

GEMMENICH - BOTZELAAR HENRI-CHAPELLE - RAEREN PETERGENSFELD - LAMMERSDORF

35/5-6
43/1-2
43/3-4

Notice explicative

CARTE HYDROGÉOLOGIQUE DE WALLONIE

Echelle : 1/25 000



Wallonie

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 Gemmenich - Botzelaar, Henri-Chapelle – Raeren, Petergensfeld



**GEMMENICH - BOTZELAAR
HENRI-CHAPELLE – RAEREN
PETERGENSFELD**

35/5-6, 43/1-2, 43/3

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

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



NOTICE EXPLICATIVE

2009

Première édition : Juin 2003
Actualisation partielle : Décembre 2009

Dépôt légal – **D/2009/12.796/6** - ISBN : **978-2-8056-0068-5**

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

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

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

Table des matières

Avant - propos	4
I. Introduction	6
II. Cadres géoraphique, hydrographique, géomorphologique et pédologique	7
III. Cadre géologique	15
III.1 Cadre géologique régional	15
III.2 Cadre géologique de la carte	16
III.2.1 Cadre lithostratigraphique	16
III.2.1.1 Formations de Paléozoïque.....	16
III.2.1.2 Formations de Mésozoïque	20
III.2.1.3 Formations du Cénozoïque	22
III.2.2 Cadre structural.....	23
III.2.3 Gisements métallifères Plomb-Zinc	25
IV. Cadre hydrogéologique	27
IV.1 Description des unités hydrogéologiques	27
IV.1.1 Unités hydrogéologiques du Cambro-Silurien	28
IV.1.1.1 Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien.....	28
IV.1.1.2 Aquiclude du socle cambro-silurien.....	28
IV.1.1.3 Aquitard à niveaux aquicludes du socle cambro-silurien	28
IV.1.2 Unités hydrogéologiques du Dévonien	29
IV.1.2.1 Aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur.....	29
IV.1.2.2 Aquifère à niveaux aquicludes du Dévonien inférieur	29
IV.1.2.3 Aquitard de l'Eifelien	29
IV.1.2.4 Aquifères des calcaires du Givetien et du Frasnien	29
IV.1.2.5 Aquitard du Famennien-Frasnien	30
IV.1.2.6 Aquifère des grès du Famennien	30
IV.1.3 Unités hydrogéologiques du Carbonifère.....	31
IV.1.3.1 Aquifère-Aquitard-Aquiclude de l'Hastarien.....	31
IV.1.3.2 Aquifère des calcaires du Carbonifère	31
IV.1.3.3 Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller	32
IV.1.4 Unités hydrogéologiques du Crétacé	34
IV.1.4.1 Aquifère des sables du Santonien.....	34
IV.1.4.2 Aquifère-Aquitard de Vaals.....	34
IV.1.4.3 Aquifère des craies du Crétacé	34
IV.1.5 Unités hydrogéologiques du Cénozoïque	36
IV.1.5.1 Aquifère des sables de remplissage (Paléogène).....	36
IV.1.5.2 Aquifère des tourbes (Quaternaire).....	36

IV.1.5.3 Aquitard des limons (Quaternaire).....	36
IV.1.5.4 Aquifère alluvial (Quaternaire).....	36
IV.2 Description de l'hydrogéologie de la carte	38
IV.2.1 Aquifères du Crétacé	38
IV.2.2 Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller.....	42
IV.2.3 Aquifère des calcaires du Carbonifère.....	43
V. Cadre hydrochimique	49
V.1 Caractéristiques hydrochimiques des eaux	50
V.1.1 Aquifères du Crétacé	50
V.1.2 Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller.....	53
V.1.3 Aquifère des calcaires du Carbonifère.....	54
V.1.4 Autres unités hydrogéologiques.....	55
V.2 Problématique des nitrates	56
V.2.1 Aquifères du Crétacé	57
V.2.2 Aquifère des calcaires du Carbonifère.....	58
V.2.3 Autres unités hydrogéologiques.....	58
V.3 Qualité bactériologique	59
V.4 Pesticides.....	59
VI. Exploitation des aquifères	61
VI.1 Aquifères du Crétacé	61
VI.2 Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller	62
VI.3 Aquifère des calcaires du Carbonifère	63
VII. Paramètres d'écoulement et de transport	64
VII.1 Aquifères du Crétacé	64
VII.2 Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller	64
VII.3 Aquifère des calcaires du Carbonifère	65
VII.4 Aquifère des grès du Famennien	65
VIII. Zones de protection.....	66
VIII.1 Cadre légal.....	66
VIII.2 Zone de prévention du puits P1 du Camping "Kon-Tiki"	69
VIII.3 Zones de prévention du drain "La Clouse" (SWDE)	69
VIII.4 Autres zones de prevention	69
IX. Méthodologie de l'élaboration de la carte hydrogéologique	72
IX.1 Origine des informations	72
IX.1.1 Données géologiques et connexes.....	72
IX.1.2 Données météorologiques et hydrologiques.....	73

IX.1.3 Données hydrogéologiques	73
IX.1.3.1 Localisation des ouvrages	73
IX.1.3.2 Données piézométriques	74
IX.1.3.3 Données hydrochimiques et tests sur les puits	74
IX.1.4 Autres données	75
IX.2 Base de données hydrogéologiques	75
IX.3 Poster de la carte hydrogéologique	76
IX.3.1 Carte hydrogéologique principale	76
IX.3.2 Carte des informations complémentaires et des caractères des nappes	77
IX.3.3 Carte des volumes d'eau prélevés	78
IX.3.4 Carte des isohypses de la base et du toit des aquifères	79
IX.3.5 Tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie'	79
IX.3.6 Coupe hydrogéologique	79
X. Bibliographie	81
Annexe 1. : Liste des abréviations des institutions et organismes	84
Annexe 2. : Table des illustrations	86
Annexe 3. : Carte de localisation	87
Annexe 4. : Coordonnées géographiques des ouvrages cités dans la notice	89

Avant - propos

La carte hydrogéologique Henri-Chapelle-Raeren (43/1-2), Petergensfeld (43/3) et Gemmenich-Botzelaar (35/5-6) a été commandée par le Service public de Wallonie. 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 édition de cette carte date de juin 2003. Une actualisation partielle a été réalisée en septembre 2009. Cette actualisation prend uniquement en compte les données disponibles dans la base de données "BD-Hydro" (outil de travail commun aux équipes universitaires et à l'administration wallonne (D GARNE, Direction des eaux souterraines). 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. Par manque de temps, une collecte exhaustive n'a pas été menée.

Les auteurs de la carte hydrogéologique remercient vivement Pierre Ghysel (géologue attaché au Service Géologique de Belgique), Marc Drèze (SWDE), Mohamed Bouezmarni (ULg Campus d'Arlon) pour leur relecture attentive et constructive de la carte et sa notice. Nous remercions aussi tous les bureaux d'études actifs dans le domaine de l'environnement qui nous ont fourni des données.

Collaborent au projet 'Carte hydrogéologique de Wallonie' la Faculté Polytechnique de Mons (FPMs), les Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix de Namur (FUNDP) et l'Université de Liège (ULg) dont le site 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, trois cartes thématiques, une coupe hydrogéologique, et un tableau litho-stratigraphique sont présentés. Ces cartes sont présentées sur deux feuilles.

Une petite partie ($\approx 1 \text{ km}^2$) du territoire couvert par la carte étudiée est située en Région Flamande. Quelques données sont issues de la base de données (Databank Ondergrond Vlaanderen), gérée par la Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). Nous remercions la Région Flamande et plus spécifiquement le Service Eau (Afdeling Water) de la VMM pour leur collaboration à la réalisation de cette carte hydrogéologique de Wallonie.

Les données utilisées pour la réalisation de la carte ont été encodées dans une base de données sous le format «Access - Microsoft» (Personal 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

La région étudiée se situe dans partie nord-est de la Wallonie, appelée couramment les cantons de l'Est (figure I.1). Les principales ressources en eau souterraine de la région sont logées dans les terrains du Crétacé. Les formations schisto-gréseuses du Houiller et les calcaires du Carbonifère constituent aussi des réservoirs aquifères non-négligeables. Ces nappes sont exploitées principalement pour la distribution publique d'eau potable. De nombreux agriculteurs et particuliers possèdent leur ouvrage de prise d'eau à usage professionnel et/ou privé. On dénombre quelques industries parmi les titulaires d'ouvrages souterrains.

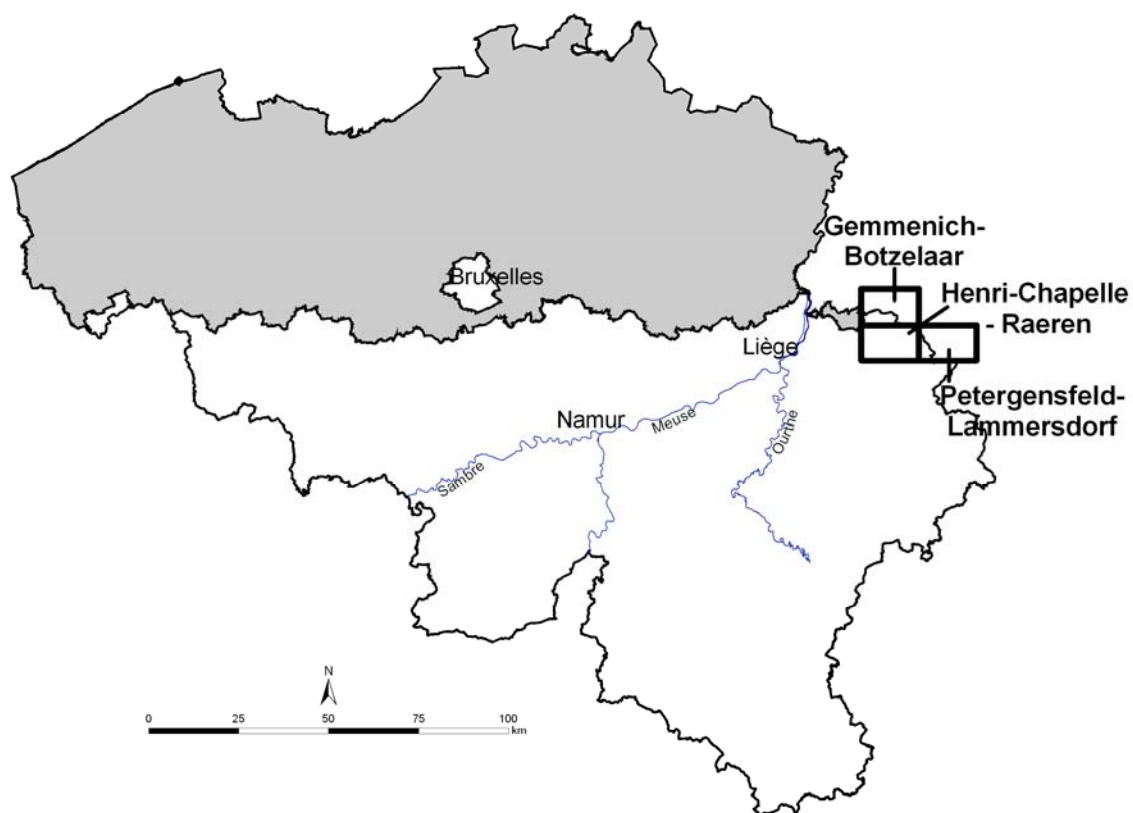


Figure I.1 : Plan de situation

II. CADRES GEOGRAPHIQUE, HYDROGRAPHIQUE, GEOMORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE

La région d'Henri-Chapelle-Raeren - Gemmenich-Botzelaar - Petergensfeld se situe à une trentaine de kilomètres à l'est de la ville de Liège. Elle est frontalière, au nord, avec les Pays-Bas et à l'est avec l'Allemagne. A l'ouest, dans la vallée de la Gulp, une petite partie de la carte est située en Flandre. Les principales localités de la région sont Plombières, Welkenraedt, Lontzen, Kelmis (La Calamine), Raeren ainsi qu'Eupen située directement au sud de la carte. D'est en ouest, un important axe de communication traverse la carte: l'autoroute Liège-Aachen A3-E40.

Deux ensembles paysagers¹ se distinguent sur la zone cartographiée: l'Entre-Vesdre-et-Meuse et le haut plateau de l'Ardenne du nord-est (Droeven et *al.*, 2004). Ce dernier ne s'étend que sur un huitième de la carte étudiée (coin sud-est) et est représenté par le haut plateau des Fagnes au relief assez plat couvert, sur cette carte, par des massifs boisés. La carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar est surtout occupée par ce grand plateau limité par deux grandes vallées qu'est l'ensemble paysager de l'Entre-Vesdre-et-Meuse. Trois de ses six territoires paysagers caractérisent la zone: le faciès de l'arrière-pays de Herve au centre, au nord la tête de vallée de la Göhl (Gueule) et au sud les vallonnements de la Vesdre et de ses affluents (Cremasco et *al.*, 2007). Le Pays de Herve est considéré comme l'archétype du bocage² en Wallonie. Cependant, l'arrière-pays est moins marqué par ces paysages d'enclos (herbages et vergers entourés d'un réseau de haies).

Globalement, le relief de la zone couverte par la carte est modérément vallonné. Les altitudes sont comprises entre 125 m (au NW, lit de la Gueule) et 480 m (au SE, contreforts de l'Ardenne). La carte appartient au bassin hydrographique de la Meuse. Plusieurs sous-bassins y sont distingués. Le réseau hydrographique principal a une orientation NW-SE, les affluents (réseau secondaire) s'écoulent majoritairement selon une direction WSW-ENE (figure II.1).

¹ 76 territoires paysages 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).

² *Bocage*: paysage d'enclos caractérisé par un habitat dispersé combiné à une organisation individuelle de fermes entourées de leurs terrains d'exploitation, souvent enclos de rideaux d'arbres, combinant majoritairement herbages et élevage (Cremasco et *al.*, 2007).

Les principaux bassins-versants sont, par ordre d'importance:

- le bassin de la Gueule, incluant celui de la Gulpe (Gulp), occupe 58 % de la superficie de la carte. La Gueule ou Göhl rejoint la Meuse à Meerssen (Pays-Bas);
- le bassin de la Vesdre, au sud, représente 27 % de la planche étudiée. Cette rivière rejoint l'Ourthe à Chênée (2,6 km avant sa confluence avec la Meuse);
- le bassin de la Roer, à l'est, occupe 13,5 % du territoire couvert par la carte. La Roer se jette dans la Meuse à Roermonde (Pays-Bas) après avoir fait un crochet par l'Allemagne;
- la tête du bassin de la Berwinne à l'ouest s'étend sur une faible surface : 1,5 % de la carte. Cette rivière atteint la Meuse à Lixhe, au nord de Visé.

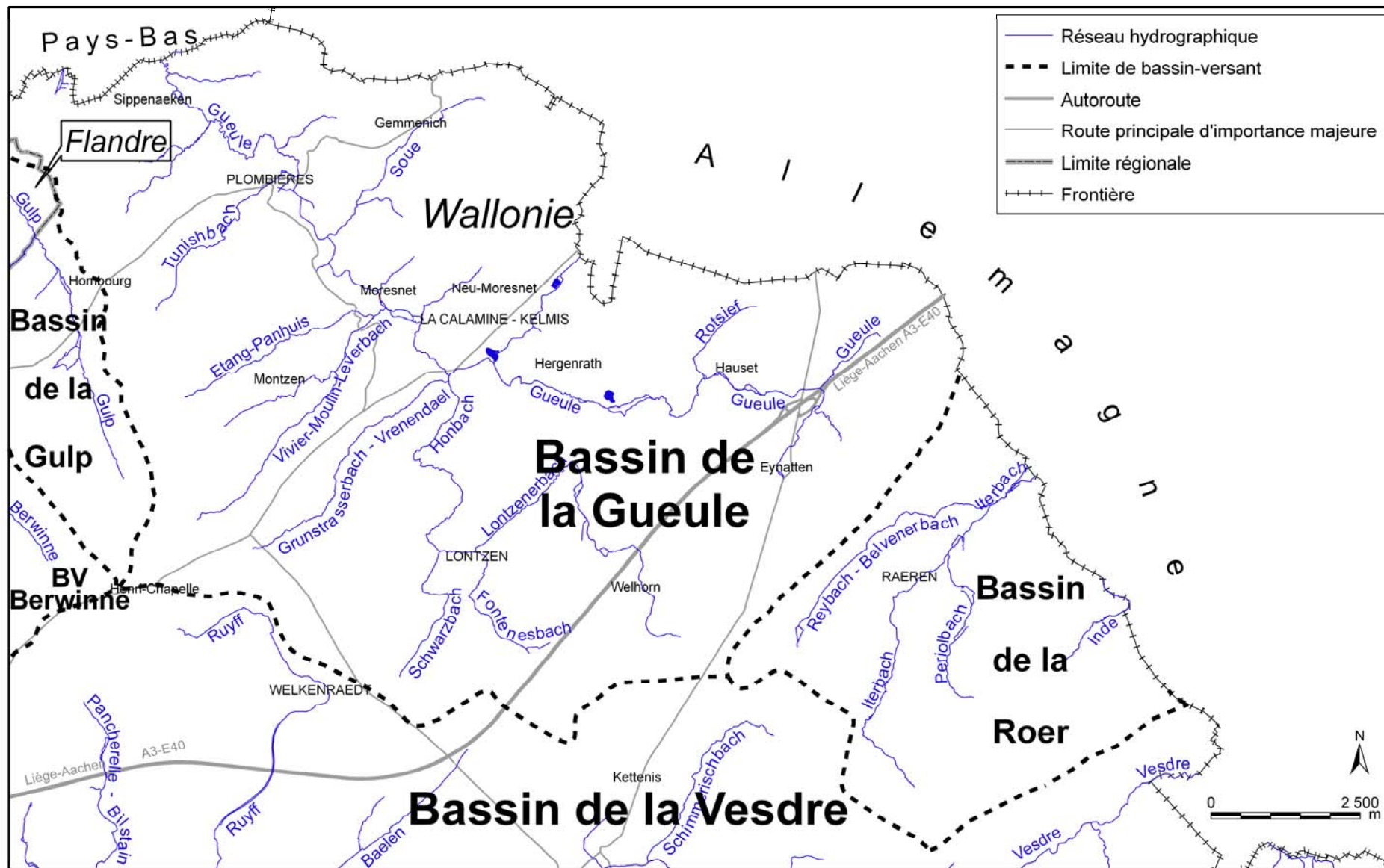


Figure II.1 : Réseau hydrographique et bassins versants

Le bassin de la Gueule a fait l'objet d'une étude hydrologique approfondie (Dautrebande et *al.*, 2000). L'objectif de ce projet était de définir les mesures adéquates pour la réduction du risque de crues soudaines (flash flood), évènements fréquents dans la partie néerlandaise du bassin. La superficie totale du bassin hydrographique de la Gueule est de 380 km² dont environ 130 km² en Belgique. La quantité d'eau précipitée annuellement est de 800 mm. L'évapotranspiration avoisinant 500 mm/an, il reste environ une lame de 300 mm d'eau pour le ruissellement et l'infiltration. L'étude des hydrogrammes a indiqué que le bassin de la Gueule subit des pertes vers le bassin de la Meuse et/ou celui de la Gulp. Ces pertes sont majoritairement observées en aval de Sippenaeken (partie néerlandaise du bassin) et sont généralement localisées dans les terrains du Crétacé.

Dans le cadre d'une étude sur les potentialités aquifères de la région de Plombières (LGIH, 1984), des déversoirs ont été placés sur les principaux ruisseaux des zones investiguées (figure II.2). Ils ont été relevés hebdomadairement pendant l'année 1983. L'analyse des courbes de débits a mis en évidence les tronçons infiltrants et drainants. Des pertes importantes sont observées entre les DV5-DV6 et le DV8, et entre les DV1-2 et le DV3. En DV2 et DV6, des apports extérieurs importants sont remarqués, probablement dus au drainage de surface de la gare et aux égouts, ce qui réduit la qualité des eaux. Le déversoir DV7, dont le bassin-versant est situé sur les terrains du Houiller, présente un débit élevé (substratum moins perméable).

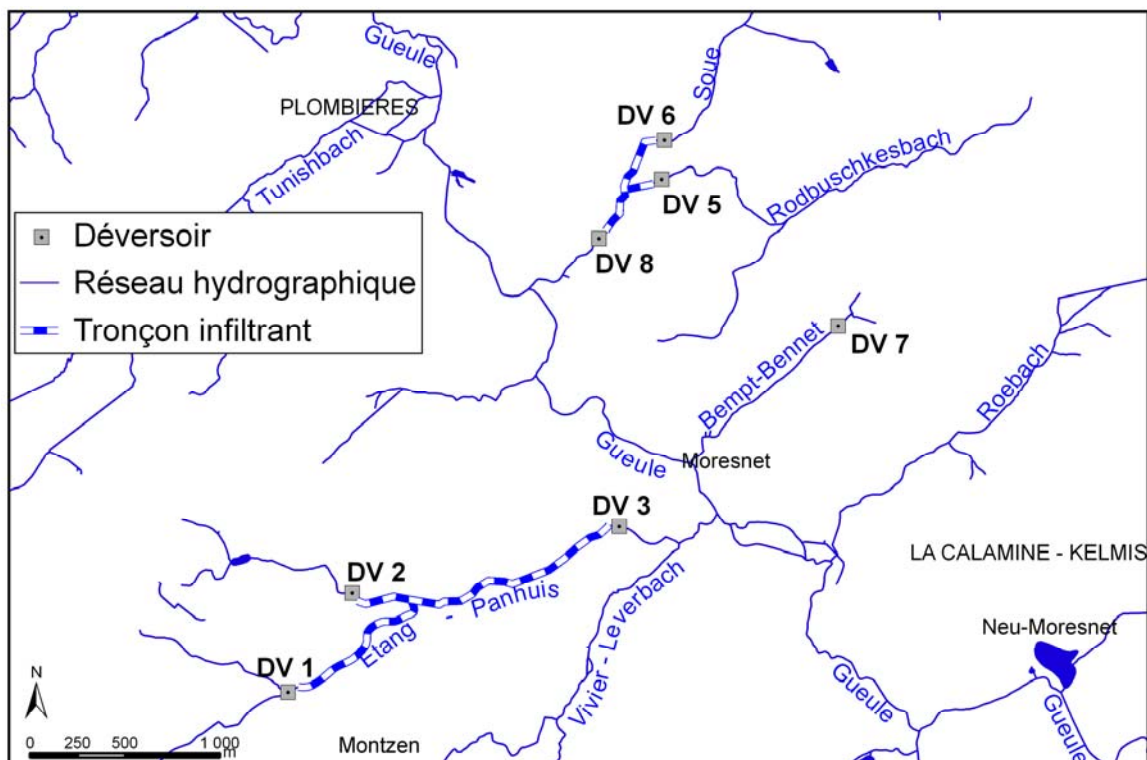


Figure II.2 : Bassin de la Gueule : étude hydrologique des quelques affluents

La carte présentée à la figure II.3 expose l'occupation du sol de la région. Ces données sont extraites de la carte numérique de l'occupation du sol wallon³. On constate que les surfaces agricoles occupent la majeure partie de la carte. La répartition de l'affectation à l'intérieur de cette catégorie est reprise au tableau II.1. Le paysage est largement dominé par les prairies. Les zones boisées sont localisées sur les contreforts de l'Ardenne (Osthertogewald) ainsi que dans la vallée de la Gueule (région de Kelmis-La Calamine). Les territoires artificialisés comportent principalement les zones résidentielles et les espaces d'activité économique. L'habitat est caractérisé par une dispersion dominante entre de gros villages-centres et de petites unités de hameaux. Le rôle d'Aix-la-Chapelle (Aachen) dans le développement territorial des localités de Plombières et La Calamine est important. Ceci se marque nettement sur l'évolution de la population tant au niveau des noyaux urbains que de l'habitat dispersé. La région est aussi influencée par les Pays-Bas. Parmi les territoires artificialisés, on compte aussi les carrières et les espaces verts artificialisés. Ainsi au nord de La Calamine, on a la carrière de Neu-Moresnet (extraction des sables d'Aachen). Au nord d'Henri-Chapelle, se trouve un golf (Niveau 4 du COSW: terrains de sport, parcs de loisirs et d'attraction). La classe 'Non cadastré' est composée à de plus de 70 % de voiries et espaces associés. On distingue aisément sur la carte le tracé de l'autoroute reliant Liège à Aix-la-Chapelle et la ligne de chemin de fer avec la gare de triage de Montzen.

Surfaces enherbées (essentiellement des prairies permanentes)	90.6 %
Terres arables: cultures sarclées et non sarclées, jachères (cultures annuelles)	7.7 %
Friches agricoles	1 %
Cultures permanentes (essentiellement des vergers hautes tiges)	0.7 %

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

La répartition des différents types de sols présents dans la région d'Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar est montrée sur la figure II.4. Cette carte des sols reflète la complexité de la géologie de la région étudiée. De nombreux types de sols sont répertoriés avec un morcellement parfois important. La nature des sols est, par essence, liée au substrat que les forment. Ainsi, on retrouve les grandes structures géologiques orientées NE-SW qui caractérisent la région. La majorité des sols de la carte étudiée sont des sols limoneux ou limono-caillouteux. La nature de la charge est directement liée à la roche-mère. Ainsi, sur les formations du Cambro-Ordovicien et du Dévonien inférieur (zone sud-est de la carte), la charge est schisto-gréseuse ou gréseuses. La lecture de la carte des types de sols permet, aussi, de localiser

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

les zones d'affleurement des formations carbonatées, via les sols à charge calcaire représentant un vingtième de la surface de la zone étudiée. Autre paramètre qualifiant un sol est l'état du drainage naturel, également lié à la lithologie sous-jacente. Sur les terrains mésozoïques, les sols, présentent en général un drainage naturel favorable. Ils sont aussi souvent caractérisés par leur charge de silicite⁴ à mettre en liaison avec le conglomérat à silex (résidu de dissolution des terrains crayeux du Crétacé, noté Sx sur la carte géologique). La catégorie 'sols artificiels ou non cartographiés' occupe environ 10 % du territoire cartographié. Cette classe comprend principalement les zones bâties, le réseau hydrographique, les infrastructures de transport.

⁴ Silicite: terme ambigu désignant à la fois des cherts, faisant corps avec la roche calcaire qui les contient (dans le Condroz notamment), sables, sables indurés, argile plastique, cailloux calcaires ou d'un mélange des charges citées (Légende de la Carte Numérique des Sols de Wallonie, 2007)

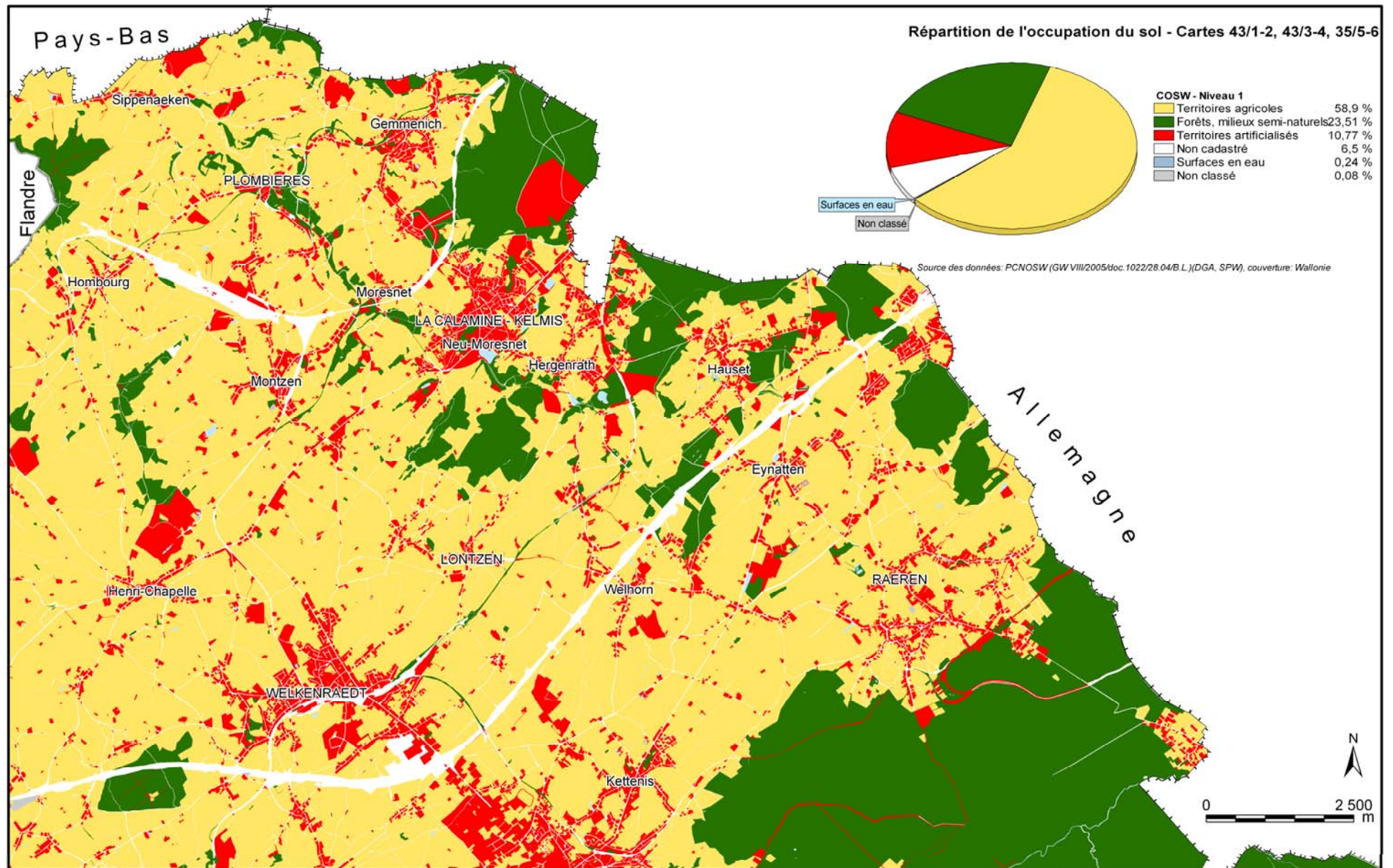


Figure II.3: Répartition de l'occupation du sol

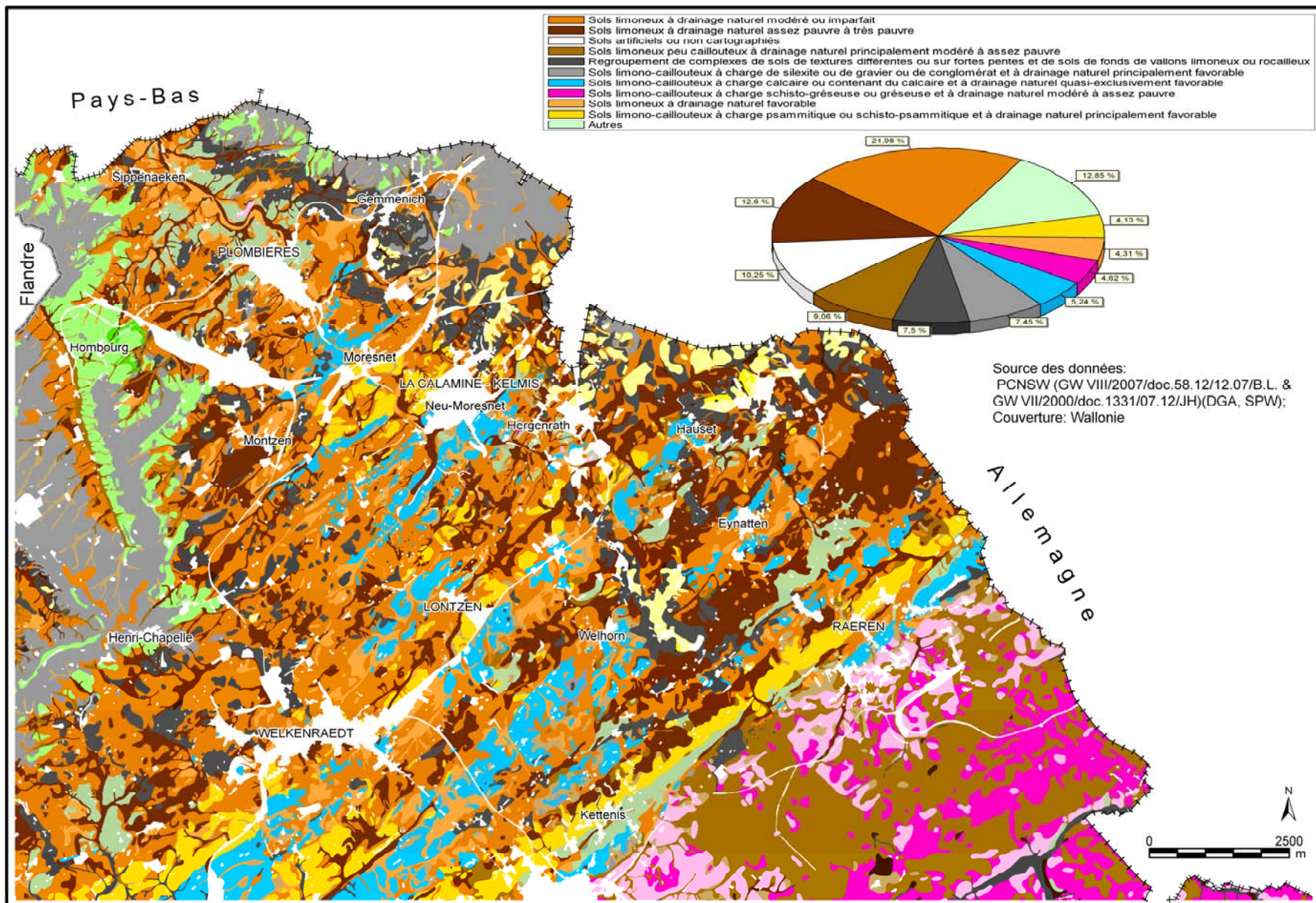


Figure II.4: Répartition des types de sol

III. CADRE GEOLOGIQUE

III.1 CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

Située au nord-est de la province de Liège, la carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar est parcourue par le Synclinorium de Verviers et recoupe l'extrémité septentrionale du Massif de Stavelot (figure III.1). Le Massif de Stavelot composé de roches datées du Cambro-Ordovicien a subi les orogénèses calédonienne et hercynienne. Le Synclinorium de Verviers comprend, du nord au sud, le Massif de Herve, le Massif de la Vesdre et la Fenêtre de Theux. Le Massif de la Vesdre qui relaye le Synclinorium de Dinant, est charrié sur la Massif de Herve par la Faille du Tunnel. Le Massif de la Vesdre, parfois aussi appelée Nappe de la Vesdre, est découpé par des failles de chevauchement majeur (Laloux et *al*, 1997). Le Massif de Herve, prolongement du Synclinorium de Namur, est composé d'une série d'écaillés imbriquées, limitées par des failles de charriage.

Après la phase terminale de l'orogénèse varisque, la Belgique connaît une longue période (environ 40 millions d'années) de lacune de sédimentation accompagnée d'une érosion. L'importante transgression du Crétacé dépose, dans le Pays de Herve, tout d'abord des sédiments sableux d'âge santonien. Au Campanien, la mer continue sa transgression et dépose une marne ou argile silteuse riche en glauconie. Au dessus de ce dépôt, on trouve les niveaux crayeux du Campanien-Maastrichtien. Le Crétacé se termine par une importante régression et émergence au cours de laquelle les craies ont, en partie, été érodées. Cette phase érosive a laissé un conglomérat à silex résiduels (Boulvain & Pingot, 2008).

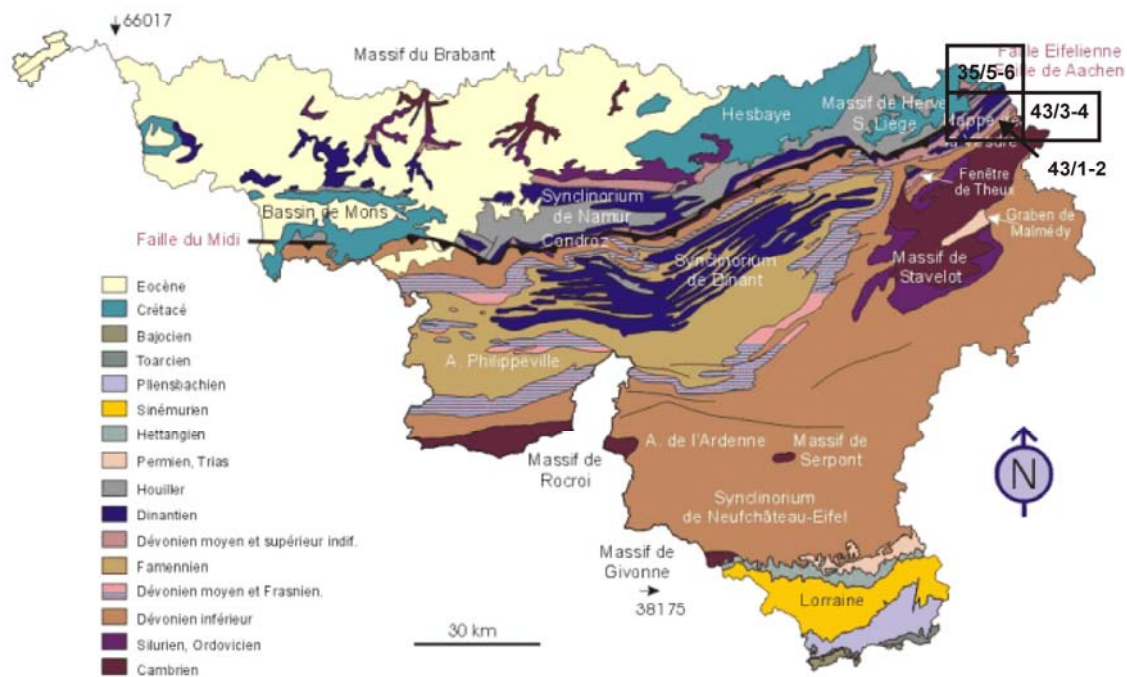


Figure III.1: Carte géologique de la Wallonie (Boulvain & Pingot, 2008; modifié)

III.2 CADRE GEOLOGIQUE DE LA CARTE

III.2.1 Cadre lithostratigraphique

Les formations géologiques rencontrées sur la carte Henri-Chapelle-Raeren, Petergensfeld et Gemmenich-Botzelaar sont constituées de roches datées du Cambrien au Crétacé. Le socle paléozoïque affleure dans les principales vallées et dans la moitié sud-est de la carte, tandis que les formations du Crétacé se rencontrent surtout sur les replats et interfluves. Ces formations sont surmontées localement par des sables cénozoïques, par des alluvions modernes et de façon générale par les limons quaternaires. Ces roches sont affectées de nombreuses failles.

La description lithologique des formations fait référence à la nouvelle carte géologique Henri-Chapelle-Raeren, Petergensfeld et Gemmenich-Botzelaar au 1/25.000, dressée par M.Laloux, F.Geukens, P.Ghysel et L.Hance et éditée en 2000. Cette carte géologique sert de fond à la carte hydrogéologique ; elle a été fournie sous format numérique par la Région Wallonne.

III.2.1.1 Formations de Paléozoïque

III.2.1.1.1 Cambrien

Le Cambrien supérieur est représenté par deux formations:

la **Formation de La Venne-Coo (VEN)** est caractérisée par une alternance de phyllades noirs et de quartzites foncés, parfois argileux et micacés. Dans la partie inférieure, on observe aussi des bancs de grès micacés. Elle affleure uniquement dans le coin Sud-Est de la carte. Son épaisseur est estimée à plus de 700 m.

la **Formation de La Gleize (GLE)** est composée de phyllades et de quartzophyllades, avec de minces bancs de quartzites. Cette formation affleure uniquement dans le coin Sud-Est de la carte.

III.2.1.1.2 Ordovicien

Ce système est représenté par la **Formation de Jalhay (JAL)** (Trémadocien). Comme pour le Cambrien supérieur, elle affleure dans le coin Sud-Est de la zone étudiée, dans la région de l'Osthertogenwald. Son épaisseur serait supérieure à 400 m.

La Formation de Jalhay est découpée en deux membres :

- le **Membre de Solwaster (SOL)** : quartzophyllades, phyllades, bancs gréseux, présence de quelques niveaux fossilifères.
- le **Membre de Spa (SPA)** : quartzophyllades gréseux.

III.2.1.1.3 Dévonien

Les roches du Dévonien affleurant sur la carte Henri-Chapelle-Raeren, Petergensfeld et Gemmenich-Botzelaar sont représentatives de presque tous les étages du système, soit du Lochkovien au Famennien, avec une lacune du Praguien supérieur, de l'Emsien et de l'Eifelien inférieur.

III.2.1.1.3.a Lochkovien (Dévonien inférieur)

Dans ce premier étage de la série, deux formations sont distinguées.

En premier lieu, la **Formation de Marteau (MAR)**, est caractérisée essentiellement par des siltites et des grès, avec quelques niveaux de nodules carbonatés. Son épaisseur est estimée à 160-180 m. Un conglomérat de base est parfois observé (à Eupen et dans la vallée de l'Amblève), appelé le Poudingue de Quarreux. La formation repose en discordance sur les formations précédentes.

Ensuite, vient la **Formation du Bois d'Ausse (BAU)** essentiellement gréseuse, avec des niveaux de galets de shale, des niveaux de nodules carbonatés. Son épaisseur est de l'ordre de 200 m.

III.2.1.1.3.b Praguien (Dévonien inférieur)

La **Formation d'Acoz (ACO)** est composée de shales et de siltites en alternance avec des bancs de grès généralement argileux. Son épaisseur est très variable, (maximum observé : 250 m).

III.2.1.1.3.c Eifelien (Dévonien moyen)

La **Formation de Vicht (VIC)** est constituée d'un conglomérat de quartz et de quartzites, avec localement des bancs lenticulaires de grès. Son épaisseur est comprise entre quelques mètres et une soixantaine de mètres.

La **Formation de Pépinster (PER)** est composée de siltites, de grès fins très argileux, de niveaux conglomératiques et de shales. Au sommet, on note l'apparition progressive d'un faciès carbonaté fossilifère annonçant le Givetien, plus calcaire. L'épaisseur de cette formation est d'environ 300 m. Cette formation affleure, selon une direction NE-SW, au Sud de Raeren et de Kettenis.

III.2.1.1.3.d Givetien (Dévonien moyen)

Les **Formations du Roux et de Névremont (NR)** sont cartographiées ensemble. Elles sont constituées de calcaires fins, parfois dolomités, laminaires, ainsi que de shales en alternance avec des dolomies et des calcaires organoclastiques. La puissance de ces formations est comprise entre 90 et 160 m.

III.2.1.1.3.e Frasnien (Dévonien supérieur)

Le Frasnien débute par la **Formation de Nismes**, non cartographiée, composée de shales avec des niveaux carbonatés.

Ensuite, on a la **Formation de Lustin (LUS)** formée de calcaires laminaires et biostromaux⁵. Son épaisseur est comprise entre 130 m et 150 m.

Succède la **Formation d'Aisemont (AIS)**, caractérisée par deux niveaux calcaires, de part et d'autre d'un horizon argileux plus ou moins carbonaté (shales). Son épaisseur est estimée à 40 m.

Les deux formations suivantes sont cartographiées ensemble : la **Formation de Lambermont** appartenant au Frasnien et la **Formation d'Hodimont**, Famennien L'abréviation utilisée pour ce regroupement est **LH**.

Cet ensemble est constitué de shales et de siltites souvent carbonatés avec de nombreux horizons à nodules carbonatés et des horizons fossilifères. Au sommet, on trouve des siltites micacées et des grès argileux. La puissance de cette série est estimée à environ 160 mètres.

III.2.1.1.3.f Famennien (Dévonien supérieur)

La **Formation d'Esneux (ESN)** est composée d'une succession de bancs de grès fins plus ou moins argileux, peu micacés, séparés par de minces joints argileux. Son épaisseur est estimée à environ 100 m maximum.

Très peu présente sur la carte étudiée (Sud de Welkenraedt), la **Formation de Souverain-Pré (SVP)** est composée de calcaires argileux et noduleux et de calcaires crinoïdiques. Son épaisseur est estimée à 25 m.

Les **Formations de Montfort-Evieux (ME)** sont cartographiées ensemble sur la feuille Henri-Chapelle-Raeren, Petergensfeld et Gemmenich-Botzelaar. 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 maximale observée est de 370 mètres.

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

III.2.1.1.4 Carbonifère

⁵ Biostromes: calcaires, grès calcaires, noduleux, crinoïdiques.

La sédimentation carbonatée du Carbonifère commence avec le Tournaisien, ensuite lui succèdent les formations du Viséen et du Namurien, les séries du Westphalien et du Stéphanien sont absentes.

III.2.1.1.4.a Tournaisien

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

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

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

Formation de Landelies : calcaires crinoïdiques, argileux puis dolomités au sommet (épaisseur : 7 à 10 m);

Formation des Dolomies de la Vesdre : dolomies et calcaires dolomités avec plusieurs niveaux de cherts, de nodules siliceux, de nodules de calcite, dolomite et quartz (épaisseur : 150 m maximum).

Ces formations sont généralement dolomitées, excepté les schistes.

III.2.1.1.4.b 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 : brèche sédimentaire calcaire, conglomérat à la base. Cette formation disparaît au Nord de la faille de Moresnet (épaisseur très variable, entre 10 et 15 m);

Formation de Terwagne : calcaires fins à grossiers. Son épaisseur est comprise entre 20 et 25 m, au Nord de la faille de Moresnet, elle atteint 40 m;

Formation de Moha : calcaires grossiers, généralement oolithiques et bioclastiques. (épaisseur : de 25 à 40 m).

Le **Groupe de Jusleville (JUS)**, d'âge Livien, rassemble plusieurs formations :

Formation de Lives : calcaires avec nombreux joints argileux et nodules de cherts, niveau conglomératique de blocs de calcaires dans une matrice argileuse (épaisseur entre 75 et 90 m);

Formation de Seilles : calcaires avec des niveaux à oïdes, calcarénites, localement brèches calcaires. A la base, bancs massifs de calcaires. Son épaisseur est très variable (maximum 60 m), non observée au Nord de la faille de Moresnet.

III.2.1.1.4.c Namurien

Le **Groupe du Houiller (HOU)** affleure principalement dans le fond des vallées. Il 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. L'épaisseur du Houiller dans la région étudiée est de 300 mètres maximum.

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 développé sur une ancienne pénéplaine établie durant la période pré-santonienne et post-hercynienne.

III.2.1.2 Formations de 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.

III.2.1.2.1 Crétacé

Les terrains crétaciques occupent les parties occidentale et septentrionale de la carte étudiée. Ces dépôts présentent de rapides et fréquentes variations latérales de faciès et d'épaisseur. Ils sont généralement localisés sur les interfluves et absents des versants et des vallées (érosion). Dans la région étudiée, l'ensemble des formations du Crétacé est d'âge sénonien.

III.2.1.2.1.a Santonien (Sénonien)

Cet étage est représenté par la **Formation d'Aachen (AAC)** qui est subdivisée en trois membres. Son épaisseur maximum est de 45 mètres. Elle est constituée d'argiles silteuses et sableuses, de silts argileux et sableux (Membre d'Hergenrath), de sables fins à grossiers avec des niveaux charbonneux et de bancs de grès ou concrétions siliceuses (Membre d'Aachen), de lits argileux ou silteux avec débris de végétaux, sables plus ou moins argileux (Membre d'Hauset). Localement, vers le Sud-Est, on observe des dépôts lenticulaires silteux, sableux et graveleux (Membre de Mospert).

III.2.1.2.1.b Campanien (Sénonien)

La **Formation de Vaals (VAA)**, de composition très hétérogène, est encore parfois nommée « Smectite de Herve ». Elle est caractérisée par une alternance de sables, de silts et d'argiles et des horizons indurés (concrétions gréseuses ou siliceuses), le tout étant généralement glauconieux. On observe d'importantes variations latérales de faciès ; d'Est en Ouest, on passe des sables grossiers avec minces intercalations silteuses aux silts carbonatés. Son épaisseur est variable, de quelques mètres à plus de soixante mètres.

III.2.1.2.1.c Maastrichtien (Sénonien)

Le Maastrichtien, dernier étage du Sénonien, est représenté par la **Formation de Gulpen (GUL)**. Celle-ci est constituée de craies présentant différents faciès. De bas en haut, on observe la séquence suivante :

- craie glauconifère (Horizon de Zeven Wegen);
- craie compacte, à rares nodules de silex;
- craie altérée, argileuse;
- localement des niveaux de craie grise glauconifère;
- craie karstifiée à sommet irrégulier.

Son épaisseur est très variable (fonction du degré d'altération et de karstification), elle est d'environ 40 m.

Cette formation est surmontée par une argile rousse à silex, résidu de dissolution (conglomérat à silex Sx), recouvrant une grande surface de la carte avec une épaisseur de quelques mètres à une dizaine de mètres, elle diminue d'est en ouest. Ces dépôts n'ont pas été cartographiés sur la carte étudiée.

III.2.1.3 Formations du Cénozoïque

III.2.1.3.1 Paléogène

Sur la planche Henri-Chapelle-Raeren, Petergensfeld et Gemmenich-Botzelaar, l'Oligocène (série du Paléogène) est composé par les **dépôts sableux (SBL)** qui sont constitués de matériaux sableux, mêlés de lentilles d'argiles sableuses et de sables quartzeux souvent micacés. Ils sont généralement localisés dans les poches de dissolution de la craie sous-jacente.

III.2.1.3.2 Quaternaire

Parmi les dépôts de l'Holocène, on trouve des **tourbes (TRB)** ou tourbières à sphaignes, localisées sur le plateau des Hautes-Fagnes. Sur la carte étudiée, quelques dépôts sont cartographiés dans l'Osthertogenwald (coin sud-est de la carte).

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.

III.2.2 Cadre structural

Le cadre tectonique de la planche Henri-Chapelle-Raeren, Petergensfeld et Gemmenich-Botzelaar est relativement complexe. D'une manière générale, les terrains du Paléozoïque ont été plissés au cours de l'orogénèse hercynienne. Les plis ont une direction moyenne NE-SW et déjetés à déversés vers le nord.

Le *Massif de Stavelot*, constitué de roches datées du Cambro-ordovicien (coin SE de la carte) a en outre subi l'orogénèse calédonnienne. Il est séparé, au nord-ouest, du Massif de la Vesdre par une importante faille de charriage, la faille d'Eupen-Lensbach.

Le *Massif de la Vesdre* occupe la majeure partie de la carte. Il fait partie du Synclinorium de Verviers qui comprend aussi la Fenêtre de Theux et le Massif de Herve. La Nappe de la Vesdre a été charriée sur le Massif de Herve par la faille du Tunnel, prolongation de la faille Eifélienne. Elle est découpée par des failles de chevauchement longitudinales, subparallèles au plissement, qui lui confère cette structure en écailles.

Le *Massif de Herve*, présent dans la partie sud-ouest de la carte, est limité au nord, du Synclinorium de Liège, par la faille des Aguesses-Asse. Il peut être assimilé au flanc normal d'un grand pli synclinal structuré en une série d'écailles imbriquées.

Une tectonique récente a induit un réseau de fractures et de failles subverticales transversales de direction SSE-NNW. Ces failles sont probablement liées à l'effondrement du Graben du Rhin. Elles ont affecté tous les terrains, même les terrains du Crétacé. Elles sont aussi à l'origine des minéralisations Pb-Zn observées dans la région et longtemps exploitées par l'industrie minière. Ces failles minéralisées vont aussi jouer un rôle, non négligeable, dans la qualité des eaux souterraines en contact avec celles-ci.

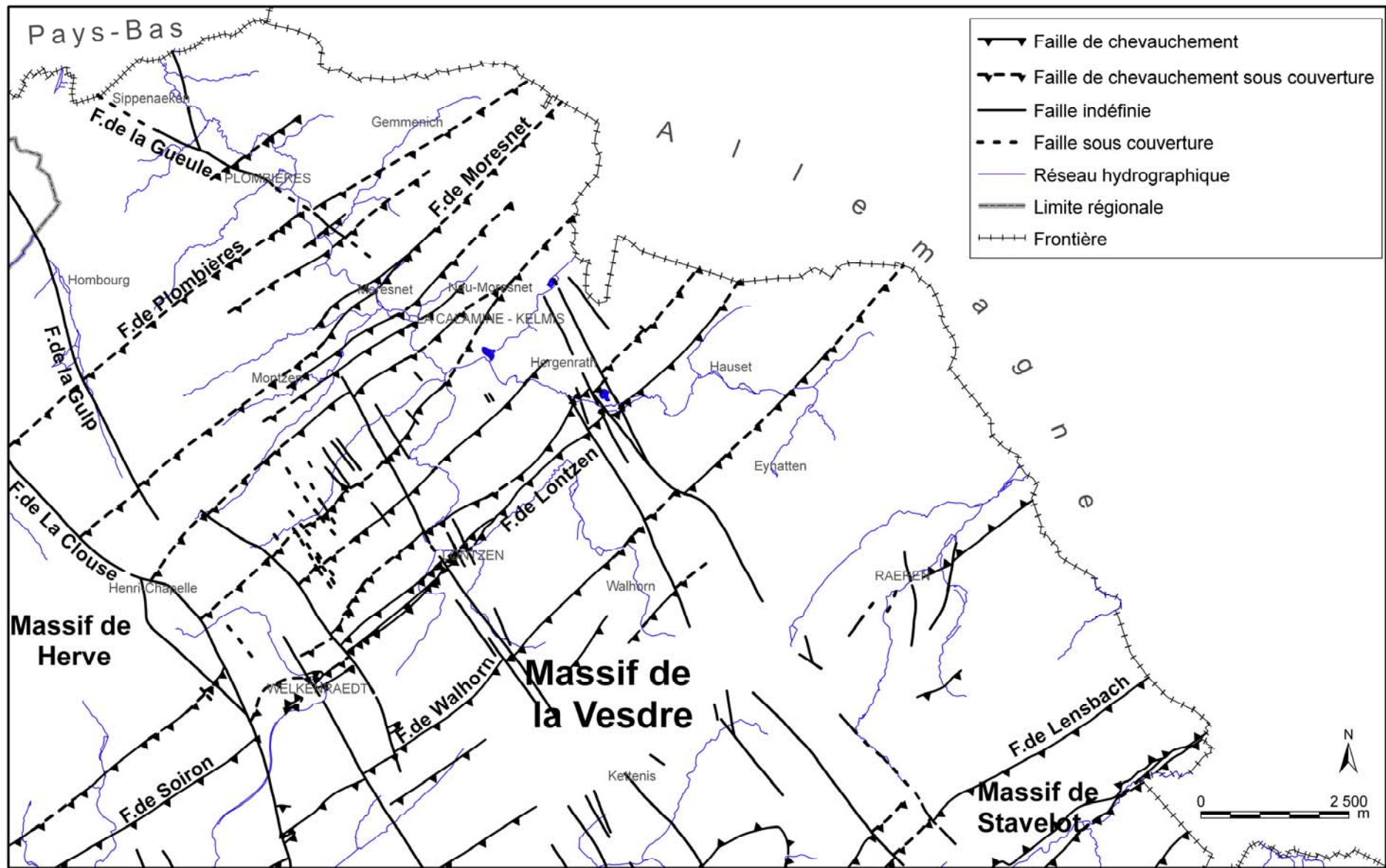


Figure III.1 : Cadre structural

III.2.3 Gisements métallifères Plomb-Zinc

En Belgique, trois districts métallogéniques à plomb-zinc sont reconnus : le Synclinorium de Namur et le Synclinorium de Verviers, 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).

Nous nous intéresserons aux gisements métallifères du Synclinorium de Verviers, et plus particulièrement à ceux situés dans la région de Plombières-Moresnet. Cette minéralisation Pb-Zn s'est développée, principalement, dans les failles transversales (de direction NNW-SSE). Ces filons sont surmontés d'une ou plusieurs poches de minerais et se coincent 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^{ème} et au début du 20^{ème} siècle. La carte de la figure III.2 schématise le cadre géologique et les concessions de la région de Moresnet-Plombières. 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). En général, ces gisements ont été exploités jusqu'à des profondeurs comprises entre 100 et 230 m, avant d'être abandonnés. Les raisons de ces abandons sont, d'une part, le rétrécissement des filons en profondeur et leur appauvrissement en plomb et zinc au profit de la pyrite, moins intéressante, et d'autre part, des venues d'eau importantes nécessitant le creusement de galeries de dénoyage et l'exhaure des eaux vers la surface. Le débit pouvait atteindre 1500 m³/h, avec des pointes à 3000 m³/h.

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 & Lespineux (1947).

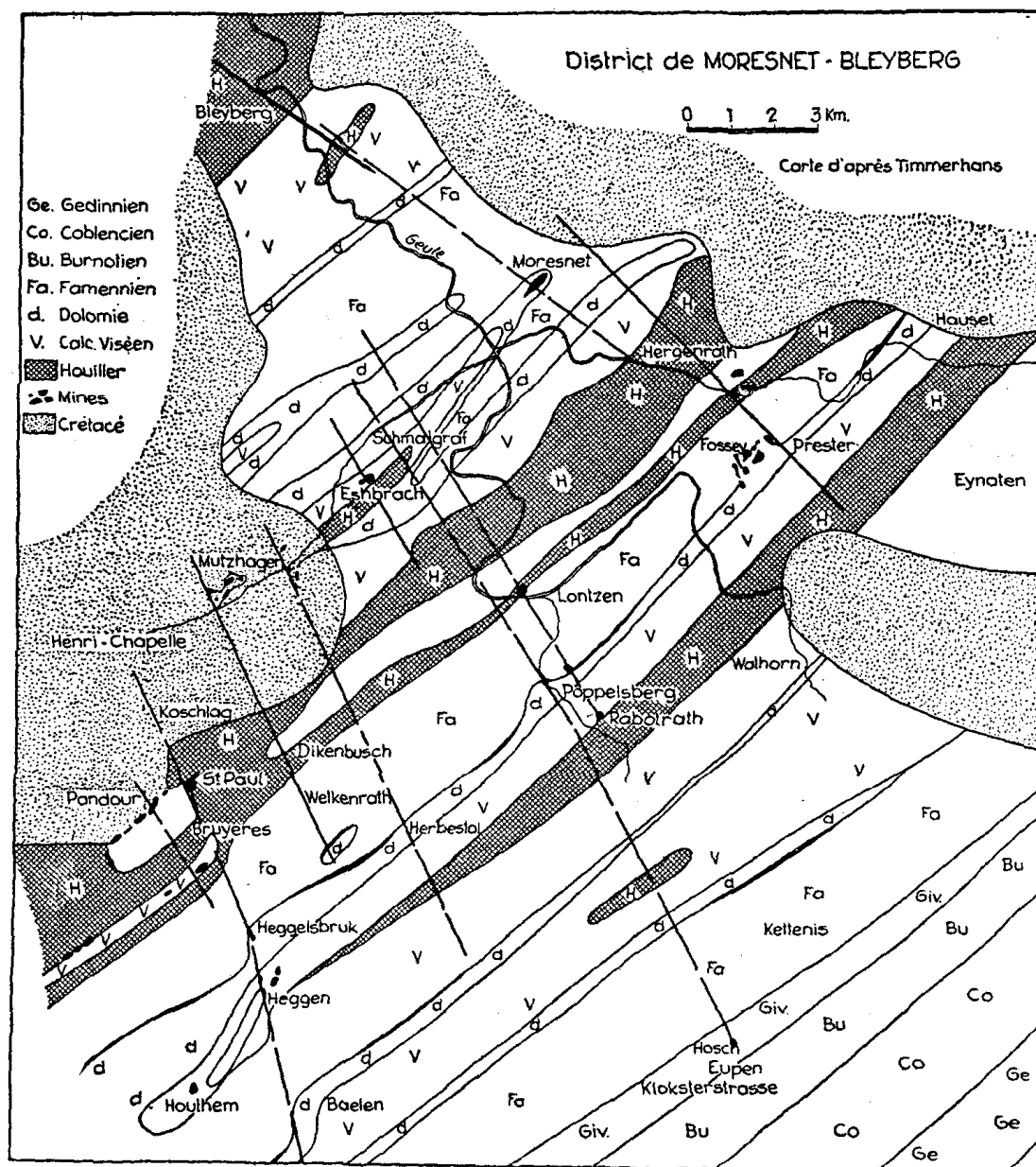


Figure III.2 : Concessions Pb-Zn dans la région de Plombières-Moresnet

(Dewez & Lespineux, 1947)

IV. CADRE HYDROGEOLOGIQUE

Sur la carte Henri-Chapelle-Raeren, Petergensfeld et Gemmenich-Botzelaar, on distingue plusieurs systèmes aquifères dont les plus importants sont la nappe logée dans les terrains du Crétacé et la nappe logée dans les formations calcaires du Carbonifère. Le socle paléozoïque renferme d'autres unités hydrogéologiques telles que l'aquifère des calcaires du Dévonien, l'aquifère des grès du Famennien, les aquifères locaux dans les formations schisto-gréseuses du Houiller, l'aquifère du socle cambro-silurien.

Les alluvions ne présentent pas, sur la carte étudiée, des potentialités aquifères intéressantes, leur extension étant trop faible. Les limons quaternaires constituent une couche protectrice pour les nappes sous-jacentes. En période de forte pluviosité, on y observe parfois de petites nappes locales et temporaires.

IV.1 DESCRIPTION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES

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 (Elsevier, 1990; UNESCO, 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 terme 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 probable 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).

Les unités hydrogéologiques définies sur la carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar sont décrites ci-dessous dans l'ordre stratigraphique. Elles sont reprises de manière synthétique dans le tableau IV.1.

IV.1.1 Unités hydrogéologiques du Cambro-Silurien

Les unités hydrogéologiques du Cambro-Silurien⁶ de la carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar appartiennent toutes au Massif de Stavelot.

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

La Formation de Venne-Coo est définie en tant qu'aquitard à niveaux aquifères. Sa composition est relativement hétérogène. On peut y observer des bancs épais de quartzites, de grès grossiers, de grès fins ainsi que quelques niveaux graveleux. A côté de ces horizons plus perméables, les terrains sont essentiellement constitués de siltites, de phyllades et de schistes quartzitiques.

IV.1.1.2 Aquiclude du socle cambro-silurien

Cette unité hydrogéologique est composée par la Formation de La Gleize, essentiellement schisteuse. Elle est donc définie en termes d'aquiclude.

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

Composée de schistes, de phyllades et de quartzophyllades ainsi que de quartzites, des grès et grès quartzitiques, cette unité hydrogéologique est caractérisée comme aquitard avec des horizons moins perméables. Les niveaux plus fracturés peuvent constituer localement des zones plus aquifères, mais cela dépend également de la nature du remplissage des fissures (ici nature plutôt argileuse). Cette unité hydrogéologique comprend, sur la carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar, la Formation de Jalhay.

⁶ Le terme générique 'Cambro-Silurien' est utilisé même si, dans le cas de cette carte, les Formations du Silurien sont absentes.

IV.1.2 Unités hydrogéologiques du Dévonien

IV.1.2.1 Aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur

Cette unité hydrogéologique, regroupant les Formations de Marteau et d'Acoz, est caractérisée par des quartzites, généralement micacés parfois psammitiques au sein de schistes gréseux. 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 grés-quartzitique. Ces barres gréseuses, pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur, renferment localement de minces intercalaires de shales et sont parfois interrompues par des niveaux de grès argileux ou de siltites. Cette lithologie, marquée par les grès, justifie l'appellation de l'unité en tant que 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 Givetien et du Frasnien 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. Ces deux unités hydrogéologiques sont séparées par un mince aquiclude (Formation de Nismes). Ce niveau peu perméable n'a pu être cartographié vu sa faible épaisseur (4 à 6 m). 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.

IV.1.2.5 Aquitard du Famennien-Frasnien

Les Formations de Souverain-Pré et d'Esneux (Famennien) constituent également 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) et la Formation d'Hodimont (Famennien) 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 quelques 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 des grès du Famennien

Le regroupement Monfort-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.

Bien que présentant des intercalations de shales et de siltites, la Formation de Dolhain est intégrée à cette unité hydrogéologique. Ces horizons plus schisteux peuvent être qualifiés d'aquitards, isolant ainsi localement l'aquifère des grès du Famennien de l'aquifère calcaire du Tournaisien.

L'aquifère des grès du Famennien, 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 Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar, une unité hydrogéologique globale 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 du 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 du 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 logée 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 Seilles) 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 récupérable 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.

Les zones d'anciennes exploitations minières ont vu leur potentiel aquifère augmenter. La fracturation du massif, induite par les travaux miniers, a entraîné une augmentation de la perméabilité et une diminution des qualités géomécaniques des terrains. Cette dernière peut conduire localement à des affaissements miniers. D'autre part, les anciennes exploitations faites dans les versants ont été réalisées grâce à des galeries creusées au niveau de la plaine alluviale et rabattant la nappe du bed-rock. Elles sont devenues inopérantes quand les exploitations minières se sont prolongées en profondeur et que l'exhaure intensive a rabattu la nappe du Houiller. La remontée de la nappe suite à l'arrêt de l'exhaure minière a rendu à ces anciennes galeries leur rôle de drain, pour autant que ces dernières ne se soient pas effondrées (colmatage suite à des éboulements).

Dans la région de Liège, des remontées du niveau d'eau dans le Houiller comprises entre le mètre et la dizaine de mètres ont été observées.

D'une manière générale, dans l'ensemble du bassin houiller de Liège, la perméabilité du bed-rock est fonction de la densité et de l'ouverture des fissures.

On distingue trois zones (Monjoie et Polo-Chiapolini, 1973):

- zones non exploitées en terrains schisteux ou gréseux compacts : la perméabilité est faible ou nulle : 0 à 10 unités Lugeon ($0 \text{ à } 1,5-2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$);
- zones non exploitées avec un substratum gréseux fracturé : la perméabilité est très variable suivant le taux de fissuration et le type de fissures pouvant parfois être supérieure à 200 unités Lugeon ($>3-4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$);
- zones exploitées (travaux miniers): la perméabilité varie irrégulièrement en fonction de la lithologie et de l'importance des tassements miniers et peut atteindre des valeurs élevées (30 à 50 unités Lugeon ou $6 \text{ à } 10 \times 10^{-6} \text{ m/s}$), principalement dans les plis et les murs de couches de charbon.

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 des sables du Santonien

Les sables d'Aachen, caractérisés par une porosité d'interstices élevées (porosité efficace: entre 5 et 30 %), présentent des potentialités aquifères intéressantes. La Formation d'Aachen est relativement hétérogène : sables et argiles. Elle repose sur une base épaisse d'argile sableuse (Argile d'Hergenrath), doublée des argiles d'altération du socle. Ainsi au contact du socle paléozoïque, on observe de nombreuses sources, venant alimenter le réseau hydrographique. En outre, la nappe logée dans les sables d'Aachen présente une eau de bonne qualité chimique, puisque confinée à la base de système, elle est "protégée" par les Formations de Gulpen et surtout de Vaals.

IV.1.4.2 Aquifère-Aquitard de Vaals

La Formation sablo-argileuse de Vaals est généralement peu aquifère. Dans le Pays de Herve, la fraction sableuse augmente généralement vers l'est. Les propriétés aquifères de cette formation sont donc étroitement liées à sa localisation géographique. Vers l'ouest (région de Bolland, carte Dalhem-Herve), la formation est relativement peu perméable. En revanche, la perméabilité va croissante vers l'est. Des bancs locaux de grès, fracturés par l'activité tectonique, sont observés dans la partie orientale de la région. Ils sont affectés d'une perméabilité secondaire (de fissuration) importante. Ces zones gréseuses peuvent être en contact avec la Formation surincombante de Gulpen via des chenaux sableux dans les sédiments.

IV.1.4.3 Aquifère des craies du Crétacé

La nappe des craies de Gulpen présente une double porosité : porosité d'interstices et porosité de fissures. La perméabilité est essentiellement déterminée par la fracturation et peut varier fortement d'un endroit à l'autre (aussi bien verticalement qu'horizontalement). Ces nappes sont souvent localisées au droit des crêtes et des plateaux, elles constituent des nappes d'extension réduite et sont généralement perchés. Des zones de sources sont localement observées sur les versants au contact avec la Formation de Vaals sous-jacente peu perméable.

L'hydrogéologie des terrains crétacés est donc rendue relativement complexe par les variations latérales de faciès principalement dans les Formations de Vaals et accessoirement d'Aachen. On distinguera par endroits un système aquifère composé de deux aquifères, craies de Gulpen et sables d'Aachen, séparés par un horizon peu perméable (Vaals), et par ailleurs, suite aux changements de lithologie de la formation de Vaals, une seule unité hydrogéologique du Crétacé (Aquifère du Crétacé indifférencié).

Au contact des terrains du Houiller, formation généralement moins perméable, de nombreuses sources (exutoire de la nappe du Crétacé) sont observées. Le Houiller joue le rôle de niveau de base de cette nappe, surtout lorsqu'il présente un faciès schisteux.

IV.1.5 Unités hydrogéologiques du Cénozoïque

IV.1.5.1 Aquifère des sables de remplissage (Paléogène)

Les dépôts sableux, qui comblent généralement les poches de dissolution de la craie, 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. Ils jouent également le rôle de filtre pour les nappes sous-jacentes.

IV.1.5.2 Aquifère des tourbes (Quaternaire)

Les tourbes présentent une porosité élevée, ce qui en fait des réservoirs d'eau intéressants, mais leur perméabilité est très faible. Cette ressource est difficilement exploitable (aquitard). De plus, elles ont, sur la carte étudiée, une très faible extension, limitée à l'extrémité sud-est.

IV.1.5.3 Aquitard des limons (Quaternaire)

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 sur dans le tableau synthétique 'Géologie-Hydrogéologie'.

IV.1.5.4 Aquifère alluvial (Quaternaire)

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.

Ere	Système	Série	Etage	Groupe	Formation	Membre	Lithologie	Abréviation	Hydrogéologie		
CENOZOÏQUE	QUATERNAIRE	HOLOCENE			Alluvions Modernes		Sables et graviers	AMO	Aquifère alluvial		
					Dépôts Tourbeux		Tourbières à sphaignes	TRB	Aquifère des tourbes		
	PALEOGENE	OLIGOCENE			Dépôts Sableux		Sables quartzeux souvent micacés - Lentilles d'argiles sableuses	SBL	Aquifère des sables de remplissage		
MESOZOÏQUE	CRETACE	SENONIEN	Maastrichtien		Gulpen		Craies glauconieuses, craies blanches avec silex noirs - Conglomérat à silex	GUL	Aquifère des craies du Crétacé		
			Campanien		Vaals		Sables, silts et argiles glauconieux, à horizons indurés	VAA	Aquifère - Aquitard de Vaals		
			Santonien		Aachen		Argiles siltieuses et sableuses, silts argileux, sables blancs à niveaux indurés, localement lentilles graveleuses	AAC	Aquifère des sables du Santonien		
PALEOZOÏQUE	CARBONIFERE	NAMURIEN	Marsdenien	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		
			Kinderscoutien								
			Alportien								
			Chokierien								
			VISEEN	Livien	Juslerville	Seilles		Calcaires - Niveaux à ooides - Cherts	SEI	Aquifère des calcaires du Carbonifère	
		Lives					Calcaires - Nodules de cherts	LIV	JUS		
		Mollinacien		Bay-Bonnet	Moha		Calcaires grossiers généralement oolithiques Cherts	MOH	BBN		
					Terwagne		Calcaires fins à grossiers	TER			
			TOURNAISIEN	Ivorien	Bilstein	Dolomies de la Vesdre		Dolomies, dolomies crinoïdiques - Cherts et nodules siliceux	VES	Aquifère - Aquitard - Aquiclude de l'Hastarien	
		Landelies					Calcaires fins à grossiers, crinoïdiques, dolomitisés au sommet	LAN	BIL		
		Hastarien		Pont d'Arcole			Shales, calcschistes avec nodules calcaires	PDA			
				Hastièrre			Calcaires moyens à grossiers - Calcaires argileux au sommet	HAS			
	DEVONIEN	SUPERIEUR	Famennien		Dolhain		Calcaires crinoïdiques et grès carbonatés - Intercalations de shales et siltites	DOL	Aquifère des grès du Famennien		
					Monfort-Evieux		Grès micacés feldspathiques, grès carbonatés - Shales - Siltites - Nodules carbonatés	ME			
					Souverain-Pré		Calcaires argileux et noduleux	SVP	Aquitard du Famennien - Frasnien		
					Esneux		Grès fins plus ou moins argileux	ESN			
					Hodimont		Siltites micacées - Nodules carbonatés	HOD		LH	
					Lambermont		Shales, siltites, calcaires, schistes nodulaires	LAM			
			Aisemont		Shales, calcschistes et calcaires organoclastiques	AIS					
			Lustin (Nismes)		Calcaires biostromaux, calcaires fins (Shales avec qqs niveaux carbonatés)	LUS					
			MOYEN	Givetien		Névremont		Calcaires fins - Calcaires organoclastiques	NEV	NR	Aquifère des calcaires du Givetien
						Roux		Shales ou grès micacés - Dolomies - Calcaires organoclastiques - Calcaires fins	ROU		
				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		
			Lochkovien		Marteau		Siltites - Grès - Nodules carbonatés	MAR	Aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur		
		ORDOVICIEN			TREMADOCIEN	Jalhay	Spa	Quartzophyllades gréseux	JAL	SPA	Aquitard à niveaux aquicludes du socle cambro-silurien
			Solwaster		Quartzophyllades, phyllades, bancs gréseux	SLW					
CAMBRIEN	SUPERIEUR			La Gleize		Phyllades et quartzophyllades	GLE	Aquiclude du socle cambro-silurien			
				La Venne - Coo		Phyllades et quartzites	VEN	Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien			

Tableau IV.2: Tableau des unités hydrogéologiques – Correspondance Géologie-Hydrogéologie

IV.2 DESCRIPTION DE L'HYDROGEOLOGIE DE LA CARTE

Ce chapitre consacré à l'hydrogéologie régionale n'abordera que les unités hydrogéologiques principales de la carte hydrogéologique, à savoir les aquifères logés dans les formations du Crétacé, les aquifères locaux fissurés situés dans les terrains du Houiller, la nappe des calcaires carbonifères et l'aquifère des grès fammeniens. Les autres formations ne représentent pas à l'échelle de la carte étudiée des potentialités aquifères importantes.

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 Aquifères du Crétacé

Le cadre hydrogéologique du Pays de Herve est complexe suite aux variations latérales de faciès des formations du Mésozoïque, principaux réservoirs aquifères de la région. Il n'est par conséquent pas toujours possible d'individualiser les différentes nappes logées dans les trois Formations de Gulpen, Vaals et Aachen.

Une étude approfondie des ressources en eau du Pays de Herve a été menée en 1986 dans le cadre d'une convention CILE et la Région Wallonne et en 1987 sur le Crétacé de l'est du Pays de Herve (Huygens, 1986 & 1987).

L'écoulement général de la nappe s'effectue en direction du nord-nord-ouest reflétant l'inclinaison des couches géologiques. Cette tendance générale est nuancée par le caractère "perché" de la nappe des craies abondamment drainée par les ruisseaux. L'allure accidentée des isopièzes s'explique aisément par la nature de ces différentes formations aquifères en présence et par l'importance des phénomènes de pente dus au vallonnement typique du Pays de Herve.

Le sommet de la nappe se situe sur le promontoire d'Henri-Chapelle (cote +325 m). Dans les points bas des fonds de vallée ou des versants, la nappe s'établit à quelques mètres, voire quelques décimètres sous la surface (nappe superficielle). Le gradient piézométrique sur les plateaux est compris entre 1,5 et 2,5 %, il a tendance à augmenter sur les pentes et la surface piézométrique devient sensiblement parallèle à la surface topographique.

Sur le flanc ouest de la vallée de la Gulp, le niveau piézométrique de la nappe s'établit dans les craies, des niveaux de sources se manifestent sur les deux flancs de la crête occidentale, tant à l'interface des Formation de Gulpen et de Vaals qu'au sein même de cette dernière formation, moins perméable. Sur le flanc est, la craie est sèche et le niveau piézométrique s'établit dans la formation de Vaals (voir coupe hydrogéologique).

Huygens (1987) a déterminé par une étude des limnigrammes en fonction de l'eau utile, un retard à l'infiltration de 15 jours à 1 mois. Le battement annuel de la nappe des craies est de l'ordre de 2

mètres. Lorsque la nappe logée dans les sables d'Aachen est libre, c'est-à-dire vers l'est où la formation de Vaals est plus perméable et où les craies ont été érodées, la réaction de la nappe est quasi-immédiate aux influences météorologiques. A titre indicatif, pour le bassin de la Gulp, les précipitations moyennes sont d'environ 890 mm par an, avec une lame d'eau disponible pour l'infiltration et le ruissellement équivalente à environ 380 mm.

Des mesures piézométriques sont disponibles pour quelques puits établis dans les terrains du Crétacé. Depuis 2001, le niveau d'eau dans plusieurs puits et piézomètres du plateau de Herve est régulièrement relevé par la Région Wallonne (SPW, DGARNE).

La figure IV.1 montre les fluctuations piézométriques de puits situés sur le plateau à l'ouest d'Henri-Chapelle. Les basses eaux sont systématiquement rencontrées en été, les hautes eaux en hiver.

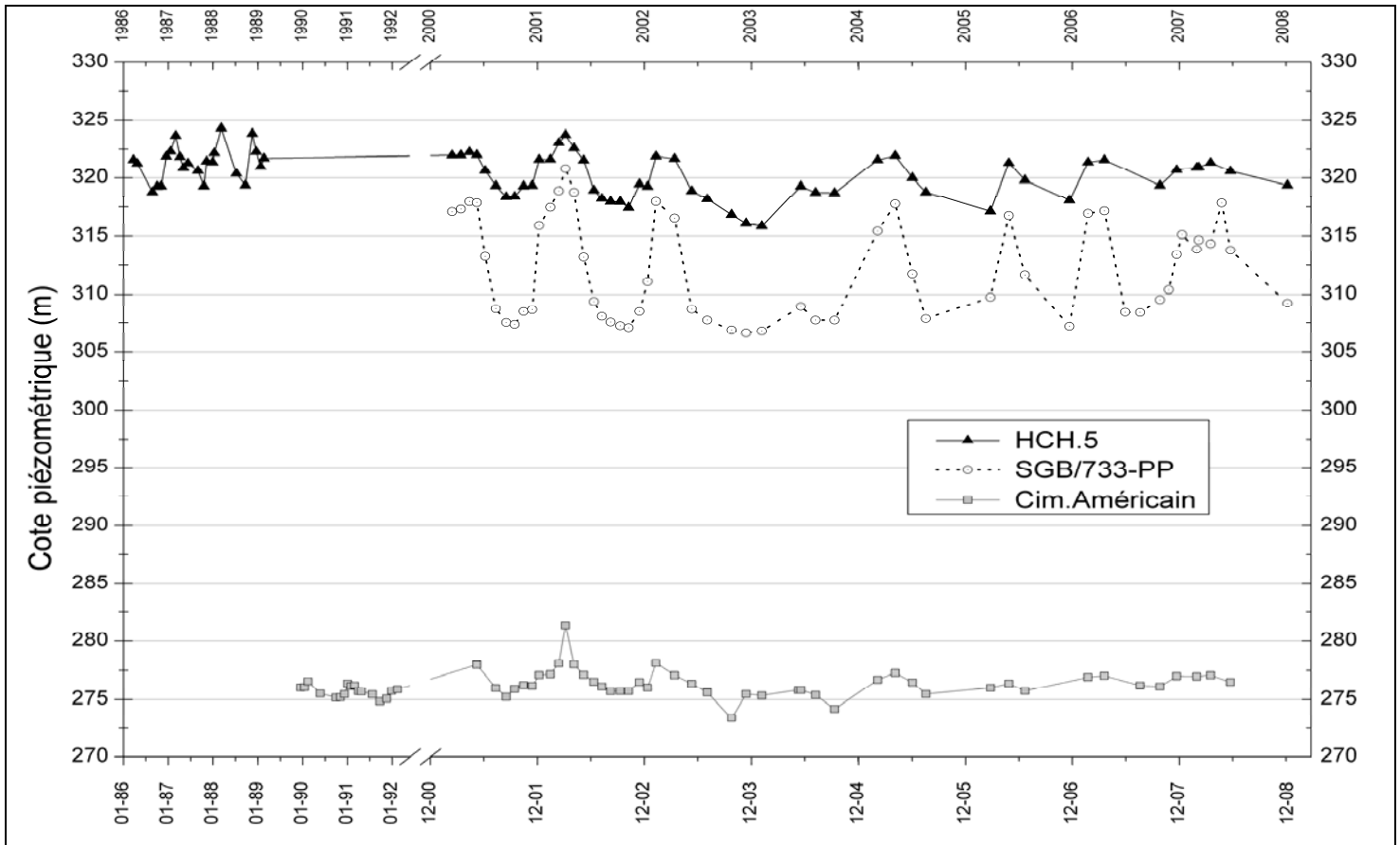


Figure IV.1 : Fluctuations piézométriques de la nappe du Crétacé

Le piézomètre *SBG/733-PP* recoupe les trois formations du Crétacé rencontrées dans la région : environ 8 mètres de craies (Formation de Gulpen), 35 mètres d'argiles sableuses (Formation de Vaals), 10 mètres de sables (Formation d'Aachen) et 13 mètres de sable fin argileux (argile d'Hergenraht). Cet ouvrage est crépiné au niveau des Formation de Vaals et d'Aachen. Les fluctuations annuelles sont plus importantes pour ce puits, de l'ordre d'une quinzaine de mètres.

Le puits *HCH.5* dont il n'existe aucune description géologique, est un puits traditionnel de 14 mètres de profondeur qui recoupe probablement une partie de la craie et dont les variations piézométriques sont de l'ordre de 5 à 6 mètres.

Le puits du *Cimetière Américain* est situé sur la crête de partage des bassins de la Berwinne et de la Gulp. Le niveau d'eau dans ce puits est relativement constant. Il fluctue autour d'une hauteur moyenne de 277 m (soit une profondeur moyenne de l'eau est de 38 m).

De plus, le piézomètre *SGB/733-PP*, précédemment cité, a fait l'objet d'un suivi piézométrique d'octobre 1987 à avril 1992. Ce relevé a été mis en parallèle avec la pluviométrie (LGIH, 1999). La figure IV.2 reprend l'eau utile (eau d'infiltration) et les niveaux d'eau mesurés dans ce piézomètre. Le niveau de la nappe fluctue entre les cotes de 319,4 et 306,8 m, c'est-à-dire entre 22,7 et 35,36 m sous le niveau du sol. Ces valeurs de hauteur d'eau indiquent, qu'au droit de ce site, les formations crayeuses sont non saturées et que le niveau de la nappe s'équilibre dans les formations sablo-argileuses de Vaals. On note également que le niveau de la nappe fluctue très rapidement en fonction de l'infiltration (hautes eaux en hiver, basses eaux en été).

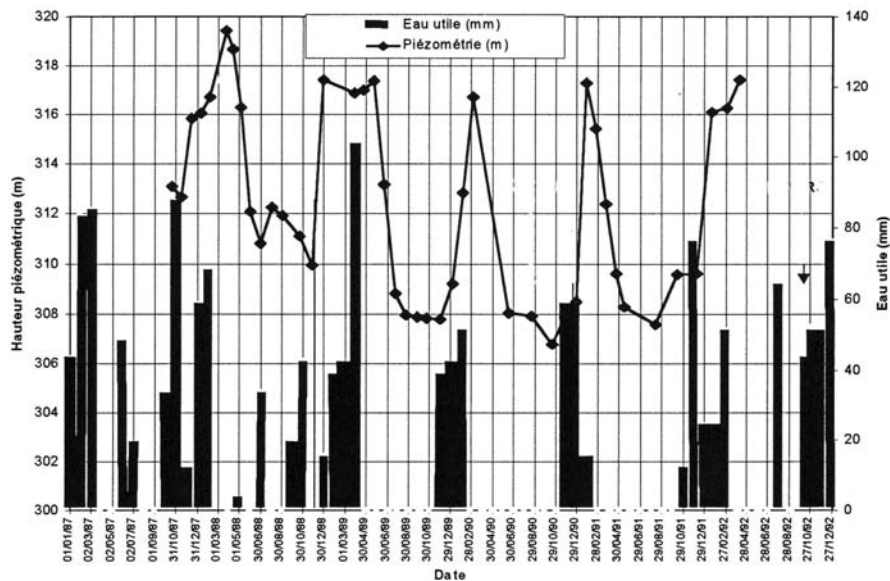


Figure IV.2 : Fluctuations piézométriques du SGB/733-PP (Vaals et Aachen)

IV.2.2 Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller

Nous disposons de peu de données concernant l'aquifère fissuré logé dans les terrains schisto-gréseux du Houiller. Il n'est donc pas possible d'en tracer la carte piézométrique. Quelques hauteurs piézométriques ponctuelles sont reportées sur la carte hydrogéologique.

L'administration communale de Kelmis possède plusieurs ouvrages dans la région dont un est foré à Im Winkel au sein des formations du Houiller. Ce forage est profond de 131.6 m et est crépiné dans les passées gréseuses. Les quelques mesures du niveau piézométrique disponibles sont repris au tableau IV.1.

Date	Cote piézométrique
15/12/1995	194.9 m
24/07/1996	194.7 m
05/08/1996	194.65 m
08/10/1996	194.76 m
23/11/1996	195.8 m
28/04/2003	195.43 m

Tableau IV.1 : Relevés piézométriques du puits Im Winkel (Z sol : 209,55 m)

Près de la frontière avec les Pays-Bas, à Sippenaeken, le camping 'Kon-Tiki' possède deux puits forés d'une quarantaine de mètres de profondeur. En octobre 1995, les niveaux d'eau y ont été mesurés et comparés à la cote de la rivière, la Gueule. Le niveau de la nappe était, à 2 cm près, le même dans les deux puits, soit à la cote altimétrique de 156 m. La cote de la Gueule est d'environ 133 m. Ainsi en fonction de ces données, on peut admettre que la nappe de fissures contenue dans les terrains du Houiller est drainée par la Gueule, qui en constitue le niveau de base. Notons aussi que cette nappe peut être localement captive sous la tranche d'altération et sous le Crétacé (LGIH, 1995).

IV.2.3 Aquifère des calcaires du Carbonifère

Sur la carte étudiée, peu d'ouvrages souterrains sont implantés dans les calcaires du Carbonifère. Le nombre limité de données piézométriques mesurées ne permet pas de tracer une carte piézométrique de l'aquifère calcaire du Carbonifère de la région étudiée. De plus, l'aquifère est très compartimenté et ne présente pas un comportement d'ensemble, même au sein d'une même bande (écaille orientée SW-NE et limitée par des failles de charriage). Ce morcellement est à l'origine d'une variation spatiale importante de la piézométrie.

Les interactions entre le réseau hydrographique et les eaux souterraines sont souvent plus importantes en milieu karstique. Suite à un bilan hydrologique et au suivi de plusieurs déversoirs répartis dans le bassin de la Gueule, on a constaté que, au niveau des calcaires en période de hautes eaux, la rivière draine la nappe et en période de basses eaux, la rivière est infiltrante (Toussaint, 1974).

Depuis 1983, le niveau d'eau est régulièrement relevé au puits Roter-Pfuhl par le service des travaux de la commune de Kelmis. Cet ouvrage, d'une profondeur de 125 m, traverse d'abord soixante mètres de terrains schisto-gréseux du Namurien, puis une quarantaine de mètres de calcaires et dolomies carbonifères (crépine) et ensuite environ vingt mètres de psammites et grès du Famennien. La figure IV.3 dresse l'évolution piézométrique des calcaires carbonifères où le puits est crépiné. Il s'agit de niveaux dynamiques, c'est-à-dire réalisés pendant le pompage. Le débit moyen pompé sur cette période est de 30 m³/h, avec des pointes à 52 m³/h. Bien que ce graphe ne présente pas la cote réelle (niveau statique) de la nappe, on constate que l'aquifère calcaire est affecté de fluctuations piézométriques temporelles importantes.

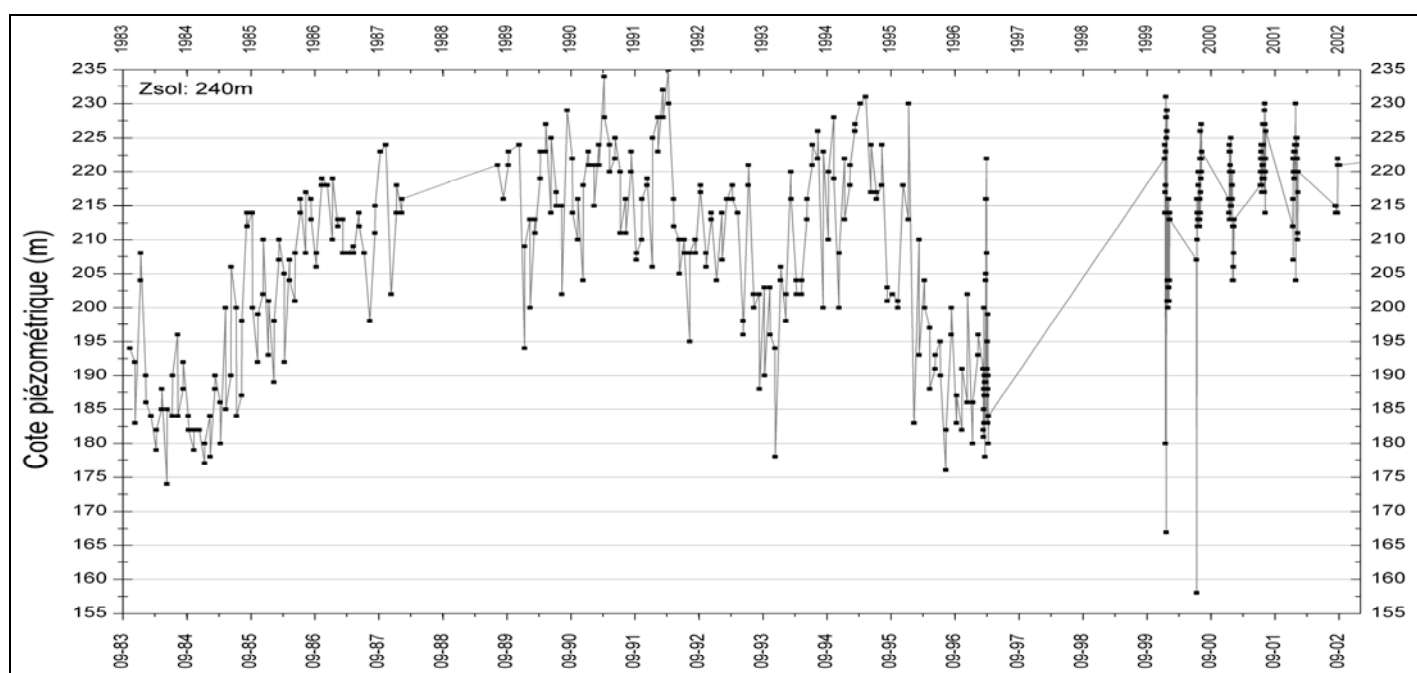


Figure IV.3 : Fluctuations piézométriques du puits Roter-Pfuhl (niveau dynamique)

Phénomènes karstiques

Comme mentionné auparavant, plusieurs phénomènes karstiques sont observés dans la région étudiée, une soixantaine d'après l'atlas du karst wallon (CWEPPS, 1996)(figure IV.4). Ces manifestations karstiques, principalement des dolines et des chantoirs, constituent des points névralgiques pour les eaux souterraines, en tant que points d'infiltration privilégiés vers les nappes aquifères.

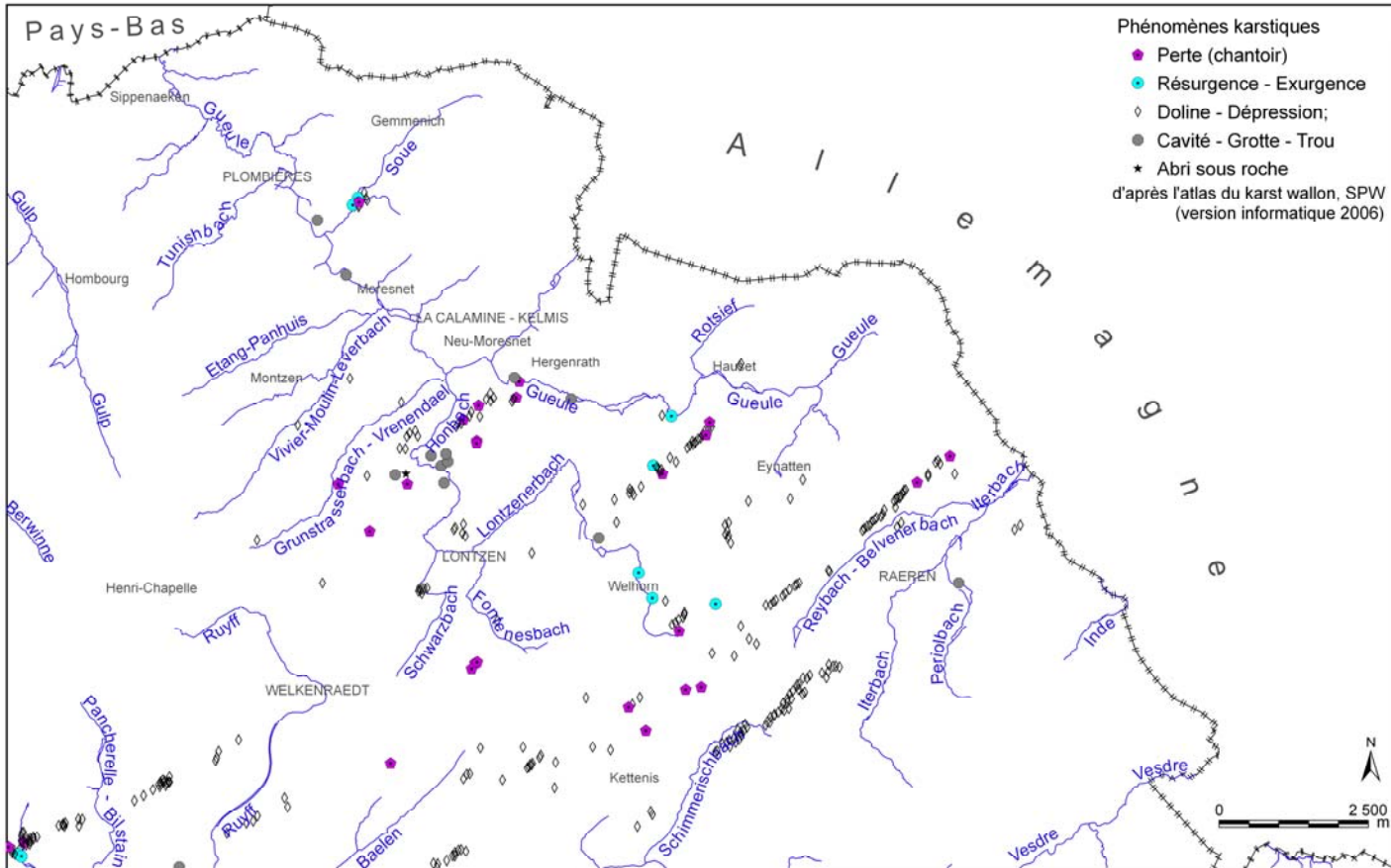


Figure IV.4 : Phénomènes karstiques de la carte hydrogéologique d'Henri-Chapelle-Raeren - Gemmenich-Botzelaar - Petergensfeld

Dans la région de Walhorn⁷, le chantoir d'Habenden absorbe les eaux d'un ruisseau en provenance des grès et schistes du Houiller situés au sud, dès son arrivée sur les calcaires viséens. Un essai de traçage a mis en évidence le parcours souterrain de cette rivière (Meus, 1993). Sur la figure IV.5 sont tracés les axes de circulation souterraine. L'écoulement nord-sud a été reconnu par traçage (flèche mauve 1). Les caractéristiques de la courbe de restitution permettent de déterminer une vitesse maximale de 24.7 m/h, une vitesse modale de 19.8 m/h, une vitesse apparente de transit de 2.9 m/h et une vitesse moyenne de transit de 6.7 m/h avec un taux de restitution de 0.76%, sur une distance de 1000 m (traceur : uranine, masse injectée 3 kg) (Meus, 1993). La liaison (flèche mauve 2) vers l'ouest est supposée, d'après des venues d'eau en période de crues dans ce vallon sec.

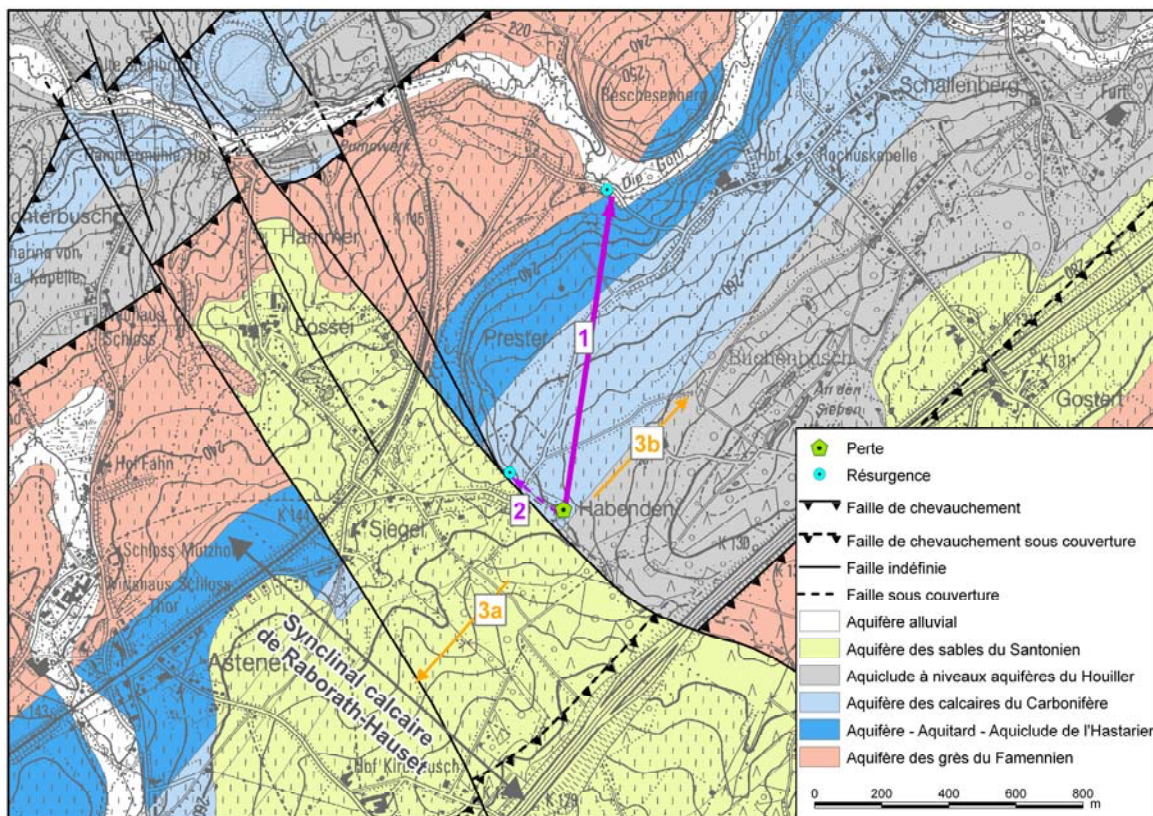


Figure IV.5 : Site d'Habenden : phénomènes karstiques

7 Il est à noter que Toussaint (1974), de son côté, semble avoir constaté que, suite à un essai de traçage, en période de hautes eaux, la circulation souterraine dans le synclinal calcaire de Raborath-Hauset se fait suivant la structure géologique. Le chantoir d'Habenden constitue un point haut de la nappe d'où deux directions d'écoulement se distinguent, l'une vers Hauset (vers le NE)(flèche orange 3b), l'autre en direction du ruisseau Lontzerbach (vers le SW)(flèche orange 3a). Les failles radiales (NW-SE), tout au moins celles minéralisées et anciennement exploitées permettent aux eaux de traverser des terrains aussi peu perméables que les schistes et grès du Famennien.

D'autres écoulements préférentiels souterrains dans les formations calcaires du Carbonifères sont supposés dans la région (CWEPSS, 1996). A Welkenraedt, au lieu-dit des 'Quatre Chemins', deux liaisons entre des pertes, sans doute d'origine anthropique (anciennes exploitations de marnes ou minières métallifères) et la résurgence de la Haute Folie (figure IV.6). Toutes ces pertes semblent s'aligner sur l'axe de l'anticlinal de Grünhaut, où le calcaire carbonifère affleure en surface ou n'est recouvert que par une couche mince de schiste houiller.

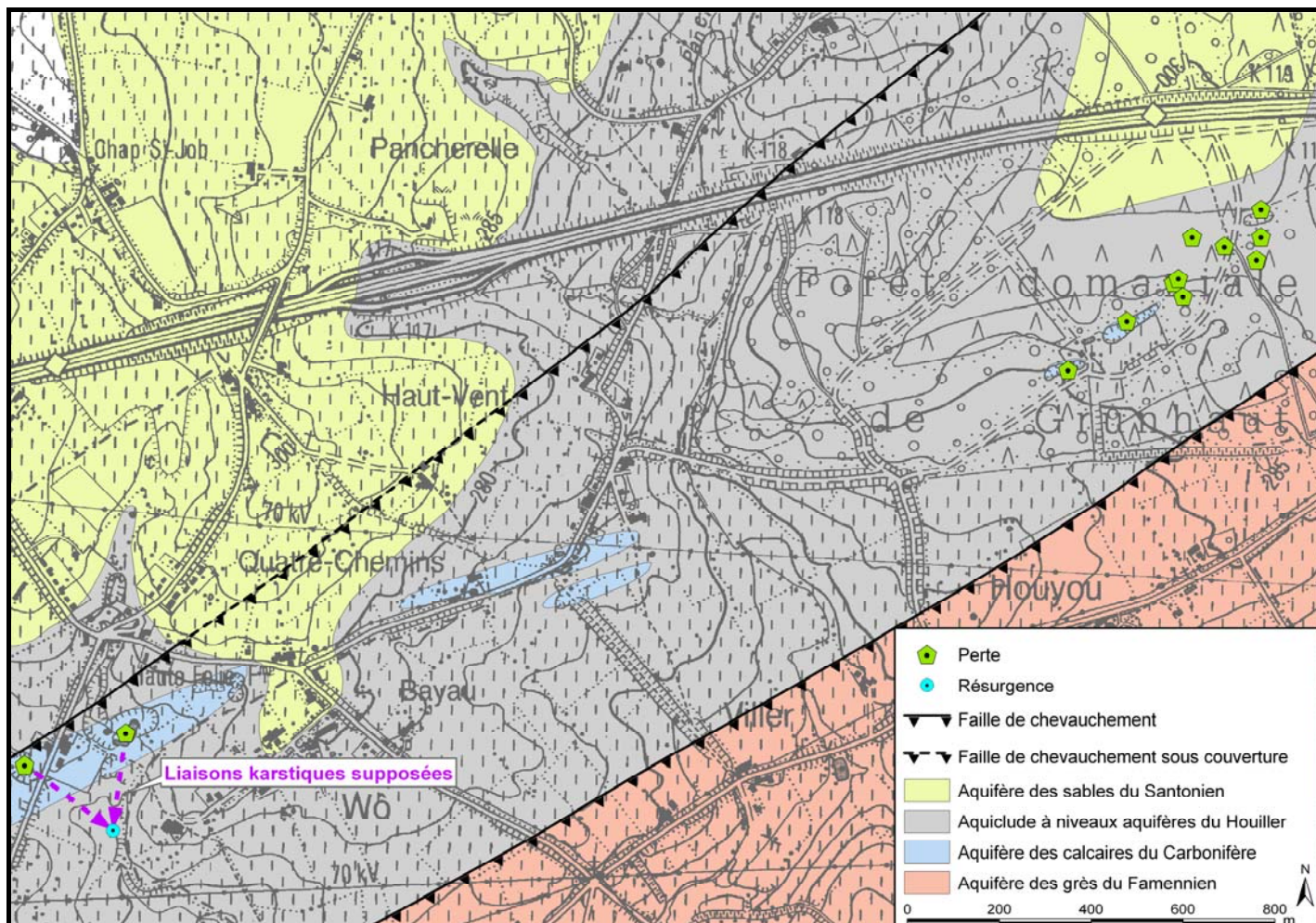


Figure IV.6 : Phénomènes karstiques au sud-ouest de Welkenraedt

Au sud-est de Plombières, à Roerberg, le Rodbuschkesbach se perd dans les calcaires carbonifères, à la limite des sables de la Formation d'Aachen et ressort en aval via une résurgence vraisemblable dans le ruisseau de Soué. Ce tracé souterrain semble emprunter un trajet qui suit la limite des calcaires carbonifères et des schistes houillers, trajet caractérisé par un alignement des très nombreux effondrements de type doline ou pseudo-doline, qui peuvent être absorbantes et alimenter la nappe (figure IV.7). Au sud-est de ce site karstique, des piézomètres ont été forés dans l'aquifère des calcaires sous la couverture sableuse du Mésozoïque (Formation d'Aachen). Les niveaux d'eau y sont mesurés. La figure IV.8 en présente les plus récents. De ce bref historique de données, on constate que les basses eaux ont lieu en été-automne et les hautes eaux en hiver-printemps. Ces tendances doivent cependant être confirmées sur le long terme. La direction de l'écoulement des eaux souterraines ne peut être déterminée sur base de ces mesures (trop peu de piézomètres, mal répartis).

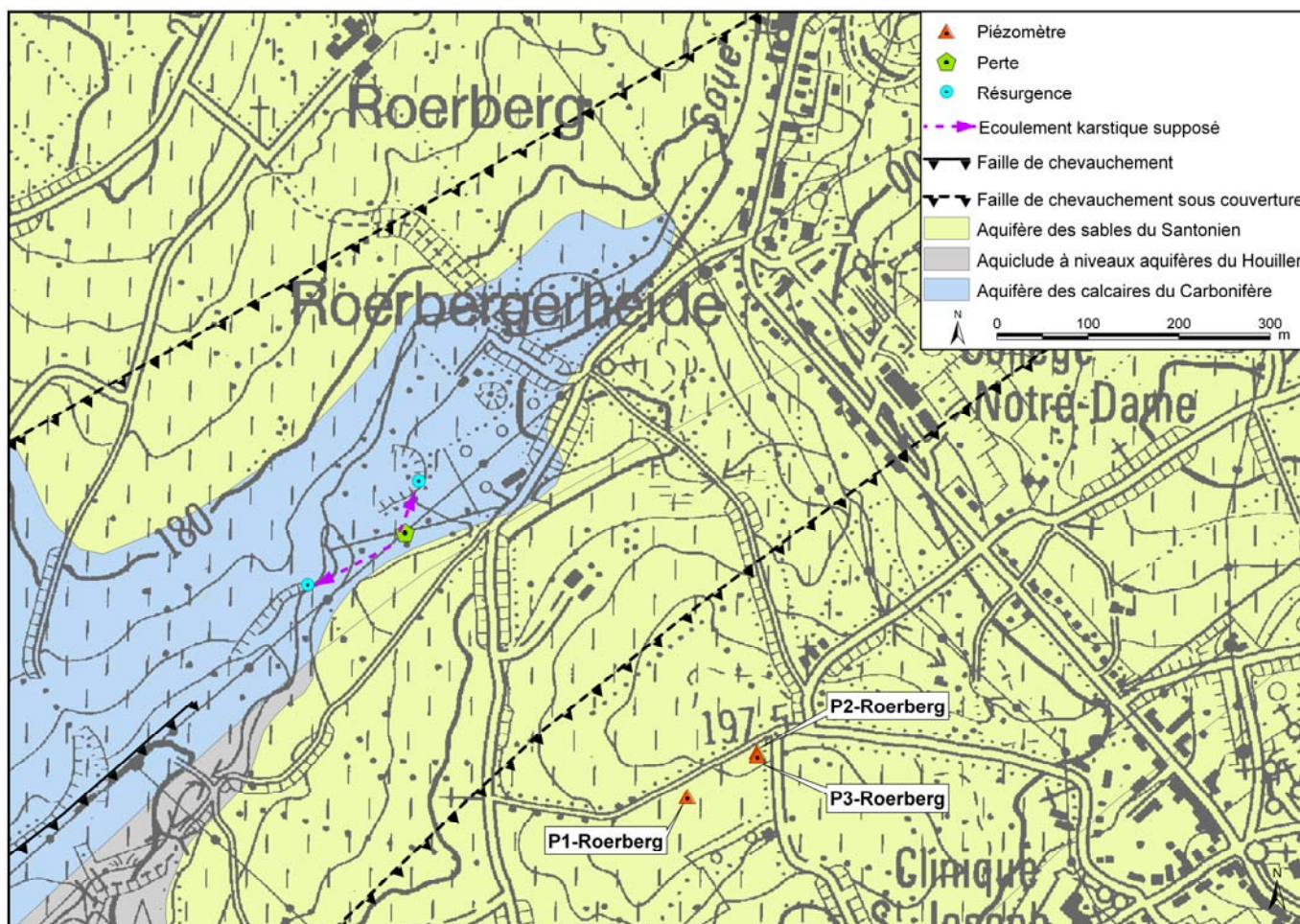


Figure IV.7: Site de Roerberg (Plombières)

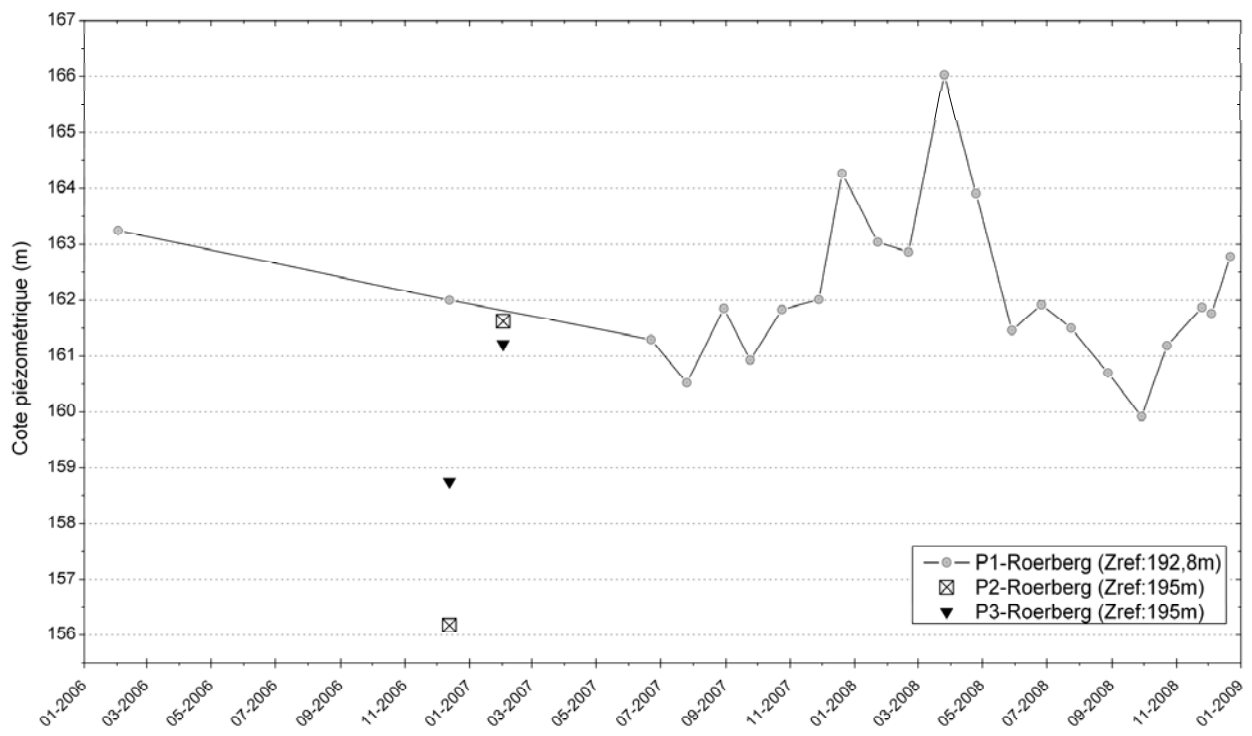


Figure IV.8.: Fluctuations piézométriques des puits du site de Roerberg

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.

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 (AGW⁸ 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.

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/>. En effet, le site du [C.E.T. de Belderbusch](#) fait l'objet d'un suivi régulier dont les rapports des campagnes de contrôle et les fiches techniques sont téléchargeables sur le site Web du SPW cité ci-dessus.

Dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive cadre sur l'eau (Directive 2000/60/CE), la Région Wallonne a établi un programme de surveillance des 33 masses d'eau définies en Wallonie (http://environnement.wallonie.be/directive_eau). Au niveau des eaux souterraines, un réseau de surveillance de l'état quantitatif et qualitatif a été élaboré et finalisé en décembre 2006. Sur le territoire couvert par la carte, on compte 8 sites. Trois appartiennent à la masse d'eau souterraine du Crétacé du Pays de Herve ([RWM151](#)), les cinq autres au sous-bassin de la Vesdre, comprenant les masses d'eau souterraine des calcaires et des grès des bassins de la Gueule et de la Vesdre ([RWM141 & RWM142](#)).

⁸ AGW: Arrêté du Gouvernement Wallon

V.1 CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX

V.1.1 Aquifères du Crétacé

D'une manière générale, les eaux de la nappe du Crétacé sont de type CaHCO₃. En fonction des couches géologiques traversées, leur composition chimique peut légèrement varier. Il faut aussi noter que les activités anthropiques influencent fortement la qualité de l'eau.

Le tableau V.1 reprend quelques résultats d'analyses chimiques des eaux issues de la nappe des *craies du Pays de Herve*. Cette eau présente un profil calco-carbonaté typique, avec des concentrations en calcium et en bicarbonates élevées, un pH à tendance basique et une conductivité moyenne à élevée. Les teneurs moyennes importantes en nitrates (54.31 mg/l) et en chlorures (32.48 mg/l) sont dues aux concentrations élevées observées dans les puits situés en aval d'Henri-Chapelle (pollution anthropique).

Elément	Unité	Niveau-guide RW	Drain-Ecureuils (SWDE)	Valeur moyenne (Huygens, 1987)
		Code de l'Eau	26/06/2000	06/1987
pH	unités pH	6.5 à 9.5	7.05	7.42
Conductivité	μS/cm à 20°C	2100	408	619
Dureté totale	° français	67.5	22.4	33.03
Alcalinité totale	° français	25-	16.8	24.86
Bicarbonates	mg/l HCO ₃	-	-	303.33
Calcium	mg/l	270*	87.7	128.91
Magnésium	mg/l	50*	1.1	2.14
Sodium	mg/l	150	6.6	10.08
Potassium	mg/l	12	0.7	3.76
Strontium	μg/l	750**	249.7	-
Fer total dissous	μg/l	200*	<20	48.75
Sulfates	mg/l	250*	54.4	18.91
Chlorures	mg/l	200	8.8	32.48
Nitrates	mg/l	50	11.7	54.31
Nitrites	mg/l	0.1	<0.01	0.081
Ammonium	mg/l	0.5*	<0.01	0.018
Silice	mg/l SiO ₂	10	29	5.98
Plomb	μg/l	10	7.2	15.35
Zinc	μg/l	200	74	-

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

Tableau V.1 : Caractéristiques hydrochimiques de la nappe des craies du Pays de Herve

Les eaux issues de la *Formation sablo-argileuse de Vaals* ont un caractère calco-carbonaté nettement atténué par rapport aux eaux des formations crayeuses sus-jacentes. Le tableau V.2 résume les teneurs moyennes observées dans cette formation. Les concentrations en calcium peuvent varier de manière importante d'un puits à l'autre, en fonction de la proximité du point échantillonné par rapport aux formations crayeuses sus-jacentes. Les teneurs en fer et en sulfates plus élevées témoignent de la dissolution de la pyrite, fort présente dans la Formation de Vaals.

Elément	Unité	Niveau-guide RW	Valeur moyenne (Huygens, 1987)
		Code de l'Eau	06/1987
pH	unités pH	6.5 à 9.5	7.2
Conductivité	µS/cm à 20°C	2100	513.04
Dureté totale	° français	67.5	25.08
Alcalinité totale	° français	25-	19.86
Bicarbonates	mg/l HCO ₃	-	235.3
Calcium	mg/l	270*	94.07
Magnésium	mg/l	50*	3.19
Sodium	mg/l	150	10.19
Potassium	mg/l	12	3.58
Strontium	µg/l	750**	-
Fer total dissous	µg/l	200*	264.4
Sulfates	mg/l	250*	44.85
Chlorures	mg/l	200	22.89
Nitrates	mg/l	50	26.12
Nitrites	mg/l	0.1	0.1
Ammonium	mg/l	0.5*	0.091
Silice	mg/l SiO ₂	10	6.37
Plomb	µg/l	10	9.8

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

Tableau V.2 : Caractéristiques hydrochimiques de la nappe de la Formation de Vaals (Pays de Herve)

Les eaux prélevées dans la nappe de la Formation sableuse d'Aachen présentent des concentrations en calcium et magnésium faibles, un pH neutre à acide avec une dureté totale, une alcalinité totale et une conductivité faibles. Le tableau V.3 présente des analyses représentatives de ces eaux.

Elément	Unité	Niveau-guide RW	Drain-La Clouse (SWDE)	Drain-Waldborn (SWDE)	Valeur moyenne (Huygens, 1987)
		Code de l'Eau	26/06/2000	26/06/2000	06/1987
pH	unités pH	6.5 à 9.5	7.01	7.13	6.74
Conductivité	µS/cm à 20°C	2100	358	334	399
Dureté totale	° français	67.5	19.8	18.8	13.41
Alcalinité totale	° français	25	14.6	14.8	5.59
Bicarbonates	mg/l HCO ₃	-	-	-	68.2
Calcium	mg/l	270*	74.2	72.6	48.96
Magnésium	mg/l	50*	3	1.5	2.87
Sodium	mg/l	150	6.5	4.7	7.44
Potassium	mg/l	12	1	-	9.04
Strontium	µg/l	750**	191.7	190.8	-
Fer total dissous	µg/l	200*	18	54	216.16
Sulfates	mg/l	250*	35.3	26.5	54.23
Chlorures	mg/l	200	8.1	7.2	22.63
Nitrates	mg/l	50	18.4	13.5	53.7
Nitrites	mg/l	0.1	<0.01	<0.01	0.217
Ammonium	mg/l	0.5*	<0.01	<0.01	0.173
Silice	mg/l SiO ₂	10	23.7	25.4	1.26
Plomb	µg/l	10	4.8	5.1	3.78
Zinc	µg/l	200	60.3	62.1	-

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

Tableau V.3 : Caractéristiques hydrochimiques de la nappe des sables de la Formation d'Aachen (Pays de Herve)

Il est à noter que les drains 'La Clouse' et 'Waldborn' sont implantés dans les sables d'Aachen, à la base de la formation de Vaals. Ainsi le chimisme des eaux drainées est probablement influencée par cette formation silto-argileuse : teneurs en calcium, en bicarbonates, dureté plus élevées, pH plus basique.

La présence de métaux lourds dans les formations tabulaires du Crétacé peut être vraisemblablement attribuée à des dépôts provenant de l'érosion du socle primaire, fortement métallifère dans la région (filons de plomb-zinc,...).

V.1.2 Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller

Les quelques données hydrochimiques disponibles pour l'aquifère schisto-gréseux du Houiller au droit de la zone étudiée concernent les captages de Kon-Tiki (camping) et de Im Winkel (administration communale de Kelmis).

Le tableau V.4 présente les résultats d'analyses chimiques de ces deux ouvrages. Ces eaux ont un pH acide et même parfois inférieur aux normes (6.5-9.5). Les teneurs en fer et en manganèse sont trop élevées, supérieures aux normes qui sont respectivement de 200 µg/l et de 50 µg/l. La forte concentration en fer est caractéristique des aquifères présents dans le Houiller, dont les formations schisteuses peuvent présenter de fortes minéralisations de pyrite. La mise en place d'un dispositif de déferrisation devrait permettre de rendre l'eau conforme aux normes. Ce procédé engendre par ailleurs une augmentation favorable du pH.

Elément	Unité	Niveau-guide RW	Puits Kon-Tiki	Puits Im Winkel
		Code de l'Eau	24/10/1995	22/10/1996
pH	unités pH	6.5 à 9.5	6.1	6.82
Conductivité	µS/cm à 20°C	2100	338	347
Dureté totale	° français	67.5	-	16.7
Alcalinité totale	° français	25	-	14.9
Calcium	mg/l	270*	17.5	56.8
Magnésium	mg/l	50*	26	6.4
Sodium	mg/l	150	8.5	3.6
Potassium	mg/l	12	1.83	1.4
Fer total dissous	µg/l	200	19500	2400
Sulfates	mg/l	250*	60.7	21.2
Chlorures	mg/l	200	18.5	7.7
Nitrates	mg/l	50	<0.2	0.8
Nitrites	mg/l	0.1	<0.1	<0.1
Ammonium	mg/l	0.5*	-	0.1
Plomb	µg/l	10	-	2.5
Zinc	µg/l	200	-	80
Manganèse	µl/g	50	740	220

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

Tableau V.4 : Caractéristiques hydrochimiques de l'aquiclude à niveaux aquifères du Houiller

V.1.3 Aquifère des calcaires du Carbonifère

Quelques données hydrochimiques sont disponibles pour l'aquifère des calcaires carbonifères sur la carte hydrogéologique étudiée. Les tableaux V.5 et V.6 reprennent des analyses caractérisant la qualité des eaux de la nappe des calcaires du Carbonifère et de l'unité hydrogéologique 'Aquifère-Aquitard-Aquiclude de l'Hastarien'. Cette eau est de type bicarbonatée calcique avec une dureté et une conductivité élevées et un pH neutre à alcalin. Les teneurs en fer et en manganèse sont importantes et nécessitent un pré-traitement de déferrisation. Les échantillons des puits Roter-Pfuhl et Lichtenbuscherst' présentent également des teneurs en zinc élevées.

Elément	Unité	Niveau-guide RW	Puits Roter-Pfuhl	P3- Roerberg
		Code de l'Eau	27/11/2001	19/05/1988
pH	unités pH	6.5 à 9.5	7.53	7.1
Conductivité	µS/cm à 20°C	2100	542	563
Dureté totale	° français	67.5	30.3	27.5
Bicarbonates	mg/l HCO ₃	-	305	-
Calcium	mg/l	270*	84.4	-
Magnésium	mg/l	50*	22.4	-
Sodium	mg/l	150	8.69	-
Potassium	mg/l	12	2.4	-
Fer total dissous	µg/l	200	399	770
Sulfates	mg/l	250*	53.4	53.6
Chlorures	mg/l	200	12.7	19.7
Nitrates	mg/l	50	0.93	14.5
Nitrites	mg/l	0.1	<0.01	<0.01
Plomb	µg/l	10	1.31	2
Zinc	µg/l	200	275	121
Manganèse	µl/g	50	355	-

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

Elément	Unité	Niveau-guide RW	Source Casino	Lichtenbuscherst
		Code de l'Eau	25/10/2005	09/05/2007
pH	unités pH	6.5 à 9.5	7.58	6.92
Conductivité	µS/cm à 20°C	2100	450	730
Dureté totale	° français	67.5	24.8	43.6
Bicarbonates	mg/l HCO ₃	-	246	-
Calcium	mg/l	270*	74.6	125
Magnésium	mg/l	50*	14.9	30
Sodium	mg/l	150	7.5	12.8
Potassium	mg/l	12	1.13	18.4
Fer total dissous	µg/l	200	<20	515
Sulfates	mg/l	250*	37.4	59
Chlorures	mg/l	200	11.4	31
Nitrates	mg/l	50	<5	4.25 16/09/04
Nitrites	mg/l	0.1	<0.01	<0.2 16/09/04
Plomb	µg/l	10	<2	0.2
Zinc	µg/l	200	<50	200
Manganèse	µl/g	50	<1	459

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

Tableau V.6 : Caractéristiques hydrochimiques de l'Aquifère-Aquitard-Aquiclude de l'Hastarien

La source Casino et le puits foré 'Lichtenbuscherst' font partie du réseau de surveillance mis en place par la Région Wallonne, SEQ-ESO.

V.1.4 Autres unités hydrogéologiques

Quelques analyses chimiques des éléments majeurs sont disponibles pour d'autres unités hydrogéologiques de la carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar (tableau V.7). Elles sont issues du réseau de surveillance SEQ-ESO concernant les masses d'eau souterraine des calcaires et grès des bassins de la Gueule et de la Vesdre. Les teneurs en zinc sont localement importantes, liée à la minéralisation Pb-Zn développée dans la région. Elles sont à surveiller et à traiter le cas échéant.

Elément	Unité	Niveau-guide RW	Fleusch	Strabe Burgstrasse	Am Busch
			Aquifère des grès du Famennien	Aquitard du Frasnien	Aquitard de l'Eifelien
		Code de l'Eau	08/03/2005	08/03/05	14/03/2005
pH	unités pH	6.5 à 9.5	6.52	7.15	6.58
Conductivité	µS/cm à 20°C	2100	429	589	137
Dureté totale	° français	67.5	18.9	34.9	6.8
Alcalinité totale	° français	25	6.9	24.1	4.1
Calcium	mg/l	270*	50	121	18.1
Magnésium	mg/l	50*	17.8	10.8	4.5
Sodium	mg/l	150	8.7	9.2	3.8
Potassium	mg/l	12	11	3.9	1.24
Fer total dissous	µg/l	200	<20	<20	3.2
Sulfates	mg/l	250*	44	29	4.5
Chlorures	mg/l	200	13.7	14.2	9.4
Nitrates	mg/l	50	94	36	10.4
Nitrites	mg/l	0.1	0.007	<0.01	<0.01
Ammonium	mg/l	0.5*	<0.01	<0.01	<0.01
Plomb	µg/l	10	0.6	0.5	0.6
Zinc	µg/l	200	117	28	0.628
Manganèse	µl/g	50	44	<5	<5

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

Tableau V.7 : Caractéristiques hydrochimiques de quelques sites de la carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar

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.1). 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 du 28 février 2006). Plus récemment, c'est l'ensemble du territoire situé au nord du sillon de la Sambre et de la Meuse qui a été désigné comme "zone vulnérable aux nitrates" (AGW du 22 décembre 2006).

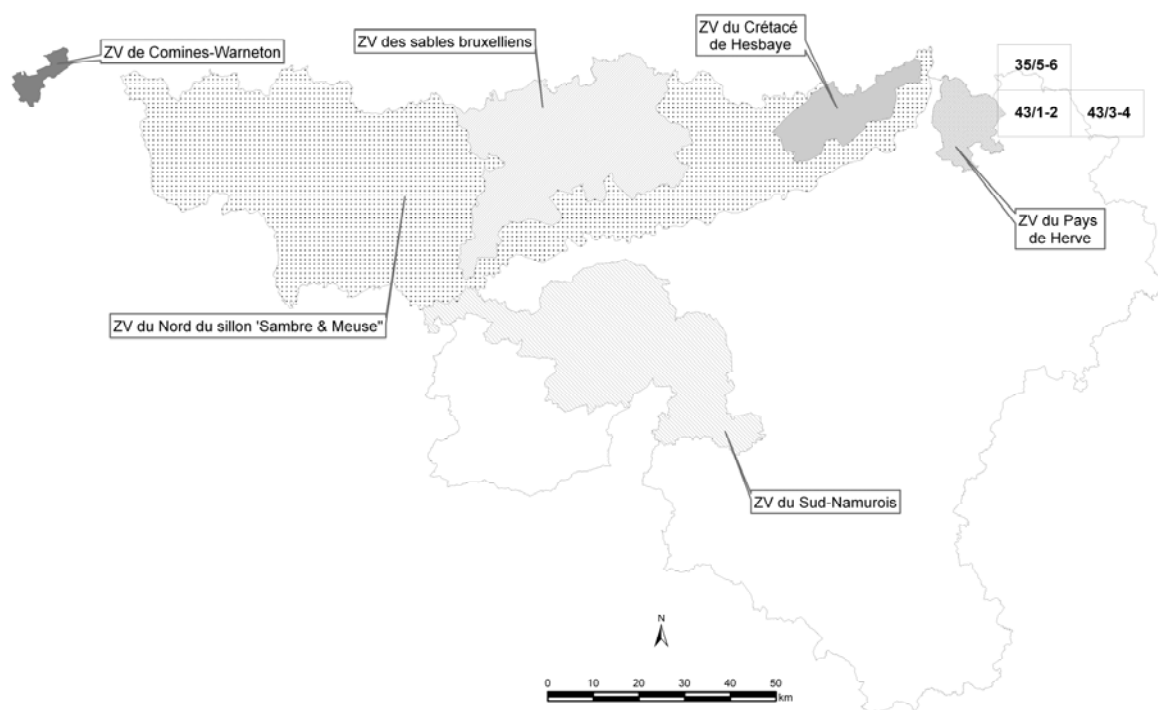


Figure V.1: Zones vulnérables en Région wallonne

Depuis le 1^{er} janvier 2007, l'entièreté de la Flandre est désignée comme "zone vulnérable aux nitrates" dans le cadre de la Directive européenne "Nitrates". Pour plus d'informations sur les zones vulnérables aux nitrates en Flandre, consulter le site Internet DOV. La carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar dans sa partie flamande est ainsi entièrement couverte par ces zones (voir carte des informations complémentaires).

V.2.1 Aquifères du Crétacé

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.2. présente l'évolution des teneurs en nitrates de différents captages sollicitant la nappe du Crétacé sur le territoire de la carte étudiée. Les concentrations en nitrates sont inférieures aux normes admises en Région Wallonne (50 mg NO₃/l).

Les résultats des campagnes d'échantillonnages de 1986 et 1987 sur une vingtaine de puits implantés dans les formations du Crétacé révèlent par endroits des teneurs en nitrates très élevées, atteignant les 90 mg NO₃/l (Huygens, 1987). Ces valeurs élevées sont vraisemblablement dues à la présence de nombreux puits perdus et témoignent d'une urbanisation importante.

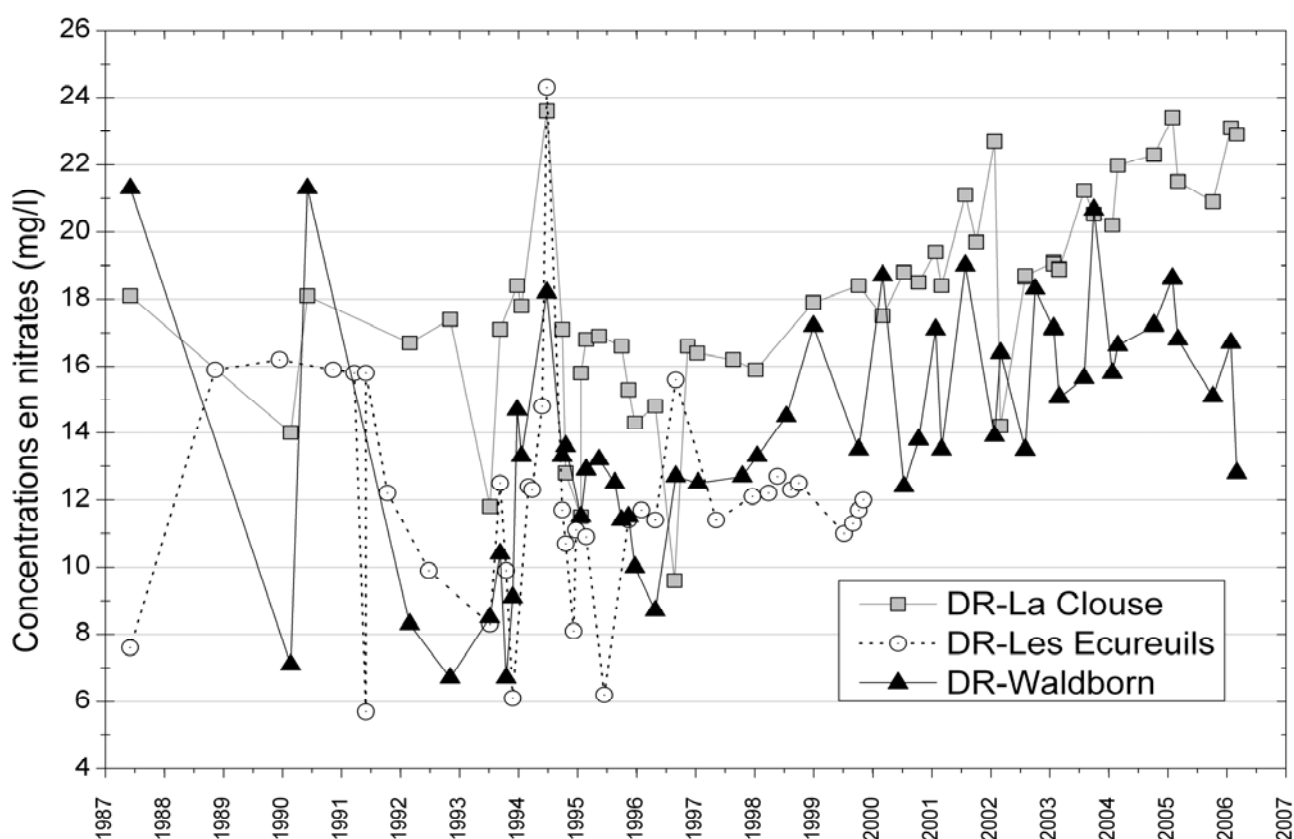


Figure V.2 : Evolution des teneurs en nitrates de la nappe du Crétacé

V.2.2 Aquifère des calcaires du Carbonifère

L'aquifère des calcaires carbonifères présente aussi des concentrations inférieures à 50 mg NO₃/l. Les teneurs mesurées à la source Casino fluctuent saisonnièrement, avec des valeurs systématiquement plus élevées en hiver et plus basses en été-automne. On observe une légère augmentation des nitrates au puits Roter-Pfuhl (figure V.3).

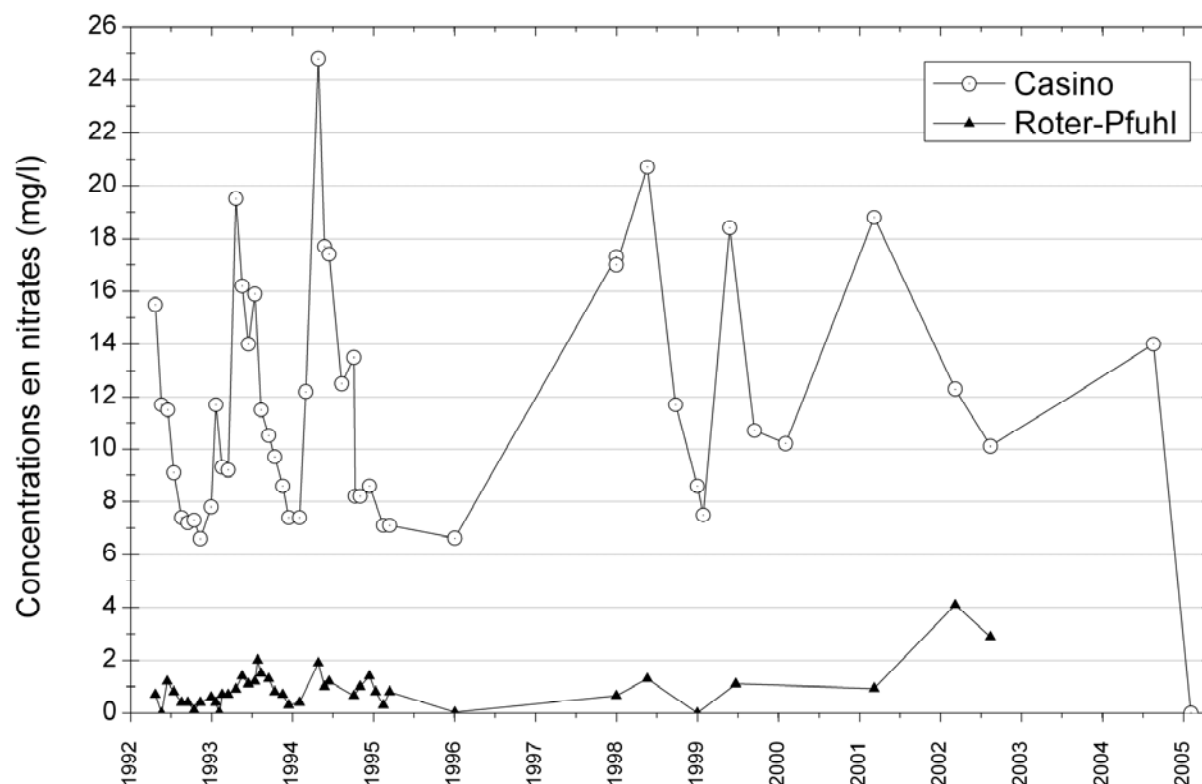


Figure V.3 : Evolution des teneurs en nitrates de la nappe des calcaires du Carbonifère

V.2.3 Autres unités hydrogéologiques

Les teneurs en nitrates des autres aquifères de la carte d'Henri-Chapelle-Raeren - Gemmenich-Botzelaar - Petergensfeld sont peu connues par manque de relevés réguliers.

Les eaux issues de l'aquifère schisto-gréseux du Houiller présentent des teneurs en nitrates faibles. A titre indicatif, en mars 1993, le captage du Kon-Tiki avait 12.3 mg NO₃/l, en 1995, les concentrations étaient inférieures à 0.2 mg NO₃/l. Le puits 'Im Winkel' en octobre 1996 avait une teneur en nitrates de 0.8 mg/l.

Le puits Fleusch sollicitant la nappe des grès fameniens présente des concentrations en nitrates assez élevées, aux alentours de 100 mg/l. Ce puits de ferme est sans doute le témoin d'une contamination locale.

V.3 QUALITE BACTERIOLOGIQUE

D'une manière générale, la qualité bactériologique des eaux souterraines de la région est bonne. Quelques germes ou coliformes sont parfois détectés dans les analyses. Quelques sites suivis par le SEQ-ESO ont montré des quantités en germes totaux souvent élevés (quelques dizaines de colonies par ml d'eau) mais parfois aussi très élevées (au-delà de 1000 colonies par ml d'eau). Cependant, les campagnes de mesures systématiques sont très récentes (historique trop court) pour pouvoir en tirer des conclusions (effet saisonnier ? pic accidentel ? occupation du sol ?). Le tableau V.8 présente quelques résultats d'analyses bactériologiques d'échantillons prélevés dans des ouvrages de prise d'eau souterraine de la région (réseau de distribution publique d'eau potable).

Paramètres	Drain-Waldborn (Crétacé)	Puits-Roter-Pfuhl (Calcaire carbo)	Source Casino (Calcaire carbo)	Puits-Im Winkel (Houiller)
	03/06/2008	05/05/2003	15/10/2005	05/05/2003
Germes totaux à 22°C (n ^{bre} /ml)	15	2	3	1
Germes totaux à 37°C (n ^{bre} /ml)	0	3	2	0
Coliformes totaux (n ^{bre} /100 ml)	0	0	0	0
Coliformes fécaux (n ^{bre} /100 ml)	0	0	0	0
Streptocoques fécaux (n ^{bre} /100 ml)	0	0	0	0

Tableau V.8 : Qualité bactériologique des eaux souterraines de la région étudiée

V.4 PESTICIDES

Cinq types de pesticides sont systématiquement recherchés lors des analyses spécifiques: l'atrazine, la simazine, le diuron, l'isoproturon et le déséthylatrazine. Les valeurs maximales admises par la loi pour ces pesticides sont de 100 ng/l.

Sur base des seules données disponibles, il semble que la pollution de la nappe du Crétacé par les pesticides reste limitée. Le tableau V.9 reprend les résultats pour les captages de la SWDE, implantés dans le Crétacé. Le drain 'La Clouse' présente des teneurs en atrazine et en déséthylatrazine à surveiller.

Paramètre	Drain-La Clouse	Drain-Waldborn
	03/06/2008	02/06/2008
Déséthylatrazine ng/l	66	<5
Atrazine ng/l	95	<3
Isoproturon ng/l	<1	<1
Diuron ng/l	1	<1
Simazine ng/l	<3	<3

Tableau V.9 : Teneurs en pesticides de la nappe du Crétacé

La nappe des calcaires carbonifères ne présente pas de pollution significative par les pesticides, sur la base des données disponibles (tableau V.10).

Paramètre	Source Casino	Roter-Pfuhl
	23/10/2000	23/10/2000
Déséthylatrazine ng/l	10	0
Isoproturon ng/l	0	0
Atrazine ng/l	1	0
Diuron ng/l	5	0
Simazine ng/l	0	0

Tableau V.10 : Teneurs en pesticides de la nappe des calcaires du Carbonifère

Les puits du réseau SEQ-ESO ne sont pas, à l'heure actuelle et d'après les données disponibles, contaminés par les pesticides. Aucune trace de pesticides n'a été observée dans les échantillons analysés (inférieurs à 10 ng/l).

VI. EXPLOITATION DES AQUIFERES

Les principales ressources en eau souterraine de la carte Henri-Chapelle-Raeren, Petergensfeld et Gemmenich-Botzelaar sont localisées au sein des Formations du Crétacé, des terrains schisto-gréseux du Houiller, des calcaires du Carbonifère.

La distribution publique d'eau potable est assurée par l'administration communale de Kelmis (La Calamine) sur son territoire et par la Société Wallonne des Eaux pour les autres communes situées sur la carte étudiée. Les nappes sont également exploitées par les agriculteurs, les particuliers et quelques firmes privées. Cependant ces volumes, très variables dans le temps et dans l'espace, sont relativement faibles par rapport aux prélèvements pour la distribution publique d'eau potable et pour les besoins des industries. D'après les données disponibles, ils oscillent entre quelques m³ et quelques milliers m³ par an.

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

Sur la carte thématique intitulée 'Carte des volumes d'eau prélevés', les volumes sont classés selon différentes catégories: les prélèvements d'eau destinés à la distribution publique d'eau potable (pastilles rouges), les prélèvements à usage privé⁹ (pastilles vertes), les prélèvements d'eau de surface (pastilles bleues). Les volumes présentés sont les volumes de l'année 2007. Sur cette même carte, sont aussi reportés les volumes moyens sur 5 ans, ici 2003-2007. 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.

VI.1 AQUIFERES DU CRETACE

Les formations du Crétacé, couvrant la partie occidentale et septentrionale de la carte étudiée, constituent un réservoir aquifère important. De nombreux ouvrages de prise d'eau sont implantés dans ces terrains : puits forés, puits traditionnels (conception manuelle), drains.

⁹ La catégorie 'Autres volumes' regroupe les volumes à usage privé, c'est-à-dire les prélèvements des particuliers, des agriculteurs, des industries...tout prélèvement d'eau souterraine qui n'est pas destinée à la distribution publique d'eau potable. Les prélèvements d'eau de surface sont différenciés dans une autre catégorie.

La SWDE possède sept sites de captages dans ces terrains : deux sont toujours en service, les cinq autres ouvrages sont hors service (vétusté des infrastructures, rendement médiocre).

A Gemmenich (Plombières) se trouvent les sites de La Clouse et de Waldborn. Ces drains captent annuellement un volume¹⁰ moyen de 160 000 m³ (1991-2008). Depuis le début des années 2000, les prélèvements ont diminué (volume annuel moyen \approx 130 000 m³) (figure VI.1).

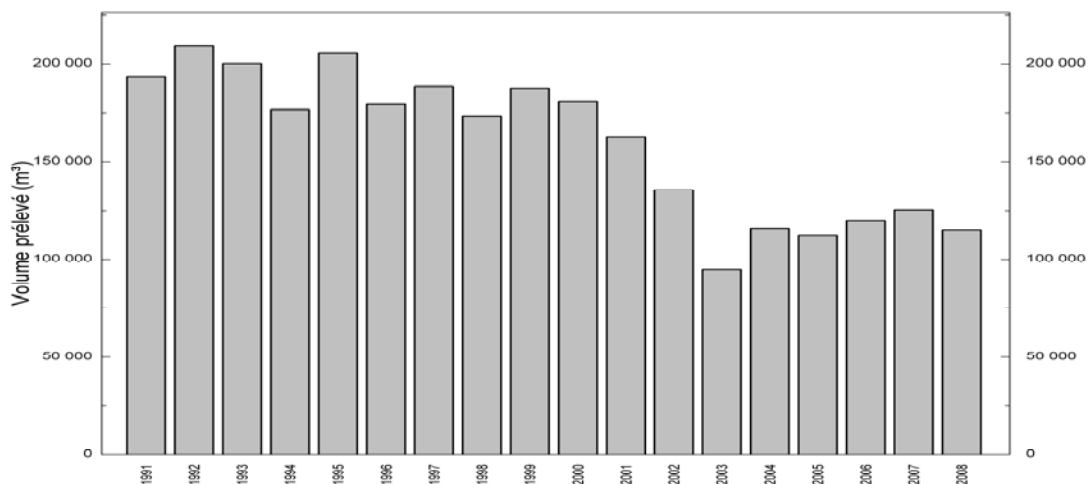


Figure VI.1: Volumes d'eau prélevés aux captages de Waldborn et La Clouse

A titre indicatif, en 2000, le drain 'Les Ecureuils' a capté environ 17 000 m³ d'eau, pour un volume d'exploitation de 30 000 m³/an, les années précédentes. Cette même année, environ 8000 m³ d'eau ont été prélevés à la source 'Le Calvaire', pour une moyenne de 40 000 m³/an les années précédentes.

L'administration communale de Kelmis a plusieurs sites de captages dont deux sont implantés dans les terrains du Crétacé du Pays de Herve : Im Kessel (drain) et Gundhof (source). Les volumes exploités sont de l'ordre de 45 000 m³/an par ouvrage.

Les terrains du Crétacé sont aussi exploités via de nombreux puits et sources par des agriculteurs et particuliers. Les volumes pompés, très variables, sont estimés entre 150 et 2400 m³ par an.

VI.2 AQUICLUDE A NIVEAUX AQUIFERES DU HOULLER

L'administration communale de Kelmis possède un puits au Sud d'Hergenrath, Im Winkel. Le volume moyen prélevé, depuis 2002, est de l'ordre de 380 000 m³/an.

¹⁰ Les données sur les volumes fournies par la SWDE regroupent les deux captages. Il n'y pas de distinction par site (volume commun).

Le camping 'Kon-Tiki' à Sippenaeken (commune de Plombières) exploite également cette nappe. Sur la période 2001-2008, le volume moyen annuel est d'environ 6500 m³. Dans la partie occidentale de cette commune, à Hombourg, environ 67 500 m³ d'eau sont prélevés annuellement (1995-2007) pour les besoins en eau industrielle d'une brasserie (BHA Belgium). Cette eau sert essentiellement au nettoyage des locaux et au rinçage des machines.

Les volumes exploités par quelques particuliers varient entre 200 et 1200 m³/an.

VI.3 AQUIFERE DES CALCAIRES DU CARBONIFERE

L'administration communale de Kelmis possède deux ouvrages de prise d'eau sollicitant l'aquifère des calcaires du Carbonifère : la source 'Casino' et le puits 'Roter-Pfuhl'. La source capte environ 160 000 m³ par an. Le volume moyen pompé par le puits était de 330 000 m³/an jusqu'au début des années 2000. Ensuite il a nettement diminué (environ 125 000 m³/an) (figure VI.2).

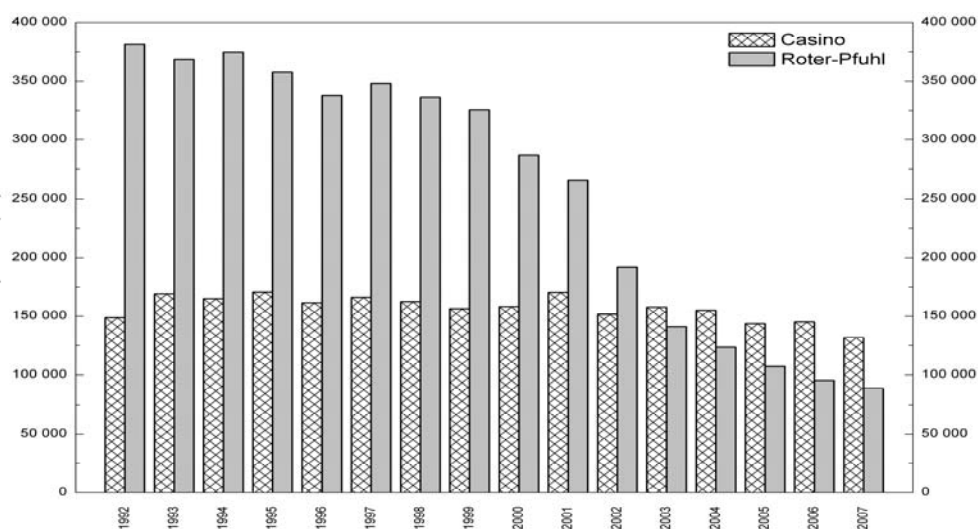


Figure VI.2: Volumes d'eau prélevés aux captages de Roter-Pfuhl et Casino

Quelques autres puits sont également implantés dans cet aquifère dont le puits de la Laiterie de Walhorn. Pompée à raison de 90 m³/h, l'eau alimente le système de refroidissement du lait et sert au nettoyage. Le volume moyen prélevé est de 375 000 m³ par an (1991-2007).

Le volume pompé par quelques ouvrages de particuliers est variable et oscille entre 470 et 2300 m³ par an.

VII. PARAMETRES D'ECOULEMENT ET DE TRANSPORT

VII.1 AQUIFERES DU CRETACE

Dans le cadre de l'étude des ressources en eau du Crétacé de l'Est du Pays de Herve (Huygens, 1987), une quinzaine d'essais de pompage ont été menés. Les résultats ont permis de déterminer les valeurs des paramètres hydrodynamiques des différentes unités hydrogéologiques du Crétacé, de la carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar.

- L'aquifère des craies du Crétacé (Formation de Gulpen)

Les transmissivités mesurées varient entre 10^{-5} m²/s pour la craie compacte et 10^{-3} m²/s pour la craie très fissurée. La conductivité hydraulique moyenne (K) est de l'ordre de $0,2 \times 10^{-4}$ m/s.

- L'aquifère-aquitard de Vaals

Les transmissivités calculées à partir des essais de pompage mettent en évidence les différents faciès de la formation de Vaals :

$T \approx 10^{-4}$ m²/s pour les passées sableuses;

$T \approx 10^{-5}$ m²/s pour les passées silteuses;

$T \approx 10^{-6}$ m²/s pour les passées argileuses.

- L'aquifère des sables du Santonien (Formation d'Aachen)

Les valeurs de transmissivités sont comprises entre 10^{-4} et 5×10^{-5} m²/s.

A proximité du puits SGB/733-PP (à l'ouest d'Henri-Chapelle), un test d'infiltration a été réalisé en mars 1999. Il a permis d'estimer la perméabilité des sables d'Aachen à $3,8 \times 10^{-4}$ m/s (LGIH, 1999).

A Gemmenich (Plombières), la SWDE a réalisé, dans un forage de reconnaissance sur le site de La Clouse, un essai de pompage de longue durée avec remontée en fin de test, en août 1994 (SWDE, 1994). Ce puits a rencontré les formations de Vaals et d'Aachen et est crépiné au droit de cette dernière (prof. du puits : 87 m). Les transmissivités en pompage présentent des valeurs similaires à celles en remontée, soit de l'ordre de $1,1 \times 10^{-4}$ m²/s.

VII.2 AQUICLUDE A NIVEAUX AQUIFERES DU HOULLER

Sur la carte étudiée, peu de données sont disponibles pour cette unité hydrogéologique logée dans les formations schisto-gréseuses du Houiller. Néanmoins, à Sippenaeken, un essai de pompage réalisé au droit d'un puits sollicitant le Houiller a donné des transmissivités de l'ordre de $0,082 \times 10^{-4}$ à $0,933 \times 10^{-4}$ m²/s, et une conductivité hydraulique de $0,241 \times 10^{-4}$ m/s (Huygens, 1987).

A Gemmenich, dans le cadre de l'étude hydrogéologique menée en vue de la définition des zones de prévention, plusieurs essais de pompage ont été réalisés sur le puits de captage du Camping 'Kon-Tiki' (LGIH, 1995).

Les transmissivités moyennes obtenues sont de l'ordre de $0,7 \times 10^{-3}$ à $1,0 \times 10^{-3}$ m²/s, et les conductivités hydrauliques équivalentes sont de l'ordre de 2×10^{-5} à 4×10^{-5} m/s pour une épaisseur aquifère moyenne de 25 mètres. Le coefficient d'emmagasinement en conditions de nappe captive est de 0,002 %.

VII.3 AQUIFERE DES CALCAIRES DU CARBONIFERE

Sur le flanc est de la Gueule, au sud-ouest de Gemmenich, une étude hydrogéologique a été réalisée afin de mieux caractériser les potentialités aquifères de la zone (LGIH, 1983-84-87-88). Sur le site de Roerberg, trois puits ont été forés au sein des calcaires du Carbonifère. Plusieurs essais de pompage ont été effectués en vue de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère. Les transmissivités obtenues sont de l'ordre de 1 à 10×10^{-4} m²/s, sauf en profondeur où T est de $0,6 \times 10^{-4}$ à $0,8 \times 10^{-4}$ m²/s. Un pompage simultanée et de longue durée a donné des transmissivités de $1,8 \times 10^{-4}$ m²/s et $2,5 \times 10^{-4}$ m²/s.

VII.4 AQUIFERE DES GRES DU FAMENNIEN

Dans du secteur 'La Chapelle-Preuss', sur la commune de Plombières, un essai d'injection a été réalisé afin de connaître la conductivité hydraulique de la formation gréseuse rencontrée (LGIH, 1982).

Les transmissivités obtenues varient entre $1,54 \times 10^{-4}$ m²/s et $3,32 \times 10^{-4}$ m²/s selon la profondeur. Ces résultats montrent une bonne perméabilité, qui augmente avec la profondeur, indiquant une meilleure fissuration vers le bas.

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 wallonne¹¹ 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

¹¹ 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 (M.B. du 12/04/2005, p. 15068).

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. 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 2009¹².

¹² 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'Eau¹³ 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/).

¹³ SPGE, instituée par le décret du 15 avril 1999

VIII.2 ZONE DE PREVENTION DU PUIS P1 DU CAMPING "KON-TIKI"

Le puits du camping « Kon-Tiki » exploite la nappe captive logée dans les terrains schisto-gréseux du Houiller (rendue localement captive sous les argiles d'altération). Une étude hydrogéologique, avec essais de pompage et modélisation (LGIH, 1995), a permis de définir les zones de prévention autour du captage. Ces zones ont été définies sur base des temps de transfert simulés par l'introduction des paramètres hydrodynamiques dans le modèle (méthode des éléments finis). Compte tenu de la situation de pompage (faible débit) et du contexte géologique (caractère captif de la nappe), il s'est avéré que l'établissement de la zone rapprochée (IIa) n'était pas nécessaire (ses dimensions dépassant à peine la zone de prise d'eau).

Les limites de la zone éloignée (IIb) obtenues ont été localement déplacées sur base des limites cadastrales et urbanistiques permettant le repérage des zones sur le terrain (figure VIII.1).

Cette zone de prévention a été arrêtée par le Gouvernement Wallon, en date du 7 décembre 2000 ; *Arrêté du Gouvernement wallon relatif à l'établissement d'une zone de prévention éloignée protégeant la prise d'eau souterraine dénommée KON-TIKI-Puits P1 sise au lieu-dit Camping KON-TIKI, à Plombières (M.B. 31.01.2001)*. <http://environnement.wallonie.be/legis/EAU/easou018.htm>.

VIII.3 ZONES DE PREVENTION DU DRAIN "LA CLOUSE" (SWDE)

Les zones de prévention rapprochée (IIa) et éloignée (IIb) définies autour du captage de « La-Clouse » (SWDE) ont été déterminées sur base des distances fixes forfaitaires conduisant à des zones concentriques centrées sur la prise d'eau. Cette méthode n'étant pas adaptée aux prises d'eau par écoulement gravitaire, la SWDE a adapté le tracé des zones de prévention au contexte topographique et hydrogéologique de la région. Ces limites ont ensuite été localement déplacées pour correspondre à des limites cadastrales et urbanistiques repérables sur le terrain (figure VIII.1).

Cette délimitation des zones de prévention IIa et IIb a été arrêtée par le Gouvernement Wallon, en date du 18 septembre 2003; *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée de l'ouvrage de prise d'eau souterraine dénommé La Clouse D1, sis sur le territoire de la commune de Plombières (M.B. 15/10/2003)*. Ce texte législatif est disponible à l'adresse internet: <http://environnement.wallonie.be/legis/EAU/easou057.htm>.

VIII.4 AUTRES ZONES DE PREVENTION

Aucune autre zone de prévention autour des captages de la carte Henri-Chapelle-Raeren, Petergensfeld et Gemmenich-Botzelaar n'a été jusqu'à présent 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.

Les captages soumis à zones de prévention sont le drain Waldborn (SWDE), les sources Casino et Gundhof, le drain Im Kessel, les puits Roter-Pfuhl et Im Winkel (Administration Communale de Kelmis). Ces ouvrages sont repris sur la figure VIII.1.

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.

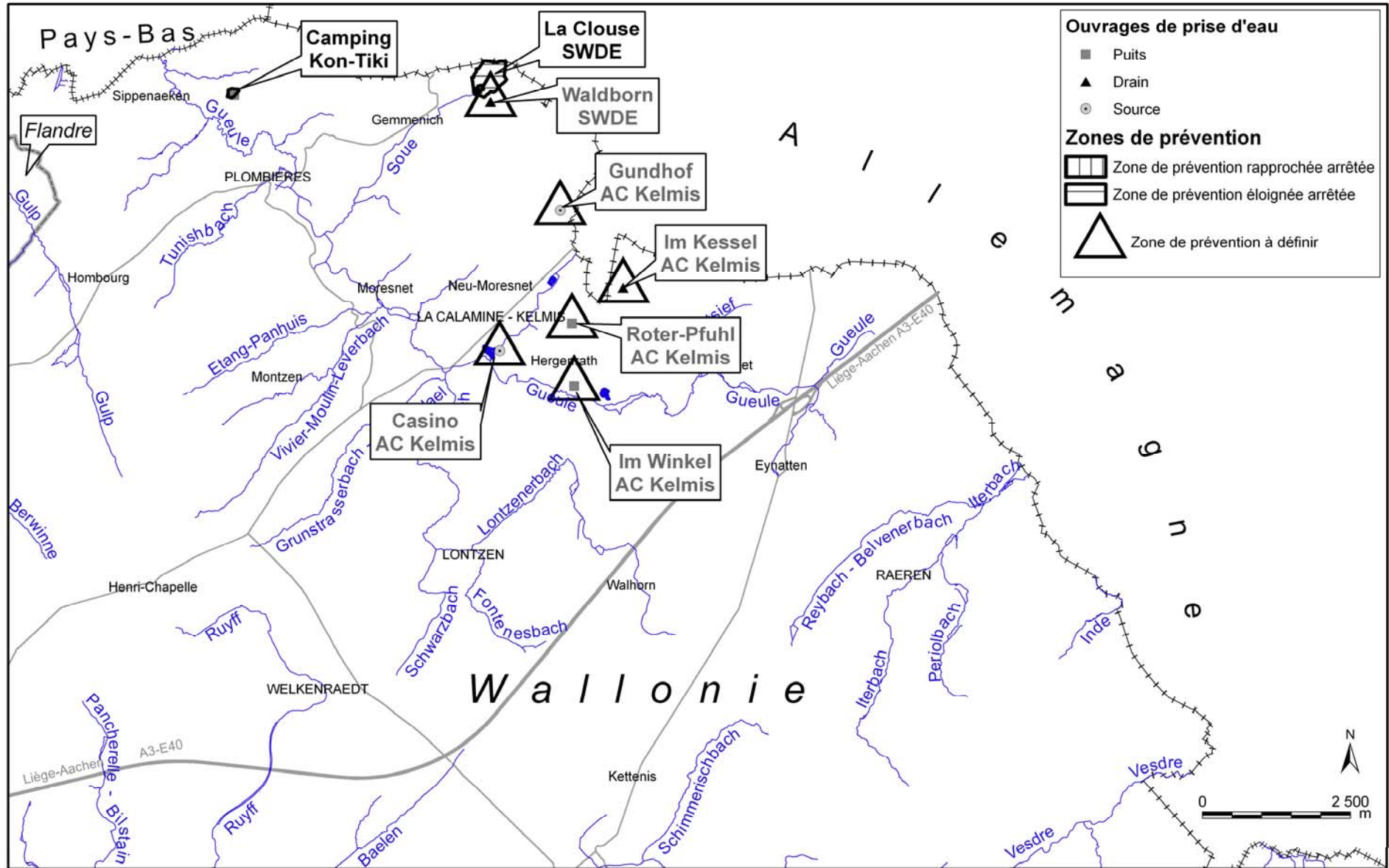


Figure VIII.1: Zones de prévention de la carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar

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 Henri-Chapelle-Raeren, Petergensfeld et Gemmenich-Botzelaar. Il aborde les principales sources d'informations disponibles pour la région étudiée. Les données collectées sont encodées dans une base de données structurée et mises en cartes. La structure du poster, au format A0, est également présentée dans ce chapitre.

IX.1 ORIGINE DES INFORMATIONS

IX.1.1 Données géologiques et connexes

Les données géologiques proviennent essentiellement de la nouvelle carte géologique de la région (Laloux et *al.*, 2000). Des descriptions de forages sont également disponibles auprès du Service Géologique de Belgique et des sociétés de distribution d'eau.

Des données concernant les calcaires carbonifères et dévoniens sont issues de l'atlas du karst (CWE PSS, 1996, 2006).

La carte des isohypses du Crétacé est tirée du rapport sur les ressources en eau du Pays de Herve (Huygens, 1986).

Plusieurs sites de la région étudiée ont fait l'objet d'investigations géophysiques. Ces zones de prospections géophysiques ont été simplement localisées sur la carte hydrogéologique. Les résultats ne sont pas présentés dans ce document. Seuls les types de prospection et les références bibliographiques sont mentionnés. Ci-dessous la liste des sites investigués:

- Site de Chenemont (Sud d'Hombourg) (LGIH-UM/791-801) : 7 sondages électriques, 1 tomographie électrique et 7 profils électro-magnétiques.
- Site d'Henri-Chapelle (LGIH-UM/782) : 6 sondages sismiques, et 6 tomographies sismiques et 1 profil radar.
- Site de Welkenraedt (LGIH-SON-892) : 4 sondages sismiques et 7 sondages électriques.
- Site de Clermont (Rapport Huygens, 1986) : 4 sondages électriques.
- Tracé du TGV (au Sud de l'autoroute Liège-Aachen) (LGIH-TUCRail 932/936/954/962/2000-01) : sondages électriques, sondages sismiques, tomographies électriques, profils électro-magnétiques, micro-gravimétrie.
- Site 'Libermé', Kettenis (CENV, 1998) : 3 sondages sismiques et 2 sondages électriques.

- Site d'Habenden (Eynatten) (LGIH-TH/971) : 10 sondages sismiques, 3 sondages électriques, 6 tomographies électriques et 1 carré de résistivité.
- Dans le cadre de l'étude du Crétacé de l'est du Pays de Herve (Huygens, 1987), 35 sondages électriques ont été réalisés sur toute la crête est de la vallée de la Gulp et, dans la prolongation à l'est de la vallée de la Gueule, sur la flanc ouest de la vallée de la Gulp.

IX.1.2 Données météorologiques et hydrologiques

Des données de précipitations et de températures sont disponibles à l'IRM pour la station de Walhorn L5 (précipitation depuis 04/1973 et température depuis 04/1973) et pour la station d'Hombourg-Plombières L8 (précipitation depuis 06/1976).

Sur la carte étudiée, la Direction des Cours d'Eau Non Navigables possède deux stations limnimétriques (capteur de pression avec télétransmission et relevé horaire), sur la Gueule. Les références de ces stations sont: L6410 et L6660. Le SETHY, toujours sur la Gueule, a placé un limnigraphe à Kelmis (code 5291). Dans le cadre de l'étude des ressources en eau du Pays de Herve, plusieurs déversoirs temporaires ont été installés sur les rivières principales de la zone et sur leurs affluents (Huygens, 1987).

IX.1.3 Données hydrogéologiques

IX.1.3.1 Localisation des ouvrages

Dans la base de données BD-Hydro, 258 ouvrages ont été encodés dont 192 puits, 22 piézomètres, 3 puits sur galeries, 7 drains et 4 sondes géothermiques¹⁴. Sont aussi encodées des informations concernant 30 sources (exploitées ou non), ainsi que 2 points de prélèvements en rivière.

En outre, selon l'atlas du karst, 17 pertes, dolines-chantoirs et 6 résurgences sont observées sur la planche étudiée.

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 de la Région Wallonne (10-sous), <http://carto1.wallonie.be/10SousInt>.

La localisation des drains a été fournie par la SWDE. Seuls les ouvrages toujours en activité sont vectorisés et intégrés au projet cartographique (La Clouse et Waldborn à Plombières).

¹⁴ 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.

Côté flamand, on ne compte qu'un seul ouvrage (d'après la base de données DOV, situation au 01/09/2009) sur la carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar. Il s'agit d'un piézomètre (code 910/82/9). Il est reporté sur la carte hydrogéologique.

IX.1.3.2 Données piézométriques

Plus de 1000 valeurs piézométriques sont disponibles pour la carte d'Henri-Chapelle-Raeren - Gemmenich-Botzelaar - Petergensfeld. Ces relevés proviennent principalement de la DGARNE, des sociétés de distribution d'eau, de diverses études et de campagnes sur le terrain. Les premières mesures encodées dans la banque de données datent de 1982.

La carte piézométrique du Crétacé est celle dressée par Huygens en 1986, basée sur un jeu de données important. Plus de 300 puits ont été relevés, sur l'entièreté du Pays de Herve. Dans le cadre de la réalisation de la carte hydrogéologique, une campagne de mesures piézométriques avait été réalisée, de mars 2003 à juin 2003. Beaucoup de puits étaient inaccessibles. Il s'est avéré in fine que le relevé d'Huygens était plus complet. De plus, ce choix permet d'avoir une continuité spatiale avec la carte piézométrique présentée sur la carte hydrogéologique Dalhem-Herve (située à l'est), disponible sur Internet depuis 2008.

Quelques relevés piézométriques sont aussi disponibles pour des ouvrages forés dans les autres unités hydrogéologiques présentes sur la planche (calcaires carbonifères, terrains houillers, grès famenniens). Ces 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, l'administration communale de Kelmis, quelques sociétés et divers rapports ont également complétés ce jeu initial.

52 sites (puits, drains, sources) sont concernés, comptabilisant plus de 8800 valeurs. Une majorité de ces analyses caractérisent les terrains du Crétacé, quelques unes les terrains du Houiller et les calcaires du Carbonifère. Cette cinquantaine de points sont reportés sur la carte des informations complémentaires et des caractères des nappes. Au [chapitre V](#) sont reprises de manière synthétique quelques unes des analyses hydrochimiques, permettant ainsi de définir la carte hydrochimique des unités hydrogéologiques de la région étudiée.

Divers tests sont parfois menés sur les puits, tels que des diagraphies, des essais de pompage, des tests de traçage, afin de mieux connaître le contexte hydrogéologique dans lequel ces ouvrages sont implantés. Ces données proviennent généralement des sociétés de distribution publique d'eau, des travaux de fin d'études et de thèse, d'études hydrogéologiques diverses (voir la liste bibliographie). Le résultat de ces tests (essais de pompage et traçages essentiellement)

sont synthétisés au [chapitre VII](#). Sur la carte thématique précitée, les puits où de tels tests ont été réalisés 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 zone étudiée, ces couches d'informations ne se sont pas toujours présentes.

Sur la carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar, deux zones de prévention arrêtées sont 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 un très petit espace sur la carte étudiée (environ 3 km²). Le contour de cette zone a été fourni par le Service Public de Wallonie. La Flandre est également désignée en zone vulnérable. 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.

Les données de la Région Flamande (VMM- Afdeling Water, DOV) ne sont pas encodées dans la BD-HYDRO. Cette base de données est dédiée essentiellement aux entités situées en Wallonie, même si quelques données transfrontalières y sont parfois introduites. De plus, les données de la Flandre, mises à disposition pour la carte hydrogéologique de Wallonie, restent propriétés de la Région Flamande. Ces données sont disponibles via la [base de données D.O.V.](#) sur Internet.

IX.3 POSTER DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE

La 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;
 - Carte des isohypses de la base et du toit des aquifères;
- 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 points de prélèvements d'eau de surface;

- les pertes et résurgences connues;
- les stations limnimétriques;
- les stations climatiques;
- les drains (toujours en activité)(éléments linéaires);
- les isopièzes: la carte piézométrique présentée est celle de l'aquifère du Crétacé indifférenciée (observations: 1986);
- le sens probable d'écoulement souterrain (ici, pour l'aquifère du Crétacé indifférencié);
- à défaut de carte piézométrique, des valeurs de niveau des autres 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 des caractères des nappes

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

Le caractère des nappes rencontrées est 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 Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar, les nappes logées dans les horizons schisto-gréseux du Houiller sont souvent caractérisées comme semi-captives. En effet, dans ces terrains, la nappe peut se retrouver en charge sous les couches plus argileuses (shales, "phtanites", argile d'altération) et sous certaines alluvions. Les autres unités hydrogéologiques sont considérées comme des nappes libres. Il faut cependant nuancer cette caractéristique pour l'aquifère des sables du Santonien (Sables d'Aachen) qui peut être localement captif sous la Formation de Vaals (nettement argileuse vers l'ouest). Vers l'est, l'aquifère du Crétacé indifférencié est considéré comme libre.

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). Cette désignation implique l'application d'un programme d'action précis dont les mesures ont été arrêtées dans le code de « bonne pratique agricole ». Cette zone occupe environ 3 km² sur la planche étudiée. De plus, depuis le 1er janvier 2007, l'entièreté de la Flandre est désignée comme 'zone vulnérable aux nitrates'. Ainsi, la partie de la carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar située en Flandre est classée en zone vulnérable. 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^è, reprend également les volumes d'eau prélevés annuellement, informations extraites de la base de données de la Région Wallonne "dix-sous" (DGARNE). Les volumes représentés sont les volumes déclarés par les titulaires à la Région wallonne. Trois catégories de volumes sont répertoriées, pour la carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar: les volumes destinés à la distribution publique d'eau potable, les prélèvements d'eau de surface et les autres volumes (particuliers, agriculteurs, industries...). Les données présentées sur cette carte sont les volumes de l'année 2007.

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 (2003-2007) (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 Carte des isohypses de la base et du toit des aquifères

L'aquifère principal, localisé au sein des terrains du Crétacé, est limité à sa base par le socle paléozoïque. Sur cette carte thématique, sont tracées les isohypses de la base du Crétacé (toit du socle). Le sommet des formations paléozoïques présente une légère inclinaison vers le NNW, ce qui explique le pendage des dépôts crétacés surincombants.

Les isohypses du toit de la Formation de Vaals permettent de déduire la base de la formation crayeuse sus-jacente (Formation de Gulpen). Ces courbes donnent aussi une indication sur l'épaisseur cumulée des Formations de Vaals et d'Aachen. Pour plus de clarté, les limites entre les Formations de Vaals et de Gulpen, et celles de l'extension du Crétacé sont indiquées.

Il faut néanmoins utiliser ces données avec circonspection et recourir à des investigations complémentaires sur le terrain, en cas de nécessité. Ces informations sont issues du rapport sur les ressources en eau du Pays de Herve (Huygens, 1986).

IX.3.5 Tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie'

Le [tableau lithostratigraphique](#) reprend la liste des différentes formations géologiques rencontrées sur la carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar.

La lithologie des formations est également décrite. Leur caractéristique hydrogéologique est définie (Pfankuch, 1990; UNESCO-OMM, 1992) en termes d':

- aquifère : formation perméable contenant de l'eau en quantités exploitables
- 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
- aquitard: formation semi-perméable permettant le transit de flux à très faible vitesse et rendant la couche sous jacente semi-captive.

Remarquons que ces notions restent très relatives et doivent s'adapter au contexte hydrogéologique.

IX.3.6 Coupe hydrogéologique

La coupe hydrogéologique est orientée WSW-ENE. L'échelle horizontale de la coupe est au 1/25.000, tandis que son échelle verticale est au 1/2500 pour la coupe hydrogéologique. Ce facteur d'exagération des hauteurs (X10) permet une meilleure visibilité tant des unités hydrogéologiques que des niveaux piézométriques reportés sur la coupe. Le contexte géologique de la zone traversée par la coupe étant essentiellement marqué par la couverture monoclinale du Mésozoïque, une coupe géologique, sans exagération des hauteurs (coupe 1/1) ne semble pas nécessaire. Elle est basée sur la coupe dd' de la nouvelle carte géologique (Laloux et al, 2000).

La coupe recoupe les terrains du Crétacé (sable d'Aachen, sable argileux de Vaals et craie de Gulpen), les formations schisto-gréseuses du Houiller et les calcaires du Carbonifère. Elle montre que la couverture du Mésozoïque a un pendage général faiblement incliné vers le nord. Sur cette coupe, on observe la surface altérée et très irrégulière du sommet de la craie. Ces poches de dissolution sont remplies de sédiments cénozoïques et résiduels (argile à silex, SX). Cette argile à silex (ou conglomérat à silex) présente une épaisseur variable suivant la géomorphologie. Sa couverture n'est pas limitée au sommet de la craie.

Hydrographiquement, la coupe passe également au droit de deux vallées: la Gulpe (ou Gulp) et la Gueule.

D'un point de vue hydrogéologique, sur le tracé de la coupe, les niveaux d'eau mesurés montrent un système hydrogéologique continu (aquifère du Crétacé indifférencié). La Formation de Vaals, moins argileuse ici, ne peut être considérée comme aquiclude. Elle sera considérée dès lors comme aquitard. Les niveaux d'eau semblent s'équilibrer dans cette formation, en rive droite de la Gulpe. En rive gauche, le niveau piézométrique est plus haut et le sommet de la nappe s'établit partiellement dans les craies (Formation de Gulpen). Dans la partie septentrionale de la coupe, on ne dispose de suffisamment de données pour définir le toit de la nappe aquifère du Crétacé. Un niveau d'eau local a été reporté sur la coupe. Nous ne disposons pas de données piézométriques sur les autres unités hydrogéologiques sur le tracé de la coupe. Quelques niveaux d'eau sont disponibles au droit de puits localisés au sud de Gemmenich. Cependant, ces ouvrages ne sont pas implantés dans le même compartiment que ceux recoupés par la coupe. En effet, sur la carte hydrogéologique principale, on observe qu'une faille de chevauchement se trouve entre le trait de coupe et le site où des hauteurs piézométriques sont disponibles. Le report de ces niveaux sur la coupe n'est dès lors pas judicieux.

X. BIBLIOGRAPHIE

- Boulvain, F. (ULg) & Pingot, J-L. (UCL).** (2008): Une introduction à la géologie de la Wallonie. Cours en ligne, Université de Liège, Liège
- CENV** (1998): *Lotissement à Kettenis au lieu-dit 'Libermé'*, Etude d'incidences sur l'environnement
- 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, *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
- Dautrebande, S., Leenaars, J.G.B., Smitz, J. & Vanthournout, E.** (2000): Pilot project for the definition of environment-friendly measures to reduce the risk for flash floods in the Geul River catchment (Belgium and the Netherlands), *European Commission – DG Environment*, 170pp + annexes (B4-3040/97/730/JNC/C4
- 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 Synclinorium de Verviers. *Mém.Exp.Cartes geol.min Belgique*, 33 :1-483
- Dewez, L. & Lespineux, G.** (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, Ministère de la Région wallonne, 68pp + annexes
- 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.
- Huygens, Ch.** (1986): Etude des ressources en eau du Pays de Herve, *Contrat CILE-Service public de Wallonie*, 385pp + cartes.
- Huygens, Ch.** (1987): Etude des ressources en eau du Crétacé de l'Est du Pays de Herve, *Contrat CILE-Service public de Wallonie*, 234pp + cartes.

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 (2e série), 23-46

Laloux, M., Geukens, F., Ghysel, P. & Hance, L. (2000): Carte géologique d'Henri-Chapelle-Raeren - Gemmenich-Botzelaar - Petergensfeld 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 (1978); Secteur WIND–Prospection géoélectrique –Région d'Eupen-Moresenet, UM/782

LGIH (1979-1980): Prospection MELOS- Site de la Vallée de la Gulp, UM/791-801

LGIH (1982): Commune de Plombières-Secteur de la Chapelle Preuss. PLO/822

LGIH (1983): Commune de Plombières-Potentialités hydrogéologiques, PLO/831

LGIH (1984-1987-1988): Commune de Plombières-Etude hydrogéologique-Secteurs de Montzen et de Roerberg / Puits de pompage/Pompage simultané longue durée, PLO/841-871-881

LGIH (1989): Soneville – Terrain de Welkenraedt- Prospection géophysique, SON/892

LGIH (1995): Etude hydrogéologique relative au puits de captage du camping 'Kon-Tiki' à Gemmenich, GEM/951

LGIH (1997): Tractebel Industrie, Eynatten, Prospection géophysique, TH/971

LGIH (1999): Expertise judiciaire – sprl Auguste Dupont contre Aldenhoff François : étude hydrogéologique, EXP/991

LGIH (1993-1995-1996-2000): Etude de la faisabilité du tracé aérien du TGV entre Chênée-Herve-Welkenraedt-Hammerbrücke, Prospection géophysique, TUCRail/932-936-954-962-2000.01

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.*

Monjoie, A. & Polo-Chiapolini, Cl. (1973): Influence des travaux miniers sur les caractéristiques hydrogéologiques et géomécaniques des massifs rocheux, *Extrait des Annales des Mines de Belgique*, 9^e livraison.

Pfannkuch, H-O. (1990): Elsevier's Dictionary of Environmental Hydrogeology, *Elsevier*.

SWDE (1994): Réalisation d'un forage de reconnaissance à Plombières (Gemmenich 'La Clouse'), Service Protection des Ressources et Captage, Rapport technique, DT/034/JR/94-3468-FT/

Toussaint, G. (1974): Contribution à l'étude hydrogéologique et sédimentologique des calcaires viséens moyens de la région d'Eupen-Moresnet, *Travail de fin d'études, Université de Liège*, non publié

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

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

- **A.I.D.E.** : 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/>

- **CILE** : Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux

Rue du Canal de l'Ourthe, 8 à 4031 LIEGE (Angleur)

<http://www.cile.be/>

- **DGARNE** - Service Public de Wallonie

Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement (DGO3)

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/>

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.

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

- **DGO2**: Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies hydrauliques – **SETHY**:

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

- **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
- **MET**: Ministère wallon de l'Équipement et des Transports
 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.
<http://voies-hydrauliques.wallonie.be>
- **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**: Boulevard d'Avroy, 38/6 à 4000 LIEGE
<http://www.spaque.be> <http://www.walsols.be/>
- **SWDE** : Société Wallonne des Eaux
 Rue de la Concorde, 41 à 4800 VERVIERS
<http://www.swde.be>
- **VMM**: Vlaamse Milieumaatschappij – Afdeling Water
 A. Van de Maelestraat 96 à 9320 Erembodegem
<http://www.vmm.be> et <http://www.vmm.be/water>
 Databank Ondergrond Vlaanderen: <http://dov.vlaanderen.be>

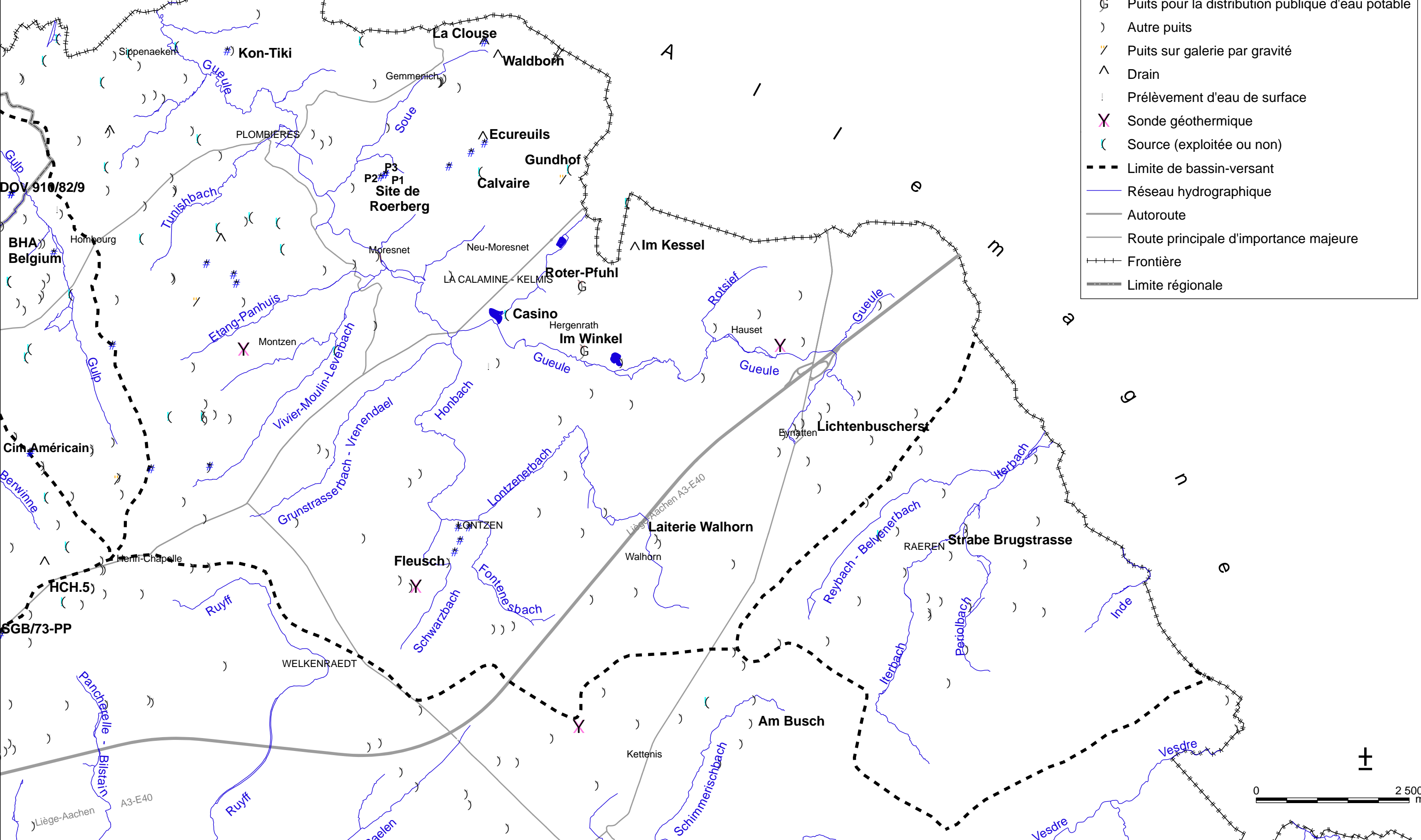
ANNEXE 2. : TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure I.1 : Plan de situation.....	6
Figure II.1 : Réseau hydrographique et bassins versants.....	9
Figure II.2 : Bassin de la Gueule : étude hydrologique des quelques affluents.....	10
Tableau II.1: Répartition détaillée de l'occupation du sol - Territoires agricoles.....	11
Figure II.3: Répartition de l'occupation du sol.....	13
Figure II.4: Répartition des types de sol.....	14
Figure III.1: Carte géologique de la Wallonie (Boulvain & Pingot, 2008; modifié).....	15
Figure III.1 : Cadre structural.....	24
Figure III.2 : Concessions Pb-Zn dans la région de Plombières-Moresnet.....	26
(Dewez & Lespineux, 1947).....	26
Tableau IV.2: Tableau des unités hydrogéologiques – Correspondance Géologie-Hydrogéologie.....	37
Figure IV.1 : Fluctuations piézométriques de la nappe du Crétacé.....	40
Figure IV.2 : Fluctuations piézométriques du SGB/733-PP (Vaals et Aachen).....	41
Tableau IV.1 : Relevés piézométriques du puits Im Winkel (Z sol : 209,55 m).....	42
Figure IV.3 : Fluctuations piézométriques du puits Roter-Pfuhl (niveau dynamique).....	43
Figure IV.4 : Phénomènes karstiques de la carte hydrogéologique d'Henri-Chapelle-Raeren - Gemmenich-Botzelaar - Petergensfeld.....	44
Figure IV.5 : Site d'Habenden : phénomènes karstiques.....	45
Figure IV.6 : Phénomènes karstiques au sud-ouest de Welkenraedt.....	46
Figure IV.7: Site de Roerberg (Plombières).....	47
Figure IV.8.: Fluctuations piézométriques des puits du site de Roerberg.....	48
Tableau V.1 : Caractéristiques hydrochimiques de la nappe des craies du Pays de Herve.....	50
Tableau V.2 : Caractéristiques hydrochimiques de la nappe de la Formation de Vaals (Pays de Herve).....	51
Tableau V.3 : Caractéristiques hydrochimiques de la nappe des sables de la Formation d'Aachen (Pays de Herve).....	52
Tableau V.4 : Caractéristiques hydrochimiques de l'aquiclude à niveaux aquifères du Houiller.....	53
Tableau V.5 : Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère des calcaires du Carbonifère.....	54
Tableau V.6 : Caractéristiques hydrochimiques de l'Aquifère-Aquitard-Aquiclude de l'Hastarien.....	54
Tableau V.7 : Caractéristiques hydrochimiques de quelques sites de la carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar.....	55
Figure V.1: Zones vulnérables en Région wallonne.....	56
Figure V.2 : Evolution des teneurs en nitrates de la nappe du Crétacé.....	57
Figure V.3 : Evolution des teneurs en nitrates de la nappe des calcaires du Carbonifère.....	58
Tableau V.8 : Qualité bactériologique des eaux souterraines de la région étudiée.....	59
Tableau V.9 : Teneurs en pesticides de la nappe du Crétacé.....	59
Tableau V.10 : Teneurs en pesticides de la nappe des calcaires du Carbonifère.....	60
Figure VI.1: Volumes d'eau prélevés aux captages de Waldborn et La Clouse.....	62
Figure VI.2: Volumes d'eau prélevés aux captages de Roter-Pfuhl et Casino.....	63
Figure VIII.1: Zones de prévention de la carte Henri-Chapelle - Raeren, Petergensfeld-Lammerdorf, Gemmenich-Botzelaar.....	71

ANNEXE 3. : CARTE DE LOCALISATION

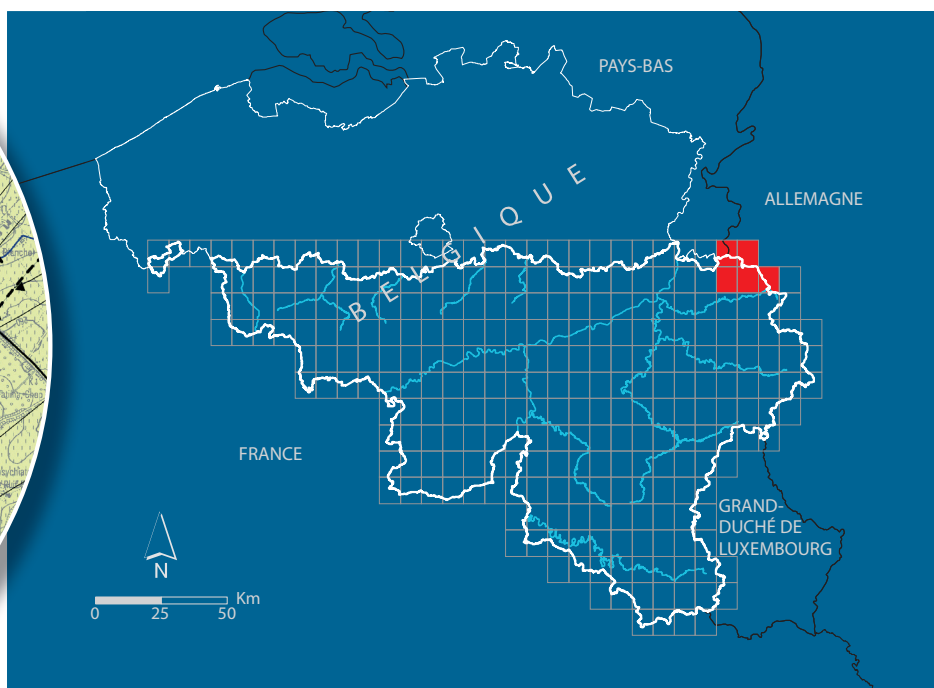
Pays - Bas

- # Piézomètre
- G Puits pour la distribution publique d'eau potable
-) Autre puits
- ∨ Puits sur galerie par gravité
- ^ Drain
- | Prélèvement d'eau de surface
- Y Sonde géothermique
- (Source (exploitée ou non)
- - - Limite de bassin-versant
- Réseau hydrographique
- Autoroute
- Route principale d'importance majeure
- +—+ Frontière
- Limite régionale



ANNEXE 4. : COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES OUVRAGES CITES DANS LA NOTICE

Nom	Code RW	Identifiant RW	X(m)	Y(m)	Z(m)	Type	Prof.(m)
HCHR.5	4314002	6809	259555	152422	328.06	Puits traditionnel	14
SGB/733-PP	4314006	7100	258035	151661	341.69	Puits foré	67
Cim.Américain	4314009	23100	25851	154640	315.26	Puits foré	57
Im Winkel	4321006	4925	267570	156310	209.55	Puits foré	131
Kon Tiki	3558001	8152	261835	161220	166	Puits foré	42
Roter-Pfuhl	4321001	4621	264732	157366	240	Puits foré	125
P1-Roerberg	3559013	34932	264245	159137	192.8	Puits foré	70
P2-Roerberg	3559014	34933	264322	159186	195	Puits foré	80
P3-Roerberg	3559015	34934	264322	159182	195	Puits foré	70
Ecureuils	3559004	1909	265912	159773	255.03	Drain	-
La Clouse	3559002	5934	265934	161331	242.43	Drain	-
Waldborn	3567003	1378	266158	161108	247.25	Drain	-
Casino	4321001	2430	266310	156907	200	Source	
Calvaire	3559003	8079	265879	159235	208.09	Source	
Lichtenbuscherst	4323002	12127	271442	155237		Puits foré	36
Fleusch	4316012	12401	265364	152857		Puits traditionnel	12
Strabe Burgstrasse	4326015	11513	273831	153327		Puits foré	30
Am Busch	4328001	5008	270305	150225		Puits foré	
Im Kessel	4321003	6762	268395	157968	285	Drain	
Gundhof	3567002	7557	267330	159278		Source	
BHA Belgium	4311002	3411	258693	158066	207	Puits foré	82
Laiterie Walhorn	4325002	3610	268760	153247		Puits foré	30
DOV 910/82/9			258207.8	158857.4	196.14	Puits foré	16



Dépôt légal : D/2009/12.796/6 – ISBN : 978-2-8056-0068-5

Editeur responsable : Claude DELBEUCK, D GARNE,
15, Avenue Prince de Liège – 5100 Jambes (Namur) Belgique