

Notice explicative

CARTE HYDROGÉOLOGIQUE DE WALLONIE

Echelle : 1/25 000



Photos couverture © SPW-DGARNE(DGO 3)

Fontaine de l'ours à Andenne

Forage exploité

Argillère de Celles à Houyet

Puits et sonde de mesure de niveau piézométrique

Emergence (source)

Essai de traçage au Chantoir de Rostenne à Dinant

Galerie de Hesbaye

Extrait de la carte hydrogéologique de Visé – Sint-Martens-Voeren



WISE

—

SINT-MARTENS-VOEREN

34/7-8

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

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



NOTICE EXPLICATIVE

2017

Première édition : Juin 2009
Actualisation partielle : Août 2016

Dépôt légal – **D/2017/12.796/1**- ISBN : **978-2-8056-0225-2**

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

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

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

Table des matières

Avant-propos	3
I. Introduction	5
II. Cadres géographique, géomorphologique, hydrographique et pédologique	6
III. Cadre géologique	11
III.1. Cadre géologique regional.....	11
III.2. Cadre géologique de la carte	12
III.2.1. Cadre litho-stratigraphique.....	12
III.2.1.1. Formations du Paléozoïque	12
III.2.1.2. Formations du Mésozoïque	13
III.2.1.3. Formations du Cénozoïque.....	15
III.2.2. Cadre structural	16
IV. Cadre hydrogéologique	18
IV.1. Description des unités hydrogéologiques	19
IV.1.1. Unités hydrogéologiques du Paléozoïque	19
IV.1.1.1. Aquifères des calcaires du Dévonien et du Carbonifère	19
IV.1.1.2. Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller	20
IV.1.2. Unités hydrogéologiques du Mésozoïque	21
IV.1.2.1. Aquifère – Aquitard de Vaals.....	21
IV.1.2.2. Aquifère des craies du Crétacé.....	21
IV.1.3. Unités hydrogéologiques du Cénozoïque	22
IV.1.3.1. Aquifère des sables de remplissage	22
IV.1.3.2. Aquifère des terrasses fluviales	22
IV.1.3.3. Aquitard limoneux (non cartographié).....	22
IV.1.3.4. Aquifère alluvial.....	22
IV.1.3.5. Nappe des remblais.....	23
IV.1.4. Unités hydrogéologiques en Flandre	25
IV.2. Description de l'hydrogéologie de la carte	28
IV.2.1. Aquifères du Crétacé	28
IV.2.2. Aquifère alluvial de la Meuse	33
IV.2.3. Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller	37
IV.2.4. Coupes hydrogéologiques	39
IV.2.5. Caractère des nappes	39
IV.2.6. Piézométrie de la carte Visé Sint-Martens-Voeren.....	40
V. Cadre hydrochimique	41
V.1. Caractéristiques hydrochimiques des eaux	43
V.1.1. Aquifère des craies du Crétacé	43
V.1.2. Aquifère alluvial de la Meuse	44
V.1.3. Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller	44
V.1.4. Aquifère des calcaires du Carbonifère	45
V.2. Problématique des nitrates.....	46
V.3. Qualité bactériologique	49
V.4. Pesticides	50
V.5. Autres paramètres: Métaux lourds, Radioactivité	52
V.6. Site 'Walsols' (SPAQUe).....	55
VI. Exploitation des aquifères	57

VII. Paramètres d'écoulement et de transport.....	59
VII.1. Aquifères du Cretace	61
VII.2. Aquifère alluvial de la Meuse	61
VII.3. Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller.....	62
VII.4. Aquifère des calcaires du Carbonifere	62
VIII. Zones de protection.....	63
VIII.1. Cadre légal	63
VIII.2. Zones de prévention des captages de la CILE et de la SWdE.....	65
IX. Méthodologie d'élaboration de la carte hydrogéologique.....	66
IX.1. Origine des informations.....	66
IX.1.1. Données géologiques et connexes.....	66
IX.1.2. Données météorologiques et hydrologiques.....	67
IX.1.3. Données hydrogéologiques	67
IX.1.3.1. Localisation des ouvrages.....	67
IX.1.3.2. Données piézométriques.....	68
IX.1.3.3. Données hydrochimiques et tests sur les puits.....	68
IX.1.4. Autres données	69
IX.2. Base de données hydrogéologiques.....	69
IX.3. Poster de la carte hydrogéologique	70
IX.3.1. Carte hydrogéologique principale.....	70
IX.3.2. Carte des informations complémentaires et du caractère des nappes.....	71
IX.3.3. Carte des volumes d'eau prélevés	71
IX.3.4. Carte des isohypses de l'aquifère logé dans les formations du Crétacé.....	72
IX.3.5. Tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie'.....	73
IX.3.6. Coupes hydrogéologiques.....	73
X. Bibliographie.....	74
Annexe 1: Liste des abréviations des institutions et organismes	80
Annexe 2: Table des illustrations	82
Annexe 3: Carte de localisation.....	83
Annexe 4: Coordonnées géographiques des ouvrages cités dans la notice	84
Annexe 5: Hydrogeologische Codering van de Ondergrond van Vlaanderen:HCOV	85

AVANT-PROPOS

La carte hydrogéologique 34/7-8 Visé - Sint-Martens-Voeren s'inscrit dans le cadre du programme de cartographie des ressources en eau souterraine de Wallonie, commandé et financé par le Service Public de Wallonie (SPW), Direction Générale opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement (DGARNE-DGO3). Cette carte hydrogéologique a été réalisée par l'unité 'Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement' du secteur GEO³ du département ArGEnCo de l'Université de Liège. Le projet a été supervisé par le professeur Alain Dassargues et la carte réalisée par Ingrid Ruthy. La première version de cette carte date de 2009¹. L'actualisation de cette carte a été effectuée en 2016. Elle prend en compte les données disponibles dans la base de données "BD-Hydro" (outil de travail commun aux équipes universitaires et à l'administration wallonne, DGARNE). Ainsi les données concernées sont les zones de prévention, les volumes prélevés, les nouveaux ouvrages déclarés, des données piézométriques nouvelles encodées dans la base de données. Une collecte exhaustive de données complémentaires n'a pas été menée.

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

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

Les auteurs de la carte hydrogéologique remercient vivement Laurent Barchy et Jean-Marc Marion (géologues attachés à la carte géologique de Wallonie à l'ULg) pour leurs explications à propos de la géologie complexe de cette région. Nous remercions également la Société Wallonne Des Eaux (SWDE), la Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux (CILE), la Société Publique d'Aide à la Qualité de l'Environnement (SPAQuE), l'Institut Scientifique de Service Public (ISSeP) pour nous avoir fourni nombre de données et nous avoir permis l'accès à leurs ouvrages souterrains (captages, piézomètres). Nous remercions également les ingénieurs de la Direction de la Géotechnique du Service Public de Wallonie (SPW, DGO1-61) pour les nombreuses données concernant les sites de du Trilogiport à Hermalle et de l'écluse à Lanaye. Il en va de même pour tous les bureaux d'études actifs dans le domaine de l'environnement qui nous ont fourni des données, ainsi que tous les titulaires privés (généralement du monde agricole) de puits pour nous avoir laissé accéder aux ouvrages lors de nos investigations sur le terrain.

Cette carte, dont une partie du territoire couvert est située en Région Flamande, n'aurait pu être réalisée sans l'apport conséquent de données issues de la Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) et de sa base de données (Databank Ondergrond Vlaanderen). Nous remercions la Région

¹ Ruthy I. & Dassargues A. (2009). Carte hydrogéologique de Wallonie, Visé – Sint-Martens-Voeren, 34/7-8. 1:25000. Namur, Service Public de Wallonie, Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement, 1 notice explicative de 62 p. + annexes

Flamande et plus spécifiquement le Service Eau (Afdeling Water) de la VMM pour leur collaboration à la réalisation de cette carte hydrogéologique de Wallonie.

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

Les données utilisées pour la réalisation de la carte ont été encodées dans une base de données (GDB-ArcGIS-Esri) qui a été remise à la Direction des Eaux Souterraines (SPW, DGO3 DGARNE).

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

I. INTRODUCTION

La carte de 34/7-8 Visé - Sint-Martens-Voeren se situe au nord-est de la ville de Liège (Figure I.1). Elle est également partiellement située en Flandre, ainsi qu'aux Pays-Bas. Les activités principales de la région sont l'agriculture et l'élevage. Cependant, les activités industrielles et tertiaires se développent de plus en plus, essentiellement dans la vallée de la Meuse (Visé, Hermalle, Lixhe, Lanaye).

Les ressources en eaux souterraines du Pays de Herve sont importantes. Elles ont été estimées par Huygens (1986) à 18 millions de m³ pour l'ensemble des bassins de la Berwinne et de la Gulpe, tous aquifères confondus, sur base d'une lame d'eau moyenne et de la porosité. Les craies (Formation de Gulpen) constituent le réservoir le plus important avec une capacité estimée à 8 millions de m³ (Huygens, 1986). Il existe d'autres nappes sur le territoire de cette carte: l'aquifère alluvial de la Meuse et de ses terrasses, les aquifères du socle paléozoïque.

Ces différentes nappes sont, surtout, exploitées par de nombreux agriculteurs, éleveurs, particuliers et quelques industries. Quelques captages sont exploités par la Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux.



Figure I.1: Localisation de la carte Visé - Sint-Martens-Voeren

II. CADRES GEOGRAPHIQUE, GEOMORPHOLOGIQUE, HYDROGRAPHIQUE ET PEDOLOGIQUE

A la bordure nord-est de la Wallonie, la carte Visé-Sint-Martens-Voeren fait partie de l'ensemble paysager² de l'Entre-Vesdre-et-Meuse, plateau incisé par plusieurs cours d'eau. Cette succession de plateaux sillonnés par de nombreux ruisseaux et petites rivières est traversée par la ligne de crête séparant les bassins hydrographiques de la Meuse et de la Vesdre. Cet interfluve se situe plus au sud, en partie sur la carte Dalhem-Herve. Plusieurs aires paysagères y ont été définies dans le tome 1 de l'Atlas des Paysages de Wallonie (Cremasco et al, 2007). La carte étudiée est principalement concernée par les terrasses mosanes (04010) et par la zone septentrionale de la vallée industrielle de la Basse Meuse (06070)(Figure II.1). Les terrasses mosanes sont caractérisées par un relief de faibles et molles ondulations, structurées en paliers étagés dont l'altitude diminue vers le nord-ouest. Elles sont couvertes par de grandes étendues de labours, non encloses par des haies. Ce paysage d'openfield³ se rapproche davantage de celui de la Hesbaye proche (de l'autre côté de la Meuse, à l'ouest de la carte) qu'à ceux de l'Entre-Vesdre-et-Meuse, région marquée plutôt par le bocage⁴. Les altitudes les plus élevées de la carte étudiée sont situées dans la région de Remersdaal (± 260 m).

Au nord de cette zone des terrasses, s'étend le Pays fouronnais (Flandre). L'activité agricole domine largement ce territoire parsemé de vergers. La partie occidentale de la carte est occupée par la Meuse et sa plaine alluviale et, par le Canal Albert. La plaine de la Basse-Meuse présente des altitudes comprises entre +55/60 m à hauteur de Visé et +50 m à Lanaye.

En comparaison avec le reste de la région de l'Entre-Vesdre-et-Meuse, le réseau hydrographique de la carte Visé-Sint-Martens-Voeren est relativement peu développé (bassin de la Meuse Aval). Les principales rivières sont (Figure II.1):

- la Berwinne, qui rejoint la Meuse à Lixhe, au nord de Visé;
- la Voer, qui reçoit le Veurs, le Noordbeek et le Beek (Biek), avant de se jeter dans la Meuse à hauteur d'Eijsden (Pays-Bas);
- la Gulp, affluent de la Gueule, reçoit le Remersdaalbeek;
- en rive gauche de Meuse, le Geer passe sous le Canal Albert à hauteur de Kanne (carte Tongeren-Herderen) avant de se jeter dans la Meuse à Maastricht. Le Grand Aa rejoint la Meuse à hauteur de Visé.

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 X (Droeven et al., 2004).

³ Openfield: système traditionnel de champs ouverts caractérisé par un habitat strictement groupé au centre des terres agricoles caractérisées par la polyculture céréalière gérée selon une organisation collective et couronnées de bois communautaires (Cremasco et al, 2007).

⁴ Bocage: paysage d'enclos caractérisé par un habitat dispersé combiné à une organisation individuelle de fermes entourées de leurs terrains d'exploitation, souvent enclos de rideaux d'arbres, combinant majoritairement herbages et élevage (Cremasco et al, 2007).

Le Canal Albert, voie d'eau artificielle destinée à la navigation, a été inauguré en 1939. Long de 129 km, il relie Liège à Anvers, sur l'estuaire de l'Escaut. Aujourd'hui, il permet le passage de bateaux à grand gabarit (9000 tonnes). Il compte six écluses.

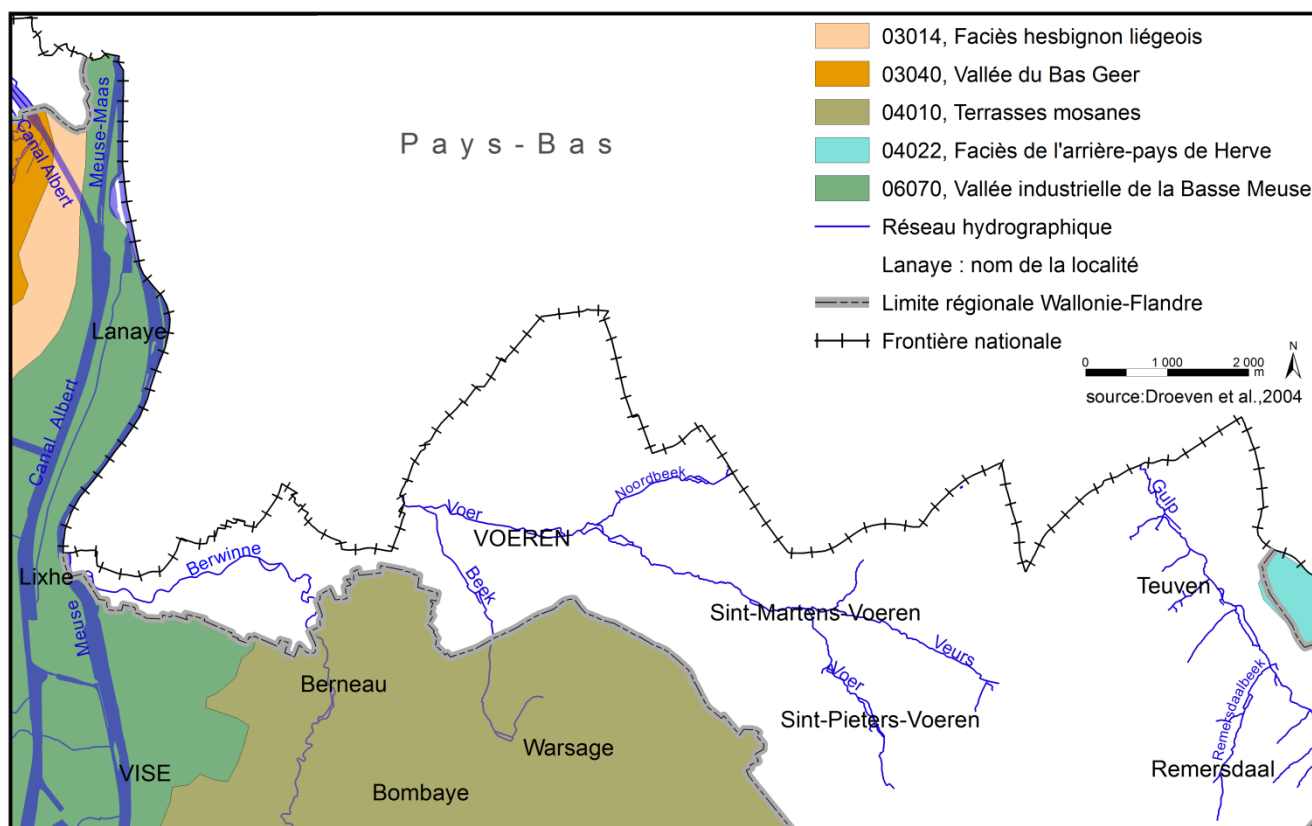


Figure II.1: Paysages et Réseau hydrographique – Carte Visé - Sint-Martens-Voeren

Comme présenté ci-avant, la région étudiée s'apparente davantage au paysage hesbignon (openfield) qu'au paysage typique du Pays de Herve (bocage). Bombaye, Warsage, Richelle, Berneau, Sint-Martens-Voeren, Sint-Pieters-Voeren, Teuven ou Remersdaal constituent autant de noyaux villageois anciens autour desquels la végétation arborée se concentre. Cette première auréole de vergers est, en général, suivie de vastes champs labourés et ensuite de prairies. L'habitat groupé domine sur l'habitat dispersé. L'occupation du sol de la carte Visé-Sint-Martens-Voeren est présentée à la figure II.2. Ces données sont extraites de la carte numérique de l'occupation du sol wallon⁵. Un quart de la carte étudiée est couverte (soit 40 km²). Les territoires agricoles occupent plus de la moitié de la zone cartographiée (soit ≈ 21 km²). La répartition des affectations du sol à l'intérieur de cette catégorie est présentée dans le tableau II.1. Ensuite, sans tenir compte de la classe 'non cadastré' constituée de plus de 70 % de voiries et espaces associés, viennent les territoires artificialisés occupant plus de 15 % de la zone cartographiée. Dans cette catégorie, sont inclus les terrains résidentiels, les espaces d'activités économiques, les carrières, les décharges pour l'essentiel.

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

La carte Visé-Sint-Martens-Voeren est au carrefour des aires d'influence de trois métropoles d'importance régionale, que sont Liège, Aix-la-Chapelle et Maastricht. Cette situation est à l'origine d'une importance périurbanisation qui influence en profondeur les paysages de la zone (Cremasco et al, 2007). Visé constitue un pôle urbain secondaire.

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

Terres arables: cultures sarclées et non sarclées, jachères (cultures annuelles)	47,5 %
Surfaces enherbées (essentiellement des prairies permanentes)	41,5 %
Cultures permanentes (essentiellement des vergers hautes tiges)	9,4 %
Friches agricoles	1,6 %

La répartition des différents types de sols présents dans la région Visé-Sint-Martens-Voeren est présentée à la figure II.3. Les sols limoneux à drainage naturel favorable représentent la classe dominante dans la région, type particulièrement favorable aux activités agricoles (comme en témoigne la carte d'occupation du sol). Des sols à charge de silice⁶ ou de gravier sont également relevés sur cette carte. Ils occupent presque 10 % de la zone cartographiée. Ils sont à rapprocher, respectivement, du conglomérat à silex (résidu de dissolution des terrains crayeux du Crétacé, noté Sx sur la carte géologique) et des alluvions et terrasses fluviales. Vu l'importante urbanisation, la catégorie 'sols artificiels ou non cartographiés' est non négligeable (38 % du territoire cartographié). Cette classe comprend principalement les zones bâties, le réseau hydrographique, les infrastructures de transport.

⁶ Silice: terme ambigu désignant à la fois des cherts, faisant corps avec la roche calcaire qui les contient (dans le Condroz notamment), sables, sables indurés, argile plastique, cailloux calcaires ou d'un mélange des charges citées (Légende de la Carte Numérique des Sols de Wallonie, 2007)

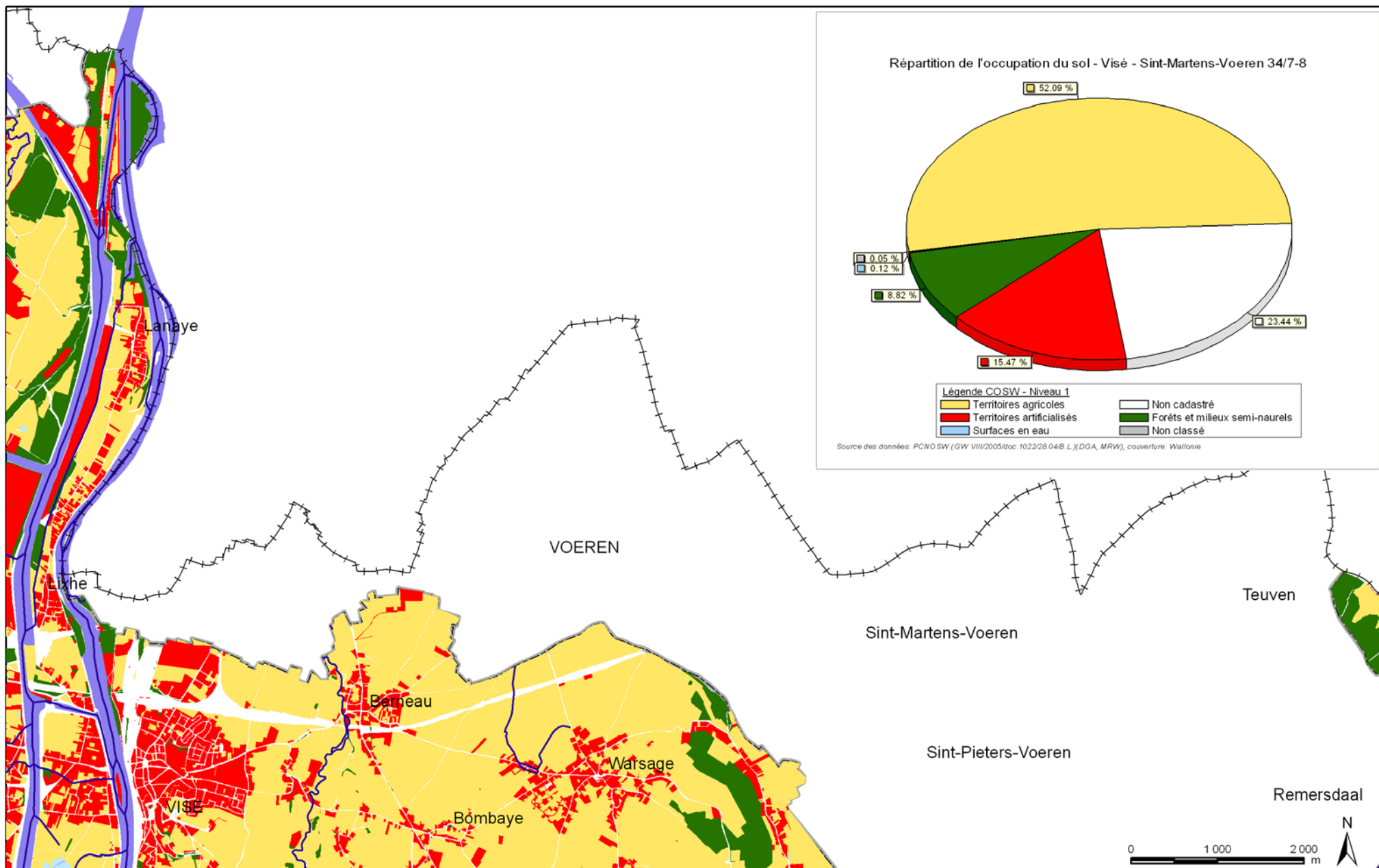


Figure II.2: Carte de l'occupation du sol – Carte Visé - Sint-Martens-Voeren

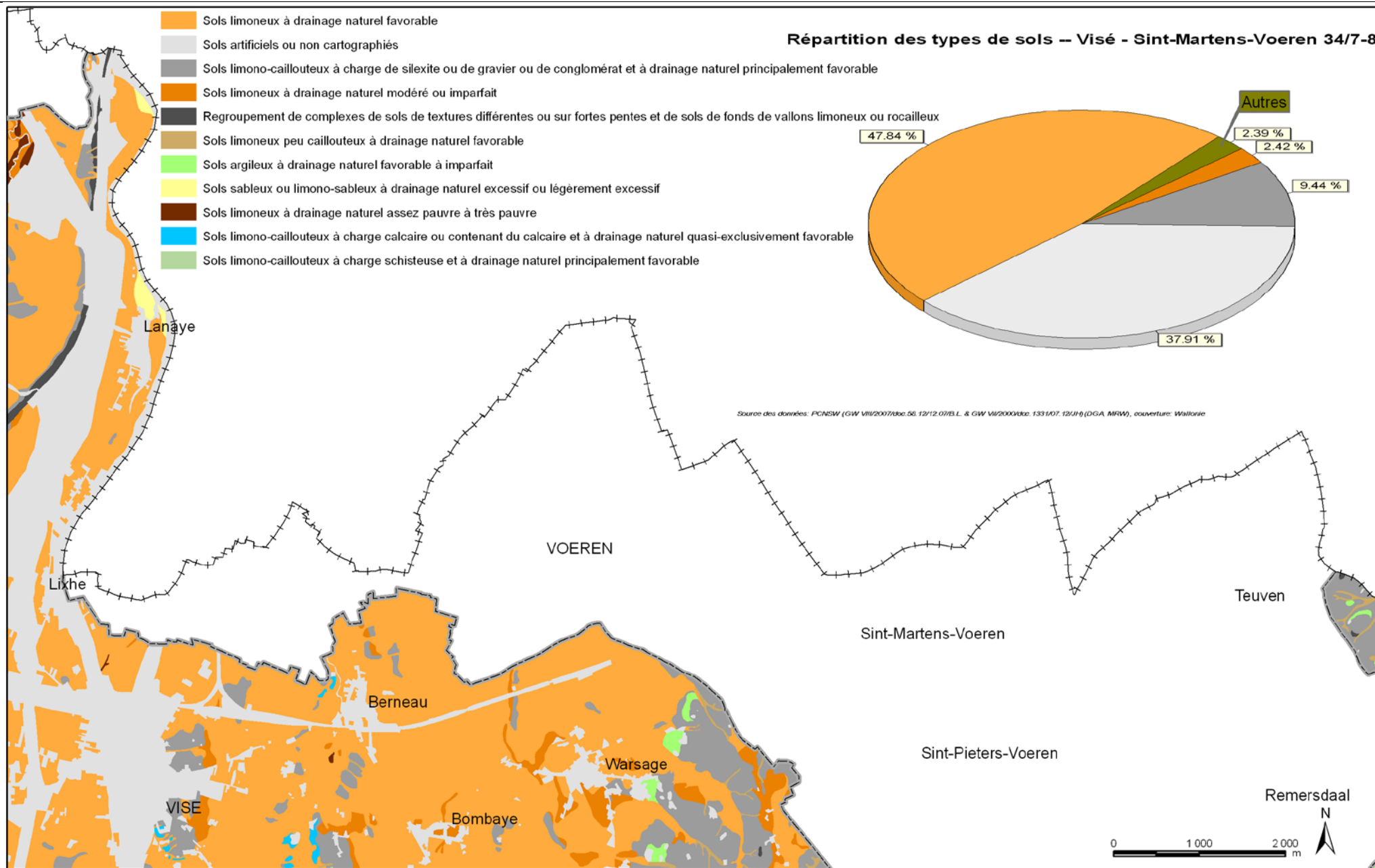


Figure II.3: Carte des types de sols – carte Visé - Sint-Martens-Voeren

III. CADRE GEOLOGIQUE

III.1. CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

La carte de Visé - Sint-Martens-Voeren est située dans le prolongement oriental du Massif du Brabant (Figure III.1). Après la phase terminale de l'orogénèse varisque, la Belgique connaît une longue période (environ 40 millions d'années) de lacune de sédimentation accompagnée d'une érosion. L'importante transgression du Crétacé dépose, dans le Pays de Herve, tout d'abord des sédiments sableux d'âge santonien. Au Campanien, la mer continue sa transgression et dépose une marne ou argile silteuse riche en glauconie. Au-dessus de ce dépôt, on trouve les niveaux crayeux du Campanien-Maastrichtien. Le Crétacé se termine par une importante régression et émergence au cours de laquelle les craies ont, en partie, été érodées. Cette phase érosive a laissé un conglomérat à silex résiduels. Au cours du Quaternaire, l'Ardenne a subi une surrection rapide, favorisant une érosion intense et l'approfondissement de la vallée de la Meuse et de ses affluents. Les nombreux dépôts alluvionnaires étagés de part et d'autre du cours d'eau sont les témoins de ces étapes d'encaissement (Boulvain & Pingot, 2011).

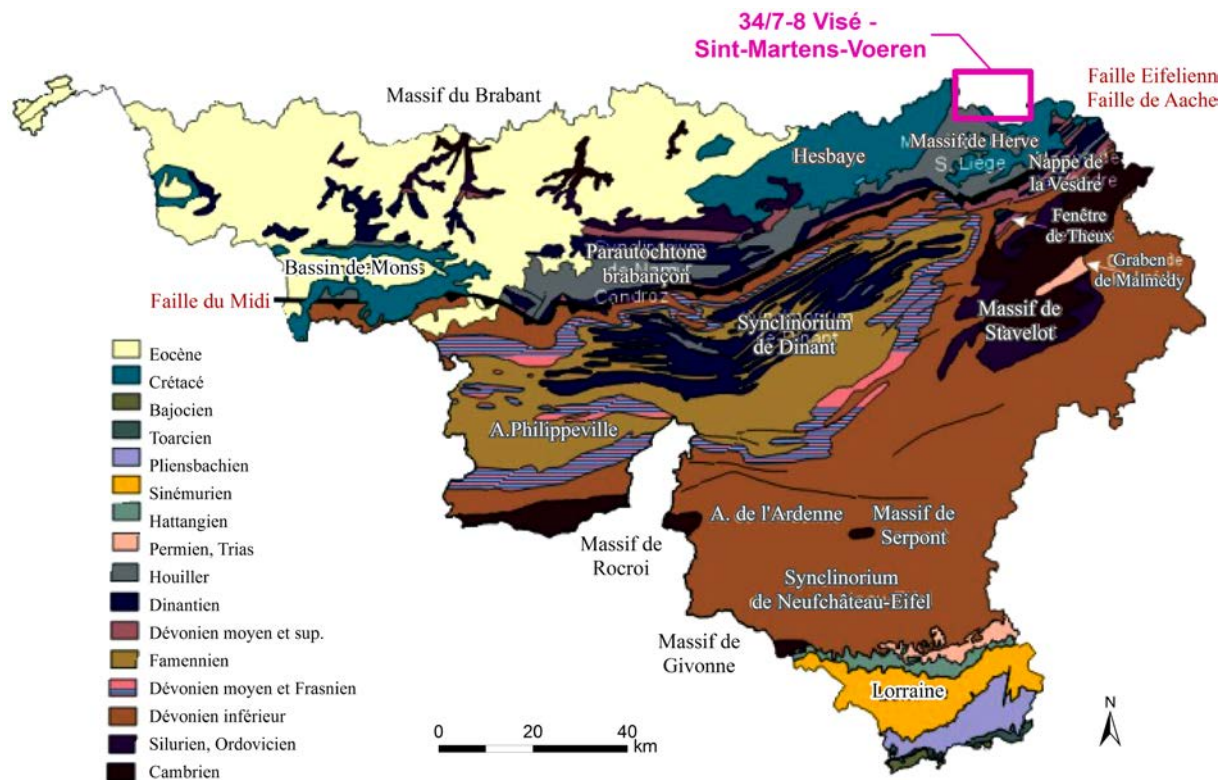


Figure III.1: Carte géologique de Wallonie (Boulvain & Pingot, 2011; modifié)

III.2. CADRE GEOLOGIQUE DE LA CARTE

Les formations géologiques rencontrées sur la carte de Visé - Sint-Martens-Voeren sont constituées de roches datant du Dévonien au Crétacé. Le socle paléozoïque affleure peu, uniquement au droit des vallées principales (Meuse, Berwinne et Voer). Les formations du Crétacé, présentes sur presque la totalité de la carte, sont recouvertes par quelques dépôts sableux mais surtout par des dépôts alluvionnaires anciens de la Meuse (terrasses fluviales). Les formations paléozoïques et cénozoïques sont affectées par plusieurs failles. On observe de grandes failles longitudinales affectant le socle et des failles transversales, plus récentes, qui affectent le socle et les dépôts du Crétacé (elles sont liées au Graben du Rhin). Une couverture de loess, d'épaisseur variable, s'étend sur l'ensemble de ces formations.

La description lithologique des formations fait référence à la nouvelle carte géologique de Visé - Sint-Martens-Voeren au 1/25 000, dressée par L. Barchy et J.-M. Marion (2017). Cette carte géologique sert de fond à la carte hydrogéologique.

III.2.1. Cadre litho-stratigraphique

III.2.1.1. Formations du Paléozoïque

III.2.1.1.1 Dévonien

Les roches du Dévonien affleurent très peu sur la carte de Visé - Sint-Martens-Voeren. On peut les observer uniquement dans le coin sud-ouest de la carte. Un seul étage représente ce système: le Frasnien.

Frasnien

Sur la carte étudiée, le Frasnien n'affleure que via la **Formation de Lustin (LUS)**. Cette formation est composée de calcaires gris d'aspect massif, fossilifères, parfois dolomitisés ou/et bréchifiés. Ces calcaires sont karstifiés et les cavités sont localement comblées par des sédiments du Dinantien. Son épaisseur, d'après le sondage d'Hermalle-sous-Argenteau (carte Dalhem-Herve), est estimée à 80 mètres.

La *Formation d'Aisemont*, identifiée uniquement en paroi de la carrière de la Folie (vallée de la Berwinne, dans le sud de la carte), est composée de calcschistes, de calcaires et dolomies, parfois micacés.

III.2.1.1.2 Carbonifère

Le Carbonifère débute par une sédimentation carbonatée datée du Tournaisien-Viséen suivi par les formations argileuses du Namurien et Westphalien.

Tournaisien

Les *Formations de Pont d'Arcole et de Landelies*, également identifiées uniquement sur l'une des parois de la carrière de la Folie au sud du village de Berneau (vallée de la Berwinne), sont, respectivement de nature schisteuse et calcaire. Ces deux formations et celle d'Aisemont

n'apparaissent pas sur la carte géologique de Visé - Sint-Martens-Voeren. Elles ne sont pas reprises sur la carte hydrogéologique et ne sont pas mentionnées dans le tableau lithostratigraphique de correspondance entre la géologie et l'hydrogéologie.

Viséen

Le Dinantien de cette carte affleure uniquement dans les environs de Visé et de Berneau. Il est représenté par deux (voire trois) formations: Visé et Berneau, et Souvré.

La **Formation de Visé (VIS)** se compose d'une série de calcaires présentant différents lithotypes : brèches sédimentaires; calcaires séquentiels, bioclastiques, laminaires dans la partie supérieure ; calcaires massifs bioclastiques ; calcaires construits (biohermes). L'épaisseur de cette formation est estimée à maximum 100 m.

La **Formation de Berneau (BEU)** est constituée de calcaires laminaires et de brèches sédimentaires à calcaires foncés (éléments cm à m, provenant de la Formation de Lustin. Comme les calcaires de la Formation de Visé, ceux-ci peuvent avoir subi trois phases de karstification. Son épaisseur est de l'ordre d'une cinquantaine de mètres (dans la coupe de Berneau).

La dernière formation viséenne, montant dans la base du Namurien, rencontrée sur cette carte est la **Formation de Souvré (SOU)** constituée de shales siliceux et de calcaires silicifiés (phtanites). Sa puissance est comprise entre quelques mètres et 20 mètres.

Namurien-Westphalien

Le **Groupe du Houiller (HOU)** affleure très peu sur cette carte, très localement au droit de quelques vallées. Il est composé d'une succession de shales et de siltites avec des intercalations de bancs de grès ou de quartzites. Localement, on observe des concrétions lenticulaires de carbonate de fer. De nombreuses couches de houille ont été jadis l'objet d'exploitations minières. L'épaisseur totale de Houiller est de l'ordre de 950 mètres.

Au sommet du Houiller, se trouve généralement une couche d'épaisseur variable (10 à 20 m), formée d'argile noire à grise, produit de l'altération pré-santonienne du Houiller (essentiellement pélitique).

III.2.1.2. Formations du Mésozoïque

III.2.1.2.1 Crétacé

Les dépôts du Crétacé couvrent la majeure partie de la carte Visé - Sint-Martens-Voeren. Ces formations subhorizontales (pendage NNW de 2° à 4°), reposent directement sur le socle paléozoïque (Groupe du Houiller); les dépôts du Permien, du Trias et du Jurassique ont été érodés ou non déposés (important hiatus stratigraphique). Ces dépôts mésozoïques présentent de rapides et fréquentes variations latérales de faciès et d'épaisseur.

Santonien

La *Formation d'Aachen (AAC)*, constituée de sables jaunes et blancs à niveaux argileux, n'affleure pas sur la carte Visé - Sint-Martens-Voeren. Elle disparaît dans le nord de la carte Dalhem-Herve.

Campanien

Ce deuxième étage du Sénonien dans le bassin sédimentaire Liège-Limbourg est représenté, sur la carte Visé - Sint-Martens-Voeren, par la ***Formation de Vaals (VAA)***, de composition très hétérogène. Elle est encore parfois nommée «Smectite de Herve». Cet horizon smectitique est relayé latéralement par un mélange d'argilites carbonatées et de craies argileuses. D'ouest en est, le faciès de la Formation de Vaals devient plus sableux ; d'une argile carbonatée à Visé, on passe à des sables grossiers à Vaals (hors carte). Localement, on observe la présence de niveaux graveleux, d'argile glauconifère décalcifiée ou de sable vert. Au sommet, se trouve généralement une siltite grise sableuse glauconifère. Son épaisseur est variable, de quelques mètres à plus de trente mètres. Elle augmente régulièrement d'ouest vers l'est et du sud vers le nord.

Maastrichtien

Deux formations caractérisent ce dernier étage du Sénonien. Le Maastrichtien débute par la ***Formation de Gulpen (GUL)***, dont la base est d'âge campanien. Elle est constituée de craies présentant différents faciès. De bas en haut, on observe la séquence suivante :

- craie très glauconifère
- craie blanche avec des silex noirs, peu altérée
- craie karstifiée induisant un sommet irrégulier

Son épaisseur est variable (selon le degré d'altération et de karstification), elle est d'environ 40 m.

Ensuite on a la ***Formation de Maastricht (MAA)***, composée de calcaires bioclastiques poreux (tuffeau), grenus (calcarénite) contenant entre 96 et 98 % de CaCO₃. Quelques niveaux de silex gris non continus sont observés dans la partie inférieure de la formation. Son épaisseur est très variable (maximum 45 m).

Ces formations sont surmontées par une ***argile à silex, SX***, résidu de dissolution. De composition très variable, il est composé d'un mélange de silex anguleux de taille variable, enrobés par des argiles rousses, jaunes ou brunes ou par un sable, avec localement au sommet de la craie une accumulation de silex. L'origine de cette couverture est complexe. Elle est due à la dissolution de la craie et au lessivage ultérieur des formations supérieures. Son épaisseur est très variable, de quelques mètres à une dizaine de mètres, diminuant d'est en ouest. Ces dépôts, contrairement à ce qui a été fait sur les cartes voisines, sont, ici, cartographiés.

III.2.1.3. Formations du Cénozoïque

III.2.1.3.1 Paléogène

Quelques **dépôts sableux indifférenciés (SBL)**, datés de l'Oligocène (Groupe de Rupel), sont observés sur la carte Visé - Sint-Martens-Voeren. Ces sables, mêlés de lentilles d'argiles sableuses et de sables quartzeux souvent micacés, sont soit mélangés avec les silex résiduels et les argiles (décrites ci-dessus), soit localisés dans des poches de dissolution de la craie sous-jacente. Leur épaisseur est très variable (quelques mètres).

III.2.1.3.2 Néogène

Les terrasses de la Meuse et, accessoirement de la Berwinne et du Voer sont datées du Chattien (fin du Paléogène) au Pléistocène (début du Quaternaire). Ces **alluvions anciennes (ALA)** sont formées de limons sableux de teinte ocre à galets de taille variable, de sables et d'argiles. Leur épaisseur est variable, allant de moins d'un mètre à 12 m environ.

III.2.1.3.3 Quaternaire

Les **alluvions modernes (AMO)** sont constituées de limons argileux, de silts, de sables et de graviers d'une puissance comprise entre 2 et 15 m. Elles occupent le fond des vallées.

La structure des dépôts de la plaine alluviale de la Meuse est typique d'une rivière périglaciaire à lit anastomosé, avec des îlots de graviers, des chenaux fluviaux, des bras remblayés... Ces nombreuses variations de faciès de la couche graveleuse comprise entre le bed-rock primaire peu perméable et les limons fluviaux également peu perméables vont jouer un rôle hydrogéologique non négligeable.

Les formations quaternaires sont aussi représentées par la couverture lœssique. Le **lœss**, limon d'origine éolienne, a une épaisseur variable, moins importante sur les pentes raides par rapport aux pentes douces et aux replats. Ces dépôts n'ont pas été cartographiés sur la carte hydrogéologique.

Quelques **dépôts anthropiques X** (remblais, décharges, terrils) sont répertoriés sur le territoire de la carte Visé - Sint-Martens-Voeren. Ils représentent quelques hectares.

III.2.2. Cadre structural

L'histoire tectonique de la région de Visé - Sint-Martens-Voeren est relativement complexe. Elle se présente en trois phases majeures.

Tout d'abord, une tectonique synsédimentaire dévono-dinantienne liée à une tectonique de blocs. Poty (1982, 1991, 1997) a mis en évidence une série de compartiments séparés par des failles radiales, qui ont joué les uns par rapport aux autres au cours de la sédimentation.

Ensuite la tectonique varisque où les terrains du Paléozoïque, surtout le groupe Houiller, ont été intensément plissés et faillés. Sur la carte Visé - Sint-Martens-Voeren, deux unités liées à cette orogénèse se distinguent. Dans la partie nord-ouest, on observe le massif de Visé-Puth recouvert en grande partie par des dépôts quaternaires. Cet anticlinal est constitué de roches d'âge frasnien et viséen disposées en un vaste bombement. Ensuite, on a le prolongement oriental du synclinal complexe de Liège. Cette structure est séparée du synclinal complexe de Herve, au sud, par les anticlinaux de Cointe et de la Chartreuse ("bassin houiller liégeois"). Les plis ont une vergence marquée vers le nord-ouest. Les flancs nord-ouest des synclinaux sont disposés en longues plateaux peu inclinés, tandis que les flancs sud-est sont en dressants, voire renversés. L'engorgement des plis se fait vers le sud-ouest. Les failles résultant du plissement hercynien ont une orientation générale NE-SW. Il s'agit pour la plupart de failles longitudinales de chevauchement qui recoupent les structures plissées, ensuite de quelques plats-craus (failles de chevauchement longitudinales très plates). La figure III.2, reprise de la carte géologique Dalhem-Herve (Barchy & Marion, 2000), illustre le contexte structural complexe de la région (structure plissée et très faillée). La carte Visé-Sint-Martens-Voeren se situe directement au nord de la carte Dalhem-Herve.

Enfin, une phase de tectonique post-varisque (mouvements épirogéniques) est survenue, induisant un réseau de failles transversales sub-verticales d'orientation N-S à NW-SE, avec une succession de horsts et de grabens (activité liée à l'effondrement du graben du Rhin). Ces déformations se sont superposées à la tectonique varisque mais ont aussi affecté les terrains du Crétacé. Ces mouvements ont des conséquences au niveau hydrogéologique : l'ouverture de diaclases permettant une communication entre diverses formations et, par le jeu du rejet vertical, la mise en contact de formations qui normalement se superposent.

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

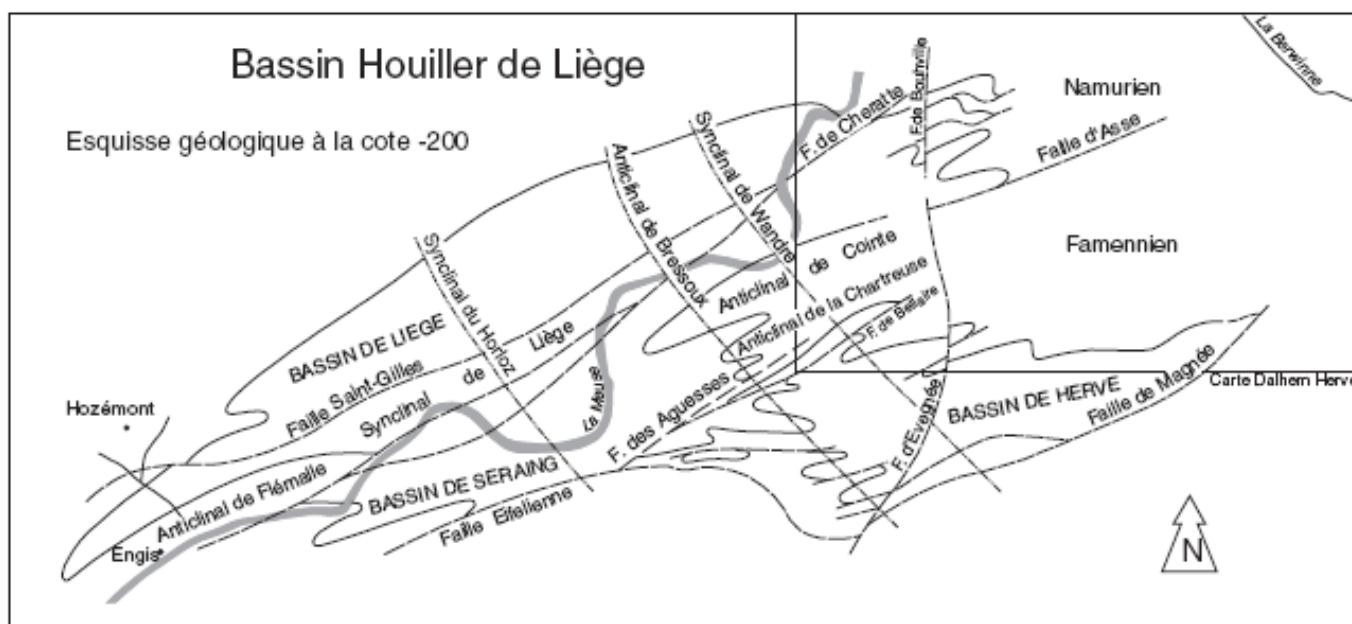


Figure III.2: Bassin houiller de Liège. Esquisse géologique à la cote -200 (couche Bouxharmont) d'après Humblet (1941)

IV. CADRE HYDROGEOLOGIQUE

A l'échelle de la Wallonie, les ressources en eau souterraine de la carte Visé - Sint-Martens-Voeren ne constitue pas un enjeu stratégique. Peu de captages importants y sont répertoriés dont les puits de la CILE implantés dans la nappe alluviale de la Meuse, à Visé. Quelques prises d'eau privées sollicitent l'aquifère crayeux du Crétacé. Les eaux logées dans les roches du Paléozoïque sont très peu sollicitées sur cette carte.

Quelle que soit la formation géologique, l'eau souterraine y est présente. Cependant, le comportement des eaux souterraines et la productivité sont fortement conditionnés par la nature et la structure de la roche dans laquelle l'eau est stockée. Ainsi, les formations géologiques sont regroupées/subdivisées 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 peu perméable d'un ensemble de couches géologiques. Elles donnent une idée du potentiel d'exploitation des différentes unités hydrogéologiques. Elles se basent sur la description lithologique de ces unités (formations ou ensembles de formations). Certaines formations géologiques voient leur faciès changer latéralement, il est donc probable qu'une même formation soit définie en terme d'aquifère sur une carte et en termes d'aquitard sur une autre carte (raisonnement par carte).

Il est important de noter également que la plupart des différentes formations exposées sur le territoire couvert par la carte sont constituées de roches cohérentes dont le potentiel hydrogéologique dépend fortement du degré de fracturation-fissuration et/ou d'altération. Les failles, fréquemment minéralisées, peuvent constituer, selon la nature de leur remplissage, des zones de circulation préférentielles des eaux souterraines ou des seuils hydrogéologiques.

IV.1. DESCRIPTION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES

La carte hydrogéologique de Visé-Sint-Martens-Voeren est basée sur la nouvelle carte géologique de Wallonie. Cette carte couvre également la zone située en Flandre. Bien qu'il existe une cartographie géologique pour la partie flamande, on a choisi d'utiliser la carte géologique wallonne. Plusieurs raisons expliquent ce choix. La nomenclature et le découpage des formations géologiques utilisés en Flandre diffèrent de ceux qui sont en vigueur sur les cartes géologiques du Service Public de Wallonie. Il en est de même pour la détermination des unités hydrogéologiques. Combiner deux fonds géologiques, sensiblement différents, n'est pas propice à une lecture aisée de la carte. Travailler avec un fond géologique unique permet d'assurer la continuité de l'information.

Concernant la classification hydrogéologique de la Flandre, la Région Flamande s'est dotée d'une codification hydrogéologique du sous-sol (HCOV: Hydrogeologische Codering van de Ondergrond in Vlaanderen)(Meyus et *al.*, 2000; Meyus et *al.*, 2005). Quatorze unités hydrologiques principales ont été définies. Des informations détaillées sont disponibles sur le site 'Databank Ondergrond Vlaanderen', DOV (<http://dov.vlaanderen.be/>). En fin de chapitre, une brève description sur la classification des formations aquifères adoptée en Flandre est présentée.

Les unités hydrogéologiques définies sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren sont décrites ci-dessous dans l'ordre stratigraphique. Elles sont reprises de manière synthétique dans le tableau IV.1, repris en fin de chapitre.

IV.1.1. Unités hydrogéologiques du Paléozoïque

IV.1.1.1. Aquifères des calcaires du Dévonien et du Carbonifère

Dans les **calcaires carbonifères et dévoniens** (Frasnien) se loge une nappe de fissures, localement avec un caractère karstique, comme peuvent en témoigner les dolines et poches de dissolution généralement comblées par des terrains meubles. Dans la région de Visé-Sint-Martens-Voeren, l'aquifère calcaire du Frasnien (Dévonien) n'est représenté que par la *Formation de Lustin*. L'aquifère calcaire du Carbonifère regroupe les *Formations carbonatées de Visé et de Berneau*.

Quelques phénomènes karstiques sont renseignés par l'atlas du karst wallon (CWE PSS, 1996) et par la nouvelle carte géologique. Il s'agit d'effondrements dans un petit vallon calcaire encaissé, dépressions de Souvré dans le bois Mayanne au sud de Visé. Les dolines, renseignées par la carte géologique, sont situées à Petit-Lanaye et au nord-est de Voeren. Nous ne disposons pas d'autres informations les concernant (géométrie, active ou non...).

Au contact des formations schisto-gréseuses du Houiller, des phénomènes karstiques sont observés, dus à la présence d'une paléo-altération anté-houiller. Cette karstification est réactivée par la circulation actuelle des eaux acides provenant du Houiller (altération des pyrites des formations houillères). La nouvelle carte géologique y renseigne une doline et une perte remblayée.

Sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, les formations calcaires ont été plus exploitées pour leurs ressources minérales que pour leurs ressources aquifères.

IV.1.1.2. Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller

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

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

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

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

D'une manière générale, dans l'ensemble du bassin houiller de Liège, la perméabilité du bed-rock est fonction de la densité et de l'ouverture des fissures. Des tests d'injection sous pression (essai Lugeon) ont été réalisés. Trois zones sont distinguées (Monjoie et Polo-Chiapolini, 1973):

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

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

Au cours des 19e et 20e siècles, le niveau de la nappe présente dans le socle houiller du bassin liégeois a été abaissé par les exhaures nécessaires à l'extraction profonde du charbon, passant sous le niveau des premières galeries horizontales creusées dans les versants de la vallée de la Meuse. Depuis la fermeture des dernières mines et l'arrêt des pompages dans les années 70, le niveau de la nappe a subi une remontée progressive, qui a rendu aux galeries horizontales de versant de vallée leur rôle de drain du massif houiller (Dassargues et al, 2014a).

IV.1.2. Unités hydrogéologiques du Mésozoïque

IV.1.2.1. Aquifère – Aquitard de Vaals

La *Formation sablo-argileuse de Vaals (VAA)* est généralement peu aquifère. Les propriétés aquifères de cette formation sont étroitement liées à sa localisation géographique (variation latérale de faciès). Dans le Pays de Herve, la fraction sableuse augmente généralement vers l'est. La perméabilité va croissante vers l'est. Des bancs locaux de grès, fracturés par l'activité tectonique, sont observés dans la partie orientale de la région. Ils sont affectés d'une perméabilité secondaire (de fissuration) importante. Ces zones gréseuses peuvent être en contact avec la Formation surincombante de Gulpen via des chenaux sableux dans les sédiments. Par contre, dans la partie occidentale de la région, la fraction argileuse domine. Dans les alentours de Visé, la Formation de Vaals est surtout composée de silts quartzo-argileux carbonatés et glauconitiques.

IV.1.2.2. Aquifère des craies du Crétacé

L'unité hydrogéologique 'Aquifère des craies du Crétacé', sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, est représentée par les *Formations de Gulpen (GUL)* et de *Maastricht (MAA)* ainsi que par l'*Argile à silex (SX)* (Ruthy et al, 2014).

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

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

En outre sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, dans la région de Visé et sur l'interfluve Bombaye-Berneau, les craies de Gulpen semblent absentes (d'après les logs géologiques). Il en est de même pour la Formation de Vaals mais uniquement dans la zone Bombaye-Berneau où les terrasses mosanes reposeraient directement sur les terrains paléozoïques (Houiller).

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

IV.1.3. Unités hydrogéologiques du Cénozoïque

IV.1.3.1. Aquifère des sables de remplissage

Les *dépôts sableux* qui comblent généralement les poches de dissolution de la craie, ont des capacités aquifères réduites vu la faible extension des dépôts et l'hétérogénéité des matériaux. Ils constituent donc de petites nappes très locales, souvent temporaires. Ils jouent également le rôle de filtre pour les nappes sous-jacentes.

IV.1.3.2. Aquifère des terrasses fluviales

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

IV.1.3.3. Aquitard limoneux (non cartographié)

Les limons, épais de quelques décimètres à quelques mètres, jouent un rôle protecteur lors de l'infiltration des eaux météoriques : infiltration retardée dans le temps et effet de filtration. Cependant, cette couverture limoneuse n'est pas uniforme sur l'ensemble de la carte. Ces dépôts n'ont pas été cartographiés sur la carte hydrogéologique et ne sont pas repris dans le tableau synthétique 'Géologie-Hydrogéologie'.

IV.1.3.4. Aquifère alluvial

Les alluvions déposées par la Meuse et composées principalement par des sables et graviers roulés offrent des potentialités aquifères non négligeables. L'alimentation de cette nappe provient de l'apport direct des eaux pluviales, parfois rendu faible par l'imperméabilisation urbaine de la plaine, de l'apport des nappes sises dans les versants, y compris dans le manteau d'altération et ceux de la nappe sous-jacente du bed-rock, en légère surpression, c'est-à-dire avec un niveau piézométrique souvent légèrement supérieur à celui de la nappe alluviale.

L'hétérogénéité des alluvions de la Meuse, selon que l'on se trouve au droit d'anciens îlots de graviers ou d'anciens bras remblayés et chenaux fluviaux, induit des caractéristiques hydrogéologiques très variables. La conductivité hydraulique (K) de la nappe alluviale de la Meuse est de l'ordre de 2 à $4 \cdot 10^{-3}$ m/s, avec des axes de drainage où K vaut 9 à $10 \cdot 10^{-3}$ m/s et des secteurs peu perméables où K devient \leq à $0,4 \cdot 10^{-3}$ m/s (Calembert et al, 1974; Dassargues et al, 2014b).

Les limons fluviaux, d'épaisseur variable, recouvrent la couche sablo-graveleuse, rendant localement captive la nappe alluviale de la Meuse.

Dans les vallées de la Berwinne, de la Voer et de la Gulp, une nappe d'extension limitée est également observée dans la couche graveleuse de la base des dépôts alluviaux. Elle est souvent captive sous les limons.

IV.1.3.5. Nappe des remblais

Par remblais, on entend des dépôts de matériaux "inertes" divers (argile, gravier, sable, matériaux de construction) mais aussi déchets. Dans ces dépôts anthropiques, de petites zones saturées, souvent temporaires, peuvent se créer. Ce type d'unité hydrogéologique est souvent lié à des sites pollués.

Lorsque ces remblais sont saturés, le terme 'nappe' est utilisé pour bien faire la distinction entre les aquifères, aquitards, aquicludes 'naturels'. Cette nappe des remblais est, en effet, issue d'un remaniement de terrain.

Système	Série	Etage	Groupe	Formation	Lithologie	Abréviation	Hydrogéologie
QUATERNAIRE					Remblais	X	Nappe des remblais
	HOLOCENE			Alluvions Modernes	Limon argileux, silt, sable et gravier	AMO	Aquifère alluvial
NEOGENE	PLIOCENE			Alluvions Anciennes	Limon sableux à galets de diamètre variable, sable et argile	ALA	Aquifère des terrasses fluviales
	MIOCENE						
PALEOGENE	OLIGOCENE	Chattien		Dépôts Sableux	Matériaux sableux mêlés de lentilles d'argiles sableuses, sables quartzeux souvent micacés	SBL	Aquifère des sables de remplissage
			Rupel	Conglomérat à silex	Mélange de silex enrobés par des argiles ou du sable	SX	Aquifère des craies du Crétacé
CRETACE	SENONIEN	Maastrichtien	Maastricht	Calcaires bioclastiques poreux, grenus - Niveaux non continus de silex	MAA		
			Gulpen	Craie glauconifère, craie blanche avec silex noirs - Argile rousse à silex	GUL		
	Campanien	Vaals	Horizon smectitique, argile carbonatée, craie argileuse, siltite sableuse glauconifère	VAA	Aquifère - Aquitard de Vaals		
CARBONIFERE	WESTPHALIEN		Houiller		Shales-siltites avec intercalations de lits de grès ou de quartzites - Localement concrétions lenticulaires de carbonate de fer - Nombreux niveaux de houille - Charbon - Au sommet, argile (altération pré-santonienne du Houiller)	HOU	Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller
	NAMURIEN						
	VISEEN	Warnantien		Berneau	Calcaires laminaires - Brèches calcaires	BEU	Aquifère des calcaires du Carbonifère
		Livien		Visé	Brèches calcaires - Calcaires laminaires, construits	VIS	
DEVONIEN	SUPERIEUR	Frasnien		Lustin	Calcaires gris massifs, parfois dolomités et/ou bréchifiés	LUS	Aquifère des calcaires du Frasnien

Tableau IV.1: Tableau de correspondance entre la géologie et l'hydrogéologie –Visé - Sint-Martens-Voeren

IV.1.4. Unités hydrogéologiques en Flandre

La Flandre appartient à deux districts hydrographiques internationaux: le district de l'Escaut (*stroomgebied van de Schelde, SGD Schelde*) et le district de la Meuse (*stroomgebied van de Maas, SGD Maas*). Ils occupent, respectivement, 88,2 % et 11,8 % du territoire flamand.

En Région Flamande, six systèmes d'eaux souterraines majeurs ont été distingués (*grondwatersystem, gws*)(VMM, 2006). Dans la partie occidentale de la Flandre, du moins profond au plus profond, se succèdent le *Kust- et Poldersysteem*, le *Centraal Vlaams Systeem* et le *Sokkelsysteem*. Dans la partie orientale, on observe le *Maassysteem*, le *Centraal Kempisch Systeem* et le *Brulandkrijtsysteem (Blks)*(Figure IV.1).

Quatorze unités hydrogéologiques principales ont été définies (codification HCOV) (Meyus et *al.*, 2000; Meyus et *al.*, 2005; VMM, 2006). En annexe 4, est repris le tableau complet comprenant toutes les unités classées par ordre stratigraphique (13 unités + 1 unité indéterminée).

En vertu de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/EC), comme cela a été également réalisé en Région Wallonne⁷, différentes masses d'eau souterraine (*grondwaterlichamen, GWL*) ont été déterminées sur base des unités HCOV et des systèmes 'Eaux Souterraines' (GWS) et, du contexte hydrogéologique (écoulement souterrain, type de nappe...). Au total, en Région Flamande, il y a 42 masses d'eau souterraine (SGD Maas: 10 & SGD Schelde: 32).

Application à la carte Visé-Sint-Martens-Voeren

Le *Brulandkrijtsysteem* occupe les deux tiers de la moitié orientale de la Flandre. Ce système appartient majoritairement au SGD Schelde, une petite partie à l'est fait partie du SGD Maas. Il repose sur le socle (HCOV 1300) et est couvert sur ses deux tiers nord par le *Centraal Kempisch Systeem* et le *Maassysteem* (VMM, 2008). Dans sa partie flamande, la carte Visé-Sint-Martens-Voeren est entièrement située dans le *Brulandkrijtsysteem* et deux unités HCOV y sont présentes:

- HCOV 0160: Pleistoceen afzettingen – Quartaire Aquifersysteem (dépôts du Pléistocène)
- HCOV 1100: *Krijt Aquifersysteem* (Système aquifère du Crétacé)
- Le système aquifère du Crétacé contient l'aquifère des craies (HCOV 1110), les dépôts de Vaals (HCOV 1120) et les sables d'Aachen (HCOV 1130).

⁷ Sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, dans sa partie wallonne, quatre masses d'eau souterraine (MESO) ont été définies. D'ouest en est, on a:

RWM072: Alluvions et graviers de la Meuse (Namur-Lanaye);

RWM016: Schistes houillers;

RWM151: Crétacé du Pays de Herve;

RWM151/141: Crétacé du Pays de Herve / Calcaires et grès du bassin de la Gueule.

Pour plus d'informations sur l'application de la Directive-Cadre en Région Wallonne: http://environnement.wallonie.be/directive_eau

Sur les 15 masses d'eau souterraines (GWL) que regroupe le *Brulandkrijtsysteem*, 2 occupent partiellement la carte étudiée. La détermination des masses d'eau souterraine tient compte de l'appartenance au district hydrographique, à l'unité hydrogéologique et au caractère de la nappe. La figure IV.2 et le tableau IV.2 présentent succinctement les masses d'eau souterraine situées sur la partie flamande de la carte Visé-Sint-Martens-Voeren. La masse d'eau 'BLKS_1100_gwl_1m', dans la zone des Fourons, intègre les formations du socle (HCOV 1300). Cette unité comprend les terrains du Houiller, du Carbonifère, du Dévonien et du Cambro-Silurien. Ils ne sont pas différenciés dans la zone étudiée. Quelques puits, seulement, y sont répertoriés (VMM, 2006 & 2008). Pour de plus amples informations, le lecteur peut se référer aux rapports rédigés et édités par l'Administration Flamande compétente dans le domaine de l'eau, Vlaamse Milieumaatschappij VMM, Service 'Gestion des Eaux Souterraines' (Grondwaterbeheer): <http://www.vmm.be/water>

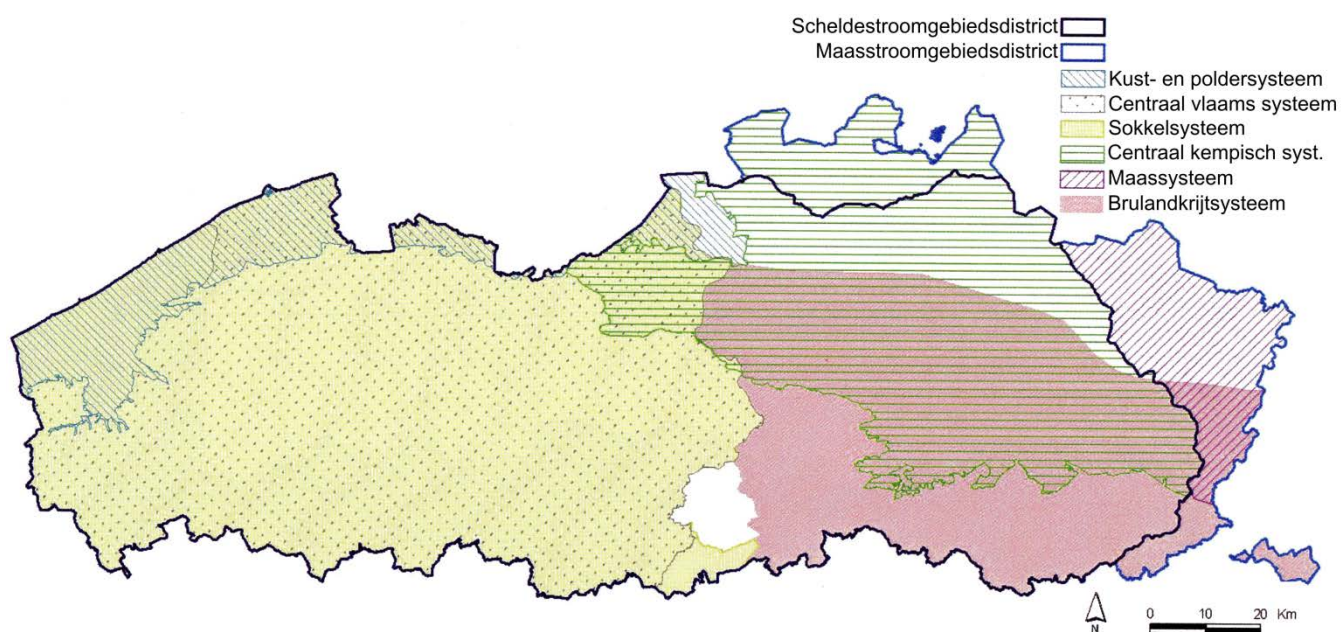


Figure IV.1: Six systèmes d'eaux souterraines en Flandre (grondwatersystemen)(VMM, 2008)

Tableau IV.2: Masses d'eau souterraine en Flandre – Grondwaterlichamen

MESO - GWL	Dénomination	Lithologie	K (m/s)	Type de nappe
Blks_0160_gwl_1m	Quartaire Maasafzettingen	Sable et gravier avec intercalations argileuses	10^{-6} à 10^{-2}	Libre
Blks_1100_gwl_1m	Krijt Aquifersysteem	Craie, marne, sable fin	$2.3 \cdot 10^{-5}$ à 10^{-3}	Libre

Blks: Brulandkrijtsysteem – s: SGD Schelde; m: SGD Maas – 1: Freatisch

Sources: VMM, 2006 & 2008

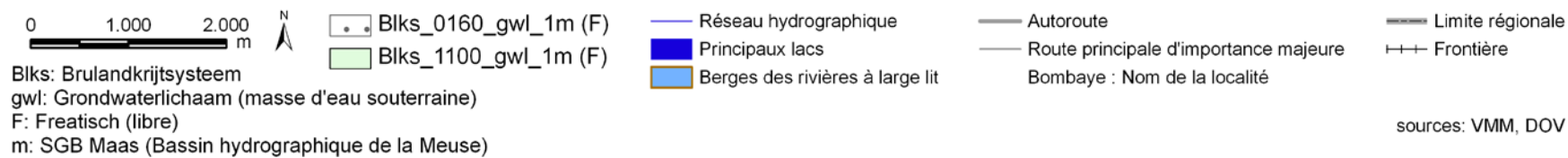
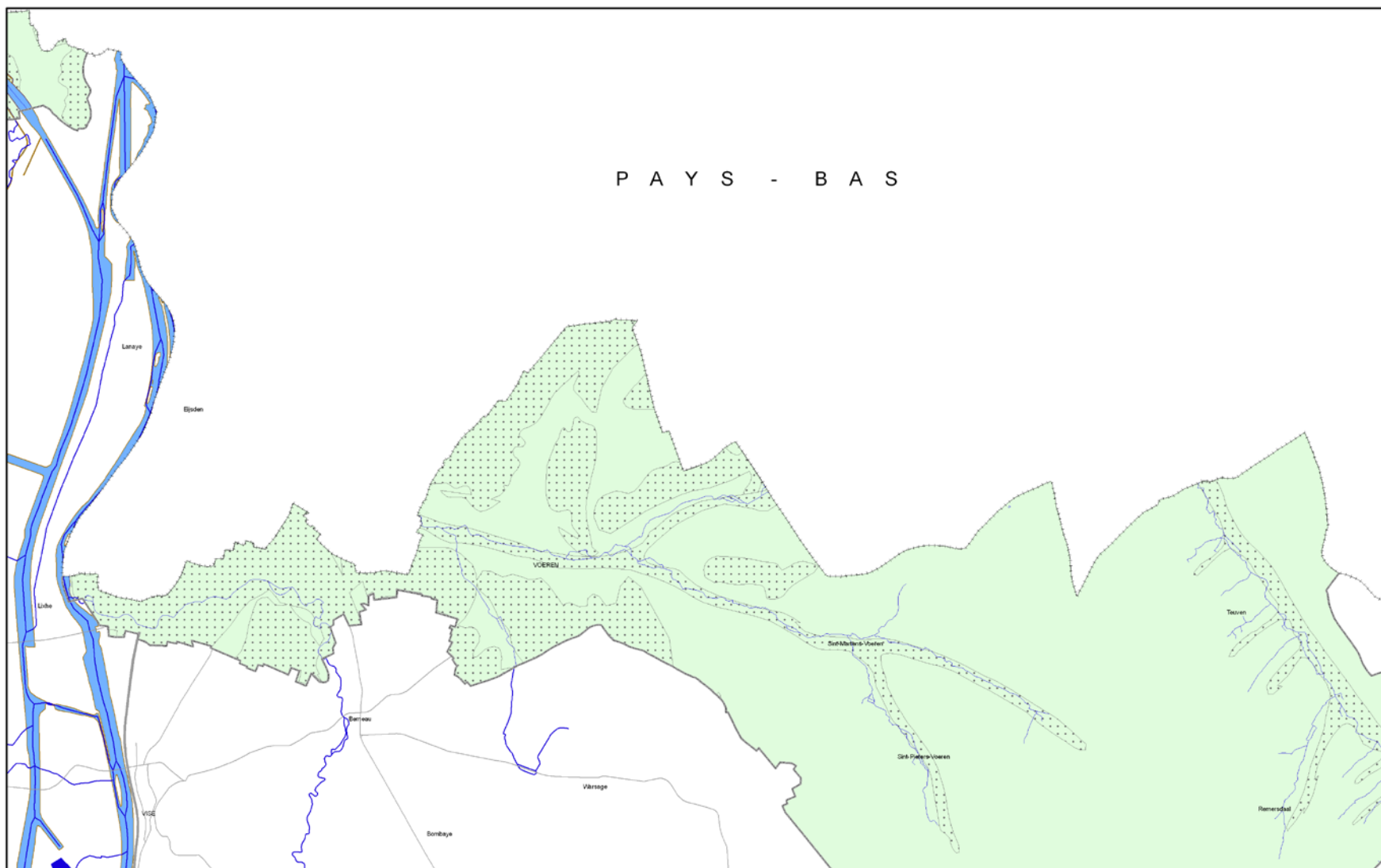


Figure IV.2: Masses d'eau souterraine pour la partie en territoire flamand

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

La nappe principale de la carte Visé-Sint-Martens-Voeren est logée dans les formations crayeuses du Mésozoïque. En comparaison de l'ensemble du Pays de Herve, cet aquifère est peu exploité sur la carte étudiée. Dans la partie occidentale, cette nappe est surmontée par les terrasses mosanes pouvant contenir de petites nappes locales et temporaires. Par endroits, ces terrasses fluviales reposent directement sur le socle paléozoïque. Dans la vallée de la Meuse, l'aquifère développé dans les dépôts alluviaux est exploité, entre autres, par la Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux pour alimenter l'agglomération visétoise. Les nappes logées dans le socle paléozoïque sont également sollicitées par quelques ouvrages de prise d'eau. 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.

Dans ce chapitre, ne sont abordés que les aquifères importants au niveau de la région de Visé-Sint-Martens-Voeren et pour lesquels des données sont disponibles.

En annexe, une carte simplifiée reprend l'ensemble des puits et piézomètres cités dans le texte. Les coordonnées de ces ouvrages sont également renseignées dans un tableau.

IV.2.1. Aquifères du Crétacé

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

Une étude approfondie des ressources en eau du Pays de Herve a été menée en 1986, par Huygens, dans le cadre d'une convention entre la CILE et la Région Wallonne.

A l'échelle régionale, l'écoulement général de la nappe s'effectue vers le nord-ouest reflétant l'inclinaison des couches géologiques. L'allure accidentée des isopièzes s'explique aisément par la nature des différentes formations aquifères en présence et par l'importance des phénomènes de pente dus au vallonnement typique du Pays de Herve. Le réseau hydrographique joue le rôle de drainage latéral (trop-plein) de cette nappe à caractère généralement perché. Ainsi, cette situation implique que la nappe logée dans les craies est rarement alimentée par les ruisseaux. Sur les plateaux crayeux, le gradient piézométrique de la nappe est de l'ordre de 1 à 3 % et sa surface piézométrique est peu régulière, due à la fracturation des craies. Dans les zones de pente, là où la Formation de Gulpen fait place aux Formations de Vaals et d'Aachen, la nappe devient plus superficielle. Son gradient piézométrique est plus élevé et sa surface piézométrique est sensiblement parallèle à la surface topographique.

La situation piézométrique reprise sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren est celle de 1986, tracée par Huygens. Les isopièzes caractérisent la nappe logée dans les formations crétacées

(Aquifère du Crétacé indifférencié), voire même dans la nappe des terrasses fluviales. En effet, dans la région de Bombye-Berneau, la Formation de Gulpen semble absente (voir cadre géologique de la carte, [chapitre III.2](#)). Ainsi les dépôts fluviaux anciens y reposent directement sur le socle paléozoïque. Les niveaux d'eau observés semblent montrer qu'il y a une continuité piézométrique entre la nappe des terrains du Crétacé et celle logée dans les terrasses fluviales. Néanmoins, l'historique piézométrique est insuffisant pour pousser l'analyse plus loin.

Dans la vallée de la Voer, l'écoulement des eaux souterraines (nappe du Crétacé indifférencié) est également dirigé vers le nord-ouest, en direction de la rivière. Tant la carte piézométrique de 1986 que les données plus récentes de la base de données flamande reflètent cette situation piézométrique (Figure IV.3).

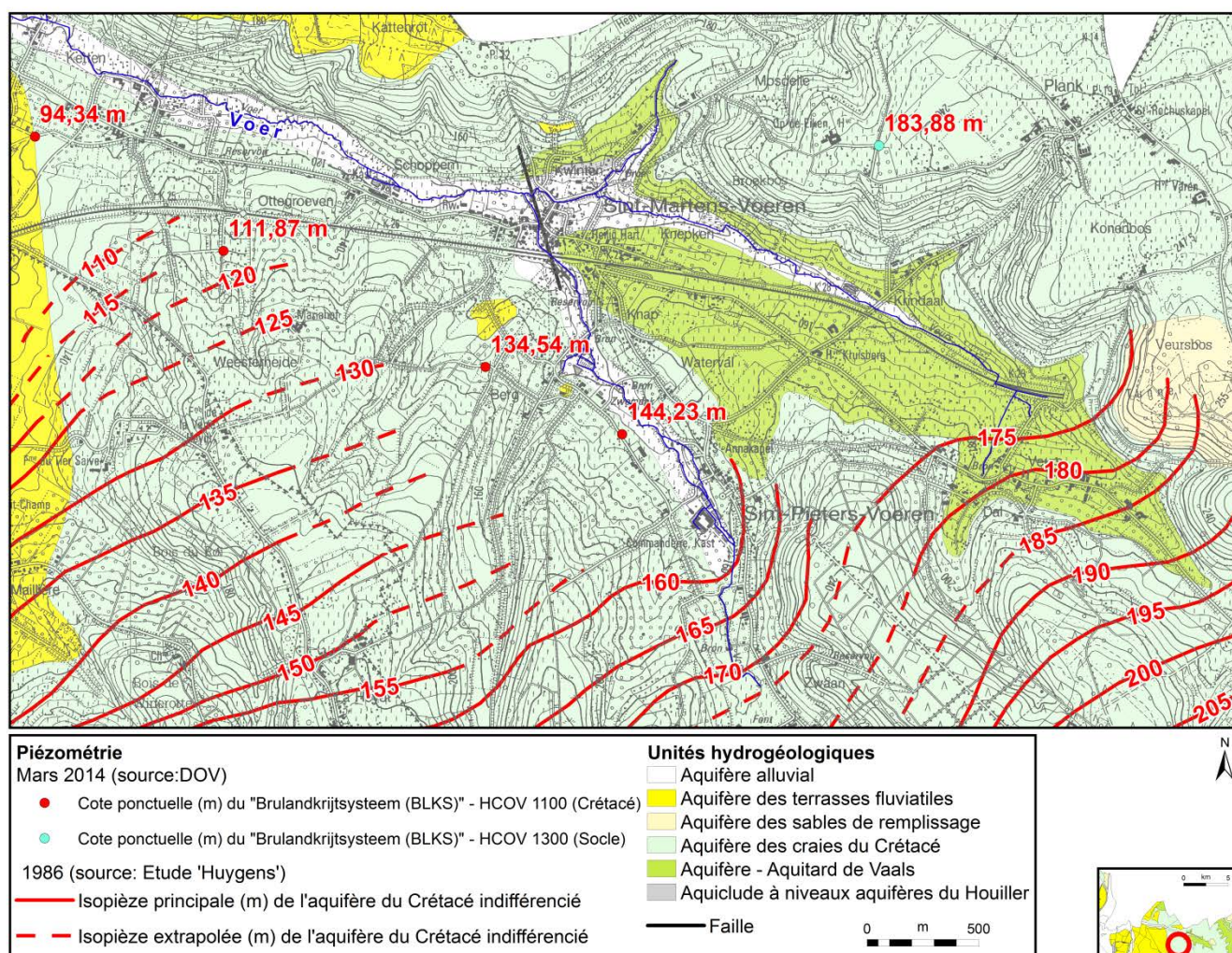


Figure IV.3: Situations piézométriques de la nappe du Crétacé, vallée de la Voer

Huygens (1986) a déterminé, par une étude des limnigrammes en fonction de l'eau utile (précipitation – évapotranspiration), un retard de 15 jours à 1 mois, entre la période de précipitations et l'alimentation effective de la nappe. Le battement annuel de la nappe est de l'ordre de 2 mètres. A titre indicatif, pour le bassin de la Berwinne, les précipitations moyennes sont d'environ 910 mm par an, avec une lame d'eau disponible pour l'infiltration et le ruissellement équivalente à environ 400 mm. Le bilan hydrologique de ce bassin met en

évidence son caractère non fermé: pertes/apports via soit les aquifères profonds, soit les bassins-versants contigus.

La Direction des Eaux Souterraines du SPW a mis en place un réseau général de surveillance de l'état quantitatif des aquifères ([PIEZ'EAU](#)). Depuis 2001, le niveau d'eau dans plusieurs puits et piézomètres du plateau de Herve est régulièrement relevé par la Région Wallonne (SPW-DGARNE-DESO). Aucun de ces ouvrages n'est situé sur la carte étudiée. Dès lors, la figure IV.4 montre les fluctuations piézométriques de puits⁸ situés dans la partie septentrionale de la carte Dalhem-Herve, dans les formations crayeuses au nord d'Aubel. Ces ouvrages sont localisés à proximité de l'interfluve Berwinne-Voer, dans le bassin-versant de cette dernière rivière. Les hauteurs piézométriques présentent des variations annuelles et interannuelles relativement faibles (quelques décimètres à quelques mètres). Les basses eaux sont rencontrées en fin d'été ou en automne, les hautes eaux au printemps.

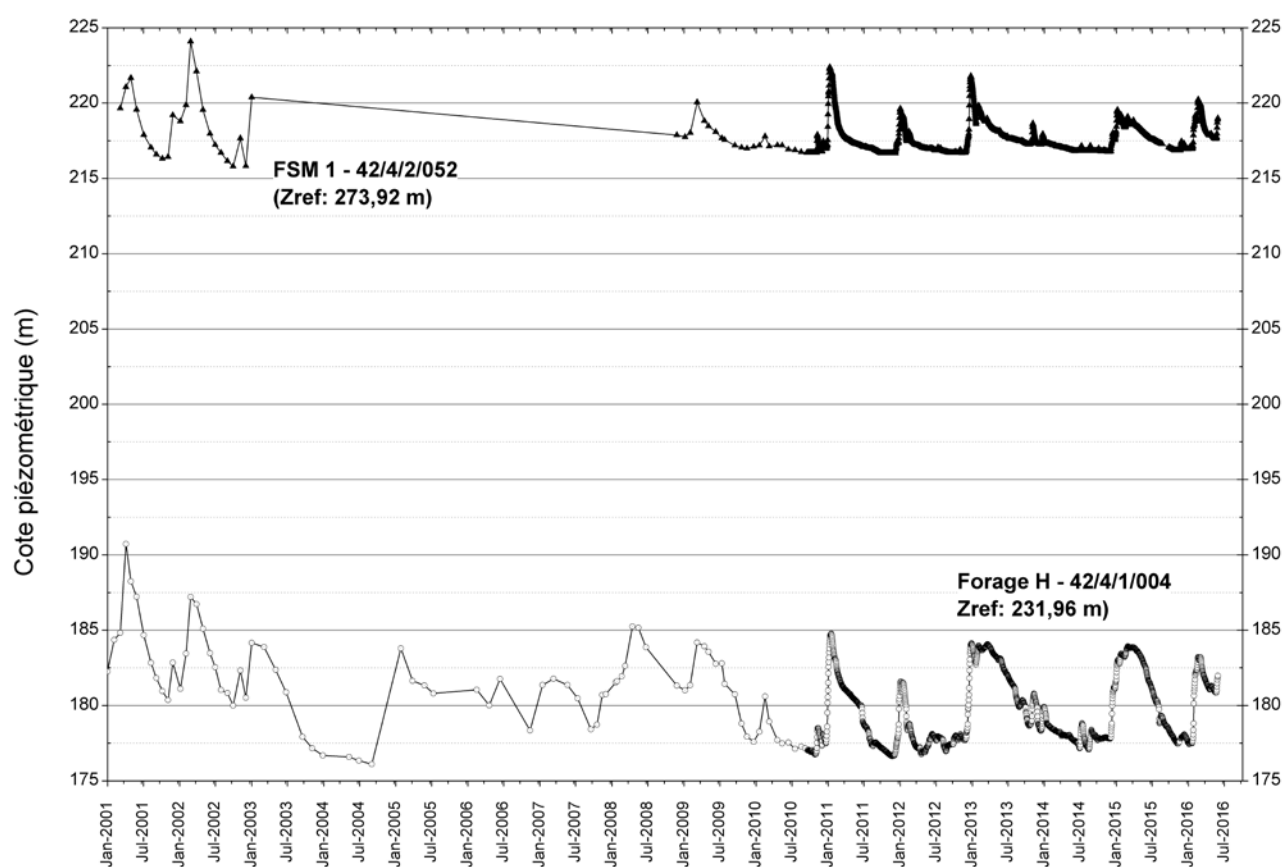


Figure IV.4: Fluctuations piézométriques de la nappe du Crétacé (carte Dalhem-Herve)

Quelques mesures piézométriques sont, néanmoins, disponibles au droit du puits WAR 2, située à Warsage sur la commune de Dalhem (relevés semestriels). Ces quelques données semblent indiquer un comportement piézométrique similaire de la nappe du Crétacé, avec un niveau d'eau qui monte en hiver et décroît dès la fin du printemps (Figure IV.5).

⁸ **FSM 1**: coordonnées: X: 254950 m; Y: 157875 m; Z: 272 m; prof: 59 m & **Forage H**: coordonnées: X: 251162 m; Y: 157900 m; Z: 231,94 m; prof: 68 m, soit à moins de 500 m au sud de la carte Visé-Sint-Martens-Voeren.

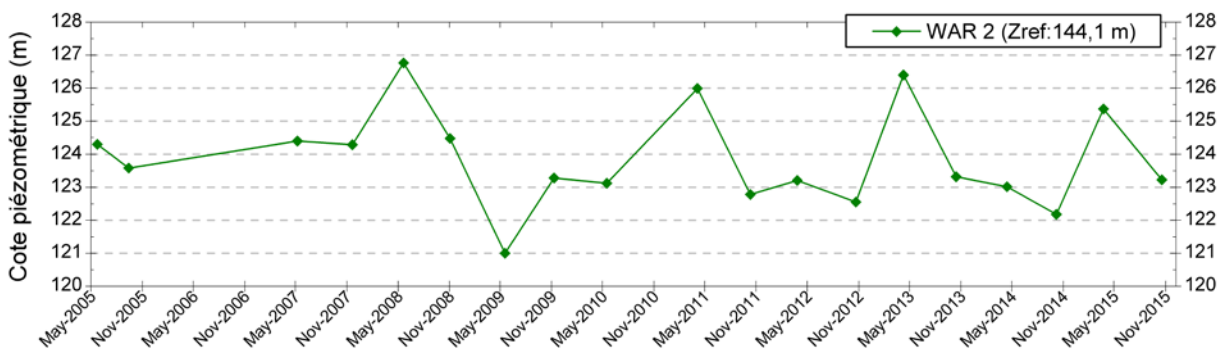


Figure IV.5: Fluctuations piézométriques de la nappe du Crétacé – Puits WAR 2 à Dalhem (carte Visé - Sint-Martens-Voeren)

Dans la partie flamande de la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, plusieurs puits appartiennent au réseau de surveillance géré par la Région Flamande. Ces forages sont crépinés sur plusieurs niveaux au sein d'une même unité hydrogéologique (HCOV), parfois la dernière crépine est dans l'unité sous-jacente (hauteur de crépine: 1 m). Depuis 2004, les niveaux d'eau y sont mesurés fréquemment (1 à 2 /an). L'ensemble des données est disponible sur le site Internet [DOV](#). Les hauteurs piézométriques relevées au droit des différentes crépines étant sensiblement les mêmes, seules les observations faites au niveau de la crépine supérieure sont reprises sur le graphique IV.6. Le piézomètre 910/82/10 fait exception. Foré dans le système aquifère du Crétacé (HCOV: 1100), il est crépiné sur trois hauteurs (F1, F2, F3 dont la base est respectivement à 44, 48 et 52 m). Les niveaux d'eau observés en F2 et F3 sont très proches (à quelques centimètres près). Par contre un écart de plus de 10 m peut être observé avec F1, comme le montrent la figure et le tableau suivants. Cette différence de niveaux piézométriques ne peut, d'après les données dont nous disposons, être expliquée avec précision. Le log géologique détaillé de ce forage permettrait d'éclairer cette situation.

La figure IV.6 présente les historiques piézométriques mesurés dans les ouvrages implantés dans les terrains du Crétacé: HCOV 1110 (craies du Crétacé), HCOV 1113 (craies de Gulpen), HCOV 1120 (Dépôts de Vaals), HCOV 1100 (Crétacé) (Tableau IV.3). Sur la période d'observation, aucune tendance nette ne se dégage de ces chroniques, tant annuellement que pluri-annuellement. L'écart entre les hautes eaux et les basses eaux est relativement faible, de l'ordre de 1 à 2,5 m avec des valeurs plus élevées de ≈ 5 m pour le forage 900/82/12. L'amplitude d'une dizaine de mètres pour le forage 910/82/10 F3, en 2004-2005, ne semble pas se répéter (erreur de mesures?). Les piézomètres situés dans les bas des versants ont des profondeurs d'eau moins importantes que ceux situés plus haut et plus loin des rivières (Voer et Gulp). Les profondeurs d'eau dans les puits diminuent au fur et à mesure que l'on se rapproche de la rivière. La nappe se met en équilibre avec le réseau hydrographique, assurant le drainage de l'aquifère.

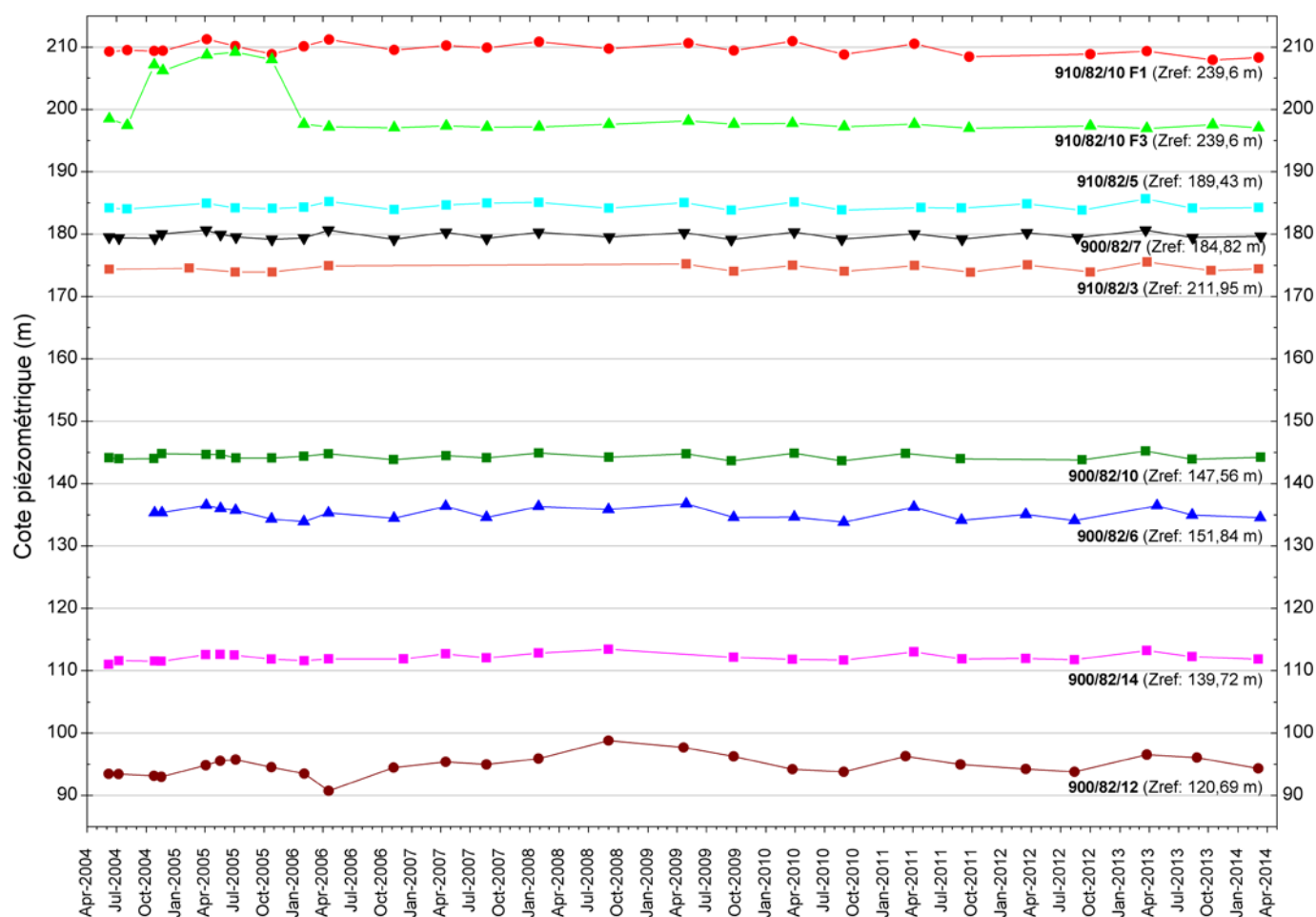


Figure IV.6: Fluctuations piézométriques de la nappe du Crétacé – Flandre (données DOV)

Tableau IV.3: Informations sur les piézomètres DOV- Carte Visé-Sint-Martens-Voeren

Puits		Géologie (HCOV)	Prof. puits / Base crépine considérée(m)	Prof. moy. eau (m)	Cote piézo. moy.(m)
910/82/10	F1	Crétacé (1100)	54 / 44	30	209,7
	F3		52 / 52	40,1	199,5
910/82/5		Vaals(1120)	18 / 7,5	5	184,5
900/82/7		Gulpen 1113)	28,2 / 11	5,1	179,7
910/82/3		Craies (1110)	73 / 51	37,5	174,5
900/82/10		Gulpen(1113)	14 / 7	3,23	144,3
900/82/6		Gulpen(1113)	44,2 / 28	16,6	135,2
900/82/14		Vaals(1120)	54,2 / 43,5	27,6	112,1
900/82/12		Gulpen(1113)	43,5 / 32	25,9	94,8

Période de mesure: 2004-2014 (voir Figure IV.6)

IV.2.2. Aquifère alluvial de la Meuse

Sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, on dénombre une trentaine d'ouvrages implantés dans les alluvions de la Meuse. Outre quelques ouvrages de prises d'eau destinés à l'approvisionnement en eau potable et de quelques captages privés, il s'agit principalement de piézomètres forés dans le cadre d'études de caractérisation de la nappe alluviale de la Meuse. La nappe alluviale est généralement libre, cependant elle est parfois légèrement captive sous les limons fluviatiles. Les alluvions mosanes reposent soit directement sur le socle schisto-gréseux du Houiller, soit sur les formations crayeuses du Crétacé (au nord de Lixhe).

Les ouvrages de génie civil (canal Albert, barrages, mur de quai, drains,...) réalisés dans la plaine alluviale de la Meuse en aval de Liège influencent par endroits, fortement, les relations entre la nappe alluviale et le fleuve, modifiant les gradients piézométriques et les débits de transfert. Une étude hydrogéologique régionale de la nappe alluviale de la Meuse en aval de Liège, incluant les interactions avec le Canal Albert, a été menée par les LGIH (LGIH, 1987 & 1990; Dassargues et Lox, 1991). En moyenne, sur l'ensemble de la zone modélisée (Monsin-Lanaye), on a constaté que la nappe alluviale recevrait environ 3 m³/s par ses versants (dont 1,5 m³/s par les craies à l'ouest, et les calcaires à l'est et, l'équivalent par l'ensemble de ses autres versants). L'alimentation majeure serait en provenance des fuites du Canal Albert et se chiffre à 2,7 m³/s. L'alimentation de la Meuse par l'eau de la nappe alluviale, dans les zones non canalisées, est estimée à 5,3 m³/s (pour les conditions piézométriques de juillet 1989). Sur base du modèle, la quantité d'eau fournie aux Pays-Bas par la Meuse et la plaine alluviale, à ajouter au débit de la Meuse mesuré en amont de la zone modélisée, est estimé de l'ordre de 5,4 m³/s en conditions de très basses eaux durant les mois d'été (Dassargues, 1992 & 1997).

Globalement, l'écoulement général de la nappe alluviale entre le canal Albert et la Meuse est plutôt parallèle au fleuve, malgré la présence de drains le long des murs de quai (LGIH, 1987). Sur la carte étudiée, on ne dispose pas d'un jeu de données permettant de tracer les isopièzes de l'ensemble de la nappe alluviale de la Meuse. A Hermalle-sous-Argenteau (site du Trilogiport), la Direction de la Géotechnique (SPW-DGO1, anciennement MET) a suivi l'évolution piézométrique de la nappe alluviale quotidiennement (mesures automatiques toutes les deux heures depuis juillet 2006). Quatre des cinq piézomètres sont situés sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren (Figure IV.7). Des essais géotechniques y ont également été menés, permettant de préciser les formations géologiques de la vallée mosane à cet endroit (Renkin & Simon, 2001). On retrouve les trois couches caractéristiques de la plaine alluviale mosane liégeoise, à savoir les alluvions fines argilo-limoneuses, les alluvions grossières sablo-graveleuses et le bed-rock schisteux. Le contact entre les dépôts quaternaires et les bancs rocheux paléozoïques est localisé approximativement entre +46,5 m (côté sud) et +45,3 m (côté nord). Des dénivellations de ± 1 m restent toutefois plausibles.

Le fond du canal Albert dont la cote est à +55 m, repose sur les alluvions tantôt limoneuses, tantôt sablo-graveleuses. La Meuse est canalisée jusqu'au barrage de Lixhe, à l'aval duquel sa section redevient naturelle. En rive gauche, un drain existe depuis Hermalle-sous-Argenteau

(cote +51,92 m) jusqu'au barrage (cote + 46,2 m). En rive droite, un drain va de Richelle (cote +53 m) au barrage de Lixhe (cote +48 m).

Entre Monsin et Cheratte, le sommet de la nappe alluviale atteint le fond du Canal Albert (carte Dalhem-Herve). Plus au nord, aux environs d'Hermalle-sous-Argenteau, sur le site du Triligiport (Figure IV.7), le niveau de la nappe se situe quelques mètres plus bas par rapport au fond du canal. Il décroche ainsi progressivement pour se situer environ 7 à 8 m plus bas à Lanaye.

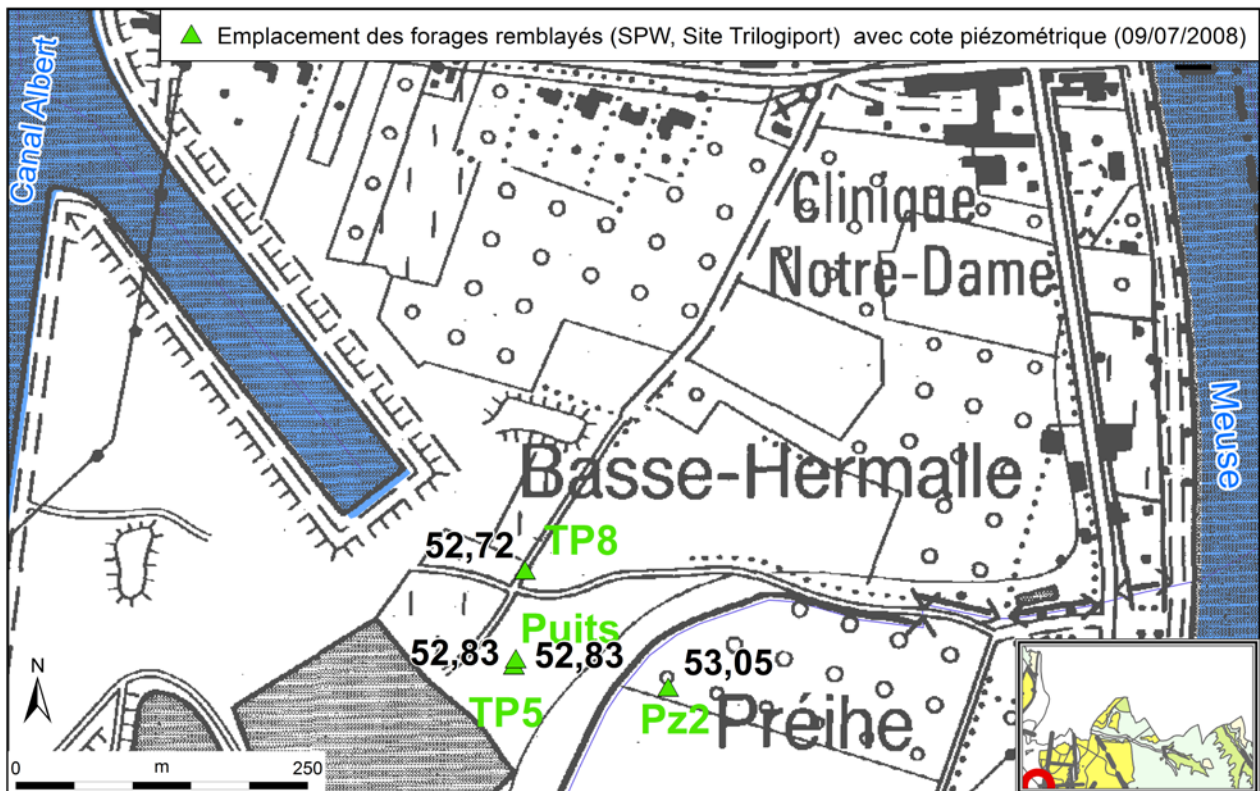
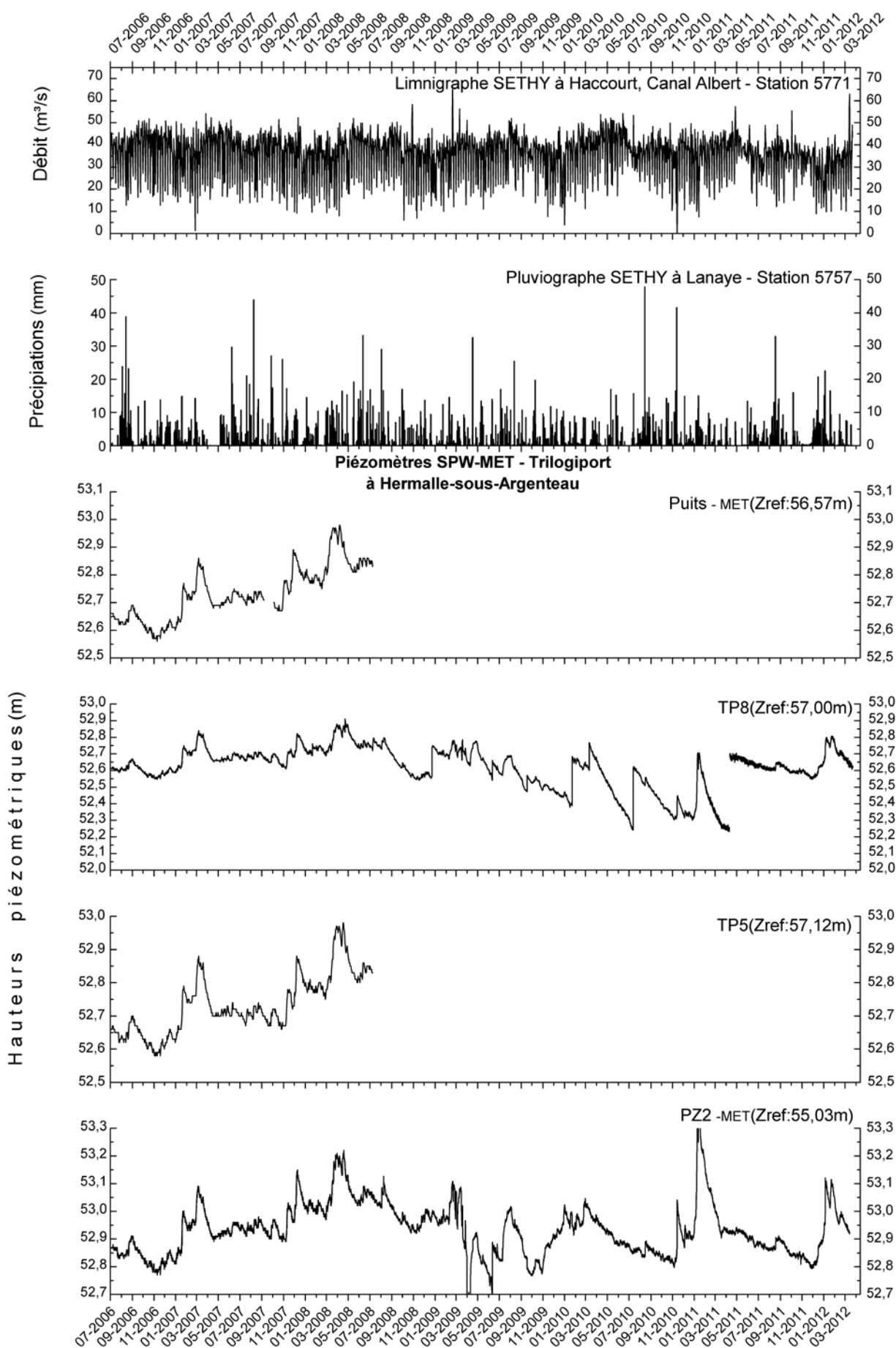


Figure IV.7: Forages 'MET' à Hermalle-sous-Argenteau (site du Triligiport) - Situation piézométrique du 09/07/2008

La figure IV.8 présente les chroniques piézométriques de la nappe alluviale de la Meuse, mesurées dans les forages 'MET' à Hermalle-sous-Argenteau. Le comportement piézométrique de ces puits est très semblable. Les variations de hauteurs d'eau sont relativement réduites. Les amplitudes maximales observées sont de l'ordre de 0,25 à 0,50 m. Une tendance annuelle, ainsi qu'une évolution pluriannuelle, semblent se dessiner. Annuellement, les hautes eaux ont tendance à se situer en mars-avril, parfois jusqu'au mois de mai. Les niveaux piézométriques, ensuite, baissent plus ou moins graduellement jusqu'à l'hiver. Durant la période hivernale (recharge de l'aquifère), les pics piézométriques sont relativement synchrones avec les précipitations. Ceci semble moins net en été. L'allure piézométrique de la nappe alluviale est fortement influencée par la Meuse et le Canal Albert, dont les niveaux sont contrôlés par les barrages. Ces chroniques piézométriques ont été influencées par les importants travaux de génie civil liés à la construction du Triligiport (excavations, remblais, exhaures...).



Sources: Précipitations & Débits : mesures journalières, SPW-DGO2; Piézométrie - Mesures horaires; SPW-DGO1.61

Figure IV.8: Fluctuations piézométriques des ouvrages 'MET' à Hermalle-sous-Argenteau (site du Triligiport)

Directement au sud de la carte étudiée, toujours à Hermalle-sous-Argenteau, se trouve un site expérimental (Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement, ULg). Depuis 1998 (installation du site avec forages de plusieurs puits et piézomètres), divers essais de pompage et de traçage (salins et fluorescents) ont été menés (Brouyère, 2001; 2003). En 2012, un essai de traçage géothermique couplé à un essai de traçage au naphthionate a été réalisé dans le cadre d'un projet de recherche en géothermie très basse énergie (Wildemeersch et al., 2014; Hermans et al., 2015; Klepikova et al., 2016). L'évolution de la température et de la concentration en naphthionate a été mesurée, en continu, dans le puits de reprise (situé à 20 m du piézomètre d'injection), mais également dans les piézomètres intermédiaires. Le panache thermique a été suivi par tomographie de résistivité électrique de surface et en forages. Les résultats indiquent que le transfert de chaleur est principalement influencé par l'écoulement dans la partie inférieure de la nappe (graviers) et principalement conducteur/diffusif dans la partie supérieure de la nappe (sables). Le transfert de chaleur s'avère, en outre, nettement plus lent et plus diffusif que le transport de soluté.

En aval de Visé, le barrage de Lixhe perturbe l'écoulement des eaux souterraines de la nappe alluviale. Le dénivelé⁹ important créé entre le bief amont et le bief aval engendre des écoulements non négligeables via la nappe alluviale. L'étude régionale menée sur la nappe alluviale en aval de Liège a mis en évidence un contournement du barrage de Lixhe par la plaine alluviale (LGIH, 1987). Afin de préciser le contexte hydrogéologique de la zone de Lixhe, d'autres investigations ont été menées (Compère, 1988). En rive gauche et en rive droite des essais de pompage ont été effectués. Les conductivités hydrauliques sont comprises entre $0,7 \times 10^{-2}$ et $5,3 \times 10^{-2}$ m/s en pompage et, entre $0,9 \times 10^{-2}$ et $11,2 \times 10^{-2}$ m/s en remontée. En rive droite, le coefficient d'emménagement interprété est compris entre 0,02 % et 20 %, indiquant que localement la nappe alluviale est captive. En rive gauche, le coefficient calculé pour les graviers limoneux varie entre 4 et 9 %, celui des graviers sableux varie entre 12 % et 20 %. La figure IV.9 présente l'allure piézométrique calculée de la nappe au repos en janvier-février 1987. Le gradient piézométrique de la nappe est faible. L'écoulement général de la nappe est dirigé vers le nord. En rive droite, le contournement du barrage est visible. Le modèle a aussi mis en évidence des arrivées d'eau dans la nappe alluviale via le Canal Albert et via les versants.

⁹ Niveau de flottaison au barrage de Lixhe: Amont: 54 m; Aval: 46 m (données collectées au moment de l'étude)

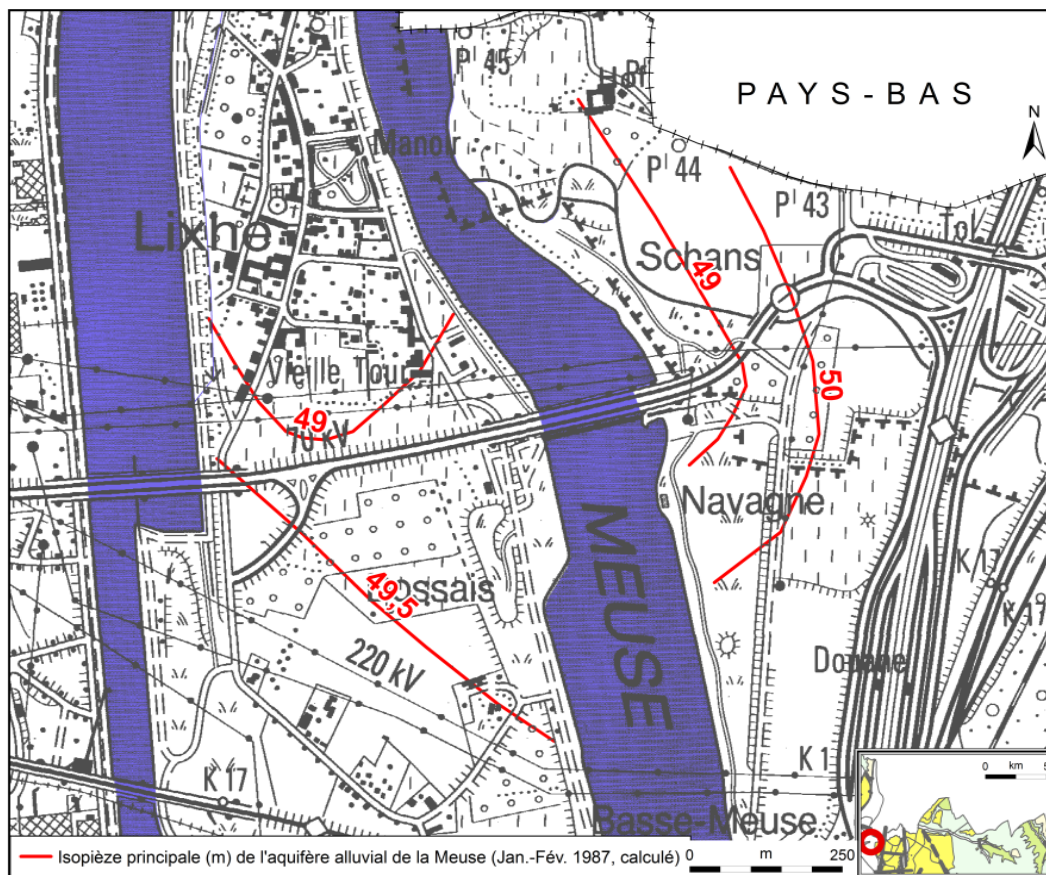


Figure IV.9: Allure piézométrique calculée de la nappe alluviale à hauteur du barrage de Lixhe (d'après Compère, 1988)

IV.2.3. Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller

Sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, d'après les données disponibles, très peu d'ouvrages sont implantés dans les formations schisto-gréseuses du Houiller: quelques ouvrages à usage agricole ainsi que des piézomètres de surveillance du réseau flamand.

Dans la partie orientale de la carte, la banque de données DOV renseigne quelques puits atteignant le socle (HCOV 1300). D'après la carte géologique, ces puits sont implantés dans le socle houiller. Cependant, on ne dispose pas des logs de forage. Quelques données piézométriques sont disponibles au droit de deux forages implantés dans les formations du Houiller à Voeren. Ces deux piézomètres sont crépinés sur 4 niveaux (par section crépinée d'un mètre). Situé à Sint-Martens-Voeren, le forage 900/82/9, d'une profondeur de 93,2 m, est crépiné à 75,5, 82, 88 et 93 m (base des crépines). Les profondeurs d'eau observées depuis juin 2004 sont assez similaires, variant autour de 50 m, excepté pour la crépine n°4 (entre 56 et 67 m). Ces niveaux fluctuent peu dans le temps. Concernant le puits 910/82/2, implanté à Teuven, les bases des crépines sont à 50, 59, 66 et 71,5 m. Les niveaux d'eau mesurés varient peu et sont compris entre 37 et 39 m par rapport au sol. Avec deux relevés par an, les chroniques piézométriques de la figure IV.10 ne peuvent nous fournir que quelques caractéristiques sur le comportement de la nappe. Les hautes eaux semblent avoir lieu au printemps et les basses eaux en fin d'automne. Aucune tendance saisonnière nette ne peut être clairement identifiée (les mesures étant trop espacées dans le temps).

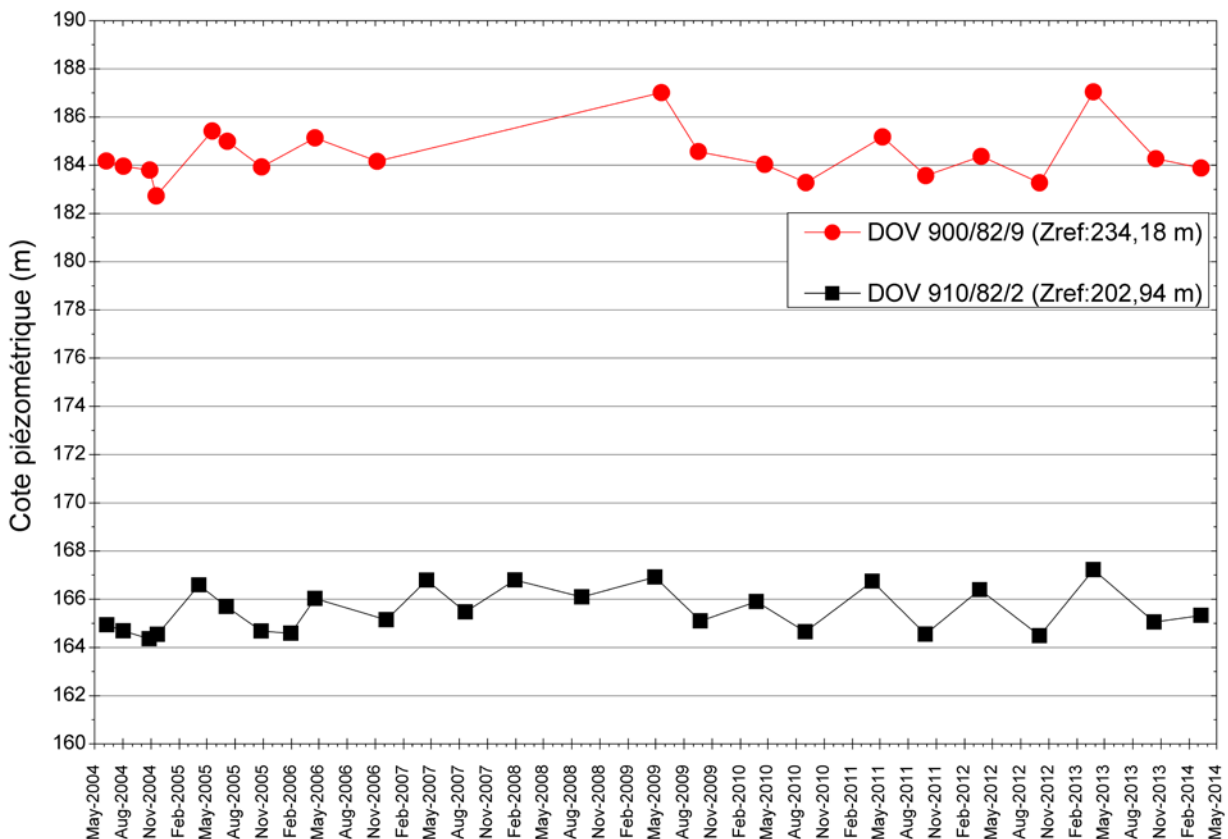


Figure IV.10: Fluctuations piézométriques de la nappe du socle houiller (HCOV: 1300) – Flandre (données DOV)

L'arrêt de l'exploitation minière s'accompagne généralement d'un arrêt des pompages d'exhaure. Il s'ensuit une remontée des niveaux piézométriques dans les terrains qui avaient été désaturés lors de la progression de l'exploitation. Ce phénomène de remontée des niveaux piézométriques est couramment appelé ennoyage minier ("mine water rebound").

Le phénomène d'ennoyage minier peut avoir des conséquences importantes sur l'environnement (Monjoie, 2000; Younger, Banwart et al, 2002):

- Un risque d'acidification des eaux de surfaces ("acide mine drainage"): lorsque le niveau dans les mines atteint des galeries débouchant en surface, l'eau des mines s'écoule par gravité et se déverse dans le réseau d'eau de surface. Or ces eaux présentent très souvent un caractère acide, sulfaté et riche en fer;
- Il peut arriver que ces galeries qui évacuent les eaux par gravité s'obstruent suite à un éboulement. Le niveau d'eau derrière le "bouchon" continue d'augmenter jusqu'à exercer une pression suffisante pour rompre l'obstruction. Les terrains saturés suite à la formation du bouchon se vidant brutalement de leur eau, celle-ci est évacuée par la galerie précédemment obstruée ce qui peut provoquer des inondations importantes en surface (coups d'eau);
- L'augmentation des pressions d'eau dans les terrains peut induire des problèmes de stabilité dans les versants, voire des reprises des tassements.

Ainsi la Région Wallonne a lancé (avec l'aide de la Commission Européenne) des études approfondies afin de mieux comprendre ces phénomènes et de les prévenir. Depuis 2002,

l'ISSeP a été chargé de cette mission (en collaboration avec l'AIDE et l'ULg). Plusieurs études menées dans la zone pilote de Wandre-Cheratte, située sur la carte Dalhem-Herve (au sud de la carte étudiée) ont conduit à la mise en place d'un réseau d'observation hydrologique permettant de suivre le niveau des eaux souterraines et le débit des galeries d'exhaure (Berger *et al*, 2003; Gardin *et al*, 2005; Dingelstadt et Drevet, 2007; Brouyère *et al*, 2009; Wildemeersch *et al*, 2008; 2010). Ce réseau est, entre autres, destiné à servir de système d'alerte des coups d'eau. Par la suite, d'autres études ont permis d'étendre ce réseau aux zones de Herstal-Oupeye-Liège-Nord, Liège-Ans et Saint-Nicolas.

IV.2.4. Coupes hydrogéologiques

Sur le poster de la carte hydrogéologique, une coupe hydrogéologique est présentée. Cette coupe est orientée NNW-SSE et elle recoupe les formations géologiques du Crétacé ainsi que le socle paléozoïque présents dans la région de Visé - Sint-Martens-Voeren. L'échelle horizontale de la coupe est au 1/25.000, tandis que son échelle verticale est au 1/2500. Ce facteur d'exagération des hauteurs (X10) permet une meilleure visibilité tant des unités hydrogéologiques que des niveaux piézométriques reportés sur la coupe.

La coupe permet de mieux saisir le contexte géologique de la région. Elle montre, en effet, que la couverture du Mésozoïque a un pendage faiblement incliné vers le nord-ouest. Les terrasses mosanes y ont également été reportées. Les cotes de la base des terrasses fluviales sont en partie issues des cartes du Rijks Geologische Dienst, Geologische kaart van Zuid-Limburg en omgeving – Afzettingen van de Maas (Felder *et al*, 1989).

D'un point de vue hydrogéologique, sur le tracé de la coupe, les niveaux piézométriques mesurés (1986) montrent un système hydrogéologique continu (Aquifère du Crétacé indifférencié). La Formation de Vaals, moins argileuse ici, ne peut être considérée comme aquiclude. Elle sera considérée, ici, comme aquitard. Dans la partie septentrionale de la coupe, on ne dispose pas de suffisamment de données pour définir le toit de la nappe aquifère du Crétacé. Sur la localité de s'Gravenvoeren, un captage, issu de la banque de données DOV, est foré dans l'aquifère du socle. En mars 2014, le niveau d'eau mesuré indiquait que la nappe se trouvait aux alentours de la cote 61 m (en nov. 2006, \approx 63 m). En ce point, la nappe du socle sera en légère surpression.

IV.2.5. Caractère des nappes

Le caractère des nappes rencontrées est spécifié : nappe libre, nappe semi-captive (semi-libre) ou nappe captive. Cette détermination est basée sur le contexte géologique et hydrogéologique régional. Il est à noter que c'est la première nappe rencontrée (nappe à l'affleurement, sous la couverture limoneuse) qui est caractérisée. Sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, les nappes logées dans les alluvions (anciennes ou modernes) et dans les horizons schisto-gréseux du Houiller sont souvent caractérisées comme semi-captives. En effet, sous les limons fluviaux, la nappe alluviale peut être, localement et temporairement, captive. Dans les terrains du Houiller, la nappe peut se retrouver en charge sous les couches plus argileuses (shales,

"phtanites") et sous certaines alluvions. Les autres unités hydrogéologiques sont considérées comme des nappes libres, d'autant plus lorsque ces nappes sont à l'affleurement. Cette couche d'informations 'Caractère des nappes' est établie pour l'ensemble de la zone cartographiée sur base du découpage géologique tel que proposé par la nouvelle carte géologique (Barchy & Marion, 2017). Ce choix se justifie pour garder une homogénéité dans la définition des zones libres, captives, semi-captives. Cependant, le zonage 'nappe libre – nappe captive' (freatisch-gespannen) existe aussi côté flamand, donnée gérée par la Vlaamse Maatschappij Milieumaatschappij. Sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, ces données sont relatives aux masses d'eau souterraine 'BLKS 1100' (Brulandkrijtsysteem, Krijt Aquifer) et 'BLKS 0160' (Quaternaire Maasafzettingen), définies en tant que nappes libres (VMM, 2006).

IV.2.6. Piézométrie de la carte Visé Sint-Martens-Voeren

Les données piézométriques disponibles pour la carte 34/7-8 concernent essentiellement l'aquifère (ou les aquifères) du Crétacé. Quelques informations sont également disponibles pour l'aquifère alluvial de la Meuse et les terrains schisto-gréseux du Houiller.

A l'échelle régionale, l'écoulement général de la nappe logée dans les formations du Mésozoïque s'effectue vers le nord-ouest reflétant l'inclinaison des couches géologiques. L'allure accidentée des isopièzes s'explique aisément par la nature des différentes formations aquifères en présence et par l'importance des phénomènes de pente dus au vallonnement typique du Pays de Herve. Le réseau hydrographique joue le rôle de drainage latéral (trop-plein) de cette nappe à caractère généralement perché. Ainsi, cette situation implique que la nappe logée dans les craies est rarement alimentée par les ruisseaux. Sur les plateaux crayeux, le gradient piézométrique de la nappe est de l'ordre de 1 à 3 % et sa surface piézométrique est peu régulière, due à la fracturation des craies. Dans les zones de pente, là où la Formation de Gulpen fait place aux Formations de Vaals et d'Aachen, la nappe devient plus superficielle. Son gradient piézométrique est plus élevé et sa surface piézométrique est sensiblement parallèle à la surface topographique. L'analyse des chroniques piézométriques montrent que les niveaux d'eau présentent des fluctuations annuelles et interannuelles relativement faibles. Les basses eaux sont rencontrées en fin d'été ou en automne, les hautes eaux au printemps.

Dans l'ensemble, l'écoulement général de la nappe alluviale entre le canal Albert et la Meuse est plutôt parallèle au fleuve, malgré la présence d'ouvrages de génie civil (drains le long des murs de quai, barrages...). Le gradient piézométrique observé, là où des données sont disponibles, est faible et dirigé, en général, vers le nord. Les récents historiques du niveau piézométrique montrent que les hautes eaux se situent en mars-avril (printemps), les basses eaux en septembre-novembre (automne).

A propos de l'aquiclude à niveaux aquifères du Houiller, on dispose de très peu de données. Il faut noter que l'arrêt des pompages d'exhaure minière a été suivi par une remontée des niveaux piézométriques dans ces terrains. Quelques niveaux d'eau mesurés (base de données DOV) montrent peu de fluctuations dans le temps, avec une légère élévation au début de l'été et une diminution au cours de l'automne.

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 distribution. Nous ne disposons pas de données suffisantes pour préciser le cadre hydrochimique de toutes les unités hydrogéologiques de la carte étudiée.

Pour la zone flamande de la carte, nous invitons le lecteur à consulter la base de données de la Région Flamande, [DOV](#), où des analyses hydrochimiques récentes sont reprises.

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

Plusieurs excavations ont jadis été réalisées (calcaires et ampélites du Paléozoïque, craies et marne du Crétacé, sables oligocènes). Ces anciens sites d'extraction abandonnés et parfois remblayés avec des déchets et matériaux divers sont des points d'infiltration privilégiés vers les eaux souterraines, tout comme le sont les dolines, chantoirs et autres phénomènes karstiques. Ces sources potentielles de pollution sont donc des lieux à surveiller.

Un inventaire de ces données est disponible auprès des autorités régionales (DGARNE et DGATLP). 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 le territoire de la carte Visé - Sint-Martens-Voeren, un seul site est répertorié: Chemin de Surisse (Lg2202-001, voir [sous-chapitre V.6](#)).

Dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive cadre sur l'eau (Directive 2000/60/CE, en abrégé DCE), 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. Sur le territoire couvert par la carte, quatre masses d'eau souterraine sont distinguées (Figure V.1):

- les alluvions et graviers de Meuse (Namur-Lanaye) – RWM072
- le Crétacé du Pays de Herve – RWM151
- les calcaires et grès du bassin de la Vesdre – RWM142 (sous RWM151)
- les schistes houillers (masse d'eau virtuelle) – RWM016

La masse d'eau souterraine des schistes houillers (RWM016) a le statut particulier de masse d'eau virtuelle car elle n'a pas été définie en tant que masse d'eau souterraine au sens de la DCE, pour des raisons tant quantitatives que qualitatives. En effet, cette masse d'eau ne représente pas une ressource en eau souterraine aisément mobilisable et son état chimique

présent peut être qualifié de médiocre en raison de la nature des formations géologiques et de l'activité industrielle passée (charbon et houille) (DGARNE-Direction des Eaux souterraines et Protectis-Cellule DCE, 2010).

L'état global DCE de deux principales masses d'eau souterraine présentes sur la carte Visé - Sint-Martens-Voeren est synthétisé dans le tableau V.1. L'état global de la masse d'eau M072 (alluvions de la Meuse) est jugé bon, sur base du diagnostic posé en 2013 (DGARNE-DESO et Protectis-Cellule DCE, 2016). Par contre, celui de la masse d'eau M151 (Crétacé du Pays de Herve) est classé mauvais, en raison de son mauvais état chimique. Près de 30 % des sites suivis dépassent la norme de potabilité de 50 mg/l NO₃ sur la période 2012-2013 (DGARNE-DESO et Protectis-Cellule DCE, 2016). Sur le territoire de la carte Visé - Sint-Martens-Voeren, on compte 2 points du réseau de surveillance. Il s'agit de:

- Captage de Devant-le-Pont P1 (puits foré)(CILE), 34/7/7/005 – RWM072;
- WAR2- Bois du Roi 35M (puits privé), 34/7/9/005 – RWM151

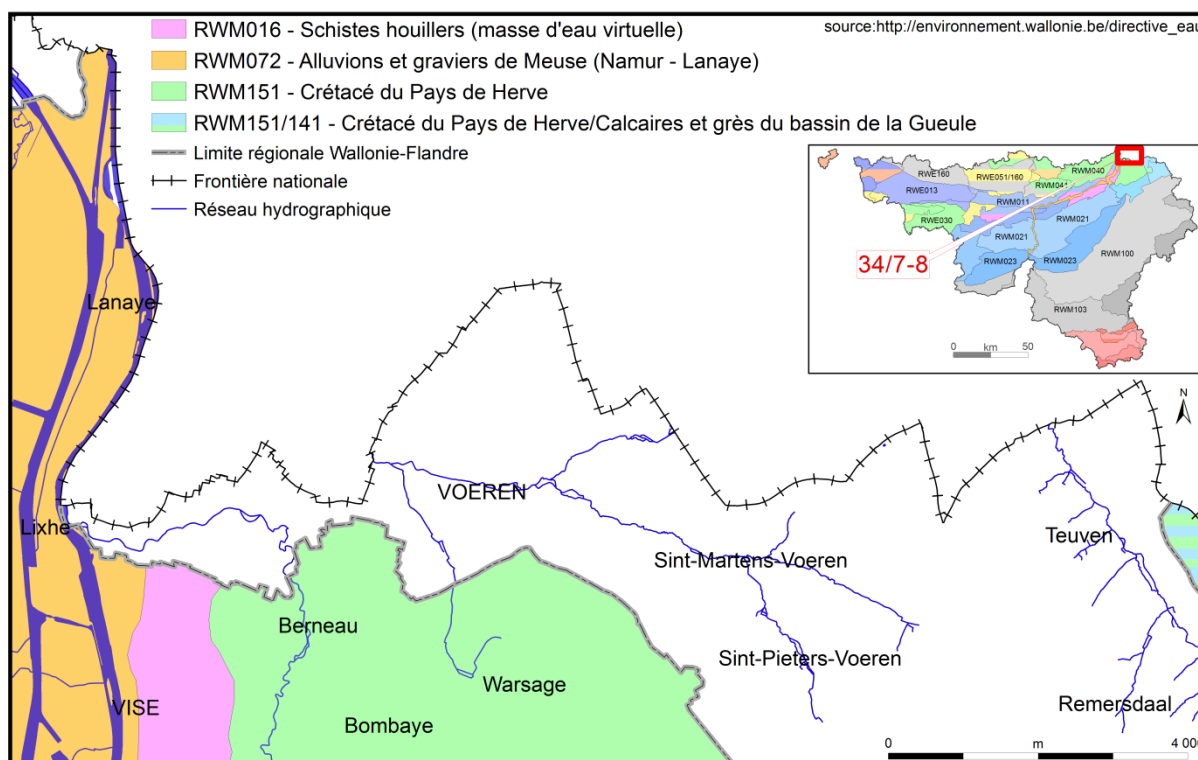


Figure V.1: Masses d'eau souterraine – Visé - Sint-Martens-Voeren

Tableau V.1: Etat des masses d'eau souterraines (M072 & M151) de la carte Visé - Sint-Martens-Voeren (état 2013)

MESO	Etat global	Etat chimique	Etat quantitatif	Paramètre déclassant
RWM072	Bon	Bon	Bon	Aucun
RWM151	Mauvais	Mauvais	Bon	Nitrates

V.1. CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX

V.1.1. Aquifère des craies du Crétacé

D'une manière générale, les eaux des aquifères du Crétacé sont de type bicarbonaté calcique (Ca-HCO₃). En fonction des couches géologiques traversées, leur composition chimique peut légèrement varier. Il faut aussi noter que les activités anthropiques influencent fortement la qualité de l'eau. Les eaux de la nappe des craies du Crétacé ont une dureté moyenne à élevée (25 à 45 °F) (type CaHCO₃). Ce type d'eau provient de la dissolution des sédiments et fragments calcaires contenus dans les couches marines. Cette dissolution provoque l'augmentation des teneurs en ions Ca²⁺ et HCO₃⁻ (bicarbonates). Les aquifères formés par des dépôts marins calcaires sont caractérisés par un pH neutre à légèrement basique. L'acidité des eaux souterraines y a été déterminée par la dissolution du CaCO₃ (Interreg II, 2000).

Le tableau V.1 montre des analyses représentatives de l'eau de la nappe des craies du Pays de Herve. Cette eau a une dureté élevée avec des concentrations en bicarbonates et en calcium importantes dues à la dissolution de la craie. Suite à ces concentrations, l'aquifère crayeux est caractérisé par un pH neutre à alcalin. La conductivité est moyenne à élevée et l'alcalinité totale relativement élevée. Dans l'ensemble, les sulfates sont présents en concentrations inférieures aux normes européennes de potabilité (250 mg/l), mais avec cependant des valeurs élevées dues soit à des venues d'eau locales en provenance du bed-rock ou de la Formation de Vaals (riches en pyrite), soit à des eaux acides issues de la percolation d'eau d'infiltration à travers des remblais divers (schisteux) sus-jacents (Interreg II, 2000).

Tableau V.1 : Caractéristiques hydrochimiques des aquifères du Crétacé

Elément	Unité	Niveau-guide	WAR 2 – Bois du Roi		WAR 10	FSM 3
			13/09/2005	15/10/2013	1986	1986
		Code de l'Eau	Formation de Gulpen			Frm de Vaals
pH	unités pH	6,5 à 9,5	7,21	7,21	7,06	6,8
Conductivité (K20)	µS/cm à 20°C	2100	535	566	744	487
Dureté totale (TH)	° français	67,5	32,2	30,8	39,8	23,1
Alcalinité totale (TAC)	° français	-	21,2	25	23,8	15,5
Calcium	mg/l	270*	126	118	144,6	84,3
Magnésium	mg/l	50*	3,1	3,3	9	5
Sodium	mg/l	150	4,9	5,8	12,5	6,1
Potassium	mg/l	12	1,05	1	4,6	2,2
Bicarbonates	mg/l	-	-	-	290,4	189,1
Strontium	µg/l	750**	274	285	-	-
Fer total dissous	µg/l	200*	<2	<5	27	31,4
Manganèse	µg/l	50*	<5	<1	-	-
Sulfates	mg/l	250*	29	33	107,4	38,7
Chlorures	mg/l	200	16,9	17	30,2	15,3
Fluorures	mg/l	0,1 (1,5*)	0,085	0,09	-	-
Nitrates	mg/l	50	29	37	59,6	43,8
Nitrites	mg/l	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
Ammonium	mg/l	0,5*	<0,05	<0,05	0,035	<0,05
Silice	mg/l SiO ₂	-	-	27	6,6	0

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

Une étude globale sur la qualité de l'eau souterraine d'aquifères transfrontaliers entre la Belgique et les Pays-Bas a été réalisée en 2000, dans le cadre d'un projet 'Interreg II'. Les eaux issues des Formations de Vaals et d'Aachen, de type Ca-HCO₃, présentent un pH neutre à alcalin (valeur médiane : 7,4). Cette eau est relativement dure, dû essentiellement à la percolation à travers la Formation de Gulpen, où l'eau se charge en bicarbonates, entre autres. Les concentrations en magnésium sont normales et la valeur médiane des teneurs en sulfates est d'environ 50 mg/l, les phosphates sont présents en faible quantité (valeur médiane : 0,1 mg/l).

V.1.2. Aquifère alluvial de la Meuse

Sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, peu de données hydrochimiques récentes sont disponibles pour la nappe alluviale de la Meuse. Le tableau V.2 présente les résultats d'analyses d'échantillons prélevés au site de captage 'Devant-le-Pont' à Visé (CILE). Le pH est basique et la conductivité élevée. Cette minéralisation est probablement due à une alimentation par le bed-rock carbonifère, sur lequel repose les alluvions.

Tableau V.2:Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère alluvial de la Meuse

Elément	Unité	Niveau-guide	Devant-le Pont P1 (ancien)		Devant-le Pont P2 (nouveau)
		Code de l'Eau	12/11/2008	03/02/2015	14/09/2015
pH	unités pH	6,5 à 9,5	7,12	7,27	7,13
Conductivité (K20)	µS/cm à 20°C	2100	740	769	785
Dureté totale	° français	67,5	40,2	39,8	38,9
Alcalinité totale	° français	-	30,4	30,6	30,7
Calcium	mg/l	270*	128	128,8	125,1
Magnésium	mg/l	50*	19,9	18,7	18,7
Sodium	mg/l	150	27,3	26,2	24,8
Potassium	mg/l	12	2,3	2,51	2,19
Bicarbonates	mg/l	-	371	372	374
Strontium	µg/l	750**	442	440	398
Fer total dissous	µg/l	200*	<20	<20	<20
Manganèse	µg/l	50*	0,8	0,5	<0,5
Sulfates	mg/l	250*	70,7	71,5	71,1
Chlorures	mg/l	200	41,7	44,7	43,3
Fluorures	mg/l	0,1 (1,5*)	0,194	0,187	0,184
Nitrates	mg/l	50	5,4	9,8	9,2
Nitrites	mg/l	0,1	<0,01	<0,01	<0,02
Ammonium	mg/l	0,5*	0,01	<0,03	<0,03
Silice	mg/l SiO ₂	-	13,3	12,4	12,6

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

V.1.3. Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller

Très peu d'ouvrages de la carte étudiée sont implantés dans l'aquiclude à niveaux aquifères du Houiller. On ne dispose pas d'analyse hydrochimique complète pour cette unité pour la région étudiée. D'une manière générale, la nappe du Houiller est souvent chargée en sulfates,

calcium, magnésium, sodium, chlorures et fer. Le pH de ces eaux est généralement acide, parfois légèrement basique. Dans certains cas, les pyrites contenues dans les schistes étant arsénifères, l'eau peut également contenir des teneurs significatives en arsenic, cadmium et nickel.

V.1.4. Aquifère des calcaires du Carbonifère

Sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, peu d'ouvrages sollicitent les eaux de la nappe des calcaires du Carbonifère. Ainsi peu de données hydrochimiques sont disponibles. Le tableau V.3 reprend les résultats d'un prélèvement effectué au droit du puits 'P1-Quai du Barrage', puits foré (97 m) de la SWDE, exploité jusqu'en janvier 1999. Il s'agit d'une eau dure, à pH basique et présentant une alcalinité élevée. Quelques éléments présentent des teneurs relativement élevées, bien qu'en deçà des normes mais pouvant demander un prétraitement. Il s'agit de l'ammonium, du fer, du manganèse. Concernant le sodium, les chlorures et les sulfates, leurs teneurs augmentent avec le débit pompé. Les pics observés atteignent respectivement les valeurs de 124,5 mg/l, 181 mg/l et, entre 20 et 37 mg/l (SWDE, 1987). Outre les paramètres chimiques classiques, certains isotopes de l'uranium et de l'hydrogène ont été mesurés. Cette eau présente une radioactivité naturelle (confirmée par la teneur en fluor non négligeable). En effet, les résultats montrent la présence de radium 226 à des doses inférieures à 0,4 Bq/l, de tritium à une dose de 5 Bq/l. Ces doses ne présentent aucun danger (SWDE, 1987). La problématique du radon dans les eaux souterraines de la région de Visé est abordée plus en détails dans le paragraphe V.5.

Tableau V.3: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère des calcaires carbonifères

Elément	Unité	Niveau-guide	P1-Quai du Barrage
		Code de l'Eau	19/03/1987
pH	unités pH	6,5 à 9,5	7,72
Conductivité (K20)	µS/cm à 20°C	2100	928
Dureté totale (TH)	° français	67,5	31,3
Alcalinité totale (TAC)	° français	-	33,8
Calcium	mg/l	270*	94
Magnésium	mg/l	50*	19
Sodium	mg/l	150	93
Potassium	mg/l	12	7
Bicarbonates	mg/l	-	-
Strontium	µg/l	750**	243,5
Fer total dissous	µg/l	200*	145
Manganèse	µg/l	50*	35
Sulfates	mg/l	250*	0,1
Chlorures	mg/l	200	27,6
Fluorures	mg/l	0,1 (1,5*)	0,45
Nitrates	mg/l	50	0,9
Nitrites	mg/l	0,1	<0,01
Ammonium	mg/l	0,5*	0,46
Silice	mg/l SiO ₂	-	22,5

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

V.2. PROBLEMATIQUE DES NITRATES

Pour protéger les eaux contre la pollution par les nitrates, plusieurs "zones vulnérables" ont été désignées par arrêtés ministériels (Figure V.2). Ces zones reprennent la quasi-totalité des captages échantillonnés dont la teneur en nitrate dépasse ou risque de dépasser 50 mg/l. Elles ont pour objet la protection des eaux souterraines contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles. Cette désignation implique l'application d'un programme d'action précis dont les mesures ont été arrêtées dans le code de "bonne pratique agricole" du Programme de Gestion Durable de l'Azote en agriculture (PGDA). Pour plus d'informations, voir www.nitrawal.be, ainsi que le Livre II du Code l'Environnement (Code de l'Eau).

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

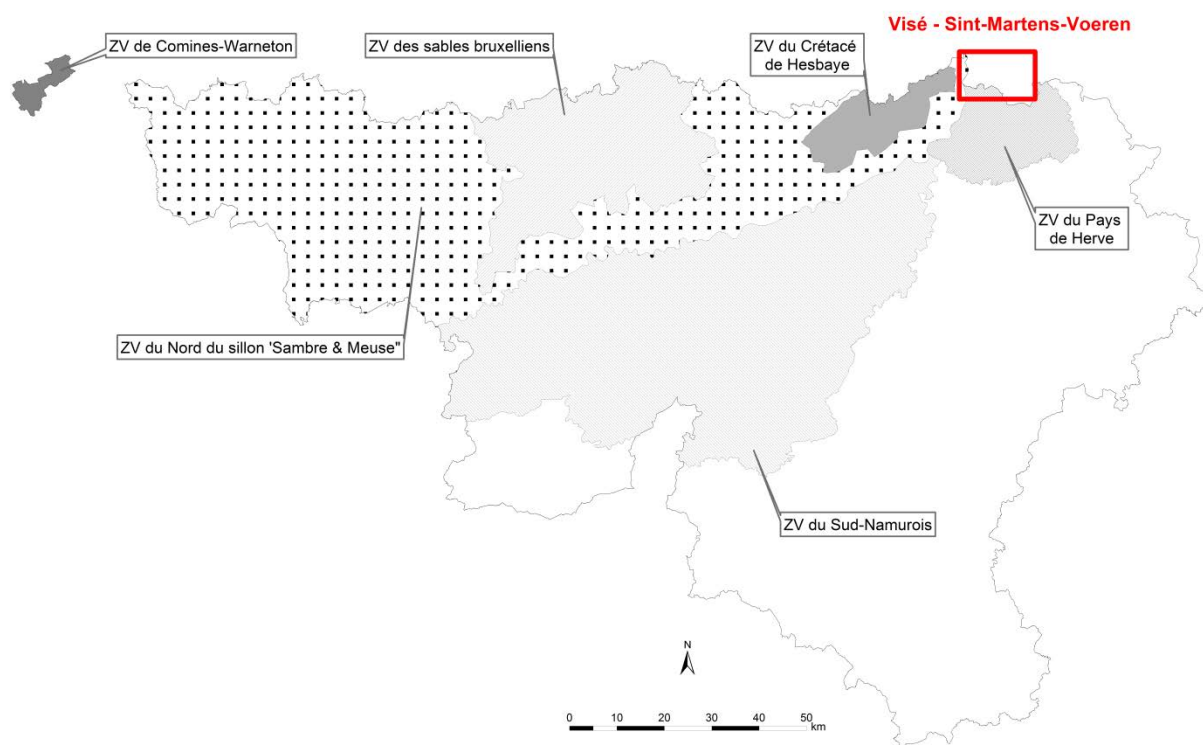


Figure V.2: Zones vulnérables aux nitrates - Wallonie – Visé - Sint-Martens-Voeren

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

Depuis plusieurs années, les compagnies de distribution d'eau et l'administration wallonne surveillent de manière très régulière les concentrations en nitrates de plusieurs différents captages ou puits de contrôle. La teneur maximale admise en Wallonie est 50 mg NO₃/l. On ne dispose pas de suffisamment de données pour présenter un historique représentatif de l'évolution des concentrations des nitrates dans les eaux souterraines pour l'ensemble des unités hydrogéologiques présentes sur la carte Visé - Sint-Martens-Voeren.

La figure V.3 montre l'évolution des teneurs en nitrates des captages de la CILE (en activité) sollicitant l'aquifère alluvial de la Meuse, depuis 1996. Les teneurs en nitrates restent inférieures à 10 mg NO₃/l, avec cependant quelques pics. Sur la période d'observations, la concentration moyenne est, respectivement, de 8,4 et 9,3 mg NO₃/l, pour P1 et P2 – Devant-le-Pont.

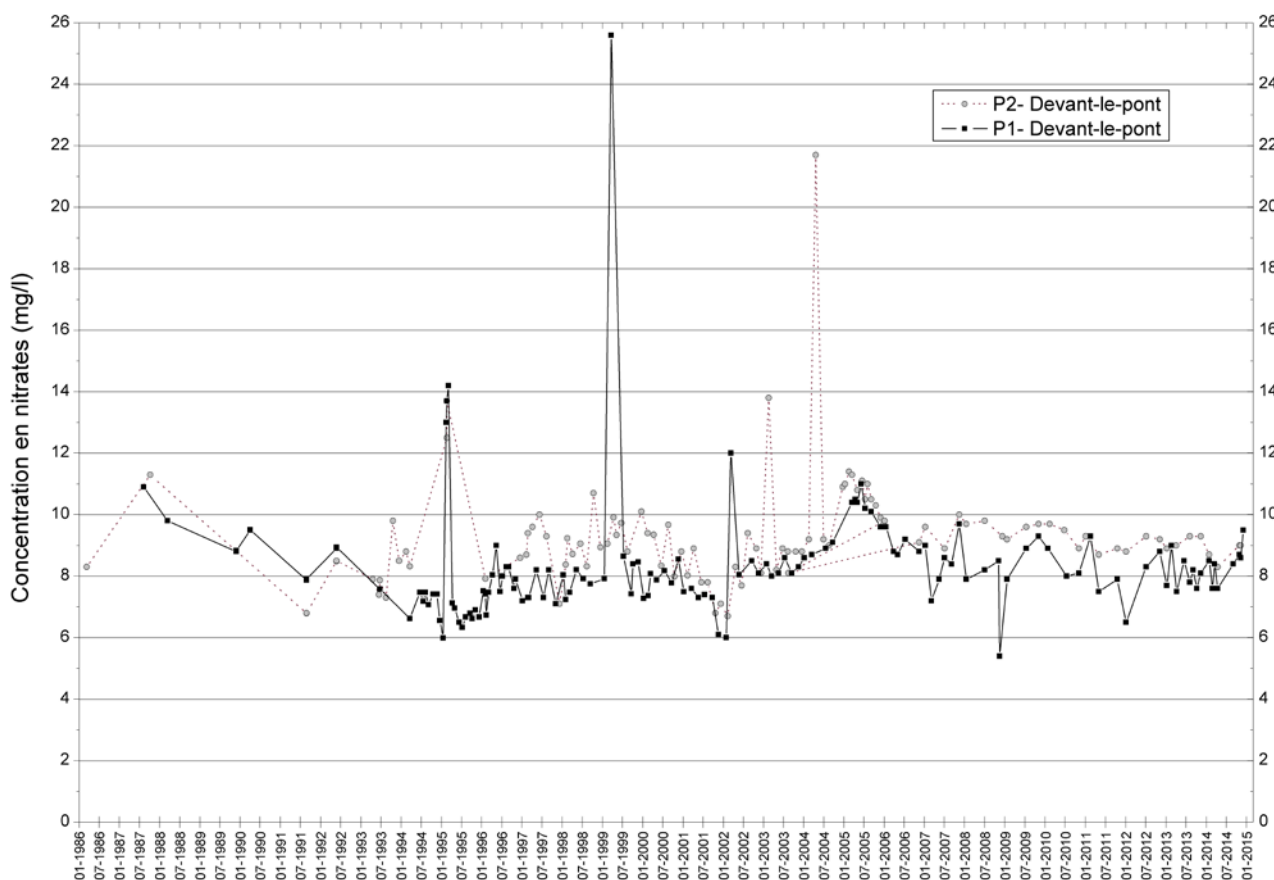


Figure V.3: Evolution des teneurs en nitrates dans la nappe alluviale de la Meuse

Concernant les autres unités hydrogéologiques présentes sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, on ne dispose pas de chroniques analogues. Pour les nappes logées dans les *alluvions anciennes* (terrasses mosanes) et dans les *formations du Crétacé*, quelques données sont disponibles. Les ouvrages BER3 et WAR2 font partie du réseau 'Survey Nitrates' de la Région Wallonne (Figure V.4). Les concentrations en nitrates observées au droit de WAR2 montrent, qu'en ce lieu, l'aquifère crayeux présente des teneurs de l'ordre de 30 mg NO₃/l, et donc sous la norme de potabilité (50 mg/l). Il n'en est pas de même pour la nappe logée dans la terrasse mosane de Bombaye-Berneau où se situe le puits BER3 (moyenne, établie sur la période d'observation, 77,6 mg NO₃/l). Aux Trixhes, la SWDE possède un drain (non exploité). Les concentrations en nitrates y étaient aux alentours de 60 mg/l au début des années 80,

ensuite elles ont nettement augmenté (95,3 mg NO₃/l - 24/10/1985; 115 mg NO₃/l - 12/12/1994). Ces données, très ponctuelles, sont à considérer avec précaution. Cependant à côté des quelques valeurs extrêmes observées, d'une manière générale les teneurs en nitrates dans les eaux de la nappe des terrasses est basse (médiane: 7 mg/l)(Interreg II, 2000).

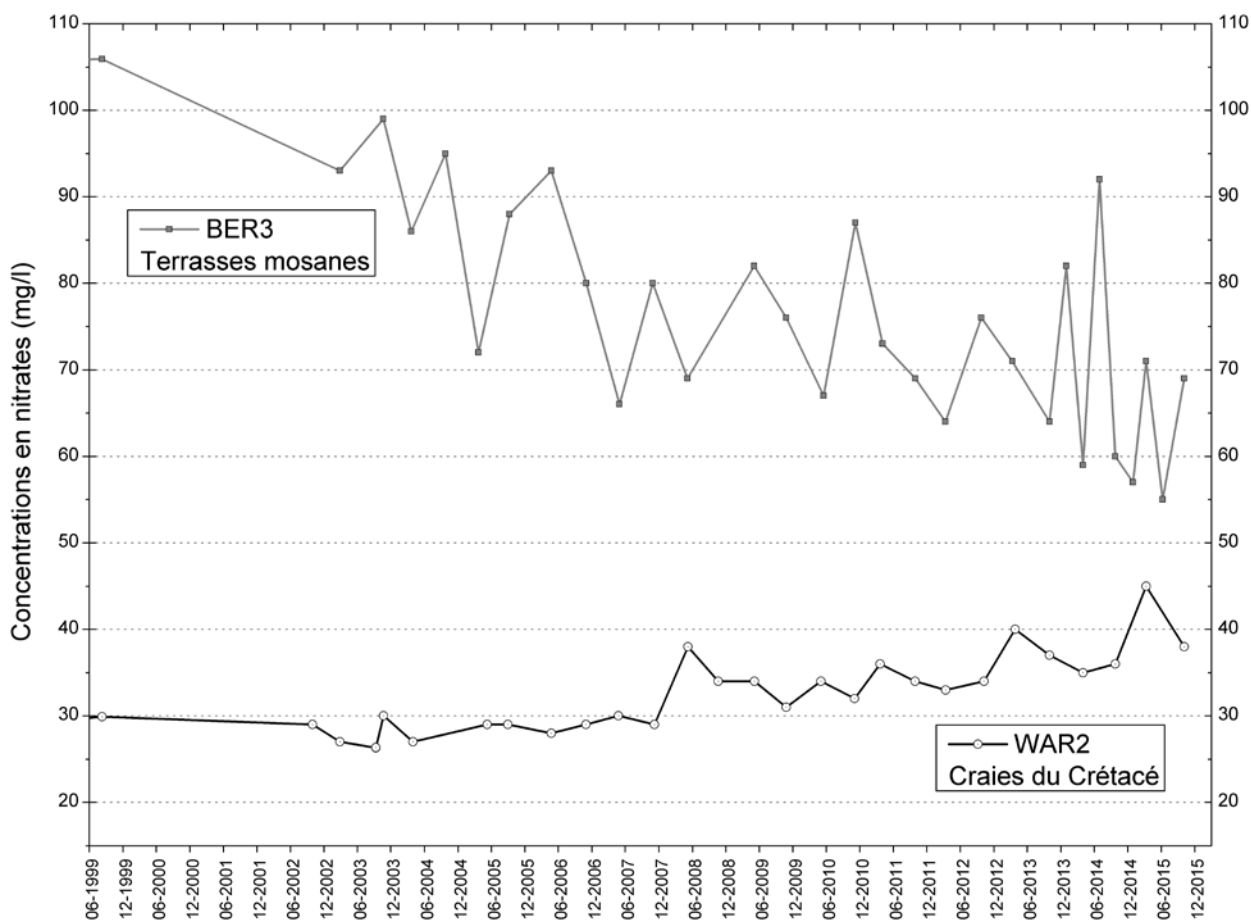


Figure V.4: Evolution des teneurs en nitrates – Aquifère des terrasses fluviales & Aquifère des craies du Crétacé

Les concentrations en nitrates dans les eaux issues des Formations de Vaals et d'Aachen ont une valeur médiane de 20,3 mg/l, quelques puits ont des teneurs inférieures à 1 mg/l. 11,8% des échantillons dépassent le seuil des 50 mg/l (Interreg II, 2000).

Parmi les ouvrages renseignés dans la banque de données DOV de la Région Flamande, plusieurs ouvrages sont implantés dans le socle (HCOV 1300). Les piézomètres crépinés à différentes hauteurs dans cette unité hydrogéologique montrent des concentrations en nitrates qui diminuent avec la profondeur (25-30 mg/l à 1-2 mg/l).

V.3. QUALITE BACTERIOLOGIQUE

Les paramètres microbiologiques des eaux destinées à la distribution publique sont régulièrement mesurés par les compagnies d'eau et l'administration wallonne. Ainsi, la qualité microbiologique des eaux est mesurée à partir de la présence de bactéries indicatrices de contamination fécale telles que les entérocoques, E.Coli ou les coliformes.

D'après les données disponibles (Tableau V.4), la qualité bactériologique des eaux souterraines de la carte Visé-Sint-Martens-Voeren est bonne. Quelques germes sont parfois détectés dans les analyses. Une chloration est opérée avant la distribution de l'eau sur le réseau.

Tableau V.4: Paramètres microbiologiques des eaux souterraines

Unité hydrogéologique			Aquifère alluvial de la Meuse		Aquifère des craies du Crétacé du Pays de Herve
Paramètre	Unité	Niveau-guide	P1-Devant le Pont	P2-Devant le Pont	WAR 2
		Code de l'Eau	03/02/2015	14/09/2015	15/10/2013
Germes totaux à 22°C	nbre / ml	-	0	0	-
Germes totaux à 37°C	nbre / ml	-	0	0	1
Coliformes totaux	nbre / 100 ml	0	0	0	1
Coliformes fécaux	nbre / 100 ml	0	-	-	-
Escherichia coli	nbre / 100 ml	0	0	0	1
Entérocoques fécaux	nbre / 100 ml	0	0	0	0
Clostridium perfringens	nbre / 100 ml	0	0	0	-

V.4. PESTICIDES

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

La figure V.5 montre l'impact des pesticides sur la qualité des eaux souterraines wallonnes. Cette carte illustre l'indicateur 'Pesticides dans les eaux souterraines (n°91)' de l'analyse des composantes de l'environnement présentée dans le rapport sur l'état de l'environnement wallon 'Les Indicateurs clés de l'Environnement Wallon 2012' (ICEW, 2012). Cet indicateur rend compte de manière simplifiée et globale de la qualité des eaux souterraines wallonnes par rapport aux pesticides. Les indices¹⁰ de qualité révèlent que les aquifères investigués de la région de Visé - Sint-Martens-Voeren sont classés en catégorie 'Très bonne' pour l'altération 'Pesticides'.

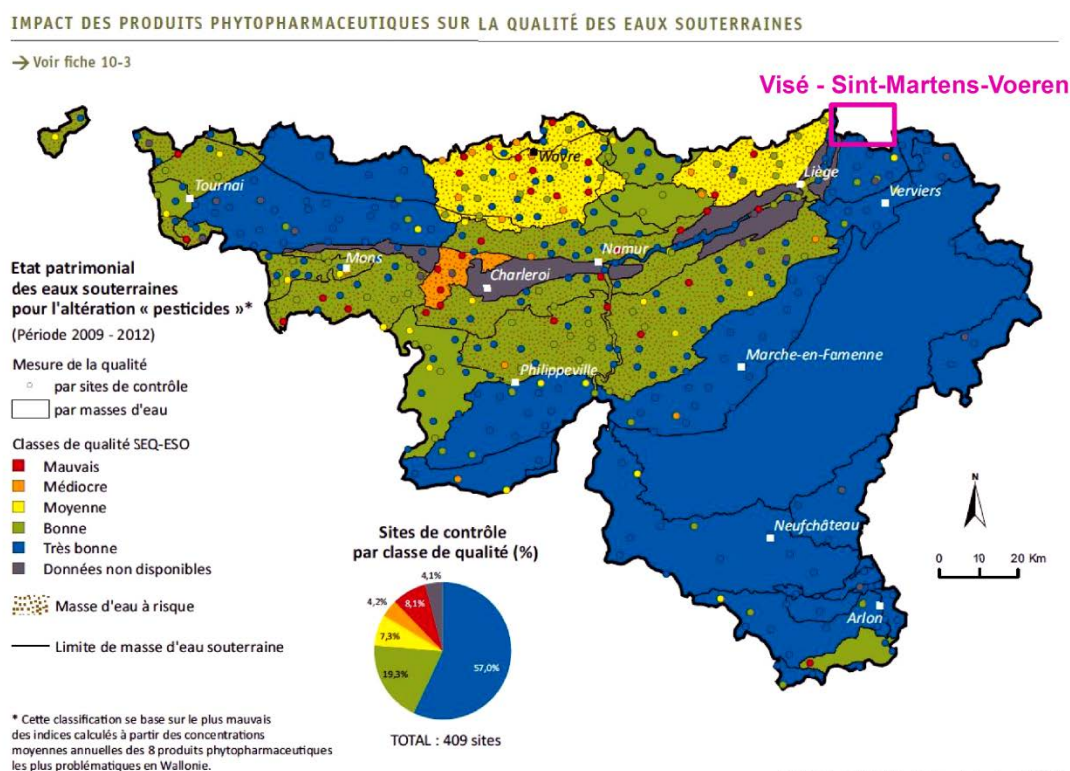


Figure V.5: Pesticides en Région wallonne (ICEW, 2012; carte 19 modifiée)

¹⁰ Indice calculé à partir des concentrations moyennes annuelles en atrazine, déséthylatrazine, simazine, diuron, isoproturon, chlortoluron, bromacile, bentazone et 2,6-dichlorobenzamide (BAM)

D'après les données disponibles, à ce jour, aucune contamination marquée des eaux souterraines par les pesticides n'est observée (Tableau V.5). A l'instar des analyses microbiologiques, les analyses sur les pesticides concernent généralement les eaux captées par les ouvrages publics et destinées à la distribution. Les concentrations, par produit ou pour l'ensemble des pesticides, restent largement sous la norme de potabilité. Les valeurs maximales admises par le Code de l'Eau pour la plupart de ces produits phytosanitaires (ici, essentiellement des herbicides) sont de 100 ng/l. Cinq types de pesticides sont systématiquement recherchés lors des analyses spécifiques: l'atrazine et son métabolite, le déséthyl-atrazine, la simazine, le diuron et l'isoproturon. Des nouvelles dispositions réglementaires, en lien avec les produits phytopharmaceutiques, sont entrées en vigueur le 1^{er} juin 2015. La phytolice¹¹, nouveau certificat portant sur les connaissances des utilisateurs professionnels de produits phytopharmaceutiques, est obligatoire depuis le 25 novembre 2015. Ces mesures devraient contribuer à moyen et à long terme à la réduction des pesticides dans les eaux souterraines.

Tableau V.5: Principaux pesticides analysés dans les eaux souterraines de la carte Visé - Sint-Martens-Voeren

Unité hydrogéologique		Aquifère alluvial de la Meuse	Aquifère des craies du Crétacé du Pays de Herve
Pesticide	Niveau-guide	P1- Devant-le-Pont	WAR 2
	Code de l'eau	02/06/2014	15/10/2009
Atrazine (ng/l)	100	<10	<10
Déséthyl Atrazine (ng/l)	100	<10	<10
Simazine (ng/l)	100	<10	<10
Diuron (ng/l)	100	<10	<10
Isoproturon (ng/l)	100	<10	<10
Chlortoluron (ng/l)	100	<10	<10
Bromacile (ng/l)	100	<10	<10
Bentazone (ng/l)	100	<10	<10
2,6-dichlorobenzamide (BAM) (ng/l)	200	<25	<10

¹¹ Infos sur http://agriculture.wallonie.be/pwrp/programme_resume.pdf & www.phytolice.be & <http://www.crphyto.be/>

V.5. AUTRES PARAMÈTRES: MÉTAUX LOURDS, RADIOACTIVITÉ

Peu d'analyses sont disponibles pour caractériser, avec précision, les teneurs en métaux lourds dans les eaux souterraines de la carte Visé-Sint-Martens-Voeren. A ce jour, d'après les données disponibles, on remarque, localement et temporairement, la présence de métaux tels que Zn, Fe, Cu, Mn, Se, B (en traces) pour les principaux.

Depuis toujours, la surface terrestre, et donc l'homme, sont exposés à des radiations ionisantes d'origine naturelle. La radioactivité naturelle comprend la radioactivité géologique et le rayonnement cosmique. A cette exposition naturelle, s'ajoute l'exposition à la radioactivité anthropique, imputable essentiellement aux applications médicales. La dose moyenne effective de radiations ionisantes s'élève en Belgique à 4,6 mSv/an dont $\approx 2,6$ mSv/an sont dues aux radiations naturelles (de Saint Georges, 2006; Maes, 2006; Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007). En Belgique¹², les limites de dose réglementaires s'élèvent à 1 mSv/an pour la population (Arrêté Royal du 20/07/2001). Ces limites s'appliquent à la radioactivité liée aux activités humaines (hors exposition médicale).

L'exposition de la population aux rayonnements ionisants est essentiellement due au radon¹³. Ce gaz représente environ 1/3 de l'exposition moyenne de la population à la radioactivité et de l'ordre de 50 % de la dose due aux radiations d'origine naturelle (WHO, 2006). De part sa nature gazeuse, le radon, naturellement présent dans le sol, diffuse partout. Il peut ainsi s'accumuler à l'intérieur d'endroits clos tels des grottes, des mines, des maisons ou autres bâtiments, à des concentrations variables (selon la situation géographique, le type de construction; les conditions météorologiques). En Belgique, les concentrations en radon sont en moyenne relativement faibles. Elles sont plus élevées en Wallonie (70 Bq/m³) qu'en Flandre (35 Bq/m³) pour des raisons liées à la richesse en uranium des matériaux géologiques (de Saint Georges, 2006). Actuellement, il n'y a aucune norme obligatoire en matière de concentration en radon dans l'air à l'intérieur des habitations, ni en Belgique, ni au niveau européen. Cependant, la Commission européenne¹⁴ recommande que le seuil maximal soit fixé à 400 Bq/m³ pour les bâtiments existants et à 200 Bq/m³ pour les nouvelles constructions. La législation européenne en la matière est actuellement en cours de révision¹⁵ (Basic Safety Standards Directive, liée à la directive 96/29/Euratom). Le nouveau texte proposé est basé, entre autres, sur les récentes recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (ICRP, 2007) et sur l'expérience acquise par les Etats membres et la Commission européenne dans le domaine.

¹² La radioactivité est une compétence fédérale. Sites Web utiles: <http://www.fanc.fgov.be> - <http://www.sckcen.be> - <http://www.controlatom.be>

¹³ Le radon est un gaz naturel inerte et radioactif, dépourvu d'odeur, de couleur ou de goût et son principal isotope est le radon-222 (Rn222, durée de vie: 3.82 jours). Il est issu du radium (Ra226) qui fait partie de la chaîne de désintégration de l'uranium (U238), élément que l'on trouve en quantités variables dans toutes les roches et les sols de la planète.

¹⁴ Recommandation 90/143/Euratom de la Commission du 21 février 1990 (JO L80 du 27.3.1990, p.26, reprise dans la recommandation 2001/928/Euratom du 20 décembre 2001 (JO L344 du 28.12.2001, p.85).

¹⁵ Plus d'informations sur le site de la Commission européenne, thème: Energie: http://ec.europa.eu/energy/nuclear/consultations/2009_04_20_natural_radiation_sources_en.htm

Une radioactivité anormalement élevée a été mise en évidence par Legrand dans la région de Visé (Legrand, 1956 & 1958). Ces anomalies, plusieurs dizaines de fois supérieures au bruit de fond, furent attribuées à la présence de brèches phosphatées dans les calcaires viséens (Herbosch et al, 1979). Une campagne de terrain menée en 1988 a permis d'estimer les teneurs en radon dans les habitations. Si de hautes activités ($[Rn222] > 1000 \text{ Bq/m}^3$) furent localisées dans les zones d'affleurements des calcaires du Viséen et du Frasnien, des activités de 200 à 400 Bq/m^3 ont été mesurées à Cheratte, sur les terrains du Houiller, ainsi qu'à Lixhe et Lanaye, sur les alluvions. Ces teneurs élevées furent attribuées par les experts à la présence d'uranium dans le sous-sol (Hallez et al, 1992).

La présence de radon dans les eaux souterraines peut être liée à deux mécanismes:

- la désintégration du radium dissous dans l'eau (le radium est un alcalino-terreux comme Ca et Mg). C'est le radon lié,
- la dissolution du gaz radon, provenant de la désintégration des radioéléments solides (uranium-radium) présents dans les roches et les sols (3 ppm ou gr/tonne en moyenne dans les roches de la croûte terrestre). C'est le radon libre. (Charlet, 1999).

L'UNSCEAR et le *National Research Council* estiment que 1000 Bq/l de radon dans l'eau de distribution entraînent une augmentation de la concentration de radon dans l'air à l'intérieur des bâtiments de l'ordre de 100 Bq/m^3 en moyenne¹⁶. Il n'y a actuellement pas de norme de potabilité pour le radon dans l'eau potable. L'Organisation Mondiale de la Santé et la Commission européenne recommandent la mise en place de contrôles si le radon dépasse 100 Bq/l dans l'eau fournie dans le cadre d'une activité commerciale ou publique. Pour des concentrations supérieures à 1000 Bq/l , les mesures correctives sont jugées justifiées au plan de la protection radiologique (JO L 344 du 28/12/2001, p.85). La recherche du radon ($Rn222$) dans les eaux souterraines n'est pas tant importante pour lui-même (car il dégaze rapidement et est donc peu ingéré) que pour ses produits de filiation: le plomb ($Pb210$) et le polonium ($Po210$). Ces radionucléides sont toxiques. Au-delà d'une concentration de référence de 0,1 Bq/l $Po210$ et 0,2 Bq/l $Pb210$, la Commission européenne invite à prendre les mesures correctives nécessaires en vue de protéger la santé humaine.

La corrélation entre des teneurs élevées en radon et le contexte géologique a été largement étudiée. Des concentrations élevées en radon sont souvent observées dans les eaux logées dans les roches cristallines. D'une manière générale, les concentrations élevées sont associées à des fortes concentrations d'uranium dans le socle rocheux. De nombreuses études ont été menées en Europe, aux Etats-Unis et ailleurs dans le monde. Des études menées dans le Bassin de Mons et le Nord de la France ont fait apparaître qu'il n'existe pas nécessairement une corrélation étroite entre les concentrations en radon mesurées dans les eaux de sources et de puits et, les teneurs en uranium dans les roches mères (Quinif et al, 1992). Pour ces auteurs, le

¹⁶ Journal officiel des Communautés européennes JO L 344 du 20/12/2001, p.85.

-UNSCEAR 1993 report. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, 1993

-Risk Assessment of Radon in Drinking Water. Committee on Risk Assessment of Exposure to Radon in Drinking Water, Board on Radiation Effects Research, Commission of Life Sciences, NRC (National Research Council). National Academy Press, Washington DC, 1999.

radon se déplace dans les aquifères poreux par diffusion atomique: sa vitesse de diffusion excède la vitesse de déplacement de l'eau souterraine. Par contre, dans les aquifères karstiques, le radon est entraîné par le courant d'eau souterraine, ici très rapide. Ils en arrivent à la distinction entre aquifère lent et aquifère rapide. Les aquifères lents, siège de la diffusion du radon, regroupent les aquifères poreux ou fracturés avec fractures colmatées. Les aquifères rapides sont caractérisés par un transport du radon surtout par convection due au déplacement de l'eau souterraine, comme les aquifères karstiques.

Dans la région couverte par la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, les premières investigations sur la radioactivité des eaux souterraines ont débuté dans les années septante. En 1973, des analyses du radon dans l'eau de distribution de Visé ont été effectuées (Herbosch et *al*, 1979). Les concentrations observées sont de l'ordre de 28,5 à 36,3 Bq/l pour le captage de Bombaye (drain dans les terrains du Crétacé, implanté à proximité du contact Viséen-Houiller, SWDE) et de 16,1 Bq/l pour le puits P1-Devant-le-Pont (puits dans les alluvions, CILE). A titre de comparatif, l'eau de la Meuse, également testée, présente une teneur en radon de 0,26 Bq/l. En 1987; lors de l'implantation du puits 'Quai du barrage' à Lixhe (SWDE), une mesure de la radioactivité a été réalisée. Les teneurs en radium 226 sont inférieures à 0,4 Bq/l, en tritium à 5,1 Bq/l. Les émissions α total et β total se situent respectivement à 0,1 Bq/l et 0,23 Bq/l (SWDE, 1987). Toutes ces valeurs sont inférieures aux recommandations de l'OMS ou des Communautés européennes. Une récente étude menée par l'Institut Scientifique de Santé Publique (Flémal, 2007) indique que le radon est présent significativement (> 100 Bq/l) surtout dans les aquifères du Dévonien inférieur (formations schisto-gréseuses de l'Ardenne) ainsi que dans le socle paléozoïque du Massif du Brabant et dans les calcaires du Carbonifère (formations géologiques rencontrées sur la carte étudiée). Dans la région couverte par la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, seule le site de captage de la CILE 'Devant-le-Pont' a fait l'objet d'un prélèvement lors de cette étude. La concentration en Rn222 (radon) y était de 17 Bq/l (mai 2007). Par contre, l'uranium radioactif, son précurseur initial, y était bien présent (U: $81 \cdot 10^{-3}$ Bq/l, U: 3,2 $\mu\text{g/l}$), ainsi que le radium (Ra226 $< 23 \cdot 10^{-3}$ Bq/l). Les activités α total et β total se situaient respectivement à $116 \cdot 10^{-3}$ Bq/l et $65 \cdot 10^{-3}$ Bq/l (données fournies par la CILE, paramètres analysés par l'Institut Scientifique de Santé Publique).

V.6. SITE 'WALSOLS' (SPAQUE)

Sur le plateau agricole entre les villages de Bombaye et Dalhem, le site 'Chemin de Surisse' (Lg2202-001) fait l'objet d'une surveillance environnementale par la SPAQuE (SPAQuE, 2002, 2014, 2015; SPAQuE-Ecorem, 2003). Sur et autour de cette ancienne gravière remblayée par des déchets divers, des piézomètres sont implantés soit dans les déchets, soit dans la couche graveleuse des terrasses fluviales, soit dans les roches schisto-gréseuses fissurées du Houiller. Les logs géologiques montrent que les graviers, limons et argiles fluviales reposent directement sur le socle houiller (absence de Crétacé dans cette zone). Une couche d'argile (altération pré-santonienne du Houiller) est présente au nord-ouest du site (log P20) dont l'épaisseur s'accroît rapidement lorsqu'on s'éloigne du site.

Plusieurs nappes ont été identifiées:

- une première nappe dans les déchets (Nappe des remblais): l'eau est rencontrée à une profondeur de 6 m (à l'ouest) à 11 m (à l'est), avec un écoulement dirigé vers le nord-est. Elle est directement alimentée par les précipitations, il n'y a aucun apport latéral (certains piézomètres sont parfois à sec). Elle se retrouve, localement et temporairement, en position perchée par rapport à la nappe graviers/schistes, en fonction des conditions hydrogéologiques. Dans la partie est, cette nappe est directement en contact avec la nappe sous-jacente (absence d'argile).
- une deuxième nappe logée dans la couche sablo-graveleuse (Aquifère des terrasses fluviales): située à une profondeur de 9 à 12 m, avec un écoulement souterrain divergent. Une crête hydrogéologique traverse le site d'est en ouest. Les écoulements souterrains se font vers le nord-ouest (en direction de la Berwinne) et vers le sud-ouest.
- une troisième nappe logée dans les schistes et grès fissurés du Houiller (Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller): le niveau d'eau est situé entre 14 et 16 m de profondeur, avec un écoulement souterrain général dirigé vers le nord-ouest. Au sud et sur la partie est du site, la nappe des terrasses fluviales et celle du Houiller ne semblent pas séparées par une couche d'argile.

Depuis quelques années, des contrôles analytiques des eaux souterraines sont régulièrement effectués. *Les investigations des caractérisations en 2003 avaient mis en évidence une atteinte marquée des eaux souterraines de la nappe des terrasses alluviale et de la nappe des schistes* (contamination significative des eaux souterraines, en métaux lourds, chlorures, huiles minérales, benzène et azote Kjeldahl). *Les campagnes de surveillance environnementale effectuées depuis novembre 2004 ont permis de confirmer l'atteinte significative aux eaux souterraines, avec cependant une répartition spatiale différente.* En effet, la pollution est observée au nord et non à l'ouest du site. De plus, les terrains altérés du Houiller semblent peu impactés par rapport à la nappe logée dans les terrasses fluviales. Aucun impact significatif de la décharge sur les captages privés à proximité du site n'a été identifié (SPAQuE, 2014). Des informations complètes sont disponibles via la banque de données WALSOLS.

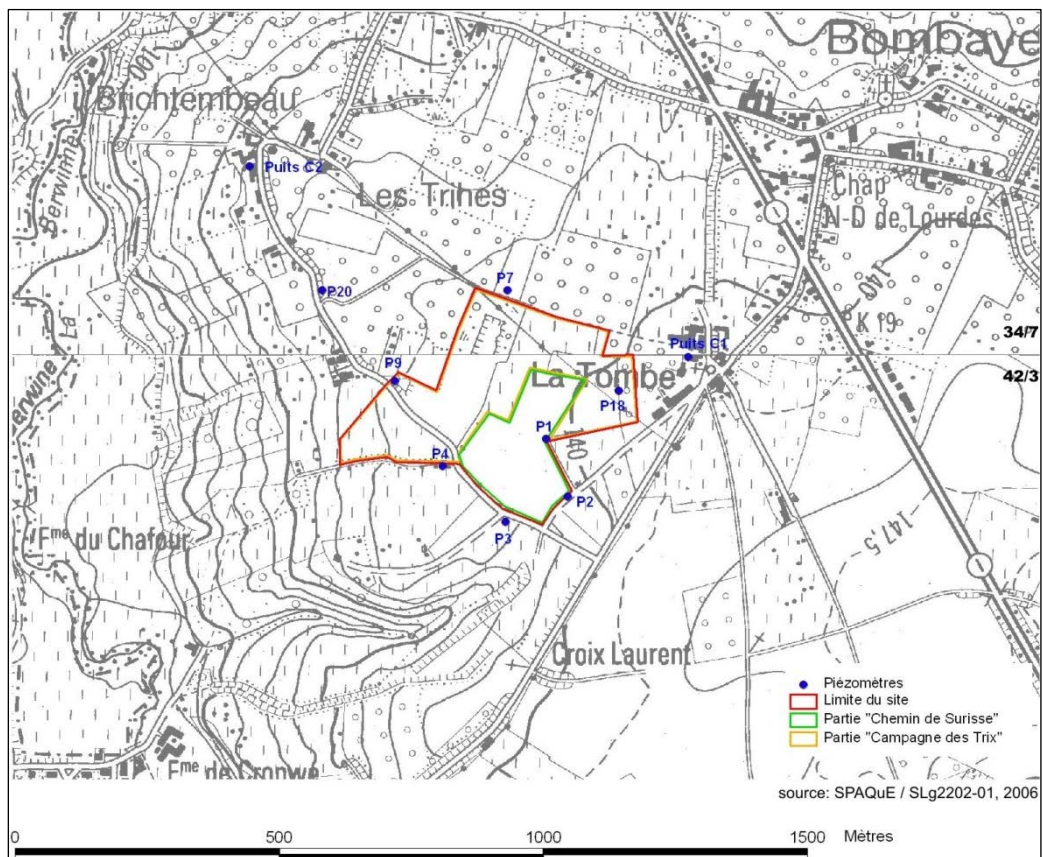


Figure V.6: Localisation du site 'Chemin de Surisse' (Lg2202-001, SPAQuE) – Bombaye, Dalhem

VI. EXPLOITATION DES AQUIFERES

Les données présentées dans ce chapitre ne concernent que les prises d'eau situées en Wallonie. Elles sont extraites de la base de données du Service Public de Wallonie. Malheureusement, l'encodage des volumes d'eau prélevés n'est pas complet. Ceci concerne principalement les petits exploitants et donc les petits volumes (< 3000 m³/an). Les puits des particuliers et des agriculteurs ne sont pas tous pourvus d'un compteur. Les données concernant le territoire flamand de la carte sont relatives aux volumes autorisés (donc il ne s'agit pas des volumes réellement prélevés dans les aquifères).

Sur la carte thématique intitulée "Carte des volumes d'eau prélevés", les volumes sont classés selon différentes catégories : les prélèvements d'eau destinés à la distribution publique d'eau potable (pastilles rouges) et les prélèvements à usage privé¹⁷ (pastilles vertes). Les volumes présentés sont des volumes de l'année 2015 pour les ouvrages de distribution publique d'eau et de 2014 pour les "autres volumes". Sur cette même carte, sont aussi reportés les volumes moyens sur cinq ans, ici 2010-2014. Ils illustrent de manière plus réaliste l'exploitation des eaux souterraines sur la carte étudiée. Ces valeurs moyennes ne sont pas représentatives du potentiel d'exploitation ni de l'exploitation réelle des nappes. Elles reflètent simplement l'importance d'un site d'exploitation pendant les cinq années considérées. Parmi ces dernières, il se peut que certaines d'entre elles soient des années sans prélèvement.

Prélèvements destinés à la distribution publique d'eau potable

Sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, on dénombre cinq ouvrages de prise d'eau pour la distribution publique (4 puits, 1 drain). Ils appartiennent à la CILE ou à la SWDE. Parmi ces ouvrages, seuls les deux puits de la CILE sont toujours en activité. Il s'agit des forages P1 et P2 'Devant le Pont', situés à Visé. Ils sollicitent la nappe alluviale de la Meuse. Le volume moyen prélevé est de 294 000 m³/an pour P1 et de 43 500 m³/an pour P2 (moyenne établie sur la période 1991-2015). On constate une nette augmentation des prélèvements au P1 depuis 2007-2008 (Figure VI.1).

¹⁷ La catégorie "Autres volumes" regroupe les volumes à usage privé, c'est-à-dire les prélèvements des particuliers, des agriculteurs, des industries... tout prélèvement d'eau souterraine qui n'est pas destinée à la distribution publique d'eau potable.

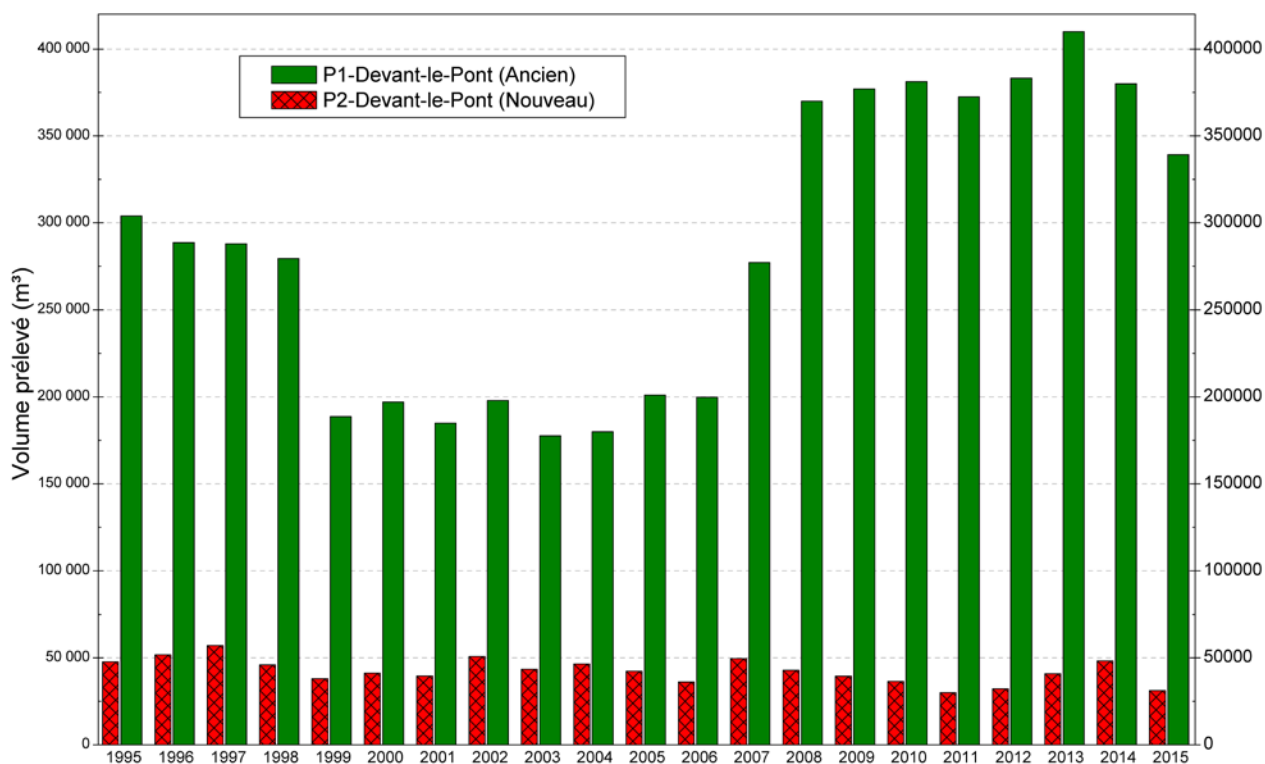


Figure VI.1: Volumes prélevés pour la distribution publique d'eau potable

Autres prélèvements (industries, agriculteurs, particuliers)

Une quinzaine de captages privés, appartenant essentiellement à des particuliers, des agriculteurs ou des industries, sollicitent quelques-unes des unités hydrogéologiques présentes sur la carte étudiée. Les volumes prélevés annuellement sont très variables, compris entre quelques dizaines de m³ et quelques milliers (maximum: 10 000 m³). Ces prélèvements sont aussi assez irréguliers dans le temps. Au nord de la carte, en bordure de Meuse, d'importants pompages d'exhaure ont lieu suite aux travaux de l'agrandissement de l'écluse de Lanaye. Ces prélèvements dans la nappe alluviale peuvent être très élevés (jusqu'à 16,6 10⁶ m³/an). Il s'agit de pompages limités dans le temps à la durée des travaux.

En Flandre

Dans la partie flamande de la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, il n'y a pas de prélèvements d'eau pour la distribution publique. Par contre on compte onze prises d'eau privées. Elles sont essentiellement destinées à l'agriculture (cultures & élevages, horticulture). Comme mentionné, les seules données disponibles concernant les prélèvements d'eau sont les volumes autorisés. Normalement, il s'agit donc des volumes maximums prélevés. Ils sont assez variables d'un puits à l'autre, compris entre 500 et 24 000 m³ par an. Ces ouvrages sollicitent principalement l'aquifère du Crétacé du Brulandkrijtstroom (HCOV:1100).

VII. PARAMETRES D'ÉCOULEMENT ET DE TRANSPORT

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tableau VII.3: Intervalles de valeurs indicatives pour la porosité (n) et la porosité effective de drainage (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. AQUIFERES DU CRETACE

Plusieurs études hydrogéologiques ont été menées dans le Pays de Herve afin de caractériser au mieux les différentes formations aquifères du Crétacé.

Aquifère des craies du Crétacé

En 1986, une quinzaine d'essais de pompage ont été réalisés dans le cadre de l'étude des ressources en eau du Pays de Herve (Huygens, 1986). Les paramètres hydrodynamiques sont fonction du taux de fissuration de la craie (Formation de Gulpen).

On observe des transmissivités comprises entre $0,1 \times 10^{-4}$ et 5×10^{-4} m²/s, dans les zones où la craie est fort fissurée. Ces dernières sont plutôt situées dans l'est et le nord du Pays de Herve. La conductivité hydraulique moyenne (K) est de l'ordre de $0,2 \times 10^{-4}$ m/s.

Aquifère- Aquitard de Vaals

Quelques essais de pompage ont été effectués dans des puits implantés dans la Formation de Vaals, dans la partie orientale du Plateau de Herve.

Dans la région d'Aubel – Thimister (carte Dalhem-Herve), des valeurs de transmissivité allant de 0,1 à $0,5 \times 10^{-4}$ m²/s, de conductivité hydraulique comprises entre 0,01 et $0,3 \times 10^{-4}$ m/s ont été mesurées (Huygens, 1986).

VII.2. AQUIFERE ALLUVIAL DE LA MEUSE

La plaine alluviale de la Meuse en aval de Liège a fait l'objet de plusieurs études et recherches scientifiques qui ont permis de mieux connaître son comportement hydrogéologique.

Sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, les sites Lanaye et Lixhe ont été investigués lors d'une étude menée sur la plaine alluviale de la Meuse en aval de Liège (LGIH, 1987 & 1990). Plusieurs piézomètres ont été forés. Des essais de pompage ont été réalisés sur le site de Lanaye. Le tableau VII.1 résume les résultats obtenus lors des essais de pompage réalisés en juillet 1989. Le coefficient d'emmagasinement, S, varie entre 0,05 et 5,47 %. Cependant, seule la valeur de 5,47 %, correspondant au pompage de longue durée (27h, Q moyen: 120 m³/h), peut être prise en considération compte tenu du temps de pompage suffisant, nécessaire pour le calcul de S. Cette valeur correspond à des terrains graveleux plus ou moins sableux.

Tableau VII.1 : Ordre de grandeur des paramètres hydrodynamiques de la nappe alluviale de la Meuse, à hauteur de Lanaye.

T en rabattement	$23,4 \times 10^{-2}$ à $26,75 \times 10^{-2}$ m ² /s
T en remontée	$23,2 \times 10^{-2}$ à $23,75 \times 10^{-2}$ m ² /s
T en régime permanent	$13,5 \times 10^{-2}$ à $36,35 \times 10^{-2}$ m ² /s
K (=T/e)	$13,5 \times 10^{-3}$ à $36,35 \times 10^{-3}$ m/s
Hauteur de l'aquifère (e)	10 à 11 m

Dans la zone du barrage de Lixhe, plusieurs essais de pompage (par paliers et de longue durée) ont été réalisés. Les transmissivités ont été calculées par la méthode de Theis. En rive gauche, elles varient entre $6,2 \times 10^{-2}$ et $26,8 \times 10^{-2}$ m²/s en pompage, et entre $6,9 \times 10^{-2}$ et $56,1 \times 10^{-2}$ m²/s en remontée. Le coefficient d'emmagasinement pour les graviers limoneux varie entre 4 et 9 %, celui des graviers sableux varie entre 12 % et 20 %. En rive droite, les transmissivités sont comprises entre $3,6 \times 10^{-2}$ et $23,6 \times 10^{-2}$ m²/s en pompage, et entre $4,5 \times 10^{-2}$ et $30,2 \times 10^{-2}$ en remontée. Le coefficient d'emmagasinement varie entre 0,02 % et 5 %. Les conductivités hydrauliques peuvent être déduites, en divisant ces valeurs par 5 (estimation de la hauteur saturée: 5 m) (Compère, 1988).

En février-mars 1998, plusieurs essais de traçage ont été réalisés au droit du site expérimental d'Hermalle-sous-Argenteau (site directement au sud de la carte étudiée). Les paramètres hydrodispersifs calibrés sont représentatifs de la nappe logée dans les graviers alluviaux. Les valeurs calibrées de la porosité efficace sont comprises entre 3,5 % et 8 %. La dispersivité longitudinale a des valeurs variant entre 0,4 m et 4 m. Ce paramètre présente un important effet d'échelle tant spatial que temporel (Brouyère, 2001).

VII.3. AQUICLUDE A NIVEAUX AQUIFERES DU HOULLER

Peu de données sont disponibles au droit de l'aquifère fissuré dans les formations schisto-gréseuses du Houiller sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren. Dans la région de Berneau, un essai de pompage dans le puits BER3 a permis de déterminer une transmissivité de l'ordre $1,8 \times 10^{-4}$ m²/s, avec K moyen de $0,8 \times 10^{-4}$ m/s (Huygens, 1986).

VII.4. AQUIFERE DES CALCAIRES DU CARBONIFERE

A la suite du forage du puits 'Quai du Barrage P1' à Lixhe, la SWDE y a réalisé des essais de pompage. Ce puits sollicite la nappe logée dans les calcaires karstifiés du Viséen sous une importante couverture de silicite peu perméable (Houiller). Le puits est tubé jusqu'à 87 m. Ensuite de 87 à 97 m, le trou du forage est libre (absence de tubage). Ce puits est artésien jaillissant (Q estimé à 200 m³/h). Le 3 avril 1987, l'eau montait à +2,66 m par rapport à la margelle (SWDE, 1987).

L'essai de pompage de longue durée (456 h + 10 h de remontée) a été réalisé avec un débit de 348 m³/h. Le rabattement observé dans le puits en fin de pompage était de 5,31 m. Les transmissivités obtenues sont meilleures en début de test, de l'ordre de 15 à 26×10^{-2} m²/s. Ensuite, elles chutent aux alentours de 3 à 4×10^{-2} m²/s.

VIII. ZONES DE PROTECTION

VIII.1. CADRE LEGAL

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

Afin de limiter les risques de contamination des captages, des périmètres de prévention doivent être mis en place. La législation wallonne¹⁸ définit quatre niveaux de protection à mesure que l'on s'éloigne du captage : zones de prise d'eau (Zone I), de prévention (Zones IIa et IIb) et de surveillance (Zone III).

1° Zone de prise d'eau ou zone I

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

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

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

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

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

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

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

¹⁸ 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)

- 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 2009¹⁹.

La Société publique de Gestion de l'Eau²⁰ assure la gestion financière des dossiers concernant la protection des eaux probables distribuées par réseaux, par le biais de contrats de service passés avec les producteurs d'eau. Pour financer les recherches relatives à la délimitation des zones de prévention et indemniser tout particulier ou toute société dont les biens doivent être mis en conformité avec la législation, une redevance est prélevée sur chaque m³ fourni par les sociétés de distribution d'eau.

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

Un autre site a également été développé, permettant grâce à une recherche rapide par commune ou par producteur d'eau, de visualiser, soit la carte et le texte des zones

¹⁹ 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)

²⁰ SPGE, instituée par le décret du 15 avril 1999

officiellement désignées par arrêté ministériel, soit par carte de chaque zone actuellement soumise à l'enquête publique (http://environnement.wallonie.be/zones_prevention/).

VIII.2. ZONES DE PREVENTION DES CAPTAGES DE LA CILE ET DE LA SWDE

A ce jour, aucune zone de prévention autour des puits dont l'eau est destinée à la distribution publique, n'a été arrêtée par le Gouvernement wallon. Les zones à définir sont symbolisées sur la carte hydrogéologique par un triangle vide, tracé autour des captages exploités pour la distribution d'eau potable. Les prises d'eau pour lesquelles il a été mentionné un arrêt définitif, ne sont pas reprises.

Sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, les sites de captages de la SWDE sont hors service ou l'arrêt depuis de nombreuses années. Seuls les puits de la CILE sont toujours en exploitation. Ainsi sur la carte hydrogéologique, deux sites sont marqués par le symbole triangulaire 'Zone de prévention à définir'. Ils sont repris dans le tableau VIII.1.

Tableau VIII.1: Zones de prévention à définir – Carte Visé-Sint-Martens-Voeren

Captage	Code RW	X (m)	Y (m)	Titulaire
P1-Devant le Pont (Ancien)	34/7/7/005	242755	159399	CILE
P2-Devant le Pont (Nouveau)	34/7/7/004	242838	159418	CILE

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

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

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

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

IX. METHODOLOGIE D'ELABORATION DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE

Ce chapitre décrit brièvement les données géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques utilisées pour construire la carte hydrogéologique Visé-Sint-Martens-Voeren. 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.

La méthodologie générale de construction de la carte hydrogéologique de Wallonie est présentée de manière détaillée sur le site Internet du SPW, aux pages dédiées à la carte hydrogéologique. <http://environnement.wallonie.be/cartosig/cartehydrogeo/methodologie.htm>

IX.1. ORIGINE DES INFORMATIONS

La carte Visé-Sint-Martens-Voeren étant, pour partie, située en Flandre, des informations issues des bases de données de la Région Flamande complètent les données disponibles en Région Wallonne. Dans les paragraphes suivants, l'origine des informations utilisées pour dresser la présente carte hydrogéologique est détaillée. La zone de la carte située aux Pays-Bas n'est pas cartographiée.

IX.1.1. Données géologiques et connexes

Les données géologiques proviennent essentiellement de la nouvelle carte géologique de la région, dressée par L.Barchy et J.-M.Marion (2017). Le fond géologique, sous format vectoriel, a été fourni par le SPW (avril 2016). Il n'a pas encore été validé par le comité d'édition de la carte géologique de Wallonie. 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 formations géologiques existent entre les différentes générations de cartes. Ainsi, quelques légers décalages sont identifiés sur la frontière ouest, avec la carte hydrogéologique Tongeren-Herderen, basée sur l'ancienne carte géologiques (1/40.000, 1903, SGB). Sur les bordures sud et est, la continuité entre unités hydrogéologiques est correcte. Les cartes hydrogéologiques de Dalhem-Herve et Gemmenich-Botzelaar sont réalisées sur la nouvelle carte géologique (1/25.000, SPW). Cependant, quelques petites discordances sont observées à l'est. Ces disparités seront sans doute levées, sinon justifiées, lorsque cette nouvelle carte géologique sera éditée par le SPW. La carte hydrogéologique sera alors mise à jour en conséquence.

Des descriptions de forages sont également disponibles auprès du Service Géologique de Belgique et des sociétés de distribution d'eau.

De nombreuses données proviennent des bases de données de la Région Flamande (VMM-Afdeling Water & DOV) dont celles relatives à la géométrie des aquifères (carte des isohypses).

Quelques données concernant les calcaires carbonifères et dévoniens sont disponibles dans l'atlas du karst (CWEPS, 1996). Les coupes géologique et hydrogéologique sont basées sur l'ensemble de ces informations.

Quelques sites de la région étudiée ont fait l'objet d'investigations géophysiques. Ces zones de prospections géophysiques ont été simplement localisées sur la carte hydrogéologique. Le type de prospection géophysique menée et les références bibliographiques sont mentionnées. Ces investigations ont permis de préciser le contexte géologique de la zone prospectée (lithologie et structural) dans le but de mieux de déterminer l'emplacement le plus adéquat pour des forages, de définir la nature et l'épaisseur des terrains meubles, de localiser des failles, des axes de fracturation ou des linéaments, de situer l'altitude du sommet du bed-rock.

- Plaine alluviale en aval de Liège entre la Meuse et le Canal Albert (LGIH, 1987): sondages sismiques et sondages électriques
- Site de Warsage (Huygens, 1986): sondages électriques

IX.1.2. Données météorologiques et hydrologiques

Sur le territoire de la carte Visé - Sint-Martens-Voeren, 4 stations météorologiques sont répertoriées. Des données de précipitations et températures sont disponibles à l'IRM pour les stations de Voeren (GRAV) L9 (précipitations et températures depuis 07/1987), de Lanaye GV51 (précipitations depuis 01/1951) et de Visé GV52 (précipitations depuis 02/1951 et températures depuis 08/1998). Le SETHY possède un pluviographe à Lanaye, installé en mai 2001 (n°5757).

Ce même service du Service Public de Wallonie suit également l'évolution du débit de la Meuse et du Canal Albert. Sur la Meuse, deux stations limnimétriques à Lixhe (aval et amont) sont en fonctionnement depuis 1996. Sur le Canal Albert, la station de mesure est située à hauteur de Haccourt (relevés depuis 1997). Les données du SPW sont téléchargeables sur <http://voies-hydrauliques.wallonie.be>.

IX.1.3. Données hydrogéologiques

IX.1.3.1. Localisation des ouvrages

144 ouvrages (prise d'eau ou point d'accès à la nappe) ont été encodés dans la base de données BD-Hydro. 58 existent toujours et sont repris sur le poster de la carte hydrogéologique. Différents types d'ouvrages sont répertoriés: 40 puits (public ou privé, foré ou traditionnel), 16 piézomètres, 1 drain et 1 forage pour sonde géothermique²¹).

Ces données proviennent de sociétés de distribution d'eau, d'industriels, de divers rapports techniques (voir liste bibliographique), de particuliers et de la banque de données de la Région Wallonne et sont complétées par des investigations sur le terrain.

²¹ Il s'agit de forages creusés uniquement pour descendre une sonde géothermique en profondeur. Ils sont ensuite rebouchés (cimentés) et c'est le liquide caloporteur qui circule. Il n'y a donc pas de prise d'eau à proprement-dit.

Côté flamand, d'après les données fournies par la VMM, on dénombre 56 ouvrages dont 40 piézomètres (grondwatermeetnet, mise à jour mai 2016) et 16 puits privés (huidige grondwater, mise à jour mai 2016).

IX.1.3.2. Données piézométriques

La base de données BD-Hydro, la banque de données '10-sous' ainsi que la base de données PIEZ'EAU comptabilisent un jeu de données piézométriques important. Environ 42000 valeurs piézométriques sont disponibles pour une vingtaine de puits et piézomètres de la carte Visé-Sint-Martens-Voeren (une partie de ces forages n'existent plus aujourd'hui). Les premières mesures encodées dans la banque de données datent de 1976. Ces relevés proviennent principalement de la DAGRNE – Eaux souterraines, des sociétés de distribution d'eau, de diverses études et de campagnes sur le terrain. Le Service Géotechnique (SPW-DGO1), antenne de Liège, suivait plusieurs piézomètres dans la plaine alluviale de la Meuse, à Hermalle-sous-Argenteau (forages remblayés).

La carte piézométrique du Crétacé est celle dressée par Huygens en 1986, basée sur un jeu de données conséquent. Plus de 300 puits ont été relevés sur l'ensemble du Pays de Herve. Dans le cadre de la réalisation de la carte hydrogéologique Visé-Sint-Martens-Voeren, une campagne de terrain a été réalisée, en 2008. Beaucoup de puits étaient inaccessibles. Il s'est avéré in fine que le relevé d'Huygens est plus complet. Des informations détaillées sur la piézométrie de cette carte sont présentées au [chapitre IV.2](#) consacré à l'hydrogéologie de la carte.

Quelques relevés piézométriques sont aussi disponibles au droit des ouvrages forés dans les autres formations aquifères présentes sur la planche (nappe alluviale de la Meuse, terrains houillers) et sont également intégrés dans la base de données hydrogéologiques. Quelques informations ponctuelles concernant le 'Brulandkrijstysteem' sont également intégrées au projet cartographique.

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 (SPW-DESO). Des résultats d'analyses de campagnes de prélèvements ont aussi été fournis par les compagnies d'eau et dans divers rapports d'études hydrogéologiques.

Les données hydrochimiques ont été fournies par le service des eaux souterraines du SPW, par la SWDE et la CILE et dans divers rapports techniques et scientifiques.

Des données hydrochimiques disponibles pour 56 sites situés en Wallonie (puits, piézomètres, sources...) ont été encodées dans la base de données hydrogéologiques (2950 paramètres chimiques analysés pour 418 prélèvements). Ces analyses caractérisent la plupart des unités hydrogéologiques présentes sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren. Pour la partie flamande de la carte étudiée, des chroniques 'Nitrates', des analyses chimiques complètes sont consultables pour un grand nombre d'ouvrages sur le site Internet de la base de données [DOV](#). Le [chapitre V](#) présente un aperçu du cadre hydrochimique de la région.

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 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. Ils sont très peu nombreux. Une vingtaine de puits ou piézomètres où des essais de pompage et/ou des diagraphies en forage ont été effectués, sont répertoriés. Aucun test de traçage n'a été réalisé sur les puits de la carte Visé - Sint-Martens-Voeren.

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.

Plusieurs zones vulnérables aux nitrates ont été définies en Wallonie. La carte Visé - Sint-Martens-Voeren est entièrement comprise en zones vulnérables tant pour la partie wallonne que pour la partie flamande. Le contour de ces zones a été fourni par le SPW et la VMM. De plus amples renseignements sont repris dans le [sous-chapitre V.2](#).

Sur la carte Visé - Sint-Martens-Voeren, seul le site de captage de la CILE à Visé (2 puits forés) est toujours en activité et est donc soumis à zones de prévention. Ces deux zones sont marquées sur la carte hydrogéologique par le triangle indiquant 'Zone de prévention à définir'. Ces zones sont décrites au [chapitre VIII](#).

IX.2. BASE DE DONNEES HYDROGEOLOGIQUES

De telles données, aussi complexes et plus ou moins abondantes, nécessitent une organisation structurée de manière à optimiser leur stockage, leur gestion et leur mise à jour. Ainsi une base de données hydrogéologiques géorelationnelle a été développée (Gogu, 2000; Gogu *et al.*, 2001). Cette première version de la base de données BD-HYDRO a été régulièrement améliorée.

Dans un souci d'homogénéité entre les équipes et d'autres institutions (dont l'administration wallonne, DGARNE), la base de données a été révisée. Le but est de créer un outil de travail commun et performant, répondant aux besoins des spécialistes impliqués dans la gestion des eaux souterraines. Les données hydrogéologiques dispersées géographiquement devaient être disponibles dans une seule base de données centralisée.

Ainsi les données détaillées de l'hydrochimie, de la piézométrie, des volumes exploités, des paramètres d'écoulement et de transport, de géologie telles que les descriptions de log de forage et d'autres données administratives ou autres sont stockées dans la BD-HYDRO (Wojda *et al.*, 2005). Elle regroupe toutes les informations disponibles en matière d'hydrogéologie en Région wallonne. Parmi les nombreuses et diverses données de la BD-HYDRO on trouve des

informations relatives à la localisation des prises d'eau (puits, sources, piézomètres,...), leurs caractéristiques géologiques et techniques, ainsi que des données sur la piézométrie, la qualité physico-chimique des eaux souterraines, les volumes prélevés... Les divers tests (diagraphies, essais de pompage, essais de traçage, prospection géophysique) sont également encodés dans la BD-HYDRO. Elle est également enrichie avec les informations sur les études, rapports et autres documents hydrogéologiques écrits. Ces renseignements se présentent sous la forme de métadonnées.

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

IX.3. POSTER DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE

Le poster de la carte hydrogéologique est composé de plusieurs éléments:

- la carte hydrogéologique principale (1/25.000);
- les cartes thématiques (1/50.000):
 - Carte des informations complémentaires et du caractère des nappes;
 - Carte des volumes d'eau prélevés;
 - Carte des isohypses de l'aquifère principal
- la coupe hydrogéologique (avec deux échelles verticales: X1, X10);
- le tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie';
- la carte de la Belgique (1/5.000.000) où est localisée la carte étudiée.

IX.3.1. Carte hydrogéologique principale

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

- le fond topographique de la carte IGN 1/10 000, sous licence SPW-DGO3;
- le réseau hydrographique;
- les unités hydrogéologiques;
- les failles;
- les piézomètres;
- les puits des sociétés de distribution d'eau ;
- les puits privés exploités et déclarés à la Région wallonne ;
- les puits d'accès aux galeries et drains;
- les sondes géothermiques;
- les stations limnimétriques;

- les stations climatiques;
- les isopièzes de la nappe du Crétacé (1986);
- des valeurs de niveau des autres unités hydrogéologiques, avec la date de la mesure;
- le sens probable d'écoulement des eaux souterraines;
- les zones de prévention à définir autour des captages de distribution d'eau publique;
- le trait localisant le tracé de la coupe hydrogéologique.

IX.3.2. Carte des informations complémentaires et du caractère des nappes

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

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

Les zones de prospections géophysiques sont également localisées. Le but de ces investigations géophysiques est de mieux connaître le sous-sol, ses caractéristiques géométriques, la nature des terrains en vue, entre autres, d'optimiser l'implantation des futures puits et piézomètres. La carte hydrogéologique n'ayant pas pour objectif de présenter en détails les méthodes employées et les résultats obtenus, une simple liste des sites étudiés est dressée. Pour plus d'informations sur les campagnes de prospection géophysique, le lecteur est invité à consulter les dossiers mentionnés au [paragraphe IX.1.1](#).

Le territoire du Pays de Herve a été désigné comme "zone vulnérable aux nitrates" par le gouvernement wallon (AGW du 28 février 2006). Fin 2012, cette zone a été agrandie à l'est (Extension Pays de Herve Gueule) et à l'ouest (Extension Pays de Herve Meuse) (AGW du 22 novembre 2012). L'ensemble du territoire situé au nord du sillon de la Sambre et de la Meuse est aussi désigné comme "zone vulnérable aux nitrates" (AGW du 22 décembre 2006). Cette désignation implique l'application d'un programme d'action précis dont les mesures ont été arrêtées dans le code de "bonne pratique agricole" du Programme de Gestion Durable de l'Azote en agriculture (PGDA). De plus, depuis le 1^{er} janvier 2007, l'entièreté de la Flandre est désignée comme 'zone vulnérable aux nitrates'. Ainsi, toute la partie de la carte Visé-Sint-Martens-Voeren située en Flandre est classée en zone vulnérable. Plus d'informations sur les nitrates sont disponibles au [chapitre V.2](#).

IX.3.3. Carte des volumes d'eau prélevés

Sur cette carte thématique, sont reportés l'ensemble des points hydrogéologiques (forages, drains, sources, résurgences/pertes) classés selon l'unité hydrogéologique sollicitée. Parfois sur certaines cartes, il n'est pas possible de déterminer dans quelle formation géologique les ouvrages ont été implantés ne disposant pas d'information sur le log géologique ou/et la

profondeur du puits. Le tableau IX.1 dresse la répartition des ouvrages de prise d'eau et des piézomètres selon l'unité hydrogéologique recoupée, sur la partie wallonne de la carte étudiée.

Tableau IX.1: Répartition des ouvrages souterrains en fonction de l'unité hydrogéologique

Unité hydrogéologique	% ouvrages	Unité hydrogéologique	% ouvrages
Aquifère alluvial (AMO)	54,1	Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller	1,6
Aquifère des terrasses fluviatiles	19,7	Aquifère des calcaires du Carbonifère	4,9
Aquifère des craies du Crétacé	9,8	Unité hydrogéologique indéterminée	6,6
Aquifère - Aquitard de Vaals	3,3		

Cette carte, au 50.000^{ème}, reprend également les volumes d'eau prélevés annuellement, informations extraites de la base de données de la Région Wallonne "dix-sous" (DGARNE). Les volumes représentés sont les volumes déclarés par les titulaires au Service Public de Wallonie. Deux catégories de volumes sont répertoriées sur la carte Visé - Sint-Martens-Voeren, les volumes destinés à la distribution publique d'eau potable et les autres volumes (particuliers, agriculteurs, industries...). Les données présentées sur cette carte sont les volumes prélevés (selon les déclarations des titulaires), respectivement, en 2015 et 2014.

L'exploitation d'une prise d'eau souterraine est soumise à de nombreux aléas et donc, peut être variable. Les contraintes techniques de l'ouvrage, l'activité économique, liée à ce captage, et l'évolution des conditions hydrogéologiques de la nappe sollicitée, peuvent perturber les capacités de production. La présentation, sur la carte des Volumes, des volumes moyens prélevés, correspond à la moyenne des cinq dernières années (2010-2014) (basés sur les déclarations des titulaire de prise d'eau). Ils illustrent de manière plus réaliste l'exploitation des eaux souterraines sur la carte étudiée. Ces valeurs moyennes ne sont pas représentatives du potentiel d'exploitation ni de l'exploitation réelle des nappes. Elles reflètent simplement l'importance d'un site d'exploitation pendant les cinq années considérées. Parmi ces dernières, il se peut que certaines d'entre elles soient des années sans prélèvement. Le [chapitre VI](#) consacré à l'exploitation des aquifères reprend l'historique des principaux captages de la carte.

Aucune donnée concernant la partie flamande de la carte n'est reprise sur cette carte thématique. En effet, les informations enregistrées dans la base de données flamande (DOV) concernent les volumes autorisés. La carte hydrogéologique de Wallonie, elle, représente les volumes prélevés (sur base des déclarations des titulaires). A propos des unités hydrogéologiques sollicitées par les ouvrages, le découpage hydrogéologique de la Flandre et de la Wallonie étant différent, cette information n'a pas été intégrée pour la partie flamande de la carte Visé - Sint-Martens-Voeren. Pour plus de renseignements, se référer au site Internet de la DOV: <http://dov.vlaanderen.be>: thema: grondwater: *grondwatervergunning & HCOV-kartering*.

IX.3.4. Carte des isohypses de l'aquifère logé dans les formations du Crétacé

L'aquifère principal, localisé au sein des terrains du Crétacé, est limité à sa base par le socle paléozoïque. Le sommet des formations paléozoïques présente une légère inclinaison vers le NNW, ce qui explique le pendage des dépôts crétacés surincombants. De nombreux phénomènes de dissolution (CaCO_3) et l'érosion ont donné au toit des formations du Crétacé un

aspect irrégulier (surface non tabulaire). Les données présentées sur cette carte thématique proviennent de la base de données de la Région Flamande (fournies par la VMM). Il s'agit des isohypses de la base et du sommet des craies. Cependant, il n'est pas précisé s'il s'agit des craies en tant que formation géologique (lithologie) ou système aquifère (auquel cas, cela comprend l'ensemble des formations du Crétacé). Les failles telles que fournies par la VMM sont également intégrées à cette carte. On remarque que les failles proposées par la VMM diffèrent, parfois largement, de celles présentées par la carte géologique de Wallonie. Le jeu des failles est observable au niveau de la base des craies (tectonique de blocs engendrant des décrochements).

Lors de l'étude régionale portant sur les ressources en eau du Pays de Herve (Huygens, 1986), les isohypses des formations du Crétacé ont été tracées. Néanmoins, ce sont les données issues de la VMM qui ont été représentées. Ce choix est justifié par le fait que celles-ci couvrent une zone plus grande. Il n'était, en outre, pas possible de juxtaposer les deux jeux de données (problème de raccords).

IX.3.5. Tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie'

Le tableau lithostratigraphique reprend la liste des différentes formations géologiques susceptibles d'être rencontrées sur la carte Visé-Sint-Martens-Voeren, traduites en termes d'unités hydrogéologiques. La définition de ces unités est présentée en détails dans le [chapitre IV](#).

Les unités hydrogéologiques utilisées pour caractériser la carte Visé-Sint-Martens-Voeren sont issues du découpage général établi dans le cadre de la réalisation de la carte hydrogéologique de Wallonie. En Flandre, un autre découpage a été adopté, avec la codification HCOV (voir annexe 4). Cartographiquement, il n'est pas repris sur la carte hydrogéologique 34/7-8 mais il est présenté dans la notice au [chapitre IV.1.4](#).

IX.3.6. Coupes hydrogéologiques

Parmi les éléments présentés sur le poster de la carte hydrogéologique Visé-Sint-Martens-Voeren figure la coupe hydrogéologique. Elle permet de comprendre dans son ensemble le contexte géologique de la région. Les grandes structures géologiques y apparaissent. Là où la donnée est disponible, des informations sur les niveaux d'eau souterraine sont présentées. Cette coupe est commentée, en détails, au [chapitre IV.2.4](#).

X. BIBLIOGRAPHIE

Barchy, L. & Marion, J.-M. (2000): Carte géologique de Dalhem-Herve 42/3-4. *Service public de Wallonie, DGARNE*, Namur, 71p

Barchy, L. & Marion, J.-M. (2017): Carte géologique de Visé-Sint-Martens-Voeren 34/7-8, *Service public de Wallonie, DGARNE*, Namur, 41p.

Berger, J.-L., Dingelstadt, Cl., Drevet, J.-P. & Veschkens, M. (2003): Etude sur la remontée des niveaux piézométriques dans les massifs affectés par les travaux houillers et sur l'identification de leurs impacts directs et indirects, en particulier sur le démergement. *ISSeP*. Rapport final, 52 pp, 7 annexes,

Boulvain F. & Pingot JL. (2011): Genèse du sous-sol de la Wallonie. Classe des Sciences, Collection in-8, ISSN 0365-0936 ; 34. *Académie royale de Belgique*, 190 pp

Brouyère S. (2001): Etude et modélisation du transport et du piégeage des solutés en milieu souterrain variablement saturé, *Thèse de doctorat, Fac. Sciences Appliquées, Université de Liège.*, 572 pp + annexes. Document disponible sur le serveur 'Bictel' de l'ULg. Accès libre. <http://bictel.ulg.ac.be/ETD-db/collection/available/ULgetd-08222007-101855/>

Brouyère S. (2003): Modeling tracer injection and well-aquifer interactions: A new mathematical and numerical approach. *Water Resources Research*, 39(3), p.1070. <http://hdl.handle.net/2268/2321>; <http://dx.doi.org/10.1029/2002WR001813>

Brouyère, S., Orban, P., Wildemeersch, S., Couturier, J., Gardin, N. & Dassargues, A. (2009): The Hybrid Finite Element Mixing Cell Method: A New Flexible Method for Modelling Mine Groundwater Problems, *Mine Water & the Environment*, 28(2), pp. 102-114, <http://hdl.handle.net/2268/10014>, <http://dx.doi.org/10.1007/s10230-009-0069-5>

Calembert L, Fagnoul A, Stassen P, Bonnechère F, Monjoie A & Van Duyse H. (1974): La géologie de l'ingénieur appliquée à l'étude du site d'un métro dans le bed-rock houiller à Liège, *Colloque du Centenaire de la Société Géologique de Belgique*, 163-192.

Castany G. (1998): Hydrogéologie, principes et méthodes, *Dunod*, 236 p.

Cellule Etat de l'Environnement Wallon. (2007): Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007. SPW-DGARNE, Namur, 736p <http://environnement.wallonie.be/eew/>

Charlet J.-M. (1999): Le radon dans les eaux souterraines, le cas de la Wallonie. *Tribune de l'eau*, vol. 52, n°600-601/4-5, pp. 85-96.

Compère J.-M. (1988). Modélisation des débits de contournements du barrage de Lixhe. Travail de fin d'études, *Fac. Sciences Appliquées, Université de Liège.*, 162.p

Cremasco V., Doguet A., Feremans N., Neuray C., Pons T., Van Der Kaa C. & Godart M.-F, Teller J. (direction scientifique). (2007): 1. L'entre-Vesdre-et-Meuse, Collection : Atlas des

- Paysages de Wallonie, *Service public de Wallonie*, Namur, pp 263
http://cpdt.wallonie.be/?id_page=8881
- CWEPSS** (1996): Atlas du Karst Wallon: Inventaire cartographique et descriptif des sites karstiques et rivières souterraines de Wallonie. *DGARNE & CWEPSS* (Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains asbl) <http://www.cwepss.org/atlasKarst.htm>
- Dassargues, A.** (1992). Calcul des flux souterrains échangés entre le Canal Albert, la Meuse et sa plaine alluviale de Monsin à Lanaye, *Ann. Soc. Géol. Belg.*115(1), pp.63-75.
<http://hdl.handle.net/2268/1861>
- Dassargues, A.** (1997). Modeling baseflow from an alluvial aquifer using hydraulic-conductivity data obtained from a derived relation with apparent electrical resistivity, *Hydrogeology Journal*, v. 5, no. 3, p. 97-108. <http://hdl.handle.net/2268/2352>
- Dassargues, A.** (2010): Hydrogéologie, Notes de cours, Université de Liège, non publié.
- Dassargues, A. & Lox, A.** (1991): Modélisation mathématique de la nappe alluviale de la Meuse en aval de Liège (Belgique), in "Le système hydrologique de la région frontalière Liège-Maasbracht, résultats des recherches 1985-1990", Rapport et notes n° 26, CHO-TNO, Delft, pp. 27-55. <http://hdl.handle.net/2268/1856>
- Dassargues A., Wildemeersch S., Orban Ph. & Brouyère S.** (2014a): Remontées des nappes dans les anciens travaux miniers et activités de démergement - Modélisation hydrogéologique spécifique et exemple de la zone minière de Cheratte. In *Watervoerende lagen & grondwater in België – Aquifères & eaux souterraines en Belgique*, Partie 2, Chapitre 10, pp. 427-436. *Academia Press* <http://hdl.handle.net/2268/169730>
- Dassargues A., Wildemeersch S., Rentier C.** (2014b): Graviers de la Meuse (alluvions modernes et anciennes) en Wallonie, in *Watervoerende lagen & grondwater in België – Aquifères & eaux souterraines en Belgique*, Partie 1, Chapitre 4, pp. 37-46. *Academia Press*.
<http://hdl.handle.net/2268/169540>
- 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.
- DGARNE-Direction des Eaux souterraines et Protectis-Cellule DCE.** (2010): Directive cadre de l'eau. Etat des lieux des districts hydrographiques. Guide explicatif des fiches par masse d'eau (version 1). Juin 2010.
- DGARNE-Direction des Eaux souterraines et Protectis-Cellule DCE.** (2016): Directive cadre de l'eau. Etat des lieux des districts hydrographiques. Fiches de caractérisation des masses d'eau souterraine. Mai 2016 - <http://spw.wallonie.be/dce>
<http://spw.wallonie.be/dce/fme/RWM072.pdf>
<http://spw.wallonie.be/dce/fme/RWM151.pdf>

- de Saint Georges, L.** (2006): La problématique du radon en Région wallonne. Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 20062007 sur l'état de l'environnement wallon. CEN-SCK. Mol. 6p.
- Dingelstadt, Cl. & Drevet, J-P.** (2007): Etude des conséquences de l'après-mine, en particulier sur la gestion des eaux souterraines et des risques. *ISSeP*. Rapport final, 67 pp
- Droeven, E., Feltz, C. & Kummert, M.** (2004): Les territoires paysagers de Wallonie. *Conférence permanente du développement territorial, Etudes et Documents 4*, Service public de Wallonie, Namur, pp 74.
- Felder, W.M., Bosch, P.W. & Bisschop, J.H.** (1989): Geologische kaart van Zuid-Limburg en omgeving, 1/ 50 000: Afzettingen van de Maas, *Rijks Geologische Dienst*, Haarlem
- Flémal, J-M.** (2007): Mesure de la radioactivité naturelle dans les eaux destinées à la consommation humaine: méthodologie appliquée dans le cadre de la directive 98/83/CE. *Institut Scientifique de Santé Publique*, Bruxelles, Rapport D/2505/2007/40. 48p. + annexes.
- Gardin, N., Brouyère, S., Dassargues, A.** (2005): Modélisation de la remontée des niveaux piézométriques dans les massifs affectés par des travaux miniers dans l'ancien bassin charbonnier de Liège, Site pilote de Cheratte. *ISSeP*. Rapport final, 89 pp + annexes
<http://hdl.handle.net/2268/153097>
- Gogu, R.C.** (2000): Advances in groundwater protection strategy using vulnerability mapping and hydrogeological GIS databases, *Thèse de doctorat, Université de Liège*.
<http://bictel.ulg.ac.be/ETD-db/collection/available/ULgetd-01172011-155335/>
- Gogu, R.C., Carabin G., Hallet V., Peters V., Dassargues A.,** (2001): GIS-based hydrogeological databases and groundwater modelling, *Hydrogeology Journal*: 9: 555-569.
<http://hdl.handle.net/2268/1619>
- Hallez, S., Poffijn, A. & Flemal, J-M.** (1992): Cartographie communale des risques de hautes concentrations de radon à l'intérieur des habitations: exemple de Visé, *Mémoires pour servir à l'explication des cartes géologiques et minières de la Belgique*, SGB, 32, 63-70
- Herbosch, A., De Witte, S.M. & Preat, A.** (1979): Recherches sur les indices de minéralisations uranifères dans la région de Visé, SGB, *Professional Paper*, 1979/6, 162
- Hermans T., Wildemeersch S., Jamin P., Orban P., Brouyère S., Dassargues A. and Nguyen F.** (2015): Quantitative temperature monitoring of a heat tracing experiment using cross-borehole ERT, *Geothermics*, 53, pp.14-26, <http://hdl.handle.net/2268/164949>
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375650514000376>
- Humblet, E.** (1941): Le Bassin Houiller de Liège. *Rev. univ.Mines*, 17.
- Huygens, Ch.** (1986): Etude des ressources en eau du Pays de Herve, *Contrat CILE-Service public de Wallonie*, 385pp + cartes en annexe.

ICEW (2012): Les Indicateurs Clés de l'Environnement Wallon (ICEW 2012)- Direction de l'Etat Environnemental - SPW - DGARNE - DEMNA – DEE- <http://etat.environnement.wallonie.be>

ICRP (International Commission on Radiological Protection). (2007): ICRP Publication 103: Recommendations of the ICRP. *Annals of the ICRP*. Vol. 37/2-4

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). <http://hdl.handle.net/2268/104048>

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

Klepikova M., Wildemeersch S., Jamin P., Orban Ph., Hermans T., Nguyen F., Brouyere S. and Dassargues A. (2016): Heat tracer test in an alluvial aquifer: field experiment and inverse modelling, *Journal of Hydrology*, accepted

Legrand, R. (1956): Brèches radioactives aux environs de Visé. *Bull.Soc.Bel.Geol.*, 66, 211-221.

Legrand, R. (1958) Compte-rendu de l'excursion du 26 juin 1958 dans la région de Visé. *Bull.Soc.Bel.Geol.*, 67, 290-295.

LGIH (1987): Etude hydrogéologique de la nappe alluviale en aval de Liège et des écoulements souterrains en provenance du Canal Albert et des canaux de Campine, *Service public de Wallonie (Ministère des Travaux Publics, Voies hydrauliques)*. Rapport MTP/871.

LGIH (1990): Modélisation mathématique des écoulements souterrains de la nappe alluviale de la Meuse entre Monsin et Lanaye ainsi que les interactions entre le Canal Albert et la Meuse, *Service public de Wallonie (Ministère des Travaux Publics, Voies hydrauliques)*. Rapport MTP/901.

Maes E. (2006): Liens environnement-santé. Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 20062007 sur l'état de l'environnement wallon. CEEW. Namur. 110p.

Meyus, Y., Batelaan, O. & De Smedt, F. (2000), Concept Vlaams Grondwater Model (VGM), technisch concept van het VGM, Deelrapport I: Hydrogeologische Codering van de Ondergrond van Vlaanderen (HCOV), 58p. *In opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, departement Leefmilieu en Infrastructuur, AMINAL, afdeling Water.*

Meyus, Y., Cools, J., Adyns, D., Zeleke, S.Y., Woldeamlak, S.T., Batelaan, O. & De Smedt, F. (2005): Hydrogeologische detailstudie van de ondergrond in Vlaanderen, Eindrapport.

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer, Afdeling Water, 107p + bijlängen

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

Monjoie A. (2000): Le cycle de l'eau et les modifications de l'écoulement en surface et en profondeur suite aux travaux miniers, *Bull. Soc. Roy. des Sciences de Liège*, 69(5): 247-264

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

Poty, E. (1982): Paléokarsts et brèches d'effondrement dans le Frasnien moyen des environs de Visé. Leur influence dans la paléographie dinantienne. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 105, 315-337.

Poty E. (1991): *Tectonique* de blocs dans le prolongement oriental du Massif du Brabant. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 114 (1), 265-275.

Poty E. (1997): Devonian and Carboniferous tectonics in the eastern and southeastern parts of the Brabant Massif (Belgium). *Belgian Symposium on structural geology and tectonics. Aardk.Meded.*, 8, 143-144.

Quinif Y., Doremus P. & Kotzmann-Routier V. (1992): Le radon dans les eaux souterraines, relations avec l'hydrogéologie. *Mémoires pour servir à l'explication des cartes géologiques et minières de la Belgique*, SGB, 32, 233-242.

Renkin, Ph. & Simon, G. (2001): Procès-verbal relatif aux résultats des essais géotechniques exécutés dans le cadre de l'aménagement de la future zone industrielle de Hermalle-sous-Argenteau située en rive droite du Canal Albert à Oupeye, SPW-MET, Direction de la Géotechnique, Liège, rapport n°W20-233-H407.

Ruthy I., van Ellen T., Dassargues A. (2014): Crétacé du Pays de Herve, in *Watervoerende lagen & grondwater in België – Aquifères & eaux souterraines en Belgique*, Partie 1, Chapitre 16, pp. 191-202. *Academia Press*. <http://hdl.handle.net/2268/168994>

SPAQuE. (2002): Site de la décharge 'Chemin de Surisse', Dalhem (Lg2202-01) - Rapport d'étude de caractérisation -, 47p & annexes (déc. 2002).

SPAQuE (2014): Chemin de Surisse – Campagne des Trix à Dalhem (Lg2202-001/002). Surveillance environnementale: bilan 2014. 14p <http://www.walsols.be/pdfs/1199/4240.pdf>

SPAQuE (2015): Chemin de Surisse – Campagne des Trix à Dalhem (Lg2202-001/002). Fiche d'information Walsols; 4p, 12/11/2015 <http://www.walsols.be/pdfs/1199/4239.pdf>

SPAQuE-Ecorem. (2003): Rapport d'étude de caractérisation (descriptive) de la décharge 'Chemin de Surisse', Dalhem (Lg2202-01) – Rapport définitif, 58p & annexes (oct. 2003).

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

SWDE. (1987): Exécution d'un puits d'exploitation P1 à Visé (anciennement Lixhe). *Service Protection des Ressources et Captage*, Rapport technique

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

Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). (2006): Grondwaterbeheer in Vlaanderen: het onzichtbare water doorgrond, Aalst. 150p. http://www.vmm.be/publicaties/2008/Grondwater_ok.pdf

Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). (2008): Grondwater in Vlaanderen: het Brulandkrijtsysteem, Aalst. 125p. http://www.vmm.be/publicaties/2008/blks_systeem_definitief_ok.pdf

WHO (World Health Organization) - OMS (Organisation Mondiale de la Santé). (2005), Radon et cancer, *Aide-mémoire*, N°291.

WHO (World Health Organization). (2006): Guidelines for drinking-water quality, [electronic resource]: incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations.-3rd edition. & Second addendum to 3rd ed., 2008.

Wildemeersch, S., Couturier, J., Orban, Ph., Gardin, N., Brouyère, S, Dassargues, A. (2008). Modélisation d'une partie du bassin charbonnier de Liège selon une approche mixte au moyen du logiciel SUFT3D. *ISSeP*. Rapport final, 108p. <http://hdl.handle.net/2268/100867>

Wildemeersch, S., Brouyère, S., Orban, P., Couturier, J., Dingelstadt, C., Veschkens, M., & Dassargues, A. (2010): Application of the Hybrid Finite Element Mixing Cell method to an abandoned coalfield in Belgium. *Journal of Hydrology*, 392(3-4), 188-200. <http://hdl.handle.net/2268/69485>; <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.08.007>

Wildemeersch S., Jamin P., Orban Ph., Hermans T., Klepikova M., Nguyen F., Brouyère S. & Dassargues A. (2014): Coupling heat and chemical tracer experiments for estimating heat transfer parameters in shallow alluvial aquifers, *Journal of Contaminant Hydrology*, 169, pp.90-99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jconhyd.2014.08.001>. <http://hdl.handle.net/2268/171944>

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169772214001247#>

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*

Younger, P.L., S.A.Banwart, & al. (2002): Mine Water: Hydrology, Pollution, Remediation, *Kluwer Academic Publishers*.

ANNEXE 1: LISTE DES ABREVIATIONS DES INSTITUTIONS ET ORGANISMES

- **AIDE:** Association Intercommunale pour le Démergement et l'Épuration des communes de la Province de Liège.
Rue de la Digue, 25 à 4420 SAINT-NICOLAS (Liège)
<http://www.aide.be/>
- **CILE:** Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux
Rue du Canal de l'Ourthe, 8 à 4031 LIEGE (Angleur)
<http://www.cile.be/>
- **HGE-GEO³** : Hydrogéologie & Géologie de l'Environnement- GEO³ - ArGEnCo – ULg
Bâtiment B52, niveau –1, Sart-Tilman à 4000 LIEGE
<http://www.argenco.ulg.ac.be/geo3>
LGIH : Laboratoires de Géologie de l'Ingénieur, d'Hydrogéologie et de Prospection Géophysique, Université de Liège. Suite la succession du Professeur A.Monjoie, les activités sont poursuivies au sein d'ArGEnCo, GEO³
- **IRM:** Institut Royal Météorologique, Section Climatologie.
Avenue Circulaire, 3 à 1180 BRUXELLES
<http://www.meteo.oma.be/IRM-KMI/>
- **ISSeP:** Institut Scientifique de Service Public
Rue du Chéra, 200 à 4000 LIEGE
<http://www.issep.be>
- **SGB:** Service Géologique de Belgique.
Département VII de l'Institut royal des Sciences Naturelles de Belgique
Rue Jenner, 13 à 1000 BRUXELLES
<http://www.sciencesnaturelles.be/geology>
- **SPAQuE:** Société Publique d'Aide à la Qualité de l'Environnement
Boulevard d'Avroy, 38/6 à 4000 LIEGE
<http://www.spaque.be> <http://www.walsols.be/>
- **SPW:** Service Public de Wallonie
Depuis le 1^{er} août 2008, Ministère wallon de l'Équipement et des Transports et le Service public de Wallonie ont fusionné pour donner naissance au **Service public de Wallonie**. Ainsi la DGRNE est reprise dans la Direction générale opérationnelle 3 (DGO3) dont les domaines de compétences sont l'Agriculture, les Ressources naturelles et l'Environnement. La Direction des Eaux Souterraines est incluse dans le Département de l'Environnement et de l'Eau.
DGO3 - Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement (D GARNE)
Département de l'Environnement et de l'Eau

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

Avenue Prince de Liège, 15 à 5100 Jambes

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

Département de la Ruralité et des Cours d'eau

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

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

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

Boulevard du Nord, 8 à 5000 NAMUR

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

Anciennement, ce service faisait partie du Ministère wallon de l'Équipement et des Transport (**MET**) devenu SPW.

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

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

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

▪ **SWDE** : Société Wallonne des Eaux

Rue de la Concorde, 41 à 4800 VERVIERS

<http://www.swde.be>

• **VMM**: Vlaamse Milieumaatschappij – Afdeling Water

A. Van de Maelestraat 96 à 9320 Erembodegem

<http://www.vmm.be> et <http://www.vmm.be/water>

Databank Ondergrond Vlaanderen: <http://dov.vlaanderen.be>

ANNEXE 2: TABLE DES ILLUSTRATIONS

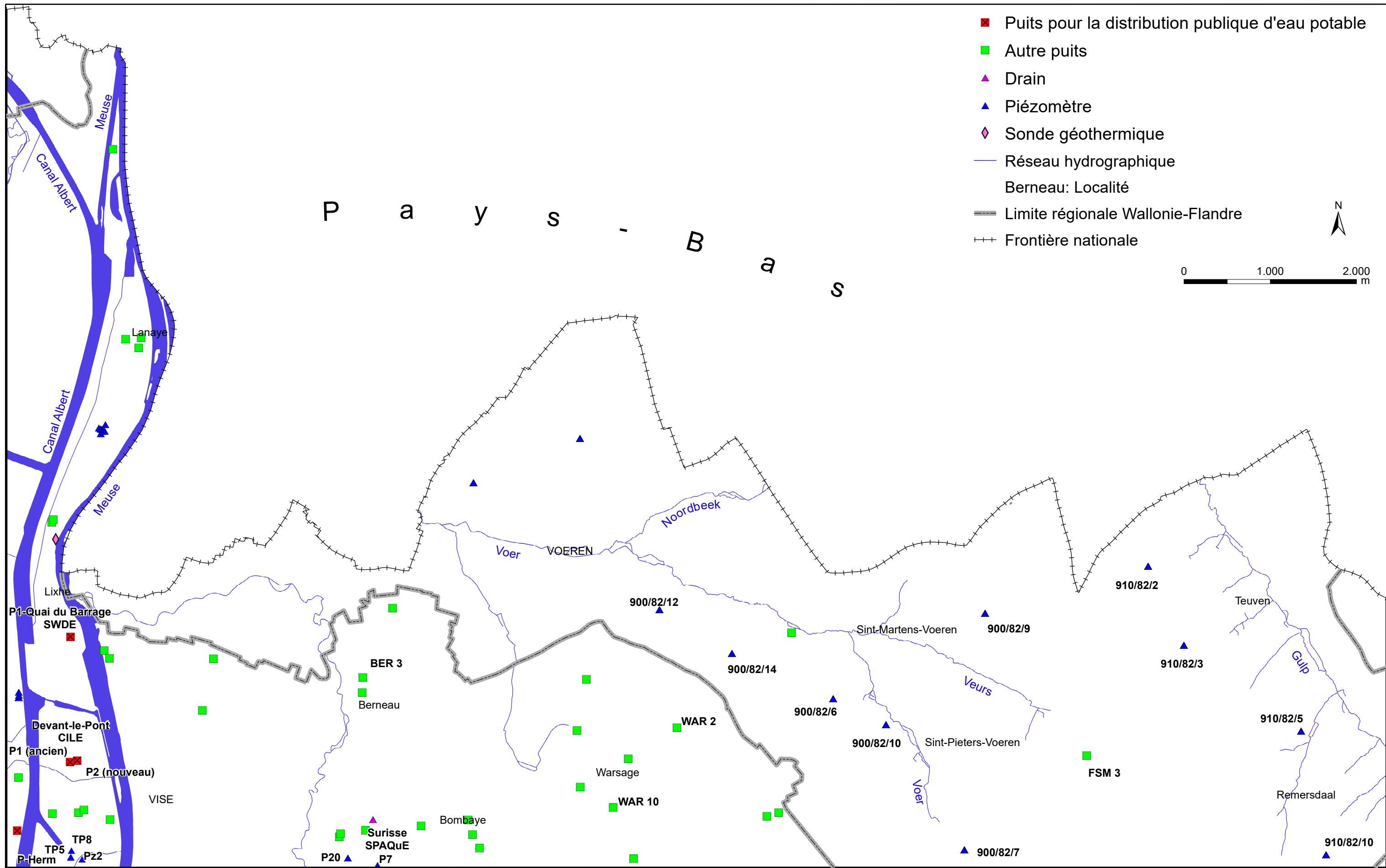
Liste des figures

Figure I.1: Localisation de la carte Visé - Sint-Martens-Voeren	5
Figure II.1: Paysages et Réseau hydrographique – Carte Visé - Sint-Martens-Voeren	7
Figure II.2: Carte de l'occupation du sol – Carte Visé - Sint-Martens-Voeren	9
Figure II.3: Carte des types de sols – carte Visé - Sint-Martens-Voeren	10
Figure III.1: Carte géologique de Wallonie (Boulvain & Pingot, 2011; modifié)	11
Figure III.2: Bassin houiller de Liège. Esquisse géologique à la côte -200 (couche Bouxharmont) d'après Humblet (1941)	17
Figure IV.1: Six systèmes d'eaux souterraines en Flandre (grondwatersystemen)(VMM, 2008)	26
Figure IV.2: Masses d'eau souterraine pour la partie en territoire flamand	27
Figure IV.3: Situations piézométriques de la nappe du Crétacé, vallée de la Voer	29
Figure IV.4: Fluctuations piézométriques de la nappe du Crétacé (carte Dalhem-Herve)	30
Figure IV.5: Fluctuations piézométriques de la nappe du Crétacé – Puits WAR 2 à Dalhem (carte Visé - Sint-Martens-Voeren)	31
Figure IV.6: Fluctuations piézométriques de la nappe du Crétacé – Flandre (données DOV)	32
Figure IV.7: Forages 'MET' à Hermalle-sous-Argenteau (site du Trilogiport) - Situation piézométrique du 09/07/2008	34
Figure IV.8: Fluctuations piézométriques des ouvrages 'MET' à Hermalle-sous-Argenteau (site du Trilogiport)	35
Figure IV.9: Allure piézométrique calculée de la nappe alluviale à hauteur du barrage de Lixhe (d'après Compère, 1988)	37
Figure IV.10: Fluctuations piézométriques de la nappe du socle houiller (HCOV: 1300) – Flandre (données DOV)	38
Figure V.1: Masses d'eau souterraine – Visé - Sint-Martens-Voeren	42
Figure V.2: Zones vulnérables aux nitrates - Wallonie – Visé - Sint-Martens-Voeren	46
Figure V.3: Evolution des teneurs en nitrates dans la nappe alluviale de la Meuse	47
Figure V.4: Evolution des teneurs en nitrates – Aquifère des terrasses fluviatiles & Aquifère des craies du Crétacé	48
Figure V.5: Pesticides en Région wallonne (ICEW, 2012; carte 19 modifiée)	50
Figure V.6: Localisation du site 'Chemin de Surisse' (Lg2202-001, SPAQuE) – Bombaye, Dalhem	56
Figure VI.1: Volumes prélevés pour la distribution publique d'eau potable	58

Liste des tableaux

Tableau IV.1: Tableau de correspondance entre la géologie et l'hydrogéologie –Visé - Sint-Martens-Voeren	24
Tableau IV.2: Masses d'eau souterraine en Flandre – Grondwaterlichamen	26
Tableau IV.3: Informations sur les piézomètres DOV- Carte Visé-Sint-Martens-Voeren	32
Tableau V.1: Etat des masses d'eau souterraines (M072 & M151) de la carte Visé - Sint-Martens-Voeren (état 2013)	42
Tableau V.2:Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère alluvial de la Meuse	44
Tableau V.3: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère des calcaires carbonifères	45
Tableau V.4:Paramètres microbiologiques des eaux souterraines	49
Tableau V.5: Principaux pesticides analysés dans les eaux souterraines de la carte Visé - Sint-Martens-Voeren	51
Tableau VII.1: Valeurs du coefficient de perméabilité en fonction de la granulométrie (Castany, 1998)	59
Tableau VII.2: Intervalles de valeurs indicatives pour la conductivité hydraulique de différentes lithologies (échelles macroscopique & mégascopique) (Dassargues, 2010)	60
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)	60

ANNEXE 3: CARTE DE LOCALISATION



ANNEXE 4: COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES OUVRAGES CITES DANS LA NOTICE

Nom	Code RW	X(m)	Y(m)	Z(m)	Type	Prof,(m)
PZ2-Hermalle (remblayé)		242893,75	158277,9	55,033	Piézomètre	
TP5-Hermalle (remblayé)		242761,62	158296,8	57,12	Piézomètre	
TP8-Hermalle (remblayé)		242771,2	158377,88	57	Piézomètre	
PUITS-Hermalle (remblayé)		242763,3	158302,17	56,57	Piézomètre	
Surisse-P7		246318	158203	137,68	Piézomètre	23,8
Surisse-P20		245975	158290	130	Piézomètre	19
WAR 2 – Bois du Roi	34/7/9/005	249789	159799	144,1	Puits foré	35
WAR 10		249050	158875		Puits traditionnel	
FSM 3		254537	159475		Puits traditionnel	
BER 3	34/7/8/006	246148	160379		Puits traditionnel	
Devant-le-Pont P1 (ancien)	34/7/7/005	242755	159399	56	Puits foré	6
Devant-le-Pont P2 (nouveau)	34/7/7/004	242838	159418	56	Puits foré	11
Quai du Barrage – P1	34/7/7/003	242760	160852	54,36	Puits foré	97,6
910/82/10		257314,1	158335,5	239,6	Piézomètre	52
910/82/5		257016,8	159761,0	189,43	Piézomètre	15
900/82/7		253111,9	158394,3	184,82	Piézomètre	28
910/82/3		255643,2	160713,4	211,95	Piézomètre	70,4
900/82/10		252233,9	159803,5	147,56	Piézomètre	13
900/82/6		251588,4	160147,8	151,84	Piézomètre	44
900/82/14		250427,8	160653,6	139,72	Piézomètre	54
900/82/12		249562,3	161167,5	120,69	Piézomètre	43
900/82/9		253366,0	161131,6	234,18	Piézomètre	93,2
910/82/2		255233,2	161670,9	202,94	Piézomètre	71,7
FSM 1	42/4/2/052	254950	157875	273,92	Puits foré	59
Forage H	42/4/1/004	251162	157900	231,96	Piézomètre	68

ANNEXE 5: HYDROGEOLOGISCHE CODERING VAN DE ONDERGROND VAN VLAANDEREN:HCOV

Hoofdeenheid		Sub-eenheid		Basiseenheid		
0000	Onbepaald	/		/		
0100	Quartaire Aquifer-systemen	0110	Ophogingen	/		
		0120	Duinen	/		
		0130	Polderafzettingen	0131	Kleiige polderafzettingen van de Kustvlakte	
				0132	Kleiige polderafzettingen van het Meetjesland	
				0133	Kleiige polderafzettingen van Waasland-Antwerpen	
				0134	Zandige Kreekruggen	
				0135	Veen-kleiige poelgronden	
		0140	Alluviale dekklagen	/		
		0150	Dekklagen	0151	Zandige dekklagen	
				0152	Zand-lemige dekklagen	
				0153	Lemige dekklagen	
				0154	Kleiige dekklagen	
		0160	Pleistocene afzettingen	0161	Pleistoceen van de Kustvlakte	
				0162	Pleistoceen van de Vlaamse Vallei	
				0163	Pleistoceen van de rivier valleien	
		0170	Maas- en Rijnafzettingen	0171	Afzettingen Hoofdterras	
				0172	Afzettingen Tussenterrassen	
0173	Afzettingen Maasvlakte					
0200	Kempens Aquifer-systeem	0210	Afzettingen ten noorden van de Feldbiss-breukzone	0211	Zandige eenheid boven de Brunssum I-klei	
				0212	Brunssum I-klei	
				0213	Zand van Pey	
				0214	Brunssum II-klei	
				0215	Zand van Waubach	
		0220	Klei-zand-complex van de Kempen	0221	Klei van Turnhout	
				0222	Zand van Beerse	
				0223	Zanden van Brasschaat en/of Merksplas	

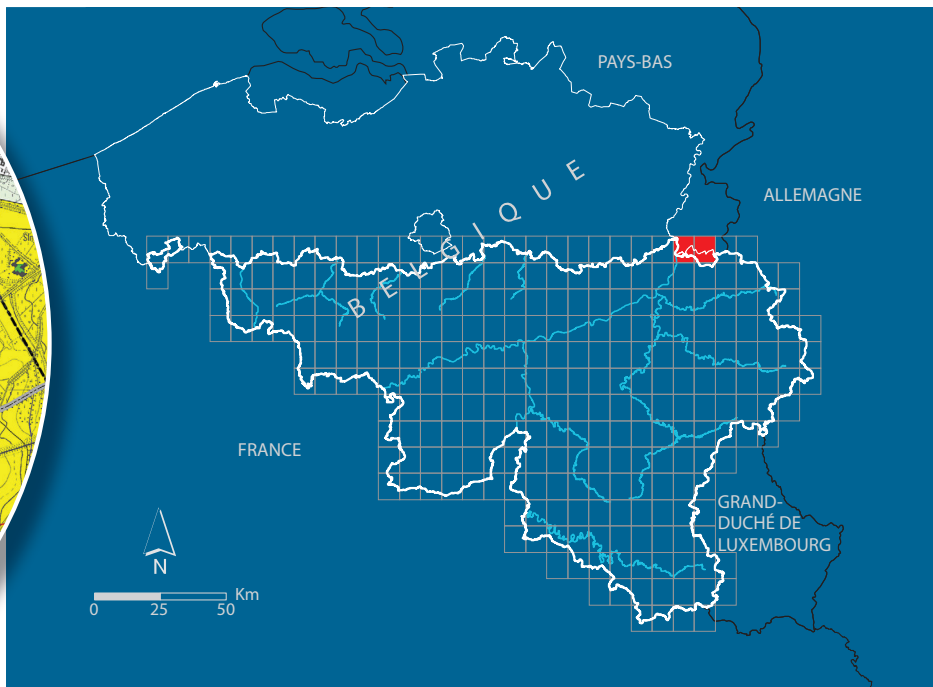
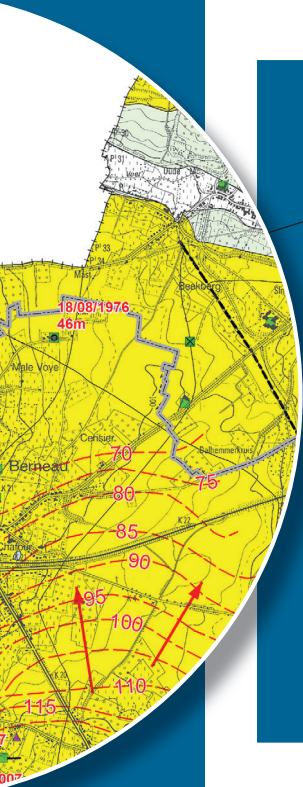
		0230	Pleistoceen en Pliocene Aquifer	0231	Zanden van Brasschaat en/of Merksplas
				0232	Zand van Mol
				0233	Zandige top van Lillo
				0234	Zand van Poederlee en/of zandige top van Kasterlee
		0240	Pliocene kleiige laag	0241	Kleiig deel van Lillo en/of van de overgang Lillo-Kattendijk
				0242	Kleiige overgang tussen de zanden van Kasterlee en Diest
		0250	Mioceen Aquifersysteem	0251	Zand van Kattendijk en/of onderste zandlaag van Lillo
				0252	Zand van Diest
				0253	Zand van Bolderberg
				0254	Zanden van Berchem en/of Voort
				0255	Klei van Veldhoven
				0256	Zand van Eigenbilzen
		0300	Boom Aquitard	/	0301
0302	Klei van Putte				
0303	Klei van Terhagen				
0304	Klei van Belsele-Waas				
0400	Oligoceen Aquifersysteem	0410	Zand van Kerniel	Zand van Kerniel	
		0420	Klei van Kleine-Spouwen	Klei van Kleine-Spouwen	
		0430	Ruisbroek-Berg Aquifer	0431	Zand van Berg
				0432	Zand van Kerkom
				0433	Kleiig zand van Oude Biezen
				0434	Zand van Boutersem
				0435	Zand van Ruisbroek
				0436	Zand van Wintham
		0440	Tongeren Aquitard	0441	Klei van Henis
				0442	Klei van Watervliet
		0450	Onder-Oligoceen Aquifersysteem	0451	Zand van Neerrepen
				0452	Zand-klei van Grimmertingen
				0453	Kleiig zand van Bassevelde
0500	Bartoon Aquitard-	/	0501	Klei van Onderdijke	

	systeem			0502	Zand van Buisputten
				0503	Klei van Zomergem
				0504	Zand van Onderdale
				0505	Kleien van Ursel en/of Asse
0600	Ledo Paniseliaan Brusseliaan Aquifer-systeem	0610	Wemmel-Lede Aquifer	0611	Zand van Wemmel
				0612	Zand van Lede
		0620	Zand van Brussel	Zand van Brussel	
		0630	Afzettingen van het Boven-Paniseliaan	0631	Zanden van Aalter en/of Oedelem
				0632	Zandige klei van Beernem
0640	Zandige afzettingen van het Onder-Paniseliaan	Zand van Vlierzele en/of Aalterbrugge			
0700	Paniseliaan Aquitardsysteem	/		0701	Klei van Pittem
				0702	Klei van Merelbeke
0800	Ieperiaan Aquifer	/		Zand van Egem en/of Mont-Panisel	
0900	Ieperiaan Aquitard-systeem	0910	Silt van Kortemark	Silt van Kortemark	
				0920	Afzettingen van Kortrijk
		0922	Klei van Moen		
		0923	Zand van Mons-en-Pévèle		
		0924	Klei van Saint-Maur		
		0925	Klei van Mont-Héribu		
1000	Paleoceen Aquifer-systeem	1010	Landeniaan Aquifer-systeem	1011	Zand van Knokke
				1012	Zandige afzettingen van Loksbergen en/of Dormaal
				1013	Zand van Grandglise
				1014	Kleiig deel van Lincet
				1015	Versteend deel van Lincet
		1020	Landeniaan en Heersiaan Aquitard	1021	Siltige afzettingen van Halen
				1022	Klei van Waterschei
				1023	Slecht doorlatend deel van de Mergels van Gelinden
		1030	Heersiaan en Opglabbeek Aquifersysteem	1031	Doorlatend deel van de Mergels van Gelinden
				1032	Zand van Orp
1033	Zand van Eisden				

				1034	Klei van Opoeteren
				1035	Zand van Maasmechelen
1100	Krijt Aquifersysteem	1110	Krijt Aquifer	1111	Kalksteen van Houthem
				1112	Tufkrijt van Maastricht
				1113	Krijt van Gulpen
		1120	Afzettingen van Vaals	Smectiet van Herve	
		1130	Zand van Aken	Zand van Aken	
		1140	Turoonmergels op Massief van Brabant	/	
		1150	Wealdiaan	/	
1200	Jura - Trias - Perm	1210	Jura	/	
		1220	Trias	/	
		1230	Perm	/	
1300	Sokkel	1310	Boven-Carboon (steenkoolterrein en -lagen)	/	
		1320	Kolenkalk	/	
		1330	Devoon	/	
		1340	Cambro-Siluur Massief van Brabant	/	

Source: Databank Ondergrond Vlaanderen, DOV → Grondwater → HCOV kartering

<http://dov.vlaanderen.be/dovweb/html/3hcov.html>



SPW | Éditions, CARTES

Dépôt légal : D/2017/12.796/1 – ISBN : 978-2-8056-0225-2

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

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