

BÜTGENBACH – BÜLLINGEN LOSHEIMERGRABEN

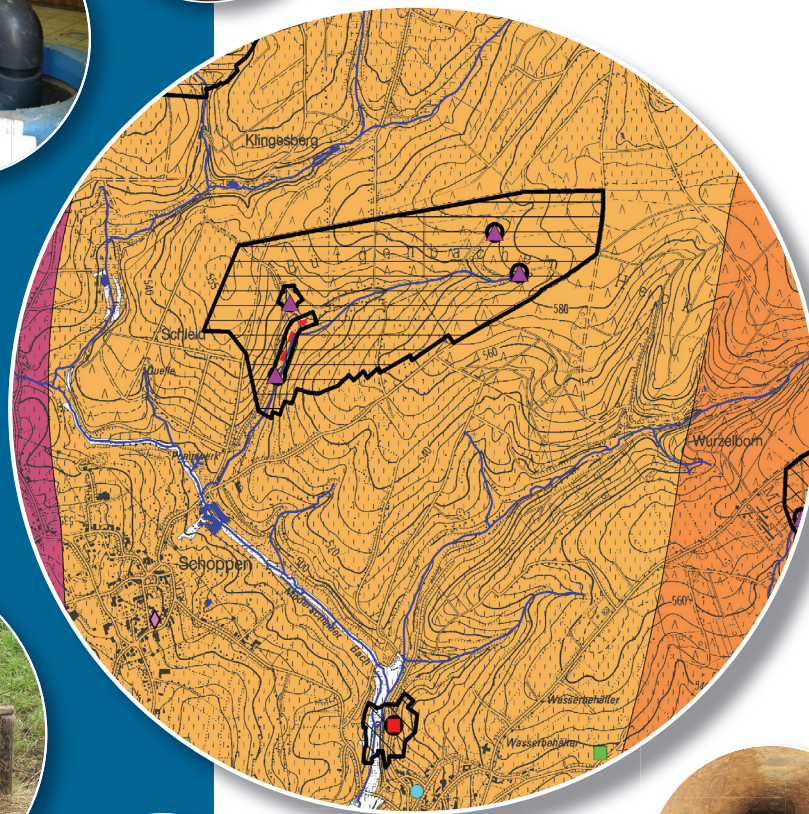
50/7-8

50A/5

Notice explicative

CARTE HYDROGÉOLOGIQUE DE WALLONIE

Echelle : 1/25 000



Photos couverture © SPW-DGARNE(DGO 3)

Fontaine de l'ours à Andenne

Forage exploité

Argillère de Celles à Houyet

Puits et sonde de mesure de niveau piézométrique

Emergence (source)

Essai de traçage au Chantoir de Rostenne à Dinant

Galerie de Hesbaye

Extrait de la carte hydrogéologique de Bütgenbach – Büllingen, Losheimergraben



BUTGENBACH – BULLINGEN LOSHEIMERGRABEN

50/7-8, 50A/5

Emilie **CESAR**, Ingrid **RUTHY**, Alain **DASSARGUES**

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



NOTICE EXPLICATIVE

2017

Première édition : Juin 2013
Actualisation partielle : Décembre 2016

Dépôt légal – **D/2017/12.796/4**- ISBN : **978-2-8056-0228-3**

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

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

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

Table des matières

AVANT-PROPOS.....	3
I. INTRODUCTION.....	5
II. CADRES GEOGRAPHIQUE, HYDROGRAPHIQUE, GEOMORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE.....	6
III. CADRE GEOLOGIQUE.....	12
III.1 CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL.....	12
III.2 CADRE GEOLOGIQUE DE LA CARTE.....	13
III.2.1 <i>Cadre litho-stratigraphique</i>	15
III.2.2 <i>Cadre structural</i>	18
IV. CADRE HYDROGEOLOGIQUE.....	19
IV.1 DESCRIPTION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES.....	21
IV.1.1 <i>Unités hydrogéologiques du Cambro- Silurien</i>	21
IV.1.2 <i>Unités hydrogéologiques du Dévonien inférieur</i>	21
IV.1.3 <i>Unités hydrogéologiques du Cénozoïque</i>	22
IV.2 DESCRIPTION DE L'HYDROGEOLOGIE DE LA CARTE.....	24
IV.2.1 <i>Massif de Stavelot</i>	25
IV.2.2 <i>Synclinorium de l'Eifel</i>	25
IV.2.3 <i>Coupe hydrogéologique</i>	53
IV.2.4 <i>Caractère des nappes</i>	53
IV.2.5 <i>Piézométrie de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben</i>	53
V. CADRE HYDROCHIMIQUE.....	55
V.1 CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX.....	57
V.1.1 <i>Généralités</i>	57
V.1.2 <i>Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur</i>	58
V.1.3 <i>Aquiclude à niveaux aquifères de Villé</i>	59
V.1.4 <i>Aquiclude du Dévonien inférieur</i>	61
V.2 PROBLEMATIQUES DES NITRATES.....	62
V.3 QUALITE BACTERIOLOGIQUE.....	65
V.4 PESTICIDES.....	66
VI. EXPLOITATION DES AQUIFERES.....	68
VI.1 SOCIETE WALLONNE DES EAUX (SWDE).....	69
VI.2 ADMINISTRATION COMMUNALE D'AMEL.....	70
VI.3 ADMINISTRATION COMMUNALE DE BÜLLINGEN.....	71
VI.4 ADMINISTRATION COMMUNALE DE BÜTGENBACH.....	74
VI.5 ADMINISTRATION COMMUNALE DE WAIMES.....	76
VI.6 CAPTAGES PRIVES.....	77

VII.	PARAMETRES D'ÉCOULEMENT ET DE TRANSPORT	78
VII.1	AQUICLUDE A NIVEAUX AQUIFERES DU DEVONIEN INFÉRIEUR	81
VII.2	AQUICLUDE A NIVEAUX AQUIFERES DE VILLE	83
VII.3	AQUICLUDE DU DEVONIEN INFÉRIEUR.....	85
VIII.	ZONES DE PROTECTION.....	86
VIII.1	CADRE LEGAL	86
VIII.2	ZONES DE PREVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE LA SWDE	88
VIII.3	ZONES DE PREVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE L'ADMINISTRATION COMMUNALE D'AMEL	89
VIII.4	ZONES DE PREVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE L'ADMINISTRATION COMMUNALE DE BÜLLINGEN	90
VIII.5	ZONES DE PREVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE L'ADMINISTRATION COMMUNALE DE BÜTGENBACH	92
VIII.6	ZONES DE PREVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE L'ADMINISTRATION COMMUNALE DE WAIMES.....	94
IX.	METHODOLOGIE DE L'ÉLABORATION DE LA CARTE HYDROGÉOLOGIQUE	96
IX.1	ORIGINE DES INFORMATIONS	96
IX.1.1	<i>Données géologiques et connexes.....</i>	<i>96</i>
IX.1.2	<i>Données météorologiques et hydrologiques</i>	<i>97</i>
IX.1.3	<i>Données hydrogéologiques</i>	<i>97</i>
IX.1.4	<i>Autres données.....</i>	<i>98</i>
IX.2	BASE DE DONNEES HYDROGÉOLOGIQUES.....	98
IX.3	POSTER DE LA CARTE HYDROGÉOLOGIQUE	99
IX.3.1	<i>Carte hydrogéologique principale</i>	<i>99</i>
IX.3.2	<i>Cartes thématiques.....</i>	<i>100</i>
IX.3.3	<i>Coupe hydrogéologique.....</i>	<i>101</i>
IX.3.4	<i>Tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie'</i>	<i>101</i>
X.	BIBLIOGRAPHIE	102
	ANNEXE 1: LISTE DES ABREVIATIONS.....	107
	ANNEXE 2: TABLE DES ILLUSTRATIONS	109
	ANNEXE 3: CARTE DE LOCALISATION	112
	ANNEXE 4: COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES OUVRAGES CITES DANS LA NOTICE.....	113

AVANT-PROPOS

La réalisation de la carte hydrogéologique Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben 50/7-8 & 50A/5 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. La première version de cette carte date de 2013 et a été réalisée par Emilie César et Ingrid Ruthy. Le projet est supervisé par le professeur Alain Dassargues. L'actualisation de cette carte a été effectuée en 2016 par Ingrid Ruthy.

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 nous ont fourni des données ainsi que la SWDE (service 'Captages') et les Administrations Communales de Bütgenbach, Büllingen, Amel et Waimes. Nous remercions aussi tous les particuliers et industries qui nous ont permis de visiter leur prise d'eau et d'y faire quelques mesures. Merci également à Sylvie Roland (UMons, cellule d'Hydrogéologie).

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. L'actualisation partielle de la carte hydrogéologique 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.

Le poster de la carte hydrogéologique de Wallonie est composé d'une carte principale au 1/25.000 et de deux cartes thématiques (1/50.000): "Volumes d'eau prélevés" et "Informations complémentaires et caractère des nappes". Sur le poster, on retrouve aussi la coupe hydrogéologique et le tableau litho-stratigraphique.

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

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

I. INTRODUCTION

La région de Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben se situe en province de Liège à l'extrême est de la Belgique (Figure I.1). Elle est frontalière avec l'Allemagne et est en partie située en communauté germanophone. La carte hydrogéologique concerne uniquement la partie située sur le territoire belge, soit une superficie de l'ordre de 180 km².

Le sous-sol de la région, d'âge Dévonien inférieur principalement, est constitué de schistes, phyllades, quartzophyllades, quartzites et grès dans des proportions variables dans et entre les différentes assises géologiques. Vu la lithologie des terrains rencontrés, les formations géologiques sont peu aquifères. Bien que les unités hydrogéologiques de cette région ne constituent pas, à l'échelle de la Wallonie, une ressource majeure en eaux souterraines, à l'échelle locale, elles sont exploitées pour l'approvisionnement des habitants de la zone. En plus des administrations communales de Bütgenbach, Büllingen, Amel et Waimes, de nombreux petits exploitants de prises d'eau (agriculteurs, particuliers) sollicitent les potentialités aquifères limitées de la région. Les nappes aquifères participent également à l'alimentation des ruisseaux et au soutien du débit d'étiage.

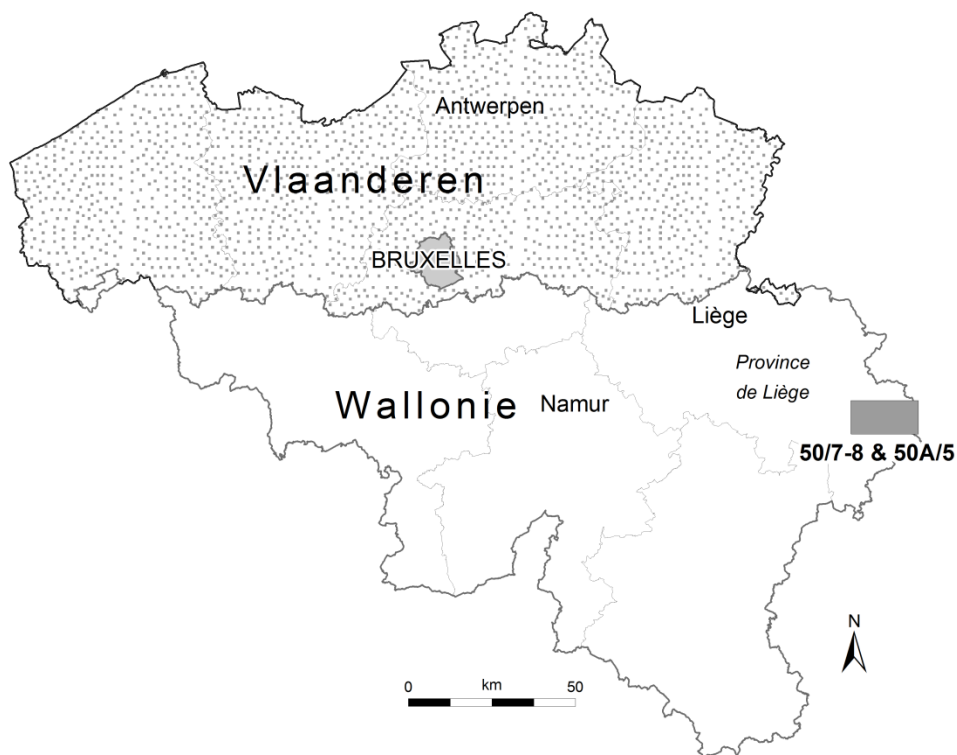


Figure I.1: Localisation de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben 50/7-8 & 50A/5

II. CADRES GEOGRAPHIQUE, HYDROGRAPHIQUE, GEOMORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE

La carte de Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben est située à l'extrême est de la Belgique. Elle compte les localités de Waimès, Bütgenbach et Büllingen. Une partie du lac de Roberville et le lac de Bütgenbach se trouvent dans la partie nord de la carte. La carte est drainée principalement par le cours d'eau de la Warche et plusieurs de ses affluents.

Trois territoires paysagers¹ se distinguent sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben (Figure II.1). La majeure partie de la carte se situe sur le territoire du Haut plateau de Bütgenbach et Saint-Vith. Ce dernier présente des creusements très larges dominés par de la prairie, les zones boisées se situant sur les sommets (Droeven *et al.*, 2004). Le Haut plateau des Fagnes occupe la partie nord-est de la carte. Il présente un relief assez plat et est caractérisé par des tourbières hautes alternant avec des massifs boisés (*ibid.*). Enfin, au sud-est de la carte, la tête de vallée de l'Our est caractérisée par des forêts sur les sommets et les versants pentus ainsi que de la prairie dans les fonds et sur les pentes faibles (*ibid.*).

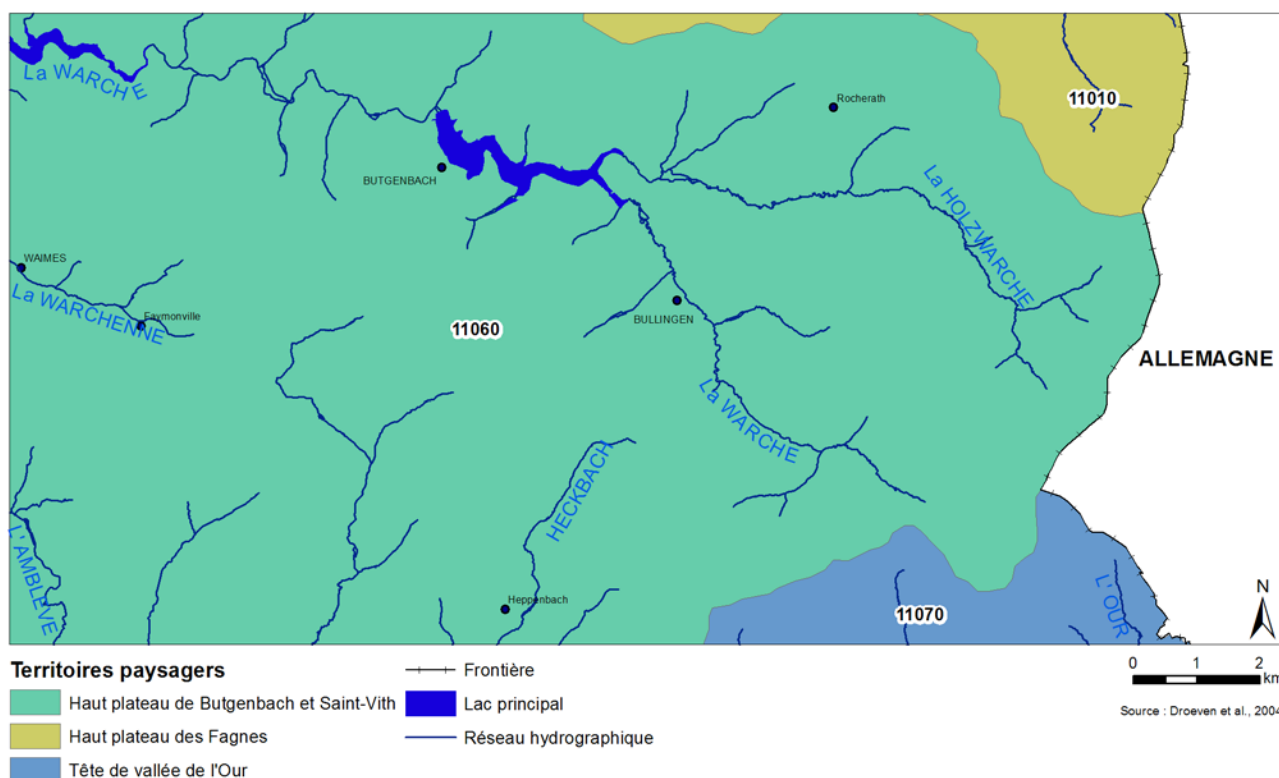


Figure II.1: Territoires paysagers – Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben

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

La carte étudiée fait partie majoritairement du bassin hydrographique de la Meuse. Trois sous-bassins s'individualisent (Figure II.2). Au nord-ouest, se trouve le bassin de la Meuse aval avec la partie amont de la rivière Jansbach. Au sud-est, on observe le bassin de la Moselle (bassin hydrographique du Rhin) avec la source de l'Our. La majorité de la surface de la carte est occupée par le bassin de l'Amblève. La Warche, affluent en rive droite de l'Amblève, est le principal cours d'eau drainant la carte. Cette rivière prend sa source sur le plateau des Hautes Fagnes dans l'entité de Büllingen, à 610 mètres d'altitude. Sur son cours, ont été construits le barrage de Bütgenbach et, plus en aval, celui de Roberville. La Warche rejoint l'Amblève au sud de Malmédy. L'Amblève, affluent en rive droite de l'Ourthe, est présente au sud-ouest.

Il pleut, en moyenne, 170 jours par an sur le plateau des Hautes Fagnes (nombre de jours où la lame d'eau précipitée est supérieure à 1 mm). Avec 1440 mm de lame d'eau précipitée par an, cette région est la plus arrosée de Belgique. En moyenne, on compte 52 jours de neige annuellement (Mormal et Tricot, 2004).

Topographiquement, les points culminants de la zone étudiée sont situés à l'est de la carte à proximité de la frontière allemande, en amont de la Holzwarche. Ils ont une altitude avoisinant les 690 m (Figure II.2). Le point bas de la région, d'une altitude d'environ 400 m, est situé dans la vallée de l'Amblève, au sud-ouest de la région étudiée.

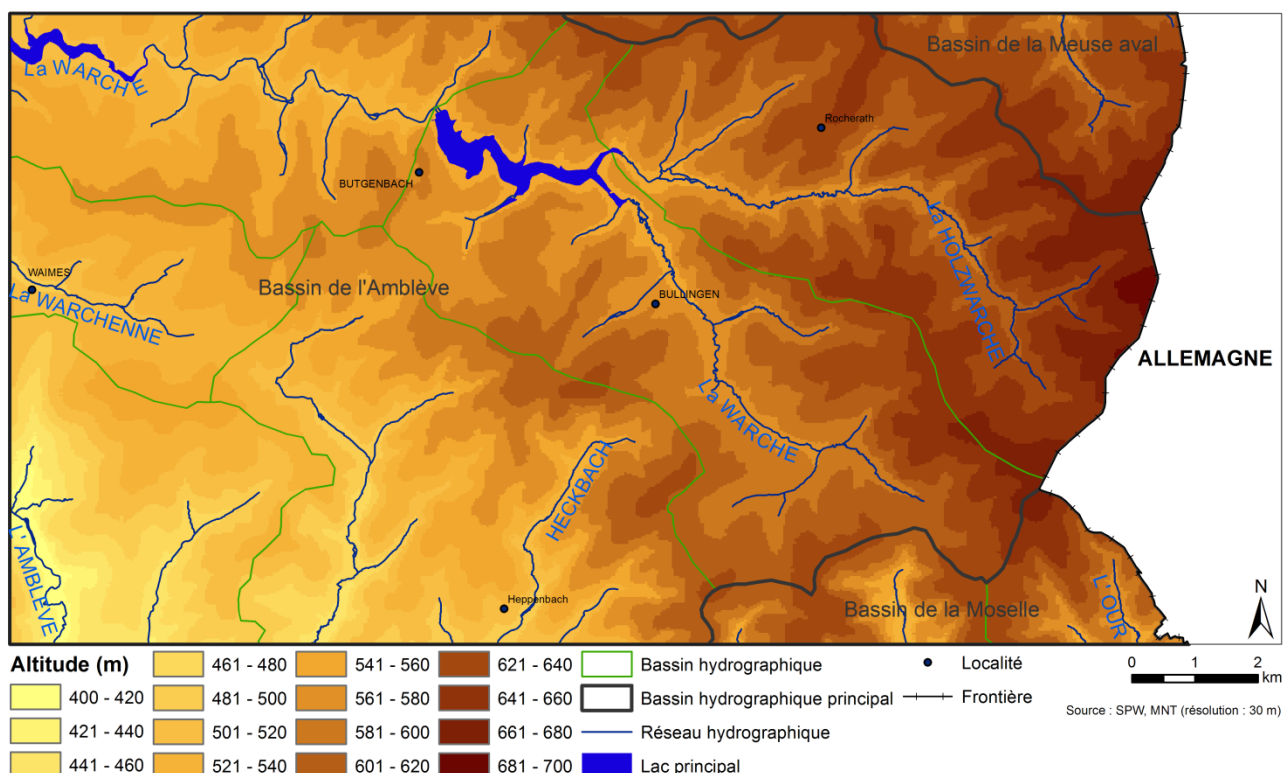
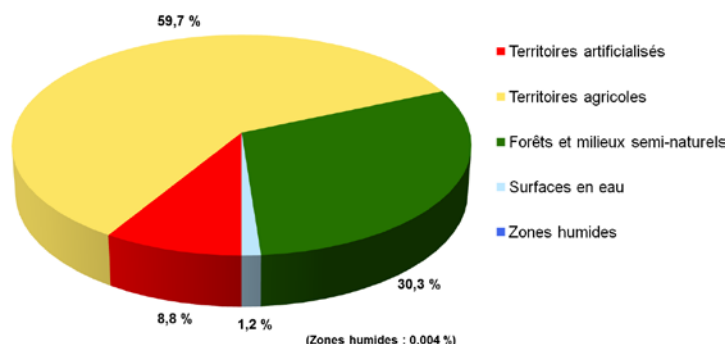


Figure II.2: Cadres topographique et hydrologique - 50/7-8 & 50A/5

Les données sur l'occupation du sol de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben sont issues de la carte numérique de l'occupation du sol de Wallonie (CNOSW) (septembre 2007)². Les figures ci-dessous présentent la répartition des classes de niveau 1 (Figure II.3) et la carte d'occupation du sol de la région étudiée (Figure II.4).



Sources des données : PCNOSW (DGA, SPW) couverture : Wallonie

Figure II.3: Répartition de l'occupation du sol de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben

Les espaces non artificialisés couvrent plus des trois-quarts de la région. Presque un tiers de la carte correspond à des territoires occupés par des forêts ou des espaces semi-naturels. Le tableau II.1 indique la répartition des types de couvertures forestières présentes sur la carte 50/7-8 & 50A/5.

Les terres agricoles couvrent quasiment 60 % de la zone étudiée. Ces espaces sont principalement constitués de prairies (plus de 90 % de la superficie totale des territoires agricoles). Les terres arables représentent 6 % de la surface totale des territoires agricoles.

Moins de 10 % de la superficie de la carte étudiée est occupé par des espaces artificialisés (urbanisés). Un peu plus d'un pourcent est classé dans la catégorie des surfaces en eau tandis que les zones humides sont très peu présentes sur la carte.

Tableau II.1: Répartition détaillée de l'occupation du sol au sein de la catégorie "Forêts et milieux semi - naturels" de la carte 50/7-8 & 50A/5 (d'après CNOSW, 2007)

	% par rapport aux espaces verts	% par rapport à la surface totale
Forêts de conifères	72,2	21,9
Forêts (type non spécifié)	21,7	6,6
Terres vaines et vagues	3,3	1,0
Forêts de feuillus	1,8	0,5
Pelouses et pâturages naturels	1,0	0,3
Total	100,0	30,3

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 – 1/10.000). Pour plus d'informations : <http://cartographie.wallonie.be>

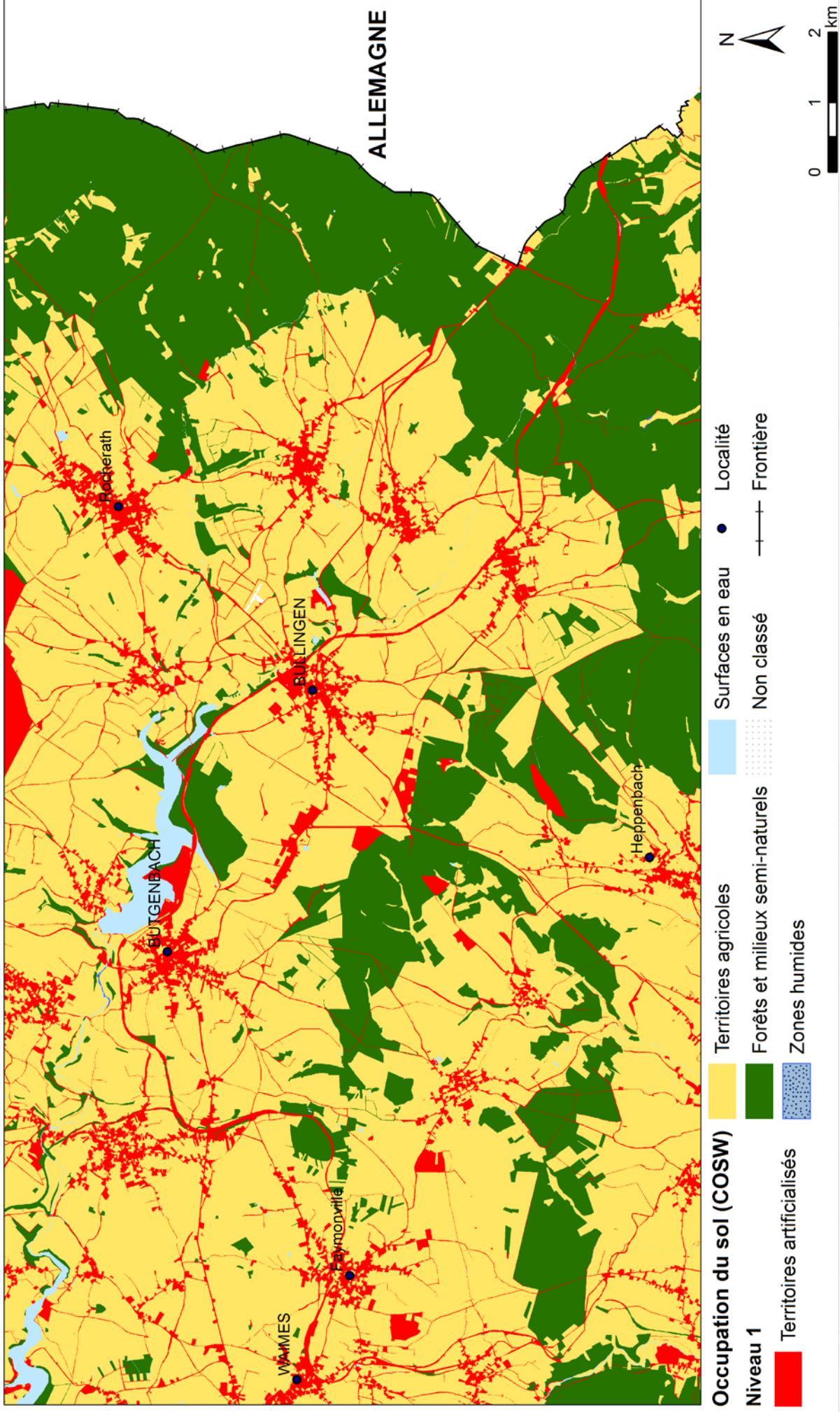


Figure II.4: Occupation du sol – Carte Büdingen-Büllingen & Losheimergraben

Les principaux types de sols présents sur la carte sont repris dans le tableau II.2 et à la figure II.5. Les données sont extraites de la Carte Numérique des Sols de Wallonie³ (CNSW)(2008). Sur la carte des sols, deux zones contrastées se distinguent. A l'extrême est, les sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuse ou gréseuse et à drainage naturel favorable reflètent la géologie sous-jacente (schistes, quartzites, grès de l'Emsien). Le drainage est quasi-exclusivement favorable sur la partie centrale et à l'ouest de la carte, avec des sols limono-caillouteux à charge schisto-phylleuse. Les sols artificiels ou non cartographiés occupent plus de 5 % de la surface totale. Les zones tourbeuses ne représentent que 0,6 % de la surface totale.

Tableau II.2: Répartition des différents types de sol - Carte 50/7-8 & 50A/5

<u>Principaux Types de Sol</u> (avec code CNSW)	<u>Couverture du sol</u> (%)
Sols limono-caillouteux à charge schisto-phylleuse et à drainage naturel quasi-exclusivement favorable (7110)	61,1
Sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuse ou gréseuse et à drainage naturel favorable (7210)	22,2
Sols artificiels ou non cartographiés (30000)	5,4
Regroupement de complexes de sols de textures différentes ou sur fortes pentes et de sols de fonds de vallons limoneux ou rocailleux (10000)	3,9
Sols limoneux peu caillouteux à drainage naturel principalement modéré à assez pauvre (6020)	3,2
Sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuse ou gréseuse et à drainage naturel modéré à assez pauvre (7220)	2,4
Sols limoneux peu caillouteux à drainage naturel favorable (6010)	1,1
Sols tourbeux ou tourbières (1000)	0,6
Sols limono-caillouteux à charge schisteuse et à drainage naturel principalement favorable	0,1

³ Pour plus d'informations, consulter <http://cartopro3.valid.wallonie.be/CIGALE/>

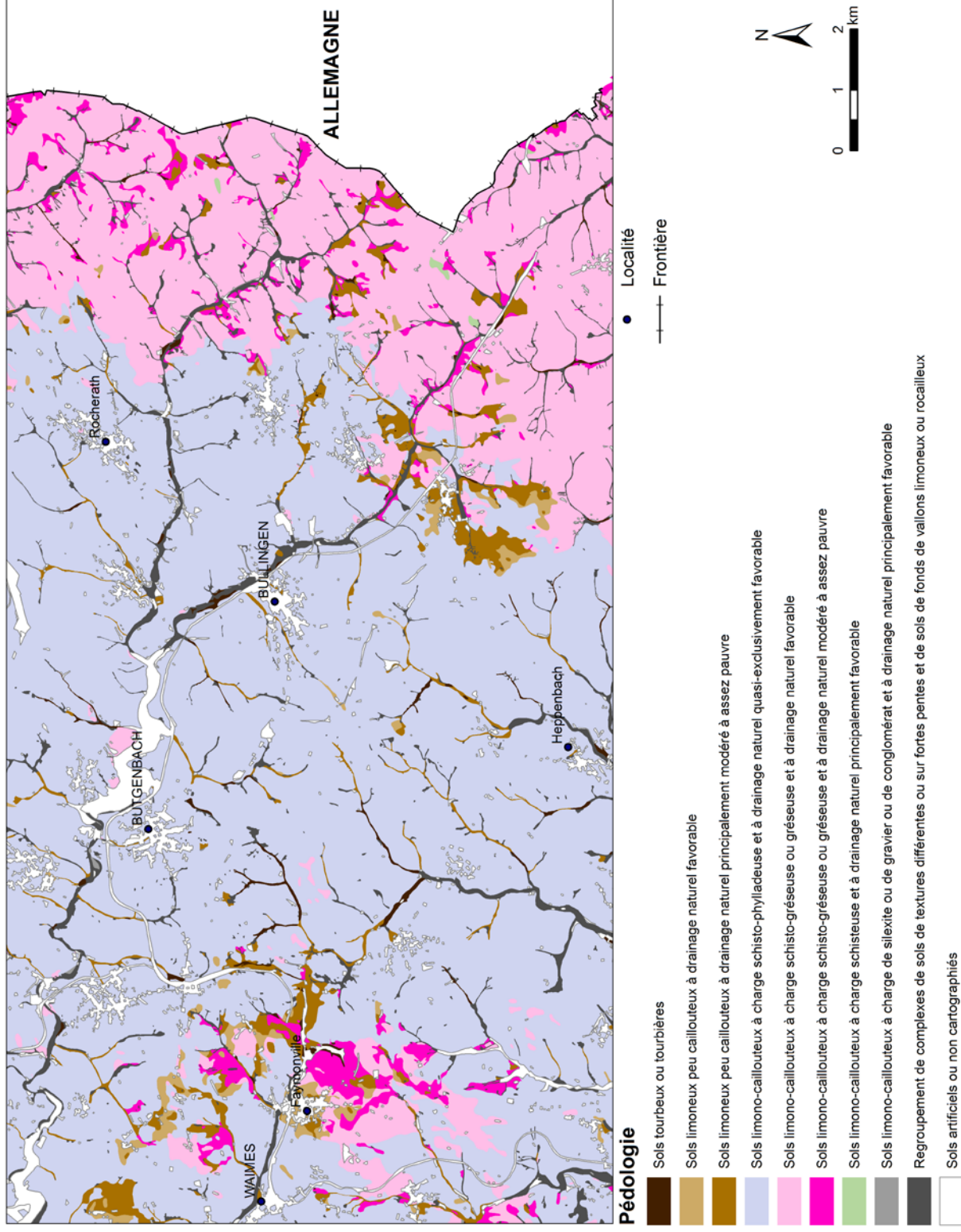


Figure II.5: Répartition des différents types de sol – Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben

III. CADRE GEOLOGIQUE

III.1 CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

La région de Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben se situe dans la partie orientale de l'Allochtonne ardennaise (Figure III.1). Celui-ci est composé d'un substratum cambro-silurien sur lequel reposent en discordance les formations sédimentaires dévono-carbonifères. L'axe de l'Anticlinorium de l'Ardenne (Dévonien inférieur) 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, du Synclinorium de Dinant, au nord. Au Permien (cycle alpin), un poudingue d'origine fluviale s'est déposé dans le Graben de Malmédy, 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-ordoviciennes du Massif de Stavelot. De nombreuses failles ont été reconnues dans cette région.

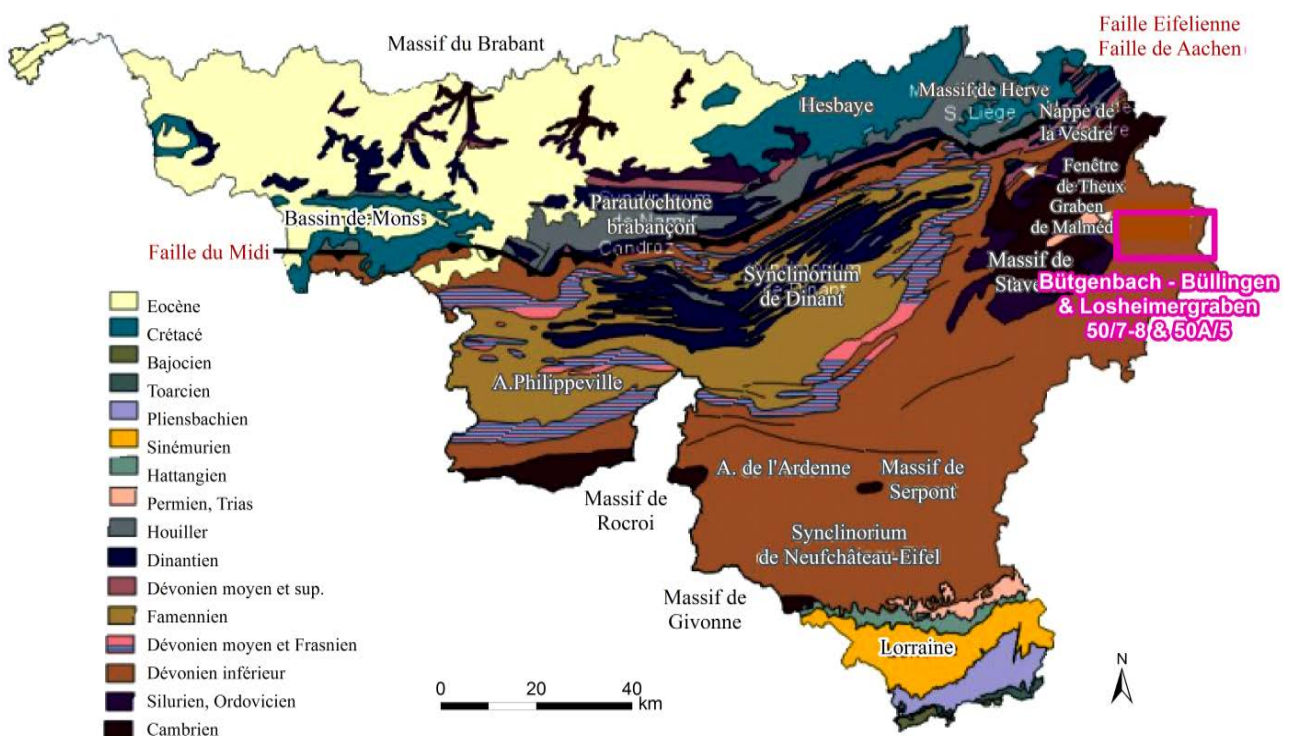


Figure III.1: Carte géologique de la Wallonie (Boulvain & Pingot, 2011; modifié)

III.2 CADRE GEOLOGIQUE DE LA CARTE

D'un point de vue géologique, la région de Büllingen appartient au flanc septentrional du Synclinorium de Neufchâteau-Eifel. Les terrains, de plus en plus jeunes en allant de l'ouest vers l'est, appartiennent à l'ère paléozoïque. Ce synclinorium repose en discordance sur le Massif cambro-silurien de Malmedy-Stavelot.

La carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben expose les formations datant de l'Ordovicien au Dévonien inférieur. Les roches du Dévonien inférieur se sont déposées lors d'une transgression marine méridionale, premier épisode de la transgression dévono-dinantienne. Les dépôts cénozoïques sont présents sous forme de colluvions sur les versants et à leur pied, d'alluvions modernes des fonds de vallées et de limons quaternaires.

A défaut d'une carte géologique récente au 1/25.000 (édition SPW) et à défaut d'une carte géologique ancienne au 1/40.000 (édition SGB) couvrant la zone occupée par la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, le fond géologique utilisé est la carte géologique du Synclinorium de l'Eifel au 1/100.000 (Vandeven, 1990). La figure III.2 reprend les formations géologiques présentes sur la carte 50/7-8 et 50A/5.

Etant donné l'échelle régionale de cette carte géologique (1/100 000), il convient d'être prudent lors de la lecture de la carte hydrogéologique principale, dressée au 1/25 000.

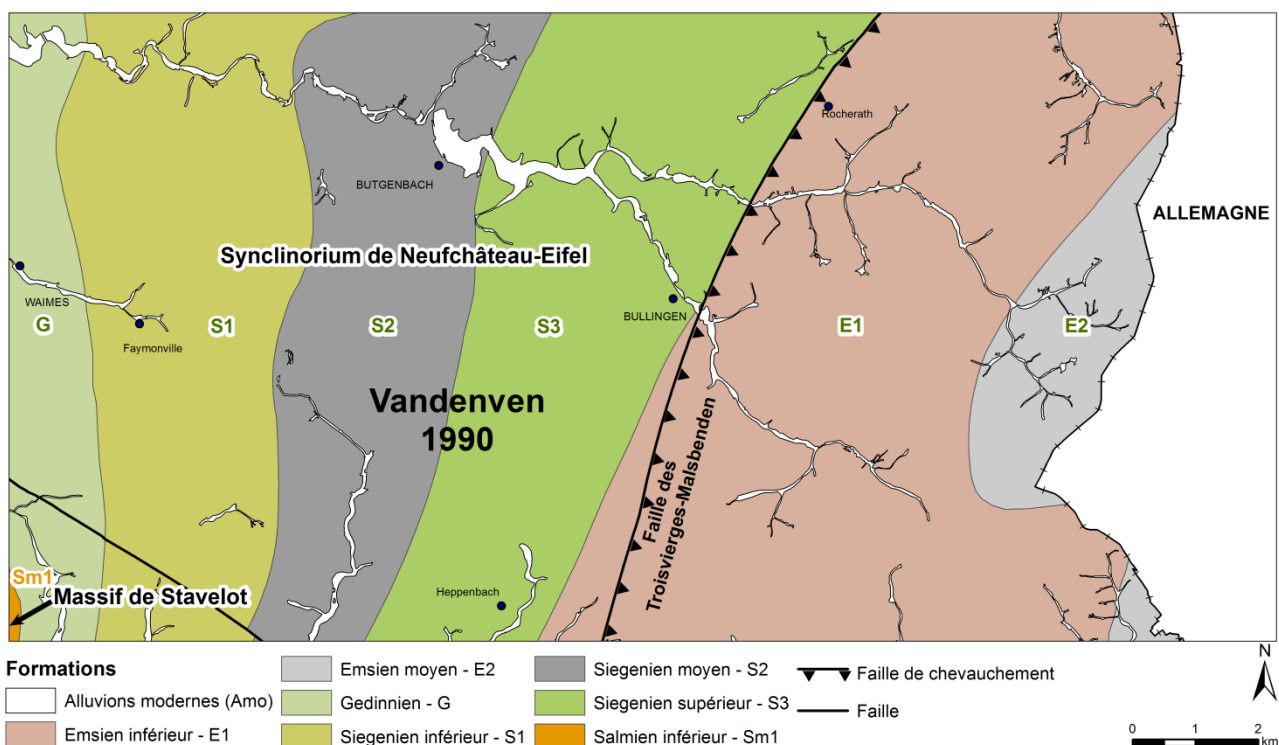


Figure III.2 Fonds géologiques utilisés par la carte hydrogéologique 50/7-8 & 50A/5

La description lithologique et structurale des formations fait référence

- pour le Cambrien et l'Ordovicien, aux travaux de Geukens sur le Massif de Stavelot (1986, 1999);
- pour le Dévonien, aux textes explicatifs sur le Synclinorium de l'Eifel (Vandenvin, 1990) et sur l'Eodévonien de l'Ardenne et des régions voisines (Asselberghshs, 1946);
- pour le Méso-Cénozoïque, aux textes explicatifs des cartes géologiques Harzé-La Gleize (Asselberghshs & Geukens, 1959), Stavelot-Malmedy (Geukens, 1963).

Certains termes, anciens et locaux, ne sont plus très usités dans la terminologie actuelle (Dejonghe, 2007).

Schiste: *roche argileuse de la classe des lutites⁴, consolidée, ayant pris une schistosité. Notons que le mot schiste a souvent été employé en français dans le sens de shale ; c'est le cas pour la carte Alleur-Liège. Les roches pélitiques affectées d'un feuillage parallèle à la stratification, comme la plupart des pélites du Houiller, sont des shales.*

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

III.2.1 Cadre litho-stratigraphique

III.2.1.1 Formations du Paléozoïque

En plus des dépôts cénozoïques, les roches du flanc nord du Synclinorium de l'Eifel affleurant sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben datent principalement du Dévonien inférieur (Lochkovien, Praguien et Emsien). Le Massif de Stavelot est seulement représenté par l'Ordovicien moyen et inférieur sur une très faible étendue au sud-ouest de la carte.

Au sein du Dévonien inférieur, les transitions entre les formations lithologiques sont progressives, ce qui empêche souvent de fixer des limites stratigraphiques tranchées (Vandenvén, 1990).

III.2.1.1.1 Ordovicien

Salmien

Le Salmien est divisé en trois formations dont seul le Salmien inférieur *Sm1* (Formation de Jalhay) affleure sur une petite partie au sud-ouest de la carte. Les sédiments de l'Ordovicien du Massif de Stavelot sont constitués de phyllades schisteux et micacés, quartzophyllades, quartzites et de bancs gréseux (Geukens, 1963). L'épaisseur de la Formation de Jalhay est supérieure à 400 m (Bultynck & Dejonghe, 2001).

III.2.1.1.2 Dévonien

La majorité de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben expose les roches du Dévonien inférieur appartenant au Synclinorium de Neufchâteau-Eifel.

Gedinnien (Lochkovien)

D'après Vandenvén (1990), le Gedinnien (Formation de Waimes, G) repose en discordance angulaire sur les couches plissées du Salmien. Il est constitué de lentilles de poudingue d'une puissance maximale de 30 centimètres. D'épaisses couches de grès grenus, blanc ou vert clair, succèdent à ce poudingue. Cette série est constituée de couches souvent épaisses de plus de 50 centimètres séparées les unes des autres par de minces strates de schistes habituellement vert clair. Des intercalaires schisteux violacés sont présents très localement (héritage probable d'un apport massif de matériaux argileux issus d'une érosion de couches salmiennes rouges). Des matériaux argilo-sableux succèdent aux grès et poudingues. Les couches rouges et vertes de grès plus argileux alternent avec des faciès silteux et des schistes. Ces roches présentent fréquemment un aspect cellulaire hérité de la dissolution de concrétions argilo-carbonatées (*ibid.*). D'après Asselberghs (1946, p. 87), l'épaisseur du Gedinnien supérieur autour du Massif de Stavelot (appelée Assise de Fooz) est estimée à 750 m à Gdumont (carte Stavelot-Malmedy 50/5-6). Ces terrains affleurent sur la partie ouest de la carte étudiée.

Siegenien (Praguien)

Les assises du Siegenien sont présentes à l'ouest et au centre de la carte. L'étage du Siegenien est divisé en trois assises:

- -L'Assise S1, représentée sur cette carte par le faciès d'Anglier (Asselberghs, 1946) ou Amel (Vandenvin, 1990), est une alternance de phyllades et de schistes bleu noir avec des quartzophyllades et avec des bancs ou des paquets de quartzites de tonalité claire. Des roches gréseuses se présentent en bancs isolés et sont mieux développées vers le sommet de la formation (ibid.). Les quartzophyllades typiques sont formés de l'alternance de fines strates phylladeuses et gréseuses. La répartition des roches dans l'assise est assez irrégulière (Asselberghs, 1946).
- -L'Assise S2, représentée par le faciès de Longlier, est caractérisée par des quartzophyllades abondants souvent gréseux et des phyllades d'épaisseur inférieure à 10 mètres. Des bancs isolés ou paquets de 2 à 8 m d'épaisseur de quartzites grossiers bleuâtres et verdâtres micacés, souvent chargés en pyrite sont également présents. Enfin, le faciès contient également des quartzites et des schistes quartzeux. Les bancs fossilifères sont nombreux et très calcareux. En bordure orientale du Massif de Stavelot et plus particulièrement dans la région de Bütgenbach, le caractère schisteux de l'assise augmente. Le faciès présente une alternance de quartzophyllades souvent à éléments schisteux dominants, de schistes phylladeux, de quartzites et de grès quartzophylladeux. Le faciès présente également dans cette région une réduction notable des bancs fossilifères (Asselberghs, 1946).
- -L'Assise S3, représentée par le faciès de Saint-Vith, présente des schistes silteux compacts verts, avec couches peu épaisses de grès isolées dans la série schisteuse (Vandenvin, 1990).

Emsien

L'Emsien, dernier étage de l'Eodévonien, est constitué de trois assises dont deux affleurent sur cette carte, l'Emsien inférieur (E1) et moyen (E2). Ces assises occupent le tiers oriental de la carte.

- -L'Emsien inférieur est caractérisé par une série de schistes gris noir généralement finement stratifiés avec des couches de grès micacés. Les schistes sont habituellement très finement straticulés de lits silteux ou sableux (Vandenvin, 1990).

- -D'après Asselberghs (1946), l'Emsien moyen est un complexe schisto-gréseux rouge, lie de vin, vert clair et bigarré d'un faciès assez uniforme qui renferme quelques rares bancs de calcaire gréseux.

III.2.1.2 Formations du Cénozoïque

Excepté les alluvions modernes, les terrains de couverture cénozoïque (limons) ne sont pas cartographiés sur la carte hydrogéologique Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben. Ces dépôts sont de nature et âge confondus. Leur épaisseur peut être très variable (quelques décimètres à quelques mètres).

III.2.1.2.1 Quaternaire

Le Quaternaire est représenté sur la carte par des alluvions modernes le long des cours d'eau. Les alluvions des fonds de vallées sont constituées de limon et sable, ainsi que des galets et cailloux (Holocène). Leur épaisseur est assez faible. Ces dépôts ne sont pas repris sur la carte géologique de Vandeven (1990), ils ont donc été digitalisés sur base de la carte numérique des sols de Wallonie (« Regroupement de complexes de sols de textures différentes ou sur fortes pentes et de sols de fonds de vallons limoneux ou rocailleux ») (CNSW, 2008). Les plaines alluviales les plus importantes se trouvent le long de la vallée de la Warche.

III.2.2 Cadre structural

D'un point de vue structural, la région est située sur le flanc nord du Synclinorium de l'Eifel, équivalent oriental du Synclinorium de Neufchâteau. A l'ouest se trouve le Massif de Stavelot, constitué de couches cambro-ordoviciennes sur lesquelles repose le Gedinnien du Synclinorium de l'Eifel.

Bien qu'incluant des plissements internes, les Formations de Waimes (G), d'Amel (S1) et de Longlier (S2) forment une structure monoclinale à pendage régulier de 40° à 50° vers le sud-est (Vandeven, 1990). Au nord de la Warche, les couches de la Formation de Waimes sont plissées (*ibid.*). Limitée au sud par la faille des Troisvierges, la Formation de Sankt-Vith (S3) est affectée de plis ouverts droits, ou à peine déversés vers le nord. Le pendage devient presque vertical (*ibid.*).

La faille de chevauchement « Troisvierges-Malsbenden », importante d'un point de vue régional, recoupe la partie orientale de la carte. Elle est présente depuis le nord du Grand-Duché de Luxembourg jusque dans le massif rhénan en Allemagne. La faille constitue un élément structural majeur, avec une partie sud allochtone, formée des couches emsiennes très plissées et faillées, chevauchant une partie nord, autochtone à aspect monoclinale, formée de couches gedinniennes et siegeniennes. Elle a été caractérisée comme « faille de chevauchement à pendage nord » par Furtak (1965, dans Vandeven, 1990, p. 112). Les plis des formations emsiennes sont ouverts, droits ou faiblement déversés vers le nord mais cette allure s'inverse en territoire allemand (*ibid.*).

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

Plus localement, plusieurs linéaments ont été repérés à proximité des sites de captage ayant fait l'objet d'études hydrogéologiques (SGS, 2005; 2007; 2013). Ils ont principalement une direction sud-ouest – nord-est, nord-ouest – sud-est et est-ouest. Ces linéaments pourraient correspondre à des axes de fracturation du bed-rock (principalement des joints longitudinaux ou de cisaillement) pouvant constituer des axes préférentiels pour l'écoulement des eaux souterraines.

IV. CADRE HYDROGEOLOGIQUE

A l'échelle de la Wallonie, les ressources en eau souterraine de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben 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 essentiellement localisées dans les terrains du Dévonien inférieur du Massif ardennais.

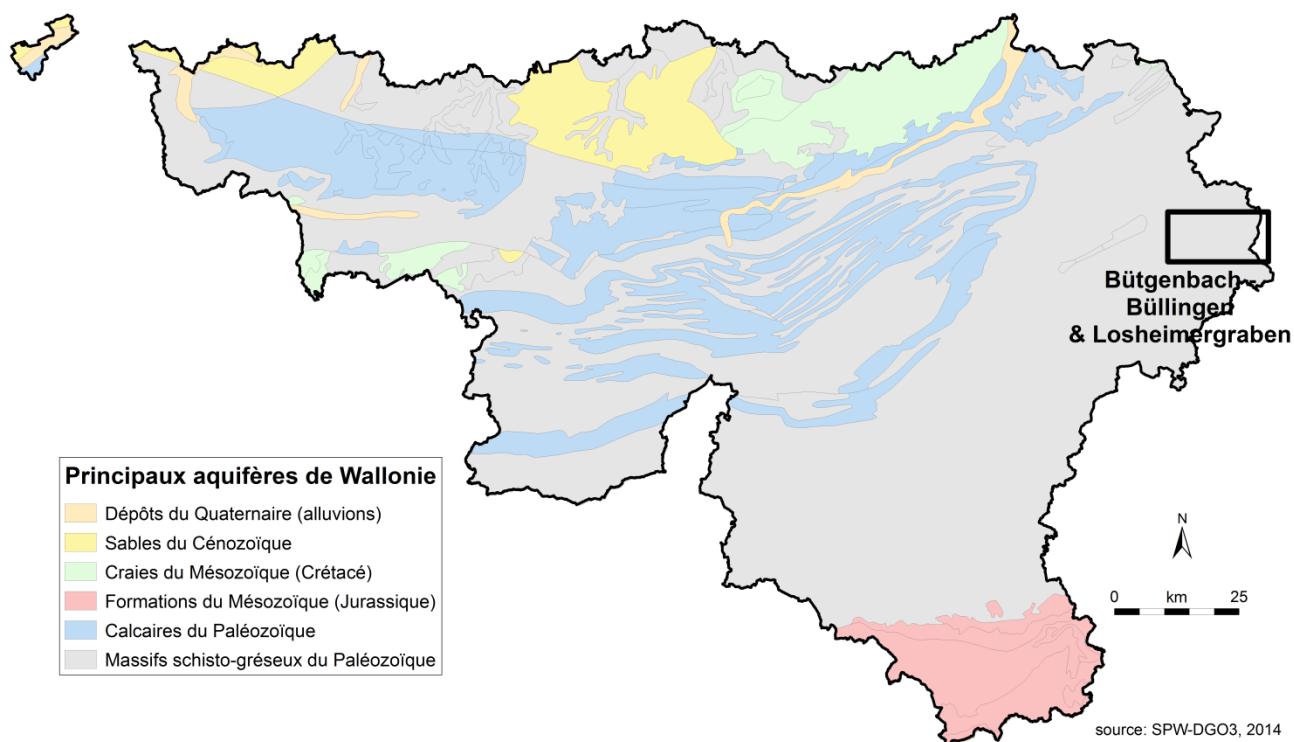


Figure IV.1: Principaux aquifères de Wallonie – Carte de Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben (SPW-DGO3, 2014; modifié)

Plusieurs unités hydrogéologiques, dans le socle paléozoïque, ont été définies pour la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, en fonction de leurs caractéristiques hydrodynamiques. Parmi les unités du Cénozoïque, seules les alluvions sont cartographiées. Néanmoins, l'aquitard limoneux sera rapidement abordé. Les ressources en eau souterraine de la région étudiée sont essentiellement localisées dans les terrains du Dévonien inférieur. Plusieurs sites de captage destinés à la distribution publique d'eau potable sont recensés (administrations communales, SWDE). Les eaux souterraines sont également sollicitées par des exploitants privés (particuliers, agriculteurs, petites industries). Environ deux tiers des prises d'eau sont des puits et un tiers des prises d'eau des captages par gravité.

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

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

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

IV.1 DESCRIPTION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES

Les unités hydrogéologiques définies sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben sont décrites ci-dessous dans l'ordre stratigraphique. Elles sont reprises de manière synthétique en fin de chapitre (Tableau IV.1).

IV.1.1 Unités hydrogéologiques du Cambro- Silurien⁵

La seule unité du socle cambro-silurien de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben appartient au Massif de Stavelot.

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

Le Salmien inférieur (Sm1), unique formation géologique de cette unité hydrogéologique, est composé de quartzophyllades, de grès ou bien d'un mélange des deux. Les quartzophyllades, lithologie dominante de cette formation, constituent un environnement moyennement perméable à l'eau. Cependant, les bancs gréseux peuvent constituer des couches préférentielles d'écoulement. La potentialité globale de cette unité hydrogéologique doit être modérée suite à sa très faible étendue sur cette carte. Elle couvre environ 0,1 % de la superficie totale de la zone étudiée.

IV.1.2 Unités hydrogéologiques du Dévonien inférieur

IV.1.2.1 Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur

Plusieurs assises géologiques forment cette unité hydrogéologique et couvrent environ 61 % de la superficie de la carte. A l'ouest, le Lochkovien ou 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 tandis que les grès et les poudingues représentent des niveaux aquifères. Le Siegenien ou Praguien inférieur (S1) est composé d'une alternance de phyllades et de schistes, formant la base aquiclude, et de bancs quartzitiques ou gréseux, constituant les niveaux aquifères. A l'est de la carte, l'Emsien inférieur (E1 et E2) est caractérisé par une série de schistes, formant l'aquiclude et de grès, représentant les niveaux aquifères. Donc, composée essentiellement de roches argileuses (schistes, phyllades), cette unité hydrogéologique est globalement caractérisée comme aquiclude mais des niveaux plus perméables (grès) peuvent constituer des horizons aquifères.

⁵ Le terme générique 'Cambro-Silurien' est utilisé même si, dans le cas de cette carte, les formations du Silurien sont absentes.

IV.1.2.2 Aquiclude à niveaux aquifères de Villé

Le Siegenien ou Praguien moyen (S2) est composé de quartzophyllades, de schistes, quartzites et grès quartzophylladeux. Cet étage présente une teneur fossilifère carbonatée plus importante que les autres assises du Dévonien inférieur. Cette caractéristique peut s'observer dans le faciès légèrement calcaireux des eaux. Ainsi, cette assise du Dévonien inférieur n'est pas à intégrer à l'unité hydrogéologique précédente (aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur).

Cette assise couvre environ 15 % de la carte Bütgenbach – Büllingen & Losheimergraben, sur une bande orientée sud-ouest – nord-est et large de 3 à 4 km.

IV.1.2.3 Aquiclude du Dévonien inférieur

Le Siegenien ou Praguien supérieur (S3), constitué d'une prédominance de schistes avec quelques rares couches de grès, est un environnement peu perméable à l'eau. Il a donc été défini comme aquiclude. Il occupe une bande orientée sud-ouest – nord-est et large de 3 à 5 km environ (un tiers de la superficie de la carte).

IV.1.3 Unités hydrogéologiques du Cénozoïque

Parmi les unités hydrogéologiques du Cénozoïque, seules les alluvions sont cartographiées sur la carte principale du poster (1/25.000). Les autres unités n'ont pas été tracées soit à cause du manque d'informations précises sur leur extension (dépôts épars), soit parce qu'elles s'étendent sur une grande surface, recouvrant les unités du socle.

IV.1.3.1 Aquitard limoneux

Les dépôts limoneux n'ont pas été cartographiés sur la carte hydrogéologique. Cette couverture n'est pas uniforme sur l'ensemble de la carte en termes d'épaisseur. Les limons, épais de quelques décimètres à quelques mètres, jouent un rôle protecteur lors de l'infiltration des eaux météoriques: retard de l'infiltration et "effet de filtration" (piégeage par des processus physicochimiques en zone partiellement saturée).

IV.1.3.2 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 d'éventuels apports de pied de versants, soit par écoulement hypodermique, soit par le suintement de la nappe du bed-rock lorsque celui-ci est aquifère. On peut supposer également des interactions entre la nappe et la rivière, celle-ci n'étant pas canalisée sur cette carte.

Tableau IV.1: Unités hydrogéologiques de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben

Ere	Système	Série	Etage	Abréviation	Lithologie	Hydrogéologie	
Cénozoïque	Quaternaire	Holocène		Amo	Sable, gravier, argile, limon	Aquifère alluvial	
		Pléistocène		q	Limon, cailloux, argile, sable	Aquitard limoneux (non cartographié)	
Paléozoïque	Dévonien		Emsien	E2	Schistes et quartzites	Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur	
				E1	Série schisteuse avec lits silteux, gréseux ou psammitiques		
			Siegénien (Praguien)	S3	Schistes silteux ou phylladeux, rares couches de grès	Aquiclude du Dévonien inférieur	
				S2	Quartzophyllades schisteux, schistes phylladeux, quartzites, grès quartzophylladeux et bancs calcaireux	Aquiclude à niveaux aquifères de Villé	
			Gedinnien (Lochkovien)	S1	Alternance de phyllades et de schistes avec des quartzophyllades et bancs de quartzite ou de grès	Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur	
				G	Poudingue et grès à la base surmontés de schistes bigarrés avec intercalations de grès		
			Salmien	Moyen et inférieur	Sm1	Quartzophyllades, quartzophyllades gréseux, bancs gréseux et phyllades	Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien

IV.2 DESCRIPTION DE L'HYDROGEOLOGIE DE LA CARTE

Les ressources en eaux souterraines du territoire couvert par la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben sont essentiellement situées dans les terrains grésos-quartzitiques du Dévonien inférieur du Synclinorium de l'Eifel ainsi que dans les niveaux quartzitiques et quartzophylladeux du Cambro-ordovicien du Massif de Stavelot. 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. Le comportement hydrologique des tourbières des Hautes Fagnes sera succinctement décrit. Toutes les unités hydrogéologiques de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben 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 différents terrains présents:

- une nappe superficielle (nappe libre) développée dans le manteau d'altération. Cet aquifère perché est généralement de faible capacité et temporaire; il est rechargé par les importantes précipitations automnales et hivernales. Durant les périodes sèches, il se vide via les sources et le réseau hydrographique et peut finir par se tarir (en fonction de sa capacité et des précipitations antérieures). Ce type d'aquifère est très vulnérable aux activités développées en surface.
- 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 les deux types d'aquifères sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, l'eau est douce avec, généralement, de faibles valeurs de pH. Elle est aussi souvent ferrugineuse. Les ressources en eaux souterraines des différentes unités hydrogéologiques de la carte sont de faible importance comparées aux aquifères calcaires, crayeux ou grésos-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 de la circulation souterraine captive, au moment où la nappe phréatique est asséchée et très vulnérable à la pollution de surface pendant la période d'été.

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 des carbonates: 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. La perméabilité est diminuée.

IV.2.1 Massif de Stavelot

Sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, le Massif de Stavelot occupe à peine quelques pourcents de la carte (coin sud-ouest). Une seule unité hydrogéologique y affleure: l'aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien. Cette zone est drainée par l'Amblève.

IV.2.2 Synclinorium de l'Eifel

La carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben est, presque entièrement, occupée par le Synclinorium de l'Eifel (flanc septentrional), constitué de terrains du Dévonien inférieur. Ces terrains constituent des réservoirs naturels pour l'alimentation du réseau hydrographique ainsi que des localités avoisinantes. Certes, il ne s'agit pas d'une ressource en eau souterraine d'importance régionale mais son intérêt pour la distribution locale est certain.

Trois unités hydrogéologiques y sont distinguées:

- Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur
- Aquiclude du Dévonien inférieur
- Aquiclude à niveaux aquifères de Villé

Pour rappel, cette dernière unité hydrogéologique a été individualisée au sein du Dévonien inférieur pour son faciès calcaireux plus marqué. Cette caractéristique se marque surtout dans les analyses hydrochimiques (eau plus carbonatée). Hydrogéologiquement, cette unité a un

comportement similaire à l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur: des horizons plus perméables au sein d'une masse schisto-phylladeuse peu perméable.

Sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, le Synclinorium de l'Eifel est drainé vers le nord par la Warche et ses affluents dont la Holzwarche. Les lacs de Roberville et de Bütgenbach sont présents. Au sud-ouest, le massif est drainé par l'Amblève et ses affluents le Schindebach, le Moderscheiderbach et le Heckbach. Au sud-est, on trouve l'Our.

Environ 40 % des ouvrages sont des prises d'eau par gravité (drains, sources, galeries), contre environ 60 % de prises d'eau par pompage (puits). Pour les ouvrages de faible profondeur, la nappe exploitée par ces ouvrages est majoritairement libre et son alimentation se fait principalement par l'infiltration pluviale. Ses exutoires naturels sont constitués par les niveaux de sources dans les différents ruisseaux. Une quarantaine de niveaux d'eau a pu être mesurée au droit des puits et piézomètres. Les mesures piézométriques sont rares dans les puits privés (accessibilité, pompage...). Ces cotes piézométriques ponctuelles sont indiquées sur la carte hydrogéologique principale du poster. Les puits ont des profondeurs très variables, 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. En général, les puits les plus profonds présentent les niveaux piézométriques les plus bas, attestant qu'ils sollicitent les horizons fracturés et fissurés en profondeur. Quelques-uns de ces puits profonds ont des cotes piézométriques relativement proches de la surface topographique, démontrant que l'horizon aquifère qu'ils recourent en profondeur est captif.

Les communes de Bütgenbach, Büllingen, Waimers et Amel ainsi que la SWDE exploitent les eaux logées dans les horizons aquifères de ces terrains du Dévonien inférieur, via plusieurs sites de captages. Des études y ont été menées dans le but de mieux comprendre le contexte hydrogéologique.

IV.2.2.1 Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur

Pour rappel, l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur est présent à la fois à l'ouest et à l'est de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, avec les formations du Gedinnien (G) et du Siegenien inférieur (S1) d'une part, et celles de l'Emsien (E1, E2).

Partie ouest (Gedinnien, Siegenien inférieur)

A l'ouest de la carte, sur une bande, orientée nord-sud et de 4 à 5 km de large, s'étend l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur. Plusieurs puits (exploités ou/et utilisés comme piézomètres) et drains y sont recensés (Figure IV.4). Quelques mesures piézométriques et/ou quelques tests de pompage ont été réalisés permettant de préciser localement le contexte hydrogéologique. En outre, le bassin de la Warchenne, partiellement situé sur la carte 50/7-8 & 50A/5, a été étudié via la réalisation d'un bilan hydrogéologique.

Au nord du village de Faymonville, se trouve le forage de Belair 2004, d'une profondeur de 92 m et crépiné de 40 à 92 m. Un autre puits, le puits Faymonville se trouve au sud de ce captage, à proximité de la Warchenne. Des campagnes piézométriques mensuelles ont été effectuées entre septembre 2005 et mai 2006 sur ces deux puits (Vasbinder, 2006). D'autres mesures ont été prises sur le forage de Belair 2004 en 2012-2013. Le niveau d'eau était peu profond, environ 3 m par rapport au sol, soit une cote piézométrique aux alentours de 545 m. Au vu de la profondeur de ce puits, on peut donc supposer que l'horizon aquifère sollicité par ce captage en profondeur est captif. La cote piézométrique moyenne du puits Faymonville, d'une profondeur de 29 m, est de 511 m et l'écoulement semble se diriger vers la Warchenne (environ 506 m d'altitude). Les amplitudes des variations du niveau piézométrique pour les puits Belair 2004 et Faymonville sont respectivement de 1,4 m et 4,4 m (Figures IV.2 et IV.3). Concernant les fluctuations piézométriques, plusieurs constatations ont été faites pour ces deux ouvrages. Premièrement, les hauteurs piézométriques sont globalement en hausse entre septembre 2005 et mars 2006. Ensuite, un arrêt momentané de la montée du niveau piézométrique aux mois de janvier et février est observé, malgré les fortes précipitations lors de ces deux mois. Ce phénomène peut s'expliquer par un sol gelé quasiment en permanence durant cette période et le fait que les précipitations se présentaient souvent sous forme de neige, empêchant les précipitations de s'infiltrer dans le sol (*ibid.*).

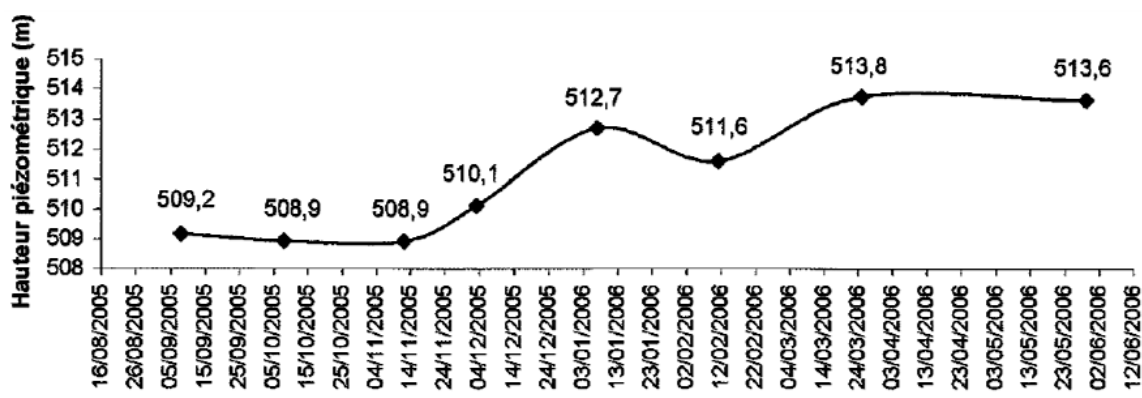


Figure IV.2: Chroniques piézométriques du puits Faymonville (Vasbinder, 2006)

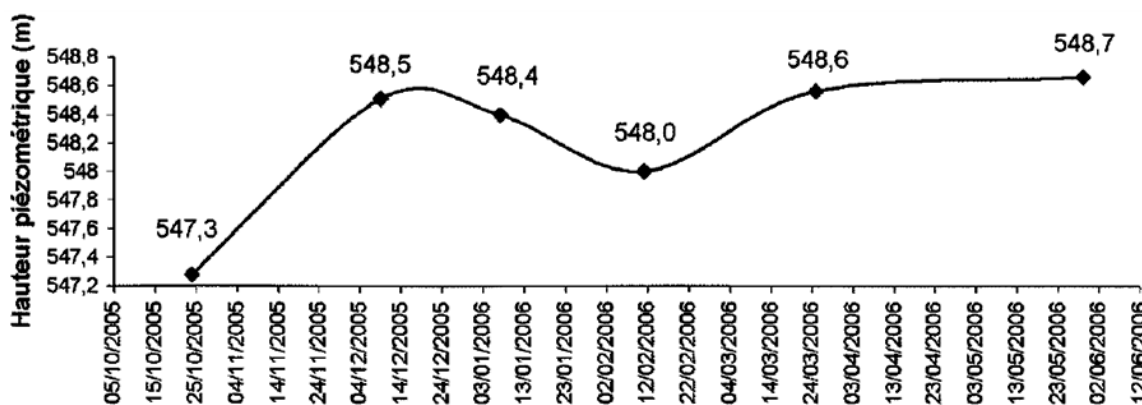


Figure IV.3: Chroniques piézométriques du puits Belair 2004 (Vasbinder, 2006)

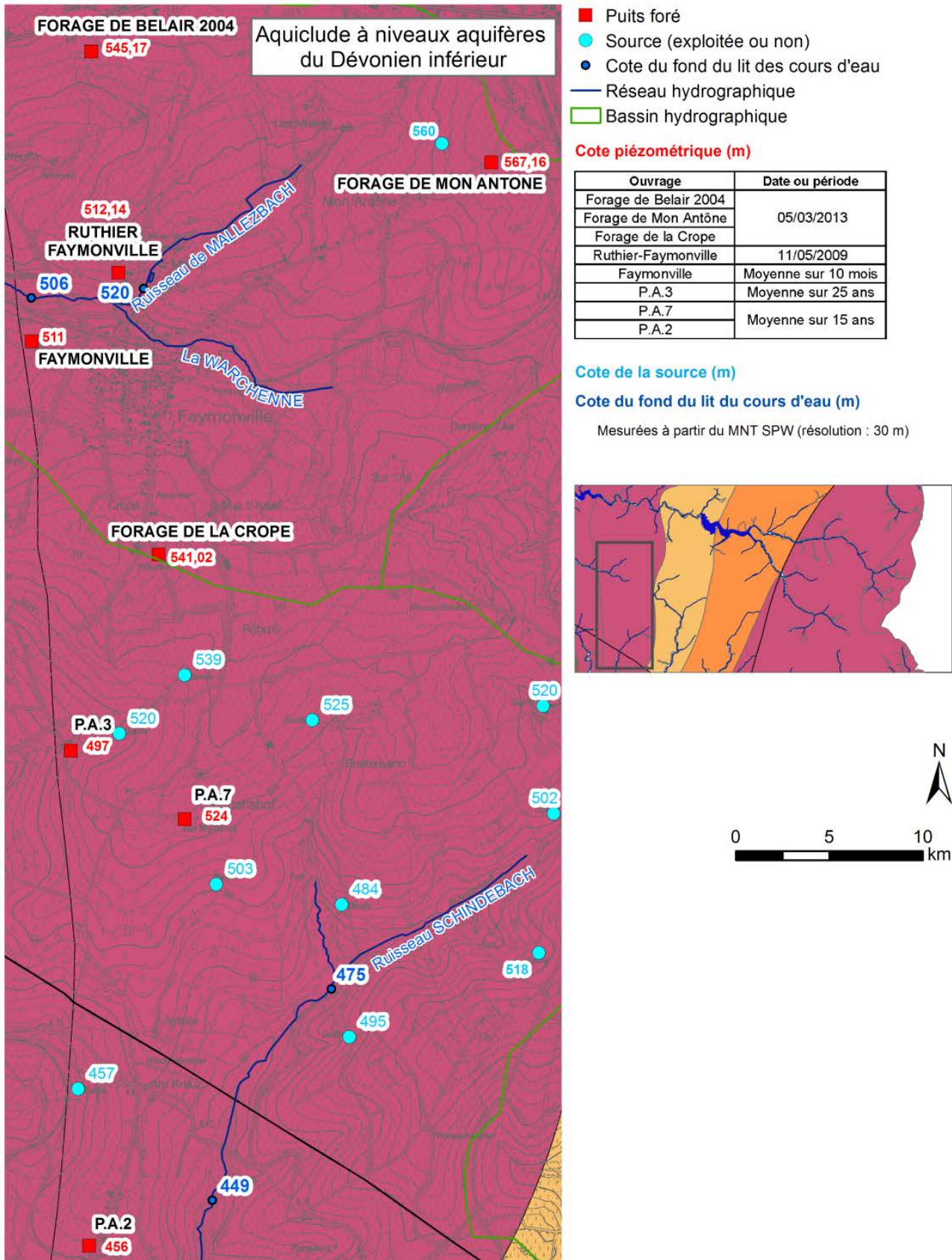


Figure IV.4: Localisation des ouvrages de Belair 2004, Ruthier Faymonville, Faymonville, Forage de Mon Antône, Forage de la Crope, P.A.3, P.A.7 et P.A.2

Les cotes piézométriques mesurées sur le forage de Mon Antône, situé à l'est et d'une profondeur de 59 m (Figure IV.4), sont comprises entre 567 et 569 m (soit un niveau d'eau à 3 et 5 m de profondeur). Au vu de ces niveaux d'eau et de la profondeur de ce puits, on peut donc supposer que l'horizon aquifère sollicité par ce captage est captif. Une source est présente à proximité de cet ouvrage, au nord-ouest, et sa cote est de 560 m. En avril 2012, des essais de pompage ont été réalisés sur ce puits, dans le cadre de l'établissement des zones de prévention (SGS, 2014). Les conductivités hydrauliques calculées sont, d'abord, de l'ordre de $2 \text{ à } 3 \times 10^{-5} \text{ m/s}$, témoignant de zones relativement fracturées. Ensuite, elles diminuent progressivement ($3 \text{ à } 7 \times 10^{-6} \text{ m/s}$), indiquant que le cône de rabattement atteint des zones moins fracturées et donc moins perméables. L'analyse de la courbe de rabattement de l'essai de longue durée (12 jours) indique que la nappe semble réagir, assez vite, aux précipitations (légère et progressive remontée du niveau en phase de pompage, à partir du 3^{ième} jour).

A 1,5 km au sud du puits Belair 2004, se trouve le puits particulier Ruthier-Faymonville, d'une profondeur de 47 m (Figure IV.4). Les données piézométriques disponibles, datant d'août 2008 et mai 2009, sont reprises dans le tableau IV.2 et se situent autour de 512 m, à environ 13 m de la surface du sol. L'ouvrage se situe à proximité du ruisseau de Mallezbach et de la Warchenne et l'écoulement souterrain semble être dirigé vers cette dernière. Des essais de pompages ont permis de calculer une conductivité hydraulique moyenne au droit du puits de $2,5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$.

Tableau IV.2: Mesures piézométriques au droit des ouvrages de Ruthier Faymonville, Forage de la Crope, Forage de Mon Antône, et Belair 2004

Ouvrage	Profondeur de l'ouvrage (m)	Date	Profondeur du niveau d'eau (m)	Niveau piézométrique (m)
Ruthier-Faymonville	47	09/11/1995	15,4	510
		12/08/2008	13,2	512,2
		07/05/2009	13,28	512,12
		11/05/2009	13,26	512,14
Forage de la Crope	47	26/01/2012	10,14	544,36
		05/03/2013	13,48	541,02
Forage de Mon Antône	59	26/01/2012	3,13	568,87
		05/03/2013	4,84	567,16
Belair 2004	92	26/01/2012	2,61	545,99
		05/03/2013	3,43	545,17
Faymonville	29	Moyenne	12	511
P.A.2	12,4	Moyenne	8	456
P.A.3	45,5		8	497
P.A.7	4,55		3	524

Au sud, se trouve le forage de la Crope, d'une profondeur de 47 m (Figure IV.4). Des niveaux d'eau entre 10 et 13,5 m de profondeur (soit une cote piézométrique de 561 et 558,5 m) ont été mesurés en 2012 et 2013 (Tableau IV.2). En novembre 2015, une campagne d'essais de pompage a été menée sur ce puits lors de l'étude de la détermination des zones de prévention (GEOLYS, 2015). La conductivité hydraulique est de l'ordre de $1,5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$. Le coefficient

d'emménagement calculé est de 1,1 %. Suite à d'importantes précipitations, le niveau d'eau est légèrement remonté, en phase de pompage. La nappe réagit rapidement aux précipitations.

Des suivis piézométriques sont disponibles pour trois puits actuellement hors service, appartenant au SPW (Figures IV.5 à IV.7) : P.A.2, P.A.3 et P.A.7. Les profondeurs de ces puits sont de respectivement 12,4, 45,5 et 4,55 m. Ainsi, le puits P.A.3 sollicite très probablement la nappe profonde contrairement aux puits P.A.2 et P.A.7. Les variations piézométrique sont synchrones et correspondent aux cycles hautes-eaux (hiver) / basses-eaux (été). Les hauteurs piézométriques moyennes sont de 456 m pour P.A.2, 497 m pour P.A.3 et 525 m pour P.A.7⁶. La direction des écoulements correspond donc à la direction du ruisseau Schindenbach.

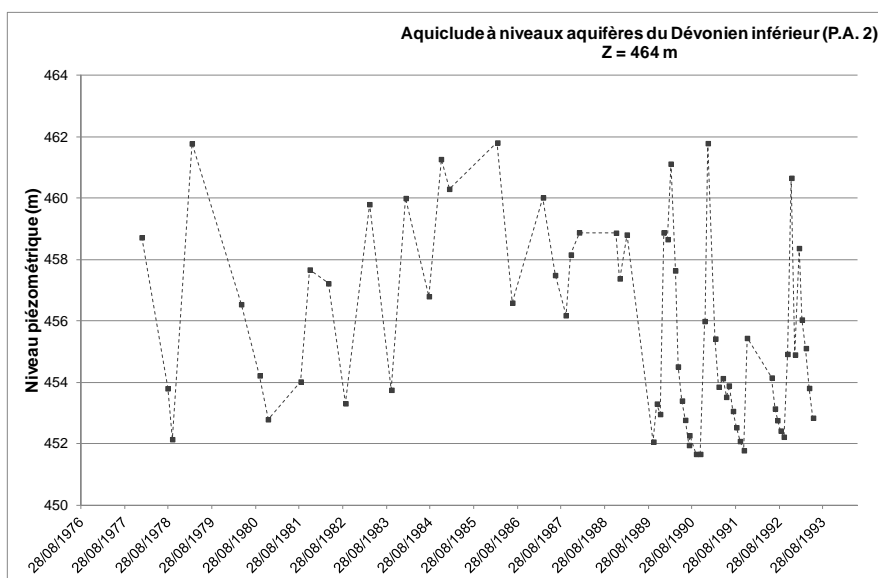


Figure IV.5: Chroniques piézométriques du puits P.A.2

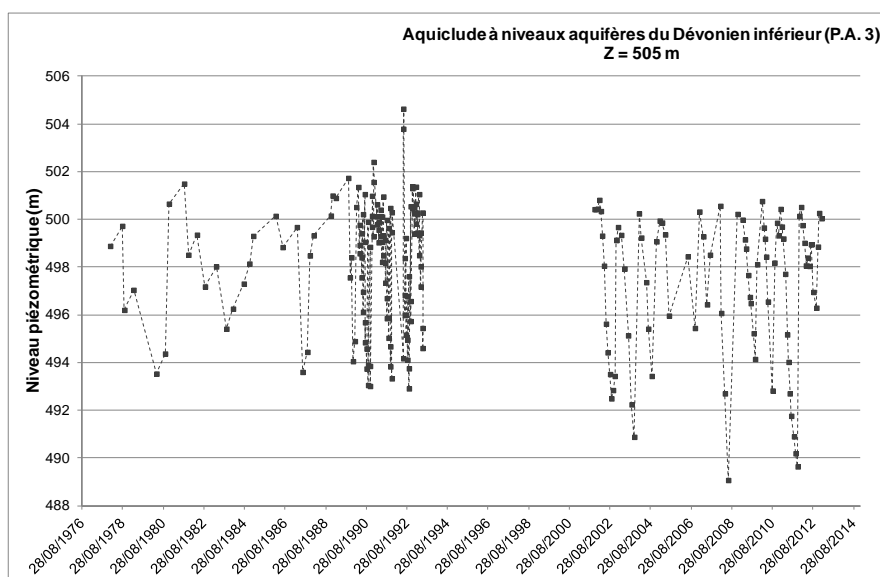


Figure IV.6: Chroniques piézométriques du puits P.A.3

⁶ Pour le puits P.A.7, des données piézométriques très probablement erronées ont été détectées entre 1978 et 1987. Etant donné qu'il était impossible de les vérifier, elles ont été retirées de l'analyse.

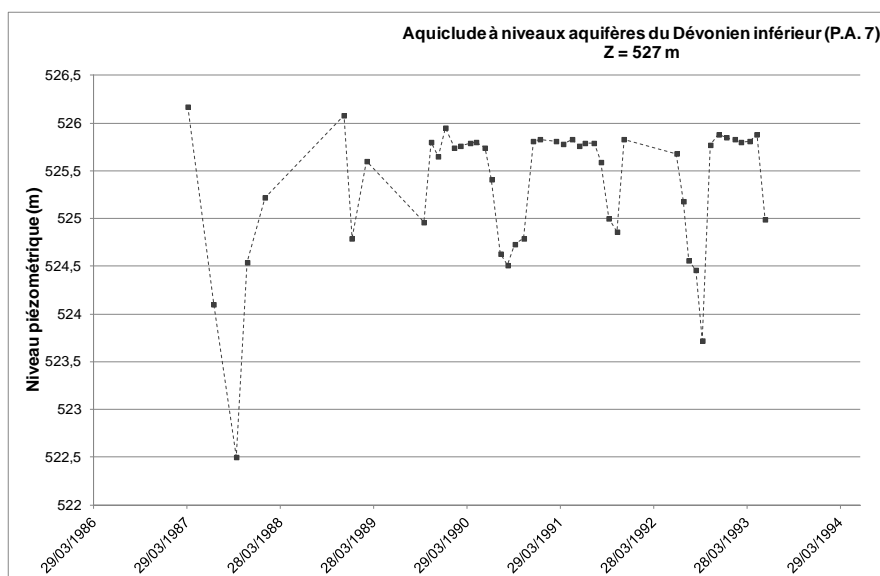


Figure IV.7: Chroniques piézométriques du puits P.A.7

Outre la localisation des ouvrages cités ci-dessus, la figure IV.4 indique la cote des sources proches de ces puits et quelques cotes du fond du lit des cours d'eau. Plusieurs sources sont présentes à proximité du ruisseau Schindebach et le caractère drainant de ce dernier semble se confirmer. Le tableau IV.2 permet de distinguer trois groupes d'ouvrages : (1) ceux dont la profondeur du niveau d'eau est relativement grande avec une profondeur de puits modérée (Ruthier-Faymonville, Forage de la Crope et Faymonville), (2) ceux dont le niveau d'eau est relativement proche de la surface pour une profondeur de puits faible (P.A.2 et P.A.7) et (3) ceux dont le niveau d'eau est proche de la surface pour une profondeur de puits profonde (Forage de Mon Antône, Belair 2004 et P.A.3). Pour ces derniers, il est probable que l'horizon aquifère qu'ils exploitent soit captif.

La zone du bassin de la Warchenne est couverte par les cartes 50/5-6 et 50/7-8 et est localisée dans le Massif de Stavelot à l'ouest et dans le Synclinorium de l'Eifel à l'est (Figure IV.8). Concernant la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, le bassin recoupe uniquement l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur.

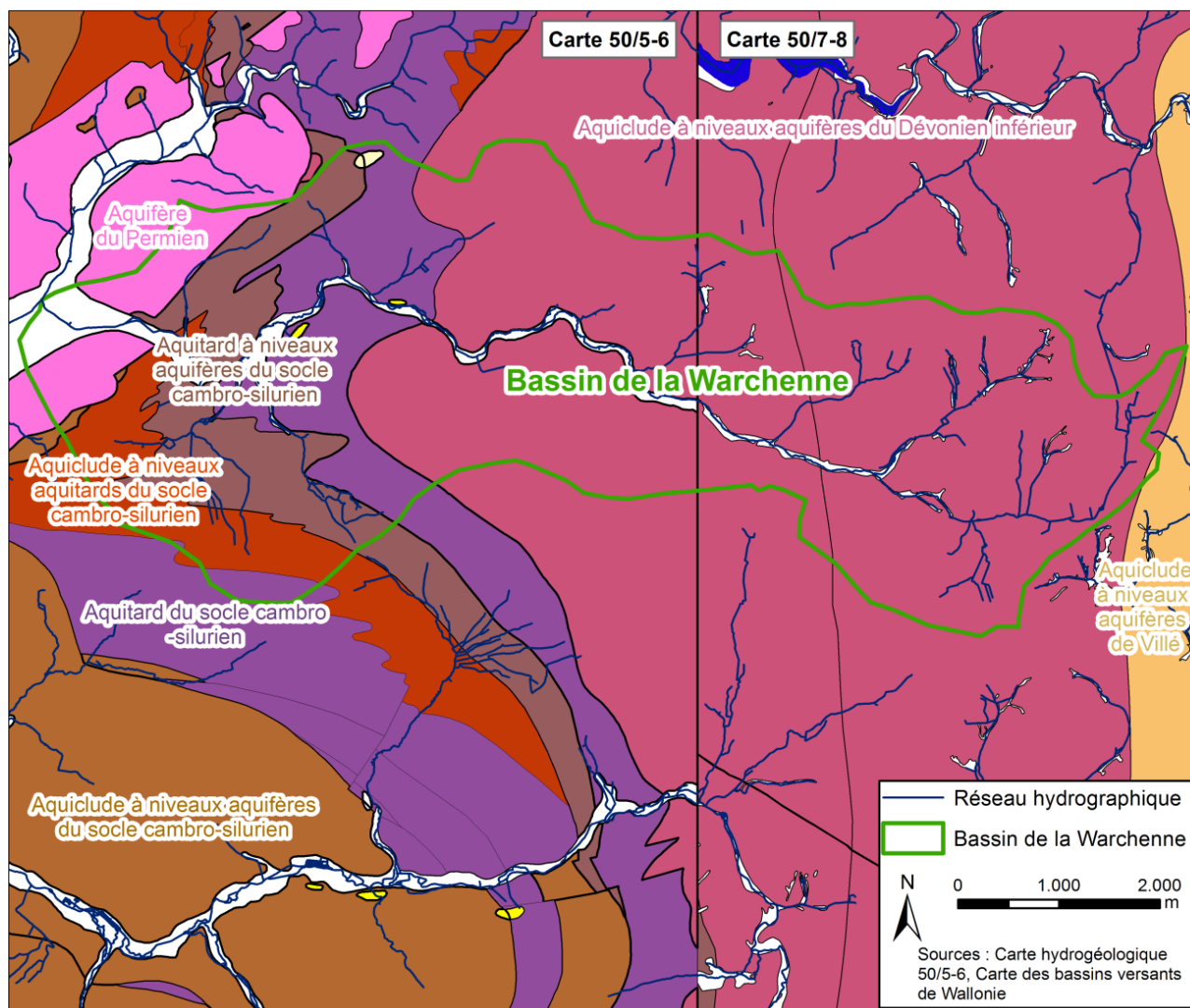


Figure IV.8: Localisation du bassin de la Warchenne

Des bilans hydrologiques ont été réalisés pour trois périodes d'une durée d'un an (Tableau IV.3). L'équation du bilan hydrologique pour le bassin s'écrit :

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

avec P les précipitations, ETR l'évapotranspiration réelle, Q_{exu} le débit à l'exutoire du bassin, ΔRes la variation des réserves de l'aquifère, $\Delta Stock$ la variation du stock d'humidité du sol et ε l'erreur de fermeture, le tout exprimé en mm.

Tableau IV.3 : Bilan hydrogéologique réalisé pour le bassin de la Warchenne (Vasbinder, 2006)

Période	P (mm)	ETR (mm)	Q _{exu} (mm)	Q _{capt} (mm)	ΔRes (mm)	ΔStock (mm)	ε (mm)	ε/P (mm)
05/01/02 – 05/01/03	1344,6	594,6	947,3	15,2	24,2	0	-236,7	-17,6
31/03/03 – 31/03/04	1056,9	540,2	510,2	13,9	11,6	0	-19	-1,8
01/03/04 – 01/03/05	1244,5	593	625,5	14,1	-13,1	0	25	2

L'erreur de fermeture liée à la première période est très importante. Cela peut s'expliquer par un éventuel dysfonctionnement du limnigraphe suite aux débits très importants de la rivière durant cette période (*ibid.*).

L'infiltration efficace annuelle moyenne calculée durant cette étude est estimée à 350 mm. Des ordres de grandeurs du coefficient de récession de la Warchenne ont pu être déterminés en appliquant la méthode de Maillet sur les débits mesurés à l'exutoire, durant des périodes de récession, entre janvier 2002 et octobre 2005. Ce dernier permet d'estimer globalement les réserves d'eaux souterraines drainables par la Warchenne. Deux coefficients de récession ont été mis en évidence. Le premier, de l'ordre de 0,15 à 0,19 jour⁻¹, matérialise un écoulement hypodermique ou une vidange rapide de la nappe superficielle. Le second, avec des valeurs plus faibles de l'ordre de 0,03 à 0,07 jour⁻¹, prouve la faible alimentation de la rivière par les nappes aquifères plus profondes en période fort sèche.

Cette étude a également mis en évidence le fait que les amplitudes des variations piézométriques ne sont pas similaires d'un ouvrage à un autre, variant de 0,6 à 4 m. Puisque les mesures ont été réalisées hors de toute influence de pompage, les fluctuations piézométriques montrent logiquement des différences plus importantes en tête de bassin qu'à l'aval.

Partie est (Emsien)

A l'est de la carte, la prise d'eau de Mürringen-Bolder (SGS, 2013a) est un puits d'une profondeur supposée de 100 m, situé à environ 1 km à l'est des villages de Mürringen et Hünningen (Figure IV.9). Plusieurs linéaments principalement orientés N30 à N40°E, N60 à N70°E, N100°E sont présents à proximité du site, notamment le linéament important orienté N40°E. Ces linéaments pourraient correspondre à des axes de fracturation du bed-rock (principalement des joints longitudinaux ou de cisaillement) pouvant constituer des axes préférentiels pour l'écoulement des eaux souterraines. Deux niveaux d'eau ont été mesurés dans le puits, à 10,50 m (soit une cote piézométrique de 647,86 m) et 8,89 m (soit une cote piézométrique de 649,47 m) le 13/01/2005 et le 19/01/2005 respectivement. D'après la cote des sources à proximité, on peut supposer que les écoulements souterrains dans la nappe superficielle se font globalement vers le nord-est en direction d'un affluent de la Holzwarche (exutoire naturel de la nappe). Des essais de pompage ont été réalisés et ont permis de calculer des conductivités hydrauliques moyennes au droit du puits de l'ordre de $1,4 \times 10^{-7}$ m/s (voir chapitre VII).

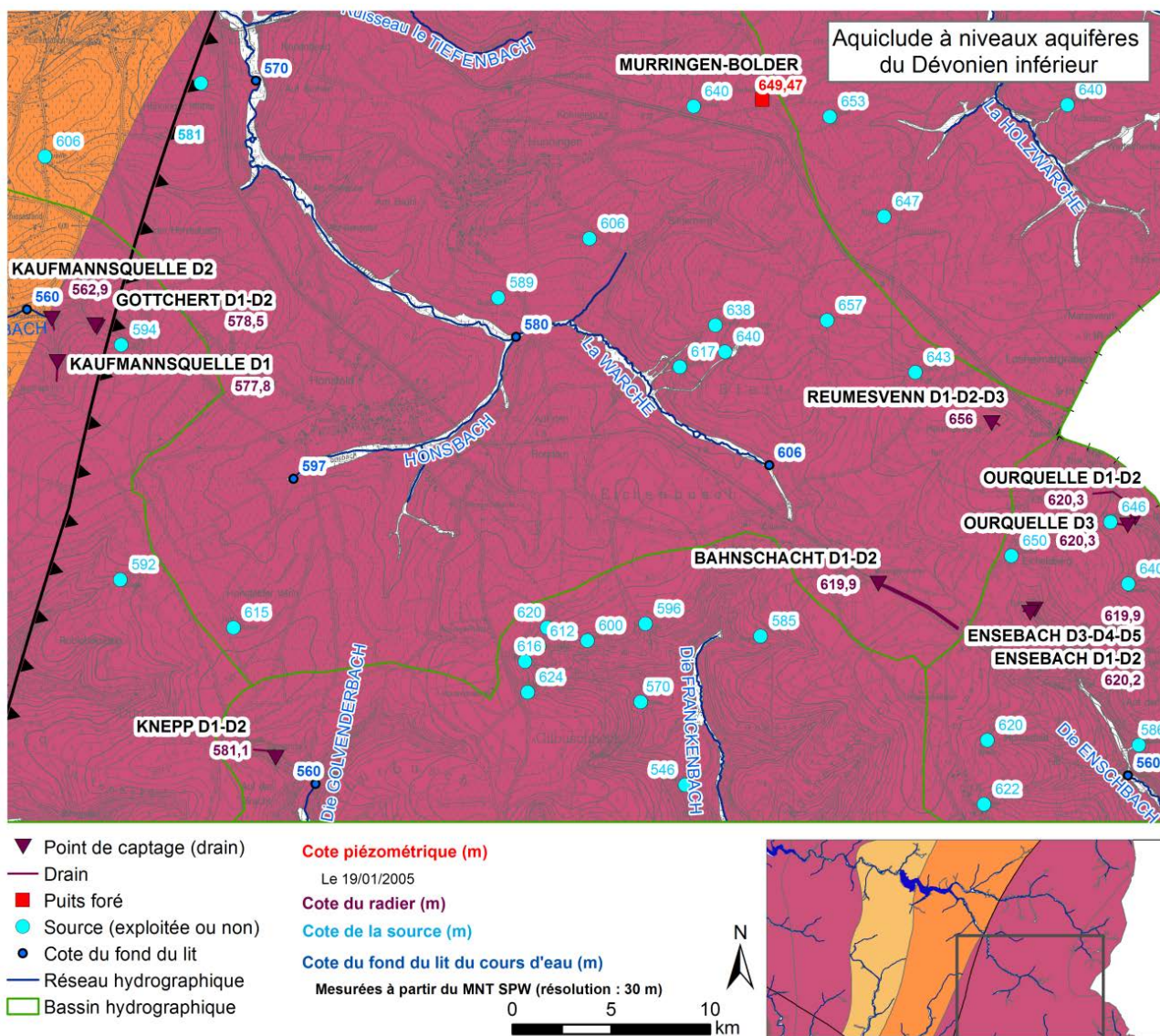


Figure IV.9: Localisation des sites de Kaufmannsquelle, Göttchert, Murringen-Bolder, Reumesvonn, Bahnschacht, Ourquelle, Knepp et Ensbach

Un bilan hydrogéologique simplifié a été réalisé sur ce puits dans le but de déterminer les volumes maximums annuels qui peuvent être autorisés sans crainte de surexploitation de la nappe dans le bassin (Tableau IV.4). La délimitation du bassin d'alimentation de la prise d'eau est déterminée à partir des résultats d'une modélisation hydrogéologique simplifiée (SGS , 2013a)(Figure IV.10). Le bilan hydrogéologique annuel a été réalisé en tenant compte d'une pluviométrie moyenne annuelle de 1500 mm et des coefficients de répartition pour l'eau utile⁷ déterminés arbitrairement par le bureau d'étude SGS :

⁷ L'eau utile correspond à la différence entre la pluie et l'évapotranspiration. L'eau utile est la quantité d'eau ruisselant à la surface des sols ou s'infiltrant dans les sols. Cette eau qui percole contribue à la recharge des nappes. La clé de répartition de l'eau utile entre l'infiltration et le ruissellement est généralement difficile à estimer (d'après Brouyère *et al.*, 2006).

- 82 % de ruissellement et d'infiltration participant aux écoulements hypodermiques non captés par la prise d'eau,
- 18 % d'infiltration efficace vers la nappe profonde sollicitée par la prise d'eau.

L'équation du bilan hydrogéologique utilisée pour les puits est donc la suivante :

$$P = ETR + R + I_p$$

avec P les précipitations, ETR l'évapotranspiration, R le ruissellement et I_p l'infiltration vers la nappe profonde.

L'eau utile E_u est définie par l'équation :

$$E_u = R + I_p$$

Tableau IV.4 : Bilan hydrogéologique réalisé sur le puits Mürringen-Bolder (SGS, 2013a)

	Mürringen-Bolder
Superficie bassin d'alimentation (ha)	13
Pluviométrie (mm)	1500
Evapotranspiration (mm)	525
Eau utile (mm)	975
Ruissellement et écoulement hypodermique (mm)	800
Infiltration efficace vers nappe profonde (mm)	175
Volume potentiellement capté par un ouvrage à proximité (mm)	-15
Infiltration efficace vers nappe profonde disponible (mm)	160

Les prises d'eau de Kaufmannsquelle D1-D2 (longueur de 125 et 32 m, profondeur de 3 m) et de Göttchert (longueur de 20 et 8 m, profondeur de 2,8 m) (SGS, 2007f) sont constituées chacune de deux ouvrages drainants dans des vallons d'affluents du Heckbach à proximité de ses sources (Figure IV.9). Ces captages semblent être implantés à proximité des linéaments importants de directions N40 à N50°E, N90°E, N120° E et N140°E, principalement le long des axes de la vallée. Les écoulements souterrains se font probablement vers l'ouest et le nord en direction du Heckbach, dont la cote du fond du lit à la source est plus basse que celle des radiers.

Le captage de Reumesvenn D1-D2-D3 (SGS, 2007c), constitué de trois drains (longueur de 55, 43 et 20 m, profondeur de 2,5 à 2,8 m), est situé à environ 400 m à l'ouest du carrefour de Losheimergraben (Figure IV.9). Cette prise d'eau semble être implantée à proximité de plusieurs linéaments importants orientés N50 à N60°E, N80 à N90°E, et N140 à N150°E. Les directions des écoulements souterrains au droit du site sont globalement le sud-ouest, l'ouest ou le nord-ouest en direction d'un affluent de la Warche.

Les prises d'eau d'Ourquelle D1 à D3 (SGS, 2007a) sont constituées de trois ouvrages drainants (360, 25 et 150 m de longueur et 1,5 à 3,5 m de profondeur) situés à environ 500 m au sud du carrefour de Losheimergraben (Figure IV.9). Ils sont implantés le long des sources de l'Our. A proximité du site, se trouvent plusieurs linéaments orientés N50°E, N80 à N90°E et N140 à N150°E. Au droit du site, les écoulements souterrains ont probablement une direction globale vers l'Our (exutoire naturel de la nappe).

La prise d'eau de Bahnschacht (SGS, 2007d) est constituée de deux ouvrages drainants de longueur de 590 m et de profondeur de 1,5 à 2,6 m) situés à environ 600 m à l'Est du village de Buchholz (Figure IV.9). L'examen stéréoscopique indique la présence de plusieurs linéaments orientés N40 à N50°E, N90°E, N120°E et N140°E. Cependant, la prise d'eau de Bahnschacht ne semble pas être implantée à proximité de linéaments importants. Les écoulements souterrains au droit du site se font probablement vers le nord-ouest en direction d'affluents de la Warche.

Les prises d'eau d'Ensenbach (SGS, 2007b) sont constituées de cinq ouvrages drainants (65, 58, 63, 50 et 20 m de longueur et 3 m de profondeur) situés à environ 1100 m au sud du carrefour de Losheimergraben de part et d'autre du ruisseau du même nom et en tête de vallon de celui-ci (Figure IV.9). Plusieurs linéaments orientés N50°E, N80 à N90°E et N140 à 150°E sont présents à proximité du site. Les écoulements souterrains se font en direction du cours d'eau de l'Ensebach.

La prise d'eau de Knepp (SGS, 2007e) est constituée de deux ouvrages drainants (longueur de 165 et 60 m et profondeur de 2 m) situés à environ 1800 m au sud du village de Honsfeld (Figure IV.9). Plusieurs linéaments de direction N10 à N40°E, N70 à N90°E, N120 à 130°E sont présents à proximité du site. La direction des écoulements souterrains est probablement sud, sud-est ou est, vers le Golvenderbach, constituant l'exutoire naturel de la nappe.

La Figure IV.9 reprend la localisation des ouvrages drainants présentés ci-dessus ainsi que du puits Mürringen-Bolder. De nombreuses sources sont situées à proximité de ces ouvrages et leurs cotes témoignent du caractère drainant des cours d'eau, notamment la Warche, Die Franckenbach et Die Enschbach.

La prise d'eau de Weisserstein (SGS, 2013c) est constituée de quatre ouvrages drainants (360, 75, 175, 140 m de longueur et 2 m de profondeur) implantés en tête de vallon du bassin de l'Edesbach (figure IV.9). Plusieurs linéaments principalement orientés N15°E, N60°E et N110°E sont présents à proximité du site. Les écoulements souterrains se font probablement au droit du site en direction de l'Edesbach (exutoire naturel de la nappe).

La prise d'eau communale de Boxvenn (SGS, 2013d) est présente à environ 450 m au nord-ouest du site de Weisserstein (figure IV.9). Elle est constituée de deux ouvrages drainants (225 m + 70 m et 115 m de longueur et 2,2 à 3,4 m de profondeur) implantés en tête de vallon du bassin de l'Edesbach. Plusieurs linéaments sont repérés à proximité (de direction N15°E, N60°E, N110°E) dont un à proximité immédiate du captage, dans le prolongement de l'axe du vallon. Les écoulements souterrains au droit du site se font vers le sud en direction de l'Edesbach.

Enfin, les prises d'eau de Sassenvenn (SGS, 2013f) sont constituées de trois ouvrages drainants de longueur inconnue et de profondeur de 2 m et implantés en tête d'un petit vallon à proximité du Katzenbach (Figure IV.10). Plusieurs linéaments sont présents à proximité (de directions N50 à N60°E, N90°E, N150 à N160°E), principalement le long des axes des vallons. La direction des écoulements souterrains au droit du site est probablement sud et est, vers le Katzenbach.

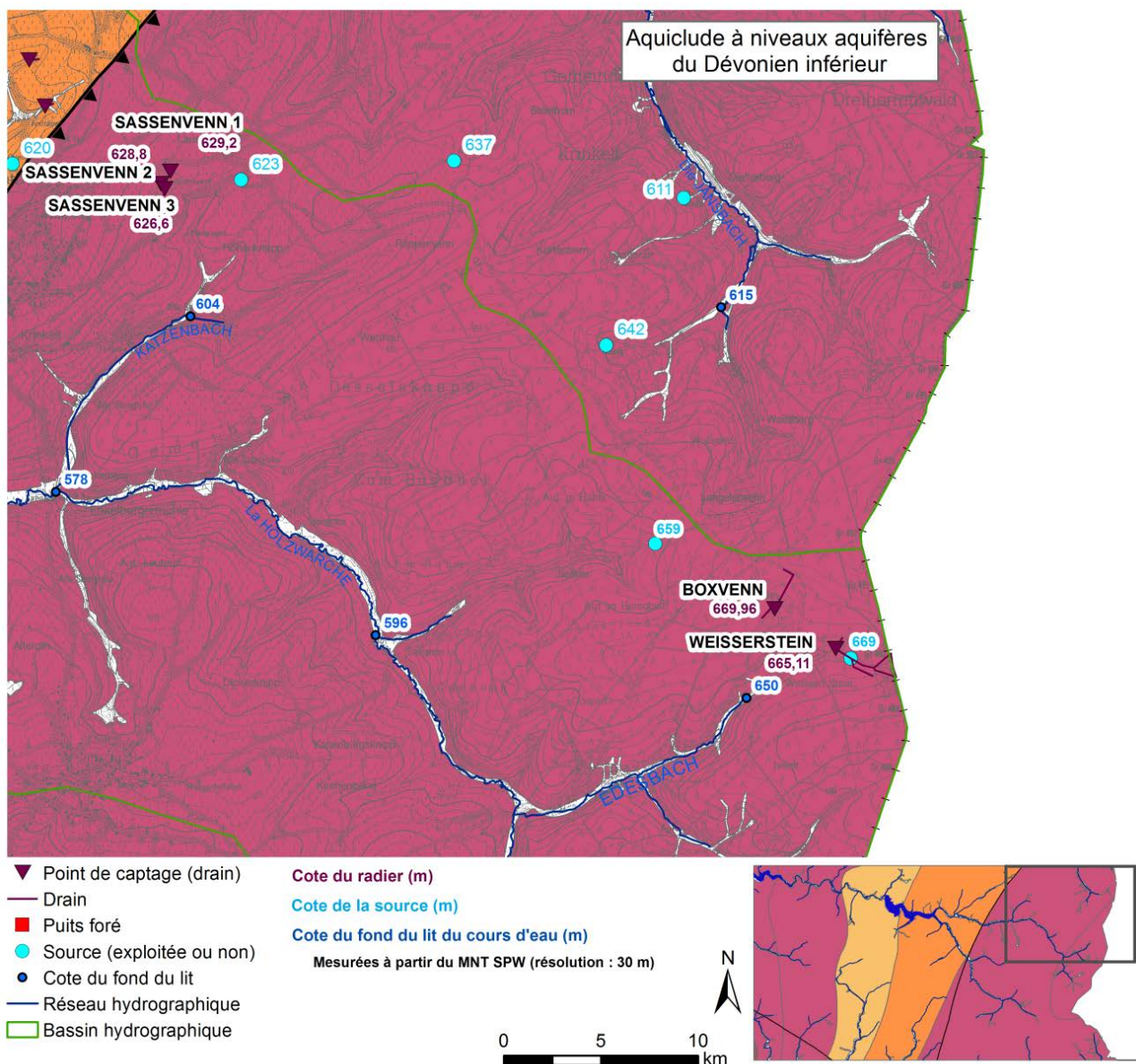


Figure IV.10 : Localisation des ouvrages drainants des sites de Sassenvenn, Weisserstein et Boxvenn

Il a été montré que les ouvrages de prises d'eau destinés à la distribution publique de l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur sont majoritairement des drains. Ceci atteste de l'importance relative de la nappe logée dans les parties altérées du bed-rock. De plus, la multiplication des sites de captage dans cette région est une preuve que le débit obtenu n'est pas constant dans le temps et/ou faible.

Des bilans hydrogéologiques annuels simplifiés déterminés par rapport aux bassins versants définis d'après la carte topographique (Figure IV.11) ont été réalisés par le bureau d'étude SGS pour chaque ouvrage drainant présenté ci-dessus (Tableau IV.5). La pluviométrie moyenne annuelle a été définie à 1500 mm et des coefficients de répartition suivants pour l'eau utile ont été choisis par le bureau d'étude :

- 55% de ruissellement non captés par les prises d'eau,
- 27% d'infiltration aux écoulements hypodermiques potentiellement captés par les prises d'eau,
- 18% d'infiltration efficace vers la nappe profonde également potentiellement captés par les prises d'eau.

L'équation du bilan hydrogéologique utilisée pour les drains est donc la suivante :

$$P = ETR + R + I_h + I_p$$

avec P les précipitations, ETR l'évapotranspiration, R le ruissellement, I_h l'infiltration hypodermique et I_p l'infiltration vers la nappe profonde.

L'eau utile E_u est définie par l'équation :

$$E_u = R + I_h + I_p$$

et l'erreur de fermeture ε est calculée à partir des volumes d'infiltration potentiellement captés par les prises d'eau (I_h et I_p) et le volume effectivement capté par les drains V_d :

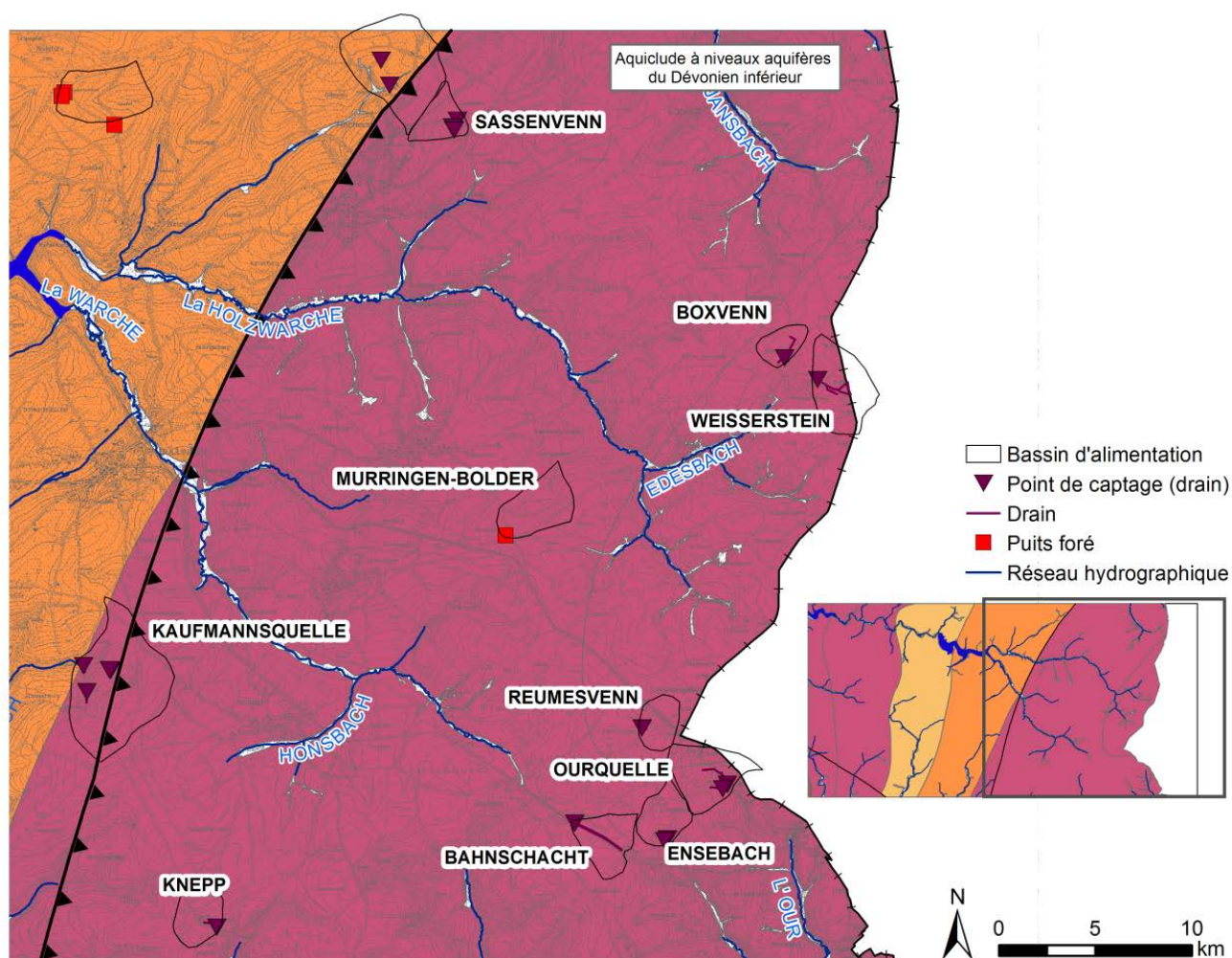
$$\varepsilon = I_h + I_p - V_d$$

Tableau IV.5.a : Bilans hydrogéologiques réalisés sur les drains de l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur (SGS 2005, 2007 et 2013)

	Weisserstein	Boxvenn	Ourquelle D1 à 3	Ensebach	Reumesvenn D1-D2-D3	Bahnschacht
Superficie bassin d'alimentation (ha)	47	16	43	29	23	33
Pluviométrie (mm)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Evapotranspiration (mm)	525	525	525	525	525	525
Eau utile (mm)	975	975	975	975	975	975
Ruissellement (mm)	536	536	536	536	536	536
Infiltration hypodermique (mm)	263	263	263	263	263	263
Infiltration profonde (mm)	176	176	175	175	175	97
Volume annuel moyen drain (mm)	-195	-487	-171	-182	-562	-437
Bilan (mm)	244	-48	268	257	-124	-77
	(+16 %)	(-3 %)	(+18 %)	(+17 %)	(-8 %)	(-5 %)

Tableau IV.6.b : Bilans hydrogéologiques réalisés sur les drains de l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur (suite)

	Sassenvenn 1	Sassenvenn 2 et 3	Knepp	Kaufmanns-quelle D1-D2	Göttchert
Superficie bassin d'alimentation (ha)	9	16	23	45	38
Pluviométrie (mm)	1500	1500	1500	1500	1500
Evapotranspiration (mm)	525	525	525	525	525
Eau utile (mm)	975	975	975	975	975
Ruissellement (mm)	536	536	536	536	536
Infiltration hypodermique (mm)	263	300	263	263	263
Infiltration profonde (mm)	176	176	175	175	175
Volume annuel moyen drain (mm)	-834	-358	-539	-418	-641
Bilan (mm)	-396	80	-100	20	-202
	(-26 %)	(+5 %)	(-7 %)	(+1 %)	(-13 %)



Pour la grande majorité des ouvrages, l'erreur de fermeture est faible. En effet, lorsque le bilan est compris entre -15 % et +15 %, on peut considérer qu'ils ferment correctement. L'erreur de fermeture est d'autant plus "acceptable" que (1) les précipitations fixées proviennent d'une moyenne régionale, (2) la répartition de l'eau utile en ruissellement, infiltration hypodermique et profonde est arbitraire et (3) la délimitation du bassin d'alimentation est approximative.

Le bilan réalisé pour les prises d'eau de Boxvenn, Reumesvenn D1-D2-D3, Bahnschacht, Knepp et Göttchert est légèrement déficitaire (-3, -8, -5, -7, et -13 % respectivement). Pour Sassenvenn 2 et 3 ainsi que Kaufmannsquelle D1-D2, les bilans réalisés sont excédentaires de respectivement 5 et 1 % du volume pluviométrique dans le bassin. Il n'est pas certain que ces erreurs de fermeture soient réellement significatives puisque des valeurs d'erreur de calculs de 10-15 % sont généralement acceptables.

Le calcul du bilan est largement excédentaire pour les ouvrages de Weisserstein (+16 % du volume pluviométrique dans le bassin), Ourquelle D1 à 3 (+18 %) et Ensebach (+17 %), situés à l'extrême est. Cet excédent pourrait être dû au fait qu'une partie des eaux souterraines transitant dans le bassin d'alimentation de la prise d'eau s'évacuent via d'autres exutoires, en l'occurrence probablement l'Edesbach (pour Weisserstein), l'Our (pour Ourquelle D1 à 3) et l'Ensebach (pour Ensebach).

Pour la prise d'eau de Sassenvenn 1, le bilan réalisé est largement déficitaire (-26 %). Ce déficit correspond probablement à une sous-estimation de la superficie du bassin d'alimentation des prises d'eau notamment de par son alimentation partielle par la nappe profonde du bed-rock et son implantation au droit ou à proximité de linéaments importants.

Un suivi régulier des débits récoltés par les ouvrages drainants de la commune de Büllingen a été effectué durant plusieurs périodes des années 2004 et 2005 (Figures IV.12 et IV.13). Il est à noter que le trop-plein présent dans la chambre de rassemblement de certains captages n'a pu être évalué. L'estimation des débits est donc à considérer avec précaution lors des épisodes pluvieux importants. Pour la prise d'eau d'Ensebach, en raison de l'activation rapide du trop plein dont la mesure est difficile, l'amplitude maximale des variations de débits sur le site est difficile à appréhender.

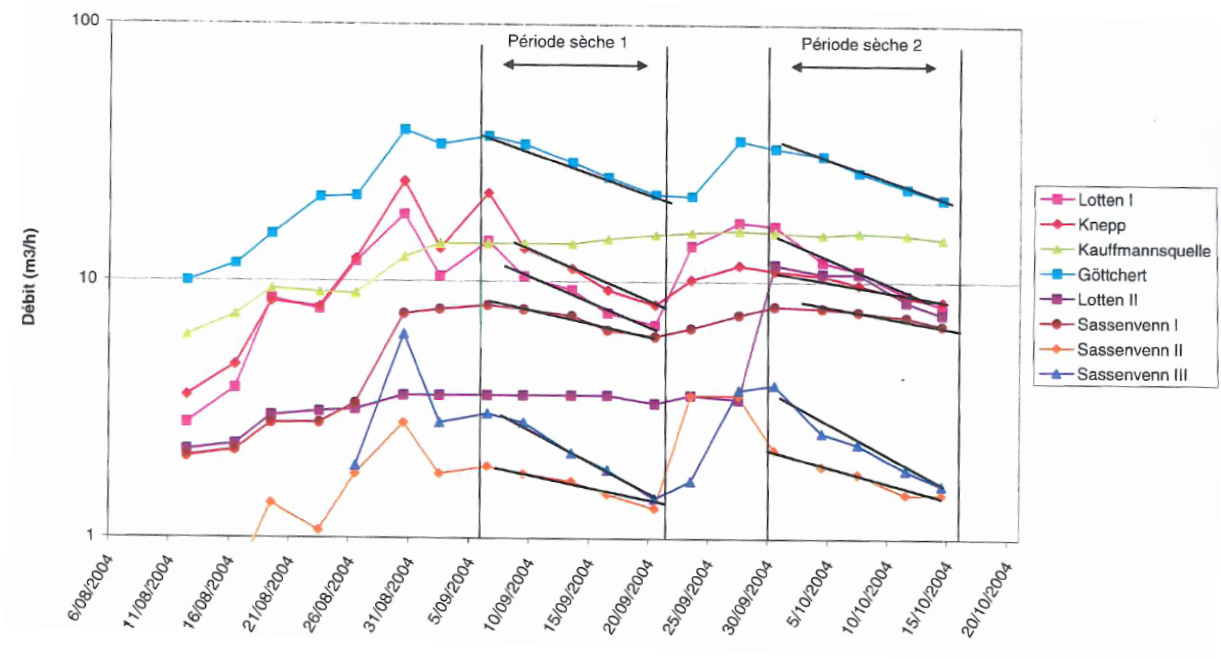


Figure IV.12 : Evolution des débits totaux des prises drainantes et périodes de détermination des coefficients de tarissement pour la période été-automne 2004 (SGS, 2013f)

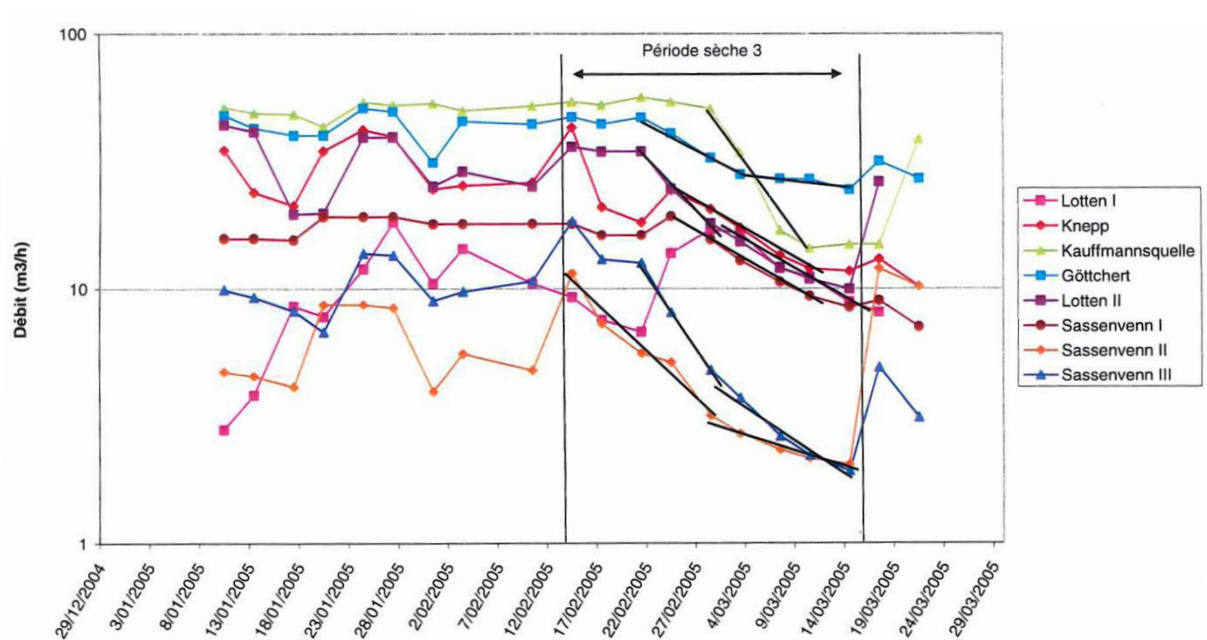


Figure IV.13 : Evolution des débits totaux des prises d'eau drainantes et périodes de détermination des coefficients de tarissement pour la période hiver 2005 (SGS, 2013f)

Pour toutes les prises d'eau, on constate que les débits totaux sont fortement influencés par le régime pluviométrique, principalement lors des périodes de la fin de l'automne, de l'hiver et du débit du printemps. L'amplitude des variations de débits des prises d'eau est présentée dans le tableau IV.6. Quatre groupes se distinguent :

- L'amplitude des variations de débits des prises d'eau d'Ourquelle D1 à D3 et Bahnschacht est peu élevée (ratio débit max/débit min faible) avec un délai de réaction très court

(24/48h). Cela pourrait être dû à la présence dans le bassin d'alimentation d'infiltrations rapides mais plus limitées dans le milieu souterrain lors des épisodes pluvieux.

- Celle de Weisserstein, Reumesvenn D1-D2-D3 et Göttchert est moyenne (ratio débit max/débit min modéré) avec cependant un délai de réaction très court (24/48h).
- L'amplitude des variations de débits des prises d'eau de Boxvenn, Knepp D1-D2 et Kaufmannsquelle D1-D2 est élevée (ratio débit max/débit min important) avec un délai de réaction très court (24/48h).
- Enfin, les prises d'eau de Sassenvenn 1, 2 et 3 ont une amplitude des variations de débits importantes (ratio débit max/débit min élevé) et un délai de réaction plus long (3/4j). Cela pourrait témoigner de la présence dans le bassin d'alimentation de ces prises d'eau d'infiltrations rapides et importantes vers les eaux souterraines lors des épisodes pluvieux, rendant ces prises d'eau sensibles.

Tableau IV.7 : Amplitude des variations des débits des prises d'eau étudiées (SGS 2005, 2007 et 2013)

Groupe	Ouvrage	Ratio débit max/débit min
(1)	Bahnschacht	3,3
	Ourquelle D1 à D3	2,1
(2)	Weisserstein	4
	Reumesvenn D1-D2-D3	4,2
	Göttchert	4,95
(3)	Boxvenn	9,7
	Knepp D1-D2	11,9
	Kaufmannsquelle D1-D2	9,11
(4)	Sassenvenn 1	9,14
	Sassenvenn 2	16,4
	Sassenvenn 3	13,14

A partir des courbes de débits, il a été possible de déterminer les coefficients de tarissement sur base de l'examen des graphiques semi-logarithmiques lors de périodes d'étiages. Dans le cas présent, trois périodes sèches (du 06/09/04 au 20/09/04, du 30/09/04 au 14/10/04 et du 14/02/05 au 14/03/05) ont été identifiées. Les coefficients sont présentés dans le tableau VI.7. Ceci permet notamment d'évaluer les réserves potentielles du bassin d'alimentation des prises d'eau. Les coefficients de tarissement A1 sont déterminés principalement en période hivernale et correspondent à la vidange d'aquifères plus superficiels (éventuellement nappes sub-superficielles dans le manteau d'altération). Les valeurs suivantes (A2 et A3) sont déterminées lors des périodes sèches plus importantes et correspondent à la vidange des aquifères plus profonds. Trois groupes se distinguent :

- Les prises d'eau de Weisserstein, Boxvenn, Ourquelle D1 à D3, Reumesvenn D1-D2-D3, Sassenvenn 3 et Kaufmannsquelle D1-D2 présentent des vidanges de fond assez rapides (coefficients de tarissement plutôt élevés).
- La prise d'eau de Knepp D1-D2 présente des vidanges de fond moyennes (coefficients de tarissement moyens) et a donc des réserves drainables moyennes.

- Enfin, les prises d'eau d'Ensebach, Bahnschacht, Sassenvenn 1, Sassenvenn 2 et Göttchert présentent des vidanges de fond plus lentes (coefficients de tarissement plutôt faibles). Les réserves drainables de ce groupe sont donc plus limitées.

Tableau IV.8 : Coefficients de tarissement des prises d'eau étudiées (SGS 2005, 2007 et 2013)

Groupe	Ouvrage	Période hivernale (A1)	Période sèche (A2)	Période sèche (A3)
(1)	Weisserstein	-	$2,45 \times 10^{-3}$	$1,55 \times 10^{-3}$
	Boxvenn	$4,45 \times 10^{-3}$	$2,58 \times 10^{-3}$	$1,77 \times 10^{-3}$
	Ourquelle D1 à D3	-	$2,25 \times 10^{-3}$	-
	Reumesvenn D1-D2-D3	-	$2,52 \times 10^{-3}$	$9,74 \times 10^{-4}$
	Sassenvenn 3	$5,77 \times 10^{-3}$	$2,60 \times 10^{-3}$	-
	Kaufmannsquelle D1-D2	-	$3,64 \times 10^{-3}$	-
(2)	Knepp D1-D2	-	$2,20 \times 10^{-3}$	$8,29 \times 10^{-4}$
(3)	Bahnschacht	-	$1,64 \times 10^{-3}$	$5,62 \times 10^{-4}$
	Sassenvenn 1	$2,14 \times 10^{-3}$	$7,41 \times 10^{-4}$	-
	Sassenvenn 2	$3,83 \times 10^{-3}$	$1,34 \times 10^{-3}$	-
	Göttchert	-	$1,68 \times 10^{-3}$	$5,23 \times 10^{-4}$
	Ensebach	-	$1,78 \times 10^{-3}$	-

IV.2.2.2 Aquiclude à niveaux aquifères de Villé

Les captages de Berg (Berg I.1, I.2 et II) sont situés à environ 600 m au nord-est du village de Berg. Les sites de Berg I.1 et I.2 sont constitués de 2 drains chacun d'une longueur comprise entre 7 et 15 m et d'une profondeur de 2,8 m tandis que le site de Berg II est constitué d'un puits traditionnel de 3 m de profondeur (Figure IV.13). Des linéaments principalement orientés N30 à N50°E, N120 à N130°E sont présents à proximité du site, notamment celui orienté N40°E. Un axe transversal important pourrait également être présent au sud des prises d'eau. Les écoulements souterrains au droit du site se font en direction du Krunigsbacht, correspondant à un exutoire naturel de la nappe (SGS, 2005e).

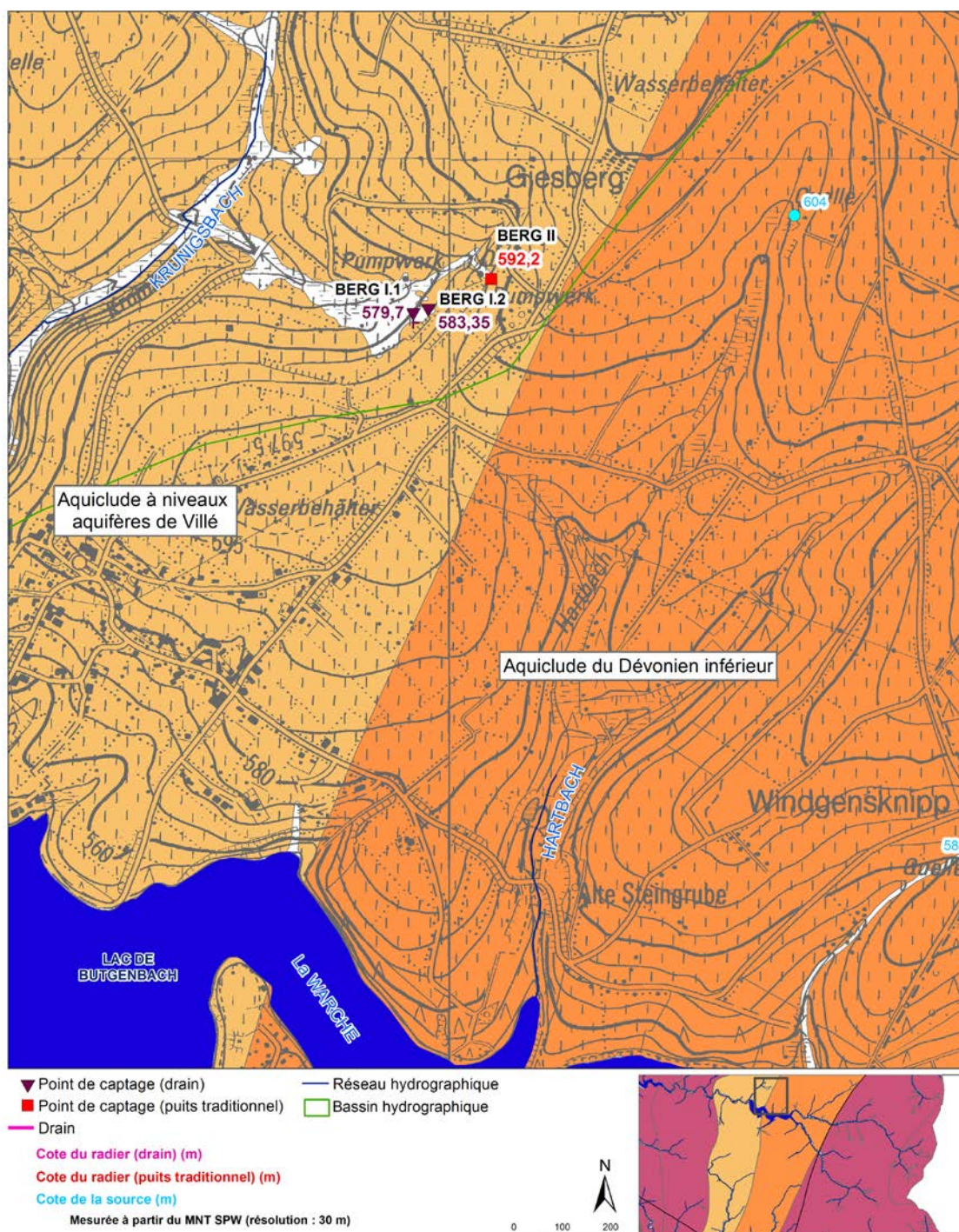


Figure IV.14 : Localisation des ouvrages du site de Berg

Un bilan hydrogéologique simplifié (Tableau IV.8) a été réalisé de manière similaire à la méthode présentée à la section IV.2.2.1.

Tableau IV.9 : Bilan hydrogéologique réalisé sur le site de Berg (aquiclude à niveaux aquifères de Villé) (SGS, 2005e)

Berg I et II			
Superficie bassin d'alimentation (ha)	28	Infiltration hypodermique (mm)	261
Pluviométrie (mm)	1500	Infiltration profonde (mm)	176
Evapotranspiration (mm)	525	Volume annuel moyen drain (mm)	-332
Eau utile (mm)	975		-250
Ruissellement (mm)	536	Bilan (mm)	-143
Infiltration hypodermique (mm)	261		(-9,5 %)

Le bilan réalisé est légèrement déficitaire. Même si ce déficit n'est pas forcément significatif, il peut en partie correspondre à une sous-estimation de la superficie du bassin d'alimentation de la prise d'eau, une mauvaise estimation des précipitations ou une mauvaise répartition de l'eau utile en infiltration et ruissellement.

Le suivi des débits a été effectué durant plusieurs périodes des années 2002 et 2003. L'amplitude des variations de débits de Berg I (débit max/débit min) est élevée (17,41) avec un délai de réaction très court (24/48h). L'amplitude des variations de débits du puits traditionnel de Berg II est moins sensible au régime pluviométrique car plus faible (3,89) montrant que ce puits pourrait s'alimenter via des eaux souterraines plus profondes. Les débits ont été mesurés au niveau des compteurs installés sur chacune des prises d'eau à l'entrée de la station de pompage.

Les coefficients de tarissement ont été déterminés lors de périodes d'étiages (deux périodes sèches du 20/11/02 au 10/12/02 et du 03/01/03 au 22/01/03). Les coefficients de tarissement déterminés en période hivernale (A1) et en période sèche (A2) sont de $3,7 \times 10^{-3}$ et $8,1 \times 10^{-4}$ respectivement. Ce site présente donc des vidanges de fond assez rapides (coefficients de tarissement plutôt élevés)

Le captage de Hütte (SGS, 2005a), puits foré d'une profondeur de 186 m, est situé à environ 1 km au sud-ouest de Bütgenbach, en tête de vallon (Figure IV.14). Les crépines sont situées entre 120 et 184 m. Plusieurs linéaments sont présents à proximité du site (de direction N40 à N50°E, N70°E, N160°E). Des mesures piézométriques ont été effectuées sur le puits Hütte ainsi que sur deux anciens ouvrages répertoriés sur la même parcelle : Pumpstation et Alter et un piézomètre située au nord, Rötgen (Tableau IV.9). Au vu de la profondeur de ces puits et de la cote piézométrique proche de la surface topographique (entre 1,40 et 2,8 m), on peut supposer que l'horizon aquifère exploité en profondeur est captif. Des essais de pompage ont permis de calculer des conductivités hydrauliques moyennes au droit du puits de l'ordre de $1,4 \times 10^{-7}$ m/s (voir chapitre VII).

A proximité immédiate de l'ouvrage précédent, se trouve la prise d'eau de Wasserturm (SGS, 2005b) (figure IV.14). Elle est constituée d'un puits d'une profondeur de 56 m. La prise d'eau semble implantée à proximité d'un linéament important orienté N70°E. Des profondeurs du niveau d'eau comprises entre 3,3 et 4,4 m ont été mesurées au droit du puits (tableau IV.9). Des essais de pompage ont été réalisés et les conductivités hydrauliques calculées au droit du puits sont assez importantes par rapport au contexte hydrogéologique de la région, de l'ordre de $1,3 \times 10^{-5}$ m/s (chapitre VII).

Le puits foré Bütgenbach P2 (SGS, 2005c), d'une profondeur de 90 m, est situé à 1,5 km au sud-ouest de la localité de Bütgenbach (Figure IV.14). Ce puits est crépiné de 22 à 46 m, de 50 à 62 m et de 66 à 82 m. L'examen stéréoscopique indique la présence à proximité du site de plusieurs linéaments orientés N0°E, N60 à N70°E (le plus proche du site de Bütgenbach P2), N150 à N160°E. Le niveau piézométrique mesuré se situe à 4,5 m de la surface du sol (soit à la cote piézométrique de 555,7 m d'altitude) (Tableau IV.9). En l'absence de régime de pompage, les écoulements se font probablement au droit du site vers le sud ou le sud-ouest en direction de l'affluent du Möderscheiderbach. Des essais de pompage ont été réalisés et ont permis de calculer des conductivités hydrauliques moyennes au droit du puits de l'ordre de 7×10^{-6} m/s (chapitre VII).

A partir des données piézométriques récoltées en 2003 aux puits Hütte, Alter Puits, Pumpstation, Rötgen et Wasserturm, une esquisse de carte piézométrique de la nappe à proximité de ces ouvrages a été dressée (SGS, 2005a). Elle est reprise à la figure IV.14. La nappe s'écoule naturellement de l'est-sud-est vers l'ouest-nord-ouest à l'est du ruisseau Königsbach. A l'ouest de celui-ci l'écoulement prend une direction sud-ouest – nord-est. L'allure du tracé des isopièzes reflète le caractère drainant du ruisseau. Pour cette unité hydrogéologique, toutes les profondeurs du niveau d'eau mesurées sont relativement proches de la surface du sol pour des profondeurs de puits assez importantes.

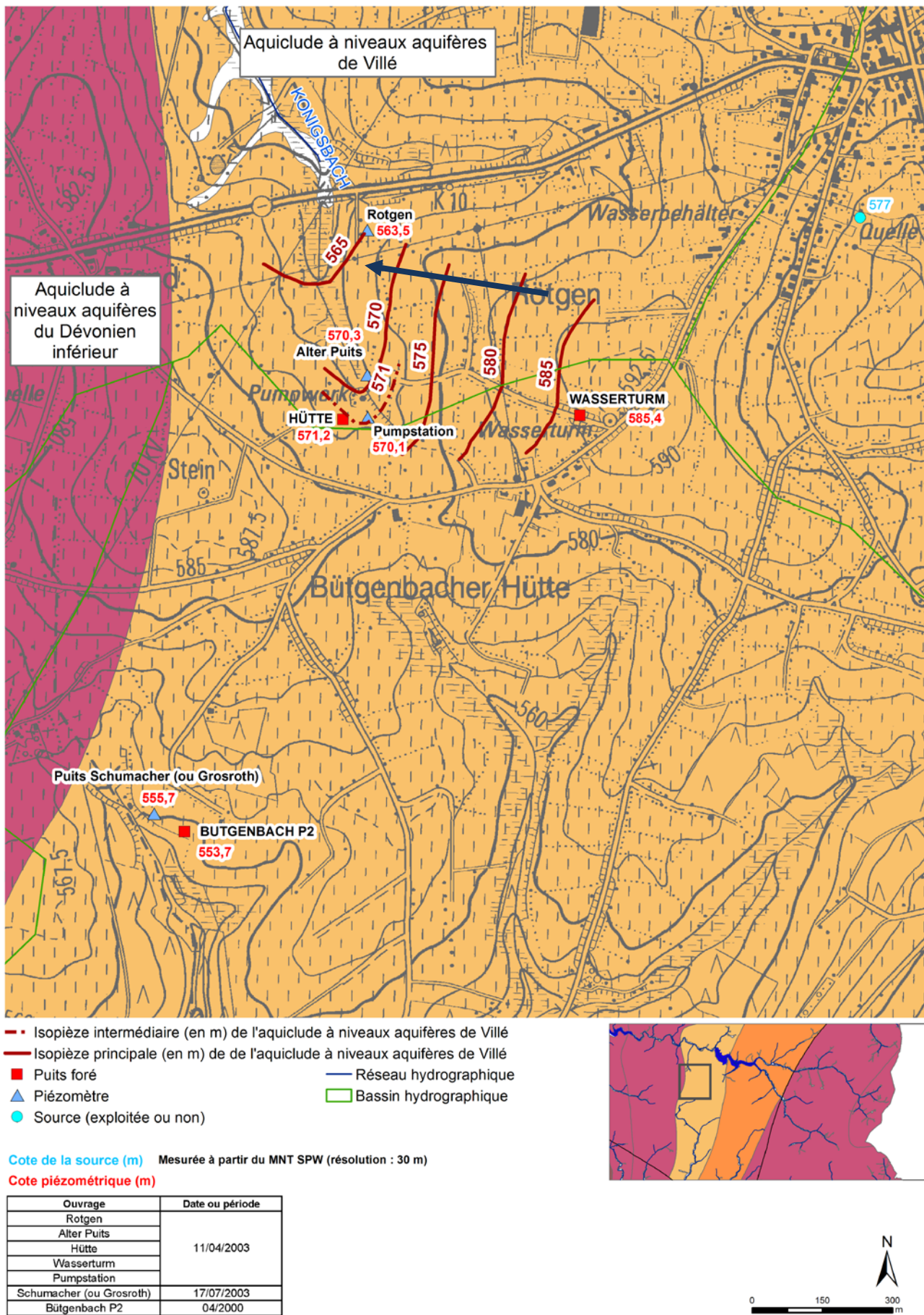


Figure IV.15 : Localisation des ouvrages de Hütte, Wasserturm et Bütingenbach P2 et isopièzes (d'après SGS, 2005a)

Tableau IV.10 : Mesures piézométriques au droit des ouvrages de Hütte, Wasserturm, Bütgenbach P2 et quatre piézomètres

Nom de l'ouvrage	Profondeur de l'ouvrage (m)	Date	Profondeur du niveau d'eau (m)	Niveau piézométrique (m)
Hütte	186	11/1993	1,80	571,4
		21/11/2002	1,43	571,8
		18/03/2003	1,76	571,4
		11/04/2003	2,05	571,2
Alter Puits (Hütte)	40	18/03/2003	2,25	570,9
		11/04/2003	2,78	570,3
Pumpstation (Hütte)	?	18/03/2003	1,83	570,6
		11/04/2003	2,32	570,1
Rötgen (Hütte)	?	18/03/2003	1,53	563,5
		11/04/2003	1,29	563,7
Wasserturm	56	18/03/2003	3,28	586,5
		11/04/2003	4,37	585,4
Bütgenbach P2	90	07/2000	4,50	553,7
			14,60 (non stabilisé)	543,6
Puits Schumacher (ou Grosroth) (Bütgenbach P2)	68	17/07/2003	3,06	555,7

Des bilans hydrogéologiques simplifiés ont été réalisés sur les sites de prises d'eau de Hütte, Wasserturm et Bütgenbach P2 sur base du bassin d'alimentation de chaque prise d'eau (Figure IV.15), en tenant compte d'une pluviométrie moyenne annuelle et de coefficients de répartition pour l'eau utile précisés au chapitre IV.2.2.1 (Tableau IV.10).

Tableau IV.11 : Bilans hydrogéologiques réalisés sur les puits Hütte, Wasserturm et Bütgenbach P2 (SGS 2005a, 2005b, 2005c)

	Hütte	Wasserturm	Bütgenbach P2
Superficie bassin d'alimentation (ha)	29	18	65
Pluviométrie (mm)	1500	1500	1500
Evapotranspiration (mm)	525	525	525
Eau utile (mm)	975	975	975
Ruissellement et écoulement hypodermique (mm)	799,5	799,5	799,5
Infiltration efficace vers nappe profonde (mm)	175,5	175,5	175,5
Infiltration efficace vers nappe profonde disponible (mm)	175,5	175,5	175,5

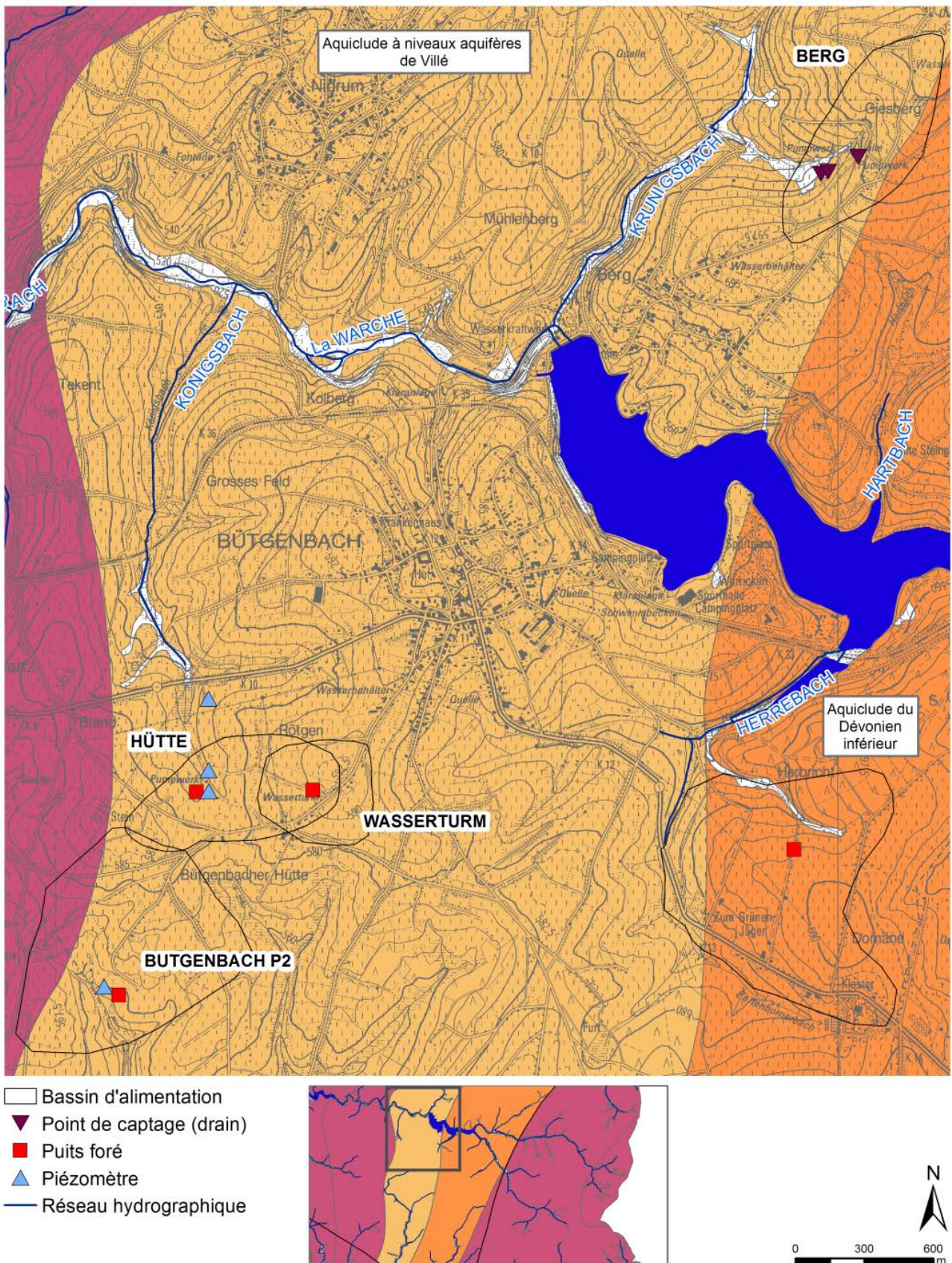


Figure IV.16 : Localisation des bassins d'alimentation (tels que calculés par SGS) des ouvrages de l'aquiclude à niveaux aquifères de Villé disposant de bilans hydrogéologiques

IV.2.2.3 Aquiclude du Dévonien inférieur

Le puits de Domäne (SGS, 2005d), d'une profondeur de 53 m, est situé au sud-est de Bütgenbach, à environ 400 m du hameau de Domäne (Figure IV.17). A proximité, plusieurs linéaments importants sont présents (orientés principalement N50 à N60°E) et la prise d'eau semble être implantée au droit d'un linéament orienté N70°E. La direction des écoulements souterrains au droit du site est nord ou nord-ouest, vers Herresbach. La profondeur du niveau d'eau mesurée en 2002 est de 10,5 m (Tableau IV.2). La conductivité hydraulique moyenne calculée grâce à des essais de pompage a été estimée à 2,8 à 8,1 × 10⁻⁵ m/s au droit du puits.

Le captage de Wirtzfeld-Rodderhöhe (SGS, 2013b) est situé à environ 1,5 km au nord-ouest du village de Wirtzfeld et en bordure sud du camp militaire d'Elsenborn (Figure IV.17). Le puits, d'une profondeur de 105 m, semble être implanté à proximité d'un linéament important orienté N90°E et d'autres linéaments de direction N30 à N40°E, N70°E, N90E et N150 à N170°E sont également présents. Quelques niveaux d'eau ont été mesurés dans le puits ainsi que dans des puits inutilisés à proximité du captage et pouvant être considérés comme des piézomètres de contrôle du site de prise d'eau (Tableau IV.14). Ils indiquent une profondeur relativement proche de la surface (3,5 – 4 m), sauf pour le piézomètre situé au sud-est, pour lequel une profondeur de 14 m est observée. En l'absence de pompage dans le puits, il est probable que les écoulements souterrains se fassent vers l'est ou le sud-est en direction de l'Hinterbach. Des essais de pompages ont été réalisés et montrent une conductivité hydraulique moyenne faible au droit du puits (2,4 × 10⁻⁷ m/s).

Des bilans hydrogéologiques simplifiés (Tableau IV.11) basés sur le bassin d'alimentation de la prise d'eau ont été réalisés sur ces deux prises d'eau (Figure IV.16). Le bilan hydrogéologique annuel a été réalisé en tenant compte d'une pluviométrie moyenne annuelle et de coefficients de répartition pour l'eau utile précisés au chapitre IV.2.2.1.

Tableau IV.12 : Bilans hydrogéologiques réalisés sur les puits Domäne et Wirtzfeld-Rodderhöhe (SGS 2005d et SGS 2013b)

	Domäne	Wirtzfeld-Rodderhöhe
Superficie bassin d'alimentation (ha)	42	27
Pluviométrie (mm)	1500	1500
Evapotranspiration (mm)	525	525
Eau utile (mm)	975	975
Ruissellement et écoulement hypodermique (mm)	799	800
Infiltration efficace vers nappe profonde (mm)	176	176
Infiltration efficace vers nappe profonde disponible (mm)	176	176

Les prises d'eau de Lotten-Auf Nutzknapp 1 et Lotten-Auf Nutzknapp 2 (SGS, 2013e) sont constituées chacune de deux sites distants de 300 m avec quatre ouvrages drainants chacun et implantés dans les vallons du Wirtzbach (Figure IV.17). Des linéaments orientés N50 à N60°E,

N90°E, N150 à N160°E sont présents à proximité, principalement le long des axes des vallons. On peut supposer que les écoulements souterrains au droit du site ont une direction globale vers le Wirtzbach. Les bilans hydrogéologiques réalisés (voir section IV.2.2.1) sont légèrement excédentaires mais il ne s'agit pas d'un excédent significatif (Tableau IV.12).

Tableau IV.13 : Bilans hydrogéologiques réalisés sur le site de Lotten-Auf Nutzeknapp (SGS 2013e)

	Lotten-Auf Nutzeknapp 1	Lotten-Auf Nutzeknapp 2
Superficie bassin d'alimentation (ha)	32	34
Pluviométrie (mm)	1500	1500
Evapotranspiration (mm)	525	525
Eau utile (mm)	975	975
Ruissellement (mm)	536	536
Infiltration hypodermique (mm)	263	263
Infiltration profonde (mm)	176	176
Volume annuel moyen drain (mm)	-328	-282
Bilan (mm)	111	157
	(+8 %)	(+10 %)

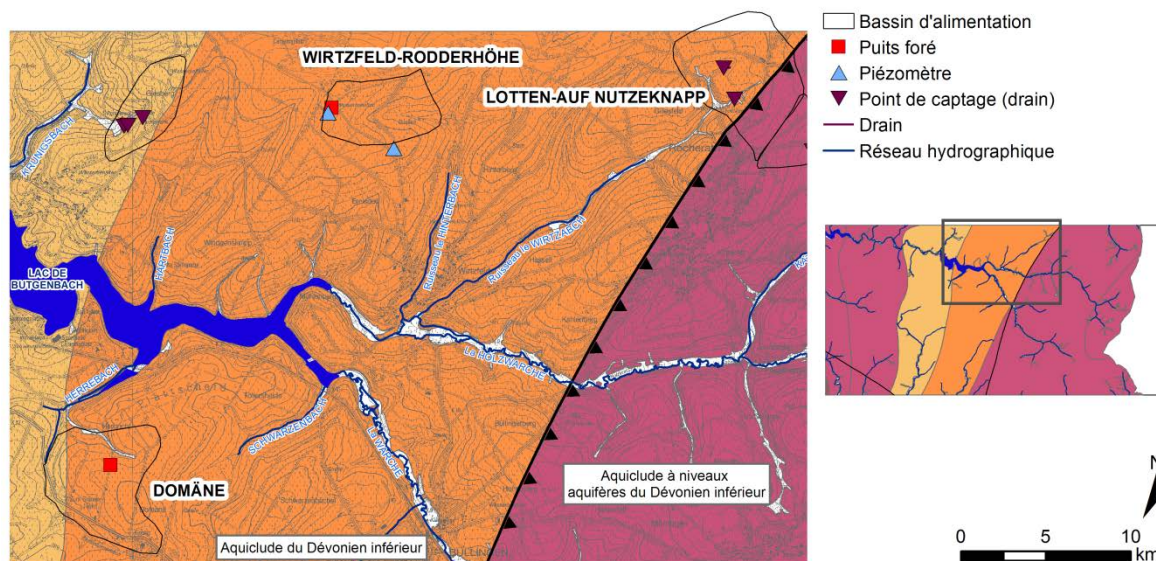


Figure IV.17 : Localisation des bassins d'alimentation (tels que calculés par SGS) des ouvrages de l'aquiclude du Dévonien inférieur disposant de bilans hydrogéologiques

Un suivi régulier des débits a été effectué durant plusieurs périodes des années 2004 et 2005 (Figures IV.12 et IV.13). L'amplitude des variations de débits (débit max/débit min) de ces prises d'eau est modérée à haute (9 et 20,04 pour Lotten-Auf Nutzeknapp 1 et Lotten-Auf Nutzeknapp 2 respectivement) avec un délai de réaction plus long (3-4 jours) par rapport à la pluviométrie. Cette prise d'eau est donc moins vulnérable, étant donné que les infiltrations dans le bassin d'alimentation sont plus limitées et plus lentes lors des épisodes pluvieux.

Les coefficients de tarissement (voir section IV.2.2.1) calculés sont de $1,83 \times 10^{-3}$ pour la période sèche A2 pour la prise d'eau Lotten-Auf Nutzeknapp 1 et de $3,87 \times 10^{-3}$ pour la période hivernale A1 et $3,87 \times 10^{-3}$ pour la période sèche A2 concernant l'ouvrage Lotten-Auf Nutzeknapp 2. Ces prises d'eau présentent donc des vidanges de fond assez lentes.

La figure IV.17 donne une localisation des puits Wirtzfeld-Rodderhöhe et Domäne ainsi que leurs piézomètres et celle des ouvrages drainants de Lotten-Auf Nutzeknapp. Les cotes des sources présentes à proximité sont précisées et permettent d'indiquer la direction probable des écoulements souterrains aux alentours. Les mesures piézométriques (Tableau IV.14) sont proches de la surface pour les ouvrages situés au nord (Wirtzfeld-Rodderhöhe et Ancien Puits), témoignant du caractère captif de la nappe à cet endroit, et plus en profondeur pour les deux autres ouvrages (Domäne et Wirtzfeld- In Siefertdelle).

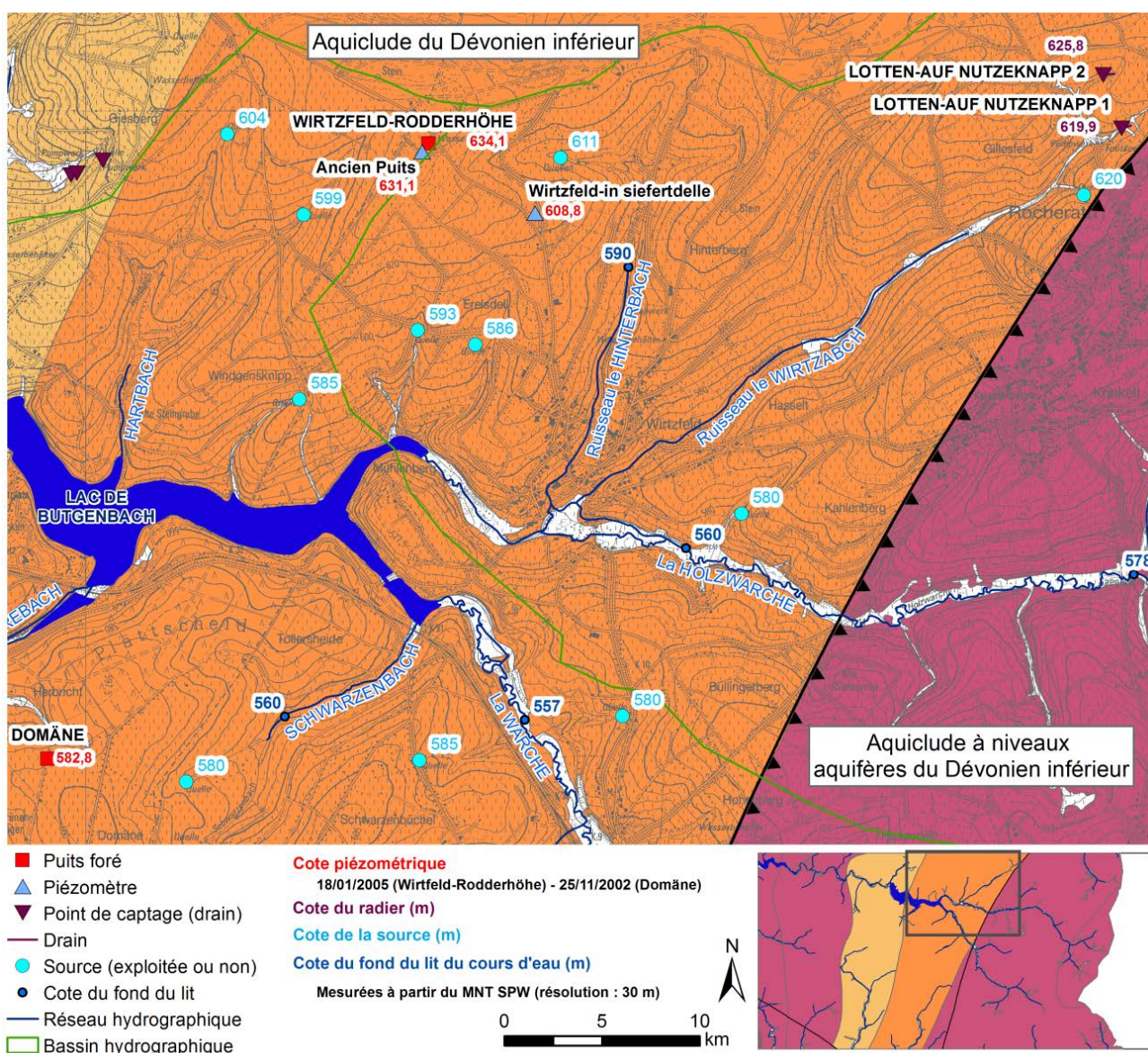


Figure IV.18 : Localisation des sites de captages Domäne, Wirtzfeld-Rodderhöhe et Lotten-Auf Nutzeknapp

Tableau IV.14 : Mesures piézométriques au droit des ouvrages de Domäne et Wirtzfeld-Rodderhöhe et deux piézomètres

Nom de l'ouvrage	Profondeur de l'ouvrage (m)	Date	Profondeur du niveau d'eau (m)	Niveau piézométrique (m)
Domäne	53	25/11/2002	10,46	582,8
Wirtzfeld-Rodderhöhe	105	05/2003	4,67	633,2
		10/01/2005	3,58	634,2
		18/01/2005	3,75	634,1
Ancien puits (Rodderhöhe)	?		4,90	631,1
Wirtzfeld- In Siefertdelle (Rodderhöhe)	?		14,20	608,8

IV.2.3 Coupe hydrogéologique

Une coupe hydrogéologique a été dressée au 1/25.000 sans exagération verticale. La coupe est orientée nord-ouest – est et elle recoupe la plupart des formations géologiques rencontrées sur la carte. Elle a été tracée d'après la carte géologique de Vandenven (1990). Le but de cette coupe est de donner au lecteur un aperçu de la géologie et de l'hydrogéologie de la région (coupe illustrative). Vandenven (1990) décrit une structure monoclinale d'environ 45° vers le sud-est pour les formations du Gedinien et Praguien. Les formations de l'Emsien qui chevauchent les autres formations par la faille des Trois-Vierges-Malsbenden, sont plissées. Les niveaux piézométriques disponibles sont reportés sur la coupe hydrogéologique. Ces quelques niveaux d'eau sont très proches de la surface topographique et les profondeurs des puits dont les niveaux piézométriques sont précisés vont de 40 à 186 m (nappe logée dans le manteau d'altération ou aquifère profond captif).

IV.2.4 Caractère 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 la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, toutes les nappes sont considérées comme des nappes libres. En effet, c'est 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.

IV.2.5 Piézométrie de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben

Les données piézométriques disponibles sont peu nombreuses pour les unités hydrogéologiques de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben. Elles concernent un nombre limité d'ouvrages. Des cotes ponctuelles, avec la date de prise de la mesure, sont reportées sur la carte

principale (1/25.000). A défaut d'une couverture piézométrique complète permettant de détailler le sens de l'écoulement souterrain, le niveau de la nappe ou encore le gradient piézométrique, seules quelques considérations générales peuvent être émises

L'étude de l'évolution piézométrique des nappes aquifères du Dévonien est délicate à cause de leur discontinuité. Un piézomètre ne peut refléter que l'évolution du niveau de la nappe dans lequel il est crépiné sans pouvoir extrapoler les observations aux autres aquifères.

Sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, le réseau hydrographique pérenne constitue, en général, l'exutoire des nappes aquifères par drainage, indiquant ainsi le sens global de l'écoulement des eaux souterraines. Il s'agit soit de ruisseaux peu importants, soit de cours d'eau plus étendus comme la Warche, l'Amblève ou l'Our. Dans la partie superficielle, la nappe exploitée par la majorité des ouvrages est libre, son alimentation se fait principalement par l'infiltration pluviale.

La surface piézométrique est souvent proche de la surface topographique. Ces niveaux d'eau peu profonds, entre environ 0,1 et 10 m par rapport à la surface topographique, indiquent une nappe subaffleurante. Des profondeurs d'eau plus importantes sont aussi observées, entre environ 10 et 20 m par rapport au sol. Ces niveaux d'eau caractérisent la nappe logée dans les terrains du bed-rock. Les horizons aquifères peuvent localement être semi-captifs à captifs.

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.

En Wallonie, 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.

Un inventaire des données hydrochimiques 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, WALSOLS, consultable sur <http://www.walsols.be/>. Sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, aucun site n'a été répertorié dans cette banque de données.

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 sur son territoire (http://environnement.wallonie.be/directive_eau). Au niveau des eaux souterraines, un réseau de surveillance de l'état quantitatif et qualitatif a été élaboré et finalisé en décembre 2006. Trois masses d'eau souterraines, appartenant au district hydrographique international de la Meuse et du Rhin, sont localisées sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben: RWM100, RWR101 et RWM102 (Figure V.1).

La quasi-totalité de la carte étudiée (88 %) est comprise dans la masse d'eau souterraine RWM100, **Grès et schistes du massif ardennais: Lesse, Ourthe, Amblève**. Sa superficie totale est de l'ordre de 3300 km². 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 nitrate et qui est jugée comme 'bonne'. En ce qui concerne l'état quantitatif, l'équilibre entre les prélèvements et la recharge en eau souterraine est également jugé comme 'bon' (D GARNE-DESO et Protectis-Cellule DCE, 2010).

Une partie de la masse d'eau souterraine RWR101, **Grès et schistes du massif ardennais : bassin de la Moselle**, se trouve au sud-est de la carte étudiée. La masse d'eau RWR101 s'étend sur une superficie de 668 km² et est constituée de dépôts du Dévonien inférieur en discordance sur les terrains calédoniens. L'état qualitatif de cette masse d'eau est jugé comme 'bon'. Le nitrate est le principal paramètre altérant la qualité de la masse d'eau souterraine, l'indice étant 'moyen'. Les prélèvements n'étant pas susceptibles d'engendrer un impact significatif sur les eaux souterraines et de surface, l'état quantitatif de la masse d'eau est actuellement jugé comme 'bon'.

Au nord-est de la carte étudiée se trouve la masse d'eau souterraine RWM102, **Grès et schistes du massif ardennais: bassin de la Roer**. D'une superficie totale de 110 km² (dont 10 km² sur

cette carte), elle est constituée de dépôts du Dévonien inférieur et du Cambro-ordovicien. Au vu de la faible pression des activités humaines, l'état qualitatif de cette masse d'eau est jugé comme 'bon'. Aucune étude de l'état quantitatif n'est réalisée (DGARNE-DESO et Protectis-Cellule DCE, 2010).

Sur le territoire de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, on compte un seul point du réseau de surveillance: Ourquelle D1-D2 (drain), 50/9/7/004.

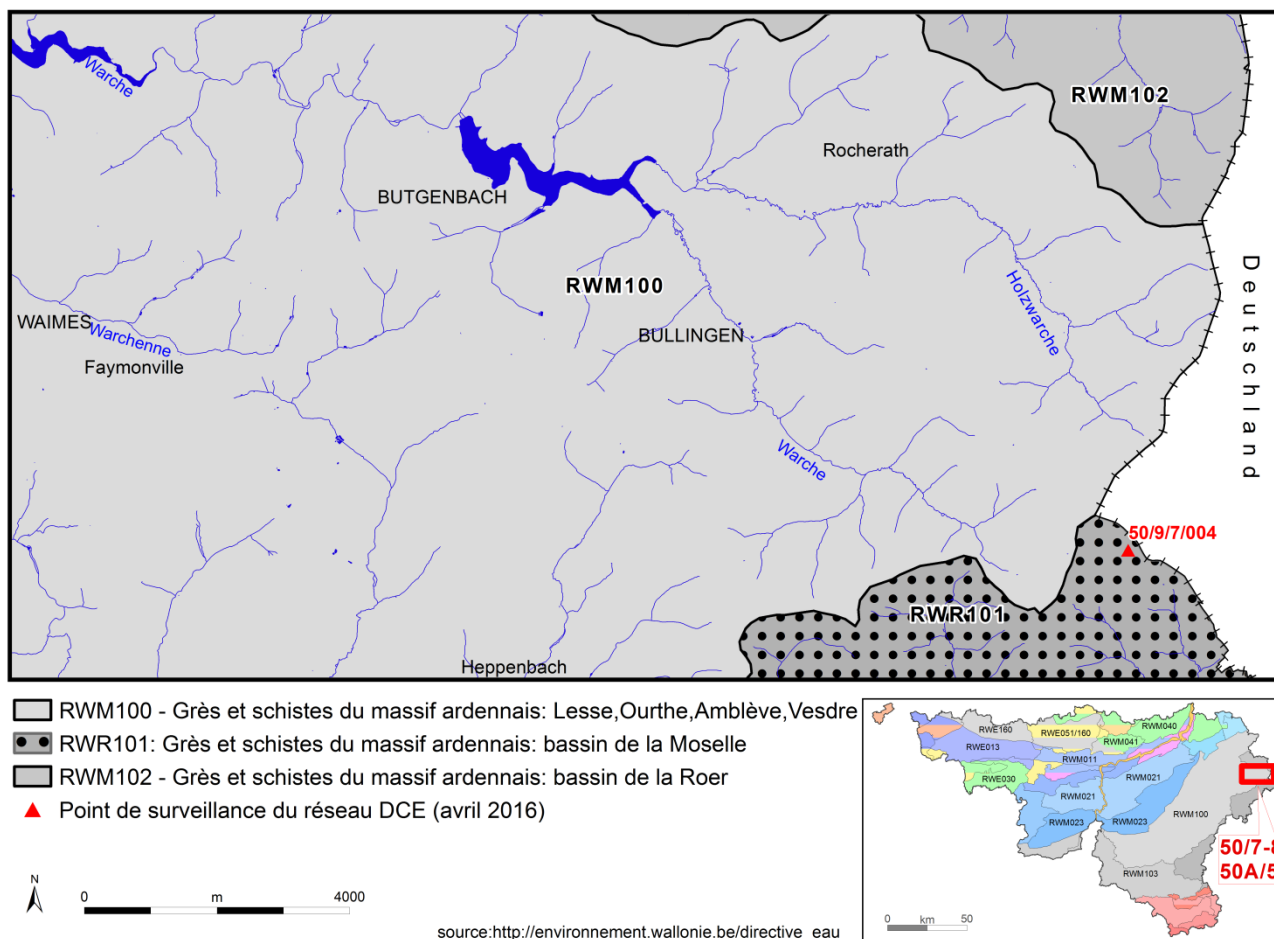


Figure V.1: Carte des masses d'eau souterraine – Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben

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 utilisée pour définir les types d'eau. Le diagramme de Piper est composé de deux diagrammes ternaires dans lesquels sont reportées 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 Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben permet d'obtenir les résultats de la figure V.2. Il s'agit d'un aperçu partiel de la composition chimique des eaux souterraines de cette région. Toutes les analyses chimiques n'étant pas complètes, seules celles comprenant tous les constituants du diagramme de Piper sont représentées. Les eaux de l'ensemble des unités hydrogéologiques présentes sur la carte sont reprises, avec une plus grande proportion pour les eaux de l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur d'avantage sollicité. Les eaux de l'ensemble des unités hydrogéologiques sont majoritairement chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes, signature des grès et des schistes (lithologie dominante de la région).

Généralement, pour les eaux drainées, les concentrations en fer et en manganèse sont limitées, puisque ces éléments ont déjà précipité au contact de l'air. Pour les eaux souterraines pompées provenant de puits profonds, au contraire, les concentrations en fer et manganèse sont plus élevées. Il est à noter que les modes de prélèvement de l'échantillon et d'analyse ont donc leur importance pour l'évaluation de ces deux éléments qui peuvent précipiter dès l'exposition aux conditions atmosphériques. Dans cette section, les concentrations présentées sont les concentrations totales et pas seulement à l'état dissous dans l'eau.

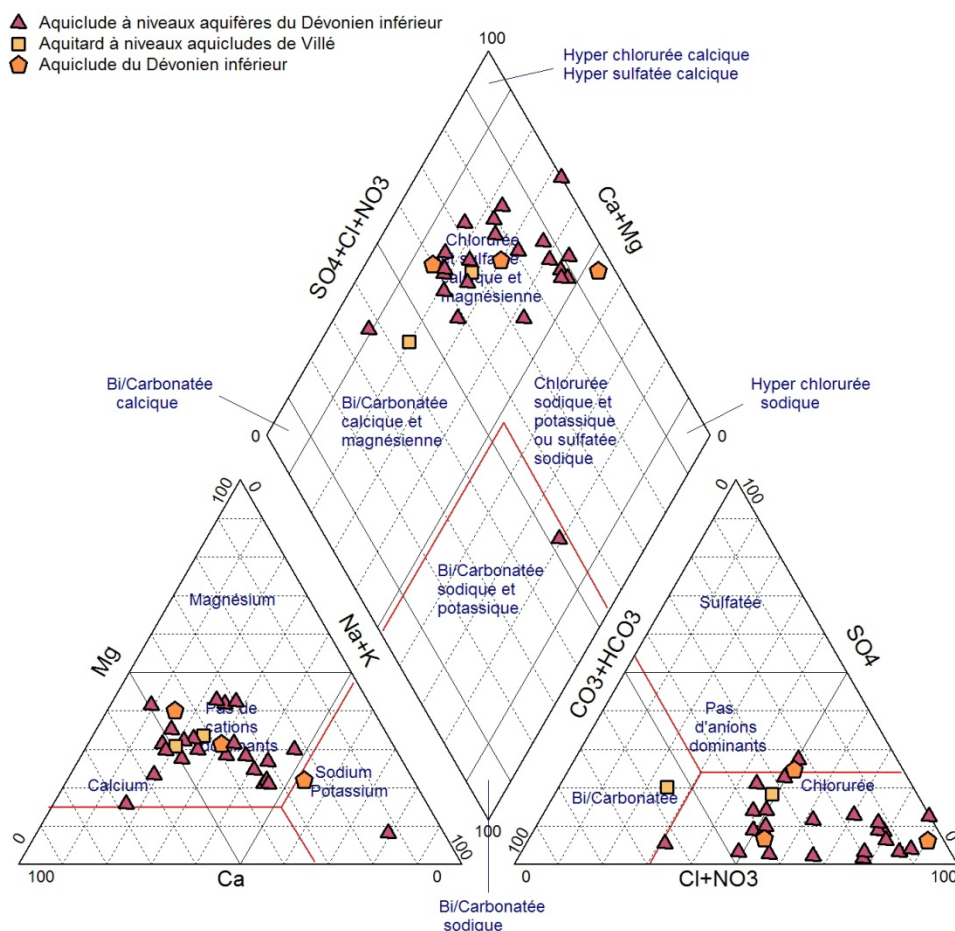


Figure V.2 : Diagramme de Piper des eaux souterraines de la carte 50/7-8 & 50A/5

Les nappes aquifères se trouvant dans le massif schisto-gréseux de l'Ardenne sont connues pour avoir des teneurs en fer et en manganèse élevées. Ces teneurs sont liées à la composition minéralogique des roches qu'elles traversent mais également au caractère réducteur/oxydant et au pH du milieu.

V.1.2 Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur

L'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur de la zone étudiée regroupe quatre assises géologiques à savoir l'Emsien inférieur et moyen, le Siegenien inférieur et le Gedinnien. Des analyses hydrochimiques de quelques captages sont présentées dans le tableau V.1.

D'une manière générale, il s'agit d'eau douce, acide (à neutre) et de faible minéralisation. Les pH sont faibles et souvent inférieurs à la norme minimale (6,5). Le pH basique observé pour les eaux de l'ouvrage Champagne 97 s'accompagne d'une conductivité et d'une dureté plus élevées. Pour le forage de la Crope, la concentration en fer dépasse la norme-guide de rigueur en Wallonie. Ces valeurs élevées en fer sont d'origine naturelle (lithologie de la roche-réservoir). Le puits Porcherie Cremer présente une valeur de potassium et manganèse plus élevée que les autres ouvrages et un dépassement de la norme en ammonium est observé pour l'ouvrage Champagne 97. Ces concentrations plus élevées peuvent être d'origine anthropique (élevage...). L'ammonium est un indicateur de source de contamination proche car la nitrification n'a pas encore eu lieu. Les eaux

des ouvrages Forage de Mon Antône et Champagne 97 ont des concentrations remarquablement plus élevées en sodium que les autres. Enfin, les concentrations plus élevées en produits azotés témoignent d'une pollution anthropique.

Tableau V.1: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien Inférieur

	Unité	Niveau-guide RW	Heppenbach Captage 15A à D	Forage de mon Antône	Forage de la Crope	Honsfeld 87B	Champagne 97	Puits Porcherie Cremer	Sassenvenn		Champagne DR
									10/10/2005	29/05/2011	
		Code de l'Eau	21/05/2013								
Conductivité à 25°C	µS/cm	2100	54,6	193,0	141,1	93,2	258,2	102,8	73	89	87
pH		6,5 à 9,5	<u>6,07</u>	<u>5,63</u>	<u>6,24</u>	<u>6,01</u>	7,17	<u>5,32</u>	<u>6</u>	<u>6,2</u>	<u>5,9</u>
Dureté totale	°F	67,5	1,8	4,1	4,0	3,3	5,8	2,6	-	4	2,9
Alcalinité totale (TAC)	°F	-	0,9	0,9	2,0	1,7	1,4	0,5	-	0,34	1,7
Calcium	mg/L	270*	3,10	7,13	10,38	7,86	14,12	5,78	-	6,15	6,9,
Fer total dissous	µg/L	200*	20	30	<u>1860</u>	20	17	20	14	9	<5
Potassium	mg/L	12	1,05	1,38	0,85	1,46	1,33	3,32	-	1,3	0,9
Magnésium	mg/L	50*	2,41	5,60	3,49	3,30	5,43	2,86	-	3,12	2,9
Manganèse	µg/L	50*	0,00	10	40	10	1	<u>120</u>	<8	8	1,2
Sodium	mg/L	150	2,17	16,02	5,06	3,26	21,70	5,14	2,72	309	3,6
Ammonium	mg/L	0,5*	0,13	0,08	0,26	0,15	<u>0,58</u>	0,22	<0,05	<0,05	<0,0125
Chlorures	mg/L	200	3,70	36,77	12,12	7,07	51,52	8,28	4,80	5,79	7,1
Fluorures	mg/L	0.1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,04	<0,01	<0,025
Nitrites	mg/L	0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,005	<0,02	<0,025
Nitrates	mg/L	50	7,73	19,07	31,09	16,46	17,53	25,64	15,20	15,7	16,4
Sulfates	mg/L	250*	5,22	2,47	1,32	1,04	6,41	4,34	4,20	4,84	4,7
Bicarbonates	mg/L	-	11,03	11,12	24,43	20,80	17,05	6,39	-	-	-
Gaz carbonique libre	mg/L	-	6,57	18,24	9,84	14,22	0,81	21,40	-	-	-
Silice	mg/L	-	4,34	1,46	4,53	10,28	5,76	9,47	-	5,53	6,2

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

V.1.3 Aquiclude à niveaux aquifères de Villé

L'unité hydrogéologique de Villé est représentée par l'assise géologique du Praguien moyen. Cette unité hydrogéologique a été distinguée des autres unités du Dévonien inférieur en raison de la présence de niveaux plus carbonatés (chapitre IV.1). Ce caractère lithologique doit dès lors se marquer dans les analyses hydrochimiques des eaux souterraines. A la lecture du tableau V.2, les concentrations en carbonates ne sont pas nécessairement plus élevées que celles des eaux de l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur. Par contre, les concentrations en bicarbonates et en calcium sont nettement plus élevées, pour les ouvrages Bohrbrunnen Heinen-Grün et Hütte notamment.

En général, les eaux issues de l'aquiclude à niveaux aquifères de Villé sont des eaux douces, faiblement minéralisées et généralement acides ou neutres. Les pH sont faibles et parfois inférieurs à la norme minimale (6,5). Certains échantillons présentent des valeurs en manganèse et ammonium supérieures à la norme. Les nitrates sont présents en faible quantité. On note des valeurs en nickel plus importantes pour l'ouvrage Wasserturm et des concentrations plus élevées en zinc pour cet ouvrage et celui de Hütte. Cependant, ces valeurs sont bien en-dessous des normes de potabilité.

Tableau V.2: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquiclude à niveaux aquifères de Villé

	Unité	Niveau-guide RW	Shoppen	Bohrbrunnen Heinen-Grün	Berg I et II	Bütgenbach P2	Hütte	Wasserturm
		Code de l'Eau	21/05/13		23/04/03	19/07/00 - 09/02/04	27/03/03 - 09/02/04	23/04/03
Conductivité à 25°C	µS/cm	2100	89,6	213,5	96	145	209	93
pH	Unité pH	6,5 à 9,5	6,64	7,29	<u>5,6</u>	<u>6,3</u>	7,27	<u>5,7</u>
Dureté totale	°f	67,5	2,8	8,3	3	6	-	-
Alcalinité totale (TAC)	°f	-	1,3	5,7	-	-	-	-
Calcium	mg/L	270*	6,15	20,55	4,9	16	26	5,1
Fer total dissous	µg/L	200*	50	30	<100	<100	<100	<100
Potassium	mg/L	12	0,73	1,38	1,40	1,00	1,10	1,90
Magnésium	mg/L	50*	3,00	7,75	3,80	4,80	8,30	3,70
Manganèse	µg/L	50*	10	<u>250</u>	<30	<u>72</u>	<u>168</u>	<u>124</u>
Sodium	mg/L	150	3,78	8,77	9,20	6,10	5,00	3,40
Ammonium	mg/L	0,5*	0,13	<u>0,56</u>	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Chlorures	mg/L	200	4,66	13,84	9,00	2,10	5,00	11,00
Fluorures	mg/L	0,1	<0,2	<0,2	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
Nitrites	mg/L	0,1	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Nitrates	mg/L	50	16,11	6,86	8,00	0,30	<1	16,00
Sulfates	mg/L	250*	7,00	19,70	4,00	4,80	20,00	6,00
Carbonates	mg/L	-	0	0,07	<2	-	<0,02	<0,02
Bicarbonates	mg/L	-	15,86	69,38	12,2	-	109	17,08
Gaz carbonique libre	mg/L	-	2,54	2,49	0,99	-	0,62	3,63
Silice	mg/L	-	5,66	17,35	14,2	15,8	15	7,9
Zinc	mg/l	5	-	-	<0,002	0,0839	0,253	0,530
Nickel	mg/l	0,02	-	-	0,006	0,0022	<0,005	0,0167

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

V.1.4 Aquiclude du Dévonien inférieur

Cinq analyses sont disponibles pour caractériser l'aquiclude du Dévonien inférieur (tableau V.3). Ces eaux présentent de faibles pH, tous inférieurs à la norme régionale. Un traitement visant à augmenter le pH est donc nécessaire. Les conductivités sont globalement plus élevées que les échantillons des deux autres unités hydrogéologiques. Un dépassement de la norme est observé pour le fer pour la presque totalité des échantillons présentés. De plus, le puits Wirtzfeld-Rodderhöhe présente un excès de fer et manganèse. Une concentration relativement élevée en chlorure est remarquée pour l'ouvrage Hepsheid. Une concentration en nitrate inférieure à la norme mais élevée pour l'Ardenne est remarquée pour les ouvrages Puits foré Basin et Hepsheid. Ces sites sont donc à surveiller.

Tableau V.3 : Caractéristiques hydrochimiques de l'aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien

	Unité	Niveau-guide RW	Puits foré Bastin	Hepsheid	Modersheid Captage 17A, Cl, CII	Domäne	Wirtzfeld- Rodderhöhe
		Code de l'Eau	21/05/13			05/12/02	10/10/2005
Conductivité à 25°C	µS/cm	2100	152,4	511,2	104,3	63	73
pH	Unité pH	6,5 à 9,5	<u>6,49</u>	<u>6,01</u>	<u>6,31</u>	<u>6,33</u>	<u>6</u>
Dureté totale	°f	67,5	5,9	9,0	3,1	5,72	-
Alcalinité totale (TAC)	°f	-	2,8	0,8	1,1	-	-
Calcium	mg/L	270*	12,46	19,09	6,78	3	-
Fer total dissous	µg/L	200*	70	40	50	-	119
Potassium	mg/L	12	1,20	1,33	0,81	0,98	-
Magnésium	mg/L	50*	6,77	10,33	3,34	2,10	-
Manganèse	µg/L	50*	10	40	20	<30	<u>67</u>
Sodium	mg/L	150	4,18	46,89	5,60	4,50	3,07
Ammonium	mg/L	0,5*	0,22	0,66	0,28	<0,02	<0,05
Chlorures	mg/L	200	10,03	124,51	10,69	4,00	6,00
Fluorures	mg/L	0,1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,1	0,05
Nitrites	mg/L	0,1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,005
Nitrates	mg/L	50	28,18	20,69	9,83	10,00	13,40
Sulfates	mg/L	250*	4,48	12,52	10,71	5,00	1,50
Carbonates	mg/L	-	0,01	0	0	-	-
Bicarbonates	mg/L	-	34,17	9,82	13,45	-	-
Gaz carbonique libre	mg/L	-	7,74	6,71	4,61	-	-
Silice	mg/L	-	9,21	12,73	12,47	-	-
Zinc	mg/l	5	-	-	-	<0,002	*
Nickel	mg/l	0,02	-	-	-	<0,005	<0,008

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

V.2 PROBLEMATIQUES DES NITRATES

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

A ce jour, la région de Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben n'est concernée par aucune zone vulnérable aux nitrates.

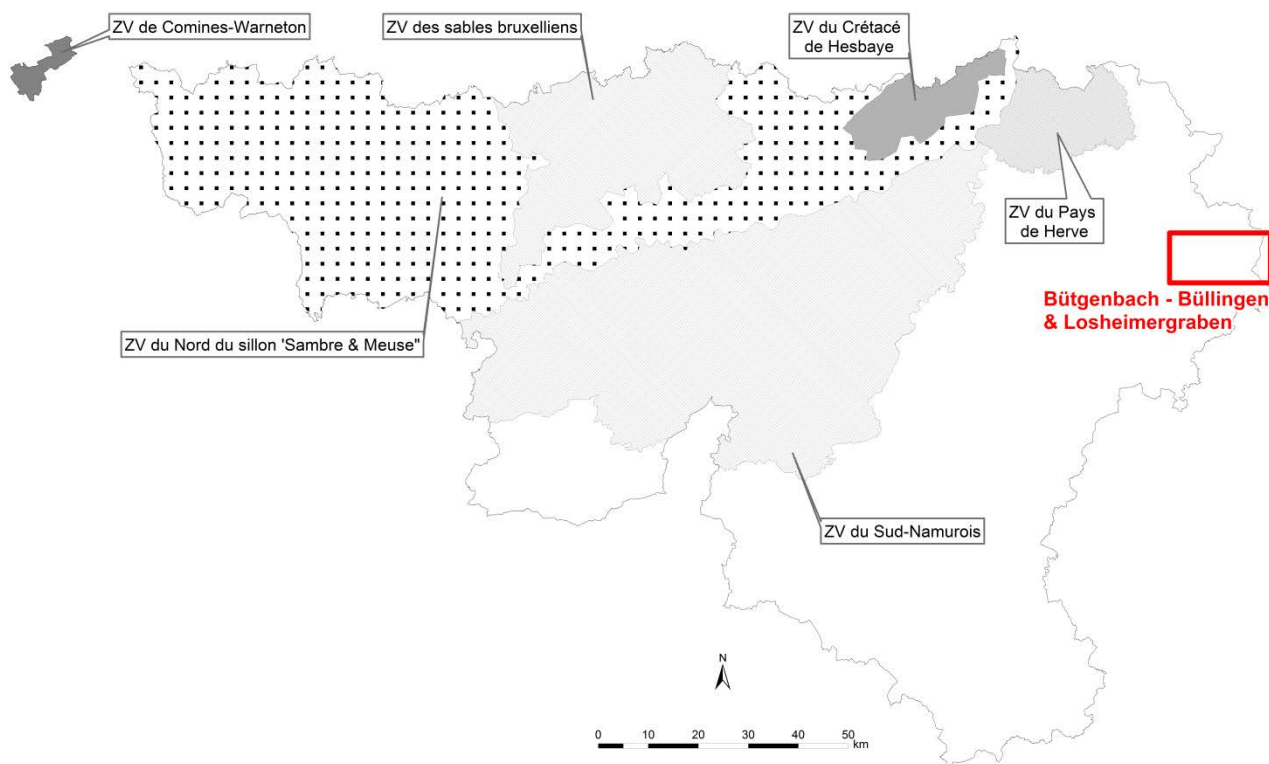


Figure V.3: Zones vulnérables aux nitrates - Région wallonne

Dans le cadre du réseau de surveillance 'Survey Nitrates', une vingtaine de points de prélèvements, utilisés actuellement ou non, sont comptabilisés sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben. Sur l'ensemble des analyses « Nitrates » disponibles pour cette zone, la teneur en nitrate d'aucun prélèvement ne dépasse la norme de potabilité (soit 50 mg/l) et les valeurs maximales sont de l'ordre de 32 mg/l (excepté une analyse d'une valeur de 46,5 mg/l à Heppenbach).

Six ouvrages ont été retenus pour l'analyse (Figure V.4). Les ouvrages choisis pour l'analyse des résultats ont été sélectionnés de façon à disposer de longues séries temporelles de prélèvements dont certains effectués ces dernières années, à avoir des ouvrages répartis sur l'ensemble de la

carte et donc sollicitant des unités hydrogéologiques différentes, à recouper des occupations de sol différentes et à avoir des types d'ouvrages différents.

L'ouvrage Waimes-Champagne D1 (drain) est localisé en bordure d'un espace forestier de faible extension et entouré de zones agricoles. Il en va de même pour les prises d'eau Hütte. L'ouvrage Moderscheid captage 17A est situé dans un espace forestier. Les drains de Lotten-Auf Nutzknapp sont situés en zone agricole. Le drain Weisserstein est situé en zone forestière. Le drain Bahnschacht est situé en bordure de voirie, en zone forestière. Ces ouvrages sont implantés dans les terrains de l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur (Waimes-Champagne D1, Weisserstein et Bahnschacht), de l'aquiclude à niveaux aquifères de Villé (Hütte) et de l'aquiclude du Dévonien inférieur (Moderscheid et Lotten-Auf Nutzknapp).

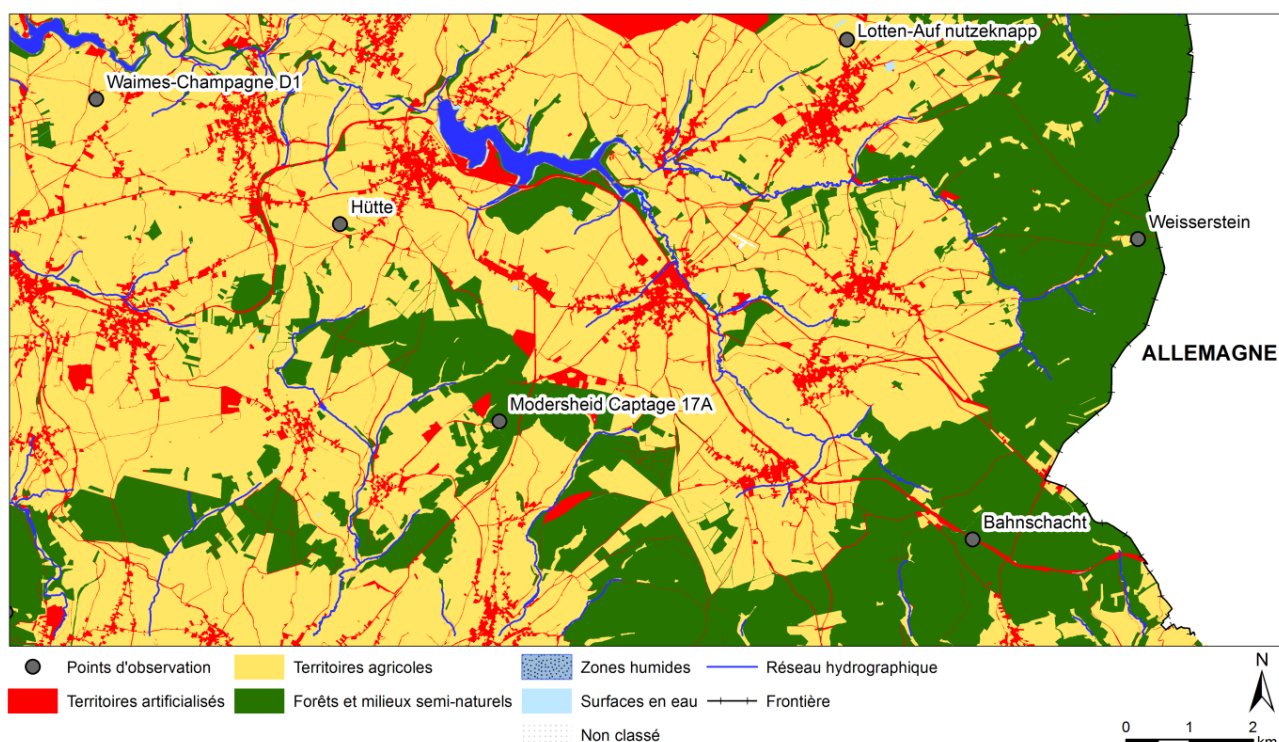


Figure V.4 : Localisation des ouvrages 'Survey Nitrates' retenus pour l'analyse

La figure V.5 présente l'évolution des concentrations en nitrates depuis fin des années '90 de quelques prises d'eau souterraine.

L'analyse des prélèvements des six ouvrages retenus ne permet pas de mettre en évidence une diminution de la concentration en nitrates, sauf pour l'ouvrage Waimes-Champagne D1 pour lequel la tendance est décroissante aux alentours de 2003, date à laquelle la zone de prévention a été arrêtée. Si on se base sur les valeurs moyennes de concentration en nitrates par ouvrage, on constate que les quatre ouvrages présentant les valeurs de concentrations en nitrates les plus faibles sont ceux situés dans les espaces forestiers. Cependant aussi l'ouvrage Hütte, situé en zone agricole, présente des concentrations en nitrates relativement faibles. Cet ouvrage est un puits foré, pompant dans les horizons aquifères plus profonds et présentant donc des teneurs en nitrates plus basses que les ouvrages peu profonds captant la nappe superficielle.

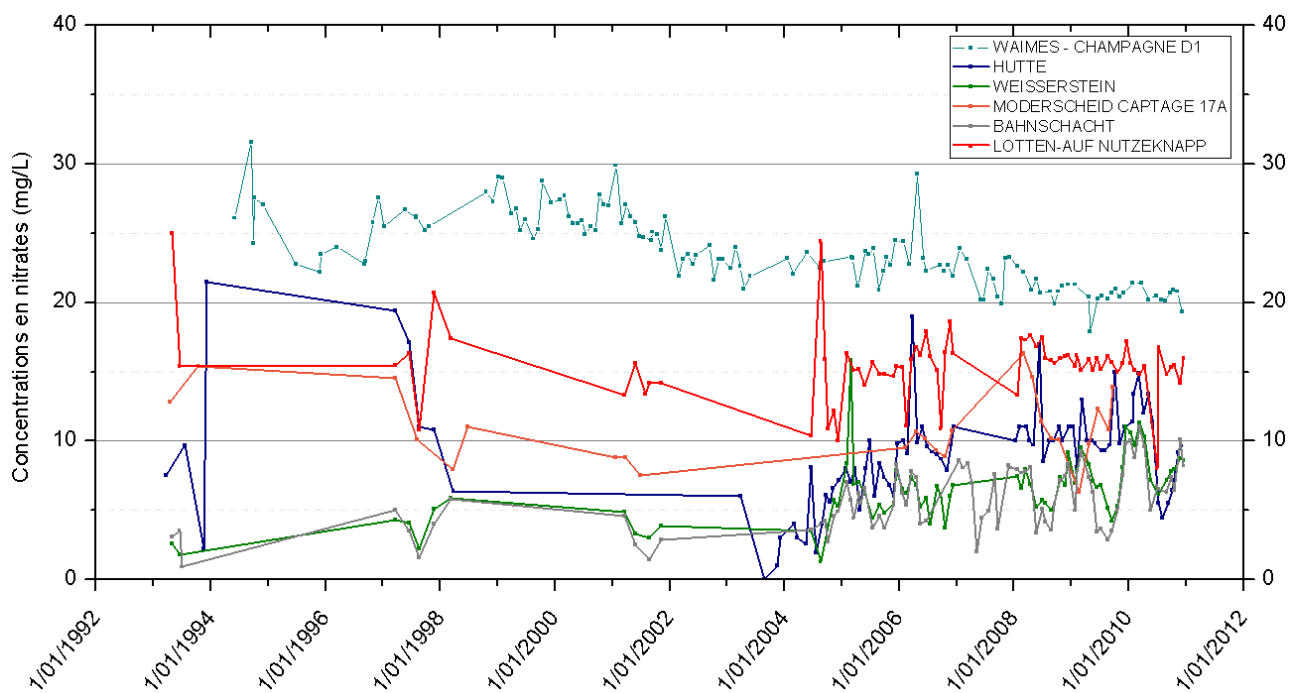


Figure V.5 : Evolution des teneurs en nitrates de certains ouvrages de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben

V.3 QUALITE BACTERIOLOGIQUE

Des micro-organismes (bactéries, virus, protozoaires...) dont certains peuvent être pathogènes pour l'homme sont présents naturellement dans l'eau. Ils peuvent notamment être transportés par les matières fécales, vecteurs potentiels de micro-organismes pathogènes. Puisqu'il est techniquement et économiquement impossible de rechercher systématiquement tous les micro-organismes dans l'eau, la stratégie de contrôle de la qualité microbiologique de l'eau se base sur la présence de « bactéries indicatrices d'une pollution fécale » à savoir, germes totaux, coliformes, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* (entérocoques fécaux) et *Clostridium perfringens*. La norme pour la qualité microbiologique est de 0 colonie/100 ml.

Des analyses concernant les paramètres microbiologiques sont disponibles pour 23 captages publics et privés de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben. Quelques unes sont reprises dans le tableau V.4. 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. Notons la présence importante de coliformes dans les prises d'eau de Sassenvenn et Bahnschacht. Un traitement est nécessaire et est actuellement réalisé à la station de pompage (SGS, 2013f et 2007d).

Tableau V.4 : Paramètres microbiologiques de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben

Élément	Puits foré Bastin	Champagne D1	Forage de Mon Antône	Berg I et II	Borhbrunn en Heinen Grün	Bütgenbach P2	Hütte	Wasserturm	Sassenvenn	Bahnschacht
	12/12/12	24/08/16	14/05/12	23/04/03	03/11/2011	19/07/00	27/03/03	23/04/03	10/10/05	10/10/05
Germes totaux à 22°C (nb/ml)	-	0	<1	-	-	300	41	350	-	-
Germes totaux à 37°C (nb/ml)	<10	0	-	-	620	48	6	180	-	-
Coliformes totaux (nb/100 ml)	0	0	0	0	0	0	0	0	>40	>100
Coliformes fécaux (nb/100 ml)	-	-	-	0	-	0	0	0	-	-
<i>Escherichia Coli</i> (nb/100 ml)	0	0	0	-	0	-	-	-	6	3
Entérocoques (nb/100 ml)	-	0	0	-	-	-	-	-	1	2
<i>Clostridium perfringens</i> (nb/100 ml)	-	0	-	0	-	0	0	0	0	0
Streptocoques fécaux	-	-	-	0	-	0	0	0	-	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-
Staphylocoques pathogènes	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-

V.4 PESTICIDES

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

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

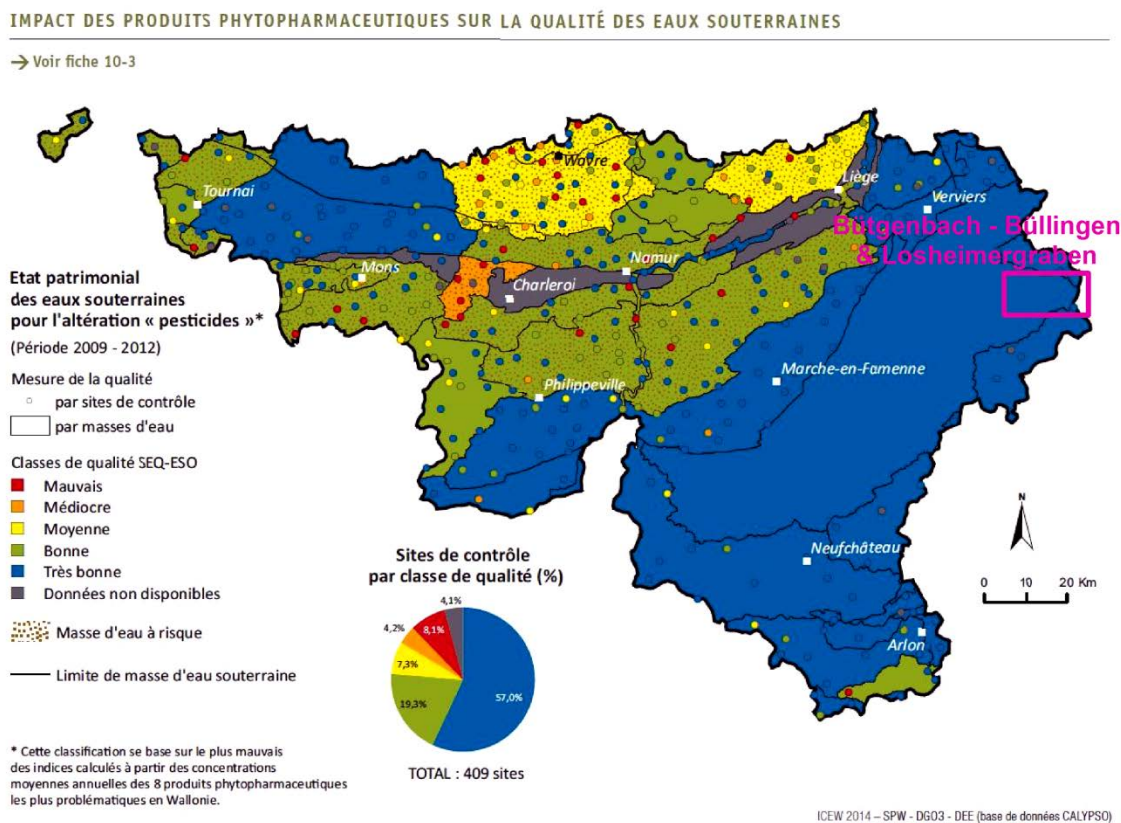


Figure V.6: Pesticides en Région wallonne (ICEW, 2012; carte 19 modifiée)

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

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.

D'après les données disponibles, pour la carte étudiée, à ce jour, on n'observe pas de contamination marquée des eaux souterraines par les pesticides (Tableau V.5). Les concentrations, par produits ou pour l'ensemble des pesticides, restent largement sous la norme de potabilité. Les valeurs maximales admises par le Code de l'Eau pour la plupart de ces produits phytosanitaires (ici, essentiellement des herbicides) sont de 100 ng/l. Cinq types de pesticides sont systématiquement recherchés lors des analyses spécifiques: l'atrazine, la simazine, le diuron, l'isoproturon et le déséthyl-atrazine. D'après les données disponibles, des traces 2,6-dichlorobenzamide ont été occasionnellement observées dans les eaux souterraines de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, tout en restant sous la norme de potabilité.

Tableau V.5 : Concentrations en pesticides de certains ouvrages de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben

Élément	Champagne D1	Forage de Mon Antône	Forage de la Crope	Bütgen-bach P2	Hütte	Wasserturm	Berg I et II
	24/08/16	14/05/12	16/06/10	19/07/00	27/03/03	23/04/03	09/02/04
Atrazine (ng/l)	<2	<1	<1	<50	<50	<50	<50
Simazine (ng/l)	<2	<1	<1	<50	<50	<50	<50
Diuron (ng/l)	<2	<1	<1	<50	<50	<50	<50
Isoproturon (ng/l)	<2	<1	<1	<50	<50	<50	<50
Déséthyl-atrazine (ng/l)	<2	<1	<1	<50	<50	<50	<50
Chlortoluron (ng/l)	<2	<1	<1	-	-	-	-
Bromacile (ng/l)	<2	<1	<1	-	-	-	-
Bentazone (ng/l)	<2	<3	<3	-	-	-	-
2,6-dichlorobenzamide (BAM) (ng/l)	<6	<1	11,5	-	-	-	-

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

VI. EXPLOITATION DES AQUIFERES

Les ressources en eau souterraine de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben sont sollicitées essentiellement pour la distribution publique d'eau potable. Sur les 180 ouvrages de prise d'eau situés sur le territoire couvert par cette carte, environ un tiers est dédié à la production et distribution publique d'eau potable. Ces captages appartiennent aux administrations communales d'Amel, Büllingen, Bütgenbach et Waimes ainsi qu'à la SWDE (Figure VI.1). 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 ou 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 (< 3000 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 (pastille rouge) et les prélèvements à usage privé¹⁰ (pastille verte). Les volumes présentés sont des volumes de l'année 2015 pour les ouvrages de distribution publique d'eau et de 2014 pour les « autres volumes ». Sur cette même carte, sont aussi reportés les volumes moyens sur 5 ans, ici 2010-2014. Ils illustrent de manière plus réaliste l'exploitation des eaux souterraines sur la carte étudiée. Ces valeurs moyennes ne sont pas représentatives du potentiel d'exploitation ni de l'exploitation réelle des nappes. Elles reflètent simplement l'importance d'un site d'exploitation pendant les 5 années considérées. Parmi ces dernières, il se peut que certaines d'entre elles soient des années sans prélèvement.

Il faut noter également que, parfois, avec des batteries de captages (site regroupant plusieurs puits et/ou drains ou autres ouvrages de prise d'eau), le volume n'est pas toujours comptabilisé à chaque sortie d'ouvrage. Le site est, alors, équipé, avec un ou deux compteurs placés au niveau de la (les) chambre(s) de collecte. Le volume total du site est, dans ce cas, attribué à l'un des ouvrages. Il faut donc garder à l'esprit qu'il s'agit d'une donnée globale pour tous les ouvrages de prise d'eau du site.

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.

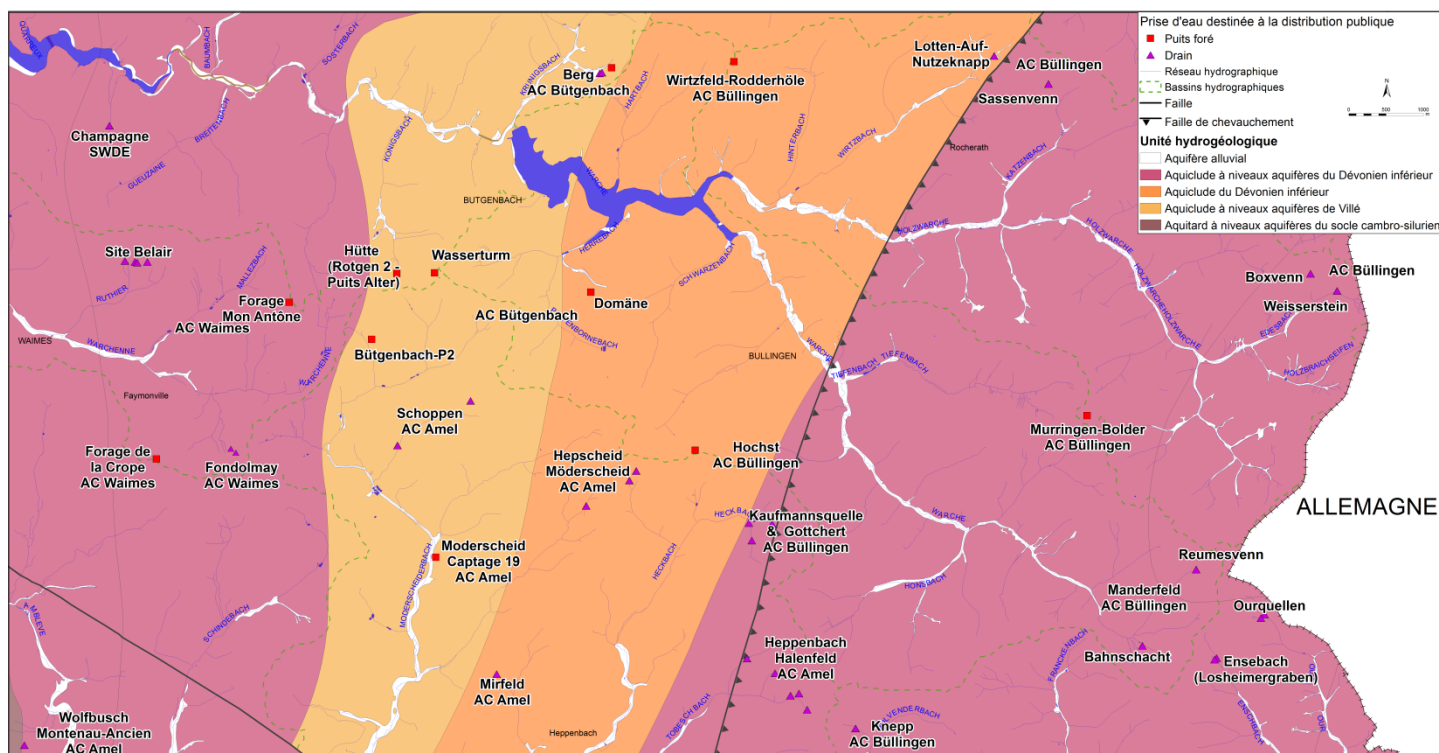


Figure VI.1: Localisation des sites de captages publics situés sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben

VI.1 SOCIETE WALLONNE DES EAUX (SWDE)

La SWDE exploite un site de captage situé sur le territoire de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben (Figure VI.1). Située sur la commune de Waimès, cette prise d'eau, le drain Waimès-Champagne D1, a une longueur de 37 m. Les volumes prélevés moyens, sur la période 2000-2015, sont de l'ordre de 28 500 m³/an (soit ≈ 80 m³/j). Cependant, le prélèvement peut être très variable d'une année à l'autre, entre 11 000 m³/an (30 m³/j) et 101 000 m³/an (275 m³/j). Cet ouvrage exploite l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur.

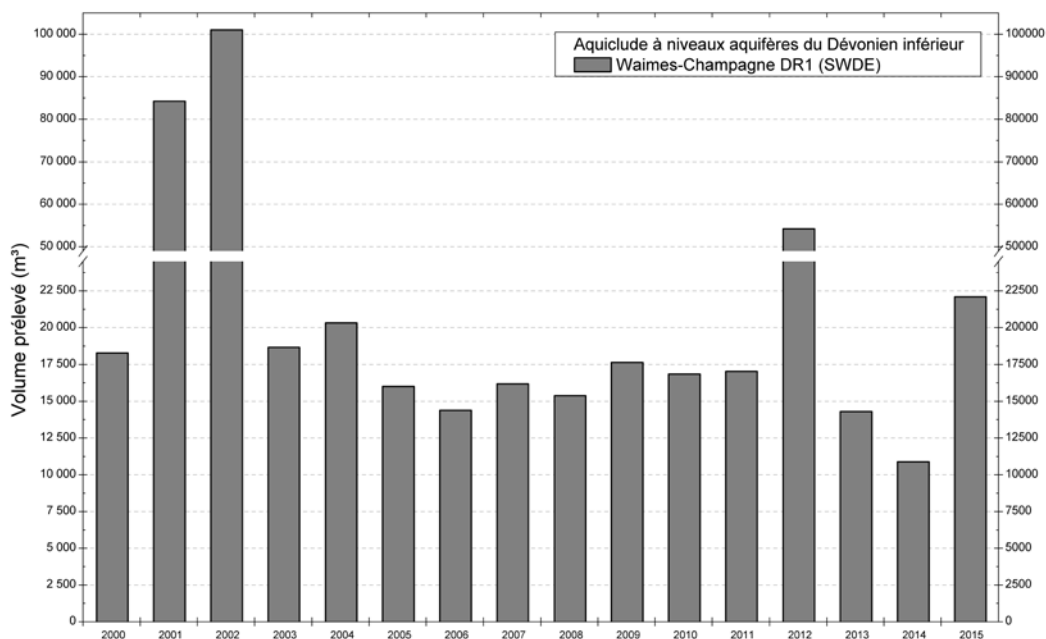


Figure VI.2: Volumes prélevés par la SWDE ouvrage Waimès-Champagne D1

VI.2 ADMINISTRATION COMMUNALE D'AMEL

Sur le territoire de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, la commune d'Amel possède plusieurs sites de captage, lui permettant d'assurer l'alimentation en eau potable de sa population (Figure VI.1). Ces prises d'eau sont majoritairement des drains ou des réseaux de drains. Chaque ouvrage n'est pas forcément pourvu d'un compteur. Les volumes prélevés sont, selon le site, comptabilisés au niveau de la chambre de collecte, regroupant l'arrivée de plusieurs drains avant distribution sur le réseau).

Trois sites de captage sont, actuellement, actifs sur la carte 50/7-8 & 50A/5 (Figure VI.3):

- Le site de captage d'Heppenbach-Halenfeld est constitué de cinq drains, dénommés Captage 14, 15A, 15B, 15A et 15D. Ceux-ci exploitent l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur via des prélèvements irréguliers. En moyenne, le volume total prélevé sur ce site est de 41 500 m³/an (soit \approx 115 m³/j).
- Le site de captage de Moderscheid-Hepscheid est composé de cinq drains, dénommés Captage 16A, 16B, 17A, 17C1, 17C2. Ils sollicitent l'aquiclude du Dévonien inférieur, à raison d'une moyenne de 32 000 m³/an (soit \approx 85 m³/j).
- Le site de captage de Schoppen comprend quatre drains, dénommés Captage 18A1, 18A2, NW, SE. Annuellement, environ 38 500 m³ (soit \approx 105 m³/j) sont prélevés dans l'aquiclude à niveaux aquifères de Villé.

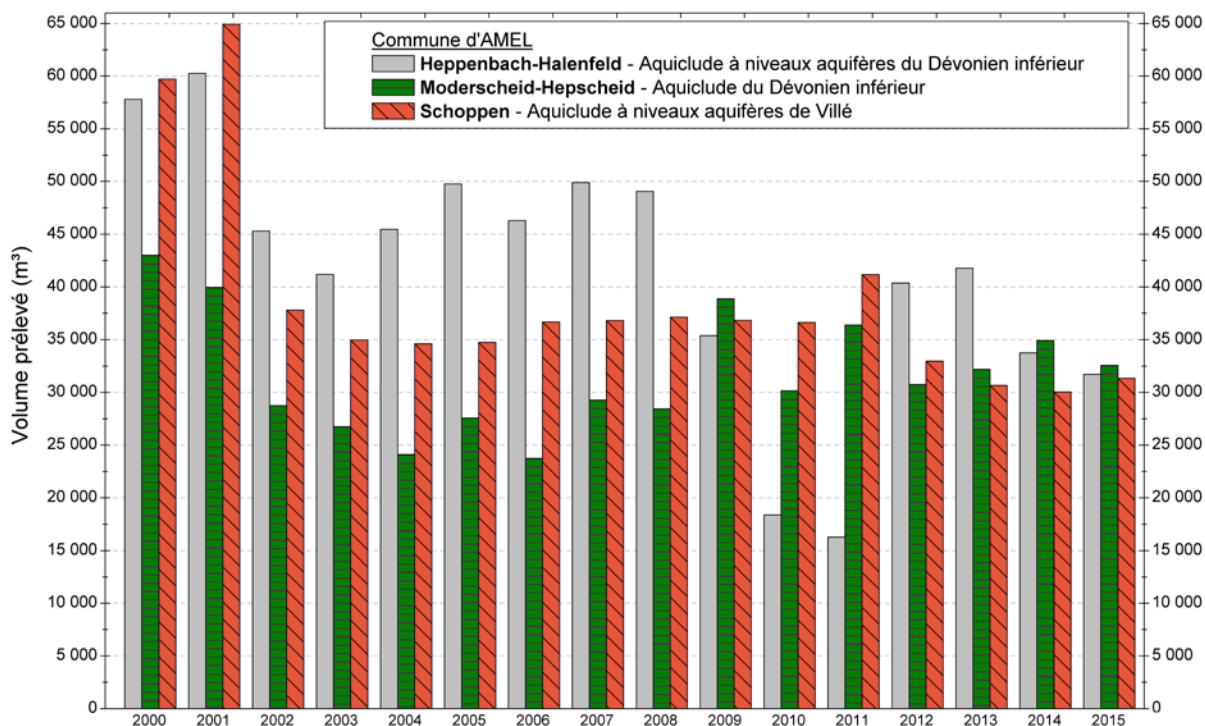


Figure VI.3: Historique des volumes prélevés par la commune d'Amel sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben

La commune possède d'autres ouvrages de prise d'eau. Le forage '*Captage 19 – Moderscheid*' n'est pas encore en exploitation. L'*ancien drain Wolfsbusch* est à l'arrêt depuis 2011. Sur la période 2000-2011, cet ouvrage prélevait environ 15 000 m³/an. Sur ce même site, un autre drain '*Montenau-Wolfsbusch-Nouveau*' se trouvant juste à la limite extérieure sud-est de la carte, prélève entre 26 000 et 50 000 m³/an. Le site de *Mirfeld* comprend deux drains sollicitant l'aquiclude du Dévonien inférieur, à raison de 24 000 m³/an en moyenne. Ils ne sont plus exploités actuellement.

VI.3 ADMINISTRATION COMMUNALE DE BÜLLINGEN

L'administration communale de Büllingen assure l'alimentation en eau potable de sa population via plusieurs sites de captage, essentiellement des drains.

Au nord de la carte, se trouvent les prises d'eau de Sassenvenn, de Lotten Auf Nutzeknapp et de Wirtfeld Rodderhöhe (Figures VI.1 & VI.4).

- Le site de Sassenvenn est constitué de trois drains, sollicitant l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur. En moyenne (établie sur la période 2000-2015), 35 250 m³/an sont extraits (soit \approx 95 m³/j).
- Au sud-ouest, les prises d'eau de Lotten-Auf Nutzeknapp, constituées de quatre ouvrages drainants, exploitent l'aquiclude à niveaux aquifères de Villé à raison de 29 000 m³/an (soit \approx 80 m³/j)(moyenne établie sur la période 2000-2015). Les prises d'eau de Lotten-Auf Nutzeknapp, ainsi que celles de Sassenvenn sont utilisées pour l'alimentation en eau potable des villages de Krinkelt, Rocherath et une partie de Wirtfeld (SGS, 2013e et 2013f).
- Le puits Wirtfeld-Rodderhöhe, d'une profondeur de 105 m exploite l'aquiclude à niveaux aquifères de Villé à raison de 15 500 m³/an (soit \approx 42 m³/j)(moyenne établie sur la période 2000-2015). Il est utilisé pour l'alimentation en eau potable du village de Wirtfeld (SGS, 2013b).

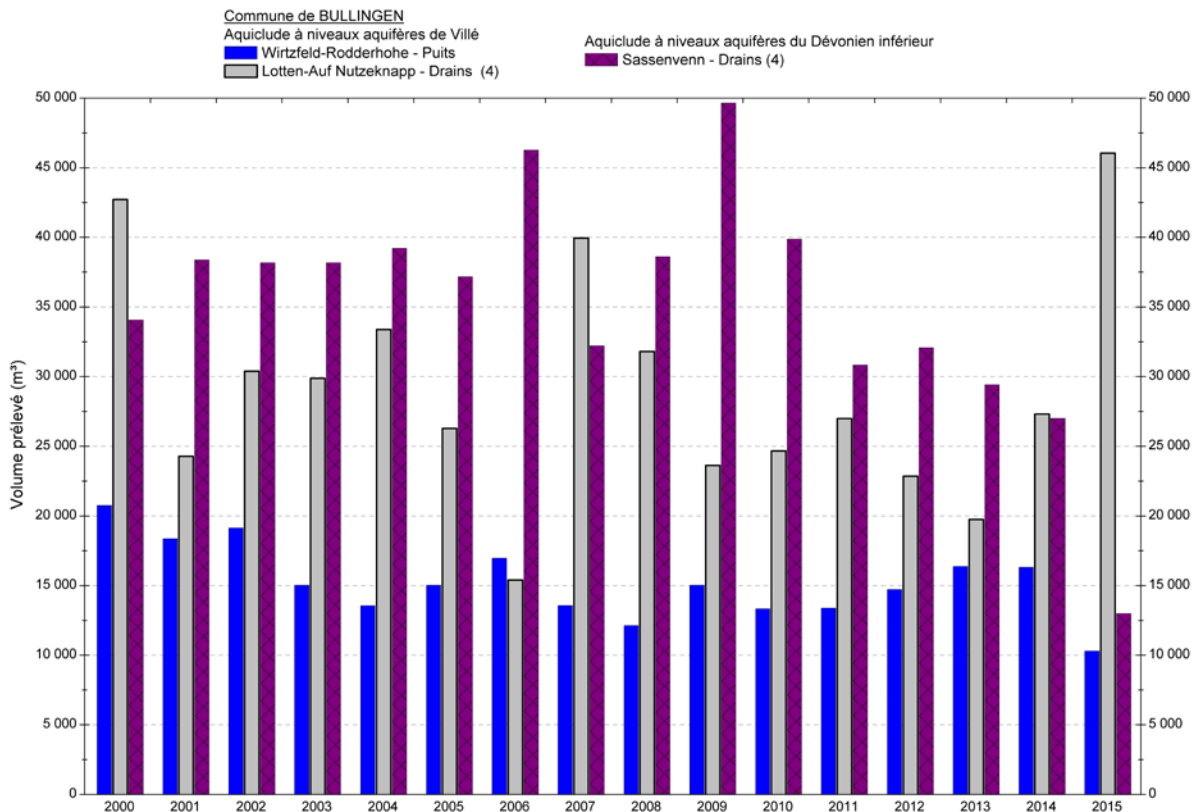


Figure VI.4: Historique des volumes prélevés par la commune de Büllingen, dans le nord de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben

Vers le sud, les sites de captage de Boxvenn-Weisserstein, de Mürringen-Bolder et de Kaufmannsquelle-Göttchert sollicitent l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur (Figures VI.1 & VI.5).

- Les prises d'eau de Weisserstein et Boxvenn, distantes de 450 m, sont constituées de quatre et trois ouvrages drainants respectivement. La longueur des quatre drains de Weisserstein est de 360, 75, 175 et 140 m (SGS, 2013c). La longueur des drains de Boxvenn est de 225, 70 et 115 m (SGS, 2013d). Environ 24 500 m³/an sont prélevés par les drains de Boxvenn (≈ 70 m³/j) et environ 32 500 m³/an pour le site de Weisserstein (≈ 90 m³/j) (moyenne établie sur la période 2000-2015). Les deux prises d'eau sont utilisées pour l'alimentation en eau potable des villages de Mürringen et de Hünningen ainsi que celle du réservoir de Losheimergraben (SGS, 2013c et 2013d). D'une année à l'autre, les prélèvements sont parfois très variables, en raison des conditions météorologiques (années plus sèches) ou pour des problèmes techniques.
- Les quatre drains de Kaufmannsquelle & Göttchert, dont les longueurs sont comprises entre 8 et 125 m, prélèvent en moyenne 83 600 m³/an (≈ 230 m³/j), sur la période 2000-2015. L'eau prélevée est destinée à l'alimentation en eau potable de la localité de Büllingen (SGS, 2007f).

- Le puits de Murringen-Bolder, d'une profondeur de 100 m, a une exploitation sporadique en fonction des besoins. Sur la période 2000-2015, en moyenne 4000 m³ ont été prélevés par an (minimum: 120 m³/an, maximum: 13 000 m³/an). Il est utilisé comme appoint pour l'alimentation en eau potable des villages de Mürringen, Hünningen et le réservoir de Losheimergraben (SGS, 2013a).

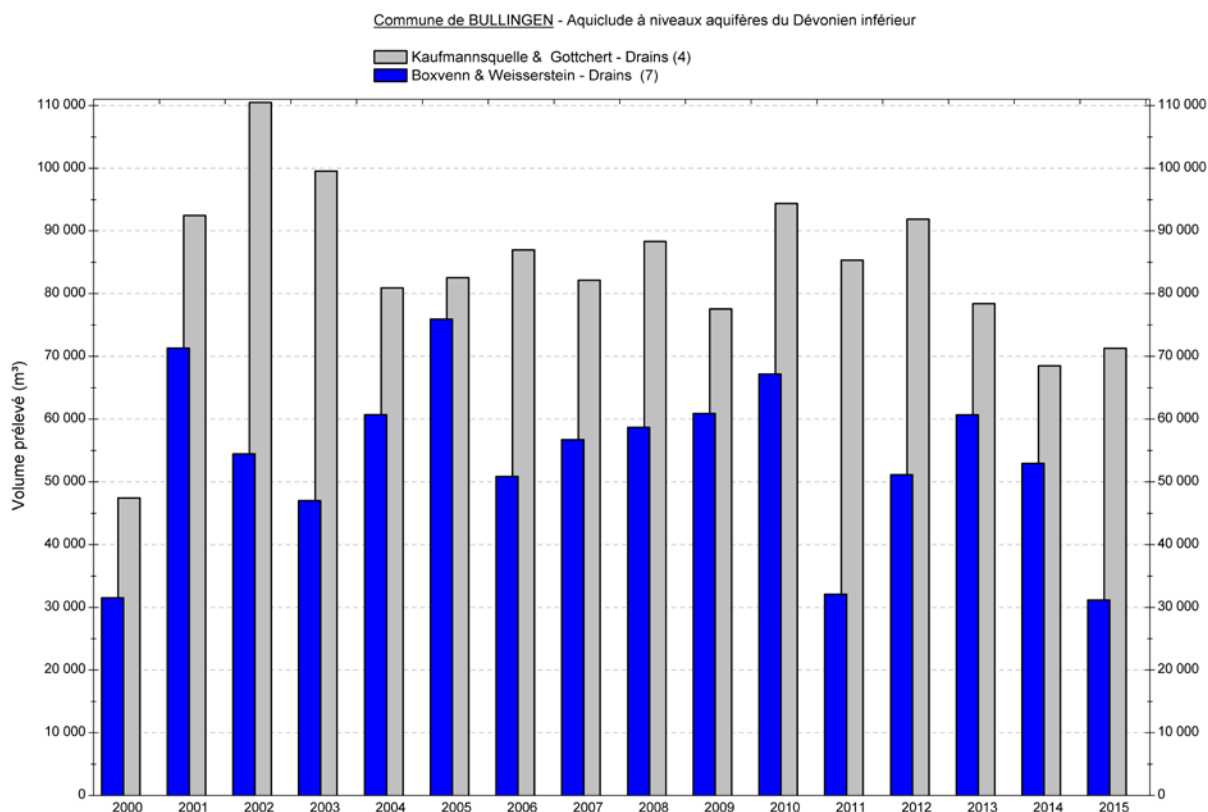


Figure VI.5: Historique des volumes prélevés par la commune de Büllingen, dans le centre-est de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben

Dans le sud-est de la carte, la commune de Büllingen possède deux sites de captage, dont l'important site 'Manderfeld' regroupant quatre réseaux de drains (Figures VI.1 & VI.6).

- Le site de captage de Knepp compte deux drains (165 et 60 m de long) sollicitant l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur. En moyenne (établie sur la période 2000-2015), 30 200 m³ (soit ≈ 82 m³/j) sont captés chaque année par ces ouvrages. La prise d'eau de Knepp est utilisée pour l'alimentation en eau potable du village de Honsfeld (SGS, 2007e).
- Le site de Manderfeld comprend les drains de Reumesvenn, Ourquellen, Ensebach, Bahnschacht, soit treize drains de longueur variable (entre 20 et 590 m). Pour l'ensemble du site, le volume moyen est de l'ordre de 123 000 m³/an (moyenne établie sur la période 2000-2015). Les volumes captés sont assez variables d'un site à l'autre: 12 200 m³/an pour Ourquellen, 7000 m³/an pour Ensebach, 86 000 m³/an pour Bahnschacht, 30300 m³/an pour Reumesvenn (moyennes établies sur la période 2000-2015). Les prises d'eau

d'Ourquelle sont utilisées pour l'alimentation en eau potable des villages de Hüllscheid, Berterath, Hergersberg et Krewinkel via un réservoir situé en aval des captages (SGS, 2007a). Les cinq drains d'Ensebach participent à l'approvisionnement en eau potable de ces mêmes villages et du village d'Afst (SGS, 2007b). Les prises d'eau de Reumesvenn et Bahnschacht alimentent en eau potable des villages de Manderfeld, Lanzerath et Medendorf ainsi que quelques autres hameaux (SGS, 2007c).

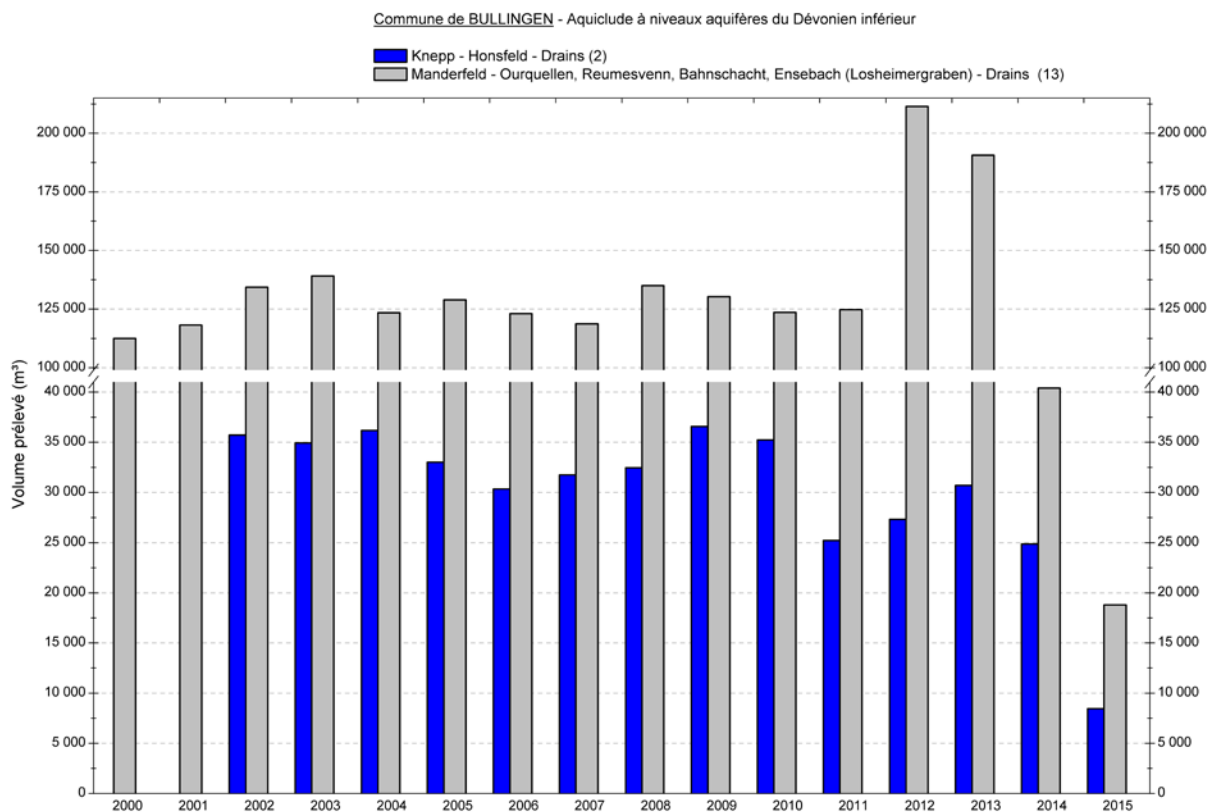


Figure VI.6: Historique des volumes prélevés par la commune de Büllingen, dans le sud de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben

VI.4 ADMINISTRATION COMMUNALE DE BÜTGENBACH

L'administration communale de Bütgenbach assure elle-même l'alimentation en eau potable de sa population via plusieurs sites de captage (Figures VI.1 & VI.7). Les ouvrages de prise d'eau sont majoritairement des puits (5) pour 2 drains. Les volumes prélevés varient fortement d'une prise d'eau à l'autre. Les unités hydrogéologiques sollicitées sont l'aquiclude à niveaux aquifères de Villé et l'aquiclude du Dévonien inférieur.

La commune de Bütgenbach a le projet de réaménager son réseau de production et de distribution d'eau. Dans le cadre de celui-ci, les eaux récoltées seront envoyées dans une nouvelle station de traitement générale implantée sur le point haut de la commune et de là distribuée dans tous les villages de celle-ci. De nouveaux captages ont été forés. D'autres prises d'eau seront progressivement abandonnées.

- Le site de Berg, situé le plus au nord, est constitué de deux drains d'une longueur de 2,8 m chacun (Berg I.1 et I.2) et d'un puits traditionnel (Berg II) d'une profondeur de 3 m. Ces

ouvrages exploitent des volumes très variables. La moyenne annuel (établie entre 2001-2015) est de 30250 m³ pour les trois captages du site. Les prises d'eau de Berg sont utilisées pour l'alimentation en eau potable du village de Berg via un réservoir de tête situé sur les hauteurs au nord-est des captages (SGS, 2005e).

- L'ouvrage de Hütte, puits foré d'une profondeur de 186 m, exploite un volume moyen de 43 000 m³/an (soit ≈ 117 m³/j)(moyenne établie sur la période 2000-2015). Cette prise d'eau est utilisée pour l'alimentation en eau potable du village de Berg via un réservoir de tête situé sur les hauteurs au nord-est des captages (SGS, 2005e).
- Le puits foré de Wasserturm, situé à environ 500 m à l'est de l'ouvrage précédent, d'une profondeur de 56 m, exploite un volume moyen de 7200 m³/an (soit ≈ 20 m³/j)(moyenne établie sur la période 2000-2015). Il est utilisé comme appoint lors des fortes demandes en eau (SGS, 2005b).
- L'ouvrage Bütgenbach P2, constitué d'un puits foré de 90 m de profondeur, a extrait entre 2002 et 2015 en moyenne 10 100 m³/an (soit ≈ 27 m³/j)(exploitation sporadique). Il est utilisé pour l'alimentation en eau potable de la localité de Bütgenbach via le château d'eau de la localité (SGS, 2005c).
- Le puits foré Domäne, d'une profondeur de 53 m, est actuellement utilisée pour l'alimentation d'une piscine du centre touristique privé de Worriken (SGS, 2005d). Ce forage exploite l'aquiclude du Dévonien inférieur, à raison de 5800 m³/an en moyenne (2000-2015).

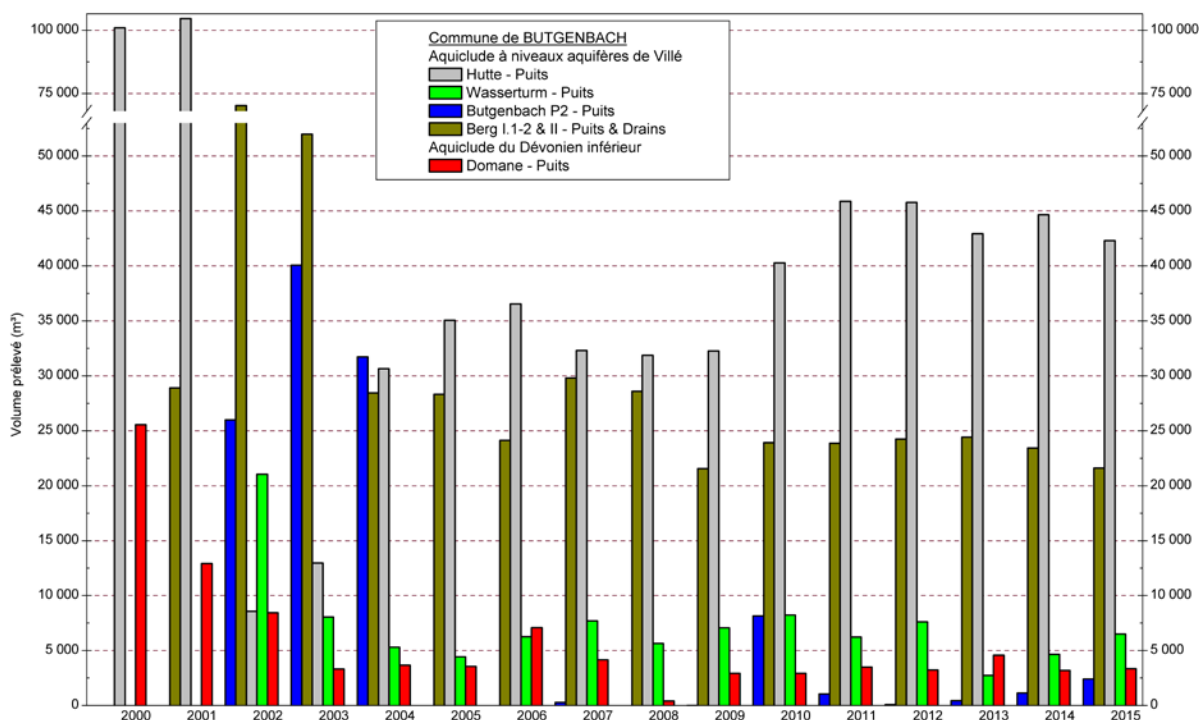


Figure VI.7: Historique des volumes prélevés par la commune de Bütgenbach sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben

VI.5 ADMINISTRATION COMMUNALE DE WAIMES

Sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, on compte plusieurs sites gérés par l'administration communale de Waimes: le captage de Belair, le forage de la Crope, le forage de Mon Antône et le captage de Fondolmay. Tous exploitent l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur. Les ouvrages de prise d'eau sont majoritairement des drains (7) pour 2 puits forés (Figures VI.1 & VI.8).

- Le captage de Fondolmay consiste en deux drains qui ne sont plus exploités aujourd'hui. Entre 1991 et 2001, les valeurs prélevées étaient de l'ordre de 29 000 m³/an.
- Le site des captages de Belair est constitué de quatre drains de 80 à 100 m de longueur. Entre 2003 et 2013, le volume annuel prélevé est de 45 000 m³ en moyenne, soit ≈ 123 m³/j.
- Le forage de Mon Antône, constitué d'un puits foré, a exploité en moyenne pendant les années 2003 à 2015, environ 10 300 m³/an (soit ≈ 28 m³/j).

Le forage de la Crope, situé au sud de la commune, est constitué d'un puits foré d'une profondeur de 47 m. Il exploite près de 44 500 m³/an (soit ≈ 122 m³/j)(moyenne établie entre 2003 et 2015).

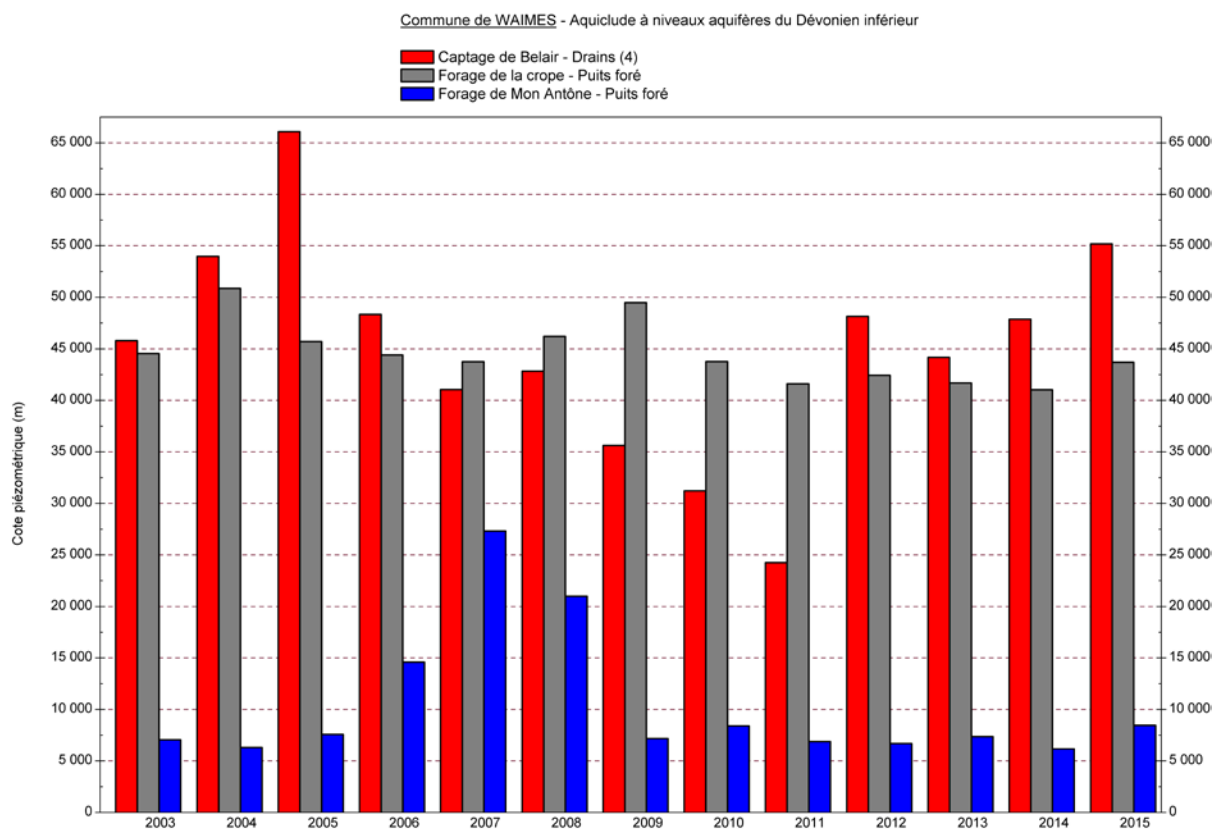


Figure VI.8: Historique des volumes prélevés par la commune de Waimes sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben

VI.6 CAPTAGES PRIVÉS

Plusieurs captages privés sont répertoriés sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben. Ils appartiennent à des agriculteurs, des activités de service et des particuliers. Ils sollicitent essentiellement l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur. 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 à 1000 m³ par an. Quelques captages privés prélèvent davantage, entre 3000 et 7500 m³/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'emménagement spécifique (S_s), la porosité effective (ou efficace) de drainage (n_e), la porosité effective de transport et la dispersivité longitudinale.

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

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

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

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

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

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

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

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

Le sous-sol, constitué de terrains meubles ou de roches consolidées, peut aussi être caractérisé par ses porosités. Pour l'écoulement des eaux souterraines, seule la porosité effective (ou efficace) de drainage (n_e), est considérée car sa valeur tient lieu de coefficient d'emmagasinement 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

Sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, plusieurs de captages ont fait l'objet d'études permettant de définir les paramètres hydrodynamiques des aquifères, généralement dans le but de déterminer les zones de prévention autour des captages. Cependant, il s'agit uniquement d'essais de pompage (Figure VII.1). Aucun test de traçage n'a été réalisé sur les ouvrages situés sur la carte étudiée.

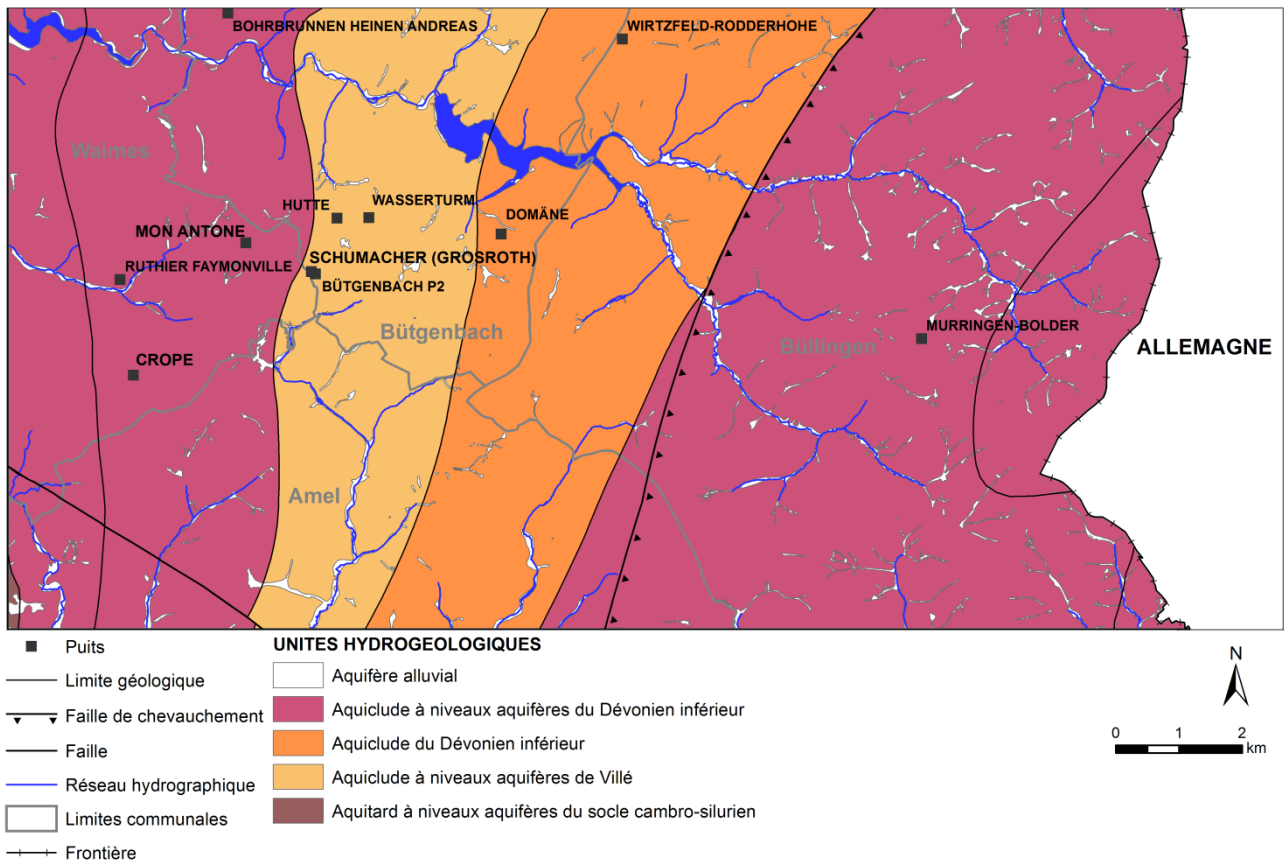


Figure VII.1: Puits ayant fait l'objet d'essais de pompage (carte 50/7-8 & 50A/5)

VII.1 AQUICLUDE A NIVEAUX AQUIFERES DU DEVONIEN INFÉRIEUR

Le bureau d'étude Geolys a réalisé une étude hydrogéologique en 2009 dans le but de suivre les essais de pompage sur le puits Ruthier-Faymonville (profondeur de 47 m), dans le cadre d'une demande de permis d'environnement pour l'exploitation du forage. Deux essais de pompage ont été réalisés en mai 2009, un de courte durée avec trois paliers enchaînés de deux heures et un de longue durée poursuivi jusqu'à stabilisation. Ils ont été interprétés via la méthode de Theis.

Le bureau d'étude BCG a réalisé en 2011 un rapport technique sur le puits Bohrbrunnen Heinen Andreas (profondeur de 69 m). Le pompage d'essai réalisé sur le puits en mars 2011 était constitué de quatre paliers d'une durée de 2h chacun. Ensuite, un essai de longue durée de 24 heures a été lancé. Lors de l'essai par paliers, la stabilisation n'a pas été atteinte bien qu'une tendance à la stabilisation soit amorcée. De plus, lors du pompage longue durée, plusieurs anomalies dans l'évolution du niveau dynamique ont été constatées, probablement dues à l'influence d'un puits situé à proximité.

En 2005, le puits Mürringen-Bolder (profondeur de 100 m) a fait l'objet d'essais de pompage en vue de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère qu'il sollicite. Un essai de pompage par paliers a été réalisé avant l'essai longue-durée (14 jours) afin de fixer le débit de ce dernier. Les valeurs de transmissivité et conductivité hydraulique ont été obtenues en effectuant la moyenne de trois méthodes d'interprétation (Theis Step, Cooper-Jacob Descente Step, Theis remontée) pour l'essai par paliers et quatre méthodes (les trois précédentes et Neuman) pour l'essai longue durée. Les courbes de descente et de remontée au puits montrent de nettes brisures, pouvant dénoter la présence d'un milieu plus perméable à une certaine distance du puits (SGS, 2013b).

Les essais de pompage des forages de la Crope et de Mon Antône (profondeurs de 47 m et 59 m respectivement) ont été réalisés en octobre 1998 et réinterprétés en 2006 par Vasbinder. L'interprétation a été effectuée à l'aide de la formule d'approximation de Jacobs. En 2012, de nouveaux essais (par paliers et longue durée de 12 jours) ont été menés sur le puits Mon Antône en vue de déterminer le débit d'exploitation optimal du puits et les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère qu'il sollicite. Le débit d'exploitation du puits est de l'ordre de 3,5 à 5 m³/h (SGS, 2014). En novembre 2015, une campagne d'essai de pompage a été réalisée sur le puits 'La Crope' (GEOLYS, 2015). Un essai de courte durée, avec 4 paliers, et un essai longue durée (3 jours) ont permis de définir les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère autour de ce puits.

Tous ces paramètres sont présentés dans le tableau VII.4.

Tableau VII.4: Synthèse des paramètres hydrogéologiques de l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur (SGS, 2013b; Vasbinder, 2006; Geolys 2009; BCG, 2011)

Type d'essai	Transmissivité (m ² /s)	Épaisseur (m)	Conductivité hydraulique moyenne (m/s)	Coefficient d'emmagasinement
Ruthier Faymonville				
Essai par paliers (05/2009)	2,8 x 10 ⁻⁴ à 2,5 x 10 ⁻⁴	30*	9,3 x 10 ⁻⁶ à 8,3 x 10 ⁻⁶	5 x 10 ⁻²
Essai longue durée (05/2009)	2,2 x 10 ⁻⁴ à 2,7 x 10 ⁻⁴		7,3 x 10 ⁻⁶ à 9,0 x 10 ⁻⁶	/
Bohrbrunnen Heinen Andreas				
Essai par paliers (03/2011)	3,54 x 10 ⁻⁵ à 3,79 x 10 ⁻⁴	45*	7,87 x 10 ⁻⁷ à 8,43 x 10 ⁻⁶	/
Essai longue durée (03/2011)	1,90 x 10 ⁻⁵ à 3,34 x 10 ⁻⁴		4,23 x 10 ⁻⁷ à 7,42 x 10 ⁻⁶	/
Mürringen-Bolder				
Essai par paliers (01/2005)	3,90 x 10 ⁻⁶ à 2,03 x 10 ⁻⁵	90**	4,34 x 10 ⁻⁸ à 3,40 x 10 ⁻⁷	/
Essai longue durée (01/2005)	5,37 x 10 ⁻⁶ à 4,63 x 10 ⁻⁵	92**	5,85 x 10 ⁻⁸ à 5,04 x 10 ⁻⁷	/
Forage de Mon Antône				
Essai 180 min, remontée (10/1998)	/	/	9,5 x 10 ⁻⁶	/
Essai par paliers (04/2012)	1,3 x 10 ⁻³ ; 3,72 x 10 ⁻⁴ ; 1,67 x 10 ⁻⁴	50**	2,6 x 10 ⁻⁵ ; 7,45 x 10 ⁻⁶ ; 3,36 x 10 ⁻⁶	/
Essai longue durée (05/2012)	1,63 x 10 ⁻³ ; 3,52 x 10 ⁻⁴	50**	3,26 x 10 ⁻⁵ ; 7,04 x 10 ⁻⁶	/
Forage de la Crope				
Essai 270 min, remontée (10/1998)	/	/	7,4 x 10 ⁻⁵	/
Essai par paliers (11/2015)	/	21,74**	0,86 x 10 ⁻⁴ à 1,5 x 10 ⁻⁴	1,1 x 10 ⁻²
Essai longue durée (11/2015)	/	21,87**	0,89 x 10 ⁻⁴ à 3,5 x 10 ⁻⁴	

*Hauteur crépinée (à défaut de l'épaisseur de l'aquifère)

**Hauteur crépinée sous eau avant le début de l'essai

VII.2 AQUICLUDE A NIVEAUX AQUIFERES DE VILLE

Des essais de pompage ont été effectués sur le puits Schumacher (ou Grosroth) et figurent dans la demande d'autorisation d'exploitation. Le rapport technique précise que des pompages d'essai ont été effectués sur l'ouvrage en juillet 1988 et juin 1989.

En 2005(a), le bureau d'étude SGS a réalisé une étude hydrogéologique de la prise d'eau de Hütte (profondeur de 186 m). Une campagne d'essais de pompage avait déjà été effectuée en 1994 (un essai par palier et un essai longue durée). Un test de longue durée (14 jours) à débit constant a été réalisé en 2003. Des conductivités hydrauliques à deux anciens puits (Alter Puits, Pumpstation) ont également été déterminées lors de cet essai. Lors de cet essai, les valeurs de transmissivité en descente sont légèrement plus faibles que celles calculées pour la remontée, indiquant quelques pertes de charge. Les courbes de descente et de remontée au puits montrent quelques nettes brisures, attestant que des zones plus ou moins perméables sont atteintes par le cône de rabattement.

Similairement, une étude a été réalisée concernant la prise d'eau de Wasserturm (à 500 m du puits Hütte et d'une profondeur de 56 m) (SGS, 2005b). Un essai de pompage par paliers a été réalisé en 2002 avant l'essai longue-durée (14 jours), afin de fixer le débit de ce dernier, réalisé en 2003. Des réactions significatives ont été mesurées dans deux anciens puits (Alter Puits, Pumpstation) situés sur la même parcelle. Les conductivités hydrauliques au droit du puits de Wasserturm sont assez importantes et diminuent fortement après un certain temps, montrant un déficit d'alimentation lorsque le cône de rabattement atteint des zones nettement moins perméables. En direction des puits Alter Puits et Pumpstation, les conductivités hydrauliques sont plus importantes. Les contrastes de conductivités hydrauliques indiquent probablement que le puits est implanté au droit d'un axe de fracturation d'importance secondaire.

Une étude hydrogéologique a également été réalisée par le bureau SGS en 2005(c) dans le cadre de l'établissement des zones de prises d'eau et de prévention de l'ouvrage Bütgenbach P2 (profondeur de 90 m). Une campagne d'essais de pompage a été réalisée en 2000. Un essai de pompage en régime transitoire à trois paliers de débit a été réalisé et interprété par la méthode de Cooper-Jacob. Un essai de longue-durée (18 jours) et à débit constant a également été réalisé en 2003. Lors de cet essai, des pertes de charge ont été constatées et la présence d'un milieu plus perméable à une certaine distance du puits est possible. Les contrastes de conductivités hydrauliques indiquent probablement que le puits est implanté au droit d'un axe de fracturation assez important.

Ces paramètres sont résumés dans le tableau VII.5.

Tableau VII.5 : Synthèse des paramètres hydrogéologiques de l'aquiclude à niveaux aquifères de Villé (SGS, 2005a, 2005b et 2005c)

Type d'essai	Transmissivité (m ² /s)	Épaisseur (m)	Conductivité hydraulique moyenne (m/s)	Coefficient d'emmagasinement
Puits Schumacher (ou Grosroth)				
Essai de pompage	2,5 x 10 ⁻⁵ à 1,2 x 10 ⁻⁴	15*	1,7 x 10 ⁻⁶ à 8,0 x 10 ⁻⁶	/
Hütte				
Essai par paliers (2002)	9,39 x 10 ⁻⁶	184**	5,65 x 10 ⁻⁸	/
Essai longue durée (03/2003)	5,49 x 10 ⁻⁶ à 2,91 x 10 ⁻⁵		2,97 x 10 ⁻⁸ à 1,58 x 10 ⁻⁷	/
Wasserturm				
Essai par paliers (2002)	2,21 x 10 ⁻³	52**	4,20 x 10 ⁻⁵	/
Essai longue durée (04/2003)	9,33 x 10 ⁻⁶ à 6,70 x 10 ⁻⁴		1,81 x 10 ⁻⁷ à 1,30 x 10 ⁻⁵	/
Alter Puits				
Essai longue durée (04/2003)	8,61 x 10 ⁻⁴ à 7,57 x 10 ⁻³	52**	1,67 x 10 ⁻⁵ à 1,47 x 10 ⁻⁴	1,0 x 10 ⁻³
Essai longue durée (03/2003)	3,84 x 10 ⁻⁴		2,08 x 10 ⁻⁶	2,45 x 10 ⁻³
Pumpstation				
Essai longue durée (04/2003)	5,23 x 10 ⁻⁴ à 3,01 x 10 ⁻³	52**	1,01 x 10 ⁻⁵ à 8,82 x 10 ⁻⁵	2,85 x 10 ⁻³
Essai longue durée (03/2003)	2,40 x 10 ⁻⁴		1,31 x 10 ⁻⁶	3,30 x 10 ⁻²
Bütgenbach P2				
Essais par paliers (2000)	2,8 à 3,6 x 10 ⁻⁴	75**	3,2 à 4,2 x 10 ⁻⁶	/
Essai longue durée (07/2003)	4,37 x 10 ⁻⁵ à 5,27 x 10 ⁻⁴		5,81 x 10 ⁻⁷ à 6,99 x 10 ⁻⁶	/

NB. Les ouvrages soulignés ne sont actuellement plus exploités

*Hauteur crépinée (à défaut de l'épaisseur de l'aquifère)

** Hauteur crépinée sous eau avant le début de l'essai

VII.3 AQUICLUDE DU DEVONIEN INFÉRIEUR

Dans le cadre de l'établissement des zones de prévention dans la commune de Bütgenbach, une étude hydrogéologique a été effectuée en 2005(b) par le bureau d'étude SGS pour la prise d'eau de Domäne (profondeur de 53 m). Une campagne d'essais de pompage a été réalisée en 2002. Un essai de pompage par paliers a été réalisé avant l'essai longue-durée (11 jours) afin de fixer le débit de celui-ci. Les nettes brisures de descente et de remontée au puits dénotent la présence d'un milieu moins perméable à une certaine distance du puits. Les contrastes de conductivités hydrauliques indiquent probablement que le puits est situé au droit d'un axe de fracturation assez important.

Similairement, le puits Wirtzfeld-Rodderhöhe (profondeur de 105 m), situé sur la commune de Büllingen, a fait l'objet d'un essai de pompage par paliers et d'un essai longue-durée (14 jours) en 2002 dans le cadre d'une étude hydrogéologique (SGS, 2013b). Les réactions dans deux anciens puits situés à proximité ont été observées (Ancien Puits et Wirtzfeld-In Siefertdelle). La présence d'un milieu plus perméable à une certaine distance du puits est probable. Les résultats montrent que le puits est probablement implanté à proximité d'un ou plusieurs axes de fracturation assez important(s).

La synthèse des paramètres d'écoulement est présentée dans le tableau VII.6.

Tableau VII.6 : Synthèse des paramètres hydrogéologiques de l'aquiclude du Dévonien inférieur (SGS, 2005b et 2013b)

Type d'essai	Transmissivité (m ² /s)	Conductivité hydraulique moyenne (m/s)	Coefficient d'emmagasinement
Domäne			
Essai par paliers (11/2002)	5,92 x 10 ⁻⁴ à 3,53 x 10 ⁻³	1,36 x 10 ⁻⁵ à 8,10 x 10 ⁻⁵	/
Essai longue durée (11/2002)	3,35 x 10 ⁻⁵ à 1,21 x 10 ⁻³	7,84 x 10 ⁻⁷ et 2,83 x 10 ⁻⁵	/
Wirtzfeld-Rodderhöhe			
Essai par paliers (01/2005)	2,30 x 10 ⁻⁵ à 3,15 x 10 ⁻⁴	2,40 x 10 ⁻⁷ à 3,12 x 10 ⁻⁶	/
Essai longue durée (01/2005)	1,29 x 10 ⁻⁵ à 1,85 x 10 ⁻⁴	1,35 x 10 ⁻⁷ à 1,93 x 10 ⁻⁶	/
Ancien Puits			
Essai longue durée (01/2005)	4,03 x 10 ⁻⁴	4,20 x 10 ⁻⁶	3,85 x 10 ⁻²
Wirtzfeld-In Siefertdelle			
Essai longue durée (01/2005)	7,78 x 10 ⁻⁴	8,11 x 10 ⁻⁶	/
Essai longue durée (2003)	5,49 x 10 ⁻⁶ à 2,91 x 10 ⁻⁵	2,97 x 10 ⁻⁸ à 1,58 x 10 ⁻⁷	/

VIII. ZONES DE PROTECTION

VIII.1 CADRE LEGAL

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

Afin de limiter les risques de contamination des captages, des périmètres de prévention doivent être mis en place. La législation wallonne¹¹ définit quatre niveaux de protection à mesure que l'on s'éloigne du captage : zones de prise d'eau (Zone I), de prévention (Zones IIa et IIb) et de surveillance (Zone III).

1° Zone de prise d'eau ou zone I

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

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

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

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

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

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

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

¹¹ Arrêté de l'Exécutif régional wallon du 14 novembre 1991 relatif aux prises d'eau souterraines, aux zones de prise d'eau, de prévention et de surveillance et à la recharge artificielle des nappes d'eau souterraine, abrogé par l'arrêté du GW du 3 mars 2005 relatif au livre II du code de l'Environnement, contenant le Code de l'eau (M.B. du 12/04/2005, p.15068)

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 IIa et une ligne située à une distance de l'ouvrage de prise d'eau correspondant à un temps de transfert de l'eau souterraine jusqu'au captage égal à 50 jours dans le sol saturé.

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

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

3° Zone de surveillance ou zone III

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

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

Mesure de prévention

Diverses mesures de protection ont été définies par les autorités compétentes pour les différentes zones. Ces mesures concernent notamment l'utilisation et le stockage de produits dangereux, d'engrais ou de pesticides, les puits perdus, les nouveaux cimetières, les parkings,... Elles visent à réduire au maximum les risques de contamination de la nappe. Toutes ces mesures sont décrites aux articles R.162 à R.170 de l'Arrêté du Gouvernement Wallon du 12 février 2009¹².

La Société publique de Gestion de l'Eau¹³ 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 relatives à la délimitation des zones de prévention et indemniser tout particulier ou toute société dont les biens doivent être mis en conformité avec la législation, une redevance est prélevée sur chaque m³ fourni par les sociétés de distribution d'eau.

¹² 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)

¹³ SPGE, instituée par le décret du 15 avril 1999

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

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

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

La société wallonne des eaux exploite, sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, un site de captage situé à Waimes (Waimes-Champagne D1, drain) (Figure VIII.1). Les zones de prévention de la prise d'eau Waimes-Champagne D1 (code SPW SWDE002), située sur la commune de Waimes ont été arrêtées par le Gouvernement Wallon en date du 3 juin 2003: *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée de l'ouvrage de prise d'eau souterraine dénommé Waimes-Champagne D1, code ouvrage 50/7/1/002, sis sur le territoire de la commune de Waimes (M.B. 15.07.2003)*. La zone de prévention rapprochée de l'ouvrage de prise d'eau a été délimitée sur base des distances fixes. Le périmètre extérieur est dès lors situé à 35 m de la chambre de collecte du drain et à 25 m de part et d'autre de la projection en surface de l'axe du drain. La zone de prévention éloignée a été déterminée sur base des caractéristiques hydrogéologiques et de la zone d'alimentation de la prise d'eau, ainsi que sur base des limites cadastrales et urbanistiques permettant le repérage de la zone sur le terrain.

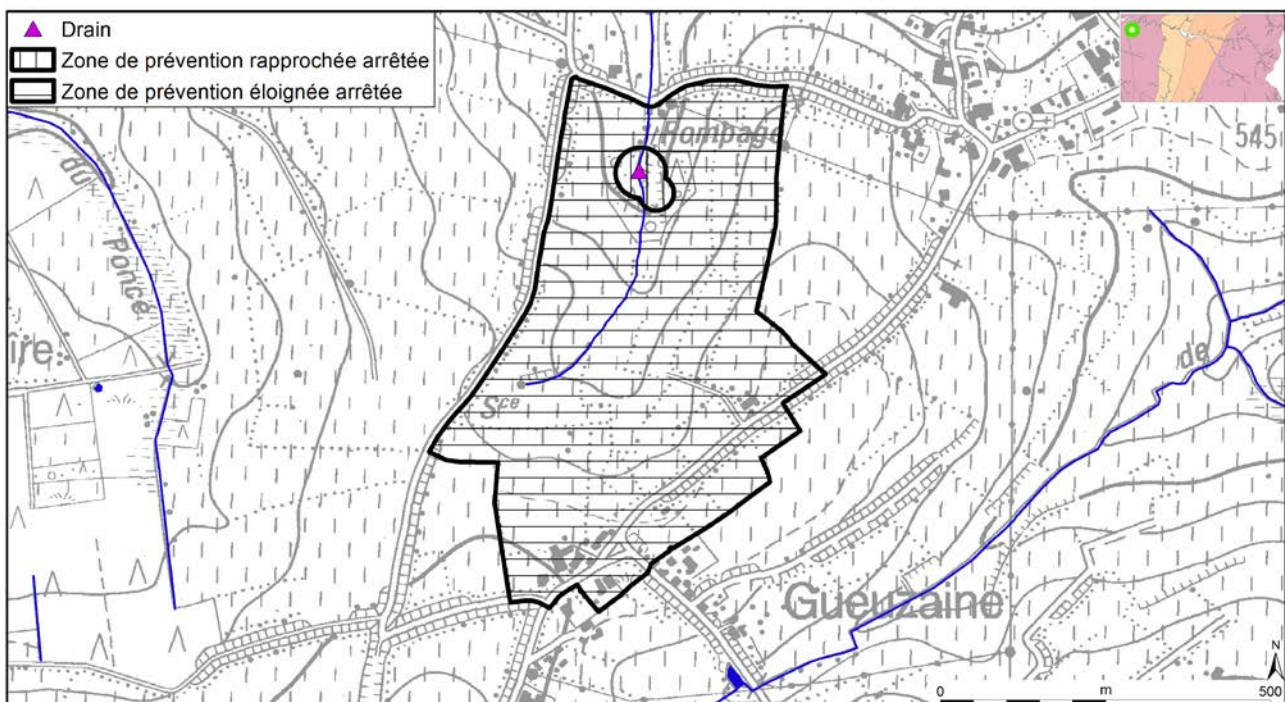


Figure VIII.1: Zones de prévention autour du drain "Champagne" à Waimes (SWDE)

VIII.3 ZONES DE PREVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE L'ADMINISTRATION COMMUNALE D'AMEL

La commune d'Amel possède cinq sites de captages répartis sur le territoire de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben. Les zones de prévention de quatre sites sont définies et déposés au SPW (Figure VIII.2). Deux zones ont été arrêtées par le Gouvernement Wallon en date du 10 novembre 2016. Les autres dossiers sont en cours de validation par l'administration régionale. Il est, dès lors, possible que les tracés finaux diffèrent, in fine, légèrement des tracés proposés par la commune. Les zones de prévention rapprochée (IIa) ont été délimitées en fixant une distance de 35 m autour de la prise d'eau concernée et 25 m autour des drains. Pour la zone de prévention éloignée (IIb), des distances (correspondant à une période de transfert de 50 jours) ont été calculées empiriquement en effectuant le produit de la conductivité hydraulique par le gradient¹⁴. Ces méthodes ont été utilisées pour déterminer les zones de prévention des prises d'eau d'Heppenbach & Halenfeld (code SPW: AMEL_02), Mödersheid & Hepscheid (code SPW: AMEL01_04), Moderscheid Forage (code SPW: AMEL_06) ainsi que Shoppen (code SPW: AMEL_03)(Wimmer, 2010). Le site de Wolfsbush, dans le sud-ouest de la carte, est à l'arrêt depuis 2011.

Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée des ouvrages de prise d'eau souterraine dénommés "Halenfeld captage 14b, Heppenbach captage 15a, Heppenbach captage 15b, Heppenbach captage 15c et Heppenbach captage 15d" sis sur le territoire de la commune d'Amel (M.B. 16.12.2016)

Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée des ouvrages de prise d'eau souterraine dénommés Schoppen captage 18a1, Schoppen captage 18a2, Schoppen captage NW et Schoppen captage SE sis sur le territoire des communes de Bütgenbach et Amel (M.B. 06.12.2016)

¹⁴ Ce produit correspond plutôt à un flux spécifique et non pas à une vitesse effective ou advective d'un soluté; il aurait fallu diviser par la porosité effective de transport.

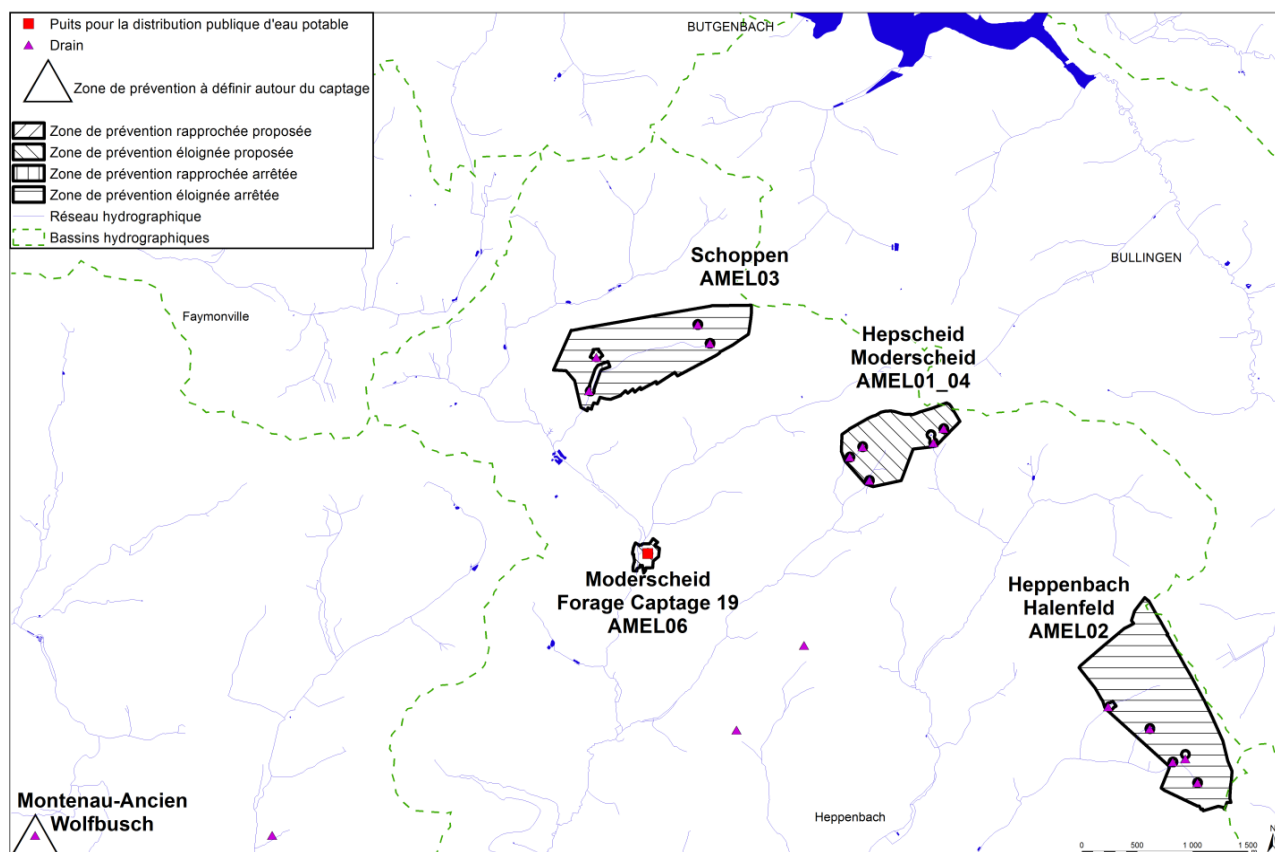


Figure VIII.2: Zones de prévention autour des captages de l'administration communale d'Amel

VIII.4 ZONES DE PREVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE L'ADMINISTRATION COMMUNALE DE BÜLLINGEN

La commune de Büllingen compte plusieurs de captage répartis sur le territoire couvert par la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben. Six zones de prévention sont arrêtées (Figure VIII.3). Pour les autres sites, soit les dossiers sont en cours de validation au SPW, soit une étude hydrogéologique pour déterminer ces zones doit être réalisée.

Les zones de prévention des prises d'eau de Göttchert et Kaufmannsquelle D1-D2 (code SPW AC_BULLINGEN01), Knepp D1-D2 (code SPW AC_BULLINGEN05) et Reumesvenn D1-D2-D3 (code SPW AC_BULLINGEN07), constituées d'ouvrages à écoulement gravitaire, ont été déterminées comme précédemment. Elles ont toutes été arrêtées le 9 janvier 2012: *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée des ouvrages de prise d'eau souterraine potabilisable dénommés Göttchert D1, D2, Kaufmannsquelle D1 et Kaufmannsquelle D2 sis sur le territoire de la commune de Büllingen (M.B. 14.02.2012)* ; *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée de l'ouvrage de prise d'eau souterraine potabilisable dénommé Knepp D1-D2 (Honsfeld) sis sur le territoire de la commune de Büllingen (M.B. 14.02.2012)* ; *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée de l'ouvrage de prise d'eau souterraine potabilisable dénommé Reumesvenn D1-D2-D3 sis sur le territoire de la commune de Büllingen (M.B. 14.02.2012)*. La même méthode a été utilisée pour les prises d'eau d'Ourquelle D1 à D3 (code SPW

AC_BULLINGEN08) et d'Ensebach (code SPW AC_BULLINGEN09). Les zones de prévention de ces ouvrages ont été arrêtées le 31 janvier 2013 et le 21 décembre 2012 respectivement : *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée des ouvrages de prise d'eau souterraine potabilisable dénommés Ourquelle D1-D2 et Ourquelle D3 sis sur le territoire de la commune de Büllingen* ; *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée des ouvrages de prise d'eau souterraine potabilisable dénommés Ensebach D1-D2 et Ensebach D3-D4-D5 sis sur le territoire de la commune de Büllingen*. Les zones de prévention des prises d'eau de Bahnschacht (code SPW AC_BULLINGEN02) ont été arrêtées en date du 31 mars 2014: *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée de l'ouvrage de prise d'eau souterraine potabilisable dénommé Bahnschacht D1-D2 sis sur le territoire de la commune de Büllingen (M.B. 23.05.2014)*.

Enfin, les prises d'eau de Lotten-Auf Nutzeknapp, Sassenvenn, Boxvenn et Weisserstein, constituées d'ouvrages à écoulements gravitaires ont été tracées par le bureau SGS dans le cadre d'études hydrogéologiques. La méthode des distances forfaitaire a été appliquée pour la zone de prévention rapprochée et le bassin d'alimentation a été associé à la zone de prévention éloignée. La méthodologie du bureau SGS basée sur l'utilisation de modèles mathématiques simplifiés a été utilisée pour déterminer les zones de prévention des puits Müringen-Bolder et Wirtzfeld-Röderhöhe. Le puits Hoscht a été mis hors service par la commune qui s'oriente vers un abandon définitif et donc aucune zone de prévention ne devrait être déterminée pour cet ouvrage.

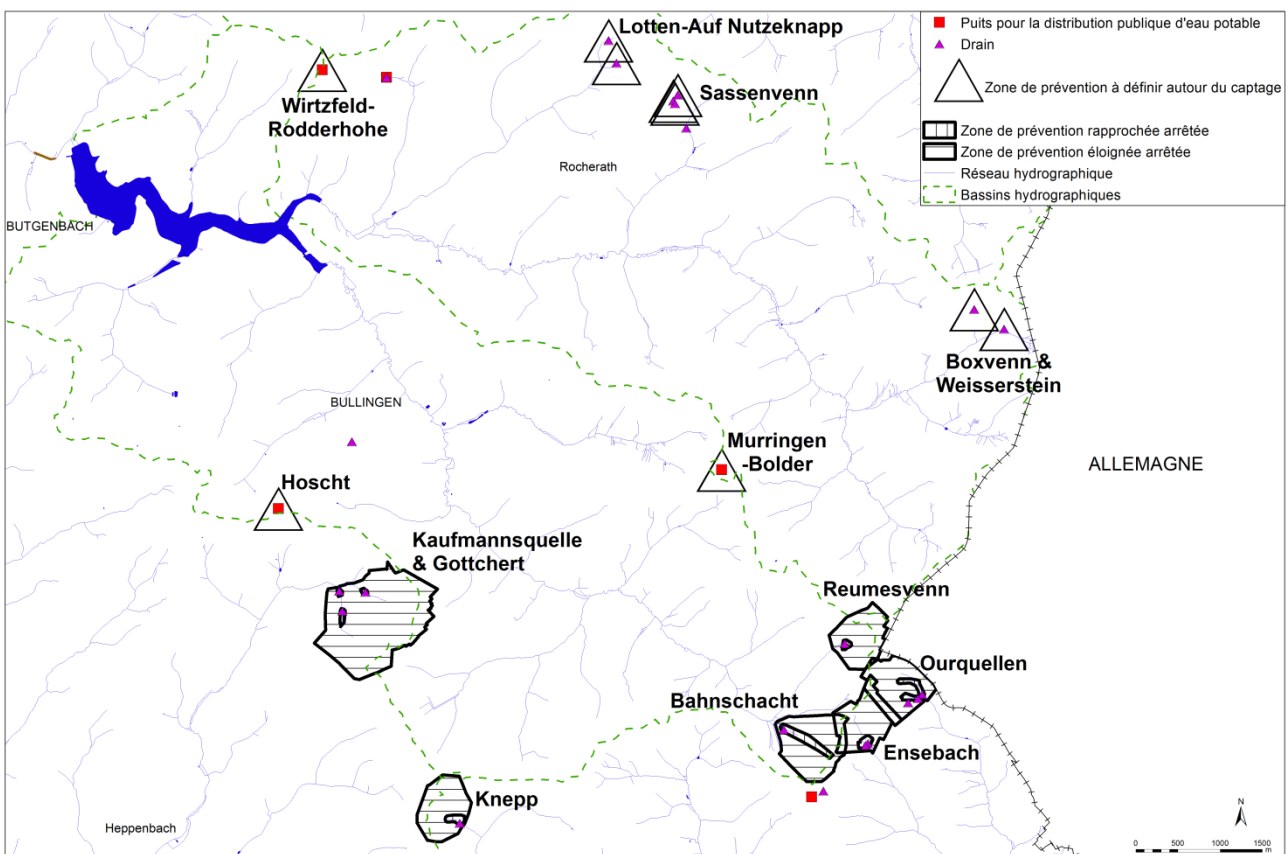


Figure VIII.3: Zones de prévention autour des captages de l'administration communale de Büllingen

VIII.5 ZONES DE PREVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE L'ADMINISTRATION COMMUNALE DE BÜTGENBACH

La commune de Bütgenbach exploite plusieurs sites de captages situés sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben (Figure VIII.4). Les zones de prévention autour de deux prises d'eau ont été arrêtées. Pour les autres captages, des études hydrogéologiques ont été effectuées dans le cadre de la détermination des zones de prévention par le bureau d'étude SGS et le dossier a été déposé au SPW.

La zone de prévention des puits Bütgenbach P2 (code SPW AC_BUTGENBACH10) et Hütte (code SPW AC_BUTGENBACH04) a été déterminée grâce à une méthodologie basée sur l'utilisation de modèles mathématiques simplifiés développée par le bureau SGS (2005a et 2005c). Des injections de contaminant réparties sur la zone modélisée ont été simulées et le temps de transfert mis par le polluant pour atteindre le captage calculé. En l'absence d'essais de traçage sur le site, aucune valeur de paramètres de transport n'est disponible. Dès lors, les valeurs de dispersivités correspondent à des valeurs déduites d'essais de traçage réalisés dans des terrains jugés similaires par les auteurs de l'étude et les valeurs de porosité effective de transport ont été mises par défaut aux valeurs de coefficient d'emmagasinement (SGS, 2005a et 2005c). Les paramètres de transport utilisés sont de 10 m pour la dispersivité longitudinale et une valeur constante de 0,1 % pour la porosité effective. Sur cette base, les zones de prévention ont été déterminées et adaptées aux réalités topographiques et cadastrales. Les zones de prévention du puits Bütgenbach P2 ont été arrêtées le 26 septembre 2007 : *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée de l'ouvrage de prise d'eau souterraine de catégorie B (potabilisable) dénommé Bütgenbach P2 sis sur le territoire de la commune de Bütgenbach (M.B. 19.10.2007)*. Celles du puits Hütte ont été arrêtées le 24 septembre 2007 : *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée de l'ouvrage de prise d'eau souterraine de catégorie B (potabilisable) dénommé Hütte sis sur le territoire de la commune Bütgenbach (M.B. 19.10.2007)*.

La même méthode a été utilisée pour tracer les zones de prévention (non arrêtées ou proposées) des prises d'eau Wasserturm et Domäne, chacune constituée d'un puits. Les prises d'eau de Berg sont constituées de deux drains (Berg I.1 et I.2) et d'un puits (Berg II). Dans le cas des prises d'eau par écoulement gravitaire, les zones de prévention proposées par le bureau d'étude SGS ont été déterminées sur base des distances fixes théoriques de 25 m pour la zone de prévention rapprochée (IIa) et des limites supposées du bassin d'alimentation des prises d'eau pour la zone de prévention éloignée (IIb). Ensuite, ces périmètres ont été adaptés aux limites cadastrales et urbanistiques

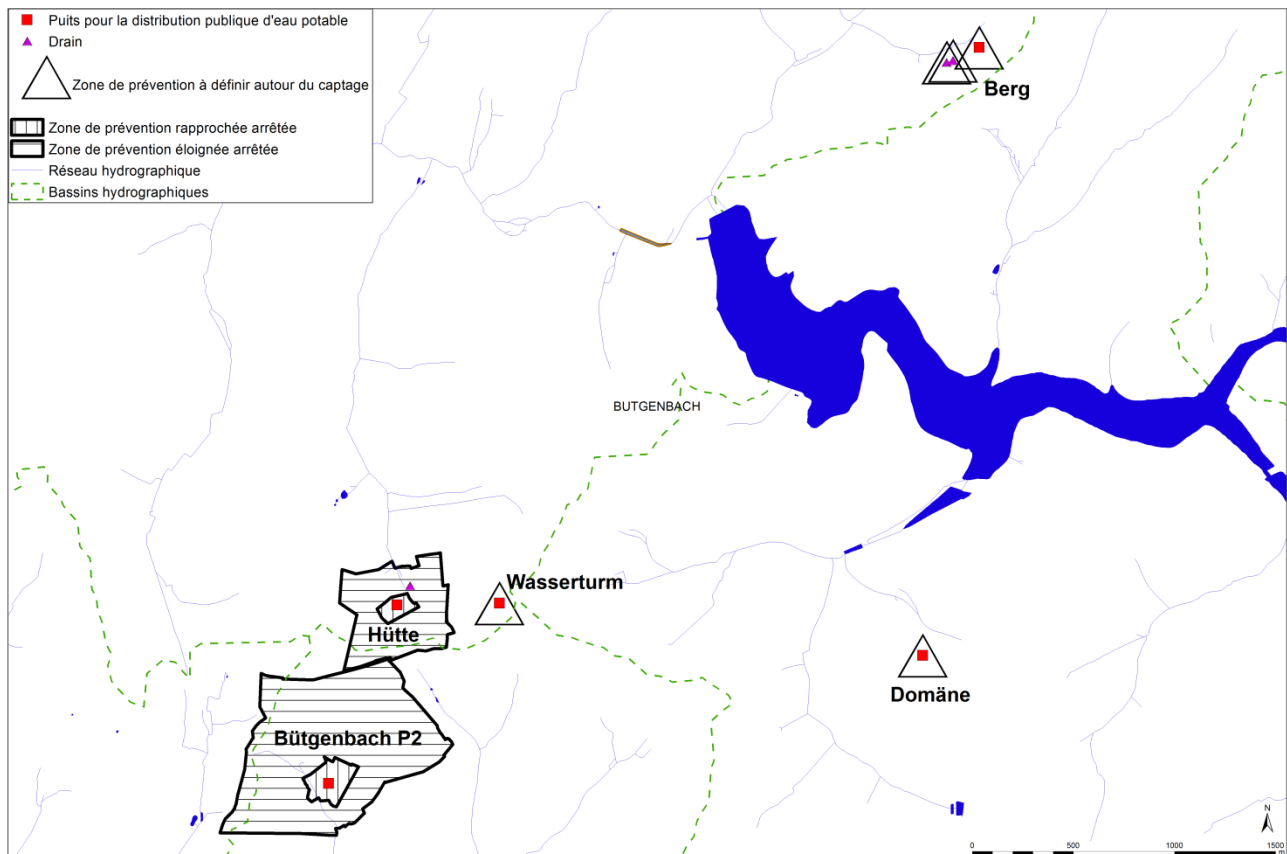


Figure VIII.4: Zones de prévention autour des captages de l'administration communale de Bütgenbach

VIII.6 ZONES DE PREVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE L'ADMINISTRATION COMMUNALE DE WAIMES

La commune de Waimes exploite plusieurs sites de captages répartis sur le territoire de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben (Figure VIII.5). Actuellement, une seule zone de prévention a été définie. Il s'agit la prise d'eau 'Forage Mon Antone'. Les études afin de délimiter les zones de prévention des sites de Belair et Crope sont en cours. Aucun tracé n'est encore disponible. Les prises d'eau pour lesquelles les titulaires ont mentionné un arrêt définitif ne sont pas reprises.

Les zones IIa et IIb du captage 'Forage Mon Antone' ont été déterminées sur base des temps de transferts pour un débit d'exploitation de 3,5 m³/h, avec adaptation du tracé aux limites cadastrales. Elles ont été arrêtées par le Gouvernement wallon en date du 27 avril 2016. *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée de l'ouvrage de prise d'eau souterraine dénommé "Mon Antone" sis sur le territoire de la commune de Waimes (M.B. 23.05.2016).*

Les zones de prévention à définir sont symbolisées sur la carte par un triangle vide, tracé autour du captage. En l'absence de données, il convient habituellement de se référer provisoirement aux distances fixes forfaitaires définies dans la législation soit:

- Pour la zone IIa : une distance horizontale minimale de 35 mètres à partir des installations de surface, dans le cas d'un puits, et par deux lignes situées à 25 mètres au minimum de part et d'autre de la projection en surface de l'axe longitudinale dans le cas d'une galerie ;
- Pour la zone IIb ; une distance horizontale de 1000 mètres.

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

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

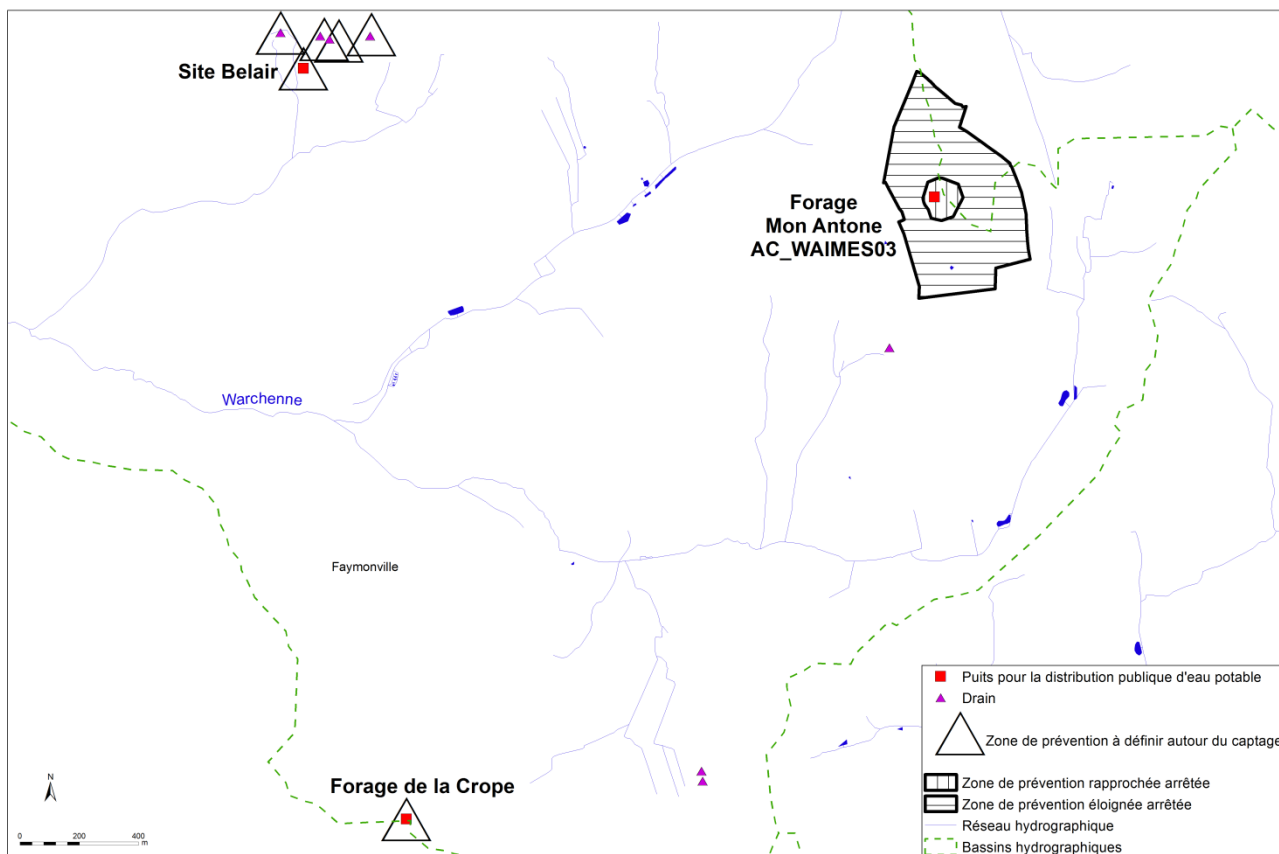


Figure VIII.5: Zones de prévention autour des captages de l'administration communale de Waimès

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 Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben. 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 régionale, au 1/100 000, du Synclinorium de l'Eifel (Vandenvin, 1990).

Les alluvions modernes ont été digitalisées sur base de la carte pédologique (CNSW, 2008).

Des descriptions de forages sont également disponibles auprès de l'administration wallonne (SPW), des sociétés de distribution publique d'eau potable et du Service Géologique de Belgique.

Vu l'échelle de ces documents cartographiques, nous attirons l'attention du lecteur sur la précision, toute relative, du tracé des limites géologiques et des failles de la présente carte hydrogéologique (dont l'échelle, elle, est 1/25.000). Dans le futur, la nouvelle carte géologique de cette région permettra d'améliorer ce volet.

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.

La carte 56/3-4 (Sankt Vith-Schoenberg), au sud, est basée sur la carte géologique de Legrand (1965). Dès lors, des discontinuités graphiques existent pour les quatre grandes unités hydrogéologiques présentes sur la carte.

A l'ouest, la carte 50/5-6 est basée sur la carte géologique (comprenant les alluvions) de Geukens (1963). Dès lors, les raccords ne sont pas identiques pour l'aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien. De plus, pour la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, le tracé des alluvions est basé sur la carte pédologique de Belgique contrairement à la carte située à l'ouest. Sur cette dernière, les alluvions de la Warche n'y figurent pas et le raccord entre les deux cartes n'est donc pas effectué.

Au nord, la carte hydrogéologique Elsenborn-Langert & Dreierherrenwald est basée sur le même fond géologique que la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben.

IX.1.2 Données météorologiques et hydrologiques

Sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, on compte deux stations météorologiques. Il s'agit des stations M53 de Roberville et MS17 de Mürringen de l'Institut Royal Météorologique. Les précipitations et les températures y sont mesurées depuis 1994 et 1992 respectivement.

Deux stations limnimétriques appartenant au Service Public de Wallonie sont également présentes (6981 Büllingen et 6971 Wirtzfeld). Elles sont gérées par le SETHY (SPW).

IX.1.3 Données hydrogéologiques

IX.1.3.1 Localisation des ouvrages

Dans la base de données BD-Hydro, 180 ouvrages situés sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben sont répertoriés. Parmi ces points, on compte 93 puits (puits forés et puits traditionnels), 8 piézomètres, 52 drains, 7 sources exploitées ou non et 20 sondes géothermiques¹⁵.

Lorsqu'ils sont connus, le tracé de l'axe des drains est cartographié. Les dimensions linéaires de ces ouvrages étant petites, ces lignes sont parfois peu visibles sur la carte principale (vu l'échelle employée 1/25.000).

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

IX.1.3.2 Données piézométriques

Peu de données piézométriques sont disponibles pour la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben. Un peu plus de 400 mesures de niveau d'eau sont encodées la base de données. Elles proviennent principalement de la DGARNE, des sociétés d'eau, des administrations communales, d'études hydrogéologiques, de la campagne de terrain menée lors de la réalisation de la carte hydrogéologique. Pour certains ouvrages, on dispose d'un court historique permettant d'étudier les fluctuations piézométriques au cours du temps. Ces données sont analysées au chapitre IV. Sur le poster, une quarantaine de niveaux ponctuels sont présentés.

IX.1.3.3 Données hydrochimiques et tests sur les puits

L'essentiel des données hydrochimiques ont été fournies par la Direction des Eaux Souterraines (DESO-SPW). La SWDE, des administrations communales divers rapports et les prélèvements faits lors des campagnes de terrain (en 2013) ont complété ce jeu initial.

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

Une septantaine de sites (puits et piézomètres, drains, galeries, sources) sont concernés par les analyses chimiques. Ces analyses caractérisent surtout les eaux logées dans l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur mais au moins cinq analyses sont disponibles pour chaque unité hydrogéologique (excepté l'aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien, quasi absent de la carte). 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, afin de mieux connaître le contexte hydrogéologique dans lequel ces ouvrages sont implantés. Ces données proviennent généralement des sociétés de distribution publique d'eau ou d'études hydrogéologiques diverses. Le résultat de ces tests (essais de pompage et traçage essentiellement) est synthétisé au chapitre VII. Sur la carte thématique des informations complémentaires, les puits ayant fait l'objet de tels tests sont mis en évidence par divers symboles.

IX.1.4 Autres données

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

Sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, 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 quelques 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. De plus, certaines ont fait l'objet d'études hydrogéologiques mais ne sont pas encore validées par arrêté ministériel. 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;
 - 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:

1. le fond topographique de la carte IGN 1/10.000;
2. le réseau hydrographique;
3. les unités hydrogéologiques;
4. les failles;
5. la localisation des points d'eau:
 - des puits des sociétés de distribution d'eau;
 - des puits privés exploités et déclarés au Service Public de Wallonie;
 - des piézomètres;
 - les drains;
 - les sources exploitées et/ou où des données chimiques sont disponibles;
 - les sondes géothermiques;
6. la localisation des stations climatiques et/ou limnimétriques;

7. la cote piézométrique là où l'information est disponible, avec la date de la mesure;
8. les zones de prévention arrêtées par le Gouvernement wallon;
9. les zones de prévention proposées;
10. les zones de prévention à définir;
11. 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). Les résultats des quelques tests réalisés sur quelques puits de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben sont résumés au chapitre VII.

Le caractère des nappes rencontrées est également spécifié. Il s'agit de définir si les nappes sont libres, semi-captives (semi-libres) ou captives (sous-chapitre IV.2.5).

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 (D GARNE). Les volumes représentés sont les volumes déclarés par les titulaires au Service Public de Wallonie, pour l'année 2015 pour les volumes destinés à la distribution publique d'eau et pour l'année 2014 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 cette carte thématique, des volumes moyens prélevés correspond à la moyenne des cinq dernières années (2010-2014, 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 ou de l'exploitation réelle des nappes. Elles reflètent simplement l'importance d'un site d'exploitation pendant les cinq années considérées. Parmi ces dernières, il se peut que certaines d'entre elles soient des années sans prélèvement. Le chapitre VI consacré à l'exploitation des aquifères reprend l'historique des principaux captages de la carte.

Lorsqu'une prise d'eau est constituée d'une batterie d'ouvrages (souvent des drains), le volume déclaré est, parfois; une mesure unique et globale pour l'ensemble du site.

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 Coupe hydrogéologique

Parmi les éléments présentés sur le poster de la carte hydrogéologique Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben, 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.2.3.

IX.3.4 Tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie'

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

X. BIBLIOGRAPHIE

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

BCG (2011): Mr A. Heinen Im Himmelchen, 4750 Butgenbach, Puits « Bohrbrunnen Heinen Andreas » code RW 50/7/2/7, Forage et pompages d'essais. Dossier 09675. Mars 2011. 11 p +annexes.

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

Brouyère, S. ; Gesels, J. ; Goderniaux, P. ; Jamin, P. ; Robert, T. ; Thomas, L. ; Dassargues, A. ; Bastien, J. ; Van Wittenberge, F. ; Rorive, A. ; Dossin, F. ; Lacour, J.-L. ; Le Madec, D. ; Nogarède, P. ; Hallet, V. (2009) : Caractérisation hydrogéologique et support à la mise en œuvre de la Directive Européenne 2000/60 sur les masses d'eau souterraine en Région Wallonne (Projet Synclin'EAU), livrables D.2.22 & D.3.12 – partie RWM021 (caractérisation: synthèse), D3.52 & D4.52 (interactions ESU-ESO), Traçages. Convention RW et SPGE-Aquapole

Bultynck P, & Dejonghe L. (2001): Lithostratigraphic scale of Belgium. *Geologica Belgica*, Volume 4, N°1-2, Bruxelles

César E, Ruthy I. & Dassargues A (2013): Carte hydrogéologique de Wallonie, Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben 50/7-8 & 50A/5. 1:25000. Namur, Service Public de Wallonie, Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement, 1 notice explicative de 105 p. + annexes

Légende de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (**CNSW**) – version 2 (2007). Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux – Laboratoire de Géopédologie, en relation avec le PCNSW (convention pour le compte de la Région Wallonne – DGA), 54 p. + 2 annexes

CNOSW (2007): Carte Numérique d'Occupation du Sol de Wallonie, 1/10 000. SPW - DGARNE - Direction du Développement rural (sous la direction de A. Mokadem). Données vectorielles, Version 2_07, 02-2007.

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

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

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).

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

<http://spw.wallonie.be/dce/fme/RWM100.pdf> <http://spw.wallonie.be/dce/fme/RWM102.pdf>

<http://spw.wallonie.be/dce/fme/RWR101.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, 68pp + annexes

GEOLYS (2009): Rapport D609, Interprétation d'essais de pompage. Monsieur Luxen Rue Ruthuer 17 B-4950 Waimes. Août 2009. 10p.

GEOLYS (2015): Dossier de demande de délimitation des zones de prévention: Captage de la Crope (50/7/4/001) - Commune de Waimes (Faymonville). Rapport D1561-2. Décembre 2015. 23 p + annexes

Geukens F. (1963): *Carte géologique de Stavelot-Malmédy (feuille n°160) au 1/25.000 et son texte explicatif*, Institut Géographique Militaire, Bruxelles.

Geukens F. (1986): Commentaires à la carte géologique du Massif de Stavelot, *Aardkundige Mededelingen*, 3: 15-29. Carte géologique au 1/100 000 (approximativement).

Geukens F. (1999): Notes accompagnant une révision de la carte structurale du Massif de Stavelot, *Aardkundige Mededelingen*, 9: 183-190. Carte au 1/115 000 (approximativement).

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.

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>

Legrand R. (1965): Carte géologique de Belgique, planchette N°233 « Sankt-Vith – Schoenberg ». Service géologique de Belgique, Bruxelles.

Mormal P. & Tricot C. (2004): L'aperçu climatique des Hautes-Fagnes. *IRM. Publication scientifique et technique* n°36, 32 p.

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

SGS (2005a): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Bütgenbach: Prises d'eau de Hütte (Bütgenbach). Rapport E467-1 final. Mai 2005. 42 p +annexes.

SGS (2005b): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Bütgenbach: Prises d'eau de Wasserturm (Bütgenbach). Rapport E467-2 final. Mai 2005. 45 p +annexes.

SGS (2005c): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Bütgenbach: Prises d'eau de Bütgenbach P2 (Bütgenbach). Rapport E467-3 final. Mai 2005. 42 p +annexes.

SGS (2005d): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Bütgenbach: Prises d'eau de Domäne. Rapport E467-4 final. Octobre 2005. 41 p +annexes.

SGS (2005e): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Bütgenbach: Prises d'eau de Berg I et Berg II (Berg). Rapport E467-5 final. Octobre 2005. 46 p +annexes.

SGS (2007a): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Büllingen: Prises d'eau d'Ourquellen (Losheimergraben). Rapport E550-9a final. Mai 2007. 43 p +annexes.

SGS (2007b): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Büllingen: Prises d'eau d'Ensebach (Losheimergraben). Rapport E550-9b final. Mai 2007. 39 p +annexes.

SGS (2007c): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Büllingen: Prises d'eau de Reumesvenn (Losheimergraben). Rapport E550-8a final. Mai 2007. 41 p +annexes.

SGS (2007d): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Büllingen: Prises d'eau de Bahnschacht (Buchholz). Rapport E550-8b final. Mai 2007. 41 p +annexes.

SGS (2007e): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Büllingen: Prises d'eau de Knepp (Honsfeld). Rapport E550-5 final. Mai 2007. 41 p +annexes.

SGS (2007f): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Büllingen: Prises d'eau de Kaufmannsquelle et Göttchert (Büllingen). Rapport E550-1 final. Mai 2007. 48 p +annexes.

SGS (2013a): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Büllingen: Prises d'eau du puits Bolder (Mürringen). Rapport E550-6 final. Mars 2013. 42 p +annexes.

SGS (2013b): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Büllingen: Prises d'eau du puits Rodderhöhe (Wirtzfeld). Rapport E550-2 final. Mars 2013. 41 p +annexes.

SGS (2013c): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Büllingen: Prises d'eau de Weisser Stein. Rapport E550-7a final. Mars 2013. 44 p +annexes.

SGS (2013d): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Büllingen: Prises d'eau de Boxvenn. Rapport E550-7b final. Mars 2013. 40 p +annexes.

SGS (2013e): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Büllingen: Prises d'eau de Lotten (Rocherath). Rapport E550-3 final. Mars 2013. 45 p +annexes.

SGS (2013f): Etude hydrogéologique dans le cadre de l'établissement des zones de prévention des prises d'eau de la commune de Büllingen: Prises d'eau de Sassenvenn (Rocherath). Rapport E550-4 final. Mars 2013. 47 p +annexes.

SGS (2014): 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 Mon Antône. Rapport E1276. Mars 2014. 40 p + annexes

TBE (2010): Tableau de bord de l'environnement wallon 2010 SPW-DGARNE-DEMNA-DEE. Cellule Etat de l'environnement wallon, 230p, ISBN : 978-2-80560017-3.

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

Vandenvén 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), pp. 103-113

Vasbinder N. (2006): Etude géologique et hydrogéologique du bassin de la Warchenne. *Travail de fin d'études, Université de Liège*. 134 p.

Wimmer G (2010): Etude hydrogéologique dans la carte de la délimitation des zones de prévention des prises d'eau communales situées à Heppenbach, Möderscheid et Schoppen. Commune d'Amel. Rapport WG 31017E001F. 25 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*

ANNEXE 1: LISTE DES ABREVIATIONS

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.

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 : Société Publique d'Aide à la Qualité de l'Environnement

Boulevard d'Avroy 38/6 à 4000 Liège

<http://www.spaque.be> et <http://www.walsols.be/>

▪ Service Public de Wallonie (**SPW**)

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

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

Département de l'Environnement et de l'Eau

Direction des Eaux souterraines (**DESO**) & Direction des Eaux de Surface

Avenue Prince de Liège, 15 à 5100 Jambes

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

Département de la Ruralité et des Cours d'eau

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

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

Direction des voies hydrauliques (D.G.2) - Division des Études et des Programmes- Direction des Etudes hydrologiques et des Statistiques + service d'études hydrologiques (SETHY)(D.212).

Boulevard du Nord, 8 à 5000 NAMUR

Depuis le 1^{er} août 2008, ce service fait partie de la Direction Générale Opérationnelle Mobilité et Voies Hydrauliques (DGO2), Département des études et de l'appui à la gestion. Anciennement, ce service faisait partie du Ministère wallon de l'Équipement et des Transports (MET) devenu SPW.

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

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

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

SWDE : Société Wallonne des Eaux

Rue de la Concorde, 41 à 4800 VERVIERS

<http://www.swde.be>

ANNEXE 2: TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure I.1: Localisation de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben 50/7-8 & 50A/5.....	5
Figure II.1: Territoires paysagers – Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben	6
Figure II.2: Cadres topographique et hydrologique - 50/7-8 & 50A/5	7
Figure II.3: Répartition de l'occupation du sol de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben.....	8
Figure II.4: Occupation du sol – Carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben.....	9
Figure II.5: Répartition des différents types de sol – Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben	11
Figure III.1: Carte géologique de la Wallonie (Boulvain & Pingot, 2011; modifié)	12
Figure III.2 Fonds géologiques utilisés par la carte hydrogéologique 50/7-8 & 50A/5.....	13
Figure IV.1: Principaux aquifères de Wallonie – Carte de Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben (SPW-DGO3, 2014; modifié)	19
Figure IV.2: Chroniques piézométriques du puits Faymonville (Vasbinder, 2006)	27
Figure IV.3: Chroniques piézométriques du puits Belair 2004 (Vasbinder, 2006)	27
Figure IV.4: Localisation des ouvrages de Belair 2004, Ruthier Faymonville, Faymonville, Forage de Mon Antône, Forage de la Crope, P.A.3, P.A.7 et P.A.2	28
Figure IV.5: Chroniques piézométriques du puits P.A.2.....	30
Figure IV.6: Chroniques piézométriques du puits P.A.3.....	30
Figure IV.7: Chroniques piézométriques du puits P.A.7.....	31
Figure IV.8: Localisation du bassin de la Warchenne	32
Figure IV.9: Localisation des sites de Kaufmannsquelle, Göttchert, Mürringen-Bolder, Reumesvenn, Bahnschacht, Ourquelle, Knepp et Ensebach	34
Figure IV.10 : Localisation des ouvrages drainants des sites de Sassenvenn, Weisserstein et Boxvenn.....	37
Figure IV.11 : Localisation des bassins d'alimentation des ouvrages de l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur disposant de bilans hydrogéologiques	39
Figure IV.12 : Evolution des débits totaux des prises drainantes et périodes de détermination des coefficients de tarissement pour la période été-automne 2004 (SGS, 2013f).....	41
Figure IV.13 : Evolution des débits totaux des prises drainantes et périodes de détermination des coefficients de tarissement pour la période hiver 2005 (SGS, 2013f)	41
Figure IV.14 : Localisation des ouvrages du site de Berg	44
Figure IV.15 : Localisation des ouvrages de Hütte, Wasserturm et Bütgenbach P2 et isopièzes (d'après SGS, 2005a).....	47
Figure IV.16 : Localisation des bassins d'alimentation (tels que calculés par SGS) des ouvrages de l'aquiclude à niveaux aquifères de Villé disposant de bilans hydrogéologiques.....	49
Figure IV.17 : Localisation des bassins d'alimentation (tels que calculés par SGS) des ouvrages de l'aquiclude du Dévonien inférieur disposant de bilans hydrogéologiques	51
Figure IV.18 : Localisation des sites de captages Domäne, Wirtzfeld-Rodderhöhe et Lotten-Auf Nutzeknapp	52
Figure V.1: Carte des masses d'eau souterraine – Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben	56
Figure V.2 : Diagramme de Piper des eaux souterraines de la carte 50/7-8 & 50A/5	58
Figure V.3: Zones vulnérables aux nitrates - Région wallonne	62
Figure V.4 : Localisation des ouvrages 'Survey Nitrates' retenus pour l'analyse	63
Figure V.5 : Evolution des teneurs en nitrates de certains ouvrages de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben	64
Figure V.6: Pesticides en Région wallonne (ICEW, 2012; carte 19 modifiée).....	66
Figure VI.1: Localisation des sites de captages publics situés sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben.....	69

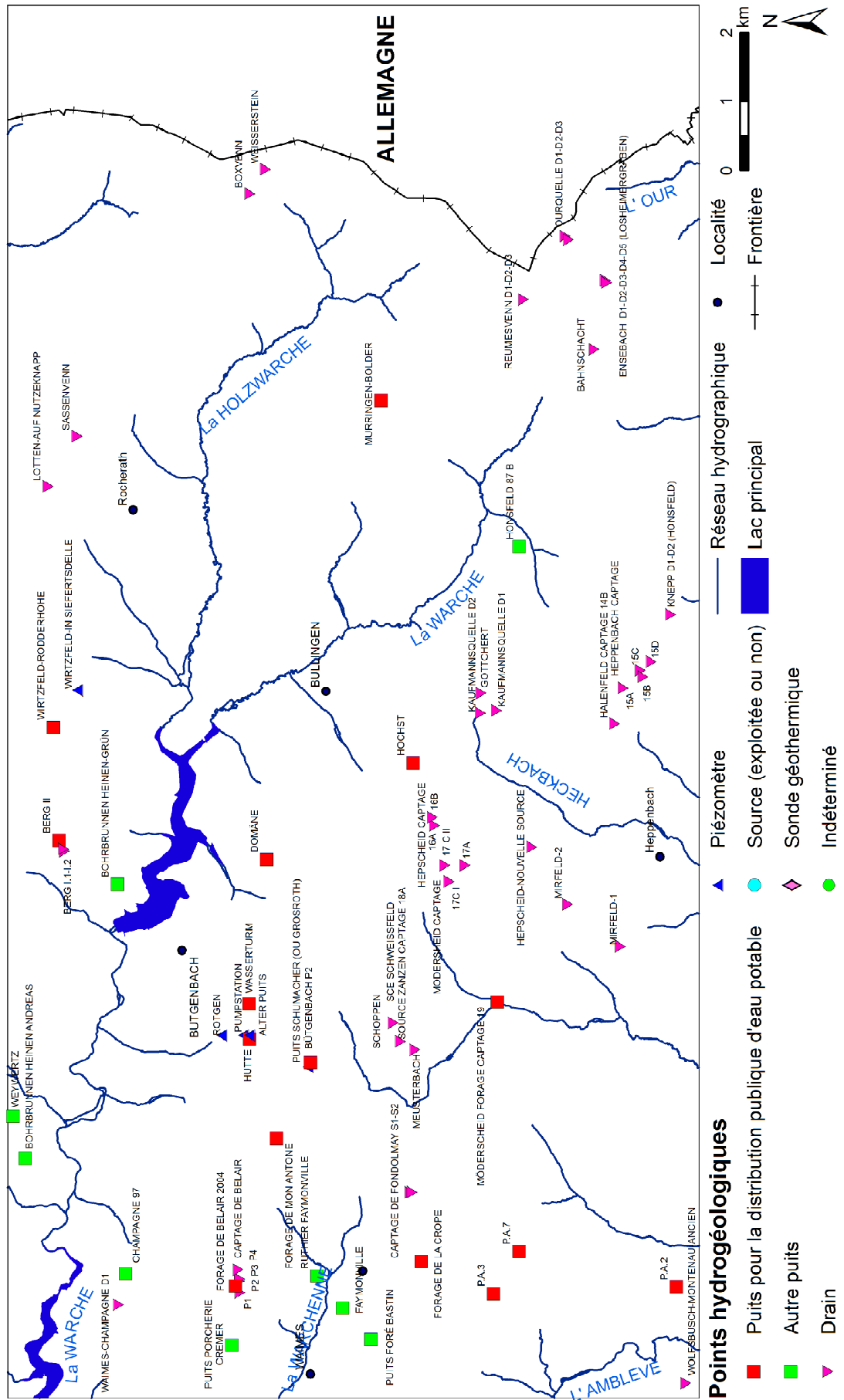
Figure VI.2: Volumes prélevés par la SWDE ouvrage Waimes-Champagne D1.....	69
Figure VI.3: Historique des volumes prélevés par la commune d'Amel sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben	70
Figure VI.4: Historique des volumes prélevés par la commune de Büllingen, dans le nord de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben	72
Figure VI.5: Historique des volumes prélevés par la commune de Büllingen, dans le centre-est de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben	73
Figure VI.6: Historique des volumes prélevés par la commune de Büllingen, dans le sud de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben	74
Figure VI.7: Historique des volumes prélevés par la commune de Bütgenbach sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben	75
Figure VI.8: Historique des volumes prélevés par la commune de Waimes sur la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben	76
Figure VII.1: Puits ayant fait l'objet d'essais de pompage (carte 50/7-8 & 50A/5)	80
Figure VIII.1: Zones de prévention autour du drain "Champagne" à Waimes (SWDE)	88
Figure VIII.2: Zones de prévention autour des captages de l'administration communale d'Amel.....	90
Figure VIII.3: Zones de prévention autour des captages de l'administration communale de Büllingen.....	91
Figure VIII.4: Zones de prévention autour des captages de l'administration communale de Bütgenbach.....	93
Figure VIII.5: Zones de prévention autour des captages de l'administration communale de Waimes.....	95

Tableaux

Tableau II.1: Répartition détaillée de l'occupation du sol au sein de la catégorie "Forêts et milieux semi - naturels" de la carte 50/7-8 & 50A/5 (d'après CNOSW, 2007).....	8
Tableau II.2: Répartition des différents types de sol - Carte 50/7-8 & 50A/5.....	10
Tableau IV.1: Unités hydrogéologiques de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben.....	23
Tableau IV.2: Mesures piézométriques au droit des ouvrages de Ruthier Faymonville, Forage de la Crope, Forage de Mon Antône, et Belair 2004.....	29
Tableau IV.3 : Bilan hydrogéologique réalisé pour le bassin de la Warchenne (Vasbinder, 2006)	32
Tableau IV.4 : Bilan hydrogéologique réalisé sur le puits Mürringen-Bolder (SGS, 2013a)	35
Tableau IV.5.a : Bilans hydrogéologiques réalisés sur les drains de l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur (SGS 2005, 2007 et 2013)	38
Tableau IV.6.b : Bilans hydrogéologiques réalisés sur les drains de l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur (suite)	39
Tableau IV.7 : Amplitude des variations des débits des prises d'eau étudiées (SGS 2005, 2007 et 2013)	42
Tableau IV.8 : Coefficients de tarissement des prises d'eau étudiées (SGS 2005, 2007 et 2013).....	43
Tableau IV.9 : Bilan hydrogéologique réalisé sur le site de Berg (aquiclude à niveaux aquifères de Villé) (SGS, 2005e).....	45
Tableau IV.10 : Mesures piézométriques au droit des ouvrages de Hütte, Wasserturm, Bütgenbach P2 et quatre piézomètres.....	48
Tableau IV.11 : Bilans hydrogéologiques réalisés sur les puits Hütte, Wasserturm et Bütgenbach P2 (SGS 2005a, 2005b, 2005c)	48
Tableau IV.12 : Bilans hydrogéologiques réalisés sur les puits Domäne et Wirtzfeld-Rodderhöhe (SGS 2005d et SGS 2013b).....	50
Tableau IV.13 : Bilans hydrogéologiques réalisés sur le site de Lotten-Auf Nutzeknapp (SGS 2013e).....	51
Tableau IV.14 : Mesures piézométriques au droit des ouvrages de Domäne et Wirtzfeld-Rodderhöhe et deux piézomètres.....	53

Tableau V.1: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien Inférieur	59
Tableau V.2: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquiclude à niveaux aquifères de Villé.....	60
Tableau V.3 : Caractéristiques hydrochimiques de l'aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien	61
Tableau V.4 : Paramètres microbiologiques de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben.....	65
Tableau V.5 : Concentrations en pesticides de certains ouvrages de la carte Bütgenbach-Büllingen & Losheimergraben	67
Tableau VII.1: Valeurs du coefficient de perméabilité en fonction de la granulométrie (Castany, 1998).....	78
Tableau VII.2: Intervalles de valeurs indicatives pour la conductivité hydraulique de différentes lithologies (échelles macroscopique & mégascopique) (Dassargues, 2010).....	79
Tableau VII.3: Intervalles de valeurs indicatives pour la porosité (n) et la porosité effective de drainage (ne) de différentes lithologies (échelles macroscopique & mégascopique) (Dassargues, 2010)	79
Tableau VII.4: Synthèse des paramètres hydrogéologiques de l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur (SGS, 2013b; Vasbinder, 2006; Geolys 2009; BCG, 2011)	82
Tableau VII.5 : Synthèse des paramètres hydrogéologiques de l'aquiclude à niveaux aquifères de Villé (SGS, 2005a, 2005b et 2005c)	84
Tableau VII.6 : Synthèse des paramètres hydrogéologiques de l'aquiclude du Dévonien inférieur (SGS, 2005b et 2013b) ..	85

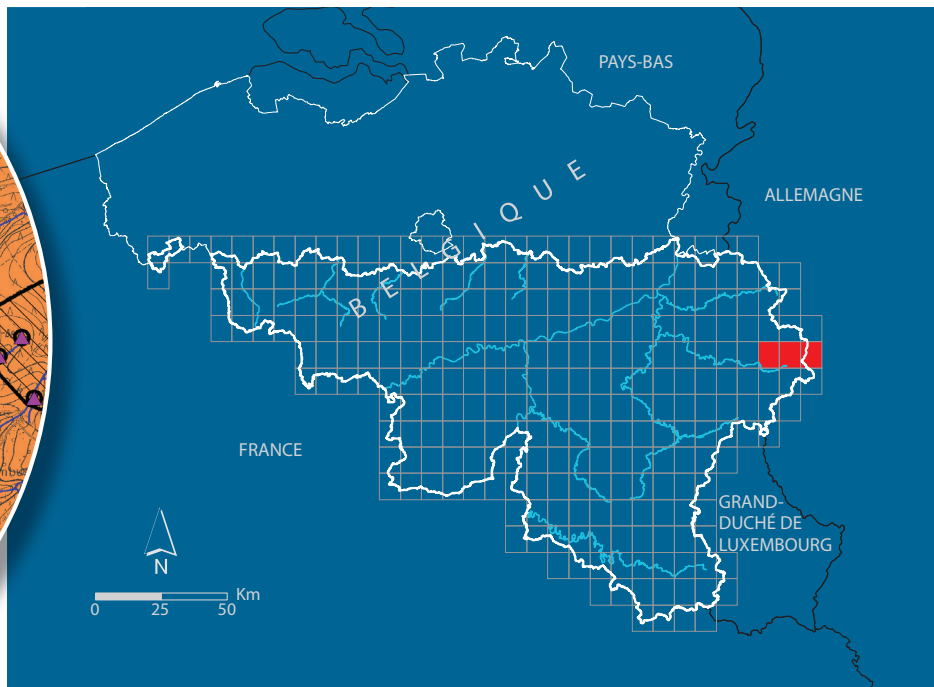
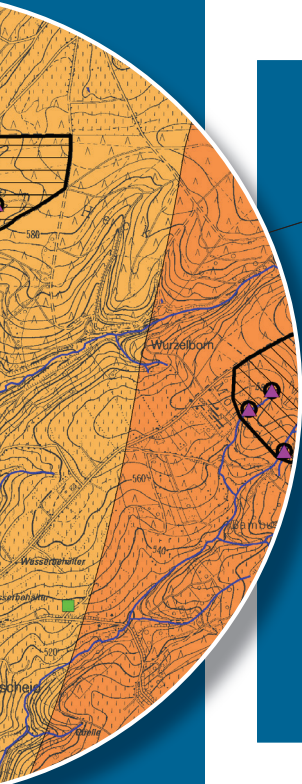
ANNEXE 3: CARTE DE LOCALISATION



ANNEXE 4: COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES OUVRAGES CITES DANS LA NOTICE

Identifiant RW	Code RW	Nom	Type	X (m)	Y (m)	Prof (m)
3553	50/7/5/001	ALTER PUIITS	Piézomètre	279275	124770	40
1845	50/8/9/003	BAHNSCHACHT	Drain	289212	119692	2,6
20014	50/7/3/022	BERG I.1	Drain	281940	127355	2,8
31151	50/7/3/023	BERG I.2	Drain	281971	127364	2,8
20015	50/8/1/006	BERG II	Puits	282101	127429	3
41932	50/7/2/007	BOHRBRUNNEN HEINEN ANDREAS	Puits	277496	127922	69
47353	50/7/3/026	BOHRBRUNNEN HEINEN-GRÜN	Puits	281464	126586	64
6144	50/9/4/002	BOXVENN	Drain	291468	124670	2,2 à 3,4
20978	50/7/5/014	BÜTGENBACH P2	Puits	278885	123794	90
4560	50/7/1/001	CAPTAGE DE BELAIR : PUIITS 1	Drain	275543	124811	
26083	50/7/4/012	CAPTAGE DE BELAIR : PUIITS 2	Drain	275711	124820	
26084	50/7/4/013	CAPTAGE DE BELAIR : PUIITS 3	Drain	275742	124815	
26085	50/7/4/014	CAPTAGE DE BELAIR : PUIITS 4	Drain	275879	124836	
7881	50/7/5/003	CAPTAGE DE FONDOLMAY S1	Drain	277000	122320	
3856	50/7/5/005	CAPTAGE DE FONDOLMAY S2	Drain	276996	122353	
12519	50/7/1/009	CHAMPAGNE 97	Puits	275819	126466	45
5253	50/7/6/005	DOMÄNE	Puits	281822	124426	53
7482	50/9/7/001	ENSEBACH D1-D2 (LOSHEIMERGRABEN)	Drain	290209	119530	3
39011	50/9/7/006	ENSEBACH D3-D4-D5 (LOSHEIMERGRABEN)	Drain	290180	119506	3
12397	50/7/4/006	FAYMONVILLE	Puits	275323	123331	29
27353	50/7/4/015	FORAGE DE BELAIR 2004	Puits	275642	124879	92
7950	50/7/4/001	FORAGE DE LA CROPE	Puits	276001	122192	47
5445	50/7/5/011	FORAGE DE MON ANTOINE	Puits	277781	124286	59
912	50/8/7/010	GOTTCHERT	Drain	284230	121324	2,8
6576	50/8/7/005	HALENFELD CAPTAGE 14B	Drain	283787	118640	
6268	50/8/7/001	HEPPENBACH CAPTAGE 15A	Drain	284305	119270	
4420	50/8/7/004	HEPPENBACH CAPTAGE 15B	Drain	284465	118979	
2240	50/8/7/003	HEPPENBACH CAPTAGE 15C	Drain	284562	119024	
411	50/8/7/006	HEPPENBACH CAPTAGE 15D	Drain	284688	118863	
44759	50/8/4/025	HEPSCHIED CAPTAGE 16A	Drain	282311	121995	
44760	50/8/4/026	HEPSCHIED CAPTAGE 16B	Drain	282431	122030	
7011	50/7/9/003	HEPSCHIED-NOUVELLE SOURCE	Drain	282000	120590	
3084	50/8/4/005	HOCHST	Puits	283220	122310	60
11901	50/8/8/005	HONSFELD 87 B	Puits	286361	120775	30
4094	50/7/5/013	HUTTE	Puits	279223	124675	186
91	50/8/7/002	KAUFMANNSQUELLE D1	Drain	283978	121100	3
39031	50/8/7/009	KAUFMANNSQUELLE D2	Drain	283942	121334	3
1914	50/8/8/001	KNEPP D1-D2 (HONSFELD)	Drain	285370	118583	2
3321	50/8/2/001	LOTTEN-AUF NUTZEKNAPP	Drain	287227	127589	
		LOTTEN-AUF NUTZEKNAPP 2	Drain			

2676	50/7/9/001	MIRFELD-1	Drain	280560	119310	
4878	50/7/9/002	MIRFELD-2	Drain	281170	120075	
44758	50/7/6/007	MODERSCHIED CAPTAGE 17 C II	Drain	281735	121850	
3487	50/7/6/003	MODERSCHIED CAPTAGE 17A	Drain	281737	121556	
44757	50/7/6/006	MODERSCHIED CAPTAGE 17C I	Drain	281497	121790	
44756	50/7/9/007	MÖDERSCHIED FORAGE CAPTAGE 19	Puits	279760	121090	
3107	50/7/7/001	MONTENAU-WOLFSBUSCH- NOUVEAU	Drain	273942	118541	
2314	50/8/6/001	MURRINGEN-BOLDER	Puits	288474	122772	100
1306	50/9/7/004	OURQUELLE D1-D2	Drain	290851	120109	1,3 à 3,5
38851	50/9/7/005	OURQUELLE D3	Drain	290802	120061	
1253	50/7/7/004	P.A.2	Puits	275630	118500	12,4
3414	50/7/7/005	P.A.3	Puits	275532	121145	45,5
5599	50/7/7/006	P.A.7	Puits	276140	120778	4,55
52373	50/7/4/018	PUITS FORÉ BASTIN	Puits	274870	122917	72
29392	50/7/1/011	PUITS PORCHERIE CREMER	Puits	274789	124929	25
4151	50/7/5/009	PUITS SCHUMACHER (OU GROSROTH)	Piézomètre	278820	123832	68
38411	50/7/5/018	PUMPSTATION	Piézomètre	279276	124680	
3999	50/8/9/004	REUMESVENN D1-D2-D3	Drain	289934	120712	2,8
149	50/7/2/001	ROTGEN	Piézomètre	279275	125080	
12162	50/7/4/008	RUTHIER FAYMONVILLE	Puits	275786	123698	47
7270	50/8/3/001	SASSENVENN (1-2-3) 3 drains	Drain	287955	127170	2
1330	50/7/6/002	SCHOPPEN-SCE SCHWEISSFELD	Drain	279454	122594	
8162	50/7/5/007	SCHOPPEN-SOURCE ZANZEN CAPTAGE 18A	Drain	279188	122491	
6702	50/7/1/002	WAIMES-CHAMPAGNE D1	Drain	275371	126570	3
5671	50/7/6/004	WASSERTURM	Puits	279729	124684	56
3978	50/9/4/001	WEISSERSTEIN	Drain	291822	124441	2
7729	50/8/1/001	WIRTSFELD-IN SIEFERTSDELLE	Piézomètre	284275	127165	
3699	50/8/1/003	WIRTSFELD-RODDERHOHE	Puits	283738	127514	105
7438	50/7/7/003	WOLFSBUSCH-MONTENAU-ANCIEN	Drain	274230	118360	



SPW | Éditions, CARTES

Dépôt légal : D/2017/12.796/4 – ISBN : 978-2-8056-0228-3

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

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