

# WAREMME - MOMALLE HEERS - BORGLOON

41/3-4

33/7-8

## Notice explicative

### CARTE HYDROGÉOLOGIQUE DE WALLONIE

Echelle : 1/25 000



Photos couverture © SPW-DGARNE(DGO3)

Fontaine de l'ours à Andenne

Forage exploité

Argillère de Celles à Houyet

Puits et sonde de mesure de niveau piézométrique

Emergence (source)

Essai de traçage au Chantoir de Rostenne à Dinant

Galerie de Hesbaye

Extrait de la carte hydrogéologique de Waremme-Momalle, Heers-Borgloon



# WAREMME – MOMALLE

## HEERS - BORGLOON

### 41/3-4, 33/7-8

Vincent **HALLET**, Valérie **PETERS**, Ingrid **RUTHY**, Radu Constantin **GOGU** (41/3-4)  
Ingrid **RUTHY** (33/7-8)

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



## NOTICE EXPLICATIVE

2012

Première édition : Mars 2000 (41/3-4), Juin 2012 (33/7-8)  
Actualisation partielle : Juin 2012

Dépôt légal – **D/2012/12.796/5** - ISBN : **978- 2-8056-0106-4**

**SERVICE PUBLIC DE WALLONIE**

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

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

## **Table des matières**

Avant-propos .....	3
I. INTRODUCTION .....	5
II. CADRES GEOGRAPHIQUE, HYDROGRAPHIQUE, GEOMORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE .....	6
III. CADRE GEOLOGIQUE .....	10
III.1 CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL .....	10
III.2 CADRE GEOLOGIQUE DE LA CARTE .....	11
III.2.1 Carte lithostratigraphique .....	11
III.2.1.1 Formations du Paléozoïque .....	12
III.2.1.2 Formations du Mésozoïque .....	12
III.2.1.3 Formations du Cénozoïque .....	15
III.2.2 Cadre structural .....	17
IV. CADRE HYDROGEOLOGIQUE .....	18
IV.1 DESCRIPTION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES .....	19
IV.1.1 Unités hydrogéologiques du Mésozoïque .....	19
IV.1.1.1 Aquiclude des marnes du Campanien .....	19
IV.1.1.2 Aquifère des craies du Crétacé .....	19
IV.1.2 Unités hydrogéologiques du Cénozoïque .....	20
IV.1.2.1 Aquifère à niveaux aquicludes du Paléocène .....	20
IV.1.2.2 Aquifère des sables de l'Oligocène .....	20
IV.1.2.3 Aquifère à niveaux aquicludes de l'Oligocène .....	20
IV.1.2.4 Aquitard limoneux .....	21
IV.1.2.5 Aquifère alluvial .....	21
IV.1.3 Unités hydrogéologiques en Flandre .....	23
IV.2 DESCRIPTION DE L'HYDROGEOLOGIE DE LA CARTE .....	27
IV.2.1 Aquifère des craies de Hesbaye .....	27
IV.2.2 Aquifères du Cénozoïque .....	36
IV.2.3 Coupes hydrogéologiques .....	36
IV.2.4 Piézométrie de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon .....	37
V. CADRE HYDROCHIMIQUE .....	38
V.1 CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX .....	39
V.1.1 Aquifère des craies de Hesbaye .....	39
V.2 PROBLEMATIQUE DES NITRATES .....	41
V.3 QUALITE BACTERIOLOGIQUE .....	44
V.4 PESTICIDES .....	44
V.5 AUTRES PARAMETRES .....	45

VI. EXPLOITATION DES AQUIFERES .....	46
Prélèvements en Wallonie.....	47
Prélèvements publics en Flandre .....	51
VII. PARAMETRES D'ECOULEMENT ET DE TRANSPORT .....	52
VII.1 Aquifère des craies de Hesbaye.....	52
VIII. ZONES DE PROTECTION.....	55
VIII.1 Cadre legal.....	55
VIII.2 Zones de prevention autour des captages de la CILE .....	58
VIII.3 Zones de prevention autour des captages de la SWDE .....	60
VIII.4 Zones de prevention autour des captages de la VMW .....	61
VIII.5 Zones de prevention en Flandre.....	63
IX. METHODOLOGIE DE L'ELABORATION DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE .....	64
IX.1 ORIGINES DES INFORMATIONS .....	64
IX.1.1 Données géologiques et connexes .....	64
IX.1.2 Données météorologiques et hydrologiques .....	66
IX.1.3 Données hydrogéologiques.....	66
IX.1.3.1 Localisation des ouvrages .....	66
IX.1.3.2 Données piézométriques.....	67
IX.1.3.3 Données hydrochimiques et tests sur les puits .....	67
IX.1.4 Autres données .....	68
IX.2 BASE DE DONNEES HYDROGEOLOGIQUES .....	68
IX.3 POSTER DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE.....	69
IX.3.1 Carte hydrogéologique principale.....	69
IX.3.2 Carte des informations complémentaires et des caractères des nappes.....	70
IX.3.3 Carte des volumes d'eau prélevés .....	71
IX.3.4 Carte des isohypses .....	72
IX.3.5 Tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie' .....	72
IX.3.6 Coupe hydrogéologique .....	72
X. BIBLIOGRAPHIE .....	73
ANNEXE 1: LISTE DES ABREVIATIONS .....	78
ANNEXE 2: TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	80
ANNEXE 3: CARTE DE LOCALISATION.....	82
ANNEXE 4: COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES OUVRAGES CITES DANS LA NOTICE.....	83

## Avant-propos

La carte hydrogéologique Waremme-Momalle (41/3-4) & Heers-Borgloon (33/7-8) a été commandée et coordonnée par le Service Public de Wallonie (SPW). Cette carte hydrogéologique a été réalisée par l'unité « Hydrogéologie et Géologie de L'Environnement » du secteur GEO<sup>3</sup> du département ArGEnCo de l'Université de Liège. Le projet a été supervisé par le professeur Alain Dassargues. La première édition de cette carte date de mars 2000<sup>1</sup> et a été réalisée par V.Hallet, V.Péters, R.C.Gogu et I.Ruthy. L'actualisation de la partie 41/3-4 et la construction de la partie 33/7-8 ont été réalisées en mai 2012 par I.Ruthy et 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 (DGRNE, Obs. Eaux Souterraines). Ainsi les données concernées sont les zones de prévention, les volumes prélevés, les nouveaux ouvrages déclarés, des données piézométriques nouvelles encodées dans la base de données. Une collecte exhaustive de données complémentaires n'a pas été menée.

Collaborent au projet 'Carte hydrogéologique de Wallonie' l'Université de Mons (UMons, anciennement FPMs), les Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix de Namur (FUNDP) et l'Université de Liège (ULg) dont le site ULg-Arlon.

Les auteurs de la carte hydrogéologique remercient tous les bureaux d'études actifs dans le domaine de l'environnement qui ont fourni de nombreuses données. Nous remercions également les compagnies d'eau: Société Wallonne des Eaux (C.Dor), Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux (JM Compère, B.Pirard, Y. Delvenne), Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening (S.Six). Nous remercions aussi tous les particuliers et industries qui nous ont permis de visiter leur prise d'eau et d'y faire quelques mesures.

Cette carte, située partiellement en Région Flamande, n'aurait pu être réalisée sans l'apport de données issues de la Vlaamse Milieu Maatschappij (VMM) et de sa base de données (Databank Ondergrond Vlaanderen). Nous remercions la Région Flamande et plus spécifiquement le Service Eau (Afdeling Water) de la VMM pour leur collaboration à la réalisation de cette carte hydrogéologique de Wallonie.

Pour leur relecture attentive et constructive de la carte et de la notice, nous remercions également vivement Pierre Ghysel (SGB) et S.Roland (UMons).

---

<sup>1</sup> Hallet V., Péters V., Ruthy I., Gogu R.C. & Monjoie A. 2000. Carte hydrogéologique prototype de Wallonie, Waremme-Momalle, 41/3-4. 1:25000. Namur, Service Public de Wallonie, Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement, 1 notice explicative de 42 p. + annexes

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

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

L'ensemble des données utilisées pour la réalisation de la carte a été encodé dans une base de données sous le format «Access - Microsoft». Les données alphanumériques géographiques (GeoDataBase) ainsi que les autres données au format image, pdf ou xls qui ont servi, au sens strict, de la construction de la carte et de la notice ont été remises à la Direction des Eaux Souterraines (Département de l'Environnement et de l'Eau, DGO3 DGARNE, SPW).

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



## I. INTRODUCTION

La zone de carte de Waremme-Momalle & Heers-Borgloon se situe dans le nord de la province de Liège, à la frontière avec la Flandre. L'aquifère principal de cette région est la nappe de Hesbaye. Cette dernière est limitée par la Meuse au sud et à l'est, la Méhaigne à l'ouest; vers le nord, elle est drainée par le Geer puis se prolonge sous les couvertures cénozoïques.

La nappe aquifère de Hesbaye est logée dans les fissures et les pores des craies du Crétacé. La craie se caractérise par une très grande porosité lui conférant une bonne capacité de stockage; la présence de fissures garanti un drainage efficace de la nappe. Cet aquifère de première importance assure, à raison de 60 000 m<sup>3</sup>/jour à 80 000 m<sup>3</sup>/j, l'alimentation de la ville de Liège et des communes du plateau hesbignon. Les principaux producteurs d'eau, exploitant la nappe des craies sur le territoire de cette carte, sont la Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux (CILE), la Société Wallonne des Eaux (SWDE) et la Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening (VMW). On dénombre aussi beaucoup de captages privés, essentiellement destinés à des fins agricoles.

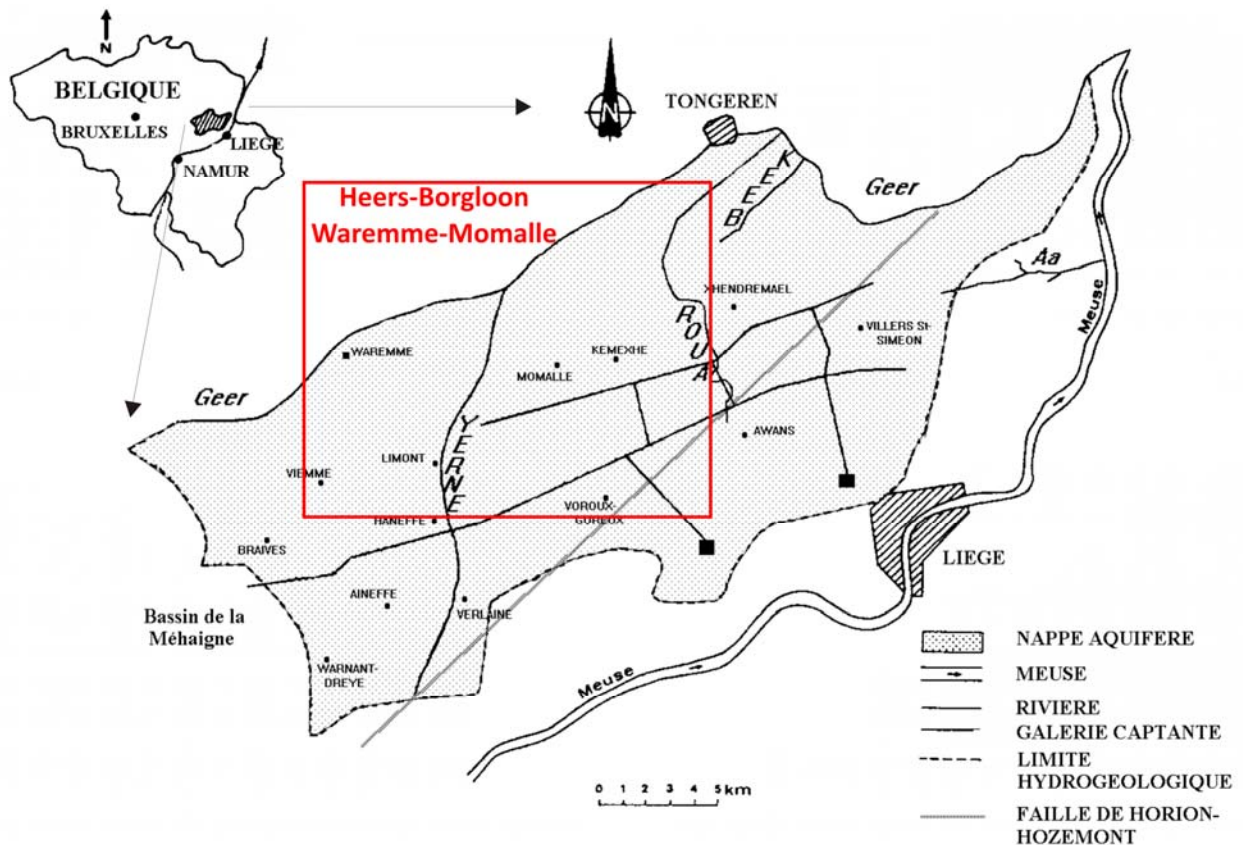


Figure I.1: Localisation de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon

## II. CADRES GEOGRAPHIQUE, HYDROGRAPHIQUE, GEOMORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE

La région Waremme-Momalle & Heers-Borgloon se situe en Moyenne Belgique, plus précisément en Hesbaye sèche. Cette appellation est liée aux contextes géologique, géomorphologique et hydrographique de la région. Le bas-plateau hesbignon liégeois se distingue par un réseau hydrographique atrophié. De nombreuses vallées sèches de direction générale nord-sud (directions secondaires SW-NE, SE-NW) façonnent le paysage en une succession de crêtes et de dépressions largement arrondies et à pente souvent dissymétrique (figure II.1). La plupart de ces vallées sèches ont une origine périglaciaire et l'assèchement de certaines d'entre-elles est lié à des infiltrations favorisées par la dissolution lente des craies.

Le bas-plateau hesbignon, mollement ondulé, s'incline légèrement vers le nord. La ligne de partage des eaux entre les bassins du Geer et de la Gette (affluent de la Dyle) constitue aussi l'interfluve Meuse-Escaut. L'altitude de la zone cartographiée est comprise entre 100 m dans la vallée du Geer à sa sortie de la carte, et environ 180 m dans la partie sud-est (Velroux).

Le réseau hydrographique actif est très peu dense. Le Geer traverse la partie septentrionale de la carte. En aval de la confluence avec la Mulle, à hauteur d'Oleye, il suit une direction sud-ouest-nord-est. Ensuite, il s'écoule d'ouest en est. Il est rejoint par la Yerne à Lens-sur-Geer et par le Roua à Otrange (figure II.1). La vallée évasée de la Yerne, rivière longue d'environ 11 km et s'écoulant selon un axe sud-nord, présente un encaissement variable.

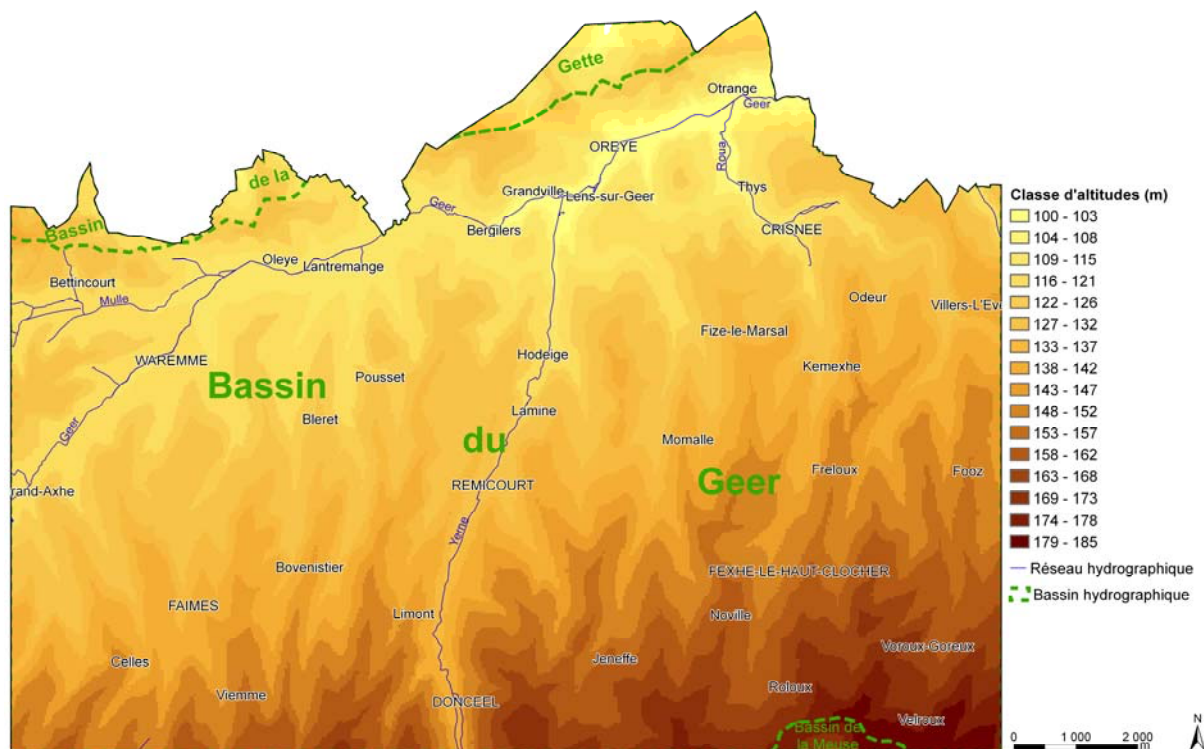


Figure II.1: Relief et hydrographie

La figure II.2 présente la carte d'occupation du sol de la région de Waremme-Momalle & Heers-Borgloon et la répartition selon les classes de niveau 1. Ces données sont extraites de la carte numérique de l'occupation du sol wallon<sup>2</sup>.

La région hesbignonne est caractérisée par un paysage d'openfield, constitué de vastes campagnes ouvertes mollement ondulées et parsemées de villages. A l'origine, l'habitat était groupé autour de l'église. Actuellement, les villages se densifient et on observe un étalement le long des axes routiers. Cette périurbanisation croissante, liée à la proximité des grandes agglomérations bruxelloise et liégeoise, engendre une dispersion de l'habitat. Waremme constitue le pôle urbain majeur de la région avec une dynamique de croissance importante (habitat et activités économiques) et une forte pression de la périurbanisation (proximité de l'autoroute E40 et de la voie ferrée). Les herbages et les aires arborées (peupleraies, surtout) sont peu présents et tapissent en général les fonds de vallées et les abords de l'habitat (Droeven et al., 2004). Le tracé de la Yerne est souligné par le couvert végétal, davantage composé de feuillus (partie amont) puis de prairies. La vallée se distingue du plateau environnant par son espace construit fortement développé. On peut observer un regroupement du bâti avec un enchaînement presque ininterrompu de noyaux villageois (De Witte et al., 2009). La région étudiée est largement dominée par les surfaces agricoles dont une répartition détaillée est donnée au tableau II.1. Les principales cultures sont les céréales, les betteraves sucrières et les légumes. Le parcellaire géométrique et de grande taille, dû au remembrement agraire, apparaît nettement sur la figure II.2.

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

<u>Territoires agricoles</u>	
Terres arables	83.2 %
Surfaces enherbées (prairies permanentes)	14 %
Cultures permanentes (principalement des vergers)	2.3 %
Friches agricoles	0.5 %

La figure II.3 concerne la nature du sol de la région de Waremme-Momalle & Heers-Borgloon. Cette carte des sols est plutôt homogène. Les "sols limoneux à drainage naturel favorable"<sup>3</sup> représentent la classe dominante, type particulièrement favorable aux activités agricoles. Les fonds de vallée (Geer, Mulle, Yerne) sont caractérisés par des sols limoneux à drainage naturel modéré à imparfait et à drainage naturel assez pauvre à très pauvre.

<sup>2</sup> 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). La légende de la COSW est hiérarchisée en 5 niveaux de détails. Le niveau 1, le plus global, comporte 6 classes d'occupation du sol et le niveau 5, le plus détaillé, en contient 97. Pour plus d'informations: <http://cartographie.wallonie.be>

<sup>3</sup> Terminologie issue de la carte des sols de Wallonie. Pour plus d'informations: <http://cartopro3.valid.wallonie.be/CIGALE>



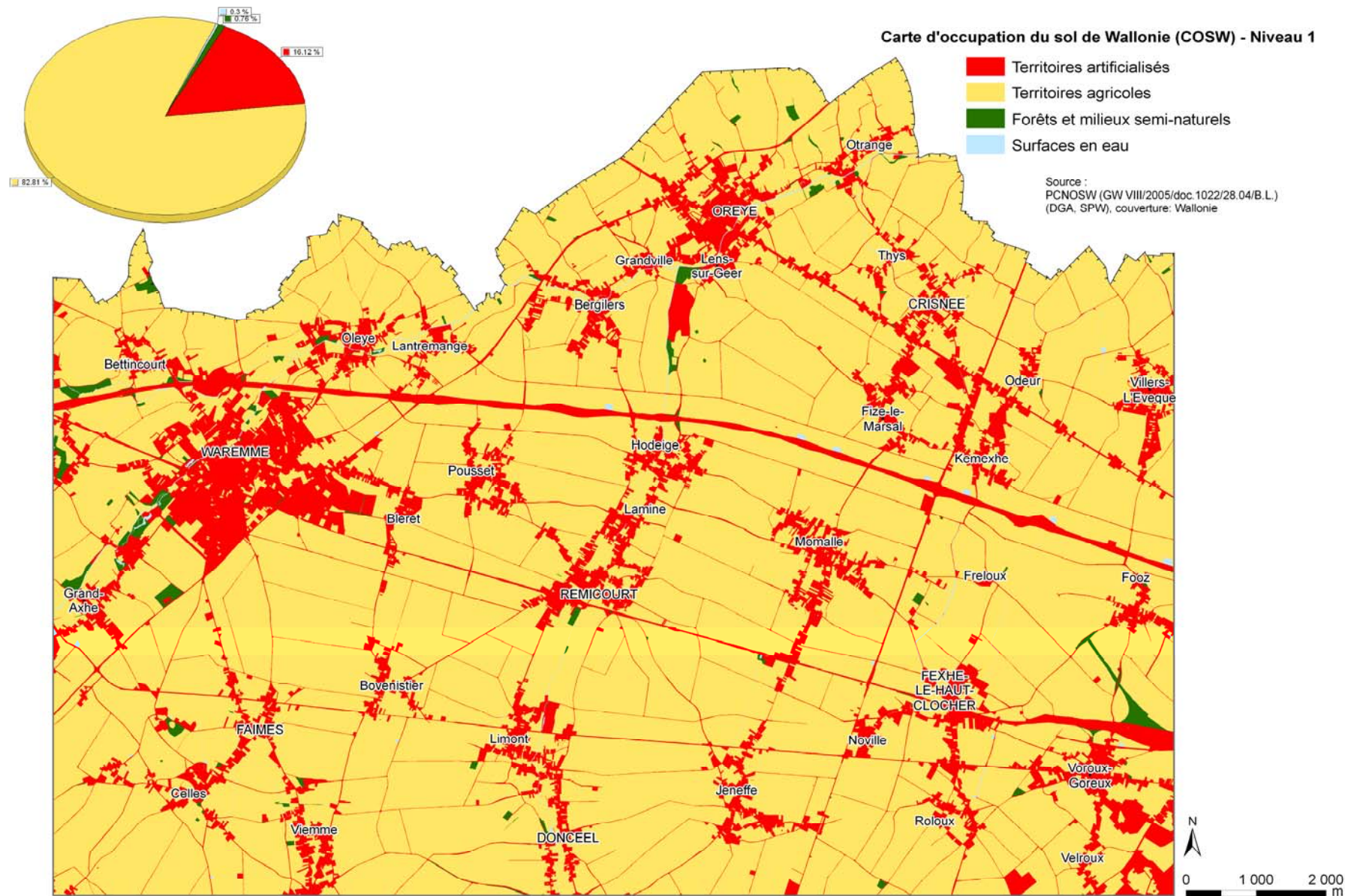


Figure II.2: Occupation du sol

**Type de sol**

- Sols tourbeux ou tourbières - 0.03%
- Sols sableux ou limono-sableux à drainage naturel excessif ou légèrement excessif - 0.16%
- Sols sablo-limoneux à drainage naturel principalement favorable - 0.20%
- Sols limoneux à drainage naturel favorable - 88.01%
- Sols limoneux à drainage naturel modéré ou imparfait - 1.13%
- Sols limoneux à drainage naturel assez pauvre à très pauvre - 2.18%
- Sols argileux à drainage naturel favorable à imparfait - 0.01%
- Sols limono-caillouteux à charge de silexite ou de gravier ou de conglomérat et à drainage naturel principalement favorable - 0.10%
- Regroupement de complexes de sols de textures différentes ou sur fortes pentes et de sols de fonds de vallons limoneux ou rocailleux - 0.32%
- Sols artificiels ou non cartographiés - 7.86%

Source :  
PCNOSW (GW VIII/2005/doc.1022/28.04/B.L.)  
(DGA, SPW), couverture: Wallonie

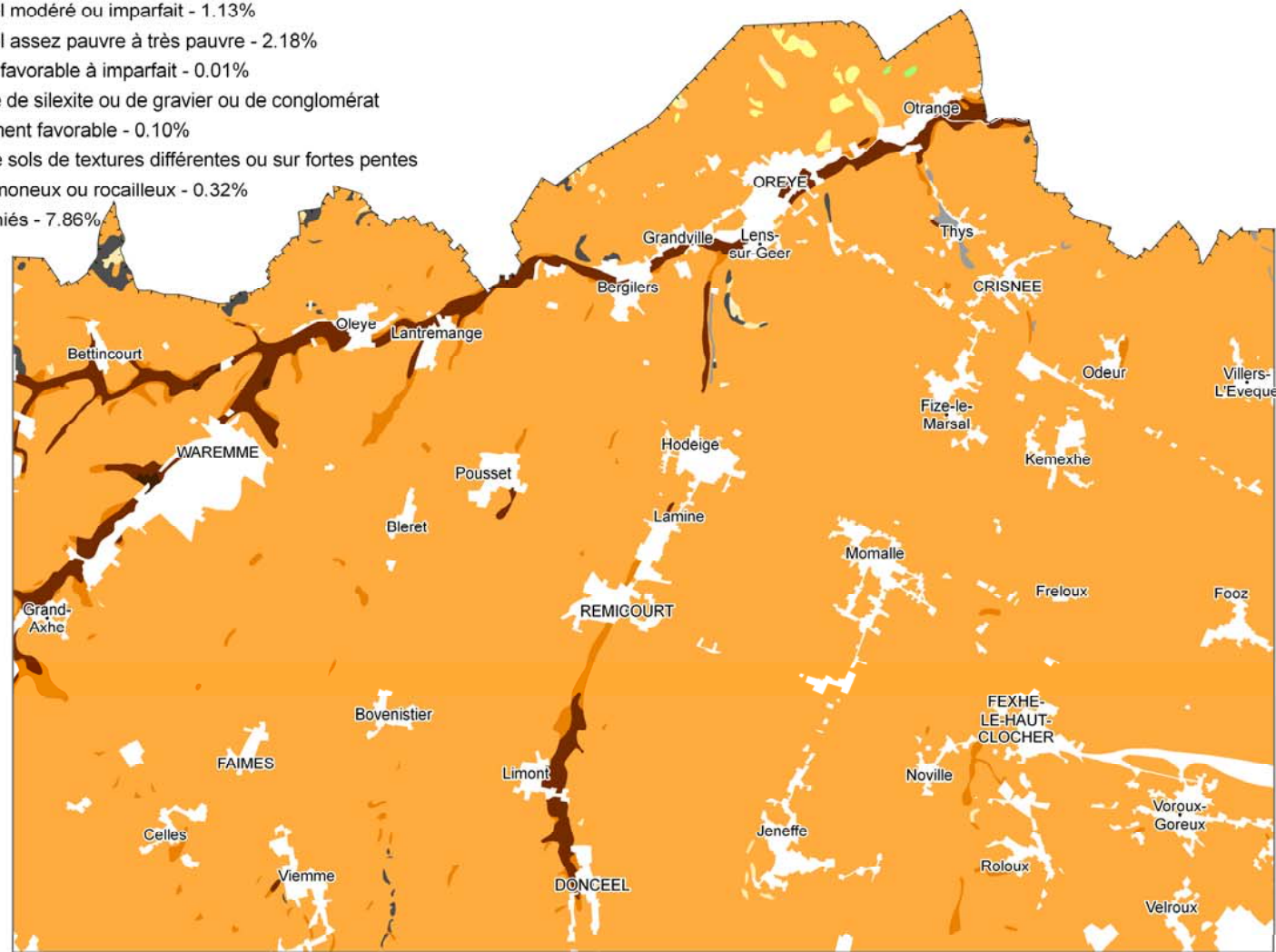
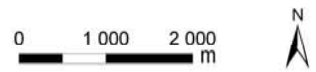


Figure II.3: Type de sols



### III. CADRE GEOLOGIQUE

#### III.1 CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

La carte étudiée s'intègre dans la partie septentrionale de la région liégeoise qui constitue la Hesbaye (figure III.1). La géologie est caractérisée par des terrains du Mésozoïque et du Cénozoïque, faiblement inclinés vers le nord et reposant par une discordance sur le socle autochtone du Paléozoïque. Ce dernier, plissé lors de l'orogénèse varisque, a été pénéplané ultérieurement. Ce socle qui n'affleure que sur les versants de la vallée mosane et de quelques vallons adventifs, s'articule autour de l'anticlinorium du Massif calédonien du Brabant flanqué au sud du Parautochtone brabançon (ancien Synclinorium de Namur) qui a donné lieu aux deux grands bassins charbonniers de Wallonie. Cet ensemble est bordé au sud par la faille du Midi, faille eifélienne, qui charrie l'allochtone ardennais lato sensu dans une translation nord d'environ 15 à 20 km.

Le Mésozoïque de Hesbaye est le résultat d'une transgression marine septentrionale qui a déposé des sédiments crayeux. Il a son pendant méridional dans le Bassin de Mons dont il ne reprend que les étages les plus tardifs. Au cours du Cénozoïque, les dernières pulsations transgressives de la Mer du Nord ont déposé une succession de couches sableuses et argileuses en Flandre et en Wallonie jusque sur le plateau ardennais où subsistent des poches résiduelles. Au Quaternaire, une ultime surrection voit l'Ardenne définitivement émergée que l'érosion façonne en une nouvelle pénéplaine en même temps qu'un encaissement par saccades approfondit le lit de la Meuse dont les terrasses étagées sont les témoins. Enfin, la couverture superficielle est formée de limons éoliens (loess) d'épaisseurs très variables.

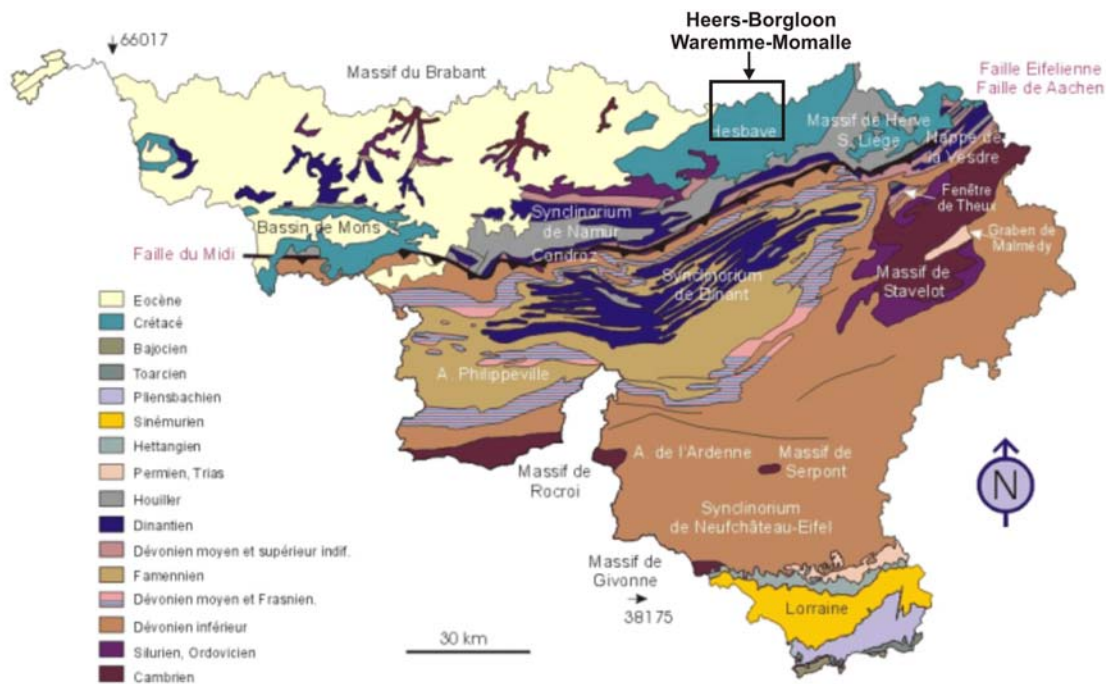


Figure III.1: Localisation de la carte géologique de Waremme-Momalle & Heers-Borgloon (Boulvain & Pingot, 2011, modifié)

## III.2 CADRE GEOLOGIQUE DE LA CARTE

### III.2.1 Carte lithostratigraphique

Les formations géologiques affleurant sur la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon sont constituées de terrains datant du Mésozoïque et du Cénozoïque. Ils reposent sur un socle paléozoïque pénéplané observé, ici, uniquement en forages. Les roches paléo- et mésozoïques sont affectées de nombreuses failles. Ces fractures ne sont pas toujours identifiées clairement et sont peu cartographiées.

A défaut, d'une carte géologique récente, la description des formations géologiques fait référence aux cartes géologiques n°120 Waremme-Momalle & n°106 Heers-Borgloon dressées au 1/40.000, en 1902, par Van den Broeck et Rutot. Ces cartes géologiques servent de fond à la carte hydrogéologique. A la demande du comité de lecture des nouvelles cartes géologiques, les dénominations utilisées, ici, n'ont pas été actualisées, la nouvelle échelle lithostratigraphique de la région n'ayant pas encore été établie.

Rappelons que, pour les anciennes cartes géologiques, l'unité de base est « l'assise », celle-ci constituant une unité chronostratigraphique, à la différence de la nouvelle édition où l'unité de base est la formation lithostratigraphique cartographiable à l'échelle de la carte. En outre, certains termes, anciens et locaux, ne sont plus très usités dans la terminologie actuelle (Dejonghe, 2001).

**Schiste:** *roche argileuse de la classe des lutites<sup>4</sup>, consolidée, ayant pris une schistosité. Notons que le mot schiste a souvent été employé en français dans le sens de shale ; c'est le cas pour la présente carte.*

Pour plus d'informations, vous pouvez vous référer à l'ouvrage de référence sur la nouvelle échelle stratigraphique de Belgique (Bultynck & Dejonghe, 2001).

---

<sup>4</sup> Lutites: ensemble des roches sédimentaires détritiques dont les éléments sont de diamètre inférieur à 1/16 mm (62,5 µm). Pour certains auteurs, le terme pélite désigne toute roche détritique (meuble ou consolidée) à grain très fin (pélite est alors synonyme de lutite); pour d'autres, le terme lutite est restreint aux roches meubles et le terme pélite, aux roches consolidées (Dejognhe, 2001)

### **III.2.1.1 Formations du Paléozoïque**

Les terrains paléozoïques constituent le socle sur lequel reposent, en discordance, les dépôts mésozoïques du plateau de Hesbaye. Cette pénéplaine épi-varisque est inclinée vers le nord-est et est affectée par plusieurs failles importantes dont un rejeu récent de la faille d'Horion-Hozémont, prolongement de la Faille Bordière qui désolidarise le Cambro-Silurien du Massif du Brabant du Carbonifère du Parautochtone brabançon. Ainsi les calcaires du Viséen inférieur ou éventuellement les schistes du Houiller du compartiment sud-est sont mis en contact avec les phyllades et les quartzites du Cambro-Silurien du compartiment nord-ouest.

Ces roches du Cambro-Silurien et du Carbonifère n'affleurent pas dans les limites de la carte et n'ont été observées que dans des forages profonds. Ces systèmes ne sont donc pas repris dans le tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie'.

Par ailleurs, le socle présente quelques anomalies positives avec, principalement, des pointements de roches éruptives au sommet du Paléozoïque dans les régions de Jeneffe<sup>5</sup> et Voroux-Goreux (voir la carte des isohypses et la coupe hydrogéologique) et la remontée du socle à Momalle. Ces phénomènes ont, par compaction différentielle, engendré une fracturation de la craie conduisant à de plus grandes perméabilités, ainsi qu'en attestent des rabattements locaux et des gradients plus faibles de la surface piézométrique.

### **III.2.1.2 Formations du Mésozoïque**

#### **III.2.1.2.1 Crétacé**

Au début du Crétacé, survint la phase tectonique néocimmérienne. Ce vaste mouvement induit une subsidence du socle et se traduit par une transgression marine venue du nord et par le dépôt de formations argilo-marneuses et crayeuses du Campanien et du Maastrichtien, suivis dans la foulée par le dépôt des Formations du Cénozoïque.

La craie est formée d'une accumulation de coccolithes (squelettes de calcite de 2 à 10 µm de végétaux unicellulaires) et de foraminifères planctoniques sédimentés dans un contexte marin. La craie est plus ou moins cohérente ou indurée par les effets plus ou moins marqués par la diagénèse et de la pression lithostatique.

---

<sup>5</sup> Un contact craie - tuff a été observé dans la galerie de la station de pompage de Jeneffe. La présence d'un conglomérat contenant des galets de roche volcanique cimentés par la craie indique clairement que les intrusions sont pré-mésozoïques (Hallet, 1998).



**Tableau III.1: Lithologie du Crétacé de Hesbaye**

Ère	Système	Série	Étage	Assise	Lithologie	Abréviation
					Conglomérat à Silex (argile, sable, silex)	Sx
<b>MEZOZOÏQUE</b>	<b>CRETACE</b>	SENONIEN	Maastrichtien		Tuffeaux et calcarénites	M
					Craie tigrée, bancs de silex	
			Campanien	Hardground de Froidmont	Craie grise	
				Craie de Spiennes	Craie à silex	
				Craie de Nouvelles	Craie blanche	Cp3b-c
				Craie de Loën	Craie glauconifère	Cp3a
				Smectite de Herve	Argile marneuse	Cp2

En Hesbaye, les formations suivantes se succèdent, de bas en haut:

a) *la smectite de Herve (Cp2)*

Datant du Campanien inférieur, elle consiste en un matériau marneux, de teintes vertes, gris vert ou gris foncé, contenant 20 à 35 % de CaCO<sub>3</sub>. La base est fréquemment soulignée par un fin conglomérat à cailloux arrondis de quartz, quartzite, grès, schistes ou encore de calcaires. Des rognons de pyrite et de marcassite y abondent. Vers le sommet, elle devient plus crayeuse et se charge en glauconie (Thorez et Monjoie, 1973).

A quelques rares endroits, la smectite de Herve est absente; la craie repose alors sur une argile d'altération du substrat cambro-silurien, reconnue comme peu perméable; et plus localement sur des pointements de roches éruptives.

Le sommet de la smectite de Herve accuse une faible pente de 1 à 1,5 % vers le nord (voir carte thématique des isohypses). Dans l'ensemble, son épaisseur croît de l'ouest en est de quelques mètres à 10 mètres et plus.

Cette assise n'affleure pas sur le territoire de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon. Elle a été reconnue en de nombreux sondages. Son épaisseur est estimée à quelques mètres (3 à 5 m).

b) *l'Horizon de Loën (Cp3a)*

Il consiste en une craie glauconifère, d'épaisseur généralement métrique; en l'absence de smectite de Herve, il repose directement sur le socle paléozoïque. Cette assise n'a pas été identifiée sur la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon.

c) *la craie du Campanien supérieur (Nouvelles Cp3b-c, Spiennes Cp4)*

Définie comme craie blanche, ou craie inférieure, elle se présente en bancs réguliers, inclinés de 1 à 2 % vers le NNW, totalise de 5 à 40 mètres d'épaisseur et constitue généralement environ les deux tiers de la puissance globale des craies dans la région. Compte tenu du caractère

transgressif des dépôts, cette épaisseur va en diminuant vers l'ouest. La fraction carbonatée avoisine toujours les 95 %, avec quelques rares silex isolés.

Dans cette formation, la circulation des eaux est principalement limitée aux réseaux denses de diaclases et de fissures associés au droit des vallées sèches, aux failles qui affectent le socle paléozoïque et aux irrégularités de la surface de discordance qui le coiffe. De ce fait, la perméabilité d'ensemble est souvent anisotrope et hétérogène.

d) *le Hardground dit Horizon de Froidmont (M)*

Ce niveau de craie indurée d'extension régionale - puisque retrouvé notamment au sud de Louvain - souligne un arrêt de la sédimentation et marque une lacune importante entre le Campanien et le Maastrichtien (Calembert, 1953, 1958). Ce hardground, véritable surface-repère, apparaît sous la forme d'un banc d'épaisseur le plus souvent métrique, incliné régulièrement de 1 à 3 % vers le NW. Cette régularité d'ensemble est en fait perturbée par quelques ravinements ou encore par des perforations remplies de craie glauconifère. Il est affecté par de nombreuses failles normales souvent altérées et délimitant des horsts et des grabens de rejets limités. Dans la partie sud de la Hesbaye, cet horizon atteint la surface topographique et disparaît du fait de l'érosion.

L'étude détaillée des données de forages met en évidence d'autres horizons indurés sous et sus-jacents, d'extension toutefois beaucoup plus limitée et discontinue.

e) *la craie grise (M)*

Craie marneuse parsemée de quelques rares silex gris, elle contient une faune d'âge maastrichtien inférieur. Le sommet est souligné par les premiers bancs quasi continus de silex.

f) *la craie tigrée (M)*

D'âge maastrichtien moyen, elle devient plus grossière et plus chargée en bancs quasi continus de silex vers le sommet.

Les craies grises et tigrées sont regroupées sous le terme de craie supérieure totalisant en moyenne, dans la partie centrale de la nappe des craies de Hesbaye, de quelques mètres à une vingtaine de mètres d'épaisseur. Elles sont affectées par des phénomènes de détente et d'altération engendrant des fissures et des diaclases ouvertes et aquifères; elles présentent une perméabilité d'ensemble supérieure et souvent plus homogène et isotrope que celle de la craie blanche campanienne.

g) *les tuffeaux et calcarénites à gros bancs de silex (M)*

Craies blanches jaunâtres, tendres et poreuses, riches en débris coquilliers, les tuffeaux affleurent dans la partie nord de la Hesbaye. Suite à leur émergence et avant les transgressions tertiaires, les tuffeaux ont subi d'intenses altérations continentales conduisant à leur dissolution et à la formation corollaire :

- de ravines et d'entonnoirs karstiques. Ce caractère karstifié du sommet de la craie est bien mis en évidence par les nombreux effondrements observés en surface;
- de niveaux phosphatés autrefois localement exploités;
- d'un conglomérat résiduel à silex, de perméabilité variable, recouvrant l'ensemble des dépôts crétacés (Sx). Ce conglomérat (faciès d'altération) présente une épaisseur très variable, souvent comprise entre 2 et 6 m, localement 8 à 10 m.

### **III.2.1.3 Formations du Cénozoïque**

#### *III.2.1.3.1 Paléogène*

Les trois séries du Paléogène sont présentes sur la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon. D'une manière générale, l'estimation de l'épaisseur de ces terrains est difficile à établir. Ils se répartissent irrégulièrement sur le plateau hesbignon sur de grandes étendues ou en lambeaux et avec des épaisseurs variables, pouvant atteindre par endroits une trentaine de mètres.

##### *a) Paléocène*

L'étage *Heersien*<sup>6</sup> (Hs) est composé de sable gris marneux glauconifère, de sable fin glauconifère, de marne blanche légèrement glauconifère et d'argile grise sableuse. Ces dépôts affleurent dans la vallée du Geer et de la Mulle, ainsi que plus au nord, sous le Tongrien.

A titre indicatif, l'étage *Landenien*<sup>7</sup> affleure plus au nord, dans la vallée du Herk (Flandre).

##### *b) Eocène-Oligocène*

L'étage *Tongrien*<sup>8</sup> est daté de la fin de l'Eocène et du début de l'Oligocène. L'Assise inférieure (Tg1) est composée de cailloux de silex à la base, suivis de sables meubles à grains moyens, peu ou pas glauconifères. Viennent ensuite des sables fins argileux micacés grisâtres ou jaunâtres passant latéralement à des sables demi-fin non argileux, clairs et meubles. Elle s'achève par un sable micacé, meuble, glauconifère, finement stratifié, verdâtre (Horizon de Neerrepen). L'Assise supérieure (Tg2) débute par un sable quartzeux meuble, verdâtre, suivi des glaises vertes

---

<sup>6</sup> Dans la nouvelle nomenclature, le Sélandien (ou Infra-Landenien) est l'équivalent du Heersien. Il n'existe qu'en Hesbaye.

<sup>7</sup> Dans la nouvelle nomenclature, le Thanétien est l'équivalent du Landenien.

<sup>8</sup> Dans la nouvelle nomenclature, le Groupe de Tongeren est l'équivalent stratigraphique du Tongrien.

plastiques avec des zones noires et des intercalations sableuses. Elle se termine par des sables jaunes et des marnes grises très fossilifères (Vieux Joncs ou Oude Biezen). L'assise supérieure n'est présente que dans le nord de la zone étudiée, à l'ouest d'Otrange, sur une surface très limitée.

Majoritaires dans la partie septentrionale de la zone étudiée, l'épaisseur totale de ces dépôts paléocènes n'excède pas 15 m. Elle décroît du nord vers le sud et d'ouest en est. Ailleurs, l'érosion les a réduits à des lambeaux épars, logés dans les aires déprimées des couches crétacées (régions de Pousset, Faimes, Viemme, Voroux-Goreux notamment).

L'étage *Rupélien*<sup>9</sup> n'est pas présent dans la zone étudiée. On le retrouve au nord-est, à hauteur d'Overreppen et de Looz (Flandre).

Les dépôts supérieurs continentaux (On) sont composés de sables graveleux feldspathiques avec des amas de cailloux et de glaises plastiques. D'épaisseurs variables, ils subsistent sous forme de lambeaux aux alentours de Velroux.

#### *III.2.1.3.2 Quaternaire*

##### *a) les limons du plateau de Hesbaye*

Le plateau de Hesbaye est recouvert de limon éolien d'épaisseur comprise entre 2 mètres et une vingtaine de mètres. Ce loess, d'origine nivéo-éolienne (glaciation Würm) joue le rôle de filtre pour l'alimentation de la nappe.

##### *b) les alluvions modernes*

Les alluvions modernes, présentes le long du Geer, de la Yerne et de la Mulle, sont composées de limons, sables et graviers roulés d'une puissance variable (quelques décimètres à quelques mètres maximum).

Les dépôts alluviaux de la vallée du Geer composés à la base d'une couche de graviers surmontée de limons argileux et localement de tourbe, reposent directement sur les terrains crayeux altérés (informations fournies lors des forages des piézomètres de la SWDE, sur la carte voisine Tongeren-Herderen).

---

<sup>9</sup> Dans la nouvelle nomenclature, le Groupe de Rupel est l'équivalent stratigraphique du Rupélien.

### III.2.2 Cadre structural

Vu l'importance des terrains du Mésozoïque, et localement du Cénozoïque (épaisseur variant entre 30 et 80 m), nous disposons de peu d'information pour détailler correctement la structure du socle paléozoïque. Un schéma simplifié explique le cadre structural calédonien dans lequel s'inscrit la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon (figure III.2).

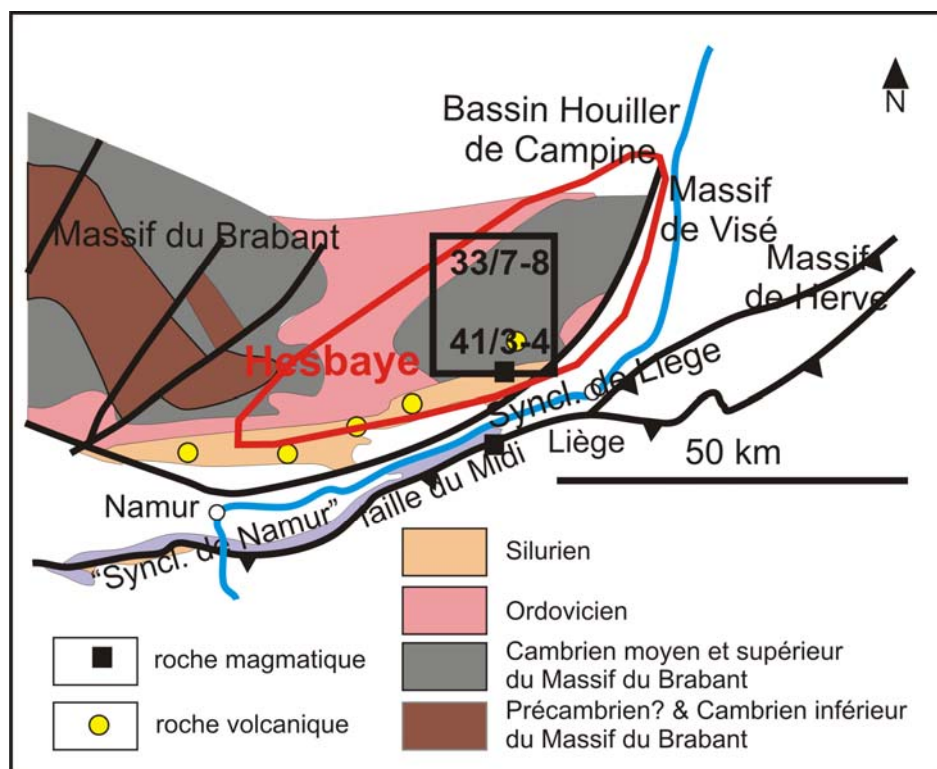


Figure III.2: Contexte structural de la région de Waremme-Momalle & Heers-Borgloon (schéma)

Ainsi, sous le plateau de Hesbaye, le socle paléozoïque pénéplané (pénéplaine épi-varisque) est affecté de failles d'importances diverses, tant du point de vue de leur extension que de leur rejet. La plus importante est la faille de Horion-Hozémont ou faille Bordière du Massif du Brabant qui met en contact les calcaires du Viséen inférieur et éventuellement les schistes du Houiller (compartiment SE) et les schistes et grès du Cambro-Silurien (compartiment NW). Cette faille longitudinale a joué après les dépôts du Mésozoïque, provoquant, outre une intense fracturation des craies crétacées, un rejet de plusieurs mètres de la base du réservoir aquifère. Dans la région de Sliens (carte Tongeren-Herderen, à l'est), où les sondages ont révélé une descente relative de 3 à 5 mètres du compartiment SE, la craie y est fortement fracturée et diaclasée augmentant sa perméabilité (Jungels, 1968). La faille de Horion-Hozémont traverse la carte hydrogéologique Waremme-Momalle & Heers-Borgloon, dans sa partie sud-est, selon une direction N45°E.

Outre cette faille, il existe diverses failles de gravité d'orientation générale N-S et de petites failles liées à la tectonique hercynienne et ayant joué ultérieurement. Ces failles se manifestent souvent par de petites anomalies de la surface piézométrique suite à une augmentation de la perméabilité liée à la fissuration induite dans les craies. Elles ne sont pas reprises sur la carte géologique du SGB.

## IV. CADRE HYDROGEOLOGIQUE

L'aquifère principal de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon est la nappe des craies de Hesbaye. Elle est exploitée par plusieurs compagnies d'eau (CILE, SWDE, VMW), par quelques industries et par de nombreux particuliers (usages agricole et domestique). De petites nappes locales, généralement temporaires, peuvent se loger dans les formations du Cénozoïque, que ce soit dans les horizons sableux ou dans les alluvions. Nous n'aborderons pas les unités hydrogéologiques du socle paléozoïque qui, sur cette carte, n'affleurent pas et ne constituent pas des aquifères déterminants dans l'hydrogéologie locale.

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

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

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

Comme annoncé précédemment, cette carte hydrogéologique est basée sur les cartes géologiques de 1902 (carte du SGB). Il existe une cartographie géologique plus récente pour la partie flamande. Cependant, la nomenclature et le découpage des formations géologiques utilisés en Flandre diffèrent de ceux qui étaient en vigueur sur les cartes géologiques du SGB. Concernant la classification hydrogéologique, la Flandre s'est dotée d'une codification hydrogéologique du sous-sol (HCOV: Hydrogeologische Codering van de Ondergrond in Vlaanderen) définissant 14 unités hydrogéologiques (Meyus et *al.*, 2000; Meyus et *al.*, 2005). 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.

Cartographiquement, ne sont reprises que les données situées en Wallonie. Les données flamandes nous ont permis de mieux comprendre le contexte hydrogéologique régional mais ne

sont pas présentées sur les cartes des posters A0. Cependant, dans la notice, des informations sur le contexte hydrogéologique dans la partie septentrionale de la carte sont détaillées dans plusieurs sections.

## **IV.1 DESCRIPTION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES**

Les unités hydrogéologiques définies sur la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon sont décrites ci-dessous dans l'ordre stratigraphique. Elles sont reprises de manière synthétique en fin de chapitre (tableau IV.1).

### **IV.1.1 Unités hydrogéologiques du Mésozoïque**

Un seul système mésozoïque est représenté sur la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon: le Crétacé. Deux unités hydrogéologiques y sont distinguées.

#### ***IV.1.1.1 Aquiclude des marnes du Campanien***

La smectite de Herve constitue le mur peu perméable de l'aquifère crétacé. En bordure des plateaux délimités par les vallées des cours d'eau, le contact entre cette argile marneuse, matériau peu perméable, et la craie sus-jacente, perméable, est souligné par la présence de sources pouvant provoquer d'importants ravinements sur les versants et saturant le colluvium et les terrains superficiels.

#### ***IV.1.1.2 Aquifère des craies du Crétacé***

Toutes les formations crayeuses du Crétacé composent cette unité hydrogéologique. Il s'agit des Assises de Nouvelles et de Spiennes (Campanien) et de l'ensemble de l'Etage maastrichtien. Le conglomérat à silex (Sx) est également inclus dans cette unité.

L'aquifère des craies présente une double porosité (interstices et fissures). La perméabilité et la porosité de la craie varient fortement selon l'échelle de considération (Dassargues & Monjoie, 1993):

- à l'échelle microscopique (quelques centimètres), la craie est un matériau légèrement compact mais poreux (porosité de 40 %) qui ne permet qu'une faible et lente circulation de l'eau (conductivité hydraulique de l'ordre de  $1 \times 10^{-9}$  m/s). L'eau contenue dans une telle roche n'est que très difficilement libérée, sauf au travers de micro-fissures qui augmentent localement la perméabilité de la craie. Cette porosité de pores favorise principalement le stockage de l'eau qui peut ensuite s'écouler via les fissures;
- à l'échelle macroscopique (quelques dizaines de mètres), des réseaux de fissures plus ou moins denses sont observés. Ils élèvent de façon significative la conductivité hydraulique de la craie, de l'ordre de  $1 \times 10^{-4}$  m/s. La porosité efficace (de drainage) liée aux fissures représente environ 5 % d'eau facilement mobilisable;

- à l'échelle de la nappe de Hesbaye, des accidents tectoniques ont fissuré la roche. Au droit des zones faillées, souvent observées à l'aplomb des vallées sèches, la craie peut présenter une conductivité hydraulique élevée ( $1 \times 10^{-3}$  m/s) et une porosité efficace de fissures de 10 à 15 %. D'autre part, lors du creusement des galeries captantes de Hesbaye, des conduits karstiques d'ouverture centimétrique ont été recoupés. Les fortes perméabilités et porosités peuvent également être mesurées au sommet des craies, du fait de la forte altération par dissolution.

Le hardground, niveau induré d'extension régionale (voir [chapitre III.2.1.2.](#)), intervient dans la dynamique de l'écoulement. Sa faible conductivité hydraulique (de l'ordre de  $2 \times 10^{-5}$  m/s) peut générer une discontinuité entre la nappe qui est logée dans la craie inférieure d'âge campanien et celle de la craie supérieure d'âge maastrichtien. Les fracturations qui l'affectent conduisent, localement, à des circulations préférentielles de l'eau entre ces deux aquifères.

## **IV.1.2 Unités hydrogéologiques du Cénozoïque**

### ***IV.1.2.1 Aquifère à niveaux aquicludes du Paléocène***

Cette unité hydrogéologique est représentée par l'Heersien. Cet étage est constitué de niveaux sableux (aquifère) et d'horizons, parfois lenticulaires, marneux (aquiclude). Ces deux lithologies n'étant pas individualisées, l'appellation 'Aquifère à niveaux aquicludes' se justifie pleinement. On le retrouve dans la partie occidentale de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon.

### ***IV.1.2.2 Aquifère des sables de l'Oligocène***

Les sables de l'Oligocène (Tongrien inférieur Tg1 & Dépôts supérieurs continentaux On) présents sur le plateau de Hesbaye peuvent contenir une nappe d'épaisseur relativement faible (quelques mètres). Lorsque les terrains sous-jacents sont suffisamment perméables, la nappe des sables alimente l'aquifère crayeux. Hydrogéologiquement, ils ont donc été définis comme aquifères. Sur la carte étudiée, la superficie de ces lambeaux épars varie entre 2 et 7 km<sup>2</sup>.

### ***IV.1.2.3 Aquifère à niveaux aquicludes de l'Oligocène***

Le Tongrien supérieur (Tg2) est formé par une alternance de niveaux sableux et argileux aux perméabilités contrastées qui est intégrée dans une seule unité hydrogéologique définie comme aquifère à niveaux aquicludes. En fonction de la lithologie dominante, soit des petites nappes perchées se développent, soit la nappe logée dans les sables alimente l'aquifère crayeux sous-jacent. Cette unité hydrogéologique est très limitée sur la carte étudiée. Un dépôt résiduel, d'environ 4 hectares, est localisé au nord d'Oreye (nord-est de la carte).



#### ***IV.1.2.4 Aquitard limoneux***

La couverture limoneuse, dont l'épaisseur peut atteindre une vingtaine de mètres, joue un rôle de filtre pour les aquifères sous-jacents, dont l'aquifère des craies de Hesbaye, lors de l'infiltration des eaux météoriques et induit un décalage entre le pic de pluviosité et la remontée du niveau piézométrique dans la nappe des craies. Dans la vallée du Geer, les limons rendent la nappe des craies semi-captive. Ces dépôts n'ont pas été cartographiés. Ils sont cependant repris dans le tableau synthétique 'Géologie-Hydrogéologie' et sur la coupe hydrogéologique exagérée.

#### ***IV.1.2.5 Aquifère alluvial***

Les alluvions modernes sont composées principalement de graviers et de sables offrant des potentialités aquifères intéressantes, si leur extension le permet. L'alimentation directe par les eaux météoriques est faible en raison de la surface négligeable de la plaine alluviale. Ainsi, la majeure partie de l'alimentation de ces nappes vient de l'apport des versants, soit par écoulement hypodermique, soit par le déversement de la nappe logée dans les terrains sous-jacents lorsque ceux-ci sont aquifères. On peut supposer également des interactions entre la nappe et la rivière, celle-ci n'étant pas (ou peu) canalisée. Sur la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon, cette nappe, d'extension limitée, est souvent captive sous les limons.

Tableau IV.1: Tableau des unités hydrogéologiques – Correspondance Géologie-Hydrogéologie

Ere	Système	Série	Etage	Assise	Lithologie	Abréviation	Hydrogéologie	
CENOZOIQUE	QUATERNAIRE	Holocène			Alluvions modernes des vallées	alm	Aquifère alluvial	
		PLEISTOCENE	Hesbayen		Limon, cailloux, gravier, sable	q3	Aquifère limoneux* (non cartographié)	
			Campinien		Amas de cailloux, sables et argiles remaniés	q2	Aquifère des sables de l'Oligocène	
	PALEOGENE	OLIGOCENE		Dépôts supérieurs continentaux	Sables graveleux, cailloux de quartz blanc, glaise plastique	On	Aquifère à niveaux aquicludes de l'Oligocène	
				Supérieure	Sables, mames, glaises plastiques avec intercalations sableuses	Tg2	Aquifère des sables de l'Oligocène	
				Inférieure	Sable micacé, meuble, glauconifère, sable fin argileux, sable à grains moyens peu glauconifère, cailloux de silex	Tg1	Aquifère à niveaux aquicludes du Paléocène	
			Heersien		Sable fin glauconifère, micacé - Mame blanche/Argile grise sableuse - Sable vert/noirâtre glauconifère	Hs		
					Conglomérat à silex, argile, sable	Sx		
		CRETACE	SENONIEN	Maastrichtien		Tuffeux et calcarénites	M	Aquifère des craies de Hesbaye
						Craie tigrée, bancs de silex		
	Craie grise							
	Hardground de Froidmont			Craie indurée				
			Spiennes	Craie à silex	Cp4			
			Nouvelles	Craie blanche à silex, craie blanche	Cp3			
			Herve	Argile mameuse	Cp2	Aquiclude des mames du Campanien* <small>*uniquement sur la coupe</small>		

### IV.1.3 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 (*grondwatersysteem, 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 5, 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 Wallonne<sup>10</sup>, différentes masses d'eau souterraine (*grondwaterlichamen, gw*) 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 Waremme-Momalle & Heers-Borgloon

Le *Brulandkrijtsysteem* occupe les deux tiers de la moitié orientale de la Flandre (figure IV.1). 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). La partie flamande de la carte Tongeren-Herderen est entièrement située dans le *Brulandkrijtsysteem* et quatre unités HCOV y sont présentes:

HCOV 0160: Pleistoceen afzettingen – Quartaire Aquifersysteem (dépôts du Pléistocène)

HCOV 0400: *Oligoceen Aquifersysteem* (Système aquifère de l'Oligocène)

HCOV 1000: *Paleoceen Aquifersysteem* (Système aquifère du Paléocène)

HCOV 1100: *Krijt Aquifersysteem* (Système aquifère du Crétacé)

---

<sup>10</sup> Sur la carte Tongeren-Herderen, dans sa partie wallonne, trois masses d'eau souterraine (MESO) ont été définies: RWM016/011: Schistes houillers/Calcaires paléozoïques du bassin de la Meuse bord Nord; RWM072: Alluvions et graviers de la Meuse (Namur-Lanaye); RWM040: Crétacé du bassin du Geer (Craies du Mésozoïque).  
Pour plus d'informations sur l'application de la Directive-Cadre en Région Wallonne: [http://environnement.wallonie.be/directive\\_eau](http://environnement.wallonie.be/directive_eau)

Sur les 15 masses d'eau souterraines (GWL) que regroupe le *Brulandkrijtsysteem*, 10 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 du 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 Waremme-Momalle & Heers-Borgloon (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>

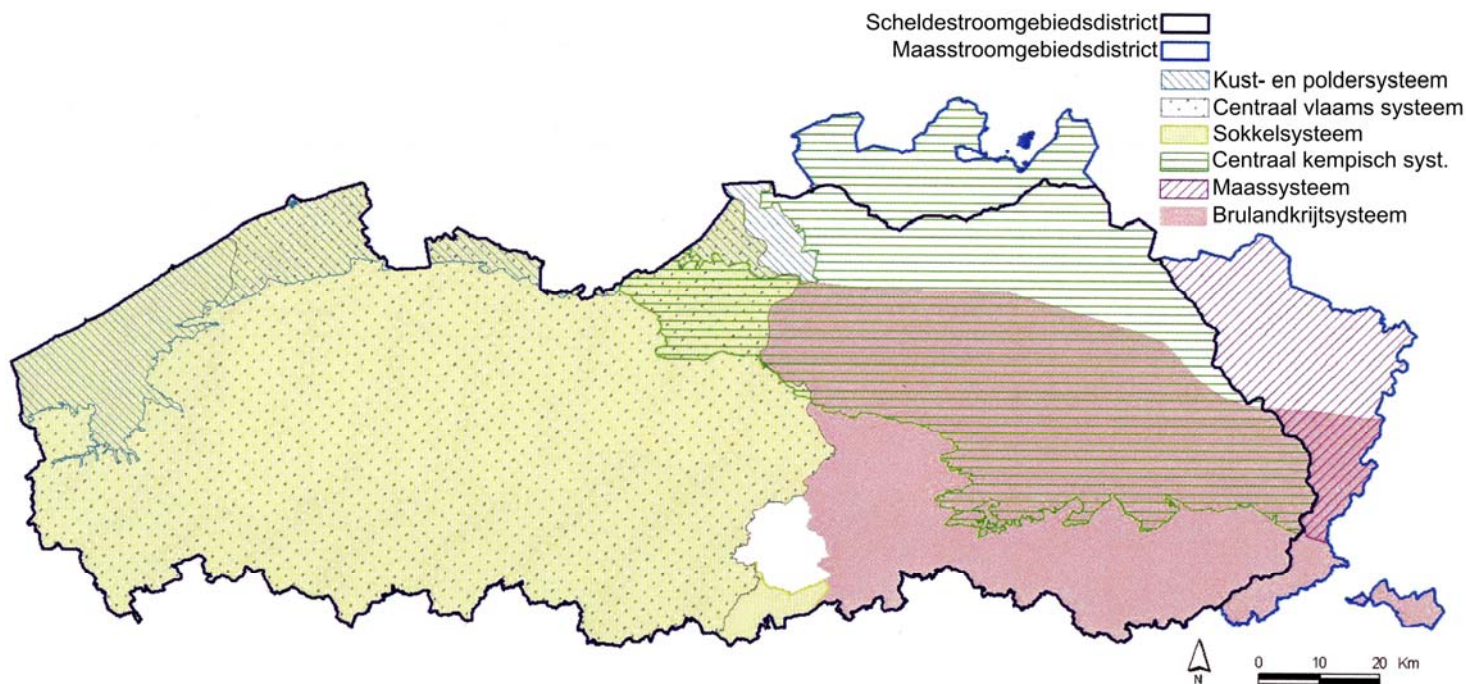


Figure IV.1: Six systèmes d'eaux souterraines en Flandre (grondwatersystemen)(VMM, 2008)

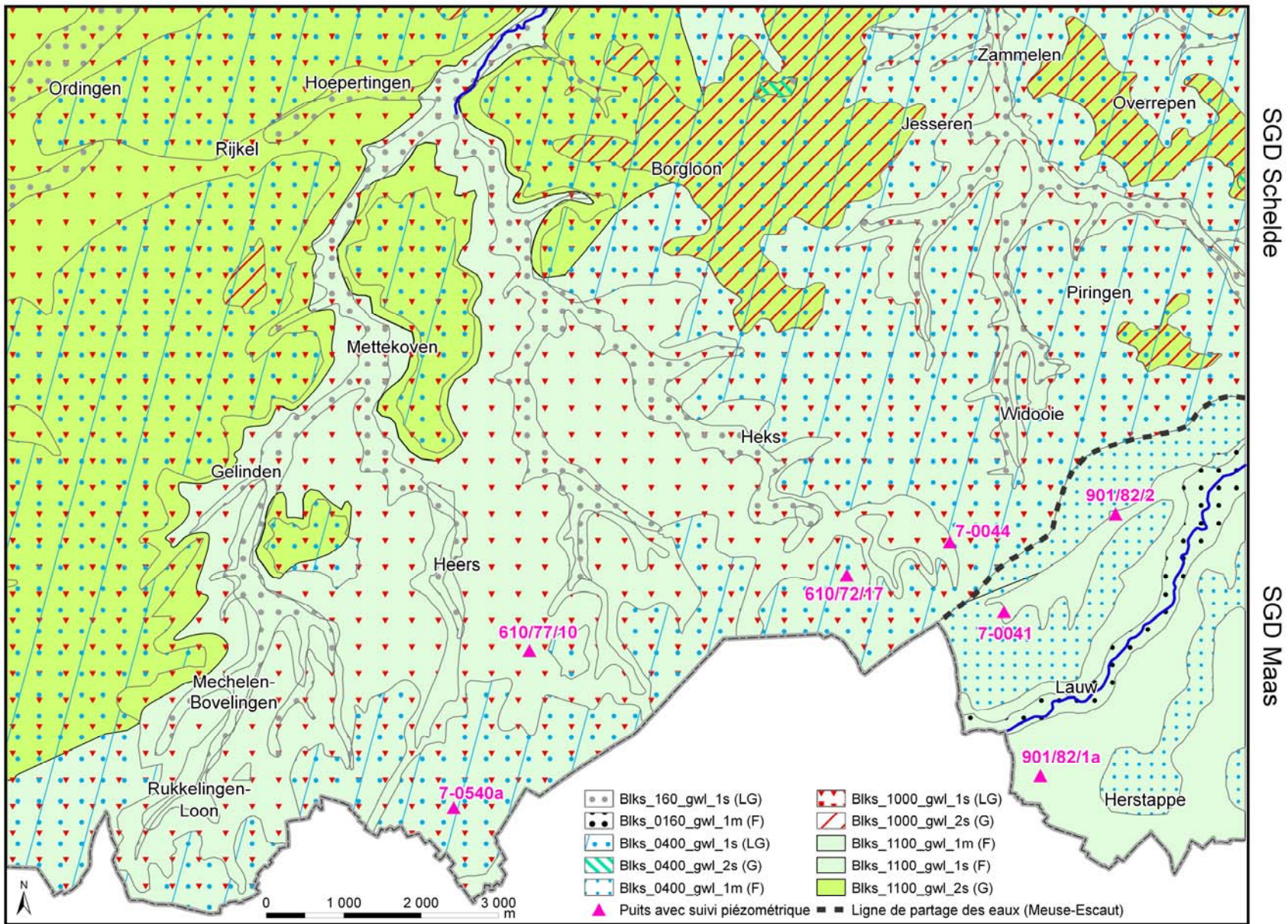
MESO - GWL	Dénomination	Lithologie	K (m/s)	Type de nappe
Blks_0160_gwl_1m	Quartaire Maasafzettingen	Sable et gravier avec intercalations argileuses	$10^{-6}$ à $10^{-2}$	Libre
Blks_0160_gwl_1s	Pleistoceen Rivierafzettingen	Sable et gravier avec glaise et argile	$10^{-6}$ à $3.5 \cdot 10^{-4}$	Localement captive
Blks_0400_gwl_1m	Oligoceen Aquifersysteem	Sable, parfois argileux	$5.8 \cdot 10^{-7}$ à $5.8 \cdot 10^{-5}$	Libre
Blks_0400_gwl_1s				Localement captive
Blks_0400_gwl_2s				Captive
Blks_1000_gwl_1s	Landeniaan Aquifersysteem	Sable fin, tuf argileux, marne	$2.3 \cdot 10^{-5}$ à $1.3 \cdot 10^{-3}$	Localement captive
Blks_1000_gwl_2s				Captive
Blks_1100_gwl_1m	Krijt Aquifersysteem	Craie, marne, sable fin	$2.3 \cdot 10^{-5}$ à $10^{-3}$	Libre
Blks_1100_gwl_1s		Craie	$10^{-5}$ à $10^{-3}$	Libre
Blks_1100_gwl_2s		craie	$10^{-6}$ à $10^{-3}$	Captive

Blks: Brulandkrijtsysteem – s: SGD Schelde; m: SGD Maas – 1: Freatisch/Lokaal Gespannen; 2: Gespannen

Sources: VMM, 2006 & 2008

Tableau IV.2: Masses d'eau souterraine en Flandre – Brulandkrijtsysteem – 41/3-4 & 33/7-8





Blks: Brulandkrijtsysteem - m: maas - s: schelde - gwl: Grondwaterlichaam (masse d'eau souterraine)

sources: VMM, DOV

F: Freatisch (libre) - G: Gespannen (captif) - LG: Lokaal gespannen (localement captif)

Figure IV.2: Masses d'eau souterrain - Région Flamande - 41/3-4 & 33/7-8

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

Les ressources en eaux souterraines de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon sont essentiellement situées dans les formations crayeuses du plateau hesbignon (Crétacé). Les dépôts sableux du Cénozoïque peuvent renfermer, localement et temporairement, de petites nappes. Les dépôts alluvionnaires sont relativement peu développés et représentent une ressource en eaux souterraines très limitée. Les limons quaternaires constituent une couche protectrice pour les nappes sous-jacentes. En période de forte pluviosité, on y observe parfois de petites nappes locales et temporaires. Toutes les unités hydrogéologiques de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon ne sont pas abordées avec le même degré de détails (intérêt hydrogéologique, faible jeu de données disponibles).

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

### IV.2.1 Aquifère des craies de Hesbaye

L'aquifère des craies de Hesbaye est le plus important de la carte hydrogéologique Tongeren-Herderen, tant géographiquement qu'économiquement. Il s'agit de la principale ressource en eaux souterraines de la carte étudiée. De nombreuses études hydrogéologiques ont été menées sur cet aquifère crayeux d'importance régionale (p.ex.: Radu *et al*, 1987; Dassargues, 1991; Hallet & Monjoie, 1996; Dewez & Dautrebande, 1996; Rouxhet & Guiot, 1996; Hallet, 1998; Interreg, 2000; Orban, 2009; Goderniaux, 2010).

#### *Allure piézométrique de la nappe*

En raison de l'allure géométrique du réservoir (bancs réguliers d'orientation est-ouest, à légère pente vers le nord) et de la disposition des limites du bassin (Meuse, Méhaigne, Geer), la nappe du Crétacé de Hesbaye s'écoule globalement du sud vers le nord en direction du Geer, exutoire principal de la nappe. Il impose ainsi à la nappe une piézométrie constante égale au niveau d'eau dans la rivière.

La nappe des craies de Hesbaye a fait l'objet de plusieurs campagnes piézométriques régionales (1951, 1966, 1984, 2008). Les cartes piézométriques de 1951 et de 2008 sont présentées sur la figure IV.3.

Les cartes piézométriques ont permis de mettre en évidence un fort effet drainant de la faille d'Horion-Hozémont, provoquant un rabattement local de la nappe dans cette zone. D'autres anomalies piézométriques sont observées au droit des vallées sèches. Ces vallées correspondent à des zones de plus grande perméabilité constituant des zones d'écoulement préférentiel qui peuvent engendrer des rabattements piézométriques notables. La surface piézométrique présente

un gradient piézométrique élevé au voisinage des galeries de captage exploitées par la CILE de l'ordre de 1 %; à l'aval le gradient est d'environ 0,5 %. La surface piézométrique est relativement peu influencée par le tracé du Geer et de la Yerne, sauf en aval pour le Geer et plutôt en amont pour la Yerne.

A l'échelle de la Hesbaye, les limites du bassin hydrogéologique au sud, à l'ouest et à l'est sont proches des limites du bassin hydrologique du Geer. Par contre, la frontière nord du bassin hydrologique du bassin du Geer ne correspond pas du tout à une frontière hydrogéologique. Ceci confirme les flux importants d'eau souterraine quittant le bassin hydrographique du Geer au travers de cette frontière.

La campagne 2008 a permis une meilleure compréhension de la piézométrie de la partie nord-est du bassin du Geer (région de Tongeren et Bassenge). Des mesures du niveau piézométrique ont pu être effectuées dans cette zone ou extraites de la base de données de l'administration de la Région Flamande (DOV). La carte piézométrique met en évidence la présence d'un dôme piézométrique à l'est de Tongeren. Au sud de ce dôme, localement, les eaux souterraines s'écoulent donc du nord vers le sud pour alimenter le Geer. L'importance du drainage de la nappe par le Geer dans cette zone est également mise en évidence. Les isopièzes 65 et 70 m, esquissées à proximité de l'exutoire du bassin versant sembleraient indiquer que le Geer ne resterait pas drainant jusqu'à son extrémité aval.

Sur base des observations des différentes campagnes piézométriques menées depuis de nombreuses années, les principales anomalies relevées sur la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon sont:

- dans la vallée de la Yerne (Gogan, 1995):
  - la rivière est drainante dans la partie sud (en amont de Limon) provoquant un rabattement conséquent de la nappe;
  - à l'aval de Limont, la Yerne est perchée au-dessus de la nappe et devient infiltrante;
  - à proximité du Geer, la rivière redevient drainante.
- dans la région de Velroux (partie sud-est de la nappe) suite à la présence de la faille de Horion-Hozémont;
- dans la région de Voroux-Goreux (Fexhe-le-Haut-Clocher) où des pointements de roches éruptives sont observés;
- dans la région de Momalle - Kemexhe suite à une remontée du substratum silurien (Monjoie, 1967);
- dans la région de Viemme (Faimés) où les rabattements de la nappe suivent le tracé des vallées sèches.



Sur la carte Waremmе-Momalle & Heers-Borgloon, la nappe logée dans les formations crayeuses du Crétacé est majoritairement libre (voir la carte des informations complémentaires et des caractères des nappes). Localement et temporairement, la nappe des craies peut être semi-captive sous les limons et/ou les dépôts alluviaux argileux à proximité du Geer. La limite méridionale de cette zone semi-captive se déplace dans le temps (fonction du régime hydrogéologique). En période de hautes eaux, cette limite a tendance à se déplacer vers le sud (de quelques dizaines à quelques centaines de mètres). Au nord du Geer, la nappe des craies peut également être rendue captive sous les dépôts argileux du Paléocène, localement et temporairement en fonction des niveaux piézométriques et de la nature des couches sus-jacentes (voir la coupe hydrogéologique).

- Isopièze en m (équidistance: 5m)
- Galerie captante (CILE)
- Faille d'Horion-Hozémont
- Réseau hydrographique
- Bassin hydrographique du Geer
- Zone cartographiée  
(Au Sud, cette zone correspond à la limite des craies du Crétacé)

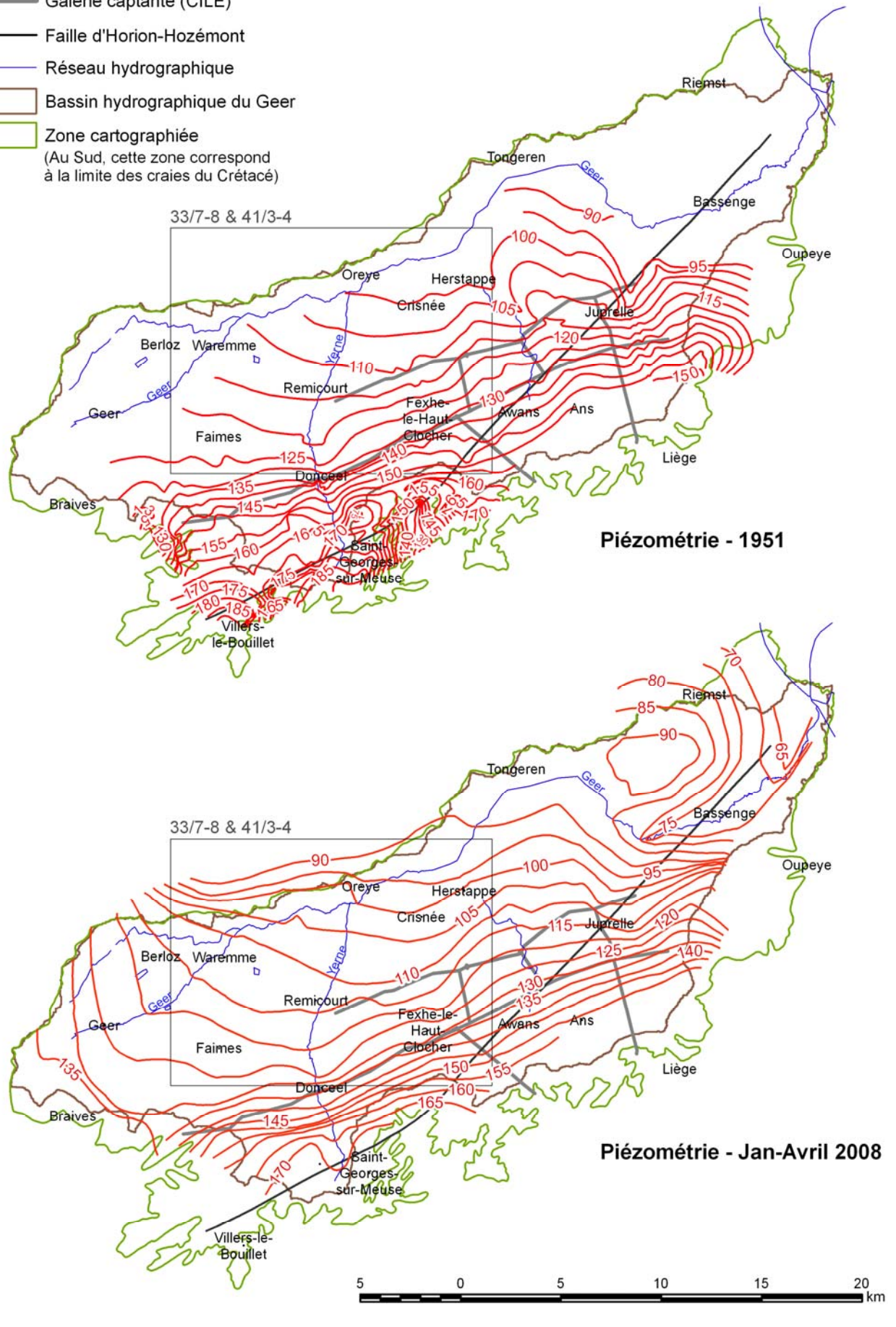


Figure IV.3: Cartes piézométriques de la nappe des craies de Hesbaye: 1951 & 2008

### Fluctuations saisonnières de la nappe

L'examen des données piézométriques disponibles depuis 1931, grâce aux relevés réalisés, entre autres, par la CILE, montre que, sauf au droit des galeries captantes et à proximité du Geer, la forme de la nappe varie peu en fonction de la pluviométrie. Toute la surface piézométrique a tendance à se déplacer verticalement avec un gradient vers le nord assez constant dans le temps. Un délai variant de quelques semaines (région sud de la nappe) à un an et demi (région nord de la nappe) entre les précipitations et l'alimentation effective de l'aquifère est observé induit par la forte épaisseur et la faible perméabilité des limons.

Pour le puits de Viemme (sud-est de la carte), l'étude par corrélogrammes croisés entre l'eau utile (précipitation moins évapotranspiration réelle) et les niveaux piézométriques de la nappe montre l'existence d'un retard d'environ 19 mois (figure IV.4). Les fluctuations piézométriques pluriannuelles varient entre 12 et 17 m (Hallet, 1998).

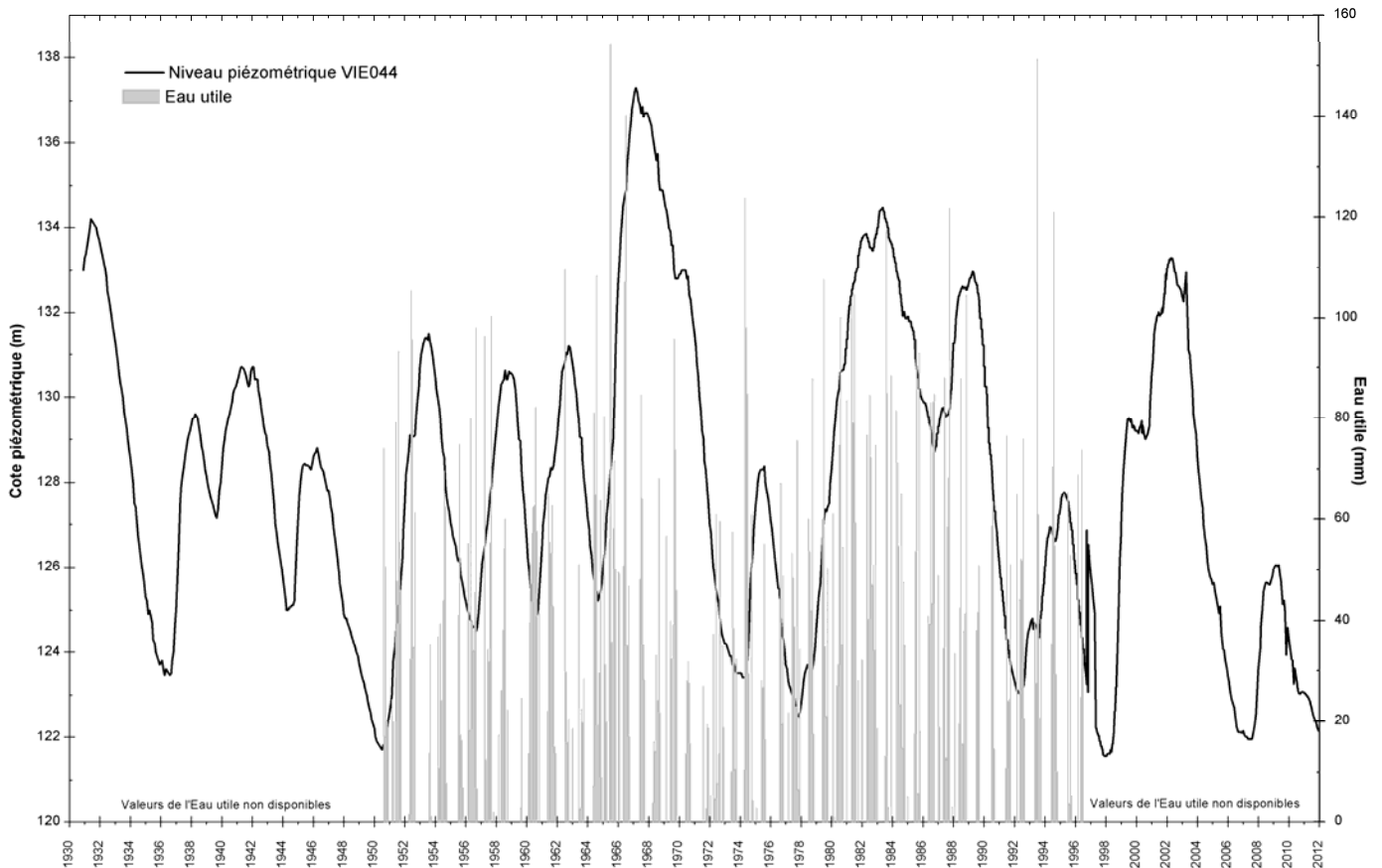
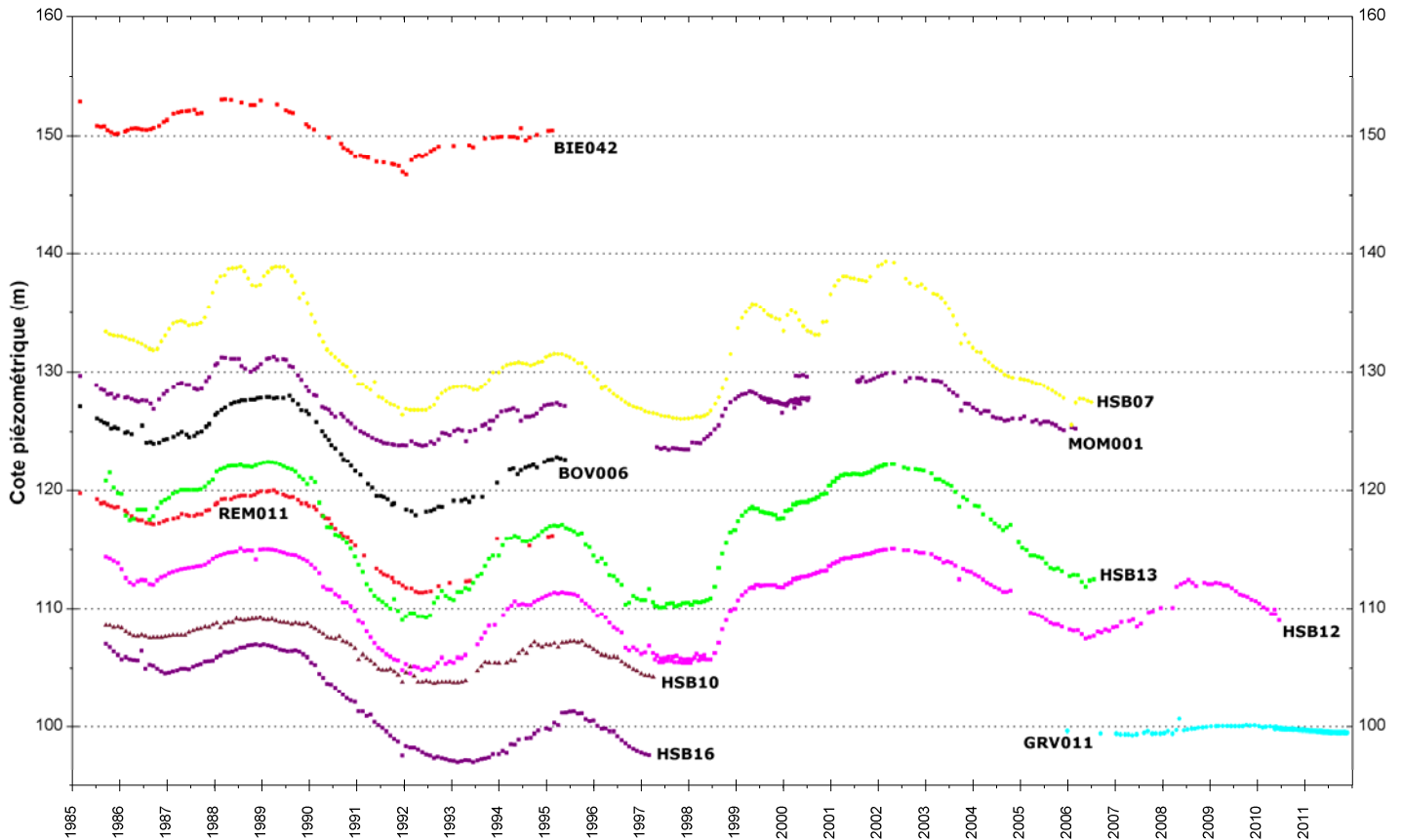


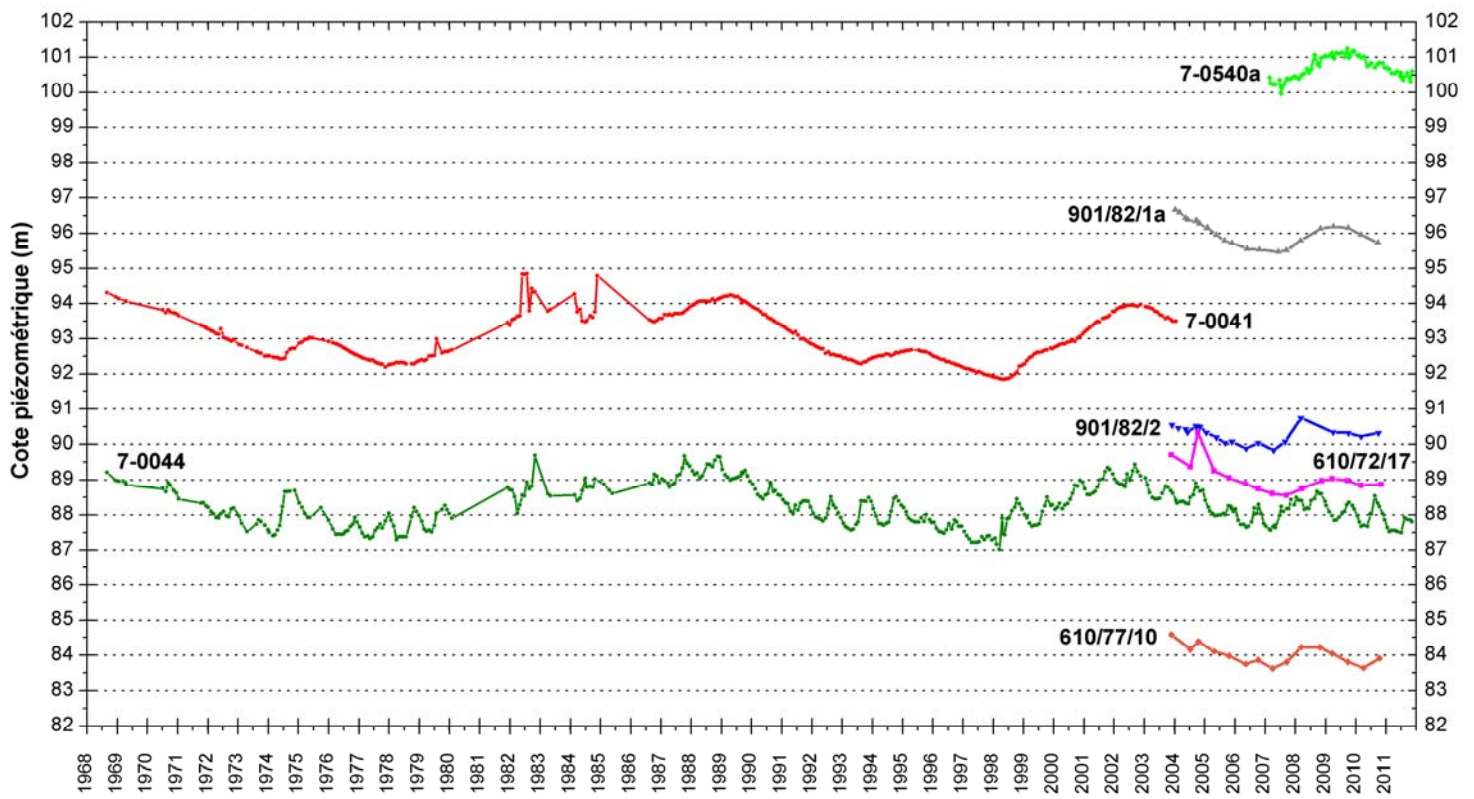
Figure IV.4: Fluctuations de la nappe des craies de Hesbaye - Puits de Viemme

Tant en Wallonie qu'en Flandre, le niveau d'eau de plusieurs puits est suivi régulièrement. En général, ces forages font partie d'un réseau de surveillance (SEQ-ESO en Région Wallonne et Grondwatermeetnet en Région Flamande ou bien compagnies d'eau).

Les figures IV.5-6 présentent l'évolution piézométrique de quelques ouvrages sélectionnés. Les fluctuations piézométriques suivent un cycle pluriannuel, plus ou moins marqué selon le puits, et sont synchrones. Elles varient entre 1 et 12 m. L'amplitude des fluctuations de la nappe s'atténue vers le nord, le Geer, exutoire de la nappe y imposant une piézométrie constante égale au niveau d'eau de la rivière.



**Figure IV.5: Fluctuations piézométriques de la nappe des craies de Hesbaye au droit de puits situées en Wallonie sur la carte 41/3-4 & 33/7-8**



**Figure IV.6: Fluctuations piézométriques de la nappe des craies de Hesbaye au droit de puits situées en Flandre sur la carte 41/3-4 & 33/7-8 (source: DOV)**

La localisation des ouvrages de la figure IV.6 est indiquée sur la carte de la [figure IV.2](#)

## Bilan hydrogéologique

Le bilan hydrogéologique pour la nappe des craies de Hesbaye à l'échelle régionale peut s'écrire comme suit :

$$P = ETR + Q \text{ Geer} + Q \text{ captages} + \Delta \text{ réserves} + \text{Pertes}$$

avec P	: précipitation moyenne annuelle (mm);
ETR	: évapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm);
Q Geer	: débit moyen annuel du Geer à l'exutoire (mm);
Q captages	: débits moyens annuels captés en Hesbaye (mm);
$\Delta$ réserves	: accumulation ou perte d'eau souterraine liée aux fluctuations du niveau de la nappe (mm);
Pertes	: écoulement souterrain en dehors du bassin (mm).

Pour rappel, dans ce type d'approche globale, chacun des termes est exprimé sous la forme d'une 'lame' d'eau équivalente (en mm) répartie sur l'ensemble du bassin.

Ci-dessous, deux bilans hydrogéologiques à l'échelle de la Hesbaye sont présentés. Un premier bilan, établi sur la période 1952-1966, s'établit comme suit (Monjoie, 1967):

$$P = ETR + Q_{\text{Geer}} + Q_{\text{Captages}} + \Delta \text{ réserves} + \text{Pertes}$$

$$740 \text{ mm} = 525 \text{ mm} + 120 \text{ mm} + 65 \text{ mm} + 15 \text{ mm} + 15 \text{ mm}$$

ou

$$100 \% = 71 \% + 16 \% + 9 \% + 2 \% + 2 \%$$

L'infiltration efficace a été estimée entre 175 et 275 mm/an (Monjoie, 1967).

Le terme "Pertes" reprend ici l'erreur de bouclage du bilan. Ce terme peut être interprété ici comme représentant la part d'eau souterraine sortant du bassin hydrographique : (a) en périodes de hautes eaux (via la frontière sud) ; (b) l'écoulement de la nappe vers le nord, favorisé par le pendage des couches de craie, et en réponse aux pompages dans l'aquifère crayeux au nord du bassin du Geer (sud de la province du Limbourg) (Dassargues & Monjoie, 1993). Cette deuxième composante est sans doute nettement plus importante que la première.

Un second bilan hydrogéologique a été calculé pour la période allant de janvier 1975 à décembre 1994. Les précipitations moyennes et les températures moyennes de l'air sont mesurées par l'IRM

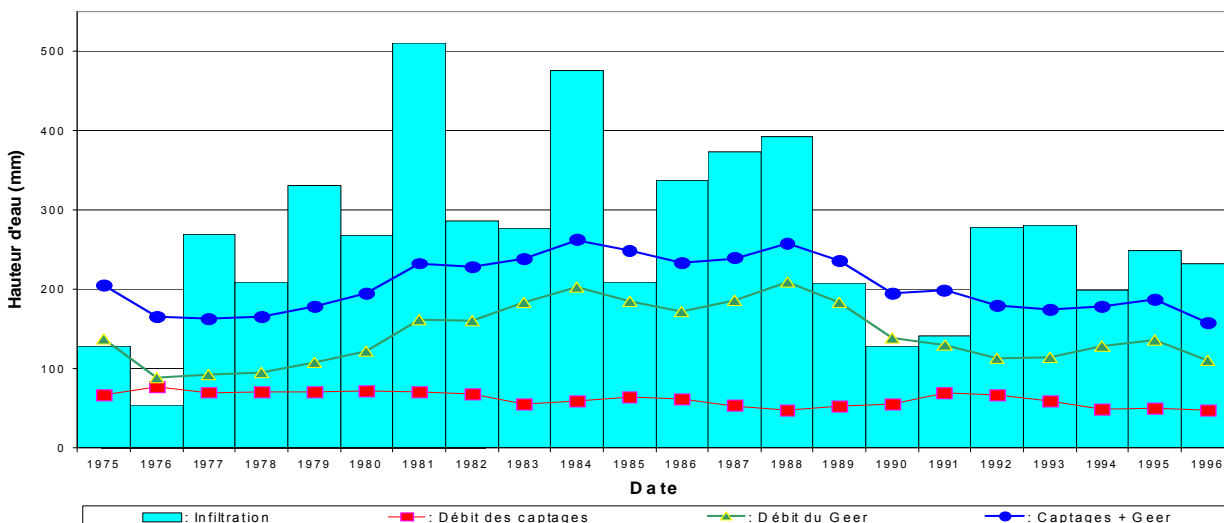
pour le bassin du Geer (Bultot et *al.*, 1983). Les débits journaliers du Geer sont mesurés à la station de Kanne située à l'exutoire du bassin (Dienst Hydrologisch Onderzoek) et les débits captés sont fournis par les sociétés de distribution d'eau (CILE et SWDE). La méthode de Thornthwaite a été appliquée pour calculer l'évapotranspiration réelle; un pas de temps mensuel a été utilisé. Les valeurs<sup>11</sup> moyennes annuelles de ce bilan sont (Hallet, 1998):

$$\begin{aligned}
 P &= \text{ETR} + Q_{\text{Geer}} + Q_{\text{Captages}} + \Delta \text{réserves} + \text{Pertes} \\
 810 \text{ mm} &= 508 \text{ mm} + 145 \text{ mm} + 88 \text{ mm} + 7,5 \text{ mm} + 61,5 \text{ mm} \\
 &\text{ou} \\
 100 \% &= 63 \% + 18 \% + 11 \% + 1 \% + 7 \%
 \end{aligned}$$

Les précipitations moyennes en Hesbaye sont de l'ordre de 810 mm. Les quantités d'eau évapotranspirées s'élèvent à 63 % des précipitations; il reste 37 % d'eau utile, généralement disponible de novembre à mars. Le volume d'eau s'écoulant par le Geer, exutoire de la nappe, représente 18 % des précipitations. Le débit des captages est de l'ordre de 8 %. Entre 1975 et 1995, le niveau de la nappe remonte en moyenne de 3 mètres soit, pour une porosité moyenne de 5 %, une accumulation annuelle de 7,5 mm pour la période étudiée. Les pertes, principalement vers le nord, sont estimées à 7 %. Ces dernières, en forte augmentation par rapport au bilan précédent, sont probablement dues à la sollicitation croissante de l'aquifère crayeux dans la zone située juste au nord du Bassin du Geer.

Durant certaines années sèches (1975 - 1976, 1985, 1989 - 1991), les débits captés et le débit du Geer excèdent l'infiltration efficace (figure IV.7), accentuant ainsi le rabattement de la nappe observé 1 à 2 ans après.

Figure IV.7: Relation «Débit du Geer – Infiltration - Débits des captages» (Hallet, 1998)



<sup>11</sup> Une erreur s'est glissée dans l'écriture du bilan '1975-1994' dans les autres notices de la carte hydrogéologique de Hesbaye (34/5-6, 41/7-8, 42/1-2). Les termes 'Qcaptages' et 'Pertes' sont erronés. Le bilan présenté ici est correct et est celui à prendre en considération (Bilan établi par V.Hallet, thèse de doctorat, 1998).



## IV.2.2 Aquifères du Cénozoïque

Les horizons sableux et graveleux des assises du Cénozoïque peuvent renfermer de petites nappes, généralement temporaires et fortement tributaires des précipitations. Ces nappes, parfois perchées lorsqu'elles sont au-dessus d'un niveau plus argileux, alimentent les nappes sous-jacentes dont la nappe des craies de Hesbaye. Elles peuvent aussi contribuer à l'alimentation du réseau hydrographique (alimentation partielle et discontinue).

Ces nappes ne sont probablement pas exploitées, tout au plus la nappe alluviale du Geer mais avec de très faibles débits. Les aquifères du Cénozoïque jouent davantage un rôle au niveau de l'alimentation de la nappe des craies (décalage entre les précipitations et la remontée piézométrique, filtration des eaux souterraines) qu'au niveau de la ressource en eau souterraine exploitable.

## IV.2.3 Coupes hydrogéologiques

La coupe, orientée NW-SE, traverse les localités d'Oreye, Fize-le-Marsal, Fexhe-le-Haut-Clocher, Velroux. Deux coupes ont été dressées, sur le même axe mais avec une échelle des hauteurs différente. L'échelle horizontale des coupes est au 25 000<sup>e</sup>, l'échelle verticale est de 1/25 000 pour la coupe géologique et de 1/1000 pour la coupe hydrogéologique. Ce facteur d'exagération des hauteurs (X25) permet une meilleure visibilité du niveau piézométrique, reporté sur cette coupe.

Les principales formations géologiques présentes sur la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon sont recoupées par cette coupe. La coupe a été établie à partir des cartes géologiques n°106 & n°120 du Service Géologique de Belgique, de la description d'une dizaine de forages et de la carte des isohypses.

La smectite (Cp2), épaisse ici de quelques mètres, repose en discordance sur le bed-rock paléozoïque pénéplané et est surmontée de craies (Cp4, Cp3 et M) partiellement érodées ou dissoutes avec, au sommet, un placage irrégulier de silex résiduels (Sx). L'altitude du toit de la smectite de Herve (aquiclude du Campanien), donc la base de l'aquifère des craies de Hesbaye, est comprise entre 20 et 145 m, du nord au sud) Le pendage des couches est de 1 à 1,5 %, en direction du NW. La faille d'Horion-Hozémont remonte le compartiment septentrional. Le toit de l'aquifère est beaucoup plus hétérogène (pente nord, mais non régulière). Il existe au toit de la craie de nombreuses poches de dissolution et d'anciennes exploitations de phosphates de chaux. Des données de forages permettent d'estimer ce rejet à environ 7 m dans la région de Boirs (carte Tongeren-Herderen). Cette faille a été supposée sub-verticale. Nous ne disposons cependant d'aucune information géologique l'attestant (pas de forages obliques dans la région).

La coupe hydrogéologique recoupe deux bassins hydrographiques majeurs: l'Escaut au nord, avec le bassin de la Gette et la Meuse au sud via le bassin du Geer. Le niveau piézométrique mesuré en janvier-avril 2008 a été reporté en trait rouge. La nappe logée dans les craies s'écoule en direction du nord. Dans la vallée de Geer, la nappe est sub-affleurante sous une couche limoneuse très réduite. Dans la partie sud de la coupe, la nappe est à la cote 160 m. Au nord, elle est à 90 m.



La nappe est drainée, principalement, par le Geer. Au nord du Geer, la nappe est semi-captive à captive sous les dépôts cénozoïques (sables, sables argileux, loess). Les galeries de captage de la CILE sont également reportées sur la coupe. Au droit de Voroux-Goreux, on observe l'intrusion de roches éruptives. Ces phénomènes ont, par compaction différentielle, engendré une fracturation de la craie conduisant à de plus grandes perméabilités, ainsi qu'en attestent des rabattements locaux et des gradients plus faibles de la surface piézométrique.

#### **IV.2.4 Piézométrie de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon**

Les données piézométriques pour la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon sont disponibles en grand nombre. Elles concernent l'aquifère des craies du Crétacé. Avec un jeu de données conséquent (données depuis 1930), l'allure et les fluctuations piézométriques de la nappe des craies de Hesbaye sont relativement bien connues. L'écoulement des eaux souterraines se fait globalement du sud vers le nord, en direction du Geer (exutoire principal de la nappe). Quelques anomalies piézométriques sont observées (influence des vallées sèches, de la faille d'Horion-Hozémont...). La carte piézométrique de Waremme-Momalle & Heers-Borgloon est présentée en détails dans le [chapitre IV.2.1](#). L'historique des données permet d'étudier la cyclicité des variations piézométriques de la nappe des craies de Hesbaye. Entre la période de précipitations et l'alimentation effective de la nappe, un retard d'un an à un an et demi est observé. Une analyse détaillée des fluctuations piézométriques de la nappe des craies de Hesbaye est également présentée au [chapitre IV.2.1](#). Sur la carte hydrogéologique principale (1/25.000), sont tracés les isopièzes représentant la situation de janvier-avril 2008.

A ce jour, nous ne disposons pas de données piézométriques concernant les autres unités hydrogéologiques de la carte étudiée.

## V. CADRE HYDROCHIMIQUE

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

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

Quelques excavations ont jadis été réalisées (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. Notons que quelques carrières sont encore en activité dans la région.

Un inventaire de ces données est disponible auprès des autorités régionales (DGRNE et DGATLPE). La SPAQuE a inventorié les sites potentiellement contaminés en Wallonie. Ils sont répertoriés dans une banque de données, WALSOLS, consultable sur <http://www.walsols.be/>. Trois sites, localisés sur la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon, figurent dans cette liste (état des lieux au 01/06/2012) (tableau V.1).

**Tableau V.1: Sites WALSOLS sur la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon**

<u>Commune</u>	<u>Nom</u>	<u>Code WALSOLS</u>
Fexhe-le-Haut-Clocher	Sucrerie Naveau	Lg3001-001
Oreye	Palimont	Lg5501-001
Waremme	Râperie	Lg8201-001

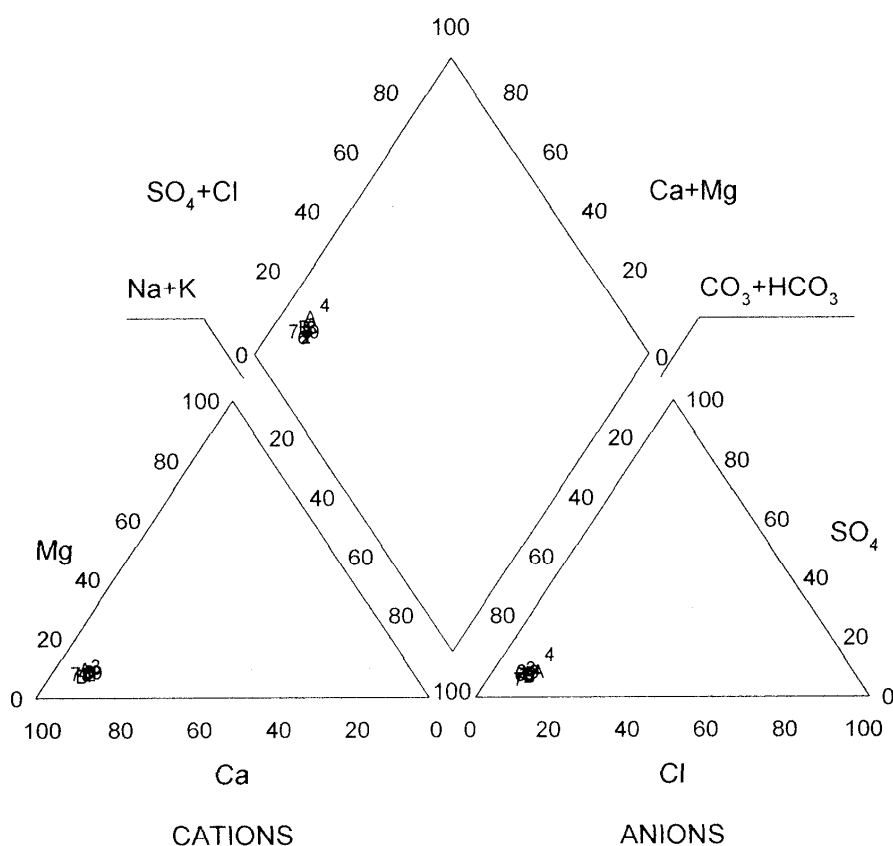
Dans le cadre de la mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau (Directive 2000/60/CE), la Région Wallonne a établi un programme de surveillance des 33 masses d'eau définies en Wallonie ([http://environnement.wallonie.be/directive\\_eau](http://environnement.wallonie.be/directive_eau)). Au niveau des eaux souterraines, un réseau de surveillance de l'état quantitatif et qualitatif a été élaboré et finalisé en décembre 2006. Une seule masse d'eau souterraine occupe le territoire de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon: RWM040: Crétacé du bassin du Geer. Un état des lieux a été réalisé en 2005. Il a permis d'élaborer un réseau de surveillance (DGRNE, 2005). L'état global DCE de la masse d'eau 'Craies du bassin du Geer' est jugé 'médiocre' (état chimique – médiocre et état quantitatif - bon) en attirant l'attention sur les nitrates (DGRNE-DESO et Protectis-Cellule DCE, 2010).

## V.1 CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX

### V.1.1 Aquifère des craies de Hesbaye

Identifier rapidement les faciès hydrochimiques des eaux souterraines est l'une des étapes de caractérisation des nappes aquifères. Le diagramme de Piper est l'une des représentations graphiques couramment utilisées pour définir les types d'eau. Le diagramme de Piper est composé de deux diagrammes ternaires dans lesquels sont reportés les proportions en cations et en anions. Le troisième diagramme reprend une synthèse des deux précédents et permet de rapidement caractériser l'eau analysée. Chaque sommet des triangles représente 100% d'un des trois constituants. Pour les cations, on représente en général  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  tandis que pour les anions, il s'agit de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$  et  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--}$ , avec parfois  $\text{NO}_3^-$  (proportions relatives).

Cette méthode graphique appliquée à plusieurs prises d'eau souterraine de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon permet d'obtenir les résultats de la figure V.1. Les eaux souterraines de la nappe des craies de Hesbaye présentent un faciès bicarbonaté calcique. Les eaux de la galerie sud (point 4 - Hollogne) sont légèrement plus riches en sulfates et en chlorures.



- |              |          |
|--------------|----------|
| 1 BERG.P2    | 9 WAR-P2 |
| 2 BERG.PR2   | A WAR-P3 |
| 3 FIZE P2    | B WAR-P4 |
| 4 HOLLOGNE   |          |
| 5 LANTR. P1  |          |
| 6 LANTR. PR1 |          |
| 7 REM-P1     |          |
| 8 WAR-P1     |          |

Figure V.1: Diagramme de Piper - Waremme-Momalle & Heers-Borgloon

Les eaux de la nappe des craies de Hesbaye sont de faciès bicarbonaté calcique de dureté élevée (35 à 45 °F) (type CaHCO<sub>3</sub>). 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 Ca<sup>2+</sup> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (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 CaCO<sub>3</sub> (Interreg II, 2000).

Le tableau V.2 reprend des analyses chimiques d'eau prélevée dans des ouvrages situés dans les limites de la carte hydrogéologique étudiée. Les eaux du puits de Jeneffe sont issues de la galerie 'Nouvelle Captante' de la CILE. Les autres captages appartiennent à la SWDE, dont Nomerange exploité par la VMW. Tous les paramètres du tableau respectent les normes en vigueur en Wallonie. On constate, cependant, des teneurs en nitrates non négligeables, tout en restant inférieures à la norme potabilité (50 mg/l).

**Tableau V.2: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère des craies de Hesbaye**

Elément	Unité	Niveau-guide RW	Jeneffe Puits sur galerie	P2-Remicourt Le Broda	P3-Bovenistier	P-Nomerange
		Code de l'Eau	31/01/2006	20/04/2011	24/11/2011	16/02/2012
pH	unités pH	6,5 à 9,5	7.76	7.19	7.29	6.98
Conductivité	µS/cm à 20°C	2100	738	736	748	762
Dureté totale (TH)	° français	67,5	43	40.8	41	43
Alcalinité totale (TAC)	° français	-	27	30.8	29.7	30.3
Calcium	mg/l	270*	152.3	142.2	140.7	142.4
Magnésium	mg/l	50*	12.1	12.8	14.2	17
Sodium	mg/l	150	15	14	11.2	16
Potassium	mg/l	12	2.38	2.9	2.1	3
Strontium	µg/l	750**	366	317.4	284.1	301
Fer total dissous	µg/l	200*	4.7	<12	<12	<75
Manganèse	µg/l	50*	0.5	<0.1	<0.1	<10
Zinc	µg/l	5000	<0.1	12	6	<20
Plomb	µg/l	25	0.8	0.3	0.3	<5
Sulfates	mg/l	250*	70.1	44.3	36.4	41
Chlorures	mg/l	200	52.6	43	52.6	50
Nitrates	mg/l	50	42.3	40	46.6	46
Nitrites	mg/l	0,1	<0.05	<0.04	<0.04	<0.015
Ammonium	mg/l	0,5*	<0.05	<0.02	<0.02	<0.3
Silice	mg/l SiO <sub>2</sub>	-	17	14.5	15	-

\* 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). Elles ont pour objet la protection des eaux souterraines contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles. Cette désignation implique l'application d'un programme d'action précis dont les mesures ont été arrêtées dans le cadre de « bonne pratique agricole ». La norme européenne de 50 mg de  $\text{NO}_3$  par litre d'eau constitue le seuil maximum acceptable. Pour plus d'informations, voir [www.nitrawal.be](http://www.nitrawal.be).

La Hesbaye, en particulier, a été définie par le gouvernement wallon comme "zone vulnérable aux nitrates" (AGW du 28 juillet 1994). 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).

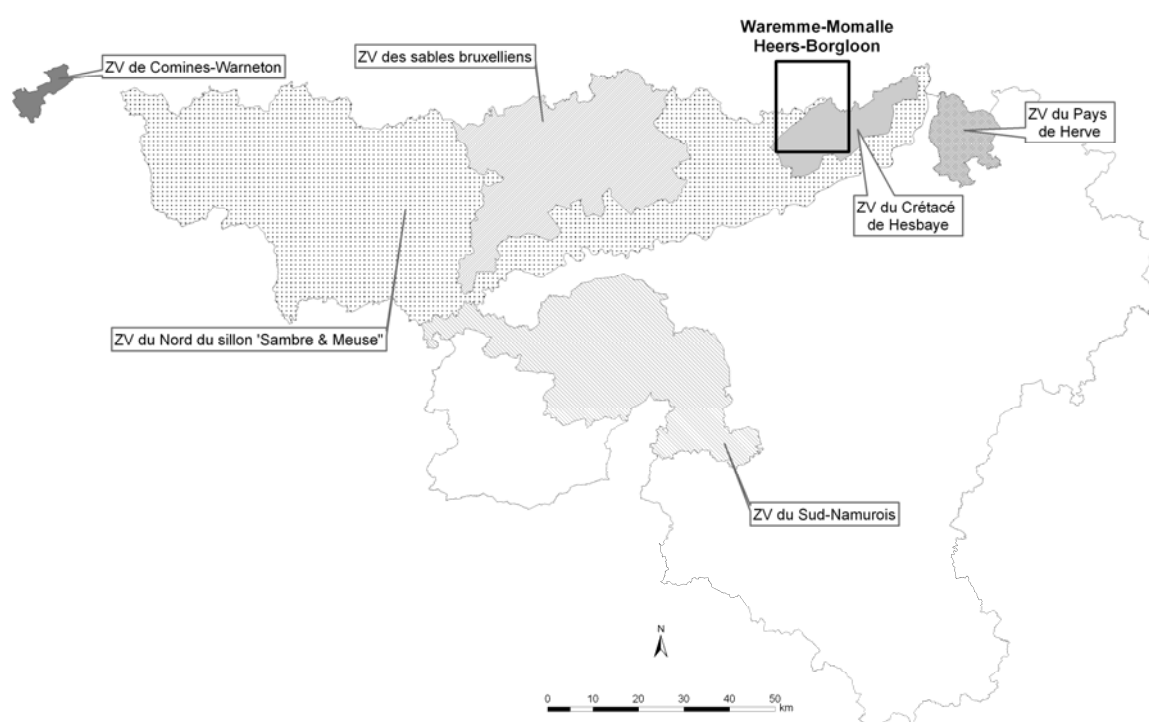


Figure V.2: Zones vulnérables aux nitrates - Région Wallonne

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2007, la totalité 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](http://dov.vlaanderen.be).

Pour la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon, on ne dispose de chroniques de mesures des nitrates que pour l'aquifère des craies de Hesbaye. Quelques unes sont présentées ci-dessous. De nombreuses données sur les nitrates sont mises en ligne par la Direction des Eaux Souterraines via le site Internet 'Dix-sous' (<http://carto1.wallonie.be/10SousInt>) pour la Wallonie. Pour la Flandre, des données relatives aux nitrates sont consultables via la base de données DOV (<http://dov.vlaanderen.be>).

### Evolution des teneurs en nitrates

En Hesbaye, une tendance générale à la hausse des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines est constatée. Cette augmentation annuelle est comprise entre 0,3 et 0,8 mg/l (Batlle Aguilar et al, 2007; Orban, 2009).

Sur la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon, on constate une lente et constante augmentation des concentrations en nitrates, sans toutefois dépasser la norme de potabilité (50 mg/l). La figure V.3 montre l'évolution de ces teneurs pour quelques captages du réseau de distribution publique localisés sur cette carte.

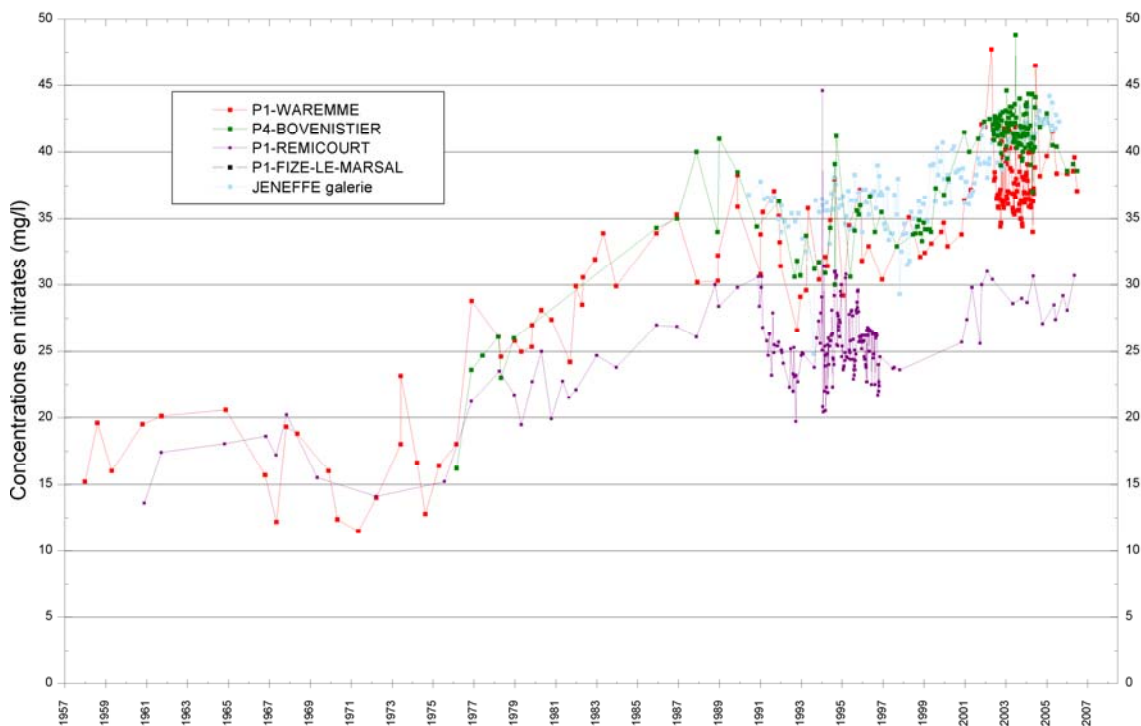


Figure V.3: Evolution des teneurs en nitrates - Aquifère des craies du Crétacé de Hesbaye

Diverses études ont démontré que les teneurs en nitrates sont fortement dépendantes des fluctuations piézométriques et de l'infiltration efficace (Dautrebande et al, 1999; Hallet, 1998; Brouyère et al, 2004). Les nitrates issus de l'apport de fertilisants dans les champs s'infiltrent dans la zone non saturée puis migrent lentement à travers la matrice crayeuse saturée. Dans des conditions de basses eaux, le front de contamination en nitrates est considéré comme décroché de la zone saturée de l'aquifère et les teneurs en nitrates dans cette zone ont tendance à diminuer. Quand le niveau piézométrique monte, le front de contamination est rapidement atteint et lessivé et les teneurs en nitrates augmentent conséquemment dans la zone saturée.

L'étude Programme 'Action Hesbaye' a déterminé en moyenne que les nitrates descendraient d'un mètre par an dans les limons d'où une arrivée tardive dans la zone saturée de l'aquifère (Hallet & Monjoie, 1996; Dewez & Dautrebande, 1996; Rouxhet & Guiot, 1996).



## Répartition spatiale des nitrates

Les concentrations en nitrates montrent de fortes variations spatiales sur de courtes distances car fortement influencées non seulement par les apports de surface liés à l'occupation du sol, mais également par le contexte hydrogéologique de l'aquifère selon qu'il est libre, semi-captif ou captif, ainsi que par les variations locales d'épaisseurs des limons. Ainsi, en Hesbaye, trois zones peuvent être distinguées (Orban, 2009):

- la zone sud du bassin, correspondant à la partie libre de l'aquifère des craies en zone agricole, présente des teneurs en nitrates élevées (proches ou supérieures à 50 mg/l);
- la zone semi-captive, le long du Geer et dans l'est du bassin, où les concentrations en nitrates avoisinent 25 mg/l;
- la zone nord-ouest du bassin, où la nappe est captive, présente des concentrations en nitrates très faibles ou inférieures aux limites de détection.

La carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon est concernée par ces trois zones.

Verticalement, les concentrations en nitrates varient fortement. Sur le site expérimental de Bovenistier, des échantillons prélevés entre 1994 et 1995 dans des piézomètres crépinés à différents niveaux dans la nappe ont mis clairement en évidence une diminution des concentrations en nitrates en profondeur, avec un gradient approximatif de 0,75 mg/l par mètre (figure V.4) (Hallet, 1998).

Cette observation est confirmée par les teneurs en nitrates mesurées dans les galeries captantes de la Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux (CILE). Les plus faibles concentrations en nitrates sont observées dans les galeries captantes nord, plus profondes que les galeries sud. On constate que dans la nappe du Campanien, les teneurs en nitrates sont plus faibles que dans la nappe du Maastrichtien.

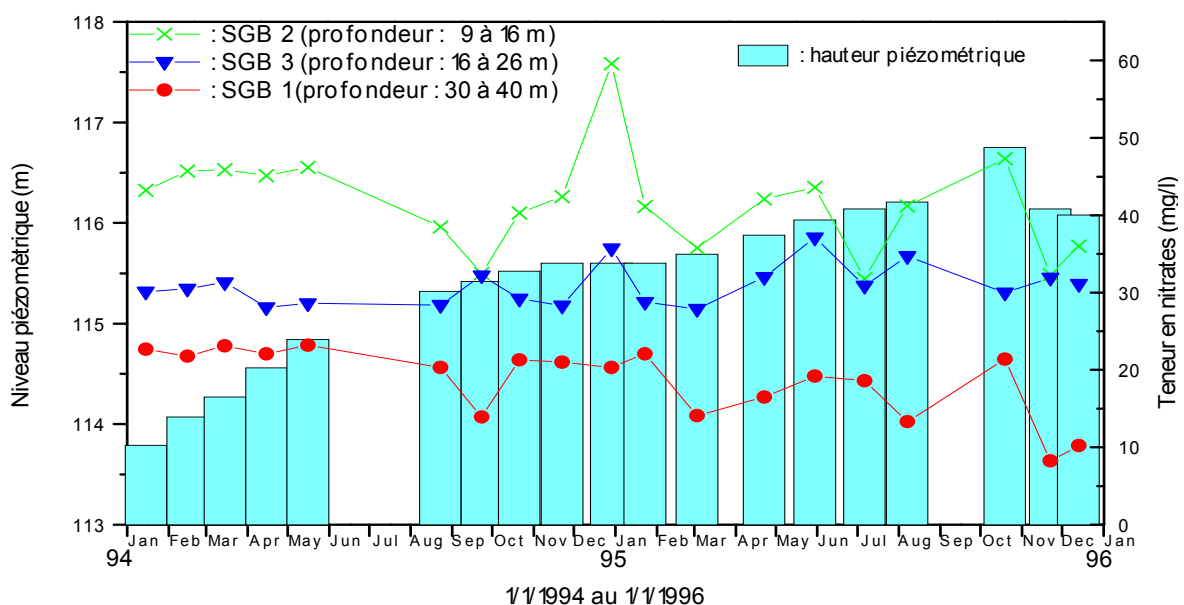


Figure V.4: Evolution des teneurs en nitrates avec la profondeur (Hallet, 1998)

### V.3 QUALITE BACTERIOLOGIQUE

D'après les données disponibles, les eaux souterraines de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon présentent une bonne qualité microbiologique.

Les eaux de Hesbaye sont naturellement très pures et ne nécessitent aucun traitement à l'exception d'une légère chloration afin de se garantir contre le développement de germes dans les conduites d'amenée. A titre indicatif, quelques résultats d'analyses sur des eaux brutes sont présentés au tableau V.3.

**Tableau V.3: Paramètres microbiologiques - Carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon**

Élément	Unité	Niveau-guide RW	Jeneffe Puits sur galerie	P2-Remicourt Le Broda	P3-Bovenistier	P-Nomerange
		Code de l'Eau	31/01/2006	20/04/2011	24/11/2011	16/02/2012
Germes totaux à 22°C	nb/ml	100	0	19	2	3
Germes totaux à 37°C	nb/ml	10	0	0	1	0
Coliformes totaux	nb/100ml	0	0	-	-	0
Coliformes fécaux	nb/100ml	0	0	0	0	0
Escherichia Coli	nb/100ml	0	0	0	0	-
Entérocoques	nb/100ml	0	0	0	0	0
Clostridium perfringens	nb/100ml	0	0	0	0	-

### V.4 PESTICIDES

De façon générale, 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 (D'GARNE-DESO & DEE, 2010; TBE, 2010).

En Région Wallonne, 9 pesticides (famille des herbicides) ont été épinglés comme les plus problématiques. Le tableau V.4 est dressé sur cette base. Actuellement, la pollution de la nappe des craies de Hesbaye sur la carte de Waremme-Momalle & Heers-Borgloon par les produits phytosanitaires n'est pas inquiétante. Les concentrations, par produits ou pour l'ensemble des pesticides, restent sous les normes 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. Il n'en reste pas moins que la présence régulière de quelques uns de ces composants dans les eaux captées est à surveiller. L'utilisation de l'atrazine est définitivement interdite depuis septembre 2005. D'autres substances deviennent problématiques comme le bentazone (herbicide

utilisé en substitut de l'atrazine) et le 2,6-dichlorobenzamide (produit utilisé principalement dans le désherbage des voiries, parcs et jardins).

**Tableau V.4: Principaux pesticides dans les eaux souterraines - Carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon**

Pesticide	Niveau-guide	Jeneffe Puits sur galerie	P2-Remicourt Le Broda	P3-Bovenistier
	Code de l'eau	31/01/2006	20/04/2011	24/11/2011
Atrazine (ng/l)	100	33	50	9
Déséthyl Atrazine (ng/l)	100	34	81	<5
Simazine (ng/l)	100	10	7	<3
Diuron (ng/l)	100	3	12	<1
Isoproturon (ng/l)	100	1	3	<1
Chlortoluron (ng/l)	100	-	7	<1
Bromacile (ng/l)	100	-	<1	<1
Bentazone (ng/l)	100	0	30	19
2,6-dichlorobenzamide (BAM) (ng/l)	200	-	10	2

## V.5 AUTRES PARAMETRES

D'après les données disponibles, les eaux captées sur le territoire de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon ne présentent pas de teneurs inquiétantes en métaux lourds. Les autres métaux lourds habituellement recherchés, cuivre, zinc, mercure, argent, nickel...sont présents en traces dans les échantillons prélevés. A titre indicatif, quelques données sont reprises dans le tableau V.5.

**Tableau V.5: Principaux métaux lourds - Carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon**

Pesticide	Niveau-guide	Jeneffe Puits sur galerie	P2-Remicourt Le Broda	P3-Bovenistier	P-Nomerange
	Code de l'eau	31/01/2006	20/04/2011	24/11/2011	16/02/2012
Cuivre (µg/l)	100	17.1	34.3	1.3	<5
Zinc (µg/l)	200	<20	12	6	<20
Cadmium (µg/l)	5	<0.5	<0.05	<0.05	<0.5
Chrome (µg/l)	50	0.5	1.9	1.7	3
Mercure (µg/l)	1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.2
Nickel (µg/l)	20	2	<0.1	<0.1	<3
Argent (µg/l)	10	-	0<0.5	<0.5	-
Cobalt (µg/l)	20	-	0.2	<0.1	-
Arsenic (µg/l)	10	0.2	0.4	0.4	<0.5

Au niveau des hydrocarbures aromatiques (HAM et HAP), quelques éléments en traces sont parfois observés mais toujours très inférieurs aux normes en vigueur en Wallonie.

## VI. EXPLOITATION DES AQUIFERES

Les ressources en eau souterraine de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon sont sollicitées par différents types d'exploitants. Les prélèvements les plus importants sont destinés à la distribution publique d'eau potable (CILE, SWDE et VMW). Ensuite, on dénombre beaucoup de prises d'eau, prélevant des volumes moindres. Ces captages, dits privés, appartiennent à des agriculteurs, des particuliers, des industries. A titre indicatif, quelques données sur les captages publics situés sur la partie flamande de la carte sont présentées dans ce chapitre.

Les données de ce chapitre concernent les prélèvements dans la nappe des craies du Crétacé. Aucune donnée sur l'exploitation des autres aquifères (partie wallonne de la carte) n'est disponible. Il est, néanmoins, probable que quelques puits de très faibles profondeurs sollicitent les niveaux aquifères logés dans les terrains du Cénozoïque. Cependant, il ne peut s'agir que de petits débits sans doute non constants dans le temps (prélèvements locaux et temporaires).

Les données présentées dans ce chapitre sont principalement extraites de la base de données du Service Public de Wallonie. L'encodage des volumes prélevés d'eau n'est cependant pas complet. Ceci concerne principalement les petits exploitants et donc les petits volumes (< 3000 m<sup>3</sup>/an). En effet, les puits des particuliers ou des agriculteurs ne sont pas tous pourvus d'un compteur. Les volumes prélevés pour la distribution publique d'eau proviennent directement des bases de données des sociétés de distribution publique d'eau.

Sur la carte thématique intitulée « Volumes d'eau prélevés », les volumes sont classés selon différentes catégories : les prélèvements d'eau destinés à la distribution publique d'eau potable (pastilles rouges), les prélèvements à usage privé<sup>12</sup> (pastilles vertes), les prélèvements d'eau de surface (pastilles bleues). Les volumes présentés sont des volumes de l'année 2011 pour les ouvrages de distribution publique d'eau et de 2010 pour les « autres volumes ». Sur cette même carte, sont aussi reportés les volumes moyens sur 5 ans, ici 2006-2010. Ils illustrent de manière plus réaliste l'exploitation des eaux souterraines sur la carte étudiée. Ces valeurs moyennes ne sont pas représentatives du potentiel d'exploitation ni de l'exploitation réelle des nappes. Elles reflètent simplement l'importance d'un site d'exploitation pendant les 5 années considérées. Parmi ces dernières, il se peut que certaines d'entre elles soient des années sans prélèvement.

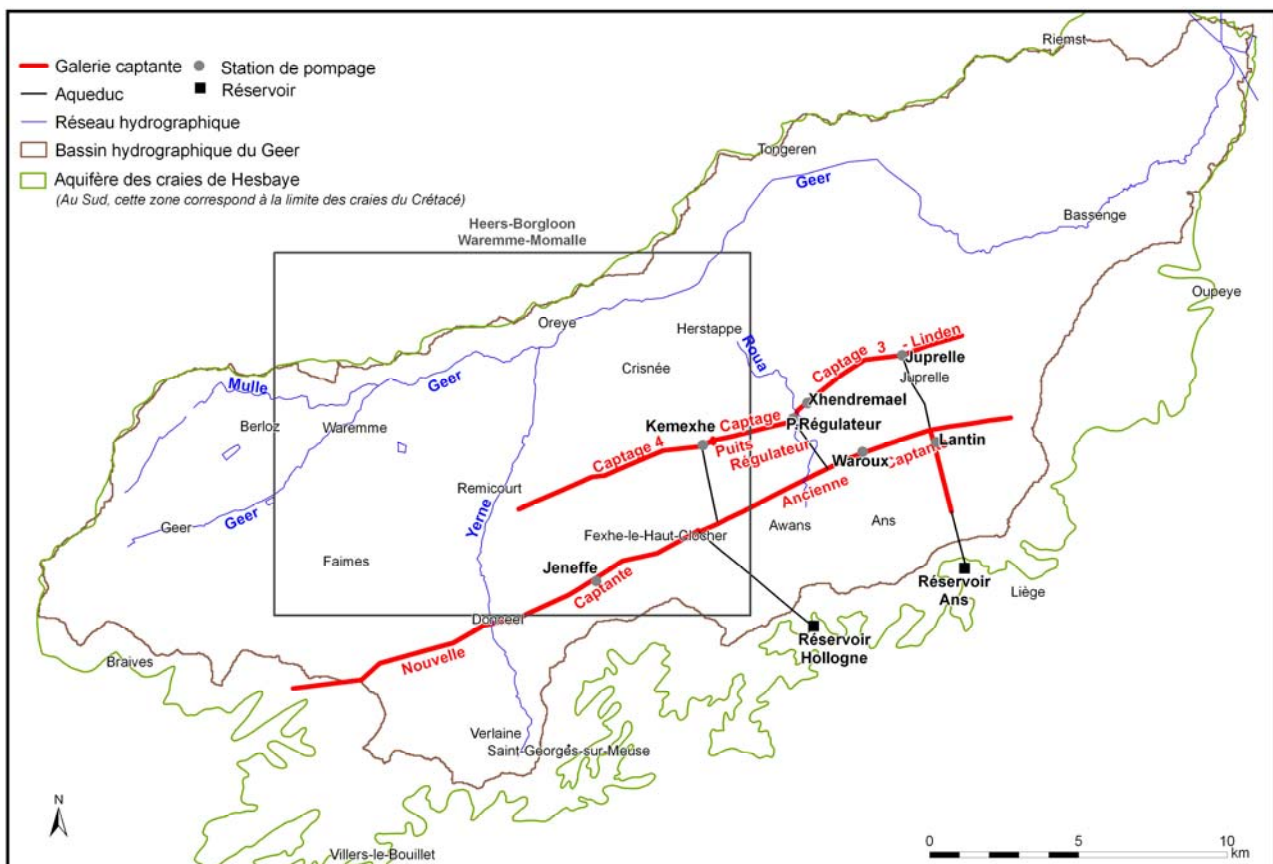
---

<sup>12</sup> 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.

## Prélèvements en Wallonie

### Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux (CILE)

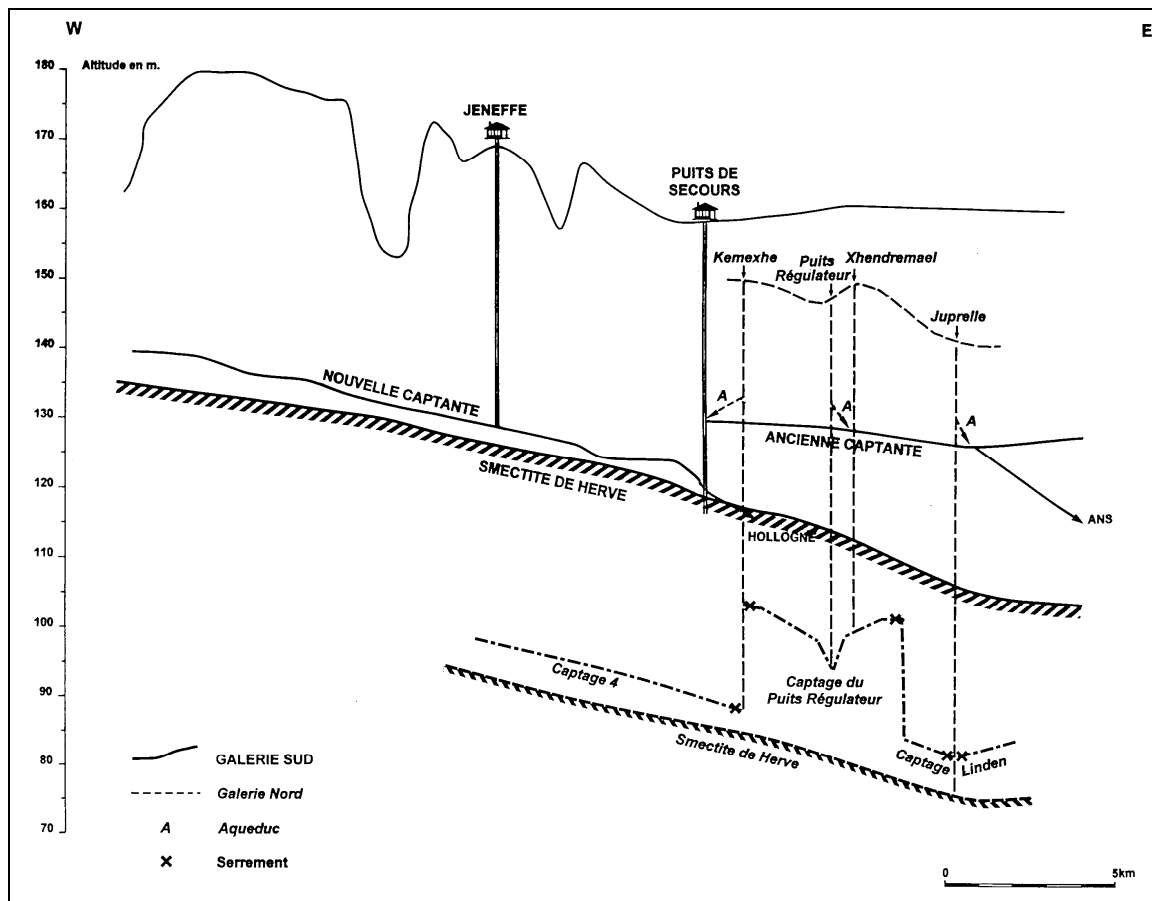
La CILE prélève l'eau de la nappe aquifère de Hesbaye par 45 km de galeries orientées NE-SW, dont 17 km se situent sur la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon (figure VI.1). Ces galeries, creusées dans la craie, sont hautes de 1,8 m et larges de 1,2 m. Elles se subdivisent en deux réseaux: les galeries sud et les galeries nord.



**Figure VI.1: Localisation des galeries, des stations de pompage et des réservoirs de la CILE en Hesbaye**

Les galeries sud captent les eaux souterraines vers une profondeur de 30 mètres (figure VI.2). Elles alimentent, par gravité, les réservoirs de Hollogne et de Ans. La galerie située à l'ouest de l'aqueduc de Hollogne est dénommée "Nouvelle Captante" et la galerie située à l'est "Ancienne Captante". La première se déverse par gravité dans l'aqueduc de Hollogne, la seconde dans l'aqueduc de Ans (figure VI.1).

Les galeries nord captent les eaux vers 60 mètres de profondeur (figure VI.2). Les eaux sont pompées au droit de trois stations (Kemexhe, Puits Régulateur et Juprelle) et sont rejetées via des aqueducs dans les galeries sud. Dans les galeries nord, des serremments permettent d'isoler différents tronçons. D'ouest en est, la galerie nord est dénommée "Captage 4" à l'ouest de la station de Kemexhe, "Captage du Puits Régulateur" entre la station de Kemexhe et la prise d'eau de Xhendremael, "Captage 3 ou Captage Linden" à l'est (figure VI.1).



**Figure VI.2: Galeries captantes de la CILE : coupe verticale schématique**

Sur le territoire de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon, à Jeneffe, la CILE possède une prise d'eau. Ce prélèvement par pompage dans la galerie sud alimente un château d'eau pour une distribution des localités avoisinantes. Les débits captés sont de l'ordre de  $1600 \text{ m}^3/\text{j}$  (pompages réguliers)(figure VI.3). A hauteur de Fexhe-le-Haut-Clocher, la galerie "Nouvelle Captante" alimente par gravité l'aqueduc de Hollogne. Le débit passant par ce nœud de transition est variable entre  $6000$  et  $20\,000 \text{ m}^3/\text{j}$ . Il faut noter qu'une partie du volume d'eau transitant par cette station est déjà comptabilisée à la station de Kemexhe.

Dans la galerie nord, à Kemexhe, la station de pompage transfère l'eau souterraine vers la galerie sud via un aqueduc. Cette station a une capacité maximale de  $21\,000 \text{ m}^3/\text{j}$  mais les pompages sont irréguliers et peuvent varier entre  $0$  et  $15\,000 \text{ m}^3/\text{j}$  (figure VI.3). Cette galerie est sollicitée uniquement lorsque la production des galeries sud est insuffisante ou lorsque les teneurs en nitrates y sont trop élevées. Les eaux qui transitent par Kemexhe sont envoyées soit vers le réservoir de Hollogne, soit vers celui de Ans, soit partagées entre les deux. Cette répartition est constante et varie en fonction de la demande.

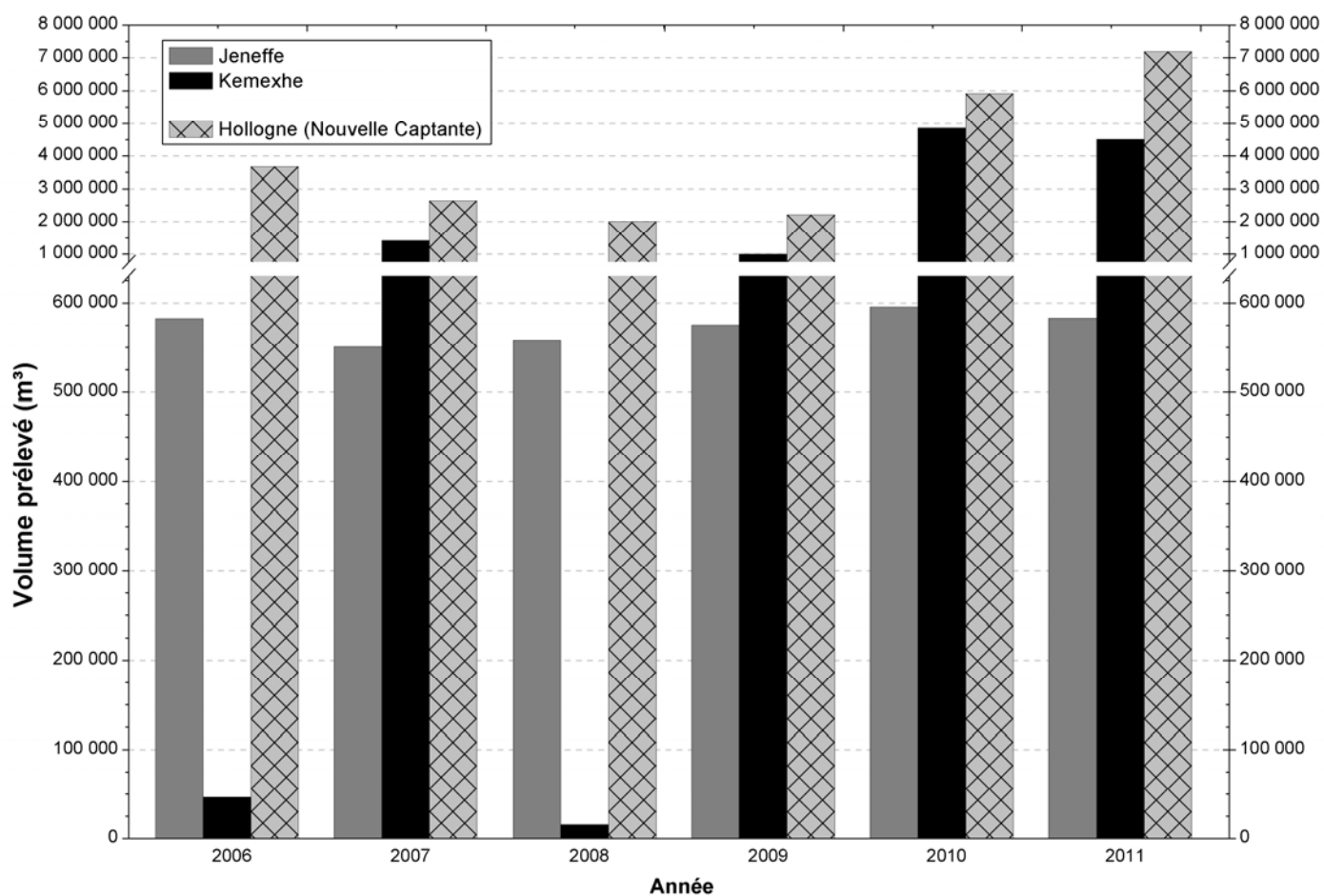


Figure VI.3: Captages de la CILE. Volumes prélevés entre 2006-2011 dans les galeries de Hesbaye (carte 41/34)



La SWDE exploite plusieurs puits forés sur le territoire de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon. Tous sollicitent la nappe des craies de Hesbaye. La figure VI.4 présente l'évolution, depuis 2006, des volumes prélevés annuellement au droit des captages de la SWDE situés sur la carte étudiée.

Sur la commune de Remicourt, deux captages sont implantés: P1 profond de 45 m et à Lamine, P2 (Le Broda) profond de 55 m. Les volumes moyens sont, respectivement, de l'ordre de 380 m<sup>3</sup>/j et de 900 m<sup>3</sup>/j.

Sur la commune de Waremme, la SWDE compte quatre forages en exploitation, d'une profondeur de l'ordre de la cinquantaine de mètres et répartis sur trois sites: P1 & P2, P3 et P4. Ces deux derniers sont situés à Bovenistier. Les puits P1 et P2 prélèvent en moyenne, respectivement, 1050 et 1310 m<sup>3</sup>/j. Au droit de P3, le volume journalier moyen est d'environ 1800 m<sup>3</sup>, contre presque 2000 m<sup>3</sup>/j pour le puits P4.

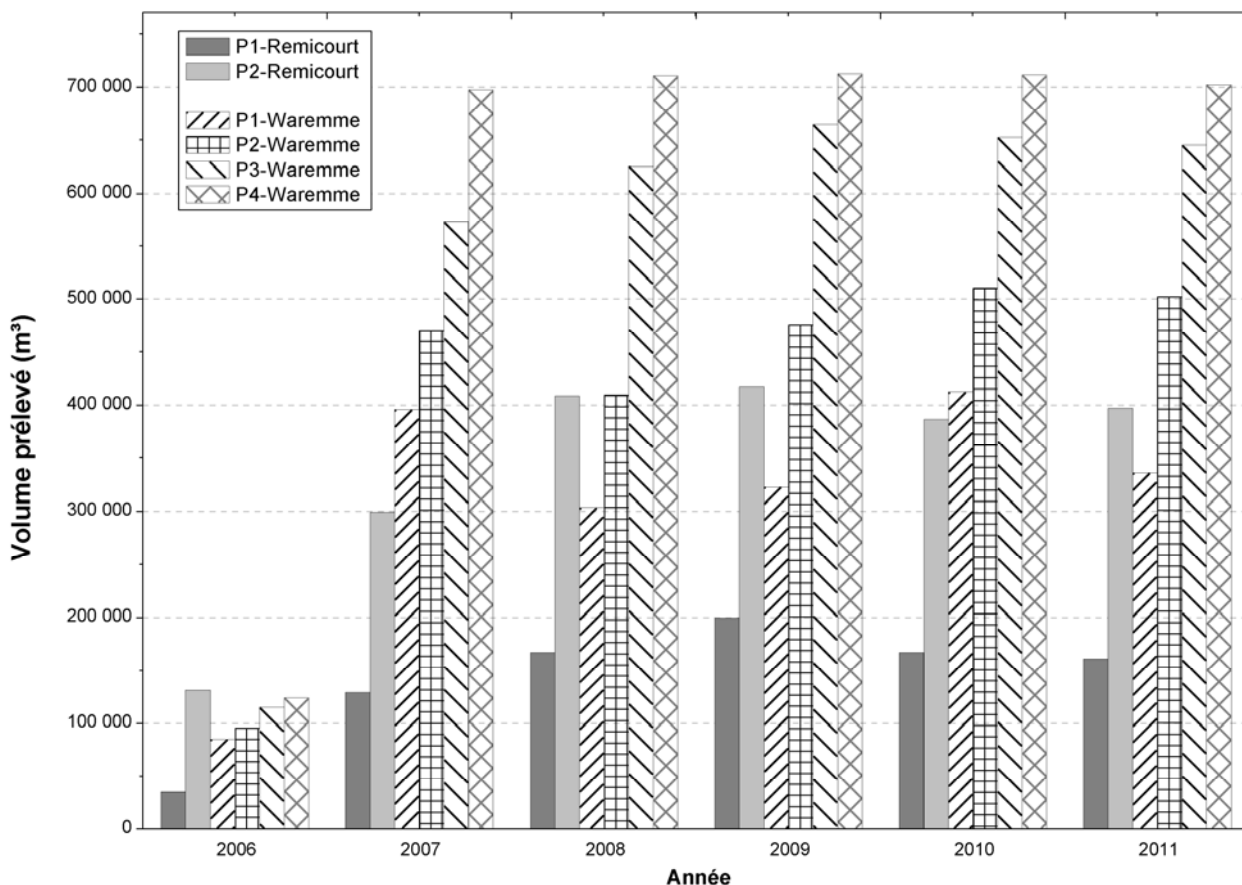


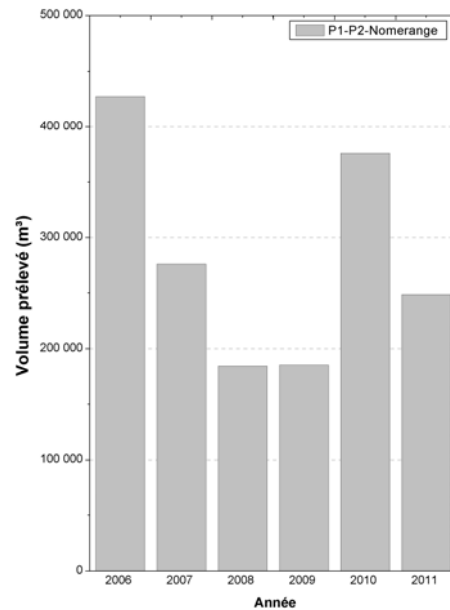
Figure VI.4: Captages SWDE. Volumes prélevés entre 2006-2011 à Remicourt et Waremme.

Sur la commune de Crisnée, la SWDE exploitait également un puits foré (P1-Fize-le-Marsal, prof: 64 m) jusqu'en 1996. Les volumes prélevés étaient de l'ordre de 1000 m<sup>3</sup>/j.

## Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening (VMW)

Dans la vallée du Geer, à Otrange (commune d'Oreye), la VMW exploite deux prises d'eau: P1 & P2 Nomerange. Il s'agit de puits forés d'une profondeur de  $\approx 50$  m. La SWDE est titulaire des ouvrages, la VMW est l'exploitant. L'eau pompée est distribuée dans les communes flamandes avoisinantes. Les volumes pompés sont comptabilisés en un seul point. Sur la figure VI.5 sont repris les volumes depuis 2006. Le volume moyen prélevé est de l'ordre de  $800 \text{ m}^3/\text{j}$ .

**Figure VI.5: Captage VMW de Nomerange - Volumes prélevés entre 2006-2011**



### Captages privés

Beaucoup de captages privés sont répertoriés sur la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon. Ils appartiennent à des industries, des activités de service, des agriculteurs, des particuliers. A Oreye, d'importantes quantités d'eau sont prélevés par l'industrie sucrière. Entre 1 et 1,6 millions de  $\text{m}^3$  sont pompés annuellement (société Orafti). Avec des volumes nettement moins élevés, la Coopération de la Yerne ("La carotte de Hesbaye") prélève dans la nappe des craies environ  $60\,000 \text{ m}^3$  par an. De nombreux agriculteurs, petites entreprises et particuliers prélèvent des volumes variables, compris entre quelques  $\text{m}^3$  à  $10\,000 \text{ m}^3$  par an.

### Prélèvements publics en Flandre

Dans ce paragraphe sont communiqués, à titre indicatif, les volumes prélevés en Flandre destinés à la distribution publique d'eau potable. Ces données ne sont pas cartographiées sur le poster de la carte hydrogéologique. Sur la partie flamande de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon, la VMW est le seul producteur/distributeur public d'eau. La commune de Tongres a exploité le site de Lauw jusqu'en 2009 (reprise du captage par la VMW). Les volumes prélevés en 2011 et la moyenne annuelle établie sur la période 2006-2010 sont présentés par captage dans le tableau VI.1. La localisation des ouvrages du tableau VI.1 est indiquée sur la carte de la figure VIII.2.

**Tableau VI.1: Prélèvements publics en Flandre – Carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon**

<u>Captage</u>	<u>2011</u>	<u>2006-2010</u>
Voort (Borgloon)	$1\,029\,105 \text{ m}^3$	$1\,049\,497 \text{ m}^3$
Hoepertingen (Borgloon)	en réserve depuis 1999, moyenne entre 1980 et 1998: $\approx 610\,000 \text{ m}^3/\text{an}$	
Rukkelingen-Loon (Heers)	$875\,657 \text{ m}^3$	$757\,790 \text{ m}^3$
Lauw (Tongeren)	$1\,153\,709 \text{ m}^3$	$1\,190\,798 \text{ m}^3$

## VII. PARAMETRES D'ÉCOULEMENT ET DE TRANSPORT

Sur le territoire de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon, seul l'aquifère des craies du Crétacé a été étudié en détails. Ces investigations ont permis de dresser un tableau assez complet des paramètres hydrodynamiques de cet aquifère.

### VII.1 AQUIFÈRE DES CRAIES DE HESBAYE

Les paramètres d'écoulement et de transport de l'eau dans les craies ont pu être déterminés lors de diverses campagnes d'essais de pompage et de traçage réalisées lors de divers programmes de recherche:

- Programme Action Hesbaye (Hallet & Monjoie, 1996);
- Producteurs et distributeurs publics d'eau potable: CILE et SWDE: études hydrogéologiques menées dans le cadre de l'établissement des zones de prévention autour des captages de Hesbaye (voir liste des rapports techniques au [chapitre X](#));
- Thèses de doctorat de l'Université de Liège: Dassargues, 1991; Hallet, 1998; Brouyère, 2001; Orban, 2009.

La simulation par modèle mathématique de nombreux essais de traçage a permis de préciser les valeurs des paramètres d'écoulement et de transport de la nappe.

Malgré des conductivités hydrauliques relativement faibles mesurées aux différents sites, des vitesses de transfert des traceurs ont parfois été très élevées. Des vitesses de 5 à 15 m/h, correspondant à la première arrivée de traceurs, sont fréquemment mesurées. Les valeurs extrêmes varient entre 0,67 m/h au sein de la matrice crayeuse et 120 m/h au niveau des fissures ouvertes (Hallet, 1997).

Les traçages ont également mis en évidence la forte hétérogénéité du milieu crayeux avec des vitesses de transfert très variables suivant la présence ou non d'axes de fracturations (voire conduits karstiques).

#### a) Conductivité hydraulique K

Les conductivités hydrauliques varient entre  $1 \times 10^{-2}$  et  $4 \times 10^{-4}$  m/s pour les axes de fissuration et les zones fracturées et altérées et, entre  $4 \times 10^{-4}$  et  $2 \times 10^{-5}$  m/s pour la matrice crayeuse.

#### b) Porosité efficace (de drainage) et porosité effective (de transport)

La 'porosité efficace' (de drainage) et la 'porosité effective' (de transport) peuvent être considérées comme différentes dans un milieu complexe comme les craies du Crétacé affectées d'une porosité interstitielle (de pores) et d'une porosité de fissures (voire de conduits karstiques). Les valeurs différentes à considérer pour ces paramètres selon qu'on envisage un problème de quantité d'eau

(coefficient d'emmagasinement de nappe libre correspondant au drainage du milieu saturé) ou de qualité de l'eau (portion de l'eau mobile participant de manière effective au transport de soluté par advection) viennent du fait qu'il s'agit de processus physiques différents: la porosité participant à l'éventuel drainage du milieu est plus grande que la porosité d'eau mobile par advection dans le milieu. Une illustration peut être trouvée en rappelant que dans un tel milieu, si une fissure ou un conduit permet au polluant d'atteindre dans la réalité des vitesses advectives très importantes, il sera nécessaire d'introduire une porosité effective (de transport) très petite à l'échelle de l'EVR<sup>13</sup> considéré, pour représenter/simuler cette vitesse effective.

Lors de la calibration des courbes de restitution, il est souvent nécessaire d'affecter des valeurs de porosité très faibles à l'EVR (valeurs < à 1 %). Ces valeurs de porosité ainsi définies sur l'EVR permettent de simuler les phénomènes d'advection rapide en milieu fissuré. La porosité effective ainsi définie est parfois aussi appelée « *porosité équivalente E.V.R.* ou  $n_{EVR}$  ». Les porosités effectives calibrées par les modèles de transport varient de 0,02 à 1 % au niveau des failles (Hallet & Dassargues, 1998).

Pour l'aquifère des craies de Hesbaye, les porosités efficaces (de drainage) sont de 1 à 7 % et les porosités effectives (de transport) de 1 à 2 % maximum. Des valeurs plus faibles (entre 0,5 et 2 %) ont été obtenues via modélisation où l'effet de l'eau immobile a été pris explicitement en considération (Orban, 2009).

La très forte variabilité des valeurs des paramètres démontre clairement une très grande hétérogénéité du milieu crayeux.

### c) Dispersivités longitudinales

Les valeurs de dispersivité longitudinale obtenues par interprétation des différents traçages dans les craies de Hesbaye confirment l'effet d'échelle (habituellement constaté pour ces coefficients) avec augmentation des valeurs en fonction de la distance considérée. Les valeurs de dispersivité varient également en fonction du degré d'altération et de fissuration des craies (Hallet, 1998) :

- dans la craie fissurée mais peu altérée, une augmentation globalement linéaire en fonction de la distance de traçage a été observée

$$\alpha_l = 0,002 + 0,14 \times d \quad \text{dans laquelle } d \text{ est la distance de traçage;}$$

- dans la craie fissurée et altérée, dans les poches de dissolution ou dans la matrice crayeuse, les valeurs de dispersivité sont plus élevées et apparaissent comme relativement indépendantes des distances de traçage (plus de 50 m);

---

<sup>13</sup> EVR: Élément de Volume Représentatif

- dans les fissures, là où des vitesses de transfert supérieures à 50 m/h ont été mesurées et où les processus de transport se font principalement par advection, les valeurs de dispersivité calculées sont généralement très faibles, de l'ordre de quelques mètres, indépendamment des distances de traçage.

#### d) Effet d'eau immobile

Les échanges entre l'eau mobile et l'eau immobile jouent un rôle essentiel en milieu crayeux (Brouyère et *al.*, 1997).

La porosité d'eau immobile ( $\theta_{im}$ ) varie entre 8 et 42 %. Le coefficient de transfert de l'eau mobile vers l'eau immobile varie entre  $1 \times 10^{-6}$  et  $9,8 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ . Ce coefficient, traduisant un effet de diffusion, semble peu influencé par la taille du domaine investigué.

## 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 wallonne<sup>14</sup> 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

---

<sup>14</sup> 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)

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.

La zone de prévention éloignée (zone IIb) : zone comprise entre le périmètre extérieur de la zone IIa et le périmètre extérieur de la zone d'appel de la prise d'eau. Le périmètre extérieur de la zone d'appel de la zone IIb ne peut être situé à une distance de l'ouvrage supérieure à celle correspondant à un temps de transfert de l'eau souterraine jusqu'à l'ouvrage de prise d'eau égal à 50 jours dans le sol saturé.

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

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

### 3° Zone de surveillance ou zone III

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

Les limites de ces zones peuvent coïncider avec des repères ou des limites topographiques naturels ou artificiels, rendant leur identification sur le terrain plus aisée.

### 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 2009<sup>15</sup>.

---

<sup>15</sup> 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)



La Société publique de Gestion de l'Eau assure la gestion financière des dossiers concernant la protection des eaux probabilisables distribuées par réseaux, par le biais de contrats de service passés avec les producteurs d'eau. Pour financer les recherches relatives à la délimitation des zones de prévention et indemniser tout particulier ou toute société dont les biens doivent être mis en conformité avec la législation, une redevance de 0,107 € est prélevée sur chaque m<sup>3</sup> fourni par les sociétés de distribution d'eau.

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

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

### **Les zones de protection en Flandre**

La définition de ces zones en Région Flamande diffère de celle en usage en Région Wallonne.

Les caractéristiques des zones de protection en Flandre sont les suivantes:

- 1° Waterwingebied, équivalent de la zone I en Région Wallonne. Dans ce périmètre, se trouvent les installations techniques liées au captage (maximum 20 m autour de la prise d'eau).
- 2° *Zone I*, avec un temps de transfert dans la zone saturée jusqu'au captage de maximum 24 heures. Cette zone I est délimitée par une ligne située à une distance minimale de dix mètres des limites extérieures de la zone de prise d'eau (waterwingebied).
- 3° *Zone II*, avec un temps de transfert dans la zone saturée jusqu'au captage de maximum 60 jours avec une distance maximum de 150 m pour les aquifères captifs et de 300 m dans les autres cas.
- 4° *Zone III*. Cette zone est délimitée par une ligne située à une distance maximale de 2000 m depuis le captage pour les aquifères libres.

Pour de plus amples informations sur la délimitation des zones de prévention en Flandre, nous invitons le lecteur à consulter les sites suivants:

- Vlaamse Milieumaatschappij: [www.vmm.be](http://www.vmm.be)
- Databank Ondergrond Vlaanderen: <http://dov.vlaanderen.be>

## VIII.2 ZONES DE PREVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE LA CILE

Les galeries de captage de la CILE exploitent les eaux de la nappe des craies de Hesbaye. La détermination des zones de prévention autour galeries captantes et des stations de pompage de la CILE en Hesbaye a nécessité la réalisation de différentes études comprenant (LGIH, 1995;1997):

- une étude des linéaments par photos aériennes afin de localiser les axes des vallées sèches;
- une prospection géophysique afin de détecter des axes de fissuration et donc d'écoulement préférentiel au sein de la craie;
- une campagne de quatre à cinq forages de manière à préciser la géologie du site;
- des essais de pompage pour déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère;
- des essais de traçage afin de définir les temps de transfert de polluants dans la nappe;
- des modèles mathématiques permettant de définir les paramètres de transport de polluants et de définir les extensions des zones de prévention.

En fonction des résultats des différents traçages et des paramètres d'écoulement et de transport déterminés par les modèles sur des sites de pompage ponctuels (qqz km<sup>2</sup>), l'ordre de grandeur des distances en zone IIa, pour l'ensemble de la nappe dans les zones non-investiguées par les essais in-situ, dans des conditions d'exploitation usuelle<sup>16</sup>, a été fixé à :

### *1° à l'amont des galeries*

- 1560 m, au droit de linéaments majeurs d'extension régionale et orientés nord-sud (distance maximale calculée au droit de ce type de linéament);
- 690 m, au droit de linéaments secondaires (distance moyenne calculée au droit des linéaments);
- 420 m, hors linéament (distance minimale moyenne de la courbe enveloppe);

### *2° à l'aval des galeries*

- 310 m au droit de linéaments majeurs d'extension régionale et orientés nord-sud (distance maximale calculée au droit de ce type de linéament);
- 270 m au droit de linéaments secondaires (distance moyenne calculée au droit des linéaments);
- 160 m hors linéament (distance minimale moyenne de la courbe enveloppe).

---

<sup>16</sup> Les périmètres de la zone IIa ont été définis pour des conditions usuelles d'exploitation, en simulant l'injection de 5000 kg de polluant en différents points du modèle avec détermination des temps d'arrivée du polluant au droit des galeries à une concentration de 10 ppb.

Le long des linéaments, l'extension latérale de la zone IIa a été fixée à 200 mètres pour les linéaments majeurs et à 100 mètres pour les linéaments secondaires.

Les zones de prévention IIb, étant beaucoup plus grandes car correspondant à un temps de transfert de 50 jours, n'ont pu faire l'objet d'études expérimentales in-situ et ont été définies sur base de simulations par modèle numérique théorique en utilisant des valeurs moyennes des paramètres d'écoulement et de transport. Dans ces conditions, la zone IIb s'étend sur une distance moyenne de 2 km et de 3 km au droit des principales vallées sèches. Vers l'aval, la zone IIb doit s'étendre hors du cône de rabattement provoqué par les galeries, soit une distance moyenne de 500 mètres.

En utilisant des paramètres de transport de polluant définis, la zone IIb peut atteindre plus de cinq kilomètres en amont des galeries soit la totalité du bassin hydrogéologique de la Hesbaye. Les zones de prévention IIa et IIb sont reprises sur la figure VIII.1.

Les limites du modèle ont été localement déplacées pour correspondre avec des limites matérialisables sur le terrain. Cette délimitation des zones IIa et IIb a été proposée au Service Public de Wallonie (Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement, DGO3 - Département de l'Environnement et de l'Eau - Direction des Eaux souterraines). Ce dossier est à l'instruction. Les limites telles que proposées sont dès lors susceptibles d'être modifiées.

### VIII.3 ZONES DE PREVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE LA SWDE

La SWDE possède plusieurs captages sur le territoire de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon. Certaines zones de prévention sont définies et arrêtées par le Gouvernement wallon. Pour les autres, le dossier a été déposé à l'administration wallonne (zones proposées). Le tracé de ces périmètres est repris sur la figure VIII.3.

Les zones de prévention du captage de Waremme, composé de quatre puits forés répartis sur trois sites, ont été définies. Une étude comportant de la prospection géophysique, le forage de piézomètres, la réalisation d'essais de pompages et l'élaboration d'un modèle mathématique a été menée par l'ISSeP et BESIX s.a. sous la direction de la SWDE. Les zones de prévention rapprochée et éloignée, délimitées sur base des temps de transferts, ont été localement modifiées pour correspondre avec des limites matérialisables sur le terrain. Ces zones de prévention ont été arrêtées par le Gouvernement Wallon en date du 24 décembre 2002: *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée des ouvrages de prise d'eau souterraine dénommés Waremme P1, Waremme P2, Bovenistier-Waremme P3 et Bovenistier-village P4, sis sur le territoire de la commune de Waremme (M.B. du 29/01/2003, p.3737).*

Sur la commune de Remicourt, la SWDE exploite deux ouvrages de prise d'eau: les puits forés P1 au lieu-dit 'Grosse Pierre' et P2 au lieu-dit 'Le Broda'. Les zones de prévention IIa et IIb de ce champ captant ont été déterminées sur base des temps de transfert suite à l'élaboration d'un modèle mathématique d'écoulement et de transport, calibré sur des essais de traçage. Préalablement à la réalisation du modèle, des piézomètres ont été forés au droit des sites, des essais de pompage y ont été réalisés afin de déterminer les caractéristiques hydrogéologiques locales de la nappe des craies de Hesbaye. Ensuite, des essais de traçage ont été effectués dans le but de déterminer les paramètres de transport de l'aquifère. Ces travaux ont été réalisés par ECOFOX et sprl Peeters, sous la direction de la SWDE. Les zones de prévention ont été arrêtées par le Gouvernement Wallon en date du 15 mai 2007: *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée des ouvrages de prise d'eau souterraine dénommés Remicourt P1 et Remicourt P2, sis sur le territoire de la commune de Remicourt et de Donceel (M.B. 27/06/2007).*

A Crisnée, les zones de prévention du captage de Fize-le-Marsal ne sont pas encore officiellement arrêtées. Un projet de tracé a été défini, par le producteur d'eau, sur base des temps de transfert. Ce dossier est toujours à l'étude à l'Administration. Une étude hydrogéologique a été menée. Toutefois, comme pour le site de Waremme, compte tenu des modalités d'exploitation de l'ouvrage de production, des essais de traçage n'ont pu être menés. Les paramètres de transport utilisés pour la modélisation du transport ont été tirés de la littérature et de nombreuses études hydrogéologiques réalisées en Hesbaye. Les travaux de prospection géophysique, de forages, d'essais de pompage et de modélisation ont été confiés à l'ISSeP, à Peeters sprl et aux LGIH sous la direction de la SWDE. Les tracés expérimentaux ont été déplacés de manière à proposer des limites facilement repérables sur le terrain (rues, limites cadastrales...). Cette délimitation des zones de prévention a été déposée par le producteur d'eau à l'administration wallonne.

#### VIII.4 ZONES DE PREVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE LA VMW

La VMW exploite le captage de Thys-Nomerange (2 puits forés) située en Wallonie, sur la zone couverte par la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon (SWDE est titulaire). Les zones de prévention (IIa & IIb) de ce captage ne sont pas encore définies. Dès lors, en l'absence de la détermination de ces zones, il convient habituellement de se référer provisoirement aux distances fixes forfaitaires définies dans la législation soit:

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

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

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

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. Ces points sont également repris sur la figure VIII.1.

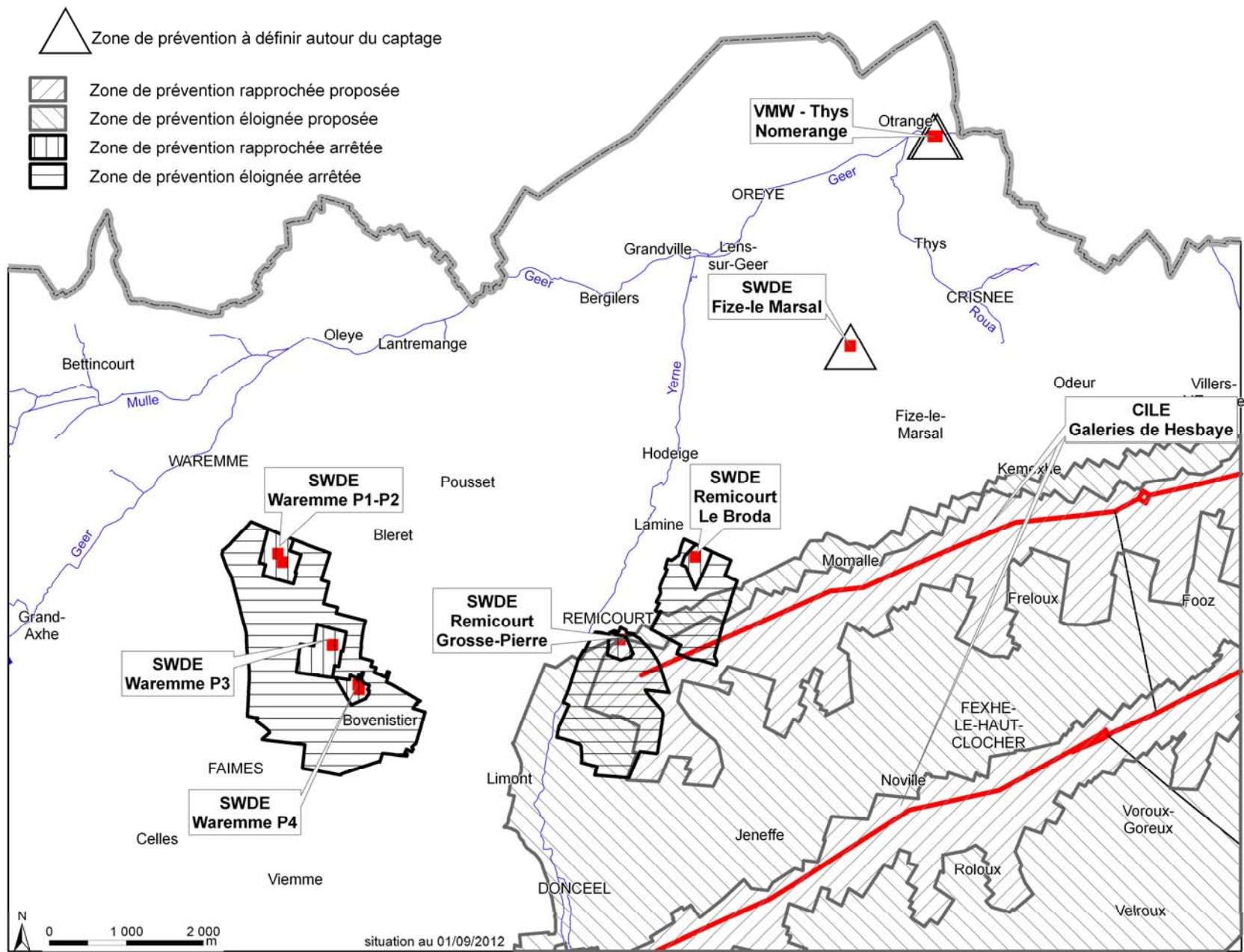


Figure VIII.1: Zones de prévention de la carte de Waremme-Momalle & Heers-Borgloon

## VIII.5 ZONES DE PREVENTION EN FLANDRE

A titre indicatif, sont présentées succinctement les zones de prévention autour des captages de distribution publique d'eau, situées sur la partie flamande de la carte (figure VIII.2). La VMW exploite plusieurs sites de captage:

- Lauw sur la commune de Tongres: zones de prévention arrêtées le 09/06/1999;
- Bovelingen (Rukkelingen) sur la commune de Heers: zones de prévention arrêtées le 09/06/1993;
- Voort sur la commune de Borgloon: zones de prévention arrêtées le 10/07/1996;
- Hoepertingen sur la commune de Borgloon zones de prévention arrêtées le 22/09/1992.

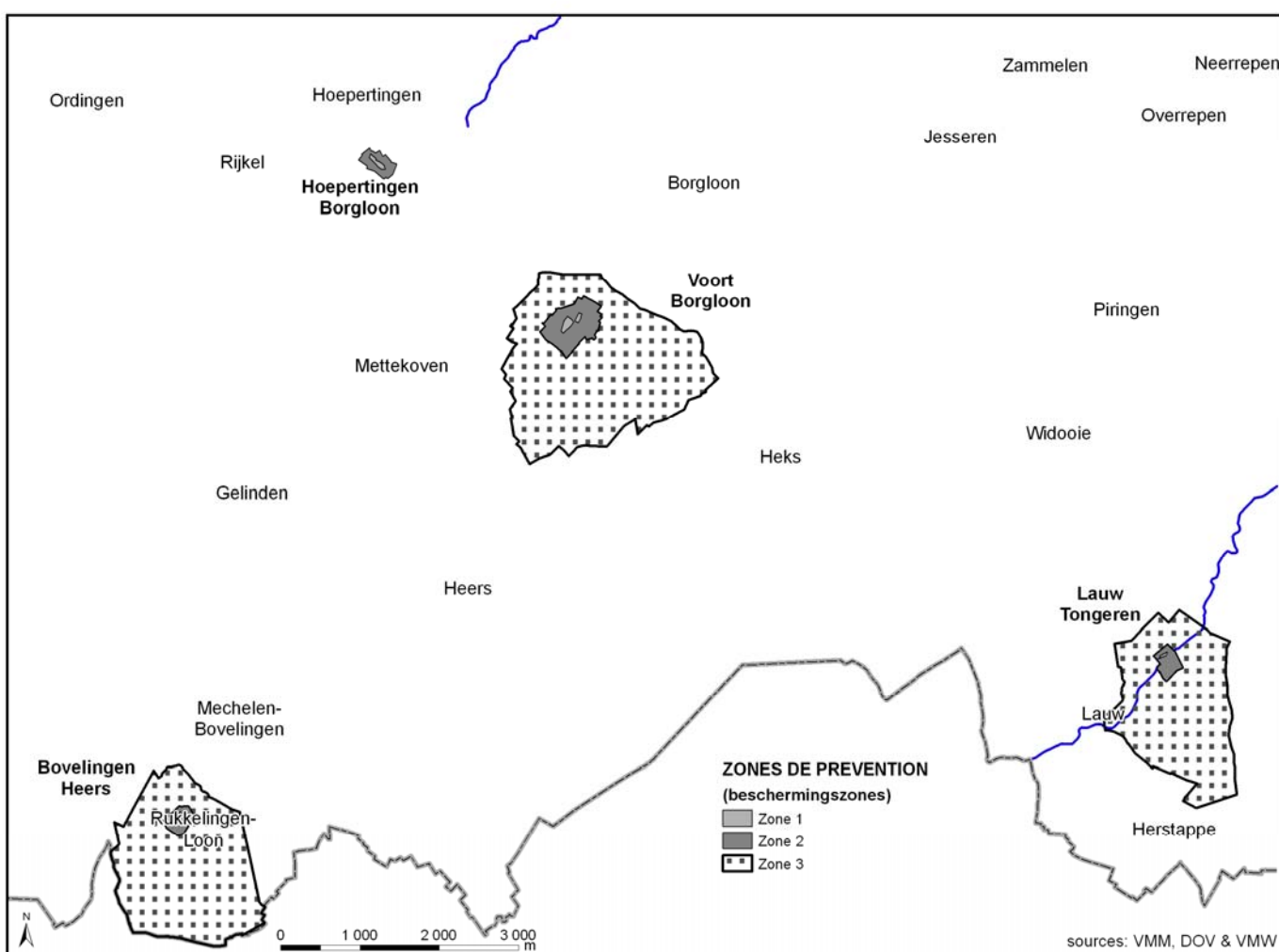


Figure VIII.2: Zones de prévention sur la partie flamande de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon



## **IX. METHODOLOGIE DE L'ELABORATION DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE**

Ce chapitre décrit brièvement les données géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques utilisées pour construire la carte hydrogéologique de Waremme-Momalle & Heers-Borgloon. 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 carte Waremme-Momalle est majoritairement située en Wallonie (environ 94 %), alors que la carte Heers-Borgloon est majoritairement en Flandre (environ 95 %). Bien que d'un point de vue environnemental il soit intéressant de pouvoir définir le contexte hydrogéologique de la carte dans sa globalité, la partie de la carte située en territoire flamande n'est pas cartographiée. Les raisons de ce choix sont la disponibilité des données, leur cohérence avec les données figurant sur la carte des eaux souterraines de Wallonie. Les données hydrogéologiques disponibles en Flandre ne sont pas toujours basées sur les mêmes critères que les données intégrées à la carte hydrogéologique de Wallonie. Néanmoins, l'important jeu de données fourni par la Région Flamande a été consulté pour mieux comprendre le contexte géologique et hydrogéologique régionale de la zone étudiée. Il faut également noter que la Région Flamande, via la Vlaamse MilieuMaatschappij, met à disposition de nombreuses données concernant le sol et le sous-sol sur le Web, entre autres par l'intermédiaire de l'application cartographique Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV).

### **IX.1 ORIGINES DES INFORMATIONS**

#### **IX.1.1 Données géologiques et connexes**

Les données géologiques proviennent de plusieurs sources. Tout d'abord, les cartes géologiques n°120 & 106 du Service Géologique de Belgique ont servi de base à la carte hydrogéologique (carte n°120, Waremme-Momalle de Van den Broeck, 1902 & carte n°106, Heers-Borgloon de Van den Broeck et Rutot, 1902). Les limites entre les unités hydrogéologiques ont été établies à partir de ces cartes. Elles ont été digitalisées par nos soins. En l'absence d'affleurement, d'autres données géologiques proviennent des descriptions de forages et galeries, disponibles principalement auprès du Service Géologique de Belgique et des sociétés de distribution d'eau (CILE et SWDE). Au Service Géologique de Belgique, plus de 1000 forages sont décrits au droit de la carte étudiée. Ces données sont généralement antérieures à 1970 ; de nombreuses descriptions proviennent notamment de forages de reconnaissance réalisés lors du creusement des galeries captantes de la CILE dans les années '50 pour la « Nouvelle Captante » et la galerie du « Puits Régulateur » et dans les années '70 pour les galeries Nord (descriptions LGIH). En 1984, la Région Wallonne a foré, en Hesbaye, 17 piézomètres (Ghysel, 1985) dont plusieurs au droit de cette carte. Plus récemment, les compagnies de distribution d'eau ont exécuté, dans le cadre des études pour la délimitation des périmètres de protection, divers forages de

reconnaissance, notamment au droit des sites de Waremme, Remicourt, Fize-le-Marsal, Lantremange, Crisnée et Bergilers (SWDE) et de Jeneffe et Kemexhe (CILE).

Des données géologiques provenant de la base de données DOV de la Région Flamande ont également été utilisées pour mieux cerner les contextes géologique et hydrogéologique de la zone cartographiée, même si la partie de la carte située en territoire flamand n'est pas cartographiée. A titre indicatif, plus de 1300 forages/sondages sont répertoriés.

La carte des isohypses du mur et du toit de la nappe des craies du Crétacé (voir carte thématique) et la coupe géologique ont été réalisées à partir de ces informations. La nature des formations paléozoïques a également pu être définie grâce à la description des forages et galeries.

Plusieurs sites de la région étudiée ont fait l'objet d'investigations géophysiques. Ces zones de prospections géophysiques ont été simplement localisées sur la carte hydrogéologique. L'objectif de ces investigations est multiple: mieux définir la succession des terrains, localiser les axes de fissuration, les linéaments, déterminer la localisation de futurs forages. Les résultats ne sont pas présentés dans ce document. Seuls les types de prospection et les références bibliographiques sont mentionnés. Ci-dessous la liste des sites investigués :

- Site de Jeneffe (LGIH, 1996a): 10 sondages électriques, 9 km de traînés électriques.
- Site de Kemexhe (LGIH, 1996b): 10 sondages électriques, 8.45 km de traînés électriques.
- Site de Fize-le-Marsal (ISSeP, 1994a): 44 sondages électriques, 7.54 km de traînés électriques, 12 sondages sismiques.
- Site de Waremme (ISSeP, 1994b): 94 sondages électriques, 7.84 km traînés électriques, 25 sondages sismiques.

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, 2001), ainsi des discontinuités entre les unités géologiques existent entre les différentes générations de cartes. Les cartes hydrogéologiques sont toujours réalisées avec le fond géologique le plus récent et disponible à la publication. Dès lors il se peut que des cartes réalisées avec des nouveaux fonds côtoient des cartes faites avec des anciens fonds, ce qui explique les discontinuités. Concernant la limite occidentale la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon, les discontinuités sont dues à des cartes géologiques levées à des époques différentes. La carte géologique 41/1-2 & 33/5-6 a été levée récemment (nouvelle carte géologique au 1/25.000 de Wallonie). Quelques différences sont observées avec la carte Alleur-Liège 42/1-2, située à l'est de la carte étudiée, au niveau de l'appellation de l'unité hydrogéologique du Cénozoïque. La nomenclature des unités hydrogéologiques s'est affinée depuis le début du projet. La carte 42/1-2 est une carte de la première génération.

## IX.1.2 Données météorologiques et hydrologiques

Sur la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon, on compte trois stations météorologiques. L'une appartient au SETHY. Elle est située à [Waremme](#). On y mesure les précipitations depuis le 20/04/1999. Les deux autres appartiennent à l'IRM, également situées sur le territoire de la commune de Waremme: G15 et G52. Y sont mesurées les précipitations et les températures depuis 1980 pour la première, les .précipitations depuis 1951 pour la seconde.

Signalons que des données hydrométéorologiques très complètes (précipitations, températures, vitesses du vent, insolation, ...) sont disponibles depuis 1985 pour la station de Bierset (G13, IRM), station située 1 km au sud-est de la carte Waremme –Momalle. Au sud-est de la carte, à proximité de Fexhe-le-haut-Clocher, la CILE dispose de mesures de précipitations journalières depuis 1984 au droit de leur "Puits de Secours" situé à l'intersection de l'aqueduc de Kemexhe et de la galerie "Ancienne Captante". Au nord, à la station IRM de Tongeren, G11, on mesure les précipitations et les températures depuis juin 1998.

Sur la partie wallonne de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon, trois stations limnimétriques sont actuellement en service. Deux stations appartiennent au réseau [AQUALIM](#) du SPW. La station L6040 est placée sur la Yerne à hauteur de Grandville et en service depuis le 14/10/1983. La station L7500 est toujours sur la Yerne mais plus en amont, à hauteur de Limont et en service depuis 2011. Le [SETHY](#) (Voies hydrauliques – SPW) exploite une station située sur le Geer, à Bergilers, en service depuis septembre 1984. Deux stations limnimétriques sont situées en Flandre et gérées par l'Administration Flamande (VMM) : 4020-004 à Rukkelingen (X:212009-Y:157775), 4017-012 à Broekom (X:217637-Y:164222).

## IX.1.3 Données hydrogéologiques

### IX.1.3.1 Localisation des ouvrages

Dans la base de données BD-Hydro, 244 ouvrages situés sur la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon sont répertoriés. Parmi ces points, on compte 188 puits (puits forés et puits traditionnels), 49 piézomètres, 3 puits sur galerie, 3 sources exploitées ou non, 1 sonde géothermique<sup>17</sup>.

Ces données proviennent de sociétés de distribution d'eau, d'administrations communales, d'industriels, de divers rapports techniques (voir liste bibliographique), de particuliers et de la base de données de la Région Wallonne (10-sous). <http://carto1.wallonie.be/10sousInt>.

---

<sup>17</sup> 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.

La localisation des galeries et aqueducs de Hesbaye nous a été fournie par la CILE.

Côté flamand, d'après les données fournies par la VMM, on dénombre 274 ouvrages recensés dans les limites de la carte, dont 142 piézomètres (grondwatermeetnet, situation mars 2011) et, 4 puits de société de distribution publique d'eau et 128 puits privés (huidige grondwater, situation mars 2011).

### ***IX.1.3.2 Données piézométriques***

La nappe aquifère de Hesbaye a été largement étudiée. Plusieurs campagnes piézométriques régionales ont été réalisées. La première date de 1932. Dans le cadre de l'élaboration de la carte hydrogéologique de Wallonie et de la thèse de doctorat de Ph.Orban (2009), une nouvelle campagne de mesures a été effectuée entre janvier et avril 2008 sur l'ensemble de la Hesbaye, y compris la zone au nord du Geer. Sur l'ensemble de la Hesbaye, 236 mesures piézométriques ont été collectées. Ces données ont été mesurées soit par l'équipe d'Hydrogéologie (GEO<sup>3</sup>-ArGEnCo-ULg), soit par la CILE (campagnes mensuelles), soit par l'ISSeP (suivi du réseau de surveillance mis en place par la Région Wallonne), soit par la VMW, soit extraites de la base de données DOV. Le rôle du réseau hydrographique sur les eaux souterraines a, également, été pris en considération, notamment au niveau du Geer. Une carte piézométrique régionale a ainsi été dressée. Les isopièzes ont été tracées avec une équidistance de 5 m. L'interprétation de ces données spatiales ainsi que des fluctuations du niveau de la nappe dans le temps est présentée au [chapitre IV.2.1](#).

### ***IX.1.3.3 Données hydrochimiques et tests sur les puits***

Les données hydrochimiques ont, pour la plupart, été fournies par la Région Wallonne et par les sociétés de distribution d'eau (CILE, SWDE et VMW). Ces informations ont seulement été collectées pour les ouvrages souterrains situés en Wallonie. Des chroniques 'Nitrates' et des analyses chimiques complètes sont consultables pour un grand nombre d'ouvrages sur le site Internet de la base de données [DOV](#).

Pour la partie wallonne de la carte, des données hydrochimiques disponibles pour environ 80 puits/piézomètres ont été encodées dans la base de données hydrogéologiques (BD-Hydro), soit presque 20 000 valeurs (tous paramètres chimiques confondus). Toutes les échantillons sont prélevés dans l'aquifère des craies de Hesbaye. Certains ouvrages ont été remblayés et ne figurent donc pas sur la carte thématique des "Informations complémentaires". Le [chapitre V](#) décrit, en détails, le cadre hydrochimique de la nappe des craies du Crétacé.

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

et traçage essentiellement) est synthétisé au [chapitre VII](#). Sur la carte thématique des informations complémentaires, les puits ayant fait l'objet de tels tests sont mis en évidence par divers symboles.

#### **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.

Sur la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon, plusieurs zones de prévention sont définies (statut arrêté ou proposé), d'autres sont à déterminer. Elles sont reportées sur la carte 1/25.000. Le contour de ces zones a été fourni par le Service Public de Wallonie et par la Région Flamande (Vlaamse Milieumaatschappij). Le [chapitre VIII](#) présente ces zones.

Plusieurs zones vulnérables aux nitrates ont été définies en Région Wallonne, l'une d'entre elles, la Hesbaye, couvre la carte étudiée. Le contour de cette zone a été fourni par le Service Public de Wallonie. La Flandre est également désignée en zone vulnérable. Des plus amples renseignements sont repris [au chapitre V, paragraphe V.2](#).

### **IX.2 BASE DE DONNEES HYDROGEOLOGIQUES**

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

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

### **IX.3 POSTER DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE**

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 de la nappe des craies;
  - Carte des volumes d'eau prélevés;
  - Carte des isohypses de l'aquifère des craies de Hesbaye
- les coupes hydrogéologiques;
- le tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie';
- la carte de la Belgique (1/5 000 000) où est localisée la carte étudiée.

#### **IX.3.1 Carte hydrogéologique principale**

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

- le fond topographique de la carte IGN 1/10 000;
- le réseau hydrographique;
- les unités hydrogéologiques;
- la faille de Horion-Hozémont ou Faille bordière du Massif du Brabant qui joue un rôle important dans l'hydrogéologie régionale;
- les piézomètres;
- les puits des sociétés de distribution d'eau;
- les puits privés exploités et déclarés à la Région Wallonne;
- les sources exploitées ou non;
- les puits sur galeries et drains;
- les sondes géothermiques;

- les galeries de captage et les aqueducs;
- les stations climatiques et limnimétriques;
- les isopièzes représentant l'allure de la nappe des craies observée en janvier-avril 2008;
- le sens d'écoulement des eaux souterraines (nappe des craies de Hesbaye);
- les zones de prévention IIa et IIb arrêtées par le Gouvernement Wallon;
- les zones de prévention IIa et IIb proposées par les titulaires;
- les zones de prévention à définir;
- le trait localisant le tracé de la coupe hydrogéologique;
- les limites administratives (frontière régionale).

### **IX.3.2 Carte des informations complémentaires et des caractères des nappes**

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

Le caractère des nappes rencontrées est spécifié : nappe libre, nappe semi-captive (semi-libre) ou nappe captive. Il faut noter que c'est la première nappe rencontrée (nappe à l'affleurement, sous la couverture limoneuse) qui est caractérisée. L'aquifère des craies de Hesbaye est défini comme libre sous les limons éoliens et/ou les sables cénozoïques (On, Tg). Cette zone est localisée au sud du Geer. Au nord du Geer et sous les dépôts argileux de l'Heersien (Hs), la nappe des craies du Crétacé est captive. Cependant, il faut noter qu'à proximité du Geer, la nappe sise dans les craies du Crétacé peut être localement et temporairement semi-captive sous la couverture limoneuse et/ou les alluvions argileuses (détails au [chapitre IV.2.1](#)). Le choix de définir cette zone de la nappe aquifère en nappe libre est guidé par le manque de données précises sur la localisation de la limite de la zone semi-captive et par la volonté d'insister sur le caractère vulnérable de cette nappe.

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, les axes de fissuration, 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](#).



### IX.3.3 Carte des volumes d'eau prélevés

Sur cette carte thématique, sont reportés l'ensemble des points hydrogéologiques (forages, puits traditionnels, galeries, sources) classés selon l'unité hydrogéologique sollicitée. Tous les ouvrages sont implantés dans l'aquifère des craies du Crétacé de Hesbaye.

Cette carte, au 1/50.000, 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 Waremme-Momalle & Heers-Borgloon: 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 de 2011 pour les volumes destinés de la distribution publique d'eau potable et de l'année 2010 pour les autres volumes. Par 'Autres volumes', on entend les prélèvements effectués par les industries, les agriculteurs, les particuliers.

La distribution d'eau potable est assurée par la CILE, la SWDE et la VMW (eau envoyée vers la Flandre). Le long du Geer, à Otrange, la VMW exploite la nappe des craies via deux puits (P1 & P2 Nomerange). Nous ne disposons pas des données détaillées par puits (compteur commun). La SWDE possède trois sites de captages par puits (Remicourt et Waremme (2) toujours actifs. La CILE exploite la nappe des craies via des galeries drainantes. A Jeneffe, une station de pompage prélève de l'eau pour l'alimentation des localités voisines. A Kemexhe, les eaux de la galerie nord sont rejetées vers la galerie sud, via l'aqueduc (puits sur galerie par pompage). Ces eaux sont ensuite dirigées soit vers le réservoir de Ans, soit vers celui de Hollogne. Malheureusement la répartition précise des quantités d'eau envoyées vers Hollogne et vers Ans n'est pas connue (très variable). Les eaux de la galerie sud-ouest sont envoyées gravitairement vers le réservoir de Hollogne. Ce volume peut contenir, ou pas, une partie ou la totalité des eaux issues de la galerie nord (surestimation probable du volume au niveau global si addition directe).

L'exploitation d'une prise d'eau souterraine est soumise à de nombreux aléas et, donc peut être variable. Les contraintes techniques de l'ouvrage, l'activité économique, liée à ce captage, et l'évolution des conditions hydrogéologiques de la nappe sollicitée, peuvent perturber les capacités de production. La présentation, sur la carte des Volumes, des volumes moyens prélevés, correspond à la moyenne des cinq dernières années (2006-2010, basés sur les déclarations des titulaires de prise d'eau). Ils illustrent de manière plus réaliste l'exploitation des eaux souterraines sur la carte étudiée. Ces valeurs moyennes ne sont pas représentatives du potentiel d'exploitation ni d'exploitation réelle des nappes. Elles reflètent simplement l'importance d'un site d'exploitation pendant les cinq années considérées. Parmi ces dernières, il se peut que certaines d'entre elles soient des années sans prélèvement. Le [chapitre VI](#) consacré à l'exploitation des aquifères reprend l'historique des principaux captages de la carte.

### **IX.3.4 Carte des isohypses**

Cette carte permet de préciser l'allure générale de la géométrie de l'aquifère principal, localisé au sein des craies. Il est limité à sa base par la smectite de Herve et au sommet par le conglomérat à silex. Localement, en l'absence de smectite, la craie repose directement sur des intrusions de roches magmatiques ou sur le substratum paléozoïque. Le sommet des craies est irrégulier du fait de la dissolution post-crétacée. De plus, les craies sont surmontées d'un conglomérat à silex, localement de dépôts sableux et de limons dont les épaisseurs peuvent être très variables.

Etant donné le contexte géologique et la disponibilité des données, les isohypses n'ont été tracés que pour la base de l'aquifère des craies. Concernant le toit de l'aquifère, seules des informations ponctuelles sont présentées.

Sur cette carte, on peut observer le pendage vers le nord, de l'ordre de 1 à 2 %. Le rejeu de la faille d'Horion-Hozémont est aussi marqué par le décrochement des isohypses de la base de l'aquifère (coin SE de la carte). Le toit des craies, bien que très irrégulier, présente un pendage général de 0.5 % en direction du NNW. Un surcreusement des craies est observé au droit du Geer. Pour plus de détails, se référer au [chapitre III.2.2](#).

Des données sur les épaisseurs des couches et le niveau (base et toit) des différentes formations géologiques existent également pour la partie flamande. Ces données sont disponibles dans la base de données [DOV](#).

### **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 Waremme-Momalle & Heers-Borgloon, traduites en termes d'unités hydrogéologiques. La définition de ces unités est présentée en détails dans le [chapitre IV](#).

### **IX.3.6 Coupe hydrogéologique**

Parmi les éléments présentés sur le poster de la carte hydrogéologique Waremme-Momalle & Heers-Borgloon, figure la coupe hydrogéologique. Elle permet de comprendre dans son ensemble le contexte géologique et hydrogéologique de la région. Cette coupe est commentée, en détails, au [chapitre IV.2.1](#).

## X. BIBLIOGRAPHIE

**Batlle Aguilar, J., Orban, Ph., Dassargues, A., Brouyère, S.** (2007): Identification of groundwater quality trends in a chalk aquifer threatened by intensive agriculture in Belgium, *Hydrogeology Journal*, 15: 1615-1627.

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

**Brouyère, S.** (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., Hallet V., Dassargues A.** (1997): Effets de retard et de piégeage des polluants dus à la présence d'eau immobile dans le milieu souterrain : importance de ces effets et modélisation. *Colloque national 1997 du Comité belge de Géologie de l'Ingénieur.* Katholieke Universiteit Leuven

**Brouyère, S., Dassargues, A., Hallet, V.** (2004): Migration of contaminants through the unsaturated zone overlying the Hesbaye chalky aquifer in Belgium: a field investigation. *Journal of Contaminant Hydrology*, 72(1-4): 135-164.

**Bultot, F., Coppens, A., Dupriez, G.L.** (1983): Estimation de l'évapotranspiration potentielle en Belgique. *Inst. Roy. Mét. Pub.*, Série A, N° 112, Uccle - Bruxelles

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

**Calembert, L.** (1953): Sur l'extension régionale d'un hard-ground et d'une lacune stratigraphique dans le Crétacé supérieur du Nord-Est de la Belgique. *Bulletin de l'Académie Royale des Sciences de Belgique*, Classes des Sciences, 5° série, T. XXXIX, pp.724-733, 3 fig., Bruxelles

**Calembert, L.** (1958): Le Crétacé supérieur de Glons. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 81, pp. 459-464.

**Dejonghe L.** (2001): Guide de lecture des cartes géologiques de Wallonie au 1/25 000. *Service Public de Wallonie*, 2° édition, 51p

**Dassargues, A.** (1991): Paramétrisation et simulation des réservoirs souterrains. Discrétisation du domaine, préparation statistique des données. Couplages et non linéarités des paramètres, *Thèse de doctorat, Fac. Sciences Appliquées, Université de Liège.*, 313p. Document disponible sur le serveur 'Bictel' de l'ULg. Accès libre. <http://bictel.ulg.ac.be/ETD-db/collection/available/ULgetd-01262009-115513/>

**Dassargues, A. & Monjoie, A.** (1993): Hydrogeology of the chalk of North-West Europe, chapter 8: Chalk as an aquifer in Belgium, pp; 153 - 169, Oxford University Press. <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/2102>

**Dautrebande, S., Dewez, A., Casee, C., Hennebert, P.** (1999): Nitrate leaching at regional scale: an implicit example of the hydrotope concept application. Modelling of transport processes in soils at various scales in time and space. EurAgEng Soil and Water Interest Group's International Workshop, Leuven, Belgium.

**De Witte C., Neuray Cl., Nielsen M., Pons T., Van der Kaa Cl. & Godart M-F., Feltz Cl.** (direction scientifique) (2009): 2.Les Plateaux brabaçon et hesbignon. *in* Atlas des Paysages de Wallonie. 283p

**Dewez, A. & Dautrebande, S.** (1996): Programme Action Hesbaye. Rapport scientifique. Unité d'Hydraulique Agricole. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux

**DGRNE (SPW-DGARNE).** (2005): Etat des lieux des sous-bassins hydrographiques. Tome 1: Etat des lieux. Sous bassin Meuse Aval. Partie 'Eaux Souterraines'. Masse d'eau du Crétacé de Hesbaye: RWM040., Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement, Direction des Eaux de Surface & Direction des Eaux Souterraines, Observatoire des Eaux de Surface & Observatoire des Eaux Souterraines, 30p. [http://environnement.wallonie.be/directive\\_eau/edl\\_ssb/eso/rwm040.pdf](http://environnement.wallonie.be/directive_eau/edl_ssb/eso/rwm040.pdf)

**DGARNE-DESO et Protectis-Cellule DCE** (2010): Directive cadre de l'eau. Etat des lieux des districts hydrographiques. Fiche de caractérisation des masses d'eau souterraine. juin 2010, SPW-DGARNE [http://environnement.wallonie.be/directive\\_eau/edl\\_ssb/ficheso/fiche\\_EDL\\_MESO\\_M040.pdf](http://environnement.wallonie.be/directive_eau/edl_ssb/ficheso/fiche_EDL_MESO_M040.pdf)

**Droeven, E., Feltz, C. & Kummert, M.** (2004): Les territoires paysagers de Wallonie. *Conférence permanente du développement territorial*, Etudes et Documents 4, Ministère de la Région Wallonne, 68pp + annexes

**Ghysel P.** (1985): Etude du Crétacé de Hesbaye. Contrat Région Wallonne - CILE.

**Goderniaux P.** (2010): Impact of Climate Change on Groundwater Reserves. *Thèse de doctorat, Fac.Sciences Appliquées, Université de Liège.* Document disponible sur le serveur 'Bictel' de l'ULg. Accès libre. <http://bictel.ulg.ac.be/ETD-db/collection/available/ULgetd-03232010-124639/>

**Gogan Th.** (1995): Essai d'une typologie régionale des rivières de moyenne et haute Belgique basée sur l'importance des débits d'étiage et des réserves de leurs aquifères. *Travail de fin d'études, Fac. Sciences, Université de Liège.* 125p

**Gogu R.C.** (2000): Advances in groundwater protection strategy using vulnerability mapping and hydrogeological GIS databases. Thèse de doctorat. *Université de Liège*. 153p

**Gogu R.C., Carabin G., Hallet V., Peters V., Dassargues A.** (2001): GIS-based hydrogeological databases and groundwater modelling. *Hydrogeology Journal* (2001) 9: 555-569.

**Hallet, V.** (1997): Caractérisation des paramètres hydrodynamiques et hydrodispersifs de la craie de Hesbaye (Belgique), *Ann. Soc. Géol. du Nord*, 5 (2<sup>e</sup> série), p 305 - 310.

**Hallet, V.** (1998): Etude de la contamination de la nappe aquifère de Hesbaye par les nitrates : hydrogéologie, hydrochimie et modélisation mathématique des processus d'écoulement et de transport en milieu saturé, *Thèse de doctorat, Fac. Sciences, Université de Liège*. 361p

**Hallet V. & Monjoie A.** (1996): Programme-Action Hesbaye. Rapport Scientifique - LGIH. Ministère de la Région Wallonne, Division de l'eau - Service des eaux souterraines

**Hallet, V. & Dassargues, A.** (1998): Effective porosity values used in calibrated transport simulations in a fissured and slightly karstified chalk aquifer, *Groundwater Quality*, M. Herbert & K. Kovar (Eds.), *Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten (TGA)*, C36, pp. 124-126.

**Interreg II.** (2000): Qualité de l'eau souterraine dans les aquifères des provinces Limbourg belge, Limbourg néerlandais et Liège. Equipes : LGIH-ULg (Liège), LISEC (Genk) et TNO-NTIG (Delft et Heerlen)

**ISSeP** (1994a): SWDE – Etude géophysique du site de la prise d'eau Fize-le-Marsal. 75/S/94

**ISSeP** (1994b): SWDE – Etude géophysique du site de la prise d'eau de Waremme

**Jungels, P.** (1968): Sondages en Hesbaye, *Prof.Paper*, 15, Service Géologique de Belgique.

**LGIH** (1995): CILE - Etude des zones de protection des captages de la CILE - Phase 1 - Galeries captantes de Hesbaye. CILE/951

**LGIH** (1996a): CILE - Etude des zones de protection des captages de Hesbaye - Phase 2: Site de Jeneffe – Prospection géophysique. CILE/961

**LGIH** (1996a): CILE - Etude des zones de protection des captages de Hesbaye - Phase 2: Site de Kemexhe – Prospection géophysique. CILE/962

**LGIH** (1997): CILE - Etude des zones de protection des captages de Hesbaye - Phase 2 – Rapport de synthèse. CILE/975

**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 + bijlagen

**Monjoie A.** (1967): Observations nouvelles sur la nappe aquifère de la craie en Hesbaye (Belgique). *Mémoires de l'Association Internationale des Hydrogéologues (I.A.H.)*, Istanbul

**Orban, Ph.** (2009): Solute transport modelling at the groundwater body scale: Nitrate trends assessment in the Geer basin (Belgium), *Thèse de doctorat, Fac.Sciences Appliquées, Université de Liège*. Document disponible sur le serveur 'Bictel' de l'ULg. Accès libre. <http://bictel.ulg.ac.be/ETD-db/collection/available/ULgetd-03182009-163146/>

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

**Radu J-P, Charlier R, Hallet V, Bolly P-Y, Dassargues A, Monjoie A,** (1987): Modélisation de la nappe aquifère de Hesbaye, LGHI-MSM, rapport HESB/871

**Rouxhet, F., Guiot, J.** (1996): Programme Action Hesbaye. Rapport scientifique. Station de Phytotechnie. Centre de Recherche Agronomiques de Gembloux

**Thorez J. & Monjoie A.** (1973): Lithologie et assemblage argileux de la smectite de Herve et des craies campaniennes et maastrichtiennes dans le Nord-Est de la Belgique. *Ann. Soc. Géol. Belg*, 96, 1973, pp. 651-970.

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

**Van den Broeck M.** (1902): Carte géologique de Belgique, Planchette 120 Waremme-Momalle, 1/40.000, *Service Géologique de Belgique*

**Van den Broeck M. & Rutot M.** (1902): Carte géologique de Belgique, Planchette 106 Heers-Borgloon, 1/40.000, *Service Géologique de Belgique*

**Vlaamse Milieumaatschappij (VMM).** (2006): Grondwaterbeheer in Vlaanderen: het onzichtbare water doorgrond, Aalst. 150p. [http://www.vmm.be/publicaties/2008/Grondwater\\_ok.pdf](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](http://www.vmm.be/publicaties/2008/blks_systeem_definitief_ok.pdf)

**Wojda P., Dachy M., Popescu C., Ruthy I., Gardin N., Brouyère S., Dassargues A. (2005):** Appui à la conception de la structure, à l'interfaçage et à l'enrichissement de la base de données hydrogéologiques de la Région Wallonne. *Convention subsidiée par Service public de Wallonie, DGARNE-Université de Liège.*



## ANNEXE 1: LISTE DES ABREVIATIONS

**DGARNE** – Service Public de Wallonie

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

Département de l'Environnement et de l'Eau

Direction des Eaux souterraines (**DESO**) & Direction des Eaux de Surface (dont la Direction des Cours d'Eau non navigables, **DCENN**)

Avenue Prince de Liège, 15 à 5100 Jambes

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

Depuis le 1<sup>er</sup> 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.

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

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

**HGE-GEO<sup>3</sup>** : Hydrogéologie & Géologie de l'Environnement – GEO<sup>3</sup> - ArGEnCo – Ulg

Bâtiment B52, niveau -1, Sart-Tilman à 4000 Liège

<http://www.argenco.ulg.ac.be/geo3>

**IRM** : Institut Royal Météorologique, Section Climatologie.

Avenue Circulaire, 3 à 1180 Bruxelles

<http://www.meteo.oma.be/IRM-KMI/>

**ISSeP** : Institut Scientifique de Service Public

Rue du Chéra, 200 à 4000 Liège

<http://www.issep.be>

**LGIH** : Laboratoires de Géologie de l'Ingénieur, d'Hydrogéologie et de Prospection Géophysique, Université de Liège

Suite à la succession du Professeur A.Monjoie, les activités sont poursuivies au sein d'ArGEnCo – GEO<sup>3</sup>.

**MET** : Ministère wallon de l'Équipement et des Transport

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

Boulevard du Nord, 8 à 5000 Namur

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

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

**SGB** : Service Géologique de Belgique

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

Rue Jenner, 13 à 1000 Bruxelles

<http://sciencesnaturelles.be/geology>

**SPAQuE** : Boulevard d'Avroy 38/6 à 4000 Liège

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

**SWDE** : Société Wallonne des Eaux

Rue de la Concorde, 41 à 4800 VERVIERS

<http://www.swde.be>

**VMM** : Vlaamse Milieumaatschappij

A. Van de Maelestraat 96 à 9320 Erembodegem

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

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

**VMW** : Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening

Belliardstraat 73 à 1040 Brussel

<http://www.vmw.be>

## ANNEXE 2: TABLE DES ILLUSTRATIONS

### Figures

Figure I.1: Localisation de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon .....	5
Figure II.1: Relief et hydrographie .....	6
Figure II.2: Occupation du sol.....	8
Figure II.3: Type de sols.....	9
Figure III.1: Localisation de la carte géologique de Waremme-Momalle & Heers-Borgloon (Boulvain & Pingot, 2011, modifié) .....	10
Figure III.2: Contexte structural de la région de Waremme-Momalle & Heers-Borgloon (schéma) .....	17
Figure IV.1: Six systèmes d'eaux souterraines en Flandre (grondwatersystemen)(VMM, 2008).....	25
Figure IV.2: Masses d'eau souterrain - Région Flamande - 41/3-4 & 33/7-8.....	26
Figure IV.3: Cartes piézométriques de la nappe des craies de Hesbaye: 1951 & 2008.....	30
Figure IV.4: Fluctuations de la nappe des craies de Hesbaye - Puits de Viemme.....	31
Figure IV.5: Fluctuations piézométriques de la nappe des craies de Hesbaye au droit de puits situées en Wallonie sur la carte 41/3-4 & 33/7-8 .....	32
Figure IV.6: Fluctuations piézométriques de la nappe des craies de Hesbaye au droit de puits situées en Flandre sur la carte 41/3-4 & 33/7-8 (source: DOV) .....	33
Figure IV.7: Relation «Débit du Geer – Infiltration - Débits des captages» (Hallet, 1998).....	35
Figure V.1: Diagramme de Piper - Waremme-Momalle & Heers-Borgloon.....	39
Figure V.2: Zones vulnérables aux nitrates - Région Wallonne .....	41
Figure V.3: Evolution des teneurs en nitrates - Aquifère des craies du Crétacé de Hesbaye .....	42
Figure V.4: Evolution des teneurs en nitrates avec la profondeur (Hallet, 1998) .....	43
Figure VI.1: Localisation des galeries, des stations de pompage et des réservoirs de la CILE en Hesbaye .....	47
Figure VI.2: Galeries captantes de la CILE : coupe verticale schématique .....	48
Figure VI.3: Captages de la CILE. Volumes prélevés entre 2006-2011 dans les galeries de Hesbaye (carte 41/34) .....	49
Figure VI.4: Captages SWDE. Volumes prélevés entre 2006-2011 à Remicourt et Waremme. ....	50
Figure VI.5: Captage VMW de Nomerange - Volumes prélevés entre 2006-2011 .....	51
Figure VIII.1: Zones de prévention de la carte de Waremme-Momalle & Heers-Borgloon.....	62
Figure VIII.2: Zones de prévention sur la partie flamande de la carte Waremme-Momalle & Heers-Borgloon ..	63

## Tableaux

<b>Tableau II.1: Répartition détaillée de l'occupation du sol – Territoires agricoles.....</b>	<b>7</b>
<b>Tableau III.1: Lithologie du Crétacé de Hesbaye .....</b>	<b>13</b>
<b>Tableau IV.1: Tableau des unités hydrogéologiques – Correspondance Géologie-Hydrogéologie .....</b>	<b>22</b>
<b>Tableau IV.2: Masses d'eau souterraine en Flandre – Brulandkrijtsysteem – 41/3-4 &amp; 33/7-8 .....</b>	<b>25</b>
<b>Tableau V.1: Sites WALSOLS sur la carte Waremme-Momalle &amp; Heers-Borgloon.....</b>	<b>38</b>
<b>Tableau V.2: Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère des craies de Hesbaye.....</b>	<b>40</b>
<b>Tableau V.3: Paramètres microbiologiques - Carte Waremme-Momalle &amp; Heers-Borgloon.....</b>	<b>44</b>
<b>Tableau V.4: Principaux pesticides dans les eaux souterraines - Carte Waremme-Momalle &amp; Heers-Borgloon .</b>	<b>45</b>
<b>Tableau V.5: Principaux métaux lourds - Carte Waremme-Momalle &amp; Heers-Borgloon.....</b>	<b>45</b>
<b>Tableau VI.1: Prélèvements publics en Flandre – Carte Waremme-Momalle &amp; Heers-Borgloon .....</b>	<b>51</b>

**ANNEXE 3: CARTE DE LOCALISATION**



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

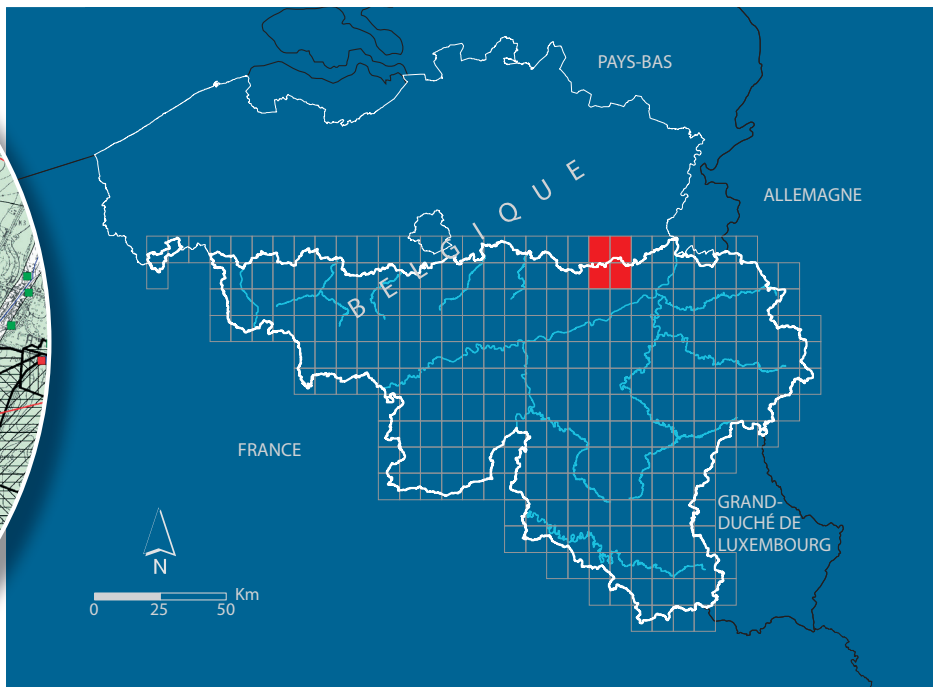
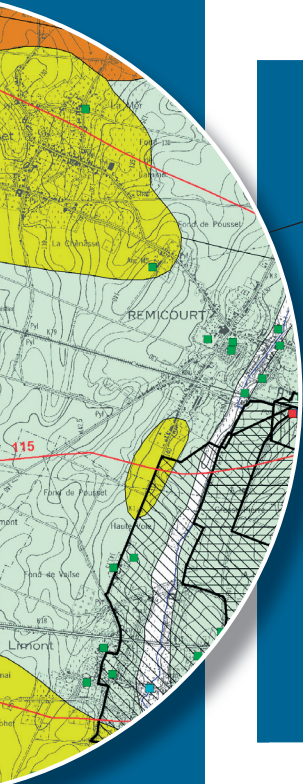
Nom	Code RW	Identifiant RW	X(m)	Y(m)	Z(m)	Type	Prof.(m)
Jeneffe	41/4/7/001	1892	220260	149000		Puits sur galerie par pompage	
Kemexhe			224375	153875		Puits sur galerie par gravité	
Nouvelle Captante	41/4/9/001	1496	224260	151050	160	Puits sur galerie par gravité	
Réservoir Hollogne	<u>42/5/1/001</u>	7506	228100	147790	120	Réservoir	
P1-Waremme	41/3/5/004	3219	213517		121.58	Puits foré	46.6
P2-Waremme	41/3/5/001	5103	213577	153225	120.75	Puits foré	47.4
P3-Waremme Bovenistier	41/3/5/007	1373	214227	152153	130.11	Puits foré	49.7
P4-Waremme Bovenistier	41/3/5/006	7553	214560	151638	129.45	Puits foré	52.6
P1-Remicourt Grosse Pierre	41/3/6/001	698	217956	152221	134.23	Puits foré	45.3
P2-Remicourt Le Broda	41/4/4/004	4907	218936	153296	134.37	Puits foré	55
P1-Fize-le-Marsal	41/4/2/003	3265	220948	156028	124.83	Puits foré	64
P2-Fize			221403	156628	117.15	Puits foré	59.8
P2-Bergilers	41/3/3/002	7783	216760	156053		Puits foré	58
PR2-Bergilers	41/3/3/003	1616	216768	156040	115.6	Puits foré	66
P1-Lantremange	41/3/3/001	5644	215924	156238	108.8	Puits foré	56
PR1-Lantremange			215932	156231	108.81	Puits foré	56.5
P1-Nomerange	33/8/8/002	266	222025	158751	96.8	Puits foré	13
P2-Nomerange	33/8/8/003	2417	222070	158750	95.5	Puits foré	47
HSB07	41/3/9/003	186	215369	148338	163.57	Puits foré	40
HSB10	41/4/1/004	1495	218750	155390	112.6	Puits foré	
HSB12	41/4/5/003	6666	221850	154550	139.31	Puits foré	34.4
HSB13	41/4/4/003	2717	219170	152030	138.9	Puits foré	remblayé (2008)
HSB16	41/4/3/001	2902	225740	157100	114.6	Puits foré	
BIE042			225975	149450	169.12	Puits traditionnel	24
BOV006	41/3/8/001	263	215200	150925	136.65	Puits traditionnel	19
GRV011	33/8/7/003	34553	218762	158379	123.14	Puits traditionnel	24.4
MOM001	41/4/8/011	35436	221600	151225	153.77	Puits traditionnel	33.3
REM011	41/3/6/004	7161	217325	152775	133.64	Puits traditionnel	23.5
VIE044	41/3/8/003	4611	213419	149560	148.15	Puits traditionnel	37.9



DOV	7-0540a			215788	157812	127.7		47
	610/77/10			216778.8	159878.5	91.02		35
	610/72/17			220783.4	160489.7	108.41		52.6
	7-0044			222200	161250	89.88		23
	7-0041			222900	160350	106.37		28
	901/82/1a			223355	158184.9	124.22		66
	901/82/2			224341.8	161610.3	97.76		42







SPW | Éditions, CARTES

Dépôt légal : D/2012/12.796/5 – ISBN : 978-2-8056-0106-4

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

N° Vert du SPW : 0800 11 901 - [www.wallonie.be](http://www.wallonie.be)