

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 Sart – Xhoffrai



SART - XHOFFRAI

50/1-2

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

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



NOTICE EXPLICATIVE

2018

Première version : Décembre 2012
Actualisation partielle : Décembre 2016

Dépôt légal - D/2018/12.796/3 - ISBN : 978-2-8056-0249-8

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

AVANT-PROPOS	3
I. INTRODUCTION	4
II. CADRES GEOGRAPHIQUE, HYDROGRAPHIQUE, GEOMORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE	5
III. CADRE GEOLOGIQUE	11
III.1. CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL	11
III.2. CADRE GEOLOGIQUE DE LA CARTE	11
III.2.1. <i>Cadre lithostratigraphique</i>	13
III.2.2. <i>Cadre structural</i>	19
IV. CADRE HYDROGEOLOGIQUE	22
IV.1. DESCRIPTION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES	23
IV.1.1. <i>Paléozoïque</i>	23
IV.1.2. <i>Mésozoïque et Cénozoïque</i>	25
IV.2. DESCRIPTION DE L'HYDROGEOLOGIE DE LA CARTE	28
IV.2.1. <i>Massif de Stavelot</i>	29
IV.2.2. <i>Synclinorium de l'Eifel – Nappe de la Vesdre – Fenêtre de Theux</i>	35
IV.2.3. <i>Eaux minérales de Spa</i>	36
IV.2.4. <i>Coupe hydrogéologique</i>	39
IV.2.5. <i>Caractère des nappes</i>	39
IV.2.6. <i>Piézométrie de la carte Sart-Xhoffrai</i>	40
V. CADRE HYDROCHIMIQUE	41
V.1. CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX	42
V.1.1. <i>Généralités</i>	42
V.1.2. <i>Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur</i>	43
V.1.3. <i>Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien</i>	44
V.1.4. <i>Aquiclude à niveaux aquitards du socle cambro-silurien</i>	46
V.1.5. <i>Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien</i>	46
V.1.6. <i>Eaux de Spa</i>	47
V.1.7. <i>Eau de surface (barrage)</i>	48
V.2. PROBLEMATIQUES DES NITRATES	49
V.3. QUALITE BACTERIOLOGIQUE	54
V.4. AUTRES PARAMETRES	56
VI. EXPLOITATION DES AQUIFERES	58
VI.1. SOCIETE WALLONNE DES EAUX.....	58
VI.2. SPADEL S.A.	60
VI.3. CAPTAGES PRIVES.....	61
VII. PARAMETRES D'ECOULEMENT ET DE TRANSPORT	62
VII.1. AQUICLUDE A NIVEAUX AQUITARDS DU SOCLE CAMBRO-SILURIEN	64
VII.2. AQUICLUDE A NIVEAUX AQUIFERES DU SOCLE CAMBRO-SILURIEN	65
VIII. ZONES DE PROTECTION	66
VIII.1. CADRE LEGAL.....	66
VIII.2. ZONES DE PREVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE LA SWDE	68

VIII.3. ZONES DE PREVENTION ET DE SURVEILLANCE AUTOUR DES CAPTAGES DE SPADEL S.A. ET DE L'ADMINISTRATION COMMUNALE DE SPA.....	69
IX. METHODOLOGIE DE L'ELABORATION DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE.....	72
IX.1. ORIGINE DES INFORMATIONS.....	72
IX.1.1. Données géologiques et connexes.....	72
IX.1.2. Données météorologiques et hydrologiques.....	73
IX.1.3. Données hydrogéologiques.....	73
IX.1.4. Autres données.....	75
IX.2. BASE DE DONNEES HYDROGEOLOGIQUES	75
IX.3. POSTER DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE	75
IX.3.1. Carte hydrogéologique principale	76
IX.3.2. Cartes thématiques.....	76
IX.3.3. Coupe hydrogéologique.....	77
IX.3.4. Tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie'.....	77
X. BIBLIOGRAPHIE	78
XI. ANNEXES	83
XI.1. LISTE DES ABREVIATIONS	83
XI.2. TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	85
XI.2.1. Figures.....	85
XI.2.2. Tableaux.....	86
XI.3. COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES OUVRAGES CITES DANS LA NOTICE	86

AVANT-PROPOS

La réalisation de la carte hydrogéologique Sart-Xhoffrai 50/1-2 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 2012 par Mylene Gilson, Pierre Briers et Ingrid Ruthy (*Gilson et al, 2012*). Le projet a été 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, anciennement FPMs), l'Université de Namur (UNamur) et l'Université de Liège (ULg) dont le site ULg-Arlon.

Les auteurs de la carte hydrogéologiques 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 la société Spa Monopole (groupe Spadel s.a.). Nous remercions aussi tous les particuliers et industries qui nous ont permis de visiter leur prise d'eau et d'y faire quelques mesures.

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. Depuis mai 2006, la carte hydrogéologique de Wallonie est consultable en ligne via le portail cartographique du Service Public de Wallonie¹.

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

I. INTRODUCTION

Située à une cinquantaine de kilomètres à l'est de Liège (Figure I.1), la région de Sart-Xhoffrai est majoritairement couverte par des forêts (surtout forêts de conifères). L'habitat est concentré en plusieurs bourgs (Sart, Tiège, Nivezé, Ovifat...).

Les eaux souterraines de cette carte sont exploitées essentiellement par deux producteurs. L'un est privé, la société Spa Monopole s.a. du groupe SPADEL. L'autre est public, la Société Wallonne des Eaux (SWDE). A côté de ceux-ci, plusieurs petits exploitants sollicitent les nappes aquifères de la région (agriculteurs, campings, particuliers...).

Dans le coin sud-est de la carte se trouve le lac de Robertville où la SWDE possède une prise d'eau de surface.



Figure I.1 : Localisation de la carte Sart-Xhoffrai 50/1-2.

II. CADRES GEOGRAPHIQUE, HYDROGRAPHIQUE, GEOMORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE

Cinq territoires paysagers² se distinguent sur la carte Sart-Xhoffrai (Figure II.1). Le Haut plateau des Fagnes, au relief assez plat, est caractérisé par des tourbières hautes et des massifs boisés. Le quart nord-ouest de la carte fait partie de la Dépression de la Hoëgne et de ses affluents, marquée par des vallées profondes et évasées. La partie sud de la carte est caractérisée par les deux faciès du Haut plateau déprimé de l'Amblève et de ses affluents. La partie occidentale du Haut plateau de Bütgenbach et Saint-Vith occupe le sud-est de la carte. D'une manière générale, les prairies occupent les vallées, les bois sont davantage sur les sommets (Droeven et al, 2004).

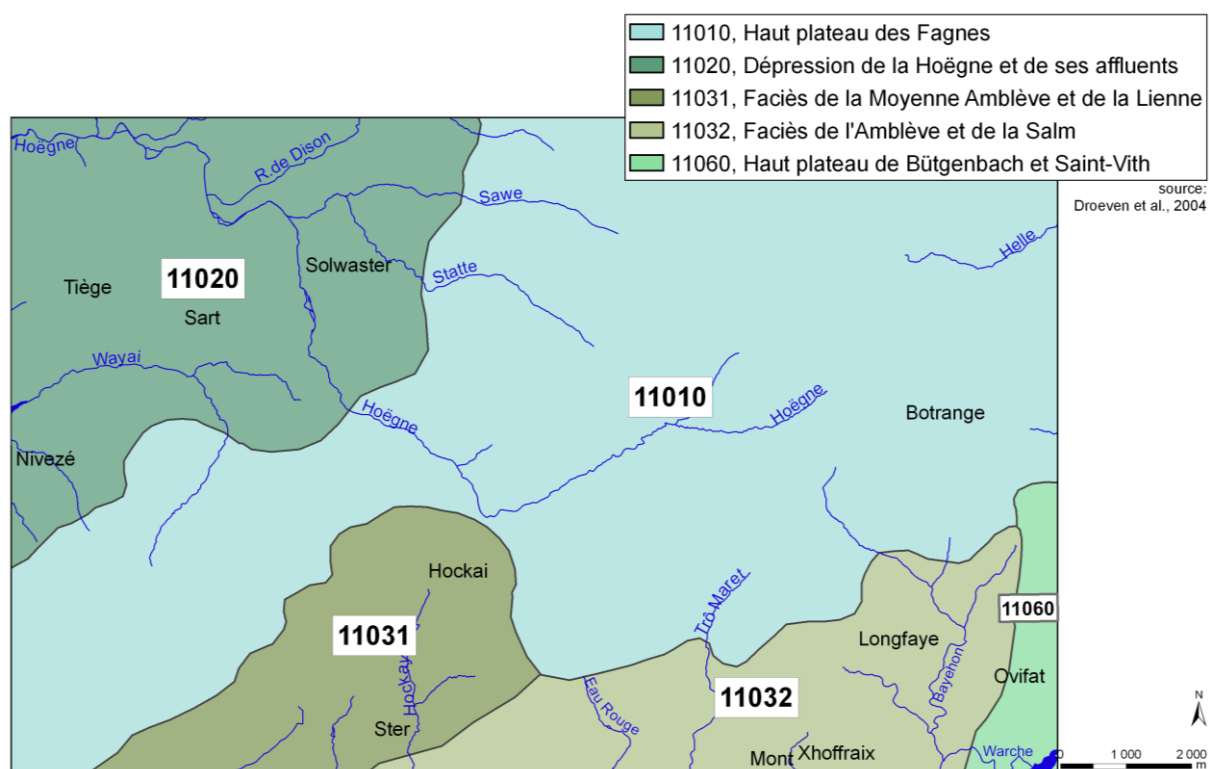


Figure II.1 : Territoires paysagers – Sart-Xhoffrai

La carte Sart-Xhoffrai fait partie du bassin hydrographique de la Meuse. Trois sous-bassins principaux occupent la carte (Figure II.2) :

- le bassin de la Vesdre, qui recouvre les deux-tiers de la carte, comprend les bassins de la Helle, la Gileppe, la Hoëgne et le Wayai. La Hoëgne prend sa

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

Topographiquement, le point culminant de la carte se situe à Botrange sur l'interfluve des bassins de la Helle, la Roer et la Warche (Figure II.2). Ce site, couramment appelé le Signal de Botrange, est le point culminant de la Belgique dont l'altitude est 694 m. Le point bas de la carte est situé dans la vallée de la Hoëgne à la cote 230 m. Cette région plus basse, liée à la Fenêtre de Theux, présente un relief plus accidenté. La majorité de la superficie de la carte Sart-Xhoffrai est caractérisée par un relief assez calme correspondant à une succession de hauts plateaux peu entaillés alternant avec des vallées évasées.

L'occupation du sol de la zone étudiée est issue des données extraites de la carte numérique de l'occupation du sol de Wallonie³ (2007). Les Figure II.3 & Figure II.4 présentent, respectivement, la répartition des classes de niveau 1 et la carte d'occupation du sol de la région étudiée.

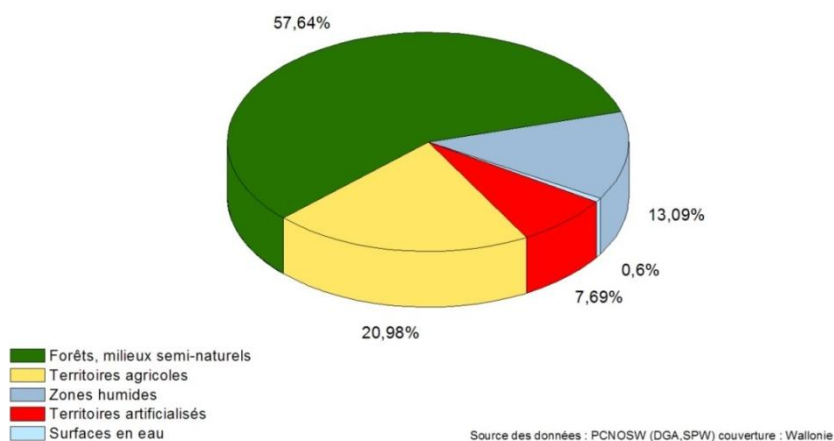


Figure II.3 : Répartition de l'occupation du sol de la carte Sart – Xhoffrai

La région de Sart-Xhoffrai est recouverte à 60 % de forêts et de milieux semi-naturels. Elles ont notamment été plantées suite à l'essai de valorisation des territoires par la sylviculture au début du XIX^e siècle. L'installation de forges et l'expansion des villages au Moyen Âge avaient déjà concouru au déclin des forêts feuillues. Néanmoins, de nombreux projets (tels que les projets LIFE notamment) visent à la réhabilitation du paysage des Fagnes par la suppression des drains et le déboisement de certaines parcelles afin de permettre à la végétation typique (la molinie par exemple) de pouvoir recoloniser ces espaces.

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

Les zones agricoles recouvrent un peu plus du cinquième de cette carte. Il s'agit principalement de prairies car l'agriculture de Haute Ardenne est principalement tournée vers la production laitière (données APAQ-W).

La part occupée par les zones humides (13 % de la superficie totale) constitue le trait distinctif de cette carte. Située dans la région des Hautes Fagnes, elle est caractérisée par des étendues importantes de tourbières.

Moins de 10 % de la superficie totale de la zone étudiée est artificialisée. Les principales localités se situent dans la partie occidentale de la carte, avec les villages des communes de Jalhay, de Spa et de Stavelot. Dans le sud-est de la carte, se trouvent quelques villages des communes de Malmedy et de Waimès. L'aérodrome de Spa-la Sauvenière est classé dans cette catégorie. Il occupe une superficie de 0,86 km².

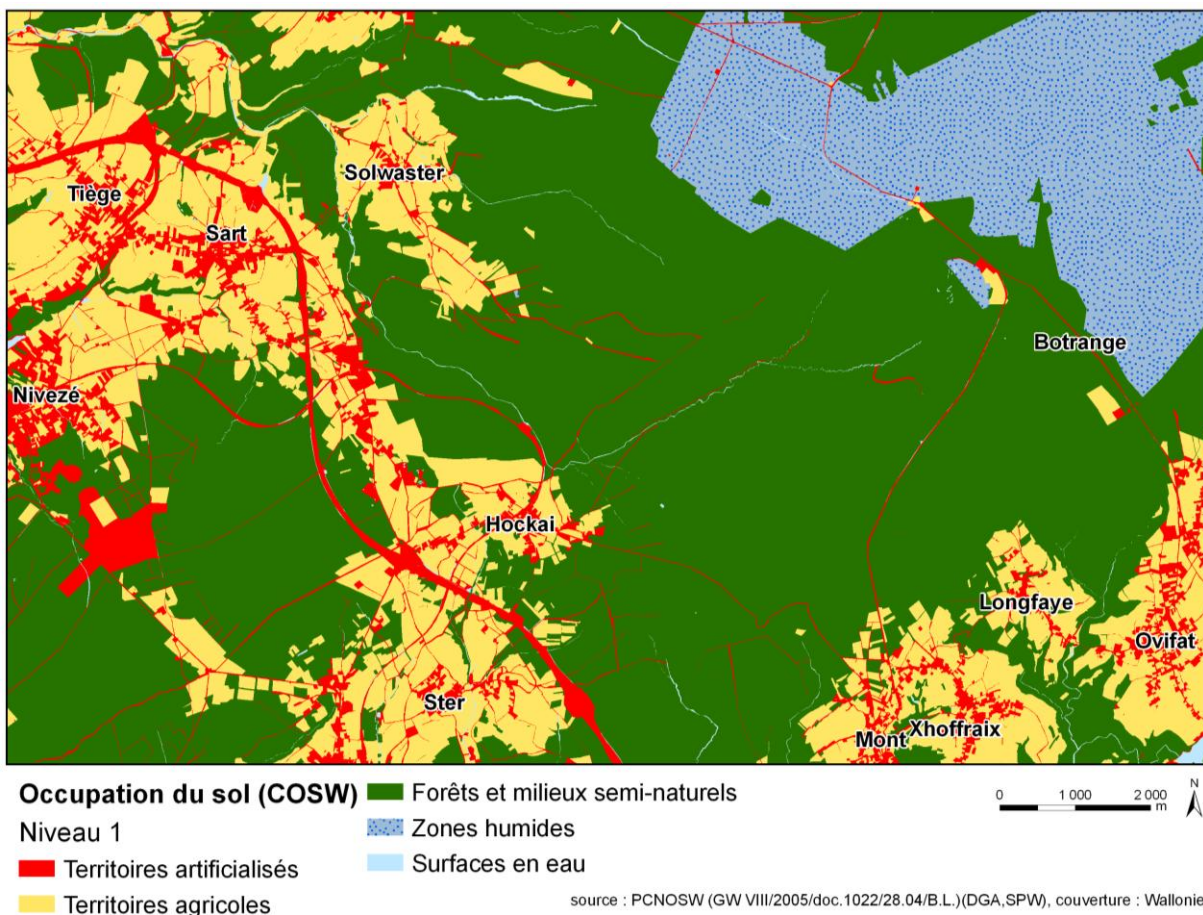


Figure II.4 : Occupation du sol – carte Sart-Xhoffrai

Les principaux types de sols présents sur la carte sont repris dans le [Tableau II.1](#) et cartographiés à la [Figure II.5](#). Les données sont extraites de la Carte Numérique des Sols de

Wallonie⁴ (CNSW, 2008). Près d'un sixième de la carte est couvert par des zones de tourbières principalement localisées au nord-est. Ces tourbières constituent le trait distinctif des « Hautes – Fagnes » qui recouvrent aussi une grande partie des cartes voisines (43/7-8 Reinartzhof – Hoscheit, 50/3-4 & 50A/1 Elsenborn-Langert & Dreiherrnwald). Le reste du territoire cartographié est caractérisé par des sols limono-caillouteux, essentiellement à charge schisto-gréseuse ou gréseuse mais aussi à charge schisteuse ou schisto-phylleuse. Cette charge est en lien direct avec le substratum rocheux. Quelques sols sont qualifiés de peu caillouteux. La nature géologique du substratum conditionne également la qualité du drainage. Les sols dont le drainage naturel est modéré à assez pauvre (classe dominante) sont localisés majoritairement au droit des terrains du Revinien moyen (Figure II.5, rose foncé). Les sols à drainage favorable reposent sur un bed-rock éodévonien et sur le Revinien supérieur et le Salmien. Le Poudingue de Malmédy (Permien) est aussi repérable via la couverture pédologique. La catégorie 'Sols limono-caillouteux à charge de conglomérat' (7610) est observée dans la partie sud-est de la carte. Près de 3 % des sols sont définis comme 'Sols artificiels ou non cartographiés', cette classe regroupant souvent les zones urbanisées, comme l'aérodrome de Spa - La Sauvenière.

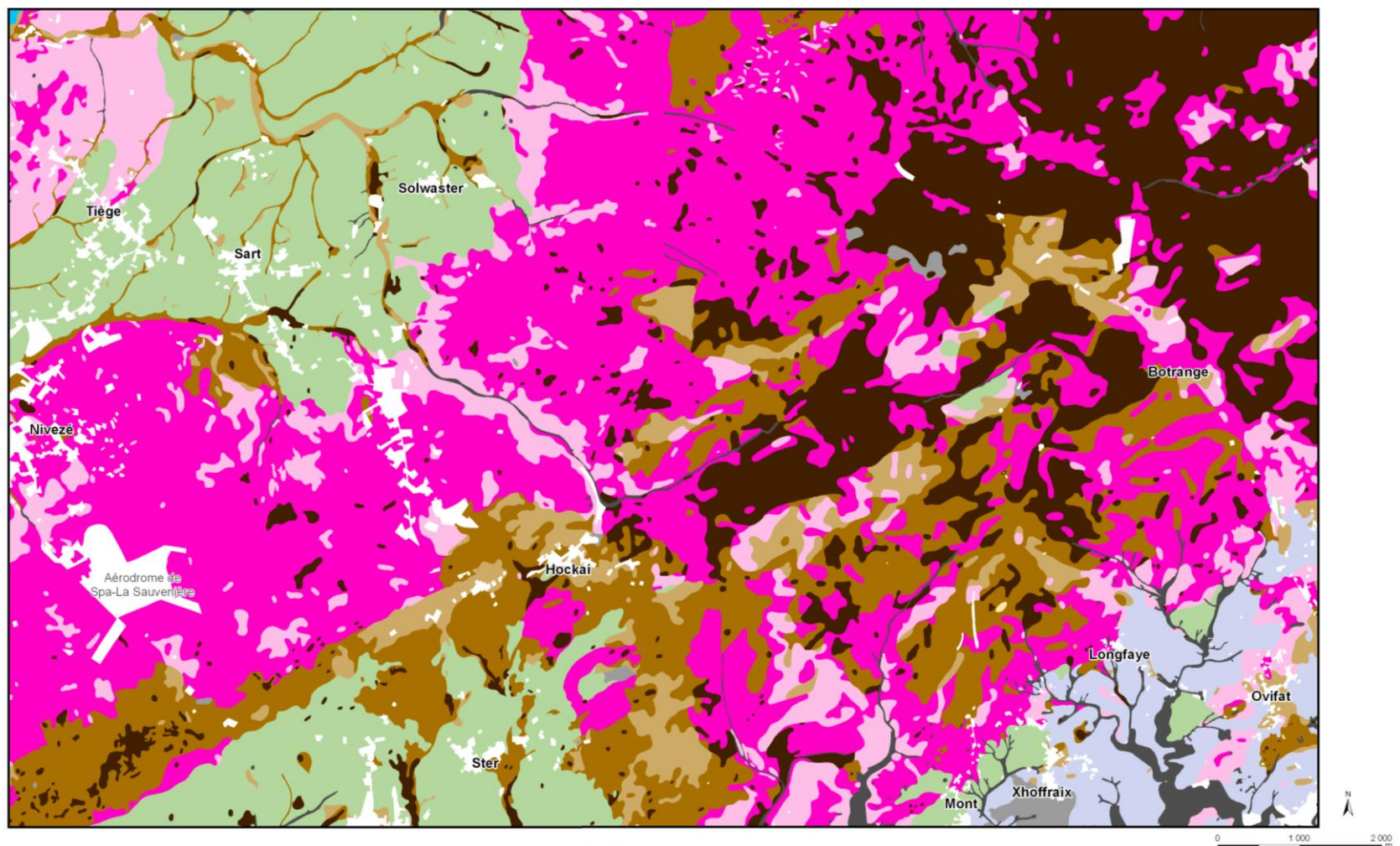
La carte des sols a été utilisée pour tracer la limite des alluvions sur la carte hydrogéologique Sart-Xhoffrai, étant donné que ces dernières ne figurent pas sur la carte géologique de cette zone.

Tableau II.1 : Répartition des différents types de sol - Carte 50/1-2

Principaux Types de Sol (avec code CNSW)	Charge caillouteuse	Couverture du sol
Sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuse ou gréseuse et à drainage naturel modéré à assez pauvre (7220)	> 15 %	33,2 %
Sols limono-caillouteux à charge schisteuse et à drainage naturel principalement favorable (7310)	> 15 %	15,5 %
Sols tourbeux ou tourbières (1000)		15,3 %
Sols limoneux peu caillouteux à drainage naturel principalement modéré à assez pauvre (6020)	5 – 15 %	13,3 %
Sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuse ou gréseuse et à drainage naturel favorable (7210)	> 15 %	9,7 %
Sols limoneux peu caillouteux à drainage naturel favorable (6010)	5 – 15 %	4,2 %
Sols artificiels ou non cartographiés (30000)		3,3 %
Sols limono-caillouteux à charge schisto-phylleuse et à drainage naturel quasi-exclusivement favorable (7110)	> 15 %	3,2 %
Regroupement de complexes de sols de textures différentes ou sur fortes pentes et de sols de fonds de vallons limoneux ou rocailloux (10000)		1,5 %
Sols limono-caillouteux à charge de silicite ⁵ ou de gravier ou de conglomérat et à drainage naturel principalement favorable (7610)	> 15	0,3

⁴ Pour plus d'informations, consulter <http://cartopro3.valid.wallonie.be/CIGALE/>

⁵ Silicite : terme ambigu désignant à la fois des cherts, faisant corps avec la roche calcaire qui les contient (dans le Condroz notamment), sables, sables indurés, argile plastique, cailloux calcaires ou d'un mélange des charges citées (Légende de la Carte Numérique des Sols de Wallonie, 2007).



- | | |
|--|--|
| ■ Sols tourbeux ou tourbières | ■ Sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuse ou gréseuse et à drainage naturel modéré à assez pauvre |
| ■ Sols sablo-limoneux à drainage naturel principalement favorable | ■ Sols limono-caillouteux à charge schisteuse et à drainage naturel principalement favorable |
| ■ Sols limoneux peu caillouteux à drainage naturel favorable | ■ Sols limono-caillouteux à charge calcaire ou contenant du calcaire et à drainage naturel quasi-exclusivement favorable |
| ■ Sols limoneux peu caillouteux à drainage naturel principalement modéré à assez pauvre | ■ Sols limono-caillouteux à charge de silixite ou de gravier ou de conglomérat et à drainage naturel principalement favorable |
| ■ Sols limono-caillouteux à charge schisto-phylleuse et à drainage naturel quasi-exclusivement favorable | ■ Regroupement de complexes de sols de textures différentes ou sur fortes pentes et de sols de fonds de vallons limoneux ou rocailloux |
| ■ Sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuse ou gréseuse et à drainage naturel favorable | □ Sols artificiels ou non cartographiés |
- source : PCNOSW (GW VIII/2005/doc.1022/28.04/B.L.) (DGA,SPW), couverture : Wallonie

Figure II.5 Répartition des différents types de sol.

III. CADRE GÉOLOGIQUE

III.1. CADRE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

La région de Sart-Xhoffrai se situe dans la partie orientale de l'Allochtone ardennais (Figure III.1). 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 fluviatile 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.

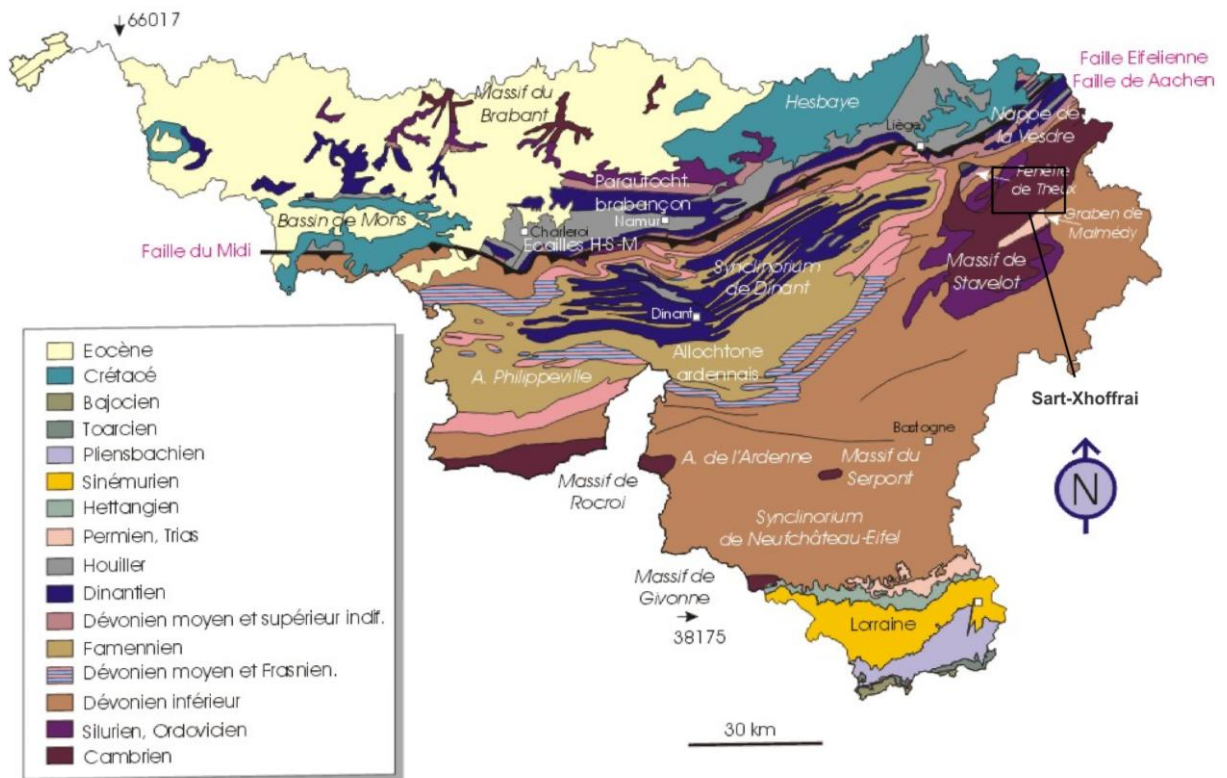


Figure III.1 : Carte géologique de la Wallonie (Boulvain & Pingot, 2011 ; modifié).

III.2. CADRE GÉOLOGIQUE DE LA CARTE

La carte Sart-Xhoffrai expose les formations datant du Cambrien au Dévonien inférieur, marquées par une lacune stratigraphique au Silurien. Des dépôts permien affleurent, au sud-est, dans la continuité du Graben de Malmédy. Quelques traces de dépôts pouvant dater du Crétacé ont été observées dans la partie nord-est de la carte. 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 de la carte Sart-Xhoffrai, le fond géologique utilisé est une combinaison de trois cartes géologiques régionales (Figure III.2) :

- Cambro-ordovicien : carte géologique révisée du Massif de Stavelot (*Geukens, 1999*) au 1/115.000 (approximativement) ;
- Dévonien inférieur :
 - carte géologique du Synclinorium de l'Eifel (*Vandenven, 1990*) au 1/100.000 ;
 - carte géologique de l'Eodévonien de l'Ardenne et des régions voisines (*Asselberghs, 1946*) au 1/200.000.

Vu l'échelle régionale de ces cartes géologiques, il convient d'être prudent lors de la lecture de la carte hydrogéologique principale, dressée au 1/25.000.

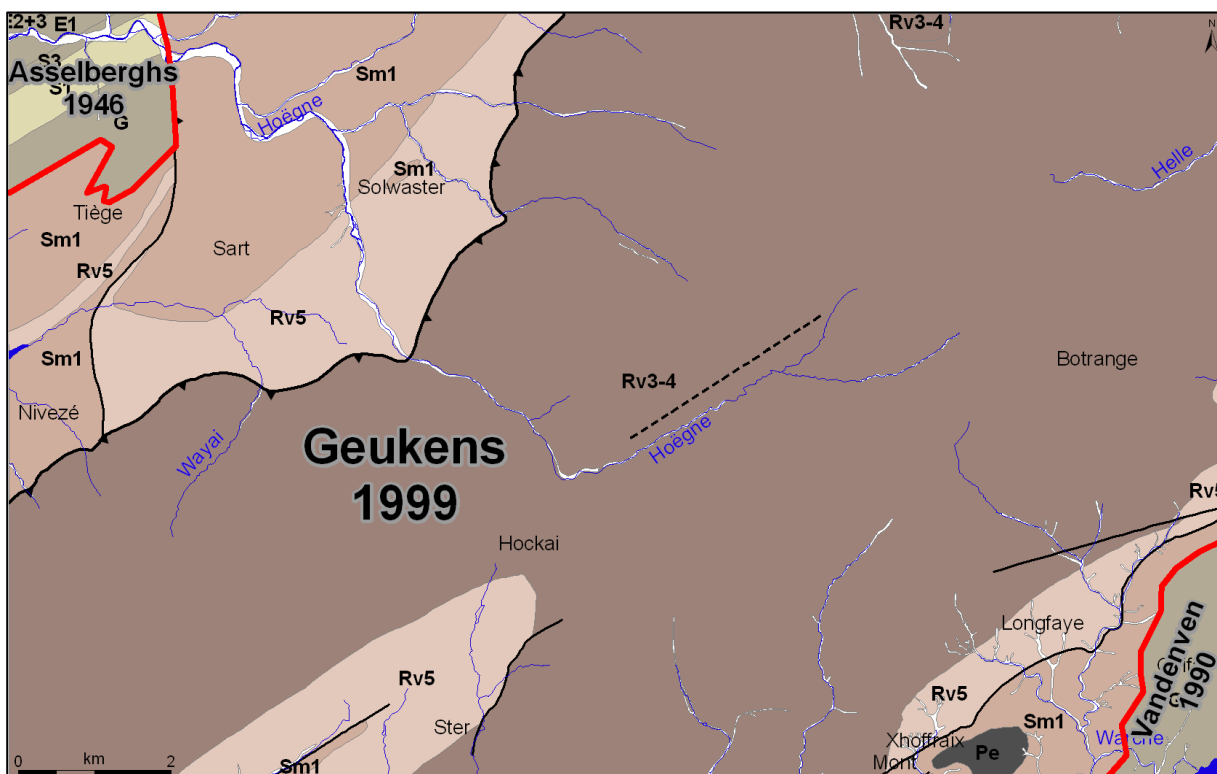


Figure III.2 Fonds géologiques utilisés par la carte hydrogéologique 50/1-2

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 (*Vandenven, 1990*) et sur l'Eodévonien de l'Ardenne et des régions voisines (*Asselberghs, 1946*) ;

- pour le Permien et le Méso-Cénozoïque, aux textes explicatifs des cartes géologiques Harzé-La Gleize (*Asselberghs & Geukens, 1959*), Stavelot-Malmedy (*Geukens, 1963*).

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

- **Psammite** : mot utilisé jadis en Belgique pour désigner des grès micacés largement employés en construction. La forte proportion de paillettes de micas, disposées en lits parallèles, leur confère une aptitude à se débiter en feuillets.
- **Schiste** : roche argileuse de la classe des lutites⁶, 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 Allier-Liège. Les roches pélitiques affectées d'un feuillage parallèle à la stratification, comme la plupart des pélites du Houiller, sont des shales.

III.2.1. Cadre lithostratigraphique

III.2.1.1. Formations du Paléozoïque

Les roches du Massif de Stavelot affleurant sur la carte Sart-Xhoffrai datent du Cambrien supérieur et de l'Ordovicien inférieur. Toutes les séries du Paléozoïque inférieur, typiques du Massif de Stavelot, ne sont pas représentées (*Figure III.3*).

A défaut de données précises sur l'épaisseur des formations géologiques au droit de la carte étudiée, les informations relatives à la puissance des terrains sont tirées de l'ouvrage de référence sur la nouvelle échelle stratigraphique de la Belgique (*Bultynck & Dejonghe, 2001*).

⁶ Lutites: ensemble des roches sédimentaires détritiques dont les éléments sont de diamètre inférieur à 1/16 mm (62,5 µm)

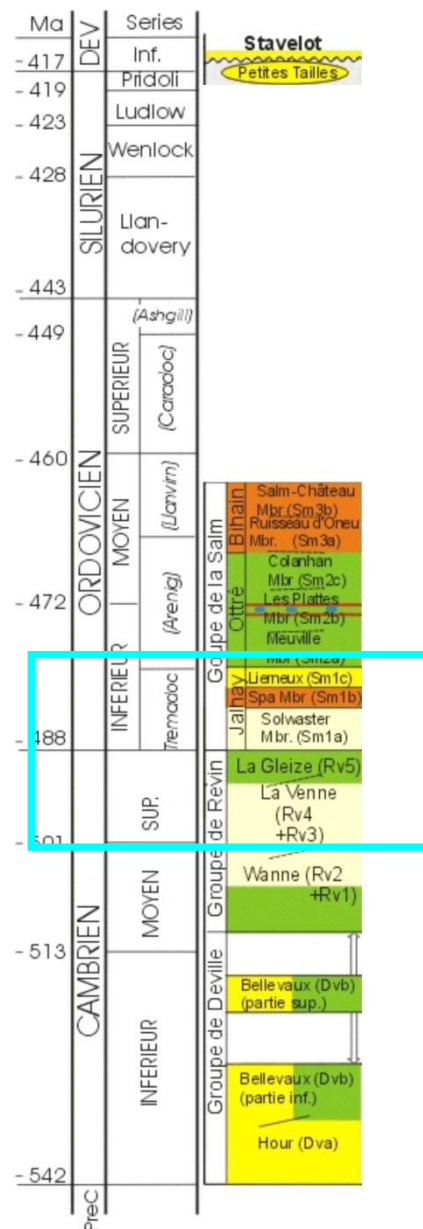


Figure III.3 : Position stratigraphique des unités lithologiques du Paléozoïque inférieur du Massif de Stavelot (Vernier et al, 2001 ; modifié)

III.2.1.1.1. Cambrien

III.2.1.1.1.1. Revinien

Le Revinien est le seul représentant du Cambrien. L'ensemble du groupe de Revin n'est pas représenté. Seuls les Rv 3-4 et Rv 5 affleurent sur cette carte. Ils en occupent la majorité du territoire.

- Rv 3-4 (Formation de La Venne) est caractérisée par une alternance de phyllades noirs et de quartzites foncés. Les quartzites sont parfois très schisteux et micacés. Les quartzites gris-bleu sont présents en bancs très épais. La partie inférieure est caractérisée par une sédimentation rythmique

(grès grossier – fin, siltstone, phyllades), par des quartzites bleus bien stratifiés et par des bancs psammitiques. Epaisseur : 500 m.

- Rv 5 (Formation de La Gleize) est, comparée aux autres assises du Revinien, constituée de roches moins résistantes. Lorsque l'assise est bien développée, elle comprend une partie supérieure constituée de phyllades noirâtres contenant parfois des nodules dolomitiques, une partie médiane où les quartzophyllades prédominent sur les phyllades et une partie inférieure plus phylladeuse passant vers le bas à des roches quartzophylladeuses et présentant des intrusions acides et des coulées de lave. Epaisseur : 300 m.

III.2.1.1.2. *Ordovicien*

III.2.1.1.2.1. *Salmien*

Les sédiments de l'Ordovicien du Massif de Stavelot forment l'étage Salmien dont la puissance est supérieure à 1 kilomètre. Le Salmien est divisé en trois formations dont seul le Sm 1 (Formation de Jalhay) affleure sur cette carte (nord-ouest). Le Salmien inférieur est caractérisé par une couleur bleu-noir ou verdâtre et est essentiellement constitué de quartzophyllades, de quartzophyllades gréseux, de bancs gréseux et de phyllades. Epaisseur : > 400 m.

Au sud de Sart, à proximité du lieu-dit Aux Arzeliers, la présence de nodules dolomitiques à structure cône-in-cône dans la partie supérieur du Rv5 et la proximité de niveaux fossilifères permettent de supposer qu'il s'agit d'un passage normal Rv5-Salmien. Cette même structure stratigraphique est également observée plus au sud ([Geukens, 2007](#)).

III.2.1.1.3. *Dévonien*

Sur la carte Sart-Xhoffrai, seuls les étages du Dévonien inférieur affleurent. Ils occupent une faible superficie au nord-ouest et au sud-est de la carte.

III.2.1.1.3.1. *Gedinnien (Lochkovien)*

Le Gedinnien repose en discordance angulaire sur les couches plissées du Salmien. Sur cette carte, la base de cet étage est constituée de lentilles de poudingue dont l'épaisseur dépasse rarement 30 cm. 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 cm séparées par de minces strates de schistes habituellement vert clair. Des intercalations de schistes violacés sont également présentes très localement (héritage probable d'un apport massif de matériaux argileux issus d'une érosion de couches salmiennes rouges). Des matériaux argilo-sableux succèdent à ces grès. Des couches de grès plus argileux alternent avec des faciès silteux et des schistes. Ce niveau est caractérisé par des couleurs rouges et vertes. Des dissolutions de concrétions argilo-carbonatées donnent à la roche un aspect

celluleux. Ces terrains affleurent peu sur la carte étudiée (zones sud-est et nord-ouest). Estimation de l'épaisseur : 160-170 m.

III.2.1.1.3.2. Siegenien (*Praguien*)

La limite entre le Gedinnien et le Siegenien est difficile à localiser avec précision, la transition lithologique est progressive. Il n'existe pas de critère permettant de fixer une limite claire. Cet étage est divisé en trois assises :

- S1, représenté par le faciès d'Anlier dans cette partie du Massif de Stavelot, présente un faciès schisteux en alternance avec des quartzites et des phyllades. De nombreuses couches de grès sont présentes et sont mieux développées vers le sommet de la formation. Cette formation présente également quelques couches de quartzophyllades ;
- S2, représenté par le faciès de Longlier dans cette partie du Massif de Stavelot, est de manière générale caractérisé par des quartzophyllades abondants souvent gréseux, des phyllades d'épaisseur inférieure à 10 mètres, des quartzites grossiers micacés présents en bancs isolés ou en paquets de 2 à 8 mètres d'épaisseur et souvent chargés en pyrite, 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 ;
- S3, représenté par le faciès de Saint-Vith dans cette partie du Massif de Stavelot présente des schistes silteux compacts, des phyllades bleu noir avec de rares couches de grès et de nombreux cubes de pyrite.

Le S2 n'affleure pas sur la carte. Les S1 et S3 affleurent très peu, uniquement dans le coin NW.

III.2.1.1.3.3. Emsien

L'Emsien, dernier étage de l'Eodévonien, est constitué de trois assises :

- E 1 est caractérisée par une alternance de schistes rougeâtres ou verdâtres, de schistes gréseux, de grès micacés et de quartzites gris-vert ou blancs atteignant parfois plusieurs mètres d'épaisseur ;
- E 2+3 (non différencié) présente un faciès uniforme de schistes et de quartzites lie de vin ou verts. L'intercalation de poudingues et de roches

graveleuses rend pratiquement impossible la séparation des grès, poudingues et schistes d'E2 de l'assise supérieur (E3).

L'épaisseur de l'Emsien est estimée à 75 m.

III.2.1.1.4. *Permien*

La Formation de Malmédy est le seul dépôt d'âge permien en Belgique. Ce dépôt fluvio-lacustre est principalement constitué par un complexe conglomératique (dont les éléments peuvent atteindre 40 centimètres de diamètre) à ciment schisteux rougeâtre et rarement verdâtre. Cette formation est divisée en trois membres non différenciés cartographiquement. Le membre inférieur est constitué de brèche avec des débris quartzitiques surmontée d'un micro-conglomérat à lentilles gréseuses. Vandenven (1991) mentionne des dépôts de cendres volcaniques dans ce membre. Le membre intermédiaire est caractérisé par une matrice calcaro-argileuse rouge à débris calcaires fossilifères avec des intercalations de lentilles gréseuses et silteuses et de rares lits gréseux. Le membre supérieur est constitué de brèche avec des fragments de quartz à ciment argileux rouge. L'épaisseur de cette formation est assez variable.

III.2.1.2. Formations du Mésozoïque et du Cénozoïque

Excepté les alluvions modernes, les terrains de couverture (Méso- et Cénozoïque) ne sont pas cartographiés sur la carte hydrogéologique Sart-Xhoffrai. Ces dépôts, nature et âge confondus, sont présents sur l'ensemble du territoire de la carte. Leur épaisseur peut être très variable (quelques décimètres à quelques mètres). Geukens (1999) a esquissé une cartographie de ces dépôts sur le Massif de Stavelot, sous l'appellation « Formations non plissées : Crétacé (Sx) - Tertiaire (T) – Quaternaire » (Figure III.4).

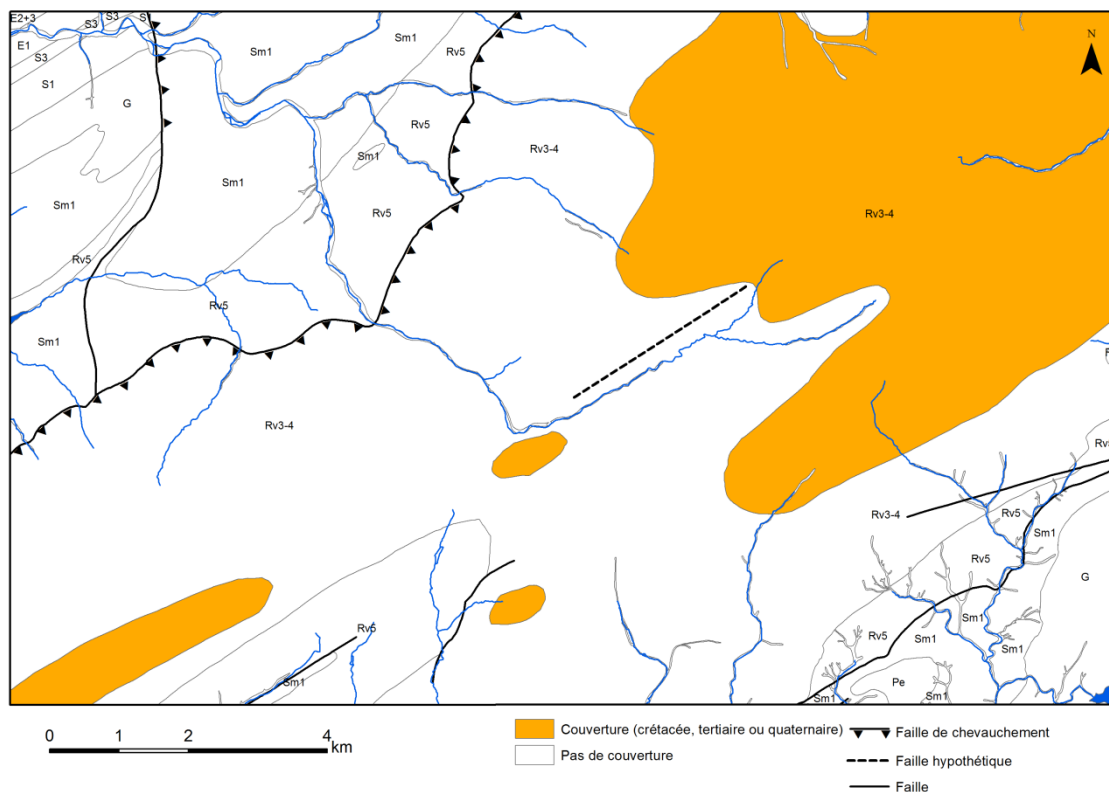


Figure III.4 : Répartition des terrains meubles de couverture (Geukens, 1999).

III.2.1.2.1. Crétacé

Ce système est très peu présent sur la carte Sart-Xhoffrai. Sur le massif des Hautes-Fagnes, les craies du Crétacé ont été largement dissoutes. Quelques petits lambeaux épars sont observés. Il s'agit de dépôts d'argile à silex dont l'épaisseur varie entre 2 et 6 m (Asselberghs & Geukens, 1959). Quelques placages résiduels crayeux sont conservés en position primaire notamment à Hockay et au Mont-Rigi (Bless et al., 1990).

III.2.1.2.2. Oligocène

Quelques dépôts sableux, vestiges de la transgression oligocène, sont localisés principalement sur les sommets (Demoulin, 1987 ; Demoulin, 1989). Leur extension reste imprécise.

III.2.1.2.3. Quaternaire

Recouvrant les formations sous-jacentes, les loess, alluvions modernes, tourbes, accumulations d'origines diverses (éboulis, colluvium, coulées de solifluxion...) font partie des dépôts quaternaires observés sur la carte Sart-Xhoffrai. Leur épaisseur est variable, moins importante, sur les pentes raides par rapport aux pentes douces et aux plateaux. Ces dépôts sont en général présents sur toute la superficie de la carte. Le manteau d'altération est assez continu, rendant difficile le tracé de l'allure probable des terrains sous-jacents.

Sur le Massif de Stavelot, des accumulations pierreuses sont souvent observées. L'origine de ces dépôts formés de blocs et de débris de roches est encore mal connue ([Pissart, 1995](#)).

La région est aussi marquée par la présence de tourbières. Les hauts plateaux de l'Ardenne sont caractérisés par les tourbières hautes à sphaignes.

Les alluvions des fonds de vallées sont constituées de limon et sable, ainsi que des galets et cailloux (Holocène). Leur épaisseur est assez faible. Cependant ces dépôts ne figurent pas sur les cartes géologiques régionales utilisées, ils ont donc été digitalisés sur base de la carte numérique des sols de Wallonie (« terrains non différenciés - ravins ou fonds de vallée rocailleux ou fonds de vallée limoneux ») ([CNSW, 2008](#)).

III.2.2. Cadre structural

Le cadre structural de la région de Sart-Xhoffrai est relativement complexe. Trois mouvements tectoniques majeurs ont affecté cette zone : l'orogénèse calédonienne, l'orogénèse varisque (ou hercynienne) et la formation du Graben de Malmédy. Il en résulte de nombreuses failles dont des failles de charriage, des failles normales, des failles subverticales. On peut supposer que l'âge de la majorité des failles est calédonien avec un rejeu varisque, voire lors de la formation du fossé d'effondrement.

Plusieurs unités structurales sont présentes sur la carte Sart-Xhoffrai. Du nord-ouest au sud-est, on observe ([Figure III.5 & Figure III.6](#)) :

- la *Fenêtre de Theux* (notée M5, terrains parautochtones par [Geukens, 1986](#)) est une fenêtre tectonique ouverte par l'érosion dans la nappe de charriage de la Vesdre. L'érosion des terrains allochtones ardennais a permis la réapparition du Parautochtone. Cette fenêtre tectonique est circonscrite par la faille de Theux à léger pendage nord, et par la faille d'Eupen à pendage sud. La limite méridionale est nettement moins nette car les roches mises en contact sont de même nature ;
- l'*Unité de Jalhay* (unité 1 de la *Nappe de la Vesdre*, appelée auparavant Massif de la Vesdre) : elle est limitée au sud par l'importante faille de charriage d'Eupen (à pendage sud). Les failles de Theux et de La Gileppe sud en délimitent, respectivement, les frontières ouest et nord. La faille de La Gileppe, faille de charriage à pente nord, met en contact anormal les terrains ordoviciens avec les formations du Dévonien inférieur ([Laloux et al., 1996](#) ; [Laloux et al., 1997](#) ; [Hance et al., 1999](#)). Sur la carte Sart-Xhoffrai, on peut observer le synclinal salmien de Sart. Le contact Revinien-Salmien garde une direction N50°E sur toute la longueur du synclinal ([Geukens, 2007](#)) ;

- le *Massif de Stavelot* correspond à l'axe de pli de l'Anticlinorium de l'Ardenne. Il occupe la majorité du territoire de la carte étudiée. Il est composé de roches datées du Cambrien à l'Ordovicien et affectées par les orogènes calédoniennes et varisques, et forme un anticlinorium déversé vers le NW et aux flancs intensément déformés et faillés. Plusieurs failles le traversent d'ouest en est. Les plus importantes ont permis de le subdiviser en une série de 4 nappes de charriage (*Geukens, 1986 ; Geukens, 1999*). La carte Sart-Xhoffrai est située dans la nappe N4 (terrains allochtones). Le Massif de Stavelot est limité au nord par la faille de charriage d'Eupen, à pente sud (inclinaison : 10° à 40°). Cette faille met en contact anormal les terrains cambriens, au sud, avec les terrains ordoviciens (au nord-ouest) et les terrains dévoniens (au nord). Dans le Massif de Stavelot, de nombreuses fractures (N050E à N060E) associées à des plis aigus à fermés, souvent isoclinaux, sont observées ;
- Le *Graben de Malmédy* s'étire sur une vingtaine de kilomètres entre Basse-Bodeux et Xhoffrai (direction WSW-ENE). Il affleure au sud-est de la carte. Sa formation a affecté d'une part les failles qui limitent ce fossé d'effondrement mais aussi un certain nombre de cassures du socle qui sont en relation avec cette manifestation tectonique. Les failles bordières du Graben de Malmédy, mises en évidence par l'extension du Gedinnien et les dépôts permien, convergent vers la confluence de la Salm et de l'Amblève à Trois-Ponts (*Geukens, 1986 ; Geukens, 1999*) ;
- le *Synclinorium de l'Eifel*, équivalent oriental du Synclinorium de Neufchâteau. Il est associé à l'Anticlinorium de l'Ardenne. A l'est du Massif de Stavelot se trouve le flanc nord du Bassin de l'Eifel. Le Gedinnien du Synclinorium de l'Eifel repose en discordance angulaire sur les couches cambro-ordoviciennes du Massif de Stavelot. Bien qu'incluant des plissements internes, l'Eodévonien semble présenter un aspect monoclinal à pendage sud-est.

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



Figure III.5 : Cadre structural schématisé du Massif de Stavelot. Sart-Xhoffrai (*Geukens, 1986 ; modifié*).



Figure III.6 : Carte structurale schématique de l'Est de la Belgique avec indication des unités structurales de la Nappe de la Vesdre : 1. Unité de Jalhay ; 2. Unité de la Gileppe ; 3. Unité de Goé ; 4. Unité de Forêt-Andrimont ; 5. Unité du Tunnel (*Laloux et al., 1997 ; modifié*)

IV. CADRE HYDROGEOLOGIQUE

A l'échelle de la Wallonie, les ressources en eau souterraine de la carte Sart-Xhoffrai 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 Cambro-ordovicien du Massif de Stavelot.

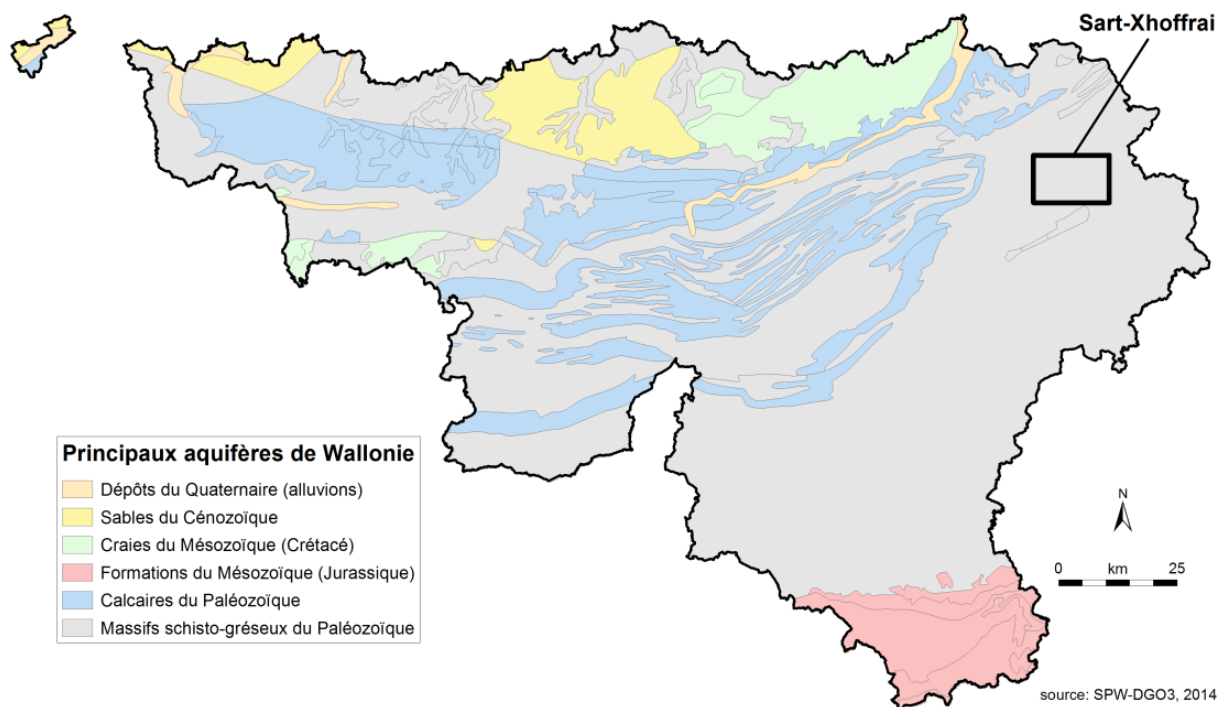


Figure IV.1 : Principaux aquifères de Wallonie – Carte de Sart-Xhoffrai (SPW-DGO3, 2014 ; modifié)

Plusieurs unités hydrogéologiques du socle paléozoïque ont été définies pour la carte Sart-Xhoffrai. Bien que non cartographiées, les unités du Méso-Cénozoïque seront aussi abordées. Plusieurs sites de captages destinés à la distribution publique d'eau potable sont recensés (SWDE). Les eaux souterraines sont également sollicitées par des exploitants privés dont la société Spa Monopole (Spadel s.a.).

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 UNITÉS HYDROGÉOLOGIQUES

Les unités hydrogéologiques définies sur la carte Sart-Xhoffrai sont décrites ci-dessous dans l'ordre stratigraphique. Elles sont reprises de manière synthétique en fin de chapitre ([Tableau IV.1](#)).

Les unités hydrogéologiques du Dévonien inférieur sont minoritaires sur la carte Sart-Xhoffrai. Elles sont présentes dans la Fenêtre de Theux (nord-ouest) et le Synclinorium de l'Eifel (sud-est).

IV.1.1. Paléozoïque

Le Paléozoïque est composé du socle cambro-silurien, présent uniquement dans le Massif de Stavelot, du Dévonien inférieur et du Permien.

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

Cette unité hydrogéologique couvre 70 % de la carte Sart-Xhoffrai. Elle est constituée par la Formation de la Venne-Coo (Rv3-4) caractérisée par une lithologie hétérogène (schistes et quartzites). Les bancs de quartzites, surtout lorsqu'ils sont faillés, facilitent l'écoulement de l'eau par rapport aux horizons phylladeux nettement moins perméables. Les couches quartzitiques constituent donc des niveaux aquifères dans cette masse globalement aquiclude.

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

La Formation de la Gleize (Rv5) affleure sur trois zones de la carte étudiée et en couvre environ 12 % de la superficie. Cette formation géologique regroupe une succession verticale de couches de phyllades purs ou bien mélangés avec des quartzophyllades. Puisque les phyllades sont le principal constituant de cette formation, la caractéristique hydrodynamique globale de cette unité est peu favorable à l'écoulement. Les

quartzophyllades fracturés, facilitant le mouvement de l'eau, constituent des niveaux aquitards. Il faut aussi noter parfois la présence de nodules dolomitiques dans la partie supérieure de l'assise.

IV.1.1.3. 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, géologie dominante de cette formation, constituent un environnement moyennement perméable à l'eau. Cependant, les bancs gréseux peuvent constituer des couches préférentielles d'écoulement. Cette unité hydrogéologique affleure sur environ 10 % du territoire de la carte.

IV.1.1.4. Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur

Composée essentiellement de roches argileuses (schistes, phyllades), cette unité hydrogéologique est globalement caractérisée comme aquiclude. Les niveaux de quartzites, de grès et des grès micacés (psammites) peuvent constituer des horizons aquifères localement exploitables. Les horizons conglomératiques renferment également des nappes exploitables. Dans les terrains schisteux, le remplissage des failles généralement argileux leur confère un rôle d'écran peu perméable ou de seuil hydrogéologique, réduisant la circulation des eaux souterraines. Sur la carte Sart-Xhoffrai, les assises regroupées sous le terme « Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur » appartiennent au Gedinnien (G) et à l'Emsien (E1 et E2+3). Cette unité hydrogéologique couvre environ 4 % de sa superficie.

IV.1.1.5. Aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur

Le Siegenien inférieur (S1) est localisé sur une bande étroite au nord-ouest de la carte (2,5 km sur 500 m). D'une lithologie variée (schistes, quartzites, quartzophyllades), cette unité présente dans l'ensemble une perméabilité moyenne à l'eau. Les niveaux quartzitiques, généralement fracturés, constituent des niveaux plus perméables. Ces caractéristiques permettent de qualifier ces terrains d'aquitard à niveaux aquifères.

IV.1.1.6. Aquiclude du Dévonien inférieur

Le Siegenien 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. Sur la carte Sart-Xhoffrai, son extension est relativement réduite, bande d'environ 1 km au nord-ouest.

IV.1.1.7. Aquifère du Permien

Le poudingue est une consolidation d'éléments arrondis par un ciment pouvant être de différentes natures lithologiques. Une granularité hétérogène ainsi qu'un ciment favorable à l'écoulement de l'eau confèrent à cette formation géologique une perméabilité élevée. Cependant, les avantages hydrodynamiques intrinsèques de cet aquifère sont contrebalancés par sa faible extension au niveau de la carte de Sart-Xhoffrai (0,3 % de la superficie totale).

IV.1.2. Mésozoïque et Cénozoïque

Des unités hydrogéologiques du Méso-Cénozoïque, seules les alluvions sont tracées sur la carte principale du poster (1/25.000). Pour rappel, leur délimitation est basée sur la carte numérique des sols de Wallonie. Les autres unités n'ont pas été cartographiées par manque d'informations précises sur leur extension (dépôts épars) ou, à l'inverse, parce qu'elles s'étendent sur une grande surface (les dessiner masquerait les unités du socle).

IV.1.2.1. Aquifère du Crétacé

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

IV.1.2.2. Aquifère des sables de remplissage

Sur cette carte, les dépôts sableux ont des capacités aquifères réduites vu leur extension et la grande hétérogénéité des matériaux. Ils constituent donc de petites nappes locales et souvent temporaires. Ils jouent également le rôle de filtres pour les nappes sous-jacentes.

IV.1.2.3. Aquitard limoneux

Les limons, épais de quelques décimètres à quelques mètres, jouent un rôle protecteur lors de l'infiltration des eaux météoriques : infiltration retardée dans le temps et « effet de filtration » (piégeage par des processus physicochimiques en zone partiellement saturée). Cependant, cette couverture limoneuse n'est pas uniforme sur l'ensemble de la carte. Ces dépôts n'ont pas été cartographiés sur la carte hydrogéologique.

IV.1.2.4. Aquifère des tourbes

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

IV.1.2.5. Aquifère alluvial

Les alluvions modernes sont composées principalement de graviers et de sables offrant des potentialités aquifères intéressantes, si leur extension le permet. L'alimentation directe par les eaux météoriques est faible en raison de la surface négligeable de la plaine alluviale. Ainsi, la majeure partie de l'alimentation de ces nappes vient 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 Sart-Xhoffrai

Ere	Système	Série	Etage	Abréviation	Lithologie	Hydrogéologie
Cénozoïque	Quaternaire	Holocène		Amo	Sable, gravier, argile, limon	Aquifère alluvial
				t	Dépôts tourbeux (sphaignes)	Aquifère des tourbes (non cartographié)
		Pléistocène		q	Limon, cailloux, argile, sable	Aquitard limoneux (non cartographié)
	Paléogène	Oligocène		O	sable, parfois gravier	Aquifère des sables de remplissage (non cartographié)
Mésozoïque	Crétacé			Sx	Silex résiduaire, argile à silex	Aquifère du Crétacé (non cartographié)
Paléozoïque	Permien			Pe	Poudingue	Aquifère du Permien
	Dévonien	Inférieur	Emsien	E2+3	Schistes et quartzites avec intercalation de poudingue et de grès	Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur
				E1	Schistes et quartzites	
			Siegenien (Praguien)	S3	Schistes silteux ou phylladeux, rares couches de grès	Aquiclude du Dévonien inférieur
				S1	Schistes en alternance avec des quartzites lenticulaires, présence rare de psammites ou de quartzo phyllades	Aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur
				G	Poudingue et grès à la base surmontés de schistes bigarrés avec intercalations de grès	Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur
	Ordovicien	Inférieur	Salmien	Sm1	Quartzophyllades, quartzophyllades gréseux, bancs gréseux et phyllades	Aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien
	Cambrien	Supérieur	Revinien	Rv 5	Succession verticale de phyllades, de quartzophyllades et de phyllades à prédominance de quartzophyllades, et de phyllades	Aquiclude à niveaux aquitards du socle cambro-silurien
				Rv 3-4	Alternance de bancs de quartzites et de phyllades	Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien

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

Les ressources en eaux souterraines du territoire couvert par la carte Sart-Xhoffrai sont essentiellement situées dans les niveaux quartzitiques et quartzophylladeux cambro-ordoviciens. Les unités hydrogéologiques du socle cambro-ordovicien appartiennent soit à la Fenêtre de Theux, soit à la Nappe de la Vesdre, soit au Massif de Stavelot. Ce dernier domine largement les deux autres en termes d'espace occupé. Les terrains grésos-quartzites du Dévonien inférieur sont, d'après les données disponibles, peu sollicités sur cette carte. Il en est de même pour les dépôts alluvionnaires modérément développés et présentant une ressource en eau souterraine limitée (intérêt local). 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 Sart-Xhoffrai ne sont pas abordées avec le même degré de détails, étant donné le faible jeu de données disponibles.

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

1. une nappe superficielle (nappe libre) développée essentiellement 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 ;
2. 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.

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 la lithologie. Trois comportements principaux se présentent :

1. 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 ;

2. Les roches sont des grès ou quartzites : l'altération donne du sable, ce dernier présente une plus grande porosité efficace et la perméabilité est augmentée. Les fractures peuvent agir comme des drains ;
3. Les roches sont des shales/schistes : l'altération donne une argile qui colmate le réseau de fractures et rend peu perméable le colluvium. La perméabilité est diminuée. Les fractures peuvent agir comme des écrans peu perméables.

IV.2.1. Massif de Stavelot

Le Massif de Stavelot couvre environ les trois-quarts de la superficie de la carte Sart-Xhoffrai. Trois unités hydrogéologiques sont distinguées au sein des terrains cambro-ordoviciens :

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

Reposant sur ces roches paléozoïques, les terrains de couverture (alluvions, limons, tourbes, sables) ne constituent pas, sur cette carte, des ressources en eau souterraine majeures. Les alluvions sont peu développées. La couche limoneuse est relativement peu épaisse. Les dépôts sableux sont épars et s'étendent sur de faibles superficies. Les tourbes, dépôts récents caractéristiques des Hautes Fagnes, présentent certaines particularités hydrologiques qui sont détaillées dans ce chapitre.

Cette zone est drainée vers le nord par le Wayai, la Hoëgne et la Helle et, vers le sud par le Baiehon, le Trô-Marêt, l'Eau Rouge et le Hockay. Les caractéristiques physico-chimiques des rivières du plateau des Hautes-Fagnes ont été étudiées (*Fabri & Leclercq, 1977 ; Fabri & Leclercq, 1984 ; Leclercq, 1984*). Les particularités chimiques de ces rivières sont étroitement liées à la géologie (pH acide, très peu minéralisée). En hautes eaux, les eaux sont de type fagnard⁷. Par contre en étiage, elles sont intermédiaires entre ce type et le type ardennais⁸. Les eaux du Baiehon, ruisseau typiquement fagnard, ont été analysées. Des échantillons prélevés à environ 5 km de sa source montrent une influence anthropique due à la proximité de la route (sel de déneigement) (*Schyns, 2004*).

⁷ Rivière de type fagnard dont les eaux sont caractérisées par une minéralisation faible, un pH acide, un déficit en bicarbonates et une teneur importante en sulfates et localisé sur les terrains du Cambro-Ordovicien (Symoens, 1957)

⁸ Rivière de type ardennais, aussi oligotrophe mais proche de la neutralité et présentant toujours des bicarbonates et une teneur plus faible en sulfates. Ces eaux coulent sur les terrains du Dévonien inférieur (Symoens, 1957)

Sur la carte étudiée, le Massif de Stavelot est essentiellement couvert par des forêts, excepté une bande semi-urbanisée et agricole de part et d'autre de l'autoroute E42 et le coin sud-est. Le quart nord-est de la carte est occupé par des tourbières (cfr. II. Cadres géographique, hydrographique, géomorphologique et pédologique, p. 5). Peu d'ouvrages de prise d'eau sont répertoriés. Etant donné la nature des ouvrages (source, drain, galerie), nous disposons de peu de données permettant de mieux caractériser le contexte hydrogéologique de la région étudiée. La SWDE possède dans cette région une vingtaine d'ouvrages dont certains ne sont employés que sporadiquement (en appui des captages principaux). Peu d'études ont été réalisées.

La présence de nombreux captages par écoulement gravitaire laisse supposer que la nappe logée dans le manteau d'altération contient des ressources importantes, puisque fortement sollicitées. Ce type de nappe est, pourtant, souvent de faible capacité. Il est ainsi probable que ces captages soient alimentés par cette nappe superficielle mais aussi par la nappe profonde, logée dans le bed-rock fracturé. Cependant, en l'absence d'études détaillées (bilans hydrologiques, hydrochimie, suivi régulier des débits...), il est difficile de valider cette hypothèse.

Parmi les quelques captages composés de puits forés, seul le site de Sourbrodt (Waimes) a fait l'objet d'une étude hydrogéologique détaillée. Ce site de la SWDE est constitué de deux forages : un puits de production, de 75 m de profondeur, et à 160 m à l'ouest, un piézomètre, profond de 101 m (Figure IV.2). Ce second forage a été implanté dans une zone fracturée mais non orientée vers le puits, d'après les résultats de l'étude géophysique (ISSeP, 1997). Les résultats du test de traçage aboutissent aux mêmes constatations. En effet, en automne 2003, de l'uranine a été injectée dans le piézomètre (2 kg). Un échantillonneur automatique a été placé au puits P1 ($Q=18 \text{ m}^3/\text{h}$). *Au vu des faibles intensités mesurées, on ne distingue aucune évolution faisant penser à une quelconque restitution. En effet, les résultats obtenus se situent dans la gamme de variation du bruit de fond ainsi que dans les limites de détection instrumentale estimée. Dans ces conditions, on peut considérer que le produit injecté n'a pas été retrouvé* (Tractebel, 2004).

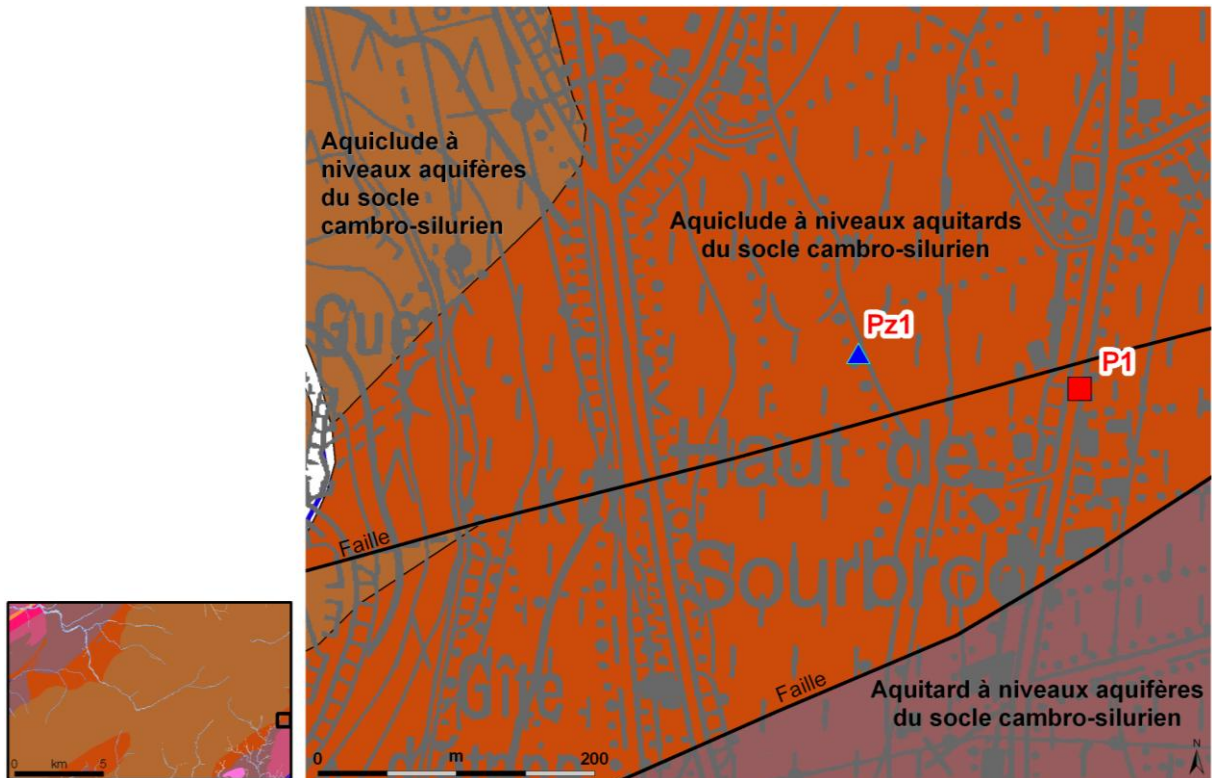


Figure IV.2 : Site de Sourbrodt à Waimes (SWDE)

D'après les renseignements fournis par la SWDE, une importante venue d'eau, située à -73,2 m, est presque entièrement responsable du débit total produit au puits P1. Le niveau statique du puits s'équilibre vers la cote 562 m, soit l'eau à ≈ 35 m de la surface. Avec un débit de $300 \text{ m}^3/\text{j}$, le niveau dynamique s'établit à 40 m de profondeur, soit la cote piézométrique de ≈ 557 m. Lors du forage du piézomètre, on a constaté que le débit augmentait progressivement jusqu'à 101 m pour atteindre $4 \text{ m}^3/\text{h}$, sans venue d'eau importante. Le niveau d'eau est mesuré annuellement dans le piézomètre (Figure IV.3). L'eau se situe à une profondeur variable, entre environ 10 et 25 m, selon l'année. Cette chronique piézométrique, établie sur base de relevés annuels, ne permet pas de tirer des enseignements pertinents sur le comportement piézométrique de l'aquifère (jeu de données trop faible).

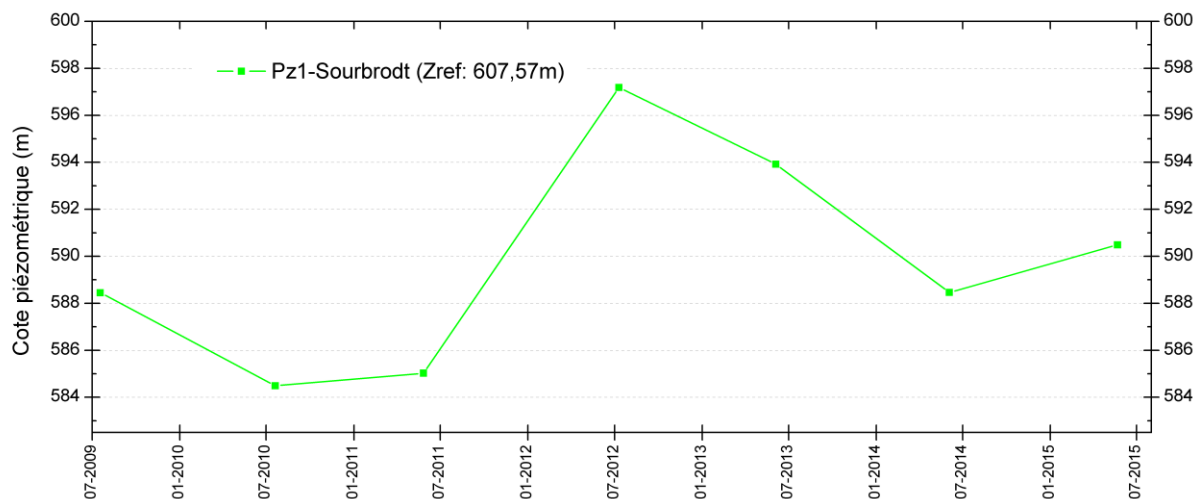


Figure IV.3 : Niveaux piézométriques dans le forage Pz1-Sourbrodt – SWDE

Lors du forage des ouvrages, puits et piézomètre, des essais de pompage ont été réalisés. Les essais menés lors de l'hiver 1985-86 sur le puits P1 conduisent à des conductivités hydrauliques de l'ordre de 10^{-5} m/s (SWDE, 1989). Sur le piézomètre, l'essai (avril 2003) montre un accroissement rapide du rabattement avec le temps et une remontée très lente (mauvaise réalimentation de l'ouvrage). Après 48 h de pompage ($Q \approx 7$ m³/h), le rabattement était de 22 m. Le rabattement résiduel en fin de remontée (12 h) était de 1,63 m. Les conductivités hydrauliques calculées sont de $7,4 \times 10^{-7}$ m/s en descente et de 9×10^{-7} m/s en remontée (SWDE, 2003).

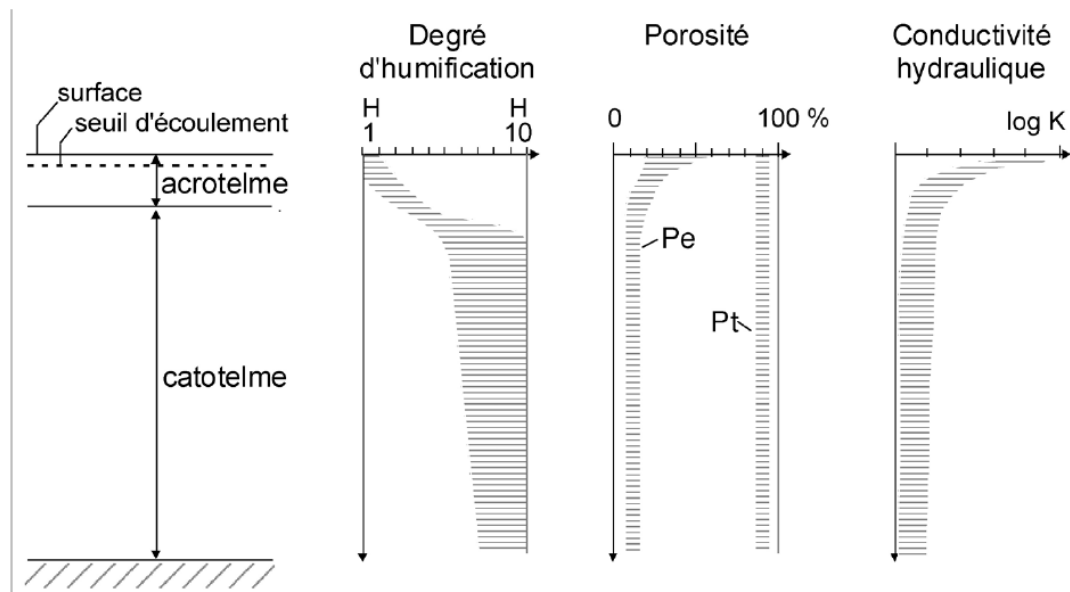
IV.2.1.1. Les tourbières

Présentes sur le Massif de Stavelot, dans le nord-ouest de la carte Sart-Xhoffrai, les tourbières occupent entre 13 et 15 % de la superficie de la zone cartographiée, selon respectivement la carte d'occupation du sol (COSW) et la carte pédologique (CNSW) (cfr. chapitre II, p. 5). Les types de sols relevés sous la classe « Zones humides-Tourbières » (COSW) sont des sols tourbeux ou présentant une qualité de drainage naturel modéré à assez pauvre. Les tourbières hautes à sphaignes sont caractéristiques des régions tempérées et très présentes sur les hauts plateaux ardennais (dont les Hautes Fagnes).

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

La Figure IV.4 résume les paramètres classiques utilisés pour définir les sols tourbeux. L'acrotelme, ou la strate supérieure, est formée de la végétation vivante et des sphaignes mortes peu décomposées. Peu épaisse (quelques dizaines de centimètres), elle correspond à la zone d'aération périodique où le niveau hydrostatique fluctue. Le catotelme,

ou la strate inférieure, constitue la masse la plus importante de la tourbière, elle peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseur et se caractérise par une saturation en eau permanente et donc l'absence d'activité microbienne aérobie. Si la conductivité hydraulique (K) décroît avec la profondeur, elle dépend aussi beaucoup du type de tourbes. Dans les coussins à sphaignes, K est de l'ordre de 10^{-1} m/s (Romanov, 1968 ; cité dans Wastiaux, 2008). Dans les tourbes modérément humifiées, elle est comprise entre 10^{-4} à 10^{-6} m/s (Rycroft et al., 1975 ; cité dans Wastiaux, 2008). La perméabilité peut descendre à 10^{-9} m/s ou même 10^{-10} m/s dans les tourbes fortement humifiées (Baden & Eggelsmann, 1963 ; Rycroft et al., 1975 ; cités dans Wastiaux, 2008).



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

Figure IV.4 : Profil schématique d'une tourbière haute et de quelques paramètres hydro-physiques (Wastiaux, 2008)

Le fonctionnement hydrologique des tourbes à l'échelle d'un bassin versant a été étudié via la relation "Précipitations-Débits". Cette dernière est directement en lien avec l'état de la nappe. On observe en général une nappe peu profonde (eau à maximum 20-30 cm de profondeur). Les fluctuations sont de faibles amplitudes. Le niveau piézométrique a été suivi durant une année dans une tourbière des Hautes Fagnes (Wastiaux, 2000). Le niveau d'eau se situe majoritairement à une dizaine de centimètres sous la surface (plus de 60 % de l'année hydrologique). Exceptionnellement, sur de courtes périodes, le niveau piézométrique est parfois plus bas. Cette absence d'abaissement du niveau piézométrique montre que la vidange latérale de la nappe doit être très limitée. Une tourbière est donc un milieu quasiment saturé qui offrira peu de capacité d'absorption (Wastiaux, 2008). De l'étude d'un petit bassin-versant tourbeux des Hautes-Fagnes, diverses observations ont été faites. *En période de précipitations, le niveau hydrostatique reste très proche de la surface. Parallèlement, les pics de crue se succèdent. La tourbière est (quasi) saturée. Tout excédent*

de précipitations ne peut donc pas s'infiltrer, mais seulement ruisseler selon la pente, à travers la végétation de surface. Au cours d'une période sèche estivale, le niveau hydrostatique descend selon une succession de paliers, à intervalles constants de 24 heures. Parallèlement, le débit (à l'exutoire du bassin) diminue rapidement et devient extrêmement faible (cela signifie un débit de base très bas). Ces deux éléments conjoints indiquent que l'évapotranspiration est, à ce moment, quasiment la seule responsable de l'abaissement du niveau hydrostatique. Lorsque des précipitations ont lieu après une période sèche estivale, la nappe remonte, mais dans un premier temps, le débit (du ruisseau) reste très faible. C'est seulement après que la nappe ait atteint un certain seuil, qu'une signature à l'exutoire (du bassin-versant) est à nouveau enregistrée. Sous ce seuil, la tourbe est pratiquement imperméable et les mouvements latéraux de l'eau sont extrêmement lents – de même que l'infiltration vers des aquifères plus profonds, souvent considérée comme négligeable à l'échelle du bilan hydrologique annuel (Wastiaux, 2008).

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

Le type de couverture végétale et l'épaisseur de la tourbière peuvent aussi intervenir sur la relation "Pluies-Débits". A titre d'exemple, on peut citer l'étude hydrologique menée sur de petits bassins versants des Hautes Fagnes (Mbuyu & Petit, 1990). Le comportement hydrologique de deux bassins versants de morphométrie similaire mais dont l'occupation du sol diffère a été analysé en fonction de différents paramètres. Ils sont situés dans la partie amont du bassin de la Helle, localisée sur cette carte. Le bassin versant de la Fagne Wallonne est couvert d'une lande sur un substrat tourbeux épais. Le second bassin, Ru des Waidages, est couvert d'une pessière (forêt d'épicéas) sur un substrat tourbeux peu épais. En période hivernale, il existe un écoulement rapide de crues dans les deux bassins. Cependant, sous la pessière qui permet d'augmenter l'interception et donc l'évaporation directe, la lame d'eau évacuée à partir de ce bassin est plus faible que celle du bassin tourbeux. Lors de la période estivale, le bassin couvert d'épicéas répond plus rapidement aux précipitations. Le déclenchement de l'écoulement rapide de crue dans le bassin tourbeux est retardé par la reconstitution du stock en eau (l'évaporation ayant entraîné une

diminution du niveau piézométrique). De plus, il faut noter que le seuil de saturation du bassin tourbeux est nettement plus important que celui du bassin forestier (tourbe peu épaisse). La quantité d'eau stockée dans la strate supérieure de la tourbière du bassin de la Fagne Wallonne est plus importante que dans l'autre bassin versant. Ainsi, la lame d'eau écoulée est inférieure à celle dans la pessière et l'écoulement de crue n'est pas généré directement.

IV.2.2. Synclinorium de l'Eifel – Nappe de la Vesdre – Fenêtre de Theux

Une très petite surface ($\pm 3 \text{ km}^3$) dans le sud-est de la carte est occupée par le Synclinorium de l'Eifel (flanc septentrional), constitué de terrains du Dévonien inférieur (Figure IV.5). Ces terrains constituent des réservoirs naturels pour l'alimentation du réseau hydrographique ainsi que des localités avoisinantes. Sur la carte Sart-Xhoffrai, une seule unité hydrogéologique y affleure : l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur.

Cette zone est drainée par la Warche. Sur cette carte, un seul puits est recensé dans cette unité hydrogéologique, le puits Rétons. Ce forage privé n'est pas accessible pour une mesure piézométrique (scellé). Néanmoins, un échantillon d'eau y a été prélevé (cfr. V.1.2, p. 43). Nous ne disposons d'aucune autre donnée permettant de définir le comportement hydrogéologique de cette unité.

Le nord-est de la carte est occupé par deux unités structurales. Tout d'abord, constituée uniquement de terrains cambro-ordoviciens, la Nappe de la Vesdre s'étend sur environ 20 km^2 (Figure IV.5). Une quinzaine d'ouvrages de prise d'eau y sont recensés. Il s'agit essentiellement de puits. Les unités hydrogéologiques sollicitées sont :

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

Cette zone est drainée vers le nord-ouest par la Hoëgne et ses affluents, ainsi que par le Wayai. Quelques particuliers exploitent les eaux souterraines logées dans les terrains altérés et/ou fracturés. A nouveau, nous ne disposons pas de données permettant de préciser le comportement hydrogéologique de ces terrains (niveau d'eau, paramètres hydrodynamiques...).

Ensuite, s'étendant sur environ 10 km^2 (Figure IV.5), la Fenêtre de Theux est, sur la carte étudiée, constituée des unités hydrogéologiques suivantes :

- Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur ;
- Aquiclude du Dévonien inférieur ;
- Aquitard à niveaux aquifères du Dévonien inférieur ;

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

Sur la carte Sart-Xhoffrai, moins de dix captages sont implantés dans cette zone. Plusieurs de ces ouvrages appartiennent à Spadel s.a. Deux niveaux piézométriques ont pu être mesurés au droit de puits privés (Tableau IV.2). On constate que l'eau est située à faible profondeur, dans ces forages relativement profonds. Les puits de faible profondeur sollicitent essentiellement la nappe logée dans le manteau d'altération, voire la partie supérieure de la nappe de fissures du bed-rock. 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. Ces cotes piézométriques relativement proches de la surface topographique, semblent démontrer que l'horizon aquifère qu'ils recoupent en profondeur est captif.

Tableau IV.2 : Niveaux piézométriques - Puits privés - Fenêtre de Theux

Nom	Profondeur	Date	Profondeur de la nappe	Cote piézométrique
Sart	72 m	10/11/2011	2 m	360 m
Arbspine	36 m	10/11/2011	8 m	342 m

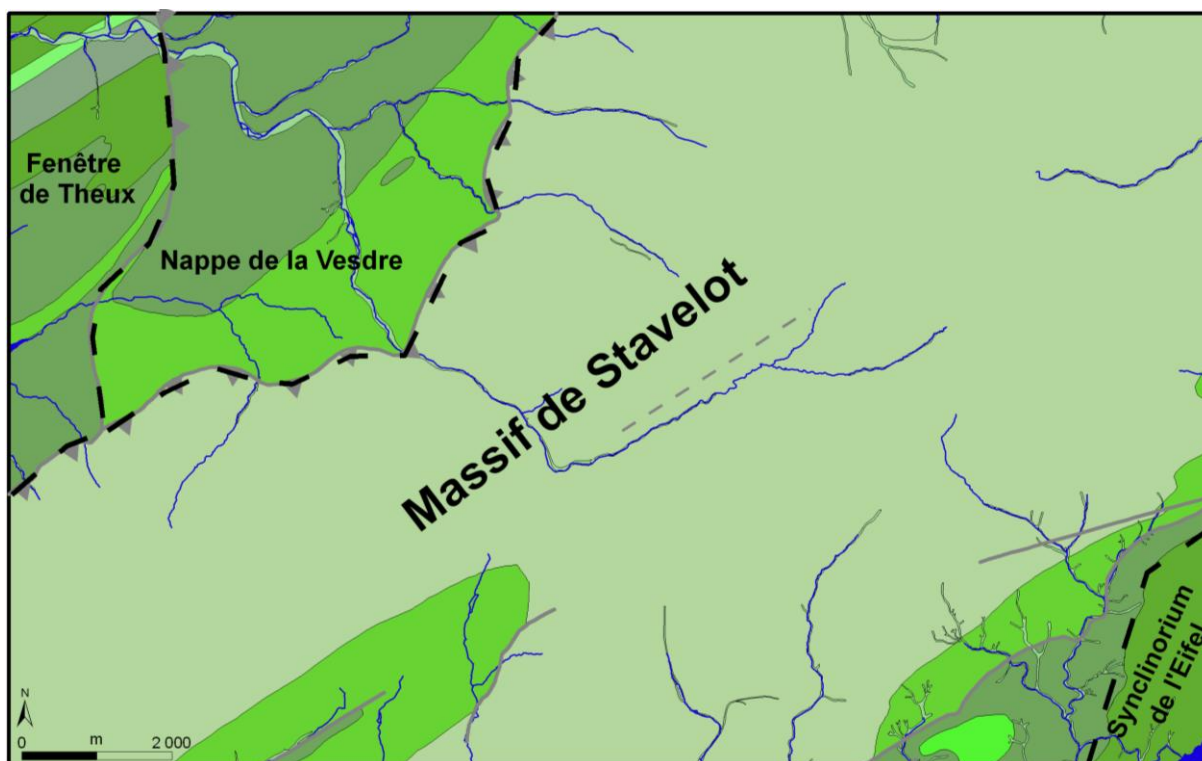


Figure IV.5 : Entités hydrogéologiques - Carte Sart-Xhoffrai

IV.2.3. Eaux minérales de Spa

Les eaux captées par le groupe Spadel s.a. dont fait partie Spa Monopole proviennent de l'aquitard à niveaux aquicludes et de l'aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien. Les eaux de Spa ont fait l'objet de nombreuses études hydrogéologiques, entre autres par l'Université de Liège (LGIH) et l'Institut Henrijean (laboratoire de recherches

et d'hydrologie du groupe Spadel), depuis les années septante. En outre, les pouhons⁹ historiques de Spa ont été reconnus par le Ministère de la Santé comme eau minérale naturelle et thermale depuis 1889. Ce chapitre est basé sur ces études ainsi que sur le dossier de délimitation des zones de protection des prises d'eau souterraine de la région de Spa.

Le substratum de la région spadoise est formé de roches paléozoïques du socle cambro-ordovicien, constituées de phyllades, de quartzites et de quartzophyllades en bancs d'épaisseur variable, surmontés sur les crêtes topographiques d'argiles à silex mésozoïques, de sables cénozoïques et de dépôts récents (tourbes et colluvium). D'un point de vue tectonique, ce bed-rock a subi différentes phases de plissements d'âge calédonien et hercynien. Les plis sont nombreux et ont une orientation WSW-ENE avec un déversement général vers le nord et un ennoyage ouest. De nombreuses failles transverses recoupent les formations avec une direction principale NNW-SSE à NW-SE et une direction secondaire NNE-SSW. Lors des périodes d'exondations qui ont suivi ces deux orogénèses, les roches paléozoïques ont subi une paléoaltération dont le résultat est notamment une déminéralisation plus ou moins profonde et importante des zones supérieures du bed-rock. La base de cette zone paléoaltérée est fluctuante et la cote approximative dans la région de Spa serait de 400/440 m. La cote de base des dépôts de résidus à silex est approximativement à 545 m. Par contre, on retrouve des poches résiduelles de sables à des altitudes inférieures (Figure IV.6).

Dans ce contexte géologique, les formations susceptibles de contenir une nappe aquifère sont :

- les quartzites et quartzophyllades du bed-rock qui contiennent une nappe de fissures ;
- le manteau d'altération car son épaisseur est notable du fait des exondations mésozoïques et cénozoïques ;
- les dépôts mésozoïques et cénozoïques qui jouent un rôle de réservoir temporaire suralimentant les nappes du manteau d'altération et du bed-rock situées en aval ;
- les formations tourbeuses qui jouent surtout un rôle de régulateur de débit du fait de leur forte capacité de rétention.

⁹ Pouhon: terme wallon (*poujhon* ou *poûjon*) désignant une source minérale naturellement gazeuse pouvant être ferrugineuse ou saline ou bien encore alcaline ou sulfureuse.

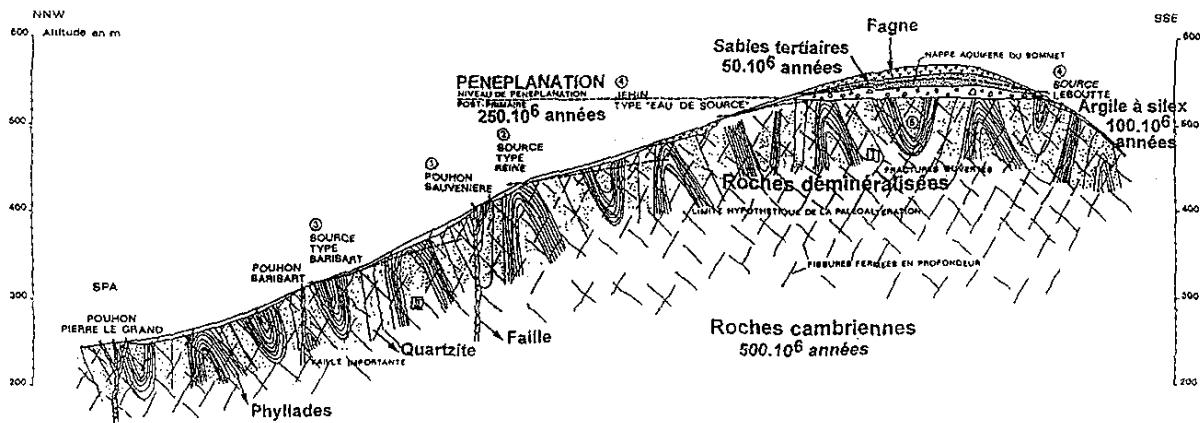


Figure IV.6 : Coupe géologique de la région de Spa (Monjoie, 2002).

D'un point de vue hydrochimique, deux grands ensembles hydrogéologiques coexistent dans la région spadoise :

1. les eaux faiblement à très faiblement minéralisées :

- les eaux météoriques récentes infiltrées à travers le colluvium et le manteau d'altération s'accumulent dans les fissures du bed-rock quartzitique engendrant une nappe dans ces horizons. Celle-ci émerge vers l'aval sous forme de site sourcier, généralement à la rencontre d'un horizon schisto-phylladeux moins perméable, avec une concentration au droit des accidents tectoniques transverses. Vu la déminéralisation du bed-rock jusqu'à une altitude de 400/440 m (liée à la paléoaltération), les eaux infiltrées y trouvent très peu d'éléments susceptibles de passer en solution, ce qui explique la très faible minéralisation des eaux de *type eau minérale naturelle Reine* ;
- Sous cette cote de 400/440 m, la paléoaltération est moins développée, voire inexistante. Par leur contact plus ou moins prolongé avec des roches moins lessivées qui se situent à des altitudes inférieures, les eaux se chargent légèrement plus en ions dissous : ce sont les eaux de *type eau minérale naturelle Barisart* ;
- La présence, au-dessus de la cote 545 m, de résidus d'argile à silex en bordure de la Grande Vecquée, surmontés localement de poches résiduelles de sable, permet la mise en place d'une nappe dont la minéralisation totale est généralement plus élevée, fonction de leur contact prépondérant avec les lambeaux résiduels. Ces eaux ont des minéralisations plus variées dans le temps et dans l'espace : ce sont les *eaux de source Clairefagne*.

2. les eaux ferrugineuses carbo-gazeuses :

- Le schéma hydrogéologique des venues d'eau minérale carbo-gazeuse correspond à une remontée de l'eau du substratum profond par le chenal des accidents transversaux aquifères. Près de la surface, il y a une dispersion de l'eau dans les fissures des zones détendues et altérées et une même venue d'eau profonde donne généralement lieu à plusieurs exutoires ou pouhons. L'eau piégée sous les nappes aquifères superficielles ne sourd en surface qu'aux endroits où cette couverture est moins épaisse ou plus perméable. L'eau, d'origine météorique ancienne, infiltrée à grande profondeur, s'est chargée en gaz carbonique et en sels minéraux dissous. Le CO₂, en se dégageant par diminution de pression, met la colonne d'eau en émulsion permettant le jaillissement des pouhons. Ceux-ci situés à proximité les uns des autres présentent parfois des variations chimiques en raison de cheminements différents dans les terrains supérieurs. Ces points d'émergence sont souvent localisés au carrefour de failles et avec une limite en altitude (fonction de la possibilité de montée ascensionnelle des eaux suite à l'émulsion des gaz). La plupart de ces venues d'eau émergent sous la cote 450 m. Il s'agit des eaux de *type eau minérale naturelle ferrugineuse carbo-gazeuse Marie-Henriette*.

IV.2.4. Coupe hydrogéologique

Une coupe hydrogéologique a été dressée au 1/25.000 sans exagération verticale. La coupe est orientée nord-ouest – sud-est et elle recoupe la plupart des formations géologiques rencontrées sur la carte. Elle débute au niveau de l'Unité de Jalhay (Nappe de la Vesdre) et entre ensuite dans le Massif de Stavelot (terrains cambro-ordoviciens). La fin de la coupe fait partie du Synclinorium de l'Eifel (terrains du Dévonien inférieur). Cette coupe est basée sur la coupe D-E de la carte géologique de Geukens (1986) modifiée sur base de l'actualisation de la carte géologique par Geukens (1999) et de la carte géologique de Vandenvin (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). Malheureusement, vu le très faible nombre de cotes piézométriques disponibles sur cette carte, le tracé de la coupe ne comporte aucun niveau piézométrique.

IV.2.5. 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 Sart-

Xhoffrai, 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.2.6. Piézométrie de la carte Sart-Xhoffrai

Les données piézométriques disponibles sont très peu nombreuses pour les unités hydrogéologiques de la carte Sart-Xhoffrai. Elles concernent un nombre très limité d'ouvrages. On note aussi l'absence de données historiques exploitables. Ainsi, des cotes ponctuelles, avec la date de prise de la mesure, sont reportées sur la carte principale (1/25.000).

A défaut d'une couverture piézométrique complète permettant de détailler le sens de l'écoulement souterrain, le niveau de la nappe ou encore le gradient piézométrique, seules des considérations générales peuvent être émises. Le réseau hydrographique pérenne constitue, en général, l'exutoire des nappes aquifères (drainage), indiquant ainsi le sens global de l'écoulement des eaux souterraines. Plus de la moitié de la carte appartient au bassin de la Vesdre (Helle, Hoegne, Wayai). Le Sud de la carte est drainé par la Warche et d'autres affluents de l'Amblève. Ces cours d'eau constituent le niveau de base des aquifères qu'ils recoupent. Il faut noter, cependant, que le bassin hydrogéologique ne correspond pas toujours exactement au bassin hydrographique.

Dans les unités hydrogéologiques de nature gréseuse, schisto-gréseux, quartzitique ou quartzo-phylladeuse, on rencontre généralement deux types de nappes : nappe superficielle et nappe profonde. Ce schéma se retrouve dans les mesures piézométriques. Des niveaux d'eau peu profonds sont relevés, quelques décimètres à quelques mètres par rapport à la surface topographique, indiquant une nappe subaffleurante. Des profondeurs d'eau plus importantes sont aussi observées. Ces niveaux d'eau caractérisent la nappe logée dans les terrains plus fracturés et gréseux du bed-rock. Ces horizons aquifères peuvent localement être semi-captifs à captifs.

V. CADRE HYDROCHIMIQUE

Les analyses chimiques présentées dans les paragraphes suivants ont été réalisées sur des eaux brutes, non encore traitées en vue de leur consommation. Nous ne disposons pas de données suffisantes pour préciser le cadre hydrochimique de toutes les unités hydrogéologiques de la carte.

En Région wallonne, depuis l'entrée en vigueur du Code de l'Eau (3 mars 2005), toute la législation relative à l'eau a intégré les anciens textes réglementaires (décrets et articles). L'arrêté relatif aux valeurs paramétriques applicables aux eaux destinées à la consommation humaine (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 de ces données est disponible auprès des autorités régionales (D GARNE et D GATLPE). La SPAQuE a inventorié les sites potentiellement contaminés en Wallonie. Ils sont répertoriés dans une banque de données, WALSOLS, consultable sur <http://www.walsols.be/>. Sur la carte Sart-Xhoffrai, un seul site est répertorié dans cette banque de données : Bois de Roslin à Jalhay (Lg4102-001).

Dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive cadre sur l'eau (Directive 2000/60/CE), le Service Public de Wallonie a établi un programme de surveillance des 33 masses d'eau définies en Wallonie (http://environnement.wallonie.be/directive_eau). Au niveau des eaux souterraines, un réseau de surveillance de l'état quantitatif et qualitatif a été élaboré et finalisé en décembre 2006. Deux masses d'eau souterraines, appartenant au district de la Meuse, sont localisées sur la carte Elsenborn-Langert & Dreiherrrenwald : RWM100 et RWM102 (Figure V.1).

La masse d'eau souterraine, RWM 100, **Grès et schistes du massif ardennais : Lesse, Ourthe, Amblève**, occupe la majorité du territoire de la carte Sart-Xhoffrai (156,5 km²). Sa superficie totale de l'ordre de 3300 km² est composée de roches datant du Dévonien inférieur et du Cambro-silurien. L'analyse qualitative de cette masse d'eau l'a jugé en bon état chimique. Aucun site de contrôle du réseau DCE qualitatif n'a été défini. Néanmoins, la masse d'eau RWM100 est surveillée par 177 sites du réseau 'Survey Nitrates' et par de nombreux captages de producteurs d'eau. En ce qui concerne l'état qualitatif, l'équilibre entre les prélèvements et la recharge en eau souterraine est jugé comme 'bon'. Aucune tendance à la baisse du niveau d'eau n'a été observée sur les chroniques piézométriques des 4 sites de contrôle du réseau de surveillance quantitative (*DGARNE-DESO et Protectis-Cellule DCE, 2015*).

La seconde masse d'eau souterraine RWM 102, **Grès et schistes du massif ardennais : bassin de la Roer**, localisée sur la carte étudiée, en occupe une très petite surface (3,5 km²) à l'est. D'une superficie totale de 110 km², cette masse d'eau 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'. L'état chimique de cette masse d'eau est surveillé par un réseau de 5 sites dont un est situé sur la carte Sart-Xhoffrai (Botrange D1', drain à Robertville - 50/2/6/005). Aucune étude de l'état quantitatif n'est réalisée (*DGARNE-DESO et Protectis-Cellule DCE, 2015*).

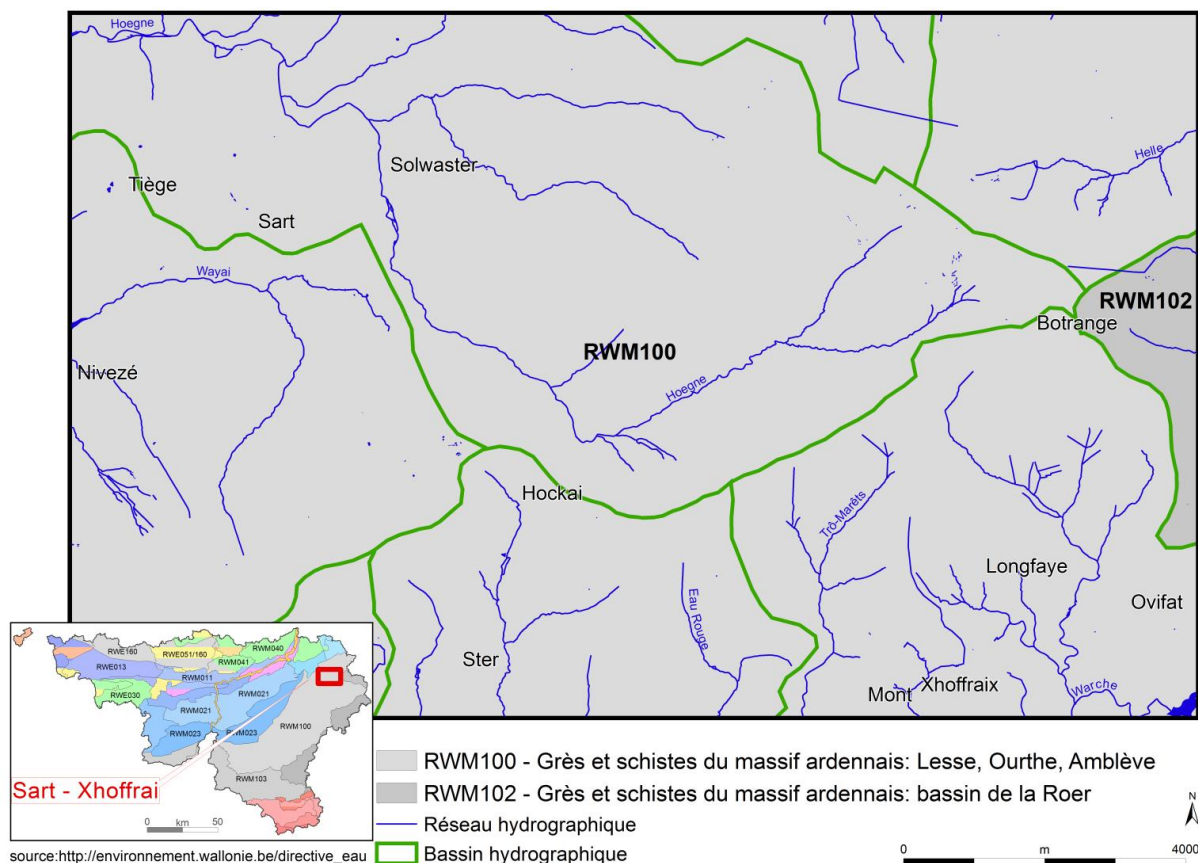


Figure V.1 : Carte des masses d'eau souterraine – Sart-Xhoffrai

V.1. CARACTÉRISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX

V.1.1. Généralités

Identifier rapidement les faciès hydrochimiques des eaux souterraines fait partie des étapes de caractérisation des nappes aquifères. Le diagramme de Piper est l'une des représentations graphiques couramment utilisées pour définir les types d'eau. Le diagramme de Piper est composé de deux diagrammes ternaires dans lesquels sont reportés les proportions en cations et en anions. Le troisième diagramme reprend une synthèse des deux précédents et permet de rapidement caractériser l'eau analysée. Chaque sommet des triangles représente 100% d'un des trois constituants. Pour les cations, on représente en

général Ca^{++} , Mg^{++} et $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ tandis que pour les anions, il s'agit de Cl^- , SO_4^{--} et $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--}$, avec parfois NO_3^- (proportions relatives).

Cette méthode graphique appliquée à plusieurs prises d'eau souterraine de la carte Sart-Xhoffrai 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 la cette région. En effet, nous ne disposons pas d'analyses chimiques des eaux de l'ensemble des unités hydrogéologiques définies. Sur base des données hydrochimiques disponibles, on constate que les eaux souterraines de cette carte sont majoritairement de type chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes.

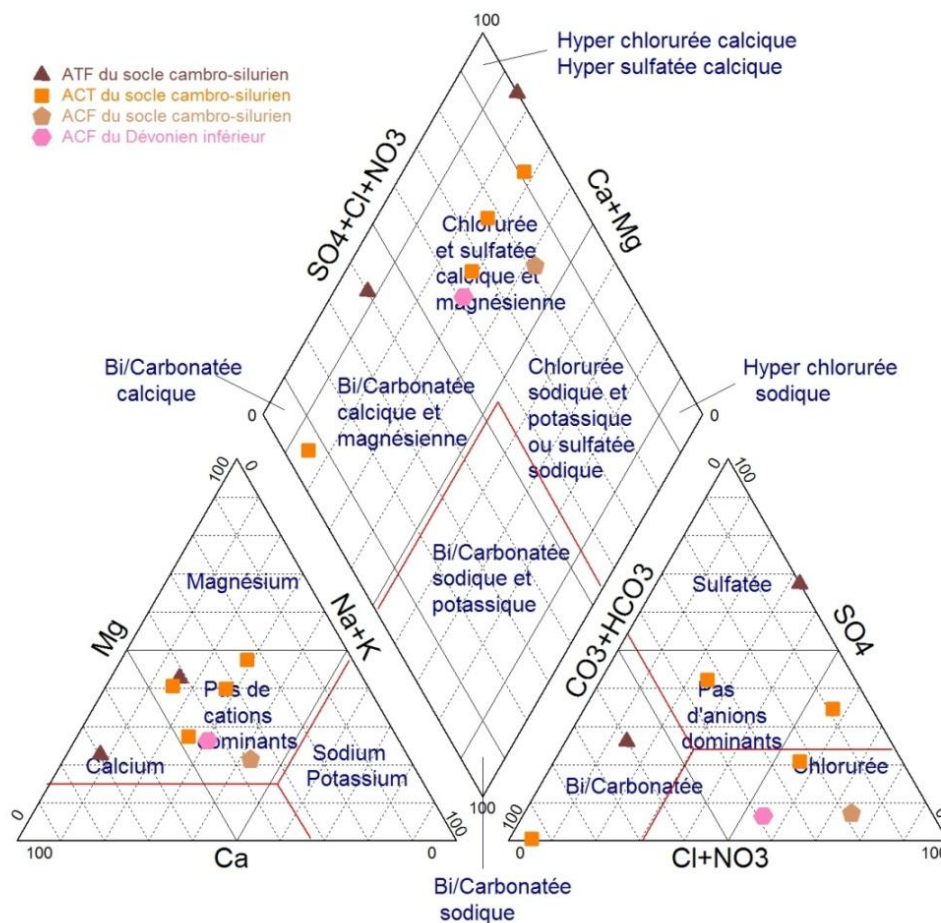


Figure V.2 Diagramme de Piper des eaux souterraines de la carte Sart-Xhoffrai.

V.1.2. Aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur

Cette unité hydrogéologique étant peu étendue sur le territoire de la carte Sart-Xhoffrai, on dispose de peu de données permettant de préciser son profil hydrochimique. Le **Tableau V.1** reprend les résultats de l'analyse d'un échantillon d'eau prélevé au puits 'Rétons' dans le sud-est de la carte (Robertville). Il s'agit d'un puits privé à usage agricole et profond de 90 m. La faible conductivité de l'eau, indicateur de la minéralisation de celle-ci, est notamment une caractéristique des eaux souterraines du massif ardennais, de même

qu'un pH acide. Les teneurs en fer, mais surtout en manganèse, sont très élevées. Les nitrates sont présents mais restent bien inférieurs aux normes.

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

Elément	Unité	Niveau-guide SPW	Rétons
		Code de l'eau	Automne 2011
Conductivité à 20°	µS/cm	2100	72,7
pH		6,5 à 9,5	6,63
Dureté totale TH	°français	67,5	2,6
Alcalinité totale TAC	°français	-	1,4
Calcium	mg/L	270	6,45
Magnésium	mg/L	50	2,38
Sodium	mg/L	150	4,34
Potassium	mg/L	12	1,41
Carbonates	mg/L	-	< 0,01
Bicarbonates	mg/L	-	17,07
Strontium	µg/L	750	< 50
Fer total Fe ³⁺	µg/L	200	40
Manganèse total	µg/L	50	300
Sulfates	mg/L	250	2,27
Chlorures	mg/L	200	7,82
Fluorures	mg/L	0,1	< 0,08
Nitrates	mg/L	50	10,76
Nitrites	mg/L	0,1	< 0,08
Ammonium	mg/L	0,5	< 0,04
Silice SiO ₂	mg/L	-	6,21

V.1.3. Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien

Quelques analyses hydrochimiques sont disponibles pour caractériser les eaux souterraines logées dans l'aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien. Elles proviennent essentiellement de la SWDE qui possède plusieurs captages (en service ou en réserve) sollicitant cette unité hydrogéologique. La campagne de prélèvements liée à la réalisation de la carte hydrogéologique a complété ce jeu de données (Cronchamps : captage privé, source).

Les résultats des analyses, présentés au [Tableau V.2](#), indiquent une eau peu chargée (conductivité faible mais variée), très douce (TH < 5°F). Son alcalinité est faible et son pH est acide. A noter que les analyses fournies présentent toutes un pH hors des normes de potabilité. Le fer et le manganèse sont présents, avec parfois des dépassements des seuils-guides. Quelques points (drains et sources) montrent des teneurs en chlorures plus élevées indiquant peut-être une influence anthropique. Les concentrations en nitrates sont faibles.

Tableau V.2 : Caractéristiques hydrochimiques de l'aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien

Elément	Unité	Niveau-guide SPW	Belheid DR		Botrange DR	Damzai G1	Hockay P1	Mockels P1	Cronchamps
			Code de l'eau	11/10/2011	11/01/2016	17/02/2016	12/09/2012	30/05/2012	22/11/2011
Conductivité à 20°	µS/cm	2100	44	48	115	159	135	138	189,9
pH		6,5 à 9,5	5,3	5,9	5,4	5,61	6,31	6,11	6,43
Dureté totale TH	°français	67,5	1,7	3,6	1,4	3,9	-	3,1	4,9
Alcalinité totale TAC	°français	-	1,8	3,1	0,6	1,6	3,3	1,1	1,7
Calcium	mg/L	270	4,8	8,8	3,1	10,3	-	6,3	12,22
Magnésium	mg/L	50	1,1	3,4	1,6	3,2	-	3,7	4,37
Sodium	mg/L	150	2,1	1,8	15,2	16,3	-	15,5	15,77
Potassium	mg/L	12	0,2	0,3	0,5	0,4	-	0,6	1,13
Carbonates	mg/L	-	0	-	-	0	0	0	<0,01
Bicarbonates	mg/L	-	22,27	-	-	19,67	40,28	13,46	20,73
Strontium	µg/L	750	9,5	18	18	30,9	-	26,5	< 50
Fer total Fe ³⁺	µg/L	200	<12	1837	78	14	-	408	50
Manganèse total	µg/L	50	3,9	108	140	28,9	-	16,1	50
Sulfates	mg/L	250	1,5	7,7	4,8	11,1	11	4,2	6,35
Chlorures	mg/L	200	4,7	2,8	27,6	38,3	14,1	29,4	45,89
Fluorures	mg/L	0,1	<0,05	0,07	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,04
Nitrates	mg/L	50	3,5	<0,05	5,6	4,1	6,2	15,8	4,76
Nitrites	mg/L	0,1	<0,04	<0,03	<0,025	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Ammonium	mg/L	0,5	<0,02	<0,0125	0,01	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Silice SiO ₂	mg/L	-	5,1	6	3,85	6,4	-	7,7	0,60

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

Des échantillons d'eau ont été prélevés dans quelques puits implantés dans l'aquiclude à niveaux aquitards du socle cambro-silurien. Quelques analyses hydrochimiques sont présentées dans le **Tableau V.3**. Il s'agit d'eau faiblement minéralisée (conductivité basse) et douce. L'alcalinité est faible à moyenne. Les pH mesurés sont très variables. Pour certains puits, le pH est nettement acide. Pour d'autres, le pH est neutre à basique. Les teneurs en nitrates sont aussi assez différentes d'un puits à l'autre, tout en restant inférieures aux normes de potabilité. Les concentrations en calcium et en bicarbonates de certains échantillons sont à mettre en parallèle avec la lithologie des terrains. En effet, dans le Revinien supérieur (Rv5), on observe parfois des nodules dolomitiques. Les teneurs en fer et en manganèse sont, toutes, élevées à très élevées, dépassant parfois énormément les niveaux-guides. Ces valeurs sont caractéristiques des eaux profondes du Massif ardennais. Elles nécessitent un traitement adéquat avant d'être distribuées sur le réseau public d'eau potable.

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

Élément	Unité	Niveau-guide SPW	Sourbrodt P1		Pont le Page	Stockai	Ster	Longfaye
			06/03/2012	17/02/2016				
		Code de l'eau	Automne 2011					
Conductivité à 20°	µS/cm	2100	199	212	176,8	110,9	90,9	80,83
pH		6,5 à 9,5	8,49	7,5	5,48	6,88	7,14	5,19
Dureté totale TH	°français	67,5	10,4	11,3	6,5	4,4	3,1	2,40
Alcalinité totale TAC	°français	-	9,5	9,7	11,3	1,3	1,6	0,30
Calcium	mg/L	270	26,2	28,2	13,65	11,29	4,11	4,23
Magnésium	mg/L	50	9,5	10,4	7,57	3,93	4,92	3,13
Sodium	mg/L	150	3,8	4,1	4,90	6,05	5,32	2,95
Potassium	mg/L	12	0,4	0,5	0,74	1,48	0,57	1,96
Carbonates	mg/L	-	1,91	-	<0,01	0,01	0,02	<0,01
Bicarbonates	mg/L	-	111,83	-	137,97	15,85	19,45	4,02
Strontium	µg/L	750	34,6	44,4	<50	<50	<50	<50
Fer total Fe ³⁺	µg/L	200	277	154	25300	60	5400	210
Manganèse total	µg/L	50	677,3	749,4	400	10	270	70
Sulfates	mg/L	250	15,8	16	0,60	11,23	19,19	12,56
Chlorures	mg/L	200	7,8	7,1	4,13	10,94	8,03	6,60
Fluorures	mg/L	0,1	0,10	0,11	<0,04	<0,08	0,20	<0,04
Nitrates	mg/L	50	<0,18	<0,5	0,31	19,84	0,22	14,97
Nitrites	mg/L	0,1	<0,04	<0,025	<0,04	<0,08	<0,04	<0,04
Ammonium	mg/L	0,5	<0,02	<0,0125	<0,02	<0,10	<0,02	<0,02
Silice SiO ₂	mg/L	-	13,2	13,3	4,83	4,20	12,61	1,62

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

A l'image des unités hydrogéologiques présentées aux paragraphes précédents, les eaux logées dans l'aquitard à niveaux aquifères du Cambro-Silurien présentent un caractère faiblement minéralisé, un pH variable, une dureté faible (eau douce), une alcalinité moyenne, des teneurs en nitrates souvent faibles et des teneurs en fer et manganèse très élevées. Les pH acides observés se situent en dehors des normes wallonnes (**Tableau V.4**).

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

Élément	Unité	Niveau-guide SPW	Xhoffrai-P1		Arzelier
		Code de l'eau	21/11/2011	10/08/2015	Automne 2011
Conductivité à 20°	µS/cm	2100	177	156	101,2
pH		6,5 à 9,5	6,17 (19/10/2006)	7,2	4,04
Dureté totale TH	°français	67,5	4,2	4,4	3,6
Alcalinité totale TAC	°français		2,4	2,2	0
Calcium	mg/L	270	10,4	10,6	7,04
Magnésium	mg/L	50	3,8	4,2	4,37
Sodium	mg/L	150	5,8	6,7	2,69
Potassium	mg/L	12	0,9	1,1	0,58
Carbonates	mg/L	-	-	-	<0,05
Bicarbonates	mg/L	-	-	-	<0,05
Strontium	µg/L	750	66,2	67,9	< 50
Fer total Fe ³⁺	µg/L	200	<12	23	11000
Manganèse total	µg/L	50	<12	2,1	470
Sulfates	mg/L	250	7,6	8,3	30,61
Chlorures	mg/L	200	9,9	10,8	10,95
Fluorures	mg/L	0,1	<0,05	<0,05	<0,08
Nitrates	mg/L	50	18,6	19,9	<0,12
Nitrites	mg/L	0,1	<0,04	<0,03	<0,08
Ammonium	mg/L	0,5	<0,02	0,01	<0,10
Silice SiO ₂	mg/L	-	12,2	11,6	3,87

V.1.6. Eaux de Spa

Les caractéristiques géohydrochimiques particulières des eaux logées dans les horizons aquifères (aquitards) du socle cambro-silurien sont utilisées commercialement par le groupe Spadel (Spa Monopole s.a.) via la mise en bouteilles et les soins thermaux. La société possède plusieurs captages situés sur le territoire de la carte Sart-Xhoffrai. Les eaux minérales naturelles (EMN) « Reine » sont très peu minéralisées (pauci-minéralisées). Les eaux minérales naturelles « Marie-Henriette » sont des eaux naturellement ferrugineuses et carbogazeuses, au même titre que les pouhons de la ville de Spa. Les analyses du [Tableau V.5](#) présentent les résultats d'échantillons prélevés dans les chambres de rassemblement. Dans le cas des EMN « Marie-Henriette », le traitement de déferrisation et de démanganisation a été opéré. Les teneurs en fer et manganèse avant traitement peuvent dépasser, respectivement, les seuils de 5 000 µg/l et 100 µg/l. Ces eaux sont utilisées pour deux finalités : boissons & thermes.

Tableau V.5 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux captées par Spa Monopole sur Sart-Xhoffrai

Elément	Unité	Niveau-guide SPW	Spa Reine	Marie-Henriette
			chambre de rassemblement	chambre de rassemblement
		Code de l'Eau	08/12/2010	08/06/2010
pH	unités pH	6,5 à 9,5	5,1	6,21
Conductivité	µS/cm à 20°C	2100	36	136
Dureté totale (TH)	° français	67,5	-	-
Alcalinité totale (TAC)	° français	-	-	-
Calcium	mg/l	270*	5,37	11,4
Magnésium	mg/l	50*	2,1	6,18
Sodium	mg/l	150	2,75	9,19
Potassium	mg/l	12	0,27	1,04
Bicarbonates	mg/l	-	10	61
Strontium	µg/l	750**	11	37
Fer total dissous	µg/l	200*	<5	<5
Manganèse	µg/l	50*	73	<1
Zinc	µg/l	5000	15	9
Plomb	µg/l	25	<2	<2
Sulfates	mg/l	250*	8,64	10,5
Chlorures	mg/l	200	4,38	4,93
Fluorures	mg/l	0,1 (1,5*)	<0,05	<0,1
Nitrates	mg/l	50	<0,1	0,2
Nitrites	mg/l	0,1	<0,01	<0,01
Ammonium	mg/l	0,5*	<0,012	<0,012
Silice	mg/l SiO ₂	-	7,8	7,7
Résidu sec à 180°C	mg/l	1500	36	85
Niveau-guide donné à titre indicatif * norme de potabilité à défaut de valeur-guide - ** selon la Directive européenne				CO ₂ : 3,8 mg/l (max)

V.1.7. Eau de surface (barrage)

Sur la carte Sart-Xhoffrai, parmi les prélèvements destinés à la distribution publique d'eau potable, on compte la prise d'eau de surface du lac de Robertville. En termes de volumes, il s'agit des captages les plus importants de la carte (cfr VI. Exploitation des aquifères, p. 58). Le Tableau V.6 présente la composition chimique (éléments majeurs) des eaux de cette prise d'eau.

A titre indicatif, la composition des précipitations y est également reprise (Leeflang, 1938 ; Hoogendoorn, 1983. In : Interreg II, 2000). L'échantillon d'eau brute est pris à la sortie d'une conduite de plusieurs kilomètres (conduite Electrabel) sur laquelle est connectée la station des Chôdes. Cette eau est une eau douce, peu minéralisée, au pH alcalin. Les teneurs en fer et manganèse ne sont pas négligeables, voire dépassant le niveau-guide. Un traitement adéquat est nécessaire avant la mise sur le réseau de distribution publique.

Tableau V.6 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux de surface du Lac de Robertville

Elément	Unité	Niveau-guide SPW	Lac de Robertville		Eau de pluie
			05/11/2012	16/02/2016	
		Code de l'eau			
Conductivité à 20°	µS/cm	2100	104	102	-
pH		6,5 à 9,5	7,66	7,1	4,4-5,6
Dureté totale TH	°français	67,5	3,1	2,8	-
Alcalinité totale TAC	°français	-	1,8	1,5	-
Calcium	mg/L	270	7,6	6,7	1,6
Magnésium	mg/L	50	2,9	2,7	1
Sodium	mg/L	150	5,7	6,3	3
Potassium	mg/L	12	2	1,7	-
Carbonates	mg/L	-	0,06	-	-
Bicarbonates	mg/L	-	21,82	-	-
Strontium	µg/L	750	29,6	33	-
Fer total Fe ³⁺	µg/L	200	165	98	0,06
Manganèse total	µg/L	50	93,5	36,1	-
Sulfates	mg/L	250	6,4	7,2	-
Chlorures	mg/L	200	10,2	11,9	4
Fluorures	mg/L	0,1	<0,05	<0,05	4,5
Nitrates	mg/L	50	7,9	13,2	2,9
Nitrites	mg/L	0,1	0,09	<0,025	0,01
Ammonium	mg/L	0,5	0,08	0,08	1,72
Silice SiO ₂	mg/L	-	3,4	4,9	-

V.2. PROBLÉMATIQUES DES NITRATES

Pour protéger les eaux contre la pollution par les nitrates, plusieurs « zones vulnérables » ont été désignées par arrêtés ministériels (Figure V.3). Elles ont pour objet la protection des eaux souterraines contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles. Cette désignation implique l'application d'un programme d'action précis dont les mesures ont été arrêtées dans le cadre de « bonne pratique agricole »¹⁰. La norme européenne de 50 mg de NO₃ par litre d'eau constitue le seuil maximum acceptable.

A ce jour, la région de Sart-Xhoffrai n'est concernée par aucune zone vulnérable aux nitrates.

Depuis plusieurs années, les teneurs des composés azotés, plus particulièrement les nitrates, font l'objet d'un suivi régulier de la part des compagnies d'eau et de l'administration wallonne (D GARNE-DESO).

¹⁰ <http://www.nitrawal.be>

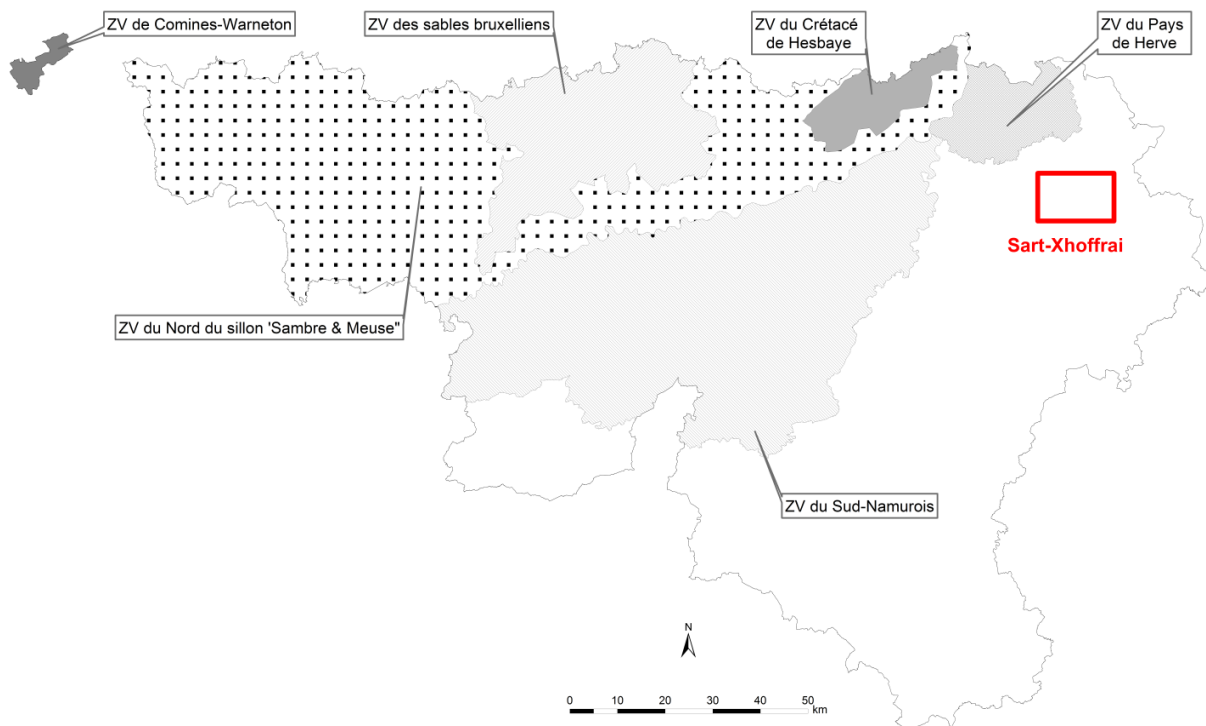


Figure V.3 : Zones vulnérables aux nitrates - Région wallonne

La présence de ce type de composé est principalement liée à l'épandage de fertilisants azotés en excédent par rapport aux besoins des cultures. Afin d'enrayer cette altération de la qualité des eaux souterraines, la Région Wallonne a opté pour une succession de règlements concernant le monde de l'agriculture. La première réglementation afin de limiter la teneur en composés azotés (1991) portait notamment sur les périodes et les conditions (sol gelé, pente, proximité de cours d'eau) d'épandage d'effluents. Ensuite, le code de bonnes pratiques agricoles (1996) a notamment réglementé les apports maximaux d'engrais par culture. Dès 2002, des programmes de Gestion Durable de l'Azote en agriculture (PGDA) succédèrent à ces règlements et ont, entre autre, imposé la mise en place de cultures pièges à nitrate ([Vandenbergh, 2010](#)). Le PGDA (2007) interdit tout épandage (azote minéral, fumier mou, lisier, purin, effluent de volaille) en prairie entre la mi-septembre et la fin du mois de janvier sauf le fumier et le compost qui est autorisé toute l'année ([MRW-DGA, 2006](#)). Ces restrictions ont notamment le but d'empêcher l'épandage sur sol gelé. Cependant, la contamination des nappes n'est pas seulement liée à ces pratiques agricoles mais est aussi fonction d'autres facteurs tels que la pluviosité, le temps de transfert des nitrates vers les aquifères, etc ([TBE, 2010](#)). Ces processus expliquent notamment le laps de temps entre la mise en place de ces politiques et les diminutions des concentrations en nitrate. Un réseau de surveillance des teneurs en nitrates, « *survey nitrate* », est mis en place, depuis 1994, afin de suivre attentivement l'évolution de ces composés azotés dans les eaux souterraines. La plupart des ouvrages de ce réseau appartiennent aux compagnies de distribution publique d'eau potable.

Sur la carte Sart-Xhoffrai, un cinquantaine d'ouvrages a au moins une valeur « Nitrates ». Sur l'ensemble des analyses en nitrate disponibles, aucun prélèvement ne dépasse la norme de potabilité de l'OMS (soit 50 mg/l) et les valeurs maximales sont de l'ordre de 20 mg/l (excepté une analyse légèrement au-delà de 30 mg/l). Les ouvrages choisis pour l'analyse des résultats sont 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'ouvrage différents.

Cinq ouvrages ont été retenus (Figure V.4). Le puits de Baronheid est localisé près de l'autoroute E42 dans une zone d'urbanisation lâche entourée d'espaces agricoles. Le puits de Xhoffrai se trouve dans un environnement similaire à celui de Baronheid. Le puits de Sourbrodt est situé sur les hauteurs du village. La source Mont-Source et le drain de Botrange sont situés dans des espaces nettement moins urbanisés. La source est située en plein massif forestier. Le drain est en bordure d'une zone tourbeuse protégée, la Fagne Wallonne. D'un point de vue des unités hydrogéologiques, tous ces ouvrages sont implantés dans les terrains du Cambro-Ordovicien.

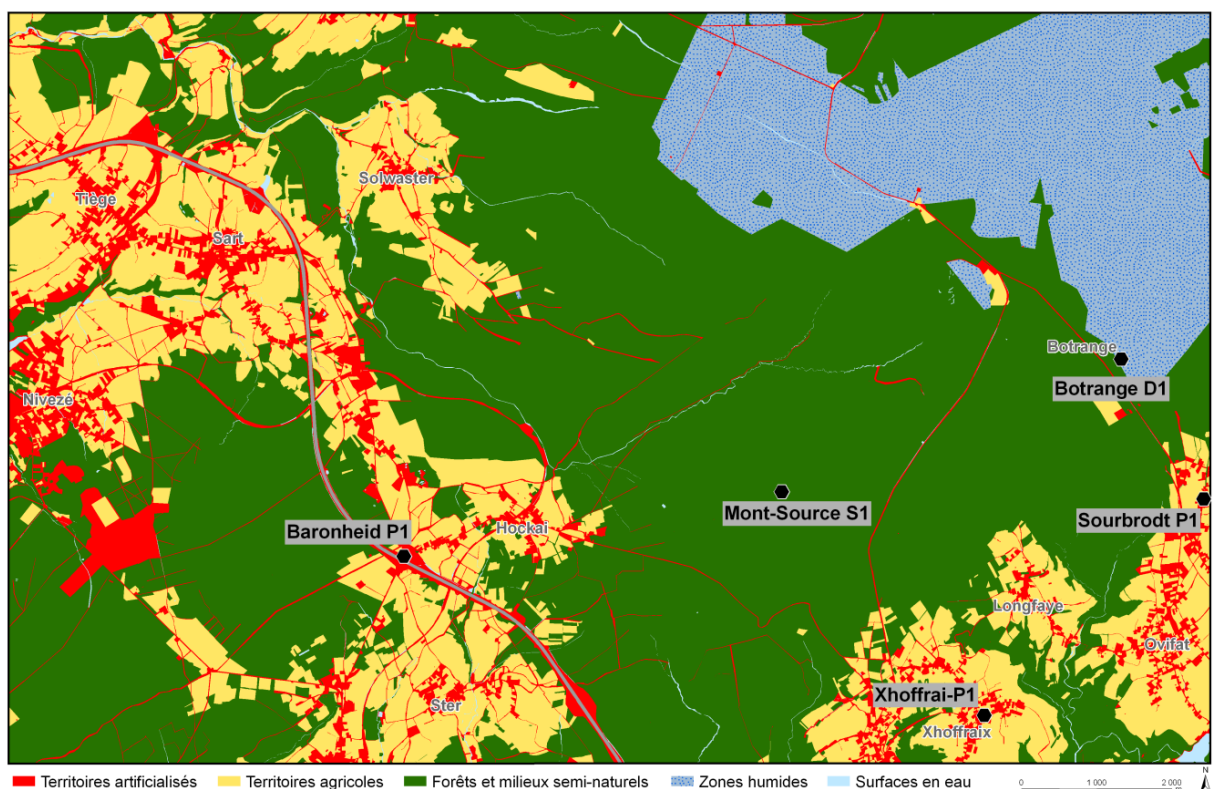


Figure V.4 : Localisation des ouvrages "survey nitrate" retenus pour l'analyse de l'évolution de la concentration en nitrate des eaux souterraines - Carte Sart-Xhoffrai

Cette série de prélèvements peut être dissociée en trois groupes en fonction des concentrations en nitrates (Figure V.5). Chaque groupe possède une signature dépendant

plus de l'occupation du sol du bassin d'alimentation de l'ouvrage que du type d'ouvrage ou de l'unité hydrogéologique. Les prélèvements des deux puits, Baronheid et Xhoffrai, localisés dans une zone semi-urbanisée et agricole disposent d'une teneur en nitrates oscillant entre 15 et 20 mg/l. Le second groupe, dont les ouvrages (Botrange et Mont-Source) sont situés dans des zones forestières ou humides, présentent des teneurs en nitrate variant entre 4 et 7 mg/l. Le puits de Sourbrodt, bien que situé en milieu semi-urbanisé, présente des teneurs en nitrates extrêmement faibles (moyenne : 0,25 mg/l). Généralement, les concentrations élevées en nitrates sont observées dans les ouvrages peu profonds, qui captent la nappe superficielle. Les puits forés, pompant dans les horizons aquifères profonds, ont souvent des teneurs en nitrates basses. Le type d'occupation du sol joue aussi un rôle très important dans les valeurs en nitrates observées. Ce deuxième facteur semble prépondérant sur cette carte.

Les valeurs observées sur les captages de la carte Sart-Xhoffrai, en-deçà des normes de potabilité, ne devraient pas augmenter de façon très importante car l'occupation majoritaire du sol n'est pas agricole. Néanmoins, il convient de ne pas poser de conclusions trop hâtives et les teneurs en nitrates doivent continuer à faire l'objet d'un suivi régulier.

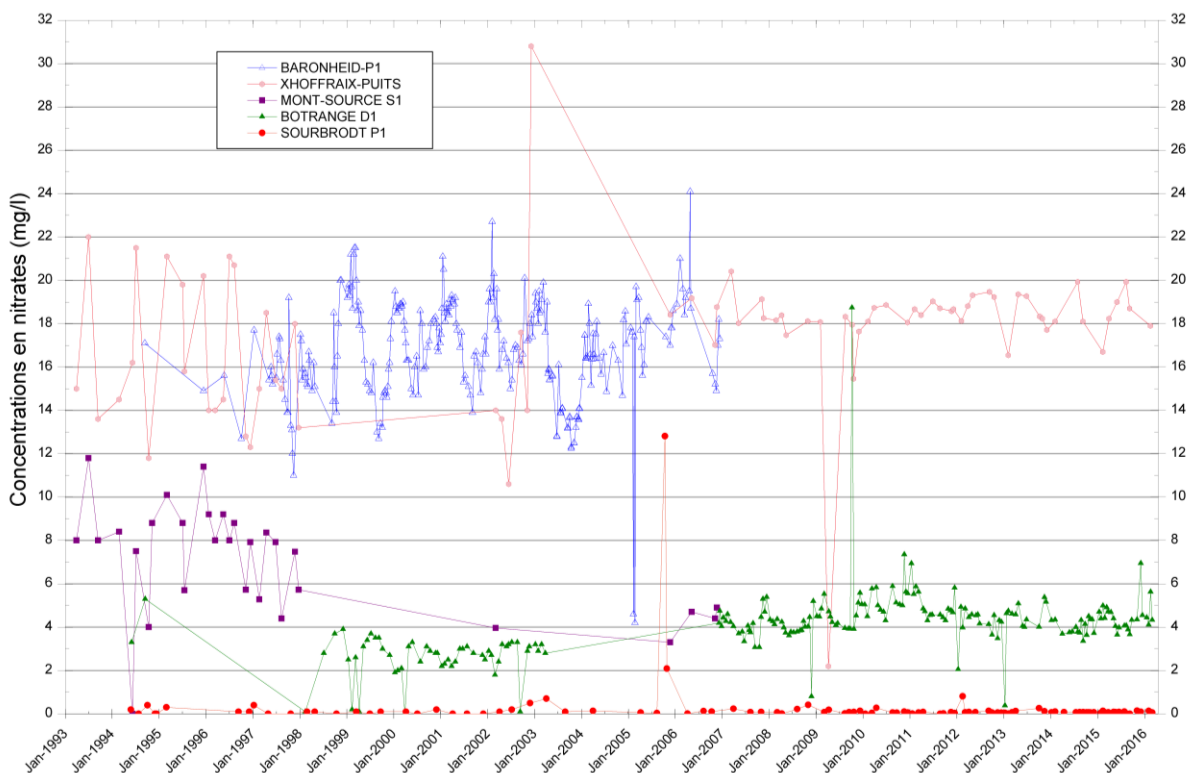


Figure V.5 : Evolution des teneurs en nitrates pour quelques prises d'eau - Carte Sart-Xhoffrai

Malgré les diverses réglementations, la tendance de l'évolution de la concentration en nitrate ne semble pas à la baisse. Toutefois, les teneurs en nitrate de l'eau récoltée par la source Mont diminuent ; elles étaient en moyenne de l'ordre de 7,5 mg/l dans les années 90

et de l'ordre de 5 g/l dans les années 2000. Par contre, les concentrations mesurées au drain de Botrange augmentent légèrement (≈ 3 mg/l avant 2004 à ≈ 5 mg/l depuis 2007).

La **Figure V.6** présente la fluctuation inter-annuelle des concentrations en nitrates dans les eaux pompées au puits Baronheid. Ces variations inter-annuelles peuvent s'expliquer soit par des variations de pratiques agricoles et de conditions climatiques mais aussi par des modifications des dates de prélèvements qui peuvent induire des variations dans les résultats annuels.

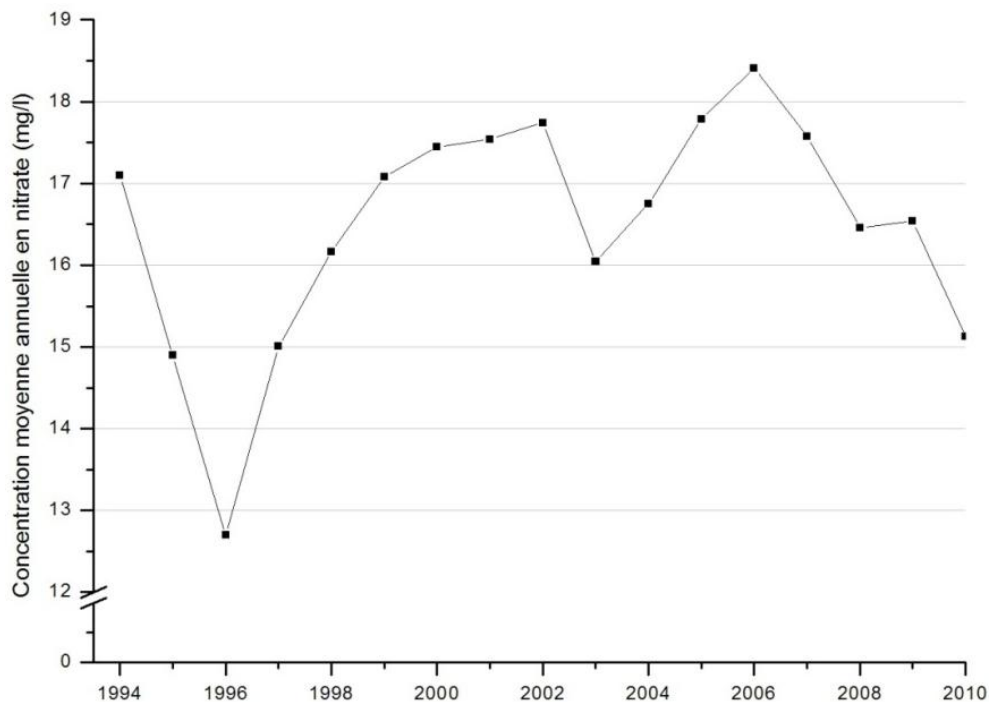


Figure V.6 : Evolution des concentrations moyennes annuelles en nitrates au puits de Baronheid, établies pour les années 1994 à 2010

Les teneurs en nitrates semblent aussi présenter des fluctuations intra-annuelles. Cette observation est visible, entre autres, sur les données du puits Baronheid où la variation saisonnière est de l'ordre de 3 mg/l avec des valeurs plus faibles en été et en automne (**Figure V.7**).

Les concentrations en nitrates sont également suivies à la prise d'eau du Lac de Robertville (eau de surface). Sur la période 1994-2016, la valeur moyenne mesurée est de 12 mg/l.

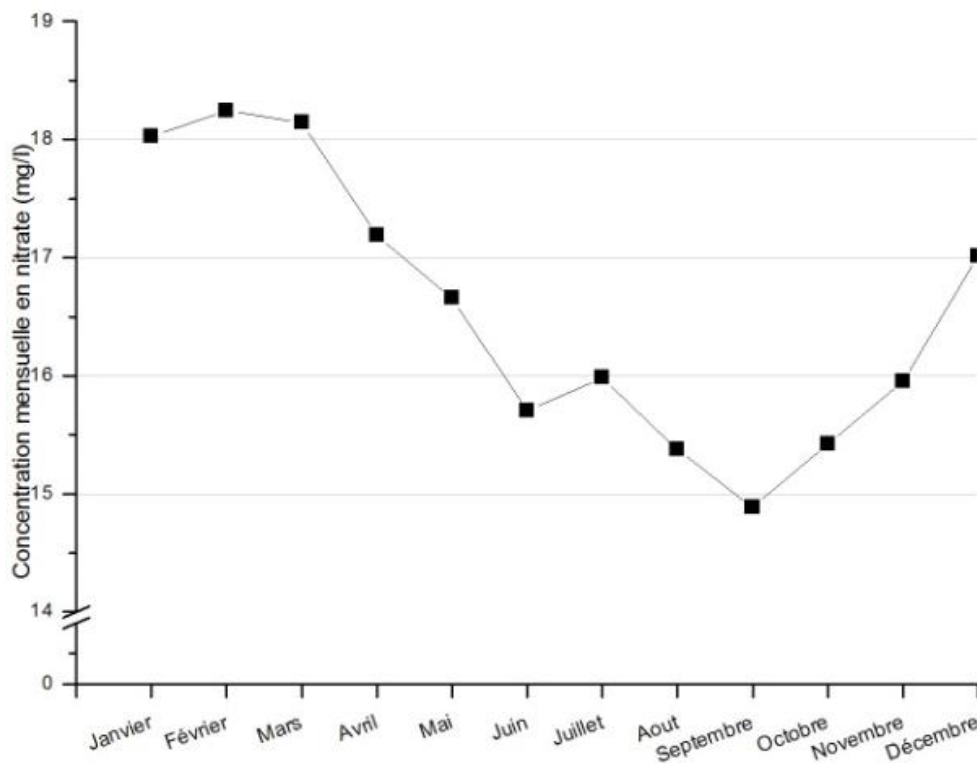


Figure V.7 : Concentrations moyennes mensuelles en nitrates au puits de Baronheid entre 1994 et 2010

V.3. QUALITÉ BACTÉRIOLOGIQUE

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 quelques captages publics de la carte Sart-Xhoffrai ([Tableau V.7](#)). 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.

Tableau V.7 : Paramètres microbiologiques – Sart-Xhoffrai

Paramètre	Unité	Norme de potabilité	Belheid DR		Hockay P1	Botrange D1		Xhoffrai-P1	Sourbrodt P1		Lac de Robertville	
			11/10/11	11/01/16	30/05/12	05/09/12	17/02/16	21/11/11	06/03/12	17/02/16	17/19/12	16/02/16
Germes totaux à 22°C	nb/ml	-	18	0	300	47	0	42	0	1	170	300
Germes totaux à 37°C	nb/ml	-	0	0	-	38	0	8	0	0	8	43
Coliformes totaux	nb/100ml	0	1	0	0	37	0	0	0	0	28	300
Coliformes fécaux	nb/100ml	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escherichia Coli	nb/100ml	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	130
Entérocoques	nb/100ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	41
Clostridium perfringens	nb/100ml	0	0	0	-	0	0	0	0	0	10	68

V.4. AUTRES PARAMÈTRES

Outre la présence de fer et de manganèse déjà discutées (paragraphe V.1), on note dans quelques échantillons, la présence d'autres métaux, tels que le cuivre, le zinc, le plomb, éléments liés la minéralisation des roches de la région.

D'après les données disponibles, à ce jour, on n'observe pas de contamination marquée des eaux souterraines par les pesticides (Figure V.8). 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, l'atrazine n'est pas détectée dans les eaux de la région. Par contre, d'autres pesticides, tels que le diuron, le dichlorobenzamide, l'oxadiazon sont parfois détectés, tout en restant sous la norme de potabilité.

IMPACT DES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES SUR LA QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES

→ Voir fiche 10-3

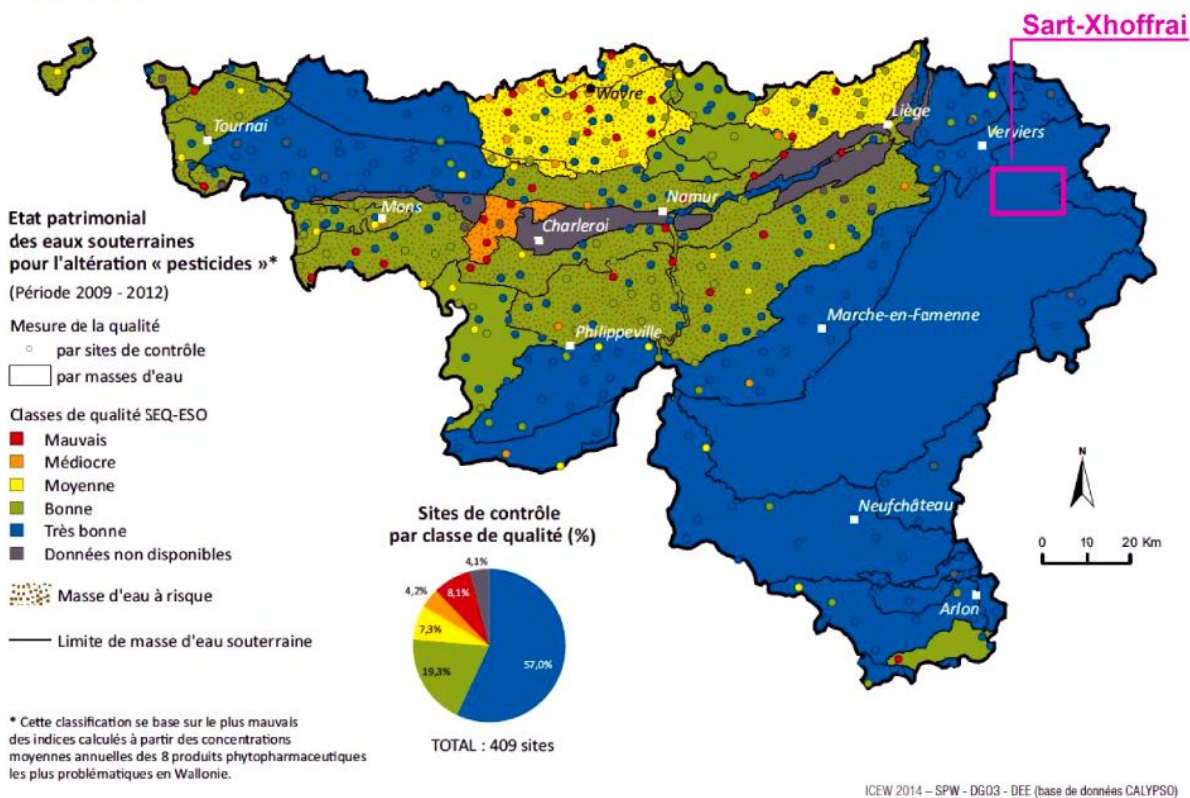


Figure V.8 : Pesticides en Région wallonne (ICEW, 2014 ; carte 24 modifiée)

Localement, des études environnementales sur les sites gérés par la SPAQuE (Banque de données WALSOLS) ont montré une contamination des sols et/ou des eaux de surface et souterraines en certains éléments indésirables. Parmi les sites gérés par la

SPAQuE, un ancien site de dépôts est localisé sur la carte Sart-Xhoffrai, pour lesquels quelques données sont disponibles.

Le site du **Bois de Roslin** (code Walsols : Lg4102-001) est situé dans la localité de Sart (commune de Jalhay), entre l'autoroute E42 et le village de Solwaster. Implantée dans un domaine forestier, cette étendue de 1,7 hectares fut utilisée entre 1947 et 1996 comme dépotoir : les 41 premières années, pour des déchets ménagers, et dès 1988, pour des déchets inertes. Dès 1996, un parc à conteneur et une zone de stockage de matériaux sont aménagés sur ce site. Lors des forages de reconnaissance en 2002, les déchets principalement rencontrés sont de type inerte et dans une moindre mesure ménagers. Des teneurs en métaux lourds et en huile minérale relativement élevées ont été détectées dans certains échantillons de déchets, de percolats et de lixiviats. Néanmoins, aucun impact sur les eaux de surface n'a été mis en évidence en 2002. En 2008, une campagne fut menée afin d'étudier l'évolution des contaminants. L'analyse d'un prélèvement d'eau de surface à l'aval du site indique une contamination en métaux, en HAP et en composés azotés. La contamination de cette eau est très certainement liée à la décharge. Suite à ce résultat, le site nécessite une surveillance constante ou périodique. Toutefois, la pollution du Bois de Roslin n'est pas considérée comme préoccupante. Les eaux souterraines ne semblent, à ce jour, pas affectées ([SPAQuE, 2008 ; 2009](#)).

VI. EXPLOITATION DES AQUIFERES

Les ressources en eau souterraine de la carte Sart-Xhoffrai sont sollicitées par différents types d'exploitants. En termes de captages actifs, on dénombre des prises d'eau destinées à la distribution publique d'eau potable (SWDE) ainsi que d'autres appartenant au groupe Spadel s.a. Plusieurs ouvrages, dits privés, sollicitent aussi les aquifères/aquitards de la carte. Ils appartiennent à des particuliers, des agriculteurs, des activités de services. L'approvisionnement en eau potable de la population est aussi parfois assuré via des prélèvements dans les eaux de surface, généralement au droit de retenues d'eau. Dans le coin sud-est de la carte Sart-Xhoffrai, se trouve le lac de Robertville où la SWDE puise de l'eau.

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 privé¹¹ (pastille verte) et les prélèvements en eau de surface (triangle rouge).

Les volumes présentés sont des volumes de l'année 2015 pour les ouvrages de distribution publique d'eau et pour les « autres volumes ». Sur cette même carte, sont aussi reportés les volumes moyens sur 5 ans, ici 2011-2015. Ils illustrent de manière plus réaliste l'exploitation des eaux souterraines sur la carte étudiée. Ces valeurs moyennes ne sont pas représentatives du potentiel d'exploitation ni de l'exploitation réelle des nappes. Elles reflètent simplement l'importance d'un site d'exploitation pendant les 5 années considérées. Parmi ces dernières, il se peut que certaines d'entre elles soient des années sans prélèvement.

VI.1. SOCIÉTÉ WALLONNE DES EAUX

La Société wallonne des eaux (S.W.D.E.) possède plusieurs sites de captages sur la carte Sart-Xhoffrai. Une trentaine de prises d'eau sont répertoriées dans la base de données. A l'heure actuelle, d'après les renseignements fournis par le titulaire, six sites de captage

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

sont toujours en activité. En outre, quelques prises d'eau sont mises en réserve ou à l'arrêt (exploitation sporadique selon les besoins). Mais la plupart des prises d'eau sont hors service. Ces sites ont été abandonnés pour des raisons de vétusté des infrastructures et/ou de qualité des eaux ou de rendements médiocres.

Toutes les prises d'eau actives exploitent les eaux logées dans le socle cambro-silurien.

- Aquiclude à niveaux aquifères du Cambro-Silurien :
 - drains de Botrange (Robertville)
 - drain de Belheid (Jalhay)
 - drain de Ster (Francorchamps)
- Aquiclude à niveaux aquitards du Cambro-Silurien : puits de Sourbrodt
- Aquitard à niveaux aquifères du Cambro-Silurien : puits de Xhoffrai

La prise d'eau de surface du lac-barrage de Robertville est la plus importante de la carte étudiée, en termes de volumes prélevés (Figure VI.2).

La Figure VI.1 présente l'historique, depuis 2007, des prélèvements au droit des prises d'eau toujours actives (2015). Les captages utilisés sporadiquement (à l'arrêt ou en réserve) ne sont pas repris dans ce graphique. Les volumes prélevés varient fortement d'un captage à l'autre, mais aussi d'une année à l'autre.

Les volumes prélevés au puits de Xhoffrai, en exploitation, ne sont pas disponibles. Le volume prélevé au captage de Mont-Source 1 à Malmedy est de l'ordre de 90 000 m³/an (pas de volume en 2015).

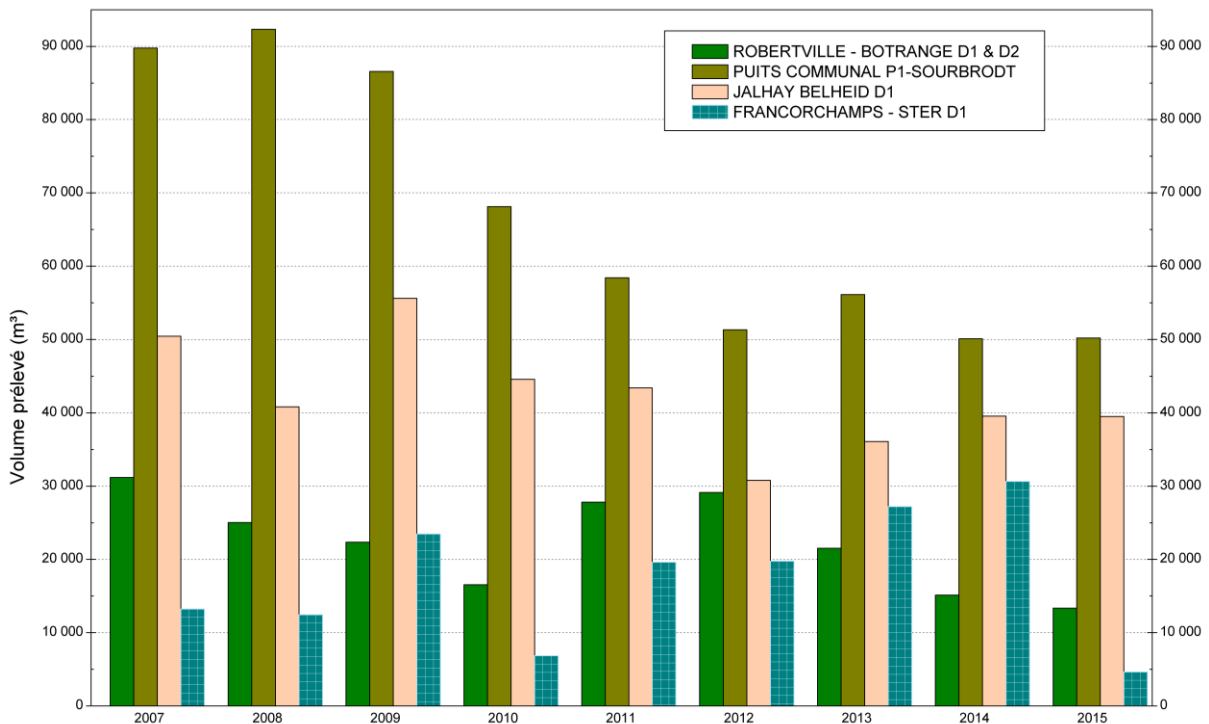


Figure VI.1 : Historique des volumes prélevés pour la distribution publique des captages en activité – Eaux souterraines – Carte Sart-Xhoffrai

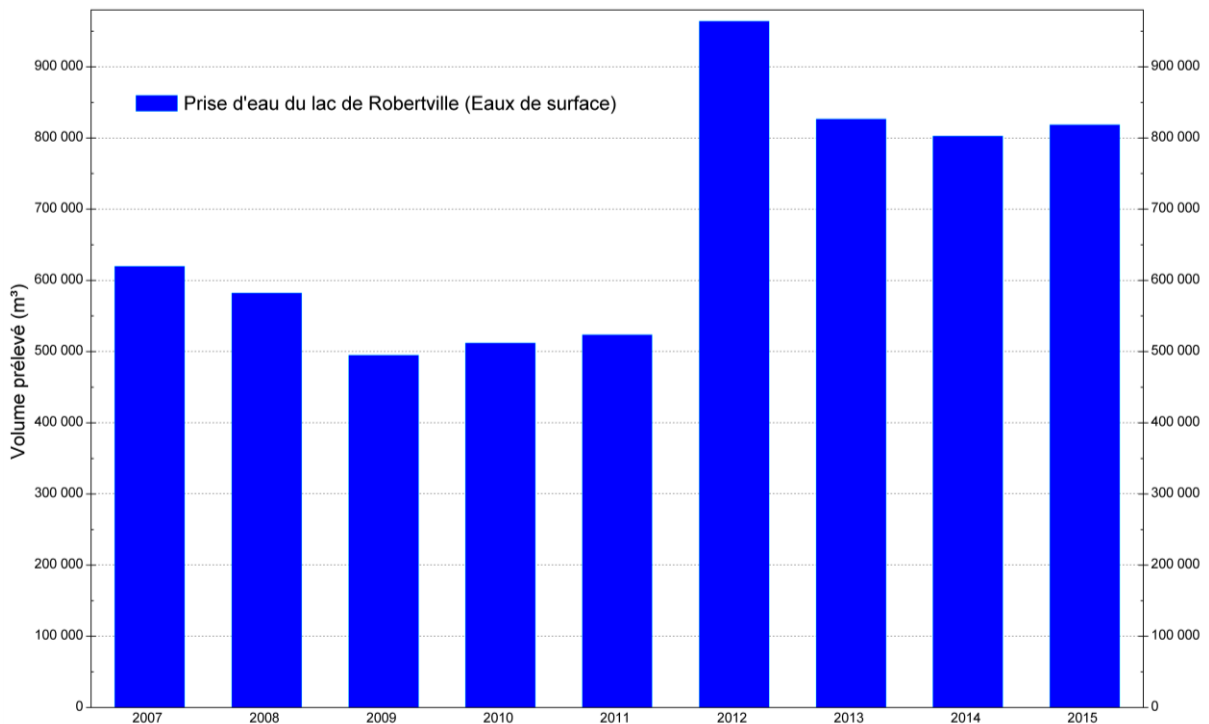


Figure VI.2 : Historique des volumes prélevés pour la distribution publique par la prise d'eau du Lac de Robertville – Carte Sart-Xhoffrai

VI.2. SPADEL S.A.

La division Spa Monopole s.a. du groupe Spadel s.a. possède plusieurs sites de captages (puits et sources-drains) dont une partie est située sur la carte Sart-Xhoffrai. Les eaux prélevées sont soit mises en bouteilles, soit utilisées pour les bains et thermes de Spa,

soit employées comme eau industrielle (rinçage des bouteilles, nettoyage des locaux). Ces prises d'eau exploitent les eaux souterraines logées dans les terrains du socle cambro-silurien. Les eaux mises en bouteilles sont de différents types (cfr. IV.2. Description de l'hydrogéologie de la carte, p. 28). Les volumes moyens prélevés annuellement, au droit des captages situés sur la carte étudiée, sont présentés par type d'eau dans le Tableau VI.1.

Tableau VI.1 : Eaux de Spa - Volumes moyens annuels – Carte Sart-Xhoffrai

	Marie-Henriette Eau carbo-gazeuse	Reine Eau pauci-minéralisée	Eau de Source - Eau industrielle
Volume moyen (2000-2015)	10 000 m ³ /an	150 000 m ³ /an	50 000 m ³ /an

La Commune de Spa met à la disposition du public, en libre accès, plusieurs poughons (source minérale ferrugineuse naturellement gazeuse). Néanmoins en l'absence de compteur, on ne dispose pas de données sur les volumes extraits.

VI.3. CAPTAGES PRIVÉS

Environ quarante captages privés (autres que ceux de Spadel) sont répertoriés sur la carte Sart-Xhoffrai. Ils appartiennent à des agriculteurs, des activités de service, des particuliers. Ils sollicitent la plupart des unités hydrogéologiques présentes sur cette carte. Peu d'informations sur les volumes prélevés sont disponibles. Sur base des quelques données disponibles, le volume prélevé par prise d'eau est compris entre quelques m³ à 3 500 m³ par an.

VII. PARAMETRES D'ÉCOULEMENT ET DE TRANSPORT

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

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

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

Vu la multitude et la complexité des méthodes et concepts utilisés pour leur définition et leur détermination, la description détaillée de ces notions sort du cadre de cette notice. Nous invitons le lecteur à consulter le site Internet de la carte hydrogéologique de Wallonie¹². 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, le **Tableau VII.1** et le **Tableau VII.2** présentent quelques valeurs de conductivité hydraulique selon le type de terrain (roche meuble ou indurée, lithologie, degré de fissuration...).

¹² <http://environnement.wallonie.be/cartosig/cartehydrogeo/concepts.htm>

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

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

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

Lithologie		K (m/s)
Granites et Gneiss	avec fissures	1 × 10 ⁻⁷ – 1 × 10 ⁻⁴
	sans fissure	1 × 10 ⁻¹⁴ – 1 × 10 ⁻¹⁰
Basaltes	avec fissures	1 × 10 ⁻⁷ – 1 × 10 ⁻³
	sans fissure	1 × 10 ⁻¹² – 1 × 10 ⁻⁹
Quartzites	avec fissures	1 × 10 ⁻⁷ – 1 × 10 ⁻⁴
	sans fissure	1 × 10 ⁻¹² – 1 × 10 ⁻⁹
Shales (argilites)		1 × 10 ⁻¹³ – 1 × 10 ⁻⁹
Schistes (argilites schistosées)		1 × 10 ⁻⁹ – 1 × 10 ⁻⁵
Calcaires	karstifiés	1 × 10 ⁻⁵ – 1 × 10 ⁻¹
	avec fissures	1 × 10 ⁻⁹ – 1 × 10 ⁻³
	sans fissure	1 × 10 ⁻¹² – 1 × 10 ⁻⁹
Grès	avec fissures	1 × 10 ⁻⁵ – 1 × 10 ⁻³
	sans fissure	1 × 10 ⁻⁹ – 1 × 10 ⁻⁵
Craies		1 × 10 ⁻⁶ – 1 × 10 ⁻³
Tufs volcaniques		1 × 10 ⁻⁷ – 1 × 10 ⁻³
Graviers		1 × 10 ⁻⁴ – 1 × 10 ⁻¹
Sables		1 × 10 ⁻⁶ – 1 × 10 ⁻²
Silts, limons		1 × 10 ⁻⁹ – 1 × 10 ⁻⁴
Argiles et limons		1 × 10 ⁻¹³ – 1 × 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** Très peu d'investigations de terrain dont le but est de définir les paramètres hydrodynamiques, ont été menées sur les captages de la carte Sart-Xhoffrai. Des essais de pompage ne peuvent être effectués sur les ouvrages de prise d'eau alimentés par écoulement gravitaire (drain, galerie, source). Les prises d'eau appartenant à des particuliers font rarement l'objet d'une étude détaillée. Parfois, une simple estimation du débit d'exploitation est réalisée. Ainsi, d'après les données disponibles, seuls deux sites seront abordés, l'un à Sourbrodt, l'autre à Botrange.

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).

Très peu d'investigations de terrain dont le but est de définir les paramètres hydrodynamiques, ont été menées sur les captages de la carte Sart-Xhoffrai. Des essais de pompage ne peuvent être effectués sur les ouvrages de prise d'eau alimentés par écoulement gravitaire (drain, galerie, source). Les prises d'eau appartenant à des particuliers font rarement l'objet d'une étude détaillée. Parfois, une simple estimation du débit d'exploitation est réalisée. Ainsi, d'après les données disponibles, seuls deux sites seront abordés, l'un à Sourbrodt, l'autre à Botrange.

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)

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

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

Lors de l'élaboration des zones de prévention autour du site de captage de Sourbrodt, la SWDE a entrepris une étude hydrogéologique complète. Une campagne de prospection géophysique a été réalisée par l'ISSeP, en 1997, afin de préciser les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des terrains ainsi que la fracturation. En 2000, un piézomètre (Pz1) a été foré à 160 m à l'ouest du puits de production (SWDE, 2003). Le piézomètre a une profondeur de 101 m et est crépiné sur 79 m. Divers essais y ont été menés. En avril 2000, un pompage d'essai d'une durée de 48 h au débit moyen de 7 m³/h a mis en évidence une mauvaise réalimentation du forage (remontée très lente). Les paramètres hydrodynamiques calculés, par la méthode de Cooper-Jacob, donnent des valeurs de transmissivités de l'ordre de 6,5 à 7,9 x 10⁻⁵m²/s et des conductivités hydrauliques aux alentours de 7,4 à 9 x 10⁻⁷m/s (SWDE, 2003).

En automne 2003, un test de traçage a été effectué. 2 kg d'uranine ont été injectés dans le piézomètre (Pz1). Les concentrations mesurées au puits de pompage sont très faibles. Elles se situent dans la gamme de variations du bruit de fond et dans les limites de

détection de l'appareillage de mesure. Aucune restitution nette n'a été observée. Les résultats ne sont pas interprétables pour la détermination des paramètres hydrodispersifs. Selon l'interprétation de la prospection géophysique, il semble que le piézomètre se situe, en effet, dans une zone fracturée mais non orientée vers le puits de production (*Tractebel, 2004*).

VII.2. AQUICLUDE À NIVEAUX AQUIFÈRES DU SOCLE CAMBRO-SILURIEN

La commune de Waimès possède un puits à Botrange. En mai 2005, des essais de pompage y ont été réalisés par le bureau d'études SGS : essais par paliers (Q entre 0,35 et 2,8 m³/h) et essai de longue durée (Q : 1m³/h, 15 jours + remontée). Les premières interprétations donneraient des valeurs de conductivité hydraulique de l'ordre de 10⁻⁶ à 10⁻⁷ m/s (*SGS, comm. pers., 2011*).

VIII. ZONES DE PROTECTION

VIII.1. CADRE LÉGAL

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 wallonne¹³ 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

¹³ 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)

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

- La zone de prévention éloignée (zone IIb) : zone comprise entre le périmètre extérieur de la zone 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.

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 2009¹⁴.

La Société publique de Gestion de l'Eau¹⁵ 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

¹⁴ 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)

¹⁵ SPGE, instituée par le décret du 15 avril 1999

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.

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 wallonne¹⁶.

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 publique¹⁷.

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

La Société Wallonne des Eaux exploite plusieurs captages situés sur la carte Sart-Xhoffrai. Les zones de prévention d'un seul captage sont déterminées, à ce jour. Il s'agit du puits de Sourbrodt (50/2/6/0040), situé sur la commune de Waimès (**Figure VIII.1**). La zone de prévention rapprochée, située entièrement sur la carte étudiée, a été délimitée sur base d'un rayon de 35 mètres à partir du puits correspondant à la distance forfaitaire. La zone de prévention éloignée fut déterminée sur base des analyses des caractéristiques hydrogéologiques des terrains, des limites cadastrales et urbanistiques et ceci pour un débit prélevé de 25 m³ par heure. Cette zone de protection couvre 0,27 km² dont 0,2 km² se situe sur la carte investiguée et 7 ha est sur la carte d'Elsenborn-Langert. Ces zones ont été arrêtées par le Gouvernement Wallon en date du 31 août 2006 (code : SWDE082) : *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée des ouvrages de prise d'eau souterraine dénommés Robertville-Lac G1, Puits communal P1-Sourbrodt, sis sur le territoire de la commune de Waimès (M.B. 12.10.2006)*. Ces deux ouvrages sont distants d'environ 3 km. La galerie 'Robertville-Lac G1' (50/3/7/002) est située au sud du puits, sur la carte à l'est (50/3-4).

A ce jour, les zones de prévention des autres prises d'eau de la SWDE sur la carte Sart-Xhoffrai ne sont pas encore officiellement arrêtées. Cela concerne une dizaine de captages toujours en service (actifs ou en réserve)(communication SWDE). Les zones à définir sont symbolisées sur la carte hydrogéologique par un triangle vide, tracé autour du captage, ainsi que sur la **Figure VIII.1**. En l'absence de données, il convient habituellement de se référer provisoirement aux distances fixes forfaitaires définies dans la législation soit :

¹⁶ <http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas>

¹⁷ http://environnement.wallonie.be/zones_prevention/

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

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.

VIII.3. ZONES DE PRÉVENTION ET DE SURVEILLANCE AUTOUR DES CAPTAGES DE SPADEL S.A. ET DE L'ADMINISTRATION COMMUNALE DE SPA

Le groupe Spadel s.a. (dont fait partie Spa Monopole) et l'administration communale de Spa possèdent plusieurs captages sur le territoire de la carte de Sart-Xhoffrai. Ces prises d'eau sont utilisées pour les thermes et aussi comme eau de boisson (embouteillage) et exploitées par Spadel s.a. Les zones de prévention autour de ces prises sont déterminées.

L'arrêté du Gouvernement wallon du 13 décembre 2001 définit les zones de prévention pour un ensemble d'ouvrages de prise d'eau souterraine appartenant à trois titulaires : Spa Monopole s.a. (Groupe Spadel s.a.), l'administration communale de Spa et Exirus s.a. (cette société n'existe plus aujourd'hui). Les zones de prévention rapprochée (IIa) ont été délimitées soit sur base des distances fixes, soit à partir d'une évaluation approximative des temps de transfert, soit sur base des caractéristiques hydrogéologiques des sites. La zone éloignée (IIb) correspond à l'ancien périmètre de la zone de protection des sources de Spa (Arrêté royal du 1er juillet 1937). Ces limites ont ensuite été localement modifiées pour correspondre à des limites repérables sur le terrain (Figure VIII.1).

Les références de l'arrêté sont : Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée des ouvrages de prise d'eau souterraine de l'administration communale de Spa, de la S.A. Spa Monopole et de la S.A. Exirus, sis sur le territoire des communes de Spa, de Theux, de Jalhay et de Stoumont (M.B. 01.03.2002. p. 8007).

Depuis la parution de cet arrêté, certains captages ont été fermés et d'autres sites de captages ont été mis en exploitation. Ces derniers sont tous situés à l'intérieur de la zone IIb déjà définie. Le dossier des zones de prévention a été déposé aux services de l'administration wallonne.

Actuellement, il existe en Wallonie quatre zones de surveillance. L'une d'elles est située partiellement sur la carte Sart-Xhoffrai. Il s'agit de la zone de surveillance des eaux minérales naturelles et des eaux thermales de Spa. Les limites ont été localement déplacées pour correspondre avec des limites matérialisables sur le terrain (Figure VIII.1).

La zone de surveillance de Spa a été arrêtée par le Gouvernement Wallon, en date du 13 décembre 2001 : Arrêté ministériel relatif à l'établissement d'une zone de surveillance pour la protection des eaux de Spa et environs (M.B. 01.03.2002. p.8002).

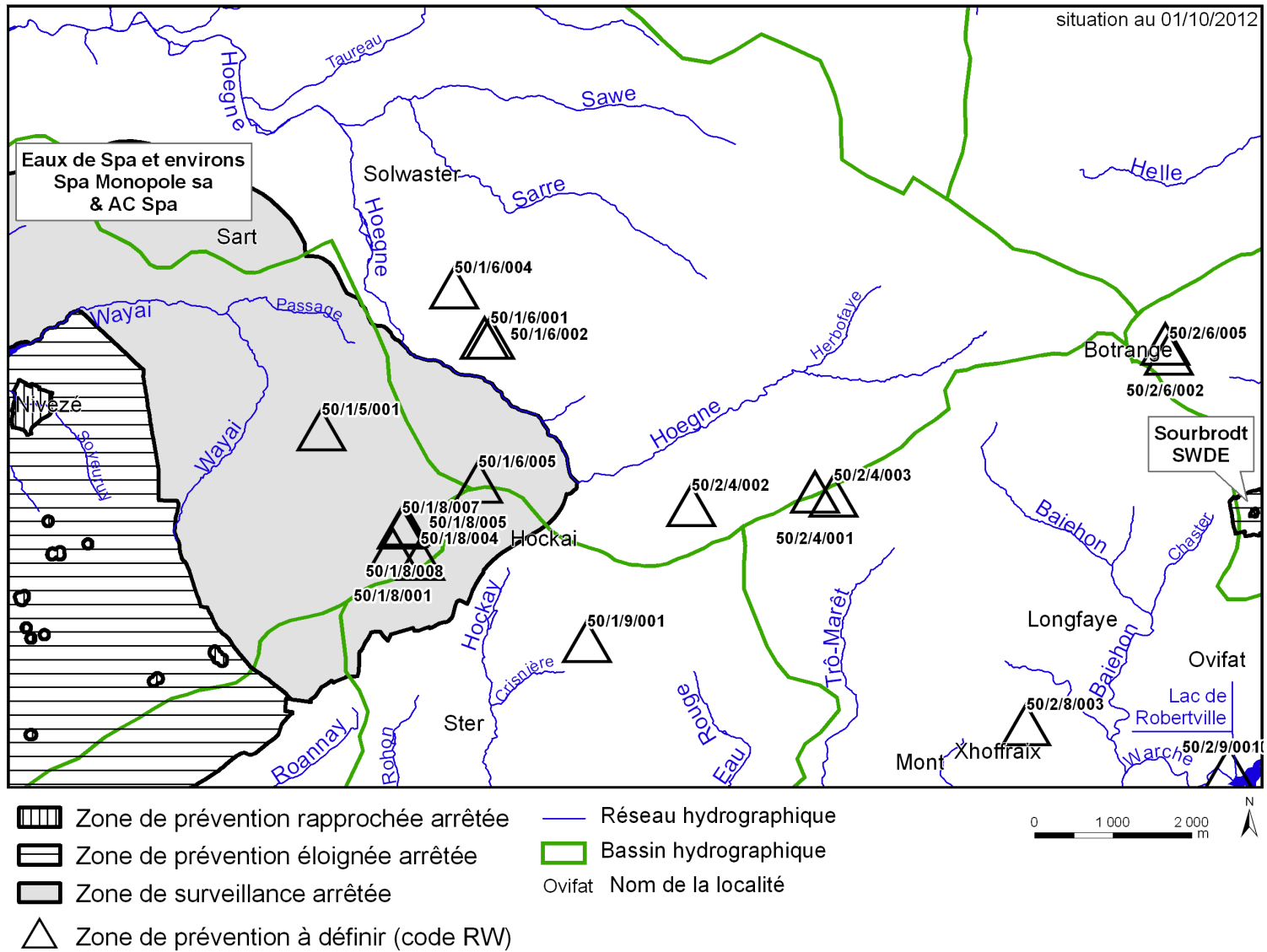


Figure VIII.1 : Zones de protection - Carte Sart-Xhoffrai

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 de Sart-Xhoffrai. 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 combinaison de trois cartes géologiques régionales :

- Cambro-ordovicien : carte géologique révisée du Massif de Stavelot ([Geukens, 1999](#)) au 1/115.000 (approximativement) ;
- Dévonien inférieur : carte géologique du Synclinorium de l'Eifel ([Vandenven, 1990](#)) au 1/100.000 ;
- Dévonien inférieur : carte géologique de l'Eodévonien de l'Ardenne et des régions voisines ([Asselberghs, 1946](#)) au 1/200.000.

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 et des sociétés de distribution publique d'eau potable.

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. Sur la carte Sart-Xhoffrai, les discontinuités aux frontières de la carte sont dues à l'utilisation de fonds géologiques de générations et d'échelles différentes. Ainsi, on en observe aux limites nord, ouest et sud de la carte étudiée. Ces bords sont respectivement frontaliers avec :

- la carte Limbourg-Eupen, éditée en 2006 au 1/25.000 par le Service Public de Wallonie ;
- la carte Louveigné-Spa, éditée en 1958 au 1/25.000 par le Service Géologique de Belgique ;
- la carte Stavelot-Malmédy, éditée en 1963 au 1/25.000 par le Service Géologique de Belgique.

Il n'y a pas de discontinuités avec la carte à l'est, Elsenborn-Langert & Dreiherrnwald. Cette carte hydrogéologique est basée sur les mêmes cartes géologiques régionales que la carte Sart-Xhoffrai.

Sur le territoire de la carte Sart-Xhoffrai, quelques investigations géophysiques ont été réalisées. Les zones de prospections géophysiques ont été simplement localisées sur la carte hydrogéologique. L'objectif de ces investigations est multiple : mieux définir la succession des terrains, l'épaisseur du manteau d'altération, localiser les axes de fissuration, les linéaments, déterminer la localisation de futurs forages. Les résultats ne sont pas présentés dans ce document. Seuls les types de prospection et les références bibliographiques sont mentionnés.

Site de Sourbrodt à Waimes ([ISSeP, 1997](#)) : 8 sondages électriques, 6 traînés électriques, 7 sondages sismiques, 4 profils d'imagerie électrique.

IX.1.2. Données météorologiques et hydrologiques

Sur la carte Sart-Xhoffrai, on compte une seule station limnimétrique. Il s'agit de la station de Belleheid (6526), sur la Hoëgne, du SETHY (SPW).

Quatre stations météorologiques sont répertoriées sur le territoire de cette carte. La station 6537 Balmoral, sur les hauteurs de Spa, est gérée par le SETHY. Les trois autres stations météorologiques appartiennent à l'Institut Royal Météorologique (IRM). Il s'agit des stations M6-Spa aéroport, M54-Hockay, M90-Mont-Rigi.

IX.1.3. Données hydrogéologiques

IX.1.3.1. Localisation des ouvrages

Dans la base de données BD-Hydro, 96 ouvrages situés sur la carte Sart-Xhoffrai sont répertoriés. Parmi ces points, on compte 49 puits (puits forés et puits traditionnels), 4 piézomètres, 1 puits sur galerie, 24 drains, 10 sources exploitées ou non, des ouvrages

captant des eaux carbogazeuses (5) et 2 sondes géothermiques¹⁸ ; ainsi qu'une prise d'eau de surface.

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 SPW¹⁹.

IX.1.3.2. Données piézométriques

Très peu de données piézométriques sont disponibles pour la carte Sart-Xhoffrai. Une dizaine de mesures de niveau d'eau sont encodées la base de données. Elles proviennent principalement de la campagne de terrain menée lors de la réalisation de la carte hydrogéologique et de quelques rapports de bureaux d'études environnementales. Sur le poster, quelques niveaux ponctuels (4) 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, le groupe Spadel s.a. (Spa Monopole), divers rapports et les prélèvements faits lors des campagnes de terrain ont complété ce jeu initial (analyses faites au laboratoire 'Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement-ULg').

Cinquante-trois sites (puits et piézomètres, drains, galeries, sources) sont concernés, comptabilisant plus de 15 000 valeurs (depuis 1993). Ces analyses caractérisent surtout les eaux logées dans les unités hydrogéologiques du Cambro-Ordovicien. Ces points, où des données chimiques sont disponibles, sont reportés sur la carte thématique des informations complémentaires et caractères des nappes. Le **chapitre V** décrit, plus en détails, le cadre hydrochimique des unités hydrogéologiques rencontrées sur la carte étudiée.

Divers tests sont parfois menés sur les puits, tels que des diagraphies, des essais de pompage, des tests de traçage afin de mieux connaître le contexte hydrogéologique dans lequel ces ouvrages sont implantés. Ces données proviennent généralement des sociétés de distribution publique d'eau, 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.

¹⁸ 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.

¹⁹ <http://carto1.wallonie.be/10sousInt>

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 Sart-Xhoffrai, il y a plusieurs zones de prévention autour de captage dont l'eau est destinée à la consommation alimentaire. 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. Elles sont détaillées dans le **chapitre VIII**.

IX.2. BASE DE DONNÉES HYDROGÉOLOGIQUES

Comme on l'a vu plus haut les données hydrogéologiques sont nombreuses et diversifiées : localisation des prises d'eau, caractéristiques géologiques et techniques, données piézométriques, analyses physico-chimiques, volumes prélevés, données provenant de diagraphies, d'essais de pompage et/ou de traçage, de prospections géophysiques, géologie, etc. Pour une meilleure gestion et utilisation, ces données sont stockées dans des banques de données.

Une partie de ces données proviennent du Service publique de Wallonie via les banques de données « 10-sous²⁰ », « calypso²¹ » et « piez'eau²² » et certaines d'entre elles sont accessibles gratuitement via le web. Une autre partie des données hydrogéologiques proviennent des bureaux d'étude, des sociétés de distribution, parfois des particuliers et/ou directement de campagnes sur le terrain lors de la réalisation des cartes. Toutes ces données ont été encodées dans BD HYDRO (Wojda et al., 2005) ; une base de données hydrogéologiques géorelationnelle (Gogu, 2000 ; Gogu et al., 2001). Cette dernière n'est accessible que sur demande via le SPW²³.

IX.3. POSTER DE LA CARTE HYDROGÉOLOGIQUE

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 ;

²⁰ <http://carto1.wallonie.be/10SousInt>

²¹ Les données hydrochimiques de calypso sont accessibles via 10-sous par « requête géocentrique »

²² <http://piezo.environnement.wallonie.be>

²³ Direction des eaux souterraines (DESO).

- d'une carte (1/50 000) localisant :
- les sites où sont disponibles des données hydrochimiques et au droit desquelles divers tests (essais de pompage, traçages, diagraphies, ...) ont été réalisés ;
- les sites investigués par prospections géophysiques ;
- le caractère des nappes ;
- d'une coupe hydrogéologique ;
- d'un tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie'.

IX.3.1. Carte hydrogéologique principale

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

- le fond topographique de la carte IGN 1/10.000 ;
- le réseau hydrographique ;
- les unités hydrogéologiques ;
- les failles ;
- la localisation des points d'eau :
- des puits des sociétés de distribution d'eau ;
- des puits privés exploités et déclarés à la Région wallonne ;
- les eaux carbogazeuses ;
- des piézomètres ;
- les drains ;
- les puits sur galerie ;
- les sources exploitées et/ou où des données chimiques sont disponibles ;
- les points de prélèvement en eau de surface.
- la localisation des stations climatiques et/ou limnimétriques ;
- la cote piézométrique là où l'information est disponible, avec la date de la mesure ;
- les zones de prévention arrêtées par le Gouvernement wallon ;
- les zones de prévention à définir ;
- la localisation de la coupe.

IX.3.2. Cartes thématiques

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

Cette carte, au 1/50.000, localise les différents sites au droit desquelles des données quantitatives ou qualitatives sont disponibles (analyses chimiques, diagraphies, essais de pompage, traçages). Les résultats des quelques tests réalisés sur quelques puits de la carte Sart-Xhoffrai 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 du SPW (DGARNE). Les volumes représentés sont les volumes déclarés par les titulaires au Service Public de Wallonie, pour l'année 2015 tant pour les volumes destinés à la distribution publique d'eau que pour les autres volumes (privés). 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 (2011-2015, 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.

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 Sart-Xhoffrai, 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 Sart-Xhoffrai, 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'Eodévonien 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.

Bless, M., Demoulin, A., Felder, J., Jagt, J., Reynders, J., 1990

The Hautes Fagnes area (NE Belgium) as a monadnock during the late Cretaceous. *Ann. Soc. géol. Belgique*, 113, 75-101.

Boulvain, F. & Pingot, J.-L., 2011

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

Bultynck, P. & Dejonghe, L., 2001

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

Bultynck, P., Geukens, F. & Smolderen, A., 2001

Permian lithostratigraphic units, Malmédy Graben (Belgium). *Geologica Belgica*, Volume 4, N°1-2 : 105-106, Bruxelles.

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.

Castany, G., 1998

Hydrogéologie, principes et méthodes, *Dunod*, 236 p.

CNSW, 2008

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

Dassargues, A., 2010

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

Dejonghe, L., 2007

Guide de lecture des cartes géologiques de Wallonie au 1/25 000. *Service Public de Wallonie*, 3^e édition, 51p.

de Marsily, G., 2004

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

Demoulin, A., 1987

Les sables oligocènes du plateau des Hautes-Fagnes : une synthèse. *Ann. Soc. géol. Belgique*, 96/1 :81-90.

Demoulin, A., 1989

Les transgressions oligocènes sur le Massif Ardenne-Eifel. *Ann. Soc. géol. Belgique*, 112/1 :215-224.

DGARNE-DESO et Protectis-Cellule DCE, 2015

Directive cadre de l'eau. Etat des lieux des districts hydrographiques. Fiches de caractérisation des masses d'eau souterraine. Octobre 2015, *SPW-DGARNE*.

<http://spw.wallonie.be/dce/spip.php?rubrique4>

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

<http://spw.wallonie.be/dce/fme/RWM102.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.

Fabri, R. & Leclercq, L., 1977

Les ruisseaux et rivières de Haute Belgique. Caractéristiques physico-chimiques des eaux naturelles et polluées. *Natura Mosana*, Vol 30. n°3. 78-87.

Fabri, R. & Leclercq, L., 1984

Etude écologique des rivières du nord du massif ardennais (Belgique) : flore et végétation de diatomées et physico-chimie des eaux. Robertville, *Stat. scient. Hautes-Fagnes*, 1 : 379 p. 33 pl. h.t. ; 2 : 5 + 329 p., 6 fig. & 4 tabl. h.t. ; 3 : 5 + 201 p., 4 cartes & 9 tabl. h.t.

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).

Geukens, F., 2007

Les sources de Spa et la Fenêtre de Theux. Short note. *Geologica Belgica*, 10/1-2 :127-130.

Gilson, M., Briers, P., Ruthy, I. & Dassargues, A., 2012

Carte hydrogéologique de Wallonie, Sart-Xhoffrai, 50/1-2. 1 :25000. Namur, *Service Public de Wallonie, Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement*, 1 notice explicative de 73 p. + annexes.

Gogu, R. C., 2000

Advances in groundwater protection strategy using vulnerability mapping and hydrogeological GIS databases, *Thèse de doctorat, Université de Liège*.

Gogu, R. C., Carabin, G., Hallet, V., Peters, V. et Dassargues, A., 2001

GIS-based hydrogeological databases and groundwater modelling, *Hydrogeology Journal* : 9 : 555-569. <http://hdl.handle.net/2268/1619>.

Hance, L., Dejonghe, L., Ghysel, P., Laloux, M., Mansy, J.L., 1999

Influence of heterogeneous lithostructural layering on orogenic deformation in the Variscan Front Zone (eastern Belgium). *Tectonophysics*, 309, 161-177.

ICEW, 2014

Les Indicateurs Clés de l'Environnement Wallon (ICEW 2014)- Direction de l'Etat Environnemental - SPW - DGARNE - DEMNA – DEE- <http://etat.environnement.wallonie.be>

Interreg II, 2000

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

ISSeP, 1997

Société wallonne des distributions d'eau – Etude géophysique du site de prise d'eau de Waimes. Rapport n°1109/97. Novembre 1997. 54 p.

Laloux, M., Dejonghe, L., Geukens, F., Ghysel, P., Hance, L., Porlot, F., Servais, Th., 1996

Carte géologique de Limbourg-Eupen 43/5-6, *Service public de Wallonie, DGARNE*, Namur.

Laloux, M., Dejonghe, L., Ghysel, P. & Hance, L., Mansy, J.L., 1997

Nouveaux concepts tectoniques dans le Synclinorium de Verviers (Est de la Belgique). *Ann. Soc. géol. Nord*, 5 (2^{ème} série) : 23-46.

Leclercq, L., 1984

Composition chimique des eaux des rivières oligotrophes de Haute Ardenne (Belgique) et ses variations saisonnières. *Physio. Travaux du laboratoire de géographie physique L.A. 141 C.N.R.S* – n°9 (1984). ISSN 0249-7662.

Mbuyu, N. & Petit, F., 1990

Comportement hydrologique de deux bassins versants se différenciant par leur couvert végétal et leur épaisseur de tourbe. *Bull. Soc. Belge d'Etudes Géographiques*. 1990-2, 261-274.

Meilliez, F. & Mansy, J.L., 1990

Déformation pelliculaire différenciée dans une série lithologique hétérogène : le dévono-carbonifère de l'Ardenne, *Bull. Soc. Géol. France*, VI, I, 177-178.

Monjoie, A., 2002

Caractéristiques des eaux minérales, carbo-gazeuses et thermales du sud-est de la Belgique, *Géologues (Union Française des Géologues)*, 133-134, pp. 119-123.

Mormal, P. & Tricot, C., 2004

L'aperçu climatique des Hautes-Fagnes. *IRM. Publication scientifique et technique* n°36, 32 p.

MRW-DGA, 2006

Le Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) change. Les cahiers de l'Agriculture. 42. novembre 2006. Ministère de la Région Wallonne, Direction générale de l'agriculture²⁴.

Pfannkuch, H.-O., 1990

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

Pissart, A., 1995

L'Ardenne sous le joug du froid. In Demoulin A. (Ed). *L'Ardenne – Essai de Géographie physique*. Ed. Département de Géographie physique-Université de Liège. 136-154.

Romanov, V. V., 1968

Hydrophysics of bogs. Traduit du russe. Israel Program for scientific Translations, Jerusalem. 299 p.

Rycroft, D. W, Williams, D. J. A., Ingram, H. A. P., 1975

The transmission of water through peat. I. Review. *Journal of Ecology*. 63. 535-556.

Schyns, V., 2004

La chimie des eaux courantes du plateau des Hautes-Fagnes : caractéristiques et variations spatio-temporelles & problèmes analytiques. Travail de fin d'études. Haute Ecole de la Province de Liège, Rennequin Sualem, 121 p + annexes.

SPAQuE, 2008

Lg4102-001 – Bois de Roslin à Jalhay – Surveillance environnementale : bilan 2008, 6p

SPAQuE, 2009

Lg4102-001 – Bois de Roslin à Jalhay – Fiche d'information. Mise à jour : 30/030/2009, 2 p.

²⁴ http://agriculture.wallonie.be/apps/spip_wolwin/IMG/pdf/LC42_FR.pdf

SPW-DGO3, 2014

Etat des nappes d'eau souterraine de Wallonie. Edition : Service public de Wallonie, DGO 3 (DGARNE), Belgique. Dépôt légal D/2014/11802/11 - ISBN 978-2-8056-0142-2 – Mars 2014 – Treizième année²⁵.

S.W.D.E., 1989

Commune de Waimes – Puits communal de Sourbrodt – Pompage d'essai. 3 p + annexes. Inédit.

S.W.D.E., 2003

Réalisation de trois piézomètres (PZ1 à PZ3) à Waimes (anct. Robertville et Sourbrodt) dans le cadre des zones de préventions de Robertville-Lac G1 et Sourbrodt-Puits communal P1. Rapport technique. Service Protection des Ressources et Captages. Décembre 2003. RT n°164. 7 p + annexes.

S.W.D.E., 2004

Projet de délimitation des zones de prévention des prises d'eau de Waimes (Robertville et Sourbrodt). Note explicative. Service Protection des Ressources et Captages. Février 2004. DT/034/AVR/04-0455.

Symoens, J. J., 1957

Les eaux douces de l'Ardenne et des régions voisines : les milieux et leur végétation algale. *Bull.Soc.Roy.Bot.Belg.* 89. 111-314.

TBE, 2010

Tableau de bord de l'environnement wallon 2010. SPW-DGARNE-DEMNA-DEE. Cellule Etat de l'Environnement wallon. 230 p, ISBN : 978-2-8056-0017-3.

Tractebel Development Engineering, 2004

Essais de traçage à Waimes dans le cadre de l'étude des zones de prévention – Société Wallonne des Eaux – Rapport de synthèse. Janvier 2004. 17 p + annexes.

UNESCO-OMM, 1992

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

Vandenven, G., 1990

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

Vandenven, G., 1991

Les sondages de Malmédy. In session extraordinaire 1991 des deux sociétés géologiques belges. Bruxelles-Liège, p21-26.

Vandenberghe, Ch., 2010

Mise en relation de l'évolution de l'agriculture et de la qualité de l'eau entre 1950 et 2000. *BASE*. vol.14, numéro spécial 1. 9-16. <http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/32714/1/1950.pdf>.

Verniers, J., Herbosch, A., Vanguetaine, M., Geukens, F., Delcambre, B., Pingot, J-L., Belanger, I., Hennebert, M., Debacker, T., Sintubin, M. & De Vos, W., 2001.

Cambrian-Ordovician-Silurian lithostratigraphic units (Belgium). In Bultynck & Dejonghe, eds., *Guide to a revised lithostratigraphic scale of Belgium*, Geologica Belgica, 4 (1-2), 5-38.

Wastiaux, C., 2000

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

²⁵ <http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas/>

Wastiaux, C., 2008

Les tourbières sont-elles des éponges régularisant l'écoulement ? *Bull. Soc. Géogra. Liège*. 50.57-66 - www.bsglg.be.

Wojda, P., Dachy, M., Popescu, C., Ruthy, I., Gardin, N, Brouyère, S. & Dassargues, A., 2005

Appui à la conception de la structure, à l'interfaçage et à l'enrichissement de la base de données hydrogéologiques de la Région wallonne, *Convention subsidiée par Service public de Wallonie, DGARNE – Université de Liège*.

XI. ANNEXES

XI.1. LISTE DES ABRÉVIATIONS

APAQ-W

Agence Wallonne pour la Promotion d'une Agriculture de Qualité
Rue Burniaux, 2 - 5100 Jambes

DGARNE – SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement (DGO 3).

DEE

Direction de l'Etat Environnemental

DESO

Direction des Eaux souterraines

DESU

Direction des Eaux de Surface

DCENN

Direction des Cours d'Eau non navigables
Avenue Prince de Liège, 15 à 5100 Jambes
http://environnement.wallonie.be/zones_prevention/

Depuis le 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 (DGO 3) 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.

DGO2

Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies hydrauliques – **SETHY**
<http://voies-hydrauliques.wallonie.be/opencms/fr/hydro/crue/>

HGE-GEO³

Hydrogéologie & Géologie de l'Environnement – GEO³ - ArGEnCo – Ulg
Bâtiment B52, niveau -1, Sart-Tilman à 4000 Liège
<http://www.argenco.ulg.ac.be/geo3>

IRM

Institut Royal Météorologique, Section Climatologie.
Avenue Circulaire, 3 à 1180 Bruxelles
<http://www.meteo.oma.be/IRM-KMI/>

ISSeP

Institut Scientifique de Service Public
Rue du Chéra, 200 à 4000 Liège
<http://www.issep.be>

LGIH

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

MET

Ministère wallon de l'Équipement et des Transports

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

Boulevard du Nord, 8 à 5000 Namur

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

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

SGB

Service Géologique de Belgique

Département VII de l'institut royal des Sciences Naturelles de Belgique

Rue Jenner, 13 à 1000 Bruxelles

<http://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/>

S.W.D.E.

Société Wallonne des Eaux

Rue de la Concorde, 41 à 4800 VERVIERS

<http://www.swde.be>

XI.2. TABLE DES ILLUSTRATIONS

XI.2.1. Figures

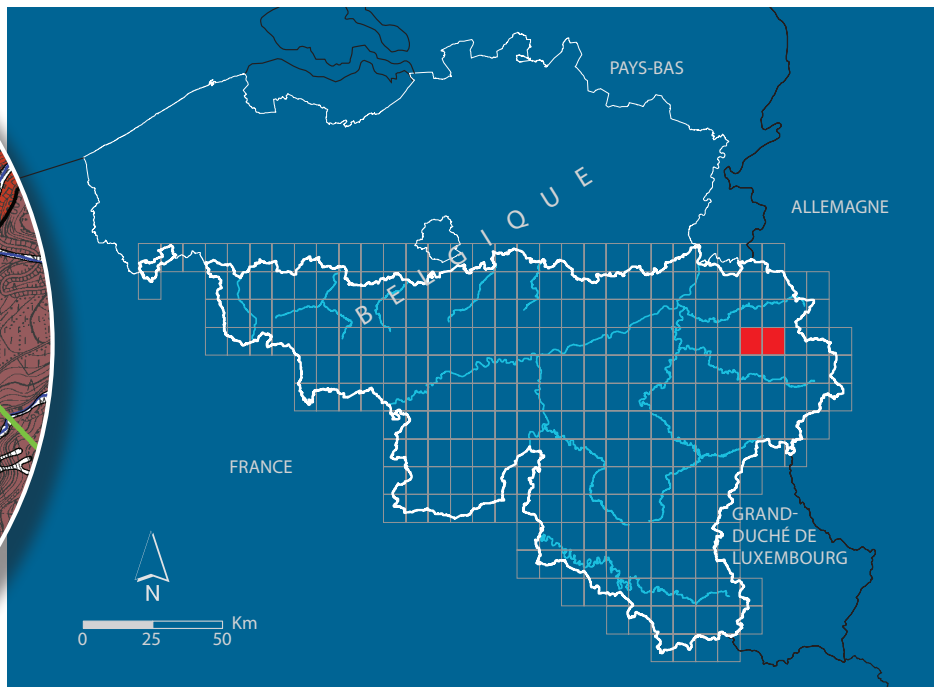
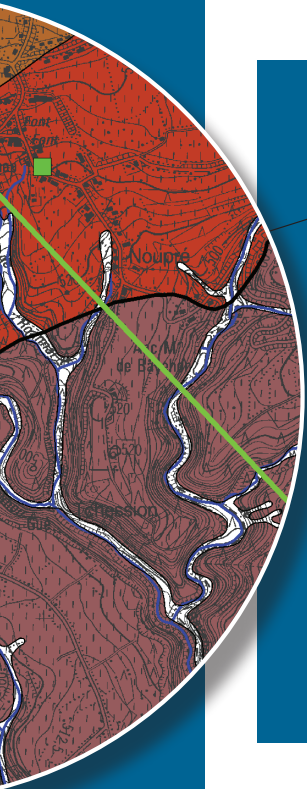
Figure I.1 : Localisation de la carte Sart-Xhoffrai 50/1-2.....	4
Figure II.1 : Territoires paysagers – Sart-Xhoffrai.....	5
Figure II.2 : Cadres hydrologique et topographique – Sart-Xhoffrai	6
Figure II.3 : Répartition de l'occupation du sol de la carte Sart – Xhoffrai	7
Figure II.4 : Occupation du sol – carte Sart-Xhoffrai.....	8
Figure II.5 Répartition des différents types de sol.	10
Figure III.1 : Carte géologique de la Wallonie (<i>Boulvain & Pingot, 2011 ; modifié</i>).....	11
Figure III.2 Fonds géologiques utilisés par la carte hydrogéologique 50/1-2.....	12
Figure III.3 : Position stratigraphique des unités lithologiques du Paléozoïque inférieur du Massif de Stavelot (<i>Vernier et al, 2001 ; modifié</i>).....	14
Figure III.4 : Répartition des terrains meubles de couverture (<i>Geukens, 1999</i>).....	18
Figure III.5 : Cadre structural schématisé du Massif de Stavelot. Sart-Xhoffrai (<i>Geukens, 1986 ; modifié</i>).....	21
Figure III.6 : Carte structurale schématique de l'Est de la Belgique avec indication des unités structurales de la Nappe de la Vesdre : 1. Unité de Jalhay ; 2. Unité de la Gileppe ; 3. Unité de Goé ; 4. Unité de Forêt-Andrimont ; 5. Unité du Tunnel (<i>Laloux et al., 1997 ; modifié</i>).....	21
Figure IV.1 : Principaux aquifères de Wallonie – Carte de Sart-Xhoffrai (<i>SPW-DGO3, 2014 ; modifié</i>).....	22
Figure IV.2 : Site de Sourbrodt à Waimes (SWDE).....	31
Figure IV.3 : Niveaux piézométriques dans le forage Pz1-Sourbrodt – SWDE	32
Figure IV.4 : Profil schématique d'une tourbière haute et de quelques paramètres hydro-physiques (<i>Wastiaux, 2008</i>).....	33
Figure IV.5 : Entités hydrogéologiques - Carte Sart-Xhoffrai.....	36
Figure IV.6 : Coupe géologique de la région de Spa (<i>Monjoie, 2002</i>).....	38
Figure V.1 : Carte des masses d'eau souterraine – Sart-Xhoffrai	42
Figure V.2 Diagramme de Piper des eaux souterraines de la carte Sart-Xhoffrai.....	43
Figure V.3 : Zones vulnérables aux nitrates - Région wallonne.....	50
Figure V.4 : Localisation des ouvrages "survey nitrate" retenus pour l'analyse de l'évolution de la concentration en nitrate des eaux souterraines - Carte Sart-Xhoffrai	51
Figure V.5 : Evolution des teneurs en nitrates pour quelques prises d'eau - Carte Sart-Xhoffrai.....	52
Figure V.6 : Evolution des concentrations moyennes annuelles en nitrates au puits de Baronheid, établies pour les années 1994 à 2010.....	53
Figure V.7 : Concentrations moyennes mensuelles en nitrates au puits de Baronheid entre 1994 et 2010.....	54
Figure V.8 : Pesticides en Région wallonne (<i>ICEW, 2014 ; carte 24 modifiée</i>).....	56
Figure VI.1 : Historique des volumes prélevés pour la distribution publique des captages en activité – Eaux souterraines – Carte Sart-Xhoffrai.....	60
Figure VI.2 : Historique des volumes prélevés pour la distribution publique par la prise d'eau du Lac de Robertville – Carte Sart-Xhoffrai.....	60
Figure VIII.1 : Zones de protection - Carte Sart-Xhoffrai.....	71

XI.2.2. Tableaux

Tableau II.1 : Répartition des différents types de sol - Carte 50/1-2.....	9
Tableau IV.1 : Unités hydrogéologiques de la carte Sart-Xhoffrai.....	27
Tableau IV.2 : Niveaux piézométriques - Puits privés - Fenêtre de Theux.....	36
Tableau V.1 : Caractéristiques hydrochimiques de l'aquiclude à niveaux aquifères du Dévonien inférieur	44
Tableau V.2 : Caractéristiques hydrochimiques de l'aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien	45
Tableau V.3 : Caractéristiques hydrochimiques de l'aquiclude à niveaux aquitards du socle cambro-silurien	46
Tableau V.4 : Caractéristiques hydrochimiques de l'aquitard à niveaux aquifères du socle cambro-silurien.....	47
Tableau V.5 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux captées par Spa Monopole sur Sart-Xhoffrai.....	48
Tableau V.6 : Caractéristiques hydrochimiques des eaux de surface du Lac de Robertville	49
Tableau V.7 : Paramètres microbiologiques – Sart-Xhoffrai.....	55
Tableau VI.1 : Eaux de Spa - Volumes moyens annuels – Carte Sart-Xhoffrai	61
Tableau VII.1 : Valeurs du coefficient de perméabilité en fonction de la granulométrie (<i>Castany, 1998</i>).....	63
Tableau VII.2 : Intervalles de valeurs indicatives pour la conductivité hydraulique de différentes lithologies (échelles macroscopique & mégascopique) (<i>Dassargues, 2010</i>)	63
Tableau VII.3 : Intervalles de valeurs indicatives pour la porosité (n) et la porosité effective de drainage (ne) de différentes lithologies (échelles macroscopique & mégascopique) (<i>Dassargues, 2010</i>).....	64

XI.3. COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES DES OUVRAGES CITES DANS LA NOTICE

Nom	Code RW	Identifiant RW	X(m)	Y(m)	Z(m)	Type	Prof.(m)
Rétons	50/2/9/004	41074	273 262	130 039		Puits foré	89.4
Pont le Page	50/1/4/008	11811	259 453	133 838		Puits foré	25
Stockai	50/1/4/011	11428	260 513	133 961		Puits foré	20
Ster	50/1/9/008	11543	263 998	129 128		Puits foré	35
Longfaye	50/2/9/003	11798	271 650	130 305		Puits foré	
Arzelier	50/1/5/002	2425	261 250	134 700		Puits foré	69
Arbespine	50/1/1/004	11832	258 812	135 417	350	Puits foré	36
Cronchamps	50/1/9/010	11444	264 876	128 867		Source	
Sourbrodt – P1 (Waimes)	50/2/6/004	3563	273 916	131 704		Puits foré	75
Sourbrodt – Pz1	50/2/6/007	53914	273 756	131 731		Piézomètre	101
Belheid DR (Jalhay)	50/1/6/002	6374	264 105	133 765		Drain	
Belheid P1 (Jalhay)	50/1/6/004	2342	263 818	134 446		Puits foré	
Belheid P2 (Jalhay)	50/1/6/001	4219	264 179	133 762		Puits foré	
Damzaï G1 (Jalhay)	50/1/5/001	271	262 030	132 590		Galerie	
Hockay P1 (Francorchamps)	50/1/6/005	20657	264 022	131 927		Puits foré	
Hockai D1 (Francorchamps)	50/2/4/002	8025	266 740	131 627		Drain	
Mockels P1 (Jalhay)	50/1/8/001	3811	236 244	131 072		Puits foré	
Morfat D1 (Jalhay)	50/1/8/005	4104	263 068	131 381		Drain	
Ster D1 (Francorchamps)	50/1/9/001	7766	265 406	129 892		Drain	
Botrange D1 (Robertville)	50/2/6/005	2672	272 820	133 561		Drain	
Baronheid P1	50/1/8/004	1944	263 287	130 943		Puits foré	
Mont – Source S1	50/2/4/001	5882	268 310	131 800		Source	
Xhoffrai P1	50/2/8/003	991	271 000	128 830		Puits foré	
Lac de Robertville	50/2/9/001	617	273 580	128 280		Eau de surface	



SPW | Éditions, CARTES

Dépôt légal : D/2018/12.796/3 – ISBN : 978-2-8056-0249-8

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

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