en bancs massifs, rubéfiés et fréquemment entrelardés de lentilles de calcaires grossiers, plus clairs, à crinoïdes. Cet ensemble est enrobé de calcaires hétérogènes et argileux, de calcaires noduleux gréseux et de grès carbonatés micacés. Son épaisseur, très variable suivant le faciès rencontré, est estimée entre 20 et 150 m.

Les **Formations de Montfort-Evieux (ME)** sont cartographiées ensemble sur la carte Limbourg-Eupen. Il s'agit d'un ensemble détritique terrigène, formé d'une alternance de grès micacés et feldspathiques, de grès carbonatés, de shales et de siltites. On note la présence de nodules carbonatés et dans la partie supérieure une prédominance des phases argileuses et carbonatées. L'épaisseur varie entre 350 et 450 m.

La **Formation de Dolhain (DOL)** clôture cet étage par une alternance d'épisodes carbonatés ou biostromes (3 épisodes), et de shales et siltites micacés avec de fines lamines gréseuses. Son épaisseur est comprise entre 30 et 40 m.

III.2.1.1.4 Carbonifère

La sédimentation carbonatée du Carbonifère commence avec le Tournaisien, ensuite lui succèdent les formations du Viséen et du Namurien.

- Tournaisien

Le **Groupe de Bilstain (BIL)**, composé de plusieurs formations, s'étend de l'Hastarien à l'Ivorien. Son épaisseur maximum totale est estimée à 175 m.

Formation d'Hastière (HAS) : calcaires moyens à grossiers, calcaires plus argileux au sommet (épaisseur : ± 7 m);

Formation de Pont d'Arcole (PDA) : shales, calcschistes avec des nodules calcaires, au sommet bancs de calcaires (épaisseur : ± 7 m);

Formation de Landelies (LAN) : calcaires crinoïdiques, argileux puis dolomités au sommet. De nombreux nodules de calcite blanche caractérisent la partie supérieure (épaisseur : 7 à 10 m);

Formation des Dolomies de la Vesdre (VES) : dolomies et calcaires dolomités avec plusieurs niveaux de cherts, de nodules siliceux, de nodules de calcite, dolomite et quartz. La partie inférieure de la formation est définie par des dolomies grossièrement recristallisées en bancs épais à massifs. Le sommet de la formation est marqué par le *Membre de Walhorn*, une brèche dolomitique. L'épaisseur totale de cette formation est estimée à 150 m maximum.

Les trois premières formations étant très peu épaisses, elles ont été regroupées cartographiquement avec la Formation des Dolomies de la Vesdre. Ainsi, le Groupe de Bilstain affleure sur toute l'étendue de la Nappe de la Vesdre.

- Viséen

Le **Groupe du Bay-Bonnet (BBN)** appartient à l'étage Moliniacien et englobe plusieurs formations, trop minces ou difficilement distinguables pour être cartographiées séparément:

Formation de la Brèche de la Belle-Roche (BBR): brèche sédimentaire calcaire, conglomérat à la base (épaisseur très variable, entre 20 et 40 m);

Formation de Terwagne (TER): calcaires fins à grossiers en bancs minces à très épais. Son épaisseur est comprise entre 20 et 25 m;

Formation de Moha (MOH): calcaires moyens à grossiers, généralement oolithiques et bioclastiques (épaisseur : de 30 à 40 m).

Le **Groupe de Jusleville (JUS)**, d'âge Livien, rassemble quatre formations: Lives, Seilles, Thon-Samson et Ronde-Haie. Ces deux dernières n'affleurent pas sur la carte Limbourg-Eupen. La Formation de Seilles n'a été pas été formellement reconnue sur la carte. Sa présence a été déduite de l'établissement des coupes géologiques.

Formation de Lives (LIV): calcaires, gris sombre, avec nombreux joints argileux et nodules de cherts, niveau conglomératique de blocs de calcaires dans une matrice argileuse ocre orange (épaisseur entre 75 et 90 m). La formation comprend trois membres: le *Membre de Haut-le-Wastia*, le *Membre de Corphalie*, le *Membre des Awirs*.

Formation de Seilles (SEI): calcaires organoclastiques, oolithiques, fins et algaires. Son épaisseur est comprise entre 80 et 90 m.

- Namurien

Le **Groupe du Houiller (HOU)** est composé d'une succession de shales et de siltites avec des intercalations de lits de grès, de quartzites et de niveaux conglomératiques. Localement, on observe des concrétions lenticulaires de carbonates de fer. De nombreuses couches de houille ont été jadis l'objet de l'exploitation minière (jusqu'en 1974). L'épaisseur du Houiller dans la région étudiée est estimée à plus de 1300 m. Aucun affleurement n'a été observé sur la carte Limbourg-Eupen. La présence de ces terrains, sous la couverture limoneuse, est connue grâce à divers travaux d'excavation. Les schistes houillers occupent une très petite surface dans le coin nord-ouest de la carte.

Au sommet du socle paléozoïque, se trouve généralement une couche d'épaisseur variable (5 à 30 m), formée d'argiles compactes de couleurs variables selon la lithologie du socle sous-jacent. Cette argile est un produit de l'altération développée sur une ancienne pénéplaine établie durant la période pré-santonienne et post-hercynienne.

Le contact entre les calcaires du Viséen et les schistes et grès du Namurien est une surface, souvent, intensément karstifiée (paléokarsts dans les calcaires remplis de sédiments namuriens).

III.2.1.2. Formations du Mésozoïque

Les terrains tabulaires du Mésozoïque reposent en discordance sur les terrains du Paléozoïque. Ils présentent un pendage NNW de quelques degrés. Un seul système est représenté, le Crétacé. Les dépôts du Trias et du Jurassique érodés ou non sédimentés localement constituent un important hiatus stratigraphique. Sur la carte Limbourg-Eupen, seuls quelques petits lambeaux résiduels sont observés.

III.2.1.2.1 Crétacé

La **Formation de Vaals (VAA)** est caractérisée par des argiles carbonatées ou marnes, gris bleu à gris verdâtre, à glauconie, avec localement la présence de nodules indurés. Trois petits sites sont indiqués sur la carte étudiée (superficie totale: < 1 hectare), à l'est de Stembert, le long de la route qui mène à Hévremont.

III.2.1.3. Formations du Cénozoïque

III.2.1.3.1 Paléogène

Sur la planche Limbourg-Eupen, l'Oligocène (série du Paléogène) est composé par les **dépôts sableux (SBL)** qui sont constitués de sables et d'argiles de couleurs et de natures variées. Ils comblent généralement les nombreuses dépressions situées sur le substratum calcaire, dans le nord-ouest de la carte.

III.2.1.3.2 Quaternaire

Les **dépôts tourbeux (TRB)** sont généralement constitués par les tourbières à sphaignes. Les dépôts les plus anciens ont été datés à 12170 ± 90 ans BP dans la Konnerzvenn (Pissart & Juvigné, 1980). Le tracé de ces dépôts reporté sur la carte géologique a été extrait des cartes pédologiques Limbourg et Eupen (Pahaut & Oldenhove de Guertechin, 1961, 1962).

Les **alluvions anciennes (ALA)**, lambeaux alluvionnaires anciens, sont composées de graviers, de limons à galets et de sables. Quelques terrasses fluviales ont été repérées dans les vallées de la Vesdre, de la Helle et de la Gileppe (tracé non exhaustif). Il n'est pas toujours aisé de distinguer ces dépôts anciens des alluvions modernes.

Les **alluvions modernes (AMO)** sont constituées de limons argileux, de silts, de sables et de graviers. Elles occupent le fond des vallées, leur épaisseur est assez faible (2 à 5 m).

Les formations quaternaires sont aussi représentées par le **loess** (limon d'origine éolienne), les **éboulis**, les **dépôts de pente** (colluvion),.... Leur épaisseur est variable, moins importante sur les pentes raides par rapport aux pentes douces et aux plateaux. Ces dépôts sont en général présents sur toute la superficie de la carte.

Sur le Massif de Stavelot, la présence d'accumulations pierreuses est observée (figure III.2). L'origine de ces dépôts formés de blocs et de débris de roches est encore mal connue (Pissart, 1995).

Sur environ 90 % de la zone occupée par la Formation de La Venne-Coo, on observe des matériaux épais d'altération marqués par la présence de nombreux blocs de quartzite (produits de désagrégation du substrat mélangés à des limons éoliens). Afin de ne pas surcharger la carte hydrogéologique, ils n'y sont pas repris. Ils sont présentés à la figure III.2.

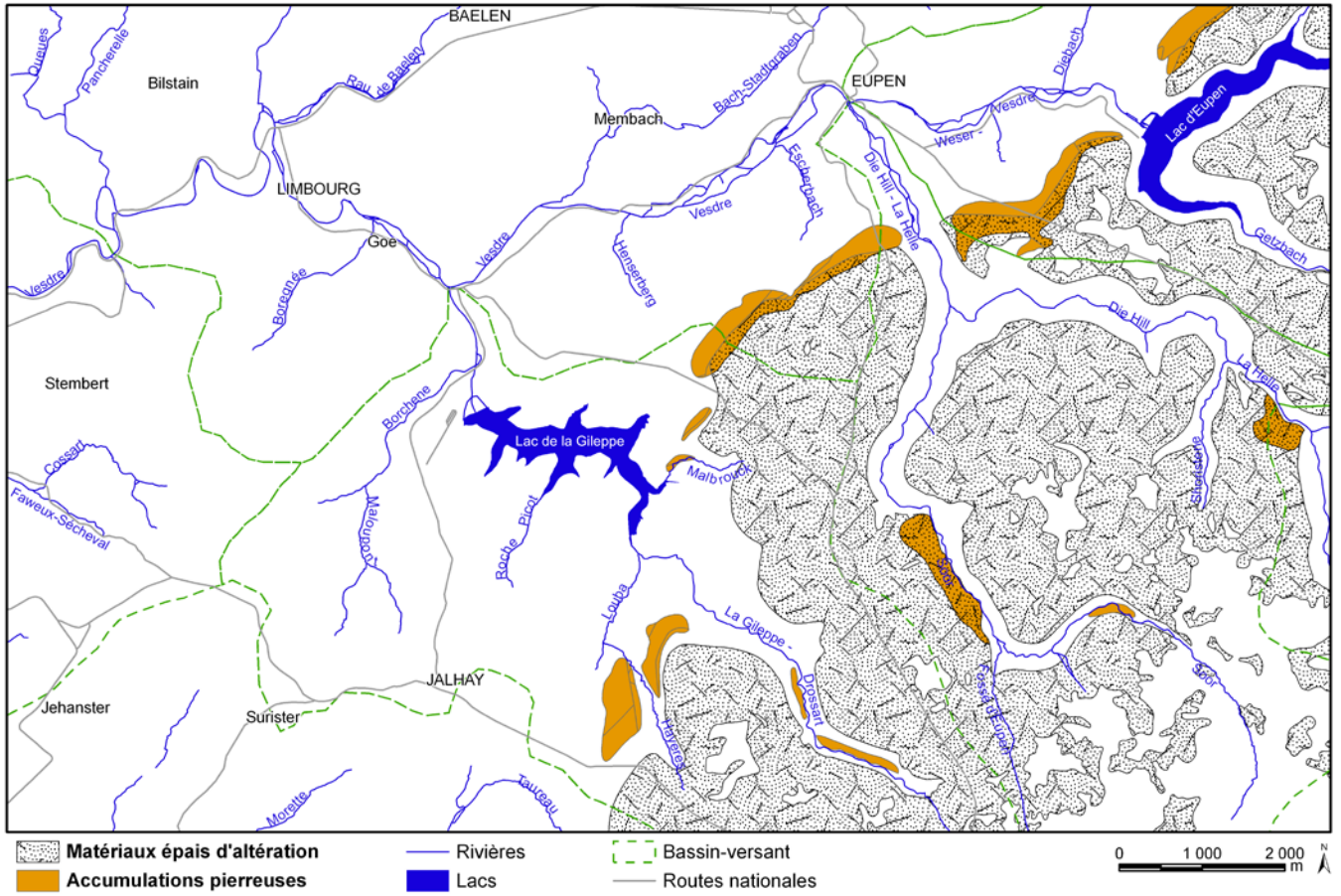


Figure III.2: Matériaux épais d'altération et accumulations pierreuses sur la carte Limbourg-Eupen

III.2.2. Cadre structural

La région de Limbourg-Eupen est caractérisée par un style structural particulièrement complexe. La moitié nord-ouest de cette carte est source de nombreuses controverses dont les principaux éléments et l'historique ont été détaillés par Laloux *et al.* (1996; 1997), Hance *et al.* (1999). Ces considérations sortent du cadre de ce travail et nous invitons le lecteur à consulter ces références pour plus de détails.

D'un point de vue structural, la carte Limbourg-Eupen est partagée en deux entités principales. De part et d'autre d'une diagonale orientée NE-SW, se trouvent le prolongement oriental du Synclinorium de Dinant au nord-ouest et le Massif de Stavelot au sud-est (figure III.3).

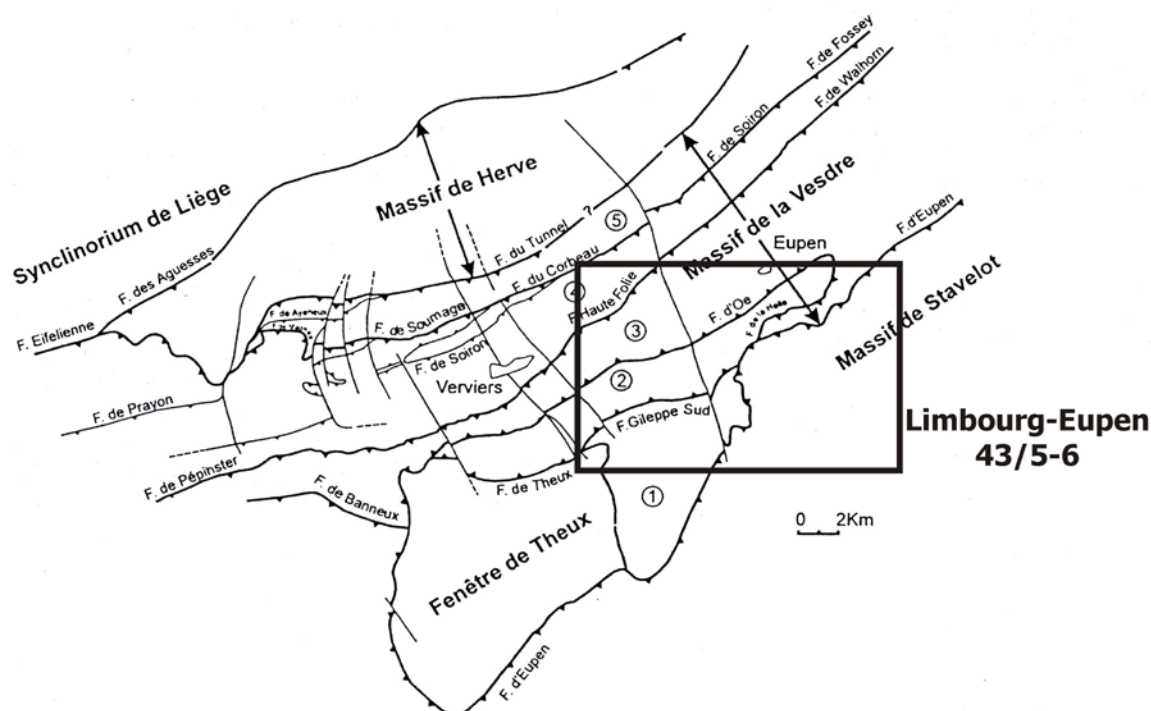


Figure III.3: Carte structurale schématique de l'Est de la Belgique avec indication des unités structurales de la Nappe de la Vesdre: 1. Unité de Jalhay; 2. Unité de la Gileppe; 3. Unité de Goé; 4. Unité de Forêt-Andrimont; 5. Unité du Tunnel (Laloux *et al.*, 1997)

Les terrains paléozoïques sont intensément plissés et fracturés. Les plis sont généralement plus ou moins déjetés à déversés vers le N-NW. Deux grands types de failles sont répertoriés:

- les failles de chevauchement longitudinales, subparallèles au plissement et issues de la phase de la compression varisque, mettent en contact anormal des unités stratigraphiques distinctes. L'ensemble de la carte peut être subdivisé en grandes unités structurales limitées par les failles longitudinales majeures, elles-mêmes subdivisées en plusieurs sous-unités.
- les failles transversales, orientées NNW-SSE et parallèles à la direction des diaclases principales relevées dans toutes les formations, découpent les structures précédentes. Elles sont liées au système d'effondrement du graben du Rhin- Roermond (régime de distension).

- Elles découpent l'ensemble des structures en une succession de horsts et de grabens. Les failles cartographiées représentent très mal la densité réelle des failles appartenant à cette catégorie. Des études détaillées montrent qu'elles sont très nombreuses bien que leur faible rejet ne permette pas leur représentation cartographique. Il est également important de noter qu'une ligne de faille figurée sur la carte peut être en réalité, non pas une cassure unique, mais une zone failleuse (Laloux *et al.*, 1996).

Ces plis, failles, diaclases jouent un rôle important dans l'hydrogéologie régionale puisqu'ils correspondent soit à des zones d'écoulement préférentiel des eaux souterraines, soit à des zones moins perméables (formant des écrans ou des seuils hydrogéologiques).

Les trois grandes unités structurales présentes sur la carte Limbourg-Eupen sont, d'ouest en est (figures III.3 & III.4):

- la Fenêtre de Theux, circonscrite par la Faille de Theux,
- la Nappe de la Vesdre (Massif de la Vesdre anct.), limitée au nord par la Faille du Tunnel et au sud par la Faille d'Eupen (Laloux *et al.*, 1996; Hance *et al.*, 1999),
- le Massif de Stavelot.

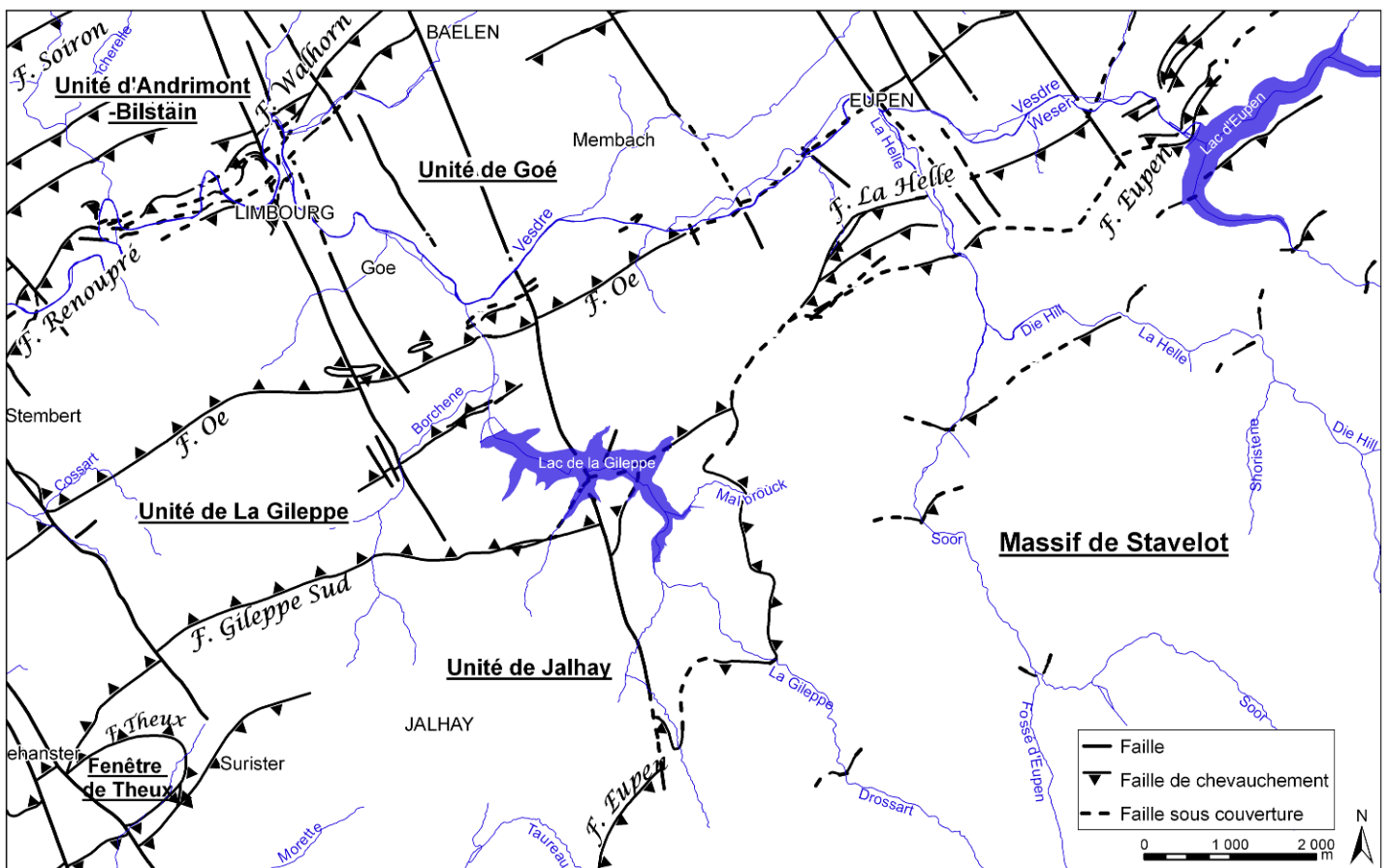
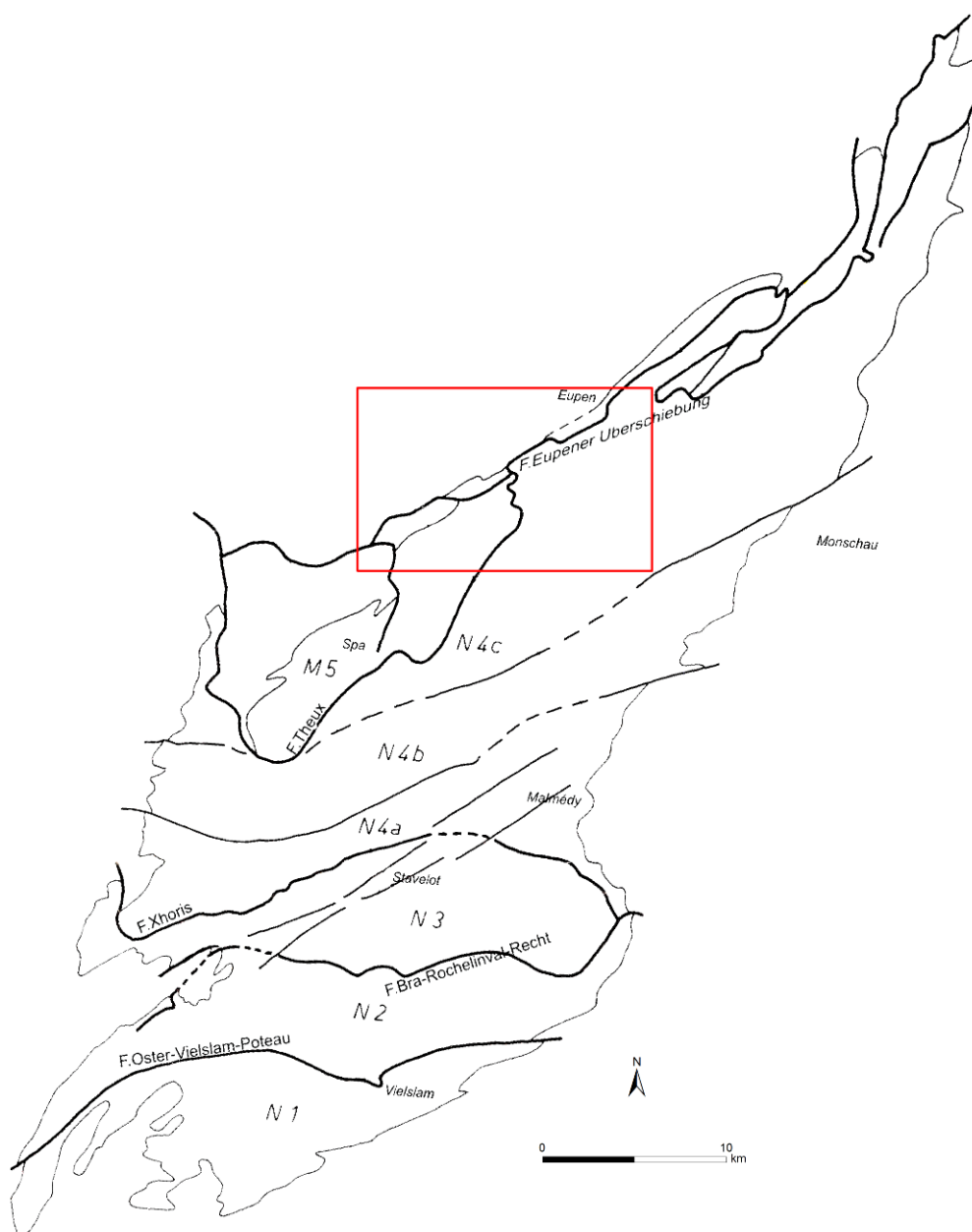


Figure III.4: Cadre structural de la carte Limbourg-Eupen

Le *Massif de Stavelot*, composé de roches datées du Cambrien à l'Ordovicien et affectées par les orogènes calédoniennes et varisques, forme un anticlinorium déversé vers le NW et aux flancs intensément déformés et faillés. Plusieurs failles le traversent d'ouest en est (figure III.5). Les plus importantes ont permis de le subdiviser en une série de 4 nappes de charriage (Geukens, 1986 & 1999). La partie sud-est de la carte est située dans la partie septentrionale du Massif de Stavelot, plus précisément dans la nappe N4 définie par Geukens. Le Massif de Stavelot est limité au nord par la faille de charriage d'Eupen, à pente sud (inclinaison: 10° à 40°). Cette faille met en contact anormal les terrains cambriens, au sud, avec les terrains ordoviciens (au nord-ouest) et les terrains dévoniens (au nord). Dans le Massif de Stavelot, de nombreuses fractures (N50E à N60E) associées à des plis aigus à fermés, souvent isoclinaux, sont observées.



La *Nappe de la Vesdre* (Massif de la Vesdre anc.), qui occupe la moitié nord-ouest de la carte étudiée, est limitée au sud par les Failles de Theux et d'Eupen, et au nord par la Faille du Tunnel

(hors carte) (Laloux *et al.*, 1996; Laloux *et al.*, 1997; Hance *et al.*, 1999). Cette unité est subdivisée en cinq sous-unités, limitées par des failles de chevauchement majeures (figures III.3 & III.4):

- l'Unité de Jalhay (unité 1): elle est limitée au sud par l'importante faille de charriage d'Eupen (à pendage sud). Les failles de Theux et de La Gileppe sud en délimitent, respectivement, les frontières ouest et nord. La faille de La Gileppe, faille de charriage à pente nord, met en contact anormal les terrains ordoviciens avec les formations du Dévonien inférieur;
- l'Unité de la Gileppe (unité 2): cette unité est limitée au sud par la Faille de La Gileppe sud et au nord par la Faille d'Oe à pente nord;
- l'Unité de Goé (unité 3): cette unité est limitée à sa base par un chevauchement dont la trace au sud correspond à la Faille d'Oe et, au nord par une faille à pente sud nommée, suivant les tronçons, Walhorn, Renoupré, Haute-Folie et Pépinster. Elle est caractérisée par deux grands synclinaux, Goé et Baelen;
- l'Unité de Forêt-Andrimont-Bilstain (unité 4): cette unité est encadrée, au sud, par les Failles de Walhorn, Renoupré, Pépinster et, au nord, par une faille à pente sud nommée, suivant les tronçons, Magnée, Soumagne, Corbeau, Soiron;
- l'Unité du Tunnel (unité 5): unité frontale du Massif de la Vesdre, elle est comprise entre la Faille de Magnée-Soumagne-Corbeau-Soiron et la faille du Tunnel au nord (hors carte). Elle affleure très peu sur la carte Limbourg-Eupen (coin NW).

La *Fenêtre de Theux*, dont seule l'extrémité NE affleure sur la carte Limbourg-Eupen, est une fenêtre tectonique ouverte par l'érosion dans la nappe de charriage de la Vesdre. Elle est circonscrite par la Faille de Theux. Cette fenêtre montre un ensemble dévono-carbonifère aux couches retournées, dessinant un antiforme synclinal à cœur houiller complexe (Laloux *et al.*, 1997).

III.2.3. Gisements métallifères Plomb-Zinc

En Belgique, trois districts métallogéniques plomb-zinc sont reconnus: le Synclinorium de Namur, le Synclinorium de Dinant, le Synclinorium de l'Eifel (district de l'Ardenne).

Les ressources minérales plombo-zincifères les plus importantes et par le fait, les plus exploitées sont celles localisées approximativement au nord le long de la Meuse et dans le massif de la Vesdre, depuis Namur jusqu'à la frontière allemande. Les autres zones sont moins riches et les gisements sont moins bien conservés (érosion intense).

Pour les gisements métallifères de la Nappe de la Vesdre ("Synclinorium de Verviers"), cette minéralisation Pb-Zn s'est développée, principalement, dans les failles transversales. Ces filons sont surmontés d'une ou plusieurs poches de minerais et s'amincissent rapidement en profondeur. Ces poches sont formées à la faveur de contacts stratigraphiques et/ou tectoniques. Tantôt ces contacts seront entre les calcaires carbonifères et les schistes du Houiller, ou parfois les grès du Famennien, tantôt il s'agit de contacts calcaire-dolomie.

Les premières traces d'exploitation de ces ressources minérales datent de l'époque romaine, mais l'apogée de l'exploitation a eu lieu au cours du 19^{ième} siècle. Les mines du Groupe de la Vesdre sont nettement moins importantes que celles du centre minier de Moresnet-Bleyberg (carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar). La plupart des mines de la Vesdre sont inactives depuis 1871 (Dewez *et al.*, 1947). Les minerais extraits de ces mines étaient principalement la calamine ($ZnCO_3$), la sphalérite ou blende (ZnS), la galène (PbS) et la pyrite ou marcassite (FeS_2).

Il y a peu de gisements Pb-Zn réellement importants sur la carte Limbourg-Eupen, on peut néanmoins citer ceux de Concordia et Mager/Meger à Eupen, ceux de Honthem et de Membach, pour les principaux.

Les eaux souterraines issues des formations du Paléozoïque se chargent, au contact de ces filons, en zinc, plomb et fer et peuvent nécessiter, dans certains cas, des traitements adéquats.

Pour plus d'informations sur les gisements métallifères : Dejonghe & Jans (1983), Dejonghe *et al.* (1993), Dewez *et al.* (1947), ainsi que la notice explicative de la carte géologique de Limbourg-Eupen (Laloux *et al.*, 1996).

IV. CADRE HYDROGEOLOGIQUE

Géologiquement complexe, la carte Limbourg-Eupen l'est également d'un point de vue hydrogéologique. La lithologie très variée des terrains rencontrés et les nombreuses failles, tant longitudinales que transversales, rendent l'étude de la ressource en eaux souterraines particulièrement intéressante. Bien que ces terrains présentent certaines potentialités aquifères, la région de Limbourg-Eupen est plus connue pour ses deux grands sites de production d'eau potabilisable à partir d'eau de surface que sont les barrages-réservoirs d'Eupen et de La Gilleppe. En outre, plus de la moitié de la carte est occupée par des forêts où très peu d'ouvrages de prise d'eau sont recensés (plateau des Hautes-Fagnes).

Les formations géologiques sont regroupées 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 imperméable d'un ensemble de couches géologiques. Elles donnent une idée du potentiel économique que représentent les différentes unités hydrogéologiques en termes d'exploitation. 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 possible qu'une même formation soit définie en terme d'aquifère sur une carte et en terme d'aquitard sur une autre carte (raisonnement par carte).

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 donc 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 Limbourg-Eupen sont décrites ci-dessous dans l'ordre stratigraphique. Elles sont reprises de manière synthétique en fin de chapitre (tableau IV.1).

IV.1.1. Unités hydrogéologiques du Cambro-ordovicien

IV.1.1.1. Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien

Sur la carte Limbourg-Eupen, cette unité hydrogéologique ne comprend qu'une seule formation, la Formation de la Venne-Coo. Elle occupe les trois-quarts de la superficie de la planchette d'Eupen. Elle est caractérisée par une lithologie hétérogène (schistes et quartzites). Les bancs de quartzites, surtout lorsqu'ils sont faillés, facilitent l'écoulement de l'eau par rapport aux horizons phylladeux nettement moins perméables. Les couches quartzitiques constituent donc des niveaux aquifères dans cette masse globalement aquiclude.

Cette formation géologique présente, ici, la particularité d'être recouverte par des matériaux épais d'altération, formés d'un mélange de produits de désagrégation du substrat et de limons éoliens (argiles, limons et sables dans des proportions variées avec un contenu variable en éléments grossiers, altérites, silex). Cette couverture peut modifier localement le comportement hydrogéologique (retard à l'infiltration au droit des zones plus argileuses et développement de zones humides, épaisseur de l'aquifère logé dans le manteau d'altération augmenté...).

IV.1.1.2. Aquiclude à niveaux aquitards du socle cambro-silurien

Cette unité hydrogéologique est composée par la Formation de La Gleize, affleurant un peu dans le centre de la carte Limbourg-Eupen. Cette formation géologique regroupe une succession verticale de couches de phyllades purs ou bien mélangés avec des quartzophyllades. Puisque les phyllades sont le principal constituant de cette formation, la caractéristique hydrodynamique globale de cette unité est peu favorable à l'écoulement. Les quartzophyllades fracturés, facilitant le mouvement de l'eau, constituent des niveaux aquitards.

IV.1.1.3. Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien

La Formation de Jalhay, unique formation géologique de cette unité hydrogéologique, est composée de quartzophyllades, de grès ou bien d'un mélange des deux. Les quartzophyllades, géologie dominante de cette formation, constituent un environnement moyennement perméable à l'eau. Cependant, les bancs gréseux peuvent constituer des couches préférentielles d'écoulement, zones plus perméables localement exploitables. Cette unité hydrogéologique affleure essentiellement dans la moitié sud-ouest de la carte.

IV.1.2. Unités hydrogéologiques du Dévonien

IV.1.2.1. Aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur

Cette unité hydrogéologique, regroupant la Formation de Marteau et la Formation d'Acoz, est caractérisée par des quartzites, généralement micacés, parfois psammitiques au sein de schistes gréseux et siltites. Ces niveaux quartzitiques, fissurés et fracturés, présentent des potentialités aquifères intéressantes à l'échelle locale, justifiant son appellation en termes d'aquitard à niveaux aquifères.

IV.1.2.2. Aquifère à niveaux aquicludes du Dévonien inférieur

Cette unité hydrogéologique est représentée, sur la carte étudiée, par la Formation du Bois d'Ausse, à dominante nettement gréso-quartzitique. Ces barres gréseuses, pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur, renferment localement de minces intercalaires de shales et des niveaux de grès argileux ou de siltites. Cette lithologie, marquée par les grès, justifie l'appellation de l'unité en tant qu'aquifère à niveaux aquicludes.

IV.1.2.3. Aquitard de l'Eifelien

Sont reprises sous l'appellation "Aquitard de l'Eifelien" les Formations de Vicht et de Pépinster, bien que cette dernière soit également datée du Givetien. Leur lithologie est dominée par les shales et siltites avec des niveaux conglomératiques et des bancs de grès. 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.1.2.4. Aquifères des calcaires du Givetien et du Frasnien

Les formations carbonatées du Dévonien 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 représenté par la Formation de Lustin. L'aquifère des calcaires du Givetien est composé des Formations de Névremont et de Roux. Ces deux unités hydrogéologiques sont séparées par un mince aquitard-aquiclude (Formations de Presles-Nismes). Ce niveau moins perméable n'a pu être cartographié vu sa faible épaisseur. Les roches carbonatées du Givetien forment un important système aquifère où la circulation des eaux souterraines peut être localement réduite en présence des passées plus schisteuses dans la Formation de Roux.

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.

Au sein de la Fenêtre de Theux (coin sud-ouest de la carte), ces formations carbonatées n'ont pas été distinguées cartographiquement. Dès lors, une unité hydrogéologique unique regroupe ces

deux entités: Aquifère des calcaires du Frasnien-Givetien. Cependant, la présence de niveaux moins perméables (car plus argileux) va réduire, localement, la perméabilité de l'ensemble.

IV.1.2.5. Aquitard du Famennien-Frasnien

Les Formations de Souverain-Pré, d'Esneux et d'Hodimont (Famennien) constituent un niveau aquitard. Ces formations alternant les grès et grès micacés avec des horizons schisteux et schisto-gréseux peuvent présenter des potentialités intéressantes mais locales, lorsque le degré d'altération et de fissuration le permet. La Formation de Souverain-Pré comprend de nombreux nodules calcaires. Ce niveau carbonaté parmi la série de terrains silto-gréseux du Famennien supérieur est souvent marqué par une ligne de sources et des zones plus marécageuses.

Les Formations d'Aisemont et de Lambermont (Frasnien) sont également caractérisées en tant qu'aquitard vu leur lithologie (siltites, grès argileux, calcschistes). Au sommet de la Formation d'Aisemont et dans celle de Lambermont, des niveaux plus carbonatés sont observés, pouvant présenter localement des potentialités aquifères.

Ces formations géologiques en continuité géographique ont été regroupées en une seule unité hydrogéologique sur la carte étudiée.

IV.1.2.6. Aquifère de Baelen

Au sein de l'unité hydrogéologique précédente, nettement schisto-gréseuse, s'intercale un faciès calcaire, le Membre de Baelen (Formation de Souverain-Pré). Cet épisode calcaire particulier, analogue à un monticule micritique, n'existe que dans la région de Goé-Dolhain-Limbourg. Il constitue une unité hydrogéologique à part entière: l'aquifère calcaire de Baelen.

IV.1.2.7. Aquifère des grès du Famennien

Le regroupement Montfort-Evieux, formé principalement de grès micacés et de grès quartzitiques, peut 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.

La Formation de Dolhain, bien que caractérisée par des épisodes carbonatés et par des intercalations de shales et siltites, 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, les zones de fracturation transversale aux couches.

IV.1.3. Unités hydrogéologiques du Carbonifère

IV.1.3.1. Aquifère – Aquitard – Aquiclude de l'Hastarien

Etant donné le regroupement cartographique des Formations du Tournaisien (Groupe de Bilstain), sur la carte Limbourg-Eupen, une unité hydrogéologique globale et aux propriétés très variables a été définie pour cette série. Vu l'hétérogénéité des caractères hydrogéologiques de ces formations, cette unité est nommée 'Aquifère-Aquitard-Aquiclude de l'Hastarien'.

La Formation d'Hastière peut être considérée comme aquifère. En effet, composée de calcaires avec quelques niveaux de calcaires argileux, elle est caractérisée par une conductivité hydraulique et une porosité de fissures moyennes. Cette formation est intercalée entre les couches schisto-gréseuses du Famennien supérieur et les shales de la Formation de Pont d'Arcole. L'extension de ce niveau aquifère est limitée en raison de sa faible épaisseur et de la présence d'un toit peu perméable.

La Formation de Pont d'Arcole, composée de schistes et de shales, constitue un seuil hydrogéologique au sein de l'aquifère des calcaires carbonifères (pris dans sa globalité). Cet aquiclude forme un niveau peu perméable isolant l'aquifère de la Formation d'Hastière des autres unités hydrogéologiques calcaires du Carbonifère.

Les Formations de Landelies et des Dolomies de la Vesdre, à dominante carbonatée, sont aquifères. Hydrogéologiquement, elles forment un continuum avec l'aquifère logé dans les terrains du Viséen. Cependant, puisque cartographiquement elles ont été regroupées dans le Groupe de Bilstain, elles sont intégrées à l'unité hydrogéologique dénommée 'Aquifère-Aquitard-Aquiclude de l'Hastarien'.

IV.1.3.2. Aquifère des calcaires du Carbonifère

Les calcaires du Tournaisien et du Viséen (de Landelies à Ronde-Haie) forment un aquifère de fissures, pouvant être localement karstifié, comme en témoignent les phénomènes karstiques observés dans la région. Les calcaires viséens, globalement plus purs que les calcaires tournaisiens, sont souvent plus karstifiés. En raison du regroupement cartographique des formations du Tournaisien en un seul groupe, l'unité hydrogéologique 'Aquifère des calcaires du Carbonifère' sensu stricto ne comprend, sur la carte étudiée, que les formations du Viséen.

La nappe des calcaires carbonifères est sur-alimentée par le débordement de la nappe des grès du Famennien. Les eaux des grès du Famennien décalcifiés 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.

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 nombreuses pertes. L'eau de ces pertes a pour origine, d'une part les sources de débordement de la nappe des grès du Famennien au contact avec les schistes de la base du Tournaisien, d'autre part le ruissellement sur les terrains schisto-gréseux du Famennien (Meus, 1993).

Le contexte tectonique très accidenté de la région étudiée (nombreuses failles de chevauchement et failles transversales) va permettre des interconnexions entre unités hydrogéologiques. Ces échanges sont aussi conditionnés par la nature du remplissage de ces fractures.

IV.1.3.3. Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller

Les schistes, grès et quartzites du Houiller (ici, représentés par le Groupe Houiller) sont peu perméables à petite échelle. Leur porosité totale varie entre 0,5 et 1,5 %. Ils ne contiennent d'eau mobilisable que dans les fissures ouvertes des bancs de grès et de quartzites tectonisés et fracturés, dans les schistes, les fractures étant généralement colmatées par un remplissage argileux.

Localement ces terrains houillers renferment donc une nappe de fissures localisée dans les horizons plus gréseux (aquifères locaux). Cette eau présente souvent une minéralisation élevée en fer et en sulfates, ainsi qu'un pH acide, liés à l'altération des sulfures de fer (pyrites) souvent abondants dans ces formations.

Une couche d'argile d'altération, épaisse de 10 à 20 m, repose sur le sommet des formations du Houiller (désagrégation pré-Santonienne) Cette couche argileuse forme une barrière très peu perméable, renforçant le rôle de niveau de base pour la nappe du Crétacé et limitant le potentiel aquifère des terrains schisto-gréseux du Houiller.

IV.1.4. Unités hydrogéologiques du Crétacé

IV.1.4.1. Aquifère-Aquitard de Vaals

La Formation sablo-argileuse de Vaals est généralement peu aquifère. Dans le Pays de Herve, sa fraction sableuse augmente généralement vers l'est. Les propriétés aquifères de cette formation sont donc étroitement liées à sa localisation géographique. Sur la carte Limbourg-Eupen, cette formation occupe un espace très réduit, limité à des dépôts épars de quelques ares. Cette unité hydrogéologique joue un rôle minime dans le contexte hydrogéologique régional de cette carte.

IV.1.5. Unités hydrogéologiques du Cénozoïque

IV.1.5.1. Aquifère des sables de remplissage

Les dépôts sableux, qui comblent généralement les poches de dissolution des calcaires, ont des capacités aquifères réduites vu la faible extension des dépôts et l'hétérogénéité des matériaux. Ils

constituent donc de petites nappes très locales, souvent temporaires, jouant éventuellement le rôle de filtre pour les nappes sous-jacentes.

IV.1.5.2. Aquifère des tourbes

Les tourbes présentent une porosité totale très élevée, elles constituent un réservoir superficiel d'eau souterraine. Cependant, leur perméabilité est très faible ce qui implique que cette ressource en eau souterraine est difficilement exploitable. La qualité des eaux issues d'un milieu tourbeux est souvent médiocre: eau acide (acides humiques), pauvre en éléments nutritifs. Cette couverture est essentiellement présente sur les roches cambro-ordoviciennes du Massif de Stavelot.

IV.1.5.3. Aquifère des terrasses fluviales

Les dépôts alluvionnaires anciens formant les terrasses fluviales sont essentiellement composés de graviers et de sables offrant ainsi des potentialités aquifères intéressantes, si leur extension le permet. Les niveaux limoneux et argileux peuvent induire localement de petites nappes perchées temporaires. Les nappes des terrasses sont alimentées par les eaux de précipitation et l'apport des nappes des versants. L'exutoire de ces nappes correspond à la base aval de la terrasse, limitant fortement la capacité de stockage des terrains. Sur un substratum perméable, ces nappes peuvent également alimenter l'aquifère sous-jacent.

IV.1.5.4. Aquitard des limons

Les limons, 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. Ces dépôts n'ont pas été cartographiés sur la carte hydrogéologique et ne sont pas repris dans le tableau synthétique 'Géologie-Hydrogéologie'

IV.1.5.5. 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 la surface 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.

Tableau IV.1: Unités hydrogéologiques de la carte Limbourg-Eupen

Ere	Système	Série	Etage	Groupe	Formation	Membre	Lithologie	Abréviation		Hydrogéologie			
CENOZOIQUE	QUATERNAIRE	HOLOCENE			Alluvions Modernes		Graviers et sables	AMO		Aquifère alluvial			
					Alluvions Anciennes		Limons à galets et sables	ALA		Aquifère des terrasses fluviales			
					Tourbes		Dépôts tourbeux (sphaignes)	TRB		Aquifère des tourbes			
	PALEOGENE	OLIGOCENE			Dépôts Sableux		Sables quartzeux souvent micacés - Lentilles d'argiles sableuses	SBL		Aquifère des sables de remplissage			
MESO-ZOIQUE	CRETACE	SENONIEN	Campanien		Vaals		Argiles et marnes fossilifères	VAA		Aquifère - Aquitard de Vaals			
CARBONIFERE		NAMURIEN	Amsbergien	Houiller			Alternance de shales et de siltites, de grès argileux, de grès et de quartzites - Veines de charbon	HOU		Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller			
					VISEEN	Livien	Jusleville	(Seilles)		Calcaires - Niveaux à oïdes (formation non observée)	JUS	SEI	Aquifère des calcaires du Carbonifère
		Lives		Calcaires - Nodules de cherts					LIV				
		Moliniacien	Bay-Bonnet	Moha			Calcaires grossiers généralement oolithiques, massifs	BBN	MOH				
				Terwagne			Calcaires fins à grossiers		TER				
		TOURNAISIEN	Ivorien	Bilstain	Dolomies de la Vesdre		Dolomies, dolomies crinoïdiques - Cherts et nodules siliceux	BIL	VES	Aquifère - Aquitard - Aquiclude de l'Hastarien			
					Landelies		Calcaires fins à grossiers, crinoïdiques, dolomités au sommet		LAN				
					Pont d'Arcole		Shales, calcschistes avec nodules calcaires		PDA				
					Hastièrre		Calcaires moyens à grossiers - Calcaires argileux au sommet		HAS				
		PALEOZOIQUE	DEVONIEN	SUPERIEUR	Famennien		Dolhain		Calcaires crinoïdiques et grès carbonatés - Intercalations de shales et siltites	DOL		Aquifère des grès du Famennien	
							Montfort-Evièux		Grès micacés feldspathiques, grès carbonatés Shales - Siltites - Nodules carbonatés	ME			
							Souverain-Pré		Grès fins et siltites à nodules calcaires - Calcaires - Grès	SVP		Aquitard du Famennien	
Baelen								Calcaires fins en bancs massifs - Lentilles de calcaires à crinoïdes	SVP	BAE	Aquifère de Baelen		
Esneux							Grès fins plus ou moins argileux	ESN		Aquitard du Famennien - Frasnien			
Hodimont							Siltites micacées - Nodules carbonatés	HOD	ALH				
Lambermont							Shales, siltites, calcaires, schistes nodulaires	LAM					
Aisemont							Shales, calcschistes et calcaires organoclastiques	AIS					
MOYEN	Givetien							Lustin		Calcaires biostromaux, calcaires fins	LUS	NRL	Aquifère des calcaires du Frasnien
								Presles-Nismes		(Calcaires argileux-Shales)			
				Roux		Shales ou grès micacés - Dolomies - Calcaires organoclastiques - Calcaires fins		ROU		Aquifère des calcaires du Givetien			
	Névremont				Calcaires fins - Calcaires organoclastiques	NEV							
	Eifelien				Pépinster		Shales et siltites - Grès, grès kaolineux, graveleux et conglomératiques	PER		Aquitard de l'Eifelien			
					Vicht		Conglomérat de quartz ou de quartzite	VIC					
INFERIEUR	Praguien				Acoz		Alternance de siltites et de grès - Quartzites à la base	ACO		Aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur			
					Bois d'Ausse		Grès - Galets de shales et siltites - Localement nodules carbonatés	BAU		Aquifère à niveaux aquicludes du Dévonien inférieur			
					Marteau		Siltites - Grès - Nodules carbonatés	MAR		Aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur			
ORDOVIICIEN	TREMADOCIEN					Jalhay	Spa		Quartzophyllades gréseux	JAL	SPA	Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien	
							Solvaster		Quartzophyllades, phyllades, bancs gréseux		SLW		
CAMBRIEN	SUPERIEUR						La Gleize		Phyllades et quartzophyllades	GLE		Aquiclude à niveaux aquitards du socle cambro-silurien	
		La Venne - Coo					Phyllades et quartzites	VEN		Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien			

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

Toutes les unités hydrogéologiques de la carte Limbourg-Eupen ne sont pas abordées avec le même degré de détails, étant donné le faible jeu de données disponibles. Certaines unités hydrogéologiques ne seront d'ailleurs pas développées dans ce chapitre. Les principales potentialités aquifères de la région se situent dans les formations carbonatées du Carbonifère et gréseuses du Famennien. Les formations gréseuses et quartzitiques du Dévonien inférieur présentent des potentialités aquifères intéressantes localement. Il en est de même pour les ressources en eau souterraine du socle cambro-silurien. Les dépôts alluvionnaires sont relativement peu développés et ont une capacité assez limitée (intérêt purement local comparé, par exemple, à la plaine alluviale de la Meuse en région liégeoise).

Une carte simplifiée et un tableau, présentés en annexe, reprennent l'ensemble des puits, des piézomètres, des sources et autres points d'accès à la nappe cités dans le texte.

IV.2.1. Aquifère alluvial

Le réseau hydrographique de la carte Limbourg-Eupen, certes étoffé, ne compte pas d'importante rivière excepté la Vesdre. Ainsi, les dépôts alluvionnaires ne sont pas le siège de nappes aquifères majeures. Cette ressource en eaux souterraines ne présente qu'un intérêt local d'un point de vue des prélèvements. Cependant, le rôle hydrogéologique de l'aquifère alluvial n'est pas secondaire. En effet, la nappe alluviale est en général en équilibre avec le cours d'eau, étant tantôt drainée par le fleuve, tantôt alimentée par celui-ci. Ces échanges varient tant dans l'espace que dans le temps. En outre, elle peut aussi constituer un exutoire pour les aquifères logés dans le bed-rock paléozoïque. L'écoulement souterrain dans la nappe alluviale est, généralement, dirigé vers l'aval.

Situé à Limbourg, le site "Machines textiles Hoeck" (Lg4306-01) a été l'objet d'études environnementales dont un volet a été consacré à l'hydrogéologie (SPAQuE, 2007; SPAQuE-Tauw, 2008). Cet ancien site de l'industrie lainière est traversé d'est en ouest par deux biefs, partiellement voûtés, affluents de la Vesdre (figure IV.1). Dans le cadre de ces études, plusieurs piézomètres ont été forés, d'une profondeur comprise entre 3,3 et 7 m. Aucun forage n'a atteint le bed-rock famennien (Formation d'Esneux). Les niveaux d'eau mesurés en décembre 2006 varient entre 2,45 et 4,23 m sous la surface du sol. Le niveau d'eau de la nappe alluviale au droit de ce site se situe entre les cotes 201,24 et 202,78 m. Les eaux souterraines se dirigent vers l'ouest, en direction de la Vesdre. Aucune nappe perchée n'a été détectée dans les remblais.

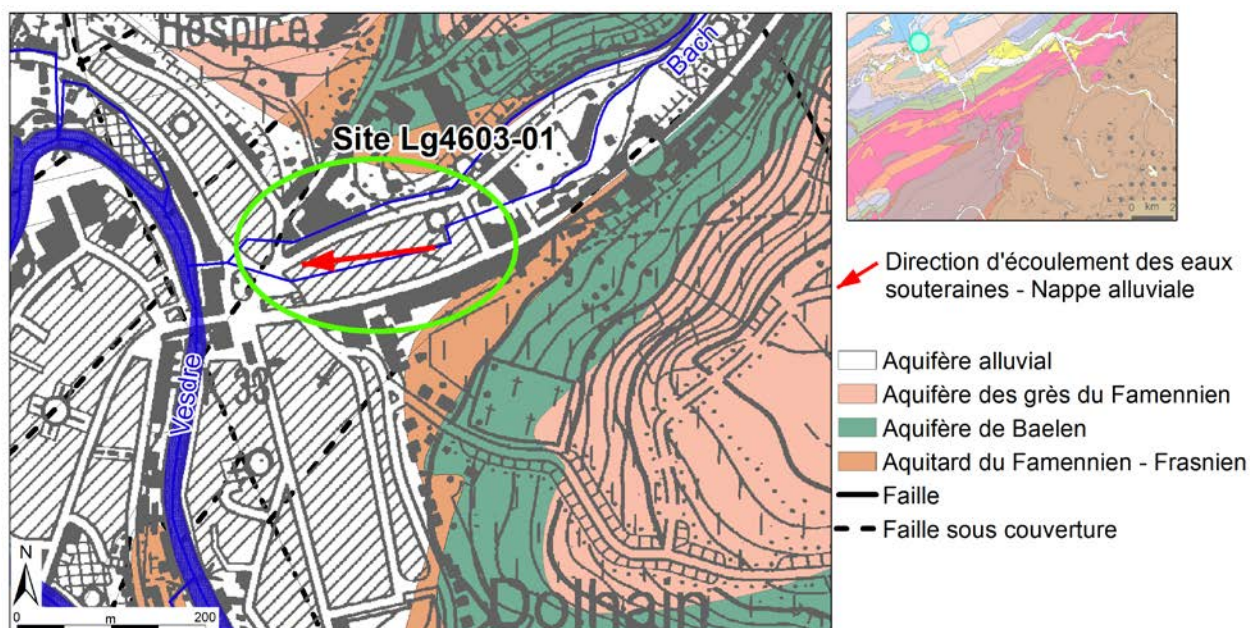


Figure IV.1: Site "Machines textiles Hoeck" à Limbourg - Nappe alluviale

IV.2.2. Aquifères des calcaires du Carbonifère et du Dévonien

Les formations carbonatées du Carbonifère et du Dévonien affleurent dans la zone nord-ouest de la carte Limbourg-Eupen, dans la Nappe de la Vesdre. Comme l'ensemble des formations du Paléozoïque de la région, les roches calcaires sont intensément fracturées. Selon le remplissage et la nature des failles, elles seront soit des axes de circulation préférentielle, soit des seuils hydrogéologiques. En fonction de la nature des terrains, ces fractures peuvent soit mettre en communication des blocs au départ isolés, soit compartimenter l'aquifère. De nombreux phénomènes karstiques sont également observés. Ils sont détaillés dans ce chapitre.

Bien que constituant une ressource en eaux souterraines importante, les aquifères calcaires sont relativement peu exploités dans la région de Limbourg-Eupen. On ne compte qu'un seul site de captage public toujours en activité. Peu d'ouvrages de prise d'eau privés sont recensés. Quelques niveaux d'eau ponctuels ont été mesurés et sont reportés sur la carte hydrogéologique (1/25 000).

En général, les battements annuels des nappes logées dans les formations calcaires sont plus marqués que dans les autres unités hydrogéologiques. Localement des amplitudes d'une vingtaine de mètres peuvent être observées. On constate également que plus on s'approche de l'exutoire de la nappe, plus ces amplitudes sont faibles. Ces aquifères calcaires réagissent très vite après une période de pluie (remontée piézométrique).

Aquifères des calcaires du Carbonifère

A Baelen, la SWDE possède deux sites de captages dont l'un est implanté dans les calcaires du Carbonifère: l'émergence de Medael E1 (figure IV.2). Ce captage est actuellement hors service (débit trop faible, mauvaise qualité chimique et bactériologique de l'eau). Deux piézomètres ont été forés à proximité du captage, Pz6 et Pz7, dans l'unité hydrogéologique de l'Hastarien. Celle-ci est en continuité hydrogéologique avec l'aquifère des calcaires du Carbonifère.

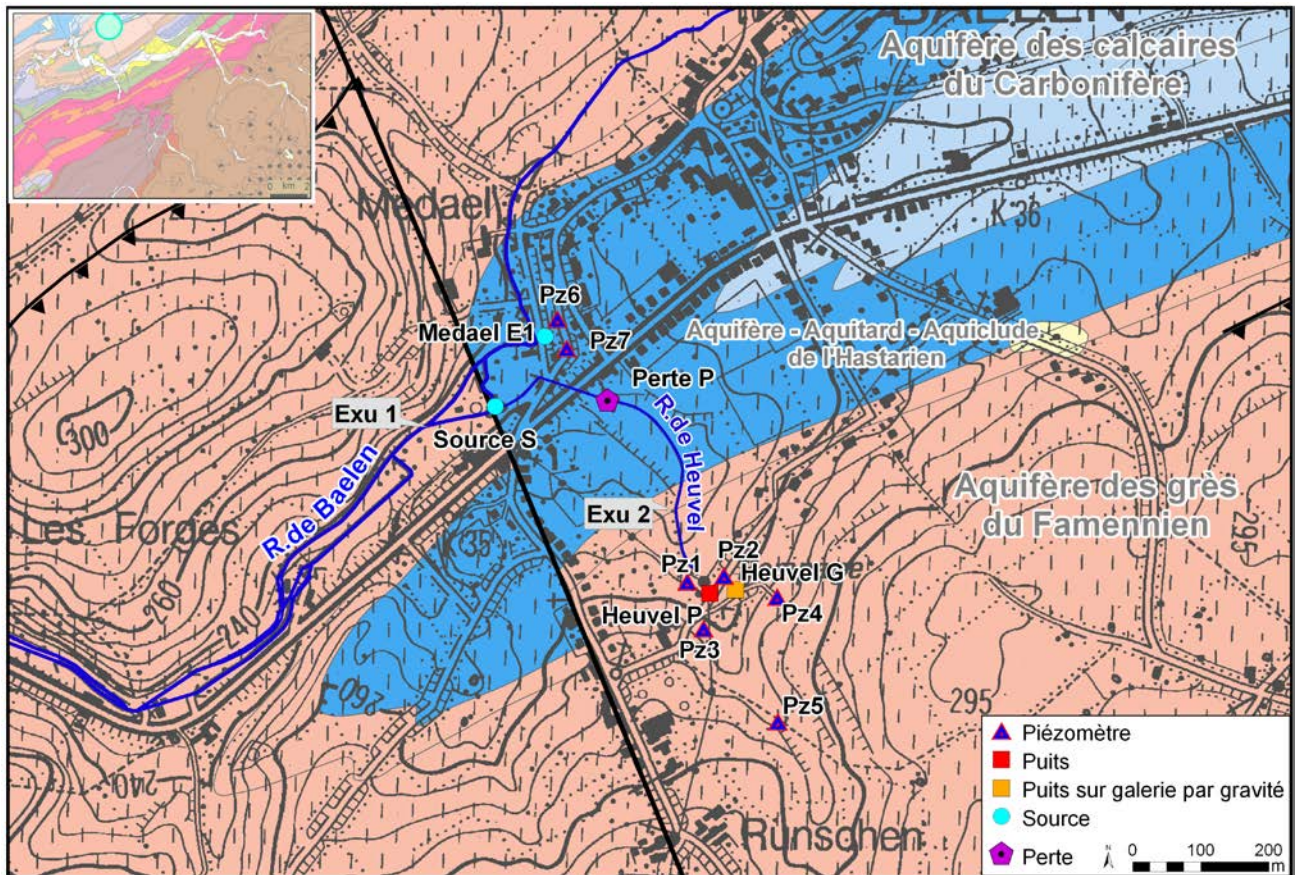


Figure IV.2: Site de Baelen: Heuvel-Medael – SWDE

Le ruisseau de Baelen s'écoule sur le flanc nord du synclinal de Baelen sur les terrains famenniens suivant une direction NE-SW. Il rejoint la Vesdre à Dolhain. A hauteur de Medael, il change de direction pour suivre sur 250 m l'axe NNW-SSE d'une faille transversale. Il coule alors sur les terrains carbonifères. De ces terrains, émerge une source (S) dont le ru rejoint le ruisseau de Baelen. Un petit ruisseau, désigné Ruisseau de Heuvel, de direction N-S prend naissance dans les grès et disparaît dans les calcaires via un chantoir (perte P). Un bilan hydrologique a été établi pour l'année 1999-2000 (Lenglin & Pickaert, 2000; LGIH, 2000). Le bassin-versant du ruisseau de Baelen (dont la superficie totale est 13,5 km²) est divisé en deux sous-bassins dont les exutoires sont présentés sur la figure IV.2. Le bassin correspondant à l'exutoire 'Exu 1' où s'écoule le ruisseau de Baelen a une superficie de 11,9 km². Plusieurs points de mesure du débit ont été placés sur le ruisseau. Le bassin correspondant à l'exutoire 'Exu 2' du ruisseau de Heuvel a une superficie de 0,43 km². Ce bassin, situé sur les grès famenniens, comprend les captages de

Heuvel. Les termes de l'équation du bilan⁶ pour le bassin hydrogéologique ont été calculés ou mesurés pour ces deux sous-bassins. Ils sont présentés au tableau IV.2. Si le bilan du bassin 'Exu1' peut être considéré comme équilibré, il n'en est pas de même pour le bassin 'Exu2' qui est excédentaire. Cet excès pourrait être expliqué par une alimentation provenant de l'est, via les bancs de grès famenniens de direction E-W. Cette hypothèse a été testée en calculant le bilan sur un bassin étendu vers l'est, englobant les terrains gréseux jusqu'aux limites du bassin principal. Un gradient E-W de la nappe des grès famenniens est donc supposé. Vers l'ouest, cette nappe doit, logiquement, être drainée par la Vesdre, topographiquement plus basse que la vallée du ruisseau de Baelen. La superficie de ce bassin étendu est de 0,88 km². L'erreur de fermeture du bilan de ce bassin est de l'ordre de 8 %. On peut donc considérer que ce bilan ferme. Suite à ces résultats, il semble que le bassin hydrogéologique corresponde au bassin hydrologique du ruisseau de Baelen. Cette étude a permis aussi de mettre en évidence d'autres caractéristiques hydrogéologiques de ce bassin-versant. Ainsi, l'hydrogramme associé à la source S montre un débit assez constant (laissant supposer que la source ne se tarisse pas). La source serait ainsi une source de débordement de la nappe logée dans les calcaires du Carbonifère, suintant au contact de la Formation de Dolhain, moins perméable (grès carbonatés, intercalations de shales et de siltites). Les coefficients de tarissement ont été estimés, tant pour les calcaires que pour les grès. Ils valent, respectivement, 0,0051 j⁻¹ et 0,0095 j⁻¹.

Tableau IV.2: Termes du bilan hydrologique pour les sous-bassins de Baelen

en mm	P	ETR	ΔRés	Q _{écoulé}	Q _{capté}	ΔStock	ε
Bassin 'Exu1'	1027,99	490,63	-89,08	690	0,075	14,05	78 ≈ 7 % de P
Bassin 'Exu2'	1027,99	490,63	-191,20	780	310	14,05	375,5 ≈ 36 % de P
Bassin 'Exu2 étendu'	1027,99	490,63	-93,78	382,5	152	14,05	82,6 ≈ 8 % de P

P: Précipitations; ETR: Evapotranspiration réelle; ΔRés: Variation des réserves de la nappe; Q_{écoulé}: Débit à l'exutoire; Q_{capté}: Débit capté; ΔStock: Variation du stock d'humidité du sol; ε: Erreur de fermeture. Ces termes sont exprimés en mm de lame d'eau.

Le forage Pz6 fait partie du réseau de surveillance mis en place par l'administration (SPW-DESO). Ainsi, le niveau d'eau y est mesuré régulièrement (quotidiennement, via une sonde automatique, depuis fin 2010) (figure IV.3). L'eau se situe environ à 6 m de profondeur, soit une cote piézométrique aux alentours de 238 m. Le niveau piézométrique varie peu. L'amplitude maximale observée, sur la période de mesures, est de 76 cm. Les hautes eaux se situent systématiquement en hiver. Tandis que les basses eaux ont lieu en été-automne. Cependant, certaines années, on note un ou plusieurs petits pics piézométriques, très probablement dus à un important mais ponctuel épisode pluvieux estival (orage).

⁶ Equation du bilan, pour le bassin hydrogéologique: $P = ETR + \Delta Rés + \Delta Stock + Q_{écoulé} + Q_{capté} + \epsilon$

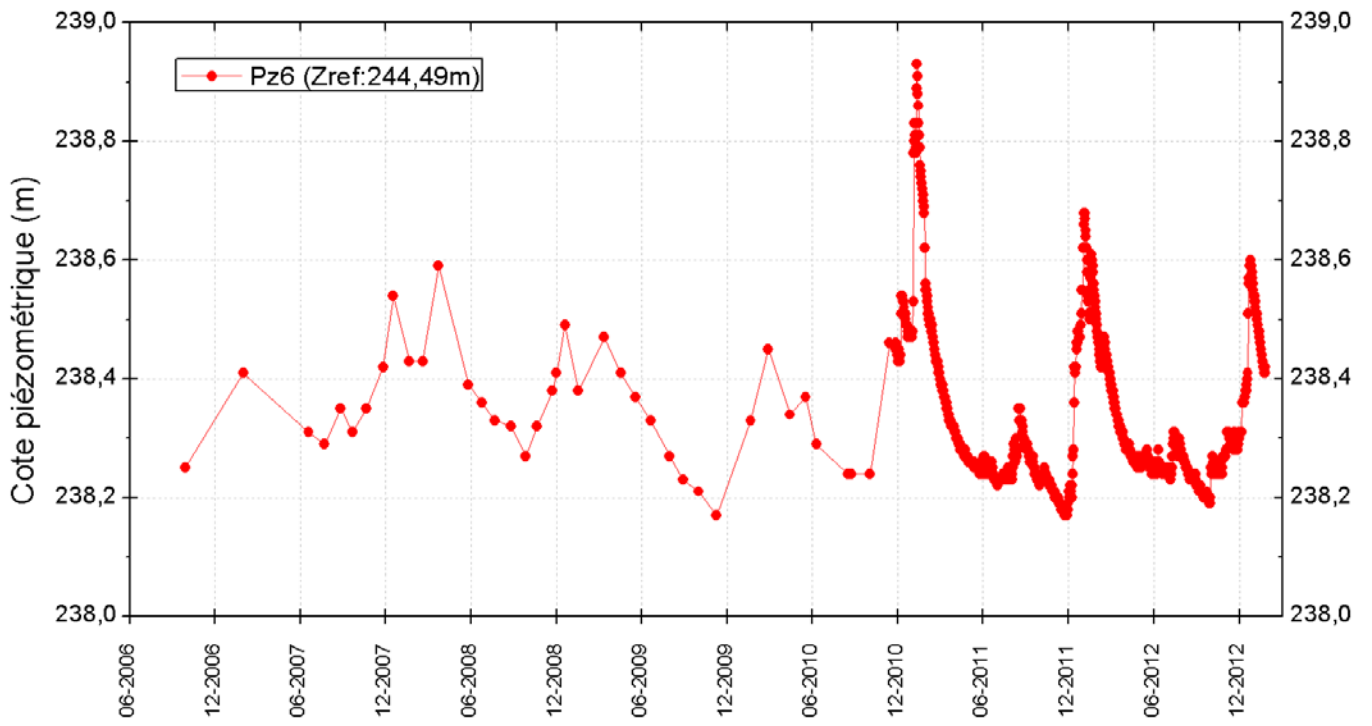


Figure IV.3: Fluctuations piézométriques de l'aquifère des calcaires du Carbonifère: Pz6-Medael

La commune de Limbourg, qui assure la production et la distribution de l'eau potable pour ses administrés, exploite la nappe logée dans les calcaires carbonifères, plus précisément dans l'unité hydrogéologique 'Aquifère-Aquitard-Aquiclude de l'Hastarien', via deux galeries drainantes à Bilstain (figure IV.4). Le site 'Jean-sans-peur' n'a pas encore fait l'objet d'études hydrogéologiques poussées. Les galeries sont situées dans le thalweg du ruisseau de Pancherelle-Bilstain, à sa sortie du synclinal calcaire. Initialement, ce ruisseau se perdait en tout ou en partie dès son entrée sur le substratum calcaire (pertes du Champ de Wô). Actuellement, il ne se perd plus sous terre. Le site des pertes du ru de Bilstain a été modifié par l'aménagement d'un circuit de moto-cross. Les chantoirs ont été comblés favorisant le parcours aérien du cours d'eau. Par contre, son confluent, le ruisseau des Queues disparaît dans un chantoir ou agolina⁷, perte totale ou partielle suivant les saisons. Les eaux enfouies ressurgissent probablement au niveau de la confluence. Cependant aucun traçage n'a encore validé cette hypothèse (Bernard & Polrot, 1994 a,b; Polrot, 1997; Polrot, 2005).

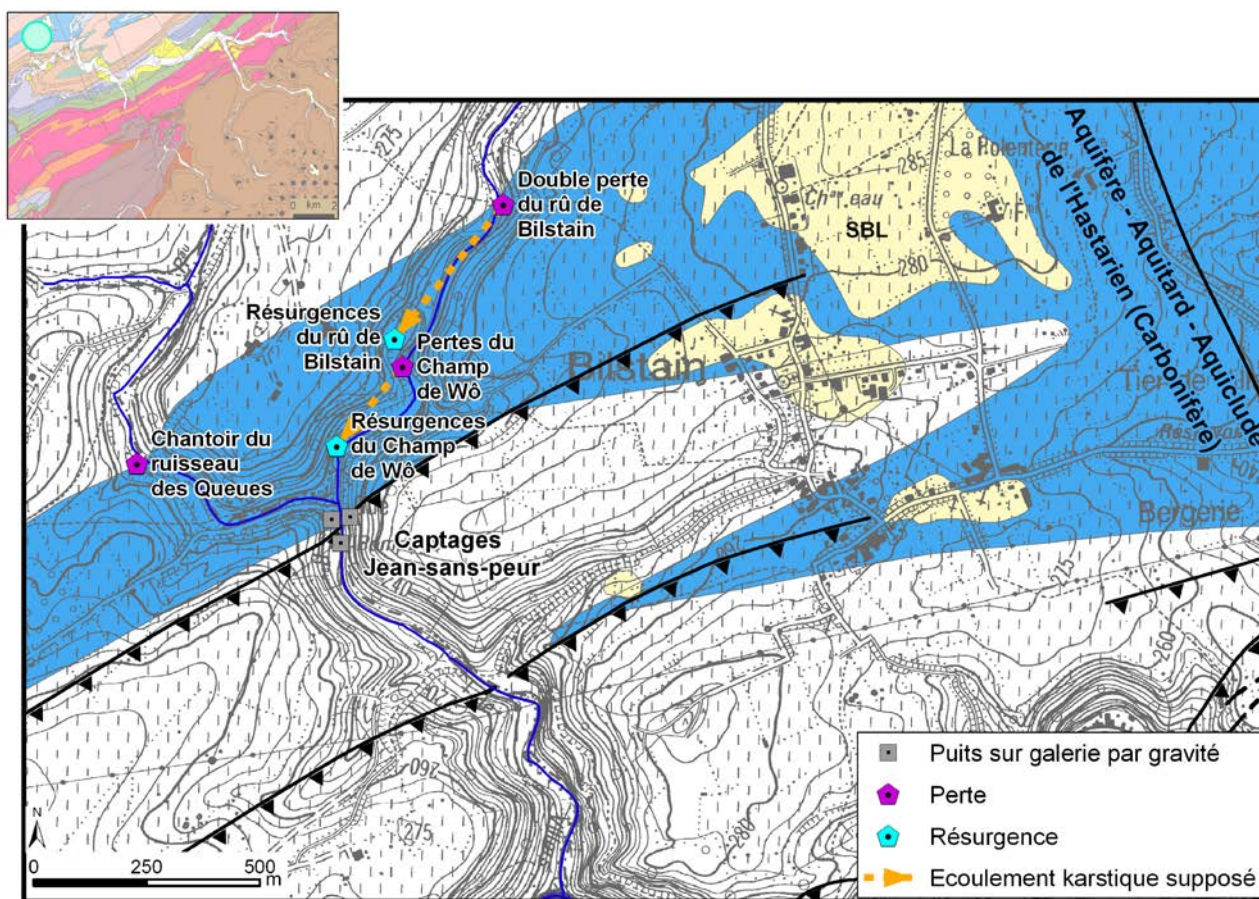


Figure IV.4: Site 'Jean-sans-peur', Administration communale de Limbourg - Karst de Bilstain

⁷ Agolina: synonyme de perte karstique. Egalement employé pour désigner une doline qui absorbe les eaux de pluies. Terme propre à la région verviétoise.

Aquifères des calcaires du Dévonien

Dans la région de Limbourg-Eupen, trois aquifères calcaires d'âge dévonien sont individualisés: aquifère de Baelen, aquifère du Frasnien, aquifère du Givetien. Les nappes logées dans ces aquifères calcaires sont très peu exploitées (pas de captage public). Quelques captages privés y sont recensés, prélevant de faibles volumes. Peu de données hydrogéologiques sont disponibles, à ce jour, pour permettre une caractérisation détaillée du contexte hydrogéologique de ces aquifères.

La carte Limbourg-Eupen expose une unité hydrogéologique spécifique à la région, l'aquifère de Baelen. Cet aquifère calcaire, situé entre Limbourg et Goé (dans le nord-ouest de la carte), est encadré par les unités hydrogéologiques schisto-gréseuses du Famennien. Quelques ouvrages de prise d'eau sont implantés dans cet aquifère. Au sud de Limbourg, dans le vallon des Comagnes, une émergence karstique captée par l'intermédiaire d'une galerie ('Chemin de Verviers') draine le flanc est du vallon. Quelques autres phénomènes karstiques sont observés, entre autres, sur le flanc est du promontoire en direction de la Vesdre (lieu-dit du Château Mali).

L'aquifère des calcaires du Frasnien est séparé de l'aquifère des calcaires du Givetien par un mince aquitard-aquiclude schisteux (Formation de Nismes-Presles). Pour rappel, ce niveau n'a pas pu être individualisé cartographiquement, il est regroupé avec la Formation de Lustin (Frasnien). Hydrogéologiquement, cet horizon peut constituer une barrière ou du moins un seuil à l'écoulement des eaux souterraines entre ces aquifères calcaires. Cependant, vu sa lithologie variée (shales avec quelques passages carbonatés, des calcaires argileux et de la dolomie) et vu le contexte faillé de la région, ces deux aquifères calcaires sont probablement en continuité hydraulique, du moins localement.

La Vesdre circule en partie sur ces terrains carbonatés, très propices à la karstification (thème développé par la suite). Dès lors, il n'est pas impossible que localement, des infiltrations de la Vesdre vers l'aquifère calcaire aient lieu à la faveur des fissures et fractures, depuis le lit ou les berges de la rivière ou via des pertes actives en périodes de crues. Des apports de la nappe des calcaires vers la rivière sont également envisageables. La Vesdre constitue probablement le niveau de base de cet aquifère, tout au moins sur certains tronçons.

Quelques niveaux piézométriques ont été mesurés et indiqués sur la carte principale du poster. Un extrait de cette carte est présenté à la figure IV.5. Dans cette zone au nord-est de Membach, le sens d'écoulement des eaux souterraines est NE-SW. Le lit du ruisseau 'Bach Stadtgraben' est aux environs de 245-250 m d'altitude. La Vesdre à la confluence avec ce ruisseau est aux alentours de 235-240 m d'altitude. On constate ainsi que la cote du lit de ces rivières est supérieure aux niveaux piézométriques mesurés (quelle que soit la période). Dans cette zone, le réseau hydrographique n'est donc pas drainant mais perdant (exception à la situation générale où la Vesdre constitue le niveau de base des nappes).

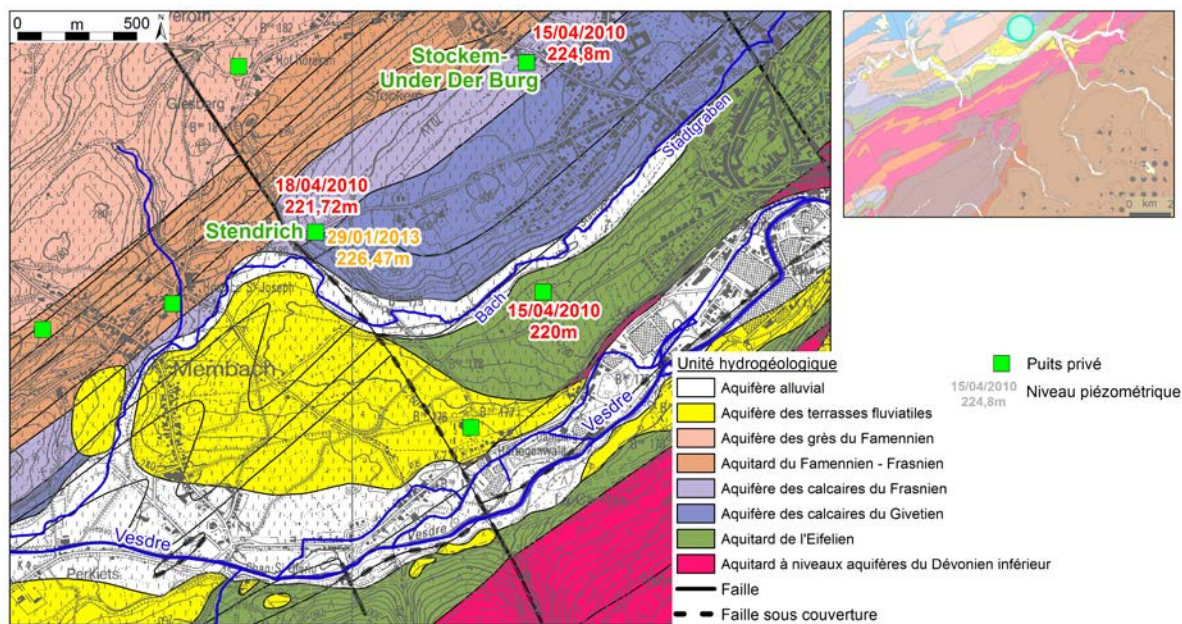


Figure IV.5: Site 'Stendrich' à Membach

Le forage 'Stendrich' fait partie du réseau de surveillance du SPW. Son niveau d'eau est mesuré régulièrement (figure IV.6). L'unité hydrogéologique sollicitée est l'aquifère des calcaires du Dévonien (Frasnien & Givetien). Le log géologique de ce puits, de 65,25 m de profondeur, n'est pas connu. Sur base des données disponibles, l'amplitude annuelle des variations piézométriques est d'environ 25 à 30 m. Les hautes eaux se situent en hiver, tandis que les basses eaux se présentent en été-automne. Durant cette période, on observe néanmoins quelques pics piézométriques dus sans doute à des averses intenses et locales (orages d'été), ce qui indiquerait une réponse rapide de la nappe aux épisodes pluviaux.

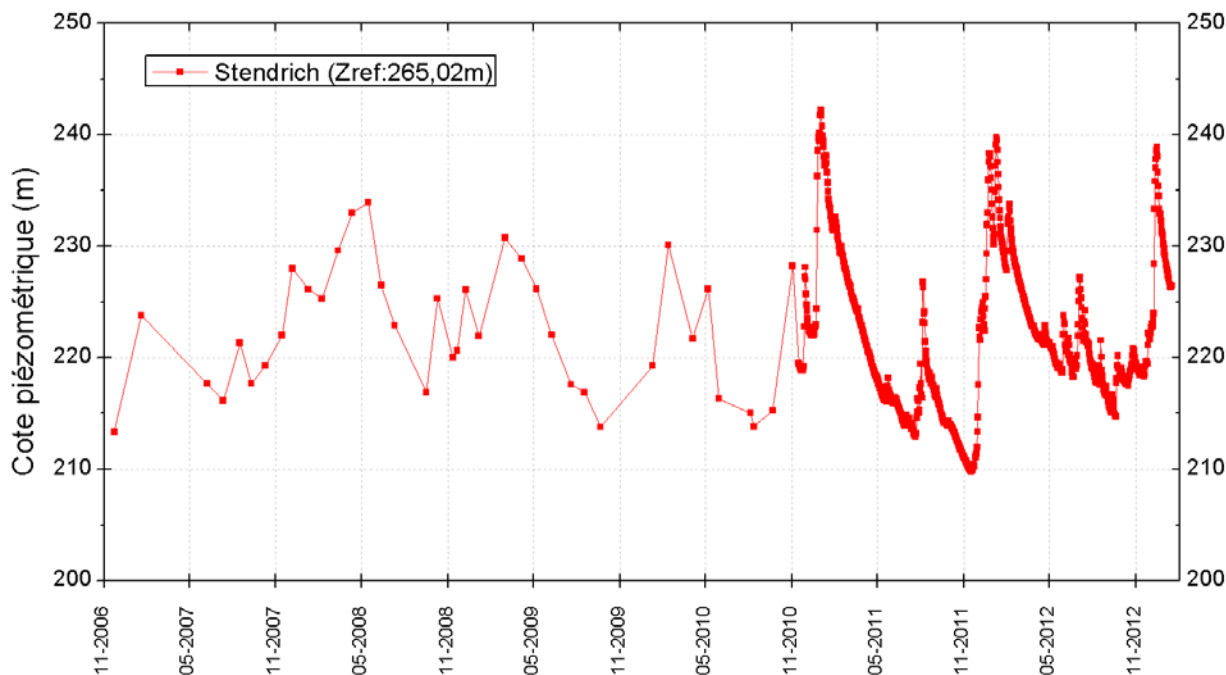


Figure IV.6: Fluctuations piézométriques de l'aquifère des calcaires du Dévonien: Stendrich

Phénomènes karstiques

Dans la région de Limbourg-Eupen, de nombreux phénomènes karstiques sont observés. Sur les 131 phénomènes karstiques recensés dans l'atlas du karst wallon, 120 sont localisés dans les formations carbonatées du Dévonien contre 11 dans le Carbonifère (CWEPSS, 2006). Les phénomènes karstiques répertoriés dans la région sont, outre les pertes-chantoirs et les résurgences, des dolines, des abris-sous-roche, des cavités et grottes (figure IV.7). Sur la carte principale du poster, seules les pertes et les résurgences sont indiquées.

Il existe deux grands types de réseaux spéléologiques (Quinif, 1977):

- le réseau de recoupement souterrain de méandre. Il consiste à relier l'amont à l'aval d'un ou plusieurs méandres par un réseau souterrain. Une partie ou toute la rivière se perd en amont du méandre en rive ou dans le lit du cours d'eau. En aval, une ou des résurgences débouchent sur les berges ou dans le lit de la rivière, en rejetant une partie ou toute l'eau infiltrée.
- le réseau de chanoir-résurgence. Ce type de réseaux est lié aux affluents subséquents⁸ des rivières principales et est faiblement encaissé.

Ces deux types de réseaux se retrouvent sur la carte Limbourg-Eupen. Par la suite, quelques sites karstiques, particulièrement intéressants et documentés, sont décrits sur base essentiellement de l'Atlas du Karst Wallon (CWEPSS, 1996 & 2006; Van den Broecke *et al.*, 1910), ainsi que les travaux de Polrot (voir bibliographie). Des traçages (ou simplement des colorations) ont parfois été réalisés, prouvant ainsi la liaison souterraine. Au droit d'autres sites, les liaisons sont fortement présumées mais n'ont pas été validées par un test in-situ ou par des observations concrètes et précises (e.g. un traçage accidentel suite à une pollution).

Parmi les données mises à disposition par le SPW sur son portail cartographique, se trouvent les phénomènes karstiques. Il s'agit de la version vectorielle de l'Atlas du karst wallon. Il comprend les sites karstiques ponctuels ainsi que les écoulements souterrains. A chaque élément géographique est liée une fiche descriptive. Toute la Wallonie est couverte. Ces données sont consultables via l'application environnementale WebGIS 'CIGALE' (<http://carto1.wallonie.be/CIGALE/>).

⁸ Rivière subséquente: cours d'eau de 2^e génération, développé perpendiculairement au pendage des couches

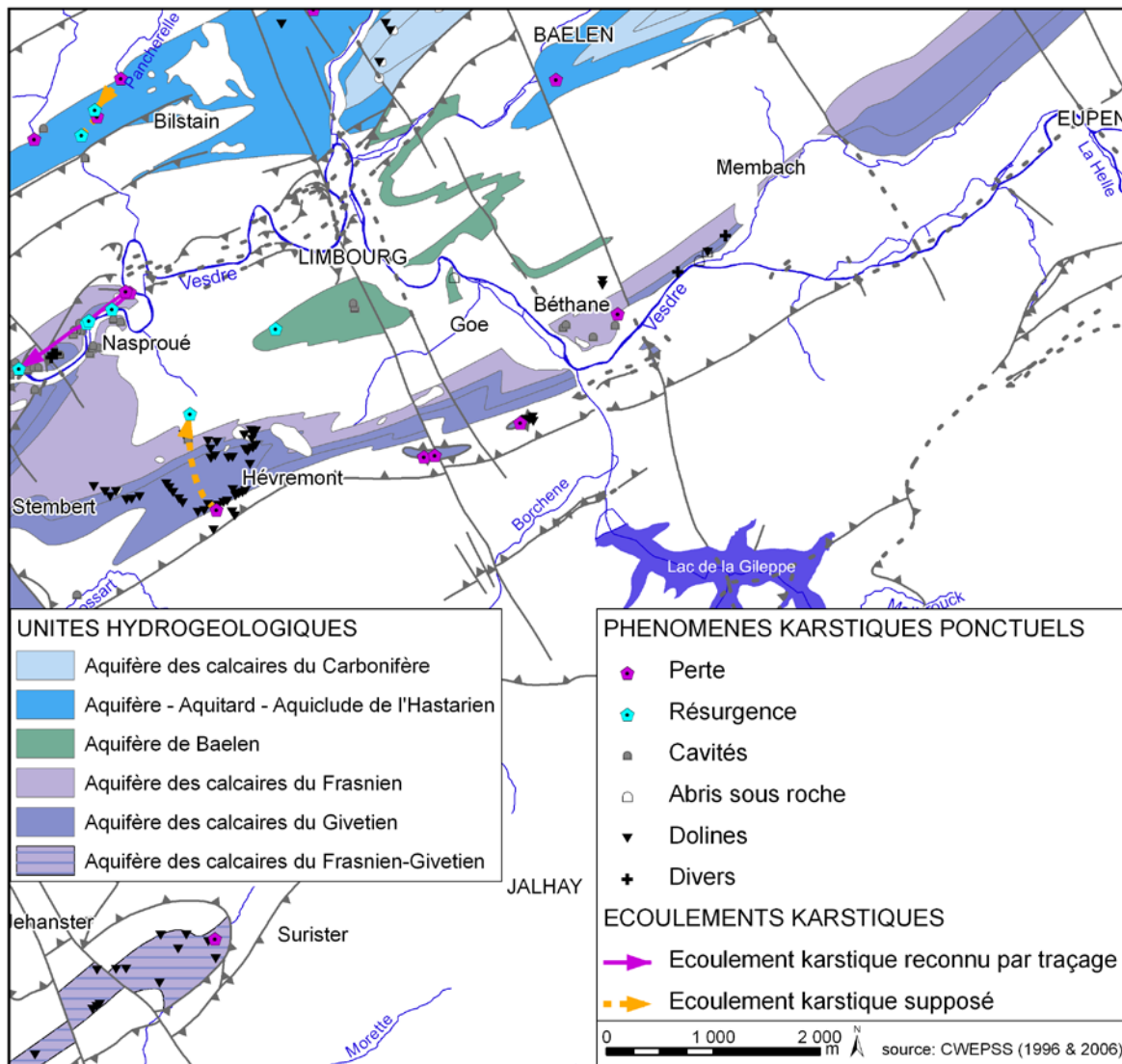


Figure IV.7: Phénomènes karstiques - Carte Limbourg-Eupen

A l'ouest de Limbourg, le système karstique des Croisiers (Nasproué) est l'une des zones karstiques importantes et intéressantes de la région (figures IV.7 et IV.8 a & b). Plus d'une vingtaine de cavités sont dénombrées sur ce tronçon de la Vesdre, issues d'une spéléogénèse corrosive et/ou érosive qui se serait développée essentiellement en milieu immergé. Ce système développe plus de 1500 m de galeries, salles, conduits, étroitures, cavités souterraines (réseau connu)(Polrot, 2005). Ces cavités sont subhorizontales et se localisent à différents niveaux au-dessus de la rivière actuelle. Ces niveaux successifs sont considérés comme les témoins de l'évolution du niveau local de la rivière.

Les eaux de la grotte de Bellevaux rejoignent les résurgences des Croisiers et certainement l'émergence de la Chantoire (cette grotte, appelée aussi "Trou des Sottais, est située à 100 m à l'est du Trou Gloulou). La perte de Bellevaux, située en aval de la grotte, n'est active qu'en périodes de grandes crues. Les eaux infiltrées ressortent à la grotte des Surdents. L'eau rencontrée dans cette grotte ne semble pas être en relation avec celle rencontrée dans la grotte de Bellevaux. Une circulation parallèle à celle vue dans la grotte de Bellevaux n'est pas à exclure (Bernard & Polrot, 1994b). L'exploration du réseau souterrain de la grotte de Bellevaux a permis

d'atteindre une circulation souterraine majeure dont le niveau se situe environ 3,5 m sous le niveau du lit en surface de la Vesdre. Le cours aérien de la rivière se retrouve ainsi en position perchée sur ses alluvions et au-dessus des circulations souterraines (Polrot, 1989, Bernard & Polrot, 1994b). Les débits mesurés appuient l'hypothèse d'apport d'eau issue d'autres circulations souterraines, peut-être plus profondes. En effet, le volume des résurgences des Croisiers est de plus de 15 l/s, alors que le débit observé dans la grotte de Bellevaux est d'environ 1 l/s, constant toute l'année. Via les failles longitudinales, nombreuses dans la région, il est probable que les eaux de la Vesdre s'infiltrent, peut-être déjà même au niveau des formations schisto-gréseuses à nodules calcaires du Frasnien (AIS, LAM)(Bernard & Polrot, 1994b).

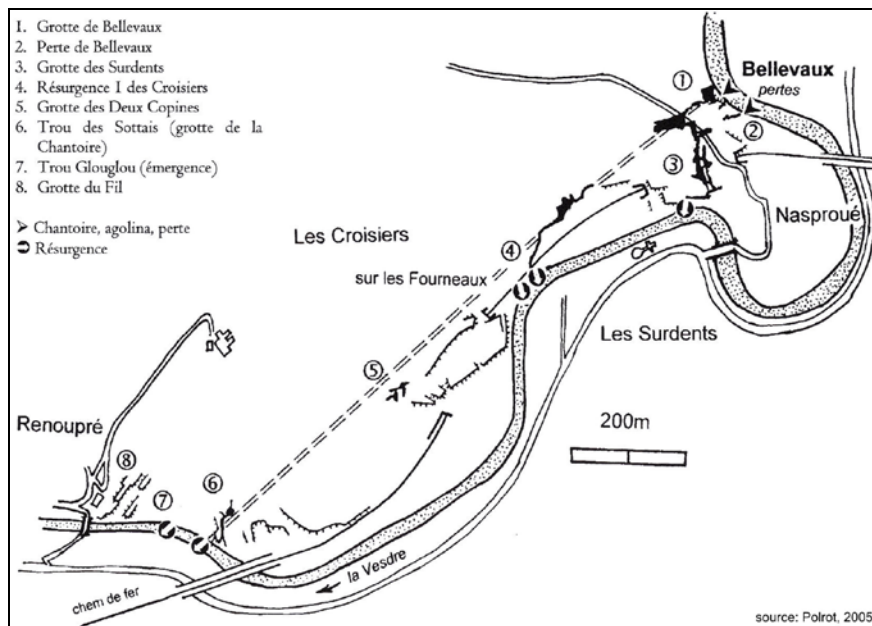
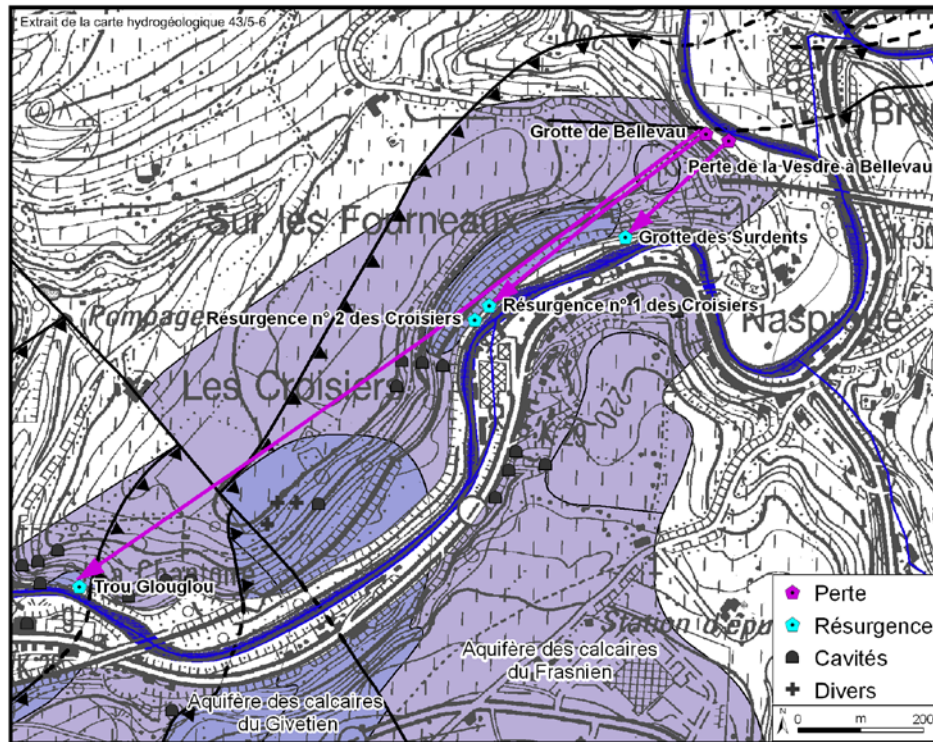


Figure IV.8 (a & b): Zone karstique de Nasproué-Les Croisiers

A l'est de Stembert, en direction de Hèvremont, un vaste champ de dolines se situe au droit de la bande des calcaires dévoniens (figures IV.7 et IV.9). Le karst de cette zone est assez actif. Des dolines présentent un fond humide, voire de petites mares (temporaires ou non). Certaines dolines sont coalescentes. Des dolines ont été remblayées (comblement anthropique), d'autres sont apparues. Des dolines se développent aussi à la limite des Formations de Pepinster (Aquitard de l'Eifelien) et de Nèvremont (Aquifère des calcaires du Givetien). Dans la zone de Goronnes (partie est du site), certaines dépressions sont cependant probablement d'anciens sites d'extraction de sables ou de marnes (Bernard & Polrot, 1994b). Le ru de Halleur se perd à son entrée dans la bande calcaire. En aval d'un vallon sec et en amont d'un petit ruisseau non pérenne, à environ 1 km du chantoir, se situe la résurgence de Bronde. Une liaison karstique peut être supposée (non validée par un traçage) qui traverserait ainsi toute la bande des calcaires dévoniens. Les eaux infiltrées dans ce chantoir pourraient aussi couler vers l'est, vers Hèvremont, en s'écoulant dans les terrains à la limite des formations de l'Eifelien et du Givetien.

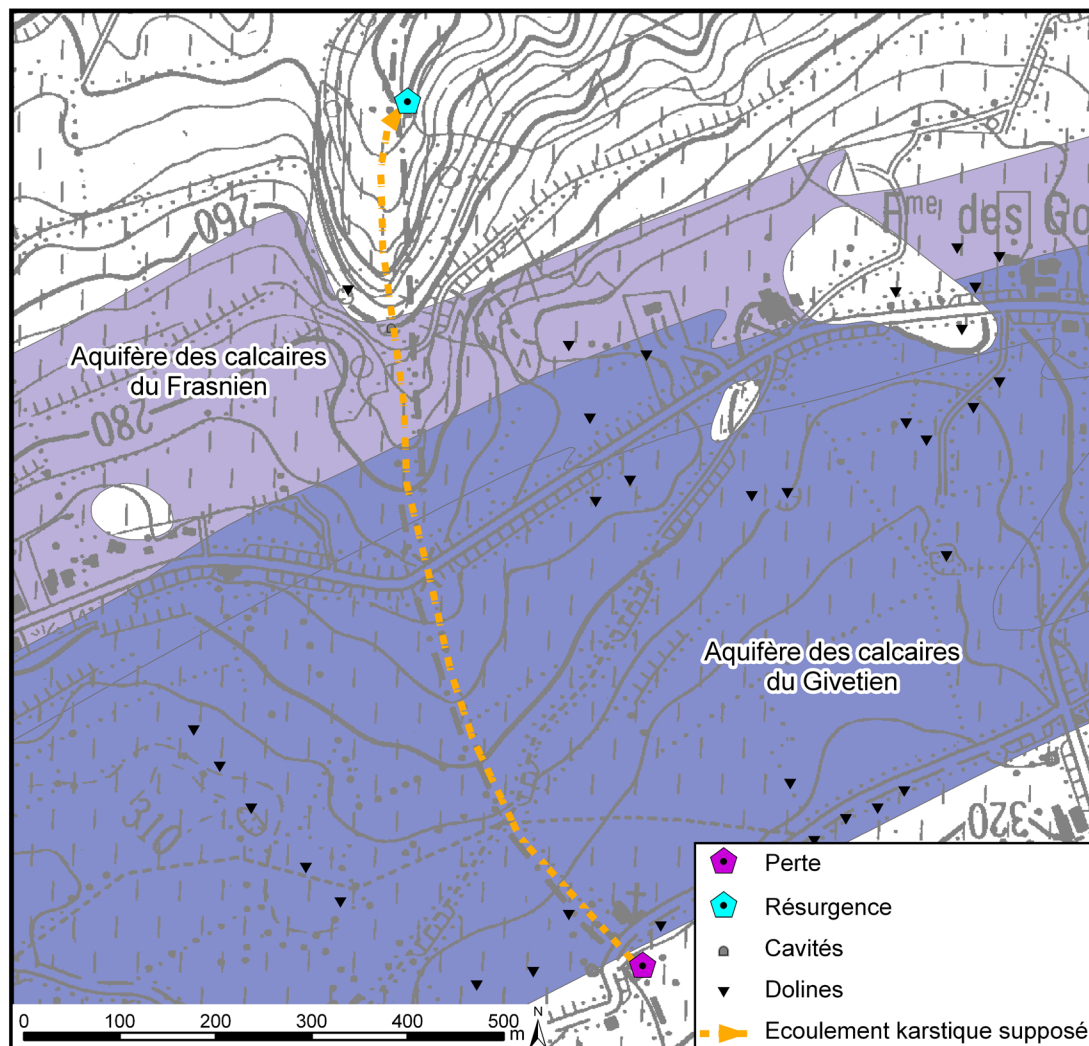


Figure IV.9: Zone karstique de Hèvremont

Au sud de Goé, trois rus se perdent dès leur arrivée sur les calcaires dévoniens formant les chantoirs de la Pierresse (figures IV.7 et IV.10). Leurs zones de résurgence ne sont pas connues. Dès lors, deux hypothèses ont été proposées (Bernard & Polrot, 1994b): soit l'écoulement souterrain serait favorisé vers l'est par (a) l'ennoyage des couches géologiques vers l'est, (b) la stratification, (c) la structure en écailles (fracturation longitudinale). Soit l'écoulement karstique se ferait vers le nord favorisé par la fracturation transversale. Il est à noter qu'en aval topographique de ces pertes, les vallons secs ne sont jamais actifs, même lors de fortes pluies.

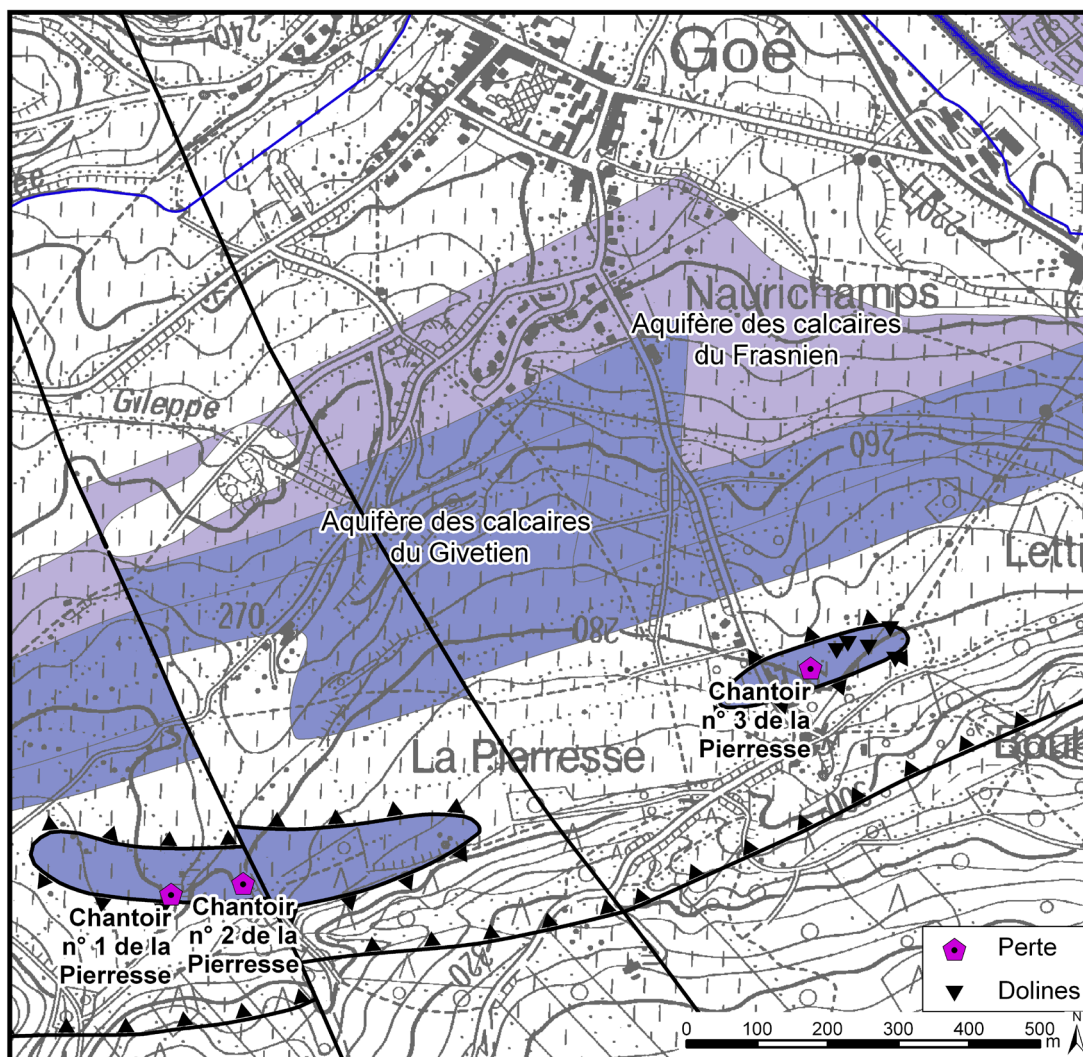


Figure IV.10: Zone karstique de Pierresse – Goé

Toujours dans la même bande calcaire du Dévonien, à l'est de Goé, se situe le système karstique de Béthane (figures IV.7 et IV.11). Il a été largement étudié et Polrot (2010) en a fait la synthèse récemment. Ne sont ainsi repris ici que quelques-unes des caractéristiques karstiques de cette zone. A ce jour, Les entrées et sorties actives de ce recouplement souterrain de méandre ne sont pas connues. La perte de Béthane n'est active que lors des très grosses crues de la Vesdre et constituerait l'une des entrées du réseau karstique. Sur le tracé de l'ancien lit de la Vesdre, diffluence asséchée par endiguement, d'autres phénomènes karstiques sont également observés comme les grottes du "puits aux Chiens" et "aux Œufs". Des grottes sèches positionnées à des niveaux supérieurs sont des témoins d'anciennes circulations karstiques.

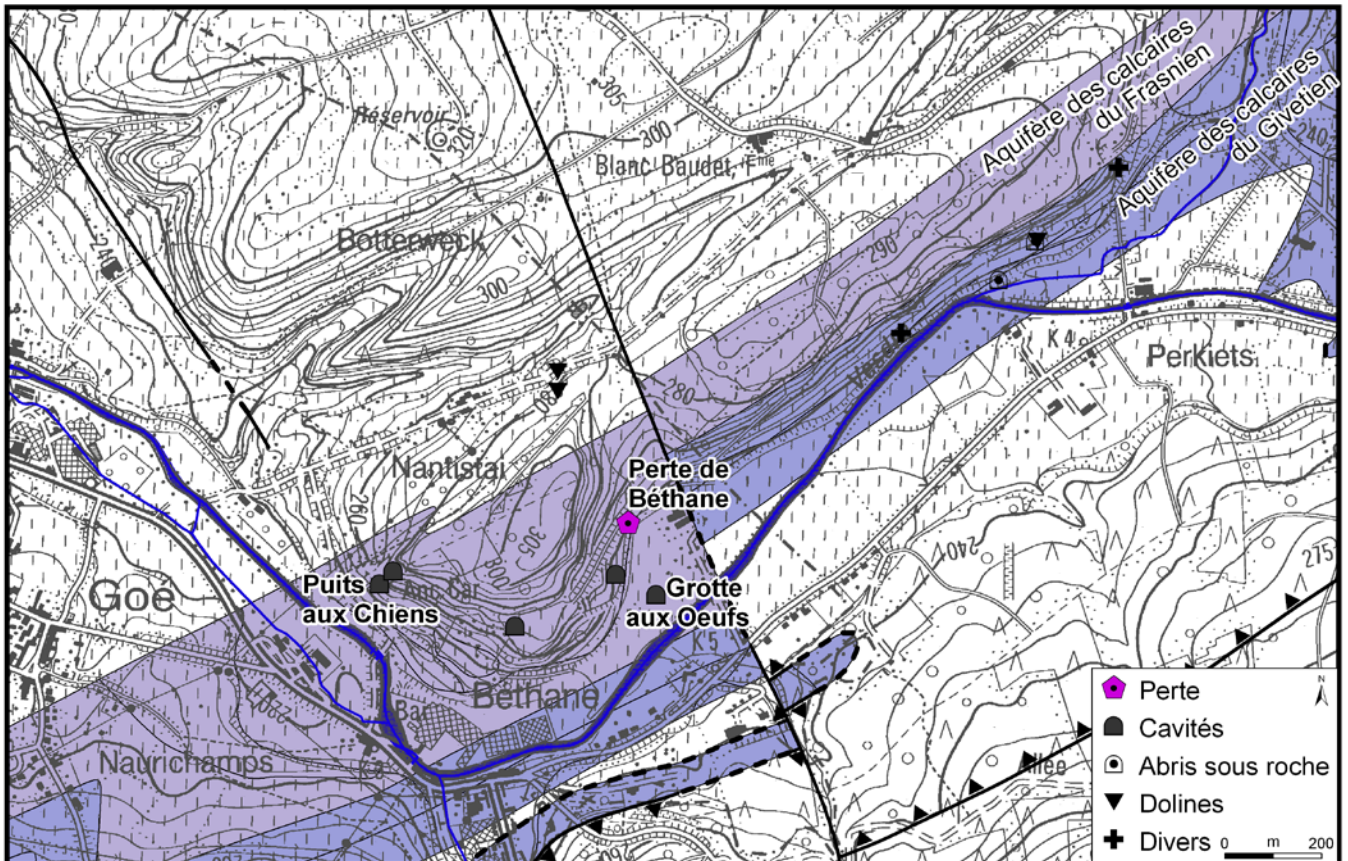


Figure IV.11: Zone karstique de Béthane

Au sud-ouest de la carte, dans la Fenêtre de Theux, entre Jehanster et Surister, un vaste champ de dolines est observé sur les calcaires dévoniens (figure IV.7). Un chantoir (Perte de Fohalle) récolte les eaux qui ruissellent dans cette cuvette. Perpendiculairement à l'axe d'écoulement principal, dirigé vers le NE, quelques vallons secs ont été signalés, où temporairement des zones humides se développent. Le karst dans cette zone semble être très actif (CWEPESS, FPMs, ULg, 1995-2005).

IV.2.3. Aquifère des grès du Famennien

L'aquifère gréseux du Famennien affleure majoritairement dans le quart nord-ouest de la carte Limbourg-Eupen, en rive droite de la Vesdre. Bien que constituant une ressource en eaux souterraines intéressante, cette unité hydrogéologique est peu exploitée sur le territoire couvert par la carte étudiée.

D'un point de vue hydrogéologique, on distingue deux types de nappes dans ces terrains: la nappe contenue dans la zone altérée du sommet sous la pénéplaine et la nappe de fissures sous-jacente. L'importance de la première est liée au taux d'altération différentielle des schistes, shales et siltites ainsi que des grès et grès carbonatés. Les grès s'altérant en sables peuvent contenir un aquifère intéressant. Par contre, les schistes, qui s'altèrent en argile, sont très peu perméables. Sur ces terrains pénéplanés, l'épaisseur de cette frange altérée peut varier, généralement, de quelques mètres à une vingtaine de mètres. La nappe plus profonde est due à la fissuration élevée induite par la phase tectonique hercynienne, particulièrement intéressante dans les niveaux gréseux et dans une moindre mesure dans les horizons silteux, moins perméables. Le rôle des failles est sans doute non négligeable surtout lorsque celles-ci ont un remplissage sableux car affectant les passées plus gréseuses. Elles permettent alors de stocker et/ou drainer des quantités d'eau importantes.

Très peu de mesures piézométriques sont disponibles au droit de cet aquifère. Généralement, la nappe logée dans le manteau superficiel est subaffleurante et sa surface est plus ou moins parallèle à la surface topographique. Le niveau piézométrique de la nappe logée dans les horizons gréseux fracturés est, en général, plus profond. Cependant, ponctuellement, selon les conditions hydrogéologiques locales, le niveau d'eau observé dans un puits peut être assez proche du sol, si le forage a recoupé un ou des horizons aquifères mis sous pression par les terrains surincombants.

La SWDE exploite l'aquifère des grès du Famennien sur son site de Heuvel à Baelen, via une galerie drainante et un puits. La galerie mesure 141,2 m de long sur une hauteur de 1,8 m (divisée en deux tronçons: $L = 13,7$ m et $123,3$ m). Le puits en maçonnerie a un diamètre de 1,8 m et est profond de 6,86 m (figure IV.12). Lors de l'étude des zones de prévention, cinq piézomètres ont été forés autour de ces captages (Pz1 à Pz5 sur la figure IV.2, section IV.2.2). Les niveaux d'eau y sont mesurés par la SWDE. La situation de mai 2000 est illustrée à la figure IV.13 (tous les ouvrages ont été levés). L'écoulement des eaux souterraines est dirigé selon un axe nord-ouest à nord/nord-ouest, en direction du synclinal calcaire carbonifère. Au droit de Pz1 et Pz2, le niveau d'eau est peu profond (2 à 3 m sous la surface du sol). Par contre, le niveau d'eau est plus bas dans les autres ouvrages (Pz3, Pz4, Pz5) où l'eau est rencontrée à une profondeur de 10 à 15 m sous le sol. Le court et clairsemé historique des niveaux piézométriques présenté à la figure IV.14 ne permet pas de déterminer les périodes de basses eaux et de hautes eaux. Les niveaux piézométriques sembleraient relativement constants dans le temps, ne présentant pas de fortes amplitudes.

Le bilan hydrologique pour le bassin-versant du ruisseau de Baelen (calcaires et grès) où les captages sont implantés, a été dressé. Il est présenté dans le paragraphe précédent ([IV.2.2](#)).

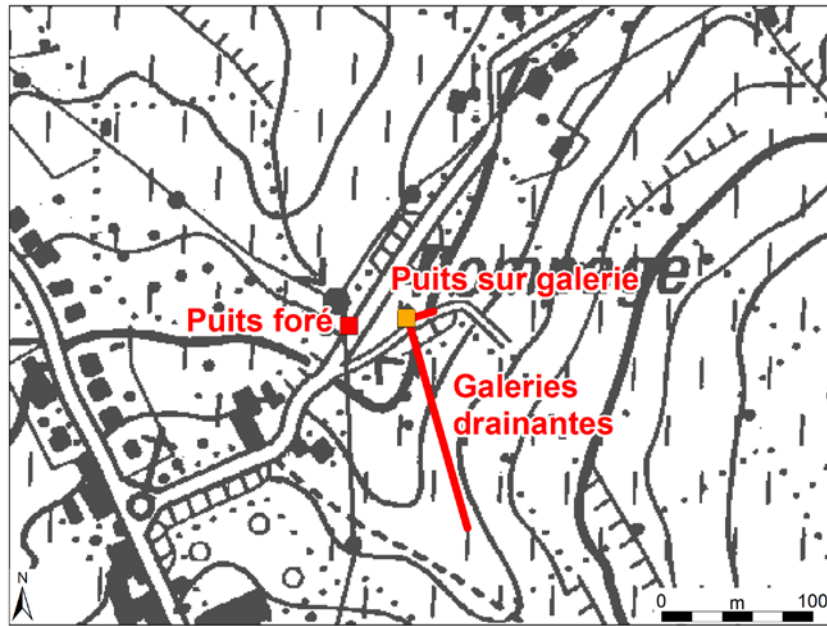


Figure IV.12: Site de Baelen - Localisation des prises d'eau

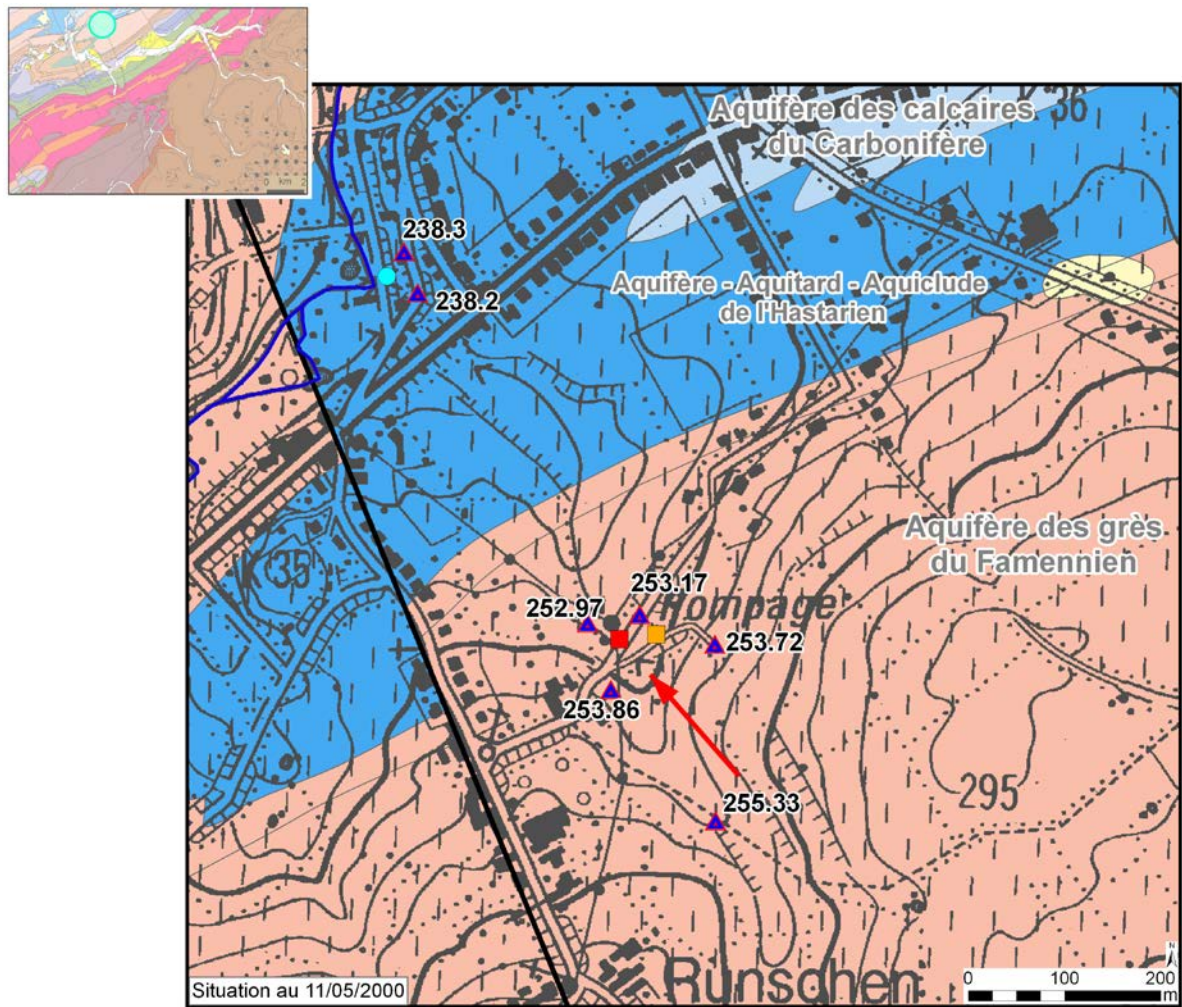


Figure IV.13: Site de Baelen-Heuvel: Piézométrie

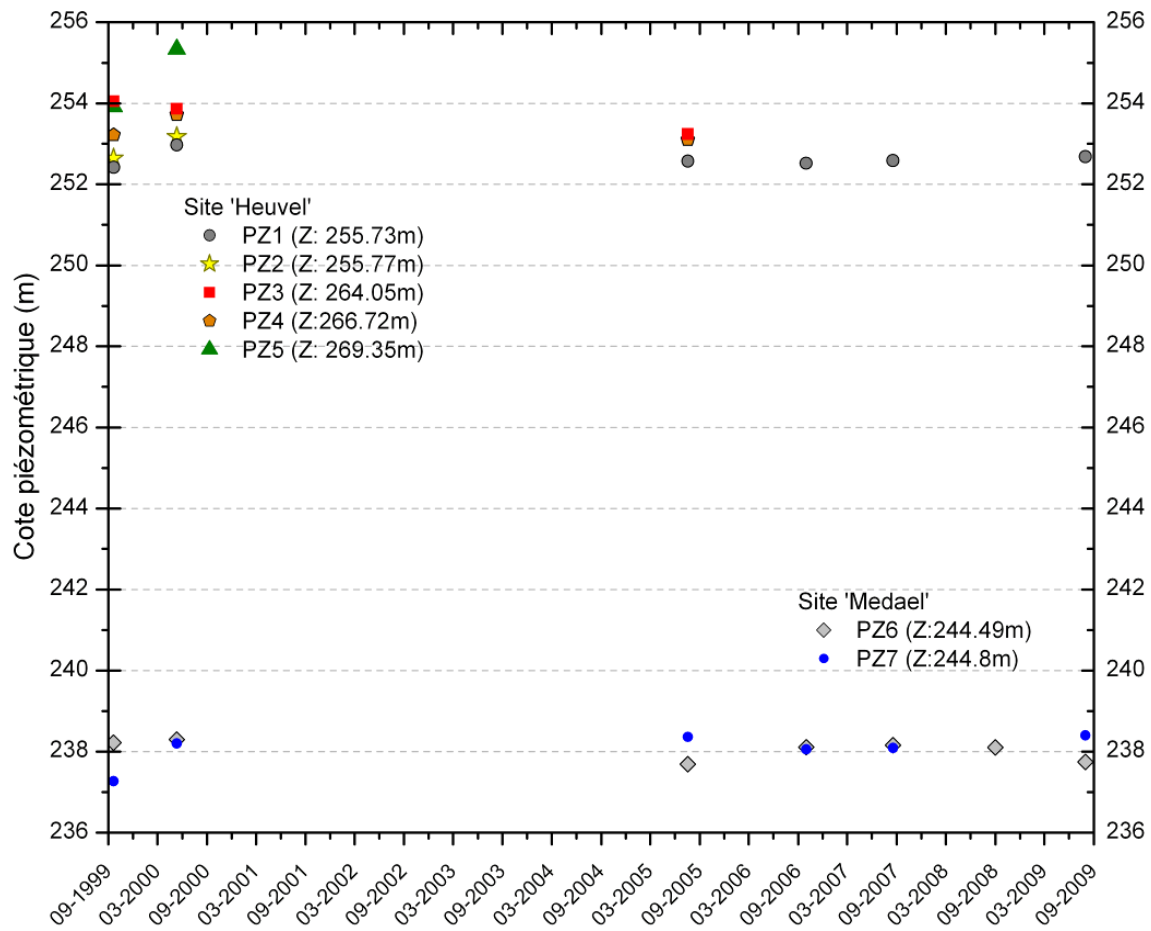


Figure IV.14: Site de Baelen-Heuvel: Fluctuations piézométriques

IV.2.4. Aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur

Environ 20 % des captages recensés (déclarés) sur le territoire de la carte Limbourg-Eupen sont implantés dans l'aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur. Cependant, au niveau de l'exploitation de la ressource, ils ne représentent que 1 à 2 % des prélèvements en eaux souterraines de la région étudiée.

Deux types de nappes se rencontrent généralement dans ces terrains, de nature schisto-gréseuse et quartzitique.

- Une nappe superficielle (nappe libre) développée dans le manteau d'altération. Cet aquifère, souvent 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. Cette nappe sera davantage exploitée via des drains et des galeries, voire par des puits peu profonds.
- 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. Cet aquifère sera généralement exploité via des puits forés. Cependant, à la faveur de failles ou d'un niveau rocheux moins perméable, des venues d'eau peuvent apparaître en surface et s'écouler dans le réseau hydrographique.

Au sud d'Hévreumont, la commune de Limbourg dispose d'un site de captage constitué d'une galerie drainante, Rultak, et d'un puits foré, La Louveterie (figures IV.15 & 16). Ces ouvrages ne sont pas, actuellement, en activité. Ces deux prises sont implantées dans la Formation d'Acoz. Plus précisément, la galerie est creusée dans le membre supérieur composé de schistes (siltites) et de grès argileux. Le puits est foré dans le membre inférieur, caractérisé par une alternance de schistes (siltites), de grès (argileux) et de barres de quartzites. De par la nature des ouvrages et le contexte géologique, la galerie et le puits ne sollicitent pas la même nappe. La première draine les eaux logées dans l'aquifère superficiel. Elle est fortement tributaire des conditions pluviométriques. En période estivale, il arrive que, temporairement, un tarissement s'observe. Le second capte les eaux contenues dans les horizons gréseux et quartzites fracturés de l'aquifère profond (nappe de fissures). Ce puits, profond de 70 m, est crépiné de 24 à 68 m. Lors du forage, les venues d'eau les plus importantes se sont produites à partir de 62 m. Quelques mesures piézométriques sont disponibles au droit de ce forage. En mai 1997, avant la réalisation d'essais de pompage, le niveau statique initial était à 0,95 m, soit à la cote 351,65 m. En date du 17 mars 2010, l'eau était à 2,2 m de profondeur, soit à la cote 350,37 m. Ces valeurs indiquent que le puits sollicite une nappe captive.

Aux mois de mai et de juin 1997, des essais de pompage ont été réalisés afin de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère sollicité (GEOLOGICA, 1997). Les conductivités hydrauliques calculées sont de l'ordre de $2,6$ à $4,4 \times 10^{-5}$ m/s (avec une épaisseur de l'aquifère estimée à 8 m, entre 62 et 70 m). Les transmissivités augmentent avec les débits indiquant une bonne alimentation de l'aquifère. Ces tests sont davantage détaillés dans le [chapitre VII](#) sur les paramètres hydrogéologiques.

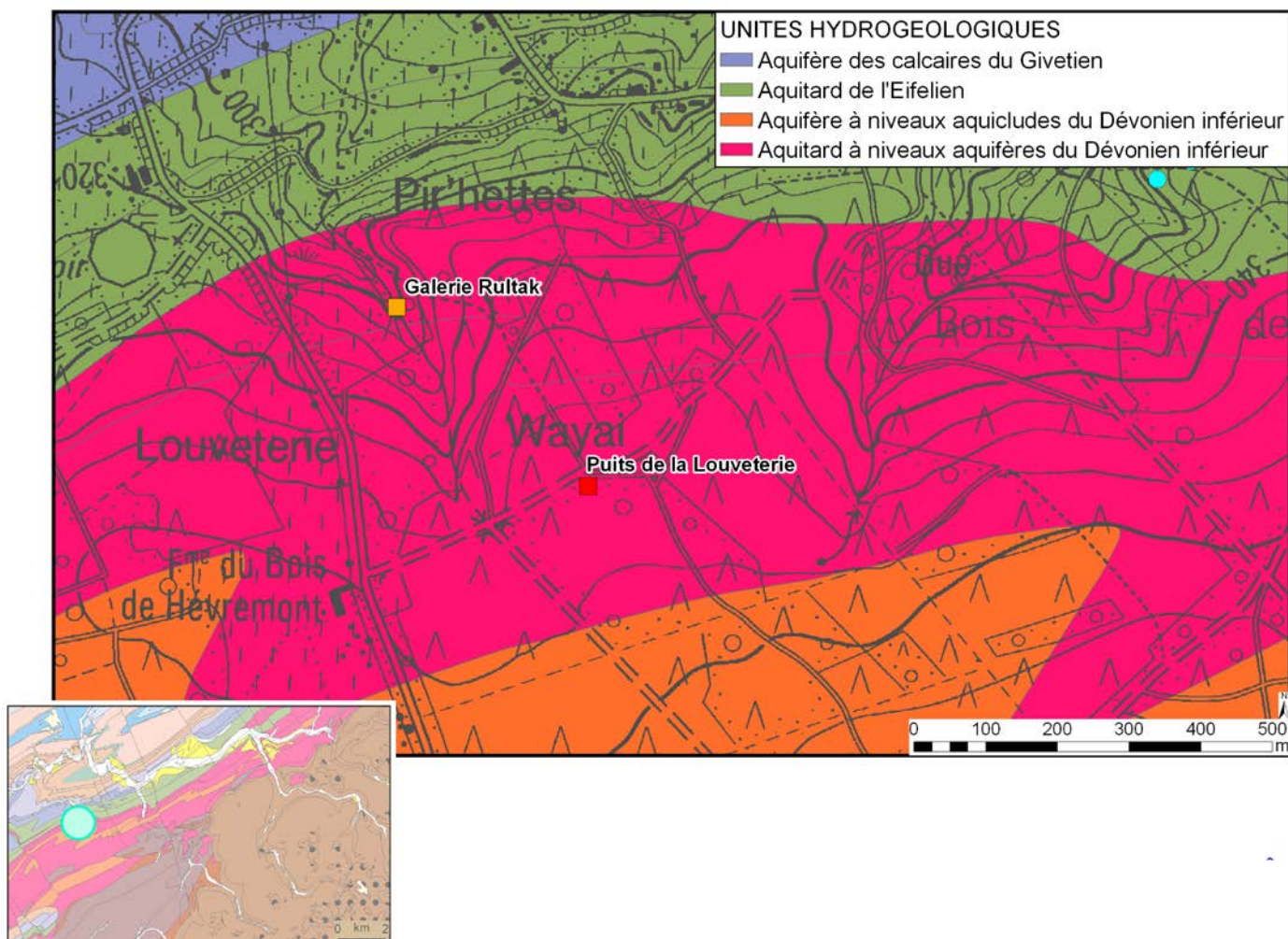


Figure IV.15: Site de captage 'Rultak-La Louveterie' – Administration communale de Limbourg

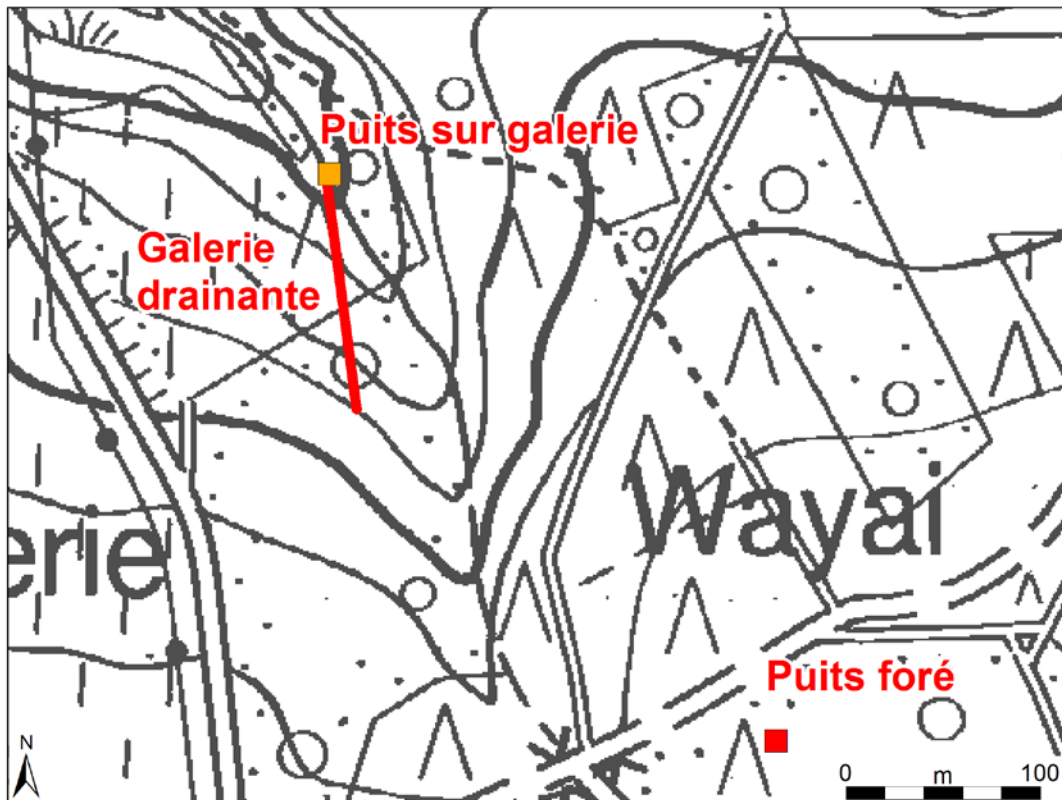


Figure IV.16: Implantation de la galerie de captage 'Rultak'

Quelques niveaux piézométriques au droit de puits privés sont également disponibles. Ils sont reportés sur la carte hydrogéologique au 1/25.000. Sur les six puits relevés, quatre sont des puits profonds (entre 56 et 74 m). Quelques-uns ont des niveaux d'eau relativement proches du sol (quelques décimètres à quelques mètres). Ainsi, il semble que les horizons aquifères sollicités par ces puits soient captifs. D'autres puits présentent des niveaux d'eau plus bas (entre 15 et 20 m).

IV.2.5. Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien (Massif de Stavelot)

Le Massif de Stavelot occupe la partie sud-est du territoire couvert par la carte Limbourg-Eupen, au sud de la faille d'Eupen. Il y est défini par l'unité hydrogéologique nommée: aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien (Formation de La Venne-Coo). D'autres unités figurent aussi dans cette zone, mais d'étendues très limitées (SBL, ALA, AMO). Ce haut plateau des Fagnes est aussi marqué par la présence de vastes tourbières et de matériaux épais d'altération.

On distingue deux types de nappes dans le socle cambro-ordovicien: la nappe d'altération du sommet du bed-rock sous la pénéplaine et la nappe de fissures sous-jacente.

L'importance de la première est liée au taux d'altération différentielle des grès, quartzites, siltites et schistes. Les grès et les quartzites s'altérant en sables peuvent contenir un aquifère intéressant. Par contre, les schistes qui s'altèrent en argile, forment des zones altérées très peu perméables. Les réserves de ces nappes superficielles sont donc limitées, variables spatialement en fonction de la lithologie locale du bed-rock et soumises aux variations climatiques.

La seconde est due aux différentes phases tectoniques qui ont affecté le Massif de Stavelot (cycle calédonien et cycle hercynien) et induisant un taux de fissuration élevé, particulièrement intéressant dans les niveaux gréseux et quartzitiques. Le rôle des failles est notoire car elles sont capables de drainer des quantités importantes d'eau logée dans la zone d'altération du socle si leur remplissage est perméable. C'est le cas généralement des failles dans les formations gréso-quartzitiques. Par contre dans les schistes et phyllades, leur remplissage est souvent argileux ce qui leur confère un rôle d'écran ou de seuil hydrogéologique.

Les terrains cambro-ordoviciens constituent des réservoirs naturels pour l'alimentation du réseau hydrographique ainsi que des localités avoisinantes. Certes, il ne s'agit pas d'une ressource en eau souterraine d'importance régionale mais son intérêt pour la distribution locale est certain.

La partie du Massif de Stavelot, située sur la carte Limbourg-Eupen, est drainée par la Helle, la Soor et la Gileppe et leurs affluents. Le réseau de vallées et de dépressions agit comme des collecteurs de drainage. Dans le nord-est de la zone, se trouve le lac d'Eupen. Le lac de la Gileppe se situe géologiquement en dehors du Massif de Stavelot tout en participant à son drainage via les ruisseaux qui l'alimentent.

La [couverture pédologique](#) du Massif de Stavelot (figure II.6) est majoritairement constituée par les sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuses ou gréseuses, avec un drainage naturel modéré à assez pauvre. Ensuite, prenant place sur des aires moins étendues, on a des sols limoneux peu caillouteux, développés sur un substrat argileux et avec un drainage pauvre, et des sols tourbeux (tourbières) dans le coin sud-est. La qualité du drainage de cette région témoigne de terrains peu perméables, engendrant des sols propices à l'engorgement temporaire ou permanent en eau (surtout pour les sols à drainage assez pauvre) (Pahaut et al., 1961, 1962; CNSW, 2007).

D'après les données disponibles, aucun ouvrage de prise d'eau souterraine n'est recensé dans cette zone, couverte par le massif forestier de l'Hertogenwald.

Une étude sur les bilans hydrologiques (de 1965 à 1980) des bassins-versants des ruisseaux alimentant les barrages de La Gilleppe et d'Eupen a permis, entre autres, de montrer que l'écoulement hypodermique y était important (LGIH, 1980). Les coefficients de tarissement de base pour ces bassins (et leurs sous-bassins) sont de l'ordre de $0,04$ à $0,05 \text{ j}^{-1}$, avec des valeurs extrêmes de $0,012$ à $0,017 \text{ j}^{-1}$ observées en 1976 (année particulièrement sèche).

A la suite de cette étude hydrologique, quatre sous-bassins ont été retenus pour une étude détaillée dont trois sont situés sur la carte Limbourg-Eupen (LGIH, 1982): Warôneu-Dreiborn, Soristène et Robinette (figure IV.17). Au sein de chaque site, une ou deux parcelles expérimentales ont été délimitées pour y mener des prospections complémentaires. Des déversoirs ont été placés sur les ruisseaux et des piézomètres ont été creusés à la tarière (profondeur maximale atteinte: 2 m). La nappe étudiée est donc celle logée dans le colluvium et dans le manteau d'altération. Le bed-rock est composé de quartzites, quartzophyllades et phyllades. Les caractéristiques de ces bassins (au moment de l'étude) et les principaux résultats des investigations sont présentés succinctement ci-dessous.

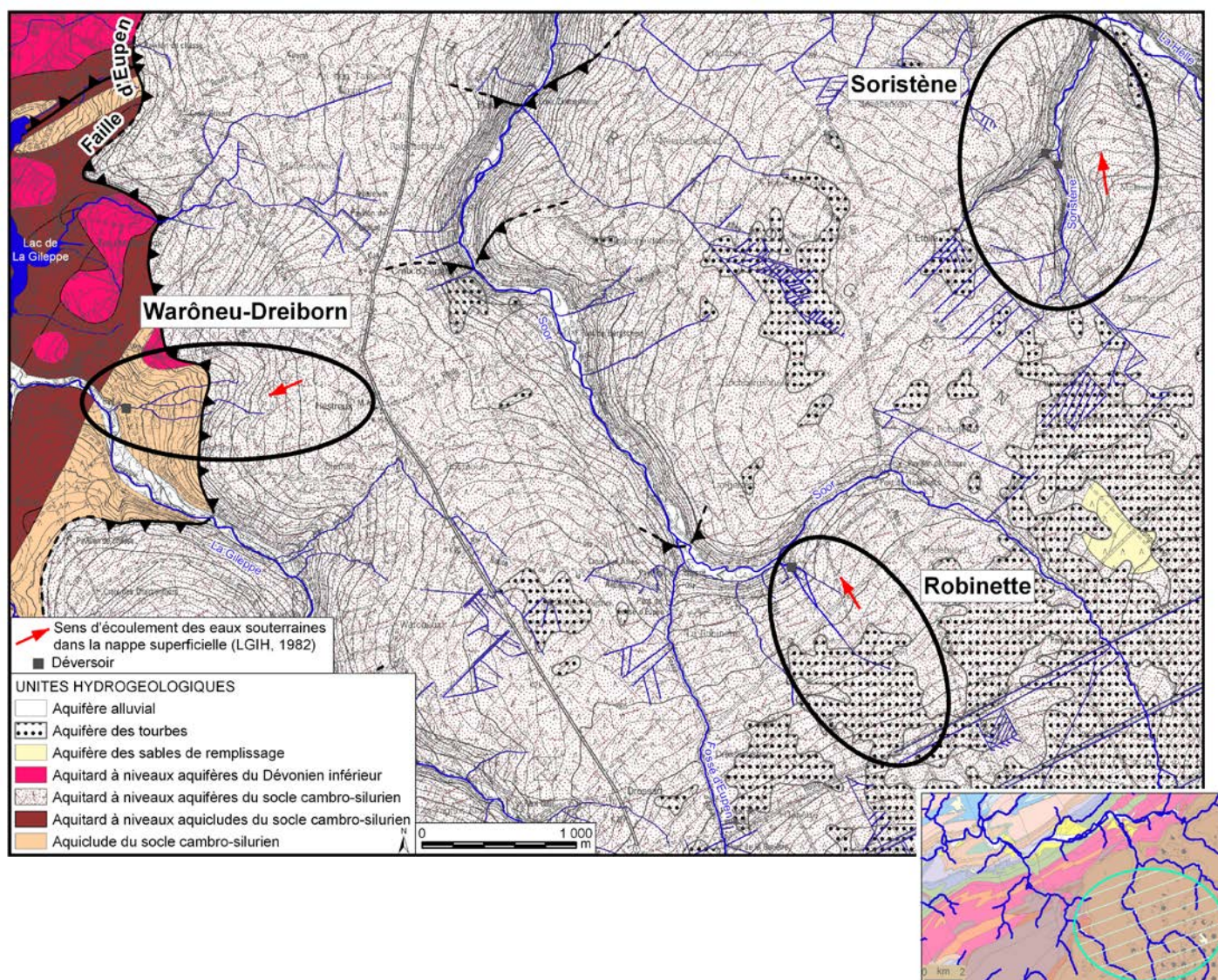


Figure IV.17: Localisation des sites: Warôneu-Dreiborn, Robinette, Soristène - Massif de Stavelot

Tableau IV.3: Principales observations géologiques et hydrogéologiques de trois bassins du versant nord-ouest des Hautes-Fagnes (LGIH, 1982)

	Robinette	Warôneu-Dreiborn	Soristène
Hydrographie	Affluent de la Soor	Affluent de la Gileppe	Affluent de la Helle
Couverture forestière	Résineux	Partiellement de feuillus et de résineux	Feuillus
Superficie du site étudié	81 ha	83 ha	51 ha
Epaisseur du colluvium	0,25 à 1,5 m (max 5,2 m)	0,25 à 2 m (max 4,7 m)	0,8 à 1,6 m
Epaisseur du bed-rock altéré	Moy: 4,5 m (max 10 m)	Prof max: 13 m	Variable, souvent plusieurs mètres
Volume total d'eau écoulé à l'exutoire (déversoir)	01/04/1980 à 31/07/1982 1305,2 mm Soit 1,53 mm/j (1238 m ³ /j)	01/04/1980 à 31/05/1982 1226,2 mm Soit 1,61 mm/J (1335 m ³ /j)	-
Coefficient de tarissement			
hypodermique β	0,5 j ⁻¹	0,5 j ⁻¹	-
de base α	0,09 j ⁻¹	$\alpha_1: 0,15$ à $0,10$ j ⁻¹ $\alpha_2: 0,04$ j ⁻¹	-
Réserves mobilisables			
Volume minimum	≈ 0 à 1,7 mm	4 mm	-
Volume maximum	Au moins 4 à 10 mm	29 mm	-
Piézomètres			
Profondeur des forages	0,9 à 1,4 m	0,7 à 1,6 m	0,5 à 1,95 m
Fluctuations maximales des niveaux d'eau	38 à > 118 cm (piézomètres plusieurs fois taris)	> 32 à > 146 cm (piézomètres plusieurs fois taris)	> 52 à > 195 cm (piézomètres plusieurs fois taris)
Direction de l'écoulement souterrain	NNW Surface piézométrique sensiblement parallèle à la surface topographique	WSW L'allure de la nappe varie peu en fonction de la profondeur de l'eau	N Gradient piézométrique entre 4,6 % et 7 %
Porosité efficace estimée	≤ 1 %	3 %	1 %

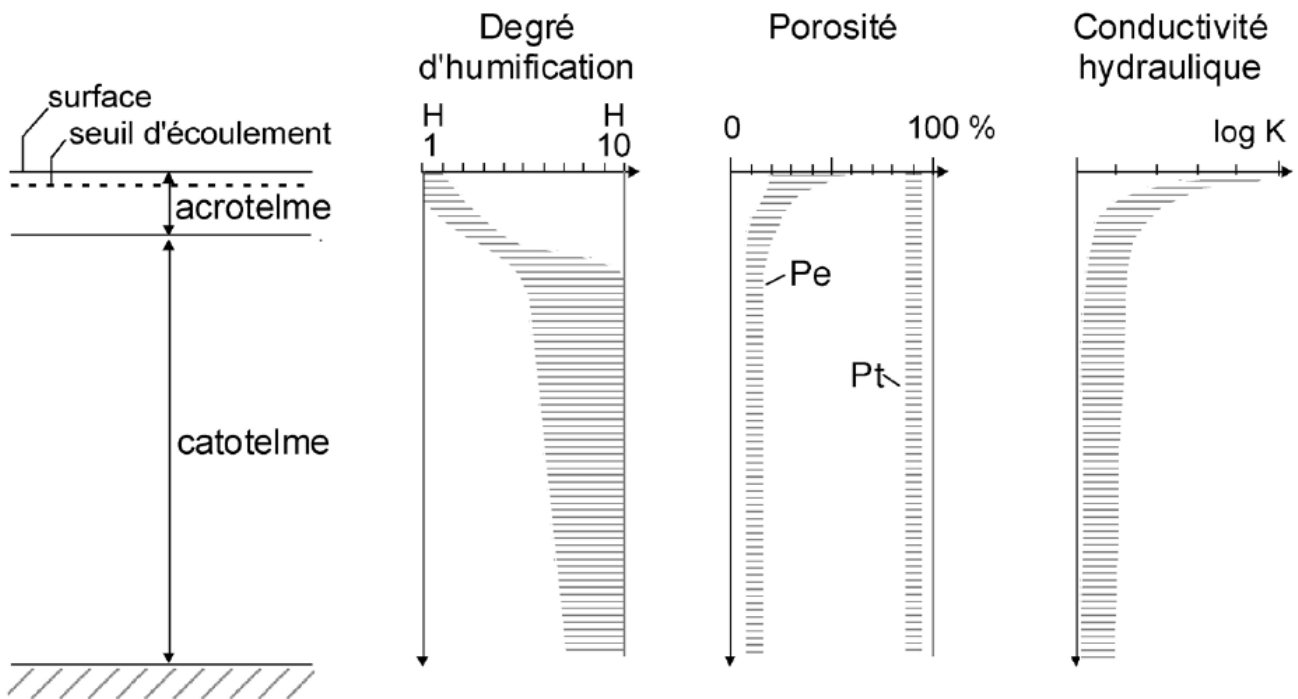
Les niveaux d'eau les plus hauts sont observés, pour les trois sites, au mois de décembre. A cette période, la nappe est souvent subaffleurante. Les niveaux piézométriques les plus bas, avec parfois des forages à sec, sont observés entre fin mai et septembre.

Les tourbières

Présentes sur le Massif de Stavelot, dans le sud-est de la carte Limbourg-Eupen, les tourbières occupent entre 1 et 2,5 % de la superficie de la zone cartographiée, selon respectivement la carte d'occupation du sol (COSW) et la carte pédologique (CNSW) (voir [chapitre II](#)). Les types de sols relevés sous la classe "Zones humides-Tourbières" (COSW) sont des sols tourbeux ou présentant une qualité de drainage naturel modéré à assez pauvre. Les tourbières hautes à sphaignes sont caractéristiques des régions tempérées et très présentes sur les hauts plateaux ardennais (dont les Hautes Fagnes).

Le rôle des tourbières dans le cycle hydrologique, et plus particulièrement leur impact sur le régime des cours d'eau, a été l'objet de maintes études, parfois controversées. D'après Wastiaux (2000; 2008), les tourbières n'assurent ni un effet tampon sur les crues, ni un soutien d'étiage qui soient significatifs.

La figure IV.18 résume les paramètres classiques utilisés pour définir les sols tourbeux. L'acrotelme, ou la strate supérieure, est formée de la végétation vivante et des sphaignes mortes peu décomposées. Peu épaisse (quelques dizaines de centimètres), elle correspond à la zone d'aération périodique où le niveau hydrostatique fluctue. Le catotelme, ou la strate inférieure, constitue la masse la plus importante de la tourbière, elle peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseur et se caractérise par une saturation en eau permanente et donc l'absence d'activité microbienne aérobie. Si la conductivité hydraulique (K) décroît avec la profondeur, elle dépend aussi beaucoup du type de tourbes (caractéristiques physiques, chimiques et botaniques). Dans les coussins à sphaignes, K est de l'ordre de 10^{-1} m/s (Romanov, 1968; cité dans Wastiaux, 2008). Dans les tourbes modérément humifiées, elle est comprise entre 10^{-4} à 10^{-6} m/s (Rycroft *et al.*, 1975; cité dans Wastiaux, 2008). La perméabilité peut descendre à 10^{-9} m/s ou même 10^{-10} m/s dans les tourbes fortement humifiées (Baden & Eggelsmann, 1963; Rycroft *et al.*, 1975; cités dans Wastiaux, 2008). Ces valeurs ont été obtenues soit suite à des essais en laboratoires, soit in-situ. Elles sont à considérer à titre indicatif. En effet, outre la diversité des résultats, la distinction entre conductivité hydraulique verticale et horizontale n'est pas toujours correctement signifiée par les auteurs. De plus, la tourbe semble être un milieu très anisotrope vis-à-vis de ce paramètre (Beckwith *et al.*, 2003).



H: degré d'humification. K: conductivité hydraulique à saturation. Pt: porosité totale. Pe: porosité efficace.

Figure IV.18: Profil schématique d'une tourbière haute et de quelques paramètres hydro-physiques (Wastiaux, 2008)

Le fonctionnement hydrologique des tourbes à l'échelle d'un bassin versant a été étudié via la relation "Précipitations-Débits". Cette dernière est directement en lien avec l'état de la nappe. On observe en général une nappe peu profonde (eau à maximum 20-30 cm de profondeur). Les fluctuations sont de faibles amplitudes. Le niveau piézométrique a été suivi durant une année dans une tourbière des Hautes Fagnes (Wastiaux, 2000). Le niveau d'eau se situe majoritairement à une dizaine de centimètres sous la surface (plus de 60 % de l'année hydrologique). Exceptionnellement, sur de courtes périodes, le niveau piézométrique est parfois plus bas. Cette absence d'abaissement du niveau piézométrique montre que la vidange latérale de la nappe doit être très limitée. Une tourbière est donc un milieu quasiment saturé qui offrira peu de capacité d'absorption (Wastiaux, 2008). De l'étude d'un petit bassin-versant tourbeux des Hautes-Fagnes, diverses observations ont été faites. *En période de précipitations, le niveau hydrostatique reste très proche de la surface. Parallèlement, les pics de crue se succèdent. La tourbière est (quasi) saturée. Tout excédent de précipitations ne peut donc pas s'infiltrer, mais seulement ruisseler selon la pente, à travers la végétation de surface. Au cours d'une période sèche estivale, le niveau hydrostatique descend selon une succession de paliers, à intervalles constants de 24 heures. Parallèlement, le débit (à l'exutoire du bassin) diminue rapidement et devient extrêmement faible (cela signifie un débit de base très bas). Ces deux éléments conjoints indiquent que l'évapotranspiration est, à ce moment, quasiment la seule responsable de l'abaissement du niveau hydrostatique. Lorsque des précipitations ont lieu après une période sèche estivale, la nappe remonte, mais dans un premier temps, le débit (du ruisseau) reste très faible. C'est seulement après que la nappe ait atteint un certain seuil, qu'une signature à l'exutoire (du bassin-versant) est à nouveau enregistrée. Au-delà de ce seuil, la tourbe est pratiquement imperméable et les mouvements latéraux de l'eau sont extrêmement lents – de même que l'infiltration vers des*

aquifères plus profonds, souvent considérée comme négligeable à l'échelle du bilan hydrologique annuel (Wastiaux, 2008).

L'analyse de l'hydrogramme du bassin versant tourbeux montre trois types d'écoulements: deux écoulements rapides de crue, lorsque le toit de la nappe dépasse le seuil d'écoulement rapide et un écoulement de base. Ce dernier ne représente qu'une part minoritaire de la lame d'eau écoulée. La fonction de soutien d'étiage attribuée par certains aux tourbières est en fait négligeable. La capacité des tourbières à emmagasiner de l'eau supplémentaire lors des précipitations étant très limitée, l'effet d'éponge supposé des tourbières n'est pas une réalité. La capacité d'écrêtement des crues par les tourbières est faible. De plus les nappes des tourbières ne peuvent être comparées à des réservoirs, puisque la quasi-totalité de l'eau est indisponible (car très peu mobilisable), tant pour l'écoulement que pour l'infiltration vers les aquifères sous-jacents (Wastiaux, 2008).

IV.2.6. Coupe hydrogéologique

Une coupe est présentée sur le poster de la carte hydrogéologique Limbourg-Eupen, tirée de la carte géologique de Wallonie (Laloux *et al.*, 1996). Cette coupe est dressée sans facteur d'exagération des hauteurs, donc l'échelle verticale est la même que celle horizontale, à savoir 1/25 000 (coupe 1/1). Elle permet de comprendre dans son ensemble le contexte géologique de la région. Les grands structures géologiques y apparaissent (plis, failles).

La coupe hydrogéologique présentée est basée sur la coupe aa' de la nouvelle carte géologique. Elle est orientée perpendiculairement à l'axe des structures et implantée de manière à éviter tout accident transversal. Elle traverse la carte Limbourg-Eupen de part en part du NNW au SSE. La majorité des formations géologiques présentes sur la carte sont recoupées. Structuralement, la coupe est située entièrement dans la "Nappe de la Vesdre". Hydrographiquement, la coupe traverse les bassins de la Hoëgne, de La Gileppe et de la Vesdre (bassin majeur).

D'un point de vue hydrogéologique, sur le tracé de la coupe, quelques niveaux d'eau ponctuels mesurés dans des puits proches de l'axe de la coupe sont reportés. Les cotes piézométriques disponibles illustrent la situation piézométrique soit de la nappe superficielle, soit de la nappe profonde. La première est développée dans le manteau d'altération du bed-rock paléozoïque et est subaffleurante. La seconde se développe dans les horizons gréseux et/ou quartzitiques fracturés et les niveaux d'eau observés y sont généralement plus profonds. Localement, ces nappes peuvent être sous pression (captive sous des terrains moins perméables). Dans la partie nord de la coupe, un niveau d'eau mesuré au droit de l'aquifère des calcaires du Carbonifère montre que dans ce type de terrain (perméabilité importante), le toit de la nappe est généralement relativement bas, comparé au niveau souvent observé dans les aquifères gréseux du Famennien.

IV.2.7. Piézométrie de la carte Limbourg-Eupen

Les données piézométriques disponibles sont peu nombreuses pour les unités hydrogéologiques de la carte Limbourg-Eupen. Elles concernent un nombre limité d'ouvrages (± 30). On note aussi le peu de données historiques. Une grande superficie de la carte étudiée appartient au plateau des Hautes Fagnes, essentiellement couvert par des zones naturelles (forêts, tourbières...). Le contexte hydrogéologique relativement complexe de la région ajoute à la difficulté de tracer des isopièzes. Ainsi, des cotes ponctuelles, avec la date de prise de la mesure, sont reportées sur la carte principale (1/25 000).

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, seules des considérations générales peuvent être émises. Le réseau hydrographique pérenne constitue, en général, l'exutoire des nappes aquifères (drainage), indiquant ainsi le sens global de l'écoulement des eaux souterraines. La Vesdre constitue le niveau de base des aquifères de la région qu'elle recoupe.

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 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. Ce schéma se retrouve dans les mesures piézométriques. Des niveaux d'eau peu profonds sont relevés, entre environ 0,1 et 10 m par rapport à la surface topographique, indiquant une nappe subaffleurante. Des profondeurs d'eau plus importantes sont aussi observées, entre environ 10 et 60 m par rapport au sol. 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.

Dans le synclinal de Baelen, les mesures piézométriques effectuées dans les ouvrages de la SWDE montrent que les eaux souterraines se dirigent, logiquement, vers le cœur calcaire du synclinal depuis les terrains gréseux du Famennien. Ce point est développé au [paragraphe IV.2.3](#). L'étude des phénomènes karstiques a permis, entre autres, de mettre en évidence des directions d'écoulement souterrain préférentiel au sein des formations carbonatées ([paragraphe IV.2.2](#)).

V. CADRE HYDROCHIMIQUE

Les analyses chimiques présentées dans les paragraphes suivants ont été réalisées sur des eaux brutes, non encore traitées en vue de leur consommation. Nous ne disposons pas de données suffisantes pour préciser le cadre hydrochimique de toutes les unités hydrogéologiques de la carte. Lors de la réalisation de la première version de la carte hydrogéologique Limbourg-Eupen, une campagne d'échantillonnage sur les puits privés avait été menée (2010).

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 (Arrêté du Gouvernement Wallon 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 le territoire correspondant à cette carte, plusieurs excavations ont jadis été réalisées (calcaires, sables, grès, argiles...). 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 sources potentielles de pollution sont donc des lieux à surveiller. Notons que quelques carrières sont encore en activité dans la région.

Un inventaire de ces données est disponible auprès des autorités régionales (DGARNE et DGATLPE). 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/>. Depuis 1998, la DGARNE a mis en place un réseau de contrôle des centres d'enfouissement technique (C.E.T.). Ce réseau est géré par l'ISSeP. Des informations sont disponibles via le portail Web du Service Public Wallon: <http://environnement.wallonie.be/data/dechets/cet/>.

Dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive cadre sur l'eau (Directive 2000/60/CE), 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. Trois masses d'eau souterraine sont définies sur la carte Limbourg-Eupen: calcaires et grès du bassin de la Vesdre et de la Gueule ([RWM142/141](#)), grès et schistes du massif ardennais: Lesse, Ourthe, Amblève ([RWM100](#)). L'état global DCE de ces masses d'eau est synthétisé dans le tableau V.1. (DGARNE-DESO et Protectis-Cellule DCE, 2010).

Tableau V.1: Etat des masses d'eau souterraines de la carte Limbourg-Eupen

MESO	Etat global	Etat chimique	Etat quantitatif	Paramètre déclassant
RWM 100	Bon	Bon	Bon	Aucun
RWM 141	Bon	Bon	Bon	Aucun
RWM 142	Mauvais	Bon	Bon	Nitrates

V.1. CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX

V.1.1. Généralités

Identifier rapidement les faciès hydrochimiques des eaux souterraines est l'une des étapes de caractérisation des nappes aquifères. Le diagramme de Piper est l'une des représentations graphiques couramment utilisées pour définir les types d'eau. Le diagramme de Piper est composé de deux diagrammes ternaires dans lesquels sont reportés les proportions en cations et en anions. Le troisième diagramme reprend une synthèse des deux précédents et permet de rapidement caractériser l'eau analysée. Chaque sommet des triangles représente 100% d'un des trois constituants. Pour les cations, on représente en général Ca^{++} , Mg^{++} et $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ tandis que pour les anions, il s'agit de Cl^- , SO_4^{--} et $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--}$, avec parfois NO_3^- (proportions relatives).

Cette méthode graphique appliquée à plusieurs prises d'eau souterraine de la carte Limbourg-Eupen permet d'obtenir les résultats de la figure V.1. Il s'agit d'un aperçu partiel de la composition chimique des eaux souterraines de cette région. De fait, nous ne disposons pas d'analyses chimiques des eaux de l'ensemble des unités hydrogéologiques définies. Selon les données hydrochimiques disponibles, on constate que les eaux souterraines de la carte Limbourg-Eupen, dont nous avons les analyses, sont majoritairement de type bicarbonaté calcique et magnésienne. Certaines eaux ont cependant un caractère sulfaté et/ou chloré plus marqué.

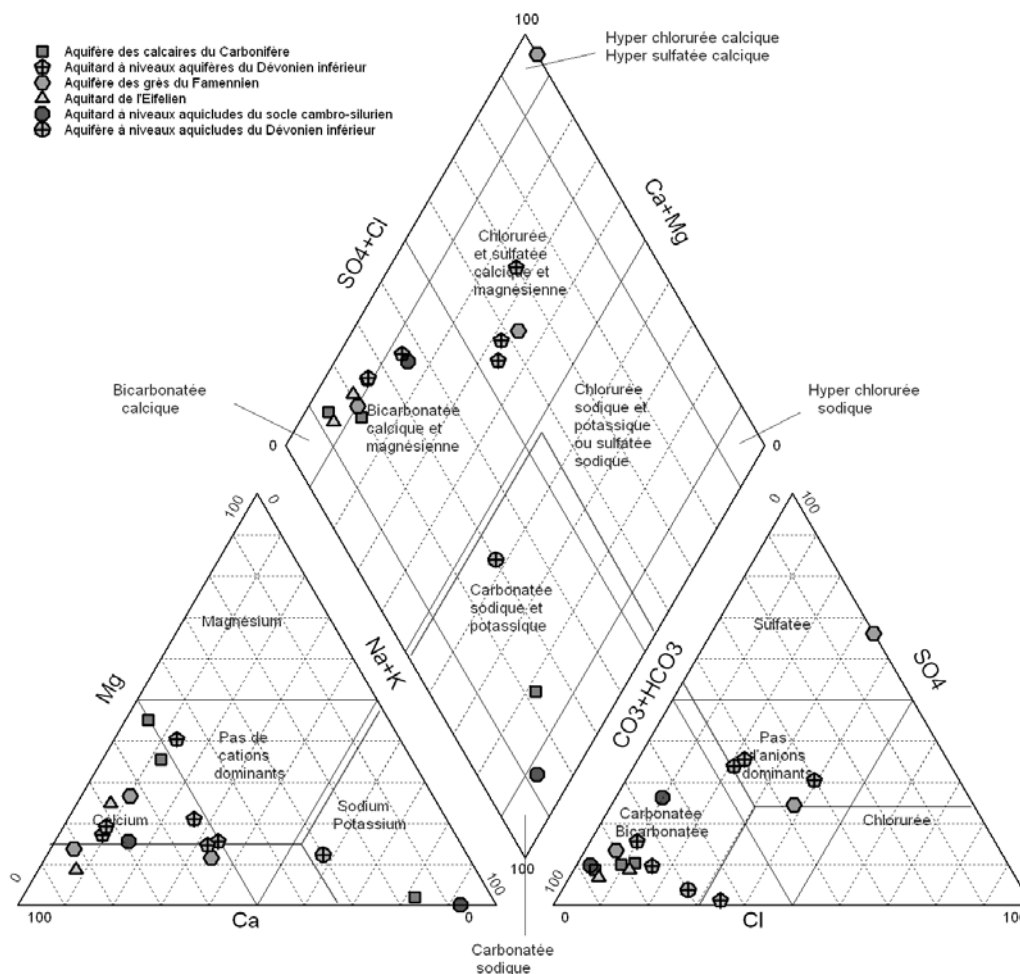


Figure V.1: Diagramme de Piper des eaux souterraines de la carte Limbourg-Eupen

V.1.2. Aquifères des calcaires du Carbonifère et du Dévonien

Quelques captages sollicitent la nappe logée dans les calcaires du Carbonifère. Peu de données hydrochimiques sont disponibles. De plus, elles concernent davantage l'aquifère logé dans les formations de l'Hastarien (Groupe de Bilstain), unité hydrogéologique compartimentée par l'aquiclude des schistes du Pont d'Arcole. Le tableau V.2 reprend quelques analyses chimiques de prises d'eau sollicitant la nappe des calcaires carbonifères ainsi que celle des calcaires dévoniens. Les eaux souterraines issues de ces aquifères sont de type bicarbonaté calcique, avec un pH neutre à alcalin et de dureté et conductivité élevées. Les teneurs en nitrates observées dans les échantillons des prises d'eau présentées sont très élevées, dépassant souvent la norme de potabilité (50 mg/l).

Tableau V.2: Caractéristiques hydrochimiques des nappes des calcaires du Carbonifère et du Dévonien

Élément	Unité	Niveau-guide RW	Jean-sans-peur (AC Limbourg)		Prairie des veaux	Puits Porcherie	Puits Schyns	Medael E1	Stockem
			30/11/2010	01/06/2011	17/03/2010	17/03/2010	17/03/2010		
			Carbonifère						Dévonien
		Code de l'Eau	30/11/2010	01/06/2011	17/03/2010	17/03/2010	17/03/2010	moy.1989-2002	15/04/2010
pH	unités pH	6,5 à 9,5	7,23	7,34	8,11	8,24	8,18	7,3	8,08
Conductivité	µS/cm à	2100	666	625	724	716,8	808,8	585,3	786,3
Dureté totale (TH)	° français	67,5	37		39,9	40,3	8,6	35,9	3,5
Alcalinité totale	° français	-	26,7		33,6	33,3	34,5	29,5	34,4
Calcium	mg/l	270*	95		95,4	85,36	30,4	104,3	13,62
Magnésium	mg/l	50*	33		39,1	46,2	2,27	23,9	0,18
Sodium	mg/l	150	9,3		13,7	5,96	178	6,4	196
Potassium	mg/l	12	2,2	2,2	20,4	5,42	1,18	2,2	0,38
Bicarbonates	mg/l	-	-		403,78	398,17	413,53	-	413,78
Carbonates	mg/l	-	-		2,87	3,82	3,45	-	2,75
Strontium	µg/l	750**	88		<50	<50	<50	82,2	<50
Fer total dissous	µg/l	200*	1		10	10	<10	22,8	<10
Manganèse	µg/l	50*	5		<10	<10	<10	0,9	<10
Sulfates	mg/l	250*	33		40,07	31,52	44,2	32,2	36,75
Chlorures	mg/l	200	20		27,42	11,81	37,64	14,2	8,49
Fluorures	mg/l	0,1 (1,5*)	0,04		<0,2	<0,2	<0,2	0,1	<0,2
Nitrates	mg/l	50	50	51	54,4	66,81	56,62	41,4	99,86
Nitrites	mg/l	0,1	<0,01	<0,01	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Ammonium	mg/l	0,5*	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Silice	mg/l SiO ₂	-	8		4,22	4,74	3,33	8,6	5,88

V.1.3. Aquifère des grès du Famennien

Les eaux logées dans les formations gréseuses du Famennien présentent généralement une minéralisation moyenne, avec un pH à neutre à basique (tableau V.3). Les teneurs, parfois importantes, en calcium et en bicarbonates peuvent être dues au ciment calcaire présent dans les grès. Sur les captages étudiés, les concentrations en nitrates, indicateur de pollution anthropique, sont moyennement élevées. Il convient de surveiller leur évolution.

Tableau V.3: Caractéristiques hydrochimiques de la nappe des grès du Famennien

Elément	Unité	Niveau-guide RW	Heuvel (galerie+puits)		Puits Corman
			28/10/2009	23/10/2012	14/04/2010
		Code de l'Eau			
pH	unités pH	6,5 à 9,5	7,68	7,47	8,36
Conductivité	μS/cm à	2100	512	440	439,4
Dureté totale (TH)	° français	67,5	29	25,9	24,5
Alcalinité totale	° français	-	22,8	20,5	21,1
Calcium	mg/l	270*	99,5	85,1	69,02
Magnésium	mg/l	50*	10,2	11,3	17,7
Sodium	mg/l	150	5,2	5,2	6,83
Potassium	mg/l	12	2,9	2,3	10,2
Bicarbonates	mg/l	-	-	-	250,69
Carbonates	mg/l	-	-	-	3,17
Strontium	μg/l	750**	182,6	142,4	<50
Fer total dissous	μg/l	200*	<12	<12	<10
Manganèse	μg/l	50*	1,7	<0,1	10
Sulfates	mg/l	250*	25,2	27,1	33,79
Chlorures	mg/l	200	9,6	10,7	12,16
Fluorures	mg/l	0,1 (1,5*)	0,11	0,07	<0,08
Nitrates	mg/l	50	33	35,1	12,61
Nitrites	mg/l	0,1	<0,04	<0,04	<0,08
Ammonium	mg/l	0,5*	0,02	<0,02	<0,01
Silice	mg/l SiO ₂	-	12	13,5	10,36

V.1.4. Aquitard de l'Eifelien

Peu de captages sont implantés dans l'aquitard de l'Eifelien. Deux puits privés ont été échantillonnés en avril 2010. Les résultats hydrochimiques (tableau V.4) montrent des eaux peu à moyennement minéralisées, un pH alcalin, une dureté et une alcalinité faibles à moyennes. Les teneurs en nitrates du puits Limburger ne dépassent pas la norme de potabilité (50 mg/l) mais restent à surveiller.

Tableau V.4: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquitard de l'Eifelien

Elément	Unité	Niveau-guide RW	Puits Jasmin	Limburger
		Code de l'Eau	15/04/2010	15/04/2010
pH	unités pH	6,5 à 9,5	8,03	7,58
Conductivité	μS/cm à	2100	206	288
Dureté totale (TH)	° français	67,5	11,6	15,4
Alcalinité totale	° français	-	10,3	10,5
Calcium	mg/l	270*	33,97	55,74
Magnésium	mg/l	50*	7,47	3,52
Sodium	mg/l	150	3,17	5,11
Potassium	mg/l	12	1,43	1,48
Bicarbonates	mg/l	-	124,01	127,48
Carbonates	mg/l	-	0,73	0,27
Strontium	μg/l	750**	<50	<50
Fer total dissous	μg/l	200*	<10	<10
Manganèse	μg/l	50*	<10	<10
Sulfates	mg/l	250*	7,87	11,1
Chlorures	mg/l	200	5,13	10,9
Fluorures	mg/l	0,1 (1,5*)	0,1	<0,08
Nitrates	mg/l	50	5,05	38,7
Nitrites	mg/l	0,1	<0,08	<0,08
Ammonium	mg/l	0,5*	<0,1	<0,1
Silice	mg/l SiO ₂	-	6,21	5,97

V.1.5. Aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur

Les eaux logées dans l'aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur sont captées par quelques puits de particuliers. Quelques-uns ont fait l'objet d'un prélèvement d'eau en avril 2010. Les résultats sont présentés au tableau V.5. Les puits Pichot 1 et 2 sont des puits forés profonds (respectivement 74 m et 65 m), les deux autres ouvrages sont des puits traditionnels moins profonds (8 à 9 m). Les eaux issues de cette unité hydrogéologique sont faiblement minéralisées avec une dureté et une alcalinité faibles et, un pH neutre à basique. Les prises d'eau moins profondes sont caractérisées par des concentrations en nitrates plus importantes.

Tableau V.5: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur

Elément	Unité	Niveau-guide RW	Puits Pichot 1	Puits Pichot 2	Puits Four	Puits Pottier
		Code de l'Eau	12/04/2010	12/04/2010	12/04/2010	12/04/2010
pH	unités pH	6,5 à 9,5	7,94	7,95	7,14	7,31
Conductivité	μS/cm à	2100	314	253,7	230	235,7
Dureté totale (TH)	° français	67,5	15,9	13,3	7,9	8,4
Alcalinité totale	° français	-	11,4	8,4	3,7	3,4
Calcium	mg/l	270*	51,75	41,86	24,14	26,5
Magnésium	mg/l	50*	7,34	6,77	4,49	4,46
Sodium	mg/l	150	6,44	5,34	9,93	10
Potassium	mg/l	12	1,6	0,98	14,8	14,5
Bicarbonates	mg/l	-	137,6	101,33	45,05	41,34
Carbonates	mg/l	-	0,66	0,5	0,03	0,05
Strontium	μg/l	750**	<50	<50	<50	<50
Fer total dissous	μg/l	200*	<10	<10	<10	<10
Manganèse	μg/l	50*	<10	<10	<10	<10
Sulfates	mg/l	250*	22,58	10,39	26,56	27,4
Chlorures	mg/l	200	10,5	12,73	12,06	12,71
Fluorures	mg/l	0,1 (1,5*)	<0,2	<0,08	<0,08	<0,08
Nitrates	mg/l	50	32,41	35,18	46,41	49,02
Nitrites	mg/l	0,1	<0,2	<0,08	<0,08	0,62
Ammonium	mg/l	0,5*	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Silice	mg/l SiO ₂	-	5,9	6,96	4,32	3,48

V.1.6. Aquifère à niveaux aquicludes de Dévonien inférieur

Au tableau V.6 sont reprises deux analyses d'eau caractérisant l'aquifère à niveaux aquicludes du Dévonien inférieur. Ces eaux sont peu minéralisées, légèrement acide et de dureté et alcalinité très faibles. Les teneurs en nitrates sont également peu importantes.

Tableau V.6: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère à niveaux aquicludes du Dévonien inférieur

Elément	Unité	Niveau-guide RW	Hertogenwald G1	Puits Cranshof
		Code de l'Eau	02/12/2003	15/04/2010
pH	unités pH	6,5 à 9,5	6,94	6,88
Conductivité	µS/cm à	2100	129	40,7
Dureté totale (TH)	° français	67,5	6,3	1
Alcalinité totale	° français	-	5,9	1
Calcium	mg/l	270*	18,05	2,74
Magnésium	mg/l	50*	4,32	0,67
Sodium	mg/l	150	3,85	5,32
Potassium	mg/l	12	0,93	1,22
Bicarbonates	mg/l	-	-	12,19
Carbonates	mg/l	-	-	0,01
Strontium	µg/l	750**	41,21	<50
Fer total dissous	µg/l	200*	-	<10
Manganèse	µg/l	50*	1,07	<10
Sulfates	mg/l	250*	3,7	0,52
Chlorures	mg/l	200	4,44	2,68
Fluorures	mg/l	0,1 (1,5*)	0,07	<0,2
Nitrates	mg/l	50	2,7	9,4
Nitrites	mg/l	0,1	0,007	<0,2
Ammonium	mg/l	0,5*	0	0,16
Silice	mg/l SiO ₂	-	9,7	<0,05

V.1.7. Aquitard à niveaux aquicludes du socle cambro-silurien

Dans la région de Jalhay, plusieurs ouvrages sollicitent l'aquitard à niveaux aquicludes du socle cambro-silurien du Massif de Stavelot. Le tableau V.7 présente une analyse hydrochimique d'un ouvrage foré dans cette unité hydrogéologique. Cette eau, au pH neutre, est faiblement minéralisée avec une dureté et alcalinité faibles. Si les teneurs en composés azotés sont très faibles, il n'en est pas de même des concentrations en fer et en manganèse.

Tableau V.7: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquitard à niveaux aquicludes du socle cambro-silurien

Elément	Unité	Niveau-guide RW	Puits Foyr
		Code de l'Eau	12/04/2010
pH	unités pH	6,5 à 9,5	7,73
Conductivité	μS/cm à	2100	139,8
Dureté totale (TH)	° français	67,5	6,7
Alcalinité totale	° français	-	5
Calcium	mg/l	270*	21,85
Magnésium	mg/l	50*	2,99
Sodium	mg/l	150	4,61
Potassium	mg/l	12	1,59
Bicarbonates	mg/l	-	60,54
Carbonates	mg/l	-	0,18
Strontium	μg/l	750**	<50
Fer total dissous	μg/l	200*	100
Manganèse	μg/l	50*	98
Sulfates	mg/l	250*	19,52
Chlorures	mg/l	200	5,39
Fluorures	mg/l	0,1 (1,5*)	0,13
Nitrates	mg/l	50	<0,12
Nitrites	mg/l	0,1	<0,08
Ammonium	mg/l	0,5*	<0,1
Silice	mg/l SiO ₂	-	11,51

V.1.8. Eaux de surface (barrages)

Sur la carte Limbourg-Eupen, parmi les prélèvements destinés à la distribution publique d'eau potable, on compte deux prises d'eau de surface: les barrages de la Vesdre (Eupen) et de la Gileppe. En termes de volumes, il s'agit des captages les plus importants de la carte ([chapitre VI.](#)). Le tableau V.8 présente la composition chimique (éléments majeurs) des eaux de ces deux prises d'eau. A titre indicatif, la composition des précipitations y est également reprise (Leeflang, 1938; Hoogendoorn, 1983. In: Interreg II, 2000). La composition chimique des eaux des deux lacs est très proche de celle de l'eau de pluie. Il s'agit d'une eau peu minéralisée, au pH acide, de dureté et d'alcalinité très faibles. On note, cependant, que la charge en fer et manganèse est nettement plus élevée dans les lacs et les teneurs en aluminium sont également importantes. Ces éléments exigent un traitement de l'eau avant sa mise à disposition sur le réseau de distribution publique. Ces caractéristiques hydrochimiques sont en relation étroite avec l'occupation du sol du bassin versant alimentant le lac. Les bassins hydrographiques de ces lacs sont majoritairement forestiers et caractérisés par la présence de tourbières. Les sols forestiers sont souvent acides contrairement aux sols agricoles (où apport de chaux). L'aluminium contenu dans le sol devient soluble avec l'augmentation de l'acidité du sol. Une étude menée sur les bassins versants des ruisseaux alimentant les deux lacs a mis en évidence la relation entre l'acidité de l'eau et l'importance des zones de tourbes et de conifères (Huveneers & Cornet, 1976; LGIH, 1980). Les rivières s'écoulant dans des bassins quasiment dépourvus d'endroits tourbeux et moins pourvus en étendues forestières ont des eaux au pH plus basique.

Tableau V.8: Caractéristiques hydrochimiques des lacs de la Vesdre et de La Gileppe

Elément	Unité	Niveau-guide RW	Barrage de la Vesdre		Barrage de la Gileppe		Eau de pluie
			29/12/2008	16/10/2012	22/12/2008	09/10/2012	
		Code de l'Eau					
pH	unités pH	6,5 à 9,5	4,64	6,35	5,91	6,31	4,4-5,6
Conductivité	µS/cm à	2100	70,7	35,3	61,7	58	-
Dureté totale (TH)	° français	67,5	0,7	0,5	1,6	1,1	-
Alcalinité totale	° français	-	1,4	<1	0,7	<1	-
Calcium	mg/l	270*	1,8	1,3	4,6	2,9	1,6
Magnésium	mg/l	50*	0,7	0,5	1,2	0,9	1
Sodium	mg/l	150	2,9	2,1	5,1	3,7	3
Potassium	mg/l	12	0,4	0,3	0,8	0,6	-
Strontium	µg/l	750**	6,7	5,7	10,3	10,1	-
Fer total dissous	µg/l	200*	1357	1217	754	1053	0,06
Manganèse	µg/l	50*	93	76,5	18,9	126,7	-
Aluminium	µg/l	200	747	469	349	333	-
Sulfates	mg/l	250*	5,8	5,2	6,9	7,2	4,5
Chlorures	mg/l	200	4,9	4,4	6,9	6,2	4
Fluorures	mg/l	0,1 (1,5*)	0,06	<0,05	0,05	0,05	-
Nitrates	mg/l	50	1,8	1	2,9	2,2	2,9
Nitrites	mg/l	0,1	0	<0,04	0,01	<0,04	0,01
Ammonium	mg/l	0,5*	0,03	0,03	0,02	0,06	1,72
Silice	mg/l SiO ₂	-	2,5	3,1	2,1	3,8	-

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.2). 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'action précis dont les mesures ont été arrêtées dans le code de "bonne pratique agricole". Pour plus d'informations, voir www.nitrawal.be.

Le territoire du Pays de Herve a été désigné comme "zone vulnérable aux nitrates" par le gouvernement wallon (AGW 28 février 2006, délimitation de la zone; AGW 22 novembre 2012, extension de la zone). Environ 22 km² de la superficie de la carte Limbourg-Eupen est concernée par cette zone (figure V.2). Le tracé de la zone vulnérable aux nitrates est repris sur la carte thématique des informations complémentaires.

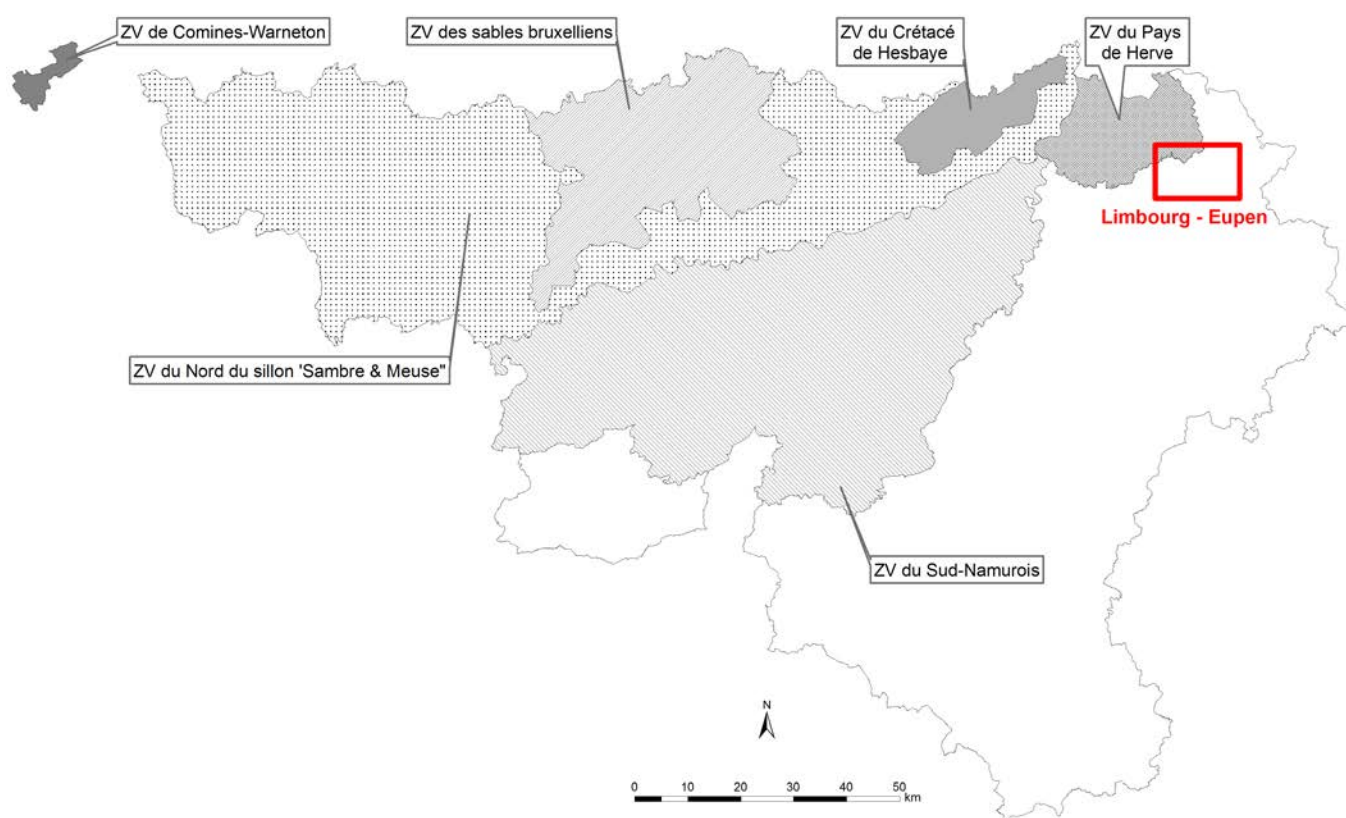


Figure V.2: Zones vulnérables en Région wallonne

Depuis plusieurs années, les compagnies de distribution d'eau surveillent de manière très régulière les concentrations en nitrates de leurs différents captages. La figure V.3 présente l'évolution des teneurs en nitrates de différents captages sollicitant les aquifères rencontrés sur la carte Limbourg-Eupen, ainsi que les deux réservoirs d'eau de surface (barrages de la Vesdre et de La Gileppe). La teneur maximale admise en Wallonie est 50 mg NO₃/l pour les eaux potabilisables.

Les concentrations en nitrates mesurées depuis une quinzaine d'années semblent relativement stables. Une tendance à la hausse s'observe pour les prises d'eau 'Heuvel' et 'Jean-sans-peur' (Medael aussi mais il n'est plus exploité actuellement) jusqu'en 2008, suivie d'une stabilisation. Voire d'une légère baisse. A l'exception de quelques échantillons, l'ensemble des valeurs reste inférieure à la norme. Les eaux issues des formations carbonatées du Carbonifère et gréseuses du Famennien ne sont pas négligeables et doivent faire l'objet d'une surveillance adaptée. Les eaux de surface des deux barrages-réservoirs présentent, logiquement, des concentrations en nitrates très faibles, leur bassin d'alimentation étant essentiellement couvert par des forêts.

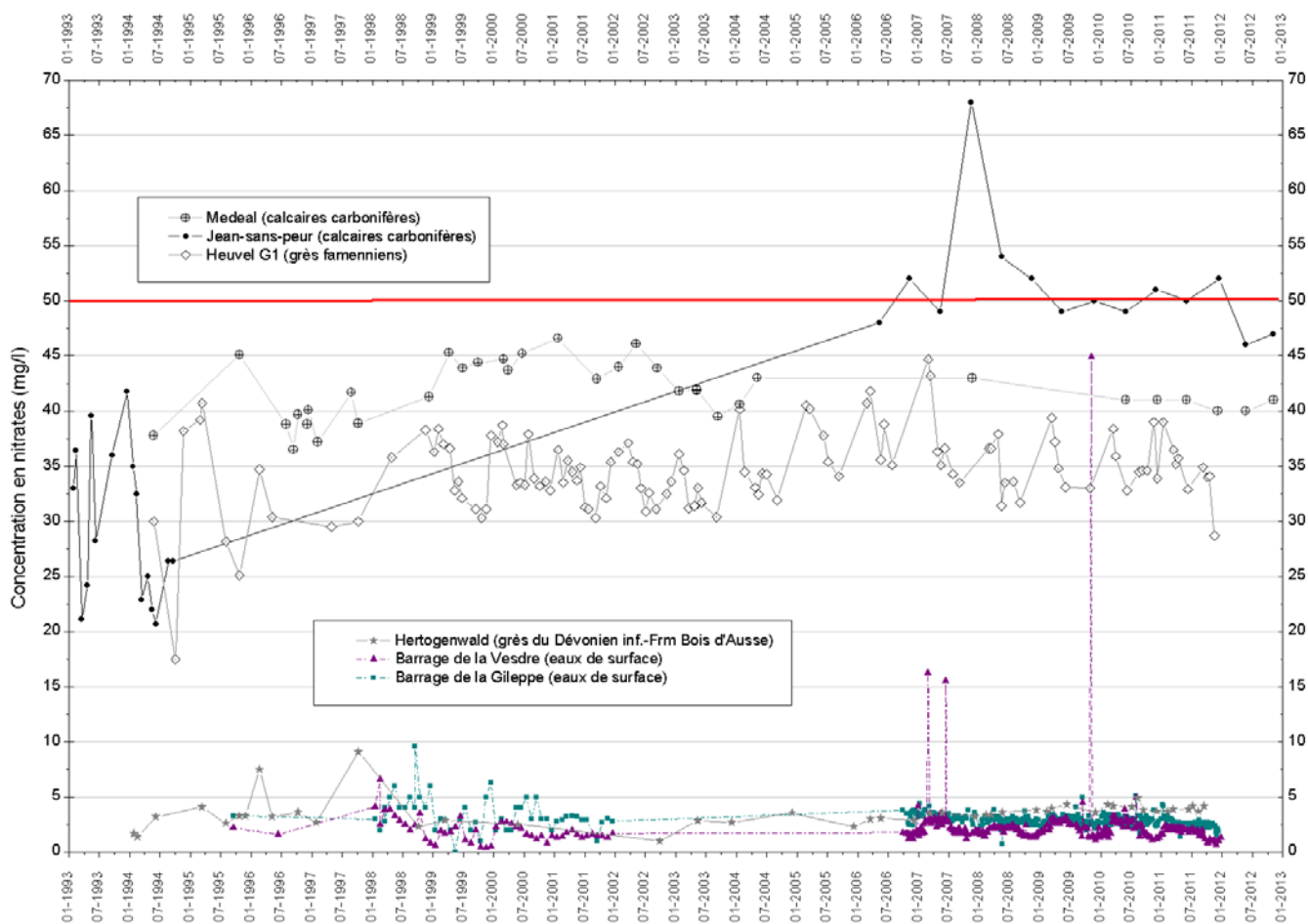


Figure V.3: Evolution des teneurs en nitrates pour quelques captages de la carte Limbourg-Eupen

V.3. QUALITE BACTERIOLOGIQUE

Quelques analyses concernant les paramètres bactériologiques sont disponibles pour certains captages du réseau public de distribution d'eau. D'après ces données, on note la présence de germes totaux (22° et 37°C), de coliformes totaux et d'entérocoques fécaux nécessitant un traitement des eaux avant mise sur le réseau (chloration). Le tableau V.9 reprend quelques analyses microbiologiques (sur les eaux brutes).

Tableau V.9: Paramètres microbiologiques - Carte Limbourg-Eupen

		Heuvel (galerie+puits)		Hertogenwald G1	Barrage de la Vesdre		Barrage de la Gileppe	
		28/10/2009	23/10/2012	14/09/2009	29/12/2008	16/10/2012	22/12/2008	09/10/2012
Germes totaux à 22°C	nbre / ml	300	8	30	288	180	228	300
Germes totaux à 37°C	nbre / ml	300	3	-	-	19	-	63
Coliformes totaux	nbre / 100 ml	300	8	300	1	61	21	300
Coliformes fécaux	nbre / 100 ml	-	-	-	0	-	13	-
Escherichia coli	nbre / 100 ml	0	0	2	1	2	13	300
Entérocoques fécaux	nbre / 100 ml	10	0	1	1	0	7	47
Clostridium perfringens	nbre / 100 ml	6	0	-	-	0	-	0

V.4. PESTICIDES

D'après les données disponibles, à ce jour, on n'observe pas de contamination marquée des eaux souterraines par les pesticides. Les concentrations, par produits 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, la simazine, le diuron, l'isoproturon et le déséthyl-atrazine (métabolite de l'atrazine).

Les eaux de surface (réservoirs-barrage de la Vesdre et de La Gileppe) ne présentent, à ce jour, pas de problèmes liés aux pesticides.

V.5. AUTRES PARAMETRES

Outre la présence de fer et de manganèse mentionnée ci-dessus, on note la présence régulière d'autres métaux, parfois en quantité non négligeable, tels que le zinc, le cuivre, le plomb, éléments liés à la minéralisation des roches observées dans la région.

A propos des autres paramètres tels que les hydrocarbures⁹, sur base des données disponibles les eaux souterraines logées dans les terrains de la carte Limbourg-Eupen ne semblent pas présenter de pollution inquiétante.

Localement, des études environnementales sur les sites gérés par la SPAQuE (Banque de données [WALSOLS](#)) ont montré une contamination des sols et/ou des eaux de surface et souterraines en certains éléments indésirables. Parmi les sites gérés par la SPAQuE sur la carte Limbourg-Eupen, deux, pour lesquels des données sont disponibles, sont décrits ci-dessous (figure V.4).

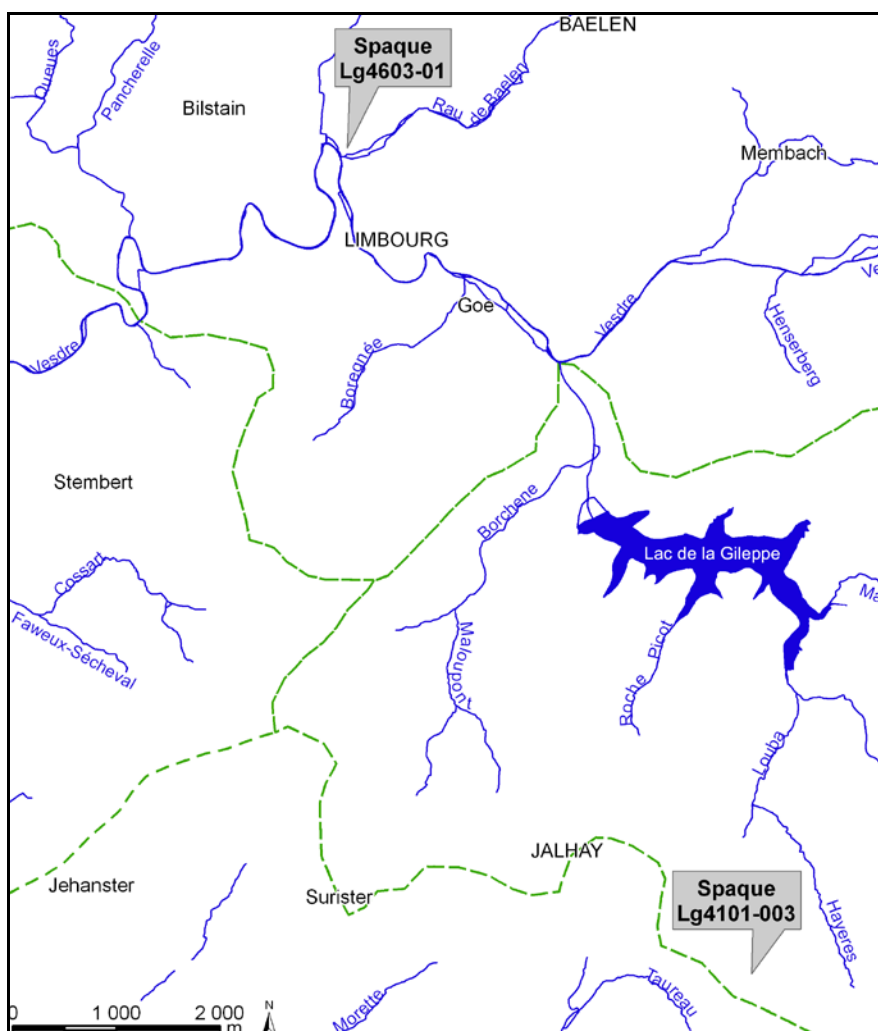


Figure V.4: Localisation de sites gérés par la SPAQuE - Limbourg-Eupen

⁹ Entre autres les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et monocycliques (HAM).

Au sud-est de Jalhay, au lieu-dit "Fange et Thiers, un dépôt de 0,13 ha de scories et de cendres volantes d'incinérateurs a été découvert en 1986 (figure V.5). Actuellement, ce dépôt est recouvert de végétation colonisatrice des sols dénudés. Le substratum au droit de ce site est composé de phyllades et de quartzites de la Formation de La Venne-Coo (Cambrien supérieur). D'un point de vue hydrogéologique, on est en présence d'un aquitard à niveaux aquifères (en profondeur dans les horizons fissurés), surmonté d'une nappe subaffleurante logée dans le manteau d'altération. Les eaux de cette nappe s'écoulent vers le nord-est. Cet écoulement peut être qualifié d'hypodermique. Depuis 1995, plusieurs campagnes de surveillance environnementale ont été menées. Des dépassements des normes ont été détectés en aval du site avec la présence significative de métaux et d'HAP dans les eaux de la nappe superficielle: fer, manganèse, chrome, zinc, nickel. Cependant, pour plusieurs métaux, les eaux en amont du site montrent des teneurs plus élevées qu'en aval, indiquant la possibilité d'un bruit de fond naturel (SPAQuE, 2008-2009).

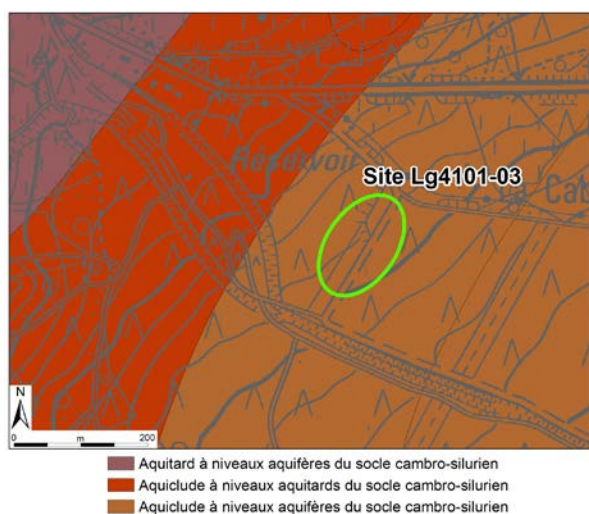


Figure V.5: Site "Dépôt de cendres" à Jalhay (Lg4101-003 - SPAQuE)



Figure V.6: Site "Machines textiles Hoeck" à Limbourg (Lg4603-01 - SPAQuE)

Situé à Limbourg (Dolhain), le site "Machines textiles Hoeck" a fait l'objet d'investigations poussées afin d'en dresser l'état environnemental et d'envisager les mesures d'assainissement à effectuer en vue de sa réaffectation (figure V.6). Une vaste campagne de prélèvements et d'analyses d'échantillons issus des remblais, du sol naturel (alluvions), des eaux souterraines et de surface et, de l'air a été menée (SPAQuE, 2007; SPAQuE-Tauw, 2008). Ces investigations montrent une contamination généralisée du sol en métaux lourds (plomb et zinc, surtout) sur la totalité du site, autant dans les remblais que dans les alluvions, ainsi que dans les eaux souterraines et de surface. Une partie de cette contamination peut être liée au contexte géologique régional (bruit de fond dû à la nature des roches). Localement, des teneurs importantes en HAP ont aussi été détectées dans les remblais et dans les eaux souterraines. Dans ces dernières, des concentrations non négligeables en toluène ont été localement décelées. Une première évaluation des impacts de ces contaminations a été réalisée. Elle conclut qu'en l'état des connaissances, actuellement, aucune menace grave pour la santé humaine et l'environnement n'a été identifiée sur ce site. Cependant, des investigations supplémentaires sont recommandées au vu des pollutions en métaux lourds observées.

VI. EXPLOITATION DES AQUIFERES

Les principales ressources en eaux souterraines exploitées sur le territoire de la carte Limbourg-Eupen sont logées dans l'aquifère des calcaires du Carbonifère et dans l'aquifère des grès du Famennien. Les autres unités hydrogéologiques sont également sollicitées, toutefois dans une moindre mesure.

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

Les prélèvements d'eaux souterraines, sur le territoire de la carte étudiée, sont majoritairement destinés à la distribution publique d'eau potable. Celle-ci est assurée, d'une part, par la commune de Limbourg et, d'autre part, par la SWDE. Deux sites sont toujours en activité (figure VI.1). Les deux galeries 'Jean-sans-Peur' de la commune de Limbourg captent les eaux de l'aquifère des calcaires du Carbonifère (Hastarien), à raison de 27 500 m³/an en moyenne (calculée sur la décennie 2000). Le site SWDE de Heuvel, comprenant une galerie et un puits, sollicitent la nappe logée dans les terrains schisto-gréseux du Famennien. Le volume moyen prélevé est de l'ordre de 135 000 m³/an. Ces deux producteurs/distributeurs d'eau potable possèdent d'autres sites de captage, soit à l'arrêt, soit mis hors service (vétusté des infrastructures, qualité médiocre, débit insuffisant...). A Baelen, la SWDE exploitait jusqu'au début des années 2000 l'aquifère des calcaires du Carbonifère, via la source Medael E1 (0,9 à 67 m³/jour). La commune de Limbourg a deux prises d'eau sollicitant l'aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur, la galerie de Rultak et le puits de La Louveterie. Durant la décennie '90, environ 10 000 m³/an étaient, en moyenne, prélevés via la galerie (actuellement à l'arrêt).

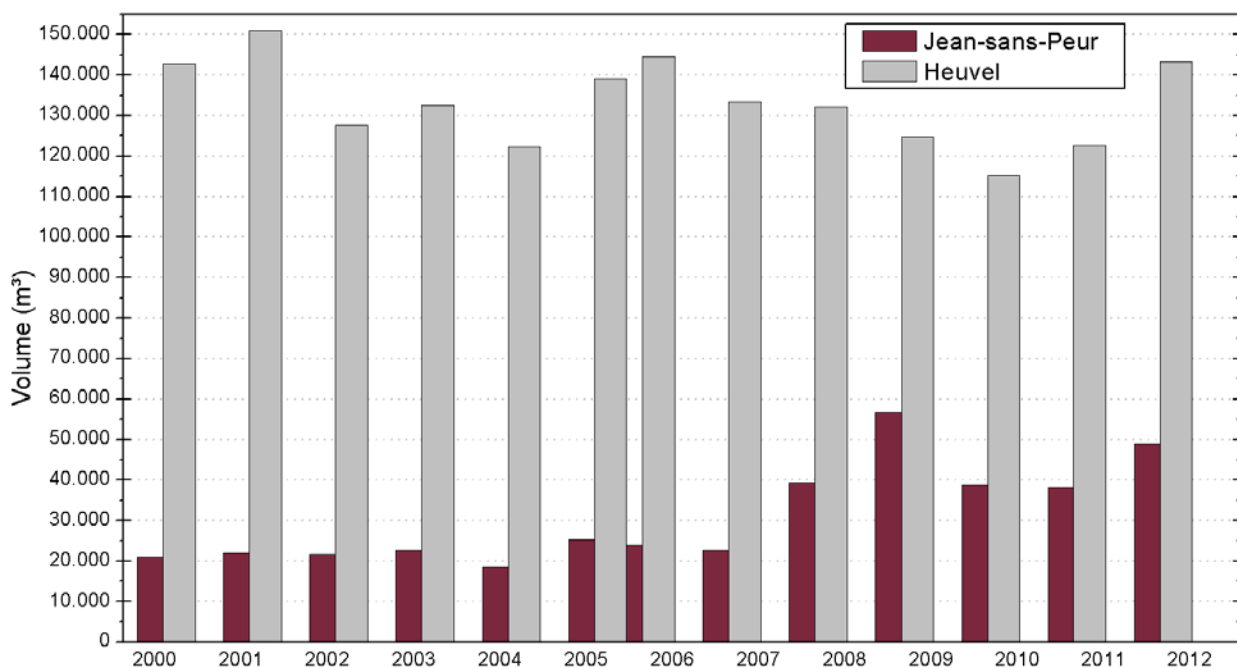


Figure VI.1: Volumes annuels - Eaux souterraines - Distribution publique d'eau potable

D'autres prélèvements d'eaux souterraines sont également réalisés sur la carte Limbourg-Eupen. Les titulaires de ces prises d'eau sont des industries (eau de process, nettoyage...), des agriculteurs ou encore des particuliers. Les volumes pompés sont très variables d'une prise d'eau à l'autre. D'après les données disponibles, ils sont compris entre 10 m³ et 3000 m³ par an, avec temporairement pour certains puits des volumes plus élevés (jusqu'à 100 000 m³/an).

La distribution publique d'eau potable, en Wallonie, est aussi assurée via des prélèvements d'eaux de surface. Deux des quatre grands barrages-réservoirs sont situés sur la carte Limbourg-Eupen: le barrage de la Vesdre (Eupen) et le barrage de la Gileppe. Ces prises d'eau sont gérées par la SWDE. Via l'adduction Eupen-Seraing-Thiba, elles desservent les communes du Pays de Herve, de la région de Verviers et de la rive droite de la Meuse. Ainsi, une grande partie de l'eau pompée quittent le bassin-versant de ces deux lacs. Les volumes prélevés sont très importants. Annuellement, environ 17 millions de m³ d'eau sont prélevés au barrage de la Vesdre, contre 8 millions pour le barrage de la Gileppe (figure VI.2).

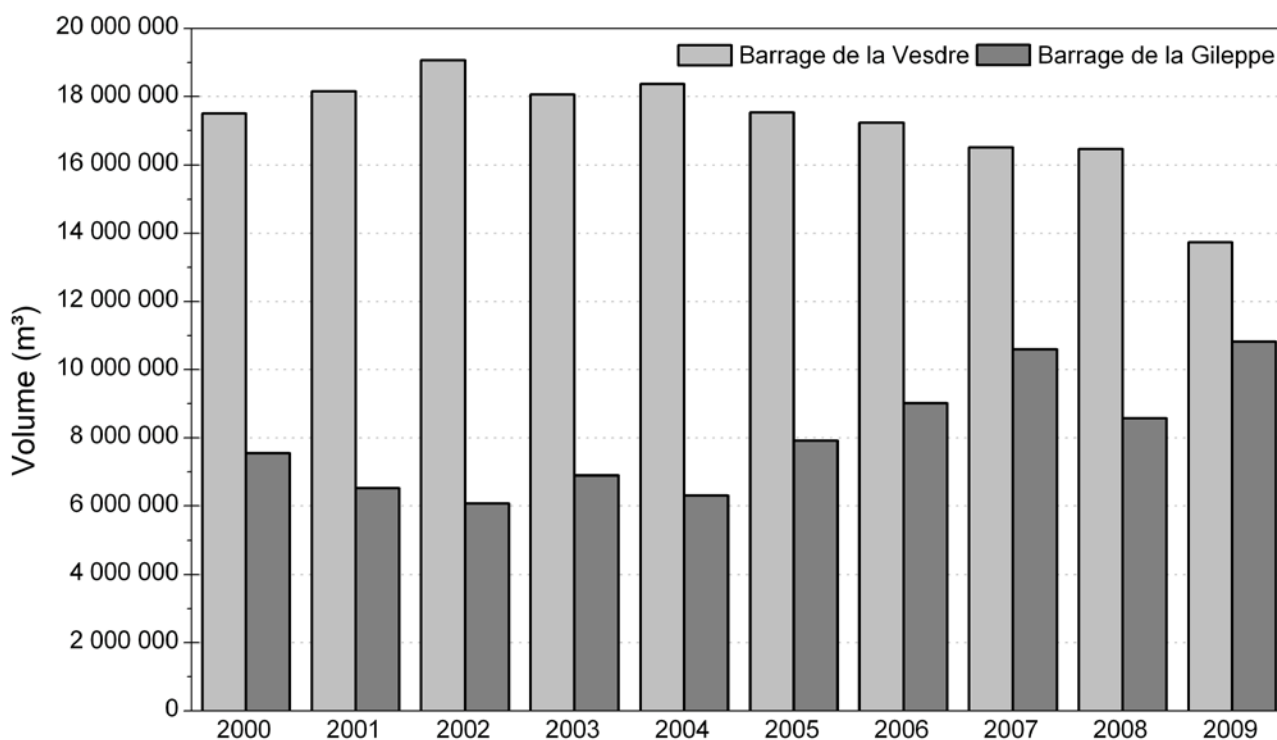


Figure VI.2: Volumes annuels - Eaux de surface - Distribution publique d'eau potable

VII. PARAMETRES D'ECOULEMENT ET DE TRANSPORT

Toutes les unités hydrogéologiques présentes sur la carte Limbourg-Eupen n'ont pas fait l'objet d'études permettant de définir les paramètres hydrodynamiques des aquifères. De telles études approfondies sont généralement menés sur des sites de captages importants, sur des sites pollués (ou avec suspicion de pollution des eaux souterraines) ou lors de recherches de ressources en eaux.

VII.1. AQUIFERE - AQUITARD - AQUICLUDE DE L'HASTARIEN (CARBONIFERE)

L'aquifère des calcaires du Carbonifère de la Nappe de la Vesdre, ici plus spécifiquement l'unité hydrogéologique de l'Hastarien, a été étudié au droit du site de Medael à Baelen. Pour rappel, la nappe est captée via une source à l'émergence E1. Deux piézomètres ont été forés à proximité (Pz6-Pz7). Des essais de pompage et de traçage ont été menés dans le cadre de l'étude des zones de prévention (Lenglin & Pickaert, 2000; LGIH, 2000, 2002).

Le pompage d'essai réalisé sur le piézomètre Pz6 a duré 24 h avec un débit d'environ 12 m³/h. La remontée a été suivie pendant 6 h. Le niveau d'eau a également été mesuré dans le piézomètre voisin. Cependant aucune variation n'a été observée. Les paramètres hydrodynamiques calculés sont les suivants:

- transmissivité en rabattement: $3,05 \times 10^{-2}$ m²/s;
- transmissivité en remontée: $1,01 \times 10^{-1}$ m²/s;

Si on considère une épaisseur d'aquifère de l'ordre de 23 m (hauteur crépinée), la conductivité hydraulique moyenne est de l'ordre de 4×10^{-3} m/s.

Lors du traçage, les piézomètres et la perte (voir figure IV2) ont servi de points d'injection tandis que le captage E1 et une autre source non exploitée (nommée S) ont été échantillonnés (points potentiels de restitution). L'injection à la perte n'a donné aucun résultat. Aucune restitution n'a été observée ni au captage E1, ni à la source S (traceur trop dilué, direction de l'écoulement souterrain modifié par la route...?). Les injections dans les piézomètres (Pz6, Pz7) ont mis en évidence le caractère essentiellement convectif de l'écoulement souterrain dans cette zone (vers le captage). Un axe d'écoulement préférentiel semble exister entre le Pz7 et le trop-plein du captage (distant de quelques mètres de la source E1, dans le ruisseau de Baelen). Quelques paramètres de transport ont pu être estimés, via le logiciel CATTI (hypothèses très peu réalistes d'un milieu homogène et isotrope):

- porosité efficace: 2,5 %;
- dispersivité longitudinale: 1,5 m.

VII.2. AQUIFERE DES GRES DU FAMENNIEN

La SWDE exploite les eaux logées dans l'aquifère gréseux du Famennien, via une galerie drainante et un puits (peu profond) à Baelen (site de captage de Heuvel) (voir figure IV.2). Des essais de pompage et de traçage ont permis de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (Lenglin & Pickaert, 2000; LGIH, 2000, 2002). Les premiers ont été menés au droit de deux piézomètres Pz2 et Pz5, avec un débit de l'ordre de 10-11 m³/h (24 h de pompage; 6 h de remontée). Les essais ont atteint la stabilisation au bout de la journée de pompage. Les niveaux piézométriques ont également été suivis dans les forages voisins. Excepté au Pz1 lors de l'essai au Pz2, aucun rabattement significatif n'a été observé dans les autres ouvrages. Le rabattement observé au Pz1 est de 1,055 m. Le coefficient d'emmagasinement obtenu pour cet ouvrage, $S = 0,0042 \%$, semblerait montrer, qu'en ce point, la nappe est plutôt captive. Cette interprétation est en adéquation avec les renseignements du log géologique de ce forage (présence d'une couche d'argile de 9 m). Ces essais ont aussi permis de déterminer les paramètres hydrodynamiques autour de ces piézomètres (tableau VII.1).

Tableau VII.1: Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère des grès du Famennien - Site de Heuvel - Carte Limbourg-Eupen

Piézomètre	Transmissivité en pompage	Transmissivité en remontée	Epaisseur de l'aquifère (hauteur crépinée)	Conductivité hydraulique moyenne
Pz2	$T_1 = 2,21 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$T'_1 = 2,67 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	15,9 m	$6,6 \times 10^{-5} \text{ m/s}$
	$T_2 = 4,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$T'_2 = 4,75 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$		
	$T_3 = 7,64 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$T'_3 = 1,05 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$		
Pz5	$T = 4,78 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$T' = 1,19 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	13,8 m	$8,63 \times 10^{-4} \text{ m/s}$

Les 5 piézomètres du site de Heuvel ont été utilisés comme points d'injection pour les tests de traçage. Des échantillonneurs automatiques ont été placés à la galerie G1 et au puits P1. Les traceurs injectés aux piézomètres Pz1, Pz2, Pz3 n'ont été détectés ni à la galerie, ni au puits. Il en est de même pour le naphthionate au puits, traceur injecté dans le Pz4. Par contre, ce traceur a été détecté à la galerie (vitesse maximale du traceur: 15,3 m/h, vitesse modale: 6 m/h). Ces non-arrivées sont, vraisemblablement, liées au sens de l'écoulement naturel des eaux souterraines, vers le NNW. La rhodamine, injectée dans le forage Pz5, est réapparue tant au puits qu'à la galerie (où le traceur a été majoritairement récolté). L'écoulement souterrain présente un caractère dispersif prononcé, d'après les courbes de restitution. Les paramètres hydrodispersifs, obtenus via le logiciel CATTI (hypothèses très peu réalistes d'un milieu homogène et isotrope), sont

- porosité efficace: 5 %;
- dispersivité longitudinale: 55 m.

VII.3. AQUITARD A NIVEAUX AQUIFERES DU DEVONIEN INFERIEUR

Sur le site de Rultak-La Louveterie à Limbourg, un essai de pompage avec plusieurs paliers de débit et enregistrement de la courbe de remontée à la fin de chacun a été réalisé afin de déterminer la capacité du puits et les paramètres hydrodynamiques de la zone sollicitée de l'aquifère (GEOLOGICA, 1997).

L'interprétation des essais de pompage, en régime permanent pour une nappe captive (formule de Dupuit) conduit à une conductivité hydraulique de $4,4 \times 10^{-5}$ m/s en considérant un rayon d'influence de 50 m, un rayon du puits de 0,18 m et une épaisseur d'aquifère de 8-10 m.

En régime transitoire (méthode de Theis), les transmissivités calculées en remontée sont relativement équivalentes à celles obtenues en pompage, indiquant qu'il n'y a pas de pertes de charge significatives. De plus, le fait que les transmissivités augmentent avec le débit indique une assez bonne alimentation de cet horizon aquifère et/ou un développement de l'ouvrage (tableau VII.2). Les conductivités hydrauliques calculées sont de l'ordre de 2,6 à $4,4 \times 10^{-5}$ m/s (avec une épaisseur de l'aquifère estimée à 8 m, entre 62 et 70 m, correspondant à un horizon gréseux mis en évidence lors du forage).

**Tableau VII.2: Paramètres hydrodynamiques - Puits La Louveterie à Limbourg -
Carte Limbourg-Eupen**

Débit	Transmissivité en pompage T	Transmissivité en remontée T'
10,4 m ³ /h	$2,1 \times 10^{-4}$ m ² /s	$2,2 \times 10^{-4}$ m ² /s
16,9 m ³ /h	$2,3 \times 10^{-4}$ m ² /s	$2,7 \times 10^{-4}$ m ² /s
24,5 m ³ /h	$2,8 \times 10^{-4}$ m ² /s	$3,05 \times 10^{-4}$ m ² /s
31 m ³ /h	$3,6 \times 10^{-4}$ m ² /s	$3,6 \times 10^{-4}$ m ² /s

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 wallonne¹⁰ définit 4 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

¹⁰ 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).

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. En milieu karstique, tous les points préférentiels de pénétration (doline et pertes) donc 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 le périmètre extérieur de la zone d'appel de la prise d'eau. Le périmètre extérieur de la zone d'appel de la zone IIb ne peut être situé à une distance de l'ouvrage supérieure à celle correspondant à un temps de transfert de l'eau souterraine jusqu'à l'ouvrage de prise d'eau 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.

Les limites de ces zones peuvent coïncider avec des repères ou des limites topographiques naturels ou artificiels, rendant leur identification sur le terrain plus aisée.

Mesures 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'Arrête du Gouvernement Wallon du 12 février 2009¹¹.

¹¹ 12 février 2009: AGW modifiant le Livre II du Code de l'Environnement constituant les Code de l'Eau en 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).

La Société publique de Gestion de l'Eau¹² assure la gestion financière des dossiers concernant la protection des eaux potabilisables 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 de 0,107 € est prélevée sur chaque m³ fourni par les sociétés de distribution d'eau.

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 la carte de chaque zone actuellement soumise à l'enquête publique (http://environnement.wallonie.be/zones_prevention/).

¹² SPGE, instituée par le décret du 15 avril 1999

VIII.2. ZONES DE PREVENTION DES CAPTAGES 'HEUVEL' A BAELEN

Au sud de Baelen, la SWDE exploite l'aquifère schisto-gréseux du Famennien via une galerie et un puits: site de Heuvel G1 & P1 (figure VIII.1). Une étude hydrogéologique a été menée afin de délimiter les zones de prévention (GEOPARTNERS 1996; Lenglin & Pickaert, 2000; LGIH, 2000, 2002). La délimitation de ces zones de prévention est ainsi basée sur le temps de transfert de l'eau souterraine dans le sol saturé jusqu'aux prises d'eau suite à la réalisation d'essais de traçage. Les limites calculées par le modèle ont ensuite été déplacées afin d'être matérialisables sur le terrain.

Ces zones de prévention (code au SPW: SWDE014) ont été arrêtées par le Gouvernement Wallon en date du 24 novembre 2003: *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée des ouvrages de prise d'eau souterraine dénommés "Heuvel G1" et "Heuvel P1", sis sur le territoire de la commune de Baelen (M.B. 09.02.2004).*

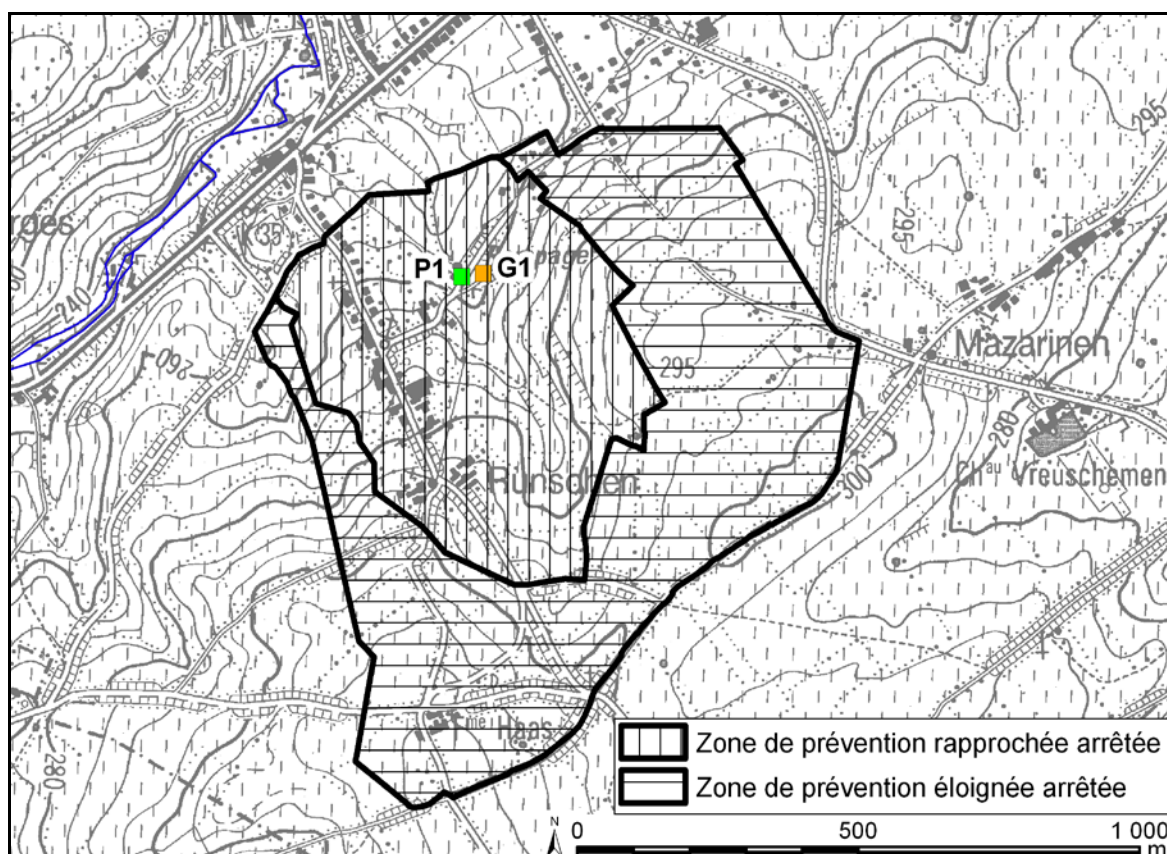


Figure VIII.1: Zones de prévention - Site 'Heuvel', SWDE

VIII.3. ZONES DE PREVENTION DES CAPTAGES 'RULTAK' ET 'LA LOUVETERIE' A LIMBOURG

Dans la commune de Limbourg, au sud du village d'Hévremont, deux captages appartenant à l'administration communale sollicitent les eaux logées dans l'aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur. Les zones de prévention autour de cette galerie et de ce puits foré ont été délimitées (figure VIII.2). Les limites de la zone rapprochée (IIa) de la galerie Rultak sont

déterminées sur base forfaitaire et adaptées aux limites cadastrales et urbanistiques. Le puits de La Louveterie sollicitant une nappe captive, il n'est pas nécessaire de définir une zone de prévention rapprochée. Les zones éloignées (IIb) ont été définies sur base forfaitaire en tenant compte des caractéristiques hydrogéologiques du site (galerie) et sur base de la zone d'appel du captage (puits). Ces limites ont ensuite été déplacées afin d'être matérialisables sur le terrain. La zone IIb du puits est entièrement incluse dans la zone IIb de la galerie Rultak.

Ces zones de prévention (code au SPW: AC_LIMBOURG02) ont été arrêtées par le Gouvernement Wallon en date du 22 décembre 2005: *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée des ouvrages de prise d'eau souterraine dénommés "Rultak" et "La Louveterie" sis sur le territoire de la commune de Limbourg (M.B.:08.02.2006).*

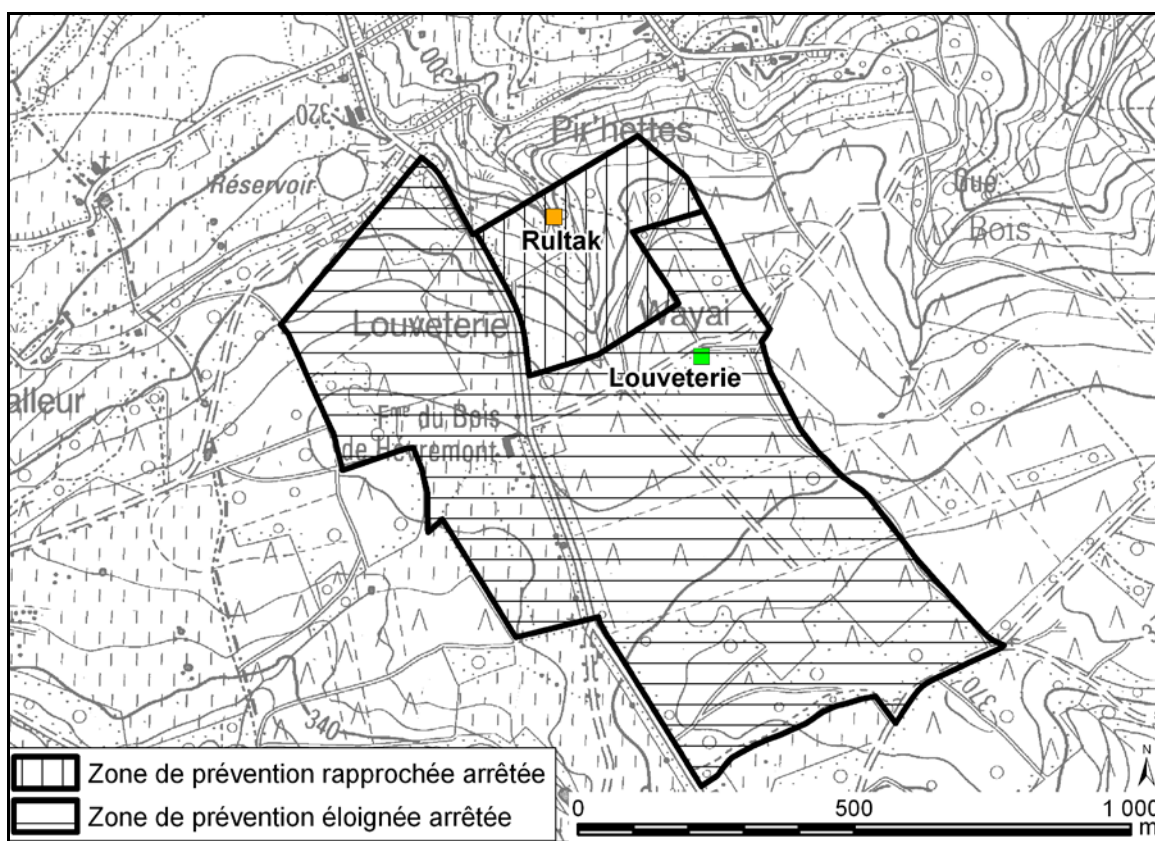


Figure VIII.2: Zones de prévention - Site 'Rultak-La Louveterie', AC Limbourg

VIII.4. ZONES DE PREVENTION A DEFINIR

A ce jour, sur la carte Limbourg-Eupen, aucune autre zone de prévention autour des captages n'est définie. Dès lors, ces zones à définir sont symbolisées sur la carte hydrogéologique par un triangle vide, tracé autour des captages toujours exploités pour la distribution publique d'eau potable. Les prises d'eau pour lesquelles les titulaires ont mentionné un arrêt définitif ne sont pas reprises.

Sur la carte étudiée, les zones de prévention autour du site de captage 'Jean sans Peur' (AC Limbourg) doivent être déterminées. Les prises d'eau de surface de la Gileppe et de la Vesdre

sont également soumises à cette législation puisque les eaux prélevées sont destinées à la population via le réseau de distribution d'eau potable (figure VIII.3).

En l'absence de données, il convient habituellement de se référer provisoirement aux distances fixes forfaitaires définies dans la législation soit :

- 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 ;
- pour la zone IIb : une distance horizontale 1 000 mètres.

Remarquons que la détermination des zones par la méthode des distances fixes ne tient pas compte de l'existence :

- d'un gradient régional qui limite les risques de pollution des captages à partir de l'aval et augmentent ces mêmes risques vers l'amont ;
- d'hétérogénéité des formations ;
- d'axes d'écoulement préférentiel et de phénomènes karstiques.

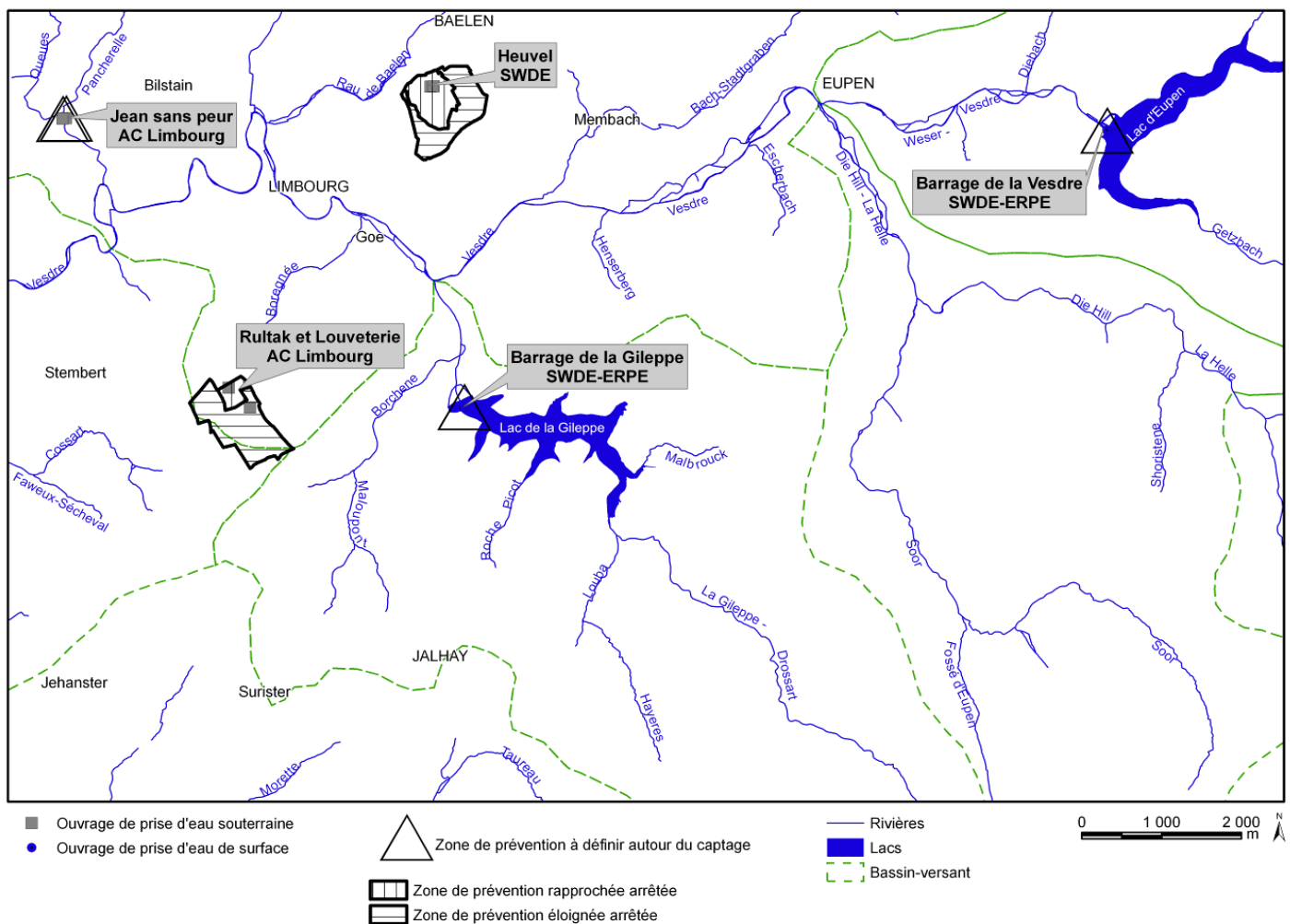


Figure VIII.3: Zones de prévention - Carte Limbourg-Eupen

IX. METHODOLOGIE DE L'ELABORATION DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE

Ce chapitre décrit brièvement les données géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques utilisées pour construire la carte hydrogéologique Limbourg-Eupen. Il aborde les principales sources d'informations disponibles pour la région étudiée. Les données collectées sont encodées dans une base de données structurée et ensuite 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

Les données géologiques proviennent essentiellement de la carte géologique de la région (Laloux *et al.*, 1996). Des descriptions de forages sont également disponibles auprès du Service Géologique de Belgique, des sociétés de distribution d'eau ou encore dans les déclarations des particuliers (archives DGARNE-SPW).

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 unités géologiques existent entre les différentes générations de cartes. Sur la carte Limbourg-Eupen, les discontinuités aux frontières de la carte sont dues à l'utilisation de fonds géologiques de générations et d'échelles différentes. Ainsi, on en observe aux limites orientales et méridionales de la carte étudiée. Ces bords sont respectivement frontaliers avec

- à l'est, la carte hydrogéologique Reinertzhod-Hoscheit 43/7-8 a été réalisée, en 2012, sur base de la carte géologique régionale du Massif de Stavelot (Geukens, 1999), où, par exemple, les tourbes ne sont pas représentées;
- au sud, la carte hydrogéologique Sart-Xhoffrai 50/1-2, a été réalisée, en 2012, sur base de la carte géologique régionale du Massif de Stavelot (Geukens, 1999) et la carte géologique régionale de l'Eodévonien de l'Ardenne et des régions voisines (Asselberghs, 1946). Les principales disparités concernent le Dévonien inférieur.

De légères différences sont observées avec la carte hydrogéologique située au nord, Henri-Chapelle – Raeren (43/1-2) (Ruthy & Dassargues, 2009). La carte géologique a été éditée par le Service Public de Wallonie au 1/25.000 (Laloux *et al.*, 2000). Ces discontinuités sont minimales. Elles ne concernent que quelques raccords (présents sur la carte géologique SPW). Cela ne nuit nullement à la compréhension du contexte hydrogéologique tant local que régional. Il n'y a pas de discontinuité avec la carte hydrogéologique à l'ouest, Fléron-Verviers.

Des données concernant les calcaires carbonifères et dévoniens sont essentiellement issues de l'atlas du karst wallon (CWEPSS, 1996, 2006). De plus, de nombreux renseignements nous ont été fournis par F.Polrot (la liste des articles consultés est reprise au chapitre X.).

Sur la carte étudiée, quelques sites ont fait l'objet d'investigations géophysiques. Ces zones de prospections géophysiques ont été simplement localisées sur la carte hydrogéologique. Les résultats ne sont pas présentés dans ce document. Seuls les types de prospection et les références bibliographiques sont mentionnés.

- Site de captage de Baelen-Medael (SWDE):
 - Phase 1: GEOPARTNERS sprl, 1996: 20 sondages électriques, 10 km de traînés électriques et 10 sondages sismiques.
 - Phase 2: LGIH: SWDE/2000-03, Lenglin et Pickaert, 2000: 7 sondages électriques.
- Plateau des Hautes-Fagnes (étude LGIH-HF/822, 1982)
 - Site de Soristène: 38 sondages électriques et 10 km de traînés électriques.
 - Site de Robinette: 27 sondages électriques, 7 km de traînés électriques et 8 sondages sismiques.
 - Site de Warôneu-Dreiborn: 27 sondages électriques, 9 km de traînés électriques et 11 sondages sismiques.

IX.1.2. Données météorologiques et hydrologiques

Sur le territoire couvert par la carte Limbourg-Eupen, on dénombre cinq stations climatiques et une station limnimétrique. Leurs caractéristiques sont résumées dans le tableau IX.1.

Tableau IX.1: Liste des stations climatiques et limnimétriques - Limbourg-Eupen

Nom	Code	Type	Mise en service		Titulaire
			Précipitations	Températures	
Stembert	L11	climatique	12/1997	12/1997	IRM
			Températures	12/1997	
Jalhay	M26	climatique	Précipitations		IRM
Eupen-Barrage	M54	climatique	Précipitations	01/1951	IRM
			Températures	07/1997	
Hestreux-Jalhay	M56	climatique	09/1951		IRM
Jalhay		climatique	Précipitations		SPW-SETHY
Eupen (Vesdre)		limnimétrique	29/11/2005		SPW-SETHY

IX.1.3. Données hydrogéologiques

IX.1.3.1. Localisation des ouvrages

Dans la base de données BD-Hydro, 115 ouvrages ont été encodés dont 80 puits (puits forés et puits traditionnels), 7 piézomètres, 8 puits sur galerie, 3 drains, 4 sondes géothermiques¹³. Sont aussi encodées des informations concernant 11 sources (exploitées ou non) et 2 points de prélèvements d'eau de surface. De plus, selon l'atlas du karst wallon, 13 pertes (chantoirs) et 8 résurgences sont recensées sur la carte étudiée.

Le tracé des galeries de Rultak (AC Limbourg) et d'Heuvel (SWDE) est connu. Cependant, ces galeries sont de faibles dimensions (longueur inférieure à 150 m). Dès lors, à l'échelle 1/25.000, leur visibilité/lisibilité sera très réduite. C'est pourquoi, elles ne figurent pas sur aucune des cartes du poster A0. Par contre, elles sont présentées dans la notice (chapitre IV.2).

Ces données proviennent de sociétés de distribution d'eau, d'administrations communales, d'industriels, de divers rapports techniques (voir liste bibliographique), de particuliers et de la base de données du Service Public de Wallonie (10-sous), <http://carto1.wallonie.be/10SousInt>.

IX.1.3.2. Données piézométriques

Quelques données piézométriques sont disponibles pour les puits et piézomètres de la carte Limbourg-Eupen (étant donné, déjà, le faible nombre d'ouvrages). Environ 2000 valeurs sont encodées dans la base de données pour une trentaine de puits/piézomètres. Beaucoup d'ouvrages n'ont été relevés qu'une fois. Peu de longs historiques sont disponibles pour cette zone. Quelques cotes piézométriques sont reportées sur la carte hydrogéologique au 1/25.000.

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 (DESO-SPW). La SWDE, divers rapports et les prélèvements faits lors des campagnes de terrain ont complété ce jeu initial.

Une trentaine de sites (puits et piézomètres, drains, galeries, sources) sont concernés, comptabilisant environ 4000 valeurs. Ces analyses caractérisent surtout les eaux logées dans l'aquifère des calcaires carbonifères, l'aquifère schisto-gréseux du Famennien et l'aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur. Ces points, où des données chimiques sont disponibles, sont reportés sur la carte thématique des informations complémentaires et caractères des nappes. Le [chapitre V](#) décrit, plus en détails, le cadre hydrochimique des unités hydrogéologiques rencontrées sur la carte Limbourg-Eupen.

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

¹³ 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.

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 et traçage essentiellement) est synthétisé au [chapitre VII](#). Sur la carte thématique des informations complémentaires, les puits ayant fait l'objet de tels tests sont mis en évidence par divers symboles.

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 se sont pas toujours présentes.

Sur la carte Limbourg-Eupen, les zones de prévention autour des sites de captage, Heuvel à Baelen et Rultak-Louveterie à Limbourg, ont été arrêtées et reportées sur la carte 1/25.000. Le contour de ces zones a été fourni par le Service Public de Wallonie. Le [chapitre VIII](#) présente ces zones.

Plusieurs zones vulnérables aux nitrates ont été définies en Région Wallonne, l'une d'entre elles, la zone du Pays de Herve, occupe environ une zone de 22 km² sur la carte étudiée. Le contour de cette zone a été fourni par le Service Public de Wallonie. Des plus amples renseignements sont repris [au chapitre V, paragraphe V.2.](#)

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, DGARNE), 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 des caractères des nappes;
 - Carte des volumes d'eau prélevés;
- la coupe géologique et la coupe hydrogéologique;
- 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;
- 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 points de prélèvements d'eau de surface;
- les stations climatiques et limnimétriques;
- à défaut de carte piézométrique, des valeurs de niveau dans quelques unités hydrogéologiques, avec la date de la mesure;
- les écoulements karstiques reconnus par traçage;
- les zones de prévention IIa et IIb arrêtées par le Gouvernement Wallon;
- les zones de prévention à définir;
- les traits 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](#). Quelques essais de pompage et traçages ont été réalisés dans cette région. Les paramètres hydrodynamiques mesurés et calculés sont présentés dans le [chapitre VII](#).

Le caractère des nappes rencontrées est spécifié : nappe libre, nappe semi-captive (semi-libre) ou nappe captive. Il est à noter que c'est la première nappe rencontrée (nappe à l'affleurement, sous la couverture limoneuse) qui est caractérisée. Sur la carte Limbourg-Eupen, la majorité des nappes sont libres, excepté la nappe du Houiller. Ainsi, la nappe logée dans les horizons schisto-gréseux du Houiller sont souvent caractérisée comme semi-captive. Dans ces terrains, la nappe peut se retrouver en charge sous les couches plus argileuses (shales, "phtanites", argile d'altération). Les autres unités hydrogéologiques sont donc considérées comme des nappes libres. Il faut cependant nuancer cette caractéristique. Dans les formations du Dévonien inférieur/Cambro-silurien, les niveaux plus schisteux peuvent également rendre localement captives les nappes logées dans les terrains fracturés gréseux/quartzitiques.

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 futures 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](#).

Le territoire du Pays de Herve a été désigné comme "zone vulnérable aux nitrates" par le gouvernement wallon (AGW du 28 février 2006 et AGW du 22 novembre 2012, extension de la zone). Cette désignation implique l'application d'un programme d'action précis dont les mesures ont été arrêtées dans un code de « bonne pratique agricole ». Cette zone occupe environ 22 km² sur la planche étudiée. Plus d'informations sur les nitrates sont disponibles au [paragraphe V.2](#).

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. Pour plusieurs ouvrages, il n'a pas été possible de déterminer dans quelle formation géologique ils ont été implantés ne disposant pas d'information sur le log géologique ou/et la profondeur du puits.

Cette carte, au 50.000^e, reprend également les volumes d'eau prélevés annuellement, informations extraites de la base de données du Service Public de Wallonie "10-sous" (DGARNE). Les volumes représentés sont les volumes déclarés par les titulaires à la Région wallonne. Trois catégories de volumes sont répertoriée sur la carte Limbourg-Eupen: les volumes destinés à la distribution publique d'eau potable (issus des eaux souterraines), les autres volumes (particuliers, agriculteurs,

industries...) et les volumes prélevés dans les eaux de surface. Les données présentées sur cette carte sont les volumes prélevés (selon les déclarations des titulaires) en 2009 ou en 2008.

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 (2004-2008) (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 Limbourg-Eupen, traduites en termes d'unités hydrogéologiques. La définition de ces unités est présentée en détails dans le [chapitre IV](#).

IX.3.5. Coupe hydrogéologique

Parmi les éléments présentés sur le poster de la carte hydrogéologique Limbourg-Eupen figure la coupe hydrogéologique. Elle permet de comprendre dans son ensemble le contexte géologique de la région. Les grandes structures géologiques y apparaissent (plis, failles). Elle est issue de la carte géologique de Laloux et al. (1996) (coupe aa'), sur laquelle ont été ajoutées, là où la donnée est disponible, des informations sur les niveaux d'eau souterraine. Cette coupe est commentée, en détails, au [chapitre IV.2.6](#).

X. BIBLIOGRAPHIE

- Baden W. & Eggelsmann R.** (1963): Zur Durchlässigkeit der Moorböden. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung*. 4. 226-254.
- Beckwith C.W, Baird A.J & Heathwaite A.L** (2003): Anisotropy and depth-related heterogeneity of hydraulic conductivity in a bog peat. II: modelling the effects on groundwater flow. *Hydrol. Process.* 17, 103–113
- Bernard, C. & Polrot, F.** (1994a): "Les karsts du bassin de la Vesdre, aperçu sommaire d'une étude en cours", *Bulletin. Société royale belge d'études géologiques et archéologiques: les Chercheurs de la Wallonie*, Tome XXXIV, 27-32.
- Bernard, C. & Polrot, F.** (1994b): Les karsts du bassin de la Vesdre. Etude couronnée du prix Van Den Broeck, session 1995, décerné par la Société royale belge d'études géologiques et archéologiques: les Chercheurs de la Wallonie, 170 pp. Inédit.
- Boulvain, F., Bultynck, P., Coen, M., Coen-Aubert, M., Helsen, S., Lacroix, D., Laloux, M., Casier, J.G., Dejonghe, L., Dumoulin, V., Ghysel, P., Godefroid, J., Mouravieff, N., Sartenaer, P., Tourneur, F. & Vanguetaine, M.** (1999): Les formations du Frasnien de la Belgique. *Mem. of the Geol. Survey of Belgium*, 44, 125 pp.
- Boulvain, F. (ULg) & Pingot, J-L. (UCL).** (2008): Une introduction à la géologie de la Wallonie. Cours en ligne, Université de Liège, Liège
- Bultynck, P., Coen-Aubert, M., Dejonghe, L., Godefroid, J., Hance, L., Lacroix, D., Prétat, A., Stainier, P., Steemans, P., Streel, M., Tourneur, F.** (1991). Les formations du Dévonien moyen de la Belgique. *Mém. expl. cartes géol. & min. Belg.*, 30, 106 pp.
- Cremasco, V., Doguet, A., Feremans, N., Neuray, C., Pons, T., Van Der Kaa, C. & Godart, M-F, Teller, J.** (direction scientifique). (2007): 1. L'entre-Vesdre-et-Meuse, Collection : Atlas des Paysages de Wallonie, *Conférence permanente du développement territorial*, Service public de Wallonie, Namur, pp 263 http://cpdt.wallonie.be/?id_page=8881
- CWEPSS.** (1996): Atlas du Karst Wallon: Inventaire cartographique et descriptif des sites karstiques et rivières souterraines de Wallonie. *DGARNE & CWEPSS* (Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains asbl) <http://www.cwepss.org/atlasKarst.htm> + actualisation des données (version informatique), 2006
- CWEPSS** Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains (de Broyer C., Delaby S., Michel G., Thys G.), **FPMs** Faculté Polytechnique de Mons (Avron C., Delaby S., Geuse A., Kaufmann O., Michelon S., Quinif Y.), **ULg** Université de Liège (Bonino E., Closson D., Ek C., Jaspar A., Ozer A., Salmon M., Schyns J-C.) (1995-2005). Etude cartographique numérique des périmètres de contraintes physiques inhérentes au karst wallon. *Convention subsidiée par la DGATLP (Région Wallonne)*

DGARNE-DESO et Protectis-Cellule DCE (2010): Directive cadre de l'eau. Etat des lieux des districts hydrographiques. Fiches de caractérisation des masses d'eau souterraine. juin 2010, SPW-DGARNE

<http://spw.wallonie.be/dce/fme/RWM100.pdf>

<http://spw.wallonie.be/dce/fme/RWM141.pdf>

<http://spw.wallonie.be/dce/fme/RWM142.pdf>

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

Dejonghe, L. & Jans, D. (1983): Les gisements plombo-zincifères de l'Est de la Belgique, *Chron.Rech.Min*, 471 :3-24

Dejonghe, L., Ladeuze, F. & Jans, D. (1993): Atlas des gisements plombo-zincifères du Synclitorium de Verviers. *Mém.Exp.Cartes geol.min Belgique*, 33 :1-483

Dewez, L., Lespineux, G., Ancion, Ch., Evrard, P., Calembert, L., Macar, P., De Magnée, I., Van Leckwijck, W. (1947): Les minerais du sol belge, Congrès 1947, Section Géologie, *Eds Assoc. Des Ingénieurs Liégeois*, 73-96

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.

GEOLOGICA. (1997). Pompage d'essais de courte durée – Ville de Limbourg – Puits de La Louveterie. Lejeune, V., Marchal, R. (rapport M1223). pp1. + annexes

GEOPARTNERS scrl (1996): Etude géophysique – Site de Baelen – SWDE. Rapport GBAE04/96

Geukens, F. (1986): Commentaires à la carte géologique du Massif de Stavelot, *Aardkundige Mededelingen*, 3: 15-29

Geukens, F. (1999): Notes accompagnant une révision de la carte structurale du Massif de Stavelot, *Aardkundige Mededelingen*, 9: 183-190

Godefroid, J., Blicck, A., Bultynck, P., Dejonghe, L., Gerrienne, P., Hance, L., Meillez, F., Stainier, P., Steemans, P. (1994): Les formations du Dévonien inférieur du Massif de la Vesdre, de la Fenêtre de Theux et du Synclitorium de Dinant (Belgique, France). *Mém. expl. cartes géol. & min. Belg.*, 38, 144 pp.

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* (2001) 9: 555-569.

Graulich, J.M, Dejonghe, L. & Cnudde, C. (1984): La définition du Synclinorium de Verviers. *Bul. Soc. belge Géol.*, Tome 93(1-2), 79-82.

Hance, L., Dejonghe, L., Ghysel, P., Laloux, M., Mansy, J.L. (1999): Influence of heterogeneous lithostructural layering on orogenic deformation in the Variscan Front Zone (eastern Belgium). *Tectonophysics*, 309, 161-177

Huveneers, J., Cornet, J-CI. (1976): Contribution à l'étude hydrologique des bassins versants des lacs réservoirs de la Vesdre et de la Gileppe. *Mémoire de fin d'étude, Université de Liège.*

Interreg II. (2000): Qualité de l'eau souterraine dans les aquifères des provinces Limbourg belge, Limbourg néerlandais et Liège. Equipes : LGIH (Liège), LISEC (Genk) et TNO-NTIG (Delft et Heerlen).

Lenglin, M. & Pickaert, L. (2000): Etude hydrogéologique du site de Baelen. Détermination des zones de protection des prises d'eau de Heuvel et Medael. *Mémoire de fin d'étude, Université de Liège.* 150 pp + annexes.

Laloux, M., Dejonghe, L., Geukens, F., Ghysel, P., Hance, L., Porlot, F., Servais, Th. (1996): Carte géologique de Limbourg-Eupen 43/5-6, *Service public de Wallonie, DGARNE*, Namur.

Laloux, M., Dejonghe, L., Ghysel, P. & Hance, L, Mansy, J.L, (1997): Nouveaux concepts tectoniques dans le Synclinorium de Verviers (Est de la Belgique). *Ann. Soc. géol. Nord*, 5 (2^{ème} série): 23-46

Laloux, M., Geukens, F., Ghysel, P. & Hance, L. (2000): Carte géologique d'Henri-Chapelle-Raeren - Gemmenich-Botzelaar - Petergensfeld-Lammersdorf 43/1-2 43/3-4 35/5-6, *Service public de Wallonie, DGARNE*, Namur.

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 (1980): Bilan hydrologique des bassins versants des ruisseaux alimentant les barrages de La Gileppe et Eupen. Huveneers et Cornet

LGIH (1982): Etudes intégrées des problèmes hydrologiques et forestiers sur le versant nord occidental de la région des Hautes-Fagnes: étude hydrologique et hydrogéologique. HF/822

LGIH (2000): Etude hydrogéologique du site de Baelen: Détermination des zones de prévention des prises d'eau de Heuvel et Medael. SWDE/2000-03

LGIH (2002): Site de Baelen: Détermination des zones de prévention du site du captage de Heuvel. SWDE/2002-01

Meilliez, F & Mansy, J.L. (1990): Déformation pelliculaire différenciée dans une série lithologique hétérogène : le dévono-carbonifère de l'Ardennes. *Bull. Soc. Géol. France*, VI, I, 177-178.

- Meus, P.** (1993): Hydrogéologie d'un aquifère karstique du calcaire carbonifère en Belgique (Néblon - Anthisnes). Apport des traçages à la connaissance des milieux fissurés et karstifiés. *Thèse de doctorat, Université de Liège.*
- Pahaut, P. & Oldenhove de Guertechin, F.P.** (1961): Carte des sols de Belgique et texte explicatif: planchette de Limbourg 136W. Institut Géographique Militaire, Bruxelles et Centre de Cartographie des Sols
- Pahaut, P. & Oldenhove de Guertechin, F.P.** (1962): Carte des sols de Belgique et texte explicatif: planchette d'Eupen 136E. Institut Géographique Militaire, Bruxelles et Centre de Cartographie des Sols
- Pfannkuch, H-O.** (1990): Elsevier's Dictionary of Environmental Hydrogeology, *Elsevier.*
- Pissart, A.** (1995): L'Ardenne sous le joug du froid. *In* Demoulin, A. (Ed), L'Ardenne – Essai de Géographie physique, Ed. Département de Géographie physique de l'Université de Liège, 136-154
- Pissart A. & Juvigné E.** (1980): Genèse et âge d'une trace de butte périglaciaire (pingo ou palse) de la Konnerzvenn (Hautes-Fagnes, Belgique). *Ann. Soc.géol.Belgique*, 103: 73-86.
- Polrot, F.** (1989): Le karst des Croisiers. *Regard n°6, Bull. Union Belge Spéléologie*, Liège. 5-19.
- Polrot, F.** (1997): L'eau et les phénomènes karstiques de la Commune de Limbourg. Semaine verte 1997. Edition: Ville de Limbourg / CWEPS: 28: 9-13.
- Polrot, F.** (2005): Les sites karstiques et l'eau dans le bassin de la Vesdre, *Contrat de Rivière Vesdre*, 33 p + 18 figures. <http://www.crvesdre.be/>
- Polrot, F.** (2010): Le système de Béthane. *Eco-karst. CWEPS*. 80 (2^otrimestre 2010): 2-6
- Quinif, Y.** (1977): Essai d'étude synthétique des cavités karstiques de Belgique, *Revue Belge de Géographie*, Fascicules 1 à 3, 116-173.
- Romanov V.V.** (1968): Hydrophysics of bogs. Traduit du russe. Israel Program for scientific Translations, Jerusalem. 299 p.
- Ruthy I., Dassargues A.** (2009): Carte hydrogéologique de Wallonie, Gemmenich - Botzelaar, Henri-Chapelle – Raeren, Petergensfeld, 35/5-6, 43/1-2, 43/3. Edition : Service Public de Wallonie, DGO3 (DGARNE), Belgique, 1 notice explicative de 96 p. Dépôt légal D/2009/12.796/6 - ISBN 978-2-8056-0068-5
- Rycroft D.W, Williams D.J.A, Ingram H.A.P.** (1975): The transmission of water through peat. I. Review. *Journal of Ecology*. 63. 535-556.
- SPAQuE.** (2007). Site "Machines textiles Hoeck", Limbourg, Lg4603-01. Fiche d'information (mise à jour: 14/05/2007): <http://www.walsols.be/pdfs/11626/2505.pdf> - Etat des connaissances: bilan après l'étude des caractérisations (mai 2007): <http://www.walsols.be/pdfs/11626/3096.pdf>

SPAQuE-Tauw. (2008): Site d'Activité Economique Désaffecté, "Machines textiles Hoeck" SLg4603-01, Limbourg: Etude de caractérisation – Rapport final (dec. 2008). CAR-PN/0806/14. 66p.

SPAQuE. (2008-2009). Site "Dépôt de cendres", Jalhay, Lg4101-003. Fiche d'information (mise à jour: 23/06/2009): <http://www.walsols.be/pdfs/2662/3203.pdf> - Surveillance environnementale: bilan 2008: <http://www.walsols.be/pdfs/2662/3202.pdf>

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

Van den Broeck, E., Martel, E.A. & Rahir, E. (1910): Les cavernes et les rivières souterraines de la Belgique, Bruxelles: Edité par les auteurs, 2 tomes, 1586p

Wastiaux C. (2000): Facteurs hydrologiques de la dégradation des tourbières hautes à sphaignes (Hautes-Fagnes, Belgique). *Thèse de doctorat, Université de Liège.* 223 p.

Wastiaux C. (2008): Les tourbières sont-elles des éponges régularisant l'écoulement ? *Bull.Soc. Géogra. Liège.* 50.57-66 - www.bsqliq.be

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

- **AIDE** : Association Intercommunale pour le Démergement et l'Épuration des communes de la Province de Liège.
Rue de la Digue, 25 à 4420 SAINT-NICOLAS (Liège)
<http://www.aide.be/>
- **CWEPSS** : Commission Wallonne d'Etude et de Protection des sites Souterrains, asbl
Avenue Gilbert, 20 à 1050 Bruxelles
<http://www.cwepss.org>
- **HG-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 d'ArGEnCo, GEO³
- **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/>
- Service Public de Wallonie (**SPW**)

Depuis le 1^{er} août 2008, Ministère wallon de l'Équipement et des Transports et le Service public de Wallonie ont fusionné pour donner naissance au **Service public de Wallonie**. 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 (D GARNE)

Département de l'Environnement et de l'Eau

Direction des Eaux souterraines (**DESO**) & Direction des Eaux de Surface (dont la Direction des Cours d'Eau non navigables, **DCENN**)

Avenue Prince de Liège, 15 à 5100 Jambes

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

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'Équipement et des Transport (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 Énergie (DGTALPE)

▪ **SWDE** : Société Wallonne des Eaux

Rue de la Concorde, 41 à 4800 VERVIERS

<http://www.swde.be>

Le décret du 25 juillet 1991 du Conseil Régional Wallon confie la gestion des installations de l'E.R.P.E. (Entreprises Régionale de Production et d'Adduction d'Eau), entreprise de la Région wallonne à gestion séparée, à la S.W.D.E. (protocole Région wallonne - SWDE du 15/10/1992). Il s'agit principalement de la production d'eau au départ des stations de traitement des eaux de la Vesdre (à Eupen), de la Gileppe (à Stembert- Verviers), de l'Ourthe (à Nisramont), du Ry de Rome (à Pétigny-Couvin) et de l'adduction Eupen-Seraing.

ANNEXE 2: TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

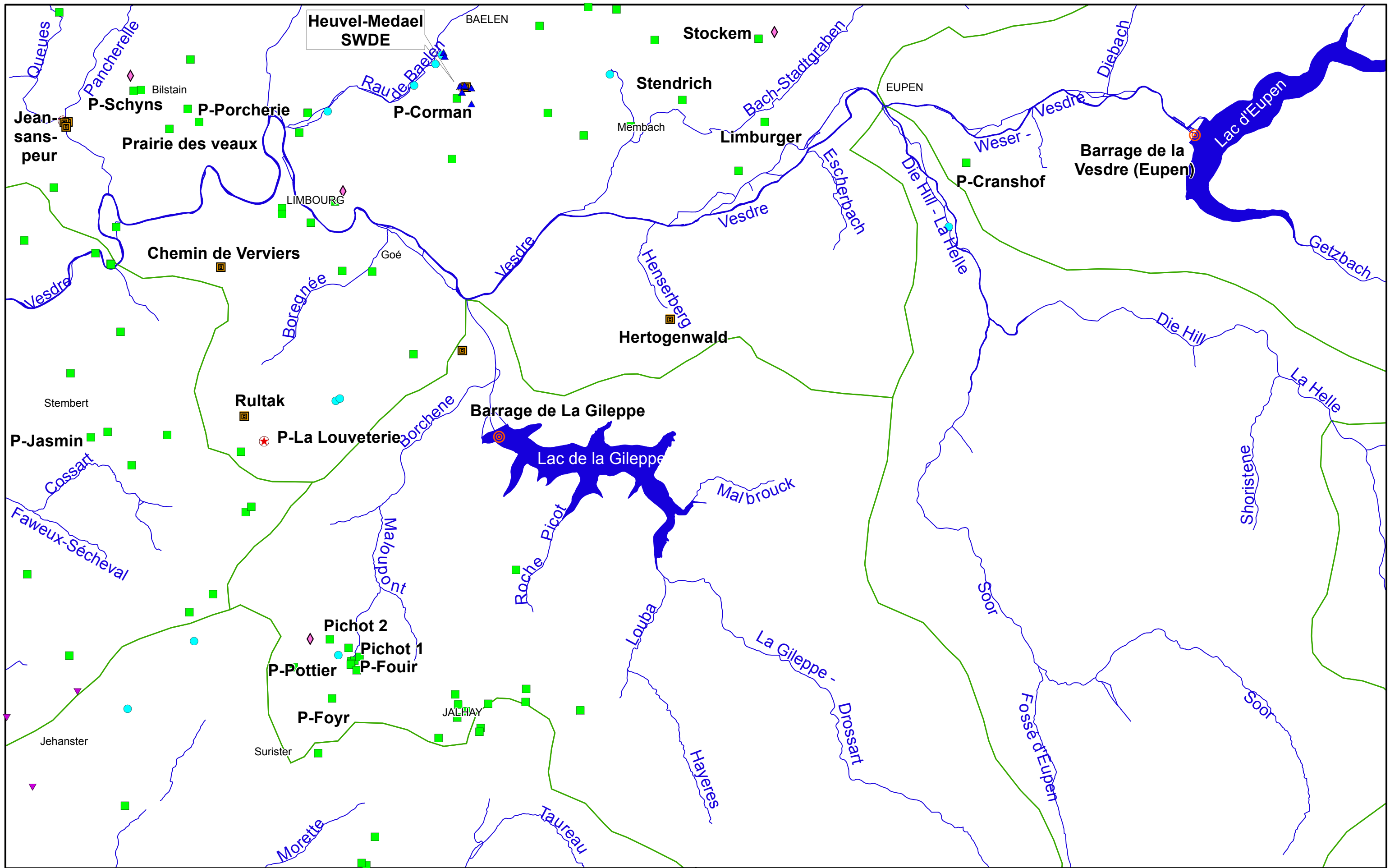
Figure I.1: Plan de situation.....	6
Figure II.1: Territoires paysagers - Limbourg-Eupen.....	7
Figure II.2: Carte du relief - Limbourg-Eupen.....	8
Figure II.3: Rivières et bassins hydrographiques - Limbourg-Eupen.....	9
Figure II.4: Répartition de l'occupation du sol - Niveau 1 - Limbourg-Eupen.....	10
Figure II.5: Carte de l'occupation du sol (COSW) - Limbourg-Eupen.....	11
Figure II.6: Carte des types de sols (CNSW) - Limbourg-Eupen.....	12
Figure II.7: Légende de la carte des types de sols - Limbourg-Eupen.....	13
Figure II.8: Répartition des types de sols - Limbourg-Eupen.....	13
Figure III.1: Carte géologique de la Wallonie (Boulvain & Pingot, 2008; modifiée).....	14
Figure III.2: Matériaux épais d'altération et accumulations pierreuses sur la carte Limbourg-Eupen.....	22
Figure III.3: Carte structurale schématique de l'Est de la Belgique avec indication des unités structurales de la Nappe de la Vesdre: 1. Unité de Jalhay; 2. Unité de la Gileppe; 3. Unité de Goé; 4. Unité de Forêt-Andrimont; 5. Unité du Tunnel (Laloux <i>et al.</i> , 1997).....	23
Figure III.4: Cadre structural de la carte Limbourg-Eupen.....	24
Figure III.5: Cadre structural schématisé du Massif de Stavelot –Limbourg-Eupen (Geukens, 1986; modifié).....	25
Figure IV.1: Site "Machines textiles Hoeck" à Limbourg - Nappe alluviale.....	37
Figure IV.2: Site de Baelen: Heuvel-Medael – SWDE.....	38
Figure IV.3: Fluctuations piézométriques de l'aquifère des calcaires du Carbonifère: Pz6-Medael.....	40
Figure IV.4: Site 'Jean-sans-peur', Administration communale de Limbourg - Karst de Bilstain.....	41
Figure IV.5: Site 'Stendrich' à Membach.....	43
Figure IV.6: Fluctuations piézométriques de l'aquifère des calcaires du Dévonien: Stendrich.....	43
Figure IV.7: Phénomènes karstiques - Carte Limbourg-Eupen.....	45
Figure IV.8 (a & b): Zone karstique de Nasproué-Les Croisiers.....	46
Figure IV.9: Zone karstique de Hèvremont.....	47
Figure IV.10: Zone karstique de Pierresse – Goé.....	48
Figure IV.11: Zone karstique de Béthane.....	49
Figure IV.12: Site de Baelen - Localisation des prises d'eau.....	51
Figure IV.13: Site de Baelen-Heuvel: Piézométrie.....	51
Figure IV.14: Site de Baelen-Heuvel: Fluctuations piézométriques.....	52
Figure IV.15: Site de captage 'Rultak-La Louveterie' – Administration communale de Limbourg.....	54
Figure IV.16: Implantation de la galerie de captage 'Rultak'.....	55
Figure IV.17: Localisation des sites: Warôneu-Dreiborn, Robinette, Soristène - Massif de Stavelot.....	57
Figure IV.18: Profil schématique d'une tourbière haute et de quelques paramètres hydro-physiques (Wastiaux, 2008).....	60
Figure V.1: Diagramme de Piper des eaux souterraines de la carte Limbourg-Eupen.....	65
Figure V.2: Zones vulnérables en Région wallonne.....	73
Figure V.3: Evolution des teneurs en nitrates pour quelques captages de la carte Limbourg-Eupen.....	74
Figure V.4: Localisation de sites gérés par la SPAQuE - Limbourg-Eupen.....	76
Figure V.5: Site "Dépôt de cendres" à Jalhay (Lg4101-003 - SPAQuE).....	
Figure V.6: Site "Machines textiles Hoeck" à Limbourg (Lg4603-01 - SPAQuE).....	77

Figure VI.1: Volumes annuels - Eaux souterraines - Distribution publique d'eau potable	78
Figure VI.2: Volumes annuels - Eaux de surface - Distribution publique d'eau potable	79
Figure VIII.1: Zones de prévention - Site 'Heuvel', SWDE.....	86
Figure VIII.2: Zones de prévention - Site 'Rultak-La Louveterie', AC Limbourg.....	87
Figure VIII.3: Zones de prévention - Carte Limbourg-Eupen.....	88

Liste des tableaux

Tableau II.1: Répartition détaillée de l'occupation du sol - Territoires agricoles.....	10
Tableau IV.1: Unités hydrogéologiques de la carte Limbourg-Eupen	35
Tableau IV.2: Termes du bilan hydrologique pour les sous-bassins de Baelen	39
Tableau IV.3: Principales observations géologiques et hydrogéologiques de trois bassins du versant nord-ouest des Hautes-Fagnes (LGIH, 1982).....	58
Tableau V.1: Etat des masses d'eau souterraines de la carte Limbourg-Eupen	64
Tableau V.2: Caractéristiques hydrochimiques des nappes des calcaires du Carbonifère et du Dévonien	66
Tableau V.3: Caractéristiques hydrochimiques de la nappe des grès du Famennien.....	67
Tableau V.4: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquitard de l'Eifelien	68
Tableau V.5: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur.....	69
Tableau V.6: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère à niveaux aquicludes du Dévonien inférieur	70
Tableau V.7: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquitard à niveaux aquicludes du socle cambro-silurien.....	71
Tableau V.8: Caractéristiques hydrochimiques des lacs de la Vesdre et de La Gileppe.....	72
Tableau V.9: Paramètres microbiologiques - Carte Limbourg-Eupen	75
Tableau VII.1: Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère des grès du Famennien - Site de Heuvel - Carte Limbourg-Eupen.....	81
Tableau VII.2: Paramètres hydrodynamiques - Puits La Louveterie à Limbourg - Carte Limbourg-Eupen	82
Tableau IX.1: Liste des stations climatiques et limnimétriques - Limbourg-Eupen.....	90

ANNEXE 3: CARTE DE LOCALISATION



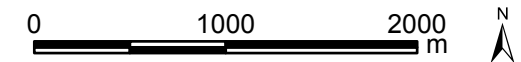
POINTS HYDROGEOLOGIQUES

- ▲ Piézomètre
- ★ Puits pour la distribution publique d'eau potable

- ▣ Puits sur galerie par gravité
- Autre puits
- ▼ Drain

- Source (exploitée ou non)
- ◎ Prélèvement d'eau de surface
- ◆ Sonde géothermique

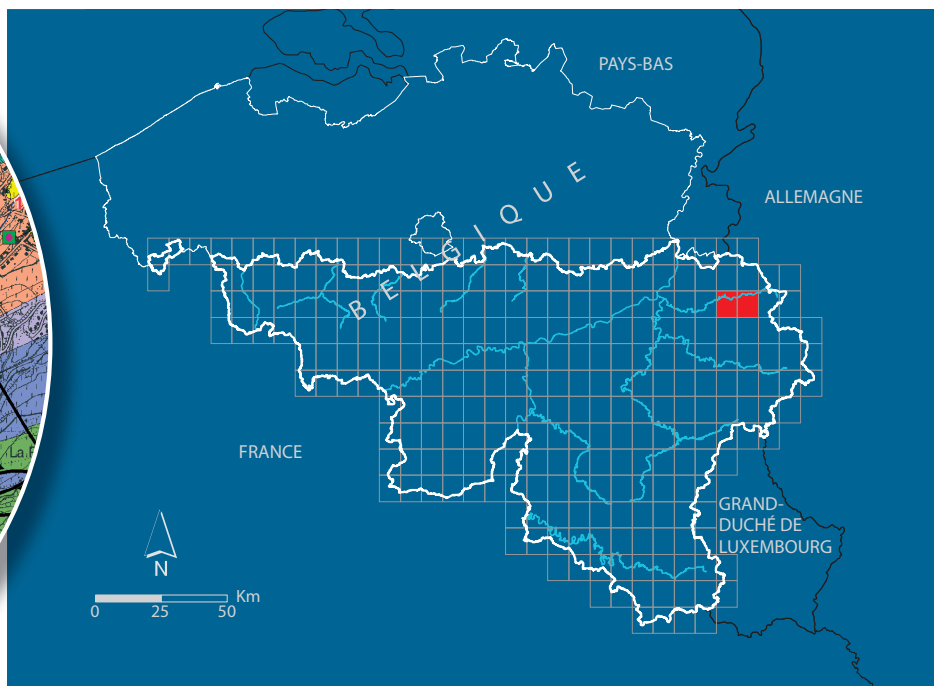
- Rivières
- Lacs
- Bassin-versant



ANNEXE 4: COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES OUVRAGES CITES DANS LA NOTICE

Nom	Code RW	Identifiant RW	X(m)	Y(m)	Z(m)	Type	Prof.(m)
Heuvel G1	43/5/3/003	5976	263353	147220	255.86	Galerie	-
Heuvel P1	43/5/2/006	174	263315	147215	255.22	Puits	6.4
Medael E1	43/5/2/004	4197	263073	147593	238.3	Source	-
Heuvel PZ1	43/5/2/032	35631	263282	147232	255.73	Piézomètre	21
Heuvel PZ2	43/5/2/033	35632	263336	147241	255.04	Piézomètre	21
Heuvel PZ3	43/5/2/034	35633	263306	147163	264.36	Piézomètre	21
Heuvel PZ4	43/5/3/008	35651	263414	147210	266.72	Piézomètre	23.8
Heuvel PZ5	43/5/3/009	35652	263415	147026	269.35	Piézomètre	31
Medael PZ6	43/5/2/030	35416	263091	147619	243.77	Piézomètre	32
Medael PZ7	43/5/2/031	35614	263105	147576	244	Piézomètre	23
Stendrich	43/5/3/004	8126	265859	147070		Puits foré	65.25
Source S			263000	147490		Source	-
Hertogenwald G1	43/5/6/001	5096	265719	144531	298.51	Galerie	-
Jean-sans-peur 1	43/5/1/007	6737	258720	146760		Galerie	
Jean-sans-peur 2	43/5/1/004	244	258741	146818		Galerie	
Rultak	43/5/5/005	1428	260783	143410		Galerie	
P-La Louveterie	43/5/5/006	3580	261050	143160		Puits foré	
Prairie des veaux	43/5/1/009	2703	259916	146735		Puits foré	
Puits Porcherie	43/5/1/011	8544	260129	146969		Puis foré	
Puits Schyns	43/5/1/014	11982	259586	147184		Puis foré	
Stockem	43/6/1/003	11512	266742	147782		Puits foré	
Puits Corman	43/5/2/021	20186	263246	147089		Puits foré	
Puits Jasmin	43/5/4/003	27911	259006	143163		Puits foré	144
Limburger	43/6/1/010	12173	266812	146818		Puits foré	109
Puits Pichot 1	43/5/8/004	11523	261991	140725		Puits foré	74
Puits Pichot 2	43/5/8/028	12206	261776	140827		Puits foré	65

Puits Four	43/5/8/030	12280	262023	140532		Puits traditionnel	8
Puits Pottier	43/5/8/031	12281	262017	140534		Puits traditionnel	9
Puits Cranshof	43/6/2/002	11777	269148	146345		Puits foré	98
Puits Foyr	43/5/8/032	12318	261800	141143		Puits foré	93
Chemin de Verviers	43/5/1/008	550	260512	145136		Galerie	
Barrage de la Gileppe	43/5/6/002	7234	263735	143171		Prise d'eau de surface	
Barrage de la Vesdre (Eupen)	43/6/3/001	2873	271797	146666		Prise d'eau de surface	



SPW | Éditions, CARTES

Dépôt légal : D/2013/12.796/6 – ISBN : 978-2-8056-0128-6

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

N° Vert du SPW : 0800 11 901 - www.wallonie.be