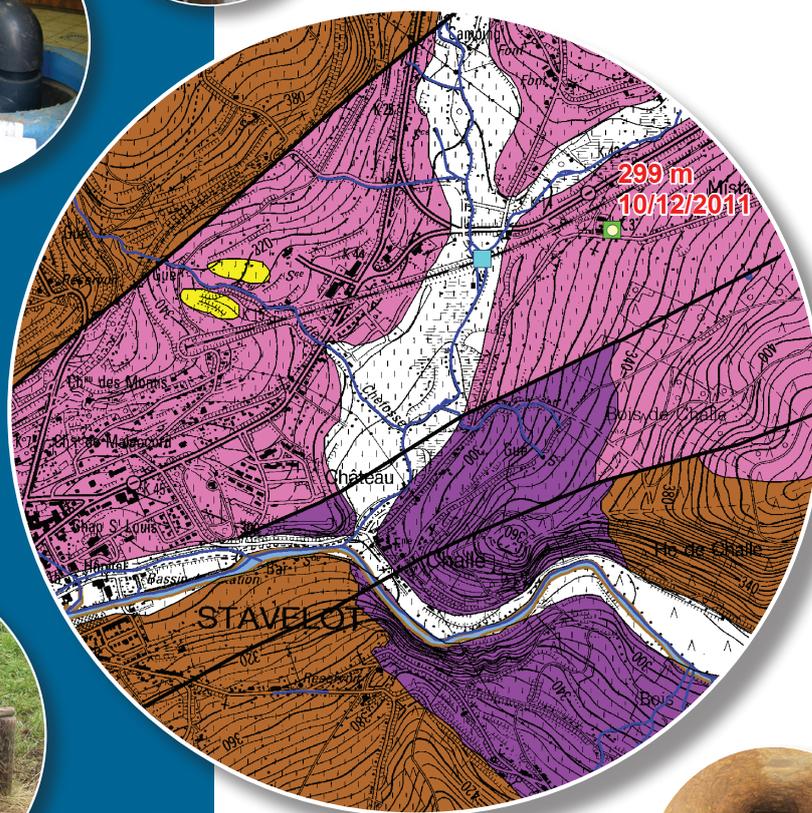


Notice explicative

CARTE HYDROGÉOLOGIQUE DE WALLONIE

Echelle : 1/25 000



Photos couverture © SPW-DGARNE (DGO 3)

Fontaine de l'ours à Andenne

Forage exploité

Argillère de Celles à Houyet

Puits et sonde de mesure de niveau piézométrique

Emergence (source)

Essai de traçage au Chantoir de Rostenne à Dinant

Galerie de Hesbaye

Extrait de la carte hydrogéologique Stavelot – Malmedy



STAVELOT - MALMEDY

50/5-6

Pierre **BRIERS**, Mylene **GILSON**, Ingrid **RUTHY**, Alain **DASSARGUES**

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



NOTICE EXPLICATIVE

2018

Première version : Novembre 2012
Actualisation partielle : Novembre 2017

Dépôt légal - D/2018/12.796/4 - ISBN : 978-2-8056-0250-4

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

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

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

I. Introduction	6
II. Cadres géographique, hydrographique, geomorphologique et pédologique	7
III. Cadre géologique	14
<i>III.1. Cadre géologique régional</i>	14
<i>III.2. Cadre géologique de la carte</i>	14
III.2.1. Cadre lithostratigraphique	15
III.2.1.1. Paléozoïque.....	16
III.2.1.1.1. Cambrien	16
III.2.1.1.2. Dévilién	16
III.2.1.1.3. Revinien.....	16
III.2.1.1.4. Ordovicien.....	17
III.2.1.1.5. Salmien.....	17
III.2.1.1.6. Dévonien.....	17
III.2.1.1.7. Gedinnien (Lochkovien).....	17
III.2.1.1.8. Permien	18
III.2.1.2. Mésozoïque	18
III.2.1.3. Cénozoïque	18
III.2.1.3.1. « Tertiaire ».....	18
III.2.1.3.2. Quaternaire	19
III.2.2. Cadre structural	20
III.2.3. Carrières	23
IV. Cadre hydrogéologique	24
<i>IV.1. Description des unités hydrogéologiques</i>	25
IV.1.1. Paléozoïque	25
IV.1.1.1. Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien.....	25
IV.1.1.2. Aquitard du socle cambro-ordovicien	27
IV.1.1.3. Aquiclude à niveaux aquitards du socle cambro-silurien.....	27
IV.1.1.4. Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien	27
IV.1.1.5. Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur	27
IV.1.1.6. Aquifère du Permien	28
IV.1.2. Mésozoïque et Cénozoïque.....	28
IV.1.2.1. Aquifère des craies du Crétacé	28
IV.1.2.2. Aquifère des sables de remplissage.....	28
IV.1.2.3. Aquifère des terrasses fluviales.....	28
IV.1.2.4. Aquitard limoneux	29
IV.1.2.5. Aquifère des tourbes.....	29
IV.1.2.6. Aquifère alluvial	29
<i>IV.2. Description de l'hydrogéologie</i>	29
IV.2.1. Massif de Stavelot	31
IV.2.2. Synclinorium de l'Eifel	32
IV.2.2.1. Etude hydrogéologique sur les incidences potentielles de l'extension de la carrière de la Warchenne à Waimes.....	35
IV.2.3. Graben de Malmedy.....	38
IV.2.3.1. Phénomènes karstiques	39
IV.2.3.2. Etude géologique et hydrogéologique du bassin de la Warchenne	40
IV.2.4. Coupe hydrogéologique.....	44
IV.2.5. Piézométrie	45
IV.2.6. Caractère libre, semi-captif, captif des nappes.....	45

V. Cadre hydrochimique	47
V.1. <i>Caracteristiques hydrochimiques des eaux</i>	48
V.1.1. Généralités.....	48
V.1.2. Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien	50
V.1.3. Aquitard du socle cambro-silurien.....	52
V.1.4. Aquiclude à niveaux aquitards du socle cambro-silurien	54
V.1.5. Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien.....	54
V.1.6. Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur	56
V.1.7. Aquifère du Permien.....	56
V.1.8. Aquifère alluvial.....	57
V.2. <i>Problematicues des nitrates</i>	58
V.3. <i>Qualite bacteriologique</i>	61
V.4. <i>Pesticides</i>	63
VI. Exploitation des aquiferes	66
VI.1. <i>Captages pour la Distribution publique d'eau potable</i>	66
VI.1.1. Société Wallonne des Eaux.....	66
VI.1.1.1. Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien.....	67
VI.1.1.2. Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien.....	67
VI.1.1.3. Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur	67
VI.1.1.4. Aquifère du Permien	68
VI.1.2. Administration communale de Waimes	68
VI.1.3. Administration communale d'Amel	69
VI.2. <i>Captages privés</i>	70
VII. Parametres d'ecoulement et de transport	71
VII.1. <i>Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien</i>	73
VII.2. <i>Aquitard du socle cambro-silurien</i>	73
VII.3. <i>Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur</i>	74
VII.4. <i>Aquifère du Permien</i>	75
VIII. Zone de protection	76
VIII.1. <i>Cadre legal</i>	76
VIII.1.1. Zone de prise d'eau ou zone I.....	76
VIII.1.2. Zones de prévention rapprochée et éloignée ou zones IIa et IIb.....	76
VIII.1.3. Zone de surveillance ou zone III	77
VIII.2. <i>Zones de prevention arretees</i>	78
VIII.2.1. Zone de prévention de Spa.....	78
VIII.2.2. Zone de prévention de Spai à Trois-Ponts	78
VIII.3. <i>Zones de prevention a definir</i>	79
IX. Methodologie de l'elaboration de la carte hydrogeologique	81
IX.1. <i>Origine des informations</i>	81
IX.1.1. Données géologiques et connexes	81
IX.1.2. Données météorologiques et hydrologiques	82
IX.1.3. Données hydrogéologiques	82
IX.1.3.1. Localisation des ouvrages.....	82

IX.1.3.2. Données piézométriques	83
IX.1.4. Données hydrochimiques et tests sur les puits.....	83
IX.1.5. Autres données	83
<i>IX.2. Base de données hydrogéologiques</i>	<i>84</i>
<i>IX.3. Poster de la carte hydrogéologique.....</i>	<i>84</i>
IX.3.1. Carte hydrogéologique principale	85
IX.3.2. Cartes thématiques	85
IX.3.2.1. Caractérisation du type des nappes et informations complémentaires.....	85
IX.3.2.2. Volumes d'eau prélevés.....	86
IX.3.3. Tableau de correspondance « Géologie-Hydrogéologie »	86
IX.3.4. Coupe hydrogéologique.....	86
X. Bibliographie	88
XI. Annexes	92
<i>XI.1. Annexe 1 : Liste des abréviations.....</i>	<i>92</i>
<i>XI.2. Annexe 2 : Table des illustrations.....</i>	<i>94</i>
<i>XI.3. Annexe 3 : Coordonnées géographiques des ouvrages cités dans la notice</i>	<i>96</i>

Avant-propos

La carte hydrogéologique Stavelot - Malmedy 50/5-6 s'inscrit dans le cadre du programme de cartographie des ressources en eau souterraine de Wallonie, commandé et financé par le Service Public de Wallonie (SPW), Direction Générale opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement (DGARNE-DGO3). Cette carte hydrogéologique a été réalisée par l'unité 'Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement' du secteur GEO³ du département ArGEnCo de l'Université de Liège. Le projet a été supervisé par le professeur Alain Dassargues. La carte a été réalisée par Pierre Briers, Mylene Gilson, et Ingrid Ruthy, en novembre 2012. Elle a été, partiellement, actualisée en octobre 2016, par Ingrid Ruthy. Elle prend en compte les données disponibles dans la base de données « BD-Hydro » (outil de travail commun aux équipes universitaires et à l'administration wallonne, DGARNE). Ainsi les données concernées sont les zones de prévention, les volumes prélevés, les nouveaux ouvrages déclarés, des données piézométriques nouvelles encodées dans la base de données. Une collecte exhaustive de données complémentaires n'a pas été menée.

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

Les auteurs de la carte hydrogéologique remercient tous les bureaux d'études actifs dans le domaine de l'environnement qui ont fourni de nombreuses données. Nous remercions également la SWDE, les communes d'Amel et de Waimes. Nous remercions aussi tous les particuliers qui nous ont permis de visiter leur prise d'eau et d'y faire quelques mesures, lors de la première édition de la carte hydrogéologique.

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

Par un choix délibéré, toute superposition outrancière d'informations conduisant à réduire la lisibilité de la carte a été évitée. Dans ce but, outre la carte principale, deux cartes thématiques, une coupe hydrogéologique et un tableau lithostratigraphique sont présentés.

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 Wallonie¹.

¹ <http://environnement.wallonie.be/cartosig/cartehydrogeo/concepts.htm>

I. INTRODUCTION

La région de Stavelot - Malmédy est située en province de Liège (*Figure I.1*). Les ressources en eaux souterraines sont essentiellement localisées dans la nappe d'altération superficielle ou dans la nappe fissurée en profondeur du socle cambro-silurien. Plusieurs captages sollicitent aussi les eaux logées dans les roches du Dévonien inférieur et dans les terrains du Permien.

Bien que les unités hydrogéologiques de cette région ne constituent pas, à l'échelle de la Wallonie, une ressource majeure en eaux souterraines. A l'échelle locale, elles sont largement exploitées pour l'approvisionnement des habitants de la zone. A côté de la Société Wallonne des Eaux, des Administrations Communales d'Amel et de Waimes, on compte de nombreux petits exploitants de prises d'eau (agriculteurs, particuliers). Les nappes aquifères participent également à l'alimentation des ruisseaux et au soutien du débit d'étiage.

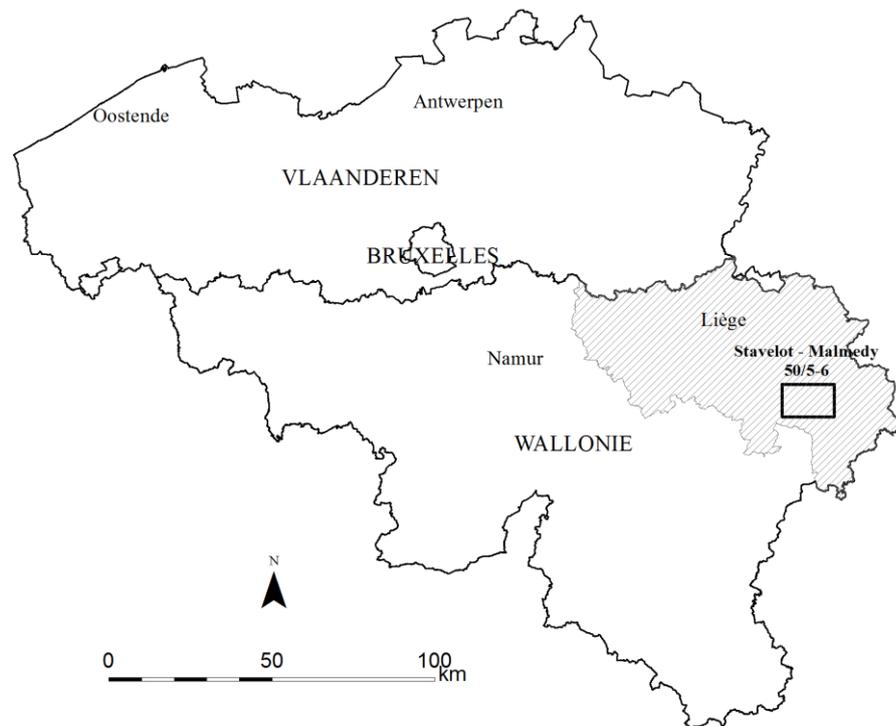


Figure I.1 : Localisation de la carte Stavelot - Malmédy

II. CADRES GEOGRAPHIQUE, HYDROGRAPHIQUE, GEOMORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE

La région de Stavelot - Malmedy se situe à une soixantaine de kilomètres à l'est de la ville de Liège. La carte Stavelot - Malmedy présente une superficie de 160 km². Cette région fait partie de l'Ardenne du nord-est, territoire composé de sommets aux faîtes peu ondulés où les vallées s'encaissent progressivement. Plus précisément, cette région fait partie de l'ensemble décrit comme « le haut plateau déprimé de l'Amblève et de ses affluents », où l'Amblève et la Salm drainent des dépressions larges aux reliefs découpés. Les prairies et les forêts se partagent à part égale les espaces naturels. En comparaison avec les cartes voisines, l'habitat y est plus développé avec notamment la présence de villes telles que Malmedy et Stavelot (*Droeven et al., 2004*). Malmedy fut le siège d'implantations industrielles dès le XIX^e siècle, notamment dans le secteur de la tannerie et de la teinturerie.

Le réseau hydrographique de la carte Stavelot - Malmedy appartient à deux sous-bassins hydrographiques majeurs, tous deux appartenant au bassin de la Meuse (via l'Ourthe). Le sous-bassin de l'Amblève (recouvrant 99 % de la carte) et celui de la Vesdre (*Figure II.1*).

Les trois principaux cours d'eau de la région sont l'Amblève, la Warche et la Warchenne. Ils appartiennent au sous-bassin de l'Amblève. Celui-ci s'étend sur 1 077 km² sur les provinces de Liège (854 km²) et du Luxembourg (223 km²).

L'Amblève, cours d'eau long de 93 kilomètres, prend sa source à Heppenbach (sur la carte 56/3-4) et se jette à Comblain-au-Pont dans l'Ourthe à une altitude de 100 m.

La Warche, longue de 61 km, présente deux faciès différents. Son cours étroit et sinueux se développe dans une vallée en V symétrique pour s'élargir au niveau de la localité de Bévercé en une vallée en auge asymétrique. Elle reçoit la Warchenne au niveau de Malmedy. La Warche rejoint l'Amblève à 300 m d'altitude à proximité de l'autoroute E42 à l'ouest de Planche. L'artificialisation importante du cours de la Warche est liée à la présence des réservoirs de Bütgenbach (11x10⁶ m³, situé sur la carte 50/7-8) et de Robertville (8 x10⁶ m³, dont une partie du lac est située sur cette carte mais qui est également présent sur les cartes 50/1-2, 50/3-4 et 50/7-8) dont les lâchers et les retenues modifient le débit et influencent fortement les caractéristiques physiques mais aussi écologiques du cours d'eau.

La Warchenne, longue de 12 km est un affluent en rive gauche de la Warche. Leur confluence se situe à la hauteur de Malmedy. La presque totalité de son bassin versant d'une superficie de 32 km² est couvert d'espaces forestiers et de prairies.

L'Eau Rouge, longue de 15 km est un affluent en rive droite de l'Amblève. Son débit moyen est de 0,86 m³/s (www.aqualim.be) Le cours d'eau doit son nom à la couleur rouille

des nombreux suintements carbogazeux ferrugineux, ou pouhons, qui jalonnent son parcours.

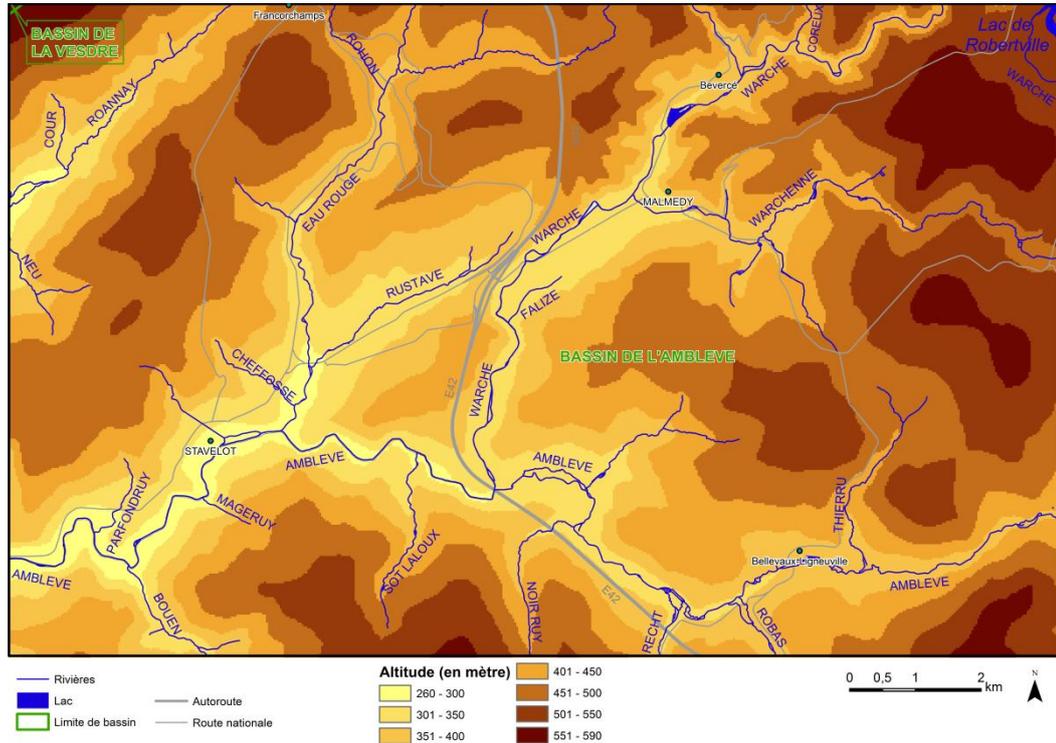


Figure II.1 : Cadre hydrologique et topographique de Stavelot - Malmédy

Les principaux **types de sols** présents sur la carte sont repris dans le [Tableau II.1](#) et la [Figure II.2](#). Les données sont extraites de la Carte Numérique des Sols de Wallonie ([CNSW, 2008](#)). La majorité des sols présents sur la carte Stavelot - Malmédy disposent d'une texture limono-caillouteuse à charge schisto-gréseuse ou schisto-phylladeuse, ce qui reflète la géologie locale. Environ 60 % des sols recouvrant la carte disposent d'un drainage naturellement favorable. La zone du Graben de Malmédy est assez bien individualisée du reste de la carte grâce à un sol typique à charge notamment conglomératique.

La zone étudiée est assez excentrée par rapport à la région des Hautes-Fagnes, caractérisée par des étendues importantes de tourbières. Les sols tourbeux ou les tourbières occupent moins de 1 % de la surface totale de la carte Stavelot - Malmédy. Ces sols tourbeux sont principalement localisés dans les fonds de vallée.

Finalement, 5 % des sols de la zone étudiée sont considérés comme « sol artificiel ou non cartographié », il s'agit notamment des entités de Malmédy, Stavelot et de Francorchamps qui sont des pôles résidentiels et économiques.

Tableau II.1 : Répartition des différents types de sols – CNSW (SPW).

Principaux types de Sol	Présence du sol sur la carte (%)
Sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuse ou gréseuse et à drainage naturel favorable	31,4
Sols limono-caillouteux à charge schisto-phylladeuse et à drainage naturel quasi-exclusivement favorable	20,3
Sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuse ou gréseuse et à drainage naturel modéré à assez pauvre	17,1
Sols limono-caillouteux à charge de silexite ou de gravier ou de conglomérat et à drainage naturel principalement favorable	6,9
Sols limono-caillouteux à charge schisteuse et à drainage naturel principalement favorable	6,2
Regroupement de complexes de sols de textures différentes ou sur fortes pentes et de sols de fonds de vallons limoneux ou rocailleux	5,2
Sols artificiels ou non cartographiés	5,1
Sols limoneux peu caillouteux à drainage naturel principalement modéré à assez pauvre	4,8
Sols limoneux peu caillouteux à drainage naturel favorable	1,6
Sols tourbeux ou tourbières	0,6
Sols sablo-limoneux à drainage naturel principalement favorable	0,2

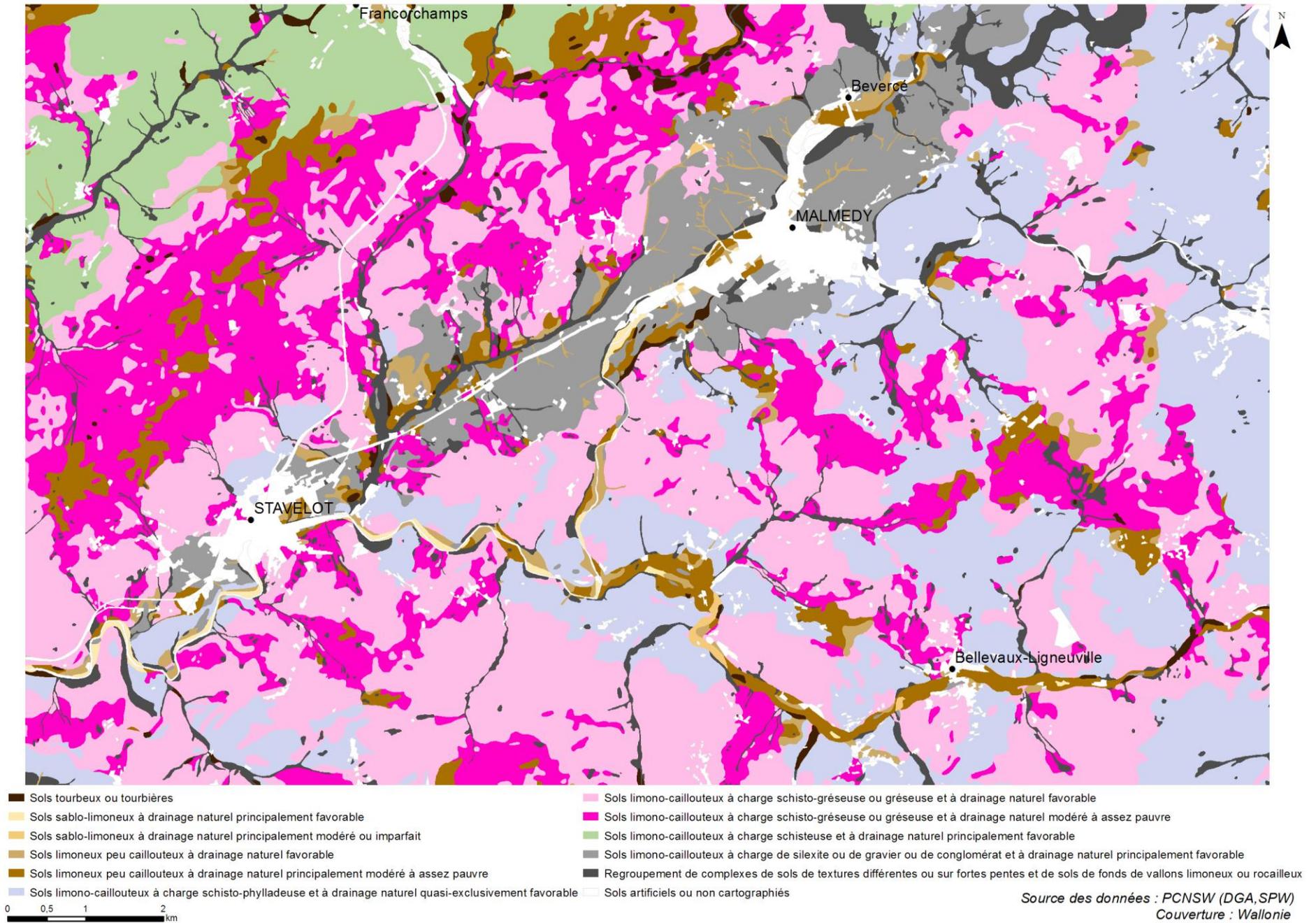


Figure II.2 : Répartition des différents types de sols sur la carte Stavelot - Malmedy

L'occupation du sol de la zone étudiée (Figure II.3 et Figure II.4, Tableau II.2, et Tableau II.3) est issue des données extraites de la carte numérique de l'occupation du sol de Wallonie (septembre 2007)².

La carte Stavelot - Malmedy est recouverte à plus de 85 % d'espaces agricoles et forestiers. Près de 45 % de la zone étudiée est dédiée à l'agriculture avec la quasi-totalité des espaces couverts de prairies (Tableau II.2) alors que moins de 1 % est destiné à des cultures annuelles. Cependant cette configuration n'a pas toujours été adoptée. En effet, au début du XX^e siècle, les cultures annuelles (avoine, seigle, épeautre, pommes de terre, trèfles) étaient beaucoup plus répandues et les herbages se cantonnaient aux espaces humides.

Cette configuration correspond bien au type actuel d'agriculture de cette région qui est principalement tournée vers la production laitière. Les espaces forestiers de conifères couvrent environ 20 % de la carte Stavelot - Malmedy (Tableau II.3).

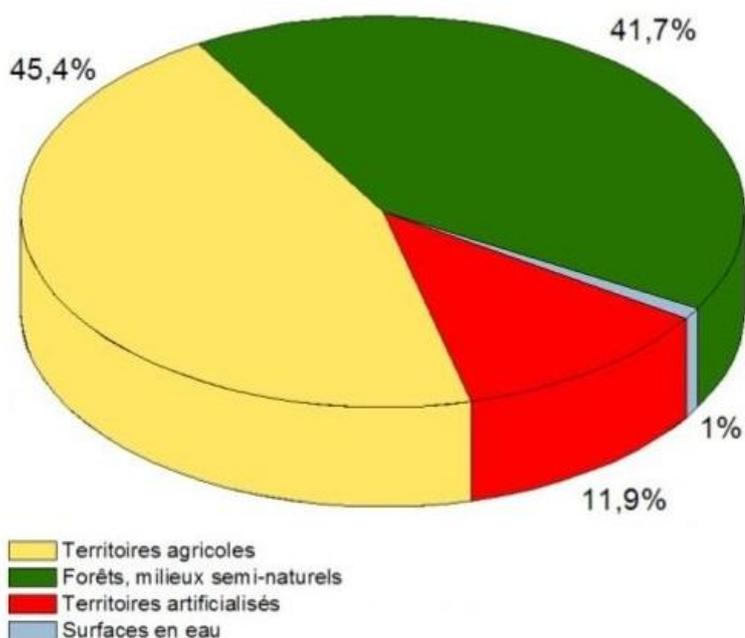


Figure II.3 : Répartition de l'occupation du sol de la carte Stavelot - Malmedy 50/5-6 (COSW, 2007)

² La Carte de l'Occupation du Sol en Wallonie (COSW) est dressée au 1/10 000. Elle est basée sur les données cartographiques vectorielles de la Région Wallonne. La couche de base est le PLI (Plan de Localisation Informatique – 1/1000). Pour plus d'information : <http://cartographie.wallonie.be>

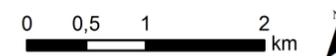
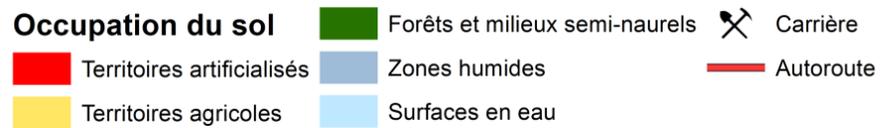
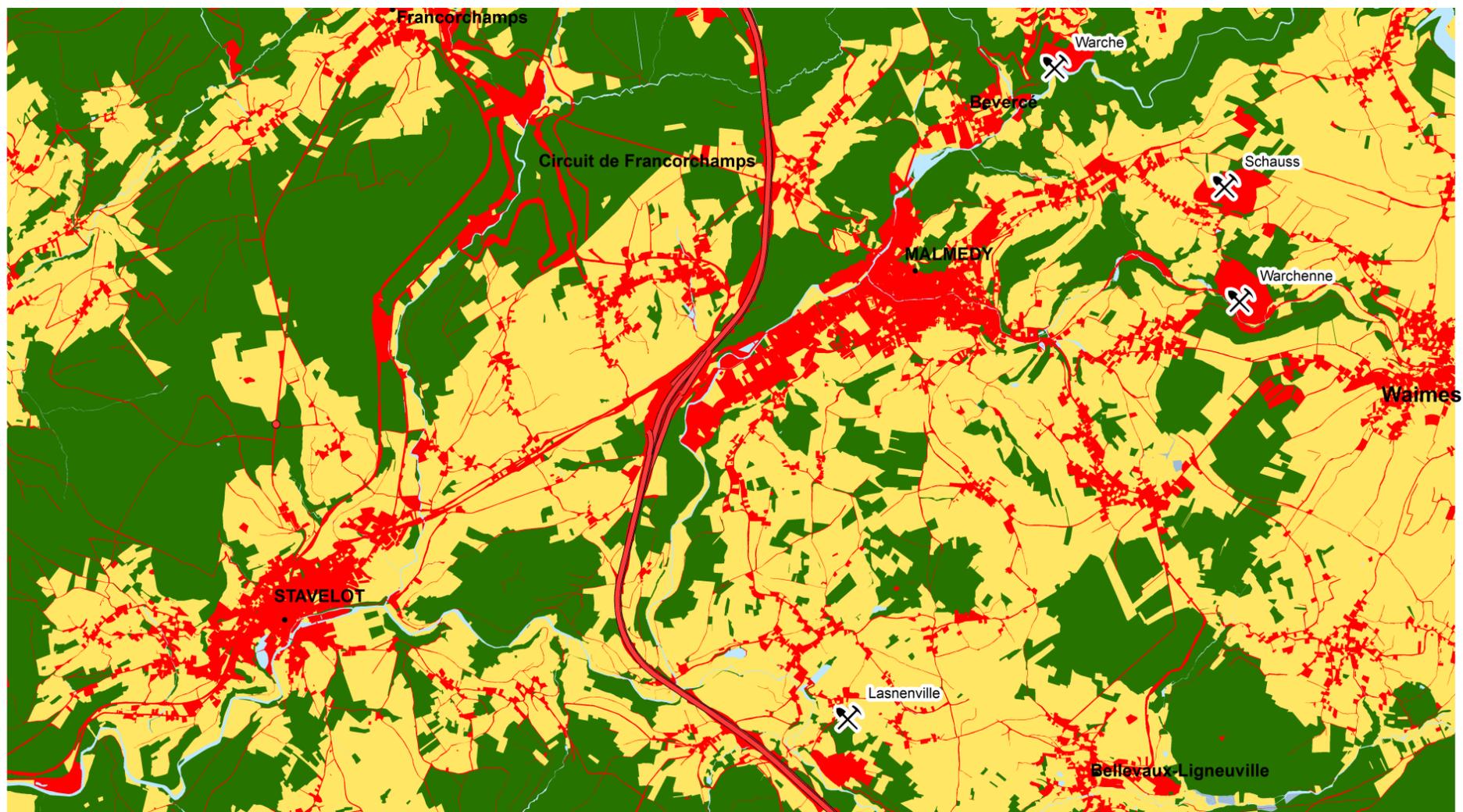
Tableau II.2 : Répartition détaillée de l'occupation du sol au sein de la catégorie territoires agricoles

Occupation du sol	% par rapport aux espaces agricoles	% par rapport à la surface totale
Prairies permanentes	94,4	42,9
Prairies temporaires	2,7	1,2
Terres arables/cultures annuelles	1,6	0,7
Friches agricoles	1,2	0,5
Vergers	0,1	0,1

Tableau II.3 : Répartition détaillée de l'occupation du sol au sein de la catégorie forêts et milieux semi - naturels

Occupation du sol	% par rapport aux espaces verts	% par rapport à la surface totale
Forêts de conifères	50,7	21,1
Forêts (types non spécifiés)	39,1	16,3
Forêts de feuillus	3,5	1,5
Forêts mélangées	0,2	0,1
Terres vaines et vagues	6,6	2,7

Les entités de Malmedy, de Stavelot et les autres zones artificialisées représentent 12 % de la superficie de la carte. De nombreux aménagements dont notamment des voiries ont été réalisés pour accueillir les spectateurs du Circuit de Spa Francorchamps. Le circuit, qui a été construit dans les années 1920, accueille annuellement un Grand Prix de Formule 1 ainsi que d'autres courses notables telles que les 24 heures de Spa.



Source des données : PCNOSW (GWVIII/2005/doc.1022/28.04/B.L.) (DGA,SPW) Couverture : Wallonie

Figure II.4 : Répartition de l'occupation du sol sur la carte Stavelot - Malmédy

III. CADRE GEOLOGIQUE

III.1. CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

La région de Stavelot - Malmedy se situe dans la partie orientale de l'Allochtone ardennais (*Figure III.1*). Cette mégastructure géologique est composée d'un substratum cambro-silurien sur lequel reposent en discordance les formations sédimentaires dévono-carbonifères. L'axe de l'Anticlinal de l'Ardenne est matérialisé par l'affleurement des massifs calédoniens de Rocroi, de Serpont et de Stavelot. Ceux-ci séparent le Synclinorium de Neufchâteau-Eifel au sud, des Synclinoria de Dinant et de Verviers au nord. Au Permien (cycle alpin), un poudingue d'origine fluviatile s'est déposé dans le Graben de Malmedy, fossé d'effondrement dont l'ouverture serait liée à un mouvement de décrochement tardi-varisque (*Boulvain & Pingot, 2011*). Ce dépôt est en discordance sur les roches cambro-siluriennes du Massif de Stavelot. De nombreuses failles ont été reconnues dans cette région, la plus importante étant la faille de charriage de Xhoris.

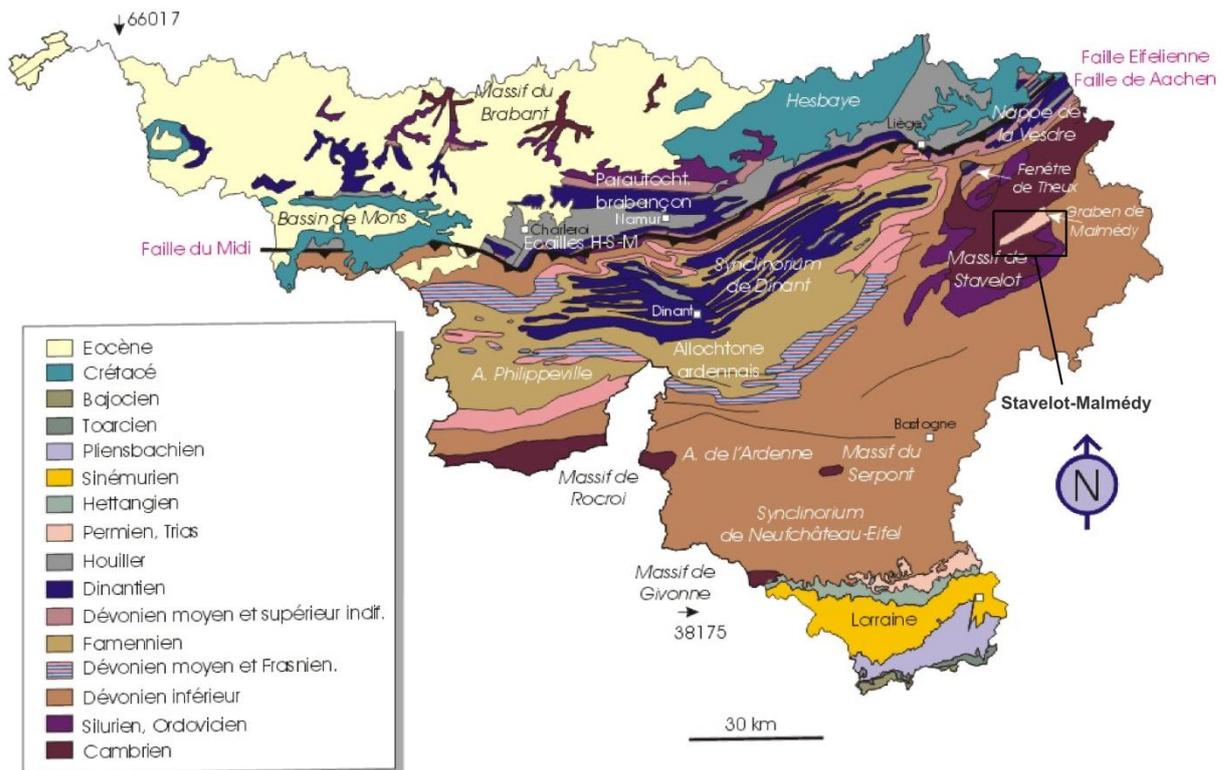


Figure III.1 : Carte géologique de la Wallonie (Boulvain & Pingot 2011, modifié)

III.2. CADRE GEOLOGIQUE DE LA CARTE

La carte Stavelot - Malmedy expose les formations datant du Cambrien au Dévonien inférieur, cependant marquées par une lacune stratigraphique au Silurien. Elle est recoupée du nord-est au sud-ouest par le graben de Malmedy dont les sédiments datent du Permien. Les dépôts cénozoïques sont présents sous forme de colluvions ou d'alluvions modernes

des fonds de vallées. La carte géologique a été digitalisée sur base de la planche n°160 Stavelot - Malmedy de Geukens (1963).

A défaut de données précises sur l'épaisseur des formations géologiques au droit de la carte étudiée, l'information relative à la puissance des terrains est tirée de l'ouvrage de référence sur la nouvelle échelle stratigraphique de la Belgique (*Bultynck & Dejonghe, 2001*).

III.2.1. Cadre lithostratigraphique

La description lithologique des formations fait référence :

- pour le Cambrien et l'Ordovicien, aux travaux de Geukens sur le Massif de Stavelot (1986, 1999) ainsi qu'à sa notice explicative de la planche n°160 Stavelot - Malmedy (1963) ;
- pour le Dévonien, au texte explicatif sur le synclinorium de l'Eifel de Vandeven (1990) et à l'Eodévonien de l'Ardenne et des régions voisines d'Asselberghs (1946) ;
- pour le Permien, à la notice explicative de la planche n°160 Stavelot - Malmedy (Geukens, 1963) et à « Permian lithostratigraphic units, Malmedy Graben » (Bultynck et al., 2001).

Rappelons que, pour les anciennes cartes géologiques, l'unité de base est « l'assise », celle-ci constituant une unité chronostratigraphique, à la différence de la nouvelle édition où l'unité de base est la formation lithostratigraphique cartographiable à l'échelle de la carte. En outre, certains termes, anciens et locaux, ne sont plus très usités dans la terminologie actuelle (Dejonghe, 2007) :

- **Psammite** : mot utilisé jadis en Belgique pour désigner des grès micacés largement employés en construction. La forte proportion de paillettes de micas, disposés en lits parallèles, leur confère une aptitude à se débiter en feuillets ;
- **Schiste** : roche argileuse de la classe des lutites³, consolidée, ayant pris une schistosité. Notons que le mot schiste a souvent été employé en français dans le sens de shale.

³ Lutites : ensemble des roches sédimentaires détritiques dont les éléments sont de diamètre inférieur à 1/16 mm (62,5 µm)

III.2.1.1. Paléozoïque

III.2.1.1.1. Cambrien

Les deux étages du Cambrien (Devilien et Revinien) sont présents sur cette carte.

III.2.1.1.2. Devilien

Le Devilien (Dv, Cambrien inférieur) est divisé en 2 formations (Bellevaux et Hour) dans le Massif de Stavelot. Bien que celles-ci aient été reconnues, le tracé de leur limite exacte est difficile à réaliser par manque d'affleurement (**Geukens, 1963**). Elles ont donc été cartographiées en une seule unité du Devilien sur la carte hydrogéologique. L'épaisseur totale du Devilien dans le Massif de Stavelot n'est pas connue mais est supérieure à 300 m.

- Dv1 (Formation de Hour) présente des bancs épais de quartzites clairs à vert-clair séparés par des bancs de schistes verdâtres ou gris foncés et des bancs graveleux arkosiques ;
- Dv2 (Formation de Bellevaux) est formée principalement de schistes verdâtres, grès grossiers, de quartzites verts et blancs et de schistes gréseux.

III.2.1.1.3. Revinien

Les trois subdivisions du Revinien (Cambrien moyen et supérieur) sont présentes sur la carte :

- Rv 1-2 (Formation de Wanne-Pont) est caractérisée par des fins phyllades vert-bleu foncés et des quartzites vert-gris, en alternance avec des quartzites phylladeux foncés. Quelques rares bancs de 10 à 15 centimètres d'épaisseur, d'un conglomérat à éléments schisteux et quartzitiques sont présents. L'épaisseur de la Formation de Wanne-Pont est de l'ordre de 550 à 650 m ;
- Rv 3-4 (Formation de La Venne-Coo) est caractérisée par une alternance de phyllades noirs et de quartzites foncés. Les quartzites sont parfois très schisteux et micacés. Les quartzites gris-bleu sont présents en bancs très épais. La partie inférieure est caractérisée par une sédimentation rythmique (grès grossier, grès fin, siltstone, phyllade), par des quartzites bleus bien stratifiés et par des bancs psammitiques. L'épaisseur de la Formation de La Venne-Coo est de 500 m ;
- Rv 5 (Formation de La Gleize) est, comparée aux autres assises du Revinien, constituée de roches moins résistantes. Lorsque l'assise est bien développée, elle comprend une partie supérieure constituée de phyllades noirâtres contenant parfois des nodules dolomitiques, une partie médiane où les quartzophyllades prédominent sur les phyllades et une partie inférieure plus phylladeuse passant vers le bas à des roches quartzophylladeuses.

L'épaisseur de la Formation de La Gleize est inconnue dans cette partie du massif, elle est d'environ 300 m dans la partie nord du Massif de Stavelot.

III.2.1.1.4. Ordovicien

III.2.1.1.5. Salmien

Les sédiments de l'Ordovicien du Massif de Stavelot forment l'étage Salmien dont la puissance est supérieure au kilomètre. Dans le Massif de Stavelot, le Salmien est composé de trois formations dont seules les deux premières (Formation de Jalhay et Formation d'Ottre) sont présentes sur la carte. La Formation de Jalhay regroupe au niveau de la zone investiguée les Membres de Solwaster (Sm1a) et de Spa (Sm1b). Bien que la limite entre ces membres ne soit pas exempte d'incertitude, les caractéristiques géologiques et donc hydrogéologiques des deux membres impliquent que nous conservions leur distinction :

- Sm 1 (Formation de Jalhay) :
 - Sm 1a (Membre de Solwaster) est principalement composé de phyllades schisteux et micacés bleu-noir et de quartzophyllades. La base du membre est caractérisée par des bancs gréseux avec des fragments schisteux ;
 - Sm 1b (Membre de Spa) est constitué de quartzophyllades bleu-vert ou bleu-gris à stratification irrégulière. Il renferme également des niveaux phylladeux, des quartzophyllades bien stratifiés et des bancs de quartzite grisâtre.
- Sm 2 (Formation d'Ottre) est constituée d'un ensemble de phyllades et de quartzophyllades violacés.

III.2.1.1.6. Dévonien

III.2.1.1.7. Gedinnien (Lochkovien)

Cet étage repose en discordance angulaire sur les couches plissées du Salmien. La base est formée d'un conglomérat de 1 à 2 m d'épaisseur suivi d'un complexe arkosique⁴ alternant avec des schistes grisâtres et des bancs de poudingue. La série se poursuit ensuite par des schistes violacés alternant avec des quartzites et des quartzites gréseux. L'épaisseur du Dévonien inférieur au niveau d'Eupen est d'environ 160 m.

⁴ Selon Vandenven (1990), ce terme d'arkose devrait être rejeté du strict point de vue pétrographique car le contenu de ces sédiments n'atteint pas les 25% de feldspaths nécessaires pour cette dénomination.

III.2.1.1.8. Permien

La Formation de Malmedy est le seul dépôt d'âge Permien en Belgique. Il est principalement constitué par un complexe conglomératique (dont les éléments peuvent atteindre 40 cm de diamètre) à ciment schisteux rougeâtre et rarement verdâtre. Cette formation est divisée en 3 membres non différenciés lors de la cartographie. Le membre inférieur est constitué d'une brèche avec des débris quartzitiques surmontée d'un micro-conglomérat à lentilles gréseuses. Le membre intermédiaire est caractérisé par une matrice calcaro-argileuse rouge à débris calcaires fossilifères avec des intercalations de lentilles gréseuses et silteuses et de rares lits gréseux. Le membre supérieur est constitué d'une brèche avec des fragments de quartz à ciment argileux rouge. L'épaisseur de la Formation est fort variable (entre 75 et 240 m).

III.2.1.2. Mésozoïque

Une couverture de 7 km² pouvant regrouper un ou plusieurs dépôts d'âge crétacé, tertiaire ou quaternaire a été identifiée au nord-ouest de la carte (**Geukens 1963**). Des dépôts d'argile à silex dont l'épaisseur varie entre 2 et 6 m ont été observés localement (**Asselberghs & Geukens, 1959**). Vu l'imprécision quant à la nature des dépôts et la faible épaisseur de ceux-ci, ils ne seront pas considérés comme unité hydrogéologique à part entière.

III.2.1.3. Cénozoïque

III.2.1.3.1. « Tertiaire »

Quelques dépôts sableux ont été observés au nord de la carte (**Figure III.2**). Il s'agit d'un sable fin, blanchâtre avec des niveaux argileux. Ces sables ont été localement exploités.

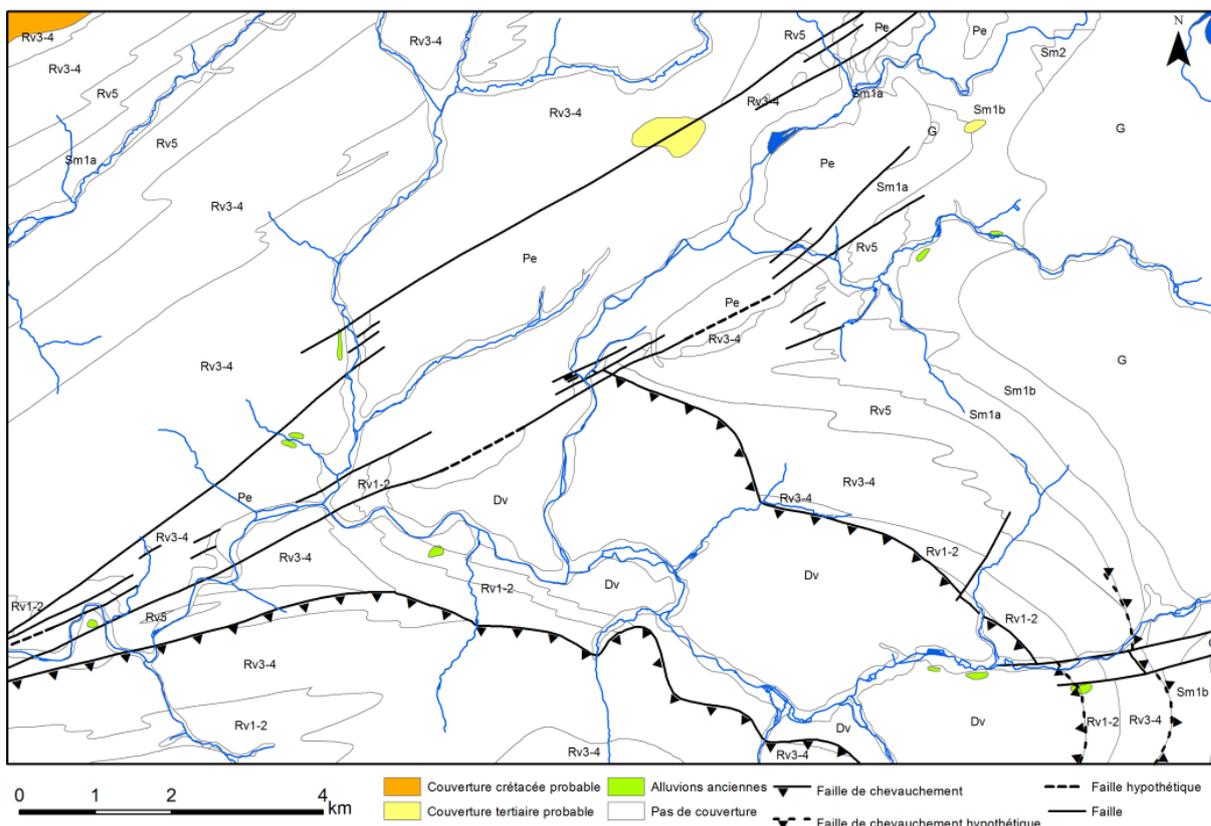


Figure III.2 : Répartition de la couverture crétacée, tertiaire et des alluvions anciennes (d'après Geukens 1963)

III.2.1.3.2. Quaternaire

Les formations du Paléozoïque sont recouvertes sur les plateaux et sur les pentes douces par des limons éoliens (lœss) d'épaisseur variable mais ne dépassant pas 10 m. Des accumulations d'origines diverses (colluvium, coulées de solifluxion, éboulis...) se déposent en pied de versant. Ces dépôts n'ont pas été représentés sur la carte hydrogéologique car cela entrainerait une surcharge rendant la carte moins lisible. De la tourbe s'est développée au-dessus des dépôts crétacés étant donné la faible perméabilité du sol et l'écoulement déficient.

Des alluvions anciennes (Ala) ont également été cartographiées. Les terrasses, souvent recouvertes par des éboulis de pente, ne sont donc pas aisément identifiables. Cependant, des terrasses peuvent être observées le long de l'Amblève, de l'Eau rouge et de la Warche.

Des dépôts alluvionnaires récents (Amo) sont présents dans les lits mineur et majeur de cours d'eau et leur extension est fonction de la dureté des roches affleurantes. Un environnement relativement dur, tels que les quartzites du Revinien, ne permet pas à un cours d'eau de disposer d'une plaine alluviale développée. *A contrario*, l'extension de la plaine alluviale dans les poudingues relativement tendres du Permien est nettement plus

développée ce qui implique que les dépôts alluvionnaires récents y occuperont un espace nettement plus étendu.

III.2.2. Cadre structural

Le cadre structural de la région de Stavelot - Malmedy est relativement complexe. En effet, rappelons que trois mouvements tectoniques majeurs ont affecté cette zone : l'orogénèse calédonienne, l'orogénèse varisque (ou hercynienne) et la formation du Graben de Malmedy. Il en résulte de nombreuses failles (*Figure III.3*). On peut observer des failles de charriage, des failles normales, des failles subverticales. Seules les failles principales sont cartographiées sur les documents géologiques à notre disposition. Il faut également garder à l'esprit qu'une ligne de faille figurée sur la carte peut être en réalité, non pas une cassure unique, mais une zone faillée.

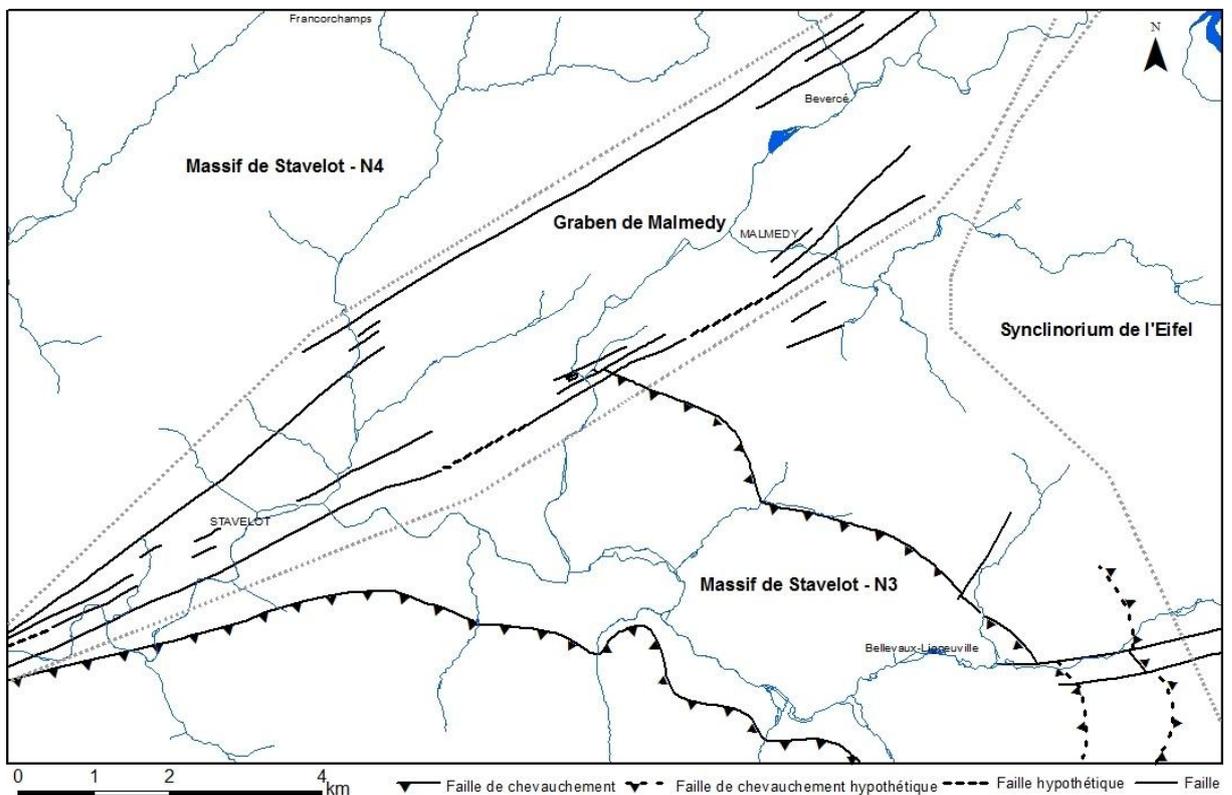


Figure III.3 : Cadre structural de la carte Stavelot - Malmedy

Trois structures tectoniques sont observées sur la carte Stavelot - Malmedy :

- le Massif de Stavelot correspond à l'axe de pli de l'Anticlinorium de l'Ardenne ;
- le Synclinorium de l'Eifel, équivalent oriental du Synclinorium de Neufchâteau, il est associé à l'Anticlinorium de l'Ardenne ;
- le Graben de Malmedy.

Geukens (**1986**) a découpé le Massif de Stavelot en plusieurs nappes de charriage (*Figure III.4*). Le Cambrien moyen est déplacé vers le nord sur les formations plus jeunes. La structure tectonique du Massif de Stavelot est différente de part et d'autre de la faille de Xhoris qui sépare les nappes N1, N2, N3 (au sud, direction calédonienne [est-ouest] dominante) des nappes N4, M5 (au nord, direction varisque [N40°E] dominante). L'existence et le tracé de cette faille ont été perçus différemment au cours du temps selon l'état des connaissances géologiques et selon l'interprétation du géologue-cartographe. Au niveau de la carte Stavelot - Malmedy, elle ne figure pas sur la carte géologique (**Geukens, 1963**) qui a servi de base au tracé des unités hydrogéologiques de la carte Stavelot - Malmedy alors qu'elle est présente, bien que le tracé diffère, sur les cartes du Massif de Stavelot de 1986 et 1999 de Geukens. La carte Stavelot - Malmedy est située dans les nappes N3 et N4 (terrains allochtones).

La nappe N3 présente une orientation est-ouest jusqu'à N120°E des plis. La nappe présente des structures différentes entre l'est et l'ouest de la carte, structures séparées par un dôme Devilien (dôme de Falize-Ligneuville). L'est de la nappe est caractérisé par des structures à cœur salmien (synclinal de la Warche et anticlinal de Monbijou-Diffлот). L'ouest présente un synclinal à noyau revinien (synclinal du Bois de l'Abbaye) et un anticlinal à cœur revinien (anticlinal de Wannerenval). La structure du dôme semble être différente du reste du Revinien. Le dôme Devilien est caractérisé par deux phases tectoniques calédoniennes et est limité par des failles de charriage qui le mettent en contact avec le Revinien. Lors du plissement hercynien, le massif Devilien a formé un important noyau de résistance au déplacement vers le nord des formations se trouvant plus au sud, cette résistance au déplacement explique l'orientation est-ouest des failles.

La nappe N4 est caractérisée par une direction N40°E, elle comprend un synclinal à noyau salmien (synclinal du Roannai) dont la direction de l'axe du pli est de N50°E et dont l'anticlinal qui lui est associé est faillé.

A l'est du Massif de Stavelot (Anticlinorium de l'Ardenne), se trouve le flanc nord du bassin de l'Eifel. Le Gedinnien du Synclinorium de l'Eifel repose en discordance angulaire sur les couches du Massif de Stavelot. Il présente un aspect monoclinale incliné vers le sud-est (40 à 50° de pendage).

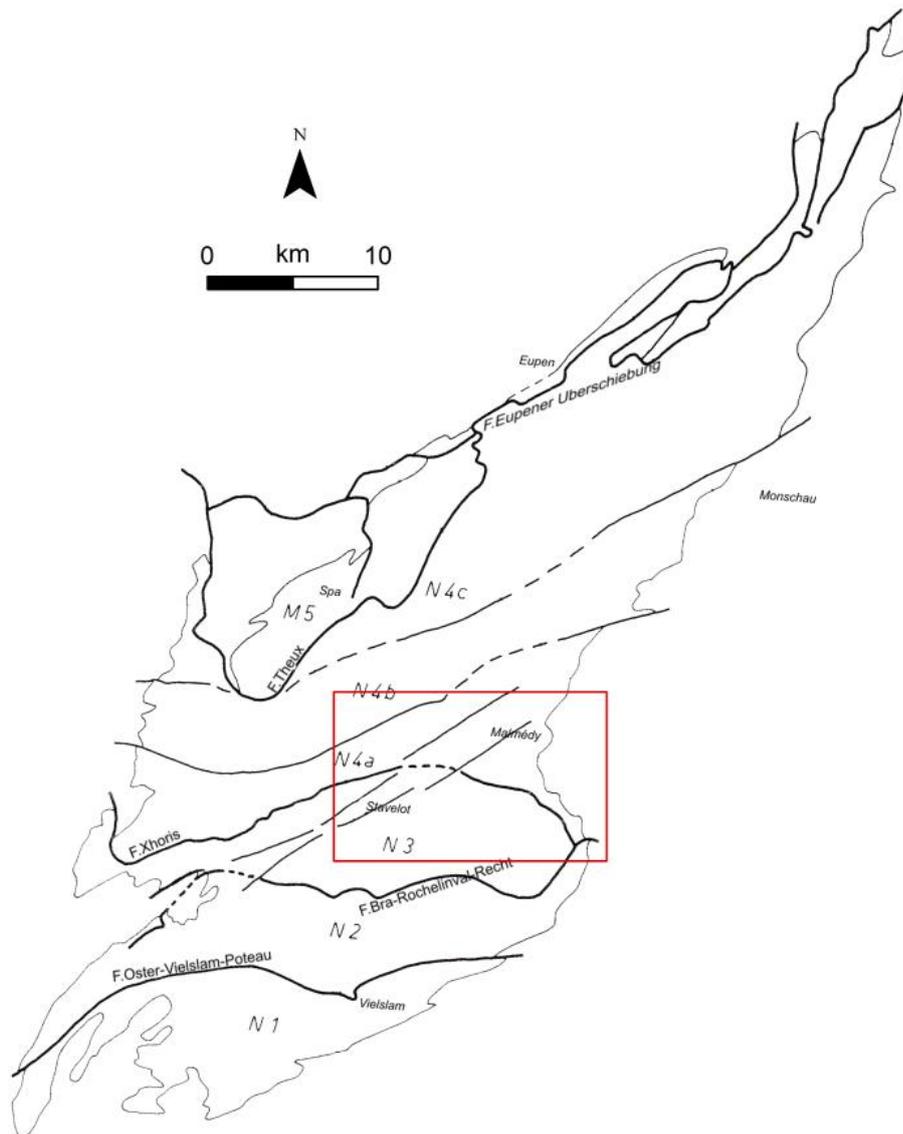


Figure III.4 : Cadre structural schématique du Massif de Stavelot. Stavelot - Malmedy (Geukens, 1986 ; modifié)

La formation du Graben de Malmedy (qui s'étire sur une vingtaine de kilomètres entre Basse-Bodeux et Xhoffraix, SW-NE) a affecté d'une part les failles qui limitent ce fossé d'effondrement et d'autre part un certain nombre de cassures du socle qui sont en relation avec cette manifestation tectonique. Les failles bordières du Graben de Malmedy, mises en évidence par l'extension du Gedinnien et les dépôts permien, convergent vers la confluence de la Salm et de l'Amblève à Trois-Ponts (**Geukens, 1986 ; Geukens, 1999**).

Les failles et axes de fracturation jouent un rôle important dans l'hydrogéologie régionale puisqu'elles correspondent soit à des zones d'écoulement préférentiel des eaux souterraines, soit à des zones peu perméables (formant des écrans ou des seuils hydrogéologiques).

III.2.3. Carrières

Quatre carrières sont recensées au niveau de cette zone :

1. La *carrière de Lasnerville* exploite des quartzites pour en faire du concassé (**Poty & Chevalier, 2004**) ;
2. La *carrière de la Warche* exploite des grès schisteux pour en faire des pierres de construction, des pierres de jardin, des gabions et des pierres d'intérieur (production de type marbrière) ;
3. La *carrière Schauss et de la Warchenne* exploite l'arkose de Waimes pour en faire des pierres de construction. Notons que le terme d'arkose est abusif car les 25 % de grains de feldspaths requis pour la dénomination d'arkose ne sont pas atteints.

IV. CADRE HYDROGÉOLOGIQUE

A l'échelle de la Wallonie, les ressources en eau souterraine de la carte Stavelot - Malmedy ne constituent pas une réserve régionalement importante, à côté des aquifères calcaires du Carbonifère et des aquifères crayeux du Crétacé (Figure IV.1). Les ressources en eau souterraine de la région étudiée sont localisées dans les terrains du Cambro-ordovicien du Massif de Stavelot, dans les terrains du Dévonien inférieur et dans les formations du Permien.

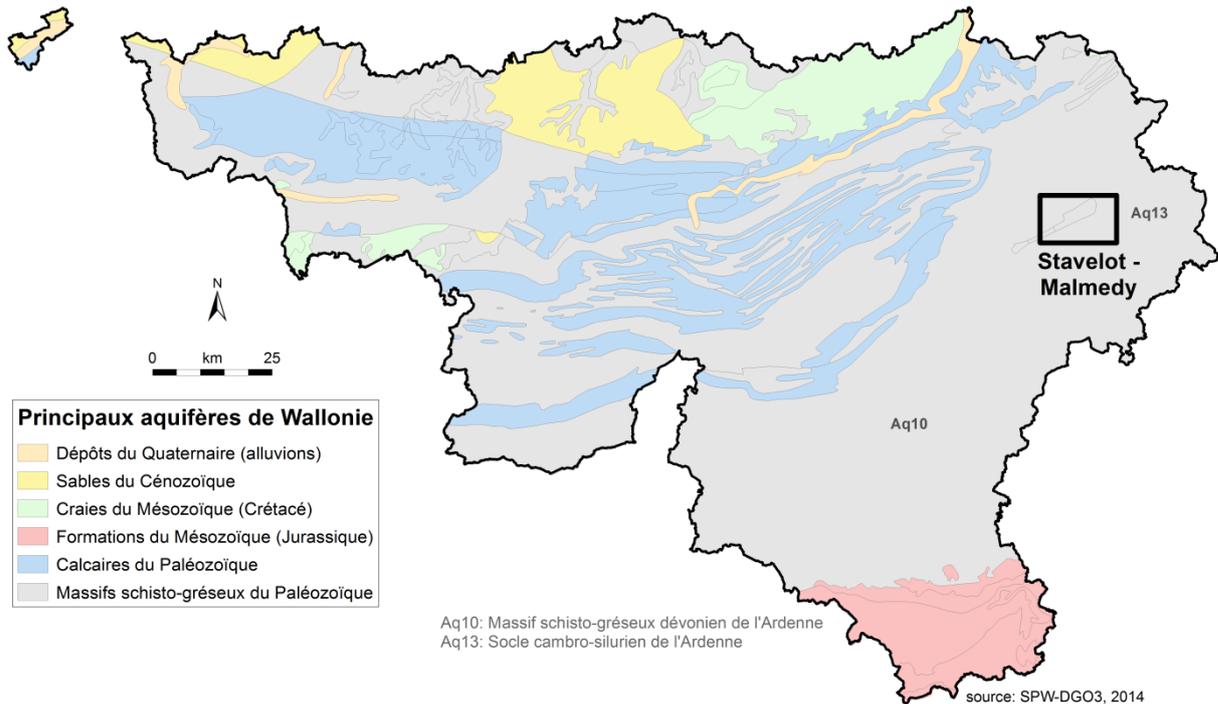


Figure IV.1 : Principaux aquifères de Wallonie – Carte de Stavelot - Malmedy (SPW-DGO3, 2014 ; modifié)

Plusieurs unités hydrogéologiques, dans le socle paléozoïque, ont été définies pour la carte Stavelot - Malmedy. Bien que non cartographiées à cause de leurs faibles extensions et du manque de connaissances les concernant, les unités du Mésocénozoïque seront aussi abordées. Plusieurs sites de captages destinés à la distribution publique d'eau potable sont recensés (Administrations Communales d'Amel et de Waimes, SWDE). Les eaux souterraines sont également sollicitées par des exploitants privés (particuliers, agriculteurs, sociétés). On compte, sur cette carte, autant de prises d'eau par gravité que par pompage.

Les formations géologiques sont regroupées en fonction de leurs caractéristiques hydrodynamiques. Trois termes sont utilisés pour décrire les unités hydrogéologiques, selon le caractère plus ou moins perméable des formations (Pfannkuch, 1990 ; UNESCO, 1992) :

- **Aquifère** : formation perméable contenant de l'eau en quantités exploitables ;

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

Ces définitions assez subjectives sont à manipuler avec précautions. Elles sont utilisées ici afin de renseigner, à une échelle régionale, le caractère globalement perméable, semi-perméable ou peu perméable d'un ensemble de couches géologiques. Elles donnent une idée du potentiel économique que représentent les différentes unités hydrogéologiques en termes d'exploitation. Elles se basent sur la description lithologique de ces unités (formations ou ensembles de formations). Certaines formations géologiques voient leur faciès changer latéralement, il est donc 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).

IV.1. DESCRIPTION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES

Les unités hydrogéologiques définies pour la carte Stavelot - Malmedy sont décrites ci-dessous dans l'ordre stratigraphique, des plus anciennes vers les plus récentes (*Tableau IV.1*).

IV.1.1. Paléozoïque

Le terme générique « Cambro-Silurien » est utilisé même si, dans le cas de cette carte, les formations du Silurien sont absentes.

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

Cette unité hydrogéologique couvre 48 % de la superficie de la carte Stavelot - Malmedy. Elle est constituée du groupe de Deville (Dv1 et 2) et de la Formation de La Venne-Coo (Rv3-4).

Le groupe de Deville, formé d'un complexe schisto-quartzitique alternant avec des phyllades, est considéré comme une formation géologique disposant dans sa globalité d'une faible perméabilité. Des niveaux plus perméables logés dans les horizons quartzitiques sont observés.

Tableau IV.1 : Unités hydrogéologiques de la carte Stavelot - Malmedy

Ere	Système	Série	Etage	Abréviation	Lithologie	Unités hydrogéologiques
Cénozoïque	Holocène			amo		Aquifère alluvial
				t	Dépôts tourbeux (sphaignes)	Aquifère des tourbes (non cartographié)
	Pléistocène			q	Limon, cailloux, argile, sable	Aquitard limoneux (non cartographié)
				ala	Terrasses fluviatiles	Aquifère des terrasses fluviatiles
Paléogène	Oligo-/Eo-/Paléocène		Te	Sable	Aquifère des sables de remplissage	
Mésozoïque	Crétacé	Sénonien			Débris de silex	Aquifère des craies du Crétacé (non cartographié)
Paléozoïque	Permien			Pe	Poudingue de Malmedy	Aquifère du Permien
	Dévonien	Inférieur	Gedinnien (Lochkovien)	G	Succession verticale (de haut en bas) : Quartzites gréseux / Schistes et quartzites / Complexe arkosique avec schistes et poudingue / Conglomérats	Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur
	Ordovicien	Inférieur	Salmien supérieur	Sm2	Schistes et quartzophyllades	Aquiclude à niveaux aquitards du socle cambro-silurien
				Sm1b	Quartzophyllades	Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien
			Salmien inférieur	Sm1a	Phyllades et quartzophyllades, et à la base bancs gréseux avec des fragments schisteux	
	Cambrien	Supérieur et Moyen	Revinien	Rv5	Alternance de phyllades et de quartzophyllades	Aquiclude à niveaux aquitards du socle cambro-silurien
				Rv3-4	Alternance de bancs de quartzites et de phyllades	Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien
				Rv1-2	Phyllades et quartzites en alternance avec des quartzites phylladeux	Aquitard du socle cambro-silurien
		Inférieur	Devilien	Dv2	Grès, schistes et schistes gréseux	Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien
				Dv1	Quartzites séparés par des bancs de schistes et d'arkose	

La Formation de La Venne-Coo (Rv3-4) est constituée de deux lithologies aux propriétés hydrodynamiques distinctes. Les bancs de quartzites, surtout lorsqu'ils sont faillés, facilitent l'écoulement de l'eau par rapport aux bancs de phyllades nettement moins perméables. Les couches quartzitiques constituent donc les niveaux aquifères dans cette masse peu perméable.

IV.1.1.2. Aquitard du socle cambro-ordovicien

Une seule formation géologique constitue cette unité hydrogéologique couvrant environ 5 % de la superficie de la carte. Le Revinien inférieur (Rv1-2), aussi appelé Formation de Wanne-Pont, est constitué de phyllades et de quartzites en alternance avec des quartzites phylladeux.

IV.1.1.3. Aquiclude à niveaux aquitards du socle cambro-silurien

Cette unité hydrogéologique couvre environ 7 % de la superficie de la carte. Elle est constituée de La Formation de la Gleize (Rv5) et de la Formation d'Otré (Sm3). La Formation de la Gleize (Rv5) présente une succession de quartzophyllades et de phyllades. La Formation d'Otré (Sm3) est principalement formée de schistes et de quartzophyllades.

IV.1.1.4. Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien

Affleurant en divers endroits, le Salmien inférieur (Sm1) couvre environ 11 % de la carte Stavelot - Malmedy. Les deux membres de la Formation de Jalhay composent l'aquitard à niveaux aquifères du Cambro-Silurien. Le Membre de Solwaster (Sm1a) composé de nombreuses lithologies, dont la masse principale est un mélange de phyllades et de quartzophyllades et dont sa base est constituée de bancs gréseux. Le Membre de Spa (Sm1b) est constitué de quartzophyllades.

IV.1.1.5. Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur

Le *Lochkovien*, anciennement appelé Gedinnien (G), est composé de différentes lithologies aux caractéristiques hydrodynamiques contrastées. Les schistes prédominants dans cette formation constituent la masse aquiclude de l'unité hydrogéologique. Néanmoins, les zones gréseuses ou de poudingue, qui sont plus perméables à l'eau, constituent des niveaux aquifères non négligeables. Cette unité occupe l'est de la carte et couvre environ 10 % de sa superficie.

IV.1.1.6. Aquifère du Permien

Le Permien est représenté par le poudingue de Malmedy et occupe 12 % de la superficie de la carte. Il est principalement constitué par un complexe conglomératique à ciment schisteux calcaro-argileux. De plus, le Permien est parcouru de failles qui peuvent faciliter le passage de l'eau souterraine.

IV.1.2. Mésozoïque et Cénozoïque

Des unités hydrogéologiques du Méso-Cénozoïque, l'Aquifère des craies du Crétacé, l'Aquitard limoneux et l'Aquitard tourbeux n'ont pas été représentés sur la carte principale du poster par manque d'informations précises sur leur extension (dépôts épars) ou, à l'inverse, parce qu'elles s'étendent sur une grande surface (les dessiner masquerait les unités du socle).

IV.1.2.1. Aquifère des craies du Crétacé

Des restes d'une couverture crayeuse datant du Mésozoïque (Crétacé) sont observés sur le plateau des Hautes-Fagnes. Cependant, de nombreuses imprécisions perdurent sur l'épaisseur de ces dépôts de silex et argiles à silex, très peu perméables, et sur leur extension (dépôts épars). Sur cette carte, ces dépôts résiduels présentent davantage les caractéristiques d'un aquitard, voire d'un aquiclude. Leur rôle hydrogéologique est très négligeable (extension réduite). L'utilisation de l'appellation « Aquifère des craies du Crétacé » répond ici au souci de cohérence avec les termes génériques définis pour la carte hydrogéologique de Wallonie.

IV.1.2.2. Aquifère des sables de remplissage

Les dépôts sableux présentent des capacités aquifères intéressantes mais réduites car ils sont souvent ici de faible extension et assez hétérogènes (sables, argiles,...). Ils constituent donc de petites nappes très locales, souvent temporaires. Ils jouent également le rôle de filtre pour les nappes sous-jacentes.

IV.1.2.3. Aquifère des terrasses fluviales

Les dépôts alluvionnaires anciens formant les terrasses fluviales sont essentiellement composés de graviers et de sables offrant des potentialités aquifères intéressantes, si leur extension le permet. Les niveaux limoneux et argileux peuvent induire localement de petites nappes perchées temporaires. Les nappes des terrasses sont alimentées par les eaux de précipitation et l'apport des nappes des versants. L'exutoire de ces nappes correspond à la base avale de la terrasse, limitant fortement la capacité de

stockage des terrains. Sur un substratum perméable, ces nappes peuvent également alimenter l'aquifère sous-jacent.

IV.1.2.4. Aquitard limoneux

Les limons, épais de quelques décimètres à quelques mètres, jouent un rôle protecteur lors de l'infiltration des eaux météoriques : l'infiltration est retardée dans le temps et un « effet de filtration » se produit par des processus physico-bio-chimiques en zone partiellement saturée. Cependant, cette couverture limoneuse n'est pas uniforme sur l'ensemble de la carte. Ces dépôts ne sont pas cartographiés sur la carte.

IV.1.2.5. Aquifère des tourbes

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

IV.1.2.6. Aquifère alluvial

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

IV.2. DESCRIPTION DE L'HYDROGEOLOGIE

Les ressources en eaux souterraines du territoire couvert par la carte Stavelot - Malmedy sont essentiellement situées dans les terrains grés-quartzitiques du Dévonien inférieur du Synclinorium de l'Eifel, dans les niveaux quartzitiques et quartzophylladeux du Cambro-ordovicien du Massif de Stavelot et dans le poudingue de Malmedy du Permien. Les dépôts alluvionnaires sont modérément développés et représentent une ressource en eau souterraine limitée (intérêt purement local, comparé à la plaine alluviale de la Meuse). 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. Toutes les unités hydrogéologiques de la carte

Stavelot - Malmedy ne sont pas abordées avec le même degré de détails, étant donné le faible jeu de données disponibles pour certaines d'entre elles.

Deux types de nappes peuvent se rencontrer dans les terrains présents :

- Une nappe superficielle (nappe libre) développée essentiellement dans le manteau d'altération. Cet aquifère, parfois perché, est généralement de faible capacité et temporaire ; il est rechargé par les importantes précipitations automnales et hivernales. Durant les périodes sèches, il se vide via les sources et le réseau hydrographique et peut finir par se tarir (en fonction de sa capacité et des précipitations antérieures). Ce type d'aquifère est très vulnérable aux activités développées en surface ;
- Une nappe profonde dans les niveaux fracturés et fissurés du bed-rock. La quantité d'eau qui peut être stockée dans ces fractures et la facilité avec laquelle celle-ci peut s'y déplacer dépendra essentiellement de la nature de la roche. Ce type d'aquifère est généralement mieux protégé des activités anthropiques. Les couches moins perméables (shales, schistes) peuvent rendre localement la nappe sous-jacente captive.

Dans ces deux types d'aquifères, sur la carte Stavelot - Malmedy, l'eau est douce avec généralement de faibles valeurs de pH. Elle est souvent ferrugineuse. Les ressources en eaux souterraines des différentes unités hydrogéologiques de la carte sont de faible importance comparées aux aquifères calcaires, crayeux ou grés-sableux. Elles ne sont cependant pas négligeables puisqu'elles constituent souvent la seule ressource aquifère des communes. La dispersion de la population en petites agglomérations ou en habitations isolées, d'accès difficiles par le réseau de distribution, est un autre élément à considérer. D'après Derycke *et al.* (1982), la solution idéale pour exploiter ces différentes unités est d'alterner les prélèvements entre les deux types d'aquifères :

- le captage de la nappe phréatique par drains et puits peu profonds avec mise en réserve de la circulation profonde, pendant la période de hautes eaux ;
- le captage par puits profonds au moment où la nappe phréatique est asséchée pendant la période d'étiage.

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

- Les roches sont carbonatées : l'altération entraîne une dissolution de la roche et un agrandissement du réseau de fractures existant. La perméabilité est augmentée ;

- Les roches sont des grès ou quartzites : l'altération produit un terrain sableux, ce dernier présente une plus grande conductivité hydraulique et la porosité efficace est augmentée. Les fractures peuvent agir comme des drains ;
- Les roches sont des shales/schistes : l'altération produit un terrain très argileux qui colmate le réseau de fractures et rend peu perméable le colluvium. La perméabilité est diminuée.

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

IV.2.1. Massif de Stavelot

Le Massif de Stavelot couvre environ 75 % de la superficie de la carte Stavelot - Malmedy. Quatre unités hydrogéologiques sont distinguées au sein des terrains cambro-silurien :

- Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien ;
- Aquitard du socle cambro-silurien ;
- Aquiclude à niveaux aquitards du socle cambro-silurien ;
- Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien.

Reposant sur ces roches paléozoïques, les terrains de couverture (alluvions, limons, tourbes, sables) ne constituent pas, sur cette carte, des ressources majeures en eau souterraine. Les alluvions sont peu développées. La couche limoneuse est relativement peu épaisse. Les dépôts sableux sont épars et s'étendent sur de faibles superficies.

On dénombre 164 ouvrages situés au droit des terrains du socle cambro-silurien. La répartition entre les prises d'eau par pompage (puits) et les prises d'eau par gravité (drains, sources, galeries) est à peu près équivalente. Une dizaine de niveaux d'eau ont pu être mesurés au droit des puits et piézomètres. Ces cotes piézométriques ponctuelles sont indiquées sur la carte hydrogéologique principale du poster. Les profondeurs d'eau observées vont du mètre à une vingtaine de mètres. La profondeur des puits est très variable, de quelques mètres à une centaine de mètres. Les premiers exploitent la nappe superficielle logée dans le manteau d'altération. Les seconds sollicitent les horizons fracturés plus en profondeur. Quelques-uns de ces puits profonds ont des cotes piézométriques relativement proches de la surface topographique (*Tableau IV.2*), démontrant que l'horizon aquifère qu'ils recoupent en profondeur est captif.

Tableau IV.2 : Mesures piézométriques dans différents puits profonds du Massif de Stavelot

Nom	Profondeur	Type	Date	Profondeurs d'eau (m)	Cotes piézométriques (m)
Troisfontaines	56	PF	31/10/2011	14	423
Lavaulx	30	PF	15/10/2011	2	416
Jost	99	PF	15/11/2011	27	482

Dans la localité de Wanne (Trois-Ponts), au lieu-dit Petit-Spai, une étude hydrogéologique a été réalisée (**Derycke, 1995**) afin de connaître les potentialités aquifères en vue de l'alimentation en eau d'un village de vacances. Trois puits ont été forés (profondeur de 59 à 91 m). Seuls les puits nommés AD1 et AD3 sont situés sur la carte Stavelot - Malmedy. Ces ouvrages sollicitent l'aquiclude à niveaux aquifères logé dans les terrains cambriens du Massif de Stavelot. Les niveaux d'eau statiques mesurés avant les différents essais de pompage indiquent une nappe relativement proche de la surface. Au droit d'AD1, l'eau est à environ 2 m de profondeur, à une dizaine de mètres pour AD2 et à environ 6 m pour AD3. Lors des pompages par paliers sur AD2 et AD3, aucune interaction n'a été constatée entre les puits. La transmissivité moyenne calculée à partir de ces essais de pompage varie entre 0,94 et $1,58 \times 10^{-4}$ m²/s (**Derycke, 1995**).

IV.2.2. Synclinorium de l'Eifel

Le Synclinorium de l'Eifel couvre environ 10 % de la superficie de la carte Stavelot - Malmedy (partie orientale de la carte). Ces terrains constituent des ressources en eau pour l'alimentation des localités avoisinantes. Certes, il ne s'agit pas d'une ressource en eau souterraine d'importance régionale mais son intérêt pour la distribution locale est certain. Une seule unité hydrogéologique est présente au niveau du Dévonien : l'Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur.

Une trentaine d'ouvrages sont situés au droit des terrains du Dévonien inférieur du Synclinorium de l'Eifel. La répartition entre les prises d'eau par pompage (puits) et les prises d'eau par gravité (drains, sources, galeries) est à peu près équivalente. Une dizaine de niveaux d'eau ont pu être mesurés au droit des puits et piézomètres. Ces cotes piézométriques ponctuelles sont indiquées sur la carte hydrogéologique principale du poster. Les profondeurs d'eau observées vont du mètre à quelques dizaines de mètres (maximum 40 m). Cependant, les niveaux d'eau ont peut-être été influencés par des pompages sporadiques menés par l'Administration Communale de Waimes. La majorité des puits investigués ont été foré à des profondeurs importantes (> 40 m). Ils sollicitent donc essentiellement la nappe logée dans les terrains fissurés du bed-rock. Quelques-uns de ces puits profonds ont des cotes piézométriques relativement proches de la surface

topographique (*Tableau IV.3*), démontrant que certains horizons aquifères qu'ils recourent en profondeur sont captifs.

Tableau IV.3 : Mesures piézométriques dans différents puits profonds du Synclinorium de l'Eifel

Nom	Profondeur	Type	Date	Profondeurs d'eau (m)	Cotes piézométriques (m)
Forage de Thirimont	60	PF	24/01/2012	4	545
Hottleux	97	PF	24/01/2012	34	509
Perron	39	PF	07/06/2010	5	546

La commune de Waimes possède plusieurs prises d'eau situées sur le territoire de la carte Stavelot - Malmedy (*Figure IV.2*). Dans le cadre de la détermination des zones de prévention autour de ses captages, des études hydrogéologiques ont été réalisées. Selon la nature de la prise d'eau et son importance, les investigations sont plus ou moins poussées.

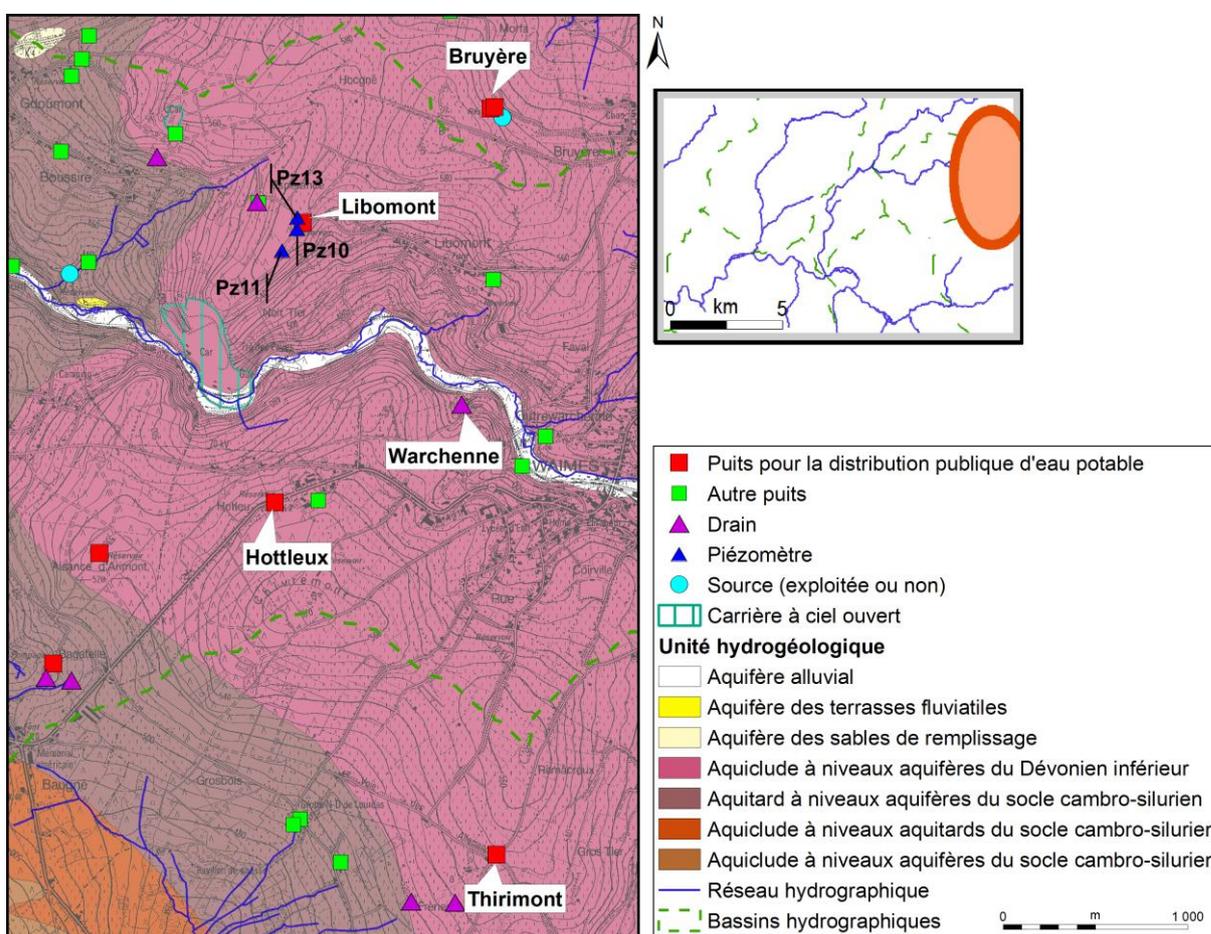


Figure IV.2 : Captages de la Commune de Waimes – carte de Stavelot - Malmedy

Sur le site « Bruyère » (NE de la carte), la commune exploite deux forages : un puits, foré en 1984, de 64 m de profondeur (Ancien Puits) et un puits, foré en 2004, de 72 m de profondeur (Nouveau Puits ou Forage 2004). Ils sollicitent les niveaux gréseux et quartzitiques fracturés de l'Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur. Ils sont

crépinés jusqu'à environ 20 m de la surface du sol. Quelques niveaux d'eau y ont été mesurés (*Tableau IV.4*). Sur base de ces quelques données, la profondeur de l'eau peut varier d'une dizaine de mètres. Les essais de pompage menés sur ces ouvrages (dont les résultats sont présentés au chapitre VII) indiquent une conductivité hydraulique assez variable, très probablement liée au degré de fracturation de la zone sollicitée (**SGS, 2014a**).

Tableau IV.4 : Mesures piézométriques dans les forages « Bruyère » (Commune de Waimes)

Date	Ancien Puits (Z _{ref} : 576,8 m)	Nouveau Puits (Z _{ref} : 573,5 m)
06/08/1998	554,1 m	-
08/08/2006	548,9 m	546,3 m
28/08/2006	551,02 m	551,02 m
19/01/2010	553,8 m	554,8 m
24/01/2012	556,5 m	556 m

Au sud-ouest du site de Bruyère, le captage de Libomont au lieu-dit Espérance sollicite la même unité hydrogéologique via un puits de 87 m de profondeur. Cette prise d'eau se situe au nord-est de la carrière Bordawé dont trois piézomètres sont situés à proximité du puits (*Figure IV.2*). L'écoulement principal des eaux souterraines est dirigé vers le sud-ouest, une direction secondaire est aussi observée, vers le nord-ouest. Les essais de pompage ont permis d'estimer une conductivité hydraulique moyenne de l'ordre de $2,9 \times 10^{-5}$ m/s (**GEOLYS, 2015**).

La prise d'eau 'Warchenne' est composée d'un réseau de drains, d'une longueur entre 4 et 13 m, implantés entre 0,9 et 2 m de profondeur. Ils sollicitent l'Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur. La Warchenne passe à une centaine de mètres au nord du site. Le débit global du captage a été suivi sur une année complète (2011). Ce débit total correspond au débit des drains, y compris les trop-pleins (captage et réservoir). Logiquement, le débit diminue en période estivale (environ 65 % du débit moyen annuel qui était de 72 355 m³/an en 2011). Environ 36 % de ce débit total est rejeté vers le ruisseau de la Warchenne (trop-pleins) (**GEOLYS, 2014**).

Situé également dans le bassin-versant de la Warchenne, la prise d'eau d'Hottleux est un forage de 97 m de profondeur sollicitant les horizons gréso-quartzitiques fracturés du Dévonien inférieur. Quelques niveaux statiques ont été mesurés. La nappe est à environ 30-35 de mètres de profondeur (*Tableau IV.5*). Cependant, vu le faible jeu de données, il n'est pas possible de déterminer si ce niveau est stable dans le temps ou fluctue selon les saisons.

Tableau IV.5 : Mesures piézométriques dans le forage 'Hottleux' (Commune de Waimes)

Date	Puits Hottleux (Z _{ref} : 542,86 m)
22/11/1977	507,86 m
29/03/1978	510,91 m
11/08/1998	508,99 m
Juillet 2002	503,86 m
31/05/2010	508,21 m
02/03/2011	509,34 m
09/03/2011	509,44 m
14/03/2011	509,28 m

Au printemps 2011, un essai de pompage a eu lieu (**SGS, 2014b**). Les conductivités hydrauliques obtenues (10^{-5} m/s) montrent que la zone sollicitée par le captage est assez bien fracturée. Cependant, elles diminuent en cours de pompage indiquant que des zones un peu moins fracturées et perméables sont atteintes.

IV.2.2.1. Etude hydrogéologique sur les incidences potentielles de l'extension de la carrière de la Warchenne à Waimes

En 2004, une étude hydrogéologique concernant les incidences potentielles de l'extension de la carrière de la Warchenne sur l'environnement a été menée conjointement par le bureau d'étude Aries Consultants et l'Unité d'Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement de l'Université de Liège (**HGE-ULg, 2006**). Cette étude avait pour but de déterminer l'impact d'une extension de la carrière sur les captages situés à proximité. Elle a consisté en une synthèse des données existantes, une campagne de mesures sur le terrain (implantation de piézomètres, relevés piézométriques, essais de pompage) et une phase de modélisation. Les résultats de l'essai de pompage sont présentés au **Chapitre VIII**.

En 2006, un complément d'étude hydrogéologique sur les incidences potentielles de l'extension de la carrière de la Warchenne a été réalisé par HGE-ULg. Les limites projetées de la zone d'extension ont été reculées et le projet d'exploitation a été affiné par rapport à l'étude de 2004.

La carrière de la Warchenne se trouve sur la bordure occidentale du Synclinorium de l'Eifel dans des roches du Dévonien inférieur (**Figure IV.3**). Les roches exploitées sont des grès grenus et connus dans la région sous le nom d'arkose de Waimes. Elle est située en rive droite de la Warchenne à proximité de quelques captages publics.

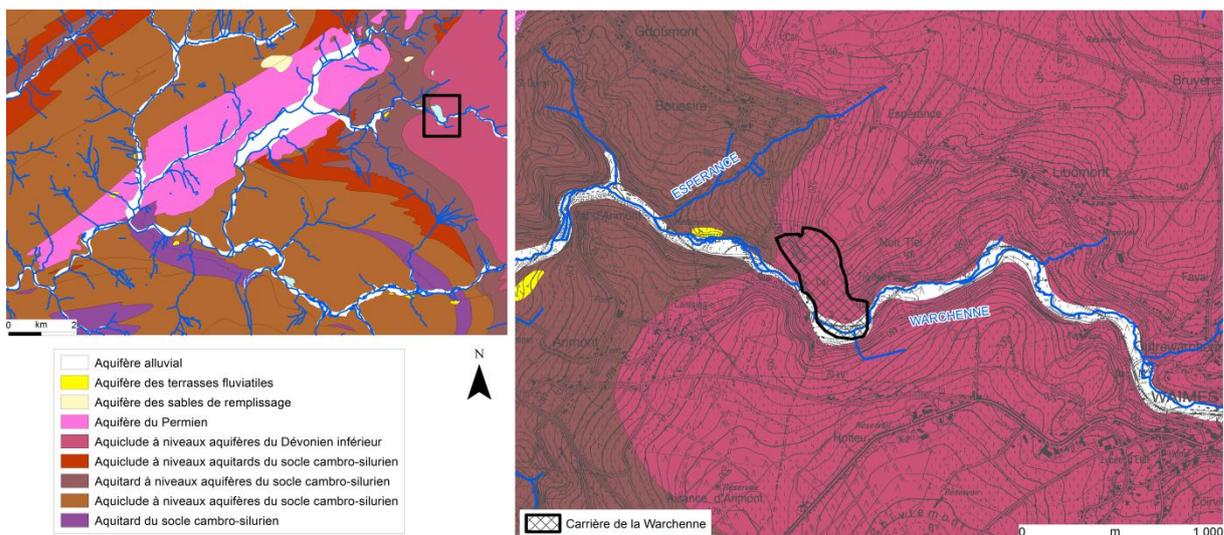


Figure IV.3 : Localisation de la carrière de la Warchenne

Sur base de précédentes études effectuées par Electrabel et en tenant compte d'un coefficient d'infiltration correspondant à 1/3 de la pluie efficace, la recharge annuelle moyenne de l'aquifère est estimée à 300 mm/an (moyenne entre 1990 et 2000). Les valeurs minimales et maximales pour la recharge de la nappe durant cette période sont respectivement de l'ordre de 135 et 395 mm/an.

Des mesures piézométriques ont été réalisées au niveau de puits privés et de captages ainsi que dans 5 piézomètres forés pour l'étude. Ces piézomètres, situés dans la zone d'extension de la carrière sont, à terme, voués à disparaître (ils ne sont donc pas représentés sur le poster). Onze sources, anciennement captées par Electrabel pour le compte de la commune de Malmedy (alimentation en eau potable) ont également été relevées. Les hauteurs d'eau de ces ouvrages et l'altitude des sources ont permis de tracer une carte piézométrique locale (*Figure IV.4*). Cette carte montre que l'aquifère est drainé par le ruisseau de l'Espérance ainsi que par la Warchenne. Les hauteurs d'eau ont été utilisées pour calibrer le modèle hydrogéologique. Le gradient piézométrique très important existant entre les captages et le front de taille de la carrière (qui est complètement sec) ne peut pas être expliqué dans des conditions hydrogéologiques homogènes. Une modélisation 2D verticale a montré qu'une explication plausible serait la présence d'une zone moins perméable entre les captages et le front de taille de la carrière. Ce modèle a également permis de montrer que l'impact de l'extension de la carrière sera conditionné par les caractéristiques de cette zone moins perméable.

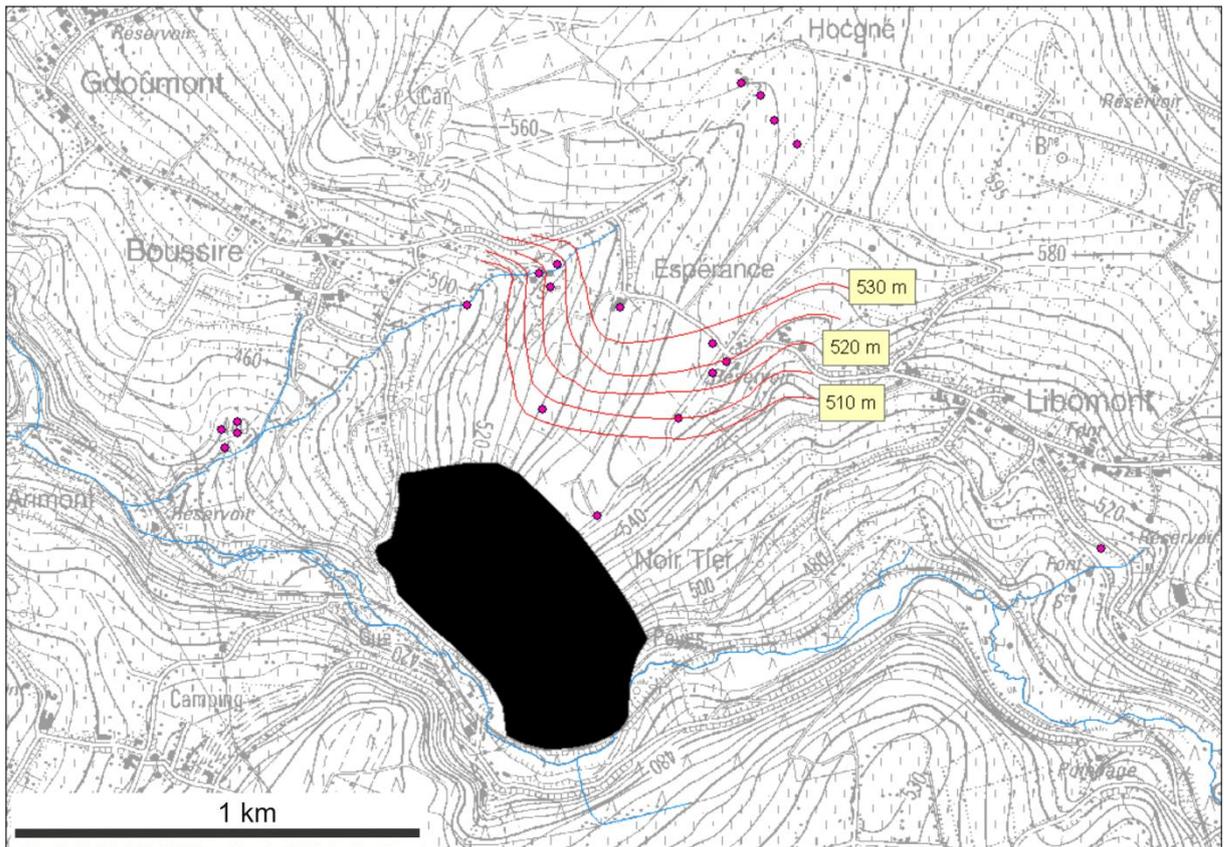


Figure IV.4 : Carte piézométrique locale près de la carrière de la Warchenne tracée sur base des observations de terrain (Aries & HGE-ULg, 2004, modifié)

Un modèle 2D horizontal a également été développé en vue de déterminer l'impact de l'extension de la carrière sur l'hydrogéologie locale. Les simulations effectuées lors du complément d'étude en 2006 indiquent que l'impact de l'extension de la carrière devrait se marquer principalement par un rabattement important des niveaux piézométriques à proximité du front de taille de la carrière. Cette influence est cependant très vite atténuée lorsque l'on s'éloigne de la carrière. La modélisation avec remblais stockés dans la fosse d'extraction indiquent que ceux-ci ont une influence très faible sur les impacts liés à l'extension de la carrière. Il subsiste cependant toujours une inconnue concernant la zone peu perméable qui semble être présente entre les captages et le front de taille. Celle-ci devrait, en effet, atténuer les impacts d'une extension de la carrière tant que le front de taille ne l'aura pas atteinte et « percée ». Les résultats de la simulation piézométrique, après extension de la carrière, sont présentés à la *Figure IV.5*.

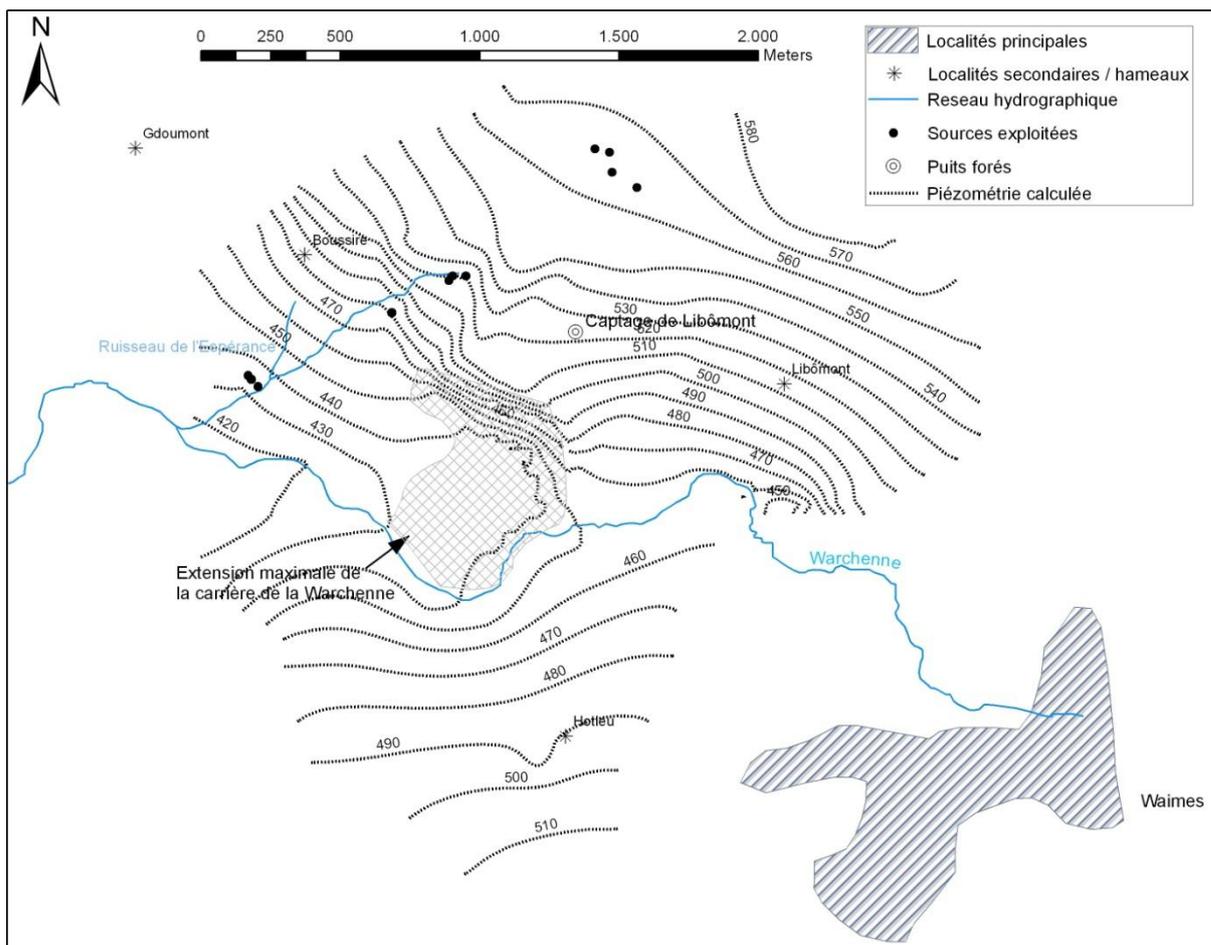


Figure IV.5 : Carte piézométrique calculée avec extension de la carrière de la Warchenne et sans remblais (HGE-ULg, 2006)

IV.2.3. Graben de Malmedy

Le Graben de Malmedy couvre environ 15 % de la superficie de la carte Stavelot - Malmedy (partie centrale de la carte). Une seule unité hydrogéologique est définie au niveau du Permien : l'Aquifère du Permien.

Tableau IV.6 : Mesures piézométriques de différents puits profonds du Graben de Malmedy

Nom	Profondeur	Type	Profondeurs d'eau (m)	Cotes piézométriques (m)
Meiz	77	PF	45	329
Masta	37	PF	3	317
Cheneux	35	PF	17	312
Mista	37	PF	21	299

Environ 40 ouvrages sollicitent l'Aquifère du Permien au niveau de la carte Stavelot - Malmedy dont la majorité sont des puits. Il s'agit de puits situés en zone urbanisée et utilisés pour des applications domestiques. Quatre niveaux d'eau (*Tableau IV.6*) ont pu être mesurés au droit des puits. Ces cotes piézométriques ponctuelles sont indiquées sur la carte hydrogéologique principale du poster. Les profondeurs d'eau observées vont de

quelques mètres à quelques dizaines de mètres (maximum 45 m). Les puits sollicitent donc essentiellement la nappe logée en profondeur.

IV.2.3.1. Phénomènes karstiques

Une particularité est à noter dans le Poudingue de Malmédy. Elle concerne plus particulièrement l'unité moyenne (conglomérat de galets calcaires à ciment argilo-calcaireux). En effet, certains phénomènes karstiques ont été observés, similaires à ceux d'un véritable calcaire (*Ozer, 1967 ; Ozer, 1971 ; Ozer, 1979*). Ce poudingue est traversé par un important réseau de diaclases verticales qui s'élargissent, entre autres, sous l'action de la dissolution. Plusieurs phénomènes karstiques ont été observés dans la région où il affleure (karst couvert fossile, pertes et résurgences, etc.).

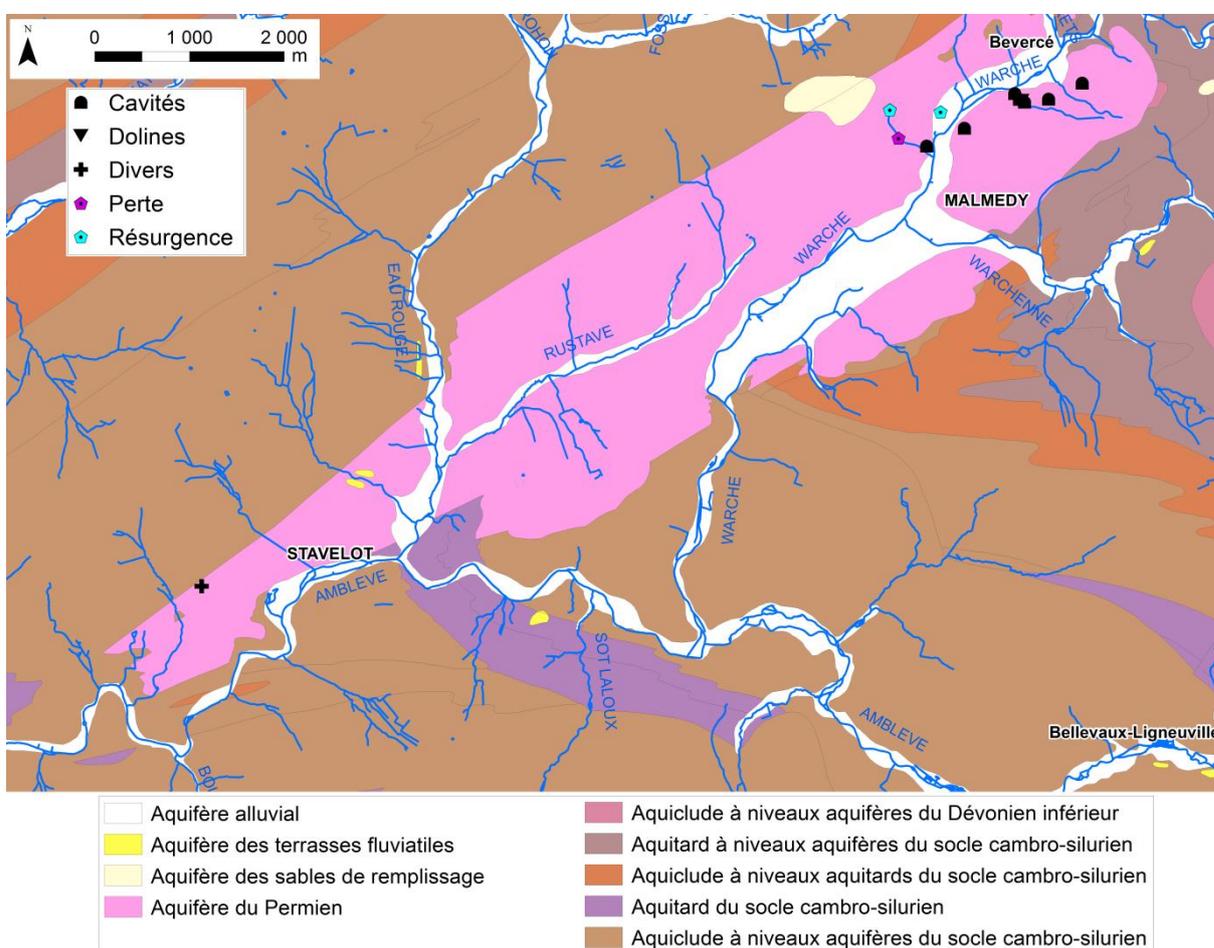


Figure IV.6 : Phénomènes karstiques recensés dans la région de Stavelot - Malmédy (CWEPS, 2006)

Au niveau de la carte Stavelot - Malmédy, une dizaine de sites karstiques sont recensés (*Figure IV.6*) : 1 sur la commune de Stavelot et 9 sur la commune de Malmédy. Dans la partie méridionale du Graben de Malmédy, plus précisément au niveau du village de Renardmont, une seule manifestation karstique est visible. Il s'agit d'une doline fossile

comblée de débris argileux qui forme une dépression de 16 m de diamètre en surface (**CWEPSS, 1996 ; CWEPSS, 2006**). Au niveau de la partie septentrionale de la carte, de part et d'autre de la Warche, à proximité des entités de Chaumont et Bévercé situées près de Malmedy, différentes manifestations karstiques sont visibles. Il s'agit de pertes totales ou partielles, de résurgences, de cavités avec des concrétions et de dolines. Une des cavités permet d'accéder à un ruisseau dont une partie du cours est souterrain.

IV.2.3.2. Etude géologique et hydrogéologique du bassin de la Warchenne

Cette étude a été réalisée dans le cadre du travail de fin d'étude de Vasbinder (**2006**). Les grandes lignes sont reprises dans ce paragraphe.

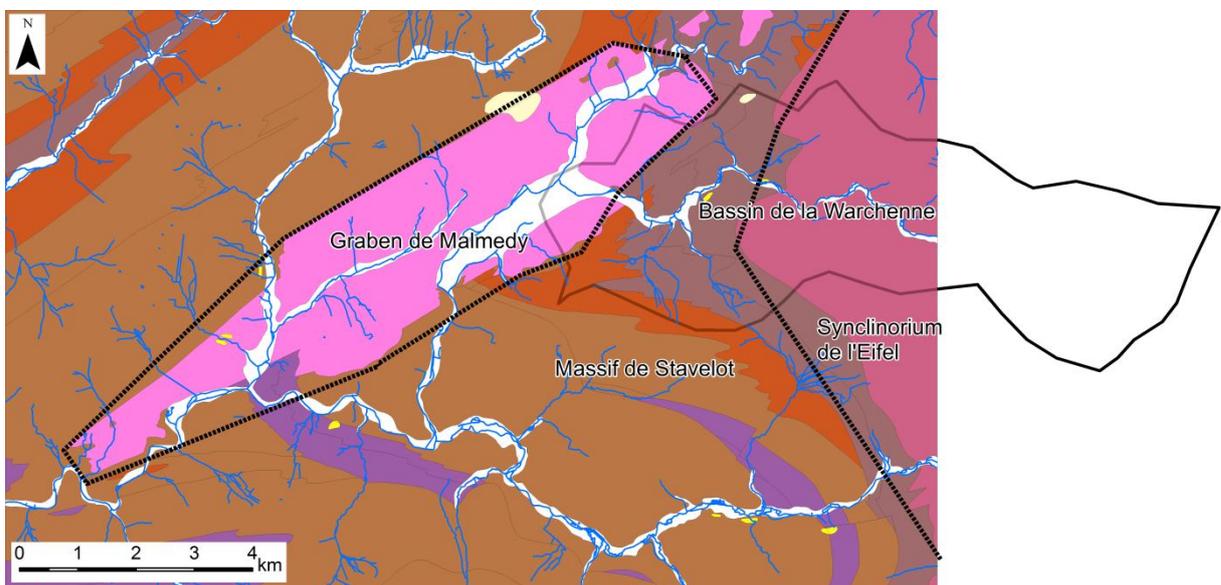


Figure IV.7 : Localisation du bassin de la Warchenne

Le bassin de la Warchenne n'est pas entièrement situé sur la carte Stavelot - Malmedy (**Figure IV.7**), la moitié orientale du bassin se trouve en effet sur la carte Bütgenbach-Büllingen. Au niveau de la carte Stavelot - Malmedy, ce bassin recoupe les terrains du Massif de Stavelot, du Synclinorium de l'Eifel et du Graben de Malmedy. Différents bilans hydrologiques ont été réalisés sur ce bassin. Trois périodes (01/2002-01/2003, 03/2003-03/2004, 03/2004-03/2005) ont été étudiées. L'équation du bilan hydrologique s'écrit :

$$P = ETR + Q_{out} + Q_{exu} + \Delta Res + \Delta S + \varepsilon$$

- Avec : P , les précipitations
 ETR , l'évapotranspiration réelle
 Q_{out} , les débits captés dans l'aquifère
 Q_{exu} , les débits à l'exutoire du bassin
 ΔRes , la variation des réserves de l'aquifère sur la période définie
 ΔS , la variation du stock d'humidité du sol sur la période définie
 ε , l'erreur de fermeture du bilan

Tableau IV.7 : Résultat des bilans hydrologiques (Vasbinder, 2006, modifié)

Période	Début	Fin	P (mm)	ETR (mm)	Q _{exu} (mm)	Q _{capt} (mm)	ΔRes (mm)	ΔStock (mm)	ε (mm)	ε/P (%)
1	05/01/2002	05/01/2003	1344,6	594,6	947,3	15,2	24,2	0,0	-236,7	-17,6
2	31/03/2003	31/03/2004	1056,9	540,2	510,2	13,9	11,6	0,0	-19,0	-1,8
3	01/03/2004	01/03/2005	1244,5	593,0	625,5	14,1	-13,1	0,0	25,0	2,0

Les bilans ferment bien excepté pour la période 1. L'erreur de fermeture de cette période est très importante, cela peut être expliqué par un éventuel dysfonctionnement du limnigraphe suite aux débits importants de la rivière durant cette période. L'infiltration efficace annuelle moyenne calculée durant cette étude, est estimée à 350 mm. L'application de la méthode de Maillet sur les débits mesurés entre janvier 2002 et octobre 2005 à l'exutoire a permis de déterminer des ordres de grandeur du coefficient de récession de la Warchenne lors des épisodes plus secs. Ce dernier permet d'estimer des caractéristiques globales de l'écoulement en provenance des eaux souterraines. Deux coefficients de récession ont pu être mis en évidence. Le premier, de l'ordre de 0,15 à 0,19 jour⁻¹, matérialise un écoulement hypodermique ou bien une vidange rapide de la nappe superficielle. Le second, avec des valeurs plus petites, de l'ordre de 0,03 à 0,07 jour⁻¹, prouve la faible alimentation de la rivière par les nappes aquifères en période fort sèche.

Une campagne de mesure de niveaux piézométriques dans le bassin de la Warchenne a été réalisée sur 24 ouvrages (puits forés, puits traditionnels et piézomètres) dont 15 sont situés sur la carte Stavelot - Malmedy. Les relevés ont été effectués à trois dates : octobre 2005, mars 2006 et mai 2006. Malheureusement, tous les ouvrages ne furent pas visités à chacune de ces dates. L'analyse des niveaux piézométriques indique que l'écoulement souterrain se fait vraisemblablement vers la Warchenne (environ 465 m d'altitude) depuis les hauteurs de Libômont et d'Espérance (*Figure IV.8*).

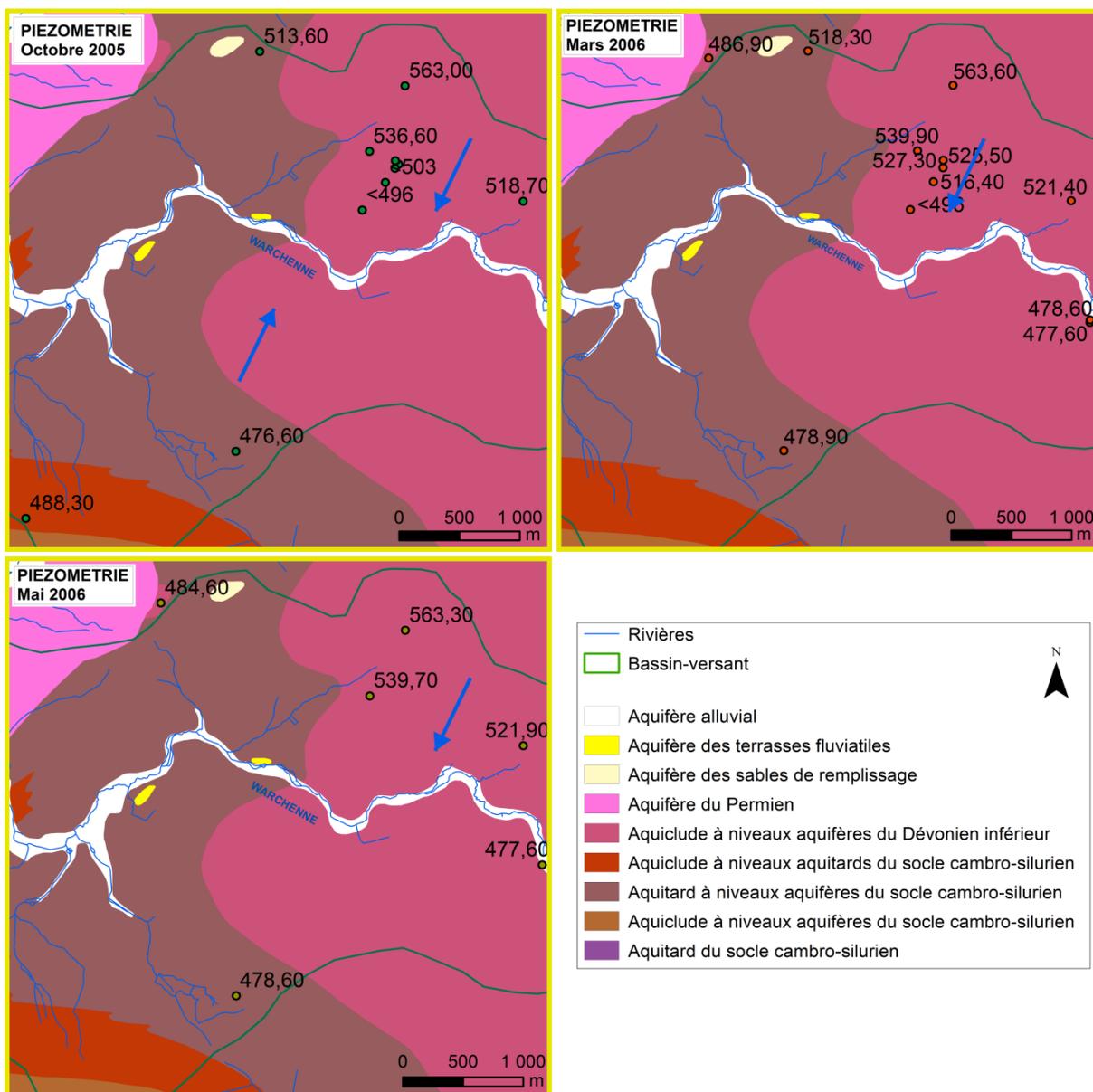


Figure IV.8 : Niveaux piézométriques mesurés dans le bassin de la Warchenne (données de Vusbinder, 2006)

Une analyse plus locale a été effectuée sur cinq ouvrages (dont deux sont situés sur la carte 50/7-8 Bütgenbach - Büllingen) entre septembre 2005 et mai 2006 (*Figure IV.9*).

Trois constatations ont été faites :

- Les hauteurs piézométriques augmentent globalement entre septembre 2005 et mai 2006 (*Figure IV.10*) ;
- Un arrêt momentané de l'augmentation du niveau piézométrique est mis en évidence entre les mois de janvier et de février à cause d'un gel généralisé durant cette période ;
- Les amplitudes des variations du niveau piézométrique ne sont pas similaires d'un ouvrage à un autre. Elle est de 0,6 m pour l'ouvrage Heinen, 2 m pour celui de Bagatelle et 4 m pour celui de Jacquemotte. Les mesures ayant été

réalisées hors de toute influence de pompage, les fluctuations piézométriques seraient donc plus importantes en tête de bassin qu'à l'aval. Les variations piézométriques au niveau du puits de Heinen seraient moindres car influencées par le niveau d'eau de la Warchenne (cote altimétrique 475 m).

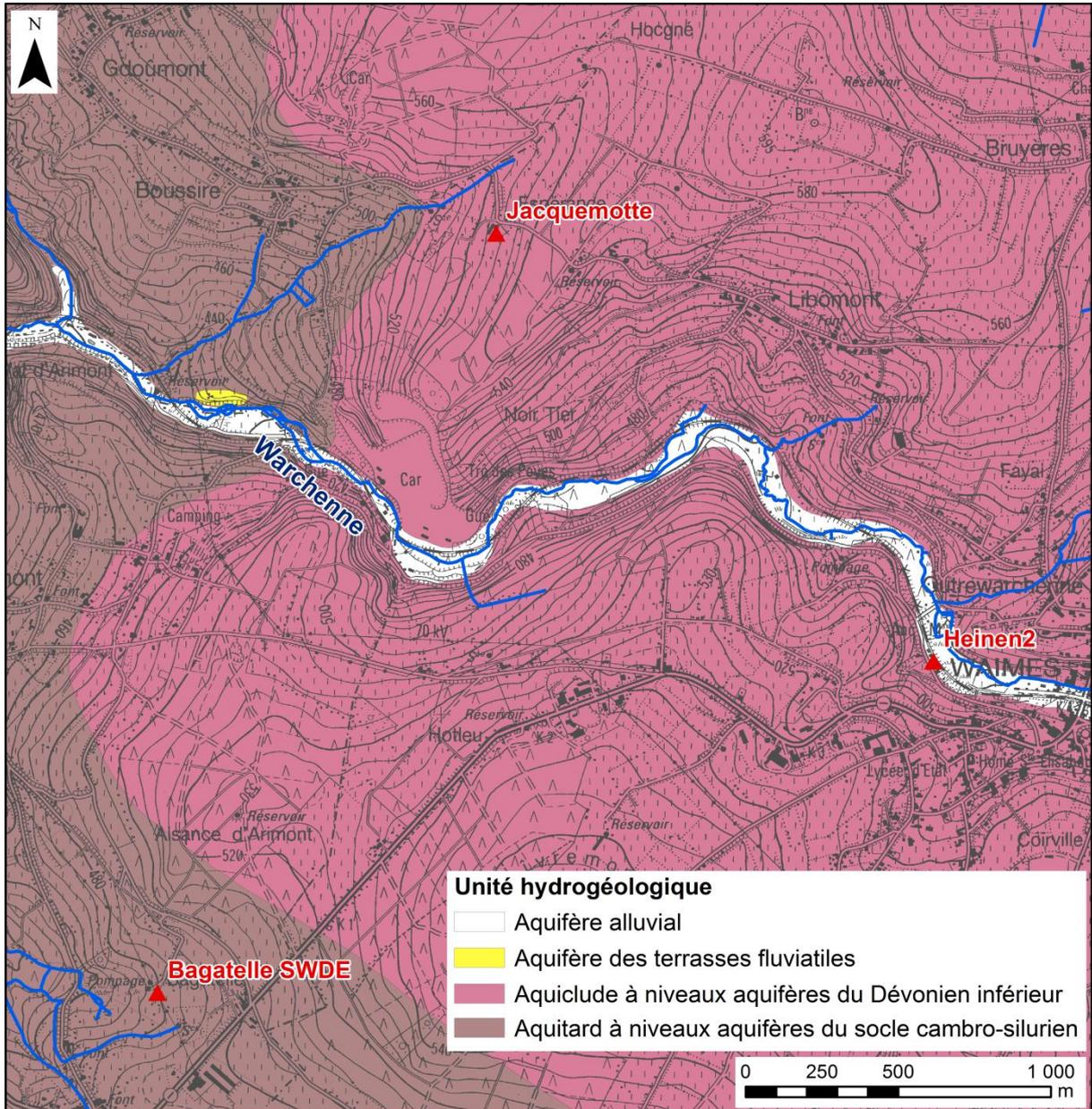


Figure IV.9 : Localisation des ouvrages où un suivi mensuel du niveau piézométrique a été effectué entre septembre 2005 et mai 2006 (données de Vasbinder, 2006)

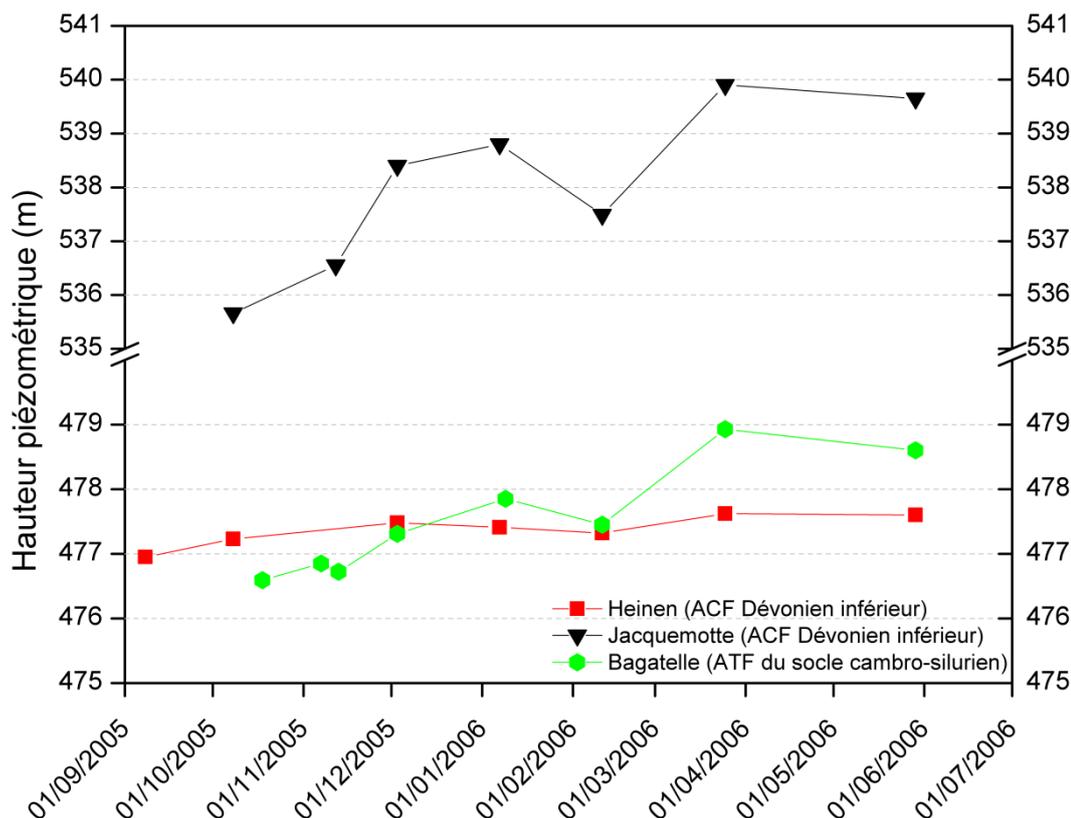


Figure IV.10 : Evolution piézométrique annuelle entre septembre 2005 et mai 2006 dans le bassin de la Warchenne (données de Vasbinder, 2006)

IV.2.4. Coupe hydrogéologique

Une coupe hydrogéologique, au 1/25 000 et sans facteur d'exagération vertical, est présentée sur le poster de la carte hydrogéologique Stavelot - Malmedy. Elle est tirée de la carte géologique de Geukens (1963).

La coupe hydrogéologique traverse la carte étudiée selon une orientation N-S et perpendiculairement à la direction des couches. Elle recoupe les terrains cambro-siluriens du Massif de Stavelot ainsi que la faille de Xhoris. Du point de vue hydrographique, la coupe traverse les vallées de l'Amblève, de la Warche et de la Warchenne. Les alluvions de ces rivières étant présentes sur la coupe géologique de Geukens (1963), elles ont été conservées sur la coupe hydrogéologique bien que le tracé de celles-ci semble exagéré en ce qui concerne leurs épaisseurs.

La carte Stavelot - Malmedy est peu fournie en données piézométriques. Quelques niveaux d'eau ont pu être mesurés. Sur la coupe hydrogéologique, seulement deux profondeurs d'eau ont été reportées au niveau de l'aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien (19 m de profondeur) et de l'aquiclude à niveaux Aquitard du socle cambro-silurien (34 m de profondeur).

IV.2.5. Piézométrie

Les données piézométriques disponibles sont peu nombreuses pour les unités hydrogéologiques de la carte Stavelot - Malmedy. Elles concernent un nombre limité d'ouvrages (± 28). Le contexte hydrogéologique relativement complexe de la région ajoute à la difficulté de tracer des isopièzes. Seules des cotes ponctuelles, avec la date de prise de la mesure, sont reportées sur la carte principale (1/25 000). Des informations concernant la piézométrie locale sont détaillées dans la description de l'hydrogéologie du Massif de Stavelot, du Synclinorium de l'Eifel et du Graben de Malmedy.

A défaut d'une couverture piézométrique complète permettant de détailler le sens de l'écoulement souterrain, le niveau de la nappe ou encore le gradient piézométrique, seules des considérations générales peuvent être émises. Le réseau hydrographique pérenne constitue, en général, l'exutoire des nappes aquifères (drainage), indiquant ainsi le sens global de l'écoulement des eaux souterraines. Au sud, l'Amblève constitue le niveau de base des aquifères que cette rivière recoupe. Tandis que la Warche et la Warchenne au nord-est, et l'Eau Rouge au nord-ouest remplissent ce rôle.

Dans les aquifères moins perméables, la surface piézométrique est souvent proche de la surface topographique et est davantage influencée par la topographie. Dans les unités hydrogéologiques de nature gréseuse, schisto-gréseuse, quartzitique ou quartzo-phylladeuse, on rencontre généralement deux types de nappes : une nappe superficielle et la nappe profonde. Ce schéma se retrouve dans les mesures piézométriques. Des niveaux d'eau peu profonds sont relevés, entre environ 0,1 et 10 m par rapport à la surface topographique, indiquant une nappe subaffleurante. Des profondeurs d'eau plus importantes sont aussi observées, entre environ 10 et 30 m par rapport au sol. Ces niveaux d'eau caractérisent la nappe logée dans les terrains plus fracturés et gréseux du bed-rock. Ces horizons aquifères peuvent localement être semi-captifs à captifs.

IV.2.6. Caractère libre, semi-captif, captif des nappes

Le caractère des nappes rencontrées est spécifié : nappe libre, nappe semi-captive (semi-libre) ou nappe captive. Sur cette carte, toutes les nappes ont été placées en nappe libre. Cette détermination est basée sur le contexte géologique et hydrogéologique régional. Les nappes profondes sont souvent sous pression, les venues d'eau sont rencontrées en profondeur et le niveau de la nappe remonte et se stabilise près de la surface. La nappe supérieure qui est logée dans le manteau d'altération est toujours libre. Sur cette carte thématique, c'est donc le caractère de la première nappe rencontrée qui est spécifié, ici la nappe superficielle dans les terrains altérés. De plus, à l'échelle du 1/50.000, il est difficile de

représenter cartographiquement le caractère local de la captivité de l'aquifère fissuré profond.

V. CADRE HYDROCHIMIQUE

Les analyses chimiques présentées dans les paragraphes suivants ont été réalisées sur des eaux brutes, non encore traitées en vue de leur consommation. Nous ne disposons pas de données suffisantes pour préciser le cadre hydrochimique de toutes les unités hydrogéologiques de la carte. Lors de la première version de cette carte, une campagne d'échantillonnage a été menée en automne 2011.

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

Plusieurs excavations abandonnées sont présentes sur la carte Stavelot - Malmedy (sables, grès/arkoses, argiles...). Ces anciens sites d'extraction, qui sont 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 quatre carrières sont en activité dans la région.

Un inventaire de ces données est disponible auprès des autorités régionales (D GARNE et D GATLPE). La SPAQuE a inventorié les sites potentiellement contaminés en Wallonie. Ils sont répertoriés dans une banque de données, WALSOLS⁵. Sur la carte Stavelot - Malmedy, deux sites sont répertoriés dans cette banque de données : la tannerie Utammo (LG4903-001) et le stockage de la tannerie Utammo (LG4903-002), tous deux situés dans le zoning industriel de Malmedy.

Dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive cadre sur l'eau (Directive 2000/60/CE), le Service Public de Wallonie a établi un programme de surveillance des 33 masses d'eau définies en Wallonie⁶. Au niveau des eaux souterraines, un réseau de surveillance de l'état quantitatif et qualitatif a été élaboré et finalisé en décembre 2006. Seule la masse d'eau souterraine RWM100, appartenant au district de la Meuse, est localisée sur la carte Stavelot - Malmedy.

⁵ <http://www.walsols.be/>

⁶ http://environnement.wallonie.be/directive_eau

La masse d'eau souterraine, RWM 100, **Grès et schistes du massif ardennais : Lesse, Ourthe, Amblève** présente une superficie totale de l'ordre de 3 300 km² (Figure V.1). Elle est composée de roches datant du Dévonien inférieur et du Cambro-silurien. L'analyse qualitative de cette masse d'eau n'est réalisée que pour les teneurs en nitrates et elle est jugée comme « bonne ». En ce qui concerne l'état quantitatif, l'équilibre entre les prélèvements et la recharge en eau souterraine est jugé comme « bon » (D GARNE-DESO et Protectis-Cellule DCE, 2010).

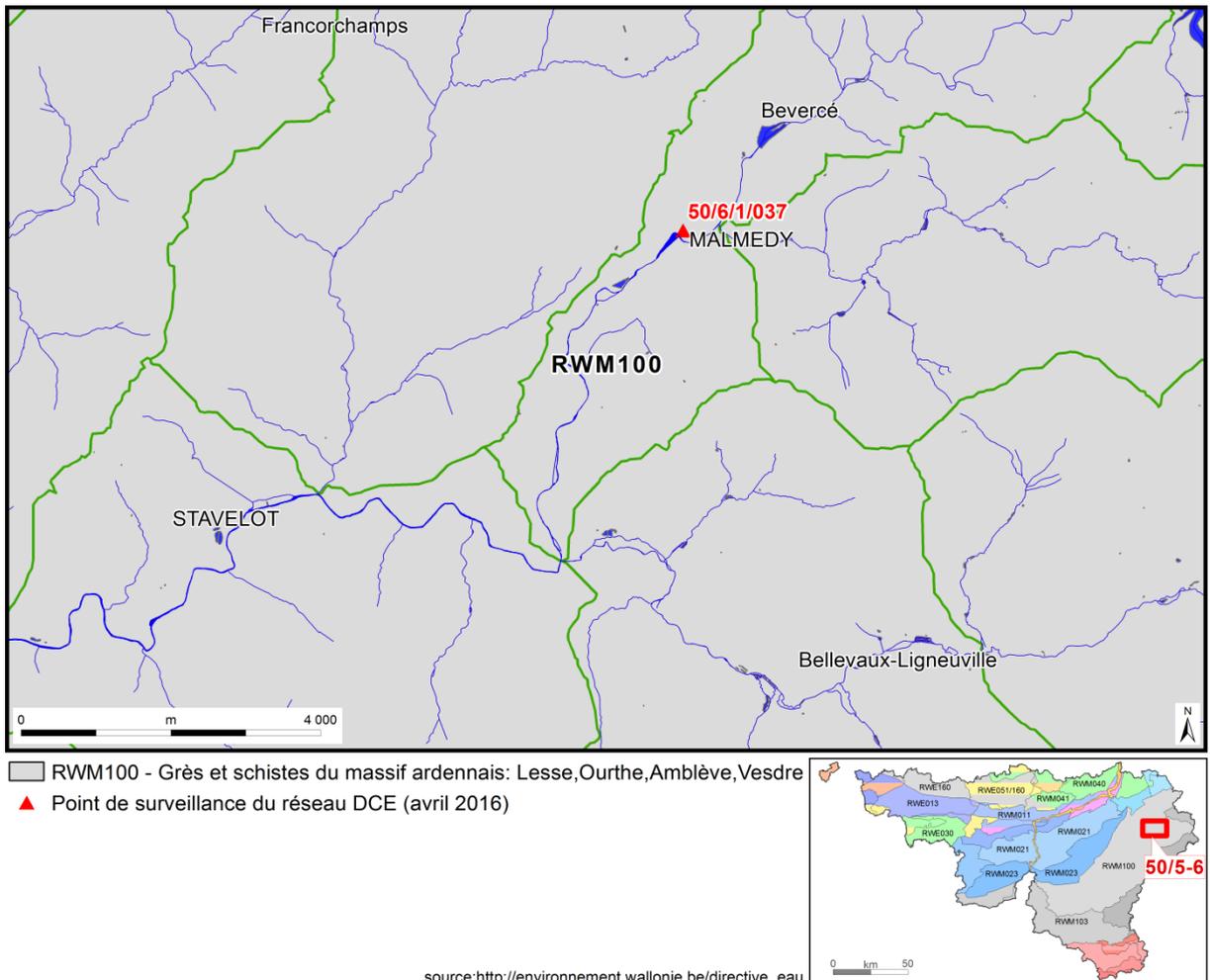


Figure V.1 : Masses d'eau souterraine de la carte Stavelot - Malmedy

V.1. CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX

V.1.1. Généralités

Identifier rapidement les faciès hydrochimiques des eaux souterraines fait partie des étapes de caractérisation des nappes aquifères. Le diagramme de Piper est l'une des représentations graphiques couramment utilisées pour définir les types d'eau. Le diagramme de Piper est composé de deux diagrammes ternaires dans lesquels sont reportés les proportions en cations et en anions. Le troisième diagramme reprend une synthèse des deux

précédents et permet de rapidement caractériser l'eau analysée. Chaque sommet des triangles représente 100% d'un des trois constituants. Pour les cations, on représente en général Ca^{++} , Mg^{++} et $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ tandis que pour les anions, il s'agit de Cl^- , SO_4^{--} et $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--}$, avec parfois NO_3^- (proportions relatives).

Cette méthode graphique appliquée à plusieurs prises d'eau souterraine de la carte Stavelot - Malmedy permet d'obtenir les résultats de la *Figure V.2*.

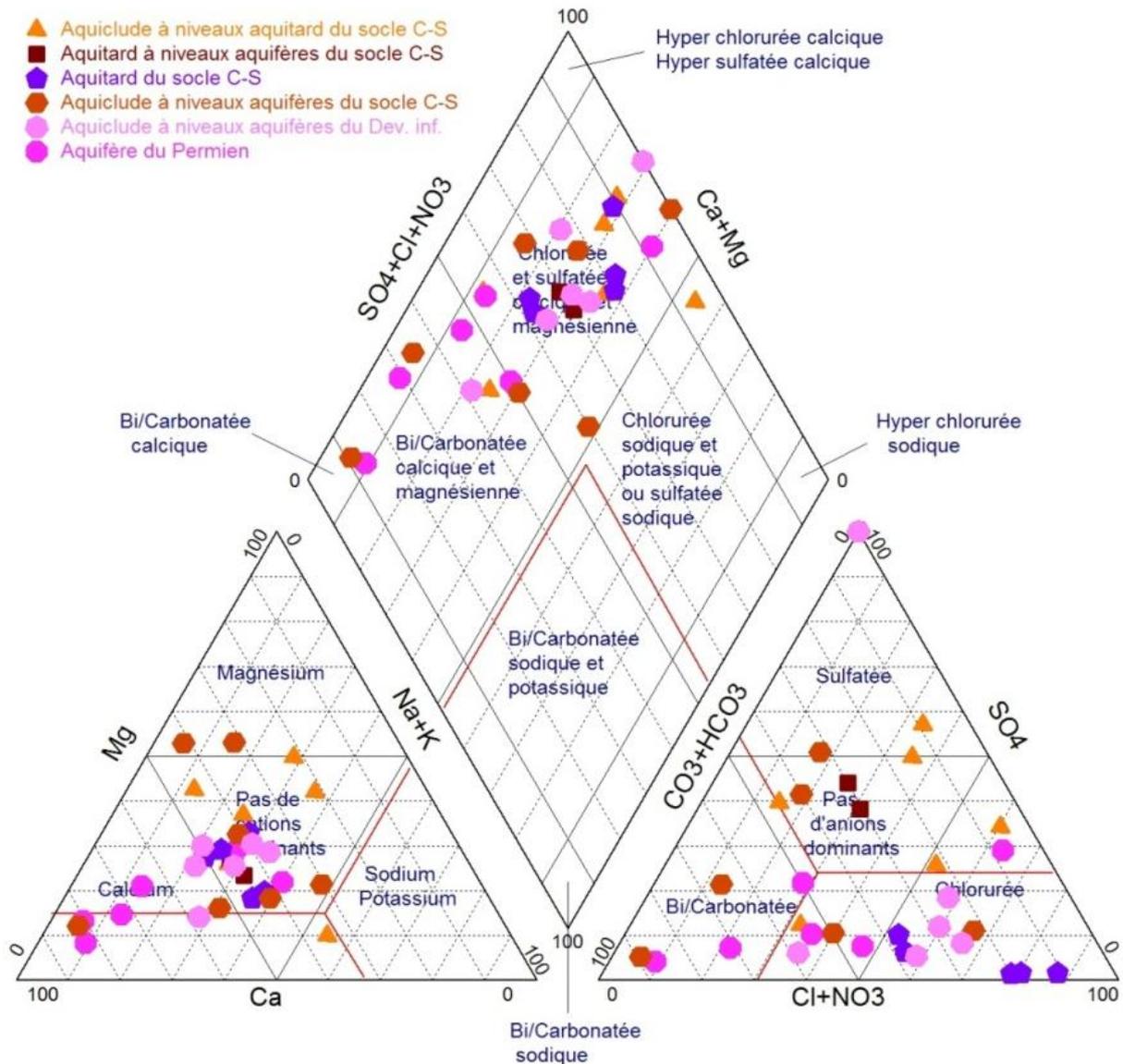


Figure V.2 : Diagramme de Piper des eaux souterraines de la carte Stavelot-Malmedy

Il s'agit d'un aperçu partiel de la composition chimique des eaux souterraines de cette région. De fait, nous ne disposons pas d'analyses chimiques complètes des eaux de l'ensemble des unités hydrogéologiques définies. On constate que les eaux souterraines de la carte Stavelot - Malmedy sont majoritairement de type chlorurée calcique et magnésienne

et dans une moindre mesure de type bi/carbonatée calcique pour le Permien du Graben de Malmedy.

V.1.2. Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien

L'Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien regroupe l'étage du Devilien et la Formation de La Venne-Coo. Des analyses hydrochimiques de quelques captages sont présentées dans le *Tableau V.1*. D'une manière générale, il s'agit d'eau douce, au pH varié légèrement acide à légèrement basique voire neutre et de faible minéralisation. Les pH acides mesurés sont parfois inférieurs à la norme minimale (6,5). Les pH basiques sont observés au droit des ouvrages présentant une conductivité et une dureté plus élevées. Pour certains éléments, on constate le dépassement, parfois important, des normes-guides en vigueur en Wallonie. Les valeurs élevées en fer sont d'origine naturelle (lithologie de la roche-réservoir) alors que quelques prélèvements présentent une concentration en fluor supérieure à la norme-guide.

Tableau V.1 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines de l'Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien

Elément	Unité	Norme guide RW	Route de Spa	Somagne	Lavaulx	Bois des Hesse	Laiterie	Derrière Close	Renardmont Hetcheray (SWDE)	Tro de Fier (SWDE)
		Code de l'eau	Puits 70m	Puits 55m	Puits 30m	Drain	Source	Puits 40m	Puits 36m	Drain
			Nov 2011	Oct 2011	Oct 2011	Oct 2011	Oct 2011	Oct 2011	10/12/2015	14/10/2015
Conductivité 20°	µS/cm à 20°C	2100	200,5	195,7	104,4	60,4	148,4	119,0	87	67,18
pH		6,5 à 9,5	7,89	7,61	7,02	<u>6,49</u>	7,73	<u>6,36</u>	<u>5,6</u>	<u>5,8</u>
Dureté totale (TH)	°français	68	11,8	11,9	2,8	1,9	5,1	4,4	2,7	2,1
Alcalinité (TAC)	°français		11,5	7,6	2,2	0,3	3,8	1,3	-	-
Calcium	mg/L	270*	20,59	41,65	6,71	5,11	15,66	9,79	7,8	4,6
Magnésium	mg/L	50*	16,02	3,71	2,83	1,35	2,88	4,70	1,8	2,2
Sodium	mg/L	150	2,91	3,34	11,74	5,23	9,19	5,80	4,3	4,9
Potassium	mg/L	12	0,78	0,29	0,43	0,51	2,09	2,36	1,2	1,5
Carbonates	mg/L	-	0,60	0,21	0,02	< 0,01	0,14	< 0,01	-	-
Bicarbonates	mg/L	-	138,94	92,24	26,76	0,00	46,03	15,85	-	-
Strontium	µg/L	750**	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	-
Fer total	µg/L	200*	60	60	<u>520</u>	90	50	50	407	26
Manganèse	µg/L	50*	20	< 1	16	10	7	5	49,6	4,4
Sulfates	mg/L	250*	6,59	23,65	21,81	0,21	7,71	6,07	8,7	6,3
Chlorures	mg/L	200	5,00	10,58	7,09	0,00	17,92	12,55	6	8,9
Fluorures	mg/L	0,1	<u>0,15</u>	<u>0,12</u>	<u>0,16</u>	<u>0,22</u>	< 0,04	< 0,04	0,02	0,02
Nitrates	mg/L	50	< 0,06	0,27	< 0,06	0,00	6,37	25,67	5,5	7,6
Nitrites	mg/L	0,1	< 0,04	< 0,08	< 0,04	0,01	< 0,04	< 0,04	< 0,01	< 0,01
Ammonium	mg/L	0,5*	< 0,02	0,14	0,14	< 0,04	< 0,02	< 0,02	0,01	< 0,02
Silice	mg/L	-	4,69	5,12	4,87	0,80	< 0,50	8,31	-	-

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

V.1.3. Aquitard du socle cambro-silurien

Les Formations de Spa et de Wanne-Pont constituent l'Aquitard du socle cambro-silurien. Des analyses hydrochimiques de quelques captages sont présentées dans le *Tableau V.2*. D'une manière générale, il s'agit d'eau douce, acide et de faible minéralisation. Les pH acides mesurés sont parfois inférieurs à la norme minimale (6,5). Aucun élément ne dépasse les normes-guides en vigueur en Wallonie. Le fer et le manganèse présentent des concentrations importantes mais en dessous des normes. Les concentrations en nitrates témoignent d'une pollution anthropique.

Tableau V.2 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines de l'Aquitard du socle cambro-silurien

Elément	Unité	Norme guide RW	Closing
		Code de l'eau	Source
			Oct 2011
Conductivité 20°	µS/cm à 20°C	2100	89,8
pH		6,5 à 9,5	<u>6,41</u>
Dureté totale (TH)	°français	68	3,7
Alcalinité (TAC)	°français		1,7
Calcium	mg/L	270*	9,41
Magnésium	mg/L	50*	3,12
Sodium	mg/L	150	4,30
Potassium	mg/L	12	0,86
Carbonates	mg/L	-	<= 0,01
Bicarbonates	mg/L	-	20,73
Strontium	µg/L	750**	<= 50
Fer total	µg/L	200*	60
Manganèse	µg/L	50*	20
Sulfates	mg/L	250*	4,47
Chlorures	mg/L	200	9,94
Fluorures	mg/L	0,1	<= 0,04
Nitrates	mg/L	50	12,46
Nitrites	mg/L	0,1	<= 0,04
Ammonium	mg/L	0,5*	<= 0,02
Silice	mg/L	-	4,21

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

Tableau V.3 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines de l'Aquiclude à niveaux aquitards du socle cambro-silurien

Élément	Unité	Norme guide RW	Troisfontaines	Andrimont	Neuville	Exbomont	Fads	Schair	Thiers
			Code de l'eau	Puits 56m	Puits 55m	Puits 39m	Source	Source	Puits 35m
Automne 2011									
Conductivité 20°	µS/cm à 20°C	2100	96,4	89,4	118,4	195,9	79,4	76,2	86,2
pH		6,5 à 9,5	7,13	6,69	6,53	<u>4,87</u>	<u>5,00</u>	<u>6,00</u>	6,92
Dureté totale (TH)	°français	68	3,8	3,6	3,5	4,1	2,4	2,5	3,5
Alcalinité (TAC)	°français		2,9	2,2	1,3	0,5	0,3	0,5	1,4
Calcium	mg/L	270*	7,69	7,47	4,74	12,57	6,23	3,01	5,13
Magnésium	mg/L	50*	4,55	4,29	5,57	2,17	2,12	4,19	5,22
Sodium	mg/L	150	5,39	2,20	8,41	20,72	3,29	3,88	2,46
Potassium	mg/L	12	0,78	0,44	1,17	2,82	1,73	1,07	0,66
Carbonates	mg/L	-	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
Bicarbonates	mg/L	-	35,30	26,83	15,85	6,89	4,27	6,16	17,07
Strontium	µg/L	750**	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 0,05
Fer total	µg/L	200*	80	<u>310</u>	<u>230</u>	100	<u>230</u>	40	<u>2 320</u>
Manganèse	µg/L	50*	<u>160</u>	<u>100</u>	<u>110</u>	<u>70</u>	<u>120</u>	20	24
Sulfates	mg/L	250*	6,27	18,52	14,38	32,49	21,07	16,35	21,41
Chlorures	mg/L	200	6,47	4,98	19,41	34,40	5,50	6,26	4,03
Fluorures	mg/L	0,1	0,13	0,09	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,11	<u>0,16</u>
Nitrates	mg/L	50	9,95	0,38	3,76	13,79	6,52	4,09	2,30
Nitrites	mg/L	0,1	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
Ammonium	mg/L	0,5*	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Silice	mg/L	-	8,63	1,21	6,55	< 0,50	1,18	7,76	7,38

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

V.1.4. Aquiclude à niveaux aquitards du socle cambro-silurien

L'Aquiclude à niveaux aquitards du socle cambro-silurien regroupe deux formations géologiques à savoir la Formation de la Gleize et celle d'Otré. L'ensemble des prélèvements analysés sont situés au droit de la première formation. D'une manière générale, il s'agit d'eau douce et faiblement minéralisée (*Tableau V.3*). Les échantillons présentent un pH acide à l'exception du prélèvement de Troisfontaines. Certains pH sont largement inférieurs à la norme-guide en vigueur en Région Wallonne. Pour certains éléments, on constate le dépassement, parfois important, des normes-guides. Les valeurs élevées en fer et manganèse sont d'origine naturelle (lithologie de la roche-réservoir).

V.1.5. Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien

Cette unité hydrogéologique est constituée de la Formation de Solwaster. Il s'agit d'eau douce, faiblement minéralisée et légèrement acide (*Tableau V.4*). Le prélèvement Jost présente des valeurs dépassant les normes-guide en vigueur en Région Wallonne pour le fer et le manganèse. Ces éléments sont d'origine naturelle (lithologie de la roche-réservoir). Cependant, cette analyse révèle également un dépassement de norme-guide pour les nitrites. Ces éléments indiquent des conditions réductrices.

Tableau V.4 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines de l'aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien

Elément	Unité	Norme guide RW	Ruy	Jost	Lecoq	G'doumont	Gros bois	Langen	Bagatelle-Arimont (SWDE)
			Code de l'eau	Source	Puits 99m	Puits 48m	Puits 20m	Puits 18m	Puits 26m
Automne 2011									
									10/08/2015
Conductivité 20°	µS/cm à 20°C	2100	96,7	101,8	63,2	62,0	105,3	61,2	43
pH		6,5 à 9,5	6,72	6,63	<u>6,20</u>	6,80	6,81	<u>6,49</u>	<u>5,6</u>
Dureté totale (TH)	°français	68	3,4	3,2	1,9	1,7	3,4	2,5	1,3
Alcalinité (TAC)	°français		1,5	1,6	0,5	0,5	0,5	1,3	-
Calcium	mg/L	270*	8,36	8,30	5,24	4,68	7,29	5,93	2,5
Magnésium	mg/L	50*	2,99	2,82	1,29	1,33	3,75	2,27	1,6
Sodium	mg/L	150	4,86	5,46	4,50	4,46	5,19	3,34	3,8
Potassium	mg/L	12	1,63	1,02	0,51	0,55	1,48	0,55	0,5
Carbonates	mg/L	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-
Bicarbonates	mg/L	-	18,29	0	6,16	6,10	6,10	15,85	-
Strontium	µg/L	750**	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	-
Fer total	µg/L	200*	30	<u>1890</u>	70	60	40	30	11
Manganèse	µg/L	50*	10	<u>270</u>	< 10	< 10	20	< 10	11,6
Sulfates	mg/L	250*	18,04	0,17	0,41	0,34	0,71	2,09	3,2
Chlorures	mg/L	200	4,69	0	9,78	8,07	11,57	6,07	6,2
Fluorures	mg/L	0,1	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,08	0,02
Nitrates	mg/L	50	10,78	0	10,67	10,25	29,51	13,09	4,6
Nitrites	mg/L	0,1	< 0,04	<u>0,53</u>	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,08	<0,01
Ammonium	mg/L	0,5*	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,10	0,01
Silice	mg/L	-	9,35	33,2	8,20	3,90	0,52	5,58	-

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

V.1.6. Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur

L'Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur est composé du Gedinnien (Lochkovien). D'une manière générale, il s'agit d'eau douce et faiblement minéralisée (*Tableau V.5*). Les échantillons présentent un pH acide à neutre et dont certains sont inférieurs à la norme-guide en vigueur en Région Wallonne.

Tableau V.5 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines de l'Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur

Elément	Unité	Norme guide RW	Esperance	Libomont	Fagne	Thirimont	Libomont-Espérance (AC Waimes)	Warchenne (AC Waimes)
			Code de l'eau Puits 58m	Puits 55m	Drain	Source	Puits 87m	Drain
			Automne 2011				18/06/15	16/06/10 (25/6/12)
Conductivité 20°	µS/cm à 20°C	2100	106,0	112,8	57,9	107,9	69	141 (87)
pH		6,5 à 9,5	6,57	<u>6,31</u>	<u>6,41</u>	<u>6,3</u>	<u>5,7</u>	6,7 (<u>5,9</u>)
Dureté totale (TH)	°français	68	3,5	4,2	2,1	3,1	2,8	8,6
Alcalinité (TAC)	°français		1,5	1,3	1	1,3	0,16	0,74
Calcium	mg/L	270*	7,81	10,51	6,73	7,02	6,17	12
Magnésium	mg/L	50*	3,65	3,91	0,99	3,28	2,46	6,17
Sodium	mg/L	150	5,38	4,31	3,43	5,02	4,1	5,21
Potassium	mg/L	12	2,5	1,3	0,516	4,16	0,88	0,84
Carbonates	mg/L	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	-
Bicarbonates	mg/L	-	18,29	15,85	12,19	15,85	-	-
Strontium	µg/L	750**	< 50	< 50	< 50	< 50	33	33
Fer total	µg/L	200*	40	40	50	140	6	<2
Manganèse	µg/L	50*	0,139	< 10	< 10	20	54	<4
Sulfates	mg/L	250*	6,04	9,77	1,47	4,05	2,58	3,94
Chlorures	mg/L	200	12,25	8,31	6,63	9,87	7,67	14,2
Fluorures	mg/L	0,1	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,1	<0,1
Nitrates	mg/L	50	17,33	25,11	8,35	23,85	19,5	17,6 (27,4)
Nitrites	mg/L	0,1	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	<0,02	0,128 (<0,02)
Ammonium	mg/L	0,5*	< 0,02	< 0,02	0,17	< 0,02	<0,05	<0,05 (<0,05)
Silice	mg/L	-	2,63	1,57	4,04	3,65	5,23	6,39

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

V.1.7. Aquifère du Permien

Les résultats des analyses chimiques sont fort variables pour cette unité hydrogéologique. Les prélèvements présentent un pH soit acide soit basique (*Tableau V.6*). Seul un prélèvement présente un pH inférieur à la norme-guide en vigueur en Région Wallonne (Mista). Les prélèvements dont le pH est basique présentent des concentrations en calcium et en bicarbonates élevées, preuve du caractère carbonaté de la lithologie de cette unité. Pour certains éléments, on constate le dépassement, parfois important, des normes-guides. Les valeurs élevées en fer et manganèse sont d'origine naturelle (lithologie

de la roche-réservoir). Tous les prélèvements présentent une concentration en nitrates inférieure à la norme-guide mais plusieurs prélèvements présentent des concentrations assez élevée, témoignant d'une pollution anthropique.

Tableau V.6 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines de l'Aquifère du Permien

Elément	Unité	Norme guide RW Code de l'eau	Monts	Falize	Masta	Meiz	Mista	Chêneux
			Source	Source	Puits 37m	Puits 77m	Puits 37m	Puits 35m
Automne 2011								
Conductivité 20°	µS/cm à 20°C	2100	152,8	99,5	221,4	219,6	83,7	281,8
pH		6,5 à 9,5	7,37	6,93	6,83	7,13	<u>6,38</u>	7,68
Dureté totale (TH)	°français	68	7,7	4,1	11,5	10,5	2,5	16,9
Alcalinité (TAC)	°français		8,2	2,6	5,8	6,7	0,3	12,0
Calcium	mg/L	270*	28,09	9,53	34,84	34,90	6,41	58,25
Magnésium	mg/L	50*	1,72	4,05	6,76	4,31	2,24	5,77
Sodium	mg/L	150	2,80	6,79	7,80	6,42	7,29	4,59
Potassium	mg/L	12	1,35	0,81	0,96	1,19	0,85	0,95
Carbonates	mg/L	-	0,13	0,02	0,03	0,06	< 0,02	0,38
Bicarbonates	mg/L	-	99,74	31,70	70,66	81,57	3,66	145,53
Strontium	µg/L	750**	80	< 50	60	< 50	< 50	70
Fer total	µg/L	200*	40	<u>520</u>	40	60	60	<u>770</u>
Manganèse	µg/L	50*	<u>330</u>	< 10	< 10	<u>70</u>	<u>60</u>	< 10
Sulfates	mg/L	250*	3,68	10,81	9,34	12,38	10,75	11,73
Chlorures	mg/L	200	5,87	6,49	24,07	17,38	10,03	14,06
Fluorures	mg/L	0,1	0,09	0,08	< 0,08	< 0,04	< 0,08	< 0,08
Nitrates	mg/L	50	0,23	7,02	32,37	24,90	12,73	21,22
Nitrites	mg/L	0,1	< 0,04	< 0,08	< 0,08	< 0,04	< 0,08	< 0,08
Ammonium	mg/L	0,5*	< 0,02	< 0,04	< 0,10	0,65	< 0,04	< 0,04
Silice	mg/L	-	< 0,50	6,92	5,33	< 0,50	6,57	6,74

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

V.1.8. Aquifère alluvial

Le puits Heinen est localisé juste à côté de la plaine alluviale de la Warchenne. Il sollicite sans doute l'eau de la nappe alluviale. Il s'agit d'une eau à pH basique ([Tableau V.7](#)). La conductivité, les concentrations en calcium en bicarbonates et en chlorures y sont élevées.

Tableau V.7 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines de l'aquifère alluvial

Élément	Unité	Norme guide RW	Heinen
		Code de l'eau	Puits 3m Automne 2011
Conductivité 20°	µS/cm à 20°C	2100	258,9
pH		6,5 à 9,5	7,14
Dureté totale (TH)	°français	68	11,6
Alcalinité (TAC)	°français		8,7
Calcium	mg/L	270*	31,39
Magnésium	mg/L	50*	9,15
Sodium	mg/L	150	13,68
Potassium	mg/L	12	1,51
Carbonates	mg/L	-	0,081
Bicarbonates	mg/L	-	105,90
Strontium	µg/L	750**	56
Fer total	µg/L	200*	30
Manganèse	µg/L	50*	20
Sulfates	mg/L	250*	8,75
Chlorures	mg/L	200	26,83
Fluorures	mg/L	0,1	< 0,04
Nitrates	mg/L	50	18,06
Nitrites	mg/L	0,1	< 0,04
Ammonium	mg/L	0,5*	0,49
Silice	mg/L	-	3,09

V.2. PROBLEMATIQUES DES NITRATES

Depuis plusieurs années, les teneurs des composés azotés, plus particulièrement les nitrates, font l'objet d'un suivi régulier de la part des compagnies d'eau et de l'administration wallonne (D GARNE-DESO). La présence de ce type de composé est principalement liée à l'épandage de fertilisants azotés en excédent par rapport aux besoins des cultures. Pour protéger les eaux contre la pollution par les nitrates, plusieurs « zones vulnérables » ont été désignées par arrêtés ministériels (*Figure V.3*). Ces zones reprennent la quasi-totalité des captages échantillonnés dont la teneur en nitrate dépasse ou risque de dépasser 50 mg/l. Elles ont pour objet la protection des eaux souterraines contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles. Cette désignation implique l'application d'un programme d'action précis dont les mesures ont été arrêtées dans le code de « bonnes pratiques agricoles » du Programme de Gestion Durable de l'Azote en agriculture (PGDA)⁷. La carte Stavelot - Malmedy n'est concernée par aucune des zones vulnérables aux nitrates définies en Wallonie (*Figure V.3*).

⁷ Pour plus d'informations, voir <http://www.nitrawal.be>, ainsi que le Livre II du Code l'Environnement (Code de l'Eau).

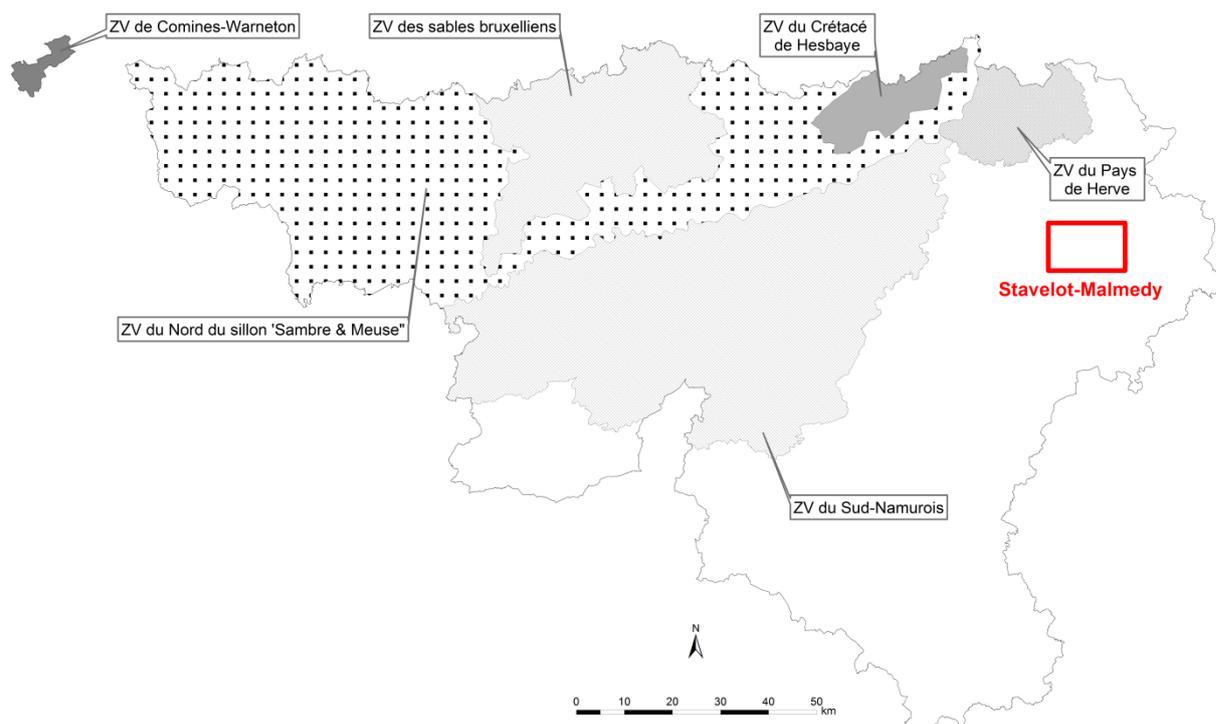


Figure V.3 : Zones vulnérables aux nitrates –Stavelot - Malmedy

Une quarantaine de points de prélèvements différents avec des analyses sur les nitrates sont comptabilisés sur la zone Stavelot - Malmedy. Sur l'ensemble de ces analyses « Nitrates » disponibles pour la carte Stavelot - Malmedy, aucun prélèvement ne dépasse la norme de potabilité en vigueur en Région Wallonne (soit 50 mg/l) et les valeurs maximales sont de l'ordre de 35 mg/l.

Quelques prises d'eau souterraine sont suivies depuis fin des années '90 concernant les concentrations en nitrates (*Figure V.4, Figure V.5*). L'ensemble des concentrations sont inférieures à la norme de potabilité (50 mg/l). On ne peut dégager de tendances nettes, ni à la hausse, ni à la baisse. Ces teneurs en nitrates sont fluctuantes sur la période d'observation. La source à l'émergence de Rivage les Sourdans et le forage de Bagatelle sont situés dans des zones semi-urbanisées côtoyant des espaces agricoles. Les drains Pré Hankart, Tro de Fier et la source de l'Ermitage se situent à la jonction entre des espaces urbains et des espaces forestiers. Il n'y a pas de corrélation apparente entre la teneur en nitrates observée et l'occupation du sol au droit de l'ouvrage.

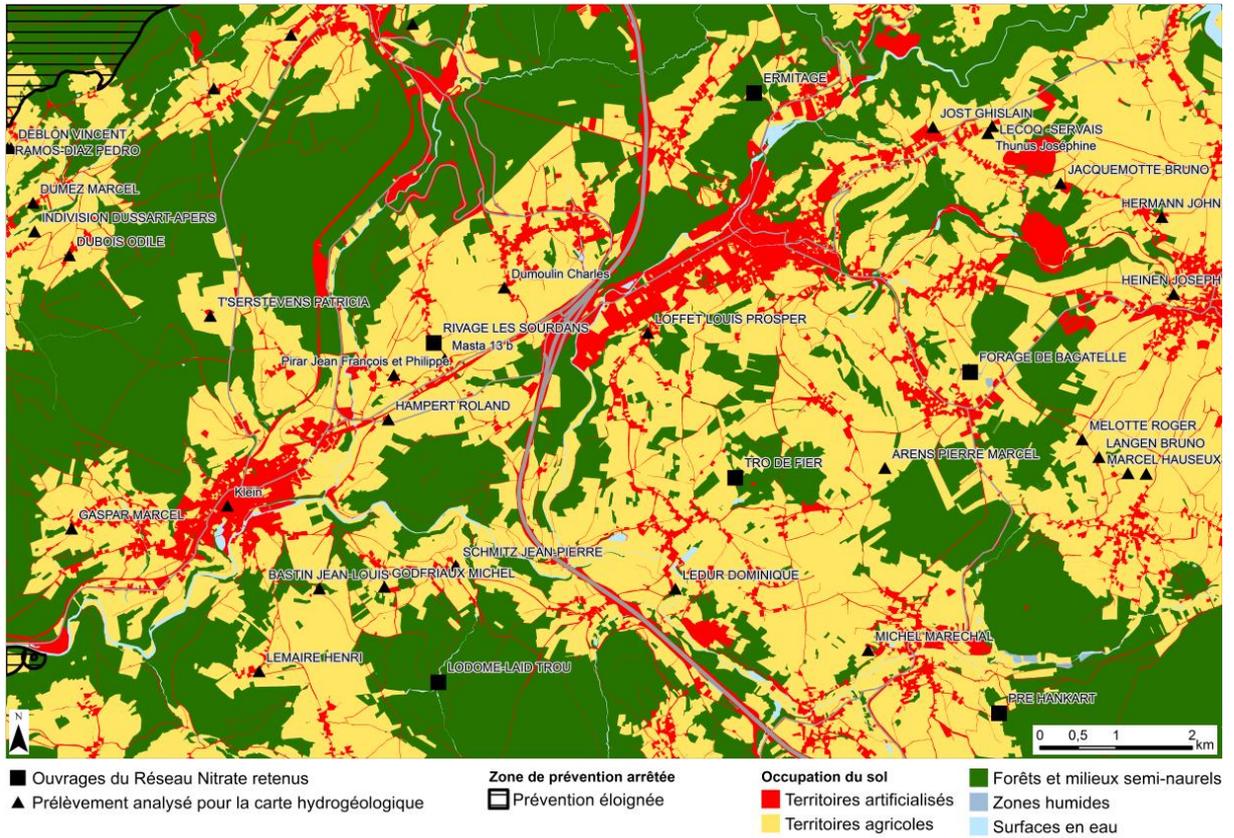


Figure V.4 : Localisation des ouvrages avec des données hydrochimiques nitrates sur la carte Stavelot - Malmedy

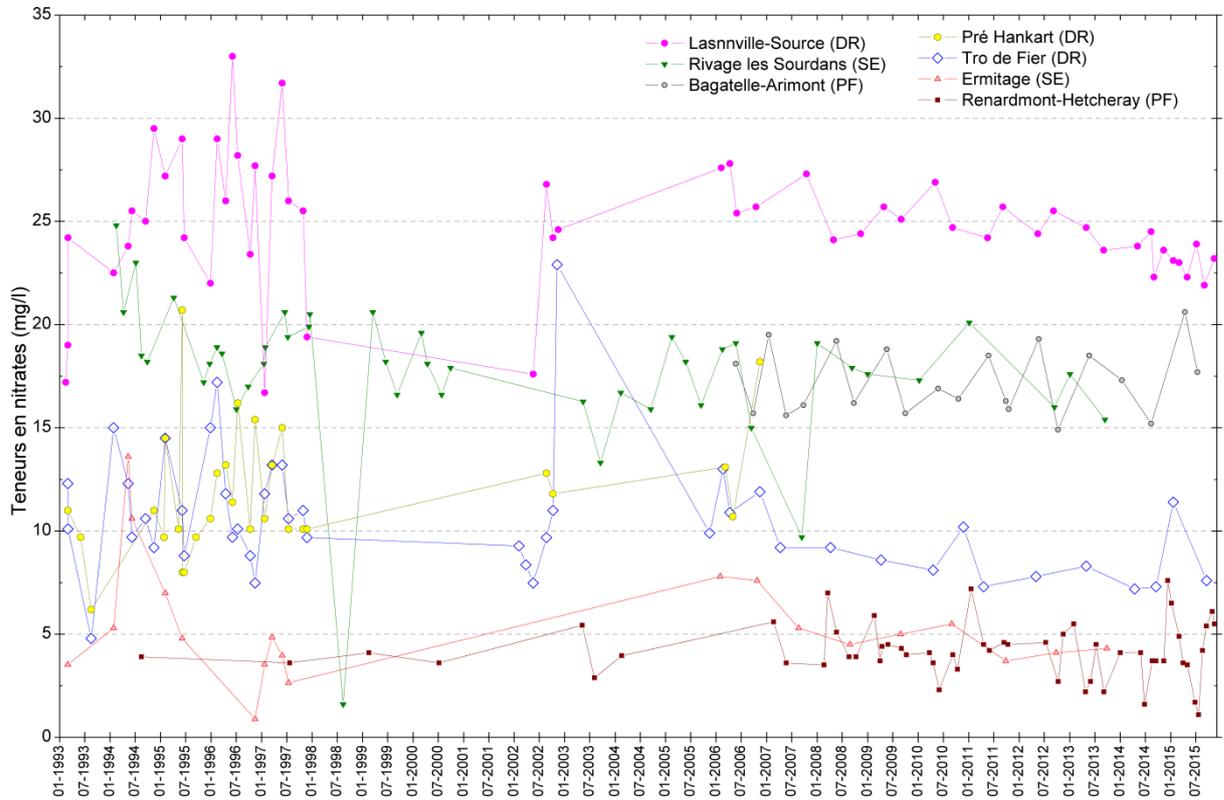


Figure V.5 : Evolution des concentrations en nitrates – Stavelot - Malmedy

V.3. QUALITE BACTERIOLOGIQUE

Des analyses concernant les paramètres microbiologiques sont disponibles pour quelques captages publics de la carte Stavelot - Malmedy (Tableau V.8). D'après ces données, on note la présence de quelques éléments bactériologiques qui seront éliminés par la chloration de l'eau avant sa mise sur le réseau de distribution publique.

V.4. PESTICIDES

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

La *Figure V.6* montre l'impact des pesticides sur la qualité des eaux souterraines wallonnes. Cette carte illustre l'indicateur « Pesticides dans les eaux souterraines (n°91) » de l'analyse des composantes de l'environnement présentée dans le rapport sur l'état de l'environnement wallon « Les Indicateurs clés de l'Environnement Wallon 2012 » (*ICEW, 2012*). Cet indicateur rend compte de manière simplifiée et globale de la qualité des eaux souterraines wallonnes par rapport aux pesticides. Les indices⁸ de qualité révèlent que les aquifères investigués de la région de Stavelot - Malmedy sont classés en catégorie « Bonne » à « Très Bonne » pour l'altération « Pesticides ».

D'après les données disponibles, à ce jour, aucune contamination marquée des eaux souterraines par les pesticides n'est observée (*Tableau V.9*). A l'instar des analyses microbiologiques, les analyses sur les pesticides concernent généralement les eaux captées par les ouvrages publics et destinées à la distribution. Les concentrations, par produit ou pour l'ensemble des pesticides, restent largement sous la norme de potabilité. Les valeurs maximales admises par le Code de l'Eau pour la plupart de ces produits phytosanitaires (ici, essentiellement des herbicides) sont de 100 ng/l. Cinq types de pesticides sont systématiquement recherchés lors des analyses spécifiques : l'atrazine et son métabolite, le déséthyl-atrazine, la simazine, le diuron et l'isoproturon. Des traces de diuron et de 2,6-dichlorobenzamide ont été occasionnellement observées dans les eaux souterraines de la carte Stavelot - Malmedy. Des nouvelles dispositions réglementaires, en lien avec les produits phytopharmaceutiques, sont entrées en vigueur le 1^{er} juin 2015. La phytolice⁹, nouveau certificat portant sur les connaissances des utilisateurs professionnels de produits phytopharmaceutiques, est obligatoire depuis le 25 novembre 2015. Ces mesures devraient contribuer à moyen et à long terme à la réduction des pesticides dans les eaux souterraines.

⁸ Indice calculé à partir des concentrations moyennes annuelles en atrazine, déséthylatrazine, simazine, diuron, isoproturon, chlortoluron, bromacile, bentazone et 2,6-dichlorobenzamide (BAM)

⁹ Infos disponibles sur http://agriculture.wallonie.be/pwrrp/programme_resume.pdf & www.phytolice.be & <http://crphyto.be/>

IMPACT DES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES SUR LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES

→ Voir fiche 10-3

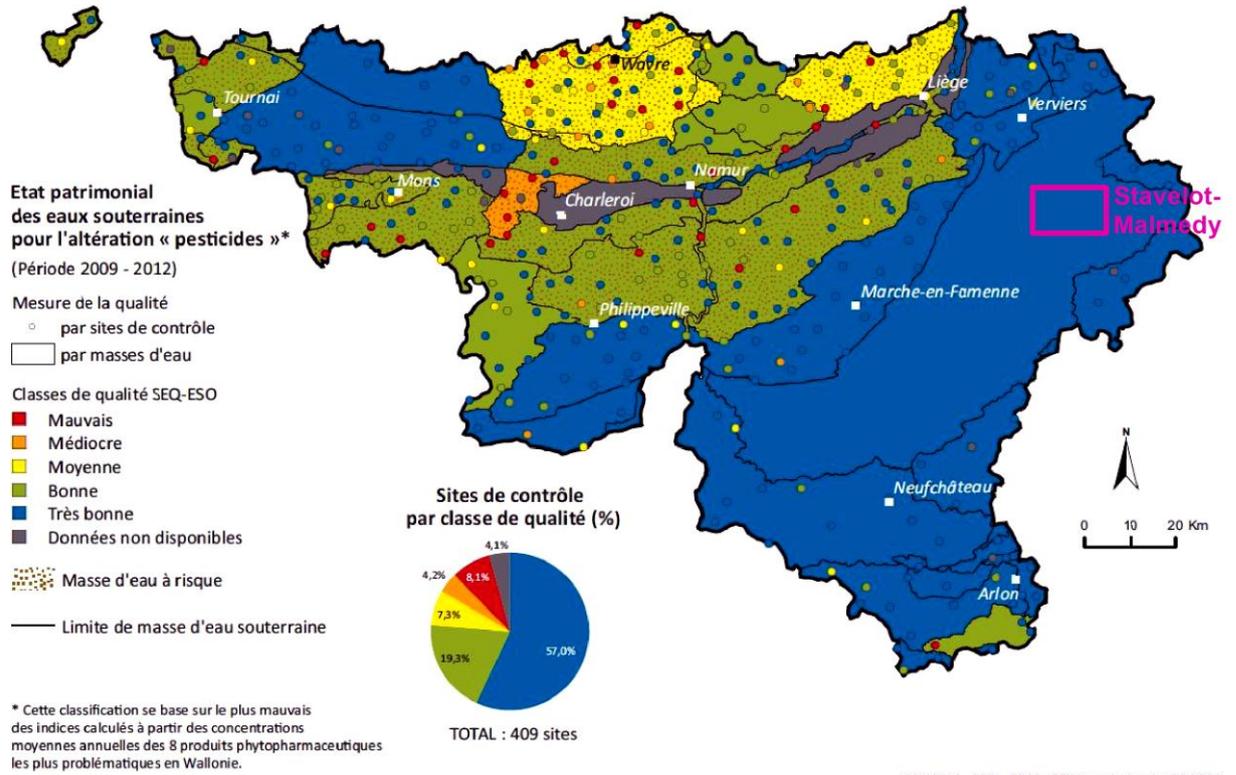


Figure V.6 : Pesticides en Région wallonne (ICEW, 2012 ; carte 19 modifiée)

Tableau V.9 : Principaux pesticides des eaux souterraines Stavelot – Malmedy

Pesticide	Niveau guide	Renardmont-Hetcheray	Hottleux	Warchenne	Rivage les Sourdans	Libomont-Espérance	Bagatelle-Arimont
	Code de l'eau	01/09/03 15/09/15	16/06/10	16/06/10	10/06/03	18/06/15	10/08/15
Simazine (ng/l)	100	0 0	-	-	0	<1	0
Chlortoluron (ng/l)	100	0 0	-	-	0	<1	0
Atrazine (ng/l)	100	0 0	-	-	0	<1	0
Bromacile (ng/l)	100	0 0	-	-	0	<1	0
2,6 - dichlorobenzamide (ng/l)	200	0 0	19,8	5,4	6	<1	0
Isoproturon (ng/l)	100	0 0	-	-	0	<1	0
Diuron (ng/l)	100	0 0	3,3	-	2	<1	0
Bentazone (ng/l)	100	0 0	-	-	0	<1	0
Déséthyl Atrazine (ng/l)	100	0 0	-	-	0	<1	0

VI. EXPLOITATION DES AQUIFERES

Les ressources en eau souterraine de la carte Stavelot - Malmedy sont sollicitées essentiellement pour la distribution publique d'eau potable. Sur la quarantaine d'ouvrages de prise d'eau pour lesquels nous disposons de données de volumes exploités, environ un quart appartient soit à la Société Wallonne des Eaux, soit aux Administrations Communales d'Amel ou de Waimes. A côté de ces gros captages, beaucoup de prises d'eau, prélevant des volumes moindres, sont répertoriées sur la carte étudiée. Il s'agit des captages, dits privés, des industries, des agriculteurs et des particuliers.

Les données présentées dans ce chapitre sont principalement extraites de la base de données de la Région Wallonne. L'encodage des volumes prélevés d'eau n'est cependant pas complet. Ceci concerne principalement les petits exploitants et donc les petits volumes (< 3 000 m³/an). En effet, les puits des particuliers ou des agriculteurs ne sont pas tous pourvus d'un compteur. Les volumes prélevés pour la distribution publique d'eau proviennent directement des bases de données des sociétés de distribution publique d'eau.

Sur la carte thématique intitulée « Carte des volumes d'eau prélevés », les volumes sont classés selon différentes catégories : les prélèvements d'eau destinés à la distribution publique d'eau potable (pastilles rouges) et les prélèvements à usage privé¹⁰ (pastilles vertes). Les volumes présentés sont des volumes de l'année 2016 pour les ouvrages de distribution publique d'eau et de 2015 pour les « Autres volumes ». Sur cette même carte, sont aussi reportés les volumes moyens sur 5 ans, ici 2012-2016. 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 5 années considérées. Parmi ces dernières, il se peut que certaines d'entre elles soient des années sans prélèvement.

VI.1. CAPTAGES POUR LA DISTRIBUTION PUBLIQUE D'EAU POTABLE

VI.1.1. Société Wallonne des Eaux

La Société Wallonne des Eaux possède environ 50 ouvrages répartis sur la carte Stavelot - Malmedy. Parmi ceux-ci, seuls 7 sont encore en service en 2016 (*Figure VI.1*).

Les ouvrages ayant été en activité durant la période 2006-2011 mais hors-service ou en réserve en 2016 sont repris à titre indicatif au *Tableau VI.1*. La majorité du volume d'eau prélevé par la S.W.D.E., via ses ouvrages exploités situés sur la carte Stavelot - Malmedy,

¹⁰ 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.

est issue des unités hydrogéologiques du socle cambro-silurien (Aquiclide à niveaux aquifères et Aquitard à niveaux aquifères).

Tableau VI.1 : Volumes (m³) prélevés par les ouvrages de la S.W.D.E. entre 2006 et 2011 mais hors-service à la date de parution de cette notice.

Ouvrage		2006	2007	2008	2009	2010	2011
PRE HANKART (DR)	ER	18 392	13 634	9 228	9 125	9 125	-
ALEFF THAON 1 (NAPOLEON) (DR)	HS	12 775	12 775	4 226	3 258	985	-
AMERMONT-BOIS DES TROYES D1 (DR)	HS	801	1 797	1 830	5 873	226	2 105
AMERMONT-PUITS PRINCIPAL (PF)	HS	69 364	74 609	68 896	66 892	64 678	22 325
BOUSSIRE (DR)	HS	28 361	22 214	29 635	29 771	24 775	15 393
CLIGNEVAL (DR)	HS	365	365	270	270	296	285
DESSUS LES HOULLERES-THAON 2 (DR)	HS	4 001	4 236	-	-	-	-
FERME LIBERT (DR)	HS	4 380	4 392	315	315	337	3 292
HEDOMONT SOURCE (SE)	HS	21 746	23 725	-	-	-	-
RIVAGE-LES SOURDANS E1 (SE)	HS	8 999	13 078	10 391	8 530	6 427	854

VI.1.1.1. Aquiclide à niveaux aquifères du socle cambro-silurien

Les ouvrages sollicitant l'Aquiclide à niveaux aquifères du socle cambro-silurien sont les suivants (*Figure VI.1*) :

- Le drain LASNEVILLE-SOURCE S1 a prélevé 19 493 m³/an en moyenne sur la période 2012-2016. En 2016 ce volume était de 28 492 m³ ;
- Le drain TRO DE FIER a prélevé 11 446 m³/an en moyenne sur la période 2012-2016. En 2016 ce volume était de 10 497 m³ ;
- Le drain de CHEVOFOSSE a prélevé 1 337 m³/an en moyenne sur la période 2012-2016. En 2016 ce volume était de 993 m³ ;
- Le puits RENARDMONT-HETCHERAY a pompé en moyenne 387 m³/an sur la période 2012-2016. En 2016 ce volume était de 645 m³.

VI.1.1.2. Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien

Les ouvrages sollicitant l'Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien sont les suivants (*Figure VI.1*) :

- Les DRAINS D1 ET D2 BAGATELLE ont prélevé en moyenne 42 805 m³/an entre 2012 et 2016 (*Figure VI.1*). En 2016 ce volume était de 41 279 m³ ;
- La source HOKGNIE-L'ESPERANCE a prélevé en moyenne 13 530 m³/an entre 2012 et 2016. En 2016, ce volume était de 3 950 m³.

VI.1.1.3. Aquiclide à niveaux aquifères du Dévonien inférieur

Le seul ouvrage de la S.W.D.E. ayant sollicité l'Aquiclide à niveaux aquifères du Dévonien inférieur est le suivant :

- Le site de BAGATELLE-ARIMONT P1-AISANCE D'ARIMONT a prélevé 29 064 m³/an en moyenne sur la période 2012-2016. En 2016 ce volume était de 25 345 m³ ;

VI.1.1.4. Aquifère du Permien

Le seul ouvrage de la S.W.D.E. ayant sollicité l'Aquifère du Permien, entre 2012 et 2016, est le suivant :

- Le drain PALM-MEIZ SOURCE S1 a prélevé en moyenne 21 997 m³/an entre 2012 et 2016. Cet ouvrage n'est plus en activité depuis 2015 (*Figure VI.1*).

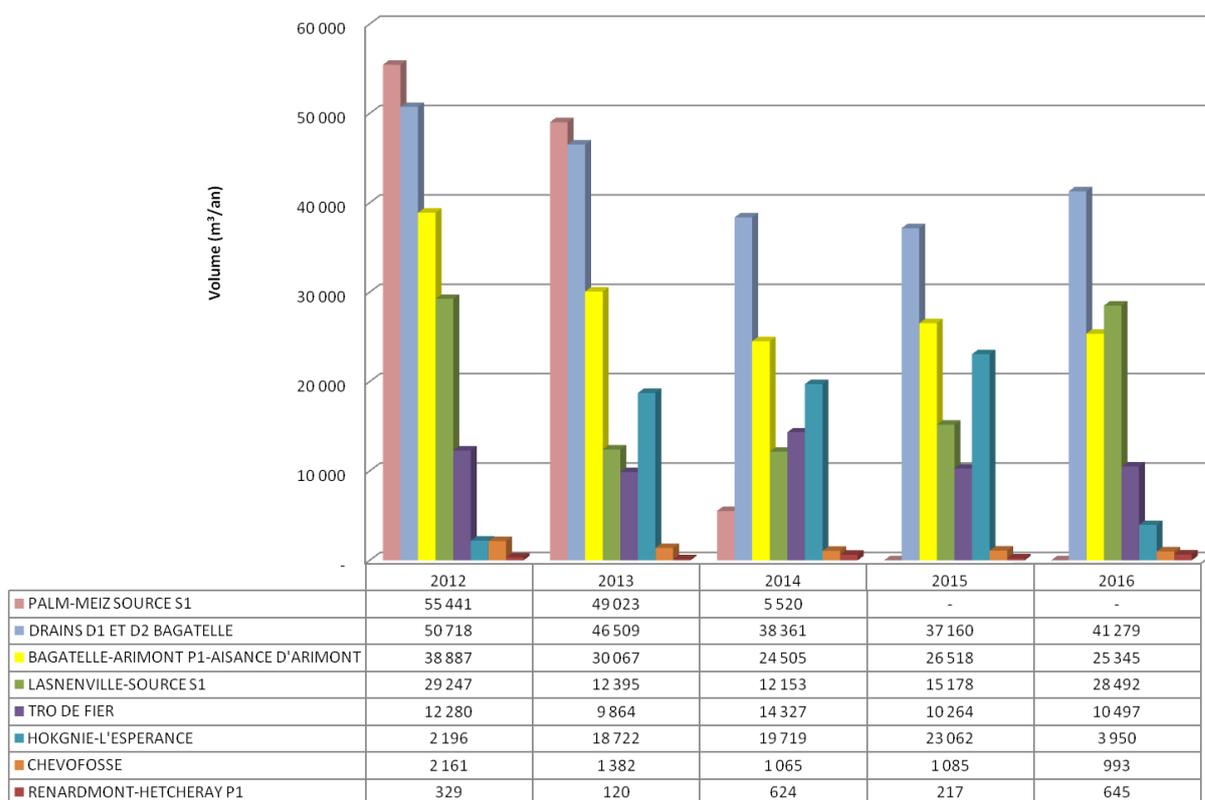


Figure VI.1 : Volumes d'eau prélevés par la S.W.D.E. entre 2012 et 2016 sur la carte 50/5-6.

VI.1.2. Administration communale de Waimes

L'administration communale de Waimes assure elle-même l'alimentation en eau potable de la partie sud de la commune via plusieurs sites de captages. Sur la carte Stavelot - Malmedy, 5 sites sont en service, en 2016 : Libomont-Espérance, Forage de Bruyères, Warchenne, Hottleux et Forage de Thirimont (*Figure VI.2*). Ils exploitent tous l'Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur. La source « Captage de Bruyères » est hors-service depuis 2006-2007.

- Le puits de LIBOMONT-ESPERANCE, profond de 87 m, a prélevé en moyenne 6 549 m³/an entre 2012 et 2016. En 2016 le volume déclaré était de 5 939 m³ ;

- Le puits FORAGE DE BRUYERES, profond de 64 m, est situé à proximité de l'ancien captage à l'émergence de Bruyères. Le volume prélevé en moyenne entre 2012 et 2016 a été de 18 369 m³/an. En 2016 le volume déclaré était de 20 888 m³ ;
- Le drain WARCHENNE, d'une longueur totale de 112 m, capte l'émergence de différentes sources. Entre 2012 et 2016 le volume prélevé en moyenne a été de 47 423 m³/an. En 2016 le volume déclaré était de 38 072 m³ ;
- Le puits HOTTLEUX, profond de 82 m, a prélevé en moyenne 16 383 m³/an entre 2012 et 2016. En 2016 le volume déclaré était de 14 023 m³ ;
- Le FORAGE DE THIRIMONT, profond de 60 m, a prélevé en moyenne 26 406 m³/an entre 2012 et 2016. En 2016 le volume déclaré était de 30 845 m³.

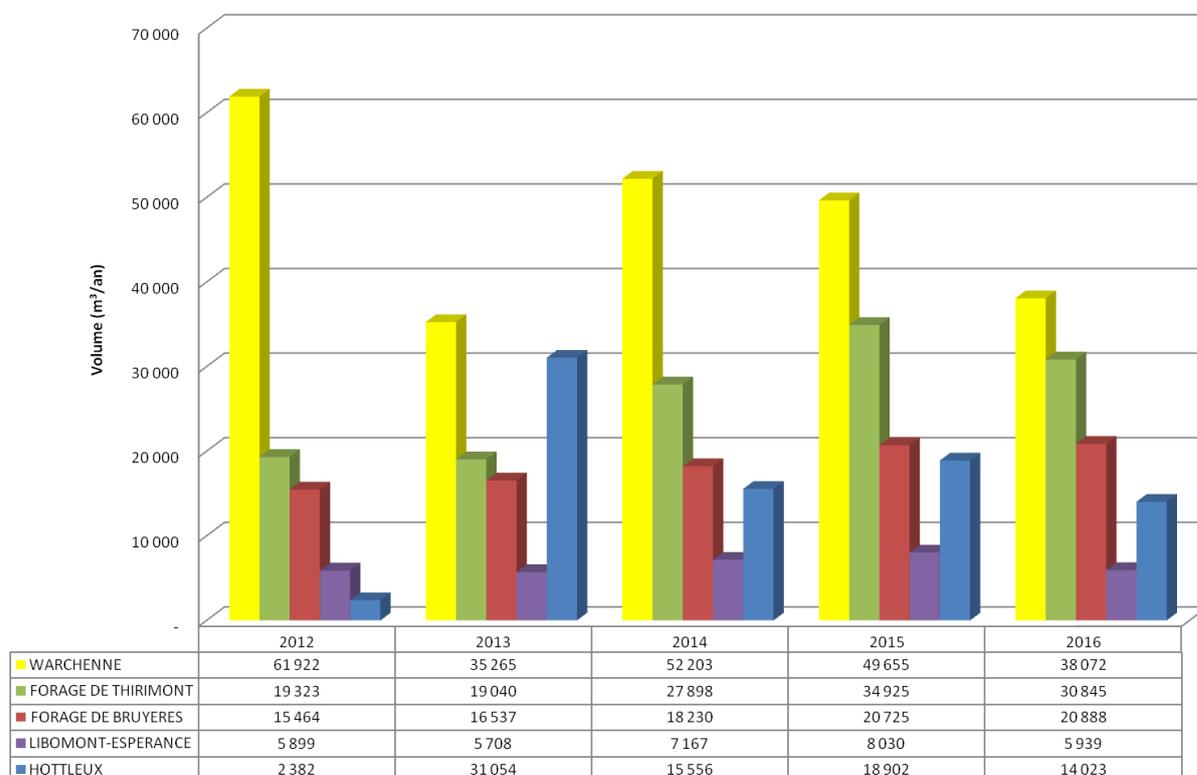


Figure VI.2 : Volumes d'eau prélevés par l'administration communale de Waimés entre 2012 et 2016 sur la carte 50/5-6.

VI.1.3. Administration communale d'Amel

L'administration communale d'Amel assure elle-même l'alimentation en eau potable de sa population via plusieurs captages dont un seul se situe sur la carte Stavelot - Malmedy :

- le drain de MONTENAU-WOLFSBUSCH-NOUVEAU, sollicitant l'Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien, a prélevé en moyenne un volume de 28 864 m³ entre 2012 et 2016. En 2016 le volume déclaré était seulement de 1 992 m³. (Figure VI.3).

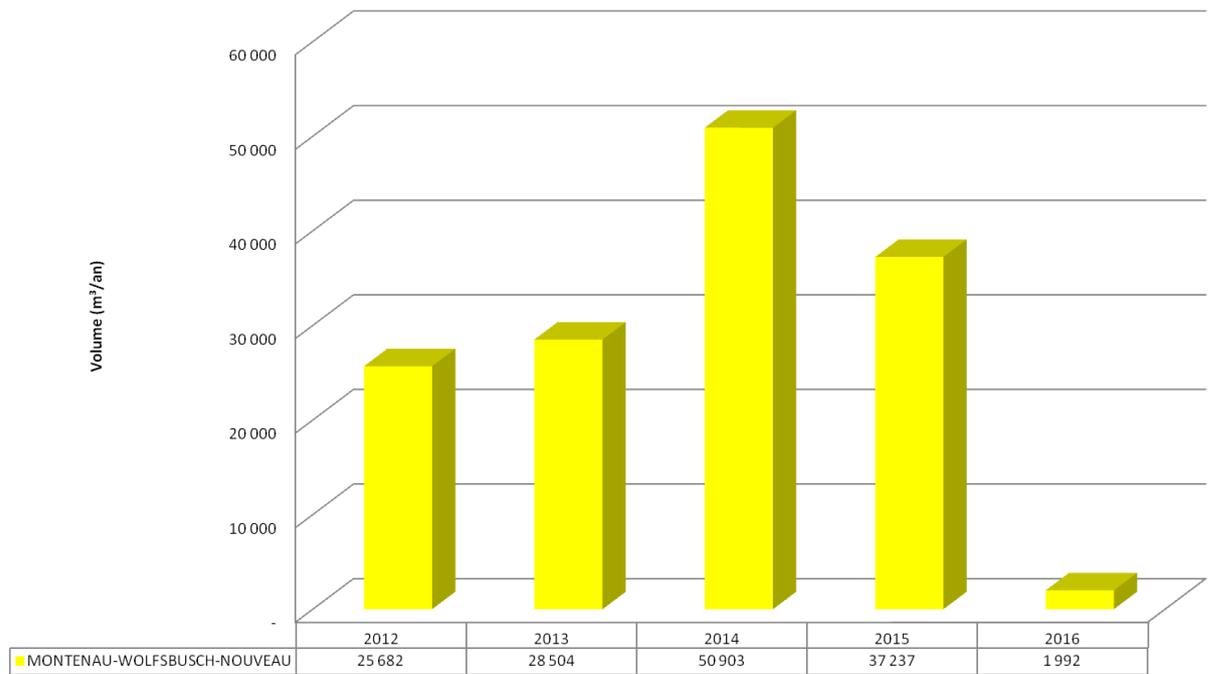


Figure VI.3 : Volumes d'eau prélevés par l'administration communale d'Amel entre 2012 et 2016 sur la carte 50/5-6.

VI.2. CAPTAGES PRIVÉS

Plusieurs captages privés sont répertoriés sur la carte Stavelot - Malmedy. Ils appartiennent à des agriculteurs, des activités de service et des particuliers. Ils sollicitent la majorité des unités hydrogéologiques présentes sur cette carte. D'un point de vue quantité d'eau prélevée, ces captages ne sont pas les exploitants majeurs. En effet, le volume prélevé par prise d'eau est compris entre quelques m³ et 6 000 m³ par an.

VII. PARAMETRES D'ÉCOULEMENT ET DE TRANSPORT

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

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

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

Vu la multitude et la complexité des méthodes et concepts utilisés pour leur définition et leur détermination, la description détaillée de ces notions sort du cadre de cette notice. Nous invitons le lecteur à consulter le site Internet de la carte hydrogéologique de Wallonie¹¹. Les concepts majeurs de l'hydrogéologie y sont abordés de manière simplifiée et quelques références bibliographiques y sont renseignées.

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

¹¹ <http://environnement.wallonie.be/cartosig/cartehydrogeo/concepts.htm>

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

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

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

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

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

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

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

Toutes les unités hydrogéologiques présentes sur la carte Stavelot - Malmedy n'ont pas fait l'objet d'études permettant de définir les paramètres hydrodynamiques des aquifères. Des essais de pompage ont été réalisés au droit des forages des sites de captage sollicitant les terrains du Cambro-Silurien, du Dévonien et du Permien.

VII.1. AQUICLUDE À NIVEAUX AQUIFÈRES DU SOCLE CAMBRO-SILURIEN

Lors de l'étude des zones de prévention à *Petit-Spai* (Trois-Ponts), la transmissivité moyenne calculée à partir des essais de pompage varie entre 0,94 et $1,58 \times 10^{-4}$ m²/s (*Derycke, 1995*). L'auteur de cette étude considère une épaisseur aquifère faible (e=1 m). Sur cette base, la conductivité hydraulique de la zone aquifère sollicitée (aquiclude à niveaux aquifères logé dans les terrains cambriens du Massif de Stavelot) est de l'ordre de $1,58 \times 10^{-4}$ m/s.

VII.2. AQUITARD DU SOCLE CAMBRO-SILURIEN

Le forage de *Malmedy P1* (Electrabel) fut réalisé en octobre 2001 par Tractebel. Un essai de pompage y a été réalisé où des débits de 5, 7 et 9 m³/h furent successivement prélevés. Des mesures en pompage et en remontée ont été prises. Un réel équilibre du niveau de la nappe n'a jamais été obtenu après 7 h de mesure pour chaque palier. A 9 m³/h, le rabattement du niveau d'eau était trop important avec le risque de déjauger la pompe. Les résultats de ces essais de pompage de courte durée ont fournis des transmissivités calculées variant entre $1,86 \times 10^{-5}$ et $2,05 \times 10^{-5}$ m²/s. L'épaisseur de l'aquifère crépiné est estimée à 60 m et permet de calculer une conductivité hydraulique de l'ordre de $3,1 \times 10^{-7}$ et $3,4 \times 10^{-7}$ m/s. Le coefficient d'emménagement se situe aux alentours de 4,3 %.

VII.3. AQUICLUDE À NIVEAUX AQUIFÈRES DU DÉVONNIEN INFÉRIEUR

Un essai de pompage a été réalisé sur le captage de *Libômont* (A.C. de Waimes) en avril 2004 (**Aries & HGE-ULg, 2004**). La phase de pompage a duré 585 minutes à un débit de 10 m³/h et la remontée a duré 260 minutes. Les niveaux d'eau ont été suivis dans différents piézomètres forés à proximité du captage (Pz 10, 11 et 13). L'interprétation des résultats a fourni des conductivités hydrauliques de 3,1×10⁻⁵ m/s en descente et 1,5×10⁻⁵ m/s en remontée. Vasbinder (**2006**) a exploité des données de niveaux piézométriques non utilisées précédemment pour calculer des conductivités de l'ordre de 1,1×10⁻⁵ et 1,8×10⁻⁵ m/s et un coefficient d'emménagement de l'ordre de 0,3 %. En juin 2015, de nouveaux essais de pompage ont été réalisés sur ce puits (**GEOLYS, 2015**). Il s'agissait d'un essai de courte durée par paliers enchaînés et d'un essai de longue durée. La remontée a été enregistrée sur les deux essais. Le niveau d'eau a été suivi dans trois piézomètres proches. Les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère déterminées au droit de ce site sont une conductivité hydraulique de l'ordre de 2,9×10⁻⁵ m/s et une porosité effective de drainage de 1,1 % (correspondant au coefficient d'emménagement en nappe libre).

Un essai de pompage sur le puits *Hottleux* (A.C. De Waimes) a été réalisé en août 2002. Un débit moyen de 23,2 m³/h a été prélevé pendant 195 minutes. Le rabattement dans le puits de pompage a été mesuré pendant 325 minutes à partir du début du prélèvement. Cet essai a été interprété par Vasbinder (2006). Les valeurs de conductivité hydraulique obtenues varient entre 2,8×10⁻⁵ et 3,5×10⁻⁵ m/s en pompage et entre 1,8×10⁻⁵ et 2,7×10⁻⁵ m/s en remontée. En mars 2011, de nouveaux essais de pompage (par paliers enchaînés et longue durée) ont été menés sur ce forage (**SGS, 2014b**). Le niveau d'eau a été suivi dans un forage voisin. Les perméabilités au droit du puits Hottleux sont de l'ordre de 3 à 3×10⁻⁵ m/s, correspondant très probablement à des zones fracturées, proches du puits. Ces valeurs diminuent, ensuite, et sont alors de l'ordre de 7×10⁻⁶ à 1×10⁻⁵ m/s, le cône de rabattement atteint des zones moins fracturées et moins perméables. Ces valeurs de K ont été calculées en prenant comme épaisseur d'aquifère, la hauteur d'eau dans l'ouvrage.

Le pompage d'essai du forage de *Bruyère* (A.C. de Waimes) fut réalisé en août 1998. Il consista en un prélèvement de 6,95 m³/h pendant 240 minutes. Le rabattement au niveau du puits de pompage fut mesuré pendant 485 minutes à partir du début du prélèvement. Cet essai a été interprété par Vasbinder (**2006**). Les valeurs de conductivité hydraulique obtenues varient entre 1,9×10⁻⁵ et 3,8 × 10⁻⁶ m/s en pompage et entre 3×10⁻⁶ et 5,6×10⁻⁶ m/s en remontée. En août 2006, des essais de pompage ont été réalisés sur les deux forages de Bruyères (ancien et nouveau 2004) : de courte durée par paliers enchaînés et de longue durée, avec remontée en fin de tests (**SGS, 2014a**). La conductivité hydraulique dans le nouveau puits (**Bruyères, 2004**) est de l'ordre de 1,4×10⁻⁶ m/s. Elle augmente ensuite (4 à 7×10⁻⁶ m/s) lorsque le cône de rabattement semble atteindre les zones plus perméables. Ceci notamment en direction de l'ancien puits où K est de l'ordre de 2 à 4×10⁻⁶ m/s. Ensuite,

les valeurs de K diminuent pour les deux puits, au fur et à mesure de l'extension du cône de rabattement (7 à 9×10^{-7} m/s). Le coefficient d'emmagasinement calculé est de 0,37 %.

VII.4. AQUIFÈRE DU PERMIEN

Entre mai et octobre 2003, différents pompages commandés par le Service des Travaux de la ville de Malmedy ont été effectués dans la plaine alluviale de la Warche par le bureau d'étude Géobel Conseil. Ceux-ci avaient pour objectif d'étudier l'influence d'un nouveau captage sur les puits déjà présents dans la plaine alluviale (PC1 et PP1, puits traditionnels de 0,8m de diamètre). Cette étude a abouti à la détermination des différents débits spécifiques mais pas à la détermination de valeurs de conductivités hydrauliques et/ou de coefficient d'emmagasinement.

Les données brutes ont ensuite été traitées par Vasbinder (2006). En juillet 2003, un débit moyen de 24,5 m³/h fut prélevé au niveau du puits PC1 pendant 8 jours et 3h30. Après l'arrêt du pompage, la remontée fut étudiée pendant 19 jours. La conductivité hydraulique a été estimée à 9×10^{-4} m/s. Un autre essai de pompage fut réalisé au niveau du puits PP1. Les variations du niveau piézométrique furent suivies dans cet ouvrage mais aussi dans le PC1. Ces deux ouvrages sont distants de 131 mètres. Le débit prélevé était de 24,7 m³/h entre le 23 et le 29 août 2003. La conductivité hydraulique calculée à partir des résultats du PC1 est de $5,5 \times 10^{-3}$ m/s. Celle calculée à partir des résultats du PP1 est de l'ordre de $4,9 \times 10^{-3}$ m/s. Le coefficient d'emmagasinement calculé est de 3,9 %.

VIII. ZONE DE PROTECTION

VIII.1. CADRE LEGAL

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

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

VIII.1.1. 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.

VIII.1.2. Zones de prévention rapprochée et éloignée ou zones IIa et IIb

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

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

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

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

A défaut de données suffisantes permettant de définir la zone IIa selon le critère des temps de transfert, la législation suggère de délimiter la zone IIa par une ligne située à une distance horizontale minimale de 35 m à partir des installations de surface, dans le cas d'un puits, et par deux lignes situées à 25 m au minimum de part et d'autre de la projection de

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

surface de l'axe longitudinal dans le cas d'une galerie. En milieu karstique, tous les points préférentiels de pénétration (dolines et pertes) dont la liaison avec le captage est établie sont classés en zone IIa.

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

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

- 100 m pour les formations aquifères sableuses ;
- 500 m pour les formations aquifères graveleuses ;
- 1 000 m pour les formations aquifères fissurés ou karstiques.

VIII.1.3. 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 (I, II, III) peuvent coïncider avec des repères ou des limites topographiques naturels ou artificiels, rendant leur identification sur le terrain plus aisée.

Mesure de prévention

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

La Société publique de Gestion de l'Eau¹⁴ assure la gestion financière des dossiers concernant la protection des eaux probabilisables distribuées par réseaux, par le biais de contrats de service passés avec les producteurs d'eau. Pour financer les recherches

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

¹⁴ SPGE, instituée par le décret du 15 avril 1999

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 wallonne¹⁵.

Un autre site a également été développé, permettant grâce à une recherche rapide par commune ou par producteur d'eau, de visualiser, soit la carte et le texte des zones officiellement désignées par arrêté ministériel, soit par carte de chaque zone actuellement soumise à l'enquête publique¹⁶.

VIII.2. ZONES DE PREVENTION ARRETEES

VIII.2.1. Zone de prévention de Spa

La société Spadel s.a. possède des prises d'eau situées au niveau des cartes Louveigné - Spa 49/3-4, Harzé - La Gleize 49/7-8 et Sart - Xhoffrai 50/1-2, et dont les zones de prévention (code SPW : SPA) sont en partie sur le territoire de la carte étudiée (nord-ouest de la carte) (*Figure VIII.1*). Cette société fournit notamment l'eau de Spa (arrêté du 13 décembre 2001).

Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée des ouvrages de prise d'eau souterraine de l'administration communale de Spa, de la S.A. Spa Monopole et de la S.A. Exirus, sis sur le territoire des communes de Spa, de Theux, de Jalhay et de Stoumont - 13 décembre 2001 - (M.B. 01.03.2002).

VIII.2.2. Zone de prévention de Spai à Trois-Ponts

Dans le cadre d'un projet immobilier à Petit Spai sur le territoire de la commune de Trois-Ponts, trois puits ont été forés pour assurer l'approvisionnement en eau du site. Ces captages sont soumis à zones de prévention. Une étude hydrogéologique a été menée (*Derycke, 1995*). Deux zones de prévention (code SPW : TROISPONTS) concernent la carte Stavelot - Malmedy (*Figure VIII.1*). Elles se situent dans la partie sud-ouest de la carte et ont été arrêtées en juin 1999. Demandées par la société Consorts DEMEURE, ces deux zones recouvrent une superficie de 0,3 km² au niveau du lieu-dit « Petit Spai ». L'option

¹⁵ <http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas>

¹⁶ http://environnement.wallonie.be/zones_prevention/

empirique d'un rayon de 35 m autour des deux prises d'eau a été retenue pour la délimitation des zones de prévention rapprochées. La zone de prévention éloignée du puits AD 1 (non présent sur la carte mais dont la zone de prévention est en partie située sur la carte Stavelot - Malmedy) correspond à un cercle de 300 m centré sur le puits de captage et limité au nord par les berges de l'Amblève. Pour le second ouvrage (AD 2), le canevas de délimitation de la zone reste identique, exception faite de la longueur du rayon qui est de 150 m.

Arrêté du Gouvernement wallon relatif à l'établissement des zones de prévention des prises d'eau souterraine dénommées AD2 et AD3 sises au lieu-dit Petit Spai à Trois-Ponts.- 24 juin 1999 – (Mention au M.B. 30.07.1999)

VIII.3. ZONES DE PREVENTION A DEFINIR

Plusieurs ouvrages, destinés à l'approvisionnement en eau potable et sans zone de prévention arrêtée à ce jour, sont localisés sur la carte Stavelot - Malmedy (*Figure VIII.1 & Tableau VIII.1*). Les captages signalés hors-service (abandon) par les compagnies d'eau ou les communes ne sont pas repris dans cette liste. A terme, autour de ces différents ouvrages, des zones de prévention seront définies. Actuellement, ces zones sont représentées sur la carte hydrogéologique par des triangles vides. Ces ouvrages appartiennent à la S.W.D.E., aux administrations communales d'Amel et de Waimes ainsi qu'à des propriétaires privés (ici, Duke Distribution s.a.). Cette dernière zone de prévention devrait sans doute prochainement être retirée de la liste car la société n'existe plus et les puits ne sont plus exploités.

Tableau VIII.1 : Liste des captages soumis à zone de prévention, non encore définies (Stavelot - Malmedy)

Captage	Type	Code	Titulaire
Renardmont-Hetcheray	Puits foré	50/5/4/003	
Lasnenville S1	Drain	50/6/7/001	
Lasnenville S2	Drain	50/6/7/003	
Tro de Fier	Drain	50/6/4/003	
Chevofosse	Drain	50/5/6/005	SWDE
Bagatelle DR1 & DR2	Drains	50/6/5/007	
Bagatelle-Arimont	Puits foré	50/6/5/004	
Hokgnie-Espérance	Source	50/5/4/008	
Bruyères	Puits foré	50/6/3/005	
Bruyères 2004	Puits foré	50/6/3/011	
Hottleux	Puits foré	50/6/6/003	Administration Communale de Waimes
Libomont-Espérance	Puits foré	50/6/3/002	
Thirimont	Puits foré	50/6/6/004	
Warchenne	Drain	50/6/6/001	
Montenau	Drain	50/7/7/001	Administration Communale d'Amel
Puits P1 & Puits P2	Puits forés	50/5/2/001-2	Duke Distribution s.a.

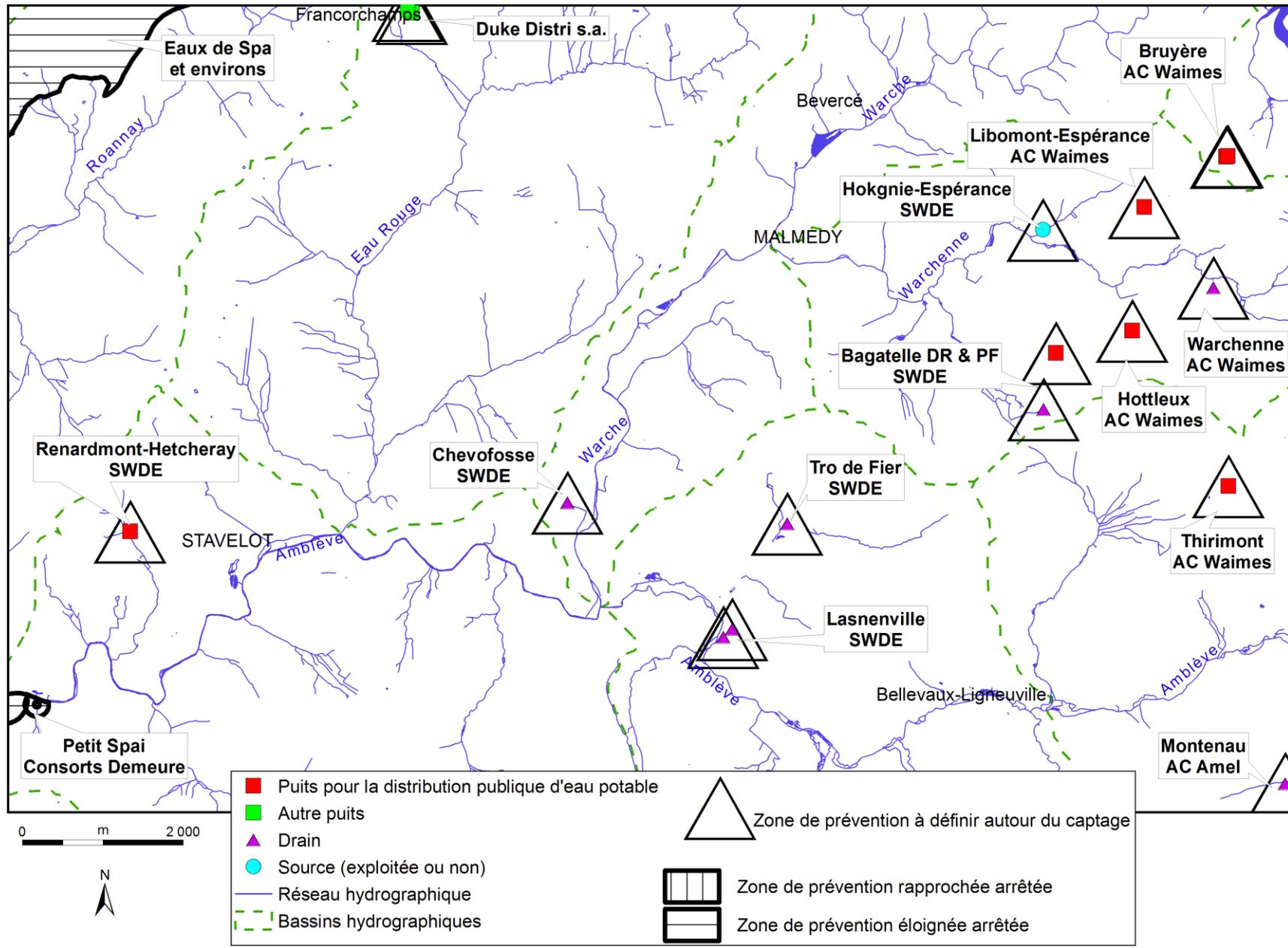


Figure VIII.1 : Zones de prévention de la carte Stavelot - Malmedy

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 Stavelot - Malmedy. 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

Le fond géologique utilisé pour cette carte hydrogéologique est la Carte géologique de Stavelot - Malmedy (feuille n°160) au 1/25 000 et son texte explicatif de Geukens (**1963**).

Des descriptions de forages sont également disponibles auprès de l'administration wallonne et des sociétés de distribution publique d'eau potable.

Des discontinuités avec les cartes voisines entre les limites géologiques et/ou hydrogéologiques peuvent apparaître. Ces disparités sont le résultat de l'utilisation de fonds géologiques de générations différentes. La méthode de levé des nouvelles cartes géologiques est différente de celle employée auparavant (**Dejonghe, 2007**), ainsi des discontinuités entre les unités géologiques existent entre les différentes générations de cartes. Sur la carte Stavelot - Malmedy, les discontinuités aux frontières nord, est et sud de la carte sont dues à l'utilisation de fonds géologiques de générations et d'échelles différentes (carte géologique régionale du Massif de Stavelot – **Geukens, 1999**). Ces bords sont respectivement frontaliers avec :

- la carte Sart-Xhoffraix ;
- la carte Bütgenbach-Büllingen ;
- la carte Vielsalm-Houvegnez.

Le bord ouest de la carte est frontalier avec la carte Harzé - La Gleize. Cette carte a été levée au 1/25 000 à la même époque que la carte Stavelot - Malmedy. Les différences entre les unités hydrogéologiques sont dues à l'évolution de la nomenclature utilisée. En effet, les cartes n'ont pas été réalisées à la même date et la nomenclature des unités hydrogéologiques s'est affinée depuis le début du projet.

Plusieurs sites de la région étudiée ont fait l'objet d'investigations géophysiques. Ces zones de prospections géophysiques ont été simplement localisées sur la carte hydrogéologique. Le type de prospection géophysique menée et les références

bibliographiques sont mentionnées. Ces investigations ont permis de préciser le contexte géologique de la zone prospectée (lithologie et structural) dans le but de déterminer au mieux l'emplacement pour des forages ou encore de définir la nature et l'épaisseur des terrains meubles.

- Carrière de la Warchenne (Waimes) (**LGIH, 1991**) : 15 sondages électriques et 3 trainées électriques ;
- Sources de l'Esperance (**Tractebel, 2001**) : 5 tomographies électriques ;
- Cligneval (**Robert, 2007**) : potentiel spontané, 1 trainée électrique et 1 tomographie électrique.

IX.1.2. Données météorologiques et hydrologiques

Sur la carte Stavelot - Malmedy, on compte quatre stations météorologiques. Il s'agit des stations de Robertville 6958 (mesure pluviométrique depuis octobre 1994), Stavelot MV52 (mesure pluviométrique depuis janvier 1951), Stavelot M7 (mesure pluviométrique depuis janvier 51 et mesure de température depuis décembre 1953) et Géromont MS14 (mesure pluviométrique et de température depuis juin 1985). Toutes ces stations appartiennent à l'Institut Royal Météorologique.

Sept stations limnimétriques sont répertoriées sur le territoire de cette carte, 4 appartenant au SETHY et 3 à la DGARNE. Les stations appartenant au SETHY sont Malmedy-Warche 6933 (mise en service le 17/08/1994), Malmedy-Warchenne 6991 (mise en service le 5/03/1997), Lasninville 6753 (mise en service le 13/11/1996) et Bevercé 6946 (mise en service le 20/11/1996). Les stations appartenant à la DGARNE sont Thioux 5580 (mise en service le 1/07/1975), Malmedy 6520 (mise en service le 13/06/1994) et Stavelot 7160 (mise en service le 17/08/2004).

IX.1.3. Données hydrogéologiques

IX.1.3.1. Localisation des ouvrages

Dans la base de données BD-Hydro, 221 ouvrages situés sur la carte Stavelot - Malmedy sont répertoriés. Parmi ces points, on compte 119 puits (puits forés et puits traditionnels), 51 drains, 49 sources exploitées ou non, et 2 prélèvements d'eau de surface.

De plus, selon l'atlas du karst wallon (CWEPS, 1996-2006), 1 perte et 2 résurgences sont recensées sur cette carte.

IX.1.3.2. Données piézométriques

Très peu de données piézométriques sont disponibles pour la carte Stavelot - Malmedy. Une trentaine de mesures de niveau d'eau sont encodées la base de données. Elles proviennent principalement de la campagne de terrain menée lors de la réalisation de la carte hydrogéologique et de quelques rapports de bureaux d'études environnementales. Sur le poster, quelques niveaux ponctuels sont présentés.

IX.1.4. Données hydrochimiques et tests sur les puits

L'essentiel des données hydrochimiques ont été fournies par la Direction des Eaux Souterraines (DESO-SPW). La SWDE, divers rapports et les prélèvements faits lors des campagnes de terrain ont complété ce jeu initial.

Environ 90 sites (puits et piézomètres, drains, galeries, sources) sont concernés, comptabilisant plus de 4 000 valeurs (depuis 1981). Ces analyses caractérisent presque toutes les unités hydrogéologiques de la carte Stavelot - Malmedy. Ces points, où des données chimiques sont disponibles, sont reportés sur la carte thématique des informations complémentaires et caractères des nappes. Le *chapitre V* décrit, plus en détails, le cadre hydrochimique des unités hydrogéologiques rencontrées sur la carte 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 et d'études hydrogéologiques diverses. Les résultats de ces tests (essais de pompage essentiellement) sont synthétisés au *chapitre VII*. Sur la carte thématique des informations complémentaires, les puits ayant fait l'objet de tels tests sont mis en évidence par divers symboles.

IX.1.5. Autres données

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

Sur la carte Stavelot - Malmedy, il y a plusieurs zones de prévention autour de captage dont l'eau est destinée à la consommation alimentaire. Ces zones (IIa & IIb) ont différents statuts. Pour la plupart des captages, ces zones sont encore à définir. Certaines zones ont été validées par arrêté ministériel. Toutes ces zones figurent sur la carte principale au 1/25 000. Elles sont détaillées dans le *chapitre VIII*.

IX.2. BASE DE DONNEES HYDROGEOLOGIQUES

De façon générale, les données des cartes hydrogéologiques nécessitent une organisation structurée de manière à optimiser leur stockage, leur gestion et leur mise à jour. Ainsi une base de données hydrogéologique géorelationnelle a été développée (**Gogu, 2000 ; Gogu et al, 2001**). Cette première version de la base de données 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 forages et d'autres données administratives ou autres sont stockées dans la BD-HYDRO (**Wojda et al., 2005**). Elle regroupe toutes les informations disponibles en matière d'hydrogéologie en Région wallonne. Parmi les nombreuses et diverses données de la BD-HYDRO on trouve des informations relatives à la localisation des prises d'eau (puits, sources, piézomètres,...). Leurs caractéristiques géologiques et techniques, ainsi que des données sur la piézométrie, la qualité physico-chimique des eaux souterraines, les volumes prélevés... les divers tests (diagraphies, essais de pompage, essais de traçage, prospection géophysique) sont également encodés dans la BD-HYDRO. Elle est également enrichie avec les informations sur les études, rapports et autres documents hydrogéologiques écrits. Ces renseignements se présentent sous la forme de métadonnées.

IX.3. POSTER DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE

La carte hydrogéologique se compose :

- d'une carte hydrogéologique (1/25 000) donnant des informations sur les différentes formations aquifères, la localisation des prises d'eau, les zones de prévention... ;
- d'une carte (1/50 000) de localisation des captages avec les volumes exploités pour une année donnée et les nappes exploitées ;
- d'une carte (1/50 000) localisant :
 - les sites où sont disponibles des données hydrochimiques et au droit desquelles divers tests (essais de pompage, traçages, diagraphies, ...) ont été réalisés ;

- les sites investigués par prospections géophysiques ;
- le caractère des nappes ;
- d'une coupe hydrogéologique ;
- d'un tableau de correspondance « Géologie-Hydrogéologie ».

IX.3.1. Carte hydrogéologique principale

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

- le fond topographique de la carte IGN 1/10 000 ;
- le réseau hydrographique ;
- les unités hydrogéologiques d'après la carte géologique de Geukens (1963)
- les failles ;
- la localisation des points d'eau:
 - des puits des sociétés de distribution d'eau ;
 - des puits privés exploités et déclarés à la Région wallonne ;
 - des piézomètres ;
 - les drains ;
 - les puits sur galerie ;
 - les sources exploitées et/ou où des données chimiques sont disponibles ;
 - les sondes géothermiques.
- la localisation des stations climatiques et/ou limnimétriques ;
- la cote piézométrique là où l'information est disponible, avec la date de la mesure ;
- les zones de prévention arrêtées par le Gouvernement wallon ;
- les zones de prévention à définir ;
- la localisation de la coupe.

IX.3.2. Cartes thématiques

IX.3.2.1. Caractérisation du type des nappes et informations complémentaires

Cette carte, au 1/50.000, localise les différents sites au droit desquelles des données quantitatives ou qualitatives sont disponibles (analyses chimiques, diagraphies, essais de pompage, traçages).

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) qui est généralement caractérisée. De plus amples informations sont fournies dans le chapitre consacré à la description des unités hydrogéologiques de la carte et plus spécifiquement dans le *sous-chapitre IV.2.6*.

IX.3.2.2. Volumes d'eau prélevés

Cette carte, au 1/50 000, est basée sur les informations extraites de la banque de données de la Région Wallonne (DGARNE). Les volumes représentés sont les volumes déclarés par les titulaires à la Région wallonne, pour l'année 2011 pour les volumes destinés à la distribution publique d'eau et pour l'année 2010 pour les autres volumes. 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 (2006-2010, basés sur les déclarations des titulaires 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 d'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.

Sur cette carte thématique, sont aussi reportés l'ensemble des points hydrogéologiques (forages, drains, sources, résurgences/pertes) classés selon l'unité hydrogéologique sollicitée.

IX.3.3. Tableau de correspondance « Géologie-Hydrogéologie »

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

IX.3.4. Coupe hydrogéologique

Parmi les éléments présentés sur le poster de la carte hydrogéologique Stavelot - Malmedy, figure la coupe hydrogéologique. Elle permet de comprendre dans son

ensemble le contexte géologique et hydrogéologique de la région. Cette coupe est commentée au *chapitre IV.2.4.*

X. BIBLIOGRAPHIE

ARIES CONSULTANTS & HGE-ULG, 2004

Carrières et entreprises Bodarwé & fils, étude hydrogéologique sur les incidences potentielles de l'extension de la carrière, Etude, Liège, Université de Liège, inédit.

ASSELBERGHS, E., 1946

L'éodévonien de l'Ardenne et des régions voisines. Mem. Inst. Géolog. Univ. Louvain, Tome XIV.

ASSELBERGHS, E. & GEUKENS, F., 1959

Carte géologique d'Harzé-La Gleize (feuille n°159) au 1/25 000 et son texte explicatif, Institut Géographique Militaire, Bruxelles

BOULVAIN, F. & PINGOT, J.-L., 2011

Genèse du sous-sol de la Wallonie. Classe des Sciences, Collection in-8, ISSN 0365-0936 ; 34. *Académie royale de Belgique*, 190 pp

BULTYNCK, P. & DEJONGHE, L., 2001

Lithostratigraphic scale of Belgium. *Geologica Belgica*, Volume 4, N°1-2, Bruxelles

BULTYNCK, P., GEUKENS, F. & SMOLDEREN, A., 2001

Permian lithostratigraphic units, Malmedy Graben (Belgium), *Geologica Belgica*, volume 4, number 1-2 (Lithostratigraphic scale of Belgium) : 105-106.

<http://popups.ulg.ac.be/Geol/document.php?id=1936>

CASTANY, G., 1998

Hydrogéologie, principes et méthodes, Dunod, 236 p.

CNSW, 2008

Carte Numérique des Sols de Wallonie, 1/20 000. SPW - DGARNE - Direction du Développement rural. Données vectorielles, version 1.2, 04-2008.

COSW, 2007

Carte Numérique d'Occupation du Sol de Wallonie, 1/10 000. SPW - DGARNE - Direction du Développement rural. Données vectorielles, version 2.07, 02-2007.

CWEPSS, 1996

Atlas du Karst Wallon : Inventaire cartographique et descriptif des sites karstiques et rivières souterraines de Wallonie. DGARNE & CWEPSS + actualisation des données (version informatique, 2006).

DASSARGUES, A., 2010

Hydrogéologie, Notes de cours, Université de Liège, non publié.

DEJONGHE, L., 2007

Guide de lecture des cartes géologiques de Wallonie au 1/25 000. *Service Public de Wallonie*, 51 p.

DE MARSILY, G., 2004

Cours d'hydrogéologie. Paris, Université Pierre et Marie Curie. 226 p.

DERYCKE F., LAGA, P.G. ET NEY BERGH, H., 1982

Bilan des ressources en eau souterraine de la Belgique. Commission des Communautés Européennes. Service de l'Environnement et de la Protection des consommateurs, 260 p. (non publié).

DERYCKE, F., 1995

Consorts demeure, étude hydrogéologique, Trois-Ponts – Petit Spay, alimentation en eau d'un village de vacances puits AD1, AD2 et AD3.

DGARNE-DESO ET PROTECTIS-CELLULE DCE, 2010

Directive cadre de l'eau. Etat des lieux des districts hydrographiques. Fiches de caractérisation des masses d'eau souterraine. juin 2010, SPW-DGARNE

http://environnement.wallonie.be/directive_eau/edl_ssb/GuideFichesMESO_v1_20.pdf

http://environnement.wallonie.be/directive_eau/edl_ssb/ficheso/fiche_EDL_MESO_M100.pdf

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, 68 p + annexes.

GÉOBEL CONSEIL, 2004

Projet Marlire, Rapport des essais de pompages exécutés dans la plaine alluvial de la Warche en amont de la papeterie Cordenons. Etudes, Villers-la-Ville, Géobel Conseil, inédit.

GEOLYS, 2014

Dossier de demande de délimitation des zones de prévention. Captage de la Warchenne. Commune de Waimes. D1084. Octobre 2014.

GEOLYS (2015) : Dossier de demande de délimitation des zones de prévention. Captage de Libomont (50/6/3/002). Commune de Waimes. D1822-2. Draft (décembre 2015).

GEUKENS, F., 1963

Carte géologique n°160 de Stavelot - Malmedy au 1/25 000 et son texte explicatif, Institut Géographique Militaire, Bruxelles.

GEUKENS, F., 1986

Commentaires à la carte géologique du Massif de Stavelot (1 carte). Aardkundige Mededelingen, **3**, 15-29.

GEUKENS, F., 1999

Note accompagnant une révision de la carte structurale du Massif de Stavelot. Aardkundige Mededelingen, **9**, 183-190.

<https://donum.uliege.be/bitstream/2268.1/1163/5/Geukens.pdf>

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.

HGE-ULG, 2006

Carrières et entreprises Bodarwé & fils, complément d'étude hydrogéologique sur les incidences potentielles d'une extension de la carrière de la Warchenne, Etude, Liège, Université de Liège, inédit.

ICEW, 2012

Les Indicateurs Clés de l'Environnement Wallon (ICEW 2012)- Direction de l'Etat Environnemental - SPW - DGARNE - DEMNA – DEE

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

LGIH, 1991

Etude géologique, géophysique et hydrogéologique de la carrière de la Warchenne, WAR/911.

OZER, A., 1967

Contribution à l'étude géomorphologie des régions où affleure « le Poudingue de Malmédy », Travail de fin d'études, Sciences, Université de Liège.

OZER, A., 1971

Les phénomènes karstiques développés dans le Poudingue de Malmédy. Ann. Spéléologie, 25 (2) : 407-422.

OZER, A., 1979

Les phénomènes karstiques dans le Poudingue de Malmédy. Ann. Soc. Géol. Belg., 102 : 141-144.

PFANNKUCH, H.-O., 1990

Elsevier's Dictionary of Environmental Hydrogeology, *Elsevier*.

POTY, E. & CHEVALIER, E., 2004

L'activité extractive en Wallonie, situation actuelle et perspectives, Ouvrage publié par le Ministère de la Région Wallonne, 85 p.

ROBERT, T., 2007

Etude et caractérisation du bassin hydrogéologique du Rechterbach, Travail de fin d'étude, ULg – Faculté des sciences appliquées, Promoteur Pr. Alain Dassargues, année académique 2006-2007, 101 p.

SGS, 2014A

Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Waimes : prise d'eau des puits de Bruyères. Rapport E741-2. Février 2014. SGS Belgium nv – Environmental Services

SGS, 2014B

Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Waimes : prise d'eau du puits de Hottleux. Rapport E1203. Mars 2014. SGS Belgium nv – Environmental Services.

SPW-DGO3, 2014

Etat des nappes d'eau souterraine de Wallonie. Edition : Service public de Wallonie, DGO 3 (D GARNE), Belgique. Dépôt légal D/2014/11802/11 - ISBN 978-2-8056-0142-2 – Mars 2014 - Treizième année.

<http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas/>

TRACTEBEL, 2001

Electrabel Malmédy, Sources de l'Espérance, campagne géophysique, Phase I : Rapport Intermédiaire.

TRACTEBEL, 2001

Electrabel Malmédy, Sources de l'Espérance, forage de reconnaissance, Phase II : Rapport Intermédiaire.

UNESCO-OMM., 1992

Glossaire International d'Hydrologie, seconde édition, 413 p.

VANDENVEN, G., 1990

Explications de la carte géologique du synclinorium de l'Eifel (région de Gouvy-Sankt-Vith-Elsenborn), Annales de la Société Géologique de Belgique, T.113, fascicule 2 : 103-113.

VASBINDER, N., 2006

Etude géologique et hydrogéologique du bassin de la Warchenne, travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du grade d'ingénieur civil géologique, ULg – Faculté des Sciences appliquées, Promoteur Pr. Alain Dassargues, année académique 2005-2006, 134 p.

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.*

XI. ANNEXES

XI.1. ANNEXE 1 : LISTE DES ABREVIATIONS

A.I.V.E.

Association intercommunale pour la protection et la valorisation de l'environnement.

CWEPSS

Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains asbl).

<http://www.cwepss.org/atlasKarst.htm>

DCE

Directive Cadre sur l'Eau.

DGARNE – SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

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

DEE

Direction de l'Etat Environnemental

DESO

Direction des Eaux souterraines

DESU

Direction des Eaux de Surface

DCENN

Direction des Cours d'Eau non navigables
Avenue Prince de Liège, 15 à 5100 Jambes

http://environnement.wallonie.be/zones_prevention/

Depuis le 1er août 2008, le Ministère wallon de l'Équipement et des Transports (MET) et le Ministère de la Région wallonne (MRW) ont fusionné pour donner naissance au Service public de Wallonie (SPW). Ainsi la DGRNE est reprise dans la Direction générale opérationnelle 3 (DGO3) dont les domaines de compétences sont l'Agriculture, les Ressources naturelles et l'Environnement. La Direction des Eaux Souterraines est incluse dans le Département de l'Environnement et de l'Eau.

DGATLPE

Direction générale opérationnelle Aménagement du territoire, Logement, Patrimoine et Energie (DGO4).

DGO2

Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies hydrauliques – SETHY.

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

HGE-GEO³

Hydrogéologie & Géologie de l'Environnement – GEO³ - ArGEnCo – ULg
Bâtiment B52, niveau -1, Sart-Tilman à 4000 Liège

<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 Liège
<http://www.issep.be>

LGIH

Laboratoires de Géologie de l'Ingénieur, d'Hydrogéologie et de Prospection Géophysique,
Université de Liège.
*Suite à la succession du Professeur A. Monjoie, les activités sont poursuivies au sein d'ArGEnCo –
GEO³.*

MET

Ministère wallon de l'Équipement et des Transport
Direction des voies hydrauliques (D.G.2) – Division des Etudes et des Programmes –
Direction des Etudes hydrologiques et des Statistiques + services 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 Vois 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://sciencesnaturelles.be/geology>

SPAQUE SA

Boulevard d'Avroy 38/6 à 4000 Liège
<http://www.spaque.be> et <http://www.walsols.be/>

S.W.D.E.

Société Wallonne des Eaux
Rue de la Concorde, 41 à 4800 VERVIERS
<http://www.S.W.D.E.be>

XI.2. ANNEXE 2 : TABLE DES ILLUSTRATIONS

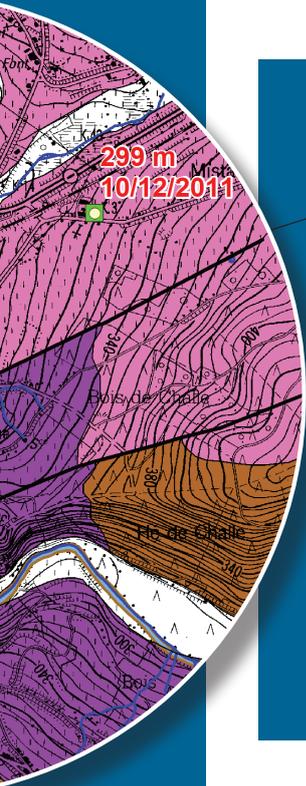
Figure I.1 : Localisation de la carte Stavelot - Malmedy.....	6
Figure II.1 : Cadre hydrologique et topographique de Stavelot - Malmedy.....	8
Figure II.2 : Répartition des différents types de sols sur la carte Stavelot - Malmedy.....	10
Figure II.3 : Répartition de l'occupation du sol de la carte Stavelot - Malmedy 50/5-6 (COSW, 2007).....	11
Figure II.4 : Répartition de l'occupation du sol sur la carte Stavelot - Malmedy.....	13
Figure III.1 : Carte géologique de la Wallonie (Boulvain & Pingot 2011, modifié).....	14
Figure III.2 : Répartition de la couverture crétacée, tertiaire et des alluvions anciennes (d'après Geukens 1963).....	19
Figure III.3 : Cadre structural de la carte Stavelot - Malmedy.....	20
Figure III.4 : Cadre structural schématisé du Massif de Stavelot. Stavelot - Malmedy (Geukens, 1986 ; modifié).....	22
Figure IV.1 : Principaux aquifères de Wallonie – Carte de Stavelot - Malmedy (SPW-DGO3, 2014 ; modifié).....	24
Figure IV.2 : Captages de la Commune de Waimes – carte de Stavelot - Malmedy.....	33
Figure IV.3 : Localisation de la carrière de la Warchenne.....	36
Figure IV.4 : Carte piézométrique locale près de la carrière de la Warchenne tracée sur base des observations de terrain (Aries & HGE-ULg, 2004, modifié).....	37
Figure IV.5 : Carte piézométrique calculée avec extension de la carrière de la Warchenne et sans remblais (HGE-ULg, 2006).....	38
Figure IV.6 : Phénomènes karstiques recensés dans la région de Stavelot - Malmedy (CWEPS, 2006).....	39
Figure IV.7 : Localisation du bassin de la Warchenne.....	40
Figure IV.8 : Niveaux piézométriques mesurés dans le bassin de la Warchenne (données de Vasbinder, 2006).....	42
Figure IV.9 : Localisation des ouvrages où un suivi mensuel du niveau piézométrique a été effectué entre septembre 2005 et mai 2006 (données de Vasbinder, 2006).....	43
Figure IV.10 : Evolution piézométrique annuelle entre septembre 2005 et mai 2006 dans le bassin de la Warchenne (données de Vasbinder, 2006).....	44
Figure V.1 : Masses d'eau souterraine de la carte Stavelot - Malmedy.....	48
Figure V.2 : Diagramme de Piper des eaux souterraines de la carte Stavelot-Malmedy.....	49
Figure V.3 : Zones vulnérables aux nitrates –Stavelot - Malmedy.....	59
Figure V.4 : Localisation des ouvrages avec des données hydrochimiques nitrates sur la carte Stavelot - Malmedy.....	60
Figure V.5 : Evolution des concentrations en nitrates – Stavelot - Malmedy.....	60
Figure V.6 : Pesticides en Région wallonne (ICEW, 2012 ; carte 19 modifiée).....	64
Figure VI.1 : Volumes d'eau prélevés par la S.W.D.E. entre 2012 et 2016 sur la carte 50/5-6.....	68
Figure VI.2 : Volumes d'eau prélevés par l'administration communale de Waimes entre 2012 et 2016 sur la carte 50/5-6... ..	69
Figure VI.3 : Volumes d'eau prélevés par l'administration communale d'Amel entre 2012 et 2016 sur la carte 50/5-6.....	70
Figure VIII.1 : Zones de prévention de la carte Stavelot - Malmedy.....	80
Tableau II.1 : Répartition des différents types de sols – CNSW (SPW).	9
Tableau II.2 : Répartition détaillée de l'occupation du sol au sein de la catégorie territoires agricoles.....	12
Tableau II.3 : Répartition détaillée de l'occupation du sol au sein de la catégorie forêts et milieux semi - naturels.....	12
Tableau IV.1 : Unités hydrogéologiques de la carte Stavelot - Malmedy.....	26
Tableau IV.2 : Mesures piézométriques dans différents puits profonds du Massif de Stavelot.....	32
Tableau IV.3 : Mesures piézométriques dans différents puits profonds du Synclinorium de l'Eifel.....	33
Tableau IV.4 : Mesures piézométriques dans les forages « Bruyère » (Commune de Waimes).....	34

Tableau IV.5 : Mesures piézométriques dans le forage 'Hottleux' (Commune de Waimes)	35
Tableau IV.6 : Mesures piézométriques de différents puits profonds du Graben de Malmedy.....	38
Tableau IV.7 : Résultat des bilans hydrologiques (Vasbinder, 2006, modifié)	41
Tableau V.1 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines de l'Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien.....	51
Tableau V.2 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines de l'Aquitard du socle cambro-silurien.....	52
Tableau V.3 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines de l'Aquiclude à niveaux aquitards du socle cambro-silurien.....	53
Tableau V.4 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines de l'aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien.....	55
Tableau V.5 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines de l'Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur.....	56
Tableau V.6 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines de l'Aquifère du Permien.....	57
Tableau V.7 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines de l'aquifère alluvial.....	58
Tableau V.8 : Paramètres microbiologiques des eaux souterraines – Stavelot - Malmedy	62
Tableau V.9 : Principaux pesticides des eaux souterraines Stavelot – Malmedy	65
Tableau VI.1 : Volumes (m ³) prélevés par les ouvrages de la S.W.D.E. entre 2006 et 2011 mais hors-service à la date de parution de cette notice.	67
Tableau VII.1 : Valeurs du coefficient de perméabilité en fonction de la granulométrie (Castany, 1998)	72
Tableau VII.2 : Intervalles de valeurs indicatives pour la conductivité hydraulique de différentes lithologies (échelles macroscopique & mégascopique) (Dassargues, 2010).....	72
Tableau VII.3 : Intervalles de valeurs indicatives pour la porosité (n) et la porosité effective de drainage (n _e) de différentes lithologies (échelles macroscopique & mégascopique) (Dassargues, 2010).....	73
Tableau VIII.1 : Liste des captages soumis à zone de prévention, non encore définies (Stavelot - Malmedy).....	79

XI.3. ANNEXE 3 : COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES OUVRAGES CITES DANS LA NOTICE

NOM	X (m)	Y (m)	Z (m)	TYPE	PROF (m)
AD1-PETIT SPAI	258360	119320	305	Puits foré	91
AD2-PETIT SPAI	258385	119520	268	Puits foré	61
AL VOYE DOL FALIZE	266460	123821	350	Source	
ALEFF THAON 1 (NAPOLEON)	269970	120270	425	Drain	
AMERMONT-BOIS DES TROYES D1	261183	123608	445	Drain	
AMERMONT-PUITS PRINCIPAL	261101	123620	446	Puits foré	
ANDRIMONT	258038	126269	439	Puits foré	55
BAGATELLE-ARIMONT	271084	123861	475	Puits foré	
BOIS DES HESSES	269578	122031	515	Drain	
BOUSSIRE	271550	126090	520	Drain	
CAPTAGE DE BRUYERES	273270	126240	570	Source	
CHENEUX	263119	123264	330	Puits foré	35
CHEVOFOSSE	265010	122000	345	Drain	
CHODE	270418	126311	480	Puits foré	
CLIGNEVAL	266500	122500	425	Drain	
CLOSING	263952	120741	340	Source	
DERRIERE CLOSE/ROND PRES	269295	118469	390	Puits foré	40
DERRIERE HEILRIMONT	258332	123519	485	Drain	
DESSUS LES HOUILLERES-THAON 2	270420	121210	520	Drain	
ERMITAGE-SOURCE S1	267860	127000	520	Source	
ERMITAGE-SOURCE S2	267940	127050	520	Source	
ESPERANCE	271937	125779	545	Drain	
ESPERANCE	271944	125773	545	Puits foré	58
EXBOMONT	258851	124848	385	Source	
FAGNE	272773	121960	520	Drain	
FORAGE BRUYERES 2004	273226	126298	573	Puits foré	72
FORAGE DE BRUYERES	273207	126289	576	Puits foré	64
FORAGE DE THIRIMONT	273237	122216	549	Puits foré	60
G'DOUMONT	270932	126467	518	Puits foré	20
GROSBOIS	272171	122410	494	Puits foré	18
HEDOMONT-SOURCE S1	269790	121850	515	Source	
HEDOMONT-SOURCE S2	269810	121830	515	Drain	
HEDOMONT-SOURCE S3	269980	121760	525	Source	
HEDOMONT-SOURCE S4	269970	121690	525	Source	
HEINEN	273374	124337	479	Puits foré	3
HOKGNIE-L'ESPERANCE	270924	125386	560	Source	
HOTTLEUX	272036	124138	543	Puits foré	97
JOST	270208	126548	501	Puits foré	99
LAITERIE	269356	119617	388	Source	
LANGEN	272391	122175	501	Puits foré	26
LASNENVILLE-SOURCE S1	267050	120450	330	Drain	
LASNENVILLE-SOURCE S2	267020	120370	330	Drain	
LAVAUUX	262995	120454	419	Puits foré	30

NOM	X (m)	Y (m)	Z (m)	TYPE	PROF (m)
LECOQ	270989	126560	530	Puits foré	48
LES LAIDS FADS	258393	125165	300	Source	
LIBERT	268480	127335	410	Source	
LIBOMONT	273218	125356	535	Puits foré	55
LIBOMONT-ESPERANCE	272185	125666	566	Puits foré	87
LODOMEZ B1	263706	119189	427	Eau de surface	
MALMEDY P1	271025	125452	435	Puits foré	100
MASTA	263789	123472	321	Puits foré	37
MEIZ	264570	124422	374	Puits foré	77
MISTA	263045	122673	320	Puits foré	37
MONTENAU-WOLFSBUSCH-NOUVEAU	273941	118540	494	Drain	
MONTIS	260930	121530	320	Drain	
NEUVILLE	261765	127770	454	Puits foré	35
PALM-SOURCE S1	265110	124830	382	Source	
PALM-SOURCE S2	265210	124800	370	Source	
PERRON	271746	126969	550	Puits foré	39
PONT DE WARCHE - REMOUPINE	265640	124080	300	Source	
PRE HANKART	271080	118780	415	Drain	
PUITS 10	267711	125594	330	Puits foré	8
PUITS 11	267826	125652	330	Puits foré	15
PUITS 12	267766	125517	330	Puits foré	15
PUITS LOUIS	267960	125880	330	Puits foré	10
PUITS P1	263060	128070	455	Puits foré	
PUITS P2	263009	128105	460	Puits foré	
RENARDMONT-HETCHERAY P1	259552	121658	445	Puits foré	36
RIVAGE-LES SOURDANS E1	263646	123687	326	Source	
RUY	258372	125545	300	Source	
SCHAIR	260751	127060	395	Puits foré	39
SOMAGNE	261347	119336	475	Puits foré	55
SPA	260705	124046	482	Puits foré	70
THIERS	263384	127944	492	Puits foré	90
THIRIMONT	273012	121955	534	Source	
TRO DE FIER	267610	121900	385	Drain	
TROISFONTAINES	258083	126296	438	Puits foré	56
VIEUX MOULIN	264213	120066	359	Eau de surface	
WARCHENNE	273048	124673	481	Drain	



SPW | Éditions, CARTES

Dépôt légal : D/2018/12.796/4 – ISBN : 978-2-8056-0250-4

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

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