

LANDEN HANNUT - MONTENAKEN

33/5
41/1-2

Notice explicative

CARTE HYDROGÉOLOGIQUE DE WALLONIE

Echelle : 1/25 000



Photos couverture © SPW-DGARNE (DGO 3)

Fontaine de l'ours à Andenne

Forage exploité

Argillère de Celles à Houyet

Puits et sonde de mesure de niveau piézométrique

Emergence (source)

Essai de traçage au Chantoir de Rostenne à Dinant

Galerie de Hesbaye

Extrait de la carte hydrogéologique Landen, Hannut - Montenaken



LANDEN

33/5

HANNUT - MONTENAKEN

41/1-2

Ludovic **CAPETTE**, Vincent **HALLET**

Université de Namur
Rue de Bruxelles, 61 – B-5000 Namur (Belgique)



NOTICE EXPLICATIVE

2018

Première version : Août 2010
Actualisation partielle : Décembre 2017

Dépôt légal - D/2018/12.796/8 - ISBN : 978-2-8056-0259-7

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

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

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

AVANT-PROPOS	1
I. INTRODUCTION	3
II. CADRE GEOGRAPHIQUE, GEOMORPHOLOGIQUE ET HYDROGRAPHIQUE	5
III. CADRE GEOLOGIQUE	7
III.1. CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL.....	7
III.2. CADRE GEOLOGIQUE DE LA CARTE.....	9
<i>III.2.1. Cadre litho-stratigraphique</i>	9
III.2.1.1. Formations du Paléozoïque.....	9
III.2.1.1.1. Formation de Mousty.....	9
III.2.1.1.1. Formation de Chevlipont.....	11
III.2.1.2. Formations du Mésozoïque.....	11
III.2.1.2.1. Formation de Vaals.....	11
III.2.1.2.2. Formation de Gulpen.....	11
III.2.1.2.3. Formation de Jauche.....	12
III.2.1.3. Formations du Cénozoïque.....	12
III.2.1.3.1. Formation de Heers.....	12
III.2.1.3.1.1. Membre d'Orp.....	12
III.2.1.3.1.2. Membre de Gelinden.....	12
III.2.1.3.2. Formation de Hannut.....	13
III.2.1.3.2.1. Membre de Montenaken.....	13
III.2.1.3.2.2. Membre d'Overbroek.....	13
III.2.1.3.2.3. Membre de Lincet.....	13
III.2.1.3.2.4. Membre de Grandglisse.....	13
III.2.1.3.3. Formation de Tienen.....	13
III.2.1.3.3.1. Membre de Doormal.....	14
III.2.1.3.4. Formation de Sint-Huibrechts-Hern.....	14
III.2.1.3.4.1. Membre de Grimmertingen.....	14
III.2.1.3.5. Formation de Borgloon.....	14
III.2.1.3.5.1. Membre de Oude Biezen.....	14
III.2.1.4. Quaternaire.....	15
III.2.1.4.1. Couverture limoneuse.....	15
III.2.1.4.2. Alluvions modernes - Tourbes - Remblais.....	15
<i>III.2.2. Cadre structural</i>	15
III.2.2.1. Tectonique calédonienne du socle brabançon.....	16
III.2.2.2. Mouvements épeirogéniques tardi-crétacés et cénozoïques.....	16
IV. CADRE HYDROGEOLOGIQUE	18
IV.1. DESCRIPTION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES.....	22
<i>IV.1.1. Unités hydrogéologiques cambro-ordoviciennes</i>	22
IV.1.1.1. Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien.....	22
<i>IV.1.2. Unités hydrogéologiques du Crétacé</i>	22
IV.1.2.1. Aquitard de Vaals.....	22
IV.1.2.2. Aquifère des craies du Crétacé.....	24
<i>IV.1.3. Unités hydrogéologiques du Paléogène</i>	24
IV.1.3.1. Aquifère à niveaux aquicludes du Paléocène.....	24
IV.1.3.2. Aquifère des sables du Paléocène.....	25
IV.1.3.3. Aquiclude-aquitard des argiles de l'Eocène.....	25
IV.1.3.4. Aquifère des sables de l'Oligocène.....	25
<i>IV.1.4. Unités hydrogéologiques du Quaternaire</i>	25
IV.1.4.1. Aquifère des tourbes.....	25
IV.1.4.2. Aquifère alluvial.....	25
IV.1.4.3. Aquitard limoneux.....	26
IV.1.4.4. Nappe des remblais.....	26
<i>IV.1.5. Unités hydrogéologiques en Flandre</i>	26
IV.1.5.1. Application à la carte Landen - Hannut - Montenaken.....	27
IV.2. PHENOMENES KARSTIQUES.....	30
IV.3. DESCRIPTION DE L'HYDROGEOLOGIE REGIONALE.....	31
<i>IV.3.1. Généralités</i>	31

IV.3.2. Evolution piézométrique des unités hydrogéologiques.....	31
IV.3.2.1. Aquifère des sables du Paléocène.....	32
IV.3.2.2. Aquifère des craies du Crétacé.....	40
IV.4. COUPE HYDROGEOLOGIQUE.....	44
IV.5. CARACTERE LIBRE, SEMI-CAPTIF, CAPTIF DES NAPPES.....	46
V. CADRE HYDROCHIMIQUE.....	48
V.1. CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX.....	48
V.1.1. Aquifère des sables du Paléocène.....	48
V.1.2. Aquifère des craies du Crétacé.....	50
V.1.3. Commentaires.....	52
V.2. PROBLEMATIQUE DES NITRATES.....	53
V.2.1. Aquifère des sables du Paléocène.....	54
V.2.2. Aquifère des craies du Crétacé.....	56
V.3. QUALITE BACTERIOLOGIQUE.....	58
V.4. PESTICIDES.....	59
V.5. ELEMENTS TRACES METALLIQUES (ETM).....	60
V.6. ETAT DES MASSES D'EAU SOUTERRAINE.....	61
VI. EXPLOITATION DES AQUIFERES.....	64
VI.1. VOLUMES PRELEVES POUR LA DISTRIBUTION PUBLIQUE.....	65
VI.2. AUTRES VOLUMES PRELEVES.....	66
VI.3. EXPLOITATION DES AQUIFERES EN FLANDRE.....	67
VII. PARAMETRES HYDROGEOLOGIQUES.....	68
VII.1. INTRODUCTION.....	68
VII.2. PARAMETRES D'ECOULEMENT.....	70
VII.2.1. Aquifère des craies du Crétacé.....	70
VII.3. PARAMETRES DE TRANSPORT.....	71
VII.3.1. Aquifère des craies du Crétacé.....	71
VII.3.1.1. Mise en œuvre des traçages.....	72
VII.3.1.2. Résultats des traçages.....	74
VII.3.2. Aquifère des sables du Paléocène.....	75
VII.3.2.1. Mise en œuvre des traçages.....	76
VII.3.2.2. Résultats des traçages.....	77
VII.3.2.3. Modélisation des traçages.....	79
VIII. ZONES DE PROTECTION.....	81
VIII.1. CADRE LEGAL.....	81
VIII.1.1. Zone de prise d'eau ou zone I.....	81
VIII.1.2. Zones de prévention rapprochée et éloignée ou zones IIa et IIb.....	81
VIII.1.3. Zone de surveillance.....	82
VIII.1.4. Mesures de protection.....	82
VIII.1.5. Les zones de protection en Flandre.....	83
VIII.2. ZONES DE PREVENTION AUTOUR DES CAPTAGES.....	84
VIII.2.1. Zones de prévention arrêtées.....	84
VIII.2.2. Zones de prévention à définir.....	85
IX. METHODOLOGIE DE L'ELABORATION DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE.....	87
IX.1. ORIGINE DES DONNEES.....	87
IX.1.1. Données géologiques.....	87
IX.1.2. Données météorologiques.....	87
IX.1.3. Données hydrogéologiques.....	87
IX.1.3.1. Localisation des ouvrages et des sources.....	87
IX.1.3.2. Données piézométriques.....	88
IX.1.3.3. Données hydrochimiques.....	88
IX.1.3.4. Autres données.....	89
IX.2. METHODOLOGIE DE CONSTRUCTION DE LA CARTE.....	89
IX.2.1. Base de données hydrogéologiques.....	89

IX.2.2. Construction de la carte hydrogéologique.....	89
IX.3. PRESENTATION DES POSTERS A0	89
IX.3.1. Carte hydrogéologique principale.....	90
IX.3.2. Carte des informations complémentaires et du caractère des nappes	91
IX.3.3. Carte des volumes prélevés	91
IX.3.4. Carte des isohypses.....	91
IX.3.5. Tableau de correspondance 'Géologie – Hydrogéologie'	91
IX.3.6. Coupe hydrogéologique	92
IX.3.7. Avertissement.....	92
X. BIBLIOGRAPHIE.....	93
XI. ANNEXES.....	97
XI.1. LISTE DES ABREVIATIONS	97
XI.2. TABLE DES ILLUSTRATIONS	98
<i>XI.2.1. Figures.....</i>	<i>98</i>
<i>XI.2.2. Tableaux.....</i>	<i>100</i>
XI.3. COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES OUVRAGES CITES DANS LA NOTICE	102

AVANT-PROPOS

La carte hydrogéologique de Landen - Hannut - Montenaken s'inscrit dans le projet cartographique "Eaux souterraines" commandé et financé par le Service Public de Wallonie (SPW): Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement (DGO3 ; <http://environnement.wallonie.be/>). Quatre équipes universitaires collaborent à ce projet: l'Université de Namur (Département de Géologie, UNamur), l'Université de Mons (Faculté Polytechnique, UMons) et l'Université de Liège (ArGEnCO-GEO³-Hydrogéologie & Sciences et Gestion de l'Environnement, Arlon Campus Environnement).

Les cartes hydrogéologiques sont basées sur un maximum de données, géologiques, hydrogéologiques et hydrochimiques, recueillies auprès de divers organismes. Elles ont pour objectif d'informer sur l'extension, la géométrie et les caractéristiques hydrogéologiques, hydrodynamiques et hydrochimiques des nappes aquifères, toute personne, société ou institution concernées par la gestion, tant quantitative que qualitative, des ressources en eaux.

La base de données hydrogéologiques de Wallonie (BD-Hydro), principale source de données servant à l'élaboration des cartes hydrogéologiques, est en perpétuelle amélioration afin d'aboutir à une unique base de données centralisée, régulièrement mise à jour (*Gogu, 2000 ; Gogu et al., 2001 ; Wojda et al., 2005*).

La carte de Landen - Hannut - Montenaken a été réalisée par Ludovic Capette (MSc en Sciences Géologiques) en 2010 et partiellement actualisée en 2017. Le projet est supervisé par le Prof. Vincent Hallet du Département de Géologie de l'Université de Namur.

Les auteurs de la carte hydrogéologique remercient vivement Jean-Louis Pingot (géologue attaché à la carte géologique de Wallonie à l'UCL) pour ses explications à propos de la géologie complexe de cette région. Nous remercions également la Société Wallonne Des Eaux (SWDE), la Société Publique d'Aide à la Qualité de l'Environnement (SPAQuE), l'Institut Scientifique de Service Public (ISSeP) pour nous avoir fourni nombre de données et nous avoir permis l'accès à leurs ouvrages souterrains (captages, piézomètre). Il en va de même pour tous les bureaux d'études actifs dans le domaine de l'environnement qui nous ont fourni des données, ainsi que tous les titulaires privés (généralement du monde agricole) de puits pour nous avoir laissé accéder aux ouvrages lors de nos investigations sur le terrain.

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

Water) de la VMM pour leur collaboration à la réalisation de cette carte hydrogéologique de Wallonie.

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

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

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

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

I. INTRODUCTION

Il a été délibérément choisi de regrouper les planches 41/1-2 Hannut - Montenaken et 33/5 Landen (Figure I.1) sur un même document cartographique, la totalité de la planchette 33/6 Sint – Truiden et la majeure partie de la planchette 33/5 Landen se situant en Région Flamande.

La région couverte par ces deux cartes en Région Wallonne est la partie centrale de la Hesbaye, région naturelle de la Moyenne Belgique. Classiquement, on distingue, à l'ouest, la Hesbaye humide à laquelle se rattache la région cartographiée et, à l'est, la Hesbaye sèche. Cette dernière doit son qualificatif à la rareté des cours d'eau, due à un sous-sol crayeux très perméable.

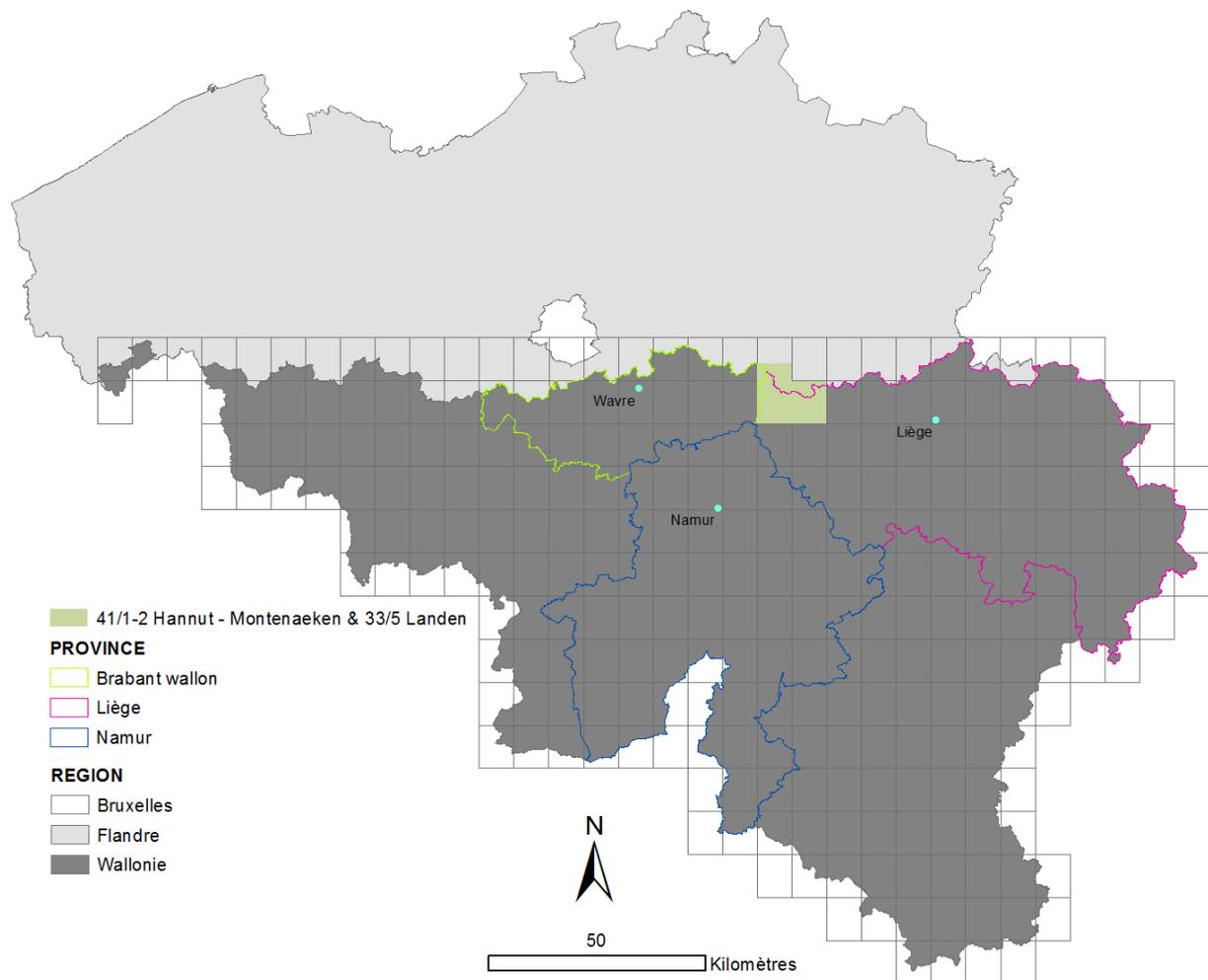


Figure I.1 : Situation de la carte 41/1-2 Hannut – Montenaken & 33/5 Landen en Belgique

Les principales activités commerciales et industrielles se situent au niveau des localités de Hannut et Geer mais c'est surtout l'agriculture qui est fortement développée du fait de l'épaisse couche limoneuse recouvrant la plupart des terrains.

Le substrat de la carte comprend deux ensembles géologiques importants séparés par une surface de discordance angulaire :

- le socle paléozoïque du Massif du Brabant constitué de terrains dont l'âge s'étend du Cambrien au Silurien. Ce socle a été plissé et fracturé lors du cycle orogénique calédonien, puis largement érodé ;
- une couverture méso-cénozoïque déposée sur une surface imparfaitement aplanie. Au cours de cette période, les différentes transgressions qui se sont avancées ont abandonné des sédiments aux faciès généralement littoraux.

Les craies du Mésozoïque et les sables du Cénozoïque constituent les deux principaux réservoirs d'eau souterraine sur la carte.

La carte hydrogéologique présentée ci-après est construite sur base de la carte géologique levée par Pingot (2015).

II. CADRE GEOGRAPHIQUE, GEOMORPHOLOGIQUE ET HYDROGRAPHIQUE

D'une superficie de 190 km², la carte Landen 33/5, Hannut – Montenaken 41/1-2 s'étend majoritairement sur la Province de Liège, où elle couvre une partie des territoires des communes de Hannut, Geer, Lincet, Hélécinne, Berloz et Braives ; ainsi qu'une petite partie de la commune de Orp-Jauche en Province de Brabant Wallon. En Flandre, les Provinces de Limbourg et du Brabant Flamand sont concernées.

Située en Moyenne Belgique, la région de Landen - Hannut - Montenaken couvre la partie occidentale de la Hesbaye dont la vocation agricole est bien ancrée dans le paysage. De vastes campagnes ouvertes, mollement ondulées par une succession de vallons secs, et parsemées de villages, assurent à la Hesbaye un bel exemple d'*openfield* (paysage découvert composé de parcelles non-clôturées et où l'habitat est groupé en villages).

Les cultures couvrent plus de 70 % de l'espace agricole disponible pour moins de 10 % aux forêts ; le solde étant dévolu aux prairies. L'importante couverture limoneuse favorise l'agriculture, d'où l'étiquette de « grenier à blé de la Belgique » apposée à cette région. La plus importante unité de production de légumes surgelés du pays a d'ailleurs été implantée à Geer.

Le réseau routier est bien développé avec de nombreuses routes nationales et l'autoroute E40 qui traverse la carte d'ouest en est (Figure II.1).

La nature géologique du sous-sol conditionne fortement la topographie de la région. Les craies du Campanien reposent en discordance sur le socle paléozoïque, avec un léger pendage vers le nord (pente de 1 à 1,5 %). Ces craies laissent pénétrer l'eau en profondeur. Dès lors, la topographie du sol reposant sur ces craies peut également être déterminée par la nature et/ou la fracturation du socle silurien sous-jacent : les thalwegs des cours d'eau et des vallées sèches sont concordants avec le réseau de fissures, de fracturation et d'altération des schistes et phyllades plissés du Silurien, du fait de l'infiltration préférentielle des eaux de surface. Les formations sablo-argileuses du Paléogène recouvrent ensuite ces craies. Elles occupent les points hauts du relief dans le paysage.

Une épaisse couche limoneuse (jusqu'à plus d'une dizaine de m) recouvre le sol de la région, permettant la pratique de nombreuses cultures.

L'entité de Landen - Hannut - Montenaken est partagée entre les bassins hydrographiques de l'Escaut (à l'ouest) et de la Meuse (à l'est) (Figure II.1). Ils sont eux-mêmes subdivisés en sous-bassins : le sous-bassin de la Petite Gette et le sous-bassin du Geer qui occupent respectivement des superficies de 90,2 km² et 46,5 km² sur la partie wallonne de la carte, le sous-bassin de la Meuhaine est aussi présent au sud dans une très faible proportion (0,3 km²).

Le Geer constitue le collecteur principal des eaux à l'est de la carte. A l'ouest, les cours d'eau sont de moindre importance, le Ruisseau d'Henri Fontaine et la Petite Gette sont les principaux exutoires.

Le Geer prend sa source sur la planchette 41/2 dans la localité éponyme sur cette carte, c'est le principal affluent de la Meuse qu'il rejoint beaucoup plus à l'est (au nord de Liège).

Une station climatique de l'IRM est présente sur la carte à Thisnes (Figure II.1).

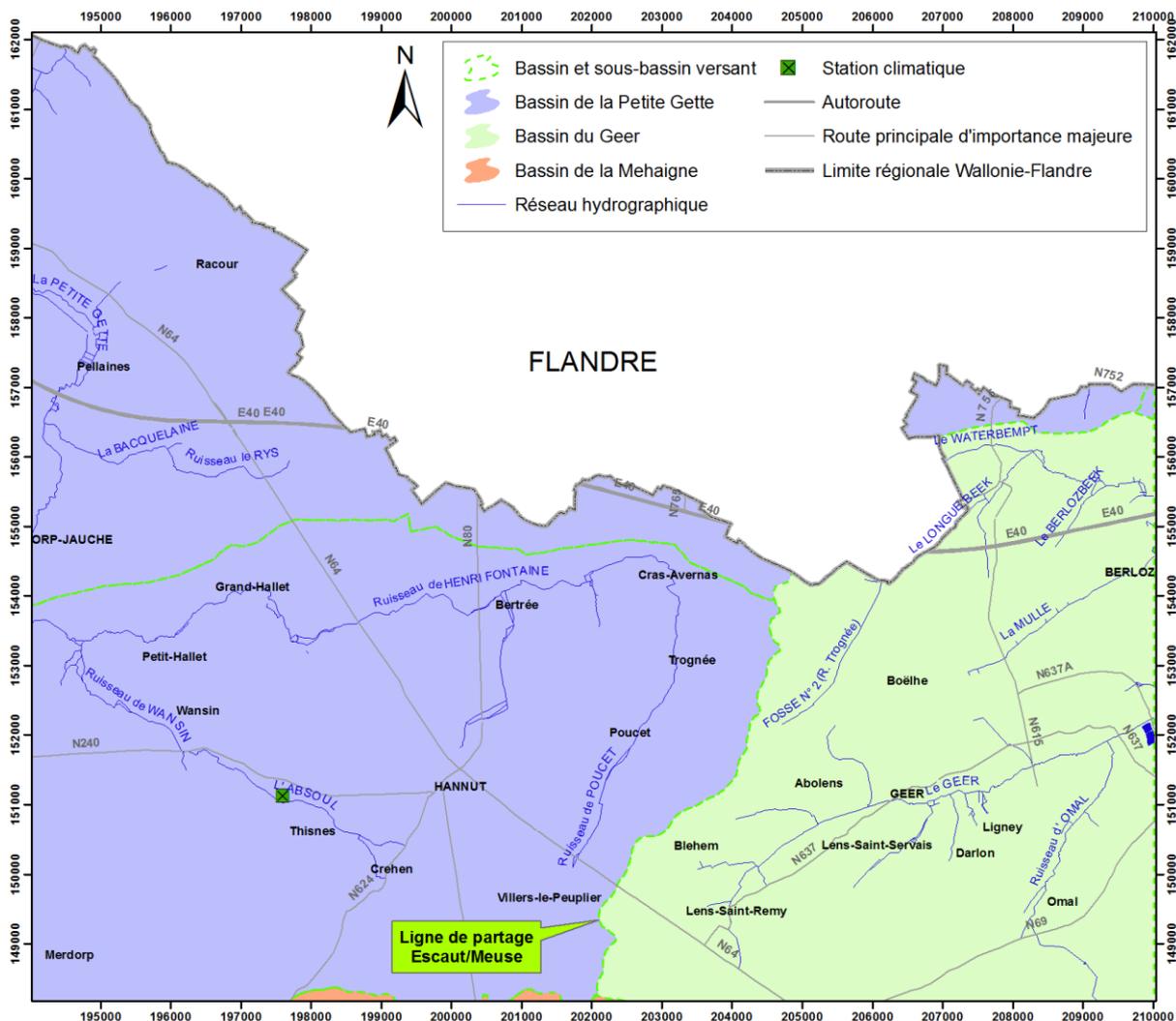


Figure II.1 : Carte des bassins-versants, du réseau hydrographique, des stations et du réseau routier de la région de Landen - Hannut – Montenaken

III. CADRE GEOLOGIQUE

III.1. CADRE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

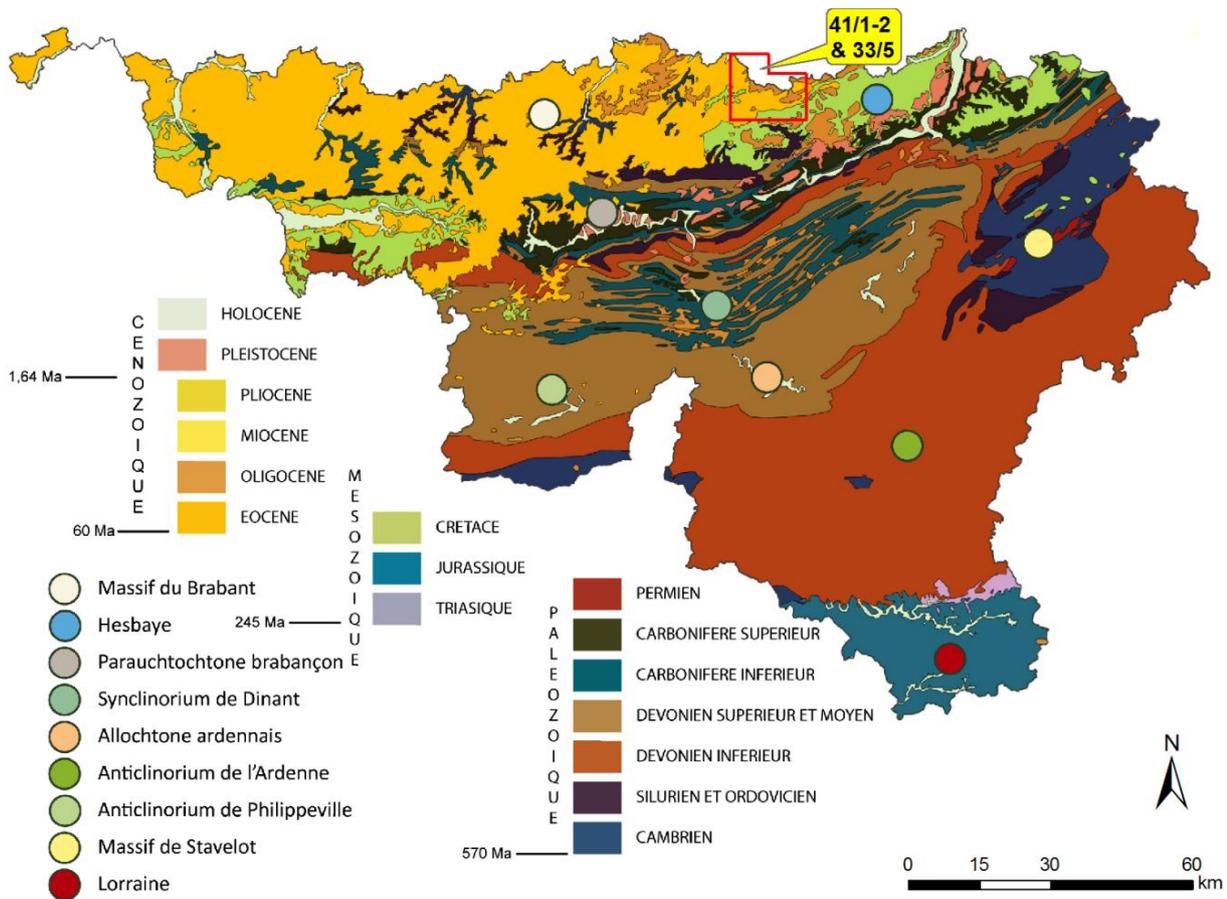
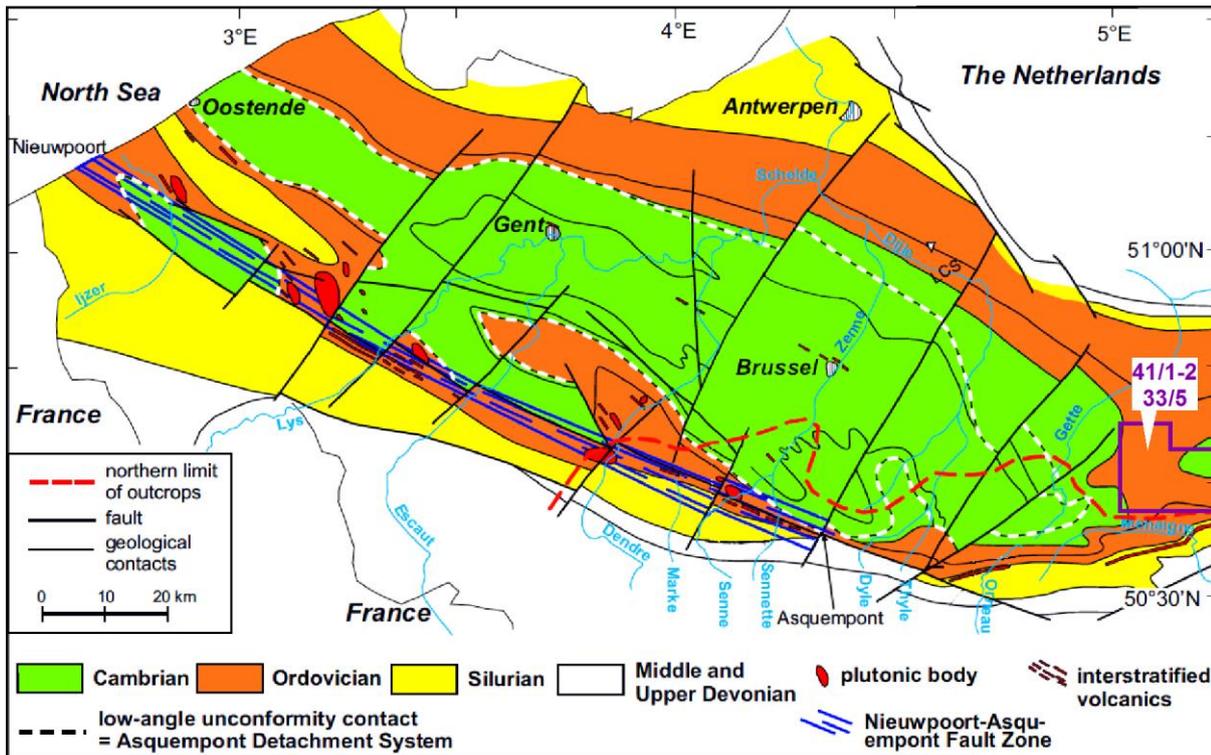
Un résumé très succinct de l'histoire géologique de la Wallonie peut aider à la compréhension de la suite :

- de 530 à 400 Ma : dépôt de sédiments détritiques terrigènes au cours du Cambrien, de l'Ordovicien et du Silurien ;
- de 420 à 380 Ma : plissement des terrains cambro-siluriens lors de l'orogénèse calédonienne et érosion de ceux-ci ;
- de 400 à 290 Ma : dépôt en discordance sur le socle calédonien de terrains dévono-carbonifères ;
- de 360 à 130 Ma : orogénèse varisque (ou hercynienne), érosion et pénéplanation ;
- de 130 Ma à actuel : dépôt de sédiments cénozoïques, généralement meubles, discordants sur cette pénéplaine.

Le sous-sol de la carte Landen - Hannut - Montenaken est constitué de deux grandes unités géologiques séparées par une surface de discordance : le Massif du Brabant et la couverture méso-cénozoïque.

Le Massif du Brabant ([Figure III.1](#)) est formé de terrains datés du Paléozoïque déposés entre le Cambrien et le Silurien. Par après, ce socle a été déformé lors de l'orogénèse calédonienne active depuis la fin du Silurien jusqu'au Dévonien. Ensuite, ce massif a probablement été recouvert par les terrains houillers au Carbonifère. Ensuite, il a été très fortement érodé entre le Permien et le Crétacé inférieur ([Vercoutere & Van den Haute, 1993](#)).

Après un hiatus d'environ 220 Ma, les craies du Campanien et Maastrichtien sont venues se déposer à la fin du Mésozoïque sur ce socle pénéplané ([Figure III.2](#)), elles-mêmes surmontées en discordance par des formations sablo-argileuses tabulaires qui se sont déposées au cours de phases successives de transgressions et de régressions durant l'ère cénozoïque. La surface de discordance entre le socle paléozoïque et la couverture mésozoïque est inclinée vers le nord. Au Quaternaire, la région a été recouverte d'une couche de limons éoliens (löss), dont l'épaisseur varie suivant les endroits mais reste toujours relativement importante (minimum une dizaine de m).



III.2. CADRE GÉOLOGIQUE DE LA CARTE

III.2.1. Cadre litho-stratigraphique

La description des formations géologiques fait référence à la carte géologique dressée au 1/25 000 par Pingot (2015). Cette carte est utilisée comme document de référence pour la carte hydrogéologique. Le **Tableau III.1** reprend les subdivisions géologiques utilisées dans la région de Hannut – Montenaken - Landen.

Les formations géologiques sont décrites, de la plus ancienne à la plus jeune, de manière non exhaustive. Seules sont précisées les informations nécessaires à l'hydrogéologie (lithologie, épaisseur, ...). Pour de plus amples informations il faudra se reporter à la carte géologique de Wallonie (Pingot, 2015) et aux divers documents repris dans le chapitre **X. Bibliographie**.

III.2.1.1. Formations du Paléozoïque

L'unité du Massif du Brabant constitue le substratum de base. Malgré un nombre de données très limité concernant la nature des terrains paléozoïques recoupés par forages, les principales formations ont pu être identifiées. Le Cambrien est représenté par la Formation de Mousty et l'Ordovicien par la Formation de Chevripont. C'est cette dernière qui constituerait la plus grande partie du substratum de cette carte.

III.2.1.1.1. Formation de Mousty

La Formation de Mousty (MST) est formée de shales gris-bleu à gris-noir ou parfois de mudstones riches en pyrite. Ces roches peuvent être massives ou finement laminaires. La stratification est également assez souvent marquée par des lits ou lamines plus silteux (plus clairs ou parfois verdâtres) ou encore par des variations zonaires de la couleur, parfois aussi siltites plus ou moins argileuses grises à pyrite. On observe plus rarement et épisodiquement des passées gréseuses ou silteuses granuloclassées de taille décimétrique à centimétrique qui peuvent s'interpréter comme des turbidites distales s'intercalant dans une série pélagique ou héli-pélagique (Verniers *et al.*, 2001). Son épaisseur est difficile à estimer mais probablement supérieure à 500 m.

Tableau III.1 : Tableau lithostratigraphique de la région de Hannut – Montenaken - Landen (d'après Pingot, 2015)

ERE	SYSTÈME	SERIE	ETAGE	FORMATION et Membres		Lithologie	Abréviation		
CENOZOÏQUE	QUATERNAIRE	HOLOCENE				Remblais	X		
						Tourbes	TRB		
						Alluvions modernes des vallées	AMO		
						Limons	LIM		
	PALEOGENE	OLIGOCENE	RUPELIEN			BORGLOON	Oude Biezen	Grès quartzitique riche en coquilles de lamellibranches	BOG
						SINT-HUIBRECHTS-HERN	Grimmertingen	Sable fin, jaune, micacé avec gravier basal	SHH
		EOCENE	YPRESIEN			TIENEN	Doornal	Sable blanc, grossier, renferme un niveau de grès mamelonné, devient plus argileux vers le nord	TIE
		PALEOCENE	THANETIEN	HANNUT			Grandglisse	Sable argileux, fin, glauconifère	HAN
							Lincent	Tuffeau avec sable, grès ou mames	
							Overbroek	Sable grossier carbonaté avec silex à la base	
							Montenaken	Argile glauconieuse, parfois sableuse	
							SELANDIEN	HEERS	Gelinden
				Orp	Sable vert glauconifère				
MESOZOÏQUE	CRETACE	SUPERIEUR	MAASTRICHTIEN			JAUHE	Craie grossière, jaunâtre, riche en silex	JAU	
						GULPEN	Craie blanche avec silex à la base	GUL	
						CAMPANIEN	VAALS	Argile verte ou sables fins carbonatés	VAA
PALEOZOÏQUE	ORDOVICIEN	INFERIEUR	TREMADOCIEN		CHEVLIPONT	Quartzophyllade gris	CHV		
	CAMBRIEN	SUPERIEUR			MOUSTY	Shale gris-bleu à gris-noir avec pyrite	MST		

III.2.1.1.1. Formation de Chevlipont

La Formation de Chevlipont (CHV) se compose d'alternances millimétriques de siltites de teinte gris clair et de siltites argileuses ou mudstones gris foncé à litage ondulé très caractéristique. Les siltites forment fréquemment des rides millimétriques à centimétriques à laminations obliques. Ces roches étaient anciennement décrites sous le nom de quartzophyllades. On y observe assez régulièrement des bancs pluricentimétriques à décimétriques de grès fins, souvent massifs ou plus rarement à structure convolute ou laminations planes parallèles, assez continus latéralement. On y observe plus rarement des alternances décimétriques de bancs granuloclassés, dont la base est gréseuse et le sommet silto-argileux à argileux (séquences turbiditiques de type Bouma). On y observe exceptionnellement des structures cone-in-cone. Cette formation correspond à des turbidites de faible densité (modèle de Stow) ou plus rarement à des turbidites de forte densité distales (*Verniers et al., 2001*). L'épaisseur de la formation est comprise entre 150 et 200 m.

III.2.1.2. Formations du Mésozoïque

III.2.1.2.1. Formation de Vaals

Dans la région de Hesbaye, la Formation de Vaals (VAA), d'âge Campanien inférieur, n'est connue que sous des faciès résiduaire. Quelques forages de la partie orientale de la carte ont recoupé entre les craies de la Formation de Gulpen et le toit du socle paléozoïque brabançon, quelques décimètres d'argile verte onctueuse ou de sable fin un peu carbonatés qui ont été rapportés à cette formation. Son épaisseur varie de 0,5 à 2 m.

III.2.1.2.2. Formation de Gulpen

La Formation de Gulpen (GUL) est essentiellement composée de sédiments crayeux. Ces craies sont formées d'une boue de coccolithes et de grainstones bioclastiques finement grenus déposés dans des conditions tempérées à subtropicales (*Molenaar et Zijlstra, 1997*). Les coccolithes sont des assemblages radiaux de cristaux complexes de calcite produits par une algue verte du phylum *Haptophyta* (ou *coccolithophoridaea*).

Typiquement on observe la succession suivante :

- la partie inférieure constituée d'une craie fine souvent sableuse, parfois plus silteuse ou plus marneuse renfermant des silex noirs ou gris foncés ;
- une couche indurée (hardground) ;
- dans la partie supérieure, la craie devient plus grossière (calcarénite) et renferme des silex, des nodules de phosphates et des rostrés de bélemnite.

Deux zones doivent être distinguées; l'une à l'ouest de la carte dans les vallées de la Gette et de ses affluents où les craies ont été bien étudiées et l'autre comprenant le reste de

la carte où les affleurements sont médiocres, voire inexistants. Les descriptions de sondage y sont peu explicites rendant difficile la délimitation précise de l'extension de ces craies.

Cette formation est comprise entre le Campanien supérieur et le Maastrichtien inférieur et est épaisse de 0 à 49 m (un maximum de 49,5 m a été observé au sondage de la gare de Landen).

III.2.1.2.3. Formation de Jauche

Limitée géographiquement aux vallées de la Petite Gette et de ses affluents, la Formation de Jauxhe (JAU) comprend de bas en haut :

- un gravier riche en fossiles (bélemnites, spongiaires,...) ou une couche indurée à nodules phosphatés (épaisseur : 0,10 à 0,25 m) ;
- surmonté d'une craie grossière, jaunâtre (biocalcarénite), homogène, fossilifère. Cette craie renferme des bancs pratiquement continus de silex gris. A la base, la composante graveleuse de la roche augmente (épaisseur : environ 3 m).

Au sud de ces vallées, cette formation devient sableuse et prend un caractère nettement littoral tout en s'amenuisant avant de disparaître complètement. Datée du Maastrichtien supérieur (*Robaszynski et al., 2001*), son épaisseur totale varie de 0 à maximum 4 m sur la carte.

III.2.1.3. Formations du Cénozoïque

III.2.1.3.1. Formation de Heers

La Formation de Heers (HER), d'âge Sélandien supérieur, est divisée en deux membres : à la base les sables d'Orp surmontés des marnes blanches de Gelinden. Ils ne font pas l'objet d'une distinction particulière sur la carte. Les sondages disponibles montrent une épaisseur allant de 0 m au sud à 30,5 m à Landen, en passant par 19 m à Montenaken.

III.2.1.3.1.1. Membre d'Orp

Le Membre d'Orp est formé généralement d'un sable vert glauconieux à fines laminations parallèles, divisées en "séquences" d'une cinquantaine de centim d'épaisseur. Ces sables reposent généralement sur un cailloutis de silex emprunté aux formations crétacées sous-jacentes.

III.2.1.3.1.2. Membre de Gelinden

Les Marnes de Gelinden représentent un environnement plus profond que les sables qui les précèdent. Ces marnes sont formées par la sédimentation d'une fine boue dont la teneur en éléments calcaires dépasse les 70 à 80 %.

III.2.1.3.2. Formation de Hannut

La Formation de Hannut (HAN) (âge Thanétien) dans la région voisine de la ville éponyme comprend quatre membres : ceux d'Overbroek et de Montenaken surmontés par ceux de Lincet et de Grandglise. Au sud et à l'est de la carte, cette distinction n'est plus possible vu la proximité de l'extrémité du biseau de transgression. L'épaisseur totale de la Formation de Hannut est comprise entre 30 et 40 m.

III.2.1.3.2.1. Membre de Montenaken

Il se compose d'un corps argileux et glauconieux qui s'enrichit progressivement en fragments de grès. Au sondage de Fond de Houtia à Bertrée (nord de Hannut), ce membre se présente sous un faciès un peu différent. Il débute par une argile surmontant un hardground au sommet des marnes de Gelinden. Elle est toujours glauconieuse mais sa composante sableuse diminue vers le haut. Ici, la partie centrale renferme un intermède carbonaté. L'épaisseur de ce membre varie de 4 à 9 m.

III.2.1.3.2.2. Membre d'Overbroek

Ce membre est représenté par un horizon transgressif bien net par rapport à la marne sous-jacente. Au-dessus de quelques silex verdis assez dispersés, s'est déposé un sable grossier et carbonaté. Il n'est épais que de 50 à 60 cm.

III.2.1.3.2.3. Membre de Lincet

Le Membre de Lincet consiste, ici, en un sable très fin, gris à gris vert ou un silt ou un grès (« tuffeau de Lincet ») et des intercalations d'argile gris vert pâle contenant du sable. Le sédiment est légèrement glauconifère et micacé et contient parfois des fragments de coquillages. Vers le bas, on trouve une argile marneuse gris vert passant à une argile calcaireuse très compacte grise. Son épaisseur maximale avoisine les 12 m.

III.2.1.3.2.4. Membre de Grandglise

Ce membre est essentiellement constitué de sable argileux, vert, fin, homogène. Dans la partie supérieure, la glauconie est concentrée dans de fines laminations révélant un milieu de sédimentation assez calme. Localement, sa partie supérieure est rougie par oxydation de la glauconie sous le climat chaud de l'Eocène inférieur. La transition avec le Membre de Lincet est progressive ou soulignée par un mince gravier, par contre le contact avec les sables de la Formation de Tienen est toujours bien net. Ce Membre ne dépasse pas les 11 m d'épaisseur.

III.2.1.3.3. Formation de Tienen

La Formation de Tienen (TIE) est uniquement représentée sur cette carte par le Membre de Doormal. L'âge absolu de cette formation est compris entre 55,5 et 54,8 Ma

(*Sturbaut et al., 2003*) ce qui correspond à l'Yprésien inférieur. Elle montre une épaisseur comprise entre 15 et 20 m.

III.2.1.3.3.1. Membre de Doormal

Typiquement, ce membre, de nature continentale, se présente sous forme de chenaux. Ceux-ci se prolongeaient vers le nord sous la Campine où des profils sismiques montrent que ces vallées prennent des proportions gigantesques jusqu'à 100 m de profondeur et 1 à 10 km de large. Ce membre comprend de bas en haut :

- un lit de gravier peu structuré formé d'un cailloutis de silex ;
- un sable blanc ou jaune, grossier, renfermant des linéoles argileuses ou ligniteuses et des fragments de bois silicifié. Ces sédiments moyens à grossiers présentent généralement des stratifications entrecroisées ;
- plus haut, un horizon métrique dur formé d'un grès mamelonné recouvert d'argile à lignite renfermant des fragments de bois silicifié voire des morceaux de troncs. Cet horizon est parfois dédoublé. Dans ce cas, un mètre de sable blanc fin les sépare.

III.2.1.3.4. Formation de Sint-Huibrechts-Hern

La Formation sableuse de Sint-Huibrechts-Hern (SHH), nettement transgressive, biseaute toutes les formations sous-jacentes et finit, au sud de la carte, par reposer directement sur les craies du Crétacé. Cette formation est représentée sur cette carte par le Membre de Grimmertingen. D'un point de vue stratigraphique, on la situe à la base du Rupélien (Oligocène). Son épaisseur totale n'excède pas les 10 m.

III.2.1.3.4.1. Membre de Grimmertingen

Ce membre débute généralement par un niveau caillouteux particulièrement développé lorsqu'il surmonte le faciès fluviatile de la Formation de Tienen. D'une manière générale, il est constitué d'un sable jaune fin, se chargeant en glauconie vers la base et devenant plus argileux vers son sommet.

III.2.1.3.5. Formation de Borgloon

Datée du Rupélien (Oligocène), la Formation lagunaire de Borgloon (BOG), dans la région de Sint-Truiden (*Gullentops et Wouters, 1996*) se compose de deux membres : les argiles de Henis et, les sables et argiles de Oude Biezen. Ces deux membres appartiennent à ce qui était appelé autrefois le « Tongrien continental ». Seul le Membre de Oude Biezen est présent sur la planche Landen - Hannut - Montenaken.

III.2.1.3.5.1. Membre de Oude Biezen

Il consiste en un sable quartzueux blanc jaunâtre, de granulométrie moyenne à grossière, avec de nombreuses coquilles d'eau saumâtre ainsi que des coquilles cassées,

alternant avec deux ou trois couches d'argile compacte gris blanc (marne) et avec de fines couches d'argile noire. L'épaisseur est de seulement 3 à 4 m, localement, elle peut atteindre 10 m.

III.2.1.4. Quaternaire

III.2.1.4.1. Couverture limoneuse

La Hesbaye est la région classique des limons (LIM) en Belgique. L'épaisseur de cette couverture est variable. Elle peut être d'ordre métrique, comme au nord de la vallée du Geer entre Abolens, Poncia (Geer) et le lieu-dit « Champignotte ». Par contre, elle atteint les 20 m au SSE de Hannut. De manière générale, les limons sont plus épais sur un substratum crayeux où la percolation verticale des eaux domine. Par contre, lorsque les limons coiffent un substrat terrigène, la composante latérale de l'écoulement des eaux et leur ruissellement favorisent l'érosion et par conséquent une réduction de leur épaisseur.

Généralement, la base des limons surmonte un lit de galets résultant de l'altération et du remaniement des terrains méso- et cénozoïque. Ces limons sont formés d'un matériel silteux, parfois carbonaté, renfermant jusqu'à 30 % de feldspath et des « minéraux lourds » tels que les hornblendes et les épidotes (*Gullentops, 1954*). Cette composition indépendante du sous-sol indique une origine allochtone nivéo-éolienne.

III.2.1.4.2. Alluvions modernes - Tourbes - Remblais

Les alluvions modernes (AMO) tapissent le fond des vallées. Ceux-ci affichent une stratification complexe formée de couches de textures différentes. Des galets de différentes natures sont dispersés dans cette couche alluvionnaire. Leur fréquence augmente vers la base de ce dépôt (*Rutot & Van den Broeck, 1884*). Ils sont surmontés de limons argileux. Certaines zones marécageuses de la vallée du Geer possèdent un substrat tourbeux (TRB).

Quelques dépôts anthropiques, notés X, (remblais, décharges) sont répertoriés sur le territoire de la carte. Ils représentent quelques hectares.

III.2.2. Cadre structural

Plusieurs périodes de déformation ont été enregistrées par les roches du Massif du Brabant et sa couverture méso-cénozoïque. Sur la carte 33/5 & 41/1-2, les manifestations des différentes phases de plissement ne sont pas très explicites vu la rareté des affleurements.

Ces événements structuraux peuvent être résumés en deux points principaux : la tectonique calédonienne du socle brabançon et les mouvements épeirogéniques² tardi-crétacé et cénozoïques.

III.2.2.1. Tectonique calédonienne du socle brabançon

Le socle du Massif du Brabant a été déformé une première fois lors de l'orogénèse calédonienne au Paléozoïque inférieur. Comme un nombre très limité de forages ont traversé ces terrains, la nature de ce plissement dans le domaine de la carte est très mal connue.

Au Paléozoïque supérieur, la région est probablement couverte par un millier de m au maximum de terrains houillers (*Vercoutere & Van den Haute, 1993*) discordant sur les roches plissées du Paléozoïque inférieur. Par après, l'orogénèse hercynienne responsable du plissement des couches en Ardenne, dans le Condroz et dans le Parautochtone brabançon, ne semble pas avoir atteint le substratum sur cette partie de la Hesbaye.

Du Permien au Crétacé supérieur, le massif émergé est en proie à l'érosion qui a notamment déblayé l'entièreté du Houiller qui s'y trouvait.

III.2.2.2. Mouvements épeirogéniques tardi-crétacés et cénozoïques

De la fin du Crétacé au début du Cénozoïque, l'histoire tectonique de l'Europe occidentale est contrôlée par deux événements majeurs : l'ouverture de l'Océan Atlantique nord-ouest et la formation de la chaîne alpine suite à la fermeture de la Thétys au sud.

Dans le domaine téthysien, la collision des plaques eurasienne et africaine a commencé au Coniacien. Les forces de compression résultantes se sont transmises à travers la croûte jusqu'au nord-ouest de l'Europe (*Dèzes et al., 2004*) donnant naissance à des inversions tectoniques tardi-crétacées. Ces inversions, qui ont cessé au Campanien, expliquent l'absence de dépôts crayeux dans certaines aires du centre du pays. Cette phase est qualifiée de subhercynienne.

Après une nouvelle phase compressive au Maastrichtien, provoquant des inversions tectoniques (*Ziegler, 1990*), le nord-est de la Belgique connaît une phase d'extension due à l'ouverture de l'Atlantique au cours du Danien (*Vandycke, 2002*). Des failles liées à cette phase de déformation affectent probablement les formations crayeuses de cette carte.

Ensuite, au cours du Cénozoïque, le Massif du Brabant subit plusieurs mouvements de soulèvement épeirogénique (*Vandenberghé et al., 1998 ; 2004*).

² Par opposition à orogénique, correspond à de lents mouvements de montée ou de descente des domaines continentaux se traduisant respectivement par des régressions ou des transgressions

Une première phase précède le dépôt des sables du Membre d'Orp, au début du Sélandien. Une seconde phase moins conséquente se produit à la base du Thanétien. Une troisième phase plus importante, à la limite Paléocène – Eocène, concerne le relèvement de la partie sud-est du Massif du Brabant. Legrand (1968) estime que des failles du socle, en particulier celles de la zone faillée de la Gette, ont été réactivées à cette époque. C'est lors de cet épisode que s'installe, sur des terrains exondés, le réseau hydrographique du Membre de Doormal (Formation de Tienen) dans une région soumise à des séismes (Sintubin et al., 2000).

Une autre phase de remontée du Massif du Brabant, s'accompagnant d'une période d'érosion, s'opère dans l'intervalle de temps compris entre le dépôt de la Formation de Tienen et la sédimentation des argiles yprésiennes.

Le Brabant s'est encore soulevé au cours du Lutétien, de même que le Dôme de l'Artois interrompant définitivement les échanges avec le Bassin de Paris. Le Massif du Brabant a aussi connu plusieurs épisodes de relèvement pendant le Bartonien et surtout au Priabonien suite à la phase pyrénéenne. Ces diverses phases précèdent la dernière transgression marine (Formation de Sint-Huibrechts-Hern) ayant envahi la région au Rupélien.

Depuis le Miocène, le Massif du Brabant est entraîné par la remontée de l'Ardenne qui s'est encore accrue depuis le milieu du Pléistocène (Van de Molen, 2004).

IV. CADRE HYDROGEOLOGIQUE

Les eaux souterraines de la région de Landen - Hannut - Montenaken sont présentes dans toutes les unités géologiques qui couvrent la carte. Leur comportement et leur productivité sont cependant fortement conditionnés par la nature et la structure de la roche dans laquelle l'eau est stockée. Ainsi, les formations géologiques sont regroupées ou subdivisées en unités hydrogéologiques, chacune étant caractérisée par un comportement hydrodynamique qui lui est propre.

Trois termes sont utilisés pour qualifier le caractère plus ou moins perméable des formations géologiques en hydrogéologie (*UNESCO-OMM, 1992*) :

- **Aquifère** : formation perméable permettant d'exploiter de grandes quantités d'eaux souterraines ;
- **Aquitard** : formation semi-perméable dans laquelle l'écoulement se fait à une vitesse plus réduite que dans un aquifère, son exploitation est possible mais de capacité limitée ;
- **Aquiclude** : formation à caractère peu perméable dans laquelle on ne peut économiquement extraire des quantités d'eau appréciables.

Ces définitions assez subjectives sont à manipuler avec précaution. Elles sont utilisées ici afin de renseigner, à une échelle régionale, sur le caractère globalement perméable, semi-perméable ou peu perméable d'un ensemble de couches géologiques. Elles donnent une idée du potentiel économique que représentent les différentes unités hydrogéologiques en termes d'exploitation. Elles se basent principalement sur la description lithologique de ces unités.

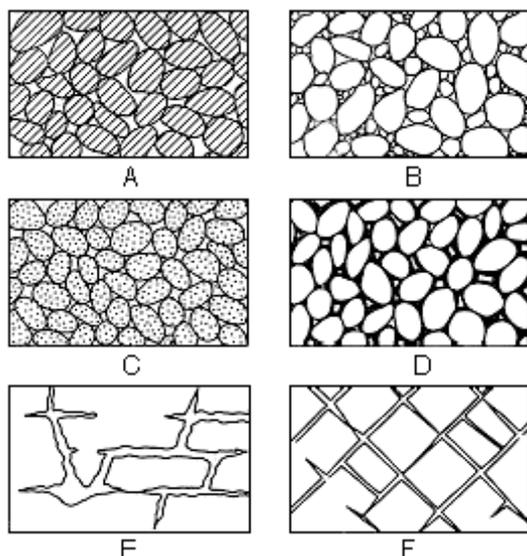
De manière générale c'est la porosité efficace (rapport du volume d'eau contenue dans un matériau pouvant être libérée sous l'effet de la gravité au volume total du milieu qui la contient) et la conductivité hydraulique (capacité d'un matériau à laisser passer l'eau), proportionnelle à la granulométrie des grains, qui va déterminer le caractère plus ou moins aquifère d'une roche (*Figure IV.1, Tableau IV.1*). Les roches cohérentes sont, en principe, très peu perméables. Néanmoins, la fissuration, l'altération ou la dissolution peuvent modifier leur perméabilité (*Figure IV.1, Tableau IV.1*).

La fracturation crée un réseau de fractures au sein duquel l'eau peut circuler ;

L'altération des roches induit des comportements différents selon leur lithologie. Trois comportements principaux se présentent :

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

- La roche est un grès : l'altération donne du sable, ce dernier présente une plus grande porosité efficace et une bonne perméabilité ;
- La roche est un shale/schiste : l'altération donne une argile qui colmate le réseau de fractures. La perméabilité est diminuée.



A, Roche sédimentaire de granulométrie triée, porosité élevée ; B, roche sédimentaire de granulométrie mal triée, porosité faible ; C, roche sédimentaire de granulométrie triée et constituée de grains poreux, porosité très élevée ; D, roche sédimentaire de granulométrie triée mais dont la porosité est diminuée par une précipitation minérale dans les interstices ; E, roches cohérentes rendues poreuses par dissolution ; F, roches cohérentes rendues poreuses par fracturation.

Figure IV.1 : différents types de porosité dans les roches meubles et cohérentes (d'après Meinzer, 1923)

Tableau IV.1 : Porosité totale, porosité efficace et perméabilité des principaux types de roches (d'après Castany, 1998)

Roche	Porosité totale (%)	Porosité efficace (%)	Perméabilité K (m/s)
Argile	45 à 55	0 à 5	10^{-12} à 10^{-9}
Sable moyen	30 à 40	25 à 35	10^{-5} à 10^{-2}
Gravier	25 à 35	20 à 30	10^{-3} à 10
Grès	0 à 10	0 à 5	10^{-10} à 10^{-8}
Calcaire	5 à 15	0 à 10	10^{-9} à 10^{-6}
Basalte massif	0 à 5	0 à 5	10^{-11} à 10^{-6}
Schiste	0 à 20	0 à 5	10^{-13} à 10^{-9}

Les failles, fréquemment minéralisées (barite et calcite), peuvent aussi constituer des zones de circulation préférentielles des eaux souterraines ou, au contraire, lorsqu'elles qu'elle son comblées par un matériau peu perméable (argile) former un seuil hydrogéologique.

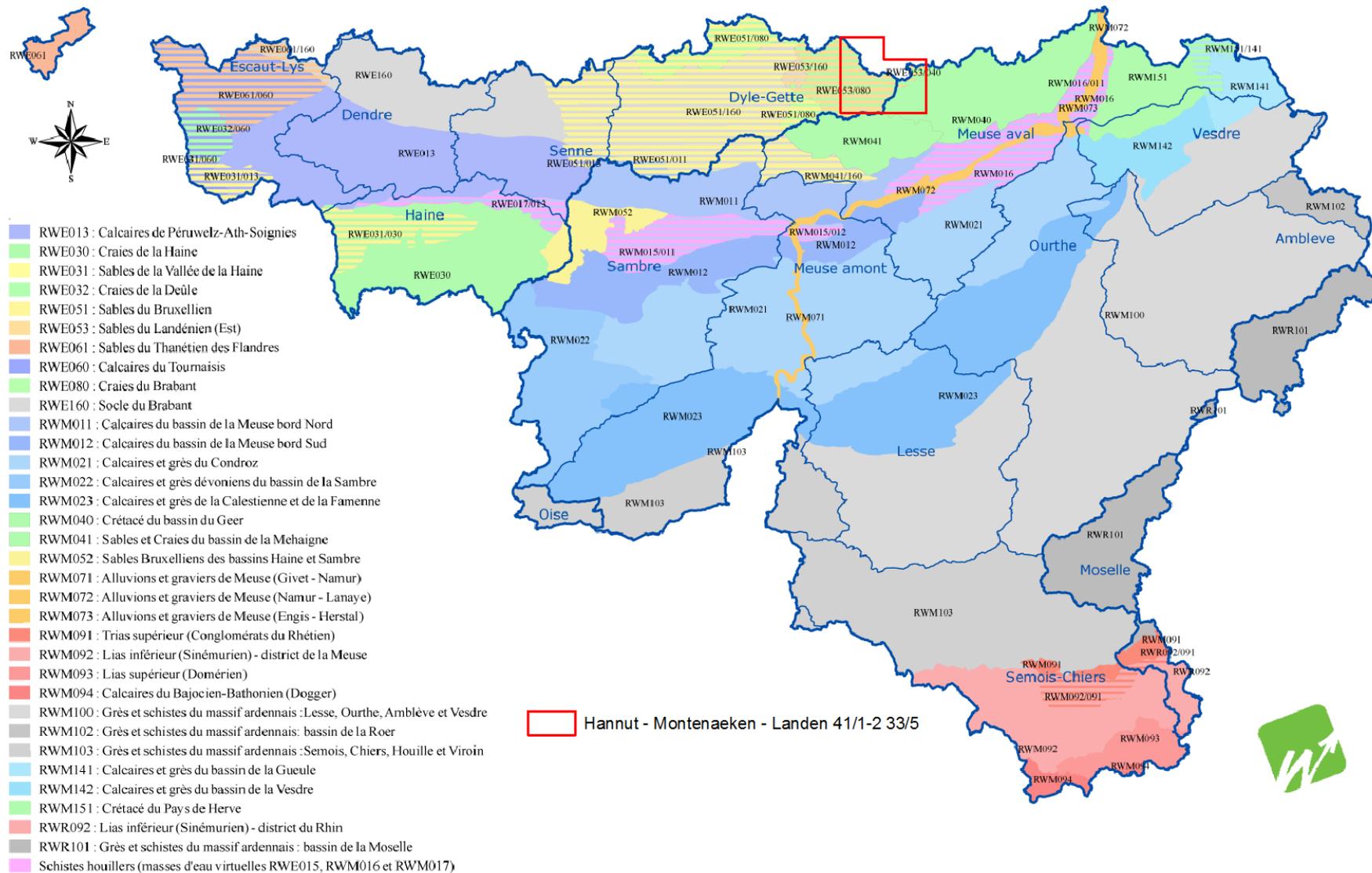
En plus de la notion d'aquifère, comme pour les eaux de surface, la Directive-cadre sur l'Eau (Directive 2000/60/CE) introduit un nouveau concept, celui de masse d'eau souterraine, unité élémentaire du milieu aquatique, mieux adaptée à la gestion des eaux à l'intérieur des bassins hydrographiques à large échelle (districts hydrographiques). Une masse d'eau souterraine peut, dès lors, être définie comme un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou de plusieurs aquifères. La délimitation précise des masses d'eau souterraine est toujours susceptible d'évoluer en fonction de l'amélioration de la

connaissance de certains aquifères insuffisamment caractérisés jusqu'à présent. Les planches 41/1-2 et 33/5 recouvrent les masses d'eaux souterraines (Figure IV.2) :

- RWE053 : sables du Landenien³ (est)
- RWE080 : craies du Brabant
- RWM040 : Crétacé du bassin du Geer

Cette codification peut être décryptée comme suit : RW = Région Wallonne, E = district de l'Escaut, M = district de la Meuse, 053-080-040 = numéro correspondant à l'aquifère.

³ Le Landénien est l'équivalent du Thanétien dans la nomenclature géologique belge actuelle



Données générales extraites de la base de données géographiques de référence de la DGARNE
 Direction de l'Etat environnemental - Coordination Géomatique et Informatique & Direction des Eaux souterraines - Mars 2010



Figure IV.2 : Masses d'eau souterraine en Wallonie et localisation des planches 33/5 & 41/1-2 (SPW-DGO3, 2015)

IV.1. DESCRIPTION DES UNITÉS HYDROGÉOLOGIQUES

Les unités hydrogéologiques définies pour la carte Landen - Hannut - Montenaken sont décrites ci-dessous dans l'ordre stratigraphique, de la plus ancienne à la plus récente. Elles sont reprises dans le **Tableau IV.2** synthétique ainsi que dans le tableau de correspondance du poster A0 joint à la notice.

Certaines formations géologiques voient leur faciès changer latéralement, il est donc possible qu'une même formation soit définie en termes d'aquifère sur une carte et en termes d'aquitard sur une autre carte (raisonnement par carte).

Comme annoncé précédemment, la carte hydrogéologique de Landen - Hannut - Montenaken est basée sur la carte géologique dressée par J.-L. Pingot (2015). Concernant la classification hydrogéologique, la Flandre s'est dotée d'une codification hydrogéologique du sous-sol (HCOV : Hydrogeologische Codering van de Ondergrond in Vlaanderen) (Meyus et al., 2000 ; Meyus et al., 2005). 14 principales unités hydrologiques ont été définies. Des informations détaillées sont disponibles sur le site 'Databank Ondergrond Vlaanderen', DOV⁴. En fin de chapitre, une brève description sur la classification des formations aquifères adoptée en Flandre est présentée.

IV.1.1. Unités hydrogéologiques cambro-ordoviciennes

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

Le socle cambro-silurien est ici essentiellement formé de shales, schistes et grès des Formations de Mousty (MST) et de Chevlipont (CHV). Localement, il peut former des aquifères d'altération ou de fractures, mais il a globalement un comportement peu perméable ce qui lui confère les caractéristiques d'un aquiclude à niveaux aquifères.

IV.1.2. Unités hydrogéologiques du Crétacé

IV.1.2.1. Aquitard de Vaals

La Formation sablo-argileuse de Vaals (VAA) est généralement peu aquifère, surtout dans cette partie du pays, elle est un peu plus perméable dans les Cantons de l'Est (Ruthy & Dassargues, 2009a). Cette faible conductivité hydraulique lui confère ici un caractère aquitard.

⁴ <http://dov.vlaanderen.be/>

Tableau IV.2. Tableau de correspondance 'Géologie – Hydrogéologie' de la région de la région de Landen - Hannut - Montenaken

ERE	SYSTÈME	SERIE	ETAGE	FORMATION et Membres		Lithologie	Abréviation	UNITES HYDROGEOLOGIQUES	
CENOZOÏQUE	QUATERNAIRE	HOLOCENE				Remblais	X	 Nappe des remblais	
						Tourbes	TRB	 Aquifère des tourbes	
						Alluvions modernes des vallées	AMO	Aquifère alluvial	
						Limons	LIM	Aquitard limoneux (<i>non cartographié, visible sur la coupe uniquement</i>)	
	PALEOGENE	OLIGOCENE	RUPELIEN		BORGLOON	Oude Biezen	Grès quartzitique riche en coquilles de lamellibranches	BOG	Aquifère des sables de l'Oligocène
					SINT-HUIBRECHTSHERN	Grimmertingen	Sable fin, jaune, micacé avec gravier basal	SHH	
		EOCENE	YPRESIEN	TIENEN	Doornal	Sable blanc, grossier, renferme un niveau de grès mamelonné, devient plus argileux vers le nord	TIE	Aquiclude-aquitard des argiles de l'Eocène	
		PALEOCENE	THANETIEN	HANNUT	Grandglisse	Sable argileux, fin, glauconifère	HAN	Aquifère des sables du Paléocène	
					Lincet	Tuffeau avec sable, grès ou marnes			
					Overbroek	Sable grossier carbonaté avec silex à la base			
					Montenaken	Argile glauconieuse, parfois sableuse			
		SELANDIEN	HEERS	Gelinden	Marne blanche	HER	Aquifère à niveaux aquicludes du Paléocène		
Orp	Sable vert glauconifère								
MESOZOÏQUE	CRETACE	SUPERIEUR	MAASTRICHTIEN	JAU	Craie grossière, jaunâtre, riche en silex	JAU	Aquifère des craies du Crétacé		
			GULPEN	GUL	Craie blanche avec silex à la base				
			CAMPANIEN	VAA	Argile verte ou sables fins carbonatés	VAA	Aquifère - Aquitard de Vaals (<i>Non cartographié, localement présent sous couverture</i>)		
PALEOZOÏQUE	ORDOVICIEN	INFERIEUR	TREMADOCIEN	CHEVLIPONT	Quartzophyllade gris	CHV	Aquiclude à niveaux aquifères du socle cambro-silurien (<i>Non cartographié, visible sur la coupe uniquement</i>)		
	CAMBRIEN	SUPERIEUR		MOUSTY	Shale gris-bleu à gris-noir avec pyrite	MST			

IV.1.2.2. Aquifère des craies du Crétacé

La craie est un matériau poreux le plus souvent affecté de fractures. Il présente donc une porosité et une perméabilité double (de pores et de fractures) (*Dassargues & Monjoie, 1993*) :

- à l'échelle microscopique (quelques centimètres), la craie est un matériau compact mais poreux (porosité de 40 %) qui ne permet qu'une faible et lente circulation de l'eau (conductivité hydraulique de l'ordre de 1×10^{-9} m/s). L'eau contenue dans une telle roche n'est que très difficilement libérée, sauf au travers de microfissures 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 m), des réseaux de fissures plus ou moins fréquents sont observés. Ils augmentent de façon notable la conductivité hydraulique de la craie à cette échelle de l'ordre de 1×10^{-4} m/s. La porosité efficace (de drainage) liée aux fissures représente environ 5 % d'eau facilement mobilisable.

Le hardground, niveau induré d'extension régionale (*cfr Cadre géologique de la carte, p. 9*) sur la géologie de la carte), intervient dans la dynamique de l'écoulement. Sa faible conductivité hydraulique (de l'ordre de 2×10^{-5} m/s) peut générer une discontinuité entre la nappe qui est logée dans la craie de la Formation de Gulpen d'âge campanien et celle de la craie de la Formation de Jauche d'âge maastrichtien. Les discontinuités qui l'affectent conduisent, localement, à des circulations préférentielles de l'eau entre ces deux nappes (*Orban et al., 2014*).

Sur la carte Landen - Hannut - Montenaken, cette unité hydrogéologique comprend les Formations de Gulpen (GUL) et de Jauche (JAU).

IV.1.3. Unités hydrogéologiques du Paléogène

Les dépôts meubles du Cénozoïque comportent plusieurs sous-unités qui se distinguent en fonction de leur granulométrie.

IV.1.3.1. Aquifère à niveaux aquicludes du Paléocène

Cette unité hydrogéologique est ici représentée par la Formation de Heers (HER) elle-même subdivisée en deux membres : le Membre d'Orp (sableux, aquifère) et le Membre de Gelinden (marneux, aquiclude). Ces deux membres ne sont pas représentés de manière individuelle sur la carte géologique (*Pingot, 2015*) mais des sondages montrent que le Membre de Gelinden n'est pas toujours présent à l'inverse du Membre d'Orp. Dès lors, l'appellation 'aquifère à niveaux aquicludes' semble être la plus appropriée selon que le Membre de Gelinden soit présent ou non.

IV.1.3.2. Aquifère des sables du Paléocène

L'Aquifère des sables du Paléocène est constitué de la Formation de Hannut (HAN). Celle-ci s'étend sur l'ensemble de la carte. Sa composition essentiellement sableuse avec des niveaux de tuffeaux, de grès et de rares niveaux argileux en font un bon aquifère. Il est exploité par bon nombre d'exploitations agricoles et de particuliers.

IV.1.3.3. Aquiclude-aquitard des argiles de l'Eocène

Cette unité hydrogéologique est composée du Membre de Doormal de la Formation de Tienen (TIE). On y retrouve à la fois des sables, des argiles, des marnes et des grès. Une telle hétérogénéité des composants rend difficile une classification hydrogéologique précise, le terme aquiclude-aquitard sera donc utilisé d'autant que la composante argileuse demeure importante.

IV.1.3.4. Aquifère des sables de l'Oligocène

Cette unité hydrogéologique est, ici, constituée des Formations de Sint-Huibrechts-Hern (SHH) et de Borgloon (BOG). C'est un aquifère sableux peu exploité et d'épaisseur généralement faible (moins de 10 m), toutefois, si les deux formations se succèdent il peut localement atteindre les 20 m d'épaisseur. On le retrouve surtout dans la partie nord-est de la carte.

IV.1.4. Unités hydrogéologiques du Quaternaire

IV.1.4.1. Aquifère des tourbes

Les tourbes (TRB) présentent une porosité élevée, ce qui en fait des réservoirs d'eau intéressants, mais leur perméabilité est très faible. Cette ressource est difficilement exploitable. De plus, sur cette carte, elles sont de très faible extension et ne sont présentes que très localement dans la vallée du Geer.

IV.1.4.2. Aquifère alluvial

Cette unité hydrogéologique est représentée par les alluvions modernes (AMO). Les alluvions, composées principalement de sables et de graviers roulés, offrent des potentialités aquifères intéressantes si leur extension le permet. Leur conductivité hydraulique est fonction de leur granulométrie. Les zones sablo-graveleuses conduiront mieux l'eau que les zones limono-argileuses. Ces sédiments peuvent donc former des aquifères locaux. Ce type de nappe est alimenté par les eaux pluviales (alimentation qui peut être localement réduite par une imperméabilisation due aux activités urbaines), par les nappes sises dans les versants, ainsi que par la nappe du bedrock sous-jacent, le niveau piézométrique de cette dernière étant souvent légèrement supérieur à celui de la nappe alluviale. D'autre part, on peut supposer un flux entre la nappe et la rivière lorsqu'elle n'est pas canalisée par des murs imperméables.

IV.1.4.3. Aquitard limoneux

Les limons (LIM), souvent épais de plus d'une dizaine de m en Hesbaye, jouent un rôle protecteur lors de l'infiltration des eaux météoriques : infiltration retardée dans le temps et effet de filtration. Cependant, cette couverture limoneuse n'est pas uniforme sur l'ensemble de la carte. Ces dépôts n'ont pas été cartographiés sur la carte hydrogéologique et ne sont pas repris sur dans le tableau synthétique 'Géologie-Hydrogéologie'. Ils sont cependant repris sur la coupe hydrogéologique.

IV.1.4.4. Nappe des remblais

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

Lorsque ces remblais sont saturés, le terme 'nappe' est utilisé pour bien faire la distinction entre les aquifères, aquitards, aquicludes 'naturels'. Cette nappe des remblais est, en effet, issue d'un remaniement de terrain. Cela concerne essentiellement les anciennes carrières et sablières qui ont été comblées à la fin de leur exploitation. On en observe un grand nombre sur les planches 41/1-2 et 33/5.

IV.1.5. 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 (*VMM, 2006*). Dans la partie occidentale de la Flandre, du moins profond au plus profond, on a le *Kust- et Poldersysteem*, le *Centraal Vlaams Systeem* et le *Sokkelsysteem*. Dans sa partie orientale, on observe le *Maassysteem*, le *Centraal Kempisch Systeem* et le *Brulandkrijtsysteem (BLKS)*. Sur la carte 41/1-2 – 33/5, seule cette dernière unité (BLKS) est présente.

Au niveau régional, 14 unités hydrogéologiques principales ont été définies (codification HCOV) (*Meyus et al., 2000 ; Meyus et al., 2005 ; VMM, 2006*). En annexe 2, est repris le tableau complet comprenant toutes les unités, du niveau supérieur au niveau de base.

En vertu de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/EC), comme cela a été également réalisé en Région Wallonne⁵, différentes masses d'eau souterraine (*grondwaterlichamen*, *GWL*) ont été déterminées sur base des unités HCOV et des systèmes 'Eaux Souterraines' (GWS) et, du contexte hydrogéologique (écoulement souterrain, type de nappe...). Au total, en Région Flamande, il y a 42 masses d'eau souterraine (SGD Maas : 10 & SGD Schelde : 32).

IV.1.5.1. Application à la carte Landen - Hannut - Montenaken

Le *Brulandkrijtsysteem* occupe les deux tiers de la moitié orientale de la Flandre. Ce système appartient majoritairement au SGD Schelde, une petite partie à l'est fait partie du SGD Maas. Il repose sur le socle (HCOV 1300) et est couvert sur ses deux tiers nord par le *Centraal Kempisch Systeem* et le *Maassysteem* (VMM, 2008). Dans sa partie flamande, la carte Landen - Hannut - Montenaken 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)

Sur les 15 masses d'eau souterraines (GWL) que regroupe le *Brulandkrijtsysteem*, 9 occupent partiellement la carte étudiée. La détermination des masses d'eau souterraine tient compte de l'appartenance au district hydrographique, à l'unité hydrogéologique et au caractère de la nappe. Le **Tableau IV.3** et la **Figure IV.3** présentent succinctement les masses d'eau souterraine situées sur la partie flamande de la carte Landen - Hannut - Montenaken (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>.

⁵ Sur la carte Hannut – Montenaeken – Landen, dans sa partie wallonne, c'est la masse d'eau RWE053/080 (craies du Crétacé/dépôts meubles du Paléogène) qui est définie. Pour plus d'informations sur l'application de la Directive-Cadre en Région Wallonne : http://environnement.wallonie.be/directive_eau

Tableau IV.3 : Masses d'eau souterraine en Flandre sur la carte Landen - Hannut - Montenaken (Grondwaterlichamen)

MESO - GWL	Dénomination	Lithologie	K (m/s)	Type de nappe
Blks_0160_gwl_1m	Pleistoceen Rivierafzettingen	Sable et gravier avec glaise et argile	10^{-6} à $1,2 \cdot 10^{-2}$	Libre
Blks_0160_gwl_1s			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_1000_gwl_1s	Landeniaan Aquifersysteem	Sable fin, tuf argileux, marne	$2,3 \cdot 10^{-5}$ à $1,3 \cdot 10^{-3}$	Localement captive
Blks_1100_gwl_1m	Krijt Aquifersysteem	Craie	$2,3 \cdot 10^{-5}$ à $1,2 \cdot 10^{-3}$	Libre
Blks_1100_gwl_1s			$1,2 \cdot 10^{-5}$ à $1,2 \cdot 10^{-3}$	
Blks_1100_gwl_2m			10^{-6}	Captive
Blks_1100_gwl_2s			à 10^{-3}	

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

Sources : VMM, 2006 & 2008

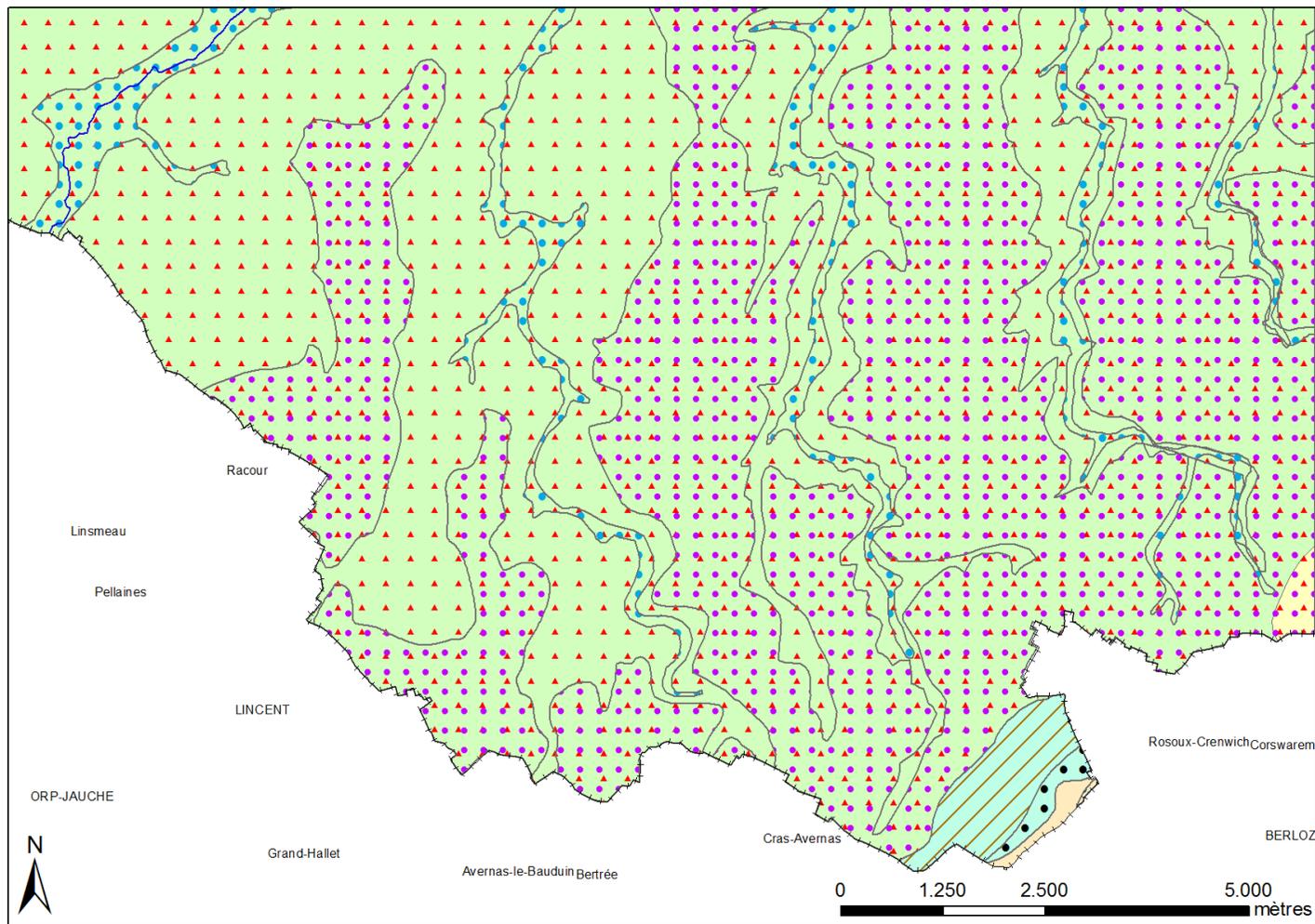


Figure IV.3 : Masses d'eau souterraine en territoire flamand sur la carte 33/5 & 41/1-2

IV.2. PHÉNOMÈNES KARSTIQUES

Ce point ne sera pas développé en détails ici, les phénomènes karstiques au sens strict étant pratiquement inexistant sur la carte Landen - Hannut - Montenaken. En effet, la craie, présente dans le Bassin crétacé du Geer et du Brabant, est trop peu cohérente pour donner lieu à des cavités importantes durables. Dès que naissent de tels vides, la craie sus-jacente s'y effondre. Il n'y a donc pas de phénomènes karstiques répertoriés sur la carte Landen - Hannut - Montenaken. Cependant, la craie, de par sa pureté, sa forte porosité, sa faible cohérence et sa puissance de plusieurs dizaines de m par endroits, est un terrain d'élection des dolines et des fissures (comblées par des terrains meubles sus-jacent). Ces dolines, bien que peu spectaculaires, peuvent être abondantes notamment au droit de la Formation de Gulpen (*Pingot, 2015*). Les dolines sont des dépressions fermées de forme ronde à elliptique, généralement plus larges que profondes.

La **Figure IV.4** schématise les différents types de dolines. C'est principalement des dolines de dissolution et de tassement (**Figure IV.4b**) que l'on peut observer sur la présente carte.

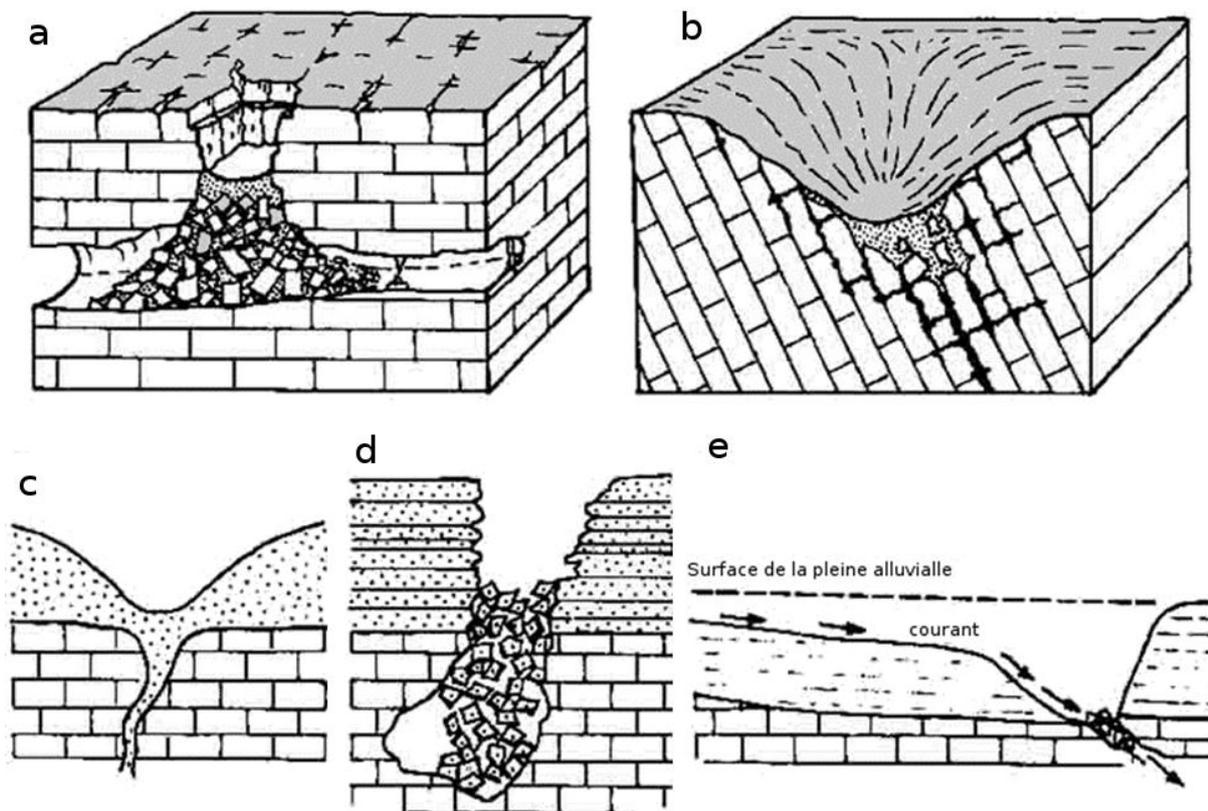


Figure IV.4 : Les différents types de dolines : a) doline d'effondrement ; b) doline de dissolution et de tassement ; c) doline de subsidence ; d) doline d'effondrement dans un karst ouvert ; e) doline-perte (*Jennings, 1985, modifié*)

IV.3. DESCRIPTION DE L'HYDROGÉOLOGIE RÉGIONALE

IV.3.1. Généralités

Le contexte hydrogéologique de la région se structure en plusieurs nappes superposées depuis celle, à la base, du socle paléozoïque jusqu'à celle des sables éocènes, au sommet.

- Le socle cambro-ordovicien renferme un aquifère de fissures et de fractures, peu favorable à une exploitation importante, d'autant plus qu'il est ici constitué essentiellement de shales et de schistes. Il n'y a d'ailleurs que très peu d'ouvrages atteignant le socle sur la présente carte à l'exception quelques sondes géothermiques ;
- Les craies et les tuffeaux du Crétacé supérieur (Campanien et Maastrichtien) constituent un aquifère à double porosité : porosité de fissures et porosité de pores. L'eau y circule principalement dans les joints et les diaclases. Ces craies sont abondamment exploitées sur carte 41/1-2 par la SWDE, les industries et les exploitations agricoles ;
- Les sables paléocènes peuvent constituer un bon aquifère à porosité de pores, ils sont présents dans la Formation de Hannut et sont souvent exploités par les agriculteurs et les particuliers ;
- Les sables oligocènes des Formations de Sint-Huibrechts-Hern et Borgloon constituent un aquifère assez étendu sur la carte Landen - Hannut - Montenaken. Il s'agit d'une nappe libre dont la conductivité hydraulique est fonction de la granulométrie des sables.

En résumé, les formations géologiques présentes dans la région de Landen - Hannut - Montenaken présentant les plus grandes potentialités aquifères sont les sables du Paléocène, les craies et tuffeaux crétacés et, localement, les sables de l'Oligocène.

IV.3.2. Evolution piézométrique des unités hydrogéologiques

Les données piézométriques pour les différents aquifères de la carte Landen - Hannut - Montenaken proviennent soit :

- des mesures effectuées dans le cadre de la réalisation de cette carte au droit de puits de particuliers, piézomètre ou puits de distribution ;
- de mesures réalisées par la SWDE sur leurs différents ouvrages ;
- du réseau piézométrique de la Direction des Eaux souterraines (PIEZ'EAU) ;
- de campagnes piézométriques menées par l'ISSeP ;
- de divers bureaux d'études.

Les mesures disponibles concernent, essentiellement, l'Aquifère des sables du Paléocène et l'Aquifère des craies du Crétacé.

IV.3.2.1. Aquifère des sables du Paléocène

Cet aquifère est largement exploité sur les planches Landen - Hannut - Montenaken. Cependant, sa conductivité hydraulique, plus faible que pour l'aquifère des craies, ne permet pas une exploitation intense (distribution publique) ; il sera donc essentiellement destiné à un usage domestique ou agricole, requérant des volumes moindres.

A Pellaines (Lincent), le puits agricole 'Avenue des Français 2' (Figure IV.5) de 9 m de profondeur a fait l'objet de mesures mensuelles de mars à décembre 2008 (Figure IV.6). Notons que le niveau exceptionnellement bas observé en mars sur la Figure IV.6 est lié à un pompage durant la mesure. Le niveau statique varie quant à lui très peu au cours des saisons (amplitude maximale de l'ordre de 0,5 m) avec une valeur maximale en juin et minimale en septembre. L'aquifère est, en ce lieu, en équilibre avec la Petite Gette, le cours d'eau imposant localement le niveau de base de la nappe.

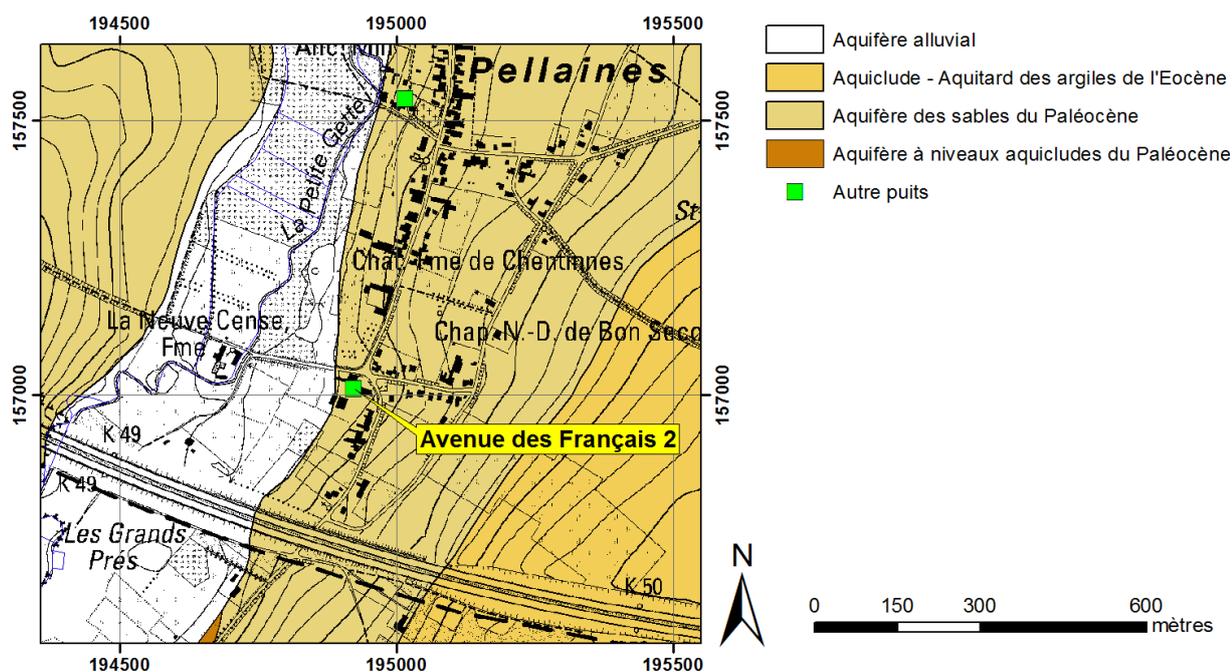


Figure IV.5 : Situation du puits 'Avenue des Français 2' à Pellaines

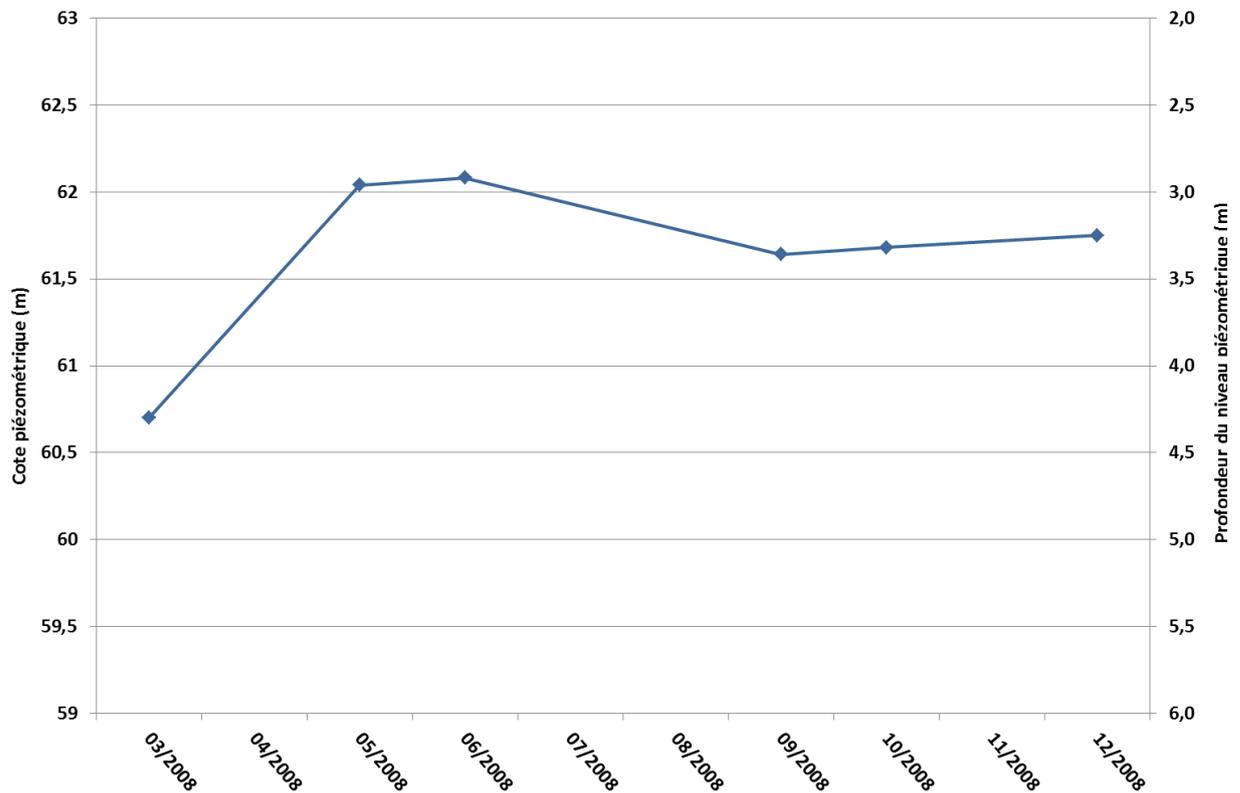


Figure IV.6 : Evolution piézométrique du puits 'Avenue des Français 2' de mars à décembre 2008

Un autre puits, situé à Thisnes ('Pré Chaussée de Wavre', Figure IV.7), montre une évolution un peu différente avec un niveau maximal en juillet diminuant progressivement jusqu'en décembre (Figure IV.8). La variation demeure toutefois très faible (environ 0,2 m). L'ouvrage est un puits traditionnel en briques de 15 m de profondeur.

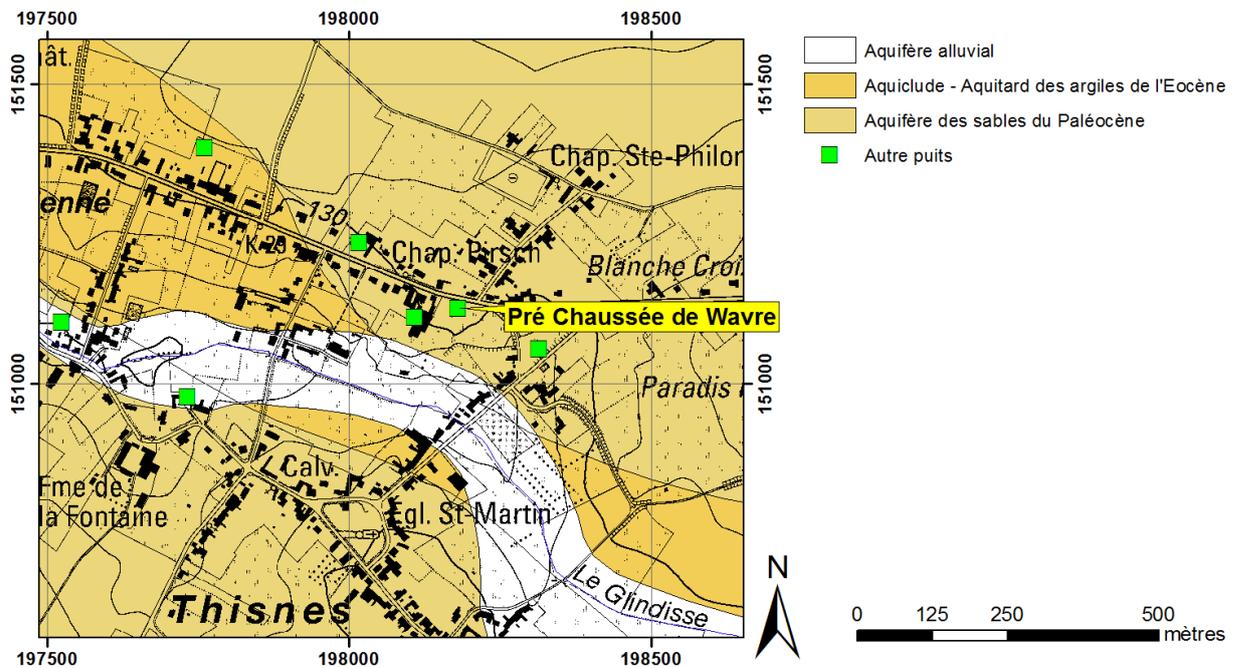


Figure IV.7 : Situation du puits 'Pré Chaussée de Wavre' à Thisnes

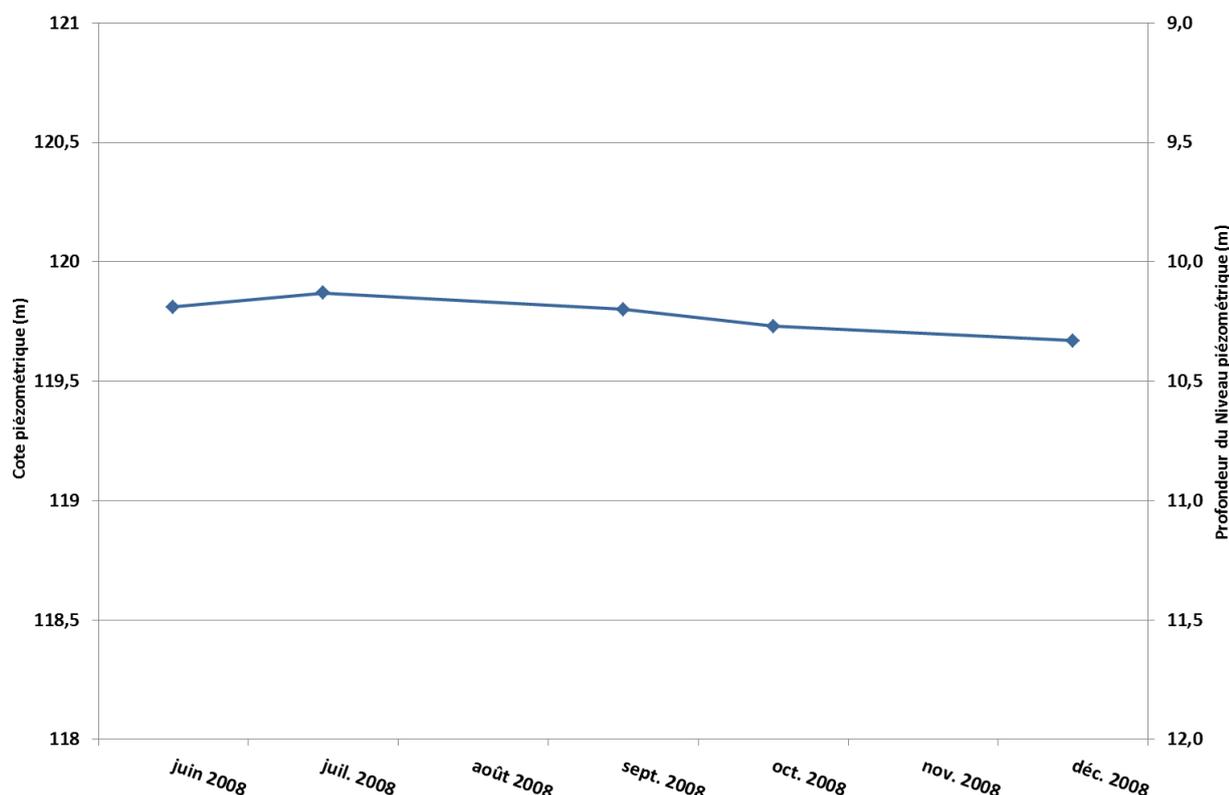


Figure IV.8 : Evolution piézométrique du puits 'Pré Chaussée de Wavre' de juin à décembre 2008

Sur la planche 41/1-2, il existe deux sites réhabilités et munis de piézomètres.

Le site 'Les Gallosys' est implanté le long de la route de Landen à Avernas-le-Baudoin (Figure IV.9). Il fut exploité comme sablière de 1971 jusqu'au début des années 1980. Le site fit ensuite office de décharge avant de faire l'objet d'études d'orientation et de caractérisation par la SPAQuE (code SPAQuE Lg3603-001). Lors de ces investigations, 4 piézomètres (P1 à P4) furent forés et crépinés dans l'Aquifère des sables du Paléocène. Durant l'année 2008, des mesures piézométriques régulières ont été réalisées sur les ouvrages P2 à P4 (le P1, profond de 26 m, étant la plupart du temps tari) ; les résultats de ces mesures sont illustrés sur le graphique de la Figure IV.10. Les niveaux piézométriques sont très proches pour les trois ouvrages avec des écarts maximum de l'ordre de 0,3 m, les variations saisonnières sont de très faible amplitude (de l'ordre de 0,1 m).

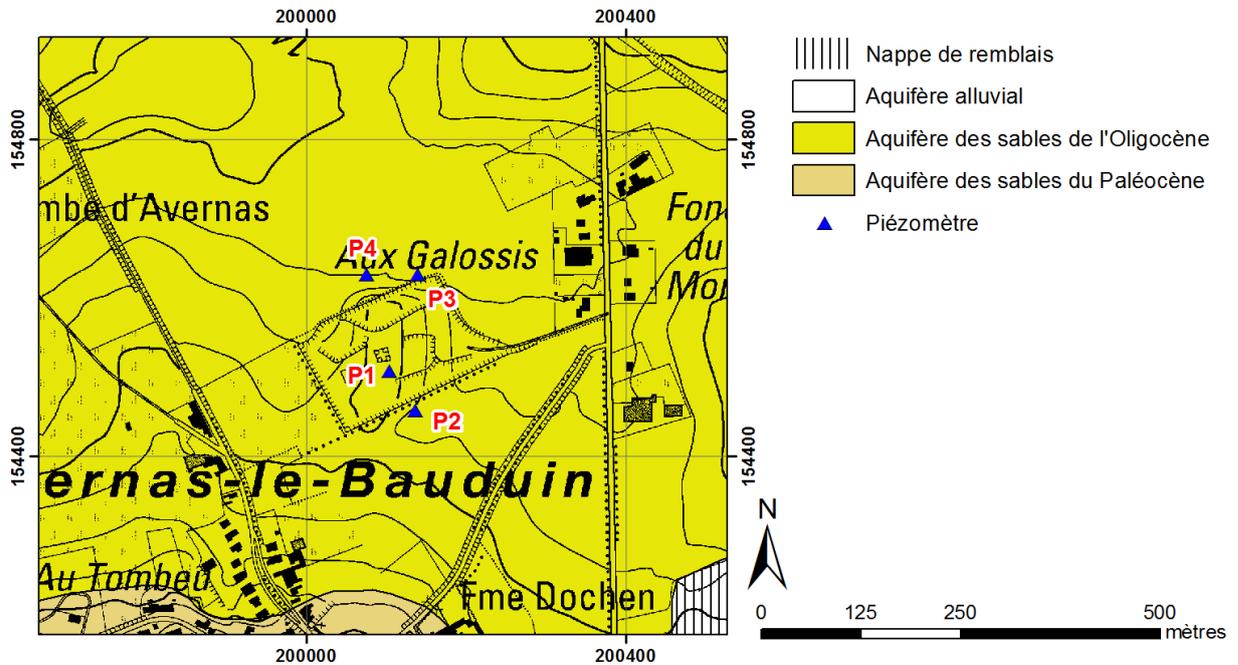


Figure IV.9 : Site « Les Gallosys » : localisation des piézomètres P1 à P4

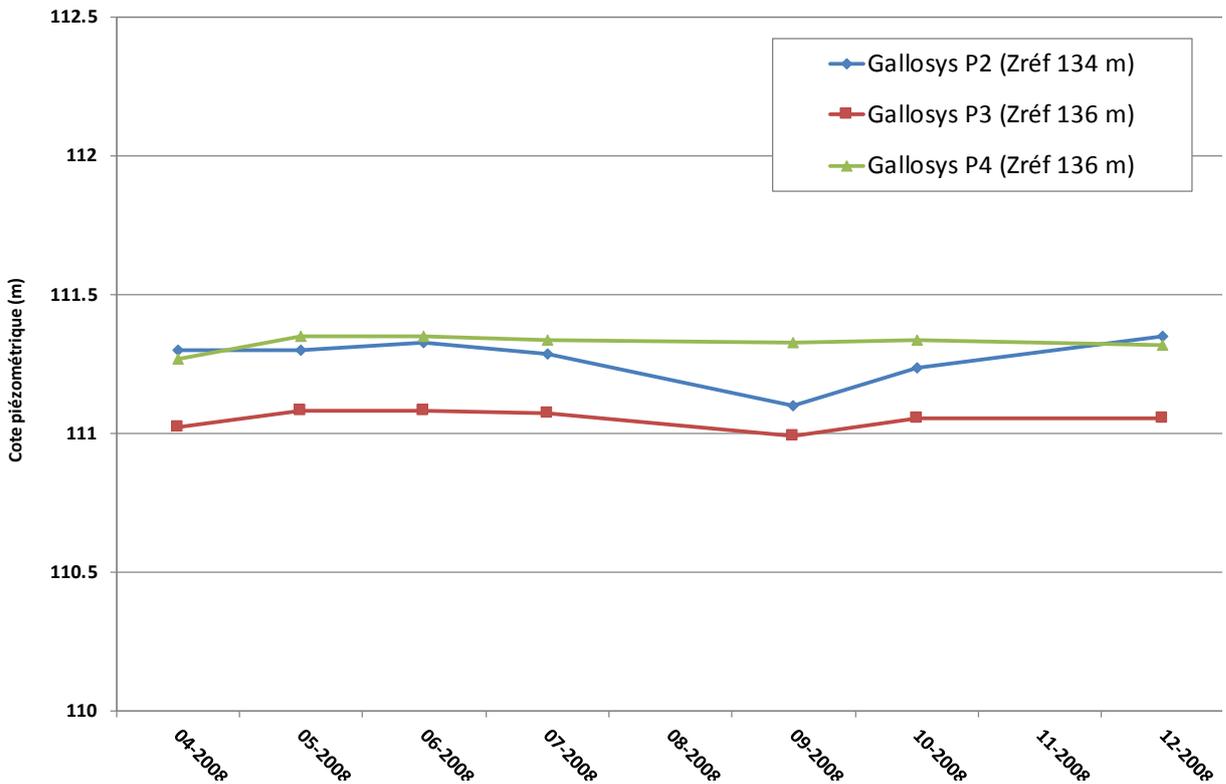


Figure IV.10 : Evolution piézométrique des piézomètres 'Gallosys' P2 à P4 d'avril à décembre 2008

Le site « Fond du Houtia » à Bertrée (Figure IV.11) est une ancienne sablière (sables landéniens de la Formation de Hannut) utilisée comme décharge de 1973 à 1983. En 1992, le site fut confié à la SPAQuE (code SPAQuE Lg3603-002) pour réhabilitation et héberge aujourd'hui un manège équestre. Plusieurs piézomètre y ont été forés en vue de la surveillance de l'Aquifère des sables du Paléocène. Les mesures effectuées sur quatre de ceux-ci (P4, P5, P8, P9 ; Figure IV.12) ont permis de définir un sens d'écoulement local vers

le nord-est (Figure IV.11). On remarque également la très faible amplitude des variations saisonnières (inférieures à 0,1 m).

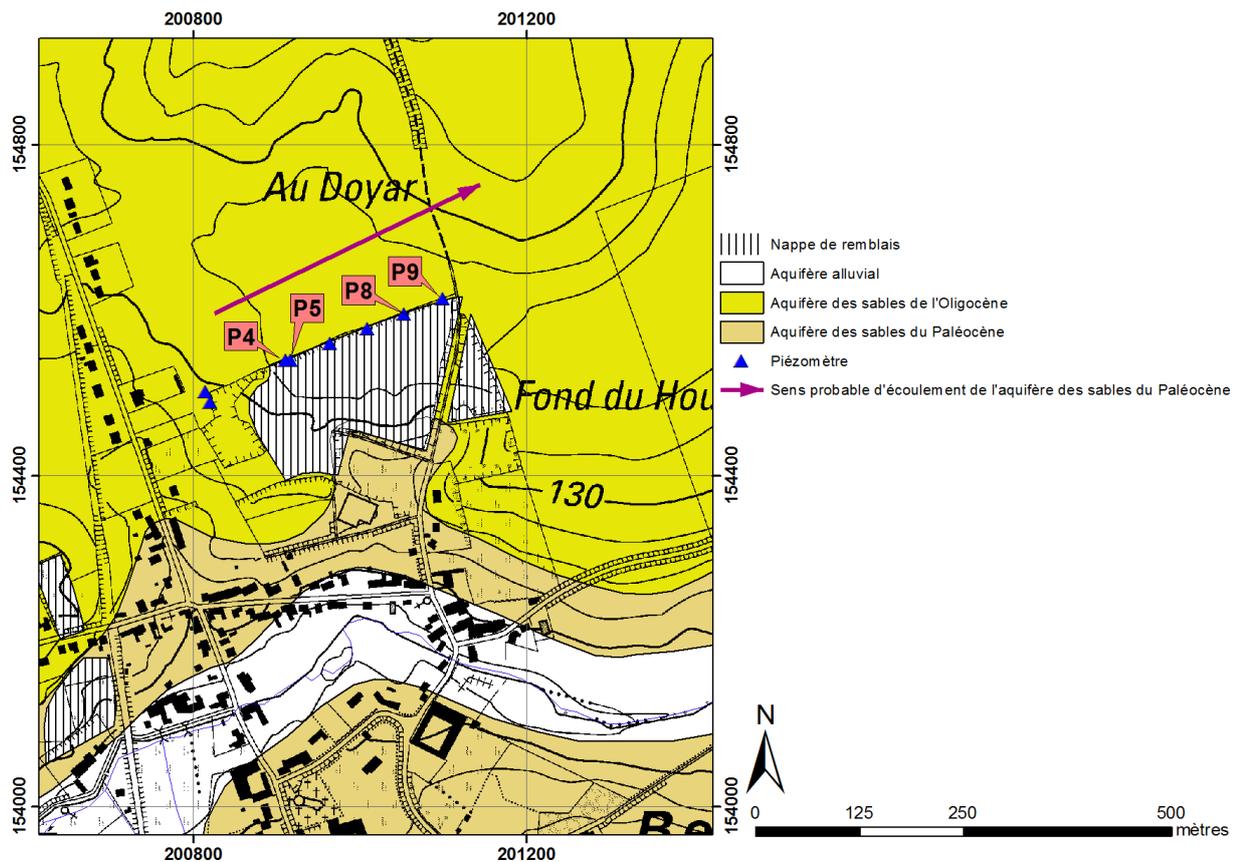


Figure IV.11 : Site du 'Fond du Houtia' à Bertrée, situation des piézomètres P4, P5, P8 et P9

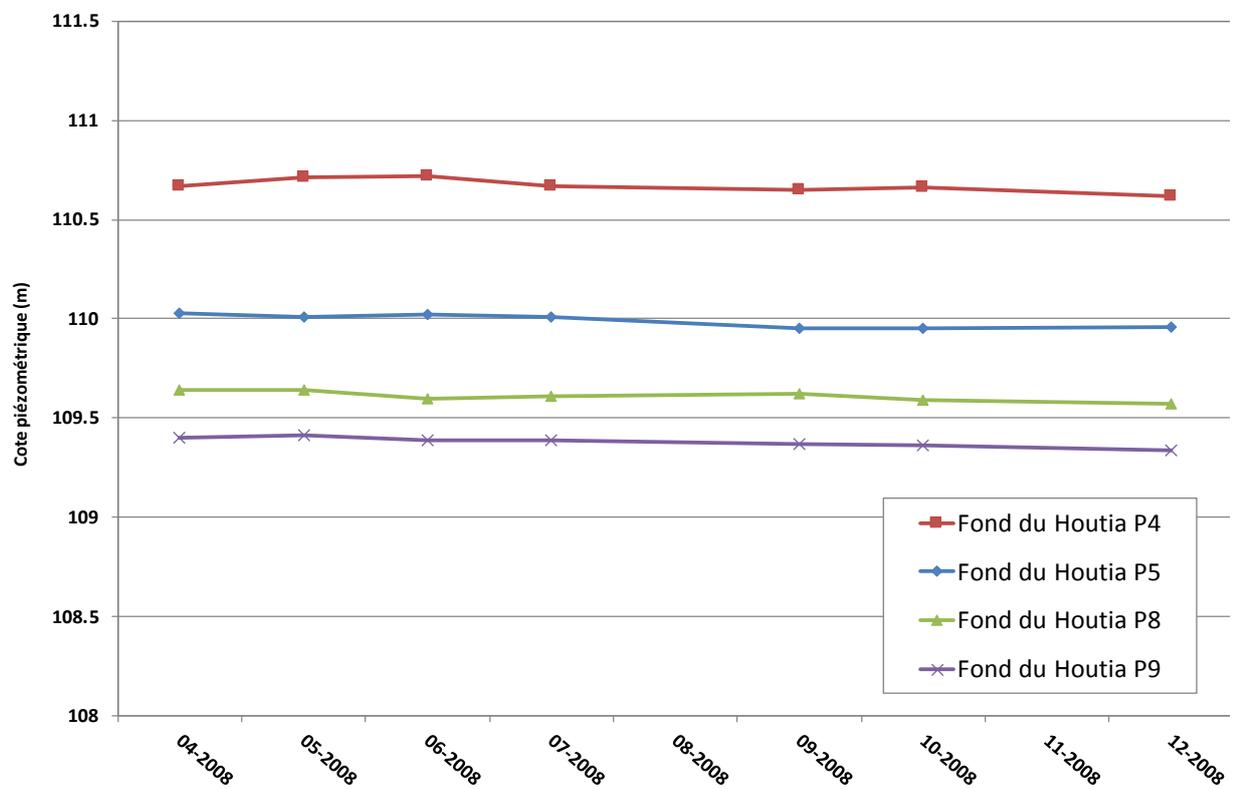


Figure IV.12 : Evolution piézométrique des ouvrages P4, P5, P8 et P9 au site 'Fond du Houtia' d'avril à décembre 2008

Toujours à Bertrée, il est intéressant d'observer, aux puits P1 et P2 du club canin (Figure IV.13), la superposition de deux nappes aquifères. En effet, le puits P1 profond de 18,7 m exploite seulement l'aquifère libre des sables du Paléocène alors que le puits P2 (45 m de profondeur) atteint l'aquifère des craies après avoir traversé celui des sables paléocènes et la Formation de Heers (aquiclude). Les piézométries des puits P1 et P2 ne sont pas en équilibre. La piézométrie plus élevée dans le puits P2 indique que la nappe des craies est bien captive sous la Formation de Heers. Cette tendance est visible sur le graphique de la Figure IV.14 qui montre l'évolution piézométrique de ces deux ouvrages en 2007 et 2008.

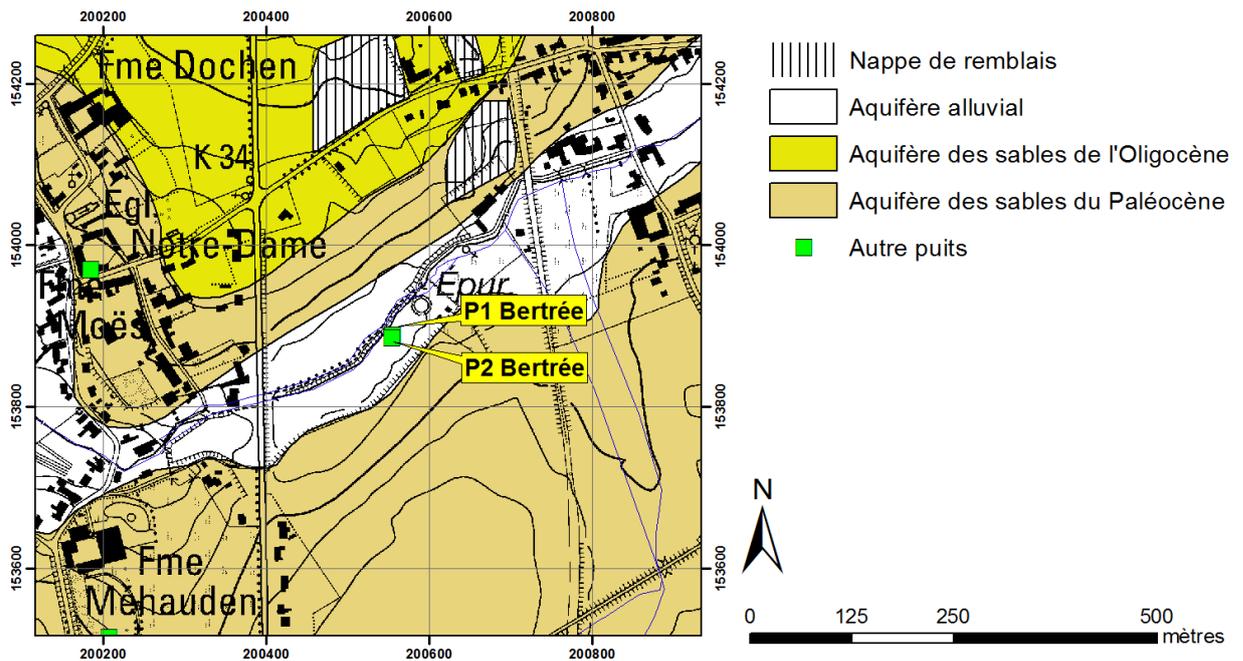


Figure IV.13 : Localisation des puits P1 et P2 de Bertrée

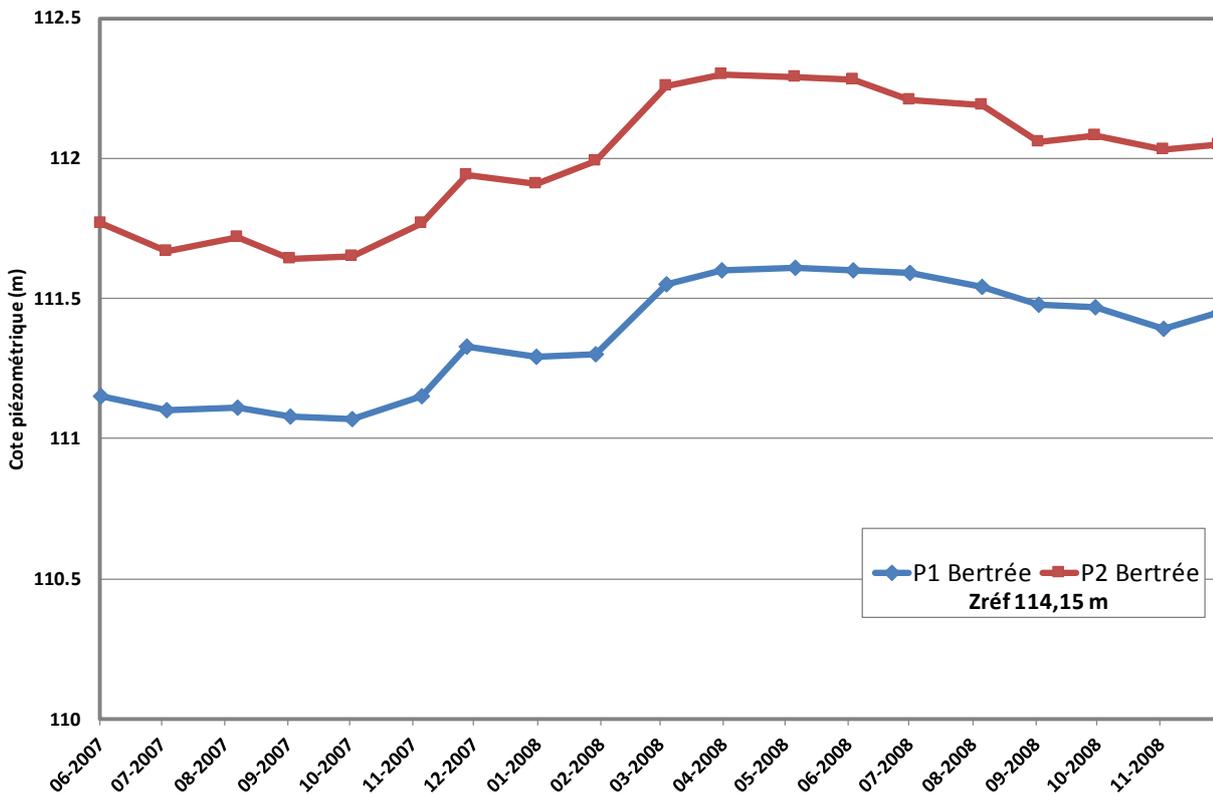


Figure IV.14 : Evolution piézométrique des puits P1 et P2 à Bertrée de juin 2007 à décembre 2008

Plus au sud, à Blehen, l'ancienne fontaine 'BLH002' (Figure IV.15) a aussi été mesurée durant l'année 2008 (Figure IV.16). Des variations saisonnières plus importantes que les autres puits mesurés dans les sables du Paléocène y sont observées : plus d'un mètre entre les deux extrêmes.

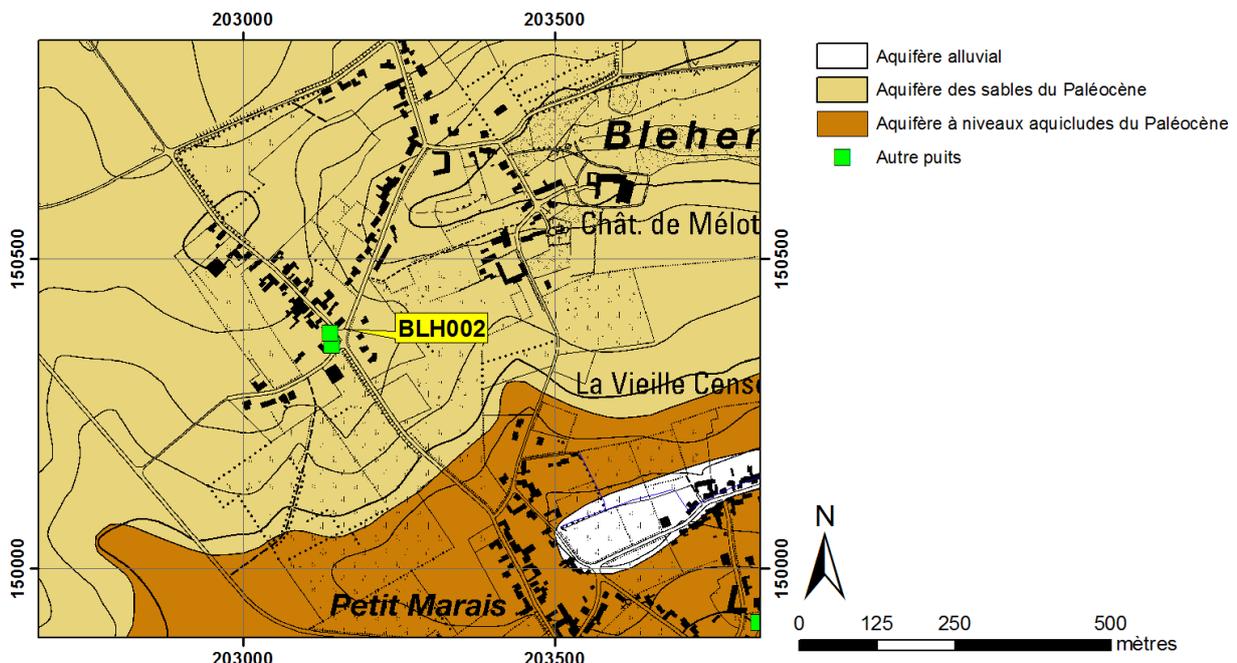


Figure IV.15 : Localisation de l'ancienne fontaine 'BLH002' à Blehen

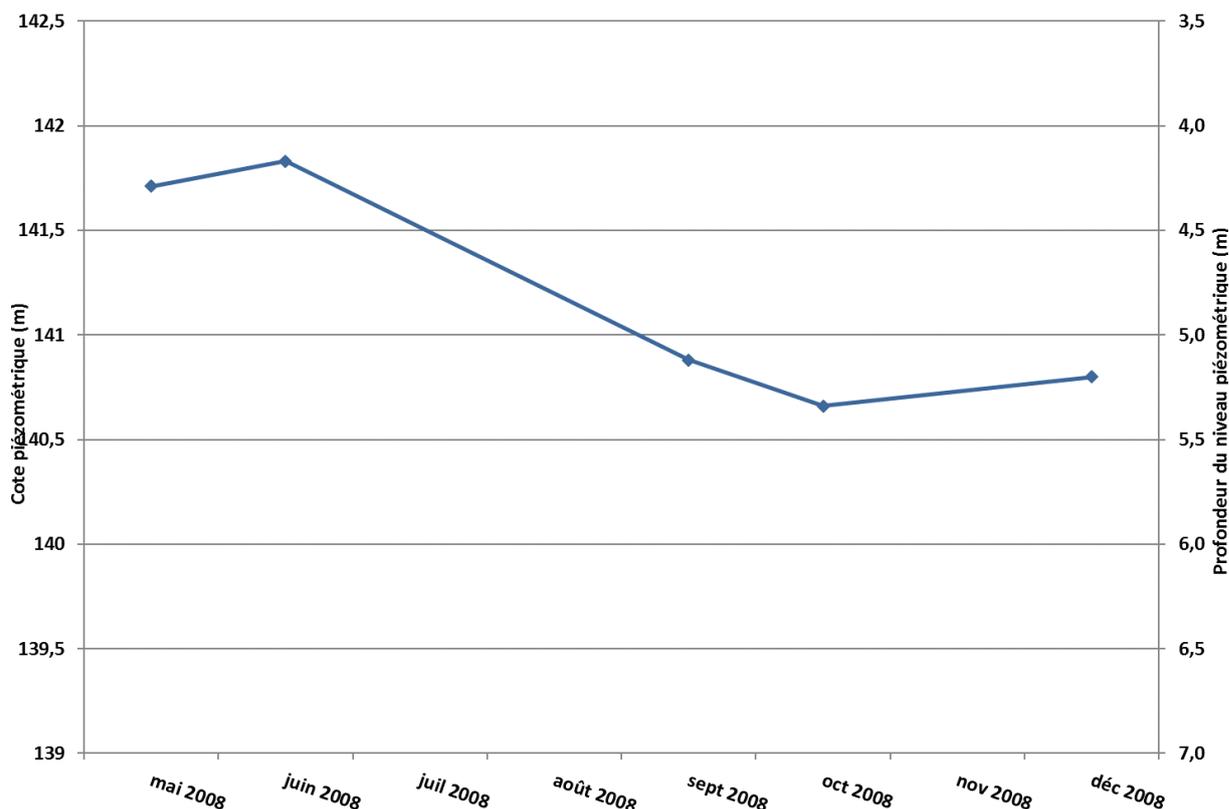


Figure IV.16 : Evolution piézométrique du puits 'BLH002' de mai à décembre 2008

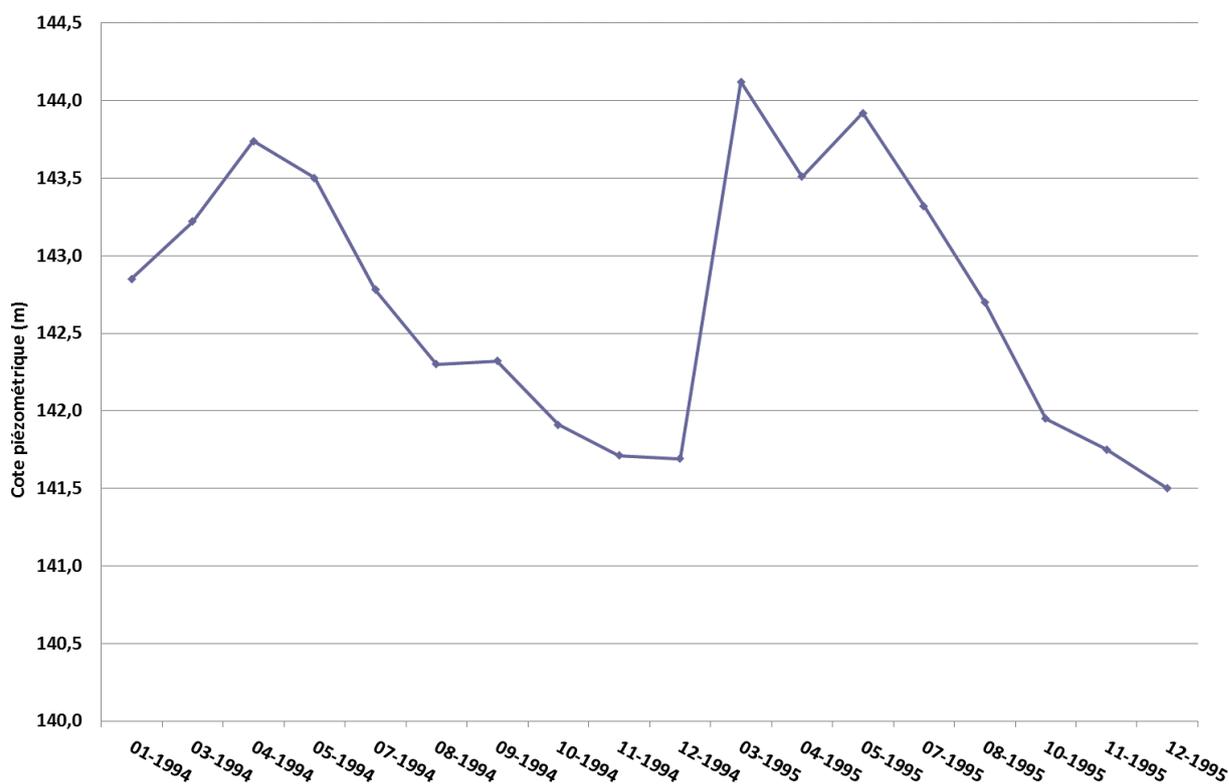


Figure IV.17 : Evolution piézométrique du puits 'BLH002' de janvier 1994 à décembre 1995 d'après Hallet (1998)

Nous disposons également pour ce même puits de mesures piézométriques mensuelles effectuées de 1994 à fin 1995 (Hallet, 1998). Celles-ci confirment la relative importance des variations saisonnières avec une amplitude maximale d'environ 2,5 m. Les

valeurs maximales s'observent aux mois de mars et les minimums en décembre (Figure IV.17).

IV.3.2.2. Aquifère des craies du Crétacé

En raison de l'allure géométrique des couches de craies (bancs réguliers d'orientation est-ouest, à légère pente vers le nord) et de la disposition des limites du bassin (Meuse, Meuhaine, Geer), la nappe du Crétacé de Hesbaye s'écoule globalement du sud vers le nord en direction du Geer, exutoire principal de la nappe (Orban *et al.*, 2014). Il impose ainsi à la nappe une piézométrie constante égale au niveau d'eau dans la rivière.

Le nombre important d'ouvrages existants crépinés dans l'aquifère de Hesbaye a permis de dresser différentes cartes piézométriques. La dernière carte régionale a été dressée sur base de mesures effectuées entre janvier et avril 2008 (Figure IV.18) (Orban, 2008 ; Ruthy & Dassargues, 2009b). Ces isopièzes ont été reportés sur la carte principale.

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.

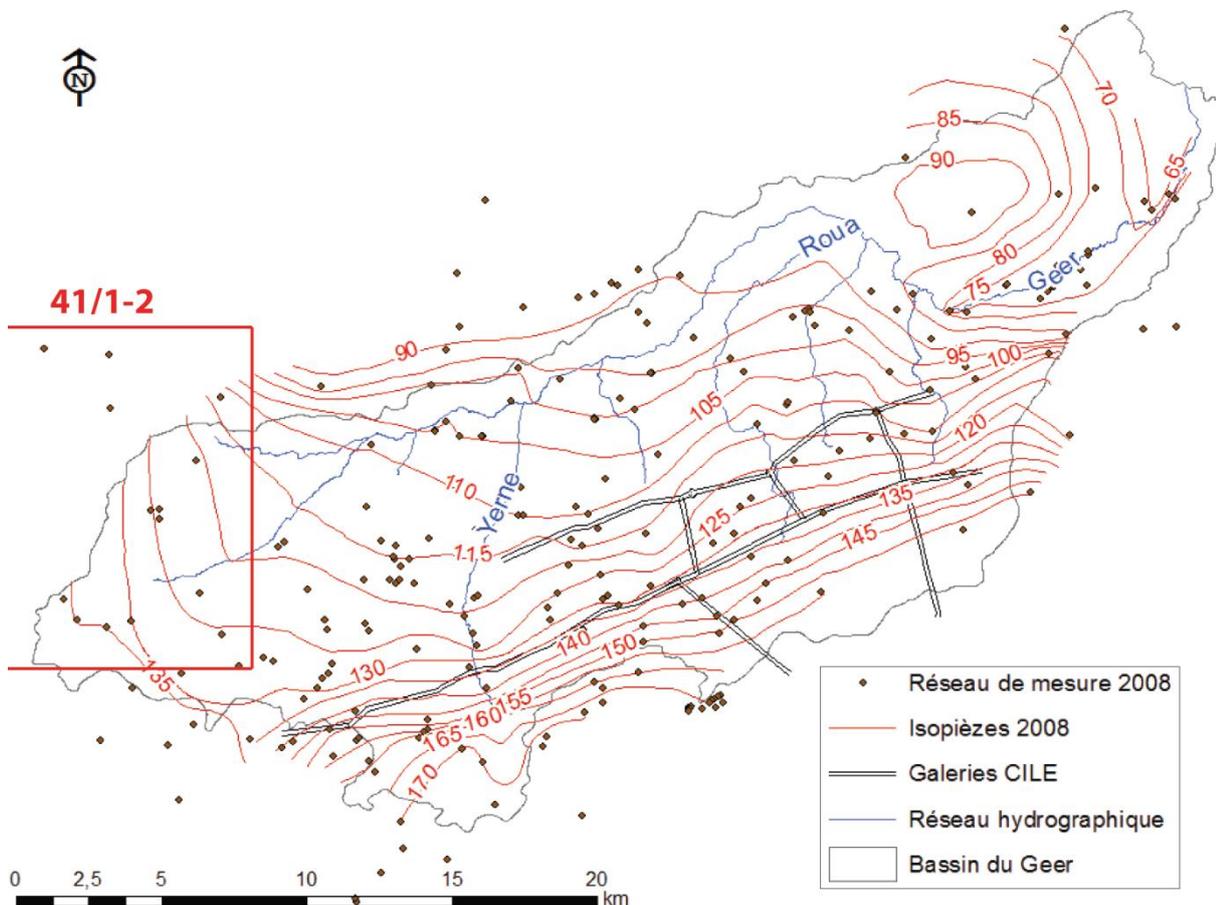


Figure IV.18 : Carte piézométrique de l'aquifère de Hesbaye dressée sur base des mesures effectuées de janvier à avril 2008 (Orban, 2008 ; Ruthy et Dassargues, 2009b)

Sur la carte Landen - Hannut - Montenaken, l'unité hydrogéologique des craies du Crétacé est constituée de calcaires crayeux et de craies à silex. Cet aquifère est abondamment exploité sur les planches 41/1-2 et 33/5, notamment par la SWDE au site de Jandrain – Jandrenouille. Le 22/08/2008, deux mesures piézométriques ont été effectuées au niveau des ouvrages PZ1 et PR2 (Figure IV.19). Elles ont montré respectivement des cotes piézométriques de 84,43 m et 91,69 m ce qui illustre bien, de par la position des ouvrages, l'importance du rabattement occasionné par le captage sur la nappe aquifère, le niveau piézométrique se trouvant environ 6 m sous le thalweg du ruisseau de la Fontaine Saint-Martin.

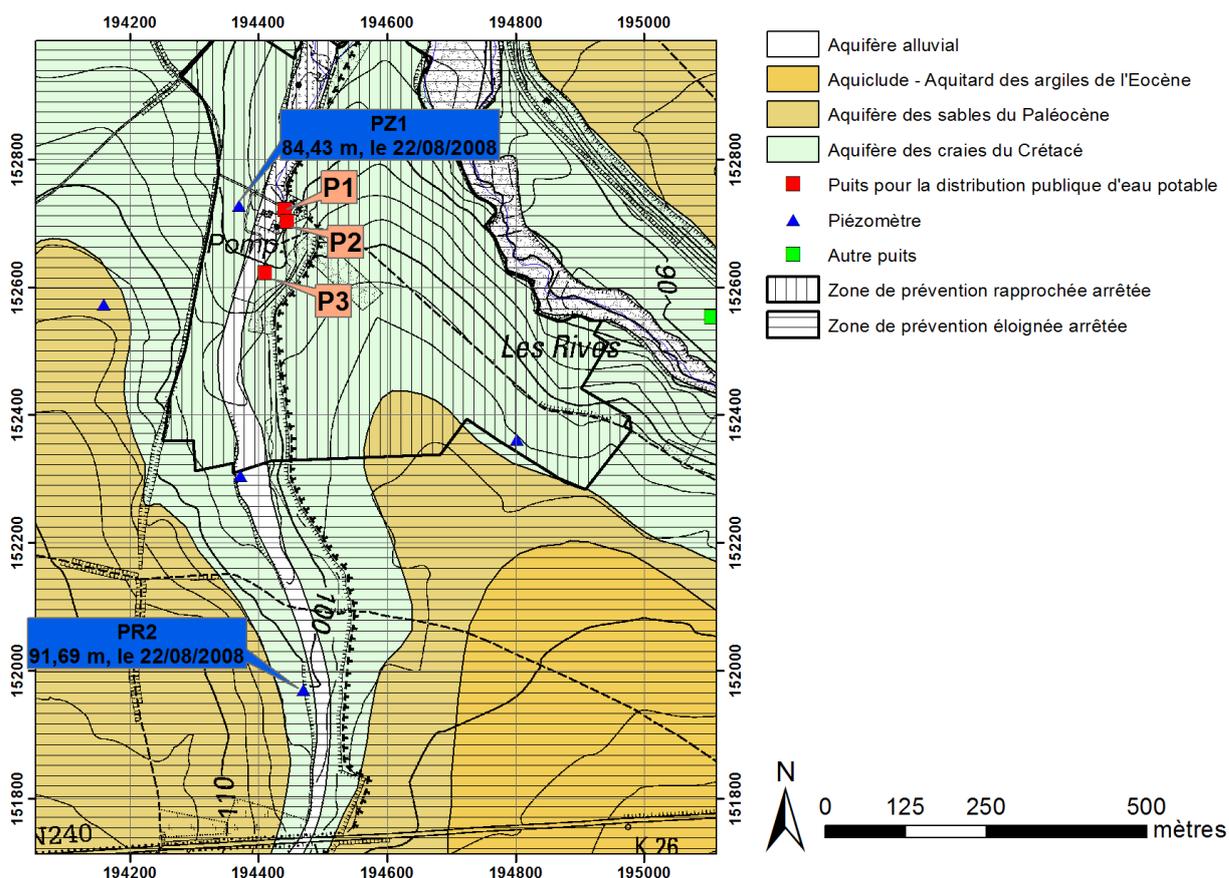


Figure IV.19 : Situation générale du site SWDE de Jandrain

La SWDE dispose également d'autres ouvrages (puits de reconnaissance et piézomètre) situés dans la moitié ouest de la carte. Des mesures mensuelles du niveau piézométrique ont pu être effectuées sur ces derniers durant l'année 2008.

Entre Grand-Hallet et Avernas-le-Baudoin, ce sont les ouvrages 'Grand Hallet PZ1' (51 m prof.), 'Triche des Bois PR4' (53,5 m prof.) et 'Petit Bois PR3' (52,5 m prof.) qui ont fait l'objet de mesures ponctuelles (Figure IV.20). Les résultats sont présentés sur le graphique de la Figure IV.21. Les cotes moyennes de ces trois puits couplées à leur position spatiale permettent de définir un sens d'écoulement vers l'ouest suivant le cours du Ruisseau de Henri Fontaine drainant et imposant le niveau de base (Figure IV.20). Les niveaux les plus bas sont observés en septembre pour les trois ouvrages alors que les maximums se situent

entre les mois de mars et mai, au printemps (après la période de recharge hivernale). Les fluctuations restent néanmoins très faibles (inférieures à 0,5 m).

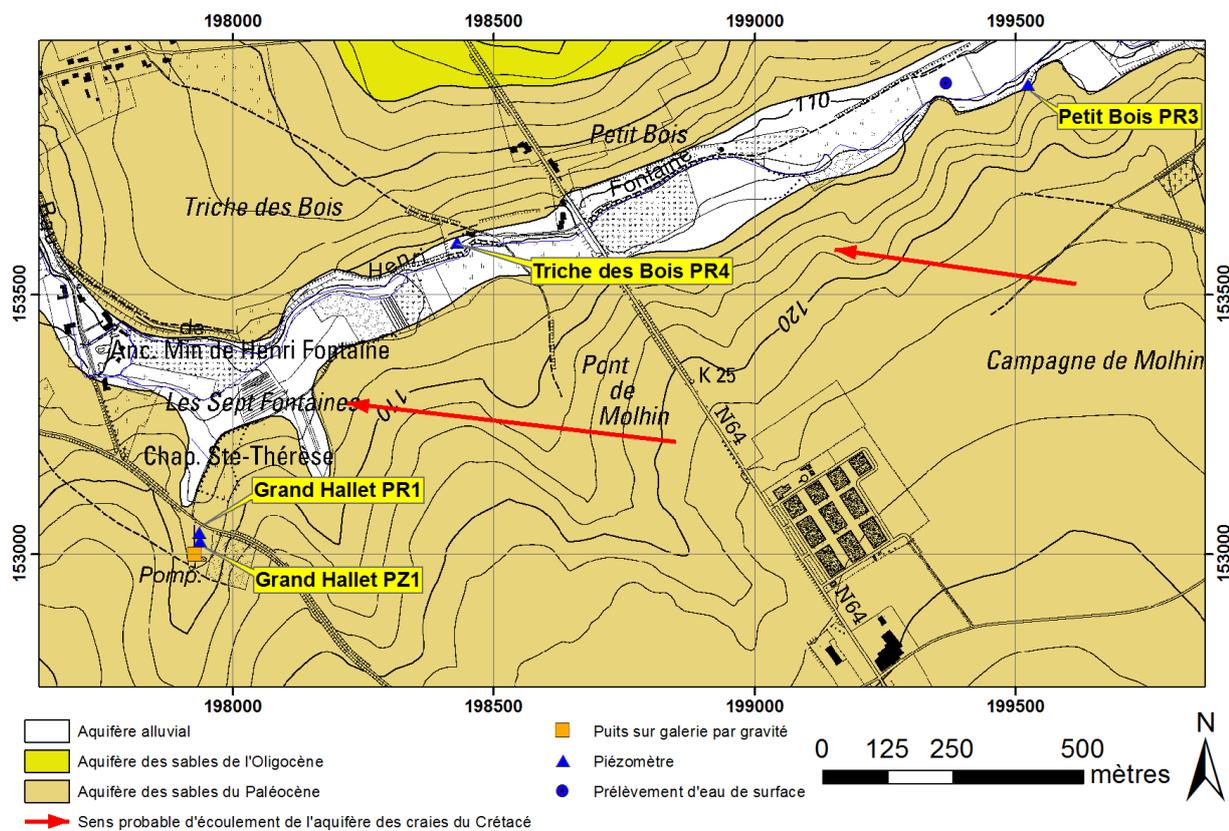


Figure IV.20 : Localisation des ouvrages SWDE entre Grand-Hallet et Avernas-le-Baudoin ayant fait l'objet de mesures piézométriques en 2008

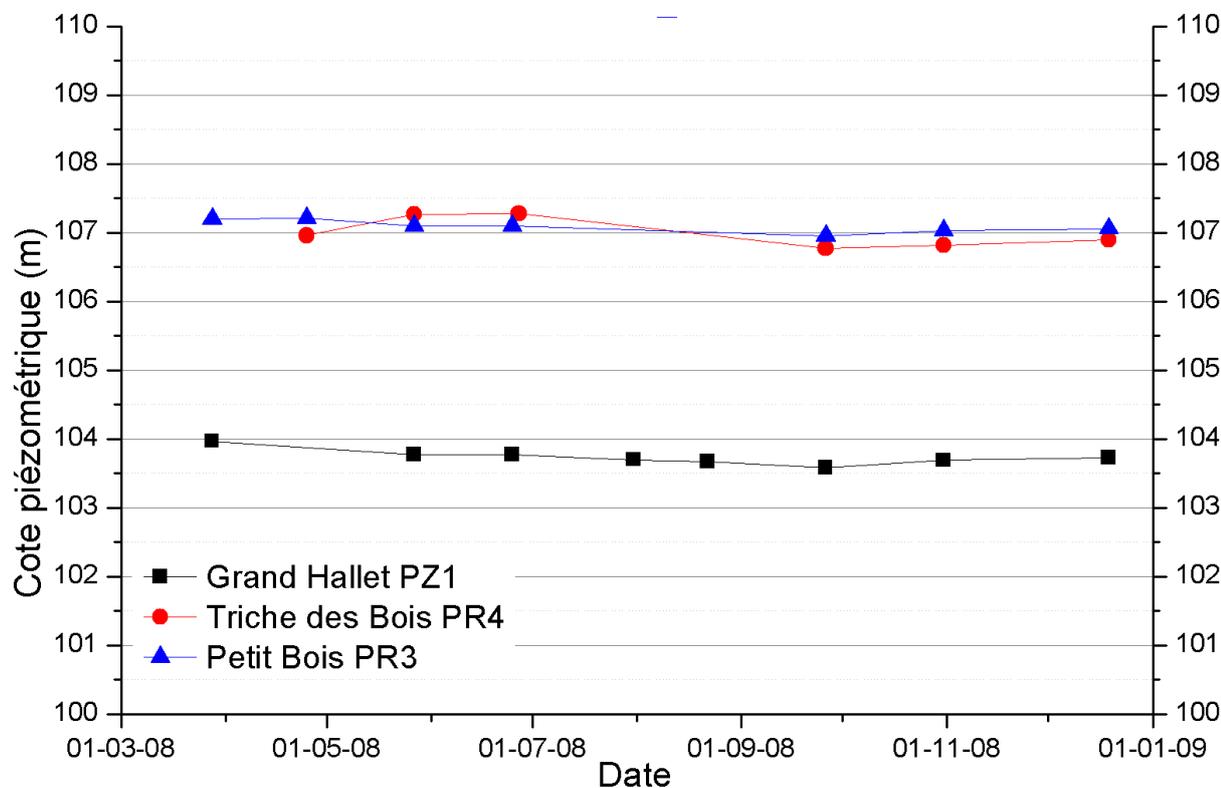


Figure IV.21 : Evolution piézométrique des ouvrages 'Grand Hallet PZ1', 'Triche des Bois PR4' et 'Petit Bois PR3' de mars à décembre 2008

Le piézomètre 'HSB.3' (Figure IV.22), situé à Lens-Saint-Servais et profond de 22 m, fait partie du réseau de surveillance piézométrique du SPW (PIEZ'EAU). Des mesures piézométriques journalières de 2009 à 2015 sont disponibles, ce qui permet une vision sur un plus long laps de temps. La chronique piézométrique est représentée à la Figure IV.23 et montre des variations saisonnières dépassant rarement un mètre d'amplitude, le Geer et ses affluents ayant tendance à réguler le niveau piézométrique (Orban et al., 2014) ; on constate également une légère tendance à hausse du niveau général de la nappe aquifère au cours des dernières années, ce qui est conforme à la pluviométrie observée dans les archives météorologiques (IRM).

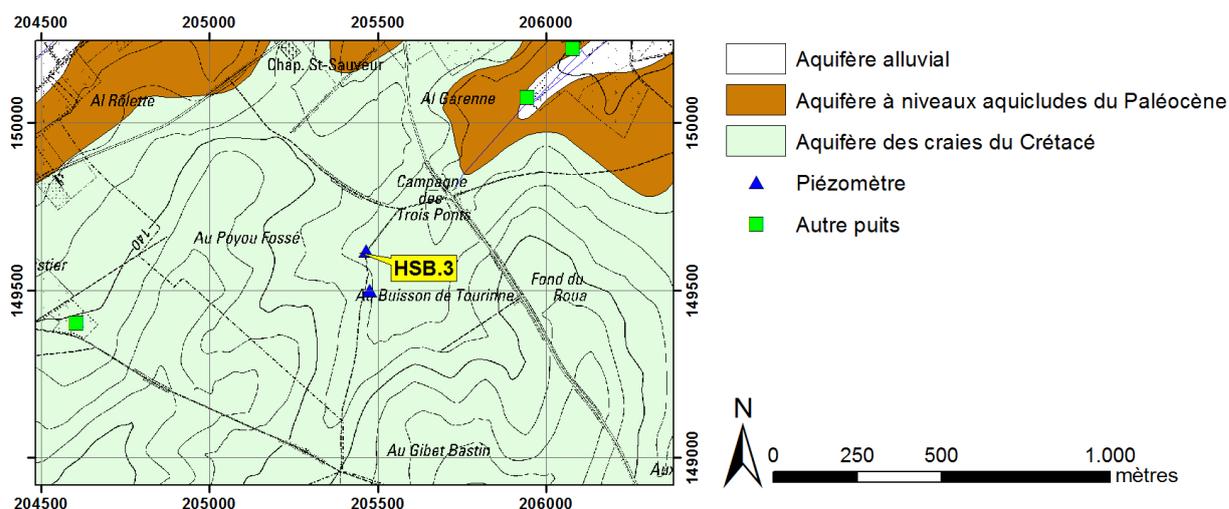


Figure IV.22 : Situation du piézomètre 'HSB.3' à Lens-Saint-Servais

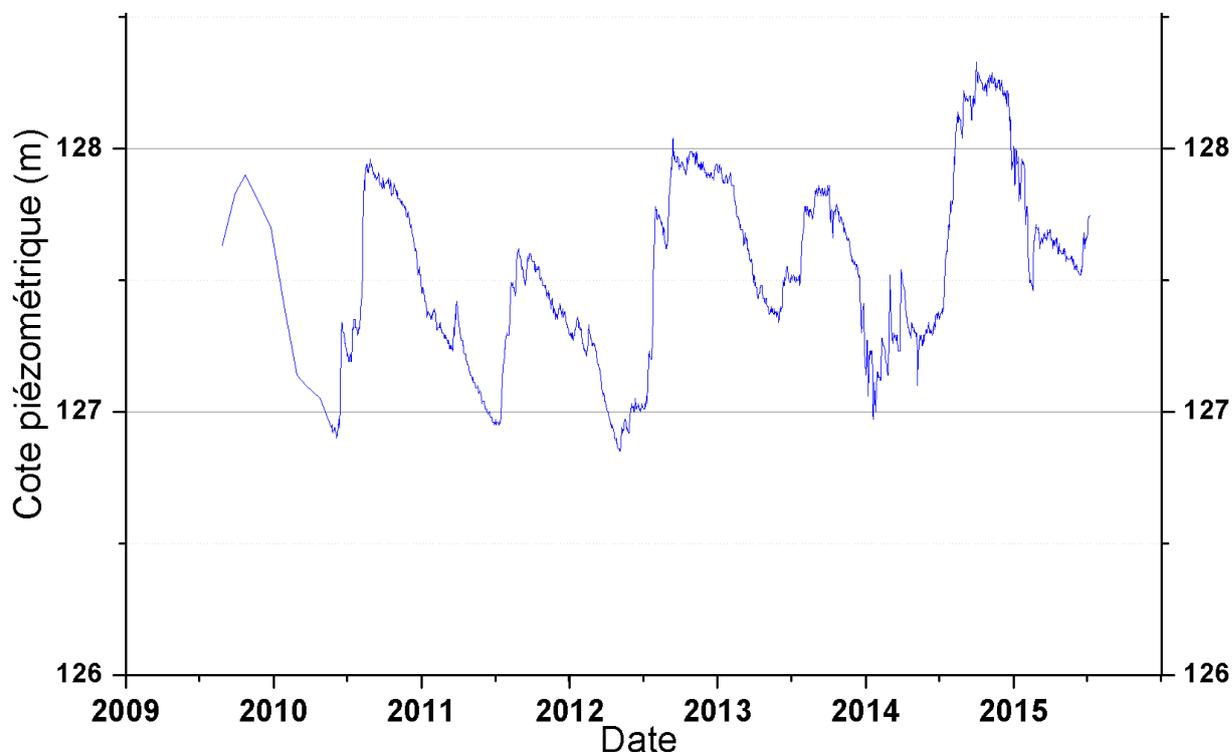


Figure IV.23 : Evolution piézométrique du piézomètre 'HSB.3' (Zréf 135,01 m) de 2009 à 2015

D'autres mesures piézométriques ponctuelles ont été effectuées dans l'Aquifère des craies du Crétacé au droit de divers ouvrages essentiellement privés, celles-ci sont indiquées sur la carte principale du document cartographique joint à cette notice.

IV.4. COUPE HYDROGÉOLOGIQUE

Afin de mieux visualiser et de mieux comprendre la structure géologique et le comportement des aquifères de la région de Landen – Hannut – Montenaken, une coupe hydrogéologique a été réalisée d'après la coupe de la carte géologique (Pingot, 2015). Elle est représentée sur le document cartographique à l'échelle horizontale 1/25 000 et verticale 1/2500. Le trait de coupe A-A' est orienté nord-sud et est situé du côté oriental de la carte ; il est constitué de plusieurs segments afin de recouper un maximum de sondages. Au nord (A), la coupe traverse les localités de Jeuk-Roost, Rosoux-Crenwick ; elle passe ensuite par Hollogne-sur-Geer pour finalement aboutir non loin des terrains crétacés et du village d'Omal (A').

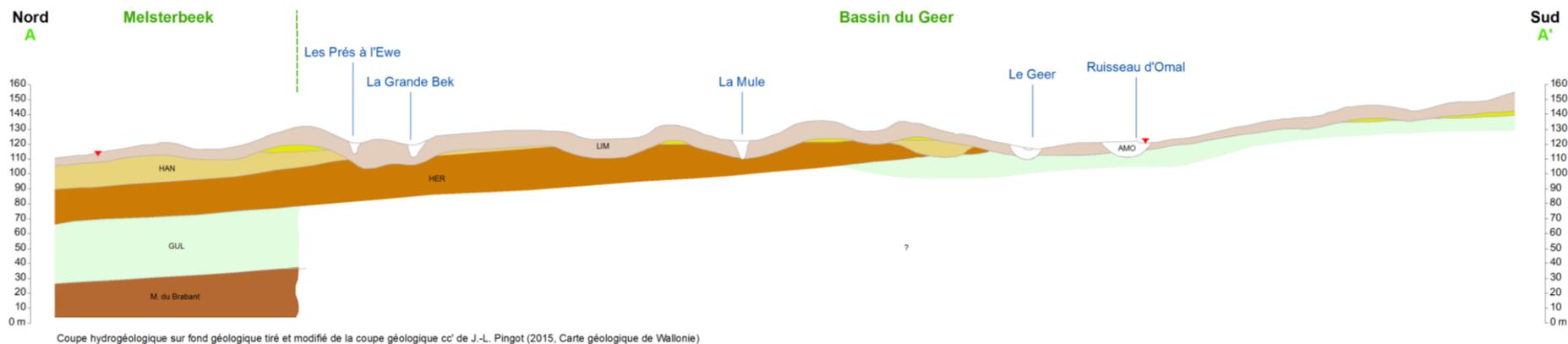
La position de la coupe permet d'illustrer au mieux la géologie (structures et lithologies) et l'hydrogéologie (unités hydrogéologiques, cours d'eau, ...) de la zone cartographiée, d'où la raison de sa position à l'est de la carte qui permet de recouper une grande majorité des unités hydrogéologiques représentées et un maximum de cours d'eau. Malheureusement, le peu de données disponibles ne permet pas de définir précisément les limites latérales et verticales des craies du Crétacé et du Massif du Brabant.

La coupe traverse successivement des terrains sub-horizontaux céno- et mésozoïques reposant en discordance sur l'unité structurale du Massif du Brabant. Ces zones présentent un contraste géologique et géomorphologique bien visible sur la coupe (Figure IV.24). Les terrains tabulaires pendent légèrement vers le nord et sont entaillés par Les Prés à l'Ewe, la Grande Bek, la Mule, le Geer et le Ruisseau d'Omal. Cette coupe illustre très bien l'épaisseur importante de la couverture limoneuse notamment dans les dépressions.

Seuls le Geer et le Ruisseau d'Omal atteignent l'aquifère des craies sur la coupe mais c'est aussi le cas du Ruisseau de Henri Fontaine et de ses affluents à l'ouest de la carte (non visible sur la coupe AA').

On remarque que, quand elle est présente, la Formation de Heers (aquifère à niveaux aquicludes du Paléocène) isole l'Aquifère des sables du Paléocène de l'aquifère captif des craies.

Les cotes piézométriques ponctuelles mesurées sur le tracé de la coupe sont représentées par des triangles inversés de couleur rouge.



Coupe hydrogéologique sur fond géologique tiré et modifié de la coupe géologique cc' de J.-L. Pingot (2015, Carte géologique de Wallonie)

REPRODUCTION INTERDITE



Figure IV.24 : Coupe hydrogéologique des planches 33/5 & 41/1-2

IV.5. CARACTÈRE LIBRE, SEMI-CAPTIF, CAPTIF DES NAPPES

Les différents types de nappes (Figure IV.25) peuvent être définis comme suit (Poehls & Smith, 2009) :

- Nappe libre : nappe n'étant pas mise sous pression par des roches peu perméables susjacentes et étant en contact direct avec l'atmosphère du fait de la perméabilité du sol surmontant l'aquifère. Le niveau piézométrique est la limite supérieure de la zone de saturation où la pression absolue égale la pression atmosphérique et où la pression de l'eau est égale à zéro. Dans ces conditions, le niveau piézométrique peut fluctuer librement. La nappe peut se recharger lors des précipitations ou par écoulement latéral d'une nappe captive. Les nappes perchées sont un cas particulier de nappe libre ;
- Nappe semi-captive : nappe où le toit de l'aquifère est souvent constitué par une formation hydrogéologique semi-perméable. Dans certaines conditions hydrodynamiques favorables, il y a des différences de charge qui favorisent des échanges d'eau (ou de pression) avec l'aquifère superposé ou sous-jacent, appelées drainance. La formation est alors incorporée à un aquifère multicouche ;
- Nappe captive : nappe sans surface libre, donc soumise en tous points à une pression supérieure à la pression atmosphérique et dont la surface piézométrique est supérieure au toit de l'aquifère. Ces propriétés peuvent, dans certains cas, donner lieu à des puits artésiens ou jaillissants.

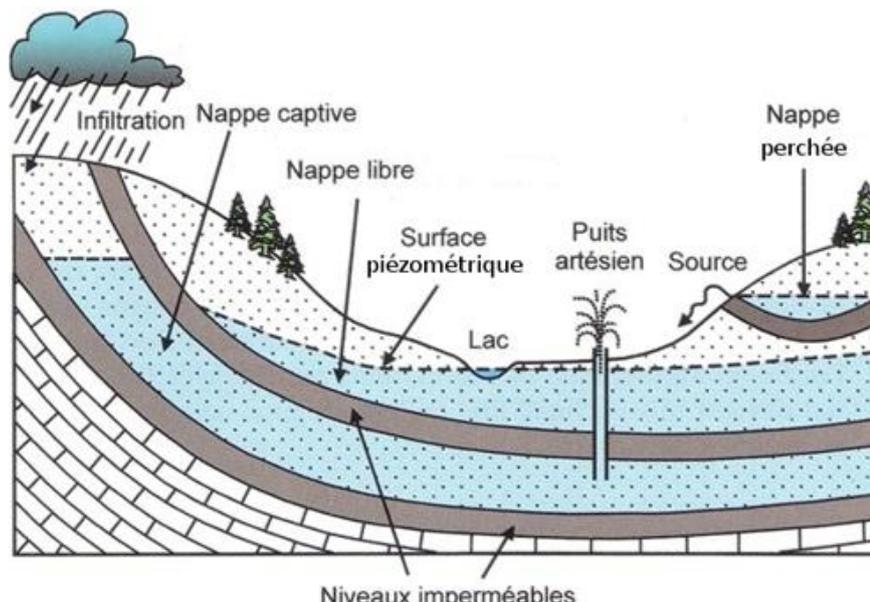


Figure IV.25 : Représentation schématique des différents types de nappes (d'après Dejonghe, 2007, modifié)

Ce concept est illustré, à l'échelle régionale et pour l'Aquifère des craies du Crétacé, sur la *Carte des informations complémentaires et des caractères des nappes* au 1/50 000 du document cartographique fourni avec cette notice.

Les sables paléocènes et les craies du Crétacé constituent les principaux aquifères de la carte Landen - Hannut - Montenaken. Le socle cambro-silurien peut constituer localement un bon aquifère s'il est suffisamment altéré et/ou fracturé. Les sables oligocènes, représentés par les formations de Sint-Huibrechts-Hern et Borgloon, peuvent aussi constituer un bon aquifère mais ne sont pratiquement pas exploités sur cette carte.

L'aquifère des sables de l'Oligocène est le plus superficiel et est donc libre partout où il est présent.

L'Aquifère des sables du Paléocène peut être captif lorsqu'il est surmonté de l'aquiclude des argiles de l'Eocène (représenté par la Formation de Tienen). Il est libre partout ailleurs.

L'Aquifère des craies du Crétacé n'est libre que lorsqu'il affleure directement sous la couverture limoneuse ou les alluvions modernes. Ailleurs, les sables argileux de la Formation de Hannut mais surtout les marnes de la Formation de Heers rendent localement la nappe des craies captive ou semi-captive.

Le socle cambro-silurien est captif sur l'ensemble des planches 33/5 & 41/1-2.

V. CADRE HYDROCHIMIQUE

Aucune campagne particulière de prélèvement chimique n'a été organisée dans le cadre de la réalisation de cette carte hydrogéologique. Ce point reprend les données existantes dans la base de données BD-Hydro, alimentée par les résultats d'analyses fournis par le SPW (base de données physico-chimiques des captages d'eau souterraine CALYPSO), les sociétés publiques de distribution d'eau et/ou publiés à l'occasion d'études particulières (protection des captages,...). Les points où sont disponibles les analyses chimiques ont été reportés sur la carte thématique au 1/50 000 « *Carte des informations complémentaires et des caractères des nappes* » du poster A0 accompagnant cette notice. A partir des données disponibles, il a été possible de caractériser du point de vue hydrochimique les deux principales unités hydrogéologiques exploitées sur la carte, à savoir l'Aquifère des sables du Paléocène et l'Aquifère des craies du Crétacé. Les analyses chimiques présentées dans les paragraphes suivants ont été réalisées sur des eaux brutes, non encore traitées en vue de leur consommation.

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

V.1. CARACTÉRISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX

V.1.1. Aquifère des sables du Paléocène

Seuls trois ouvrages disposent d'analyses chimiques pour l'Aquifère des sables du Paléocène ([Figure V.1](#)). Les résultats sont présentés au [Tableau V.1](#) et ne montrent pas de dépassements des normes de potabilité excepté pour les nitrates au puits 'RUE DE GRENWICK 51'. Ces eaux sont de type bicarbonaté calcique. Le pH est proche de la neutralité (7), la dureté importante (de 40 à 55 °F) et les conductivités ont des valeurs relativement élevées (entre 750 et 1100 µS/cm).

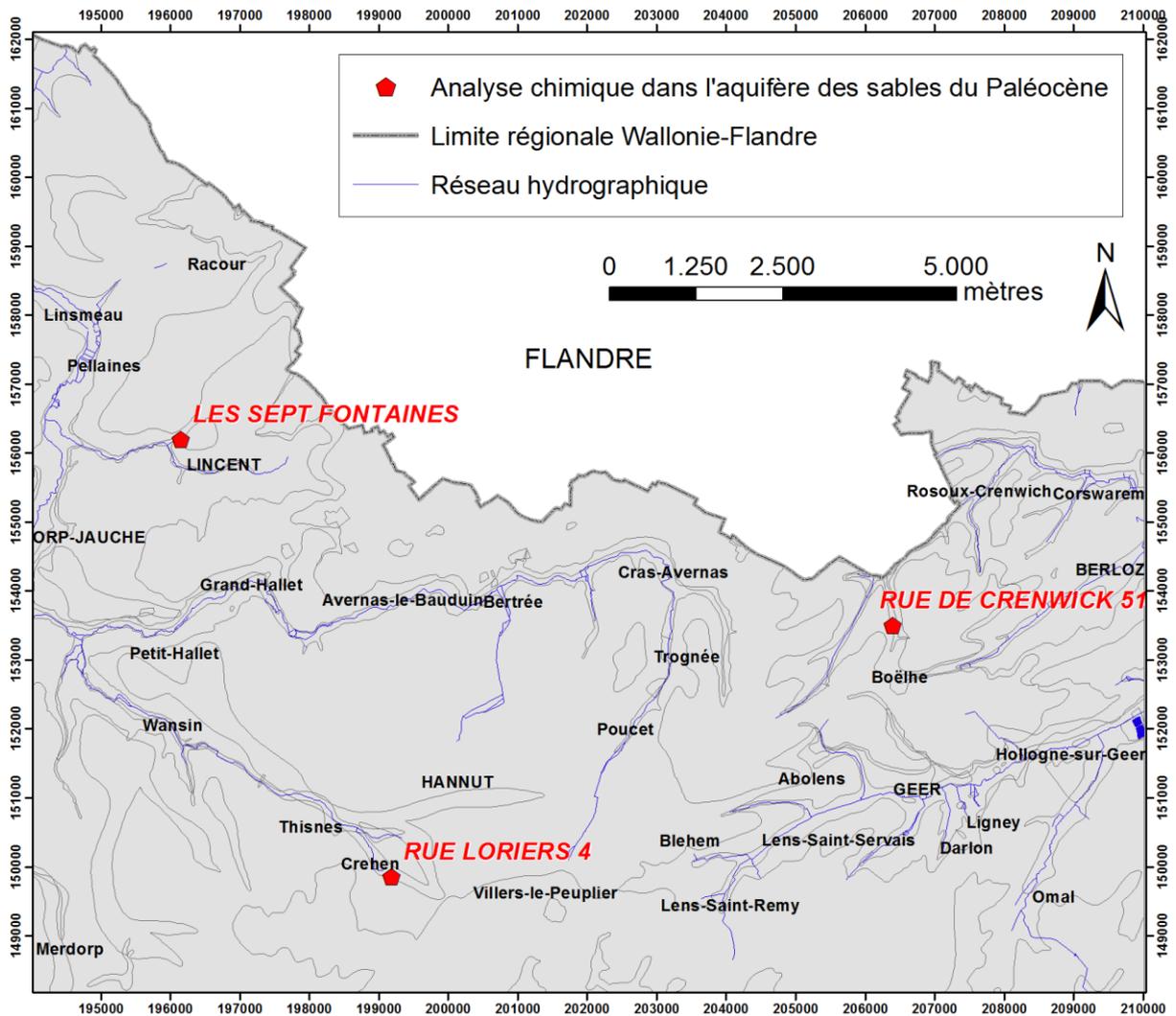


Figure V.1 : Situation des analyses chimiques dans l'Aquifère des sables du Paléocène

Tableau V.1. Analyses chimiques de trois ouvrages exploitant l'Aquifère des sables du Paléocène et normes wallonnes de potabilité des eaux de distribution

Analyses, unités et normes		Ouvrage et date	LES SEPT FONTAINES 08/02/2016	RUE LORIERIS 4 08/02/2016	RUE DE CRENWICK 51 21/06/2006
pH	unités pH	6,5 à 9,45	7,02	7	7,08
Conductivité	µS/cm à 20°C	2500	1111	980	742
Turbidité	NTU	4	<1	<1	<1,5
Dureté totale	° français	67,5	53	47,3	39,2
Oxygène dissous (in-situ)	mg/l O ₂		5,9	5,2	10,6
Alcalinité totale (TAC)	° français		31,4	30,2	28,8
Aluminium	µg/l Al	200	<20	<20	<10
Calcium	mg/l Ca	270	184	159	135
Magnésium	mg/l Mg	50	17,5	18,4	15,5
Ammonium	mg/l NH ₄	0,5	< l.q.	0,06	<0,05
Manganèse	µg/l Mn	50	<1	2,7	<5
Sodium	mg/l Na	200	14,6	15,3	42
Potassium	mg/l K		2,5	5,6	<1
Fer (total) dissous	µg/l Fe	200	<5	7	<2
Sulfates	mg/l SO ₄	250	110	93	55
Chlorures	mg/l Cl	250	94	67	33
Nitrates	mg/l NO ₃	50	36	44	71
Nitrites	mg/l NO ₂	0,5	<0,01	<0,01	<0,01
Silice	mg/l SiO ₂		29	26	15,4
Oxydabilité (KMnO ₄)	mg/l O ₂	5	1,2	1,1	0,5

V.1.2. Aquifère des craies du Crétacé

Sept puits, localisés sur la **Figure V.2**, disposent d'analyses chimiques récentes pour cet aquifère.

Les résultats d'analyses sont repris dans le **Tableau V.2**. Ils montrent une eau de type bicarbonaté calcique de dureté élevée (généralement comprise entre 35 et 45 °F) et une conductivité assez importante (de 600 à 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Ce type d'eau provient des sédiments et fragments calcaires contenus dans les couches marines. Cette dissolution provoque l'augmentation des teneurs en ions Ca^{2+} et HCO_3^- (bicarbonates). Les aquifères formés par des dépôts marins calcaireux sont caractérisés par un pH neutre à légèrement basique (de 7,2 à 7,9). L'acidité des eaux souterraines y a été déterminée par la dissolution du CaCO_3 (Interreg II, 2000). Les analyses n'indiquent pas de dépassement des normes de potabilité sauf pour le manganèse au puits 'RUE DE LA VALLEE 54' et pour le fer au puits 'Vivier-Champiotte'

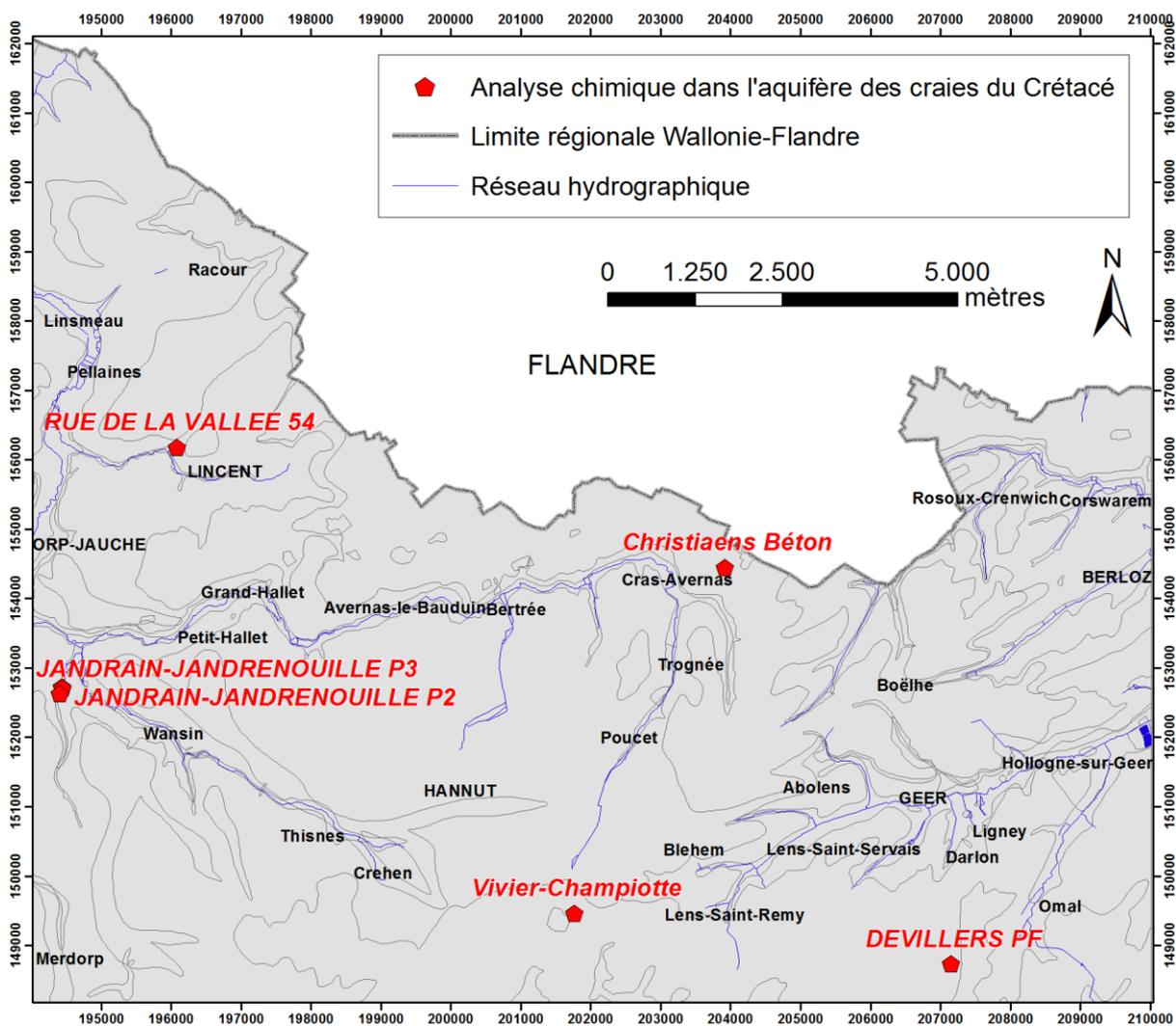


Figure V.2 : Situation des analyses chimiques dans l'Aquifère des craies du Crétacé

Tableau V.2. : Analyse chimique de trois ouvrages exploitant l'Aquifère des craies du Crétacé et normes wallonnes de potabilité des eaux de distribution

Ouvrage et date Analyses, unités et normes			JANDRAIN- JANDRENOUILLE P1	JANDRAIN- JANDRENOUILLE P2	JANDRAIN- JANDRENOUILLE P3	RUE DE LA VALLEE 54	Vivier- Champiotte	Christiaens Béton	DEVILLERS PF
			12/11/2015	12/11/2015	12/11/2015	06/05/2013	04/08/2014	06/05/2013	08/05/2014
pH	unités pH	6,5 à 9,45	7,3	7,3	7,2	7,5	7,4	7,5	7,9
Conductivité	μS/cm à 20°C	2500	752	765	760	623	656	591	795
Turbidité	NTU	4	0,2	0,2	0,2	5,7	-	1,6	-
Dureté totale	° français	67,5	45,6	44,1	44	33,9	-	33,6	-
Oxygène dissous (in-situ)	mg/l O ₂		-	-	-	7	-	4,1	-
Alcalinité totale (TAC)	° français		28,7	27,7	29,1	31,5	29,4	31,8	29,6
Aluminium	μg/l Al	200	3	13	11	<20	-	<20	4
Calcium	mg/l Ca	270	151,9	148,4	146,5	111	128,5	107	150,4
Magnésium	mg/l Mg	50	18,7	17,2	18	14,8	13,7	16,8	21
Ammonium	mg/l NH ₄	0,5	<0,01	<0,01	<0,01	0,2	<0,01	0,1	0
Manganèse	μg/l Mn	50	0,7	1,5	1	63	40	32	0,3
Sodium	mg/l Na	200	10,9	10,3	10,8	7,5	9,6	6,6	17,4
Potassium	mg/l K		1,5	1,7	1,7	2,4	0,7	1,3	0,7
Fer (total) dissous	μg/l Fe	200	27	26	22	98	700	2,1	<5
Sulfates	mg/l SO ₄	250	64,8	65,9	65,2	37	45,4	38	40,8
Chlorures	mg/l Cl	250	51,3	51,2	50,9	26	32	15	67,9
Nitrates	mg/l NO ₃	50	30,6	33	33,7	<0,1	3,1	<0,1	48,2
Nitrites	mg/l NO ₂	0,5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,15	<0,01	0,04
Silice	mg/l SiO ₂		-	-	-	29	-	31	13
Oxydabilité (KMnO ₄)	mg/l O ₂	5	-	-	-	1,4	-	1	-

V.1.3. Commentaires

Les analyses chimiques reprises ci-dessus donnent un premier aperçu des compositions chimiques des eaux souterraines susceptibles d'être rencontrées dans les deux principaux aquifères de la carte Landen - Hannut - Montenaken. La **Figure V.3** reprend la classification hydrochimique des eaux souterraines sous forme d'un diagramme de Piper (*Piper, 1944*).

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau concernée (**Figure V.3**).

La **Figure V.3** reprend, sur le digramme de Piper, la position des ouvrages analysés dans ce chapitre. Les données hydrochimiques disponibles dans la région de Landen - Hannut - Montenaken, bien que peu nombreuses, permettent de classer les eaux souterraines dans les eaux bicarbonatées calciques avec une tendance vers chlorurées et sulfatées calciques pour certaines eaux de l'Aquifère des sables du Paléocène.

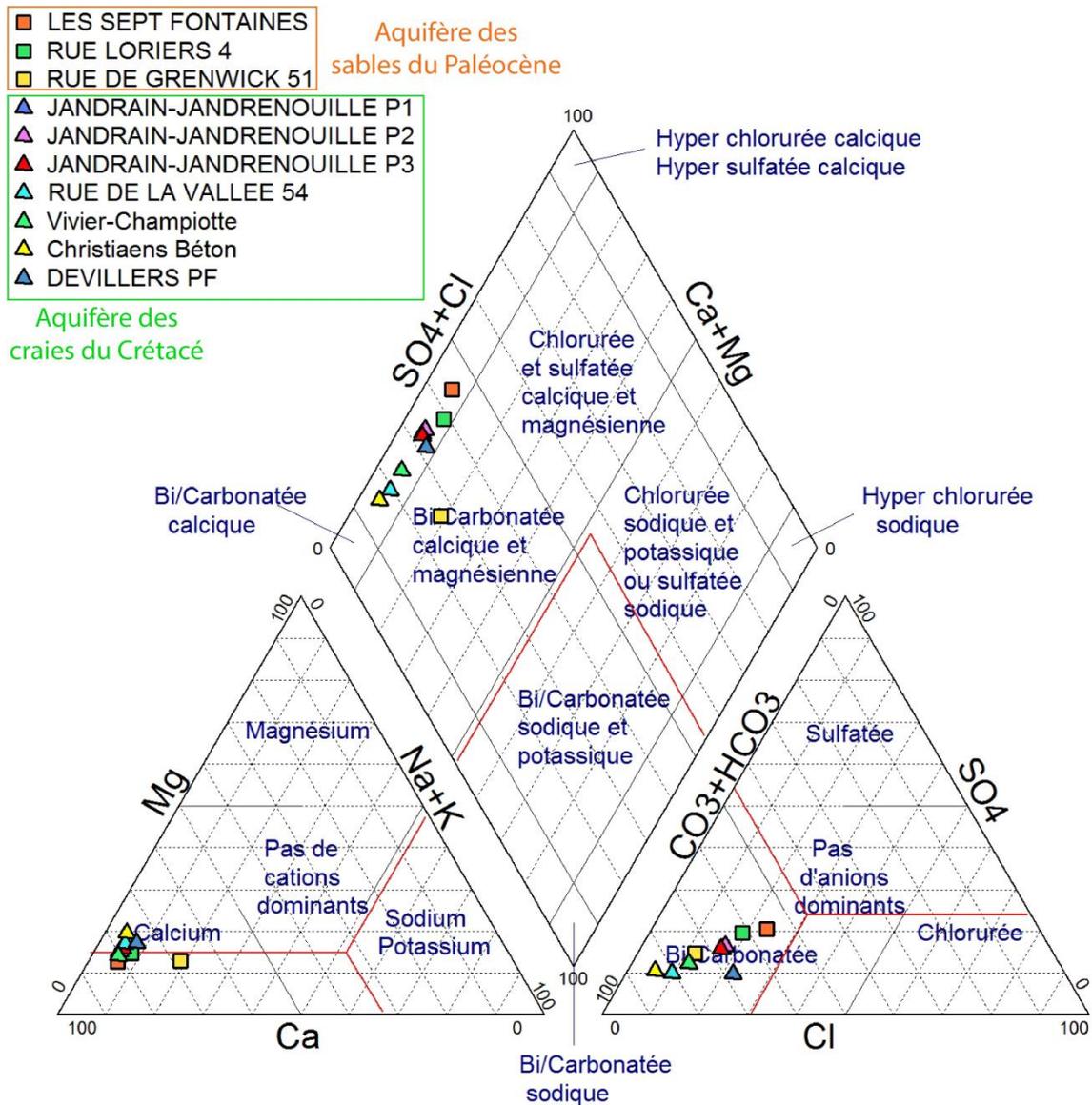


Figure V.3 : Classification hydrochimique des eaux analysées de la carte Landen - Hannut - Montenaken sur le diagramme de Piper

V.2. PROBLÉMATIQUE DES NITRATES

Les nitrates font depuis plusieurs années l'objet de contrôles réguliers de la part des sociétés de distribution d'eau. La norme européenne est de 50 mg de NO₃ par litre d'eau au maximum. Pour protéger les eaux de surface et souterraines de la pollution par les nitrates, six "zones vulnérables" ont été désignées par arrêtés ministériels (Figure V.4). Cette désignation implique l'application d'un programme d'action précis dont les mesures ont été arrêtées dans le Programme de Gestion Durable de l'Azote en agriculture (PGDA)⁶. Un réseau de surveillance mis en place par le SPW permet de suivre les teneurs en nitrates et

⁶ Livre II du Code de l'Environnement contenant le Code de l'Eau, Version Coordonnée, arrêté par le Gouvernement Wallon – articles R188 à R232.
<http://environnement.wallonie.be/legis/Codeenvironnement/codeeaucoordonne.htm>
 Le site www.nitrawal.be peut également être consulté.

d'évaluer de manière cohérente et complète l'état des ressources en eau souterraines (SPW-DGO3, 2015).

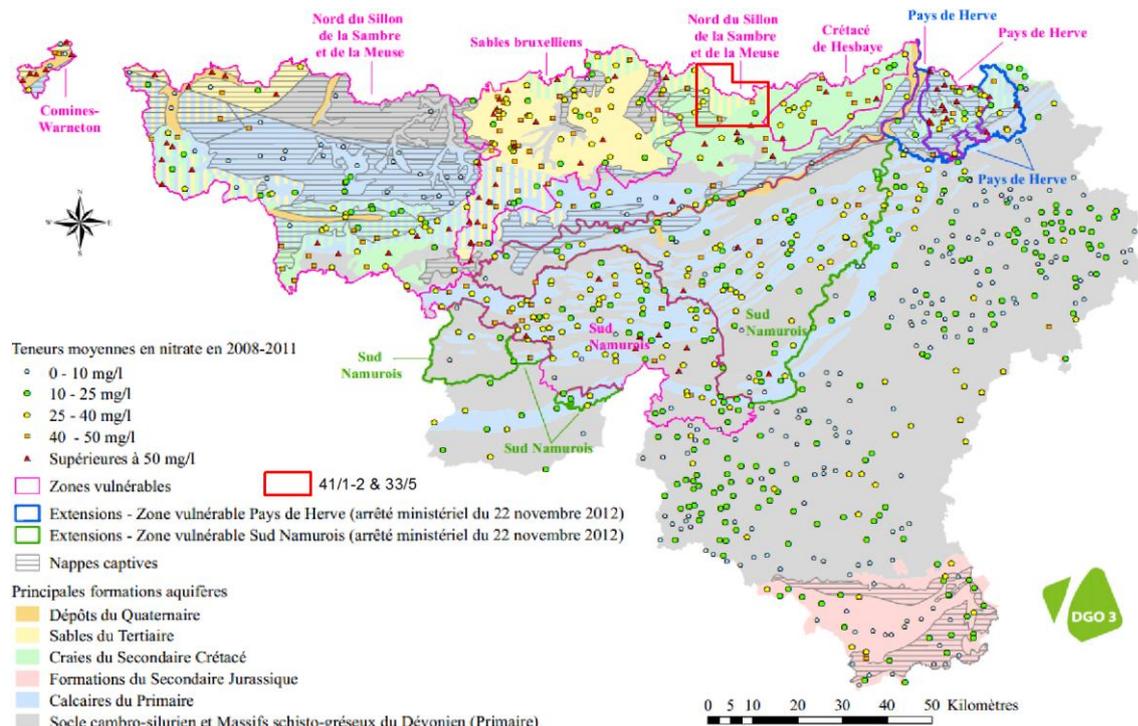


Figure V.4 : Zones vulnérables aux nitrates arrêtées en Wallonie et teneurs moyennes en nitrates de 2008 à 2011 sur les ouvrages du réseau de surveillance du Service Public de Wallonie. Localisation de la carte de Landen - Hannut - Montenaken (SPW-DGO3, 2015)

Depuis le 1er janvier 2007, l'entièreté de la Flandre est désignée comme "zone vulnérable aux nitrates" dans le cadre de la Directive européenne "Nitrates". Pour plus d'informations sur les zones vulnérables aux nitrates en Flandre, consulter le site Internet DOV. La carte Landen - Hannut - Montenaken est ainsi entièrement couverte par ces zones (voir *Carte des informations complémentaires et des caractères des nappes*).

Diverses études ont démontré que les teneurs en nitrates sont fortement dépendantes des fluctuations piézométriques et de l'infiltration efficace. Pour la carte Landen - Hannut - Montenaken, l'évolution au cours du temps des teneurs en nitrates a pu être analysée pour les deux principaux aquifères à savoir l'Aquifère des sables du Paléocène et l'Aquifère des craies du Crétacé.

V.2.1. Aquifère des sables du Paléocène

Sur les planches 33/5 & 41/1-2, la galerie 'LES SEPT FONTAINES' et le puits privé 'RUE LORIER 4' (Figure V.1, p. 49) disposent de chroniques des teneurs en nitrates de 2005 à 2015 (Figure V.5). Celles-ci montrent des teneurs élevées (de 30 à 45 mg/l) sans toutefois dépasser la norme de potabilité de 50 mg/l. Après une tendance à la baisse jusqu'en 2009, c'est une lente et constante augmentation des concentrations en nitrates qui s'observe depuis 2010. Ces résultats peuvent s'expliquer par la faible protection de cet aquifère contre les infiltrations de surface.

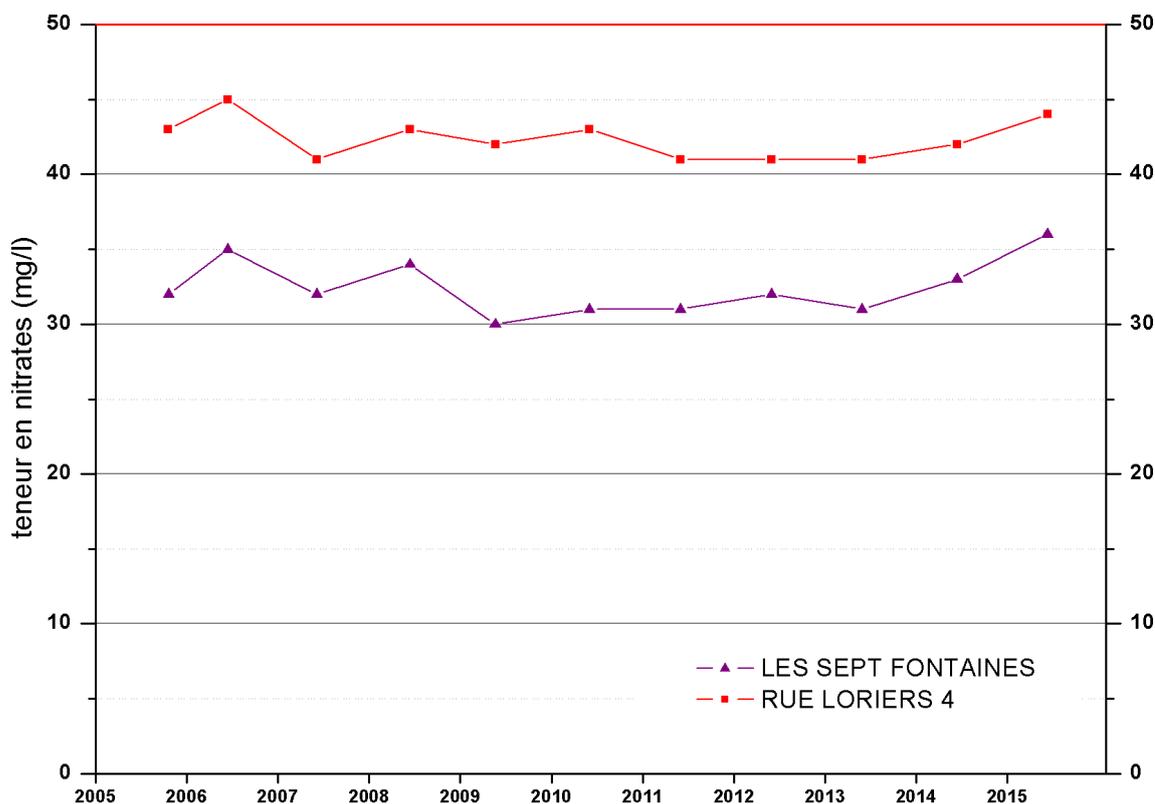


Figure V.5. Evolution de la concentration en nitrates dans deux ouvrages implantés dans l'Aquifère des sables du Paléocène de 2005 à 2015

Le puits 'BLH002' (Figure IV.15) a été échantillonné de janvier 1994 à décembre 1995 dans le cadre du programme Action Hesbaye (Hallet & Monjoie, 1996 ; Dewez & Dautrebande, 1996 ; Rouxhet & Guiot, 1996 ; Hallet, 1998) et afin d'observer la relation entre piézométrie et concentration en nitrates. Durant la période d'échantillonnage, le niveau d'eau, par rapport au sol, a varié entre -2,88 et -5,50 m avec deux minima en décembre 1994 et décembre 1995 ; la nappe est donc sub-affleurante.

Ce puits, situé en milieu urbain, est fortement contaminé par les nitrates : la teneur moyenne est de 142 mg/l, avec des valeurs variant entre 90 et 235 mg/l (Figure V.6). Aucune évolution quant à l'augmentation ou à la diminution de teneurs en nitrates ne peut être définie. La teneur maximale (240 mg/l) a été observée en janvier 1995 et les valeurs minimales en mai 1994 (99 mg/l) puis en mai-juin 1995 (90 à 94 mg/l). L'absence de nitrites ou d'ammonium dans ce puits semble indiquer que cette contamination n'est probablement pas directe. Les concentrations maximales s'observent en périodes de basses eaux ; à l'inverse, les concentrations minimales s'observent en périodes de hautes eaux. Cela pourrait indiquer un phénomène de dilution d'une source de contamination permanente proche du puits. Ce processus est caractéristique des contaminations ponctuelles car, à l'inverse, dans le cas de contaminations d'origine diffuse, les minima sont observés en période de basses eaux et non en période de hautes eaux (Hallet, 1999).

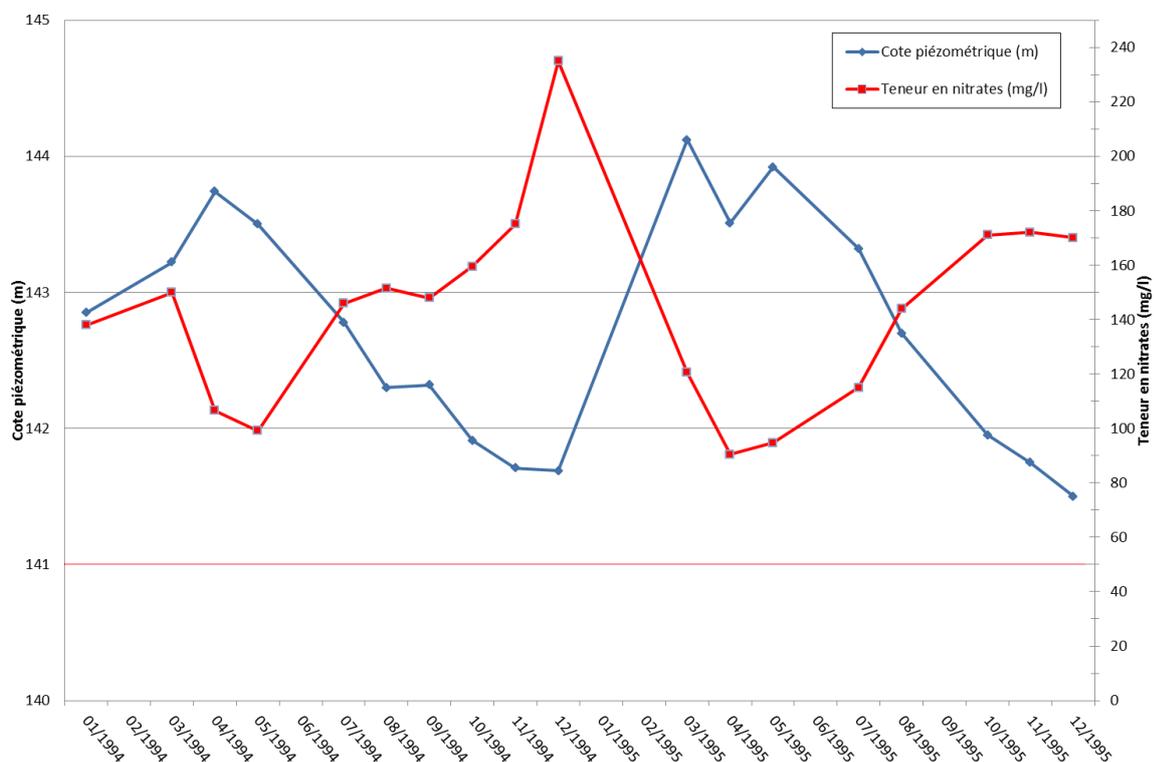


Figure V.6 : Evolution de la teneur en nitrates pour le puits 'BLH002' à Blehen de 1994 à 1995 couplée aux variations piézométriques (d'après Hallet, 1998)

V.2.2. Aquifère des craies du Crétacé

Des chroniques de teneur en nitrates existent pour les puits du captage de Jandrain-Jandrenouille (Figure V.2) de 1993 à 2015, ainsi que pour les puits P4 et P5 (eaux mélangées) de l'usine Hesbaye Frost à Geer (Figure V.7) de 2003 à 2015. Aucun des ouvrages ne montre de dépassement de la norme de potabilité, cependant une tendance continue à la hausse s'observe pour chacun des puits (Figure V.8). On constate également que les puits du captage de Jandrain-Jandrenouille, situés dans la partie libre de l'aquifère des craies, présentent les concentrations les plus élevées (jusqu'à 35 mg/l) alors que les ouvrages forés à Geer, en zone semi-captive, montrent des teneurs inférieures (entre 10 et 15 mg/l).

Les plus faibles concentrations en nitrates dans les puits situés dans la partie semi-captive de la nappe peuvent s'expliquer par :

- la "non arrivée" du front de nitrates suite à la faible vitesse de migration des eaux souterraines dans cette région (gradient quasi nul lié à la proximité du Geer - exutoire de la nappe), et à l'absence d'exploitation intensive de la nappe dans cette région ;
- l'absence de lessivage des nitrates suite à l'artésianisme de la nappe ;
- l'existence de dénitrification dans la partie semi-captive de la nappe suite à la présence de bactéries anaérobies et à la diminution d'oxygène dissous dans l'eau.

Au stade actuel des connaissances, les deux premières hypothèses semblent les plus probables. En effet, bien que de plus faibles concentrations en nitrates soient actuellement observées dans la partie captive de la nappe, une augmentation régulière des teneurs est observée. Cette augmentation est d'autant plus marquée que la nappe est exploitée intensément. Concernant la dénitrification, la présence d'oxygène dissous en quantité non négligeable dans les puits échantillonnés (> à 4 mg/l), démontre que les conditions ne sont pas anaérobies. De plus, des analyses chimiques de la craie de Hesbaye ont montré l'absence de donneur d'électrons dans la matrice crayeuse (Mariotti, 1994).

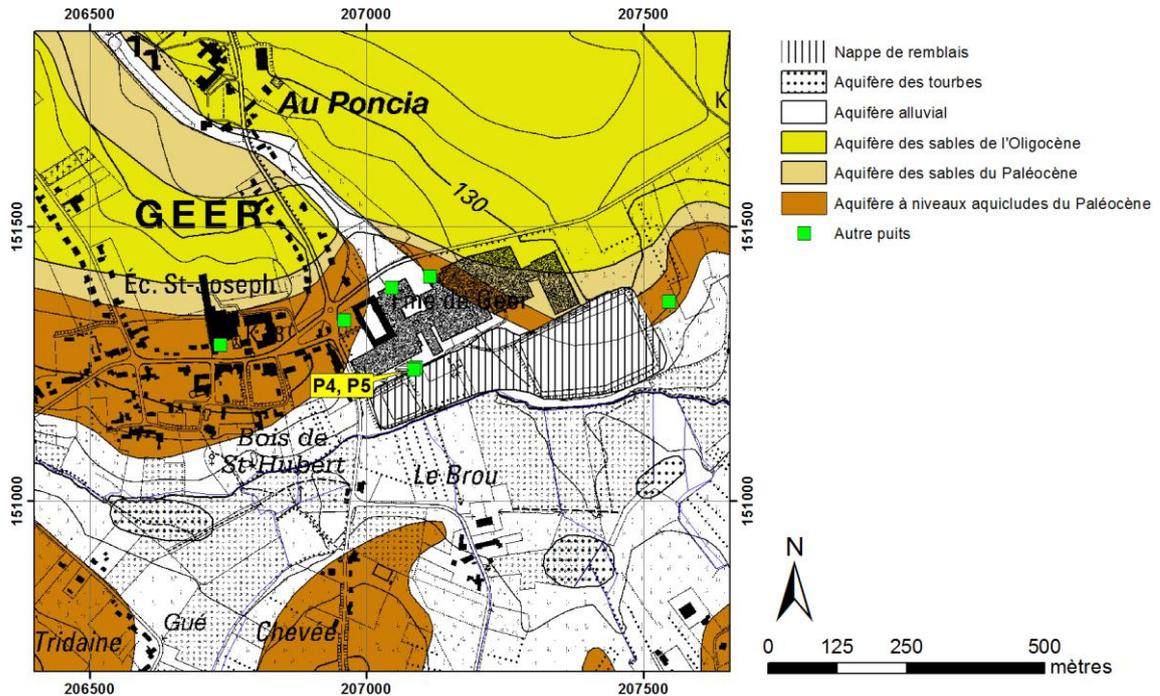


Figure V.7 : Situation des puits P4 et P5 de l'usine Hesbaye Frost

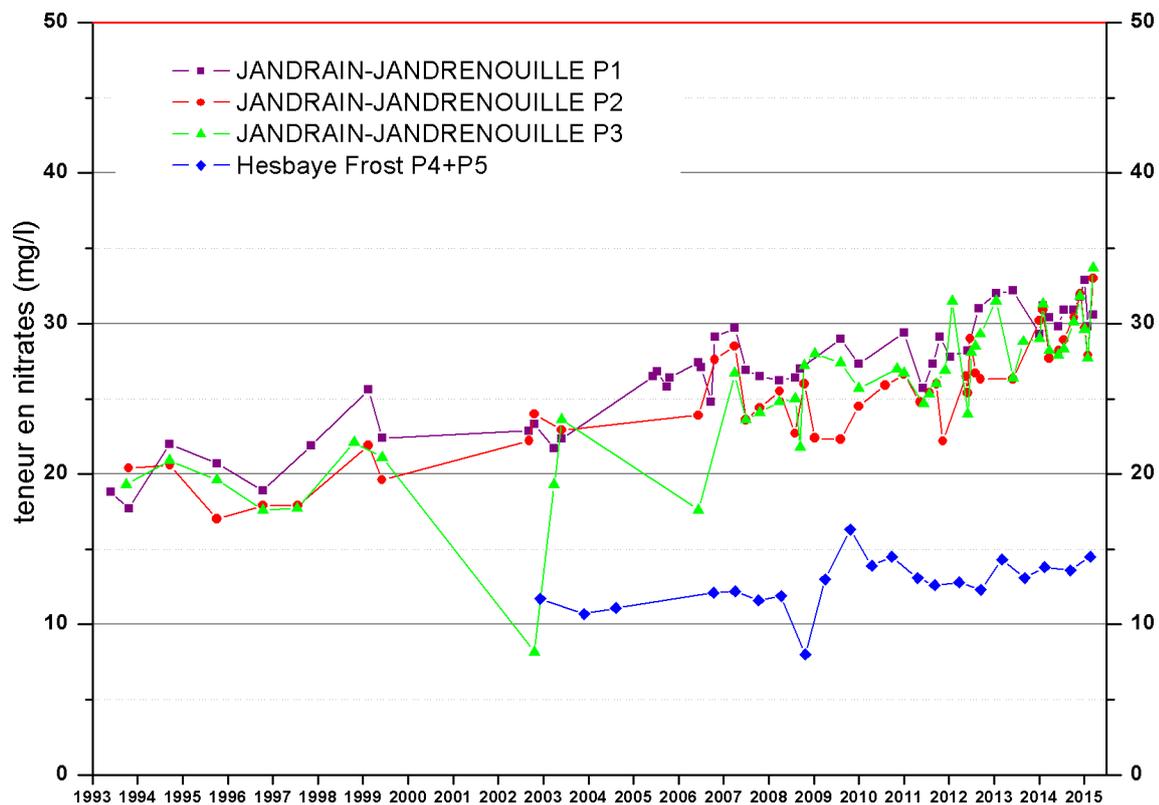


Figure V.8 : Evolution de la concentration en nitrates au captage de Jandrain-Jandrenouille de 1993 à 2015 et à l'usine Hesbaye Frost (Geer) de 2003 à 2015

V.3. QUALITÉ BACTÉRIOLOGIQUE

Parmi les autres paramètres régulièrement contrôlés au niveau des captages de distribution publique et des exploitations agricoles et industrielles, les analyses bactériologiques occupent une place importante.

Les principaux paramètres bactériologiques ont été analysés au droit de quelques ouvrages exploitant les deux principaux aquifères de la carte (Tableau V.3).

Les pollutions dans l'eau sont généralement liées aux traitements d'épandage de tous ordres, principalement dans l'agriculture et aux déversements d'industries de fabrication et de conditionnement mais également de particuliers. Les puits domestiques non équipés correctement sont moins bien protégés contre les infiltrations de surface. Dans tous les cas, un traitement permet de rendre à l'eau une qualité appréciable.

Tableau V.3 : Paramètres bactériologiques analysés dans quelques ouvrages de la carte Landen - Hannut - Montenaken

Paramètre	Unité	LES SEPT FONTAINES	RUE LORIER 4	JANDRAIN-JANDRENOUILLE P2	RUE DE LA VALLEE 54	HESBAYE FROST P4+P5
Aquifère		Aquifère des sables du Paléocène		Aquifère des craies du Crétacé		
Date		08/02/2016	08/02/2016	12/11/2015	06/05/2013	19/10/2015
Coliformes totaux	Colonies /100 ml	3	8	2	0	1
Entérocoques	Colonies /100 ml	0	0	0	0	0
Escherichia Coli	Colonies /100 ml	1	0	0	0	0
Germes totaux à 22 °C	Colonies /ml	-	-	22	-	-
Germes totaux à 36 °C	Colonies /ml	1	0	4	3	1

V.4. PESTICIDES

En ce qui concerne les pesticides, les éléments fréquemment concernés par des pollutions appartiennent essentiellement à la famille des herbicides. Les herbicides permettent d'éliminer les plantes appelées communément "mauvaises herbes". L'une des propriétés recherchées pour un herbicide, outre sa sélectivité, est sa durée d'action après traitement, voilà pourquoi sa persistance dans l'environnement est parfois assez longue. D'autre part, les plus solubles d'entre eux sont susceptibles d'être entraînés, soit par ruissellement vers les cours d'eau, soit par infiltration lente en profondeur jusqu'aux nappes phréatiques. Certains herbicides sont l'apanage des agriculteurs, comme les produits dérivés du groupe chimique triazine (atrazine [interdit depuis 2004], simazine, propazine), qui sont des herbicides sélectifs utilisés principalement pour la culture du maïs, ou la bentazone, utilisée dans les cultures céréalières, de la pomme de terre, du lin, des haricots et petits pois,... D'autres, comme le diuron, sont plutôt utilisés par les particuliers (jardin et potager) et les administrations communales (entretien des voiries et lieux publics).

Le **Tableau V.4** reprend les pesticides les plus importants analysés dans divers ouvrages présents sur la carte. Ces analyses ne montrent pas de dépassement des normes de potabilité (100 ng/l).

Tableau V.4 : Teneurs en pesticides principaux (famille des herbicides) pour quelques captages de la région de Landen - Hannut – Montenaken.

Paramètre	Unité	Norme	LES SEPT FONTAINES	RUE LORIER 4	JANDRAIN-JANDRENOUILLE P2	RUE DE LA VALLEE 54
Aquifère			Aquifère des sables du Paléocène		Aquifère des craies du Crétacé	
Date			08/02/2016	08/02/2016	30/09/2015	06/05/2013
Atrazine	ng/l	100	<10	<10	2	<10
Déséthyl atrazine	ng/l	100	20	<10	4	<10
Simazine	ng/l	100	<10	<10	<10	<10
Bentazone	ng/l	100	<10	12	9	11
Chlortoluron	ng/l	100	<10	<10	<10	<10
Diuron	ng/l	100	<10	<10	<10	<10
Isoproturon	ng/l	100	<10	<10	<10	<10

V.5. ELÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES (ETM)

La famille des ETM comprend notamment les éléments suivants : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le mercure (Hg), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le zinc (Zn),... Ils ont été souvent désignés comme « métaux lourds », terme imprécis car certains de ces éléments ne sont pas particulièrement « lourds » (le zinc), tandis que ces polluants ne sont pas tous des métaux (l'arsenic par exemple) (*Pereira et Sonnet, 2007*).

Le **Tableau V.5** représente les résultats d'analyses des ETM pour quelques ouvrages sur la carte Landen - Hannut - Montenaken. Seul le puits 'RUE DE LA VALLEE 54' montre un léger dépassement de la norme pour le manganèse. Un traitement permet néanmoins de rendre à l'eau une qualité appréciable.

Tableau V.5 : Teneurs en ETM pour quelques ouvrages de la région de Landen - Hannut – Montenaken.

Paramètre	Unité	Norme AGW 15/01/04	LES SEPT FONTAINES	RUE LORIER 4	JANDRAIN-JANDRENOUILLE P2	RUE DE LA VALLEE 54
Aquifère			Aquifère des sables du Paléocène		Aquifère des craies du Crétacé	
Date			08/02/2016	08/02/2016	12/11/2015	06/05/2013
Antimoine	µg/l	5	<1	<1	0,1	<1
Arsenic	µg/l	10	<1	<1	0,4	<1
Bore	µg/l	1000	27	<20	10	<20
Cadmium	µg/l	5	0,04	0,05	< l.q.	<0,03
Chrome (total)	µg/l	20	<1	8	1,3	<1
Cuivre	µg/l	100	1,2	9	2,1	1,6
Manganèse	µg/l	50	<1	2,7	1,5	63
Mercure	µg/l	1	<0,05	<0,05	0,01	<0,05
Nickel	µg/l	20	2,4	3,2	0,8	1,2
Plomb	µg/l	10	<1	<1	0,3	<1
Selenium	µg/l	10	3,8	4,6	1,8	<1
Zinc	µg/l	200	3	21	4	10

V.6. ETAT DES MASSES D'EAU SOUTERRAINE

La directive 2006/118/CE relative à la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration a été transposée aux articles R.43ter du Code de l'eau. Ce texte précise les objectifs environnementaux énoncés pour les eaux souterraines par la Directive-cadre de l'eau (DCE).

En ce qui concerne le bon état chimique, la composition de l'eau souterraine mesurée aux différents points du réseau principal de surveillance doit être telle que les concentrations de polluants respectent les normes de qualité et les valeurs seuils inscrites à l'annexe XIV du Code de l'eau (**Tableau V.6**) :

Tableau V.6 : Valeurs seuils des paramètres chimiques intervenant dans la dégradation des masses d'eau souterraine (SPW-DGO3, 2015)

Polluant	Norme ou Valeur seuil
Nitrates	50 mg/l
Substances actives des pesticides, ainsi que les métabolites et produits de dégradation et de réaction pertinents	0,1 µg/l - 0,5 µg/l (total)
Ammonium	0,5 mg NH ₄ /l
Antimoine	5 µg/l
Arsenic	10 µg/l
Cadmium	5 µg/l
Chlorures	150 mg/l
Chrome	50 µg/l
Cuivre	100 µg/l
2,6-dichlorobenzamide (BAM)	0,2 µg/l
Mercurure	1 µg/l
Nickel	20 µg/l
Phosphore total	1,15 mg/l P ₂ O ₅
Plomb	10 µg/l
Sulfates	250 mg/l
Trichloréthylène	10 µg/l
Tétrachloréthylène	10 µg/l
Zinc	200 µg/l

Sur cette base, l'état global des 33 masses d'eau souterraine de la Région wallonne vient d'être évalué pour la première fois, à l'aide des résultats accumulés entre 2005 et 2008 sur le réseau de surveillance DCE. En matière de nitrates, les résultats du survey nitrate (950 sites) permettent de conforter le diagnostic. Les masses d'eau classées en mauvais état l'ont été pour cause de nitrates (7), combinaison pesticides et nitrates (3), autres polluants (2) ou de prélèvements excessifs (1).

Les causes de la dégradation des eaux souterraines ont été regroupées (SPW-DGO3, 2015) comme suit :

L'agriculture, dont les pressions peuvent être diffuses ou ponctuelles et qui provoquent des altérations en nitrates principalement et en pesticides secondairement ;

L'industrie (toutes catégories d'entreprises), dont les pressions sont considérées comme ponctuelles et qui provoquent des altérations en macro-polluants, des risques d'introduction de micropolluants (métaux, composés organiques) et des risques quantitatifs (industrie extractive) ;

La collectivité réunit les ménages et les services liés à la population au sens large (approvisionnement en eau, assainissement, transports, urbanisation, espaces verts...) ; l'approvisionnement en eau peut provoquer des risques quantitatifs ; les autres secteurs cités peuvent émettre des macro-polluants et des pesticides de manière considérée comme diffuse.

Enfin, les sites contaminés, anciennes décharges et autres sites à réhabiliter sont réunis dans la force motrice dite **historique** ; il s'agit de sources de micropolluants vers les eaux souterraines, dont la propagation éventuelle est à contrôler.

L'impact chimique de l'agriculture demeure clairement la grande problématique pour les eaux souterraines en Wallonie ; toutefois aucune force motrice n'est à négliger. La **Figure V.9** indique l'état des masses d'eau en fonction des causes de leur dégradation. En 2008, seulement 45 % des masses d'eau souterraines de Wallonie ont été jugées en bon état et sans risque de détérioration.

Les masses d'eau concernées par la carte Landen - Hannut - Montenaken, en 2008, étaient en général en mauvais état sur le plan chimique, la cause étant principalement agricole (**Figure V.9**).

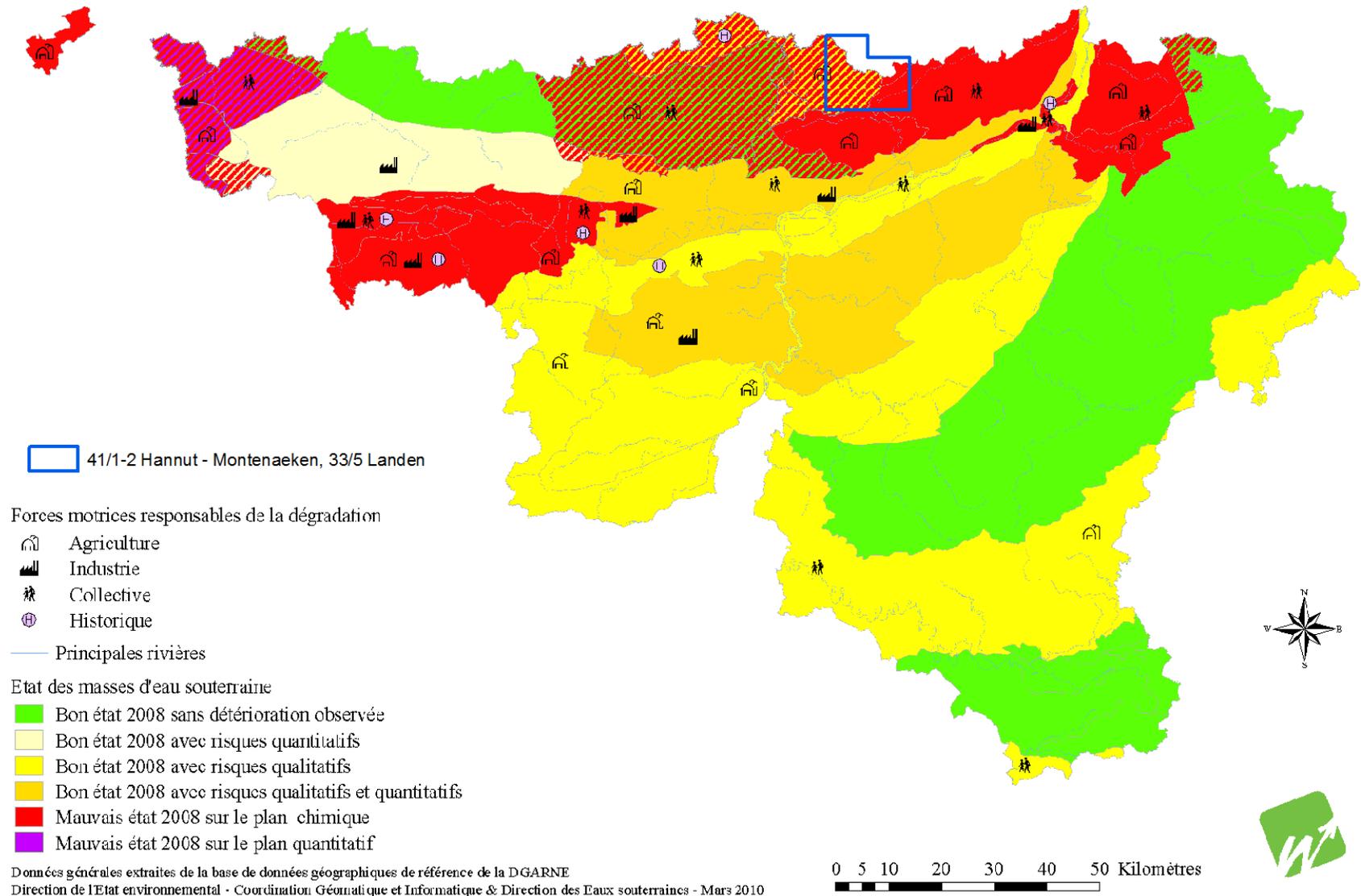


Figure V.9 : Etat des masses d'eau pour l'année 2008 et causes de leurs dégradations. Situation de la carte Landen - Hannut - Montenaken (SPW-DGO3, 2015)

VI. EXPLOITATION DES AQUIFERES

Sur la carte thématique de Landen - Hannut - Montenaken *Carte des volumes prélevés* au 1/50 000, tous les ouvrages recensés et existants en août 2016, sans distinction de nature, ont été reportés (puits, piézomètre, puits sur galerie par gravité, sources, ...). Un symbolisme différent est attribué selon la nappe dans laquelle est établi l'ouvrage. Sa couleur correspond à celle de l'aquifère atteint.

Pour les ouvrages de prise d'eau dont le débit est connu, des pastilles rouges (pour les captages de distribution publique) et vertes (pour les industriels ou particuliers) de diamètre proportionnel au volume prélevé ont été utilisées comme indicateur. Les données représentées sont les dernières disponibles et datent de 2016.

Les données sont extraites de la base de données DIX-SOUS du Service Public de Wallonie. L'encodage des volumes d'eau prélevés n'est cependant pas complet. Ceci concerne principalement les petits exploitants et donc les petits volumes (inférieur à 3 000 m³/an) car les puits des particuliers ou des agriculteurs ne sont pas encore tous pourvus d'un compteur.

L'exploitation d'une prise d'eau souterraine est soumise à de nombreux aléas et peut donc 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 des volumes moyens prélevés sur la *Carte des volumes prélevés* correspond à la moyenne des cinq dernières années (2012-2016) (basés sur les déclarations des titulaires de prise d'eau). Ces volumes moyens prélevés sont symbolisés par des cercles vides au contour bleu (diamètre proportionnel au volume prélevé). Ils illustrent de manière plus réaliste l'exploitation des eaux souterraines sur la carte étudiée. Ces valeurs moyennes ne sont pas représentatives du potentiel d'exploitation ni de l'exploitation réelle des nappes. Elles reflètent simplement l'importance d'un site d'exploitation pendant les cinq années considérées. Parmi ces dernières, il se peut que certaines d'entre elles soient restées sans prélèvement pendant plusieurs années.

A l'échelle de la Wallonie, les volumes soutirés dans les aquifères présents sur les planches Landen – Hannut - Montenaken sont relativement faibles avec en moyenne 1 800 000 m³/an extraits, tout type de captage confondu.

Les ouvrages présents sur la carte exploitent principalement l'Aquifère des craies du Crétacé et l'Aquifère des sables du Paléocène. La **Figure VI.1** montre la répartition complète des ouvrages dans les différentes unités hydrogéologiques.

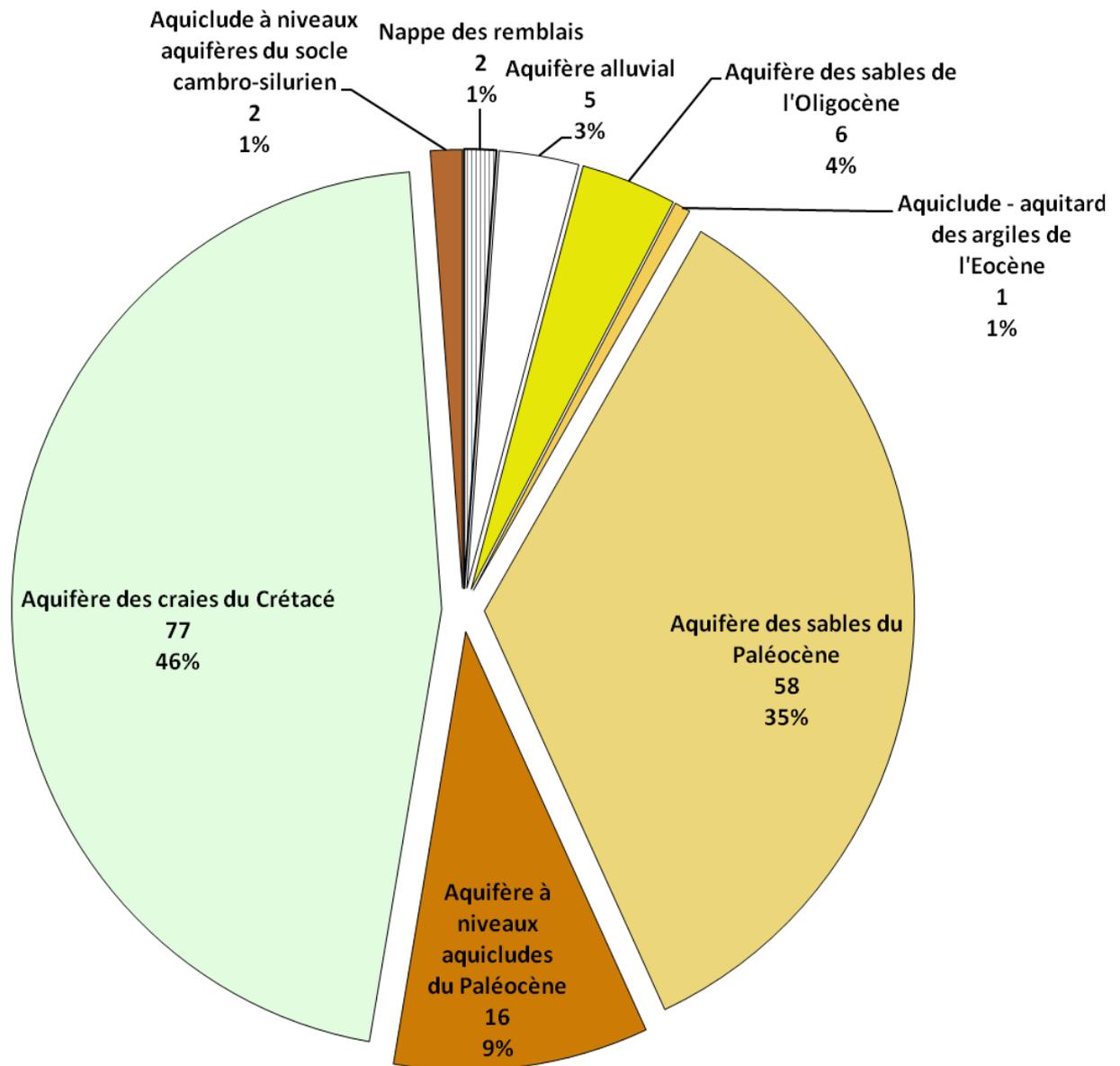


Figure VI.1 : Répartition des ouvrages entre les différentes unités hydrogéologiques de la carte Landen – Hannut - Montenaken

VI.1. VOLUMES PRÉLEVÉS POUR LA DISTRIBUTION PUBLIQUE

Sur la carte Landen - Hannut - Montenaken, le seul captage en activité destiné à la distribution publique d'eau potable est le captage S.W.D.E. de Jandrain-Jandrenouille situé à l'ouest de la carte (Figure V.2). Il se compose de trois puits forés à 25 m de profondeur dans l'Aquifère des craies du Crétacé (P1, P2, P3). En moyenne, entre 2007 et 2016, un volume total annuel de 1 160 000 m³ est extrait par ces trois prises d'eau. La Figure VI.2 synthétise les volumes prélevés sur ces trois ouvrages entre 2007 et 2016.

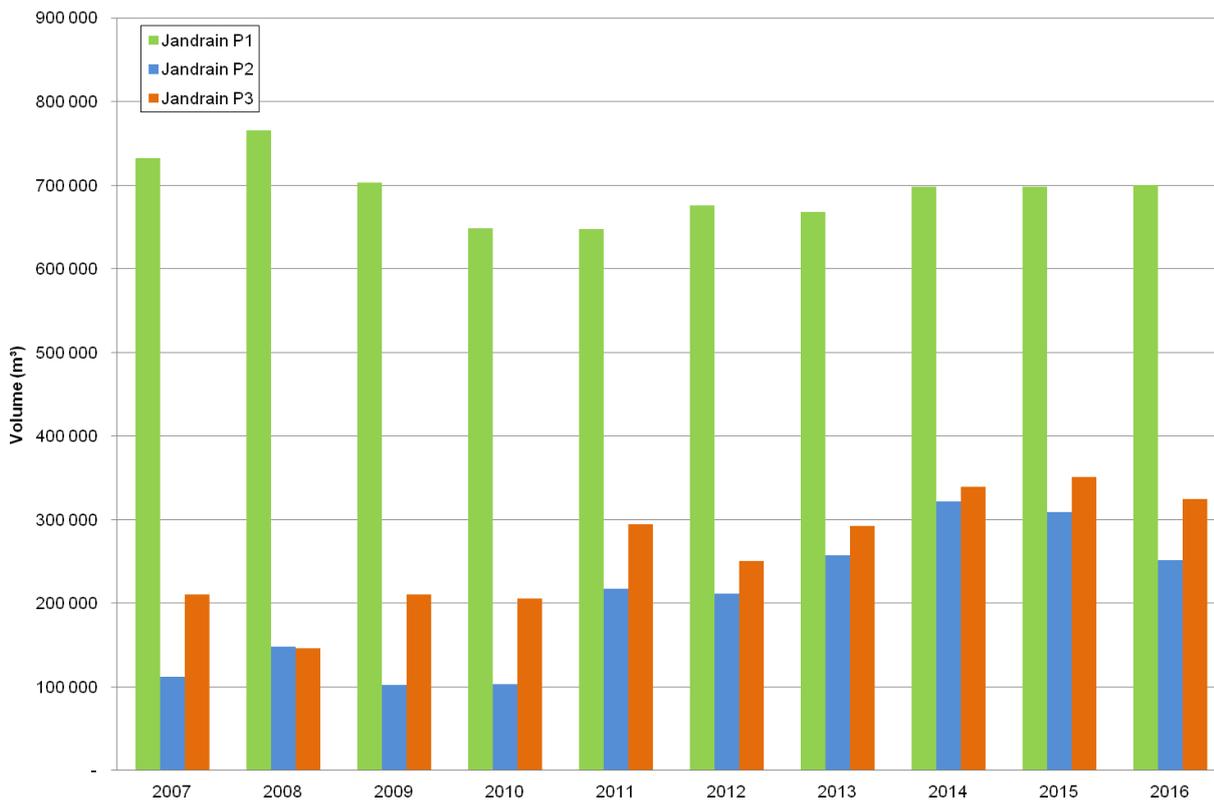


Figure VI.2 : Volumes prélevés entre 2007 et 2016 par les trois puits du site de Jandrain-Jandrenouille sollicitant la nappe de l'Aquifère des craies du Crétacé.

VI.2. AUTRES VOLUMES PRÉLEVÉS

Outre les prises d'eau destinées à la distribution publique, d'autres puits à usage industriel exploitent la nappe captive des craies du Crétacé sous couverture des terrains cénozoïques. Cette dernière est, de loin, la nappe la plus sollicitée. Les volumes pompés en 2016, par les particuliers et les industriels présents sur la carte, sont représentés sur le graphique de la [Figure VI.3](#).

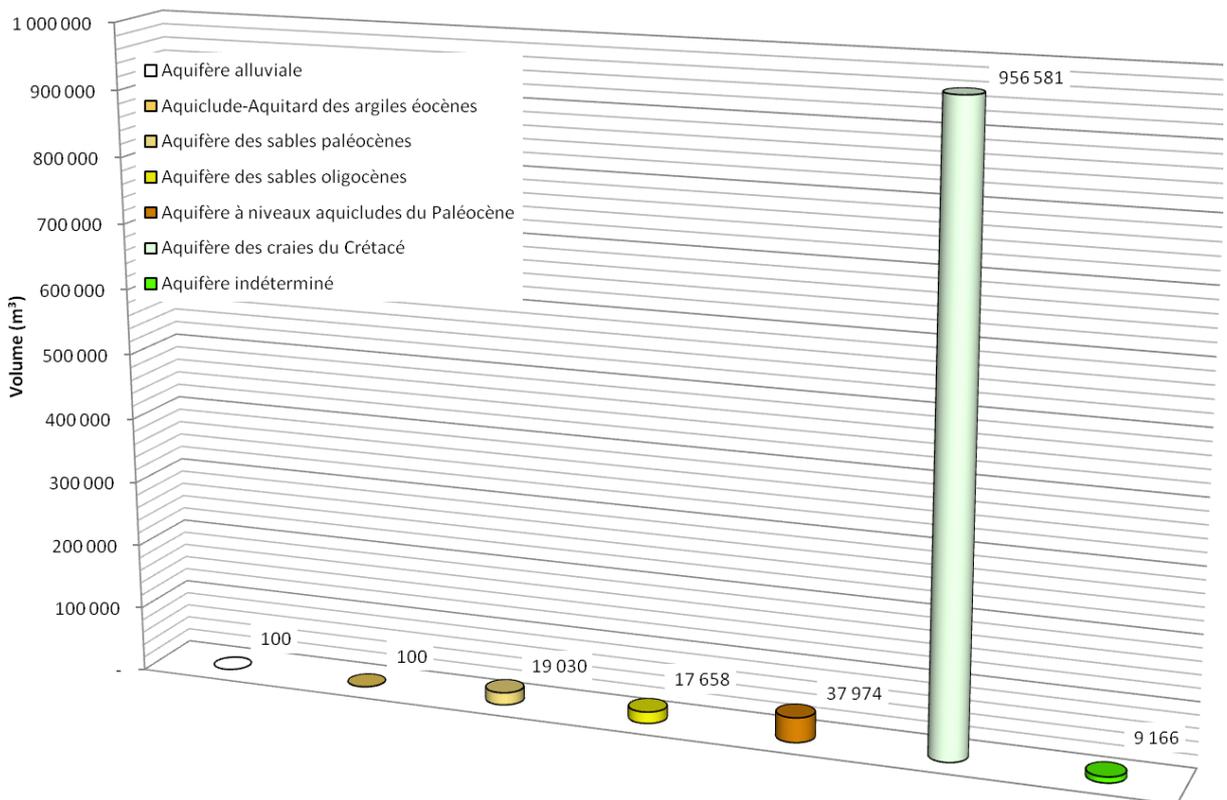


Figure VI.3 : Volumes prélevés par les principaux captages privés (industriels et particuliers) en 2016

VI.3. EXPLOITATION DES AQUIFÈRES EN FLANDRE

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

VII. PARAMETRES HYDROGEOLOGIQUES

VII.1. INTRODUCTION

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

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

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

Les valeurs des paramètres peuvent varier suivant les échelles d'investigation. On parlera de valeurs à l'échelle macroscopique pour les essais réalisés sur échantillons en laboratoire, par comparaison aux valeurs à l'échelle mégascopique relatives aux zones investiguées lors d'essais menés sur le terrain.

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

A titre indicatif, les **Tableau VII.1** et **Tableau VII.2** présentent quelques valeurs de conductivité hydraulique selon le type de terrain (roche meuble ou indurée, lithologie, degré de fissuration...).

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

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

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

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

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

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

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

*dépendante de la fissuration

VII.2. PARAMÈTRES D'ÉCOULEMENT

VII.2.1. Aquifère des craies du Crétacé

Des données hydrogéologiques précises, concernant les paramètres d'écoulement dans les craies ont pu être déterminés à partir de campagnes d'essais de pompage réalisées par la SWDE, dans le cadre du forage des puits de reconnaissance PR1 et PR2 sur le site de Jandrain-Jandrenouille (Figure VII.1). Les transmissivités et conductivités hydrauliques qui ont pu être calculées au niveau de ces deux ouvrages et sont synthétisées au [Tableau VII.4](#).

Les valeurs de conductivité hydraulique ont été obtenues sur base des hauteurs crépinées des ouvrages et sont dans la gamme des terrains perméables à semi-perméables.

Tableau VII.4 : Valeurs de transmissivités et perméabilités calculées pour les puits de reconnaissance PR1 et PR2

Ouvrage	Transmissivité (m ² /s)	Conductivité hydraulique (m/s)
PR1	2,95×10 ⁻³	1,84×10 ⁻⁴
PR2	1,50×10 ⁻³	1,07×10 ⁻⁴

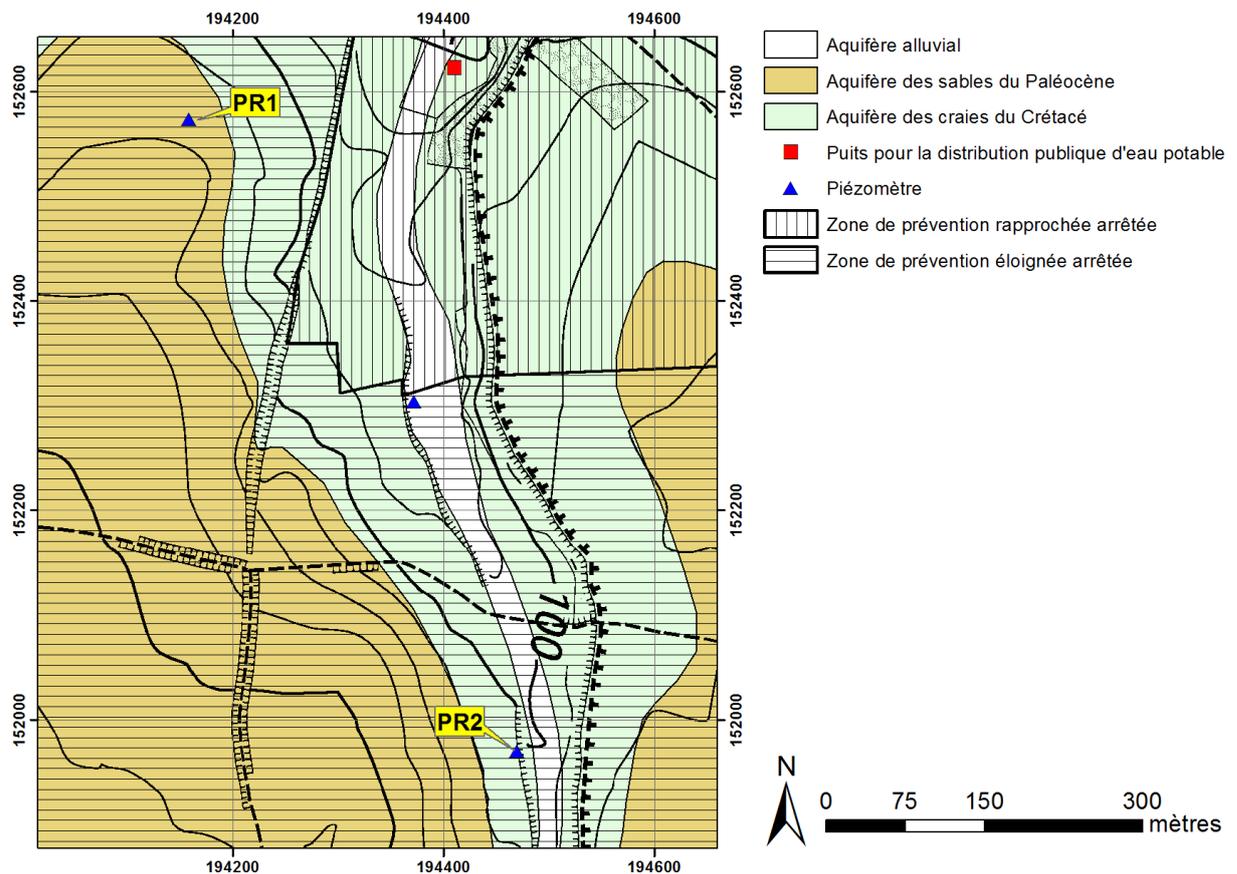


Figure VII.1 : Situation du PR1 et du PR2 sur le site de Jandrain-Jandrenouille

VII.3. PARAMÈTRES DE TRANSPORT

VII.3.1. Aquifère des craies du Crétacé

Le site SWDE de Grand-Hallet (Figure VII.2), anciennement utilisé pour le captage par galerie de l'Aquifère des sables du Paléocène, a été abandonné à cause d'une trop forte teneur en nitrates. Au début des années 1990, il fut choisi pour l'implantation d'un captage par puits dans la nappe sous-jacente des craies du Crétacé.

Un piézomètre (PZ1, 44 m de profondeur) et un puits de reconnaissance (PR1, 45 m de profondeur) ont été creusés à 19,6 m de distance l'un de l'autre (Photo VII.1).

Le site se trouve en rive gauche d'une vallée orientée NO-SE, dont l'écoulement provient de vidange de la nappe phréatique en amont et des sources du Crétacé en aval. Le gradient naturel de la nappe des craies atteint environ 0,4 %. Il est dirigé du piézomètre (PZ1) vers le puits de reconnaissance (PR1).

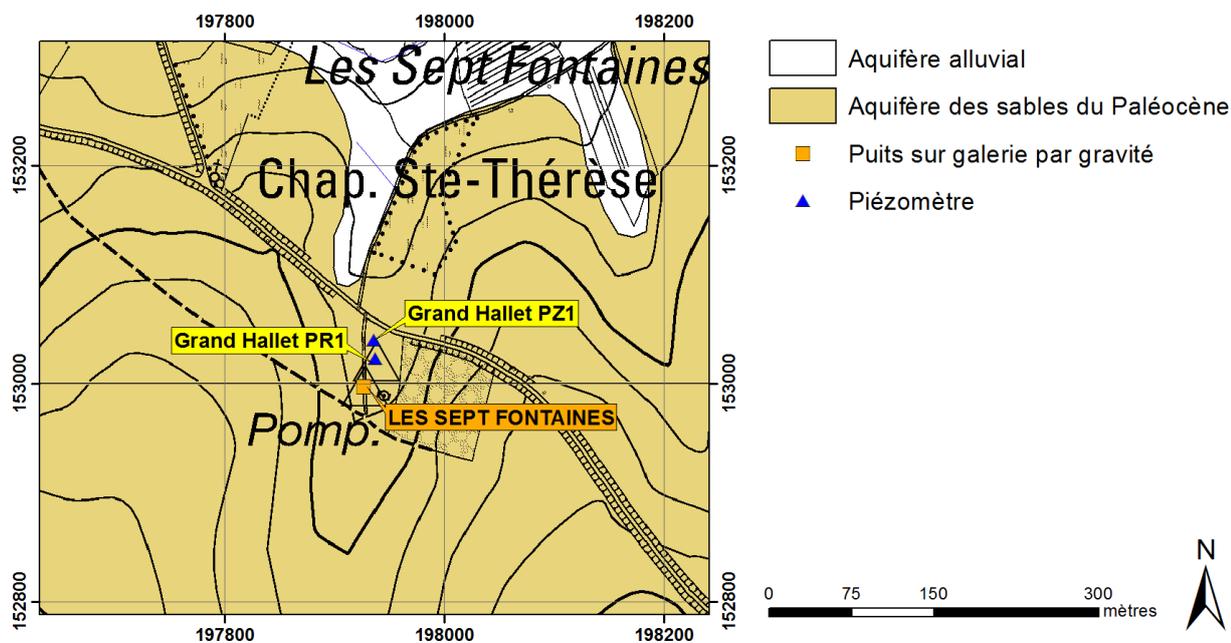


Figure VII.2 : Situation du site SWDE de Grand-Hallet

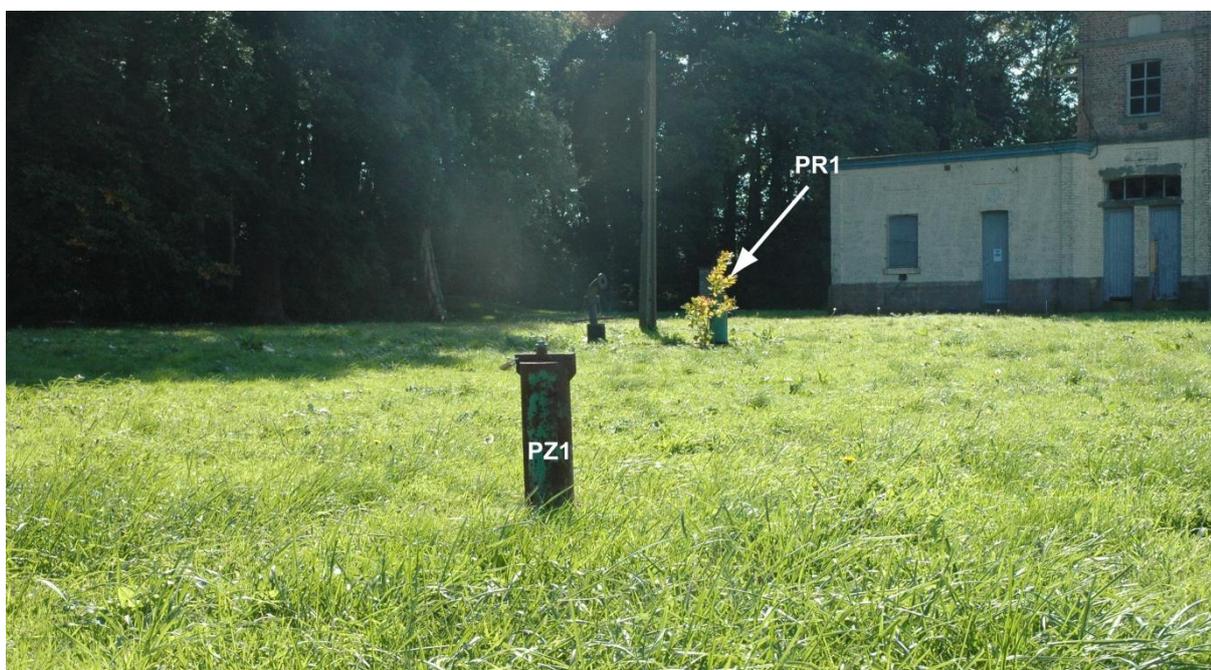


Photo VII.1 : Site de Grand-Hallet et position des PZ1 et PR1

VII.3.1.1. Mise en œuvre des traçages

Deux tests de traçage (9 et 13 juillet 1992) ont été réalisés aux débits de 47 et 97 m³/h (Meus, 1993). Les rabattements stabilisés au puits de reconnaissance et au piézomètre valent respectivement 2,07 et 1,61 m pour le pallier à 47 m³/h, 3,33 et 2,46 m pour celui à 97 m³/h. Les caractéristiques des injections sont résumées dans le **Tableau VII.5**. Dans le premier type d'injection (1), on a injecté en 6 minutes le traceur dilué dans 200 litres d'eau, via un tuyau dont l'extrémité se trouvait à 30 m de profondeur (craie fissurée). Ensuite, durant 6 minutes, 220 litres d'eau claire ont été déversés dans le tuyau pour le vider du traceur (chasse). Enfin, durant 5 minutes, 220 litres ont été à leur tour déversés dans le piézomètre à l'extérieur du tuyau ayant servi à l'injection du traceur, afin

d'empêcher la migration de ce dernier dans la zone d'eau morte au-dessus des 28 m (tube aveugle).

Tableau VII.5 : Caractéristiques des injections dans le PZ1 sur le site de Grand-Hallet (Meus, 1993)

Débit (m ³ /h)	Point d'injection	Distance (m)	Traceur	Quantité (g)	Type d'injection
47	PZ1	19,6	LiCl	3000	(1)
97	PZ1	19,6	Uranine	20	(2)
	PZ1	19,6	KNO ₃	5105	(2)

Dans le second type d'injection (2), le traceur, dilué dans 50 litres, a été déversé en 3 minutes dans le tuyau d'injection et ensuite chassé pendant 4 minutes avec 100 litres d'eau claire.

Dans chaque cas, la fonction d'entrée a été suivie par des mesures de conductivité électrique à l'aide d'une sonde placée à 33 m de profondeur. Les courbes d'étalonnage de la conductivité en fonction des teneurs en LiCl et en KNO₃ (Valentini, 1992) ont ainsi permis d'obtenir les fonctions d'entrée, exprimées en concentration de traceur (Figure VII.3 et Figure VII.4).

Dans les deux cas, le traceur quitte le piézomètre en une dizaine de minutes. Cela peut être considéré comme relativement long comparé au temps de passage du traceur (t_{\max} = 58 minutes à 47 m³/h et t_{\max} = 31 minutes à 97 m³/h).

La chasse dans le piézomètre (type d'injection 1) a eu pour effet de refouler vers le bas le lithium ayant diffusé vers le haut de la colonne au niveau du tube aveugle. Ce refoulement se marque par une légère augmentation de la concentration 12 minutes après le début de l'injection (Figure VII.3).

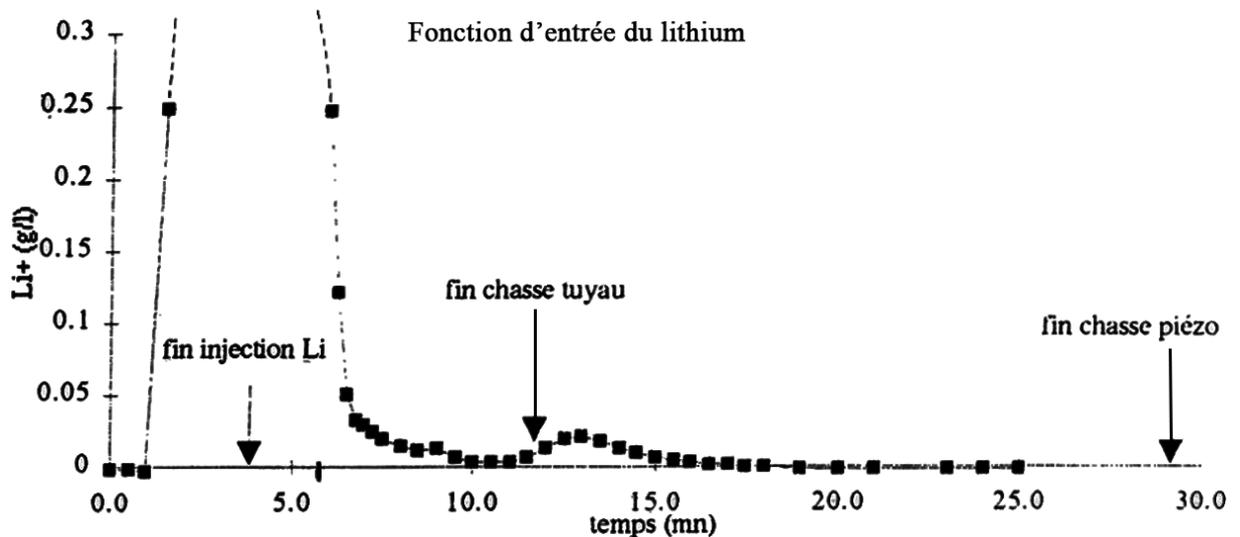


Figure VII.3 : Fonction d'entrée du lithium établie à partir des mesures de conductivité dans le PZ1 à Grand-Hallet (Meus, 1993)

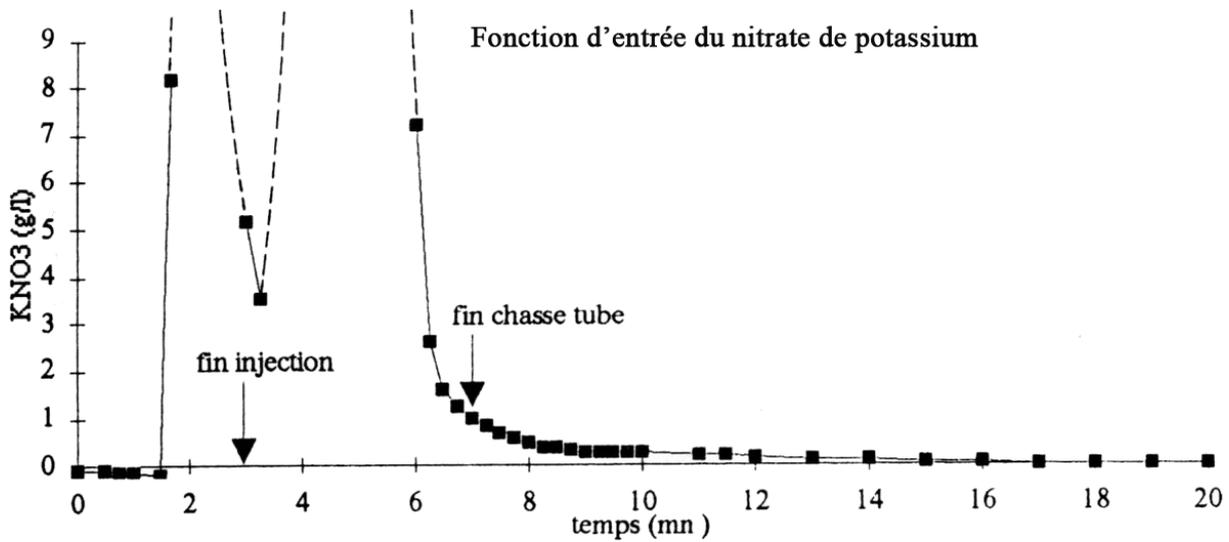


Figure VII.4 : Fonction d'entrée du nitrate de potassium établie à partir des mesures de conductivité dans le PZ1 à Grand-Hallet (Meus, 1993)

VII.3.1.2. Résultats des traçages

Les traceurs sont parvenus très rapidement au PR1. Cela s'explique par l'existence de fissures très perméables joignant le puits au piézomètre, parallèlement à la vallée principale. Les courbes de restitution sont présentées aux Figure VII.5 et Figure VII.6. Leurs caractéristiques sont synthétisées au Tableau VII.6.

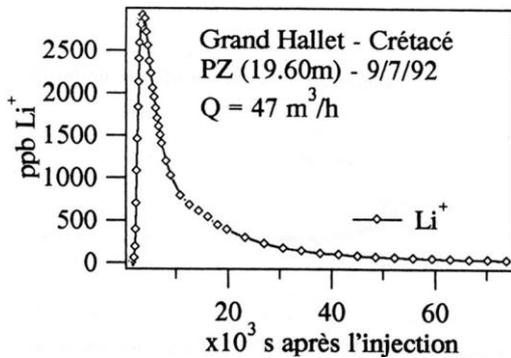


Figure VII.5 : Courbe de restitution au PR1 du lithium injecté au PZ1 à Grand-Hallet (Q = 47 m³/h) d'après Meus (1993)

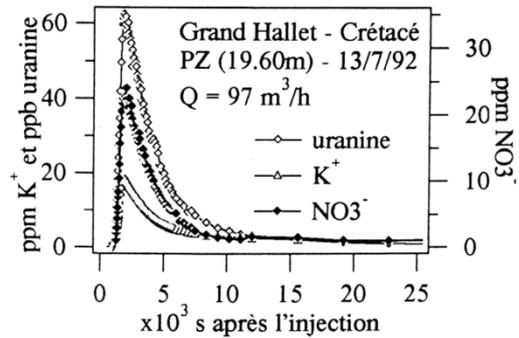


Figure VII.6 : Courbes de restitution au PR1 de l'uranine, du potassium et du nitrate injectés au PZ1 à Grand-Hallet (Q = 97 m³/h) d'après Meus (1993)

Tableau VII.6 : Caractéristiques des courbes de restitution des traçages dans le piézomètre du Crétacé sur le site de Grand-Hallet (Meus, 1993). D = distance en m, M = masse injectée en g, Q = débit de sortie en l/s, V_{max} = vitesse maximale en m/h, V_m = vitesse modale en m/h, V_{app} = vitesse apparente de transit en m/h, V_{moy} = vitesse moyenne de transit en m/h, R = taux de restitution en %.

Relation	D	Traceur	M	Q	V _{max}	V _m	V _{app}	V _{moy}	R
PZ1/PR1	19,6	Li ⁺	500	13	42,00	20,28	4,80	9,77	67
PZ1/PR1	19,6	uranine	20	26,8	65,33	37,94	6,62	18,84	34
PZ1/PR1	19,6	K ⁺	1971	26,8	67,85	37,94	6,19	17,18	80
PZ1/PR1	19,6	NO ₃ ⁻	3133	26,8	56,90	34,59	1,97	12,30	81

Le taux de restitution assez faible du lithium (67 %) peut être attribué, d'une part à l'adsorption, et d'autre part au piégeage d'une partie du traceur dans le piézomètre d'injection.

Les taux de restitution sont plus élevés dans le cas du potassium (80 %) et du nitrate (81 %). Cela pourrait être lié aux raisons suivantes :

- moins de phénomènes d'adsorption ;
- moins de piégeage dans le piézomètre, grâce d'une part au plus grand débit, et d'autre part au mode d'injection plus efficace.

Le taux de restitution de l'uranine est relativement faible (34 %), malgré la rapidité du passage. C'est pourtant l'un des taux de restitution les plus élevés que l'on ait observé dans la craie de Hesbaye. Les pertes pourraient provenir de l'adsorption (sur les argiles au toit et au mur de l'aquifère), du piégeage dans le piézomètre ou encore d'une diffusion du traceur en dehors du cône d'appel du pompage (moins probable vu le gradient naturel en direction du PR1 et l'importance du débit).

Ces traçages n'ont pas fait l'objet d'une modélisation et par conséquent les paramètres de transport n'ont pas été définis.

VII.3.2. Aquifère des sables du Paléocène

Au début des années 1990, des traçages ont été réalisés au niveau de piézomètre installés autour de la station d'épuration de Bertrée (*Meus, 1993*). L'ensemble du site est aujourd'hui hors service et totalement remblayé. Il est cependant intéressant de présenter ici les résultats obtenus à l'époque, ils caractérisent l'aquifère des sables et tuffeaux du Thanétien (anc. Landénien, Formation de Hannut, Aquifère des sables du Paléocène) situés entre 3 et 16 m de profondeur.

Les situations des piézomètres (Pz1 à Pz11) et du puits de pompage (P1) sont reprises à la [Figure VII.7](#) de même que la piézométrie de la nappe en écoulement naturel.

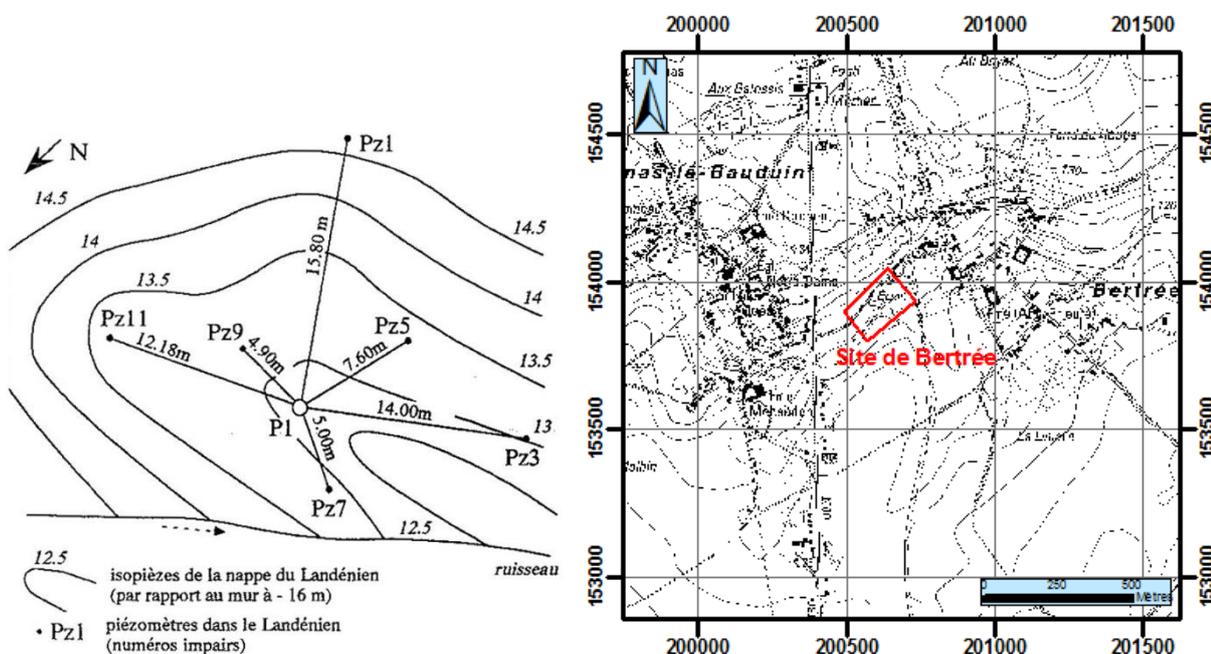


Figure VII.7 : Situation du puits P1 et des piézomètres dans la nappe des sables du Paléocène à Bertrée. Carte piézométrique de la nappe avant pompage (Meus, 1993)

VII.3.2.1. Mise en œuvre des traçages

Deux expériences de traçage (26 février et 23 avril 1991) ont été réalisées avec le même débit au puits de restitution, P1 (10 m³/h). Dans la première, deux directions (Pz1 et Pz9) ont été testées en utilisant des traceurs salins (NaCl, LiCl, KI, KNO₃) et fluorescents (uranine, rhodamine B). Dans la seconde, trois directions ont été testées (Pz1, Pz7 et Pz9) avec les mêmes traceurs, à l'exception de la rhodamine B (au rendement médiocre). Les caractéristiques des injections sont rassemblées dans le Tableau VII.7 ; toutes les injections ont eu lieu à 12 m de profondeur. Les prélèvements ont eu lieu à la sortie du puits P1.

Tableau VII.7 : Caractéristiques des injections dans les piézomètres des sables landéniens (actuellement thanétiens) sur le site Bertrée (Meus, 1993)

Débit (m ³ /h)	Piezomètre d'injection	Distance (m)	Traceur	Quantité (g)	Type d'injection
1 ^{er} test : 10	Pz1	15,8	uranine	4	(1)
	Pz1	15,8	LiCl	2000	(1)
	Pz1	15,8	NaCl	10636	(1)
	Pz9	4,9	KI	207	(2)
	Pz9	4,9	rhodamine B	1	(2)
	Pz9	4,9	KNO ₃	5130	(2)
2 ^{ème} test : 10	Pz1	15,8	uranine	100	(3)
	Pz1	15,8	LiCl	2000	(3)
	Pz9	4,9	KI	2000	(2)
	Pz9	4,9	KNO ₃	5000	(2)
	Pz7	5,0	NaCl	10735	(2)

Le type d'injection (1) correspond à une injection plus ou moins continue pendant 6 heures avec un débit de 8 l/h à l'aide d'un vase de Mariotte. Cette injection a été suivie

d'une chasse avec un débit de $0,25 \text{ m}^3/\text{h}$, 1 m au-dessus et 1 m en-dessous du niveau d'injection.

Le type (2) est une injection spontanée avec une chasse au-dessus et en-dessous, comme dans le cas précédent, mais avec un débit de $0,25 \text{ m}^3/\text{h}$ pour le premier et de $2,2 \text{ m}^3/\text{h}$ pour le second.

Le type (3) consiste en une injection continue à l'aide d'une pompe doseuse pendant 16 heures avec une chasse au-dessus et en-dessous ($Q = 0,25 \text{ m}^3/\text{h}$).

VII.3.2.2. Résultats des traçages

Les courbes de restitution des traceurs au cours du premier test sont présentées aux Figure VII.8 et Figure VII.9, celles du second test aux Figure VII.10, Figure VII.11 et Figure VII.12. Leurs caractéristiques sont reprises au Tableau VII.8.

Tableau VII.8 : Caractéristiques des courbes de restitution des traçages dans les piézomètres des sables landéniens sur l'ancien site de Bertrée (Meus, 1993). D = distance en m, M = masse injectée en g, Q = débit de sortie en l/s, V_{\max} = vitesse maximale en m/h, V_m = vitesse modale en m/h, V_{app} = vitesse apparente de transit en m/h, V_{moy} = vitesse moyenne de transit en m/h, R = taux de restitution en %

Relation	D	Traceur	M	Q	V_{\max}	V_m	V_{app}	V_{moy}	R
Pz1/P1 1 ^{er} test	15,8	uranine	4	2,78	27,09	1,39	0,57	0,94	4
Pz1/P1 1 ^{er} test	15,8	Na^+	4217	2,78	2,02	1,53	0,66	0,90	12
Pz1/P1 1 ^{er} test	15,8	Li^+	191	2,78	70,20	1,28	0,58	0,92	17
Pz9/P1 1 ^{er} test	4,9	NO_3^-	3149	2,78	19,60	1,50	0,31	1,38	42
Pz1/P1 2 ^{ème} test	15,8	uranine	100	2,78	31,60	0,57	0,25	0,41	13
Pz1/P1 2 ^{ème} test	15,8	Li^+	333	2,78	15,80	0,74	0,32	0,58	30
Pz9/P1 2 ^{ème} test	4,9	I^-	1530	2,78	30,95	1,96	0,16	0,84	60
Pz9/P1 2 ^{ème} test	4,9	NO_3^-	3072	2,78	19,60	2,15	0,88	1,57	30
Pz7/P1 2 ^{ème} test	5,0	Na^+	4256	2,78	1,43	0,42	0,14	1,73	9

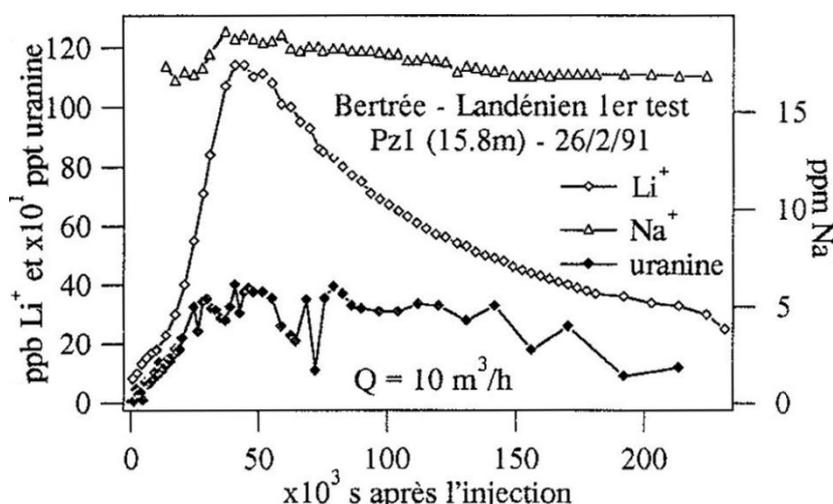


Figure VII.8 : Courbes de restitution au P1 de l'uranine, du lithium et du sodium injectés au Pz1 lors du premier test dans la nappe des sables landéniens (act. thanétiens) à Bertrée (Meus, 1993)

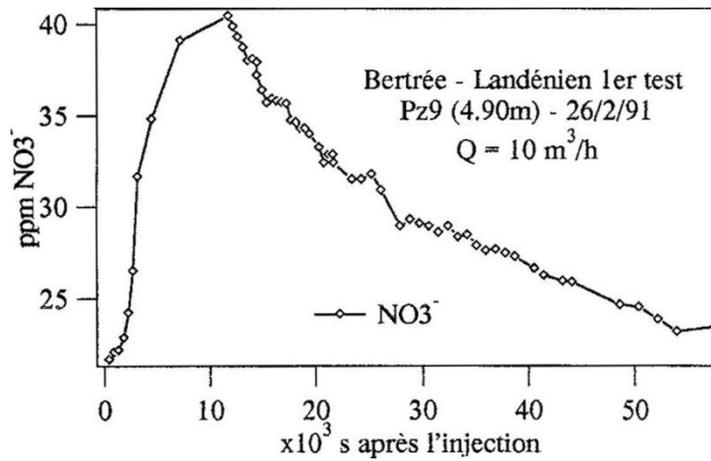


Figure VII.9 : Courbe de restitution au P1 du nitrate injecté au Pz9 lors du premier test dans la nappe des sables landéniens (act. thanétiens) à Bertrée (Meus, 1993)

Malgré les transmissivités plus élevées des sables du Paléocène, les vitesses modales sont nettement inférieures à celles observées dans le Crétacé (entre 20 et 38 m/h, cf. VII.3.1.2). Cette différence provient de l'existence de fissures plus larges dans l'aquifère crayeux et surtout du rôle plus important de la porosité de pores dans l'aquifère des sables. L'épaisseur de l'aquifère pourrait également avoir une influence.

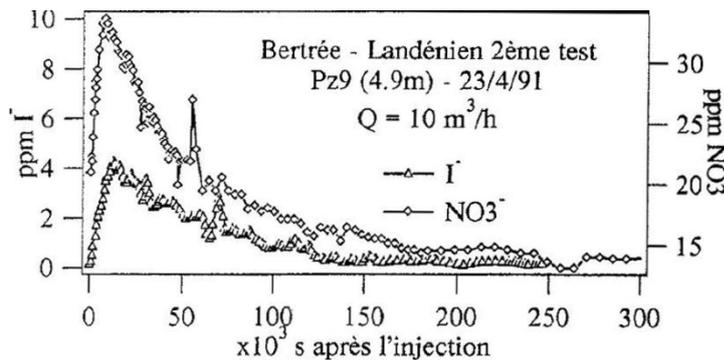


Figure VII.10 : Courbes de restitution au P1 de l'iodure et du nitrate injectés au Pz9 lors du second test dans la nappe des sables landéniens (act. thanétiens) à Bertrée (Meus, 1993)

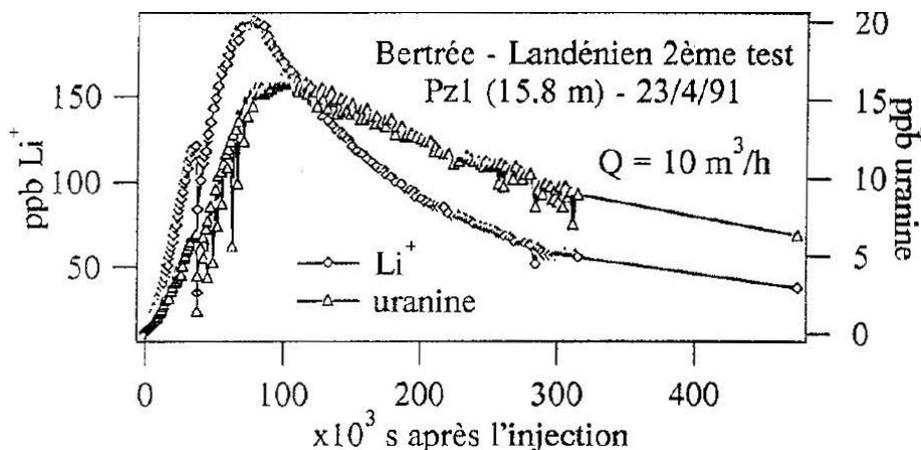


Figure VII.11 : Courbes de restitution au P1 de l'uranine et du lithium injectés au Pz1 lors du second test dans la nappe des sables landéniens (act. thanétiens) à Bertrée (Meus, 1993)

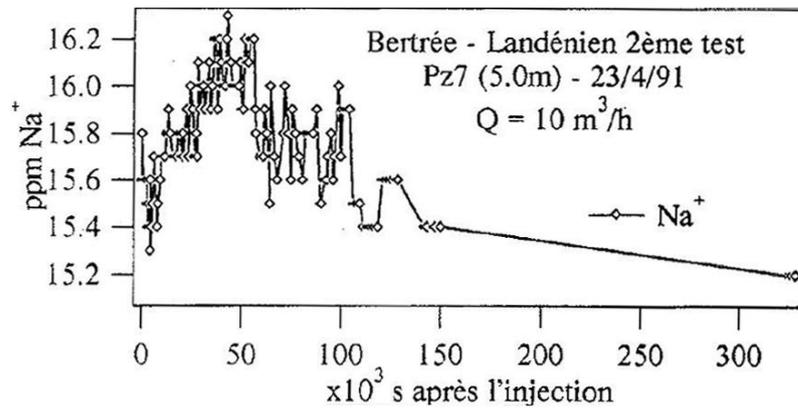


Figure VII.12 : Courbe de restitution au P1 du sodium injecté au Pz7 lors du second test dans la nappe des sables paléocènes à Bertrée (Meus, 1993)

L'importance de la porosité de pores du Landénien (act. Thanétien) est confirmée par les taux de restitution très faibles, dus au piégeage des traceurs dans la matrice, soit par adsorption à la surface des argiles, soit par diffusion vers l'eau immobile.

Comparée aux autres traceurs, l'uranine semble être la plus affectée par les pertes (Restitution = 4 et 13 %). Elle est, d'une part, plus sorptive et, d'autre part, plus diffuse en raison de sa taille moléculaire. Ces phénomènes sont responsables du retard (par rapport au lithium injecté au même endroit) observé sur le graphique de la Figure VII.11.

A l'exception d'un taux de restitution plus faible pour le nitrate (30 % contre 60 % pour l'iode), l'iode et le nitrate ont des comportements très proches (Figure VII.10). Le nitrate subit sans doute des réactions chimiques ou biologiques dans la nappe. L'iode peut presque être considéré comme un traceur idéal.

VII.3.2.3. Modélisation des traçages

Suite à ces différents traçages, des modélisations ont été réalisées par discrétisation dans le cadre d'une thèse de doctorat (Biver, 1993) ; le lecteur intéressé par la méthodologie de la modélisation pourra s'y référer. Seuls les paramètres de transport résultants de ces modélisations seront présentés ici.

Pour le premier test, les traçages au lithium et au nitrate ont été modélisés. Les paramètres de transport sont résumés au Tableau VII.9 avec :

- a_T : dispersivité transversale dans un fluide interstitiel d'un milieu poreux (m) ;
- a_L : dispersivité longitudinale dans un fluide interstitiel d'un milieu poreux (m) ;
- α_d^* : constante de transfert de l'eau mobile vers l'eau immobile (s^{-1}) ;
- R_d : coefficient de retard dans une phase, dû à l'adsorption (m : dans l'eau mobile, im : dans l'eau immobile).

Tableau VII.9 : Paramètres de transport pour le 1^{er} test (Biver, 1993)

Relation	Traceur	a_T	a_L	α_d	Rd_m	Rd_{im}
Pz1/P1 1 ^{er} test	Li ⁺	0,25	6,00	$3,6 \cdot 10^{-8}$	1,0	1,0
Pz9/P1 1 ^{er} test	NO ₃ ⁻	0,10	2,50	$3,0 \cdot 10^{-7}$	1,0	1,0

Les paramètres de transport pour le second test sont repris ci-dessous dans le **Tableau VII.10**.

Tableau VII.10 : Paramètres de transport pour le 2nd test (Biver, 1993)

Relation	Traceur	a_T	a_L	α_d	Rd_m	Rd_{im}
Pz1/P1 2 ^{ème} test	Li ⁺	0,30	6,00	$3,6 \cdot 10^{-8}$	1,0	1,0
Pz1/P1 2 ^{ème} test	uranine	0,35	7,00	$7,5 \cdot 10^{-8}$	1,6	1,6
Pz9/P1 2 ^{ème} test	NO ₃ ⁻	0,10	2,50	$4,0 \cdot 10^{-7}$	1,0	1,0
Pz9/P1 2 ^{ème} test	I ⁻	0,16	3,20	$4,0 \cdot 10^{-7}$	1,0	1,0

VIII. ZONES DE PROTECTION

VIII.1. CADRE LÉGAL

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

Afin de limiter les risques de contamination des captages, des périmètres de prévention doivent être mis en place. La législation wallonne⁷ définit 4 niveaux de protection à mesure que l'on s'éloigne du captage (Figure VIII.1) : zones de prise d'eau (Zone I), de prévention (Zones IIa et IIb) et de surveillance (Zone III).

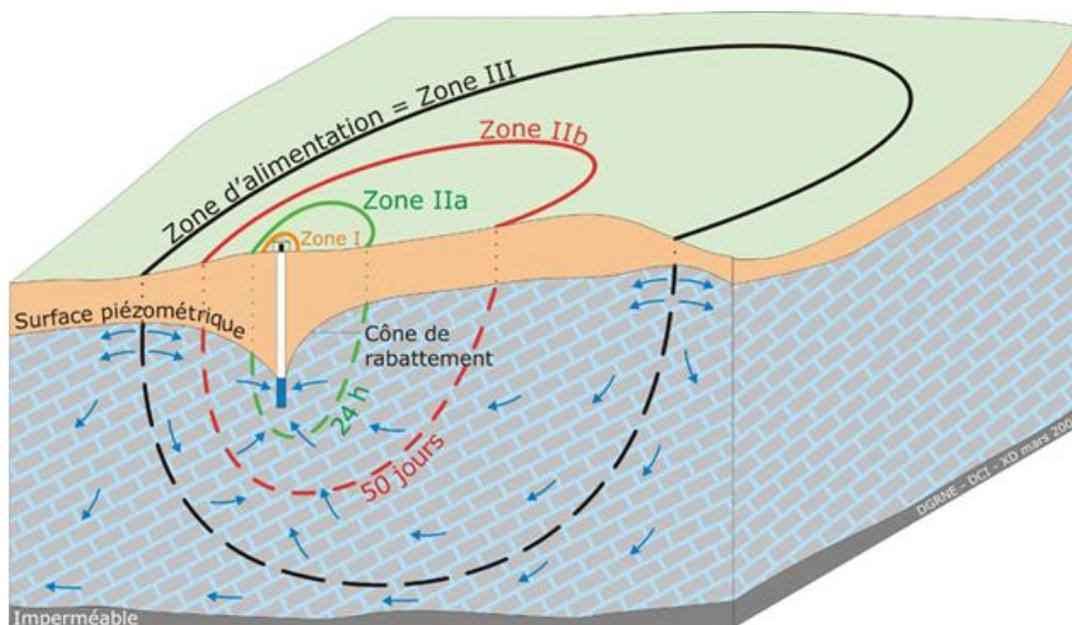


Figure VIII.1 : Zones de protection en Région Wallonne (SPW-DGO3, 2015)

VIII.1.1. Zone de prise d'eau ou zone I

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

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

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

⁷ 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 (M.B. du 12/04/2005, p. 15068).

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 :

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

A défaut de données suffisantes permettant de définir la zone IIa selon le critère des temps de transfert, la législation suggère de délimiter la zone IIa par une ligne située à une distance horizontale minimale de 35 m à partir des installations de surface, dans le cas d'un puits, et par deux lignes situées à 25 m au minimum de part et d'autre de la projection en surface de l'axe longitudinal dans le cas d'une galerie. En milieu karstique, tous les points préférentiels de pénétration (doline et pertes) dont la liaison avec le captage est établie sont classés en zone IIa.

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

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

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

VIII.1.3. Zone de surveillance

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

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

VIII.1.4. Mesures de protection

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 2009⁸.

La Société publique de Gestion de l'Eau⁹ assure la gestion financière des dossiers concernant la protection des eaux potabilisables distribuées par réseaux, par le biais de contrats de service passés avec les producteurs d'eau. Pour financer les recherches relatives à la délimitation des zones de prévention et indemniser tout particulier ou toute société dont les biens doivent être mis en conformité avec la législation, une redevance est prélevée sur chaque m³ fourni par les sociétés de distribution d'eau.

La DGARNE met à la disposition du public un site Internet où sont exposées les différentes étapes nécessaires à la détermination des zones de prévention et de surveillance en Région wallonne¹⁰.

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 la carte de chaque zone actuellement soumise à l'enquête publique¹¹.

VIII.1.5. Les zones de protection en Flandre

La carte Landen - Hannut - Montenaken est partiellement située en Flandre. Parmi les données cartographiées sur la carte hydrogéologique de Wallonie, se trouvent les zones de protection. La définition de ces zones en Flandre diffère de celle en usage en Wallonie.

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 m 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 ;

⁸ 12 février 2009: AGW modifiant le Livre II du Code de l'Environnement constituant les Code de l'Eau en 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).

⁹ SPGE, instituée par le décret du 15 avril 1999

¹⁰ <http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas>

¹¹ http://environnement.wallonie.be/zones_prevention/

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 : <http://www.vmm.be> ;
- Databank Ondergrond Vlaanderen <http://dov.vlaanderen.be>.

VIII.2. ZONES DE PRÉVENTION AUTOUR DES CAPTAGES

L'ensemble des captages qui sont destinés à une distribution publique d'eau ou à l'industrie alimentaire devra, dans un futur plus ou moins proche, faire l'objet d'une étude de délimitation des zones de prévention rapprochée et éloignée. Cette étude sera proposée à la Direction des Eaux Souterraines de la DGARNE et approuvée par arrêté ministériel, après éventuelle révision. Les zones de prévention qui doivent être définies sont symbolisées, sur la carte principale accompagnant cette notice, par un triangle vide centré sur les captages concernés.

VIII.2.1. Zones de prévention arrêtées

A la date d'août 2018, la carte Landen – Hannut - Montenaken comptait deux zones de prévention arrêtées :

- La zone de prévention du captage « Jandrain-Jandrenouille P1, P2, P3 » ;
- La zone de prévention du captage « Jandrain G1 (Pissaumont) ».

Ces deux zones de prévention sont à cheval entre la carte 40/3-4 Jodoigne – Jauche et 41/1-2 Hannut – Montenaken.

La zone de prévention du captage de « Jandrain-Jandrenouille P1, P2, P3 » se trouve en grande partie sur le territoire de la carte 41/1-2 (Figure VIII.2). Il s'agit d'un captage de la S.W.D.E. Cette zone de prévention est arrêtée depuis 2002. Les détails administratifs sont renseignés au Tableau VIII.1.

La zone de prévention du captage de « Jandrain G1 (Pissaumont) » est principalement sur le territoire de la carte 40/3-4 Jodoigne – Jauche (Figure VIII.2). Il s'agit également d'un captage de la S.W.D.E. Cette zone de prévention est arrêtée depuis 2002. Les détails administratifs sont renseignés au Tableau VIII.1.

Tableau VIII.1 : Détails administratifs de la zone de prévention de Jandrain-Jandrenouille

Code de la zone	Nom des captages	Date de l'arrêté	Publication au moniteur belge	Url arrêté ministériel
SWDE044	Jandrain-Jandrenouille P1, P2, P3	23/08/2002	14/09/2002	http://environnement.wallonie.be/legis/EAU/easou029.htm
SWDE220	Jandrain G 1 (Pissaumont)	31/01/2013	1/03/2013	http://environnement.wallonie.be/legis/eau/easou221.html

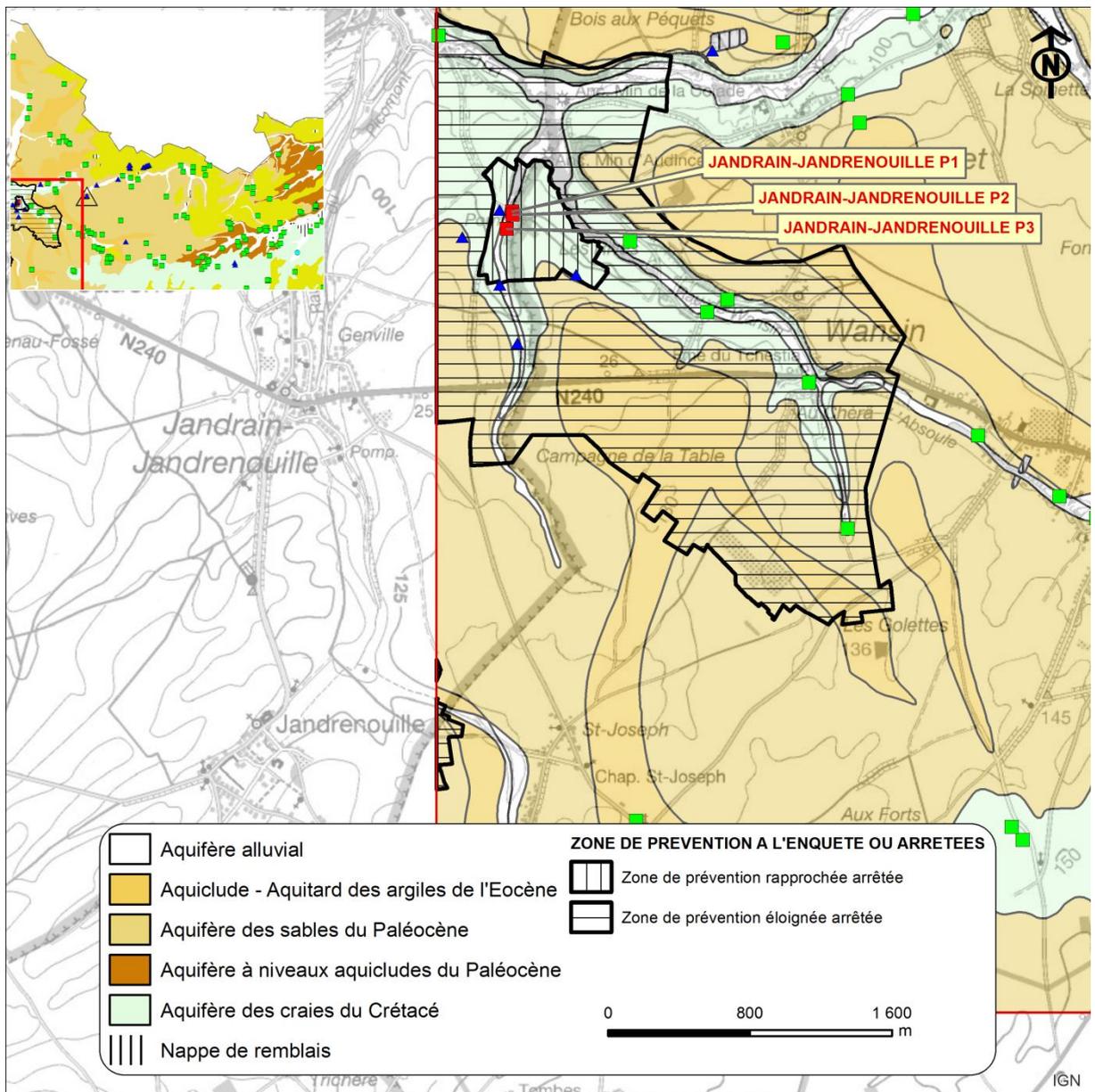


Figure VIII.2 : Localisation des zones de prévention des captages de la S.W.D.E. « Jandrain-Jandrenouille P1, P2, P3 » et « Jandrain G1 (Pissaumont) ».

VIII.2.2. Zones de prévention à définir

La galerie 'LES SEPT FONTAINES' et le puits de reconnaissance 'Grand Hallet PR1', situés sur le site S.W.D.E. de Grand Hallet (Figure VIII.3), sont actuellement en attente d'une zone de prévention en vue d'une exploitation future.

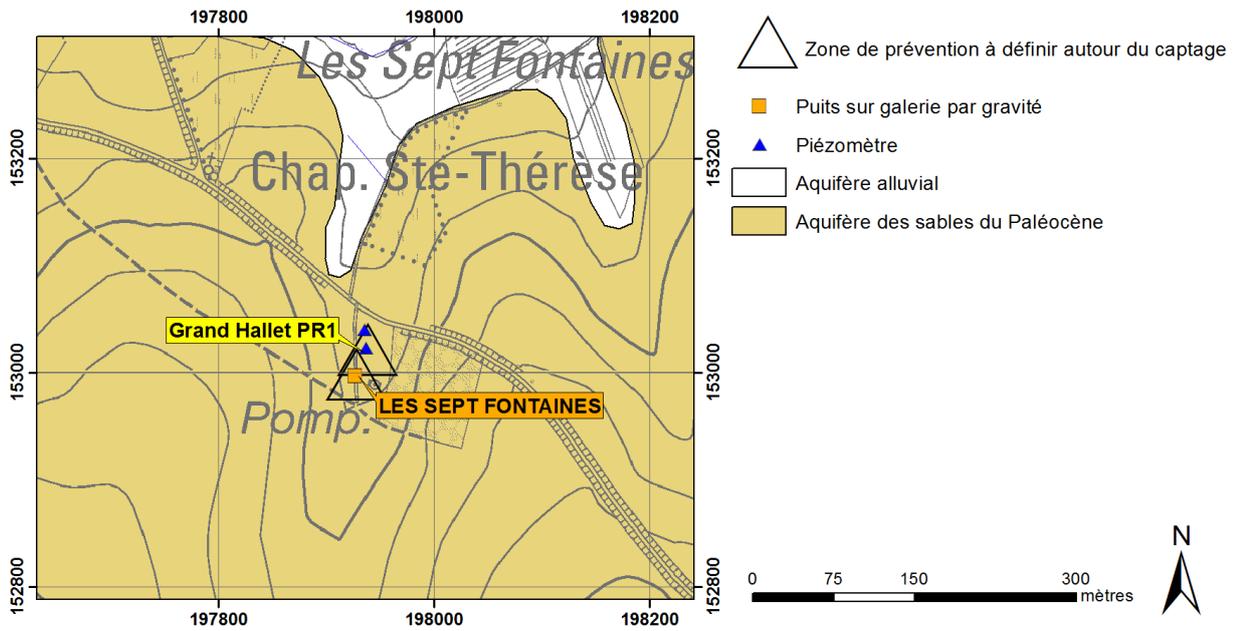


Figure VIII.3 : Situations des captages en attente d'une zone de prévention sur la carte Landen - Hannut – Montenaken

IX. METHODOLOGIE DE L'ELABORATION DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE

Le présent chapitre donne les principales sources d'informations géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques utilisées. Il décrit également l'utilisation de ces données, l'encodage et l'interprétation qui a été faite, permettant la réalisation de la carte hydrogéologique de Wallonie 33/5 & 41/1-2 Landen - Hannut - Montenaken et de sa notice explicative. La structure des posters au format A0 est également présentée.

IX.1. ORIGINE DES DONNÉES

IX.1.1. Données géologiques

La carte géologique servant de base à la carte hydrogéologique est celle établie en 2015 par J.-L. Pingot. Grâce à la description des lithologies des différentes formations géologiques, il est possible de caractériser les différentes unités hydrogéologiques en y apportant diverses nuances. D'autres données géologiques proviennent des descriptions de forages, disponibles principalement auprès du Service Géologique de Belgique, des sociétés de distribution d'eau, des foreurs et à partir d'études géologiques et hydrogéologiques diverses.

Des discontinuités avec les cartes voisines entre les limites géologiques et/ou hydrogéologiques peuvent apparaître. Ces disparités sont le résultat de l'utilisation de fonds géologiques de générations différentes. La méthode de levé des nouvelles cartes géologiques est différente de celle employée auparavant (*Dejonghe, 2007*), ainsi des discontinuités entre les unités géologiques existent entre les différentes générations de cartes. 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. Pour la présente carte, c'est le cas au sud avec la planche 41/5-6 Wasseiges - Braives et à l'est avec la planche 41/3-4 Waremme - Momalle, établies sur base des cartes géologiques au 1/40 000 du Service Géologique de Belgique levées, respectivement en 1903 et 1902.

IX.1.2. Données météorologiques

Une station météorologique de l'IRM est présente sur la carte, il s'agit de la station G8 située à Thisnes. Elle mesure quotidiennement les températures et précipitations.

IX.1.3. Données hydrogéologiques

IX.1.3.1. Localisation des ouvrages et des sources

Dans la base de données hydrogéologiques de la Région Wallonne, 167 ouvrages ont été encodés. La plupart de ces ouvrages ont été visités sur le terrain. Pour la plupart,

leur position géographique a pu être corrigée, leurs type et profondeur ont pu être déterminés et une mesure de niveau d'eau a été réalisée lorsque c'était possible (tête de puits accessible). Le travail d'enquête auprès des habitants de la région permet aussi d'obtenir d'autres renseignements concernant les ouvrages.

Au final, après mise à jour, 167 ouvrages ont été recensés en 2016 et reportés sur la carte hydrogéologique 33/5 & 41/1-2 Landen - Hannut - Montenaken. Cet ensemble est constitué de 3 puits pour la distribution publique d'eau potable, 131 autres puits possédant une autorisation d'exploitation, 1 puits sur galerie par gravité, 2 prélèvements d'eau de surface, 1 source, 27 piézomètre et 2 sondes géothermiques.

IX.1.3.2. Données piézométriques

Lors de la réalisation de la carte hydrogéologique (1^oversion), une campagne de mesure a été menée en 2008-2009. 39 ouvrages ont été visités et relevés. Les mesures piézométriques sont présentées sur la carte principale du poster A0.

Sur la carte principale du poster A0, ces mesures ponctuelles sont reportées :

Tableau IX.1. Nombre de mesures reportées sur la carte principale

Unité hydrogéologique	Nombre de mesures reportées
Aquiclude – aquitard des argiles de l'Eocène	1
Aquifère des sables du Paléocène	20
Aquifère des craies du Crétacé	18

Pour l'Aquifère des craies du Crétacé, les isopièzes résultants d'une campagne piézométrique menée en Hesbaye de janvier à avril 2008 ([Orban, 2008](#) ; [Ruthy & Dassargues, 2009](#)) sont également représentés.

Sur la carte, deux ouvrages, équipés de stations automatisées, font partie du réseau de surveillance piézométrique du SPW (PIEZ'EAU) : le puits 'P1 BERTREE' à Bertrée (Aquifère des sables du Paléocène) et le piézomètre 'HSB.3' à Geer (Aquifère des craies du Crétacé).

IX.1.3.3. Données hydrochimiques

Les données hydrochimiques proviennent de la banque de données CALYPSO (Qualité des Eaux Potabilisables et Souterraines) de la Région wallonne. Les analyses les plus complètes et les plus récentes possibles sont présentées. La qualité des eaux est ensuite discutée et comparée entre les différentes unités hydrogéologiques.

Sur l'ensemble de la carte, sont dénombrés 40 ouvrages caractérisés par un total de 13 500 analyses chimiques.

IX.1.3.4. Autres données

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

IX.2. MÉTHODOLOGIE DE CONSTRUCTION DE LA CARTE

IX.2.1. Base de données hydrogéologiques

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

Une partie de ces données proviennent du Service public de Wallonie via les banques de données « 10-sous¹² », « calypso¹³ » et « piez'eau¹⁴ » et certaines d'entre elles sont accessibles gratuitement via le web. Une autre partie des données hydrogéologiques proviennent des bureaux d'étude, des sociétés de distribution, parfois des particuliers et/ou directement de campagnes sur le terrain lors de la réalisation des cartes. Toutes ces données ont été encodées dans BD HYDRO (*Wojda et al., 2005*) ; une base de données hydrogéologiques géorelationnelle (*Gogu, 2000 ; Gogu et al., 2001*). Cette dernière n'est accessible que sur demande via le SPW¹⁵.

IX.2.2. Construction de la carte hydrogéologique

Le projet cartographique est développé sous ArcGIS – ESRI. Toutes les données collectées sont structurées dans une GeoDataBase (GDB). Les couches d'informations qui composent cette base de données sont ensuite intégrées au projet cartographique.

IX.3. PRÉSENTATION DES POSTERS A0

La carte hydrogéologique se compose de plusieurs éléments :

La feuille 1/2 qui reprend :

- la carte hydrogéologique principale au 1/25 000 ;
- la coupe hydrogéologique ;

¹² <http://carto1.wallonie.be/10SousInt>

¹³ Les données hydrochimiques de calypso sont accessibles via 10-sous par « requête géocentrique »

¹⁴ <http://piezo.environnement.wallonie.be>

¹⁵ Direction des eaux souterraines (DESO).

- le tableau de correspondance entre la géologie et l'hydrogéologie ;
- la carte de Belgique (au 1/5 000 000) où est localisée la carte étudiée.

La feuille 2/2 qui comprend :

- les cartes thématiques au 1/50 000 :
 - carte des informations complémentaires et des caractères de couverture des nappes ;
 - carte des volumes d'eau prélevés ;
 - carte des isohypses de la base et du toit des aquifères ;
- la carte de Belgique (au 1/5 000 000) où est localisée la carte étudiée.

IX.3.1. Carte hydrogéologique principale

La carte principale comprend plusieurs couches d'information :

- le fond topographique de la carte IGN au 1/10 000 ;
- le réseau hydrographique ;
- les unités hydrogéologiques ;
- la localisation des points d'eau constitués par :
 - des puits des sociétés de distribution d'eau ;
 - des puits de sociétés industrielles ;
 - des puits privés exploités et déclarés au Service Public de Wallonie ;
 - des puits non exploités ;
 - un puits d'accès à une galerie ;
 - des piézomètres ;
 - des prélèvements d'eau de surface ;
 - des sondes géothermiques ;
 - les captages actifs en région flamande (données DOV) ;
 - les piézomètres et réseau de mesures en région flamande (données DOV) ;
- une station climatique ;
- une carrière souterraine ;
- les sens probables d'écoulement souterrain ;
- les cotes piézométriques ponctuelles pour les différentes unités hydrogéologiques rencontrées, avec la date de la mesure ;
- le trait localisant le tracé de la coupe hydrogéologique ;
- les zones de prévention arrêtées ;
- les points de captage en attente de la définition de leur zone de prévention.

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

Cette carte localise différents sites pour lesquels des données quantitatives ou qualitatives existent (analyses chimiques, essais de pompage, essais de traçages, diagraphie). Elle reprend l'extension de la zone vulnérable aux nitrates du « Crétacé de Hesbaye » et du « Nord du sillon de la Sambre et de la Meuse ». Elle reprend également l'extension des zones vulnérables en Région Flamande. Le caractère (libre, captif, semi-captif) de la nappe des craies du Crétacé est également figuré.

IX.3.3. Carte des volumes prélevés

Cette carte situe l'ensemble des ouvrages recensés et existants en 2016 sur l'étendue de la carte, en discernant :

- les ouvrages (puits, piézomètre, sources,...) différenciés selon l'aquifère qu'ils sollicitent. Les couleurs des symboles utilisés sont en relation avec la couleur de la nappe sollicitée ;
- les volumes déclarés pour l'année 2016 pour la distribution publique d'eau potable représentés par des pastilles rouges de diamètre proportionnel aux débits captés ;
- les volumes déclarés pour l'année 2016 par les puits privés exploités par des particuliers ou des industries représentés par des pastilles vertes de diamètre proportionnel aux débits captés ;
- les volumes moyens prélevés, correspondant à la moyenne des cinq dernières années (2012-2016), basés sur les déclarations des titulaires des prises d'eau. Ils reflètent simplement l'importance d'un site d'exploitation pendant les cinq années considérées.

IX.3.4. Carte des isohypses

Les isohypses du toit du socle paléozoïque du Massif du Brabant ont été tracées au 1/200 000 en 2005 par le Service Géologique (SGB), dépendant de l'Institut Royal Belge des Sciences Naturelles (IRBSN) ; la version numérique est fournie par la Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV). L'extrait correspondant à la planche de la carte a été repris au 1/50 000. Les isohypses extraits sont tracés en rouge sur la carte thématique des isohypses. Les cotes ponctuelles du toit des sables paléocènes et du toit des craies du Crétacé sont également indiquées.

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

Le tableau lithostratigraphique reprend la liste des différentes formations géologiques et unités hydrogéologiques susceptibles d'être rencontrées sur l'étendue de la carte. La description lithologique des formations géologiques fait référence à la carte géologique dressée par J.-L. Pingot (2015).

IX.3.6. Coupe hydrogéologique

Parmi les éléments présentés sur la feuille 1/2 de la carte hydrogéologique figure la coupe hydrogéologique à l'échelle horizontale 1/25 000 et avec une exagération des hauteurs de 10X (échelle verticale 1/2 500). Elle permet de comprendre le contexte géologique et hydrogéologique de la région. La coupe a été tracée d'après la coupe cc' de la Carte Géologique de Wallonie de Pingot (2015) sur laquelle ont été ajoutées des informations ponctuelles sur les niveaux d'eau souterraine.

IX.3.7. Avertissement

Les cartes hydrogéologiques ont pour objectif de répondre aux besoins de toute personne, société ou institution concernée par la problématique et la gestion des ressources en eau tant au niveau quantitatif que qualitatif et de mettre à disposition une documentation synthétique et aisément accessible relative à l'hydrogéologie d'une région.

Le poster et la notice fournis ne prétendent pas à une précision absolue en raison de la non-exhaustivité des données, de l'évolution de celles-ci et des interprétations nécessaires à leur établissement. Ils n'ont pour but que d'aider les hydrogéologues à prévoir le contexte général qu'ils peuvent rencontrer et l'ampleur des études nécessaires. La carte et la notice constituent un instrument de synthèse et d'orientation et ne dispensent en aucune façon de recherches complémentaires en fonction de sites particuliers et de projets définis.

X. BIBLIOGRAPHIE

André, L., Hertogen, J. et Deutsch, S., 1986

Ordovician - Silurian magmatic provinces in Belgium and the Caledonian orogeny in middle Europe. *Geology*, 14, 879–882.

Biver, P., 1993

Etude phénoménologique et numérique de la propagation de polluants miscibles dans un milieu à porosité multiple (application au transport des nitrates dans l'aquifère crayeux du Crétacé de Hesbaye). *Thèse de Doctorat, ULg – LGIH*, 313 p.

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

Genèse du sous-sol de la Wallonie, Académie royale de Belgique, Mémoire de la Classe des Sciences, Tome XXXIV, n°2082, 190 p.

Boulvain, F. et Pingot, J.-L., 2016

Introduction à la géologie de la Wallonie, *Université de Liège*, <http://www2.ulg.ac.be/geolsed/geolwal/geolwal.htm>

Castany, G., 1998

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

Dassargues, A., 2010

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

Dassargues, A. et Monjoie, A., 1993

Hydrogeology of the chalk of North-West Europe, chapter 8 : Chalk as an aquifer in Belgium, *Oxford University Press*, 153 - 169.

de Béthune, P., 1961

Carte de la géologie de la Belgique in Atlas de Belgique, planche 8. Académie royale de Belgique, Comité national de géographie, Commission de l'Atlas national, Bruxelles.

Dejonghe, L., 2007

Guide de lecture des cartes géologiques de Wallonie, *Ministère de la Région Wallonne*, 3^{ème} édition, 51 p.

de Marsily, G., 2004

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

Dewez, A. et Dautrebande, S., 1996

Programme Action Hesbaye. Rapport scientifique. Unité d'Hydraulique Agricole. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux.

Dèzes, P., Schmid, S.M. et Ziegler, P.A., 2004

Evolution of the European Cenozoic Rift System : interaction of the Alpine and Pyrenean orogens with their foreland lithosphere, *Tectonophysics*, 389, 1-33.

Fetter, C.W., 2001

Applied hydrogeology, Fourth Edition, Prentice Hall, 598 p.

Gogu, R. C., 2000

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

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

GIS-based hydrogeological database and groundwater modelling, *Hydrogeology Journal*, 9, 555-569.

Gullentops, F., 1954

Contribution à la chronologie du Pléistocène et des formes du relief en Belgique, *Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain*, 18, 125-252.

Gullentops, F. et Wouters, L., 1996

Delfstoffen in Vlaanderen. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Departement EWBL, 198 p.

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, ULg – LGIH*, 361 p.

Hallet, V., 1999

Etude hydrochimique relative à l'évolution et à la répartition des nitrates dans la nappe aquifère de Hesbaye (Belgique), *Tribune de l'Eau*, Vol. 52 N°600-601, 51-58.

Hallet V. et Monjoie, A., 1996

Programme-Action Hesbaye. Rapport Scientifique - LGIH. Ministère de la Région Wallonne, Division de l'eau - Service des eaux souterraines.

Herbosch, A. et Verniers, J., 2014

Stratigraphy of the Lower Palaeozoic of the Brabant Massif, Belgium. Part II : The Middle Ordovician to lowest Silurian of the Rebecq Group», *Geologica Belgica*, 17, 2, 115-136.

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)*.

Jennings, J.N., 1985

Karst Geomorphology, *Basil Blackwell, New York*, 293 p.

Legrand, R., 1968

Le Massif du Brabant, *Mém. Expl. Cartes Géologiques et Minières de la Belgique*, 9, 148 p.

Mariotti, A., 1994

Dénitrification in situ dans les eaux souterraines, processus naturels ou provoqués : une revue, *Hydrogéologie*, N°3, 43-68.

Meinzer, O. E., 1923

Outline of ground-water hydrology, with definitions, *U. S. Geol. Survey, Water-Supply Paper*, 494, 1-71.

Meus, P., 1993

Hydrogéologie d'un système karstique dans les calcaires carbonifères (Néblon – Anthisnes, Belgique). Apport des traçages à la connaissance des milieux fissurés et karstiques. *Thèse de Doctorat, ULg – LGIH*, 323 p.

Meyus, Y., Batelaan, O. et De Smedt, F., 2000

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

Meyus, Y., Cools, J., Adyns, D., Zeleke, S.Y., Woldeamlak, S.T., Batelaan, O. et 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.

Molenaar, N. et Zijlstra, J.J.P., 1997

Differential early diagenetic low-Mg calcite cementation and rhythmic hardground development in Campanian-Maastrichtian chalk, *Sedimentary Geology*, 109, 261-281.

Orban, Ph., 2008

Solute transport modeling at the groundwater body scale : nitrate trends assessment in the Geer basin (Belgium), *Thèse de Doctorat, Université de Liège*.

Orban, P., Brouyère, S., Compère, J.-M., Six, S., Hallet, V., Goderniaux, P. et Dassargues, A., 2014

Aquifère crayeux de Hesbaye in *Watervoerende lagen en grondwater in België / Aquifères et eaux souterraines en Belgique*. Dassargues, A. & Walraevens, K. (eds.). Gent : Academia Press, p. 143 -159 Partie 1 - Chapitre 12.

Pereira, B. et Sonnet, P., 2007

La contamination diffuse des sols par les éléments traces métalliques en Région wallonne, Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon, UCL, 27 p.

Pingot, J.-L., 2015

Carte géologique de Wallonie au 1/25 000ème (avec notice explicative), Planches Landen – Hannut – Montenaken n° 33/5 – 41/1-2. *Edition : Service public de Wallonie, DGO3 (D GARNE), Belgique. Dépôt légal D/2015/11802/88.*

Piper, A.M., 1944

A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses, *Transactions, American Geophysical Union*, 25, 914-923.

Poehls, D.J. et Smith, G.J., 2009

Encyclopedic Dictionary of Hydrogeology, *Elsevier Academic press*, 517 p.

Robaszynski, F., Dhondt, A.V. et Jagt, J.W.M., 2001

Cretaceous lithostratigraphic units (Belgium), *Geologica Belgica*, 4/1-2, 121-134.

Rouxhet, F. & Guiot, J., 1996

Programme Action Hesbaye. Rapport scientifique. Station de Phytotechnie. Centre de Recherche Agronomiques de Gembloux.

Ruthy, I. et Dassargues, A., 2009a

Carte hydrogéologique de Wallonie, Planchettes Gemmenich - Botzelaar, Henri-Chapelle – Raeren, Petergensfeld n° 35/5-6, 43/1-2, 43/3. *Edition : Service public de Wallonie, DGO 3 (D GARNE), Belgique, Dépôt légal D/2009/12.796/6 - ISBN 978-2- 8056-0068-5.*

Ruthy, I. et Dassargues, A., 2009b

Carte hydrogéologique de Wallonie, Planchettes Tongeren – Herderen n°34/5-6. *Edition : Service public de Wallonie, DGO 3 (D GARNE), Belgique, Dépôt légal D/2009/12.796/4 - ISBN 978-2-8056-0066-1.*

Rutot, A. et Van den Broeck, E., 1884

Explication de la feuille de Landen. Musée Royal d'Histoire Naturelle de Belgique. Service de la Carte Géologique du Royaume, 112 p.

Sintubin, M., Laga, P., Vandenberghe, N., Kenis, I. et Duser, M., 2000

Deformation features in Paleogene sands in the Hoegaarden area (Belgium), *Geologica Belgica*, 3, 257-269.

SPW-DGO 3, 2015

Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie. *Edition : Service Public de Wallonie, DGO3 (D GARNE), Belgique. Dépôt légal D/2015/11802/64 – ISBN 978-2-8056-0190-3.*

Sturbaut, E., Magioncalda, R., Dupuis, C., Van Simaey, S., Roche, E. et Roche, M., 2003

Palynology, paleoenvironments and organic carbon isotope evolution in lagoonal Paleocene-Eocene boundary settings in North Belgium. in Wing, S.L., Gingerich, P.D., Schmitz, B. and Thomas (Eds.). *Causes and consequences of globally warm climates in Early Paleogene. Geol. Soc. America, Special Paper*, 369, 291-317.

UNESCO-OMM, 1992

Glossaire international d'hydrologie, en quatre langues (Anglais, Espagnol, Français, Russe), *Seconde édition, UNESCO-OMM, Paris/Genève.*

Valentini, O., 1992

Essais de pompage et de tracage dans la craie fissurée (région de Hannut, Belgique), Travail de diplôme de cycle postgrade inter-universitaire en hydrologie et hydrogéologie, Universités de Liège et Neuchâtel, 71 p.

Van de Molen, A. S., 2004

Sedimentary development, seismic stratigraphy and burial compaction of the Chalk Group in the Netherlands North Sea area (Sedimentaire ontwikkeling, seismische stratigrafie en begravingscompactie van de Chalk Groep in het Nederlandse Noordzeegebied), *Mededeiling van de Faculteit Geowetenschappen Universiteit Utrecht, n° 248, 197 p.*

Vandenbergh, N., Laga, P., Steurbaut, E., Hardenbol, J. et Vail, P.R., 1998

Tertiary Sequence Stratigraphy at the southern border of the North Sea basin in Belgium, *Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins, SEPM Special Publication n° 60, 119-154.*

Vandenbergh, N., Van Simaey, S., Steurbaut, E., Jagt, J.W.M. et Felder, P.J., 2004

Stratigraphic architecture of the Upper Cretaceous and Cenozoic along the southern border of the North Sea Basin in Belgium, *Netherlands Journal of Geosciences/Geologie en Mijnbouw, 83, 155-171.*

Vandycke, S., 2002

Paleostress records in Cretaceous formations in NW Europe : extensional and strike-slip events in relationships with Cretaceous-Tertiary inversion tectonics, *Tectonophysics, 119-136.*

Vercoutere, C. et Van den Haute, P., 1993

Post-paleozoic cooling and uplift of the Brabant Massif, as revealed by apatite fission track analysis, *Geological Magazine, 130, 639-646.*

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

Cambrian-Ordovician-Silurian lithostratigraphical units (Belgium), *Geologica Belgica, 4/1-2, 5-38.*

Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2006

Grondwaterbeheer in Vlaanderen : het onzichtbare water doorgrond. *Vlaamse Milieumaatschappij. Aalst. 150 p.*

Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2008

Grondwater in Vlaanderen : het Brulandkrijtsysteem. *Vlaamse Milieumaatschappij. Aalst. 125p.*

Wojda, P., Dachy, M., Popescu, C., Ruthy, I., Gardin, N., Brouyère, S. et 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.*

Ziegler, P.A., 1990

Geological atlas of Western and Central Europe (2nd édition), Shell International Petroleum Maatschappij Den Haag and Geological Society London. Publishing House, Bath, 239 p.

XI. ANNEXES

XI.1. LISTE DES ABRÉVIATIONS

AGW : Arrêté du Gouvernement Wallon

ArGEnCO – GEO³ : Architecture, Géologie, Environnement et Constructions –
Géotechnologies, Hydrogéologie, Prospection Géophysique

DGARNE : Direction Générale opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et
de l'Environnement (DGO 3)

DOV : Databank Ondergrond Vlaanderen

IGN : Institut Géographique National

IRM : Institut Royal Météorologique

ISSeP : Institut Scientifique de Service Public

m : mètre

Ma : Millions d'années

MB : Moniteur Belge

s : seconde

SGB : Service Géologique de Belgique

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

SPGE : Société Publique de Gestion de l'Eau

SPW : Service Public de Wallonie

SWDE : Société Wallonne des Eaux

TAC : Titre Alcalimétrique Complet. Le TAC est lié à la concentration en carbonates et en
hydrogénocarbonates

ULg : Université de Liège

UMons : Université de Mons

UNamur : Université de Namur

VMM : Vlaamse Milieumaatschappij

VMW : Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening

XI.2. TABLE DES ILLUSTRATIONS

XI.2.1. Figures

<i>Figure I.1 : Situation de la carte 41/1-2 Hannut – Montenaken & 33/5 Landen en Belgique</i>	3
<i>Figure II.1 : Carte des bassins-versants, du réseau hydrographique, des stations et du réseau routier de la région de Landen - Hannut – Montenaken</i>	6
<i>Figure III.1 : Carte géologique du Massif du Brabant (d’après Herbosch & Verniers, 2014, modifié). Localisation de la carte Landen - Hannut - Montenaken</i>	8
<i>Figure III.2 : Localisation de la planche 33/5 & 41/1-2 Landen - Hannut - Montenaken sur la carte géologique de Wallonie (d’après de Béthune, 1961, modifié)</i>	8
<i>Figure IV.1 : différents types de porosité dans les roches meubles et cohérentes (d’après Meinzer, 1923)</i>	19
<i>Figure IV.2 : Masses d’eau souterraine en Wallonie et localisation des planches 33/5 & 41/1-2 (SPW-DGO3, 2015)</i>	21
<i>Figure IV.3 : Masses d’eau souterraine en territoire flamand sur la carte 33/5 & 41/1-2</i>	29
<i>Figure IV.4 : Les différents types de dolines : a) doline d’effondrement ; b) doline de dissolution et de tassement ; c) doline de subsidence ; d) doline d’effondrement dans un karst ouvert ; e) doline-perte (Jennings, 1985, modifié)</i>	30
<i>Figure IV.5 : Situation du puits ‘Avenue des Français 2’ à Pellaines</i>	32
<i>Figure IV.6 : Evolution piézométrique du puits ‘Avenue des Français 2’ de mars à décembre 2008</i>	33
<i>Figure IV.7 : Situation du puits ‘Pré Chaussée de Wavre’ à Thisnes</i>	33
<i>Figure IV.8 : Evolution piézométrique du puits ‘Pré Chaussée de Wavre’ de juin à décembre 2008</i>	34
<i>Figure IV.9 : Site « Les Gallosys » : localisation des piézomètres P1 à P4</i>	35
<i>Figure IV.10 : Evolution piézométrique des piézomètres ‘Gallosys’ P2 à P4 d’avril à décembre 2008</i>	35
<i>Figure IV.11 : Site du ‘Fond du Houtia’ à Bertrée, situation des piézomètres P4, P5, P8 et P9</i>	36
<i>Figure IV.12 : Evolution piézométrique des ouvrages P4, P5, P8 et P9 au site ‘Fond du Houtia’ d’avril à décembre 2008</i>	36
<i>Figure IV.13 : Localisation des puits P1 et P2 de Bertrée</i>	37
<i>Figure IV.14 : Evolution piézométrique des puits P1 et P2 à Bertrée de juin 2007 à décembre 2008</i>	38
<i>Figure IV.15 : Localisation de l’ancienne fontaine ‘BLH002’ à Blehen</i>	38
<i>Figure IV.16 : Evolution piézométrique du puits ‘BLH002’ de mai à décembre 2008</i>	39
<i>Figure IV.17 : Evolution piézométrique du puits ‘BLH002’ de janvier 1994 à décembre 1995 d’après Hallet (1998)</i>	39
<i>Figure IV.18 : Carte piézométrique de l’aquifère de Hesbaye dressée sur base des mesures effectuées de janvier à avril 2008 (Orban, 2008 ; Ruthy et Dassargues, 2009b)</i>	40
<i>Figure IV.19 : Situation générale du site SWDE de Jandrain</i>	41
<i>Figure IV.20 : Localisation des ouvrages SWDE entre Grand-Hallet et Avernas-le-Baudoin ayant fait l’objet de mesures piézométriques en 2008</i>	42
<i>Figure IV.21 : Evolution piézométrique des ouvrages ‘Grand Hallet PZ1’, ‘Triche des Bois PR4’ et ‘Petit Bois PR3’ de mars à décembre 2008</i>	42
<i>Figure IV.22 : Situation du piézomètre ‘HSB.3’ à Lens-Saint-Servais</i>	43

Figure IV.23 : Evolution piézométrique du piézomètre 'HSB.3' (Zréf 135,01 m) de 2009 à 2015.....	43
Figure IV.24 : Coupe hydrogéologique des planches 33/5 & 41/1-2.....	45
Figure IV.25 : Représentation schématique des différents types de nappes (d'après Dejonghe, 2007, modifié) ..	46
Figure V.1 : Situation des analyses chimiques dans l'Aquifère des sables du Paléocène	49
Figure V.2 : Situation des analyses chimiques dans l'Aquifère des craies du Crétacé.....	50
Figure V.3 : Classification hydrochimique des eaux analysées de la carte Landen - Hannut - Montenaken sur le diagramme de Piper	53
Figure V.4 : Zones vulnérables aux nitrates arrêtées en Wallonie et teneurs moyennes en nitrates de 2008 à 2011 sur les ouvrages du réseau de surveillance du Service Public de Wallonie. Localisation de la carte de Landen - Hannut - Montenaken (SPW-DGO3, 2015)	54
Figure V.5. Evolution de la concentration en nitrates dans deux ouvrages implantés dans l'Aquifère des sables du Paléocène de 2005 à 2015	55
Figure V.6 : Evolution de la teneur en nitrates pour le puits 'BLH002' à Blehen de 1994 à 1995 couplée aux variations piézométriques (d'après Hallet, 1998).....	56
Figure V.7 : Situation des puits P4 et P5 de l'usine Hesbaye Frost.....	57
Figure V.8 : Evolution de la concentration en nitrates au captage de Jandrain-Jandrenouille de 1993 à 2015 et à l'usine Hesbaye Frost (Geer) de 2003 à 2015	58
Figure V.9 : Etat des masses d'eau pour l'année 2008 et causes de leurs dégradations. Situation de la carte Landen - Hannut - Montenaken (SPW-DGO3, 2015)	63
Figure VI.1 : Répartition des ouvrages entre les différentes unités hydrogéologiques de la carte Landen – Hannut - Montenaken.....	65
Figure VI.2 : Volumes prélevés entre 2007 et 2016 par les trois puits du site de Jandrain-Jandrenouille sollicitant la nappe de l'Aquifère des craies du Crétacé.....	66
Figure VI.3 : Volumes prélevés par les principaux captages privés (industriels et particuliers) en 2016.....	67
Figure VII.1 : Situation du PR1 et du PR2 sur le site de Jandrain-Jandrenouille.....	71
Figure VII.2 : Situation du site SWDE de Grand-Hallet.....	72
Figure VII.3 : Fonction d'entrée du lithium établie à partir des mesures de conductivité dans le PZ1 à Grand-Hallet (Meus, 1993)	73
Figure VII.4 : Fonction d'entrée du nitrate de potassium établie à partir des mesures de conductivité dans le PZ1 à Grand-Hallet (Meus, 1993).....	74
Figure VII.5 : Courbe de restitution au PR1 du lithium injecté au PZ1 à Grand-Hallet ($Q = 47 \text{ m}^3/\text{h}$) d'après Meus (1993)	74
Figure VII.6 : Courbes de restitution au PR1 de l'uranine, du potassium et du nitrate injectés au PZ1 à Grand-Hallet ($Q = 97 \text{ m}^3/\text{h}$) d'après Meus (1993)	74
Figure VII.7 : Situation du puits P1 et des piézomètres dans la nappe des sables du Paléocène à Bertrée. Carte piézométrique de la nappe avant pompage (Meus, 1993)	76
Figure VII.8 : Courbes de restitution au P1 de l'uranine, du lithium et du sodium injectés au Pz1 lors du premier test dans la nappe des sables landéniens (act. thanétiens) à Bertrée (Meus, 1993)	77
Figure VII.9 : Courbe de restitution au P1 du nitrate injecté au Pz9 lors du premier test dans la nappe des sables landéniens (act. thanétiens) à Bertrée (Meus, 1993).....	78

<i>Figure VII.10 : Courbes de restitution au P1 de l'iodure et du nitrate injectés au Pz9 lors du second test dans la nappe des sables landéniens (act. thanétiens) à Bertrée (Meus, 1993)</i>	<i>78</i>
<i>Figure VII.11 : Courbes de restitution au P1 de l'uranine et du lithium injectés au Pz1 lors du second test dans la nappe des sables landéniens (act. thanétiens) à Bertrée (Meus, 1993)</i>	<i>78</i>
<i>Figure VII.12 : Courbe de restitution au P1 du sodium injecté au Pz7 lors du second test dans la nappe des sables paléocènes à Bertrée (Meus, 1993).....</i>	<i>79</i>
<i>Figure VIII.1 : Zones de protection en Région Wallonne (SPW-DGO3, 2015)</i>	<i>81</i>
<i>Figure VIII.2 : Localisation des zones de prévention des captages de la S.W.D.E. « Jandrain-Jandrenouille P1, P2, P3 » et « Jandrain G1 (Pissaumont) ».....</i>	<i>85</i>
<i>Figure VIII.3 : Situations des captages en attente d'une zone de prévention sur la carte Landen - Hannut – Montenaken.....</i>	<i>86</i>

XI.2.2. Tableaux

<i>Tableau III.1 : Tableau lithostratigraphique de la région de Hannut – Montenaken - Landen (d'après Pingot, 2015)</i>	<i>10</i>
<i>Tableau IV.1 : Porosité totale, porosité efficace et perméabilité des principaux types de roches (d'après Castany, 1998)</i>	<i>19</i>
<i>Tableau IV.2. Tableau de correspondance 'Géologie – Hydrogéologie' de la région de la région de Landen - Hannut - Montenaken</i>	<i>23</i>
<i>Tableau IV.3 : Masses d'eau souterraine en Flandre sur la carte Landen - Hannut - Montenaken (Grondwaterlichamen)</i>	<i>28</i>
<i>Tableau V.1. Analyses chimiques de trois ouvrages exploitant l'Aquifère des sables du Paléocène et normes wallonnes de potabilité des eaux de distribution</i>	<i>49</i>
<i>Tableau V.2. : Analyse chimique de trois ouvrages exploitant l'Aquifère des craies du Crétacé et normes wallonnes de potabilité des eaux de distribution</i>	<i>51</i>
<i>Tableau V.3 : Paramètres bactériologiques analysés dans quelques ouvrages de la carte Landen - Hannut - Montenaken</i>	<i>59</i>
<i>Tableau V.4 : Teneurs en pesticides principaux (famille des herbicides) pour quelques captages de la région de Landen - Hannut – Montenaken.</i>	<i>60</i>
<i>Tableau V.5 : Teneurs en ETM pour quelques ouvrages de la région de Landen - Hannut – Montenaken.</i>	<i>60</i>
<i>Tableau V.6 : Valeurs seuils des paramètres chimiques intervenant dans la dégradation des masses d'eau souterraine (SPW-DGO3, 2015).....</i>	<i>61</i>
<i>Tableau VII.1 : Valeurs du coefficient de perméabilité en fonction de la granulométrie (Castany, 1998)</i>	<i>69</i>
<i>Tableau VII.2 : Intervalles de valeurs indicatives pour la conductivité hydraulique de différentes lithologies (échelles macroscopique et mégascopique) (Dassargues, 2010)</i>	<i>69</i>
<i>Tableau VII.3 : Intervalles de valeurs indicatives pour la porosité (n) et la porosité effective de drainage (n_e) de différentes lithologies (échelles macroscopique et mégascopique) (Dassargues, 2010)</i>	<i>70</i>
<i>Tableau VII.4 : Valeurs de transmissivités et perméabilités calculées pour les puits de reconnaissance PR1 et PR2</i>	<i>70</i>
<i>Tableau VII.5 : Caractéristiques des injections dans le PZ1 sur le site de Grand-Hallet (Meus, 1993).....</i>	<i>73</i>

Tableau VII.6 : Caractéristiques des courbes de restitution des traçages dans le piézomètre du Crétacé sur le site de Grand-Hallet (Meus, 1993). D = distance en m, M = masse injectée en g, Q = débit de sortie en l/s, V_{max} = vitesse maximale en m/h, V_m = vitesse modale en m/h, V_{app} = vitesse apparente de transit en m/h, V_{moy} = vitesse moyenne de transit en m/h, R = taux de restitution en %74

Tableau VII.7 : Caractéristiques des injections dans les piézomètres des sables landéniens (actuellement thanétiens) sur le site Bertrée (Meus, 1993)76

Tableau VII.8 : Caractéristiques des courbes de restitution des traçages dans les piézomètres des sables landéniens sur l'ancien site de Bertrée (Meus, 1993). D = distance en m, M = masse injectée en g, Q = débit de sortie en l/s, V_{max} = vitesse maximale en m/h, V_m = vitesse modale en m/h, V_{app} = vitesse apparente de transit en m/h, V_{moy} = vitesse moyenne de transit en m/h, R = taux de restitution en %77

Tableau VII.9 : Paramètres de transport pour le 1^{er} test (Biver, 1993).....80

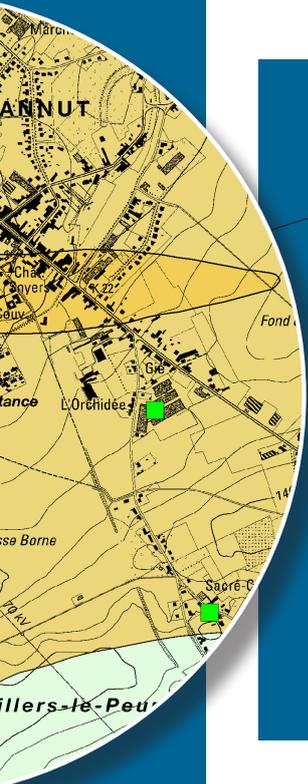
Tableau VII.10 : Paramètres de transport pour le 2nd test (Biver, 1993)80

Tableau VIII.1 : Détails administratifs de la zone de prévention de Jandrain-Jandrenouille84

Tableau IX.1. Nombre de mesures reportées sur la carte principale88

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

NOM	TYPE	X (m)	Y (m)	PROF. (m)
AVENUE DES FRANCAIS 2	Puits privé	194922	157012	9,0
BLH002	Puits communal	203140	150380	12,5
CHRISTIAENS BETON	Puits privé	203921	154445	-
DEVILLERS PF	Puits privé	207157	148729	50,0
Fond du Houtia P3A	Piézomètre	200820	154489	33,0
Fond du Houtia P3B	Piézomètre	200814	154502	-
Fond du Houtia P4	Piézomètre	200911	154540	34,9
Fond du Houtia P5	Piézomètre	200917	154540	31,5
Fond du Houtia P6	Piézomètre	200964	154560	27,0
Fond du Houtia P7	Piézomètre	201009	154578	32,1
Fond du Houtia P8	Piézomètre	201053	154596	33,5
Fond du Houtia P9	Piézomètre	201100	154614	29,2
FORAGE IRRIGATION	Puits privé	209318	151226	39,0
Gallossys P1	Piézomètre	200104	154508	-
Gallossys P2	Piézomètre	200136	154458	37,0
Gallossys P3	Piézomètre	200139	154630	42,0
Gallossys P4	Piézomètre	200075	154630	40,0
Grand Hallet PZ1	Piézomètre	197936	153040	51,0
GRAND-HALLET PR1	Piézomètre	197937	153023	45,0
HESBAYE FROST P1	Puits privé	206960	151330	19,0
HESBAYE FROST P2	Puits privé	207045	151390	31,0
HESBAYE FROST P3	Puits privé	207115	151410	30,0
HESBAYE FROST P4	Puits privé	207085	151241	30,0
HESBAYE FROST P5	Puits privé	206975	151250	35,0
HSB.3	Piézomètre	205465	149618	22,3
Jandrain PR1	Piézomètre	194159	152573	35,0
Jandrain PR2	Piézomètre	194470	151970	26,0
Jandrain PZ1	Piézomètre	194370	152727	27,0
Jandrain PZ2	Piézomètre	194372	152304	26,0
JANDRAIN-JANDRENOUILLE P1	Puits distribution publique	194441	152720	24,0
JANDRAIN-JANDRENOUILLE P2	Puits distribution publique	194444	152702	25,4
JANDRAIN-JANDRENOUILLE P3	Puits distribution publique	194410	152622	23,1
LES SEPT FONTAINES	Galerie par gravité	198045	152950	-
P1 BERTREE	Puits privé	200556	153889	18,7
P2 BERTREE	Puits privé	200555	153886	44,8
PRE A L'EAU	Puits privé	207240	152880	59,6
Pré Chaussée de Wavre	Puits privé	198180	151125	15,0
RUE DE GRENWICK 51	Puits privé	206403	153498	-
RUE DE LA VALLEE 54	Puits privé	196084	156176	35,0
RUE LORIER 4	Puits privé	199180	149854	8,4
TRICHE DES BOIS PR4	Piézomètre	198430	153600	53,5
VIVIER - CHAMPIOTTE	Puits privé	201765	149460	33,0



SPW | Éditions, CARTES

Dépôt légal : D/2018/12.796/8 – ISBN : 978-2-8056-0259-7

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

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