

Notice explicative

CARTE HYDROGÉOLOGIQUE DE WALLONIE

Echelle : 1/25 000



Photos couverture © SPW-DGARNE(DGO3)

Fontaine de l'ours à Andenne

Forage exploité

Argillère de Celles à Houyet

Puits et sonde de mesure de niveau piézométrique

Emergence (source)

Essai de traçage au Chantoir de Rostenne à Dinant

Galerie de Hesbaye

Extrait de la carte hydrogéologique de Houyet - Han-sur-Lesse



HOUYET - HAN-SUR-LESSE

59/1-2

Pierre **NOGAREDE**, Samantha **REKK**, Vincent **HALLET**

Facultés universitaires Notre Dame de la Paix de Namur
Rue de Bruxelles, 61 - B-5000 Namur (Belgique)



NOTICE EXPLICATIVE

2011

Première édition : Janvier 2004
Actualisation partielle : Septembre 2011

Dépôt légal – D/2011/12.796/4 - ISBN : 978-2-8056-0095-1

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

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

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

CARTE HYDROGEOLOGIQUE DE WALLONIE	1
NOTICE EXPLICATIVE	1
HOUYET – HAN-SUR-LESSE	1
AVANT-PROPOS.....	3
I. INTRODUCTION.....	5
II. CADRES GÉOGRAPHIQUE, GÉOMORPHOLOGIQUE ET HYDROGRAPHIQUE.....	6
III. CADRE GÉOLOGIQUE	10
III.1. CADRE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL.....	10
III.2. CADRE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL.....	10
III.2.1. Cadre lithostratigraphique	11
III.2.1.1. Le Paléozoïque.....	14
III.2.1.2. Le Cénozoïque	19
III.2.2. Cadre structural.....	20
IV. CADRE HYDROGÉOLOGIQUE.....	23
IV.1. MASSES D'EAU SOUTERRAINE	23
IV.1.1. Calcaires et grès de la Calestienne et de la Famenne	24
IV.2. DESCRIPTION DES UNITÉS HYDROGÉOLOGIQUES.....	27
IV.2.1. Le Paléozoïque	31
IV.2.1.1. Aquifère de l'Eifelien (Cobm).....	32
IV.2.1.2. Aquiclude de l'Eifelien (Cobn)	33
IV.2.1.3. Aquitard de l'Eifelien (Cobp).....	34
IV.2.1.4. Aquifère des calcaires du Givetien (Gva et Gvb)	35
IV.2.1.5. Aquiclude du Frasnien (Fr1m, Fr2)	36
IV.2.1.6. Aquifère des calcaires du Frasnien (Fr1o)	37
IV.2.1.7. Aquiclude du Famennien (Fa1a et Fa1b).....	38
IV.2.1.8. Aquitard du Famennien (Fa1c et Fa2a)	39
IV.2.2. Le Cénozoïque.....	40
IV.2.2.1. Aquifère alluvial.....	40
IV.3. PHÉNOMÈNES KARSTIQUES	41
IV.3.1. Avant-propos.....	41
IV.3.2. Systèmes karstiques de la région de Houyet – Han-sur-Lesse	41
IV.3.2.1. L'anticlinal de Wavreille.....	41
IV.3.2.2. L'anticlinal de Sainte-Odile.....	48
IV.4. DESCRIPTION DE L'HYDROGÉOLOGIE REGIONALE	50
IV.4.1. Recharge des aquifères : le bilan hydrogéologique	50
IV.4.2. Evolution piézométrique et sens d'écoulement	55
IV.4.2.1. La Bordure sud du Condroz	56
IV.4.2.2. La Dépression de la Famenne	60
IV.4.2.3. La Calestienne	67
IV.4.2.4. Commentaires.....	78
IV.4.3. Coupe hydrogéologique.....	79
IV.5. CARACTÈRE LIBRE, SEMI-CAPTIF, CAPTIF DES NAPPES	83
V. CADRE HYDROCHIMIQUE	84
V.1. CARACTÉRISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX	84
V.1.1. Aquifère des calcaires du Givetien	84
V.1.2. Aquiclude du Famennien	86
V.1.3. Aquiclude du Frasnien	89
V.1.4. Aquifère alluvial.....	89
V.1.5. Commentaires.....	90
V.2. PROBLÉMATIQUE DES NITRATES.....	96
V.3. PROBLÉMATIQUE DES MICROPOLLUANTS.....	104

V.3.1. Les pesticides	104
V.3.2. Les métaux	108
V.4. QUALITÉ BACTÉRIOLOGIQUE.....	110
V.5. ETAT DES MASSES D'EAU.....	110
VI. EXPLOITATION DES AQUIFÈRES	114
VI.1. VOLUMES PRÉLEVÉS POUR LA DISTRIBUTION PUBLIQUE.....	118
VI.2. VOLUMES PRÉLEVÉS PAR LES PARTICULIERS.....	123
VI.3. COMMENTAIRES.....	123
VII. PARAMÈTRES D'ÉCOULEMENT ET DE TRANSPORT	124
VII.3.1. Paramètres d'écoulement.....	124
VII.3.2. Paramètres de transport	126
VIII. ZONES DE PROTECTION	132
VIII.1. CADRE LÉGAL.....	132
VIII.1.1. Zone I ou zone de prise d'eau	134
VIII.1.2. Zone IIa ou zone de prévention rapprochée.....	134
VIII.1.3. Zone IIb ou zone de prévention éloignée	134
VIII.1.4. Zone de surveillance.....	135
VIII.1.5. Mesures de prévention	135
VIII.2. ZONE DE PRÉVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE LA CARTE DE HOUYET – HAN-SUR-LESSE	135
VIII.2.1. Zone de prévention arrêtée	136
VIII.2.2. Zone de prévention à l'enquête publique.....	136
VIII.2.3. Zones de prévention à définir	136
IX. MÉTHODOLOGIE D'ÉLABORATION DE LA CARTE HYDROGÉOLOGIQUE	141
IX.1. INTRODUCTION	141
IX.2. COLLECTE DE DONNÉES	141
IX.2.1. Données existantes	141
IX.2.2. Campagnes de mesures piézométriques	142
IX.3. MÉTHODOLOGIE DE CONSTRUCTION DE LA CARTE.....	142
IX.3.1. Encodage dans une banque de données.....	142
IX.3.2. Construction de la carte hydrogéologique	143
X. BIBLIOGRAPHIE.....	147

AVANT-PROPOS

La carte hydrogéologique Houyet – Han-sur-Lesse (59/1-2) s'inscrit dans le projet cartographique "Eaux souterraines" commandé et financé par le Service Public de Wallonie (S.P.W). : Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement (DGO3). Quatre équipes universitaires collaborent à ce projet : les Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix de Namur (FUNDP), l'Université de Mons (Faculté Polytechnique, Umons) et l'Université de Liège (ArGEnCO-GEO³-Hydrogéologie & Sciences et Gestion de l'Environnement, ULg-Campus d'Arlon, ULg).

En général 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 concernée par la gestion, tant quantitative que qualitative, des ressources en eaux.

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

La carte de Houyet – Han-sur-Lesse (59/1-2) a été réalisée par P. Nogarède en 2003 et le projet supervisé par V. Hallet du Département de Géologie (FUNDP). La carte a été revue et mise à jour partiellement en 2011-2012 par S. Rekk avant sa publication sur Internet.

Les auteurs de la carte hydrogéologique remercient vivement V. Dumoulin et S. Blockmans (géologues attachées à la Carte géologique de Wallonie aux FUNDP) et P. Nogarède (Direction des eaux souterraines, SPW) pour leur relecture attentive et constructive de la carte et de sa notice. 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.

La carte hydrogéologique de Houyet – Han-sur-Lesse est téléchargeable gratuitement sur Internet (notice explicative + carte au format PDF) ou consultable

dynamiquement via une application WebGIS, en suivant le lien <http://environnement.wallonie.be/cartosig/cartehydrogeo>.

Tout au long de cette notice, afin d'éviter une surcharge des figures, la symbologie fera référence aux légendes du poster, sauf mention contraire.

I. INTRODUCTION

La région couverte par la feuille 59/1-2 Houyet – Han-sur-Lesse est située principalement en province de Namur, à vingt kilomètres au sud-sud-est de la ville de Dinant (Figure I.1). Malgré une faible conductivité hydraulique, les principales assises géologiques exploitées par les sociétés de distribution d'eau sont les schistes et siltites, du Frasnien supérieur et du Famennien inférieur, qui occupent la quasi-totalité de la carte et qui constituent, du nord vers le sud, la bordure la plus méridionale du Condroz puis la dépression de la Famenne. Dans une moindre mesure, quelques captages sont localisés dans les calcaires du Dévonien moyen et supérieur qui occupent la bordure sud de la carte et font partie de la Calestienne.

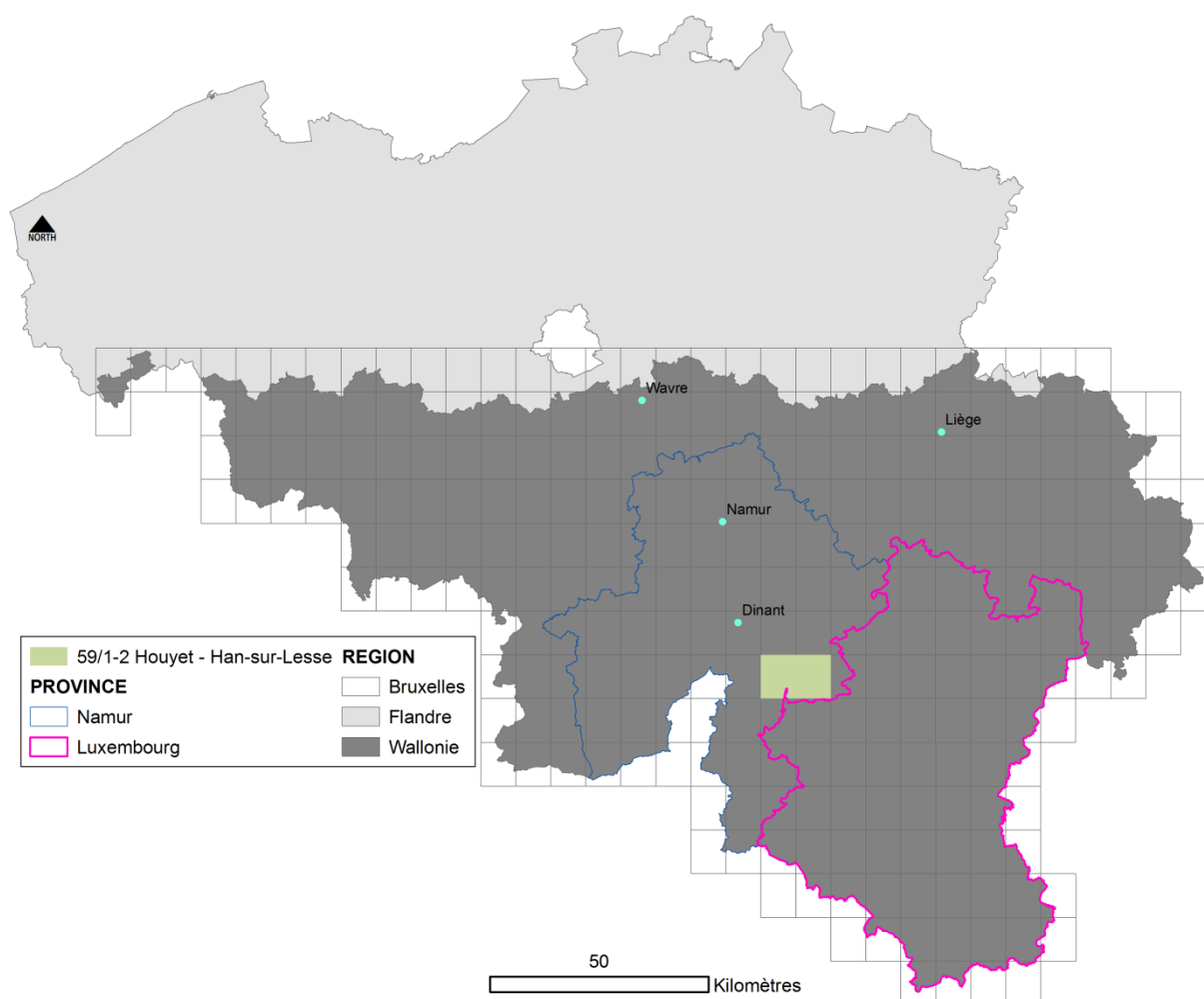


Figure I.1 : Localisation de la carte Houyet – Han-sur-Lesse 59/1-2.

II. CADRES GÉOGRAPHIQUE, GÉOMORPHOLOGIQUE ET HYDROGRAPHIQUE

D'une superficie de 160 km² (équivalent d'une planche topographique au 1/25 000), la zone cartographiée s'étend sur les communes de Houyet, Rochefort et Beauraing. Une petite bande appartenant à la commune de Wellin, en province de Luxembourg, est reprise à l'ouest du village de Lavaux-Sainte-Anne.

La région de Houyet – Han-sur-Lesse peut être, d'un point de vue géographique et morphologique, subdivisée en trois unités :

1. Au nord se localisent les plateaux et collines qui forment la bordure sud du Condroz, principalement schisteuse et psammitique ;
2. Au centre, la dépression de la Famenne, schisteuse, s'étire d'ouest en est avec une largeur de l'ordre de 3 km. Cette dépression est le résultat d'une érosion, datant du Pléistocène supérieur, liée au ruissellement et autres processus périglaciaires (Pissart, 1976) ;
3. Au sud s'élève un seuil topographique passant, d'ouest en est, au sud de la localité de Martouzin-Neuville, par Ave-et-Auffe et Han-sur-Lesse. Il correspond à la Calestienne. Cette dernière "bande" de terrain, orientée *grosso modo* nord-est/sud-ouest, est constituée de roches calcaires datant essentiellement du Dévonien moyen.

L'orientation des crêtes et des dépressions est conforme à la direction des couches géologiques qui, d'ouest en est, sont globalement orientées E-W à NE-SW.

Les altitudes s'échelonnent de 115 m dans le lit de la Lesse, au nord de Houyet, à 315 m en bordure est de la carte, au lieu-dit "Laid Spinet" qui surplombe la Lhomme, 2 km au sud de Rochefort.

D'une manière générale, les zones boisées matérialisent des terrains au relief marqué tandis que les prairies et les cultures se concentrent dans les points bas ou sur les replats des reliefs.

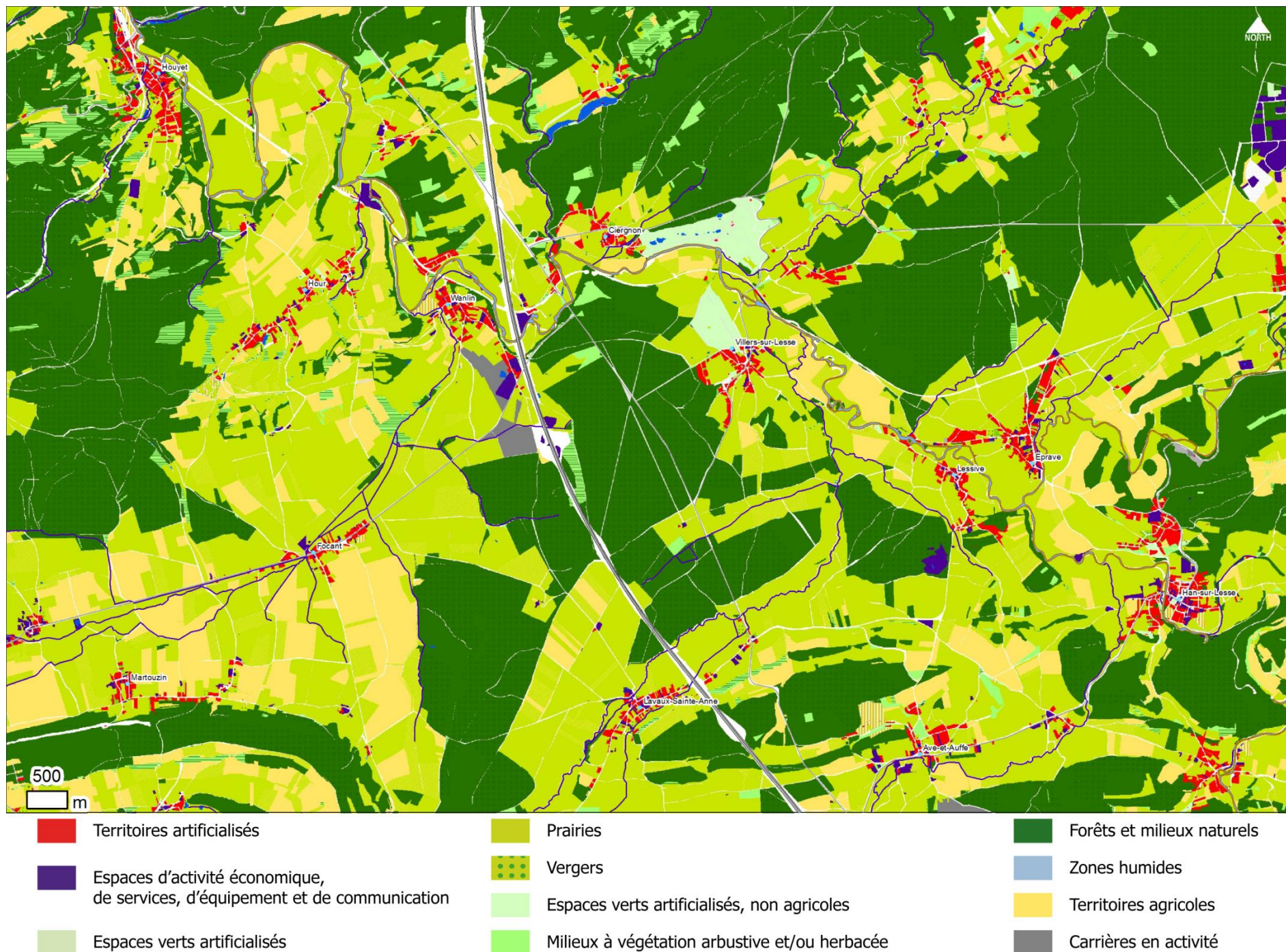


Figure II.1 : Occupation du sol de la carte Houyet – Han-sur-Lesse. Légende simplifiée (modifié, <http://cartographie.wallonie.be>, 2012).

Les principales activités industrielles et commerciales se concentrent aux environs de l'agglomération de Rochefort (carte à l'est de Houyet - Han-sur-Lesse), dans le zoning industriel au NE de la carte et au niveau de la briqueterie de Wanlin (Figure II.1). Ces données sont extraites de la carte numérique de l'occupation du sol wallon¹. Les classes dominantes sont représentées par les prairies et les forêts. Les terrains agricoles sont peu développés et morcelés.

D'une densité homogène sur la zone étudiée, le réseau hydrographique présente deux orientations privilégiées d'écoulement ; SW-NE et NW-SE (Figure II.2), la première étant parallèle à la direction des couches. Localement, l'orientation des cours d'eau peut être influencée par des failles (ex. : cluse du Roptai, près de Han-sur-Lesse). L'axe principal de drainage est la Lesse, qui s'écoule de Han-sur-Lesse vers Houyet selon la diagonale SE-NW de la carte, en passant par Lessive, Villers-sur-Lesse, Ciergnon et Wanlin.

D'amont en aval, la Lesse se gonfle des eaux de ses affluents dont les principaux sont le Ri d'Ave, la Wimbe, le Biran et l'Ilève (Hilan) en rive gauche, La Lhomme, le Vachau et le ruisseau de Fenffe en rive droite. Les premiers s'écoulent du SW vers le NE et les second du NE vers le SW.

Les bassins versants principaux sont :

- la Lesse : 61 km² ;
- le Biran : 35 km² ;
- la Wimbe : 26 km² ;
- le Vachau : 15 km² ;
- la Lhomme : 15 km² ;
- le Ri d'Ave : 8 km².

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

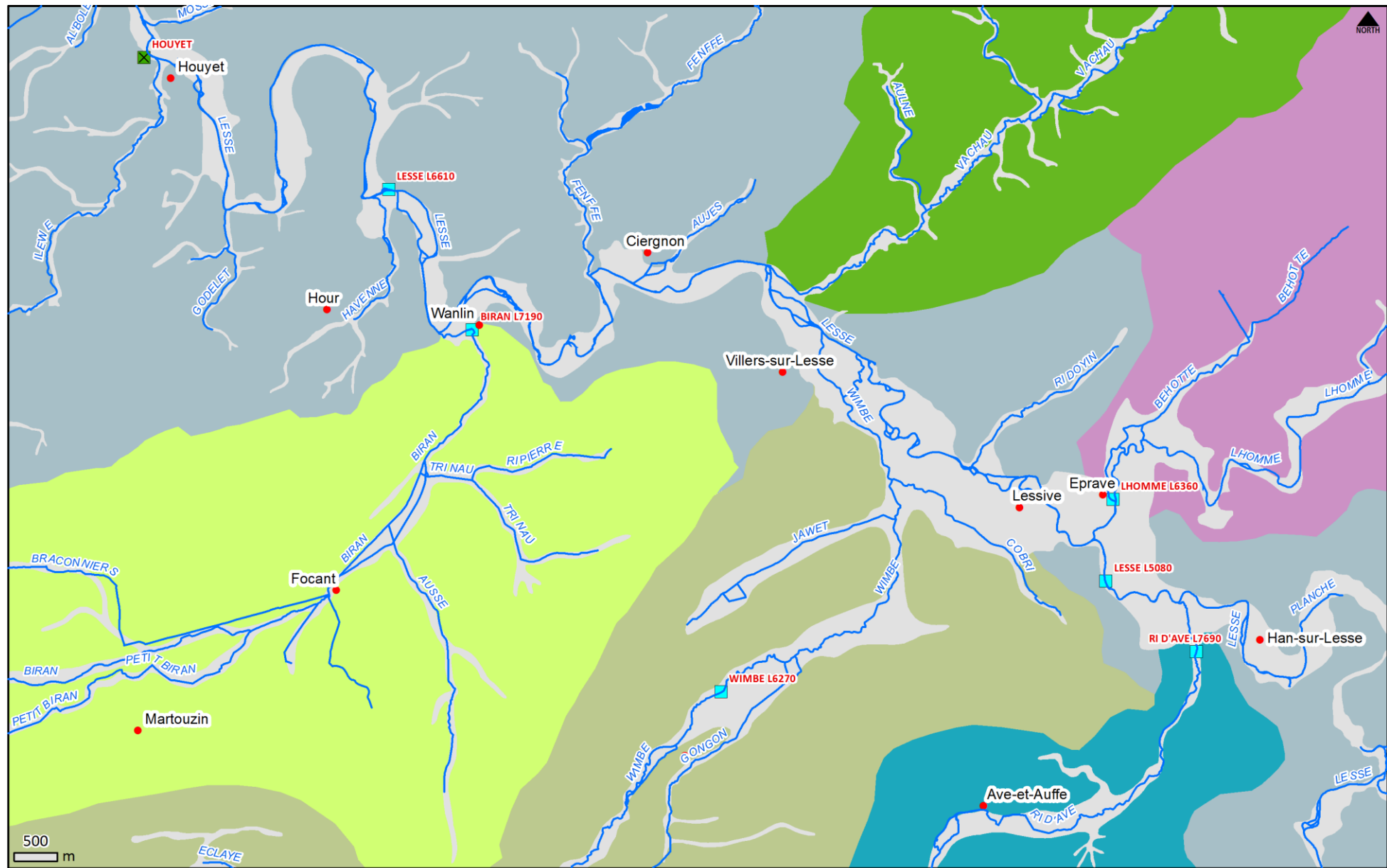


Figure II.2 : Réseau hydrographique et bassins versants principaux de la carte Houyet – Han-sur-Lesse.

III. CADRE GÉOLOGIQUE

III.1. CADRE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL

La région de Houyet - Han-sur-Lesse appartient à la bordure sud du Synclinorium de Dinant. Elle est essentiellement constituée par des roches paléozoïques datant du Dévonien moyen et supérieur (Figure III.1). Les unités géologiques ont subi une déformation compressive (plis, failles,...) lors de l'orogénèse varisque.

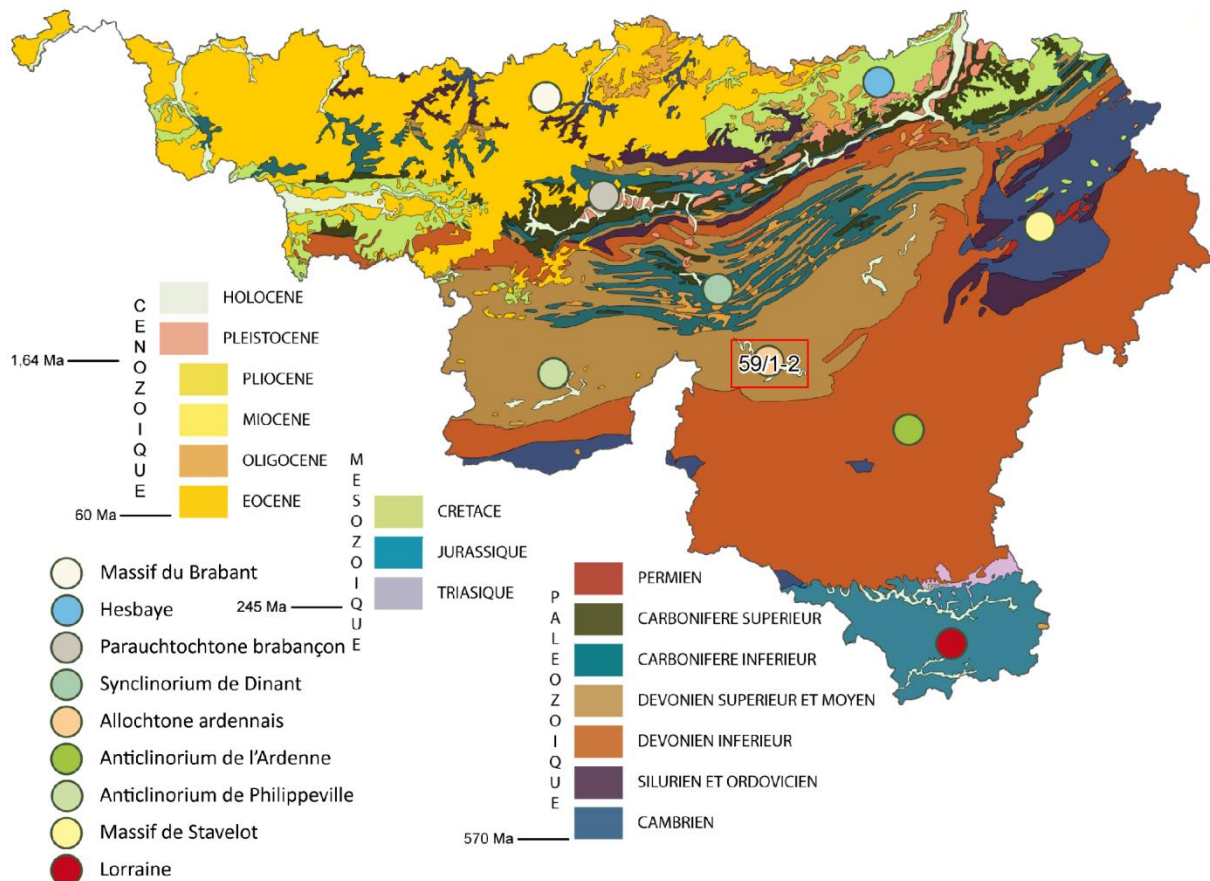


Figure III.1 : Localisation de la carte 59/1-2 Houyet – Han-sur-Lesse dans le contexte géologique général de la Wallonie.

III.2. CADRE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

Les roches présentes sur la carte Houyet - Han-sur-Lesse datent du Paléozoïque et du Cénozoïque. Les premières appartiennent au Dévonien moyen (Couviniens² et Givetien) et supérieur (Frasnien et Famennien). Les secondes appartiennent au Paléogène (Oligocène) et au Quaternaire (Holocène). Les sédiments oligocènes sont anecdotiques. Ils ont été quasiment complètement érodés et n'ont été conservés que très localement dans des poches de dissolution

² Actuellement Eifelien.

développées dans les calcaires dévoniens. A l'heure actuelle, ils ne sont plus visibles.

C'est au cours du Dévonien moyen, synonyme de régime transgressif, que se mettent en place, sur une plate-forme peu profonde, les faciès argilo-calcaires et les premiers calcaires construits du Couvinien et du Givetien.

Au début du Dévonien supérieur, la transgression entamée au Dévonien moyen atteint son paroxysme et dépose dans la région de Houyet - Han-sur-Lesse un ensemble de dépôts argilo-carbonatés (schistes et calcaires du Frasnien).

Les premiers signes de l'orogénèse varisque se marquent par un mouvement régressif d'importance au cours du Famennien, période durant laquelle se déposeront des sédiments de granulométrie variable qui formeront des schistes et des psammites.

III.2.1. Cadre lithostratigraphique

A la date de publication de cette notice, la nouvelle carte géologique, réalisée par Blockmans et Dumoulin (2010, version provisoire), n'était pas encore publiée mais déjà levée. Les descriptions lithologiques de Blockmans et Dumoulin, plus détaillées ont pu malgré tout être reprises.

Malgré cela, deux politiques ont été adoptées dans la réalisation du tableau lithostratigraphique du poster et de la notice. Sur le premier, seules les descriptions de Forir (1900) ont été reprises car elles s'accordent aux anciennes limites géologiques, seules publiées à la date d'aujourd'hui (carte géologique de Houyet – Han-sur-Lesse au 1/40 000 - planchette 185 publiée en 1900 et dressée par M.H. Forir). Dans la notice ([Tableau III.1](#)), un parallèle a été établi entre les anciennes assises de Forir (1900) et les nouvelles formations de Blockmans et Dumoulin (carte géologique au 1/25 000, levée par Blockmans, S. et Dumoulin, V., 2010 - soumis). Cette façon de faire permet d'apporter des informations lithologiques importantes.

Les nouvelles unités géologiques, bien qu'elles correspondent pour la plupart aux anciennes assises de Forir, n'ont pas nécessairement les mêmes limites! Les anciennes assises ont parfois été divisées en plusieurs formations, certaines elles-mêmes divisées en membres.

Une partie de la nomenclature utilisée dans le tableau lithostratigraphique est celle de l'ancienne carte géologique et certains termes propres à cette ancienne nomenclature sont expliqués ci-dessous (Dejonghe, 1998) :

Macigno : grès à ciment argilo-calcaire.

Psammite : grès micacés dont la forte proportion de paillettes de micas, disposées en lits parallèles, leur confère une aptitude à se débiter en feuillets.

Schiste : roche sédimentaire argileuse de la classe des lutites ($\phi < 63\mu\text{m}$), consolidée, avec litage visible.

Les formations géologiques sont décrites des plus vieilles aux plus jeunes. Seules sont précisées les informations nécessaires à l'hydrogéologie (lithologie, épaisseur). Pour de plus amples informations, divers documents sont repris dans l'annexe bibliographique.

Ere	Système	Série	Etage	Assise	Lithologie (description carte géologique, Forir, 1900)	Abréviation de la carte géologique 1900	Formations (Blockmans et Dumoulin, 2010, soumis)	Membres (Blockmans et Dumoulin, 2010, soumis)	Lithologie (description carte géologique, Blockmans et Dumoulin, 2010, soumis)	Abréviation		Epaisseur (m)			
										Formation	Membre				
CENOZOIQUE	QUATERNAIRE	HOLOCENE			Dépôts limoneux des pentes	ale			Galets, graviers, sables, argiles, limons	ALA					
					Eboulis des pentes	e									
					Alluvions modernes des vallées	alm									
CENOZOIQUE	PALEOGENE	OLIGOCENE			Sables quartzeux, fins, homogènes (vestiges de nappes étendues)	Om			Galets, graviers, sables, argiles, limons	AMO					
PALEOZOIQUE	DEVONIEN	SUPERIEUR	FAMENNIEN				Ciney		Grès ou siltites calcaireuses et schistes silteux Parfois calcaires	CIN		>80			
					Souverain-Pré	Macignos ou schistes noduleux avec psammites et schistes vers le haut	Fa2a					Souverain-Pré	Calcaires et siltites carbonatées Localement bancs calcaires argileux	SVP	>200?
					Esneux	Psammites stratoides et schistoides	Fa1c					Esneux	Alternance rythmique de schistes, siltites et grès parfois quartzitiques	ESN	>200?
					Mariembourg	Schistes avec petites bandes de psammite	Fa1b					Aye	Alternance irrégulière et hétérogène de schistes, siltites et grès	AYE	>200?
					Senzeilles	Schistes avec bandes de psammite, nodules calcaireux ou plaquettes de grès calcarifères	Fa1a					Famenne	Au sommet, calcaire gréseux à hématite oolithique	FAM	350-400?
			FRASNIEN		Schistes très feuilletés	Fr2	Barvaux	BAR	90-150						
							Matagne			MAT	>70				
					Schistes divers, assez souvent noduleux	Fr1m	Neuville	NEU	125						
							Grands Breux			Boussu-en-Fagne	GBR	BOU	80		
							Calcaires stratifiés, massifs			Fr1o		Bieumont	BMT	20-40	
		Schistes divers, assez souvent noduleux					Fr1m			Moulin Liénaux	Ermitage	MLX	ERM	~90	
					Chalon	Faisceaux de bancs calcaires entrecoupés de schistes	CHA	~10							
		MOYEN		GIVETIEN	Calcaires avec schistes à la base	Gvb	Fromelennes	FRO	120						
							Flohimont		calcaires argileux ou schistes	FLO	~20				
			Calcaires		Gva	Mont d'Hairs	MHR		180						
						Terres d'Hairs	THR		70-75						
						Trois-Fontaines	TRF		75-110						
			COUVINIEN	Macignos, psammites, schistes	Cobp	Hanonet	HNT	50-75							
						Lomme		LOM	Schistes, siltites et grès parfois carbonatés ou à nodules calcaires	0-120					
						Schistes			JEM	Siltites à schistes avec niveaux calcaires	CVE	240			
						Calcaires				CVN	70-200				
						Schistes				Cobn	Jemelle	Vieux Moulin	JEM	VXM	280

Tableau III.1 : Tableau lithostratigraphique de la région de Houyet – Han-sur-Lesse.

III.2.1.1. Le Paléozoïque

Le Paléozoïque est représenté par les terrains du Dévonien moyen et supérieur uniquement. Le premier reprend les étages du Couvinien (Cob, Eifelien actuel) et du Givetien (Gv), et le second les étages du Frasnien (Fr) et du Famennien (Fa).

Le Couvinien et le Givetien affleurent dans la partie sud de la carte. Ces étages, peu représentés sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse, sont à très nette dominante carbonatée, avec cependant des niveaux plus détritiques.

Le Frasnien et le Famennien, majoritairement représentés sur la carte Houyet - Han-sur-Lesse, sont principalement composés de dépôts d'origine détritique mais avec des niveaux carbonatés, Fr1o (Frasnien) et Souverain-Pré (Fa2a, Famennien).

III.2.1.1.1 Le Dévonien

Selon l'ancienne carte géologique (Forir, 1900) **l'étage Couvinien** (Co) de la carte Houyet – Han-sur-Lesse est divisé en trois unités, le Cob_m, le Cob_n et le Cob_p. On peut les mettre en parallèle avec la nouvelle carte géologique (Blockmans et Dumoulin, 2010 – soumis) de la manière suivante :

L'ancien Cob_n est à mettre en relation avec l'actuelle **Formation de Jemelle** (JEM) et est constitué de deux membres ; le Membre du Vieux Moulin (VXM) surmonté du Membre des Chavées (CVE). Ces deux membres encadrent la Formation de Couvin (CVN, ancien Cob_m voir ci-dessous), qui n'existe qu'au sud-ouest de la carte, au cœur de l'Anticlinal de Pondsôme).

Le *Membre du Vieux Moulin* (VXM) est constitué de schistes et de siltites. L'épaisseur de ce membre est de l'ordre de 280 m.

Le *Membre des Chavées* (CVE) est aussi silto-argilo mais contient une fraction carbonatée nettement plus importante sous la forme de rognons, de lentilles et de bancs de calcaire. L'épaisseur de ce membre est de l'ordre de 240 m.

Lorsque la Formation de Couvin (voir ci-dessous) est absente comme c'est le cas dans l'Anticlinal de Sainte-Odile, l'ensemble des sédiments argilo-silteux qui la remplace sont repris sous l'appellation Formation de Jemelle (JEM). L'épaisseur de cette formation est de l'ordre de 585 m lorsque la Formation de Couvin n'existe pas.

L'ancien Cobm est à mettre en relation avec l'actuelle **Formation de Couvin** (CVN). Cette formation est constituée d'une barre de calcaire en bancs épais mal stratifiés et lenticulaires. Ce calcaire est parfois dolomitisé. Son épaisseur est de l'ordre de 70 m mais peut varier sur cette carte jusqu'à 200 m en fonction du développement des lentilles.

L'ancien Cobp est à mettre en relation avec les actuelles formations de la Lomme (LOM) et d'Hanonet (HNT) :

1. La **Formation de la Lomme** est constituée d'une alternance de schistes, de siltites et de grès parfois carbonatés ou à nodules calcaires. Cet ensemble est entrecoupé de niveaux plurimétriques de grès en bancs pluricentimétriques à décimétriques. Son épaisseur est de 0 m à 120 m. Elle n'apparaît que dans le cœur des anticlinaux de Sainte-Odile et de Wavreille) ;
2. La **Formation d'Hanonet** est constituée dans l'ensemble de calcaires argileux avec des bancs et interbancs argilo-carbonatés. Les bancs sont régulièrement stratifiés et souvent d'aspect noduleux à subnoduleux. Son épaisseur est de l'ordre de 75 m. Aux carrières du lieu-dit "Le Ban de Malakof" au NW d'Esclaye, son épaisseur est de l'ordre de 50 m.

Selon l'ancienne carte géologique (Forir, 1900), l'**étage Givetien** (Gv) de la carte Houyet – Han-sur-Lesse est divisé en deux unités, le Gva et le Gvb. On peut les mettre en parallèle avec la nouvelle carte géologique (Blockmans et Dumoulin, 2010 – version provisoire) de la manière suivante :

L'ancien Gva est à mettre en relation avec les formations de Trois-Fontaines (TRF), des Terres d'Haur (THR) et du Mont d'Haur (MHR). L'ancien Gvb est à mettre en relation avec la Formation de Fromelennes (FRO).

La **Formation de Trois-Fontaines** est formée par un complexe de calcaire construit, d'épaisseur d'ordre pluridécamétrique, associé à une semelle de calcaire crinoïdique particulièrement épaisse, comme c'est le cas aussi à la terminaison périclinale de l'Anticlinal de Wavreille dans le Domaine des grottes de Han. Le biostrome est surmonté d'un ensemble bien stratifié de calcaire fin. L'épaisseur de cette formation est de l'ordre de 75 m généralement mais peut varier localement,

notamment aux carrières du lieu-dit "Le Ban de Malakof" (NW de la carte) au NW d'Esclaye où elle est de l'ordre de 110 m.

La **Formation des Terres d'Haus** débute fréquemment par quelques bancs à colonies d'*Argutastrea quadrigemina* qui, lorsqu'elles sont présentes, constituent un niveau repère régional. Suivent des calcaires argileux. Les bancs sont régulièrement stratifiés et les joints argileux sont fréquents. L'épaisseur de cette formation est de l'ordre de 70 – 75 m.

La **Formation du Mont d'Haus** débute par un biostrome à stromatopores et coraux. Elle est ensuite constituée d'une alternance de biostromes et de niveaux de calcaire fin. Le calcaire fin peut être argileux. L'épaisseur de cette formation est de l'ordre de 180 m.

La **Formation de Fromelennes** débute par une vingtaine de mètres de calcaires argileux et de schistes appartenant au *Membre de Flohimont*. Ensuite apparaissent des alternances cycliques plurimétriques de calcaire construit et de calcaire fin. L'épaisseur de cette formation est de l'ordre de 140 m.

Selon l'ancienne carte géologique (Forir, 1900), l'**étage Frasnien** (Fr) de la carte Houyet – Han-sur-Lesse est divisé en trois unités, le Fr**1m**, le Fr**1o** et le Fr**2**. On peut les mettre en parallèle avec la nouvelle carte géologique (Blockmans et Dumoulin, soumis) de la manière suivante :

Le Fr**1m** est à mettre en relation avec les formations de Nismes (NIS), du Moulin Liénaux (MLX) et le Membre de Boussu-en-Fagne (BOU, Formation des Grands Breux), le Fr**1o** est à mettre en relation avec le Membre de Bieumont (BMT) (Formations des Grand Breux, GBR), et le Fr**2** est à mettre en relation avec les formations de Neuville (NEU), de Matagne (MAT), et de Barvaux (BAR).

La **Formation de Nismes**, à l'exception de quelques bancs calcaires à sa base, est essentiellement argileuse. Un niveau à hématite oolithique s'observe localement à la base de la formation. Au sein des schistes se développent des alignements de nodules calcaires, des nodules épars, voire même quelques rares lentilles calcaires. Leur abondance diminue vers le sommet de la formation. L'épaisseur de cette formation est de l'ordre de 25 m.

La **Formation du Moulin Liénaux** est formée à sa base par un faisceau de bancs calcaires (*Membre de Chalon*, CHA) entrecoupés de schistes. Ces calcaires sont le plus souvent argileux mais ils peuvent localement (notamment au sud de

cette carte) être massifs, construits et former des petites lentilles d'ordre décimétrique. Ce niveau calcaire est surmonté de schistes avec quelques alignements de nodules calcaires (*Membre de l'Ermitage*, ERM). Localement, on note la présence de quelques mètres de bancs carbonatés. L'épaisseur de cette formation est de l'ordre de 100 m dont une dizaine pour le Membre de Chalon.

La **Formation des Grands Breux** débute par une barre de calcaire stratifié d'épaisseur décimétrique, voire un peu plus à la base (*Membre de Bieumont* - BMT). La partie médiane de ce membre est plus riche en interbancs argileux. On y rencontre fréquemment des petits nodules de pyrite altérée. Ce membre est surmonté par le *Membre de Boussu-en-Fagne* (BOU), constitué par des schistes parfois riches en éléments calcaires (nodules épars ou alignés et, surtout à la base et au sommet du membre, concentrations de nodules pouvant former des bancs calcaires). L'épaisseur de cette formation est d'environ 100 m, dont 20 m (à Wellin) ou 40 m (au sondage de Focant) pour le Membre de Bieumont et 80 m pour le Membre de Boussu-en-Fagne.

La **Formation de Neuville** est constituée de schistes et de schistes silteux à abondants nodules de calcaire, épars ou formant des trains ou des concentrations d'épaisseur pluridécimétrique, voire même des bancs ou des niveaux de calcaire noduleux. Au sommet, la fraction carbonatée diminue ; elle se limite à des trains de nodules calcaires décimétriques dans des schistes silteux homogènes. Des petites lentilles d'ordre métrique de calcaires, en bancs décimétriques, sont localement présentes. Le sondage de Focant montre que cette formation présente de très fortes variations de faciès mais toujours avec une fraction carbonatée beaucoup plus importante que dans les unités encadrantes. L'épaisseur de cette formation est de l'ordre de 125 m.

La **Formation de Matagne** est constituée de schistes, parfois silteux, finement feuilletés, avec seulement de loin en loin quelques rares nodules plats et l'une ou l'autre petite lentille de grès. D'après le sondage de Focant, l'épaisseur de cette formation est d'au moins 70 m.

La **Formation de Barvaux** est constituée de schistes finement feuilletés. On note la présence de petits niveaux ou de nodules silteux finement laminaires et de lentilles de calcaire. L'épaisseur de cette formation est variable, de 90 m à plus de 150 m sur la carte voisine Rochefort – Nassogne (59/3-4).

La Formation de Matagne cède progressivement la place à celle de Barvaux à hauteur de la localité de Lessive.

Selon l'ancienne carte géologique (Forir, 1900), l'**étage Famennien** (Fa) de la carte Houyet – Han-sur-Lesse est divisé en quatre unités, le **Fa1a**, le **Fa1b**, le **Fa1c** et le **Fa2a**. On peut les mettre en parallèle avec la nouvelle carte géologique (Blockmans et Dumoulin, 2010 – soumis) de la manière suivante :

L'ancien **Fa1a** est à mettre en relation avec la Formation de la Famenne (FAM), le **Fa1b** est à mettre en relation avec la Formation d'Aye (AYE), le **Fa1c** est à mettre en relation avec la Formation d'Esneux (ESN) et le **Fa2a** est à mettre en relation avec la Formation de Souverain-Pré (SVP).

L'ensemble des formations du Famennien présent sur cette carte est sujet à d'importantes variations latérales et verticales de faciès, notamment une augmentation progressive du caractère gréseux des lithologies depuis la Formation de la Famenne vers celle d'Aye. Ce caractère arénacé s'affirme avec la Formation d'Esneux, présente uniquement à la bordure ouest de la carte. Le caractère mixte de la Formation d'Aye (lithologie intermédiaire entre la Formation de la Famenne et d'Esneux), couplé aux variations de faciès, ne permettent pas de cerner précisément l'extension de cette formation.

La **Formation de la Famenne** est constituée de schistes micacés. La fraction silteuse apparaît très vite et croît vers le sommet de la formation (lits et lentilles silto-gréseux d'épaisseur millimétrique à pluricentimétrique, lentilles et nodules grésocarbonatés ou de calcaire gréseux). Le sommet de la formation se caractérise par des schistes silteux micacés renfermant localement des bancs centimétriques à pluricentimétriques lenticulaires de grès micacé. Des lentilles de grès quartzitique s'observent parfois également. La proportion de ces niveaux gréseux augmente graduellement vers le sommet de la formation annonçant la formation sus-jacente d'Aye. L'épaisseur de cette formation est indéterminable, de l'ordre de 350 – 400 m.

La **Formation d'Aye** est constituée d'une alternance irrégulière de schistes silteux, siltites, siltites gréseuses et grès hétérogènes et micacés formant des bancs mal définis d'épaisseur d'ordre centimétrique à décimétrique. Le passage d'une lithologie à l'autre est peu contrasté et s'effectue de manière progressive. Des lamines gréseuses millimétriques à plurimillimétriques sont fréquemment présentes. Des bancs et lentilles grésocarbonatés, voire calcaires, se rencontrent également. Le sommet de la formation se caractérise par l'apparition locale de niveaux à hématite

oolithique dans un contexte lithologique calcaro-gréseux. L'épaisseur de cette formation est indéterminable, de l'ordre de 200 m.

La **Formation d'Esneux** est constituée d'une alternance rythmique pluridécimétrique à métrique de bancs pluricentimétriques à décimétriques de siltites argileuses, siltites, siltites gréseuses et grès parfois quartzitiques. Les lithologies sont nettement mieux différenciées que dans la Formation d'Aye et les bancs mieux stratifiés. Le sommet de la formation se caractérise par l'apparition de bancs subnoduleux de calcaire soulignant la transition avec la formation sus-jacente de Souverain-Pré. L'épaisseur de cette formation est indéterminable, de l'ordre de 200 m.

La **Formation de Souverain-Pré** est constituée de bancs de nodules calcaires, décimétriques à pluridécimétriques, alternant avec des bancs de siltite carbonatée, englobés dans une matrice silteuse. Au sud de la Ferme de Tènîre, au sud de Laloux, s'observent des bancs de calcaire argileux alternant avec des niveaux plus argileux. L'épaisseur de cette formation est indéterminable, de l'ordre de 200 m.

La **Formation de Ciney** n'apparaît pas sur l'ancienne carte de Forir (1900) mais elle constitue le cœur du Synclinal des Mesnils (voir schéma structural). D'après la carte voisine d'Agimont – Beauraing 58/3-4, elle se présente comme une alternance de bancs décimétriques de grès ou siltites, souvent calcareux, et de schistes silteux. Des poches à cimentation calcaire ou dolomitique sont fréquentes dans les grès. Quelques rares bancs décimétriques de calcaire sont observés. Des bancs de grès quartzitiques massifs métriques apparaissent sporadiquement. L'épaisseur de cette formation est indéterminable, d'au moins 80 m.

III.2.1.2. Le Cénozoïque

Le Cénozoïque est constitué de dépôts du Paléogène (Oligocène) et du Quaternaire (Holocène).

III.2.1.2.1 Le Paléogène

Les terrains du Paléogène datent de l'Oligocène (Om) et sont essentiellement constitués de sable fin, quartzeux. Ces dépôts, vestiges d'anciennes nappes plus étendues, remplissent des poches de dissolutions localisées dans les calcaires du Dévonien moyen et supérieur. Leur présence est anecdotique sur cette carte, où une

poche de sable est mentionnée par Forir (1900) au sein d'une excavation dans les calcaires givetiens au NW d'Esclaye (NW de la carte).

III.2.1.2.2 Le Quaternaire

Les dépôts modernes correspondent aux alluvions modernes des fonds de vallées, aux alluvions anciennes des terrasses de la Lesse (sables, limons, graviers et galets), aux dépôts limoneux de couverture du Quaternaire et aux dépôts de pente.

III.2.2. Cadre structural

Situées sur la bordure méridionale du Synclinorium de Dinant ([Figure III.1](#)), à la limite entre le massif de l'Ardenne et le Condroz, la carte de Houyet - Han-sur-Lesse appartient à la partie septentrionale du segment externe européen de la chaîne varisque.

Les terrains ont été intensément plissés et faillés pendant l'épisode majeur de compression de la tectonique hercynienne (340 à 290 Ma). Cette orogénèse correspond à la suture progressive des continents Gondwana et Laurussia qui vont former, au Permien, un supercontinent appelé Pangée. Dans nos régions, la phase compressive est associée à la fermeture de l'océan Proto-Téthys.

Les principales structures observées dans la région étudiée consistent en une succession de synclinaux et d'anticlinaux recoupés par des failles longitudinales, obliques et transversales. Cette région correspond à une zone de virgation des plis ([Figure III.2](#), Averbuch *et al.*, 2006). En effet, les axes de ceux-ci, orientés E-W dans la moitié ouest de la carte, ont tendance à virer vers le NE. Ce fait se marque bien dans le quart NE de la carte et, à l'est, sur la carte voisine (59/3-4 Rochefort Nassogne, Barchy *et al.*, soumis) où les structures prennent une nette orientation NE-SW. L'orientation des axes de plis peut localement être fortement modifiée. C'est notamment le cas de la structure en "Z" de Revogne, en bordure sud de la carte, au sud de Martouzin-Neuville et de Lavaux-Sainte-Anne (Delvaux de Fenffe, 1989). Les axes des plis ne peuvent généralement pas être suivis au-delà de quelques kilomètres latéralement. Le sens d'envoyage est variable, donnant naissance à des structures dites périscyclinales ou périanticlinales.

Au niveau des failles, l'ancienne carte ne mentionne que deux failles. L'apparente simplicité de l'ancienne carte est trompeuse car la nouvelle carte

géologique, à paraître, montre que les failles y sont bien présentes (Figure III.3). Cette figure montre également les axes des plis synclinaux et anticlinaux majeurs.

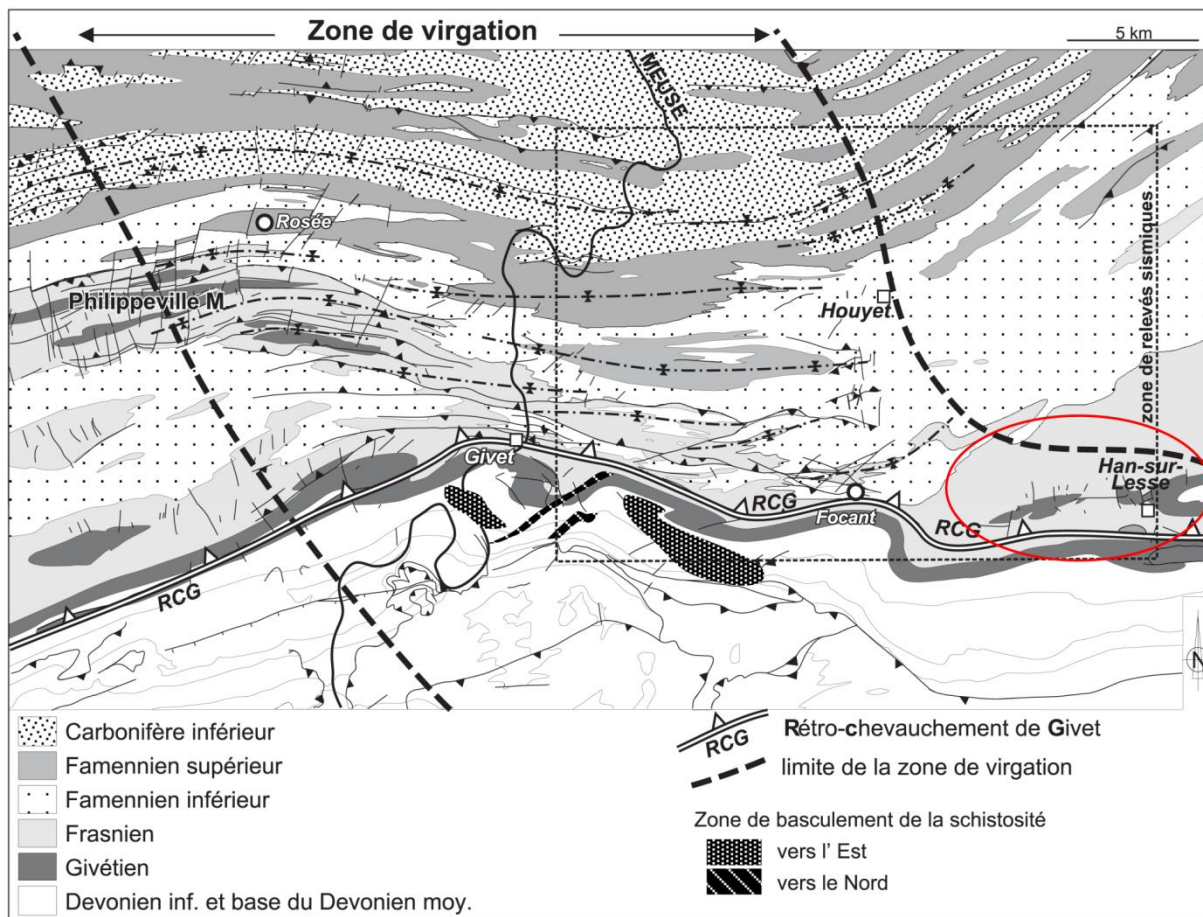
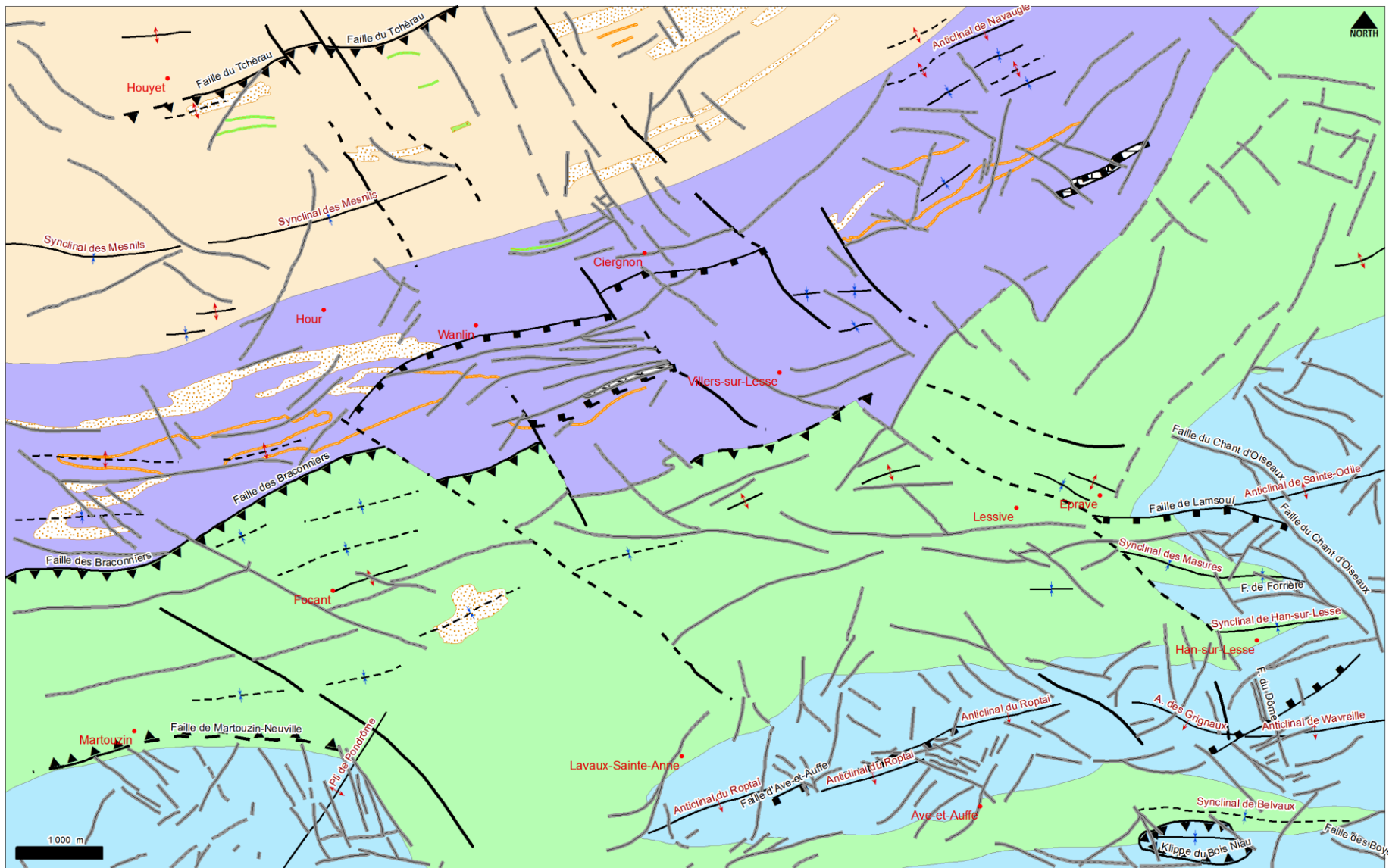


Figure III.2 : Localisation de la région de Han-sur-Lesse au sein de la zone de virgation structurale de la vallée de la Meuse (Averbuch *et al.*, 2006).



Localité	Failles	Axes de plis	Niveaux lithologiques particuliers	Unités géomorphologiques
●	— Décrochement	— Anticlinal	Argileux	Condroz
	- - - Décrochement supposé	- - - Anticlinal supposé	Calcaire	Contreforts du Condroz
	— Indéfinie	+ - - Synclinal	Gréseux	Plaine de Focant
	— Indéfinie supposée	- + - Synclinal supposé	Gréseux	Calestienne
	▼▼ Inverse		Argileux	
	▼▼ Inverse supposée			
	— Normale			
	— Normale supposée			

Figure III.3 : Schéma structural de la carte géologique Houyet – Han-sur-Lesse, Blockmans, S. et Dumoulin, V. (2010 - version provisoire), modifiée.

IV. CADRE HYDROGÉOLOGIQUE

IV.1. MASSES D'EAU SOUTERRAINE

Le texte qui suit est un résumé non exhaustif du chapitre "Masses d'eau souterraine" du document "ETAT DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE DE LA WALLONIE" du site <http://environnement.wallonie.be/> publié par la Direction de l'Etat environnemental et la Direction des Eaux souterraines du Service Public de Wallonie.

La Directive cadre sur l'Eau (Directive 2000/60/CE) a introduit le concept de masse d'eau souterraine, mieux adapté à la gestion des eaux à l'intérieur des districts hydrographiques (bassins hydrographiques à large échelle). La définition en est la suivante :

"Une masse d'eau souterraine est un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou de plusieurs aquifères".

L'article 5 de la Directive précise que les États membres de l'Union Européenne doivent effectuer une caractérisation initiale de toutes les masses d'eau souterraine pour évaluer leurs utilisations et la mesure dans laquelle elles risquent de ne pas répondre aux objectifs de qualité de chaque masse d'eau souterraine prévus à l'article 4. Afin de pouvoir répondre à cet impératif, des masses d'eau ont dû être définies.

En Région wallonne, les aquifères sont délimités suivant des critères purement hydrogéologiques, tandis que les masses d'eau souterraine, telles que définies dans la Directive, peuvent être délimitées tant suivant des critères hydrogéologiques que des critères non hydrogéologiques :

- *Critères hydrogéologiques : étendue et caractéristiques des couches géologiques ; zone d'alimentation ; ligne de partage des écoulements souterrains ; liaison hydraulique entre les couches géologiques ; interaction avec les eaux de surface et les écosystèmes terrestres associés ; propriétés hydrochimiques, distinction entre les nappes libres et les nappes captives.*
- *Critères non hydrogéologiques : captage ou possibilité de captage ; impact des pressions, tant au niveau du captage que de la pollution, sur les masses d'eau, les écosystèmes terrestres et les dégâts aux couches ou aux biens non meubles à la surface de la terre (comme les affaissements) ; ligne de partage des eaux de surface ; limites administratives.*

En Région wallonne, les travaux indispensables à cette délimitation des masses d'eau ont débuté en 2001 et ont abouti en 2003. Ils ont été menés par un comité d'experts réunissant les services

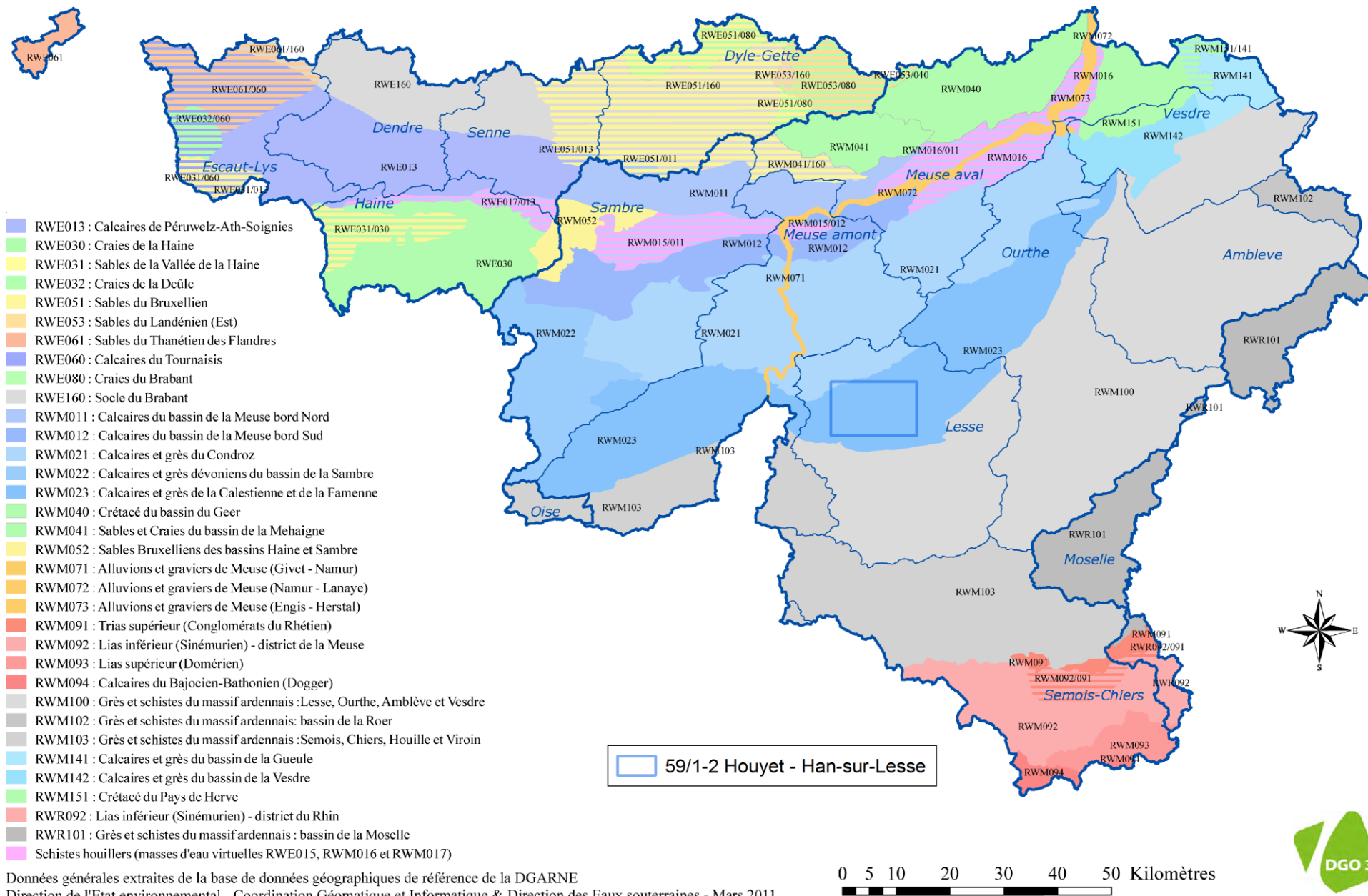
universitaires spécialisés en hydrogéologie et la Direction des Eaux souterraines, en présence des représentants du projet PIRENE. La délimitation précise des masses d'eau souterraine est toujours susceptible d'évoluer en fonction de l'amélioration de la connaissance de certains aquifères insuffisamment caractérisés jusqu'à présent.

La mise en application de l'article 5 de la Directive cadre sur l'Eau a abouti dans le cas de la Région wallonne à un découpage en **33** masses d'eau souterraine, dont 10 dans le district de l'Escaut, 21 dans celui de la Meuse et 2 dans celui du Rhin (**Figure IV.1**). Parmi ces masses d'eau souterraine, **24** sont des **aquifères transfrontaliers** et nécessiteront une gestion commune avec les régions ou états membres voisins. Les données citées dans le descriptif des différentes masses d'eau sont tirées des rapports "Fiches de caractérisation des masses d'eau souterraine" relative à la mise en œuvre de la [Directive cadre Eau \(2000/60/CE\)](#).

La carte 59/1-2 Houyet – Han-sur-Lesse est située principalement dans la masse d'eau RWM023 (Calcaires et grès de la Calestienne et de la Famenne, **Figure IV.1**). Dans le coin NW apparaît la masse d'eau RWM021 mais sa surface sur la carte est anecdotique et nous n'en parlerons donc pas.

IV.1.1. Calcaires et grès de la Calestienne et de la Famenne

La masse d'eau souterraine RWM023, située dans la partie sud du Synclinorium de Dinant, s'étire d'ouest en est sur près de 130 km pour une superficie de 1 504 km² (**Figure IV.2**). Elle est frontalière avec la France dans sa partie centrale au niveau de la botte de Givet (masse d'eau souterraine française FR-2019 – Socle Ardennais). Son importance en termes de ressource en eau souterraine peut être considérée comme moyenne car le volume annuel des prélèvements ne dépasse pas 5.000.000 m³/an. L'usage principal qui est fait de la ressource en eau souterraine est la production/distribution publique d'eau potable (80,6 % des volumes prélevés). Les autres usages relèvent essentiellement des secteurs industriels, agricoles et privés (campings, puits domestiques,...).



- RWE013 : Calcaires de Péruwelz-Ath-Soignies
- RWE030 : Craies de la Haine
- RWE031 : Sables de la Vallée de la Haine
- RWE032 : Craies de la Deûle
- RWE051 : Sables du Bruxellien
- RWE053 : Sables du Landénien (Est)
- RWE061 : Sables du Thanétien des Flandres
- RWE060 : Calcaires du Tournaisis
- RWE080 : Craies du Brabant
- RWE160 : Socle du Brabant
- RWM011 : Calcaires du bassin de la Meuse bord Nord
- RWM012 : Calcaires du bassin de la Meuse bord Sud
- RWM021 : Calcaires et grès du Condroz
- RWM022 : Calcaires et grès dévonien du bassin de la Sambre
- RWM023 : Calcaires et grès de la Calestienne et de la Famenne
- RWM040 : Crétacé du bassin du Geer
- RWM041 : Sables et Craies du bassin de la Mehaigne
- RWM052 : Sables Bruxelliens des bassins Haine et Sambre
- RWM071 : Alluvions et graviers de Meuse (Givet - Namur)
- RWM072 : Alluvions et graviers de Meuse (Namur - Lanaye)
- RWM073 : Alluvions et graviers de Meuse (Engis - Herstal)
- RWM091 : Trias supérieur (Conglomérats du Rhétien)
- RWM092 : Lias inférieur (Sinémurien) - district de la Meuse
- RWM093 : Lias supérieur (Domérien)
- RWM094 : Calcaires du Bajocien-Bathonien (Dogger)
- RWM100 : Grès et schistes du massif ardennais : Lesse, Ourthe, Amblève et Vesdre
- RWM102 : Grès et schistes du massif ardennais : bassin de la Roer
- RWM103 : Grès et schistes du massif ardennais : Semois, Chiers, Houille et Viroin
- RWM141 : Calcaires et grès du bassin de la Gueule
- RWM142 : Calcaires et grès du bassin de la Vesdre
- RWM151 : Crétacé du Pays de Herve
- RWR092 : Lias inférieur (Sinémurien) - district du Rhin
- RWR101 : Grès et schistes du massif ardennais : bassin de la Moselle
- Schistes houillers (masses d'eau virtuelles RWE015, RWM016 et RWM017)

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 2011

Figure IV.1 : Masses d'eau souterraine en Wallonie et localisation de la carte - Houyet – Han-sur-Lesse (Modifié, Etat des nappes d'eau souterraine, mars 2010, <http://environnement.wallonie.be>).

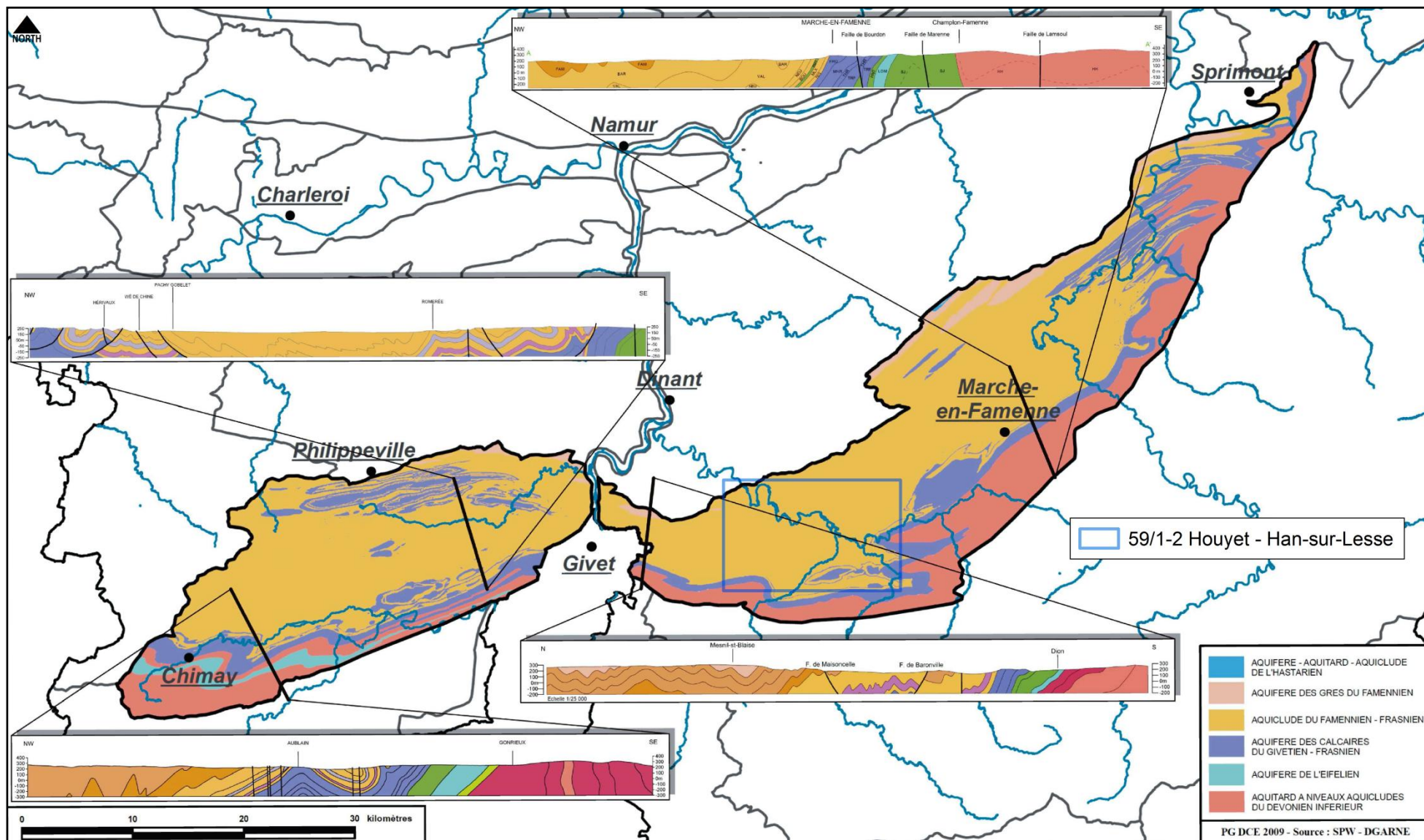


Figure IV.2 : Contextes géologique et hydrogéologique générales de la Masse d'eau souterraine RWM023 et localisation de la carte Houyet – Han-sur-Lesse (Modifié, SPW, V.1.10, juin 2010).

IV.2. DESCRIPTION DES UNITÉS HYDROGÉOLOGIQUES

A l'échelle de la Wallonie, la carte de Houyet – Han-sur-Lesse se situe à cheval sur deux unités aquifères principales (Figure IV.3) :

- "Calcaires du Primaire" ;
- "Socle cambro-silurien et Massifs schisto-gréseux du Dévonien (Primaire)".

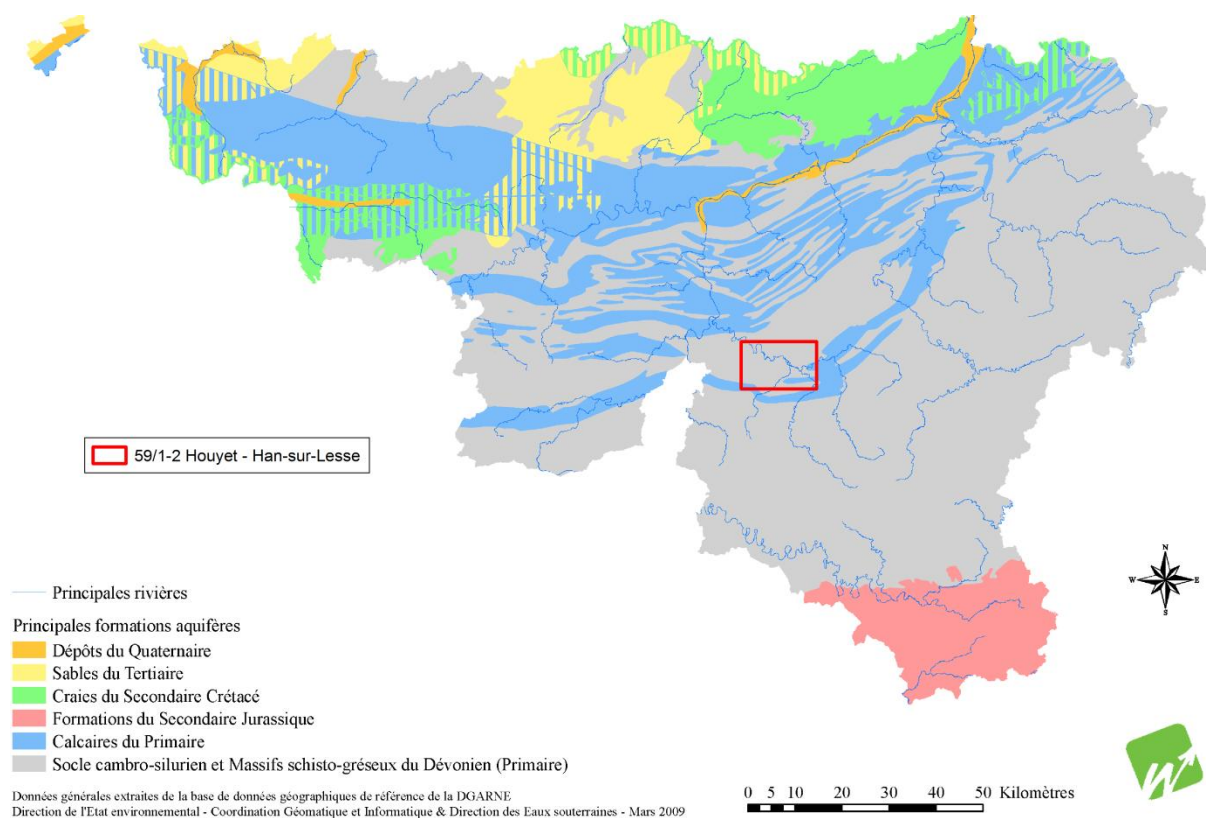


Figure IV.3 : Les principales formations aquifères de Wallonie et localisation de la planchette Houyet – Han-sur-Lesse (modifié, <http://environnement.wallonie.be>).

L'aquifère "**Calcaires du Primaire**" (<http://environnement.wallonie.be>) regroupe les Calcaires dévono-carbonifères des bordures nord et sud du Synclinorium de Namur, du Synclinorium de Dinant et du bassin de la Vesdre. Les Calcaires carbonifères du bord nord du Synclinorium de Namur et les Calcaires carbonifères du Tournaisis forment une nappe qui s'étend depuis la région de Lille jusque Namur, puis se prolonge vers Visé en suivant la Meuse. C'est l'aquifère le plus important en Région wallonne, il se prolonge au-delà de la frontière vers la France et la Flandre.

Pour le deuxième aquifère "**Socle cambro-silurien et Massif schisto-gréseux du Dévonien (Primaire)**", sur la carte Houyet - Han-sur-Lesse seule la partie "Massifs schisto-gréseux du Dévonien" nous intéresse. Les Massifs schisto-gréseux des synclinoria de Namur, de Dinant et du bassin de la Vesdre, nettement moins étendus, prolongent au nord le Massif schisto-gréseux de l'Ardenne, et les caractéristiques de leurs nappes sont identiques.

Les lithologies sont principalement constituées de schistes, phyllades, grès, quartzophyllades et quartzites fissurés. Cette aquifère couvre une grande partie de la carte de la Région wallonne, mais il possède une faible capacité et peut même s'assécher par endroit en été.

Au niveau de la planchette Houyet – Han-sur-Lesse, les eaux souterraines sont présentes dans toutes les unités géologiques présentes sur 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. C'est pourquoi les unités géologiques sont, si nécessaire, regroupées 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 rocheuses en hydrogéologie :

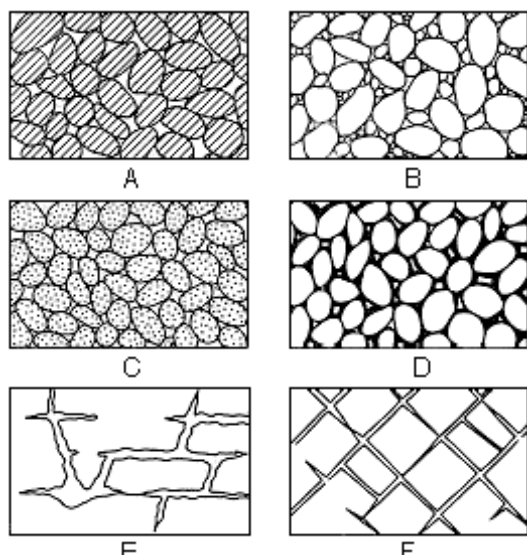
- **Aquifère** : formation perméable permettant d'exploiter de grandes quantités d'eau souterraine;
- **Aquitard** : formation semi-perméable dans laquelle l'écoulement se fait à une vitesse plus réduite que dans un aquifère. Son exploitation est possible mais de capacité limitée ;
- **Aquiclude** : formation à caractère imperméable 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 imperméable d'un ensemble de couches géologiques. Elles donnent une idée du potentiel économique que représentent les différentes unités hydrogéologiques en termes d'exploitation. Elles se basent principalement sur la description lithologique de ces unités.

De manière générale c'est la porosité efficace (la capacité pour une roche saturée de libérer un fluide par drainage gravitaire) et la perméabilité, proportionnelle à la granulométrie des grains, qui va déterminer le caractère plus ou moins aquifère d'une roche ([Tableau IV.1](#)). Les roches cohérentes sont, en principe, imperméables. Néanmoins, la fissuration, l'altération ou la dissolution peuvent modifier leur perméabilité ([Figure IV.4](#)) :

- 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 :

1. 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 ;
2. La roche est un grès : l'altération donne du sable, ce dernier présente une plus grande porosité efficace et une bonne perméabilité ;
3. 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.4 : Différents types de porosité dans les roches meubles et cohérentes.

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}

Tableau IV.1 : Porosité totale, porosité efficace et perméabilité des principaux types de roches.

Les unités hydrogéologiques définies pour la carte Houyet – Han-sur-Lesse sont décrites ci-dessous dans l'ordre stratigraphique, de la plus ancienne à la plus jeune. Elles sont reprises de manière synthétique dans le [Tableau IV.2](#).

Ces unités hydrogéologiques ont été définies sur base des anciennes descriptions lithologiques (Forir, 1900) telles qu'elles sont représentées sur le poster A0, mais également sur base des nouvelles descriptions (Blockmans et Dumoulin, 2010, version provisoire). Ceci permet d'appréhender de façon plus subtile les aquifères définis sur base de l'ancienne géologie (Forir, 1900) qui est la seule disponible à la publication.

Ere	Système	Série	Etage	Assise	Lithologie (description carte géologique, Forir, 1900)	Abréviation de la carte géologique 1900	Caractéristiques hydrogéologiques	Formations (Blockmans et Dumoulin, 2010, soumis)	Membres (Blockmans et Dumoulin, 2010, soumis)	Lithologie (description carte géologique, Blockmans et Dumoulin, 2010, soumis)		Abréviation		Epaisseur (m)	Caractéristiques hydrogéologiques						
										Formation	Membre	Formation	Membre								
CENOZOIQUE	QUATERNAIRE	HOLOCENE			Dépôts limoneux des pentes	ale	Terrains de couverture (localement aquifères)				Galets, graviers, sables, argiles, limons	ALA		Terrains de couverture (localement aquifères)							
					Eboulis des pentes	e					Galets, graviers, sables, argiles, limons	AMO									
					Alluvions modernes des vallées	alm															
	PALEOGENE	OLIGOCENE			Sables quartzeux, fins, homogènes (vestiges de nappes étendues)	Om	Aquifère des sables de remplissage (non cartographié)						Aquifère des sables de remplissage (non cartographié)								
PALEOZOIQUE	DEVONIEN	SUPERIEUR	FAMENNIEN				Aquitard du Famennien	Ciney		Grès ou siltites calcaires et schistes silteux Parfois calcaires	CIN	>80	Aquitard du Famennien								
					Souverain-Pré	Macignos ou schistes noduleux avec psammites et schistes vers le haut		Fa2a		Souverain-Pré	Calcaires et siltites carbonatées Localement bancs calcaires argileux	SVP	>200?	Aquifère du Famennien							
					Esneux	Psammites stratoïdes et schistoïdes		Fa1c		Esneux	Alternance rythmique de schistes, siltites et grès parfois quartzitiques	ESN	>200?	Aquitard du Famennien							
					Mariembourg	Schistes avec petites bandes de psammite		Fa1b		Aye	Alternance irrégulière et hétérogène de schistes, siltites et grès	AYE	>200?	Aquitard du Famennien							
			Senzeilles	Schistes avec bandes de psammite, nodules calcaires ou plaquettes de grès calcarifères	Fa1a	Famenne	Au sommet, calcaire gréseux à hématite oolithique Schistes plus silteux vers le sommet Parfois lentilles silto-gréseuses ou carbonatées	FAM		350-400?	Aquiclude du Famennien										
			FRASNIEN	Schistes très feuilletés	Fr2	Aquiclude du Frasnien	Barvaux	Schistes à rares nodules calcaires ou lentilles de grès A la base, bancs de calcaire		BAR	90-150	Aquiclude du Frasnien									
							Matagne			MAT			>70								
							Schistes divers, assez souvent noduleux			Fr1m	Aquitard du Frasnien	Neuville	NEU	125	Aquitard du Frasnien						
												Grands Breux	GBR	BOU	80	Aquiclude du Frasnien					
				Calcaires stratifiés, massifs	Fr1o	Aquifère des calcaires du Frasnien	Bieumont	BMT		20-40	Aquifère des calcaires du Frasnien										
				Schistes divers, assez souvent noduleux	Fr1m	Aquiclude du Frasnien	Moulin Liénaux	Ermitage		Schistes avec quelques alignements de nodules calcaires	MLX	ERM	~90	Aquiclude du Frasnien							
								Chalon			Faisceaux de bancs calcaires entrecoupés de schistes	CHA	~10	Aquitard du Frasnien							
		MOYEN		GIVETIEN	Calcaires avec schistes à la base	Gvb	Aquifère des calcaires du Givetien	Fromeliennes	Fiohimont		120	Aquifère des calcaires du Givetien									
			Calcaires										Gva				FRO	FLO	~20	Aquiclude-Aquitard du Givetien	
			COUVINIEN	Macignos, psammites, schistes	Cobp	Aquifère de l'Eifelien	Hanonet	Schistes, siltites et grès parfois carbonatés ou à nodules calcaires			50-75	Aquitard de l'Eifelien									
							Lomme						LOM	0-120	Aquitard à niveaux aquifères						
							Schistes						Cobn	Aquiclude de l'Eifelien	Jemelle	Chavées	Siltites à schistes avec niveaux calcaires	JEM	CVE	240	Aquitard de l'Eifelien
							Calcaires						Cobm	Aquifère de l'Eifelien	Couvin	Calcaires	CVN	70-200	Aquifère de l'Eifelien		
Schistes	Cobn	Aquiclude de l'Eifelien					Jemelle						Vieux Moulin	Schistes et siltites	JEM	VXM	280	Aquiclude de l'Eifelien			

Tableau IV.2 : Tableau de correspondance géologie – hydrogéologie de la carte Houyet - Han-sur-Lesse.

IV.2.1. Le Paléozoïque

Les propriétés hydrogéologiques des roches du Paléozoïque sont caractéristiques des roches cohérentes fissurées, faillées et altérées. Leur perméabilité est variable selon l'intensité de l'altération et la densité des fractures (failles, diaclases).

Les roches du Paléozoïque rencontrées sur la carte Houyet - Han-sur-Lesse sont principalement des schistes, des psammites et des calcaires. Les schistes possèdent une perméabilité très faible et constituent généralement des aquicludes. Les psammites, bien que généralement plus perméables que les schistes, ont une perméabilité qui reste assez faible et ne présentent que des potentialités médiocres comparativement aux aquifères des calcaires karstifiés.

L'altération physico-chimique des roches à proximité de la surface donne naissance, selon la lithologie de la roche mère, à des sables, des silts ou encore des argiles. Ces roches redevenues meubles constituent le manteau d'altération dans lequel s'installent des **nappes de porosité de pores**. Leur perméabilité varie en fonction de la granulométrie de la roche et leur capacité, généralement faibles et discontinues, varient fortement en fonction des roches sous-jacentes, de leur situation topographique, etc.

La fracturation (failles et diaclases) peut fortement augmenter la conductivité hydraulique d'une roche cohérente. En plus de créer des vides, la fracturation provoque une accélération de l'altération physico-chimique de ces zones. Si l'altération des psammites donnera des sables permettant non seulement l'augmentation de la perméabilité mais aussi un degré d'épuration de l'eau plus important, celle des schistes entraînera la formation d'argile qui viendra colmater les vides. Les assises plus psammitiques (Souverain-Pré, Esneux) constituent donc des aquitards dont le potentiel est directement proportionnel à l'importance de leur fracturation et de leur altération.

La karstification affecte les calcaires et augmente considérablement les perméabilités des étages carbonatés (Couviniens, Givetien et Frasnien Fr1o), ce qui peut en faire d'excellents aquifères.

IV.2.1.1. Aquifère de l'Eifelien (Cobm)

L'Aquifère de l'Eifelien correspond au niveau de calcaire franc d'âge couvinien qui constitue les terrains les plus anciens reconnus sur la carte 59/1-2 Houyet – Han-sur-Lesse, dans le coin SW de la carte (Figure IV.5). Constituée de calcaire massif bien stratifié en bancs épais, cette unité présente clairement un caractère aquifère grâce à sa porosité de fissure importante (diaclasses, stratification).

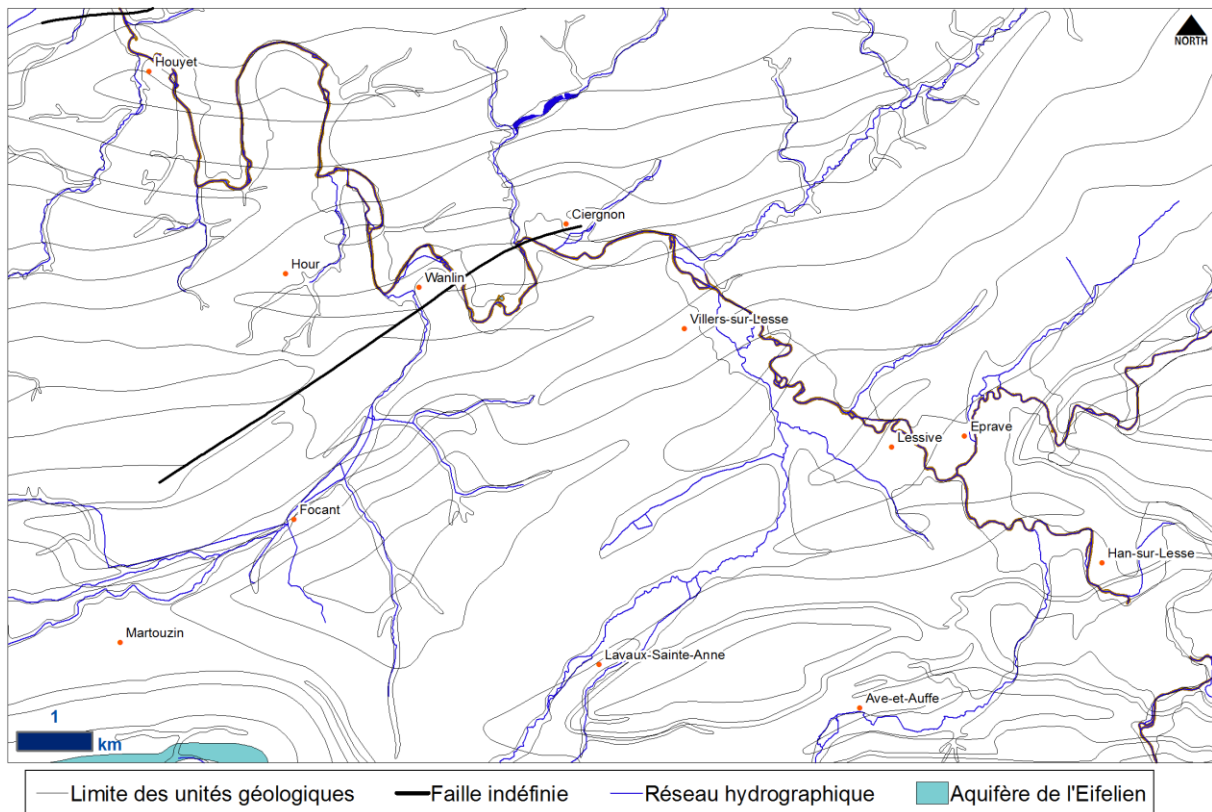


Figure IV.5 : Localisation des zones d'affleurement de l'Aquifère de l'Eifelien sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse.

IV.2.1.2. Aquiclude de l'Eifelien (Cobn)

L'Aquiclude de l'Eifelien est constitué par les schistes "imperméables" du Cobn de l'étage du Couvinien (Figure IV.7).

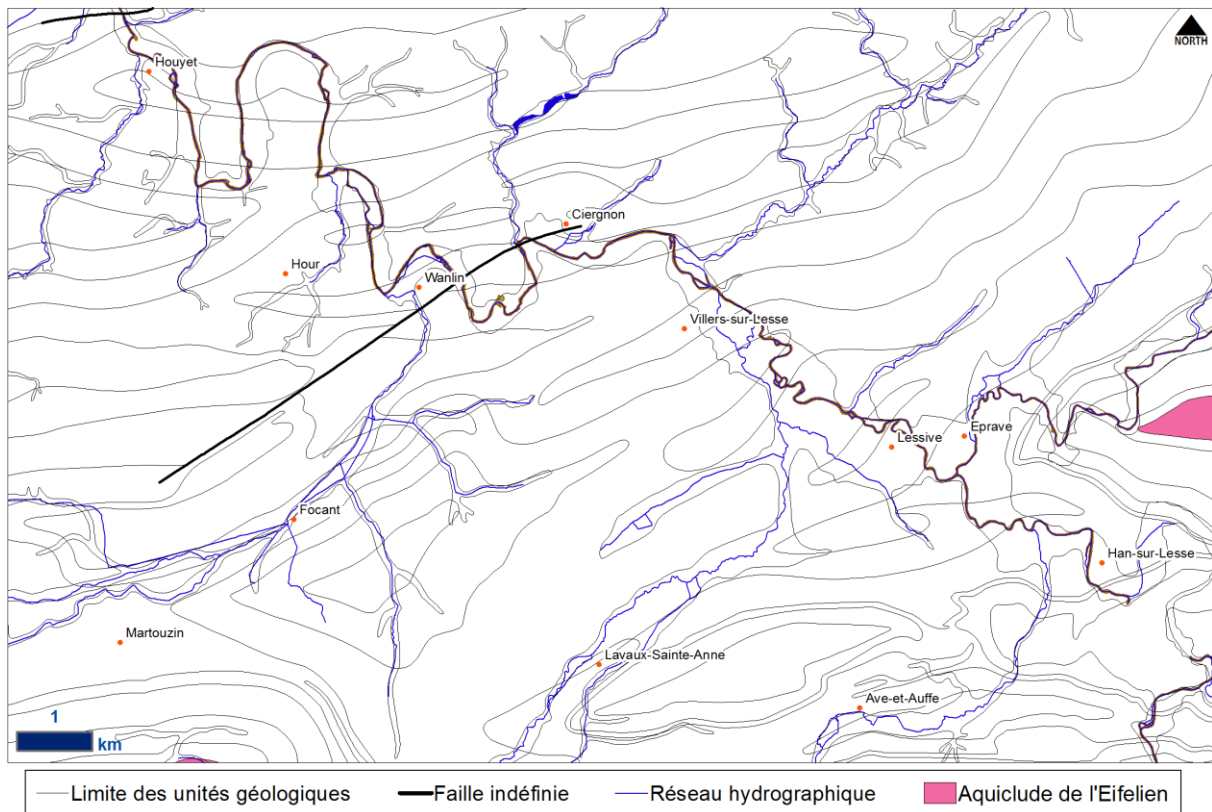


Figure IV.6 : Localisation des zones d'affleurement de l'Aquiclude de l'Eifelien sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse

IV.2.1.3. Aquitard de l'Eifelien (Cobp)

L'Aquitard de l'Eifelien est constitué par le Cobp de l'étage Couvinien (Figure IV.7). Les schistes peu perméables alternent avec des psammites et des macignos qui en améliorent sensiblement la perméabilité.

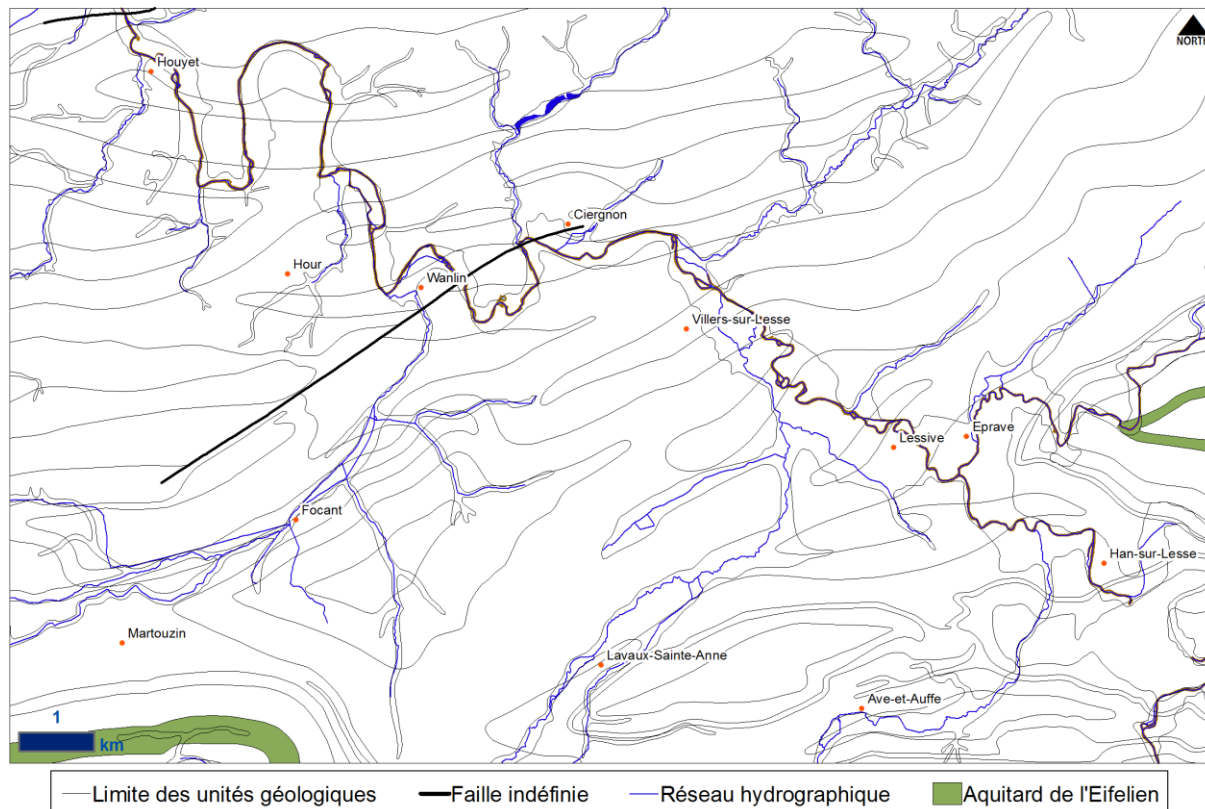


Figure IV.7 : Localisation des zones d'affleurement de l'Aquitard de l'Eifelien sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse.

IV.2.1.4. Aquifère des calcaires du Givetien (Gva et Gvb)

L'Aquifère des calcaires du Givetien est constitué par l'ensemble des calcaires de l'étage du Givetien (Figure IV.8). Quelques niveaux plus argileux (Membre de Flohimont) peuvent localement diminuer la perméabilité. Cet aquifère présente une forte porosité de fissure (diaclasses et stratification) et est localement affecté par des phénomènes karstiques qui en augmentent la conductivité hydraulique. C'est dans cette unité que se sont développés les grands réseaux karstiques de la Lesse (Han-sur-Lesse) et de la Lhomme (Jemelle, Rochefort, Eprave).

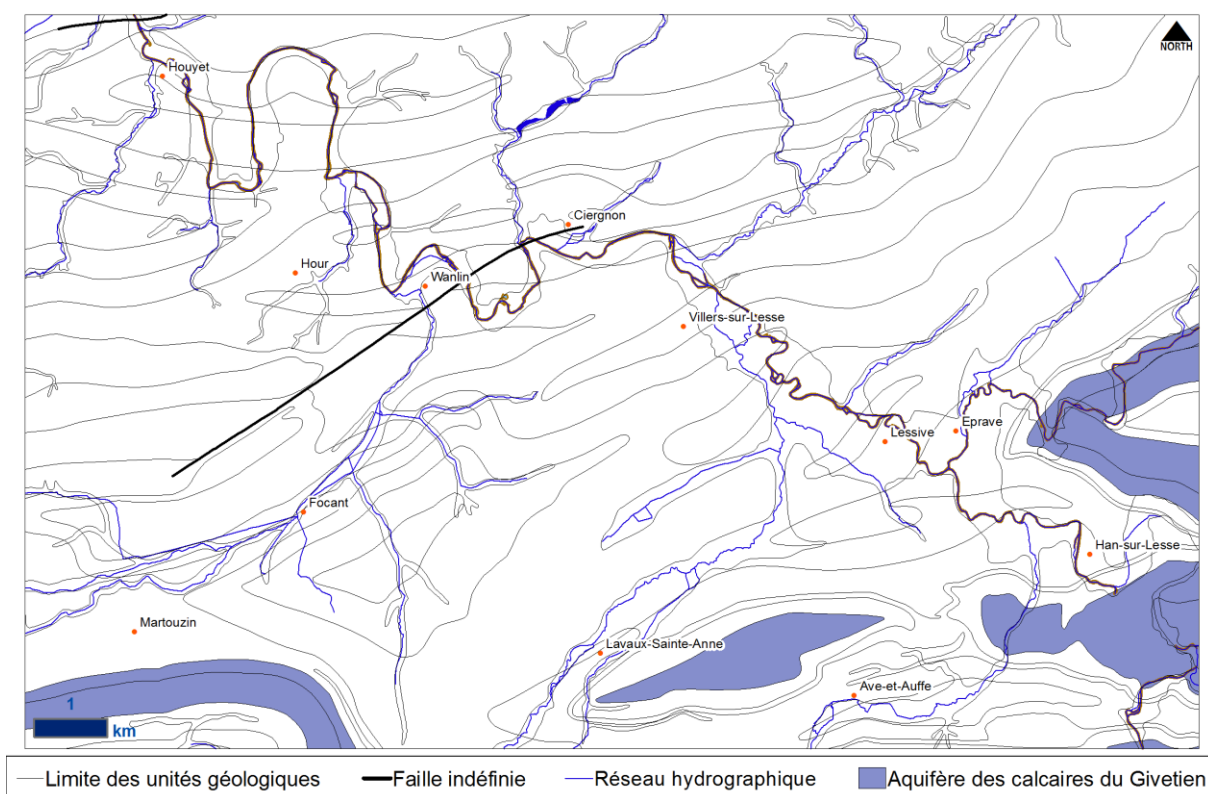


Figure IV.8 : Localisation des zones d'affleurement de l'Aquifère des calcaires du Givetien sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse.

IV.2.1.5. Aquiclude du Frasnien (Fr1m, Fr2)

L'Aquiclude du Frasnien est constitué par les niveaux schisteux du Frasnien, le Fr1m et le Fr2 (Figure IV.9). La nature de ces roches engendre de très faibles conductivités hydrauliques. Dans l'attente de la publication de la nouvelle carte géologique levée par Blockmans et Dumoulin (Figure III.3, p. 22), il est à noter que ces dernières ont cartographié, au sein de cet ensemble schisteux, des niveaux nettement carbonatés (Formation de Neuville et Membre de Chalon - Formation du Moulin Liénaux), sous formes de bancs ou de nodules épars ou rassemblés en bancs, qui amélioreront la perméabilité.

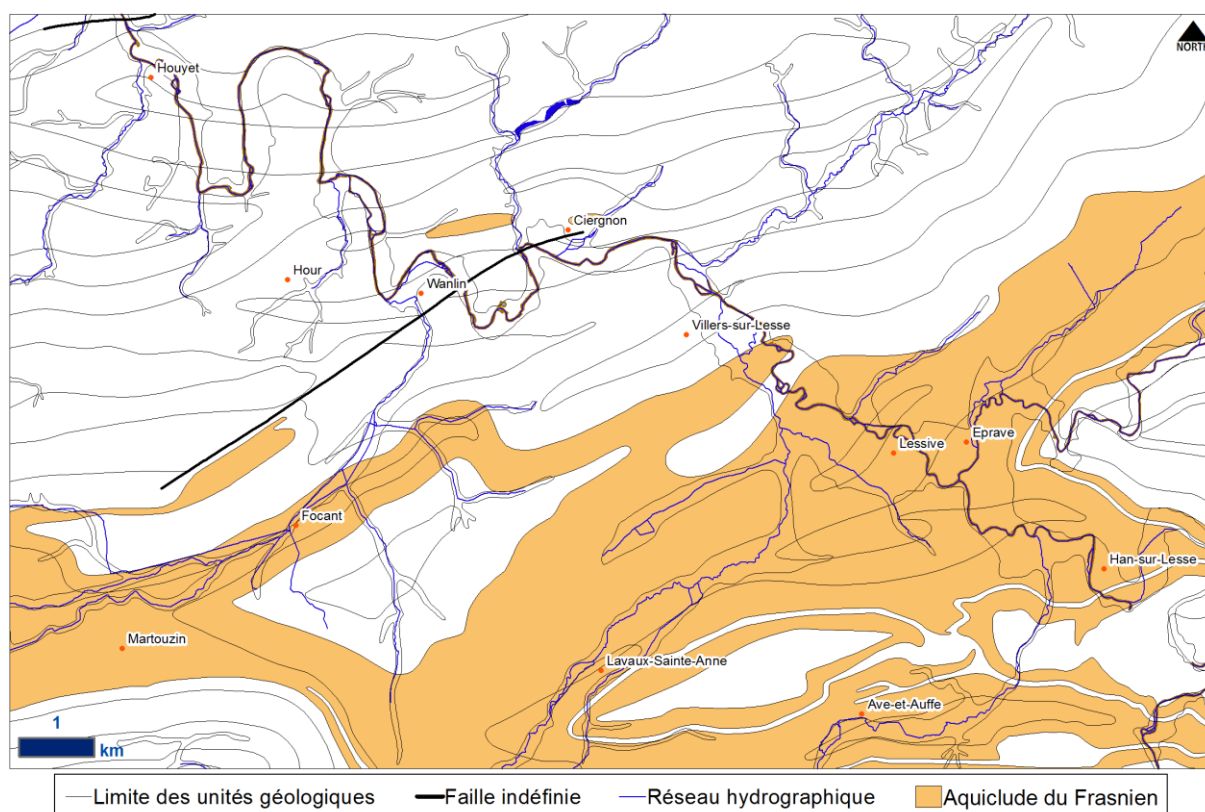


Figure IV.9 : Localisation des zones d'affleurement de l'Aquiclude du Frasnien sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse.

IV.2.1.6. Aquifère des calcaires du Frasnien (Fr1o)

L'Aquifère des calcaires du Frasnien est constitué par le niveau carbonaté de l'étage du Frasnien, le Fr1o (Figure IV.10). Le Frasnien de la bordure sud du Synclinorium de Dinant comprend soit des niveaux bien stratifiés d'épaisseur pluridécamétrique, soit des calcaires massifs lenticulaires de type récifal. La fracturation, la stratification et la karstification qui affectent ces calcaires leur confèrent une très bonne conductivité hydraulique. Localement, la présence de bancs plus schisteux, principalement observés à la base et au sommet de la formation, peuvent limiter les potentialités de cet aquifère.

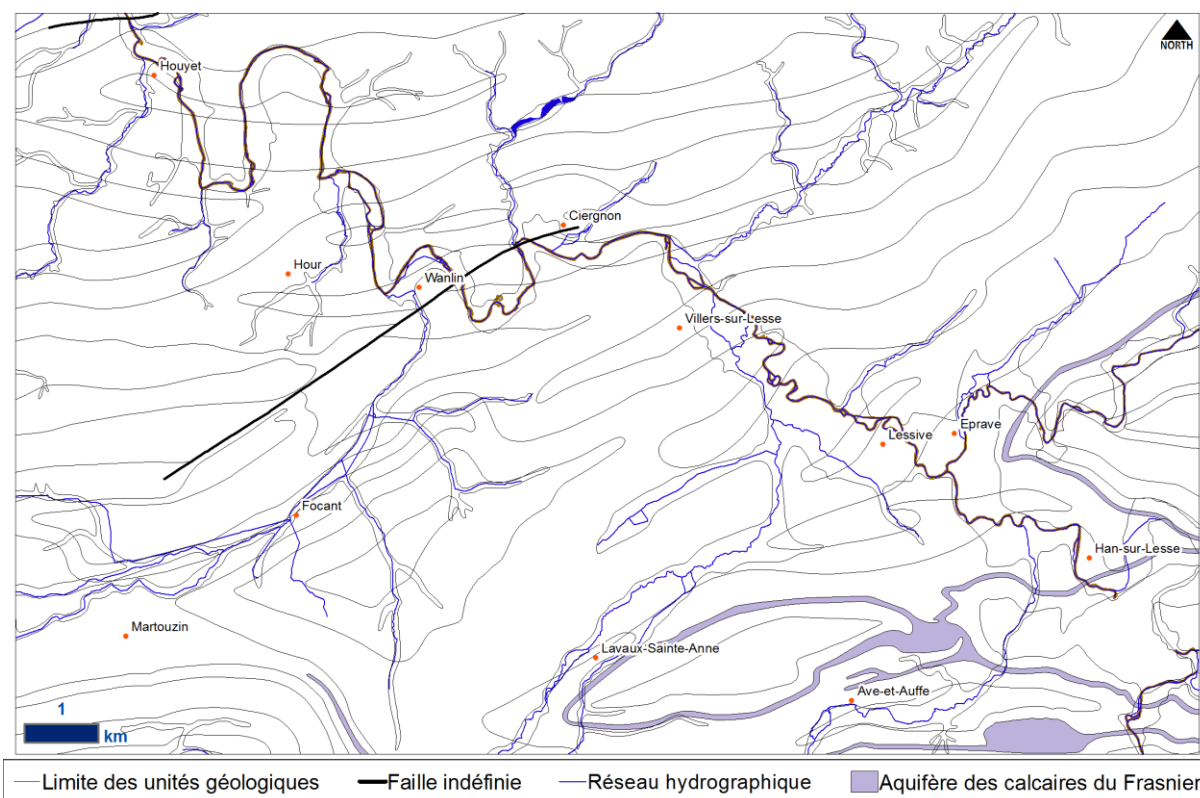


Figure IV.10 : Localisation des zones d'affleurement de l'Aquifère des calcaires du Frasnien sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse.

IV.2.1.7. Aquiclude du Famennien (Fa1a et Fa1b)

L'Aquiclude du Famennien est constitué par les niveaux schisteux du Famennien, le Fa1a et le Fa1b (Figure IV.11). La nature de ces roches engendre de très faibles conductivités hydrauliques. Dans l'attente de la publication de la nouvelle carte géologique levée par Blockmans et Dumoulin (Figure III.3, p. 22), il est à noter que ces dernières ont cartographié, au sein de cet ensemble schisteux, des différences notables avec l'ancienne géologie, notamment la présence de niveaux gréseux (Fa1a et Fa1b) et carbonatés (Fa2a, Assise de Souverain-Pré - Aquitard du Famennien) et qui amélioreront la perméabilité localement.

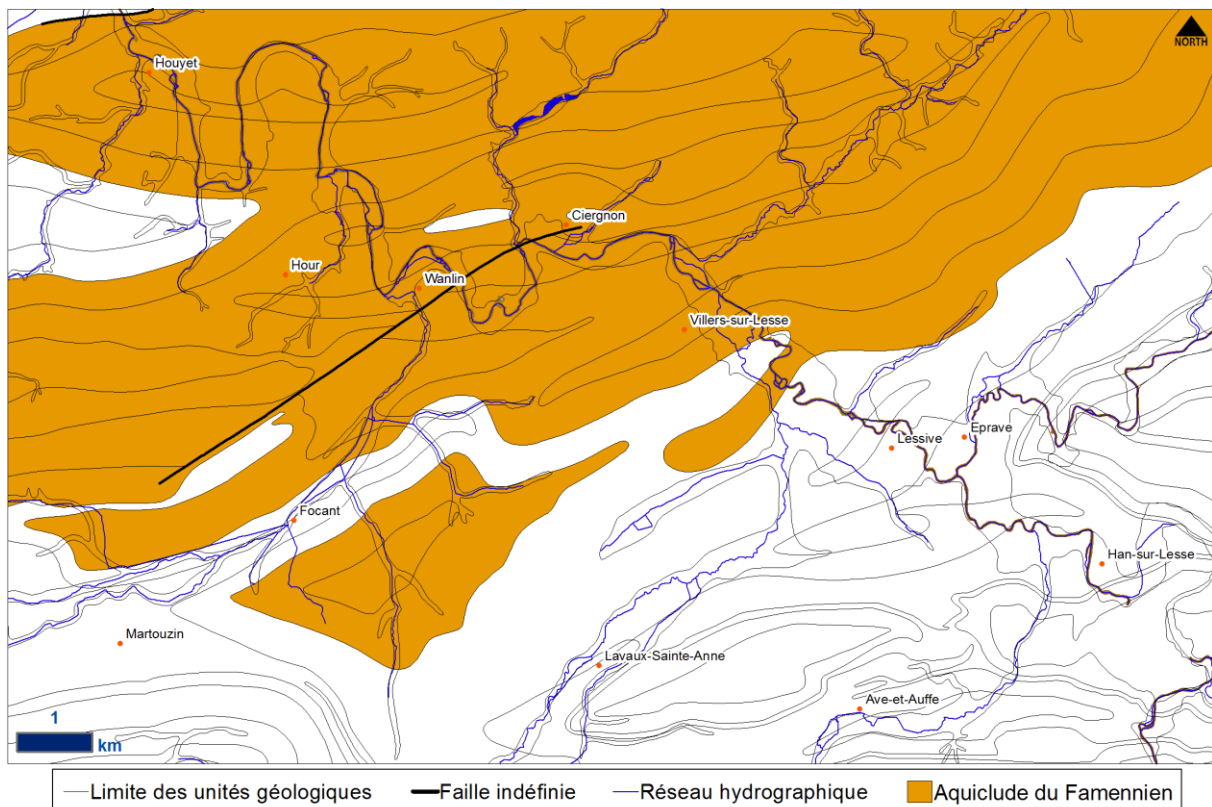


Figure IV.11 : Localisation des zones d'affleurement de l'Aquiclude du Famennien sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse.

IV.2.1.8. Aquitard du Famennien (Fa1c et Fa2a)

L'Aquitard du Famennien est constitué par les niveaux plus psammitiques du Famennien, les assises d'Esneux (Fa1c) et de Souverain-Pré (Fa2a) (Figure IV.12). L'Assise d'Esneux est principalement constituée de psammites avec des niveaux schisteux. Le passage à l'Assise de Souverain-Pré se marque par l'apparition d'une fraction carbonatée voire franchement calcaire vers le sommet de cette assise (macignos). L'ensemble des lithologies conserve cependant un caractère argileux qui limite la conductivité hydraulique.

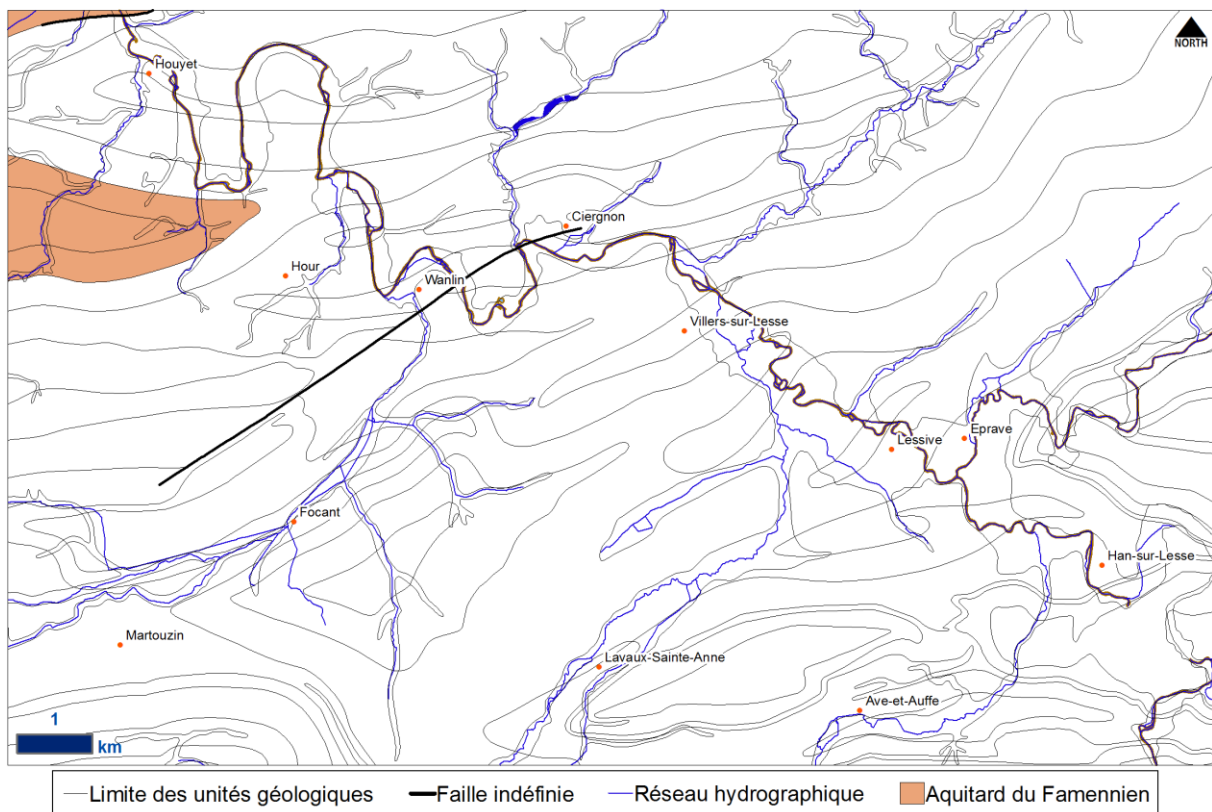


Figure IV.12 : Localisation des zones d'affleurement de l'Aquitard du Famennien sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse.

IV.2.2. Le Cénozoïque

IV.2.2.1. Aquifère alluvial

L'Aquifère alluvial est constitué des alluvions modernes des cours d'eau (Figure IV.13). L'extension de ces dépôts meubles est assez réduite dans la région de Houyet – Han-sur-Lesse et leur conductivité hydraulique est fonction de leur granulométrie. Les zones sablo-graveleuses conduiront bien mieux l'eau que les zones limono-argileuses. Les plaines alluviales sont plus développées dans les schistes et plus particulièrement dans ceux du Frasnien. Malgré l'extension importante des dépôts alluvionnaires (bien exposés dans la fosse d'extraction de la briqueterie de Wanlin), leur caractère argileux limite fortement la capacité aquifère de ceux-ci.

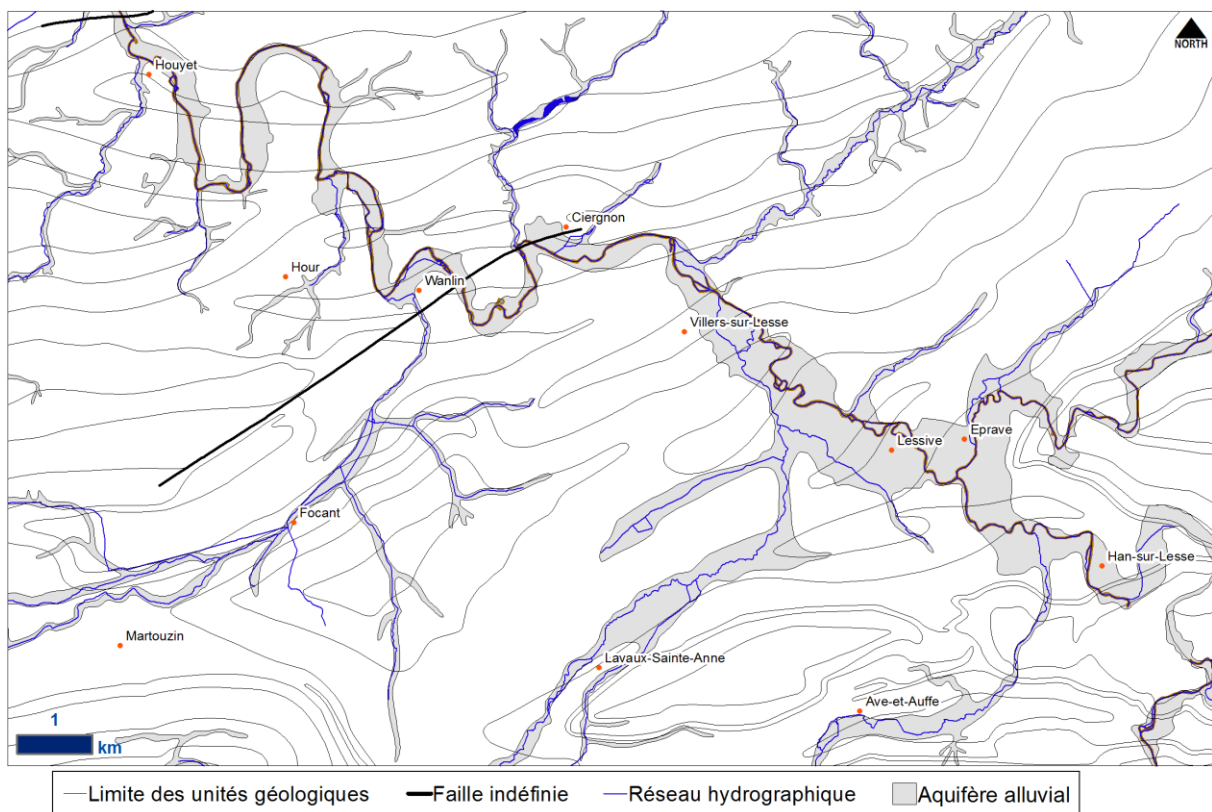


Figure IV.13 : Localisation des zones d'affleurement de l'Aquifère alluvial sur la carte de Houyet – Han-sur-Lesse.

IV.3. PHÉNOMÈNES KARSTIQUES

IV.3.1. Avant-propos

Les calcaires dévoniens qui constituent la bande de la Calestienne sont, comme la plupart des formations carbonatées que l'on rencontre en Wallonie, plus ou moins fortement karstifiés. En effet, l'intense fracturation de ces roches, liée au plissement varisque, et la forte solubilité des minéraux (carbonates) qui les constituent permettent la formation de réseaux de cavités souterraines au développement parfois plurikilométrique associés à des pertes, des dolines, des résurgences. Cette karstification est à l'origine de la grande perméabilité des calcaires mais pose également le problème de la vulnérabilité de ce type d'aquifère. Il est donc important de connaître l'ensemble des phénomènes karstiques qui affecte les aquifères des calcaires du Givetien et du Frasnien.

IV.3.2. Systèmes karstiques de la région de Houyet – Han-sur-Lesse

D'une manière générale, dans les systèmes karstiques de la région de Han-sur-Lesse, la karstification affecte principalement des joints verticaux (stratification ou diaclase) de directions N140°E - N150°E et N50°E - N70°E. Une fois la karstogenèse déclenchée par une structuration tectonique, le réseau karstique peut alors utiliser toutes les structures présentes (Havron *et al.*, 2007).

Les principaux phénomènes karstiques de la région de Houyet – Han-sur-Lesse sont regroupés en deux zones distinctes :

1. L'anticlinal de Wavreille, drainé par la Lesse souterraine, dans lequel se développe le célèbre réseau des grottes de Han ;
2. L'anticlinal de Sainte-Odile au nord de Han-sur-Lesse et drainé par la Lhomme.

Pour de plus amples informations concernant le karst en Belgique, et plus particulièrement dans la zone étudiée, les ouvrages de référence suivants peuvent être consultés : Van Den Broeck *et al.*, 1910 ; Gevaerts, 1970 ; De Broyer *et al.*, 2002 ; Havron *et al.*, 2007 ; Bonniver, 2011.

IV.3.2.1. L'anticlinal de Wavreille

Les phénomènes karstiques de l'anticlinal de Wavreille peuvent être scindés en deux groupes. Le premier, de loin le plus important, traite du massif du

Bois de Boine, tandis que le second traite des collines des *Grignaux* et de *Turmont* et du *Bois Niau*.

IV.3.2.1.1 Le massif du Bois de Boine

Sans être exhaustif, le texte qui suit est repris intégralement de la thèse de Bonniver (2011) : "*Etude hydrogéologique et dimensionnement par modélisation du "système - traçage" du réseau karstique de Han-sur-Lesse (Massif de Boine – Belgique)*" à laquelle le lecteur peut se référer pour de plus amples détails sur le comportement hydrogéologique du karst du massif du *Bois de Boine*. L'ensemble des phénomènes karstiques du massif du Bois de Boine sont repris à la [Figure IV.14](#).

"Le système karstique de Han-sur-Lesse est un système "perte-résurgence" par recouplement souterrain de méandre. Pour des débits de la rivière inférieurs à 25 m³/sec (Quinif, 1988), la Lesse se perd totalement au Gouffre de Belvaux. Après un parcours souterrain de deux kilomètres, la totalité des eaux résurge au Trou de Han. Ce raccourci souterrain induit, en surface, la présence d'un méandre abandonné à fond plat et herbagé contournant le massif de Boine par le NE : la Chavée (Figure IV.15).

Lors de l'augmentation du débit de la Lesse, le Gouffre de Belvaux se met progressivement en charge et, pour des débits supérieurs à 25 m³/sec, la capacité d'absorption du Gouffre de Belvaux est dépassée. La rivière reprend son cours aérien via la Chavée. Deux pertes principales s'activent alors : le Trou d'Enfaule ; capable d'absorber jusqu'à 7 m³/sec et la perte diffuse de l'Entonnoir (Gevaerts, 1970), impénétrable, décrite par Kaisin et de Pierpont (1939), localisée dans le lit-même de la Chavée à la limite entre les calcaires givetiens et les shales frasniens. Elle est capable d'absorber jusqu'à 8 m³/sec (Quinif, 1988). Une fois ces deux pertes saturées, la Lesse réoccupe complètement son méandre abandonné. Le débit de la Lesse peut atteindre des valeurs supérieures à 90 m³/sec, engendrant alors une inondation importante de la Chavée et du village de Han-sur-Lesse."

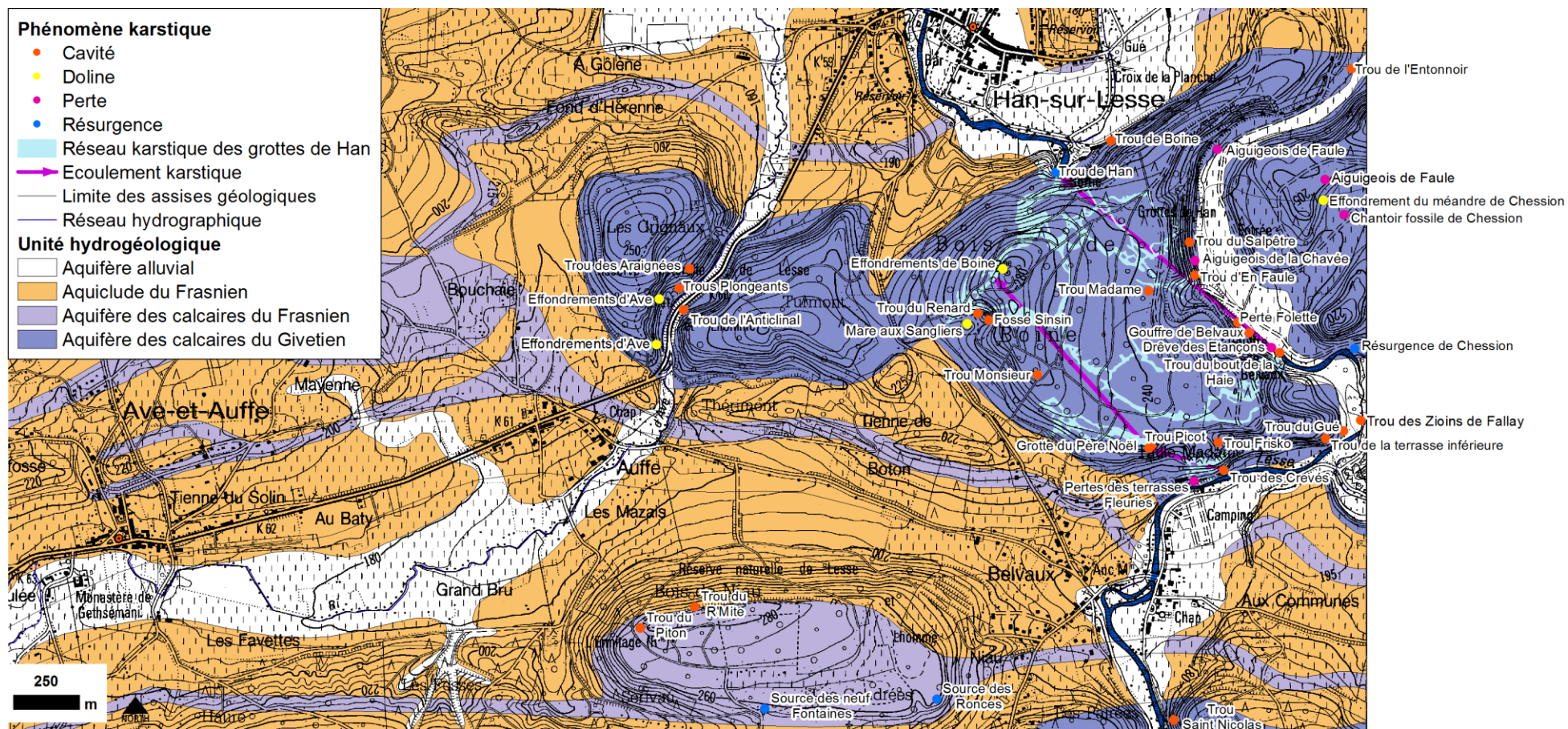


Figure IV.14 : Localisation des phénomènes karstiques des lieux-dits *Grignaux* et *Turmont* et du Bois de Boine, respectivement au SW et au SSE de Han-sur-Lesse.

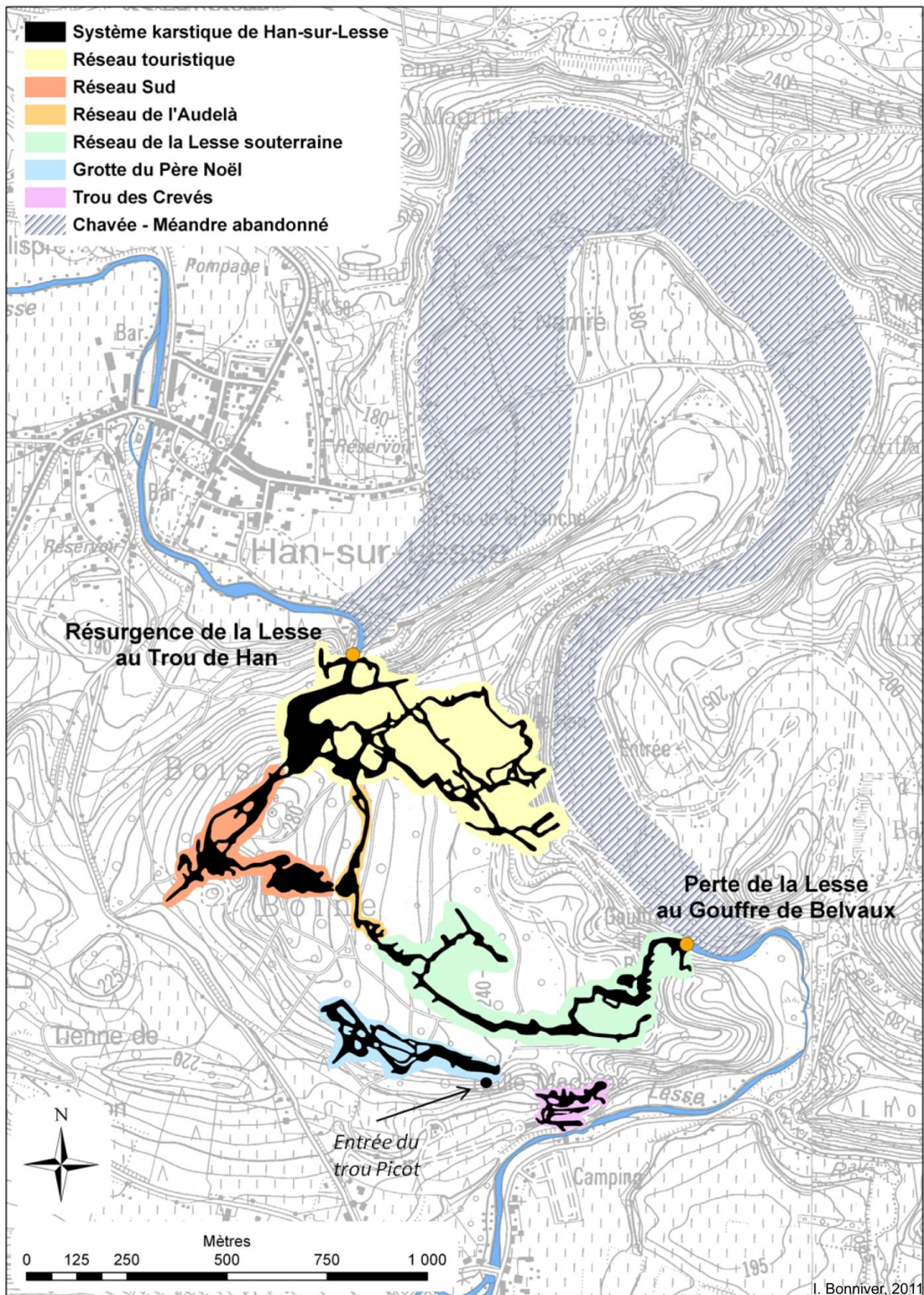


Figure IV.15 : Principaux réseaux du système karstique de Han-sur-Lesse (Bonniver, 2011).

"Le système karstique de Han-sur-Lesse s.l. est composé de sept réseaux principaux (Figure IV.15) :

1. La Lesse Souterraine ;
2. Le Réseau de l'Au-Delà ;
3. La grotte de Han s.s. ou réseau Touristique ;
4. Le Réseau Sud ;
5. Le Trou des Crevés ;
6. La Grotte du Père Noël ;
7. Le Trou Picot.

Ce qui représente 13 843 mètres de galeries au sein du massif de Boine (Quinif, 1988b). Les quatre premiers sont aujourd'hui directement liés au cours souterrain de la Lesse compris entre le Gouffre de Belvaux et le Trou de Han."

Bonniver (2011) résume le comportement hydrogéologique général du réseau karstique du massif du Bois de Boine en sept points :

1. Le système karstique de la Lesse souterraine est un système perte (Gouffre de Belvaux) – résurgence (Trou de Han) par recoupement souterrain de méandre. La perte de la rivière est totale pour un débit de la Lesse inférieur à 25 m³/sec ;
2. Le cours souterrain de la Lesse, entre le Gouffre de Belvaux et le Trou de Han se complexifie au fur et à mesure de l'augmentation du débit de la rivière. Quatre degrés d'activation sont définis (Figure IV.16) :
 - Degré I : Débit inférieur à 1,25 m³/sec, aucune diffluence majeure n'affecte le cours de la Lesse souterraine ;
 - Degré II : Débit compris entre 1,25 m³/sec et 2 m³/sec, activation d'une diffluence majeure à la Salle d'Armes via la dérivation ;
 - Degré III : Débit compris entre 2 m³/sec et 9 m³/sec, activation d'une diffluence majeure à la Salle du Corail, un bras de Lesse est dévié via le Réseau Sud ;
 - Degré IV : Débit supérieur à 9 m³/sec, le Gouffre de Belvaux se met en charge et déborde au-delà des 25 m³/sec. Activation de pertes supplémentaires, inondation progressive du réseau fossile du réseau touristique, nombreuses diffluences.
3. La Lesse superficielle, entre le village de Belvaux et le Gouffre de Belvaux, est perchée par rapport à la nappe et infiltrante ;
4. Pour les degrés d'activation I et II, le collecteur du Réseau Sud est alimenté en permanence par une arrivée d'eau en provenance de la

Grotte du Père Noël. Cette arrivée d'eau est localisée en rive gauche de la Galerie de l'Egout (Réseau Sud) ;

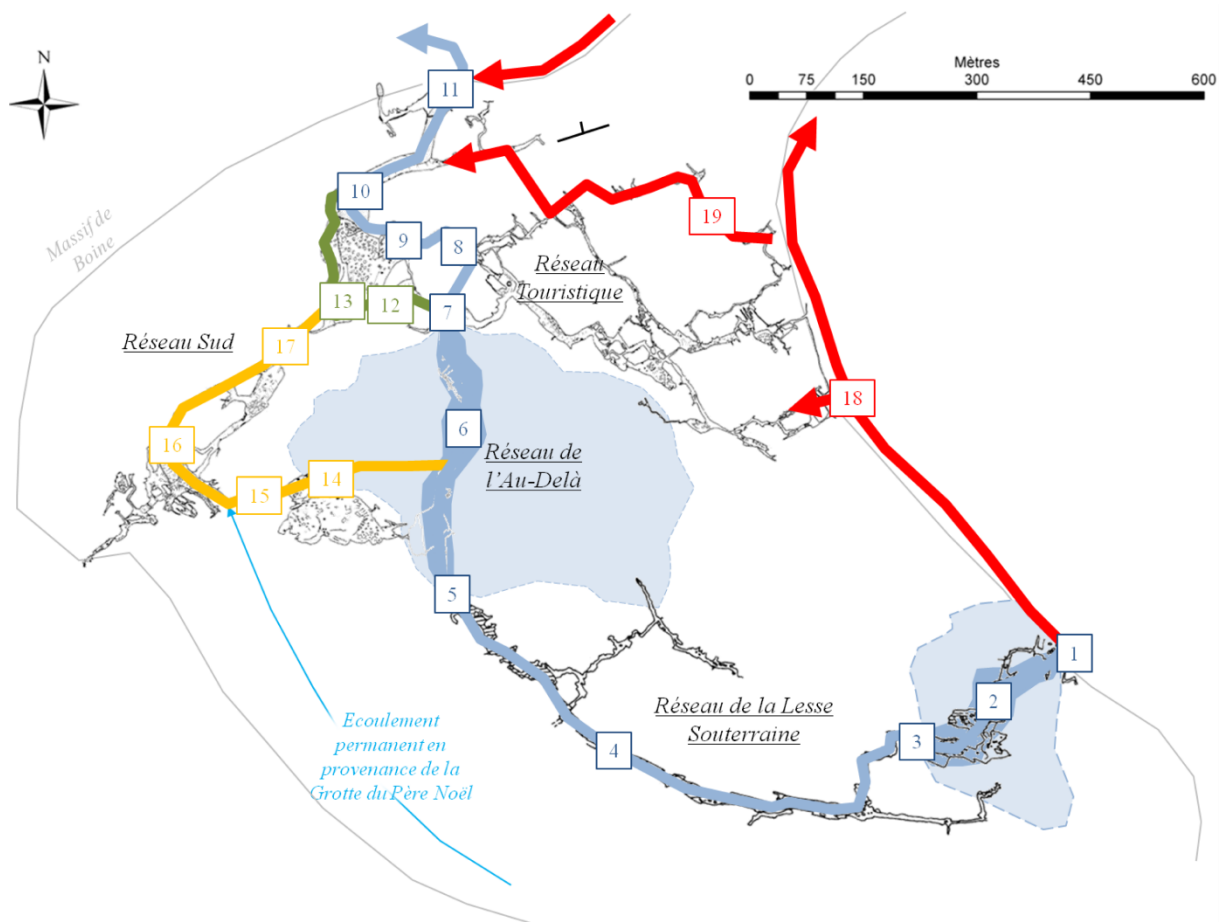
5. *Dix regards sur la nappe d'eau souterraine sont accessibles : sept dans la Grotte de Han, deux dans la Grotte du Père Noël et un dans le Trou des Crevés ;*
6. *La promiscuité entre la rivière et la nappe d'eau souterraine de la Grotte du Père Noël constitue un site d'observation privilégié pour étudier l'interaction entre ces deux types de milieu ;*
7. *Les principaux écoulements souterrains sont organisés par rapport à la structure géologique du Massif de Boine :*
 - *Le flanc sud de l'anticlinal de Wavreille est composé de deux zones d'écoulement localisées de part et d'autre du Membre de Flohimont³ : le "système Lesse souterraine" et le "système CR-PN-RS⁴". De manière générale, ces deux zones sont caractérisées par un écoulement parallèle à la direction des couches géologiques ;*
 - *La zone axiale de l'anticlinal de Wavreille, intensément fracturée, est le siège de la zone noyée de l'Au-Delà et de la diffluence de la Lesse via le Réseau Sud pour les degrés d'activation III et IV du système karstique actif ;*
 - *Le flanc nord de l'anticlinal de Wavreille est subdivisé en deux unités séparées par le pli-faille de Sorotchinsky. L'unité ouest est le siège du réseau Sud, l'unité est constitue l'exutoire de la Lesse depuis la salle d'Armes vers le trou de Han.*

IV.3.2.1.2 Les collines des Grignaux et de Turmont

Les phénomènes karstiques dans cette zone sont peu nombreux et de très faible extension. Sur la colline des *Grignaux*, deux dolines (*Effondrements d'Ave*, [Figure IV.14](#)) et deux cavités (*Trou des Araignées*, *Trous Plongeants*, [Figure IV.14](#)) sont signalées sur le flanc SE. Sur la colline de *Turmont*, une cavité de quelques mètres (*Trou de l'Anticlinal*, [Figure IV.14](#)) est renseignée au pied du flanc NW. Ce *Trou de l'Anticlinal* à la particularité d'atteindre la surface piézométrique de la nappe.

³ Voir Figure IV.40 et Figure IV.41.

⁴ Trou des Crevés-Père Noël-Réseau Sud.



DEGRÉ D'ACTIVATION I		DEGRÉ D'ACTIVATION II		DEGRÉ D'ACTIVATION III		DEGRÉ D'ACTIVATION IV	
1	Gouffre de Belvaux	Sites 1 à 11 +		Sites 1 à 13 +		Sites 1 à 17 +	
2	Zonenoyée du Gouffre de Belvaux	12	Salle de la Sentinelle	14	Salle du Corail	18	Trou d'Enfaule
3	Salle Daniel Ameye	13	Salle des Draperies	15	Galerie de l'Egout	19	Galerie des Aventuriers
4	Lesse souterraine			16	Salle des Synanthropes		
5	Salle de l'Hipopotame			17	Salle Cornet		
6	Zonenoyée de l'au-Delà						
7	Salle d'Armes						
8	Styx						
9	Salle du Dôme						
10	Salle d'Embarquement						
11	Trou de Han						

	Degré d'activation I
	Degré d'activation II
	Degré d'activation III
	Degré d'activation IV
	Extension inconnue des zones noyées

I. Bonniver, 2011

Figure IV.16 : Degrés d'activation I à IV du système karstique actif de la Lesse (Bonniver, 2011).

IV.3.2.1.3 Le Bois Niau

Les phénomènes karstiques dans cette zone sont également très peu nombreux. Deux résurgences, la *Source des neuf fontaines* et la *Source des Ronces* situées au sud du bois (Figure IV.14), et deux cavités, le *Trou du Piton* et le *Trou R'Mite* au nord du bois (Figure IV.14).

IV.3.2.2. L'anticlinal de Sainte-Odile

L'anticlinal de Sainte-Odile, dont la terminaison périclinale se situe en bordure est de la carte 59/1-2 Houyet – Han-sur-Lesse, se prolonge vers le NE, sur la carte Rochefort - Nassogne 59/3-4, bien au-delà de la ville de Rochefort (Figure IV.17). Le flanc nord de cet anticlinal est très riche en phénomènes karstiques. La plupart des pertes, dolines et cavités qu'il compte font partie d'un vaste réseau karstique de type "recoupement souterrain de méandre" qui inclut la Lhomme et la Wamme (Quinif et Vandycke, 2001).

Sur la carte Rochefort - Nassogne, les eaux de la Wamme disparaissent partiellement dans une série de pertes dans les calcaires près et en aval de On. Les eaux de la Lhomme, quant à elles, disparaissent partiellement entre Jemelle et Eprave.

Toutes ces eaux perdues dans les calcaires givetiens sur le trajet de la Lhomme et de la Wamme rejoignent le cours aérien de la Lhomme à la résurgence d'Eprave qui constitue la principale sortie d'eau du système karstique souterrain Wamme – Lhomme au sein des calcaires givetiens (Hallet et Meus, 2011). Cette résurgence, située au pied du massif rocheux (*Tienne del Roche*) dans lequel se développe la Grotte d'Eprave, est de type vaclusien et a été explorée, à ce jour, sur une longueur de 170 m et jusqu'à une profondeur de -88 m sous le niveau de la Lhomme (Delbrouck, 1971, 1975). Des traçages (Figure IV.17, Delbrouck, 1974) ont permis d'établir des relations entre la résurgence d'Eprave et des pertes situées plus de huit kilomètres en amont :

- pertes de Kerwée ;
- Nouvelle grotte de On ;
- Abîme de l'Agole.

Suivant le lieu de perte et les conditions climatiques influençant le débit, ces différents parcours souterrains prennent entre 68 et 260 heures.

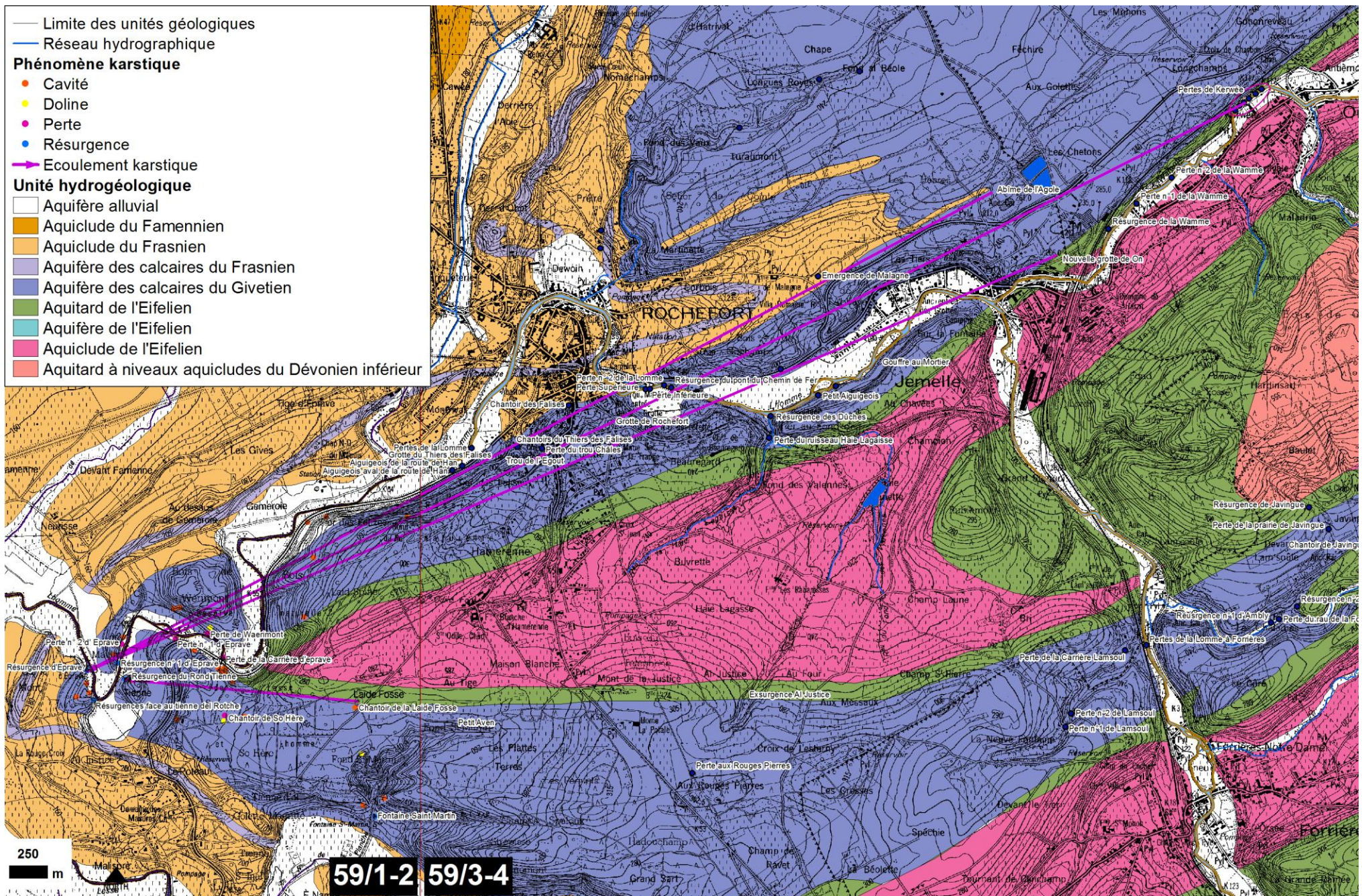


Figure IV.17 : Système karstique (perte, résurgence et cavité seulement) de On – Jemelle – Rochefort - Eprave sis dans le flanc nord de l'anticlinal de Sainte-Odile, à cheval entre les cartes de Houyet - Han-sur-Lesse (59/1-2) et Rochefort – Nassogne (59/3-4).

IV.4. DESCRIPTION DE L'HYDROGÉOLOGIE REGIONALE

A l'échelle de la carte, l'hydrogéologie de la région de Houyet - Han-sur-Lesse, sur base de sa géologie, peut être décrite en distinguant trois grandes unités hydrogéologiques régionales (Figure IV.18), calquées approximativement sur les unités morpho-structurales de la Figure III.3 (p. 22) :

1. Au nord, l'unité de la Bordure sud du Condroz, reprenant le Condroz et ses contreforts ;
2. Au centre, l'unité de la Dépression de la Famenne ;
3. Au sud, l'unité de la Calestienne.

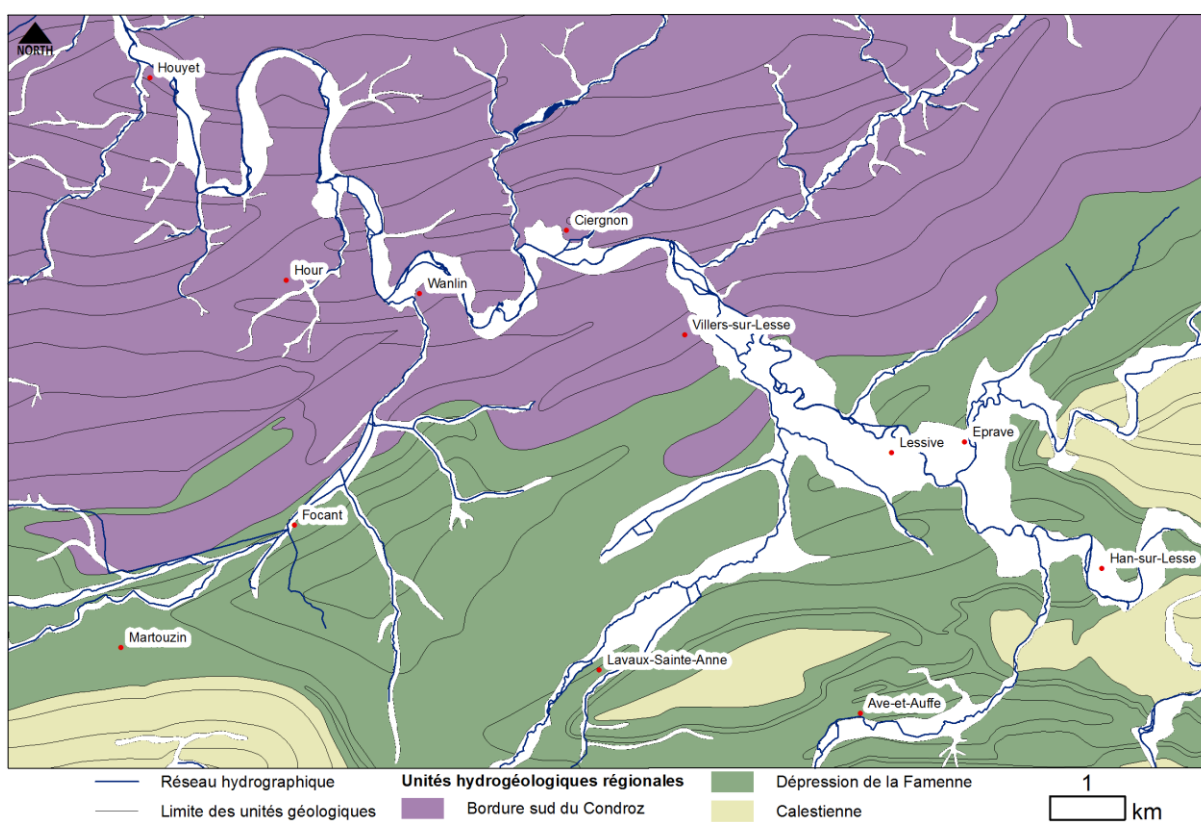


Figure IV.18 : Unités hydrogéologiques régionales de la carte Houyet - Han-sur-Lesse.

IV.4.1. Recharge des aquifères : le bilan hydrogéologique

Si le calcul des pluies efficaces renseigne sur les potentialités de recharge d'une nappe (pour autant que le ruissellement ait été estimé), la bonne gestion de celle-ci passe par le calcul d'un bilan réalisé soit à l'échelle du bassin hydrographique, soit à l'échelle du bassin hydrogéologique.

L'estimation des quantités d'eau passant par chacune des étapes du cycle hydrologique peut se faire à l'aide d'une équation de bilan appelée "bilan hydrologique". Celui-ci représente le bilan des quantités d'eau entrant et sortant d'un

système défini dans l'espace et dans le temps, à savoir l'année hydrologique, période très souvent différente de l'année civile.

Le calcul du bilan hydrogéologique nécessite la connaissance de nombreux paramètres météorologiques tels que les précipitations, les températures, les vitesses du vent, le degré d'humidité de l'air, le débit des rivières, ...

Pour l'hydrogéologue, les potentialités en eau d'une région sont estimées à partir du calcul des précipitations efficaces (PE). Elles représentent la quantité des précipitations qui, soit ruisselle et va alimenter les cours d'eau, soit s'infiltrer et va recharger le "stock d'humidité du sol" (RFU) puis les nappes aquifères. La RFU est la Réserve en eau Facilement Utilisable par les plantes.

$$PE = P - ETR$$

PE : précipitation efficace

P : précipitation

ETR : évapotranspiration réelle

L'ETR est estimée en comparant les quantités de précipitation par rapport à l'évapotranspiration potentielle (ETP) et en tenant compte de la RFU.

L'ETP est un des paramètres importants dans le calcul du bilan. C'est la quantité maximale d'eau qui peut être évapotranspirée par une surface d'eau ou par la végétation lorsque la RFU est disponible à 100 %.

Dans les régions chaudes ou en été dans nos régions, les précipitations sont souvent trop faibles par rapport à l'ETP. L'ETR est alors plus faible que l'ETP car la RFU ne parvient pas à compenser le déficit en eau.

Dans nos régions, entre les mois de mai et d'octobre, l'eau utile (EU) est faible sinon nulle. L'EU est la partie des PE qui atteint la nappe, par infiltration, et les cours d'eau, par ruissellement. Elle n'existe que lorsque la RFU est à sa capacité maximale (souvent estimée à 125 mm). En conséquence, la recharge des nappes aquifères se fait principalement en automne et en hiver. C'est pourquoi, dans notre pays, ce sont les conditions météorologiques hivernales qui conditionnent la recharge des nappes et donc les ressources en eau souterraine.

Afin de mieux comprendre les fluctuations des niveaux piézométriques, il est donc nécessaire de calculer la quantité d'EU. La méthode de Thornthwaite (Thornthwaite *et al.*, 1955) permet de calculer la quantité d'EU pour une région

définie, à partir de paramètres météorologiques que sont les précipitations et la température.

L'EU a été calculée pour différentes périodes :

1. pour l'année 2003, dans le cadre de l'élaboration de la première édition de cette carte, à partir des données moyennes mensuelles de précipitations et de températures de l'IRM⁵ de la station météorologique de Han-sur-Lesse (Figure IV.19), elle est estimée à 181 mm/an ;
2. pour les années 1986 à 2005, dans le cadre du projet Synclin'eau (Figure IV.20, Brouyère *et al.*, 2009), elle est estimée à 357 mm/an ;
3. pour les années 2008 à 2009 dans le cadre de la thèse de Bonniver (2011) sur le système karstique des grottes de Han-sur-Lesse (Figure IV.21, Bonniver, 2011), elle est estimée à 380 mm en 2008 et 325 mm en 2009.

Afin de disposer d'une référence représentative d'une évolution climatique classique, au cours d'une année hydrologique type, le climatogramme pour la station météorologique de Houyet, établie à partir des normales saisonnières, a été repris à titre de comparaison (Figure IV.22). Sur cette figure l'EU moyenne annuelle est estimée à 252 mm/an.

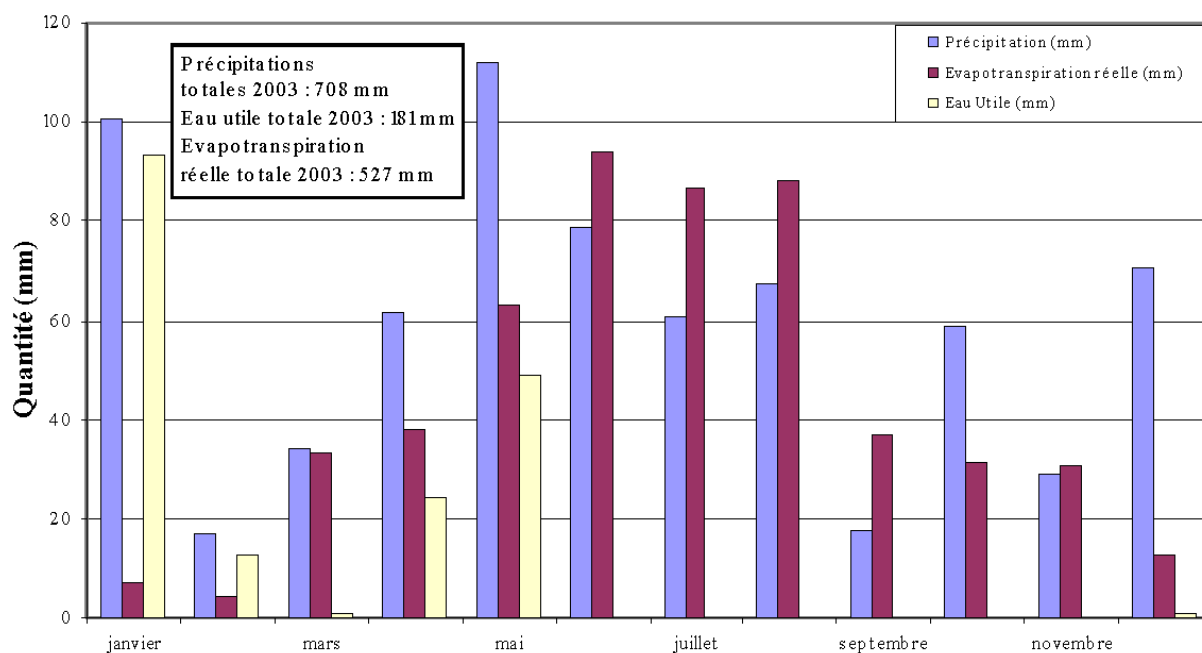


Figure IV.19 : Calcul de l'eau utile pour l'année 2003. Station météorologique de Han-sur-Lesse (données : IRM).

⁵ Institut Royal Météorologique

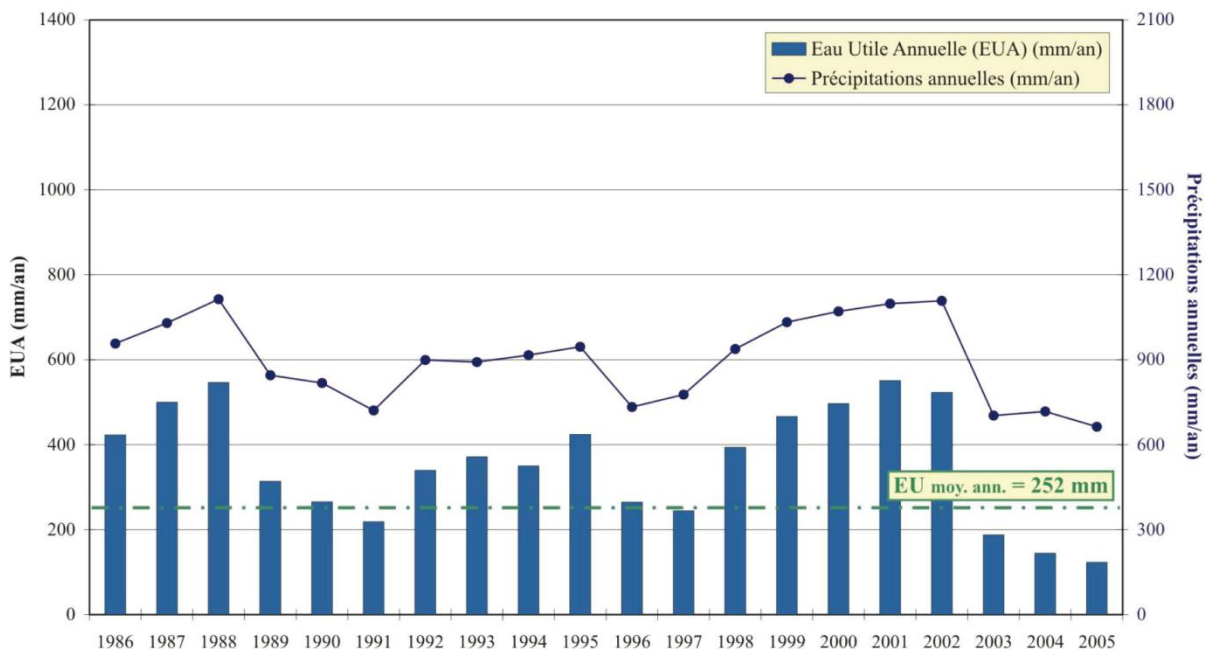
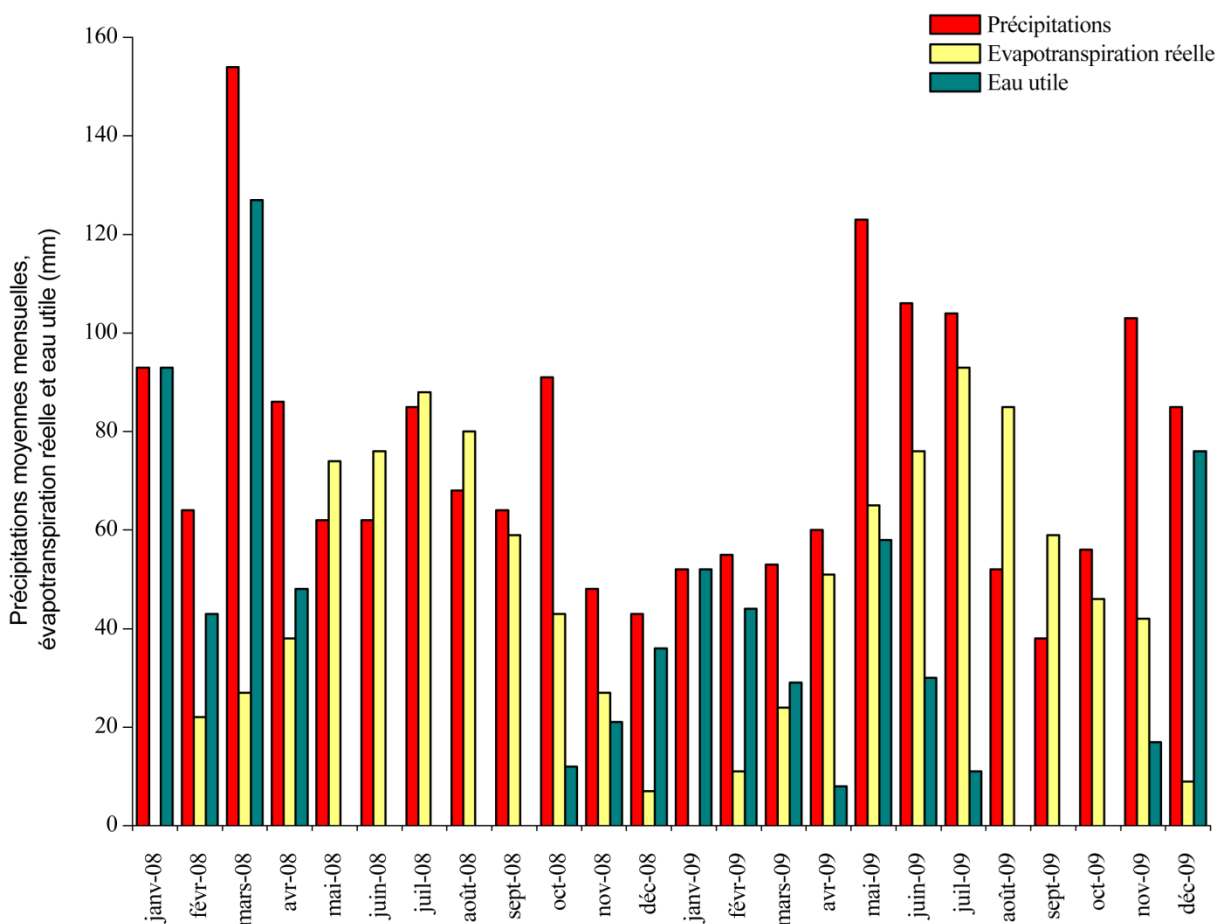


Figure IV.20 : Evolution de l'EU annuelle disponible de 1986 à 2005 et EU moyenne annuelle calculée sur base des normales saisonnières. Station météorologique de Houyet (Brouyère et al., 2009).



I. Bonniver, 2011

Figure IV.21 : Evolution des quantités d'EU de janvier 2008 à décembre 2009 (Bonniver, 2011).

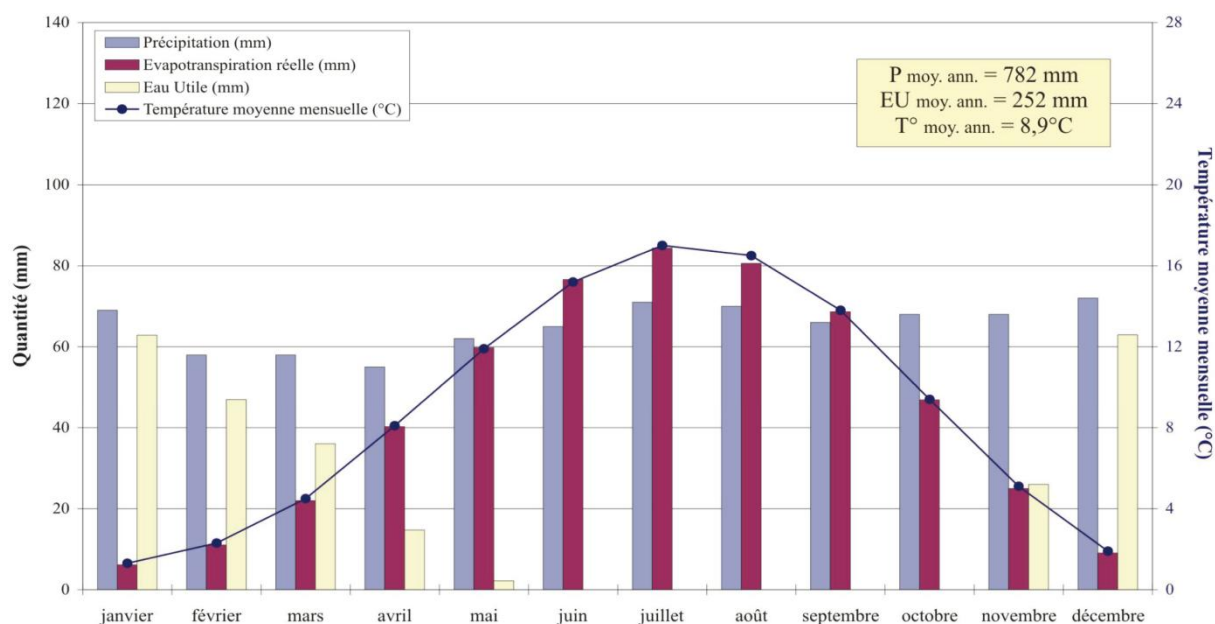


Figure IV.22 : Climatogramme de la station météorologique de Houyet (Brouyère *et al.*, 2009).

L'année 2003, au cours de laquelle la première édition de cette carte a été réalisée, s'est révélée être une année remarquable. L'hiver fut marqué par un déficit de précipitation au mois de février ainsi qu'en automne aux mois de septembre et novembre. Le printemps fut très doux et l'été très chaud (IRM, 2003). Avec 181 mm d'EU annuelle contre 250 mm en moyenne à Houyet, l'année 2003 se classe comme une année où la recharge des aquifère fut assez faible, d'autant plus si l'on considère que Houyet se situe dans une région où la pluviométrie est sensiblement plus faible que celle de Han-sur-Lesse (Figure IV.23). D'une manière générale, l'EU annuelle sera plus importante dans la moitié est de la carte que dans la moitié ouest (Figure IV.23), ce qui peut avoir son importance si l'on considère la position des deux zones calcaires de la Caestienne sur la carte.

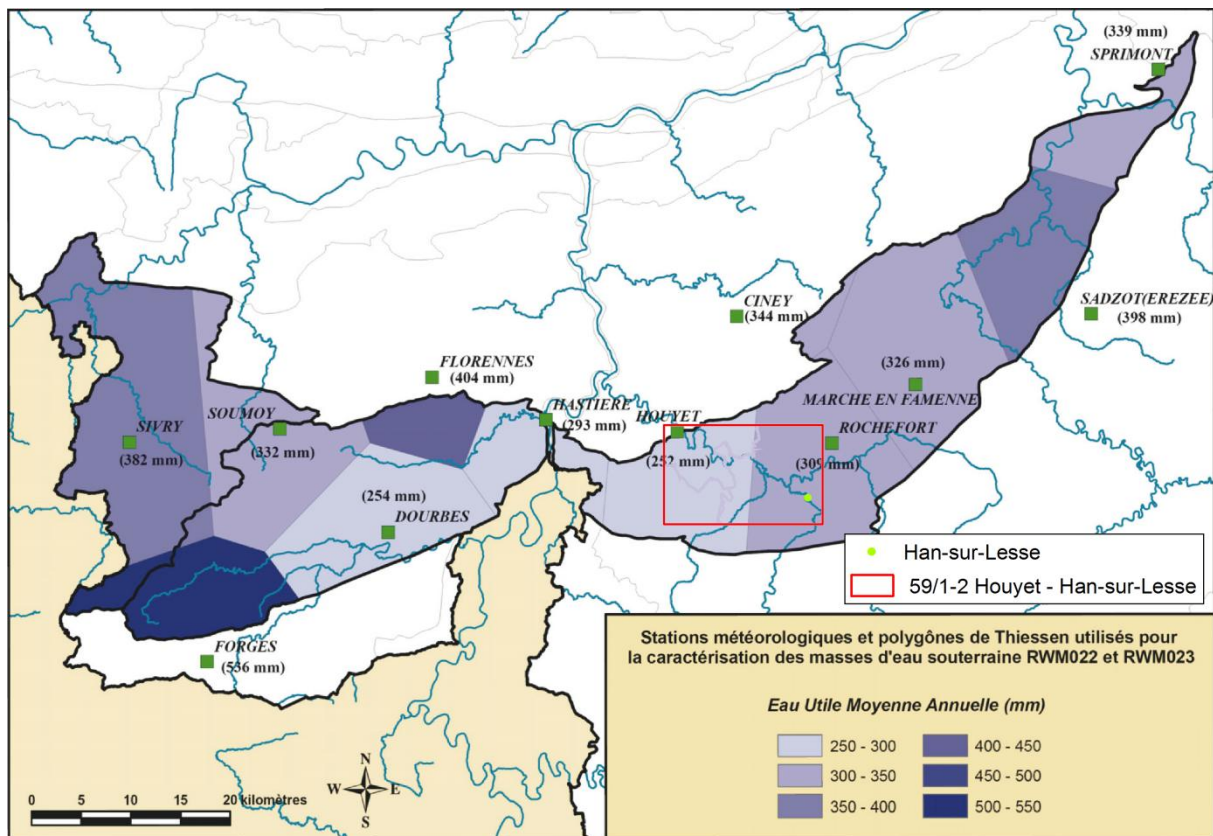


Figure IV.23 : Stations météorologiques et polygones de Thiessen utilisés pour la caractérisation des masses d'eau souterraine RWM022 et RWM023. Eau Utile Moyenne Annuelle calculée sur base des valeurs climatiques normales saisonnières. Localisation de la carte Houyet - Han-sur-Lesse. (Brouyère *et al.*, 2009, modifié).

L'année 2003, ainsi que les années qui suivirent jusque 2005, furent effectivement des années durant lesquelles la quantité d'EU et donc la recharge des nappes fut faible (Figure IV.20). En 2006, l'apport en EU est reparti à la hausse et le niveau des nappes est progressivement remonté (Figure IV.28). Ce phénomène de recharge s'inscrit dans une cyclicité pluriannuelle dépendante du climat.

IV.4.2. Evolution piézométrique et sens d'écoulement

Il existe peu de données piézométriques pour la carte Houyet – Han-sur-Lesse, ceci étant principalement dû au faible nombre d'ouvrages accessibles à la mesure. Les données dont nous disposons proviennent :

- de mesures effectuées dans le cadre de la réalisation de cette carte en 2003 au droit de puits de particuliers ou des piézomètres de la Briqueterie de Wanlin ;
- de l'étude Synclin'eau (Brouyère *et al.*, 2009) ;
- de la thèse de Bonniver (Bonniver, 2011).

A ce jour, malgré le nombre relativement élevé d'ouvrages de distribution publique (11), aucun n'a encore fait l'objet d'une étude de zone de prévention qui aurait pu nous fournir des informations piézométriques sur de longues périodes.

La répartition de ces ouvrages est inégale et la plupart des unités hydrogéologiques sont largement sous représentées.

IV.4.2.1. La Bordure sud du Condroz

Cette unité hydrogéologique régionale se caractérise par :

- son substratum composé majoritairement de schistes famenniens auxquels viennent s'adjoindre des niveaux plus gréseux, voir carbonatés ;
- ses reliefs contrastés avec des altitudes variant de 115 m à 285 m associés à des vallées bien encaissées.

Les principaux cours d'eau qui drainent cette unité sont la Lesse et ses affluents : l'Ilève, la partie aval du Biran, le ruisseau de Fenffe, le ruisseau des Auges et le Vachau.

La porosité qui affecte ces roches est une porosité de fissures dans le bedrock non altéré et éventuellement de pores dans les niveaux gréseux du manteau d'altération. Les fissures dans les niveaux schisteux conduisent à leur colmatage par altération en argile, ce qui produit finalement une conductivité hydraulique faible mais variable à la hausse dans les zones plus gréseuses ou carbonatées.

La recharge des nappes se fait par infiltration des précipitations. Le drainage quant à lui, se fait ponctuellement (sources) et/ou par écoulements diffus via le réseau hydrographique. En général, le sens et le gradient des écoulements hydrauliques seront respectivement fonction et proportionnels au relief et/ou à l'éloignement à un exutoire (ponctuel ou diffus). Le rabattement de la nappe ne pourra cependant être important au vu de la faible perméabilité de l'ensemble de cette unité.

Les quelques mesures effectuées sur des puits privés dans le cadre de la réalisation de cette carte sont en relatif accord avec la faible conductivité hydraulique des lithologies rencontrées. La profondeur de la nappe varie généralement d'environ une vingtaine de mètres au maximum sur les crêtes topographiques à une nappe subaffleurante dans les fonds de vallées.

Trois ouvrages (*Brasseur Hour*, *Ferme Dardenne Hérock* et *Pz1 Briqueterie Wanlin*) situés dans l'Aquiclude du Famennien (Figure IV.24 à Figure IV.26) ont fait l'objet d'un suivi piézométrique régulier de mars à décembre 2003 (Figure IV.27). Onze autres ouvrages ont fait l'objet d'au moins une mesure, dont huit au cours de l'année 2003, au cours d'une période de diminution du niveau piézométrique vers les basses eaux. Ces mesures, reportées sur la carte principale du poster, montrent que la profondeur à laquelle la nappe est rencontrée se situe entre 2 et 27 m.

Certaines profondeurs auxquelles la nappe est rencontrée sont interpellantes au vu de la lithologie peu perméable. C'est le cas notamment des ouvrages *Brasseur Hour* (21.7 m le 22/12/03) et *Vignée* (27.4 m le 08/08/03).

Le puits *Brasseur Hour* ($z=190$ m), situé au SW de Hour (Figure IV.24) et profond de 40 m, donnait une cote piézométrique de 170 m en août 2003, soit une surface piézométrique profonde de 20 m, cela malgré les faibles perméabilités généralement associées aux schistes. Cela peut être mis en relation avec la proximité de deux cours d'eau, d'une masse de grès au sud et de failles jouant le rôle de drains.

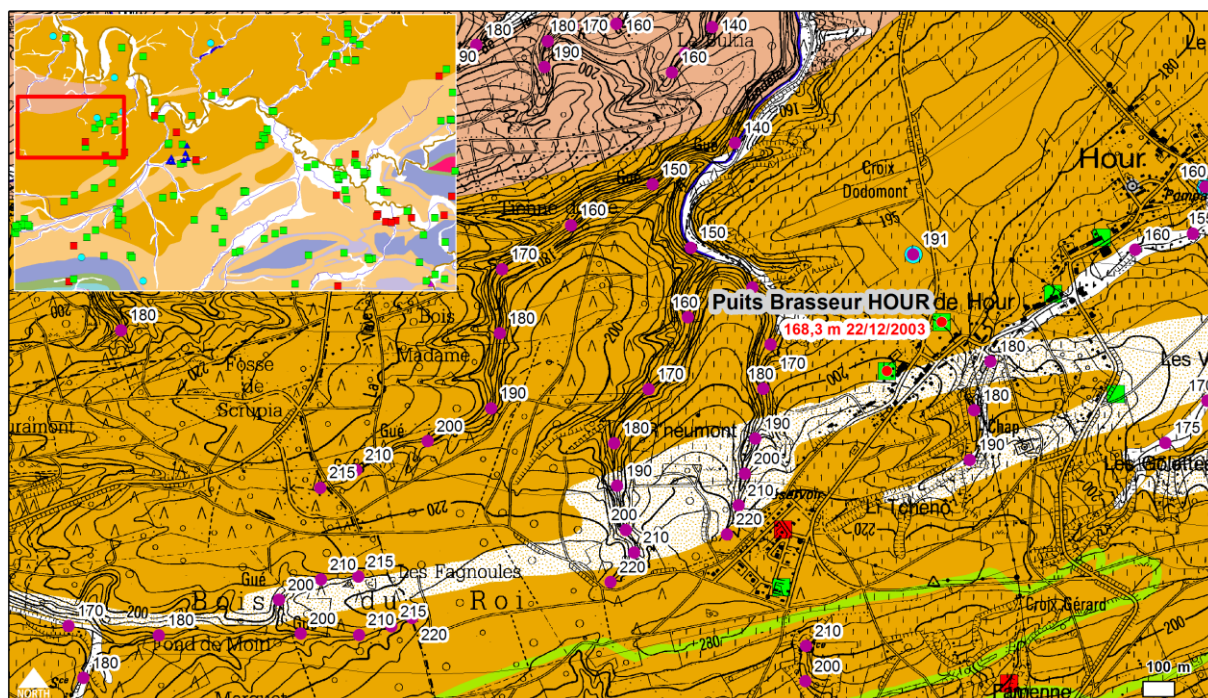


Figure IV.24 : Localisation du puits *Brasseur Hour* à Hour. Rond mauve : cote du thalweg ; rond rouge : cote piézométrique ; pointillé orange : masse de grès ; ligne verte continue : niveau gréseux.

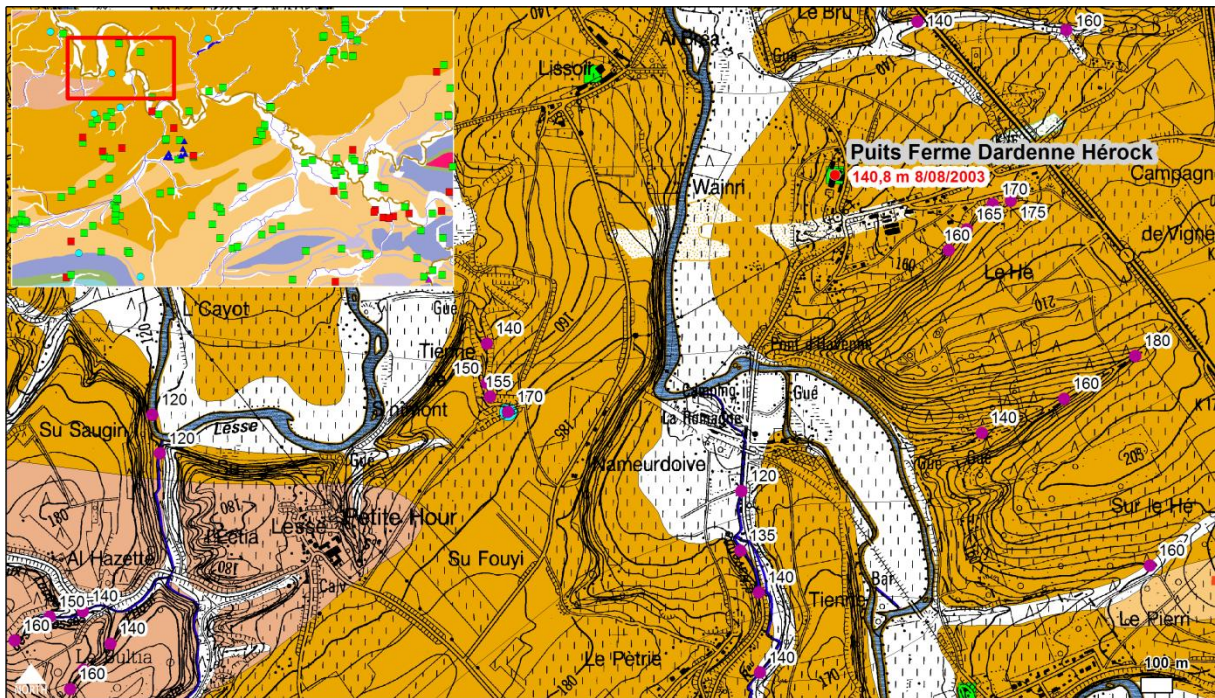


Figure IV.25 : Localisation du puits *Ferme Dardenne Hérock*. Rond mauve : cote du thalweg ; rond rouge : cote piézométrique ; pointillé orange : masse de grès.

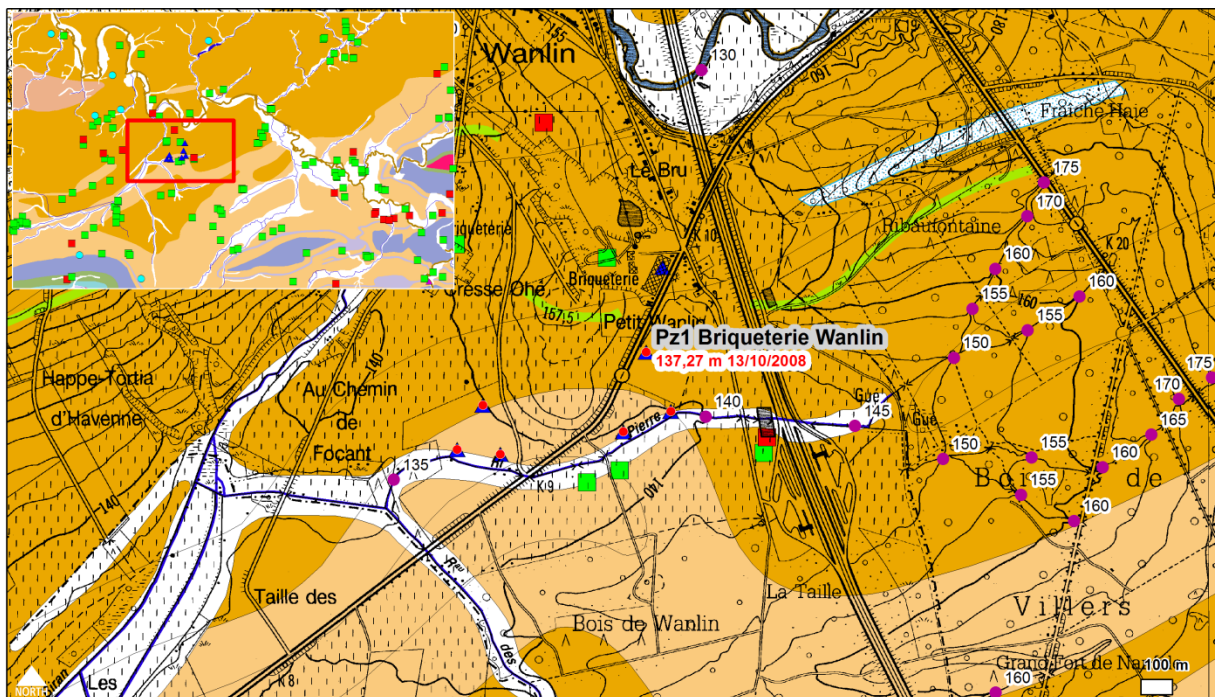


Figure IV.26 : Localisation du piézomètre *Pz1 Briqueterie Wanlin*. Rond mauve : cote du thalweg ; rond rouge : cote piézométrique ; pointillé bleu : masse de calcaire ; ligne verte continue : niveau gréseux.

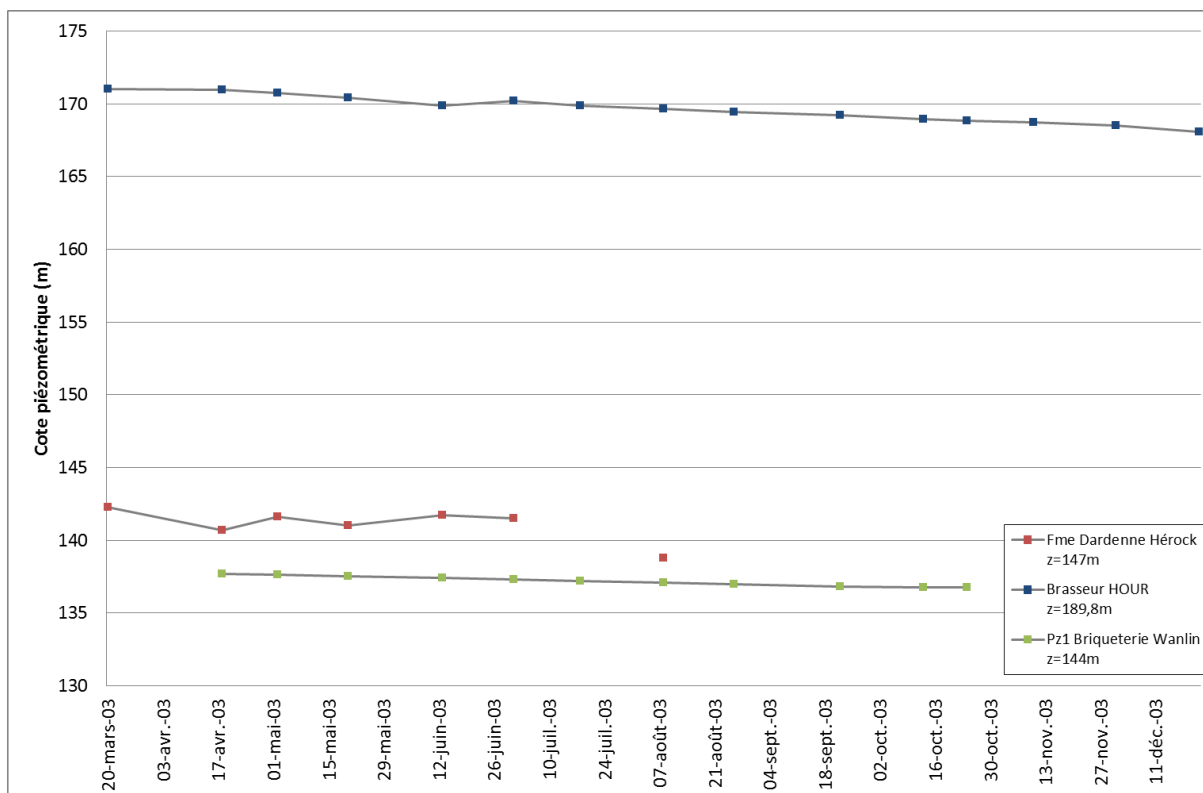


Figure IV.27 : Evolution du niveau piézométrique, de mars à décembre 2003, des puits privés *Brasseur Hour*, *Ferme Dardenne Hérock* et du piézomètre *Pz1* de la Briqueterie de Wanlin.

L'évolution piézométrique des puits *Brasseur Hour*, *Ferme Dardenne Hérock* et *Pz1 Briqueterie Wanlin* s'inscrit dans la phase descendante des fluctuations cycliques annuelles du niveau des nappes qui sont généralement observées dans ces régions ; la période de basses eaux se produit aux alentours des mois de novembre-décembre, tandis que celle des hautes eaux se produit aux alentours des mois de mars-avril. La hausse momentanée du niveau piézométrique des puits *Brasseur Hour* et *Ferme Dardenne Hérock*, observée fin juin 2003, est liée à un apport en EU au cours des mois d'avril et de mai (Figure IV.19).



Figure IV.28 : Evolution du niveau piézométrique du piézomètre Pz1 Briqueterie Wanlin, de mai 2006 à octobre 2008.

La remontée du niveau piézométrique de la nappe que l'on peut observer (Figure IV.28) entre 2006 et 2008 (+/- 1 m) est la suite logique des années 2003 à 2005 qui furent des années très pauvres en EU (Figure IV.20, p. 53).

De manière générale, l'écoulement de la nappe se fera plutôt des points hauts vers les points bas, en suivant les lignes de plus grandes pentes. Les niveaux gréseux ou carbonatés (Figure III.3, p. 22) constituent des "drains" au sein de la masse schisteuse imperméable et sont autant "d'accidents" à l'origine de modifications potentiellement significatives des gradients hydrauliques. Les nombreuses failles qui affectent cette région (Figure III.3, p. 22), lorsqu'elles ne sont pas colmatées par les produits d'altération (argile), constituent également des zones préférentielles d'écoulement.

IV.4.2.2. La Dépression de la Famenne

Cette unité hydrogéologique régionale se caractérise par :

- son substratum, composé majoritairement de schistes fameniens et frasniens, excepté pour la barre de calcaire frasien qui ceinture la Calestienne ;

- son relief, beaucoup moins marqué que celui de la Bordure sud du Condroz, avec des altitudes s'échelonnant de 140 m au niveau de la Lesse jusqu'à 200 m pour les crêtes les plus hautes.

Les principaux cours d'eau qui drainent cette unité sont, dans sa moitié est, la Lhomme, la Lesse, la Wimbe et leurs affluents et dans sa moitié ouest, le Biran amont, le ruisseau d'Ausse et le Ry Pierre. Ce réseau hydrographique, déjà relativement dense, est accompagné d'un grand nombre de drains mis en place lors du remembrement des terres agricoles au début des années 1980.

La porosité qui affecte ces roches est principalement une porosité de fissures dans le bedrock non altéré. Le manteau d'altération, constitué de schiste et d'argile, est probablement moins perméable que le bedrock.

Comme pour la Bordure sud du Condroz, la recharge des nappes se fait par infiltration des précipitations et le drainage se fait grâce aux sources et/ou au réseau hydrographique. Le sens et le gradient des écoulements hydrauliques est fonction de la topographie et/ou de l'éloignement à un exutoire (ponctuel ou diffus). Le rabattement de la nappe ne pourrait être important vu la faible perméabilité de cette unité et les différences d'altitude peu marquées entre les crêtes et les fonds de vallée.

Les quelques mesures effectuées sur des puits privés dans le cadre de la réalisation de cette carte sont en accord avec la faible conductivité hydraulique des lithologies rencontrées. La profondeur de la nappe varie généralement d'environ 2 m au maximum sur les crêtes topographiques à une nappe subaffleurante dans les fonds de vallées.

Huit ouvrages (*Ferme de Comogne, Gozin Jaspert, Ferme du Fusik, SAFARI, Petit Wanlin Nord Pz2 Briqueterie, Petit Wanlin sud Pz3, Pz4 Briqueterie Wanlin et Pz5 Briqueterie de Wanlin*) situés dans la Dépression de la Famenne (Figure IV.29 à Figure IV.31) ont fait l'objet d'un suivi piézométrique régulier (Figure IV.32). Huit autres ouvrages ont fait l'objet d'une mesure au moins.

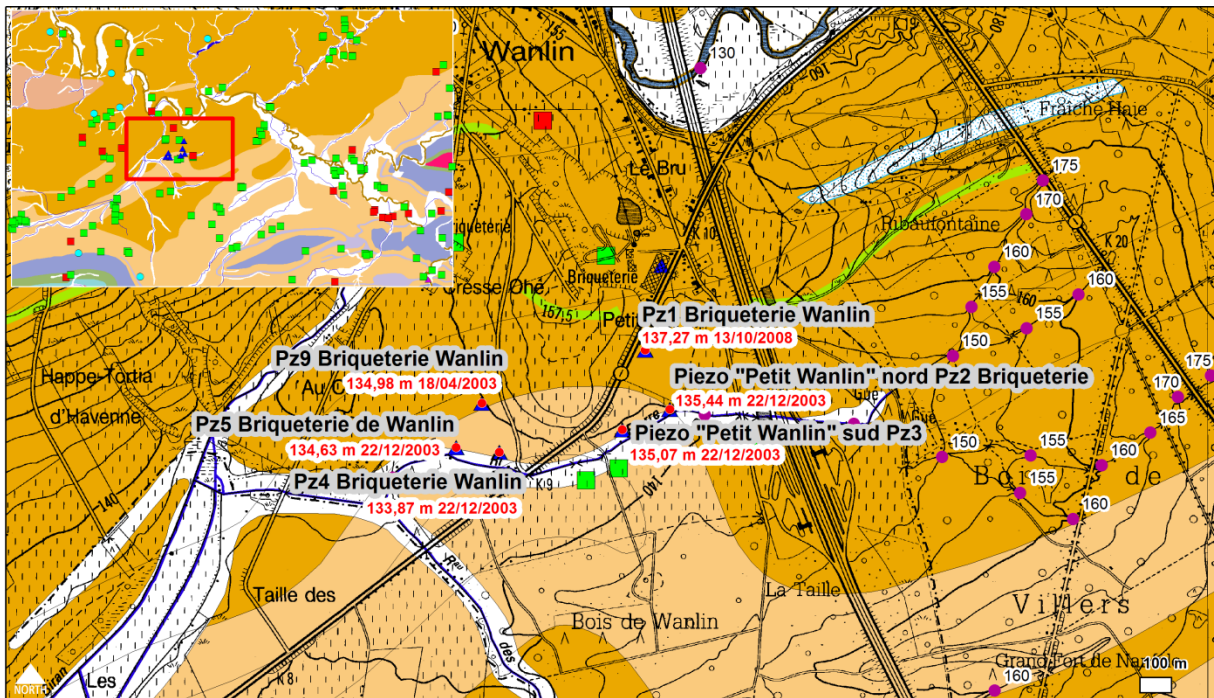


Figure IV.29 : Localisation des piézomètres de la Briqueterie Wanlin. Rond mauve : cote du thalweg ; rond rouge : cote piézométrique ; pointillé bleu : masse de calcaire, ligne verte continue : niveau de grès.

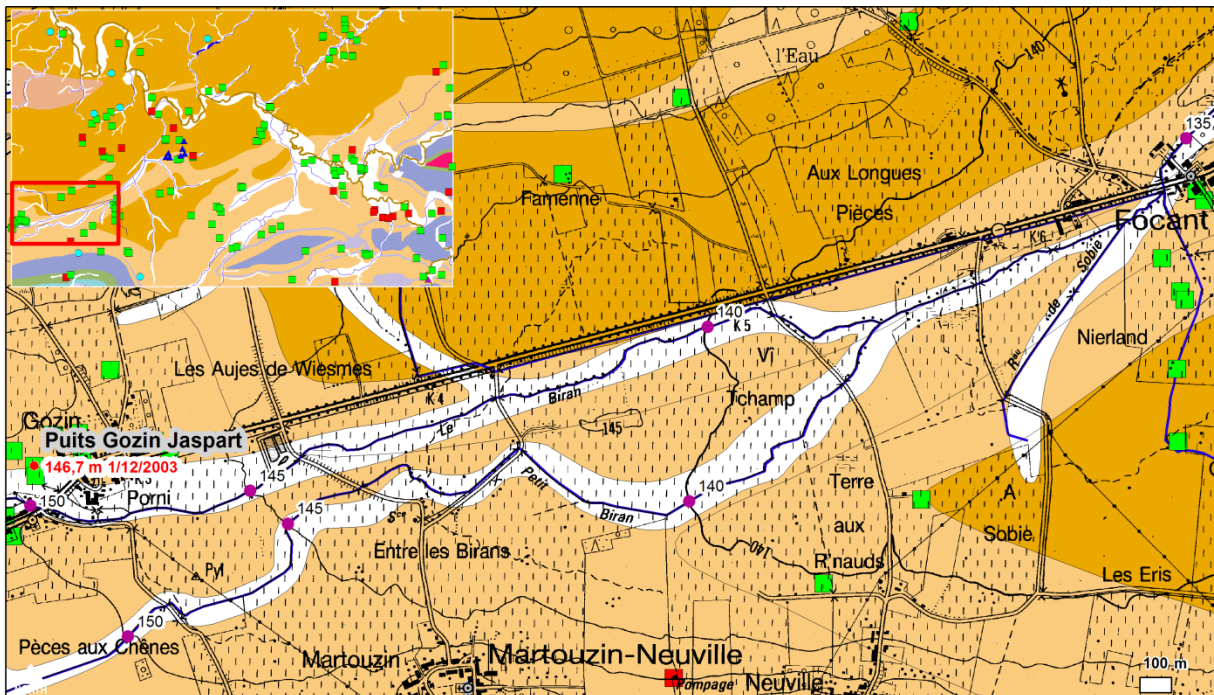


Figure IV.30 : Localisation du puits Gozin Jaspert. Rond mauve : cote du thalweg ; rond rouge : cote piézométrique.

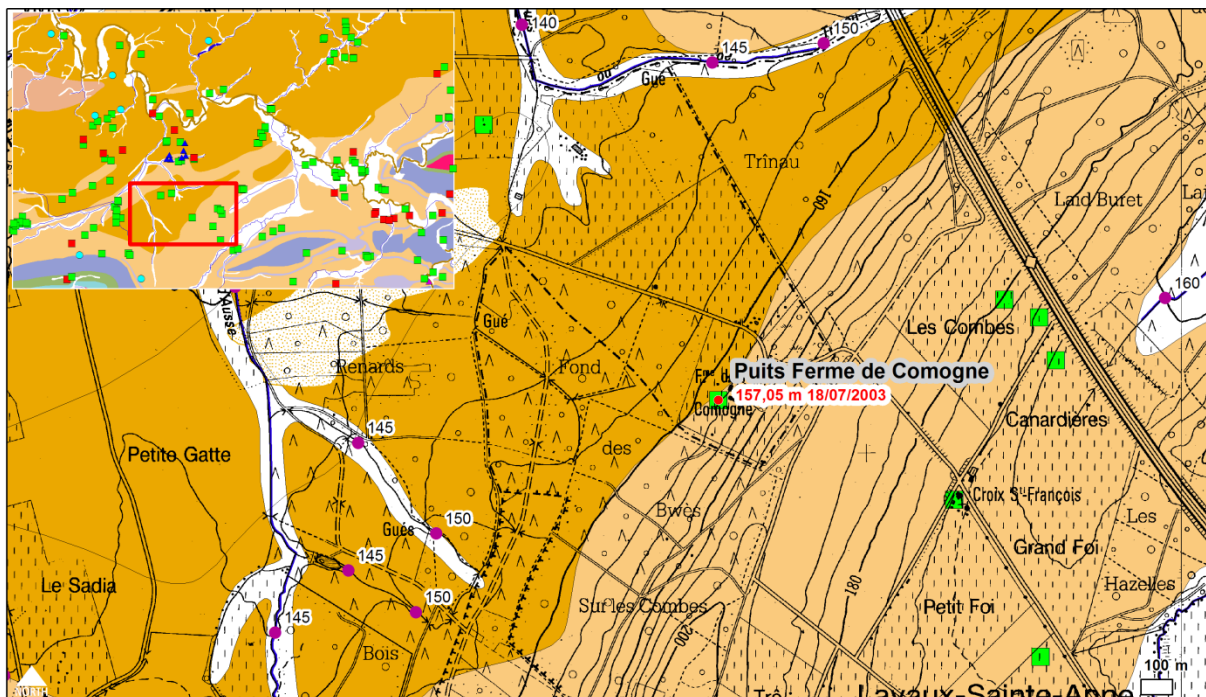


Figure IV.31 : Localisation du puits *Ferme de Comogne*. Rond mauve : cote du thalweg ; rond rouge : cote piézométrique ; pointillé orange : masse de grès.

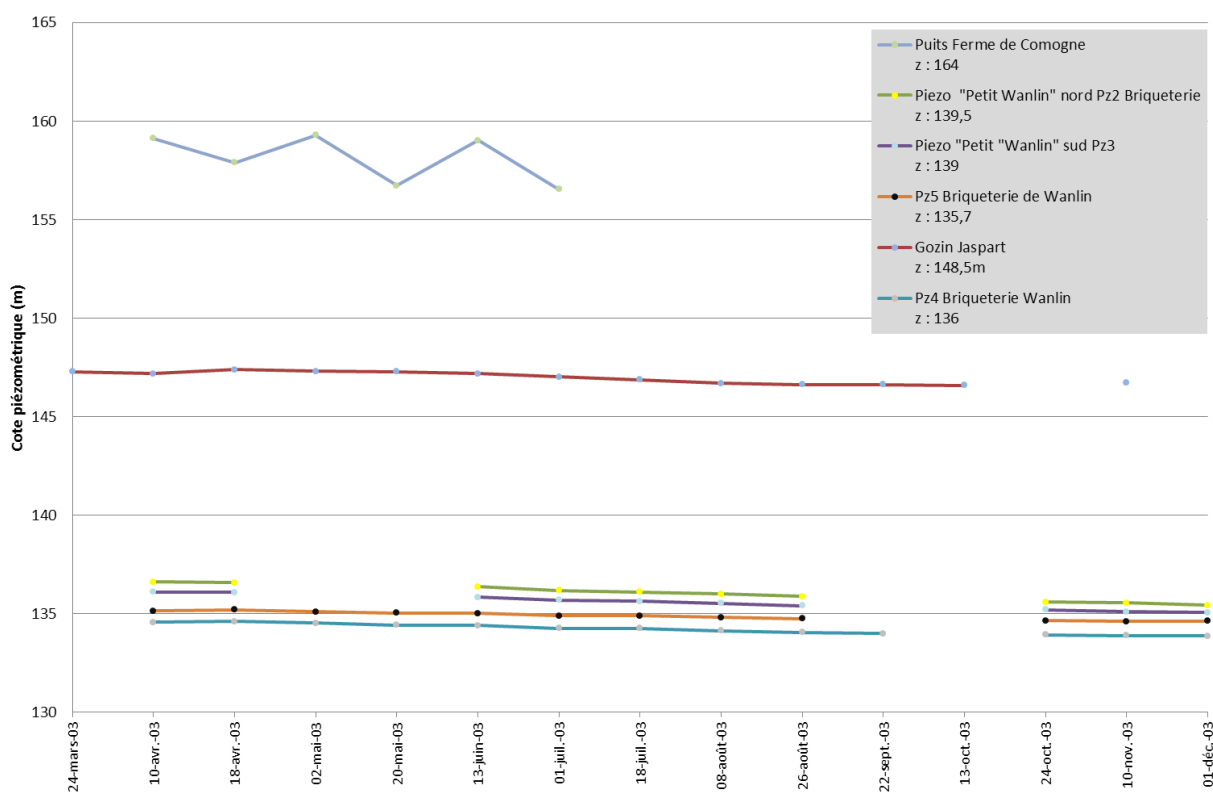


Figure IV.32 : Evolution piézométrique des ouvrages *Ferme de Comogne*, *Gozin Jaspert*, *Petit Wanlin Nord Pz2 Briqueterie*, *Petit Wanlin sud Pz3*, *Pz4 Briqueterie Wanlin* et *Pz5 Briqueterie de Wanlin* situés dans l'unité hydrogéologique de la Dépression de la Famenne et sollicitant l'Aquiclude du Frasien.

Les relevés des puits de la briqueterie de Wanlin montrent une baisse régulière de la nappe depuis la période de hautes eaux jusqu'à la période de basses

eaux (Figure IV.32). L'amplitude des fluctuations est fortement limitée par la topographie plane et par le drainage du Ri Pierre et de ses affluents.

Dans la barre calcaire frasnienne (Membre de Bieumont) isolée au sein des schistes, les variations sont plus rapides et plus importantes comme on peut s'y attendre dans ce type de lithologie plus perméable. Deux ouvrages, *SAFARI* et *Ferme du Fusik*, ont fait l'objet de relevés piézométriques.

Le puits *SAFARI* (Figure IV.33), captage appartenant à la commune de Rochefort et s'alimentant dans l'Aquifère des calcaires du Frasnien, a fait l'objet d'un relevé piézométrique par sonde automatique entre avril 2006 et juillet 2008 (Figure IV.34). Ces mesures montrent la même cyclicité basses eaux-hautes eaux. Par contre, l'amplitude est plus importante, entre 6 et 12 m, et la vitesse de la vidange plus rapide que dans les schistes, ce qui est en accord avec une perméabilité plus importante.

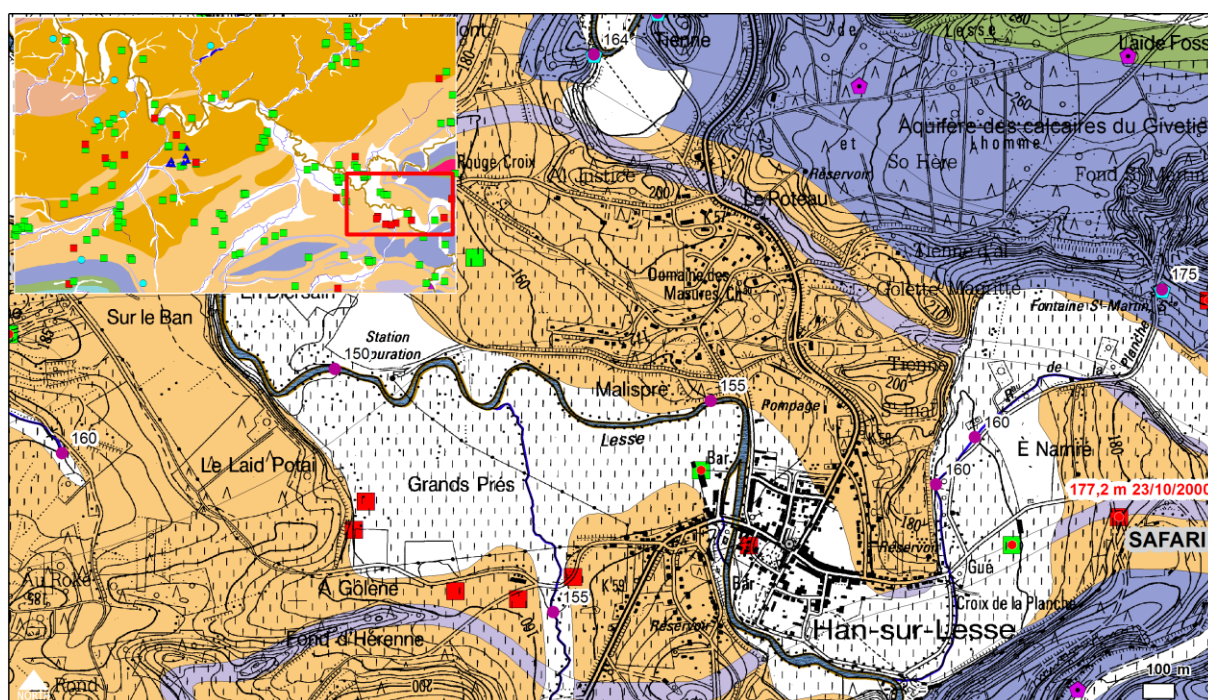


Figure IV.33 : localisation du puits SAFARI. Rond mauve : cote du thalweg ; rond rouge : cote piézométrique.

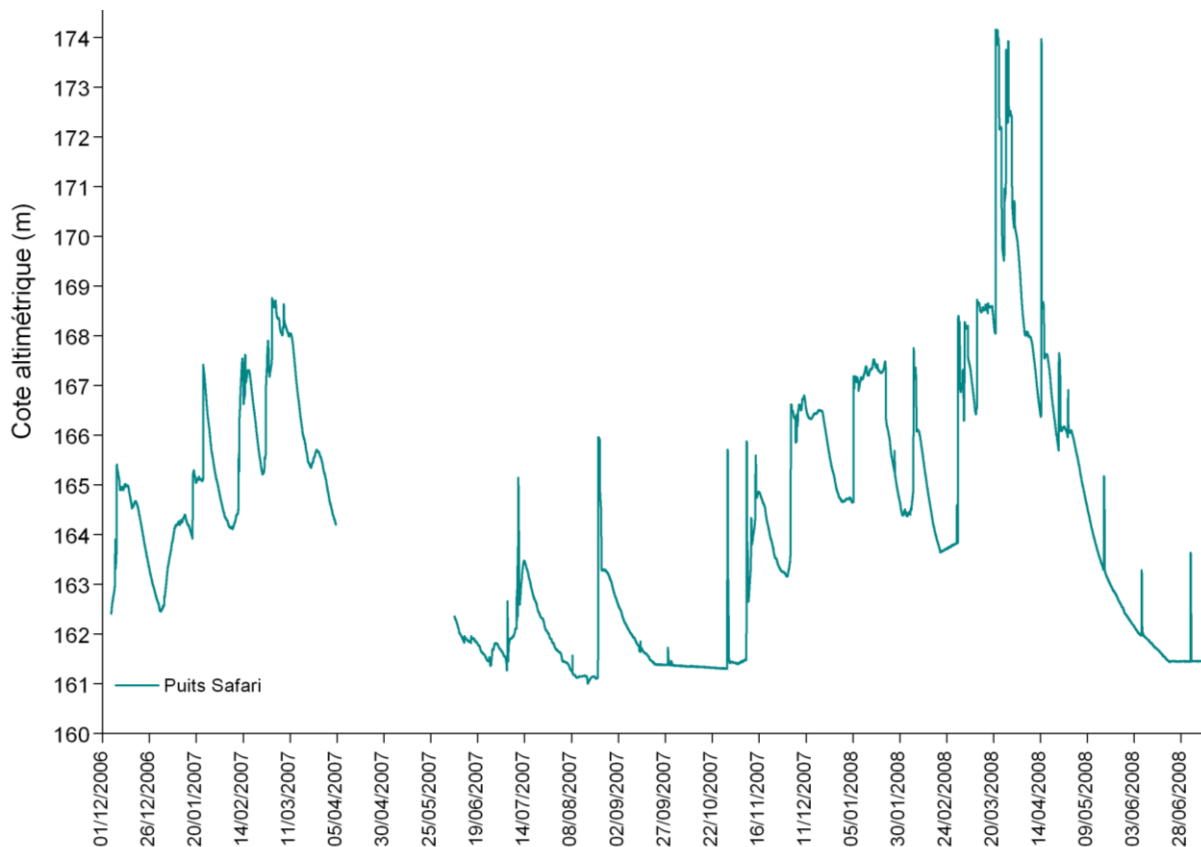


Figure IV.34 : Evolution piézométrique du puits *SAFARI* situé dans l'unité hydrogéologique de la Dépression de la Famenne et sollicitant l'Aquifère des calcaires du Frasnien (Bonniver, 2011).

Ferme du Fusik est situé à la Ferme du Fusik, en pied de versant, à l'est de Neuville (Figure IV.35) à une altitude de 184 m, dans le bassin versant du Biran. La carte géologique le positionne dans les schistes frasniens, mais il s'alimente probablement dans les calcaires frasniens qui n'affleurent pas à cet endroit. Ce puits a fait l'objet d'un relevé piézométrique régulier d'avril 2003 à décembre 2003 et de mai 2006 à octobre 2008 (Figure IV.36). Cette courbe montre bien la cyclicité hautes eaux-basses eaux. L'amplitude de la fluctuation, plus de 10 m, est nettement plus importante que dans les schistes de la Dépression de la Famenne, ou que pour le puits *SAFARI*. Ceci est à mettre en relation avec l'altitude de l'ouvrage et l'éloignement de son exutoire, le Biran et ses affluents. Les basses eaux, situées à ± 169 m, sont cependant assez proches de la surface piézométrique de l'unité de la Dépression de la Famenne. Les écoulements souterrains, à cet endroit, doivent probablement se faire du sud vers le nord, en direction du Biran.

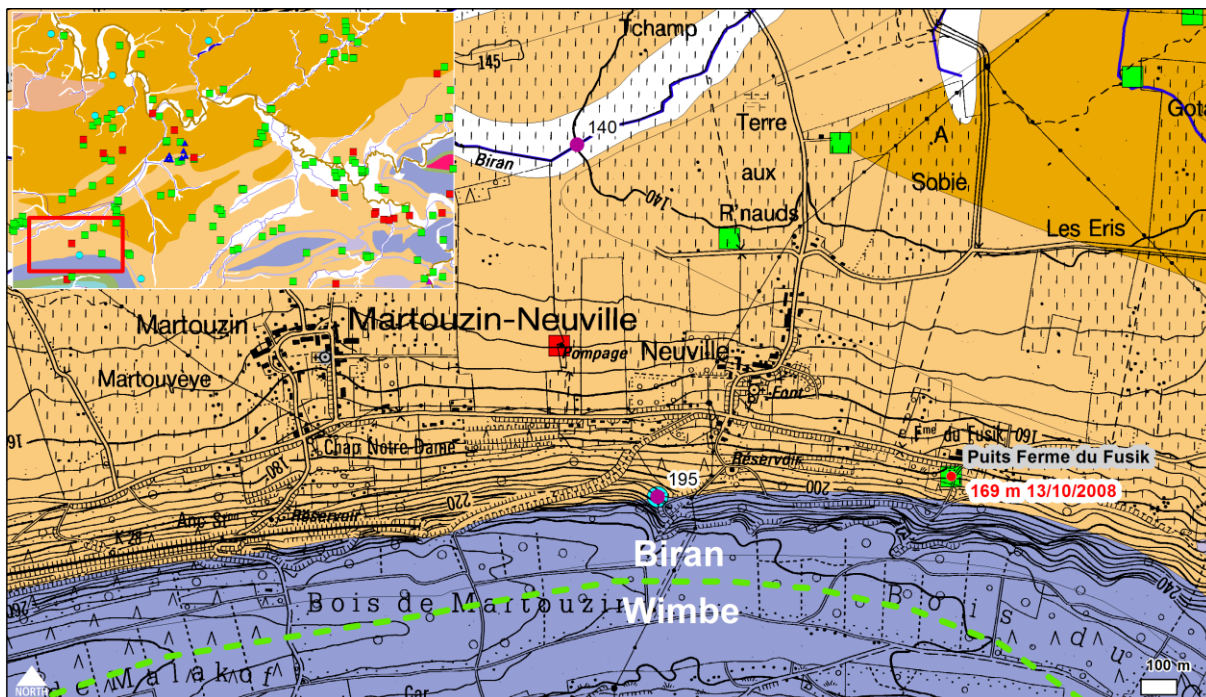


Figure IV.35 : localisation de l'ouvrage *Ferme du Fusik*. Ligne en tireté vert : limite de bassin versant ; point rouge : cote piézométrique ; point mauve : cote du thalweg.

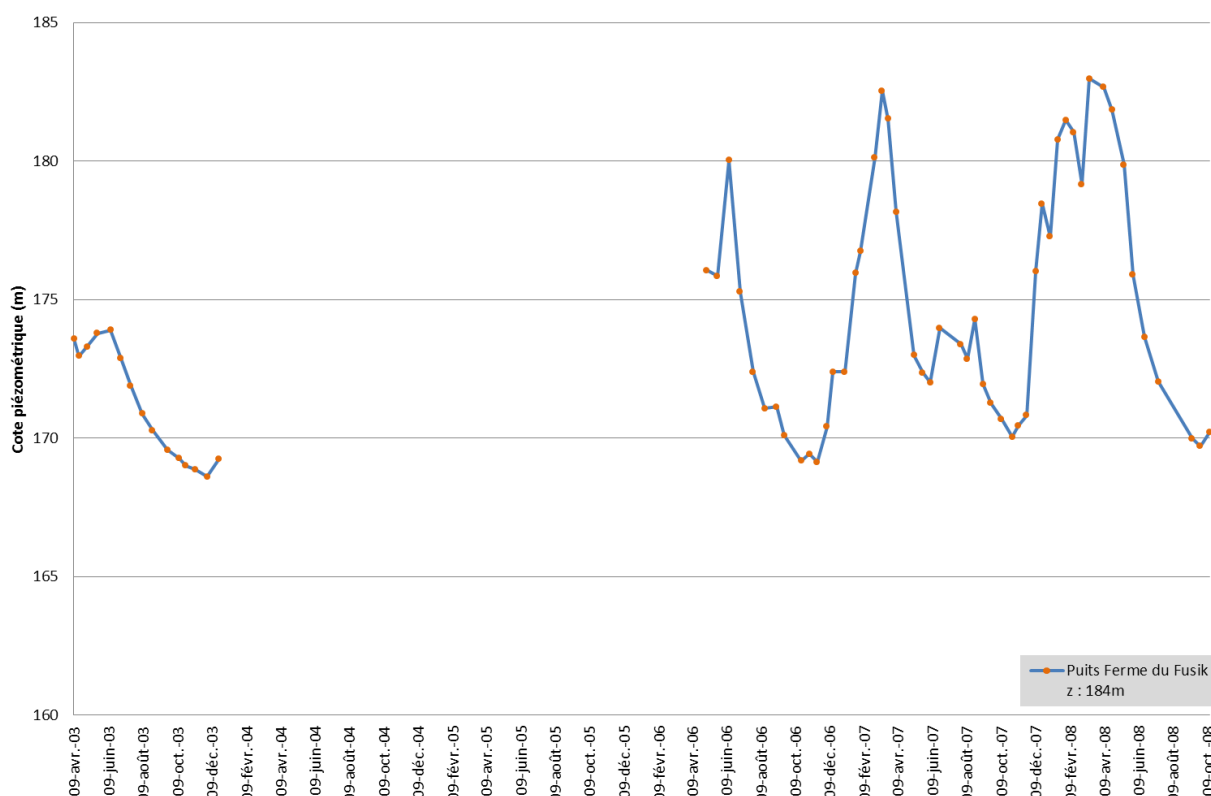


Figure IV.36 : Evolution piézométrique du puits de la Ferme du Fusik d'avril à décembre 2003 et de mai 2006 à octobre 2008.

La plaine alluviale de la Lesse est nettement plus développée ici que dans l'unité de la Bordure sud de Condroz. Ces alluvions constituent de précieuses réserves en eaux souterraines qui sont exploitées par des particuliers et par l'Administration Communale de Rochefort.

IV.4.2.3. La Calestienne

Cette unité hydrogéologique régionale se caractérise par :

- son substratum composé majoritairement de calcaires givetiens et couviniens ;
- son relief important, jusqu'à 315 m, culminant 140 m au-dessus de la Dépression de la Famenne, et traversé par des vallées encaissées.

IV.4.2.3.1 Au sud de Martouzin-Neuville

Au sud de Martouzin-Neuville s'élève un imposant relief calcaire culminant à 285 m d'altitude, au lieu-dit *Le Ban de Malakof*. Ce dernier, avec le *Bois de Martouzin* et le *Bois du Chi* constituent la crête de partage des eaux entre le bassin du Biran, au nord et la Wimbe, au sud.

Cette zone de la Calestienne est très mal connue d'un point de vue hydrogéologique. Les seules données piézométriques existantes ont été mesurées sur un puits : *Esclaye* (Figure IV.37).

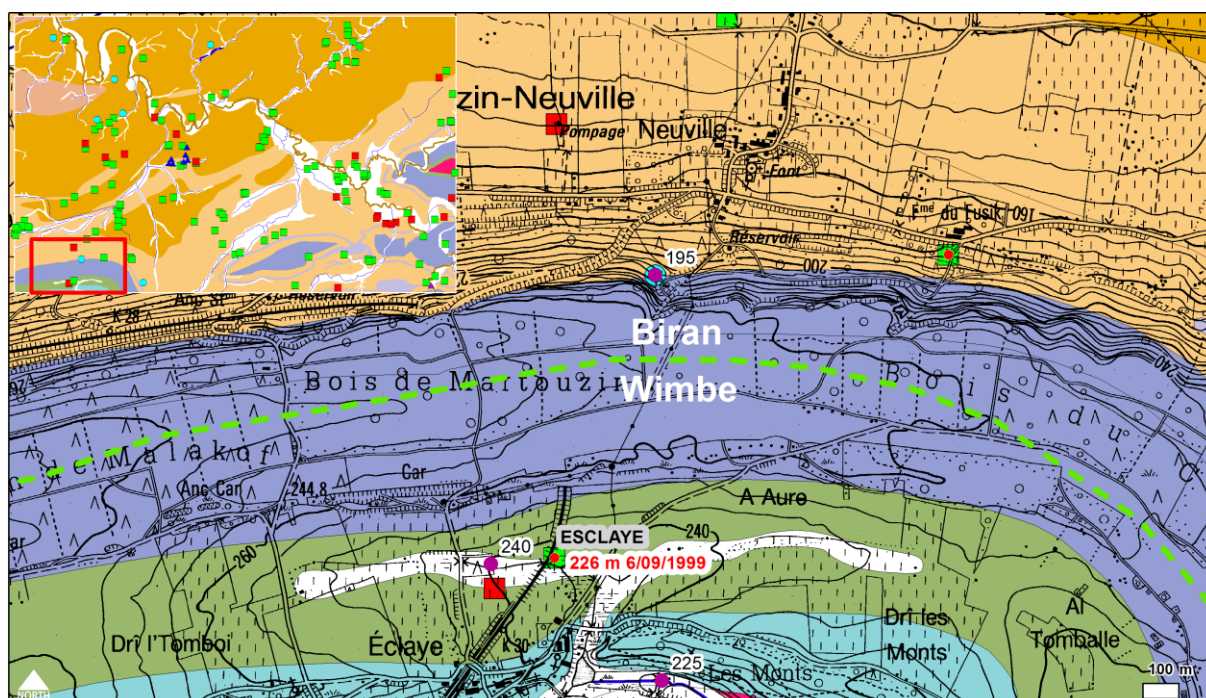


Figure IV.37 : localisation de l'ouvrage *Esclaye*. Ligne blanche : limite de bassin versant, point rouge : cote piézométrique, point mauve : cote du thalweg.

Esclaye est situé (Figure IV.37) dans l'Aquitard de l'Eifelien à 236 m d'altitude. Il a fourni, en 1999, un niveau piézométrique à 9.6 m de profondeur. Ce puits se situe dans le bassin de la Wimbe et les écoulements souterrains, à cet endroit,

doivent probablement se faire du nord vers le sud, en direction du ruisseau qui s'écoule dans l'Aquifère de l'Eifelien, dont le thalweg est à 225 m.

IV.4.2.3.2 Autour de Han-sur-Lesse

La Calestienne, dans la région de Han-sur-Lesse, présente un relief très marqué et vallonné dans lequel on distingue les collines constituées de calcaires givetiens et les dépressions dont le sous-sol est généralement constitué par les schistes du Frasnien. Les altitudes y varient de moins de 150 m au niveau de la confluence entre la Lhomme et la Lesse, à plus de 315 m au lieu-dit "Laid Spinet", au sud immédiat de Rochefort, en bordure est de la carte.

Quatre entités sont décrites ci-dessous : l'anticlinal du Roptai, les collines des Grignaux et de Turmont, le massif du Bois de Boine et l'anticlinal de Wérimont - Laide Fosse.

IV.4.2.3.2.1 L'anticlinal du Roptai

Le massif calcaire de l'anticlinal du Roptai est situé entre les localités d'Ave-et-Auffe et Lavaux-Sainte-Anne (Figure IV.38). Aucun phénomène karstique n'y a été signalé jusqu'à présent. Cette crête, orientée WSW-ENE et recoupée par l'autoroute E411, a fait l'objet d'une exploitation minière des filons de baryte, de galène et de fluorite. De nombreuses traces en sont encore visibles (puits et galeries) (Blondieau, 1997). La piézométrie de l'aquifère contenu dans cette structure anticlinale n'est pas connue. En absence de tout point d'émergence d'eau souterraine, l'exutoire de cette nappe n'est pas connu. Un écoulement vers l'est en direction du Ri d'Ave n'est pas à exclure. Une partie de cet anticlinal se situe sur la crête de partage des eaux entre les bassins de la Wimbe, au nord, et du Ri d'Ave, au sud. Bien que les sens d'écoulement ne soient pas connus, il est probable que les failles (Figure III.3, p. 22) constituent des drains préférentiels.

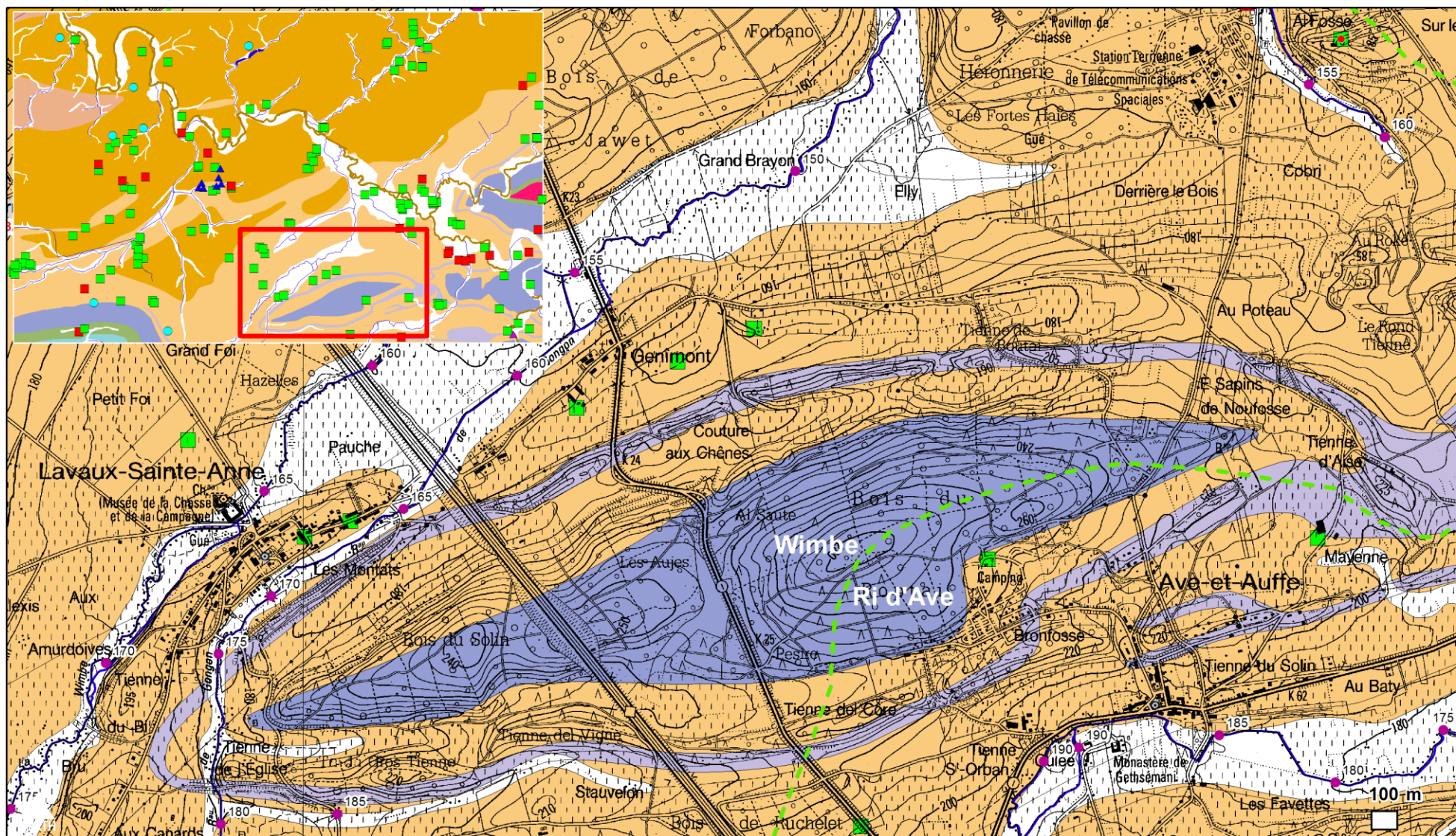


Figure IV.38 : Localisation de l'anticlinal du Roptai. Ligne en tiretés verte : limite de bassin versant ; rond mauve : cote du thalweg.

IV.4.2.3.2 Les Grignaux et Turmont

Le massif calcaire Les Grignaux-Turmont (Figure IV.39) est drainé par le Ri d'Ave, essentiellement de manière diffuse. En supposant une bonne perméabilité des calcaires givetiens, les niveaux piézométriques, non connus, sont probablement fortement rabattus au niveau des sommets de ces massifs. Les failles constituent des drains préférentiels.

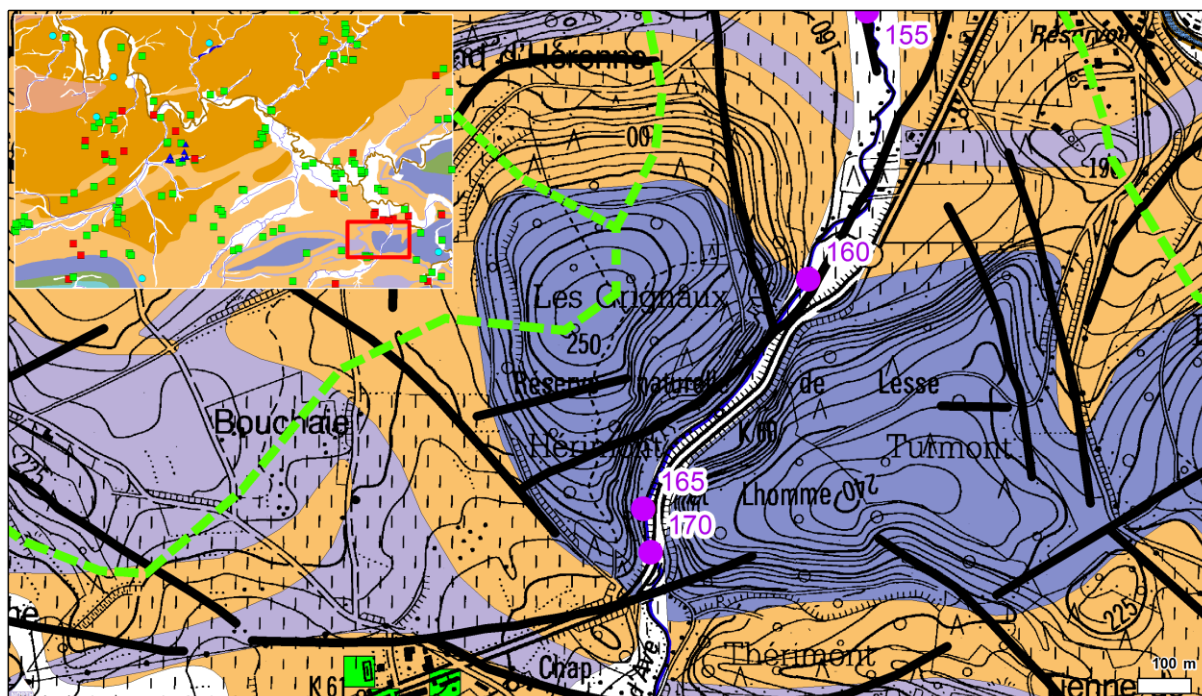


Figure IV.39 : localisation du massif calcaire Les Grignaux - Turmont. Ligne en tiretés verte : limite de bassin versant, rond mauve : cote du thalweg.

IV.4.2.3.3 Le massif du Bois de Boine

Le massif du Bois de Boine est beaucoup mieux connu d'un point de vue hydrogéologique que les massifs calcaires précédemment décrits. En effet le réseau karstique des grottes de Han, qui le traverse, offre un accès aux principaux axes d'écoulements souterrains et ces derniers ont été récemment étudiés par Bonniver (2011) dans le cadre d'une thèse de doctorat.

"Le réseau karstique de Han-sur-Lesse est un système "perte (gouffre de Belvaux) - résurgence (trou de Han)" de la Lesse développé au sein des calcaires givetiens du massif de Boine (Han-sur-Lesse). [...] Durant les périodes de basses eaux, le cours souterrain de la Lesse peut être assimilé à un système unidimensionnel hétérogène consistant en une alternance de tronçons de rivière souterraine et de zones noyées à haut degré de karstification. Les tronçons de rivière sont accessibles et aisément dimensionnables. Les zones noyées, grands volumes de roches, intensément fracturés, karstifiés et hautement transmissifs uniquement accessibles en plongée, sont, quant à elles, difficiles à dimensionner." (Bonniver, 2011).

La terminaison périclinale de l'anticlinal de Wavreille est constituée des formations calcaires du Givetien de Trois-Fontaines, des Terres d'Hours, du Mont d'Hours et de Fromelennes (Figure IV.40 à Figure IV.41). Au sein de cette série calcaire, deux niveaux à dominante plus argileuse sont présents :

- La Formation des Terres d'Hours : 70 à 75 m de calcaires argileux finement grenus ;
- Le Membre de Flohimont : 20 m de calcaires argileux et de schistes à la base de la Formation de Fromelennes.

Ces niveaux plus argileux ont une perméabilité moindre par rapport aux calcaires karstifiés qui les entourent. Ils peuvent dès lors jouer le rôle de seuil hydrogéologique et compartimenter le massif calcaire. Ce dernier est ceinturé par les formations frasniennes à dominance argileuse de Nismes et du Moulin Liénaux, des Grands Breux, de Neuville et de Matagne. Le contraste de perméabilité entre calcaires et schistes est à l'origine de l'émergence des eaux souterraines. C'est le cas notamment de la Lesse souterraine au niveau du contact entre les formations de Fromelennes et de Nismes (résurgence de la Lesse au *Trou de Han*, Figure IV.14, p. 43 et Figure IV.15, p. 44).

Dans sa thèse de doctorat, Bonniver (2011) décrit le système de Han de la manière suivante :

"Les investigations géologiques et hydrogéologiques réalisées ont permis d'identifier et de caractériser plusieurs phénomènes contribuant à une meilleure compréhension du comportement hydrogéologique du massif de Boine.

Trois unités hydrogéologiques (Figure IV.42 et Figure IV.43) ont été définies sur base des caractéristiques lithologiques et structurales du massif calcaire ainsi que sur base des chroniques limnimétriques et piézométriques. La présence de ces trois unités démontre le rôle de compartimentation hydrogéologique considérable joué par les interstratifications argileuses telles que le Membre de Flohimont.

Chaque unité hydrogéologique est caractérisée par la présence d'un "système-traçage" hautement transmissif présentant un degré d'interaction avec la nappe d'eau souterraine plus ou moins prononcé selon l'unité et les conditions hydrogéologiques.

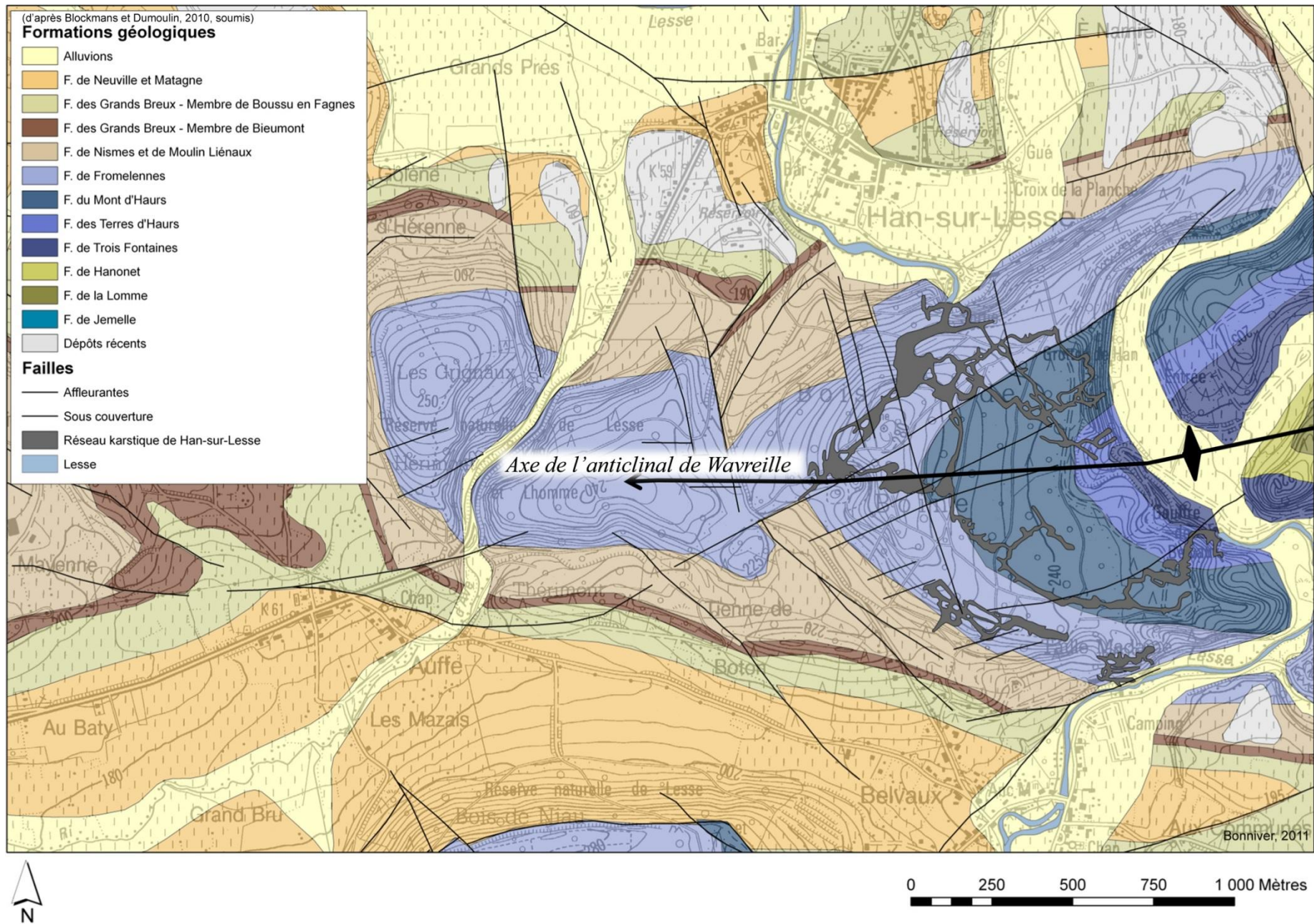


Figure IV.40 : Géologie de l'anticlinal de Wavreille et réseau karstique des grottes de Han-sur-Lesse (Bonniver, 2011) d'après la carte géologique de Wallonie Houyet – Han-sur-Lesse 59/1-2 (Blockmans et Dumoulin, 2010, soumis).

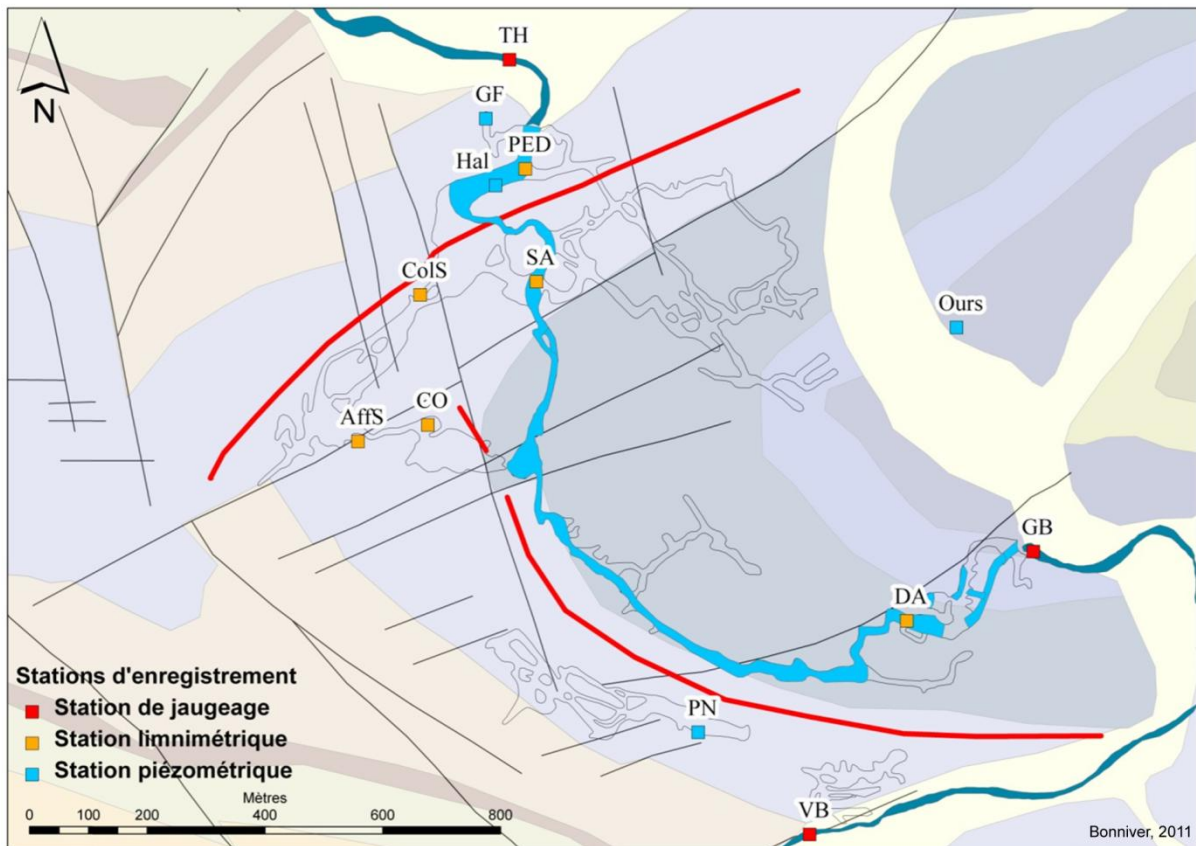


Figure IV.41 : Localisation du Membre de Flohimont (ligne rouge) au sein des calcaires givetiens du massif de Boine, à la cote altimétrique de 155 m⁶ (Fond géologique : Blockmans et Dumoulin, 2010, soumis) (Bonniver, 2011).

La très forte transmissivité du massif induit, dans un délai de 4 à 6 semaines après les périodes de recharge, un rabattement de la nappe dont le gradient devient proche de 0,1 %. En conséquence, comme l'a démontré l'étude des hydrogrammes, le massif de Boine contribue très peu au soutien du débit d'étiage de la Lesse.

Par ailleurs, l'étude du comportement du système de "la Lesse Souterraine" nous a permis de démontrer que les fluctuations piézométriques de la nappe d'eau souterraine pouvaient directement conditionner la limnimétrie de la rivière souterraine impliquant, qu'en milieu karstique, l'établissement d'une courbe de tarage, nécessitant l'unicité des couples "hauteurs d'eau-débits", peut être problématique. Si elle n'est pas prise en compte, cette contrainte, imposée par le terrain, risque d'affecter considérablement toutes les applications intégrant l'interprétation de chroniques de débits mesurés en grotte.

Grâce à l'ensemble des essais de traçage effectués sur ces systèmes, nous avons obtenus plusieurs données inédites comme : la précision du temps moyen de séjour de la Lesse au sein du massif de Boine (de 4 h à 25 h selon le débit de la Lesse), la démonstration de l'existence d'une connexion hydrogéologique entre la grotte du Père Noël et le réseau Sud, [...] la quantification de la vitesse de

⁶ Déterminé par levé géologique pour le flanc nord (Blockmans et Dumoulin, soumis) et par projection cartographique du tracé superficiel pour le flanc sud.

transfert (10 m/h) de l'eau via les fissures à haute conductivité hydraulique de la zone épikarstique du massif de Boine.

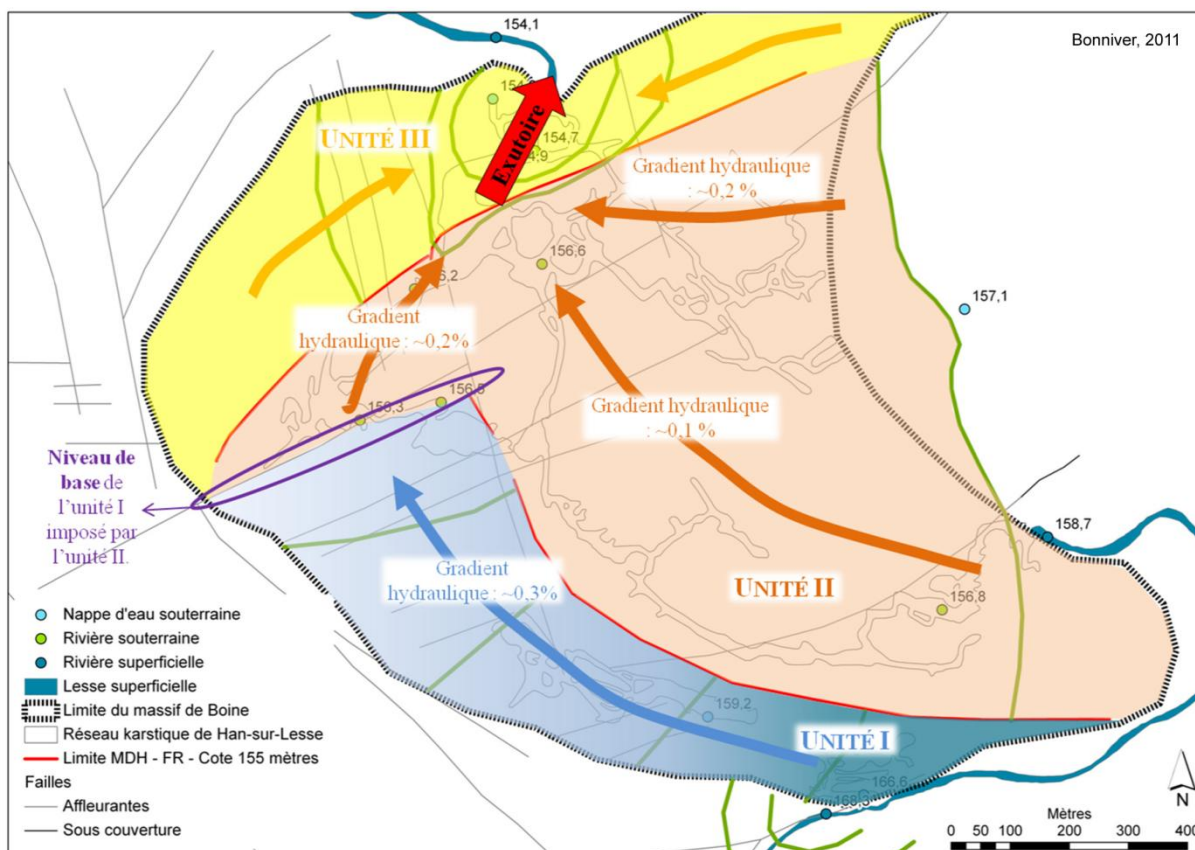
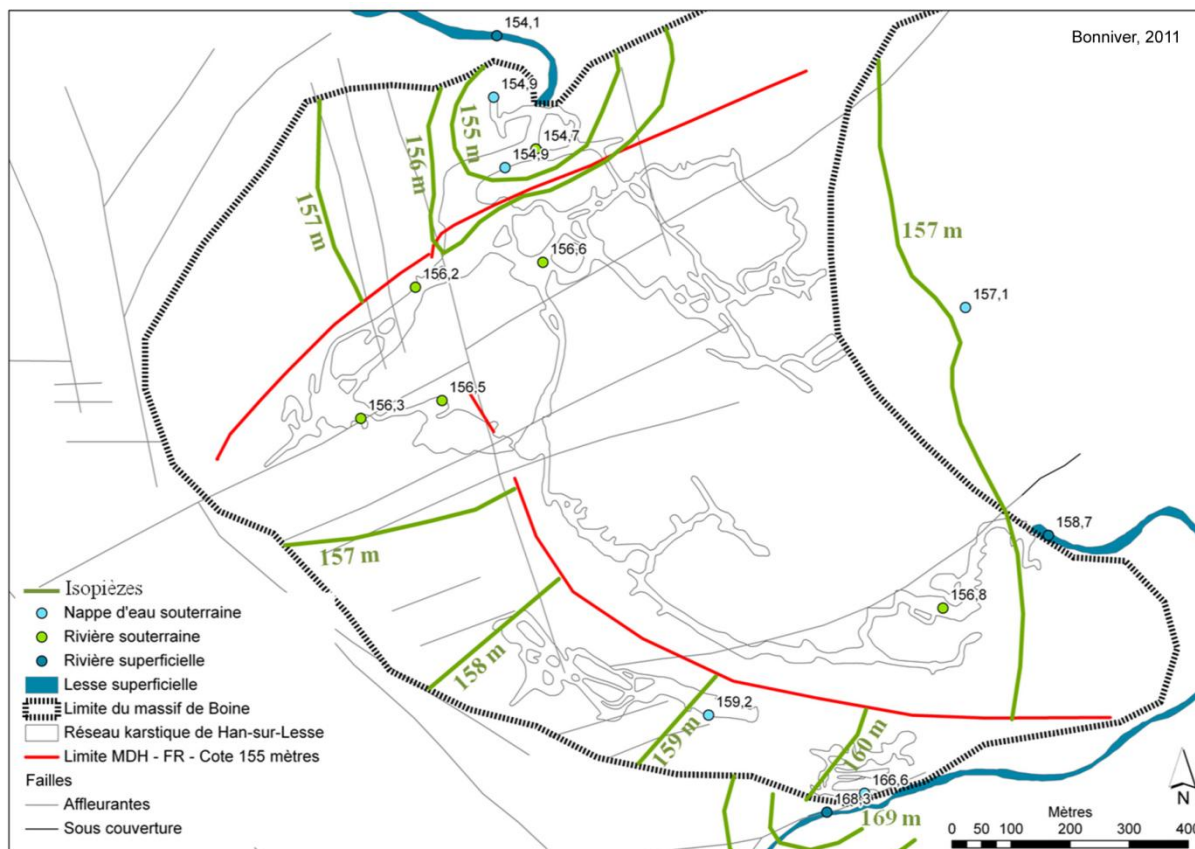


Figure IV.42 : Schéma piézométrique de basses eaux du massif de Boine (Bonniver, 2011).

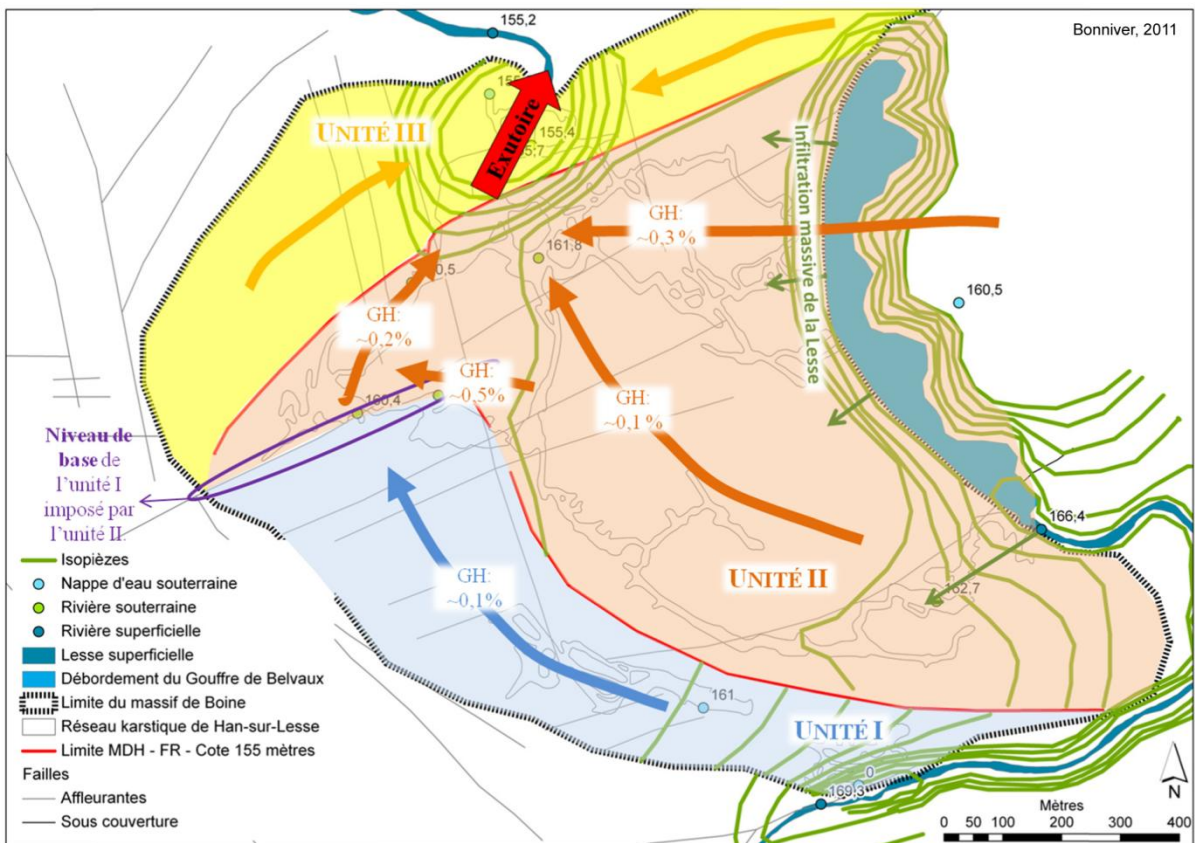
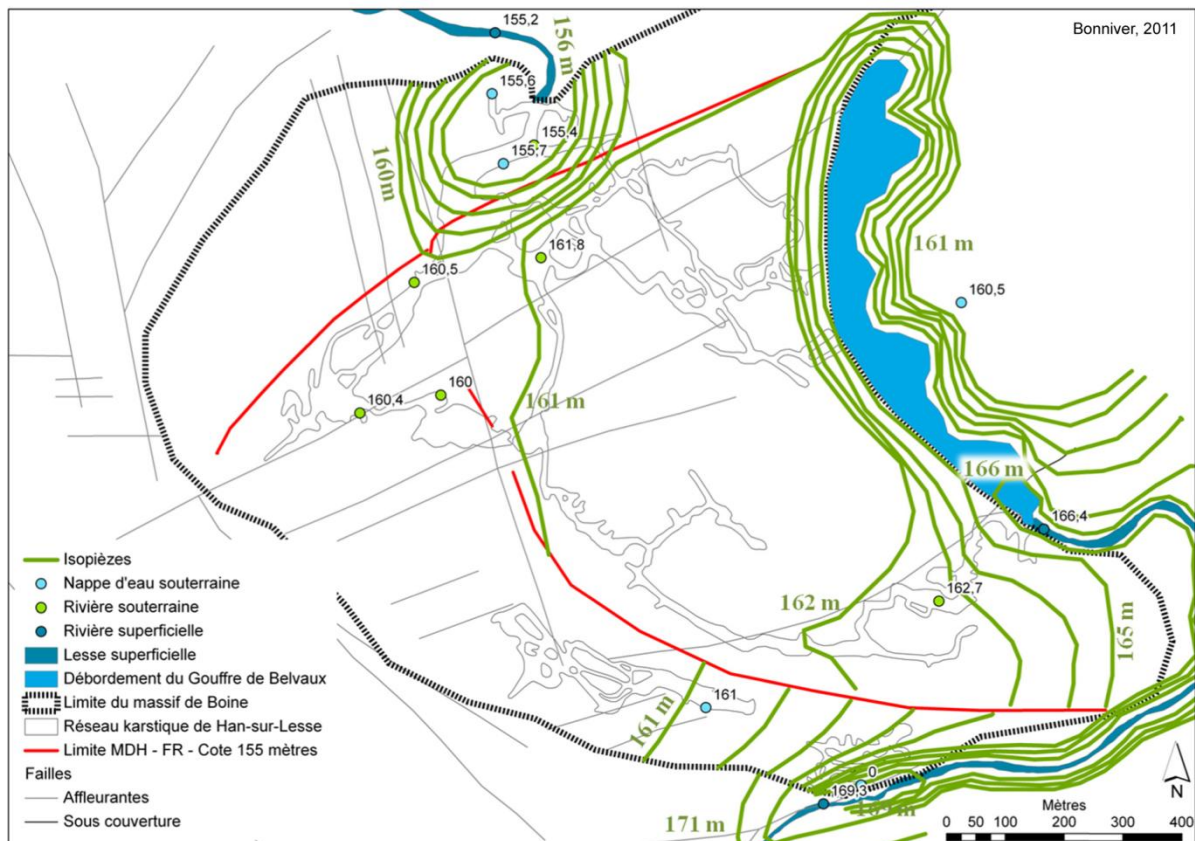


Figure IV.43 : Schéma piézométrique de hautes eaux du massif de Boine (Bonniver, 2011).

IV.4.2.3.2.4 L'anticlinal de Sainte-Odile

L'anticlinal de Sainte-Odile est également un peu mieux connu d'un point de vue hydrogéologique. Cette structure fortement karstifiée, dont la terminaison périclinale se situe sur la carte Houyet - Han-sur-Lesse, a été décrite par Hallet et Meus (2011).

Au sein des systèmes karstiques de la région de Rochefort, le flanc nord de l'anticlinal de Sainte-Odile appartient à l'Unité hydrogéologique de la Wamme-Lhomme (Hallet et Meus, 2011) constituée par "les calcaires givetiens du flanc nord de l'anticlinal de Sainte-Odile, le long de l'axe hydrographique nord-est/sud-ouest de la Wamme et de la Lhomme. Cette unité est le siège des plus importants phénomènes karstiques de la région." (Figure IV.17, p. 49). Cette unité est en communication hydraulique avec l'Unité aquifère du Gerny qui se situe au nord (Figure IV.44). L'unité de la Wamme-Lhomme impose le niveau de base à la nappe qui s'étend sous le plateau du Gerny. C'est donc l'axe de la Lhomme qui sert au drainage de la nappe du plateau du Gerny. L'exutoire final de ces deux aquifères est la résurgence d'Eprave (Figure IV.17, p. 49).

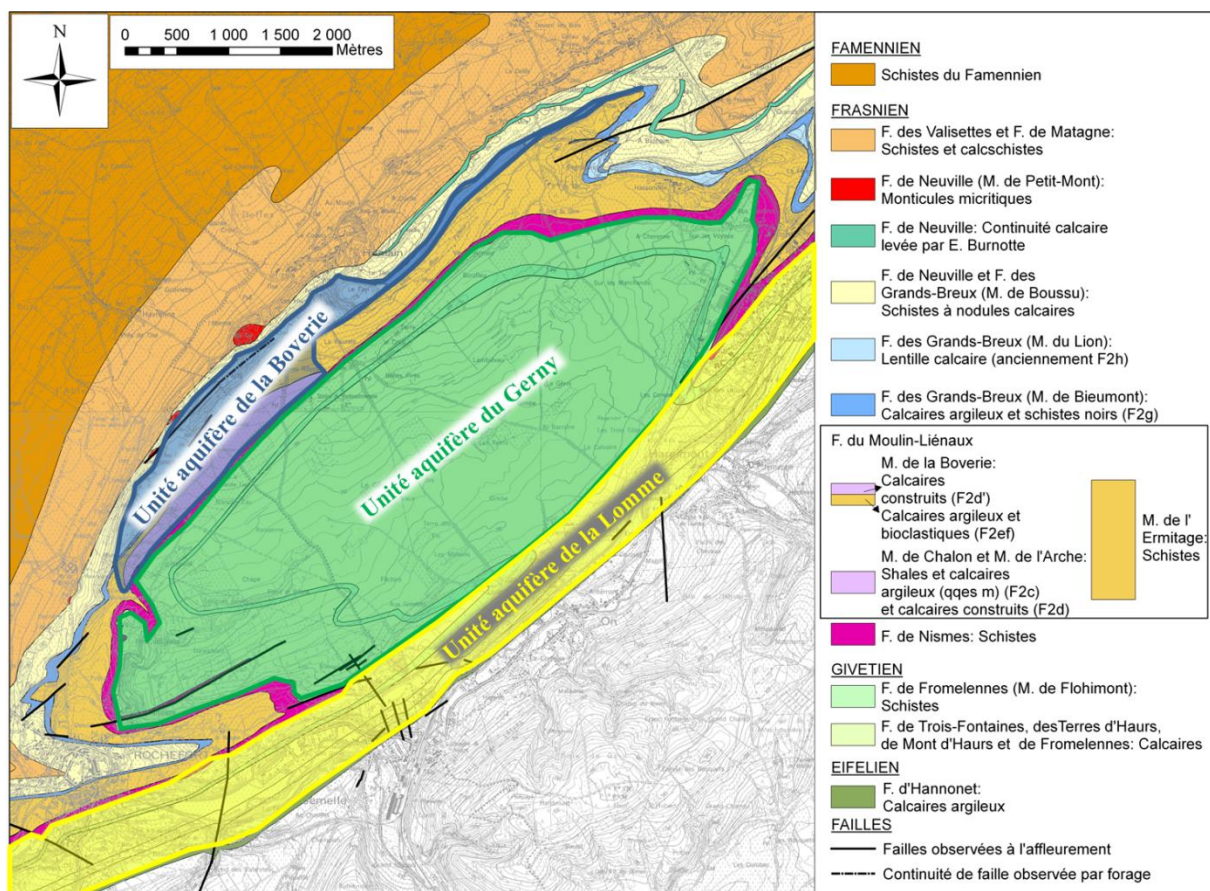


Figure IV.44 : Situation des trois unités hydrogéologiques des systèmes karstiques de la région de Rochefort, sur le plateau du Gerny (Hallet & Meus, 2011).

L'axe Wamme-Lhomme est parallèle à la direction des couches géologiques ; ces deux rivières s'étant développées au contact des formations silto-gréseuses de

l'Eifelien et carbonatées du Givetien. La piézométrie régionale est influencée par les cotes altimétriques du thalweg et du réseau karstique selon les périodes de hautes eaux ou de basses eaux mais c'est l'altitude de la Lhomme souterraine qui impose le niveau de base régional. C'est pourquoi la Lhomme aérienne est perchée en période de basses eaux et drainante en période de hautes eaux (Figure IV.45).

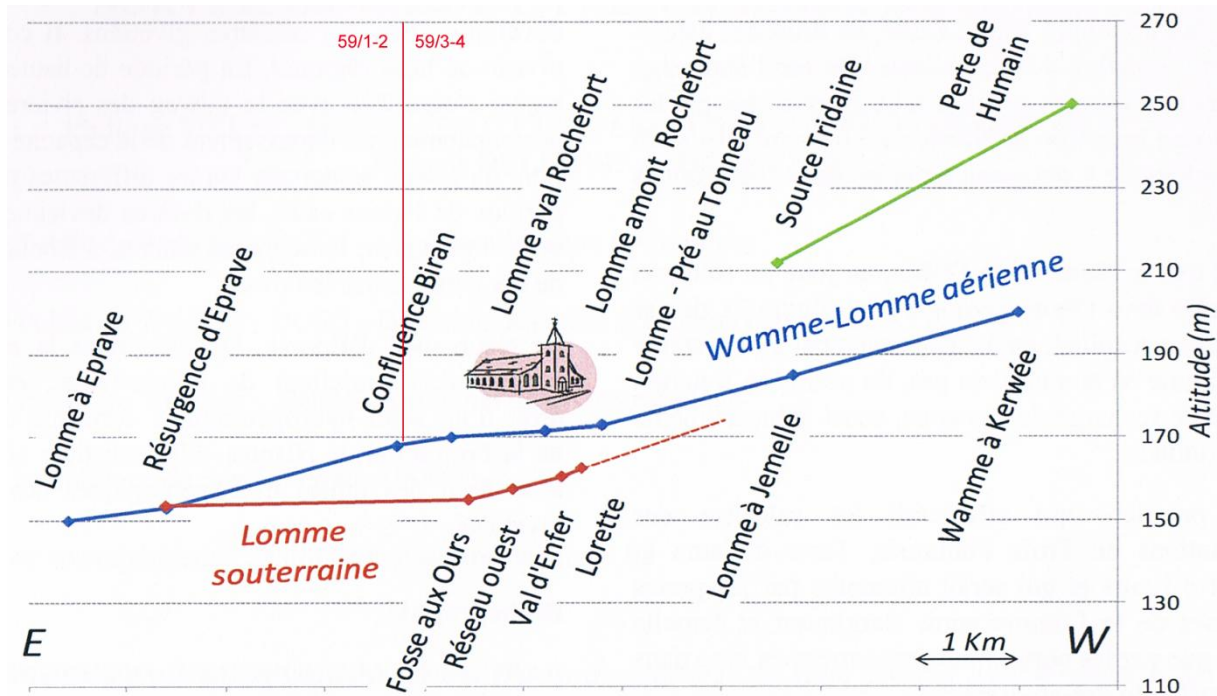


Figure IV.45 : Profils comparés de la Lhomme aérienne et de la Lhomme souterraine (Hallet et Meus, 2011).

L'envoyage vers l'ouest de l'anticlinal de Sainte-Odile met en contact les calcaires givetiens avec les shales frasniens qui bloquent la circulation souterraine et forcent les eaux à refaire surface, donnant naissance à la résurgence d'Eprave.

Le Membre de Flohimont de nature schisteuse, situé à la base de la Formation de Fromelennes, pouvant donner naissance à une compartimentation de l'aquifère givetien (Bonniver, 2011), les écoulements souterrains dans le flanc sud de l'anticlinal de Sainte-Odile sont influencés par deux exutoires principaux :

1. Les calcaires stratigraphiquement en-dessous du Membre de Flohimont sont drainés du nord-est vers le sud-ouest, dans la direction des couches géologiques vers le Rond Tienne, la Lhomme et la résurgence d'Eprave ; en témoigne la connexion hydrologique, démontré par essai de traçage, qui existe entre la Laide Fosse et la résurgence du Rond Tienne (Bonniver, 2011 ; Bonniver *et al.*, 2010b).

2. Les calcaires stratigraphiquement au-dessus du Membre de Flohimont sont partiellement drainés par la Fontaine Saint Martin, le ruisseau de la Planche et la Lesse, situés au sud.

IV.4.2.4. Commentaires

Les évolutions piézométriques observées dans la zone cartographiée s'intègrent dans une cyclicité annuelle avec une période de hautes eaux aux environs du mois d'avril et une période de basses eaux aux environs du mois de novembre. Les hautes eaux sont liées aux précipitations plus abondantes de l'automne et de l'hiver qui, couplées à une évapotranspiration très faible (températures plus basses), permettent une recharge efficace des nappes (Eau Utile généralement disponible en octobre, novembre et décembre) et donc une hausse des niveaux piézométriques. La période de basses eaux est liée aux précipitations moins abondantes du printemps et de l'été et surtout à une évapotranspiration plus importante (températures plus élevées) qui limitent fortement l'alimentation de la nappe (Eau Utile peu ou pas disponible de mai à septembre). La nappe se vidange via les cours d'eau sans être alimentée et les niveaux piézométriques baissent.

Pour toute la carte, les niveaux piézométriques varient d'une nappe subaffleurante à plus de 20 m de profondeur, en fonction de leur éloignement par rapport à un exutoire ou un axe de drainage, de leur altitude et du type d'aquifère dans lequel ils se situent. Dans les massifs calcaire karstifié, cette valeur peut être beaucoup plus importante. Dans le massif du Bois de Boine, drainé par la Lesse souterraine, la nappe se trouve à plus de 120 m de profondeur.

Les cours d'eau présents sur cette carte sont généralement drainants. Ils influencent donc la piézométrie locale. Ils matérialisent une zone où le niveau piézométrique rejoint la topographie. Ce réseau hydrographique est alimenté par les nappes, par écoulement diffus (déversement de la nappe) et ponctuel (sources).

Au sein de l'Aquifère des calcaires du Givetien, il faut également faire mention du rôle de seuil hydrogéologique du Membre de Flohimont (base de la Formation de Fromelennes) et de la Formation des Terres d'Hairs, plus argileux, qui compartimentent cet aquifère (Bonniver, 2011).

Toujours dans l'Aquifère des calcaires du Givetien, les écoulements souterrains connus semblent se faire parallèlement à la direction des couches (Bonniver, 2011).

IV.4.3. Coupe hydrogéologique

Afin de mieux visualiser et de mieux comprendre la structure géologique et le comportement des nappes de la région de Houyet – Han-sur-Lesse, une coupe hydrogéologique a été dessinée. Le trait de coupe, orienté N-S passe entre Houyet et Hour et entre Focant et Martouzin-Neuville (Figure IV.46). Sa position a été choisie afin que la coupe soit représentative de la géologie (structures et lithologies) et de l'hydrogéologie (unités hydrogéologiques et niveaux piézométriques).

Du nord au sud, cette coupe traverse les trois unités hydrogéologiques régionales, à savoir la Bordure Sud du Condroz, la Dépression de la Famenne et la Calestienne. Elle montre l'ensemble des unités hydrogéologiques définies pour la carte Houyet – Han-sur-Lesse.

Les contrastes morphologique et géologique entre ces différentes unités hydrogéologiques régionales sont bien visibles sur la coupe. La Bordure Sud du Condroz annonce, malgré la présence de la Lesse, le caractère plus marqué du relief condruzien situé au nord. La dépression de la Famenne est bien marquée avec, sur une largeur de près de 3 kilomètres, un relief quasi nul et des altitudes ne dépassant pas 160 mètres. Enfin, au sud, la Calestienne marque un seuil topographique très important à mettre en relation avec les calcaires du Givetien et du Couvinien.

Le tracé hypothétique de la surface piézométrique a été reporté sur la coupe hydrogéologique. Celui-ci se base sur les mesures piézométriques réalisées sur le terrain le long du trait de coupe. Les mesures réalisées ailleurs sur la carte donnent une idée de la profondeur de la nappe en fonction de la topographie et de l'unité hydrogéologique considérée dans les zones de la coupe où ces données font défaut. Ce tracé est également contraint par les sources et les cours d'eau situés sur la coupe.

Malgré les perméabilités généralement assez faibles des assises schisteuses du Famennien, les nappes de la Bordure Sud du Condroz (aquiclude des assises de Senzeille et Mariembourg) présentent des niveaux piézométriques relatifs allant de quelques mètres à plus de 20 m de profondeur. Les niveaux les plus profonds sont généralement mesurés sur les crêtes topographiques. Ils sont liés au relief plus marqué de cette zone par rapport à la dépression de la Famenne et, en raison des faibles conductivités hydrauliques, restent très influencés par la topographie. La dépression de la Famenne, de par son relief quasi nul et la faible perméabilité des roches qui constituent son sous-sol, montre des niveaux piézométriques relatifs très

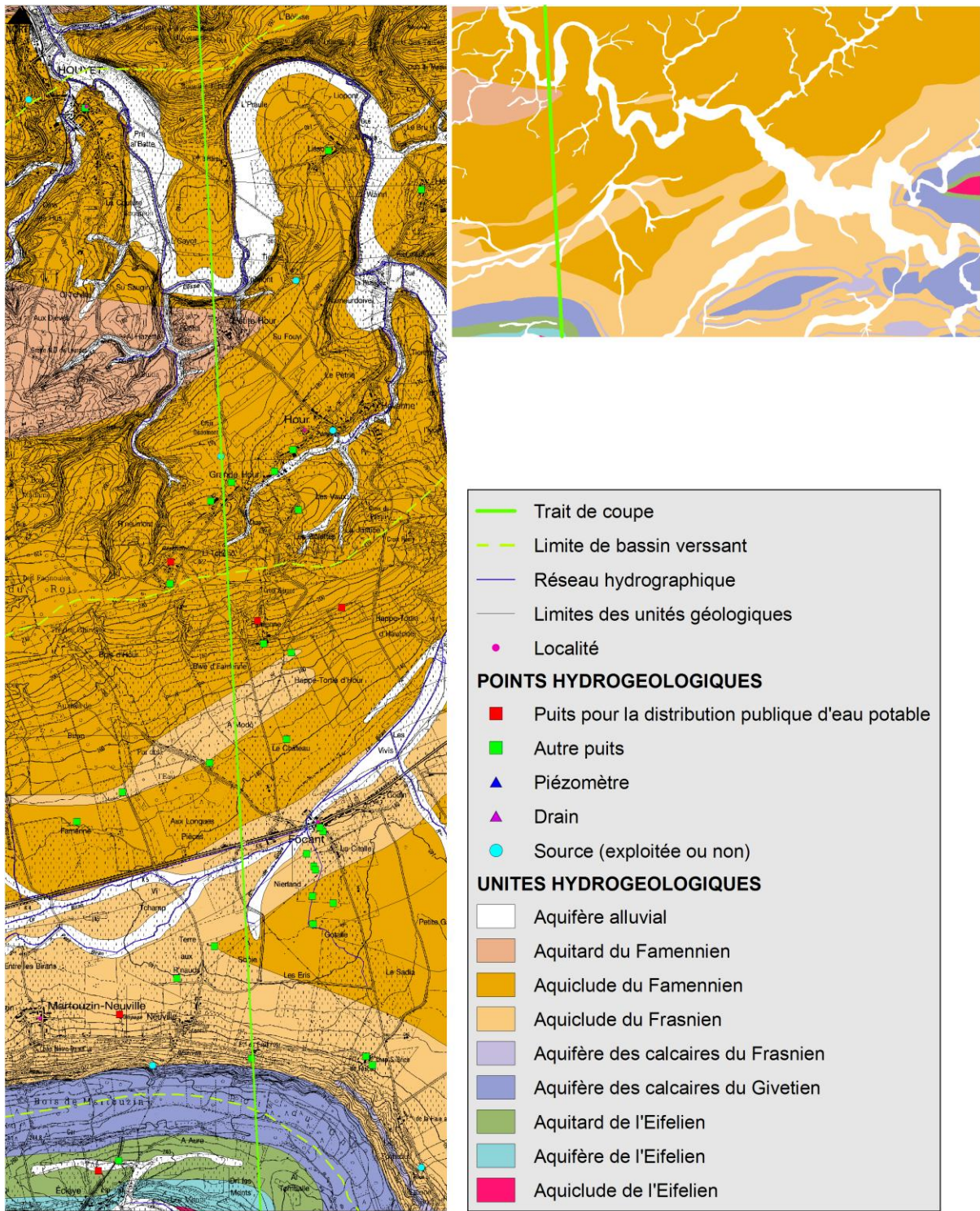
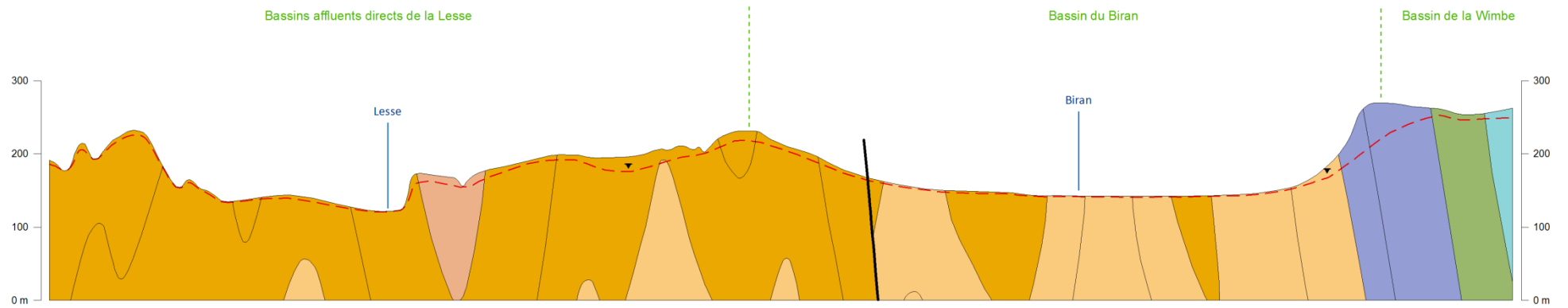
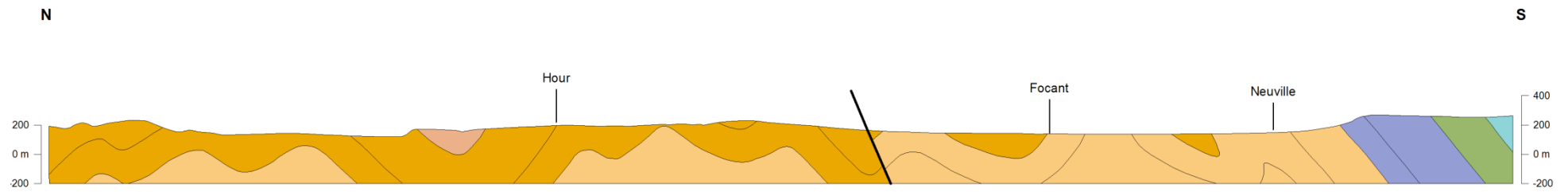


Figure IV.46 : Localisation du trait de coupe sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse.

proches de la surface topographique (une dizaine de mètres tout au plus pour les reliefs les plus hauts de cette zone).

Le seuil topographique que constitue la Calestienne montre un changement de comportement des nappes. En effet, les calcaires givetiens, beaucoup plus perméables, permettent une meilleure circulation des eaux souterraines et les nappes, mieux drainées, présentent une piézométrie proche de la cote du lit des cours d'eau qui les drainent.

La nappe contenue dans cette unité hydrogéologique peut se vidanger dans deux directions. D'une part elle s'écoulerait vers le nord dans les calcaires givetiens (bassin du Biran), avec un gradient important et des niveaux piézométriques plus profonds qui s'équilibreraient rapidement avec les niveaux observés dans la dépression de la Famenne. D'autre part, elle se vidangerait vers le sud dans l'assise calcaire aquifère du Couvinien (bassin de la Wimbe).



Exagération verticale : x5

1 Km

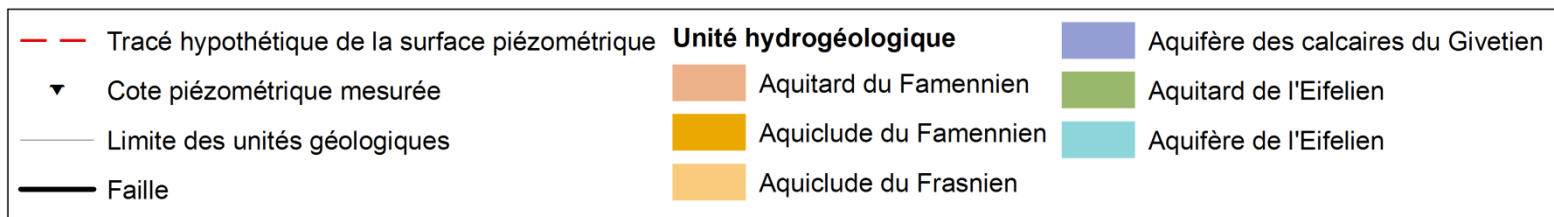


Figure IV.47 : Coupe hydrogéologique N-S de la carte Houyet – Han-sur-Lesse.

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

Les lithologies qui constituent les unités hydrogéologiques régionales de la Bordure sud du Condroz et de la Dépression de la Famenne étant assez homogènes, les nappes peuvent y être considérées comme libres.

Dans l'unité de la Calestienne par contre, les contrastes de perméabilité ainsi que les structures plissées peuvent transformer une nappe libre en nappe captive.

Les aquifères des calcaires du Givetien et du Frasnien peuvent présenter un caractère captif sous les schistes frasniens et famenniens. Ces calcaires se rencontrent à grande profondeur sous la dépression de la Famenne, par exemple à près de 3 000 m au niveau du sondage de Focant, près de Martouzin-Neuville (Boulvain et Coen-Aubert, 1997), mais également à une profondeur moindre autour des massifs du Roptai, des Grignaux-Turmont, etc.

Ce caractère captif peut être intéressant en terme de protection de l'aquifère, surtout si l'on considère les aquifères des calcaires du Couvinien, du Givetien et du Frasnien, nettement plus sensibles aux pollutions du fait de leurs grande perméabilité de fissures et leur intense karstification.

V. CADRE HYDROCHIMIQUE

Ce chapitre dresse un aperçu de la composition chimique des eaux souterraines dans la région de Houyet – Han-sur-Lesse, ainsi que les principales problématiques liées à leur qualité.

V.1. CARACTÉRISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX

Avant tout chose, il est important de définir la notion de fond hydrogéochimique naturel. L'hydrochimie d'un aquifère est le résultat de cinq paramètres, dont les quatre premiers sont à l'origine du fond hydrogéochimique naturel :

1. apports atmosphériques naturels ;
2. influence des sols (filtre, acidification) ;
3. lithologie du réservoir ;
4. temps de séjour de l'eau dans le réservoir ;
5. apports anthropiques.

Dans les données hydrochimiques qui suivent, certains paramètres restent représentatifs d'une situation naturelle mais il est réaliste de considérer que le fond hydrogéochimique des nappes n'est plus observable (Brouyère *et al.*, 2009) pour certains éléments tels que les nitrates et dans une moindre mesure pour les chlorures, les sulfates, etc.

Les données hydrochimiques pour la carte Houyet – Han-sur-Lesse sont peu nombreuses et proviennent quasi exclusivement des distributeurs d'eau. Les ouvrages pour lesquels des données chimiques sont disponibles sont localisés par un pentagone rouge dans la **carte des informations complémentaires et du caractère des nappes** sur le poster.

V.1.1. Aquifère des calcaires du Givétien

Deux campagnes d'échantillonnage d'eau ont été effectuées par Bonniver (2011) en période de basses eaux (août 2009) et de hautes eaux (janvier 2008) afin de procéder à l'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux du système karstique des grottes de Han-sur-Lesse. Seules quelques analyses d'août 2009 ont été reprises : Fontaine Saint Martin (FSM), Ours et Grande Fontaine (GF) (Figure V.1,

Tableau V.1). Grande Fontaine est un "regard de nappe", il s'agit donc d'un site d'échantillonnage situé dans le réseau des Grottes de Han-sur-Lesse.

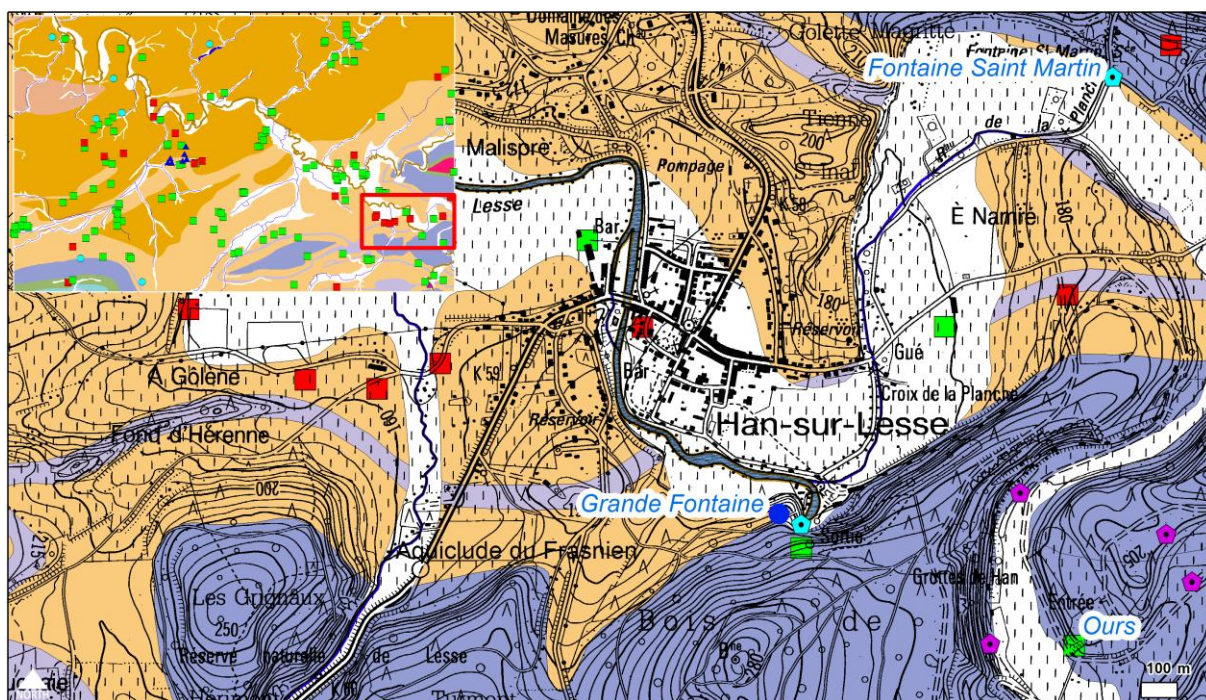


Figure V.1 : Localisation des ouvrages FSM, Ours et GF.

Une analyse est également disponible pour l'émergence captée par l'INASEP au sud du village de Neuville (captage Bois Duchy 1 et 2, Figure V.2, Tableau V.1). Cette émergence est la conséquence du contraste de perméabilité entre les calcaires givetiens et les schistes frasniens. Les eaux de cette émergence peuvent donc être considérées comme appartenant à l'Aquifère des calcaires du Givetien.

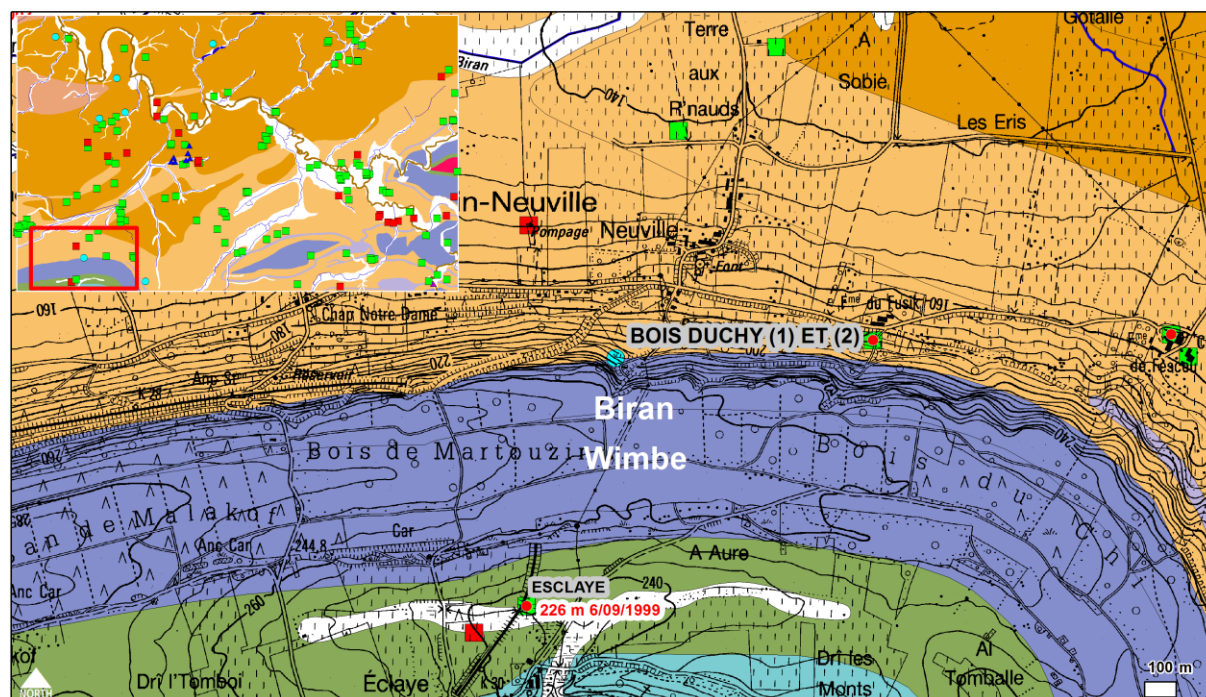


Figure V.2 : Localisation du captage Bois Duchy 1 et 2.

Paramètres	Unité	Norme	Captage Bois Duchy 1 et 2 (INASEP)	FSM	Ours	GF
Date de l'analyse			10/04/02	08/09	08/09	08/09
pH	unité pH	6,5 à 9,2	7,65	8,21	8.17	8.11
Conductivité	µS	2100	597	615	432	532
Dureté totale	°F	67,5	27,1	25,2	20.3	22.8
Aluminium	µg/l Al	110	20,5	/	/	/
Fer (total dissous)	µg/l Fe	200	40	30	420	130
Calcium	mg/l Ca		/	79.07	70.56	77.08
Magnésium	mg/l Mg		/	13.2	6.56	8.66
Sodium	mg/l Na		/	6.96	6.91	8.04
Potassium	mg/l K		/	0.52	0.87	0.75
Manganèse	µg/l Mn	50	<3	10	30	20
Chlorures	mg/l Cl	200	13	8.99	7.89	13.49
Nitrates	mg/l NO ₃	50	23,4	7.37	7.63	2.78
Nitrites	mg/l NO ₂	0,1	<0,01	<0.2	<0.2	<0.2
Sulfate	mg/l	250		29,4	24,63	26
Ammonium	mg/l NH ₄	0,5	0,037	<0.1	<0.1	<0.1

Tableau V.1 : Analyses hydrochimiques de la nappe de l'Aquifère des calcaires du Givetien.
FSM : Fontaine Saint Martin ; GF : Grande Fontaine.

V.1.2. Aquiclude du Famennien

Quatre analyses hydrochimiques (Tableau V.2) sont disponibles pour caractériser l'hydrochimie de l'Aquiclude du Famennien. Ces échantillons ont été prélevés sur les ouvrages Dardenne Hérock (Figure V.3), Aire de repos de Wanlin (Figure V.4), Collard R. (Figure V.5) et Puits Fraiche-Haie (Figure V.6).

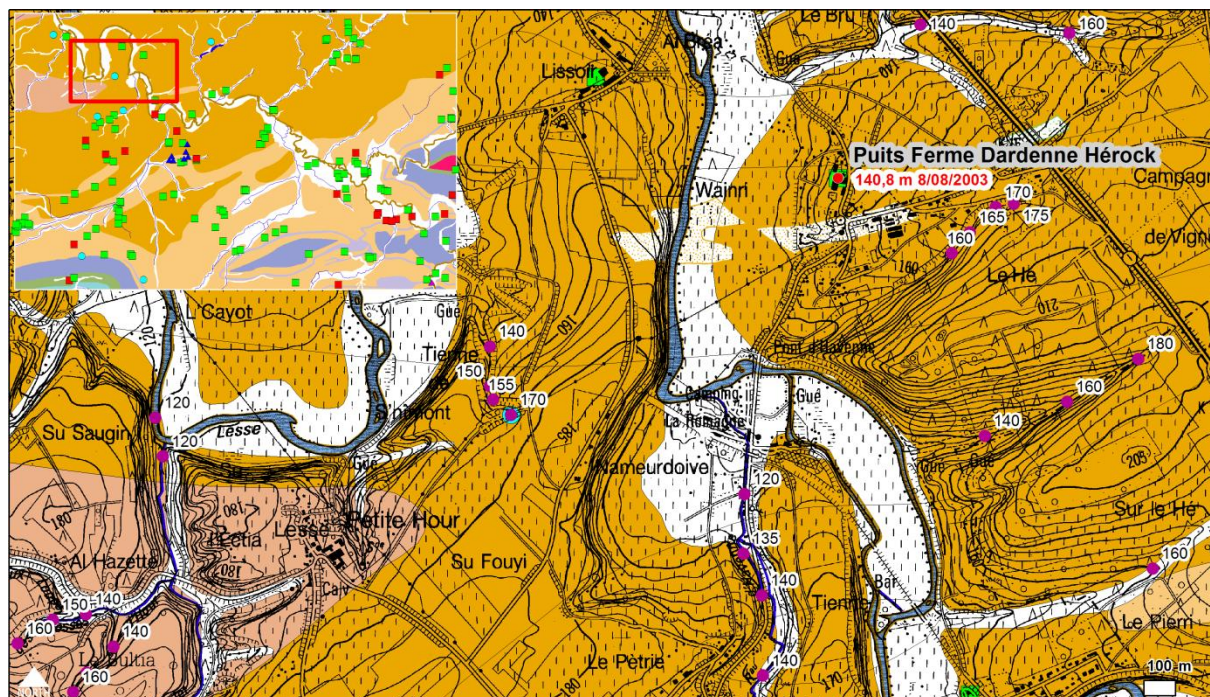


Figure V.3 : Localisation du Puits Dardenne Hérock.

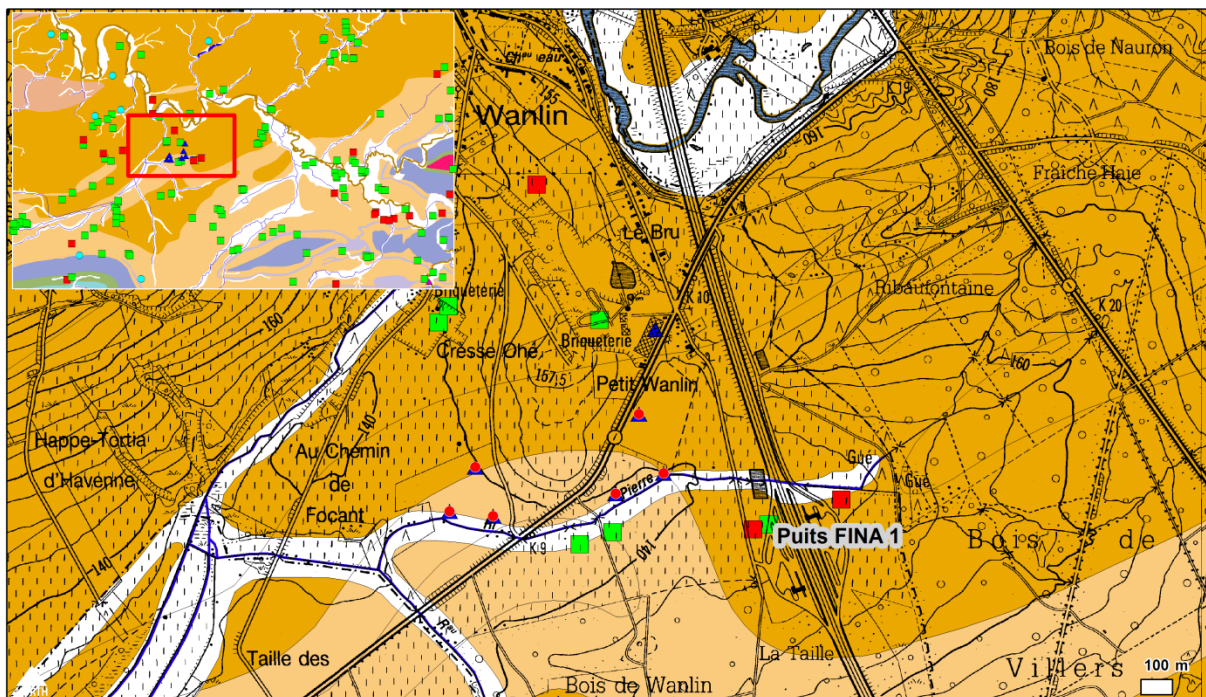


Figure V.4 : Localisation du puits FINA 1.

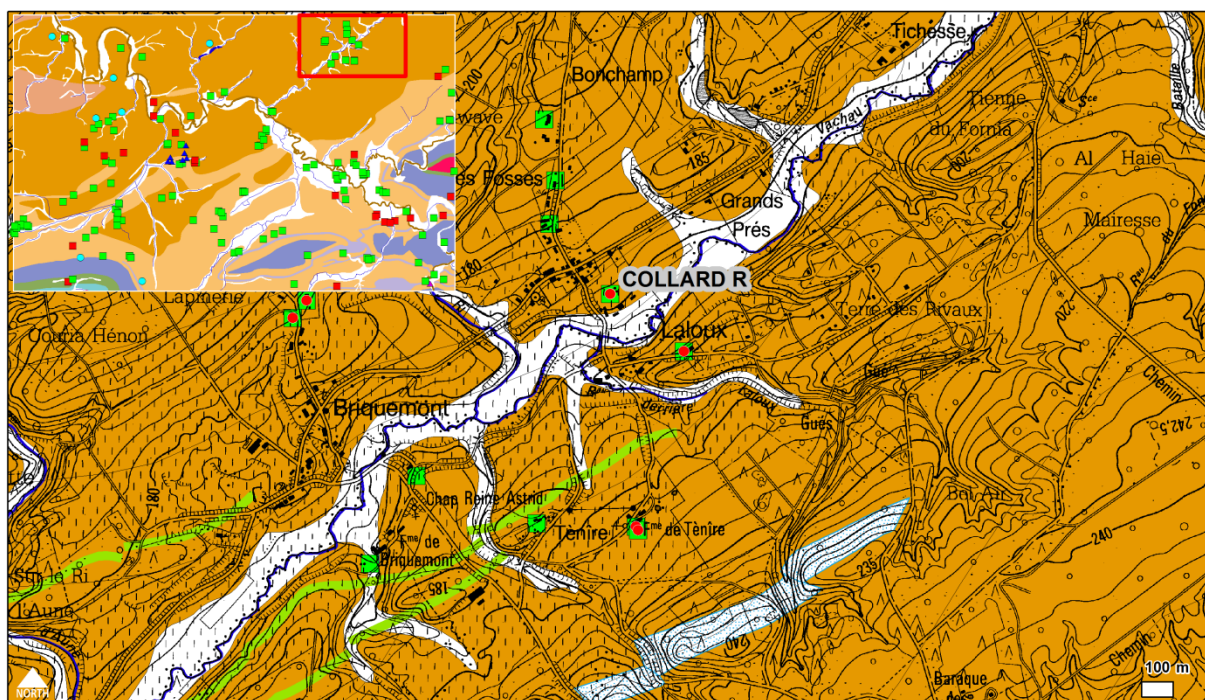


Figure V.5 : Localisation du puits Collard R.

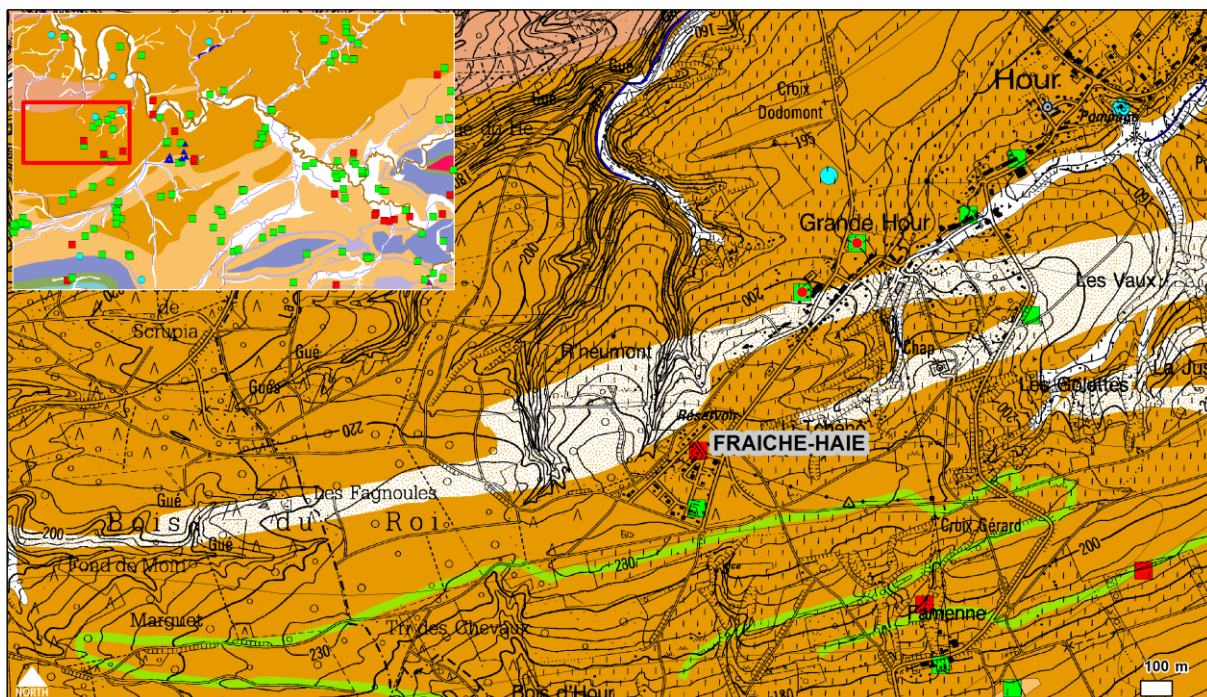


Figure V.6 : Localisation du puits Fraiche-Haie.

Paramètres	Unité	Norme	Dardenne Hérock	FINA 1	Collard R.	Puits Fraiche-Haie (INASEP)
Date analyse			13/11/2006	13/11/06	13/11/06	28/05/02
pH	unité pH	6,5 à 9,2	7,18	7,2	7,48	7,4
Conductivité	µS	2100	608	1204	392	
Dureté totale	°F	67,5	28,6	44,6	21,6	22,9
Calcium	mg/l Ca	270	86,1	120,4	57,5	-
Magnésium	mg/l Mg	50	16,5	36,5	15,3	-
Sodium	mg/l Na	150	38,8	113,8	12	-
Potassium	mg/l K	12	2,2	1,1	1,3	-
Aluminium	µg/l Al	110	<10	<10	<10	5,5
Fer (total dissous)	µg/l Fe	200	<2	6	<2	<20
Manganèse	µg/l Mn	50	<5	227	<5	<3
Chlorures	mg/l Cl	200	49,9	221	25	22
Nitrates	mg/l NO ₃	50	12	1,4	3,4	34,4
Nitrites	mg/l NO ₂	0,1	0	0	0	<0.01
Sulfate	mg/l SO ₄	250	55,5	60	31	
Ammonium	mg/l NH ₄	0,5	0	0,27	0	5,5

Tableau V.2 : Analyses hydrochimiques de la nappe de l'Aquiclude du Famennien.

V.1.3. Aquiclude du Frasnien

Une analyse hydrochimique (Tableau V.3) pour le puits Ferme de Génimont (Figure V.7), sollicitant l'Aquiclude du Frasnien et datant du 13/11/06 est disponible et donnée ci-dessous.

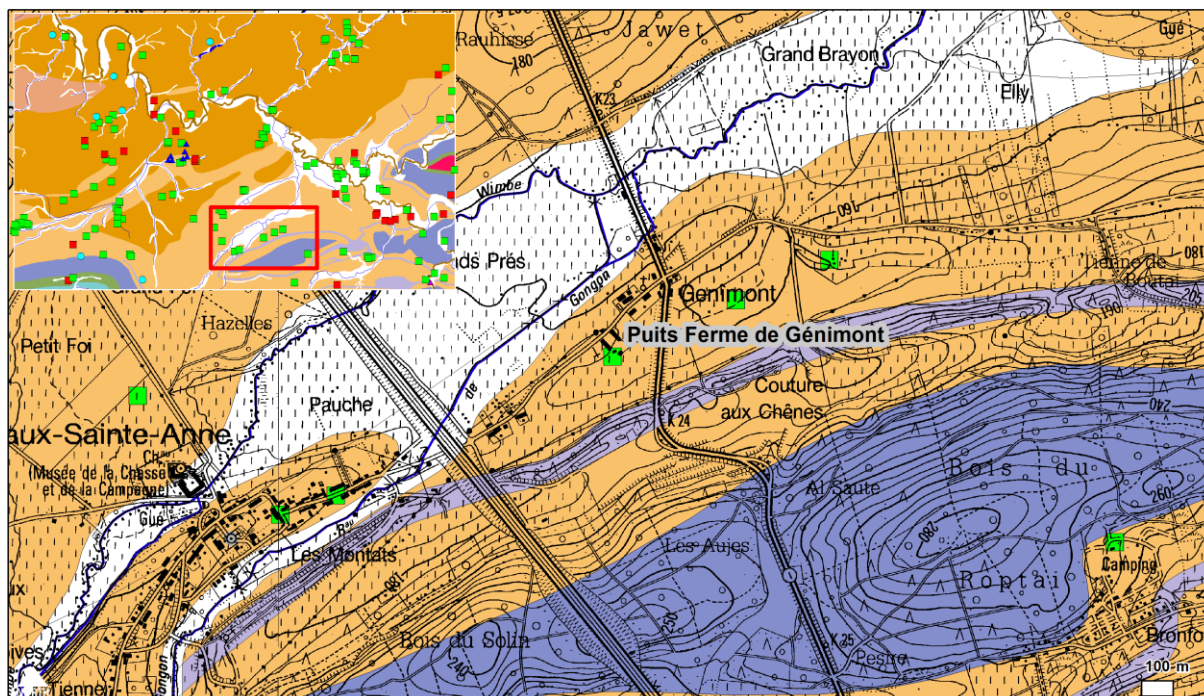


Figure V.7 : Localisation du puits Ferme de Génimont.

Paramètres	Unité	Norme	Fme de Génimont
Date analyse			13/11/06
pH	unité pH	6,5 à 9,2	8,4
Conductivité	µS	2100	986
Dureté totale	°F	67,5	57
Calcium	mg/l Ca	270	138,8
Magnésium	mg/l Mg	50	58
Sodium	mg/l Na	150	29,9
Potassium	mg/l K	12	1,5
Aluminium	µg/l Al	110	<10
Fer (total dissous)	µg/l Fe	200	<2
Manganèse	µg/l Mn	50	55
Chlorures	mg/l Cl ⁻	200	80,4
Nitrates	mg/l NO ₃ ⁻	50	7,8
Nitrites	mg/l NO ₂ ⁻	0,1	0
Sulfate	mg/l SO ₄	250	86
Ammonium	mg/l NH ₄ ⁺	0,5	0,23

Tableau V.3 : Analyse hydrochimique de la nappe de l'Aquiclude du Frasnien.

V.1.4. Aquifère alluvial

L'Administration Communale de Rochefort exploite un puits peu profond (4 à 5 m) implanté au centre de Han-sur-Lesse (Figure V.8) dans la nappe alluviale et dans la frange altérée du bedrock schisteux à schisto-calcaire sous-jacent. Plusieurs

analyses sont disponibles pour cet ouvrage. La plus complète est présentée au [Tableau V.4](#).

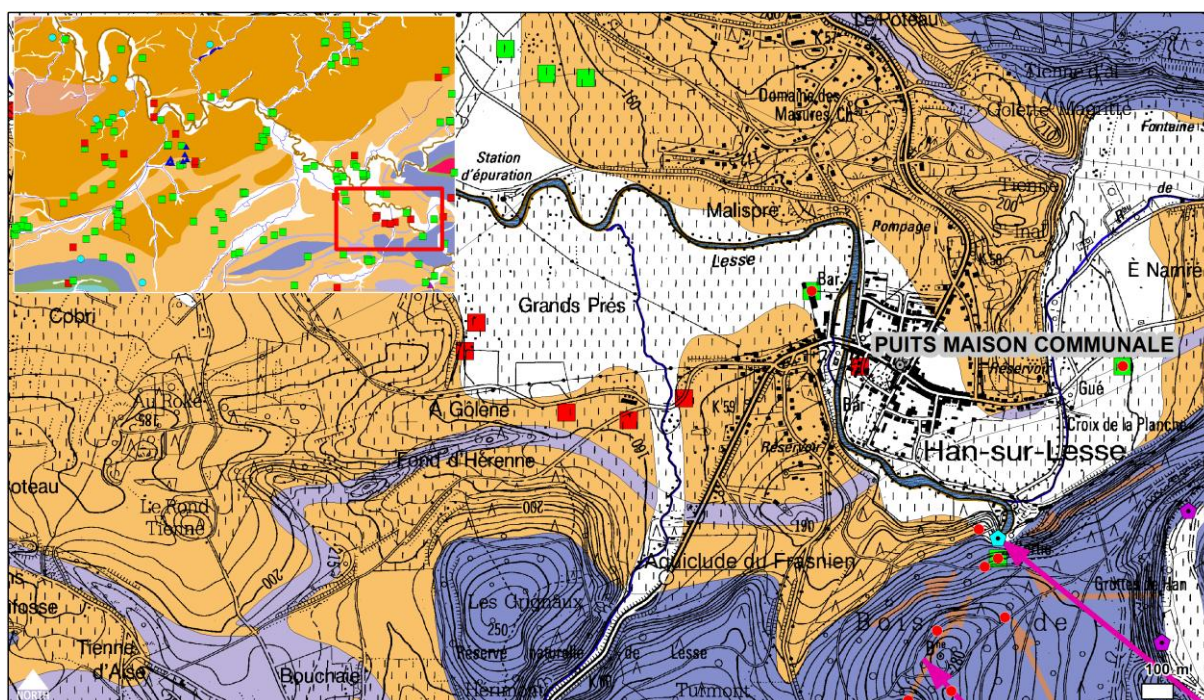


Figure V.8 : Localisation du puits Maison Communale.

Paramètres	Unité	Norme	Puits Maison Communale
Date			21/04/1998
pH	unité pH	6,5 à 9,2	8
Conductivité	µS	2100	523
Calcium	mg/l Ca	270	90
Magnésium	mg/l Mg	50	11
Sodium	mg/l Na	150	10
Potassium	mg/l K	12	4
Fer (total dissous)	µg/l Fe	200	/
Chlorures	mg/l Cl ⁻	200	14
Nitrates	mg/l NO ₃ ⁻	50	17
Sulfates	mg/l SO ₄ ⁼	250	17
Phosphates	mg/l PO ₄ ³⁻	3,35	/

Tableau V.4 : Analyses hydrochimiques de la nappe de l'Aquifère alluvial.

V.1.5. Commentaires

Les analyses reprises ci-dessus donnent un premier aperçu des compositions chimiques des eaux souterraines susceptibles d'être rencontrées sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse. Les résultats des analyses chimiques sont généralement traités avec un diagramme de Piper ([Figure V.9, a](#)), dans lequel on ne considère que les concentrations relatives des cations et des anions supérieures à 10 %. Les deux diagrammes triangulaires permettent de visualiser les faciès anionique et cationique

des échantillons d'eau, tandis que le diagramme losangique propose un faciès global.

Brouyère *et al.* (2009) a étudié les masses d'eau RWM022 et RWM023 auxquelles appartiennent les nappes d'eau souterraine de la carte Houyet – Han-sur-Lesse. La Figure V.9 (b) présente la distribution des analyses d'eaux souterraines réalisées dans les masses d'eau RWM022 et RWM023, toutes analyses confondues, tandis que la Figure V.10 présente la distribution de ces mêmes analyses dans le triangle des cations de Piper par unité hydrogéologique.

Les analyses hydrochimiques présentées ci-dessus, exceptées celles de Bonniver (2011) pour l'Aquifère des calcaires du Givetien et celles de l'Aquifère alluvial, font partie de l'ensemble des analyses présentées dans les figures de Brouyère *et al.* (2009).

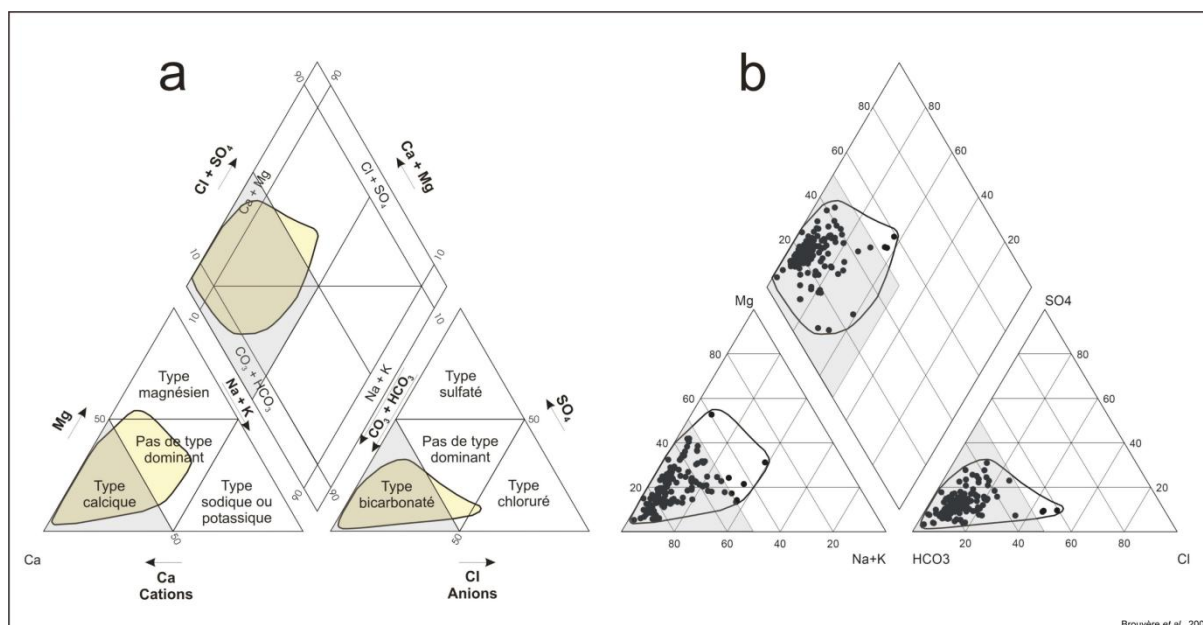


Figure V.9 : (a) Répartition des faciès hydrochimiques des eaux souterraines sur un diagramme ternaire de Piper, (b) domaine de composition chimique et distribution d'analyses des eaux souterraines réalisées dans les masses d'eau RWM022 et RWM023 ainsi que dans les contextes hydrogéologiques similaires proches (Brouyère *et al.*, 2009).

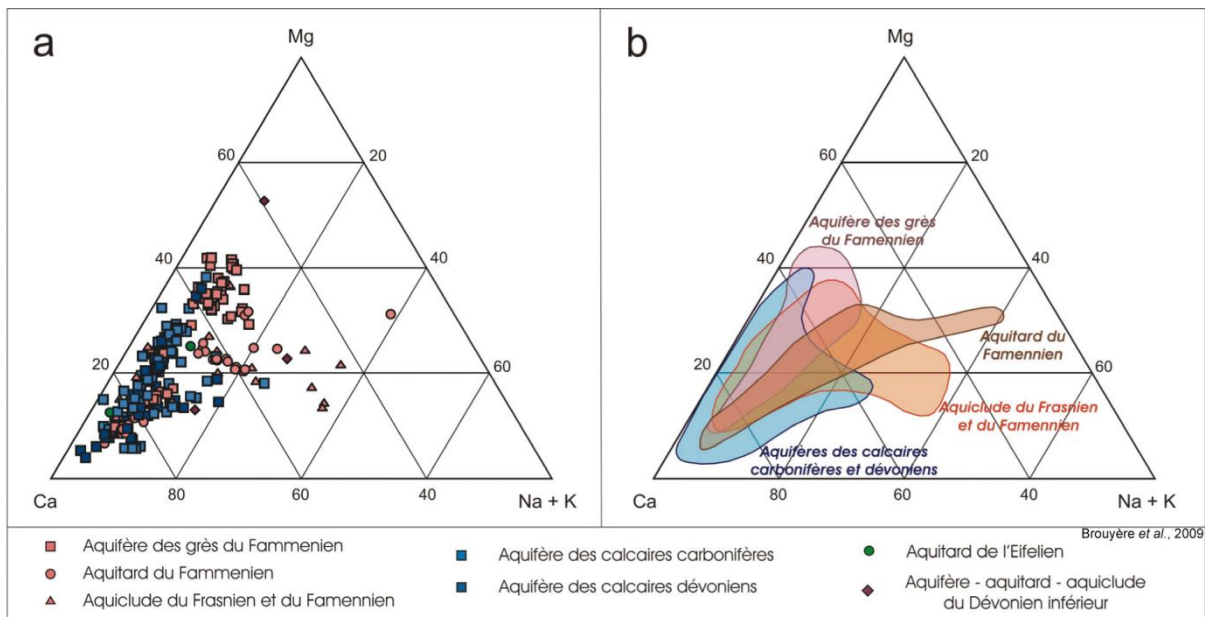


Figure V.10 : (a) Distribution, dans le triangle des cations et par unité hydrogéologique, des analyses d'eaux souterraines réalisées dans les masses d'eau RWM022 et RWM023 ainsi que dans les contextes hydrogéologiques similaires proches, (b) domaines de composition chimiques des principales unités hydrogéologiques rencontrées dans ces masses d'eau (Brouyère et al., 2009).

Pour information, nous présentons le diagramme de Piper tiré du travail de Bonniver (2011, Figure V.11) ainsi que le commentaire qui en est fait.

"Tous les échantillons d'eau en provenance du système karstique de Han-sur-Lesse sont des eaux bicarbonatées calciques légèrement magnésiennes typiques des écoulements souterrains en milieu calcaire. Seul l'échantillon prélevé dans la Lesse au Gouffre de Belvaux en période de hautes eaux présente un faciès dépourvu d'anions dominants." (Bonniver, 2011).

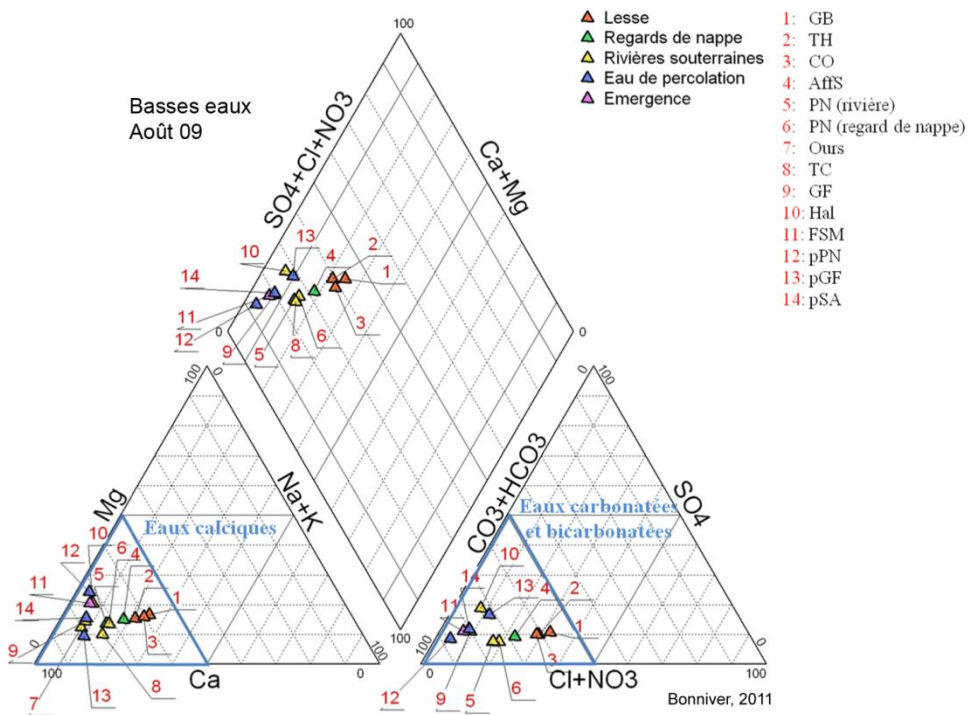
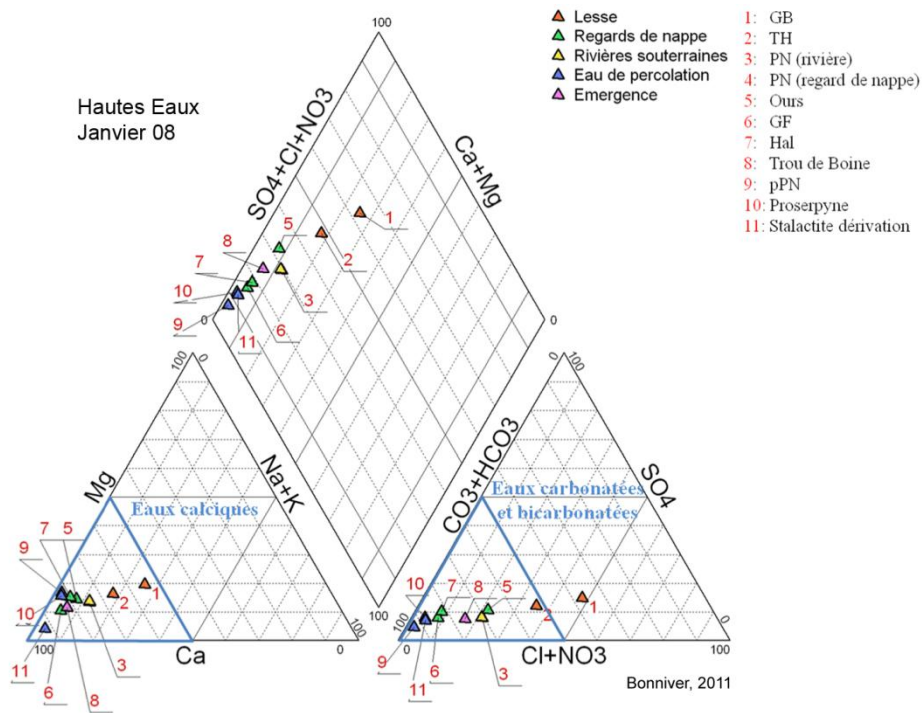


Figure V.11 : Faciès hydrochimique des eaux du système karstique de Han-sur-Lesse (aquifère des calcaires du Givetien) en période de hautes eaux (janvier 08) et en période de basses eaux (août 09) (Bonniver, 2011).

"L'analyse des caractéristiques physico-chimiques (température, conductivité électrique standard et éléments majeurs) d'échantillons d'eau prélevés au sein du système karstique de Han-sur-Lesse a permis de définir trois types d'eau :

- Le type I regroupe les eaux de la Lesse dont les caractéristiques physico-chimiques, représentatives de son origine superficielle, sont peu modifiées de l'amont (GB⁷) vers l'aval (PED⁸ et TH⁹). Bien que l'interaction entre la rivière et la nappe d'eau souterraine soit importante d'un point de vue piézo-limnimétrique, il semblerait que les échanges physico-chimiques entre ces deux unités soient limités. La rivière traverse le massif de Boine supportée par une nappe d'eau qui gouverne sa limnimétrie mais les flux échangés entre les deux unités sont minimes. Les volumes d'eau souterraine drainés par la Lesse seraient, par conséquent, peu importants ;
- Le type II regroupe les eaux souterraines à long temps de séjour de type eau de percolation récoltée au niveau de stalactites actives (pPN¹⁰, pGF¹¹, pSA¹²) et nappe d'eau souterraine (GF¹³) ;
- Le type III regroupe les eaux résultant du mélange entre les eaux de type I et de type II et comprend principalement les rivières du système CR-PN-RS¹⁴. (Bonniver, 2011)

Dans les aquifères calcaires, les échantillons qui s'écartent de l'axe (Ca-Mg) pour évoluer vers le pôle (K+Na) correspondent :

- Soit à des eaux influencées par des activités humaines lorsque que l'on constate des teneurs élevées en chlorure, en sulfate ou en nitrates) ;
- Soit à des eaux souterraines diluées par des eaux de surfaces lorsque l'on constate une diminution du rapport des concentration $[Ca+Mg]/[Na+K]$ avec une diminution de la conductivité électrique.

Généralement, une conductivité électrique comprise entre 150 et 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sera représentative d'un aquiclude du Famennien tandis qu'une conductivité électrique supérieure à 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ le sera d'un aquifère calcaire. Au-delà de 850 $\mu\text{S}/\text{cm}$, on peut considérer une influence anthropique plus ou moins importante (Brouyère *et al.*, 2009). Les analyses où la conductivité électrique est supérieur à 850 $\mu\text{S}/\text{cm}$ présente systématiquement des concentrations $[Cl^-+SO_4^{2-}] > 150 \text{ mg/l}$.

⁷ Gouffre de Belvaux

⁸ Lesse à la Station de pédalo

⁹ Trou de Han

¹⁰ Percolation de la stalagmite Grotte du Père Noël

¹¹ Percolation de la stalagmite Grande Fontaine

¹² Percolation de la stalagmite Salle d'Arme

¹³ Grande Fontaine

¹⁴ Trou des Crevés-Grotte du Père Noël-Réseau Sud.

Les conductivités élevées des échantillons *Ferme de Génimont* (Aquiclude du Frasnien, [Tableau V.3](#)) et *FINA 1* (Aquiclude du Famennien, [Tableau V.2](#)) illustre bien cette influence anthropique. L'eau du puits *FINA 1*, au vu des teneurs en calcium, en chlorure et en magnésium, est probablement polluée par des produits d'épandage routier, NaCl et MgCl₂, ces deux derniers étant les sels les plus couramment utilisés.

Il ne faut pas s'étonner non plus de rencontrer dans les eaux de l'Aquiclude du Frasnien, des eaux dont la composition hydrochimique se rapproche de celles provenant de calcaires. En effet, certains schistes frasniens présentent des nodules ou des niveaux carbonatés qui peuvent donner lieu à un enrichissement en calcium important ([Tableau V.3](#)).

V.2. PROBLÉMATIQUE DES NITRATES

Le nitrate est certainement l'élément nutritif le plus problématique en termes de contamination des eaux souterraines potabilisables (dépassement des normes définies pour la protection de la santé humaine). Les concentrations "naturelles" en nitrate dans les eaux souterraines sont généralement inférieures à 10 mg NO₃⁻/l. Des teneurs plus élevées résultent principalement de rejets dispersés (puits perdants, fuites dans les réseaux de collecte des eaux usées...) et de contaminations diffuses des sols, notamment lorsque les apports d'azote excèdent les besoins des végétaux (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007).

Afin de limiter les apports (essentiellement agricoles) en nitrates, des zones vulnérables ont été délimitées dans le cadre de la Directive Européenne Nitrates (91/976/CEE). Elles sont établies afin de protéger les eaux de surface et les eaux souterraines contre la pollution par les nitrates d'origine agricole. De nouvelles modifications ont été apportées récemment (arrêté du Gouvernement wallon du 15 février 2007 : la zone Nord du sillon Sambre et Meuse a été adoptée et l'extension de la zone Sud Namurois a été modifiée. L'ensemble des zones vulnérables aujourd'hui désignées (Sables bruxelliens, Crétacé de Hesbaye, Sud Namurois, Comines-Warneton, Pays de Herve et Nord du sillon Sambre et Meuse, [Figure V.12](#)) permet de couvrir 7 073 km², soit 41,8 % du territoire wallon correspondant à 68,7 % des volumes prélevés en eau souterraine pour la distribution publique. Ces zones reprennent la quasi-totalité (97 %) des captages échantillonnés dépassant la norme de potabilité (50 mg/l) et plus des deux tiers (67,8 %) des captages dont la teneur en nitrate est comprise entre 25 et 50 mg/l (<http://environnement.wallonie.be/>).

Seule la moitié ouest de la carte 59/1-2 Houyet – Han-sur-Lesse est située sur une zone vulnérable aux nitrates, la zone *Sud Namurois* ([Figure V.12](#)), probablement parce que les terres cultivées se concentrent essentiellement dans cette zone ([Figure II.1, p.7](#)).

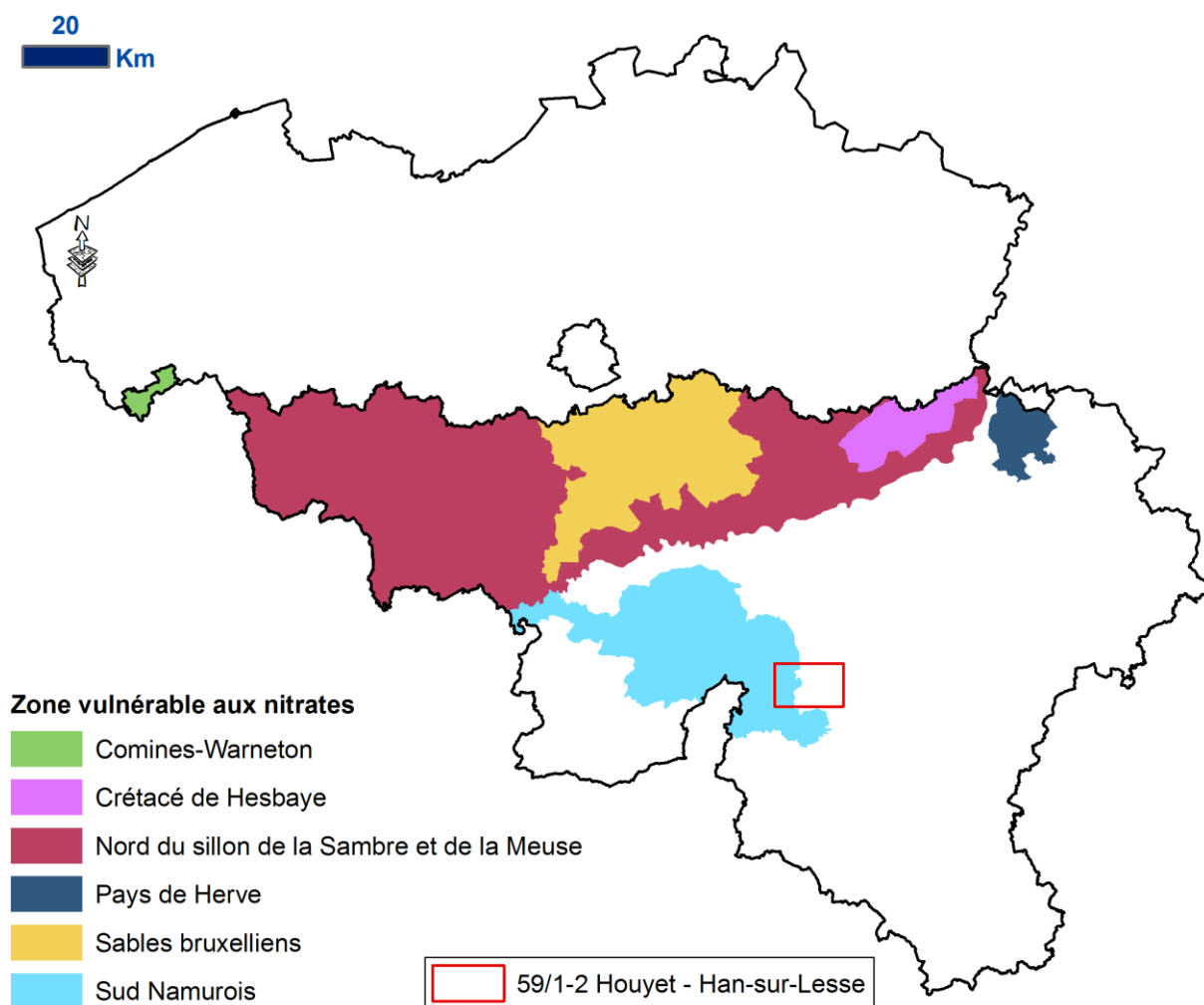


Figure V.12: Zones vulnérables aux nitrates arrêtées en Wallonie. Localisation de la carte Houyet – Han-sur-Lesse.

La surveillance systématique des teneurs en nitrate dans les nappes d'eau souterraine est organisée en Région wallonne depuis 1994. Un programme de surveillance, appelé "Survey Nitrate", a été mis en place en application de la directive 91/676/CEE relative à la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole. Les résultats issus du Survey Nitrate, permettent, d'une part, d'identifier les aquifères les plus affectés par ce type de pollution et, d'autre part, de contrôler l'efficacité à terme des mesures contenues dans le programme de gestion durable de l'azote en agriculture (PGDA). La majorité des analyses sont réalisées par les exploitants de prises d'eau potabilisable, tandis que l'Institut Scientifique de Service Public (ISSeP) complète l'acquisition des données dans les nappes à risque et moins exploitées (Sables thanétiens, Crétacé du Pays de Herve...). L'ensemble constitue un réseau représentatif de 969 points répartis sur le territoire wallon. Le contrôle comprend au minimum trois analyses par an mais leur fréquence peut être augmentée en fonction de la population desservie (une analyse par mois pour les galeries de Hesbaye p. ex.). L'ensemble des données est transmis à la DGRNE (base de données CALYPSO) qui pratique ensuite une validation des informations reçues. (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007).

Suivant le réseau de surveillance des nappes d'eau souterraine de la Région wallonne, actuellement, les teneurs en nitrates de cette région varient entre 10 et 40 mg/l (Figure V.14).

A l'état naturel, les eaux souterraines sont pauvres en nitrates ($\text{NO}_3 < 10 \text{ mg/l}$). On peut considérer qu'une teneur en nitrates supérieure à 10 mg/l traduit une influence anthropique significative (Brouyère *et al.*, 2009).

Les chroniques nitrates de six captages de l'INASEP sont représentées dans les Figure V.15 à Figure V.21, ainsi que celle d'un ouvrage de l'administration communale de Rochefort (Figure V.21) et celle d'un particulier (Figure V.22). Ces graphes montrent que, pour ces trois captages, les concentrations en nitrates restent sensiblement constantes, se cantonnant dans une fourchette de 10 à 40 mg/l NO_3 . Tous ces ouvrages sont localisés sur la Figure V.13.

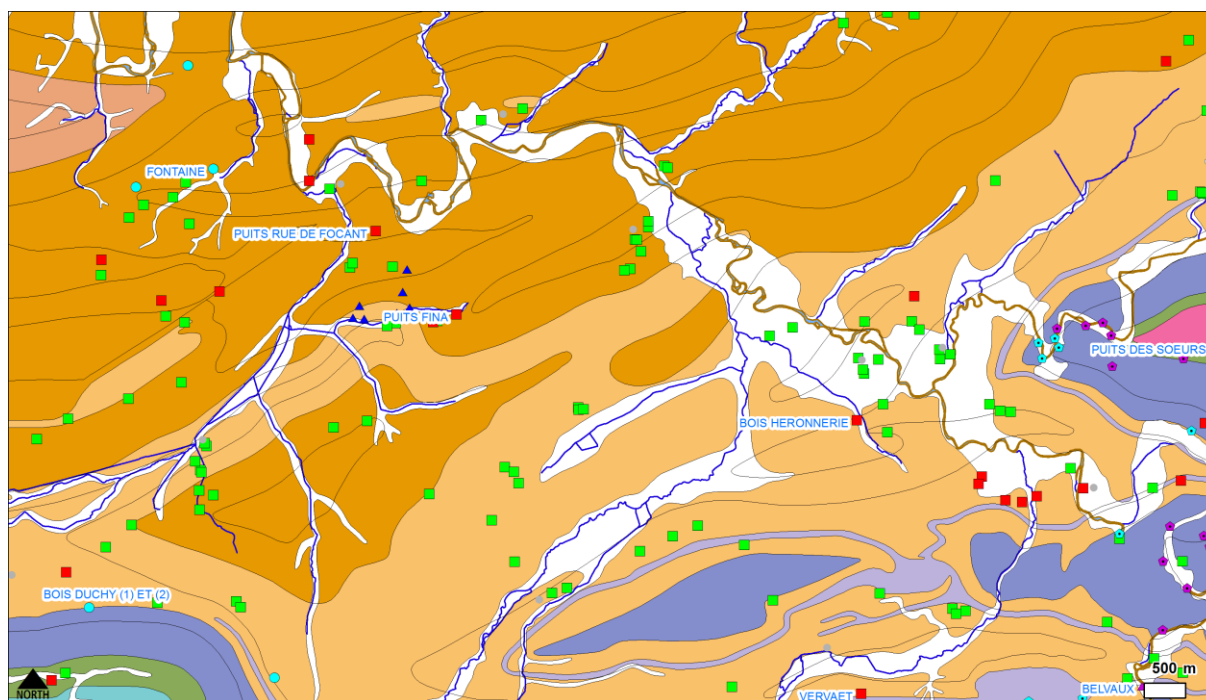


Figure V.13 : Localisation des ouvrages Fontaine, Puits rue de Focant, Bois Duchy (1) et (2), Bois Heronnerie, Vervaet, Puits Fina, Belvaux, Puits des sœurs.

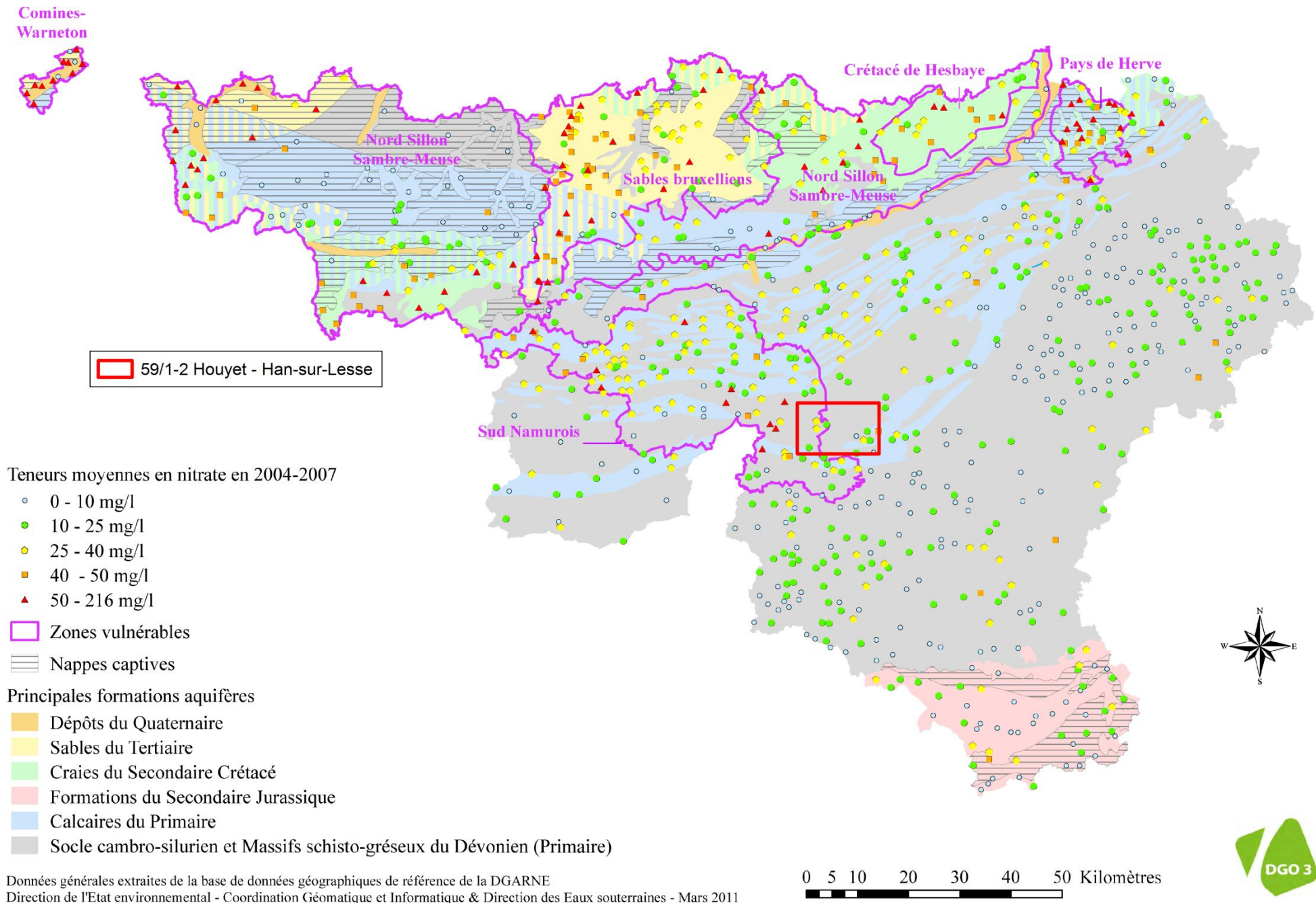


Figure V.14 : Teneur en nitrates dans les eaux souterraines (État des nappes d'eau souterraine, mars 2011, <http://environnement.wallonie.be/>).

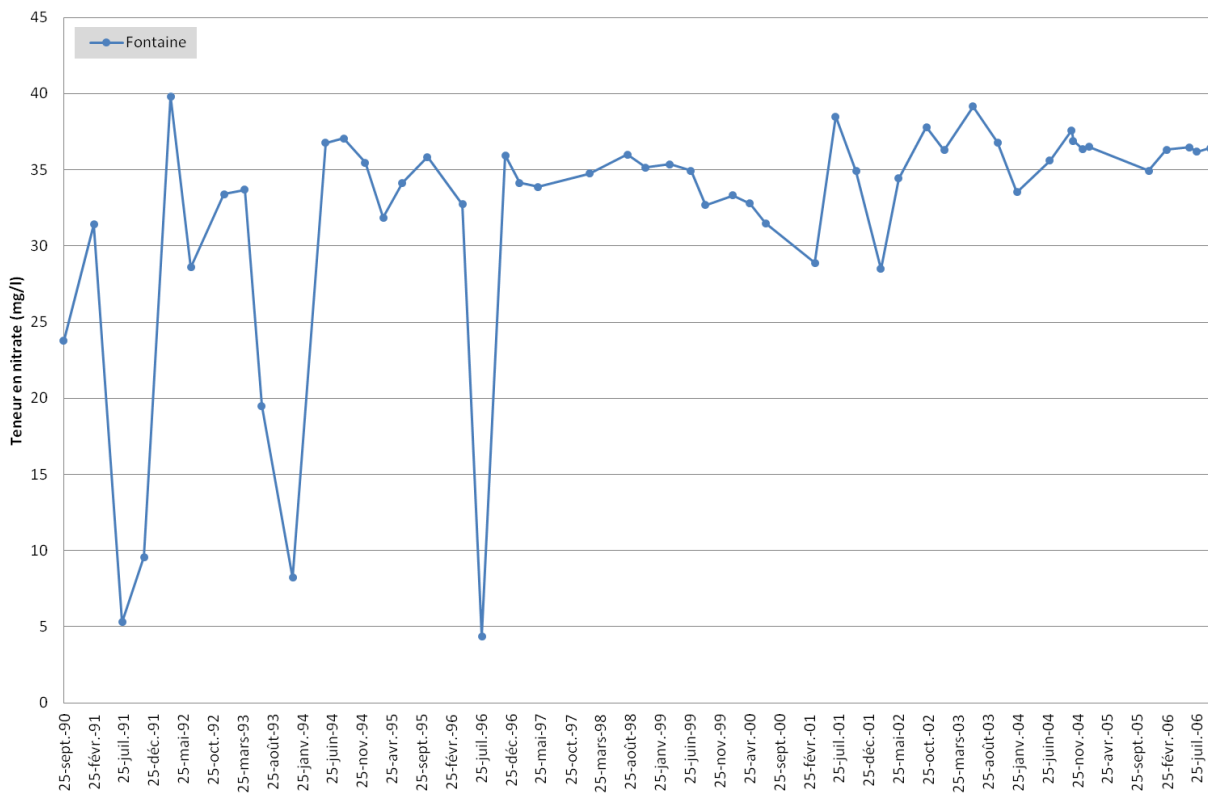


Figure V.15 : Evolution de la teneur en nitrates du captage *Fontaine* (source) appartenant à l'INASEP et sollicitant l'Aquiclude du Famennien.

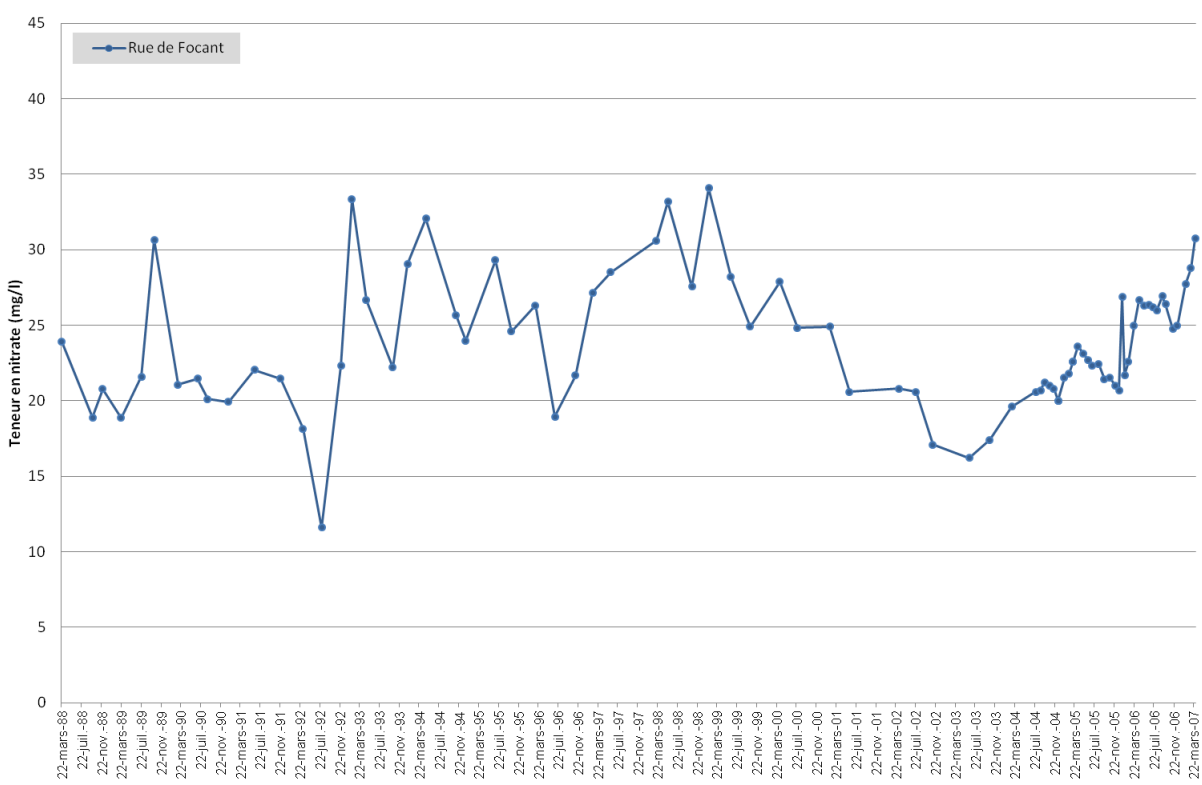


Figure V.16 : Evolution de la teneur en nitrates du captage *Rue de Focant* appartenant à la commune de Rochefort et sollicitant l'Aquiclude du Famennien.

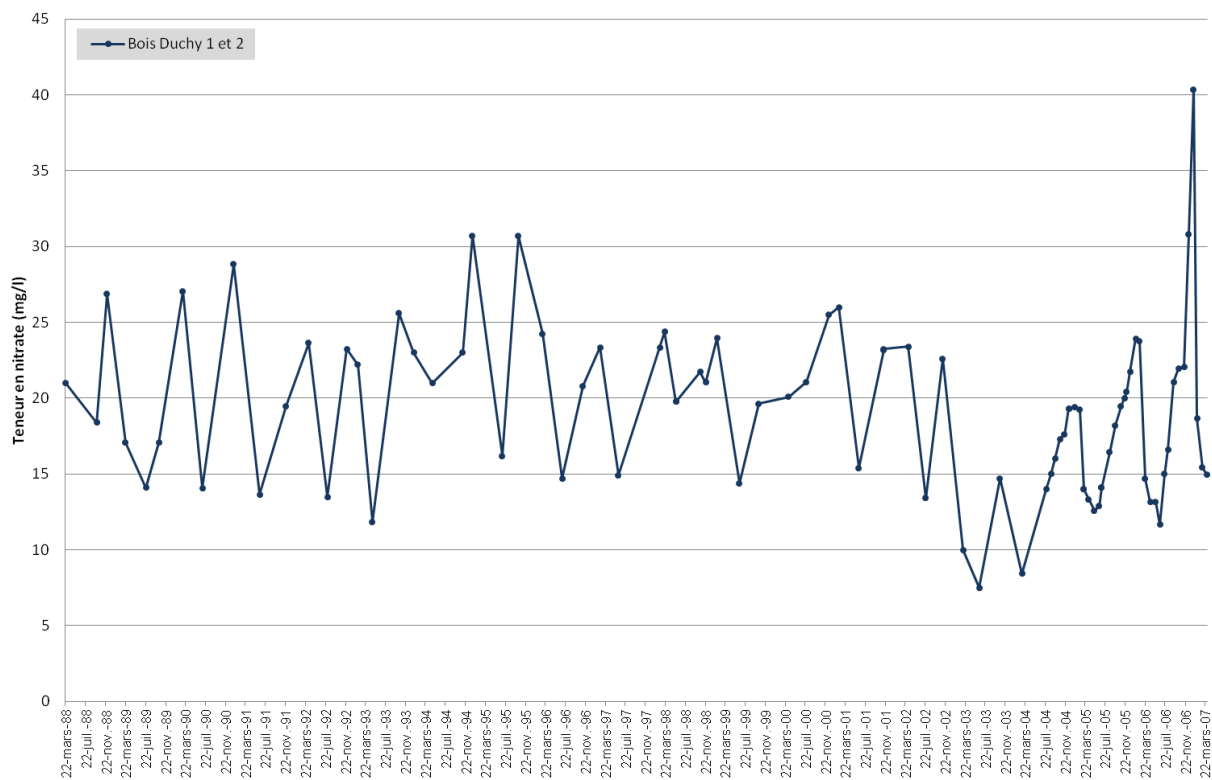


Figure V.17 : Evolution de la teneur en nitrates du captage *Bois Duchy 1 et 2* (source) appartenant à l'INASEP et sollicitant l'Aquifère des calcaires du Givétien.

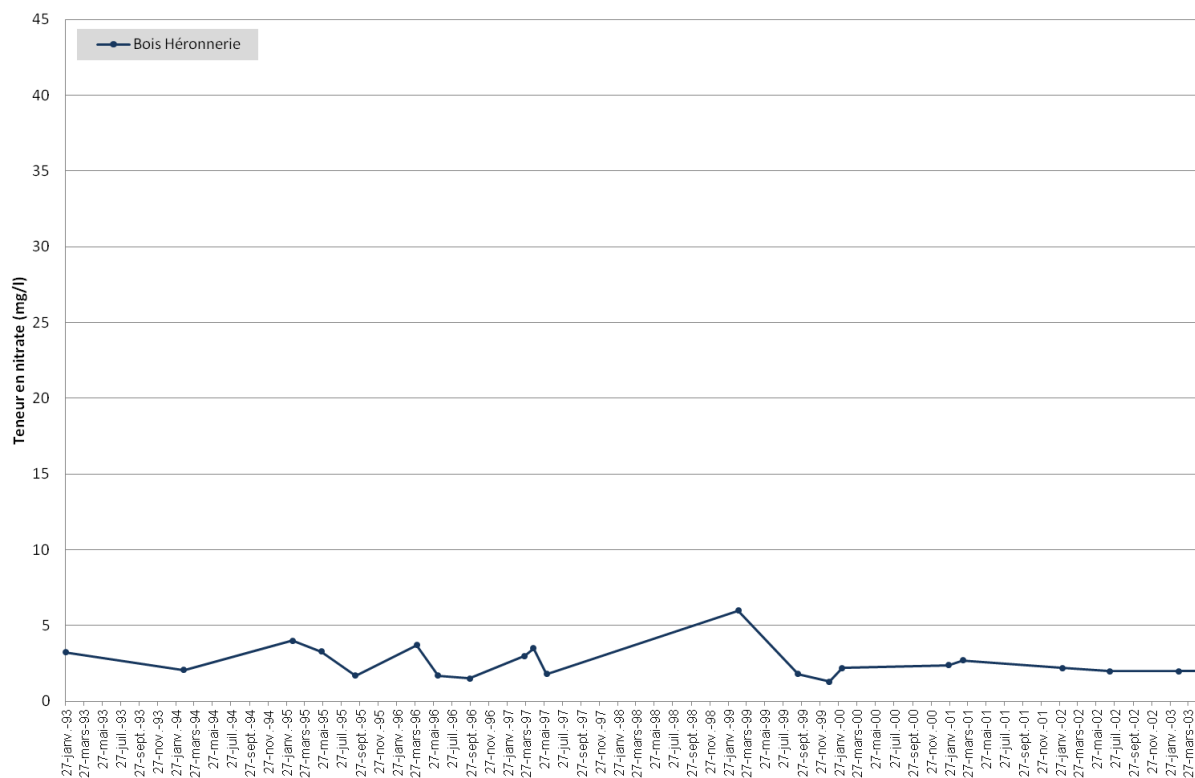


Figure V.18 : Evolution de la teneur en nitrates du captage de *Bois Héronnerie* appartenant à l'INASEP et sollicitant l'Aquifère du Fasnien.

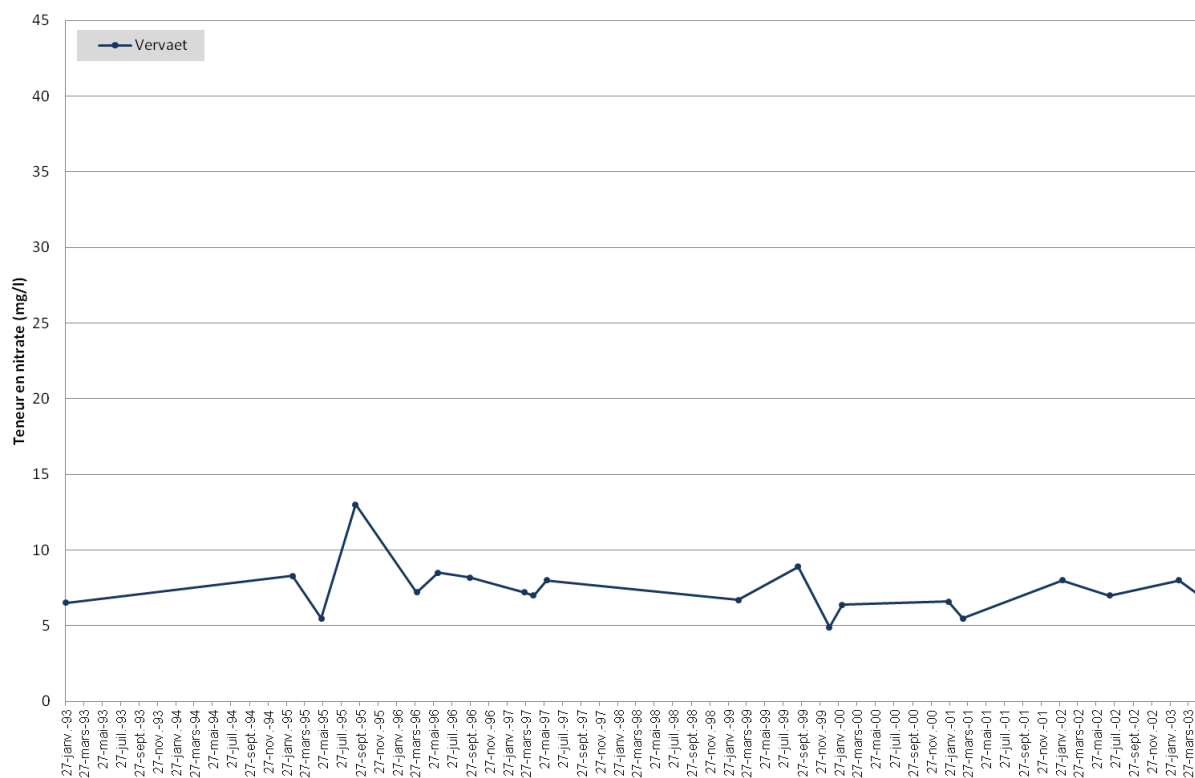


Figure V.19 : Evolution de la teneur en nitrates du puits *Vervaeet* appartenant à la commune de Rochefort et sollicitant l'Aquiclude du Frasnien.

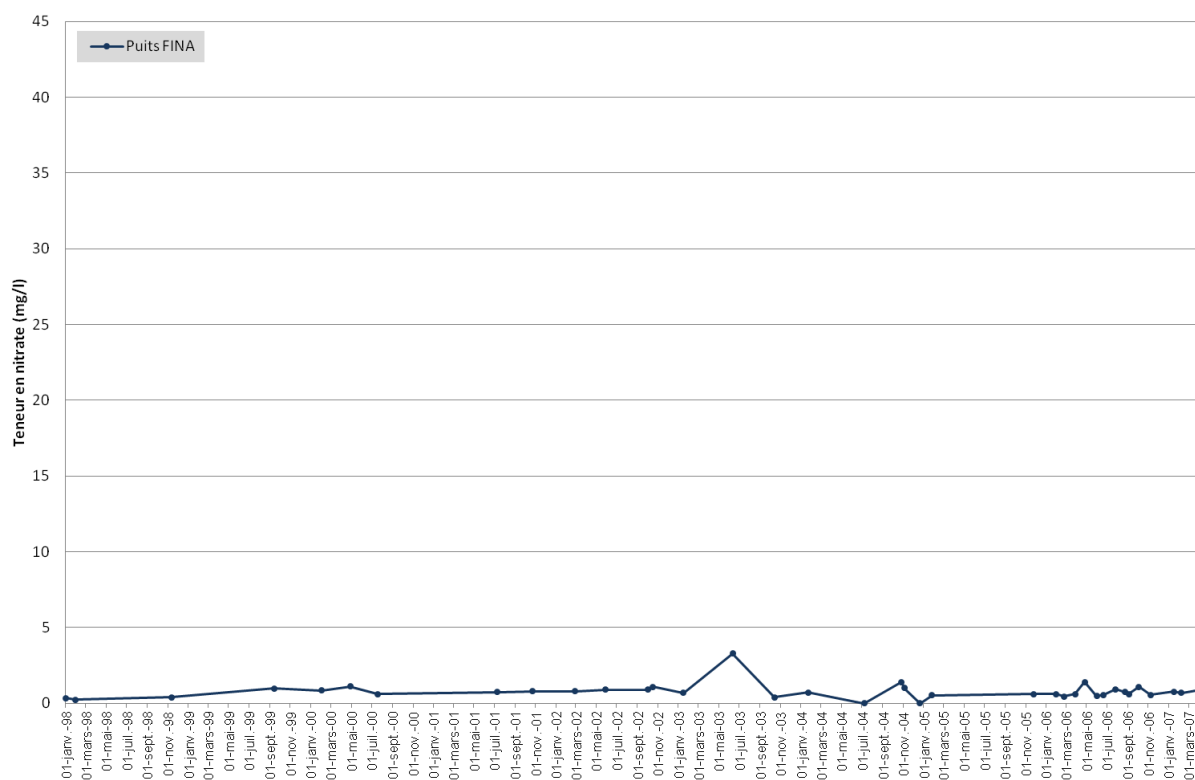


Figure V.20 : Evolution de la teneur en nitrates du puits *Fina* appartenant à l'INASEP et sollicitant l'Aquiclude du Famennien.

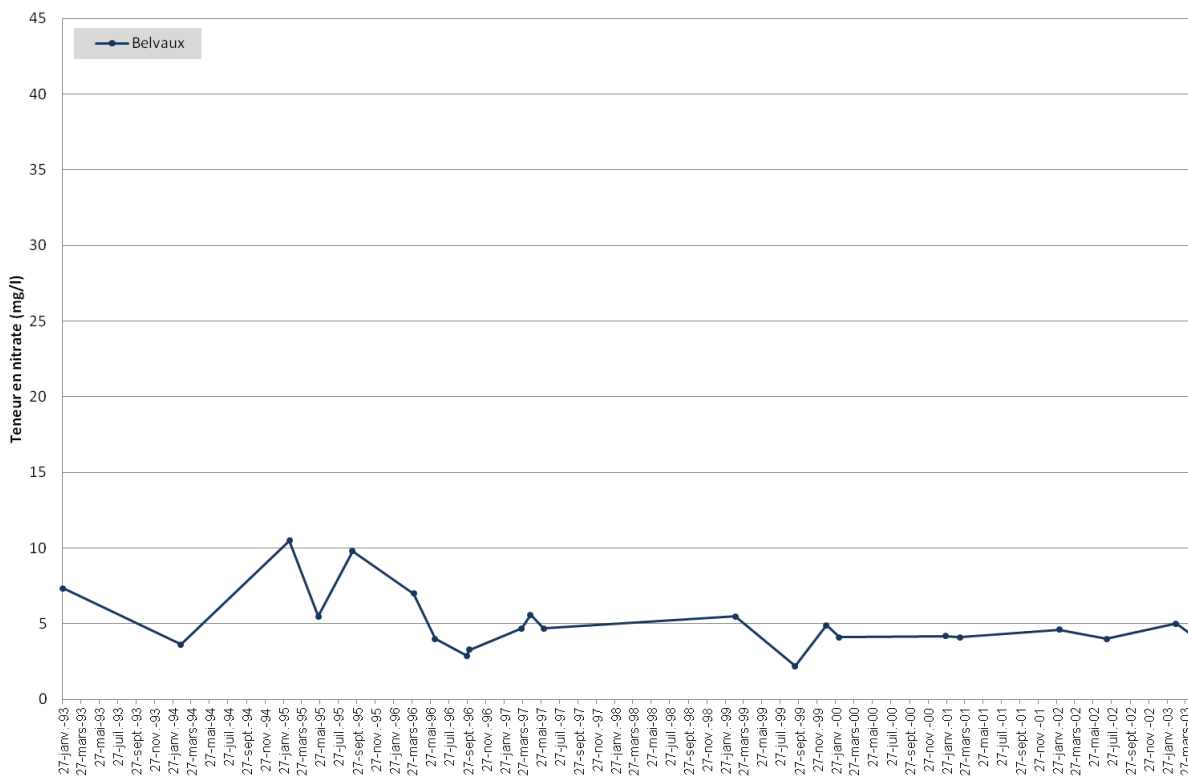


Figure V.21 : Evolution de la teneur en nitrates du puits *Belvaux* appartenant à l'administration de Rochefort et sollicitant l'Aquifère alluvial de la Lesse.

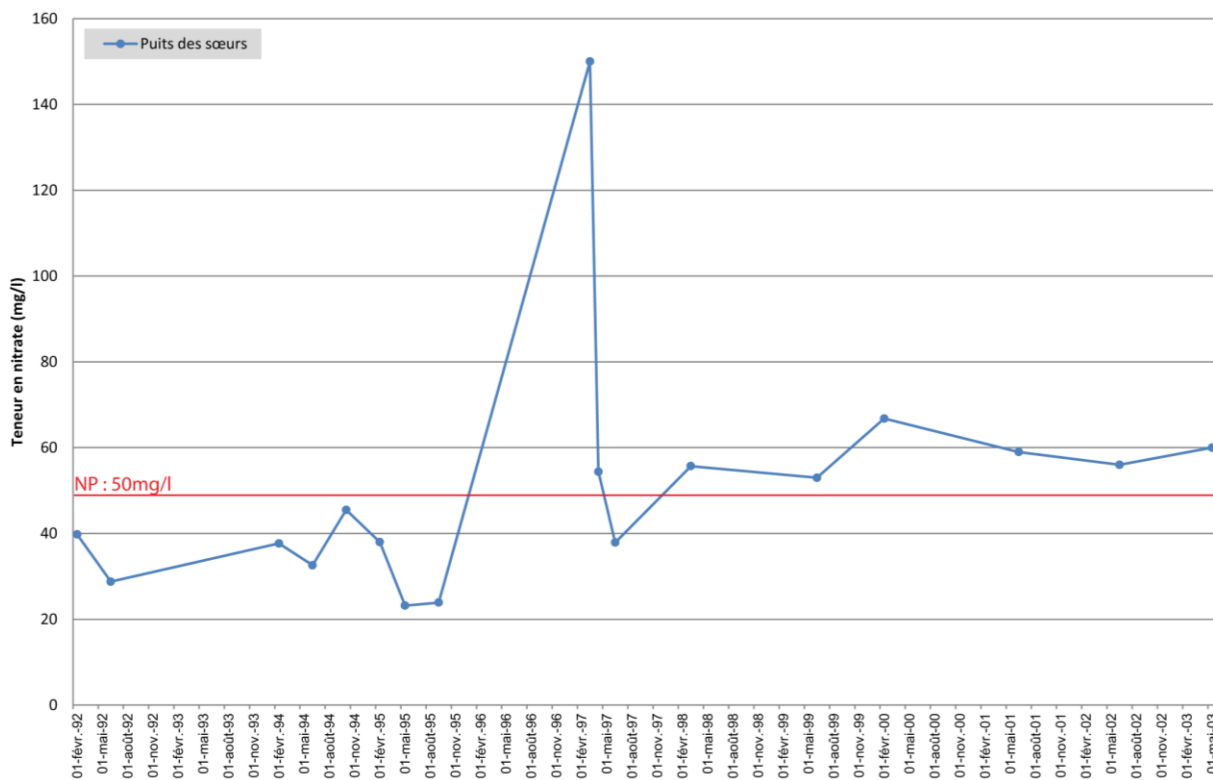


Figure V.22 : Evolution de la teneur en nitrates du puits *des sœurs* sollicitant l'Aquitard de l'Eifelien.

V.3. PROBLÉMATIQUE DES MICROPOLLUANTS

Depuis quelques années, les micropolluants, dont font partie les pesticides et les métaux lourds, sont recherchés dans les eaux de distribution.

Les micropolluants présents dans l'eau comprennent une multitude de composés minéraux et organiques dont les effets sur les organismes vivants peuvent être toxiques à de très faibles concentrations (de l'ordre généralement du microgramme par litre) [...]. Les eaux souterraines sont, quant à elles, contaminées suite à l'infiltration des micropolluants dans le sol et le sous-sol. On distingue les apports ponctuels où les sources de pollution sont clairement identifiées (rejets industriels, pollution accidentelle, rejets des eaux usées domestiques), des sources diffuses liées principalement aux activités agricoles et aux retombées atmosphériques [...]. Plus de 400 substances font l'objet d'un suivi régulier dans les eaux wallonnes afin, notamment, de respecter les réglementations en vigueur. (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007).

V.3.1. Les pesticides

Les sous-bassins hydrographiques où les apports en pesticides sont les plus importants (Escaut-Lys, Dyle-Gette, Dendre, Senne, Haine, Sambre et Meuse aval, Figure V.23) correspondent aux régions agricoles où les grandes cultures dominent (Campine hennuyère, Condroz et Régions limoneuses et sablo-limoneuses). Il est à remarquer que si plus de la moitié des pesticides est utilisée par les agriculteurs et les horticulteurs, un tiers l'est par les particuliers dans le cadre du jardinage.

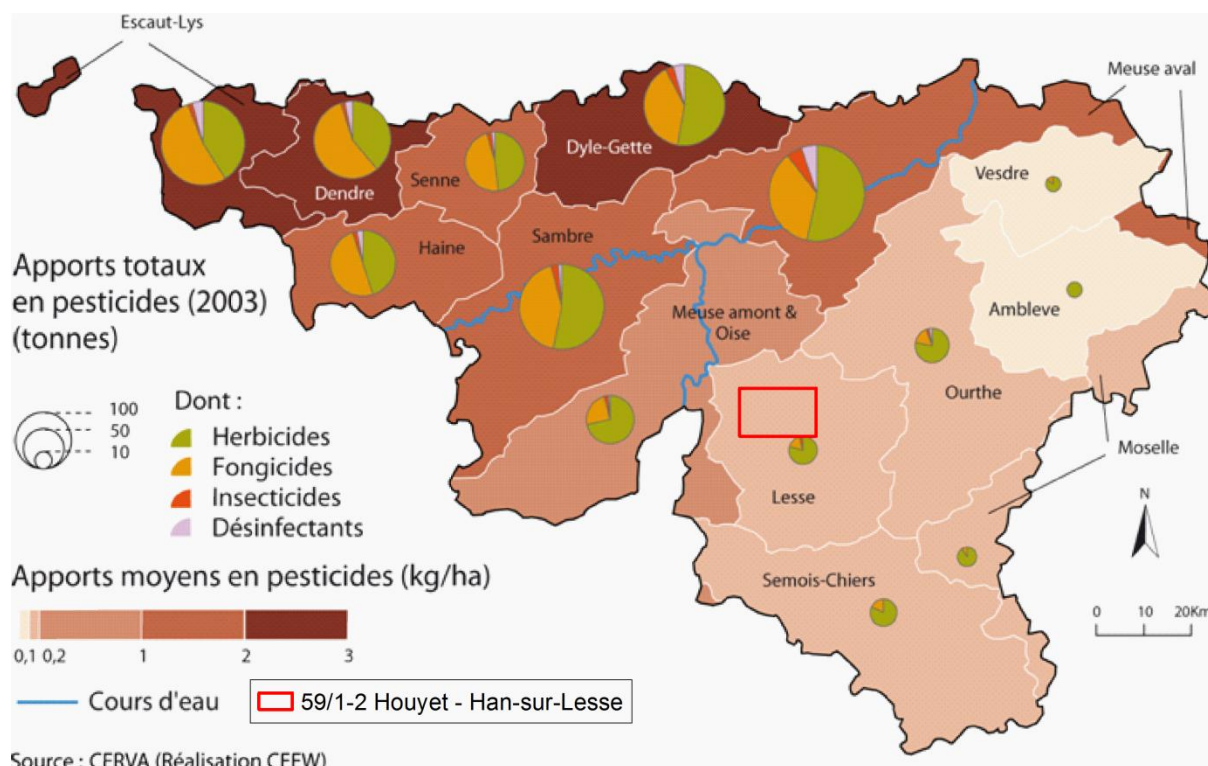
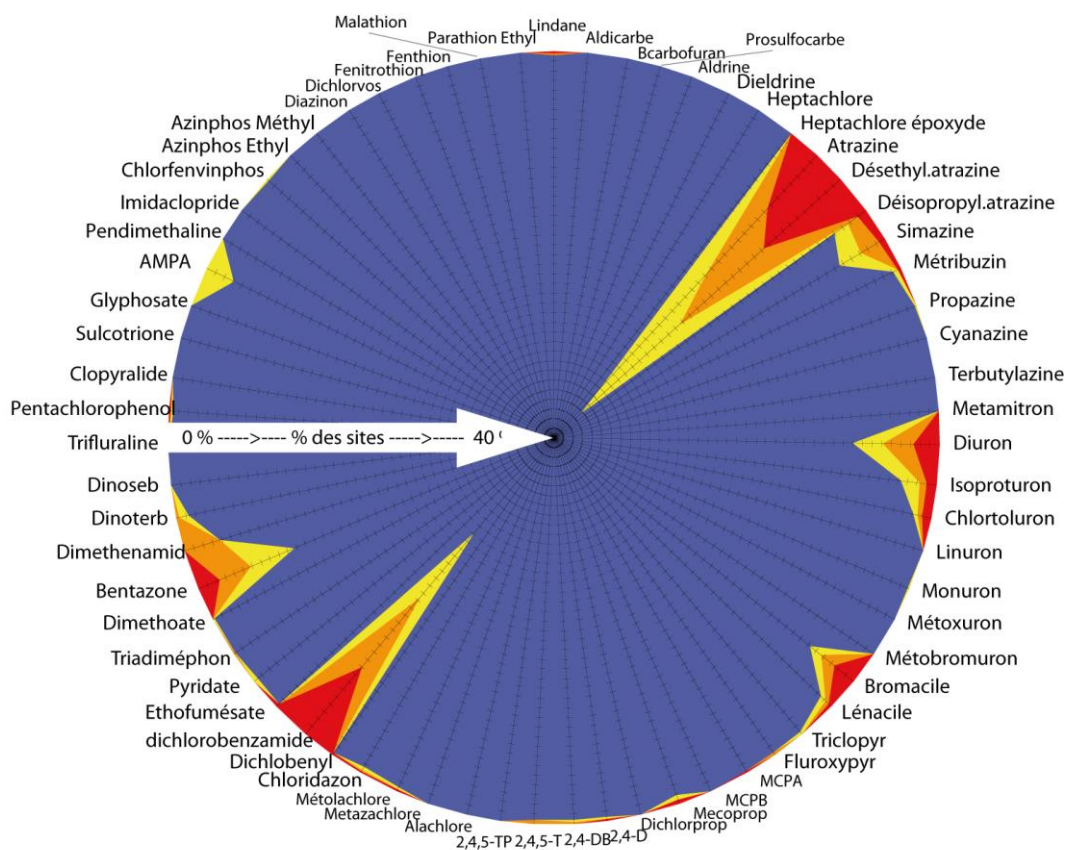


Figure V.23 : Apports totaux et moyens en pesticides, en tonnes pour l'année 2003, par sous-bassin hydrographique (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007).

Il est à noter que le taux total de pollution des eaux souterraines dépend des quantités de substances actives utilisées mais également des modes d'application et

du devenir des molécules (produit de dégradation, rémanence). Lorsque les conditions d'utilisation sont respectées, 90 % des molécules non assimilées par la végétation peuvent être dégradées dans l'horizon superficiel du sol via des processus biologiques et physico-chimiques. Dans le cas d'utilisation sur des surfaces imperméables (asphalte, pavées,...) ou semi-perméables (gravier, ballast,...), 40 à 60 % des pesticides appliqués peuvent être entraînés par les eaux de ruissellement.

Parmi les herbicides, les plus problématiques sont l'atrazine et son principal métabolite (la déséthylatrazine), le bentazone et le 2,6-dichlorobenzamide, produit de dégradation du dichlobenyl (Figure V.24). L'atrazine, bien que définitivement interdite depuis septembre 2005, est le pesticide le plus communément détecté en concentrations élevées dans les eaux souterraines, en raison notamment de sa mobilité et de sa persistance dans les sols et les aquifères. Les distributeurs d'eau notent cependant une diminution progressive de la pollution à l'atrazine depuis 2002.



- teneurs maximales > 0,1 µg/l (dépassement des normes de potabilité)
- 0,025 ≤ teneurs maximales ≤ 0,050 µg/l ■ 0,05 ≤ teneurs maximales ≤ 0,1 µg/l
- teneurs maximales < 0,025 µg/l (non-détection conventionnelle)

* teneurs maximales observées dans les eaux extraites des 450 sites de captage les plus importants en Région wallonne
 Source : MRW-DGRNE-DE (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie)

Figure V.24 : Substances et métabolites recherchés dans les eaux souterraines* en Région wallonne (en pourcentage de sites affectés) (01/01/2000-01/03/2006) (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007).

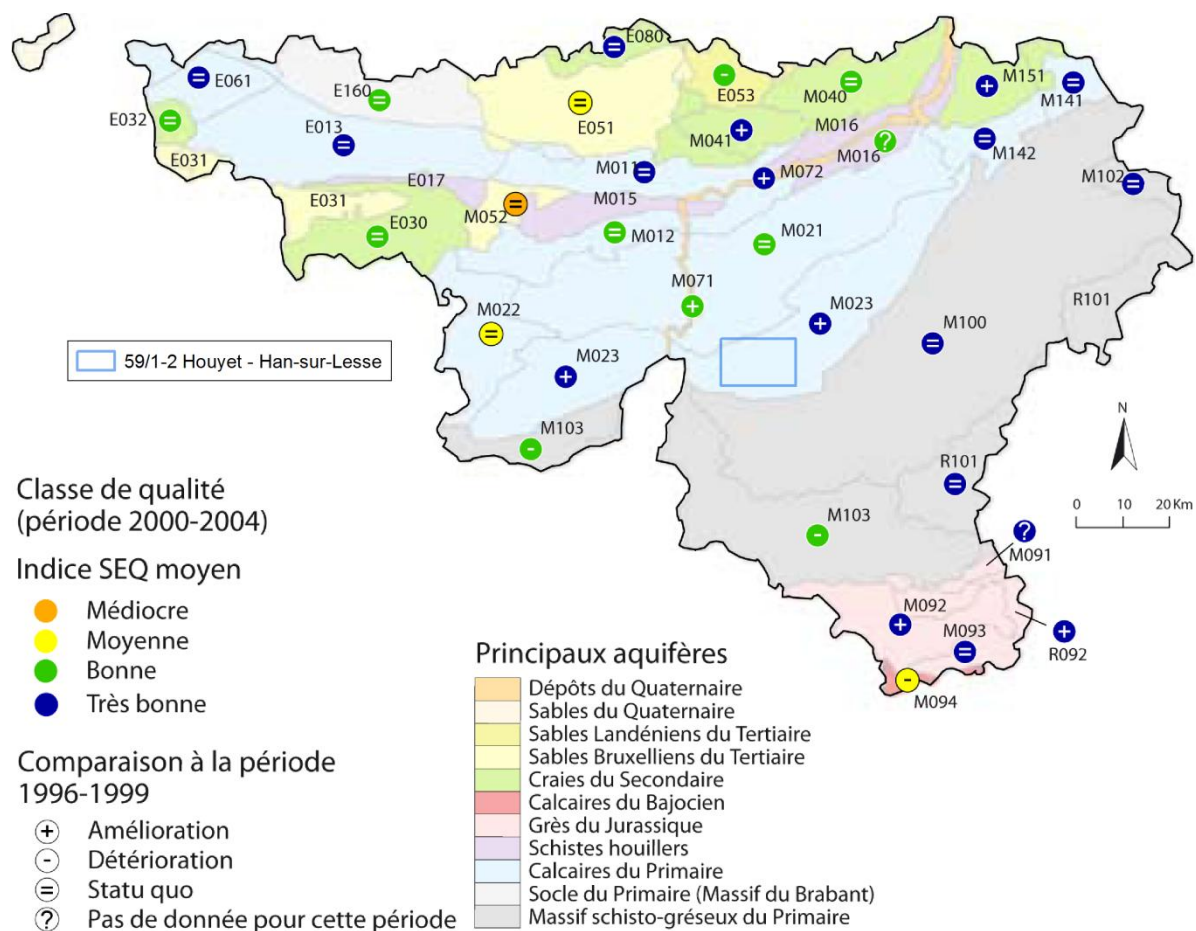
Le **Tableau V.5** reprend les pesticides les plus importants pour quatre ouvrages (Dardenne Hérock, FINA 1, Ferme de Génimont et Collard R).

Paramètre	Unité	Norme	Dardenne Hérock	FINA 1	Fme de Génimont	Collard R
Date			13/11/06	13/11/06	13/11/06	13/11/06
Atrazine	ng/l	100	15	<10	<10	<10
Bentazone	ng/l	100		<10	114	<10
Bromacile	ng/l	100		<10	<10	<10
Chlortoluron	ng/l	100	<10	<10	<10	<10
Déséthylatrazine	ng/l	100	11	<10	<10	<10
Diuron	ng/l	100	<10	<10	<10	<10
Isoproturon	ng/l	100	<10	<10	<10	<10
Simazine	ng/l	100	<10	<10	<10	<10

Tableau V.5 : teneurs en pesticides principaux (famille des herbicides) pour quelques ouvrages de la carte de Houyet – Han-sur-Lesse.

Les données concernant les teneurs en pesticides dans les ouvrages de la carte Houyet – Han-sur-Lesse sont très peu nombreuses. Les quelques valeurs disponibles

restent le plus souvent en-deçà de la limite de 100 ng/l quelle que soit la substance considérée. Seule exception, le puits Ferme de Génimont, qui présente une teneur en bentazone (114 ng/l) dépassant la norme de potabilité.



Sources : MRW-DGRNE-DE ; SEQ-Eso (état patrimonial)

Figure V.25 : Indice de qualité SEQ-Eso des eaux souterraines pour les "pesticides, comparaison des périodes (1996-1999) et (2000-2004) (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007).

Pour la période 2000-2004, l'indice de qualité SEQ-Eso¹⁵ montre que la masse d'eau concernée par la carte Houyet – Han-sur-Lesse, M023, est considérée comme en très bon état et qu'il y a eu une amélioration depuis la période 1996-1999 (Figure V.25). Ce bon état est probablement lié, notamment, à une faible pression phytosanitaire ; peu de surfaces cultivées et une densité de population peu importante.

¹⁵ Le système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (SEQ-Eso) est un système français qui permet d'estimer l'état patrimonial d'une masse d'eau souterraine soumise à différents types d'altération (micropolluants, minéralisation, micro-organismes...). En ce qui concerne l'altération «pesticides», l'indice de qualité global SEQ-Eso est déterminé en retenant le plus mauvais des indices de qualité calculés à partir des concentrations moyennes des 8 pesticides les plus pertinents (atrazine, déséthylatrazine, simazine, diuron, isoproturon, bentazone, bromacile, chloridazon). La relation entre l'indice de qualité et la concentration en pesticides est définie à partir de valeurs seuils permettant d'exprimer la dégradation de l'eau par rapport à son état naturel (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007).

En mars 2011, d'après les cinq points du réseau de surveillance de la Région wallonne situés sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse, la qualité des eaux, en terme de pesticide, était considérée comme d'excellente qualité à un ouvrage près, où la qualité était moyenne (Figure V.26).

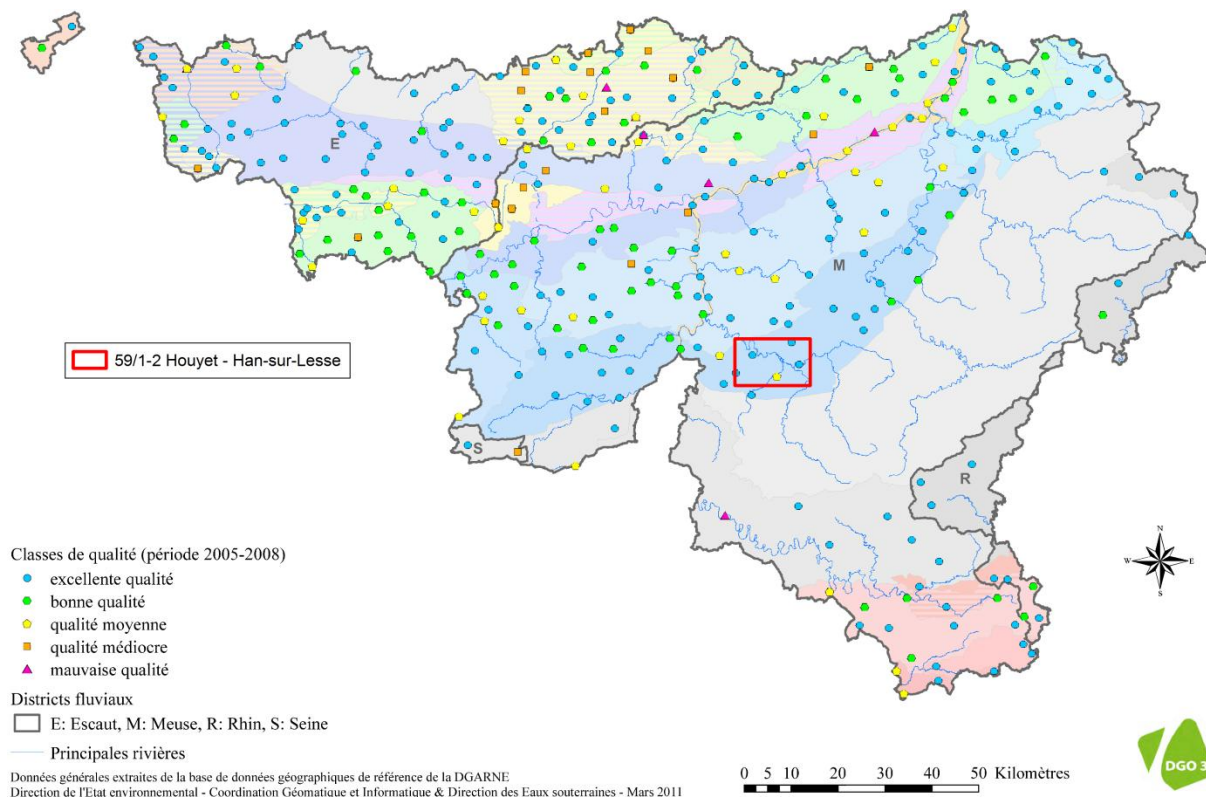


Figure V.26 : Indice de qualité pour les pesticides en Région wallonne pour la période 2005-2008 (État des nappes d'eau souterraine, mars 2011, <http://environnement.wallonie.be/>).

V.3.2. Les métaux

Les métaux représentent les micropolluants minéraux que l'on appelle aussi les éléments traces métalliques (ETM). Les principaux ETM que l'on trouve dans les eaux sont le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le chrome (Cr), le mercure (Hg), l'arsenic (As), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le nickel (Ni). Ces éléments sont présents naturellement dans les roches et les sols. Les concentrations actuelles résultent cependant pour la plupart de diverses activités humaines (sidérurgie, tannerie, transport routier, effluents agricoles...). Tous les hauts niveaux d'ETM ne sont pas le résultat d'une pollution mais peuvent résulter, dans certaines régions, du bruit de fond pédogéochimique (p. ex. : plomb dans la région de Plombières) (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007).

Quelques analyses de métaux sont disponibles pour les ouvrages *Dardenne Hérock*, *FINA 1*, *Ferme de Génimont* et *Collard R* (Tableau V.6).

Ces analyses montrent que les métaux sont présents en quantités négligeables. Les concentrations restent largement inférieures aux normes de potabilité. Seul un dépassement de la norme est noté pour le manganèse pour les ouvrages *FINA 1* et *Ferme de Génimont*. Ce métal est non toxique et un traitement des eaux permet de l'éliminer facilement.

Paramètre	Unité	Norme	Dardenne Hérock	FINA 1	Fme de Génimont	Collard R
Date		AGW 15/01/04	13/11/06	13/11/06	13/11/06	13/11/06
Antimoine	µg/l	5	<0,2	<0,2	0,2	0,5
Arsenic	µg/l	10	0,5	0,6	0,3	0,9
Bore	µg/l	1000	54	184	108	<25
Cadmium	µg/l	5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Chrome (total)	µg/l	20	<1	<1	<1	<1
Cuivre	µg/l	100	<2	7,5	<2	5,1
Fer (total) dissous	µg/l	200	<2	6	<2	<2
Manganèse	µg/l	50	<5	227	55	<5
Mercurure	µg/l	1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nickel	µg/l	20	<2	<2	<2	<2
Plomb	µg/l	10	<0,5	1,5	<0,5	0,6
Sélénium	µg/l	10	<0,5	0,8	0,8	0,7
Zinc	µg/l	200	<20	261	<20	48

Tableau V.6 : Teneurs en métaux pour quelques ouvrages de la région de Houyet – Han-sur-Lesse.

V.4. QUALITÉ BACTÉRIOLOGIQUE

On trouve naturellement dans l'eau des microorganismes (bactéries, virus, protozoaires, ...), dont certains sont pathogènes pour l'homme. Dans les pays occidentaux, les problèmes liés à leur présence sont bien maîtrisés grâce aux contrôles de la qualité microbiologique de l'eau de distribution, et aux traitements de désinfection qui ont été systématisés dès le début du XXe siècle. La qualité microbiologique de l'eau est évaluée en mesurant la présence de bactéries indicatrices de contamination fécale (entérocoques, E. Coli, coliformes). Dans les eaux de surface, elles sont naturellement présentes en plus grand nombre que dans les eaux souterraines. Ainsi, seule la moitié des prélèvements d'eaux de surface présente avant traitement des teneurs en coliformes totaux correspondant à la meilleure classe de qualité SEQ Eau (maximum 50 unités par 100 ml), alors qu'ils sont plus de 98 % pour les eaux issues de puits forés. La législation actuelle impose l'absence (0 unités formant colonies/100 ml) de ces bactéries indicatrices dans l'eau de distribution, ce qui nécessite des traitements de désinfection (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007).

Sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse, les analyses (**Tableau V.7**) des ouvrages *Dardenne Hérock*, *FINA 1*, *Ferme de Génimont* et *Collard R* montrent quelques contaminations.

Paramètre	Unité	Dardenne Hérock	FINA 1	Fme de Génimont	Collard R
Date		13/11/06	13/11/06	13/11/06	13/11/06
Coliformes totaux	Colonies/100 ml	9	1	0	3
Entérocoques	Colonies/100 ml	0	0	0	0
Escherichia Coli	Colonies/100 ml	0	0	0	0
Germes totaux à 22 °C	Colonies/ml	165	112	3	17

Tableau V.7 : Résultats des analyses microbiologiques pour quelques ouvrages de la région de Houyet – Han-sur-Lesse.

V.5. ETAT DES MASSES D'EAU

Le texte qui suit est un résumé non exhaustif du chapitre "Etat des lieux en 2008 des masses d'eau souterraine" du document "ETAT DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE DE LA WALLONIE" du site <http://environnement.wallonie.be/> publié par la Direction de l'Etat environnemental et la Direction des eaux souterraines du Service Public de Wallonie.

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.8**).*

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
Mercure	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

Tableau V.8 : Valeurs seuils des paramètres chimiques intervenant dans la dégradation des masses d'eau souterraine
(<http://environnement.wallonie.be/>).

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 comme suit :

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

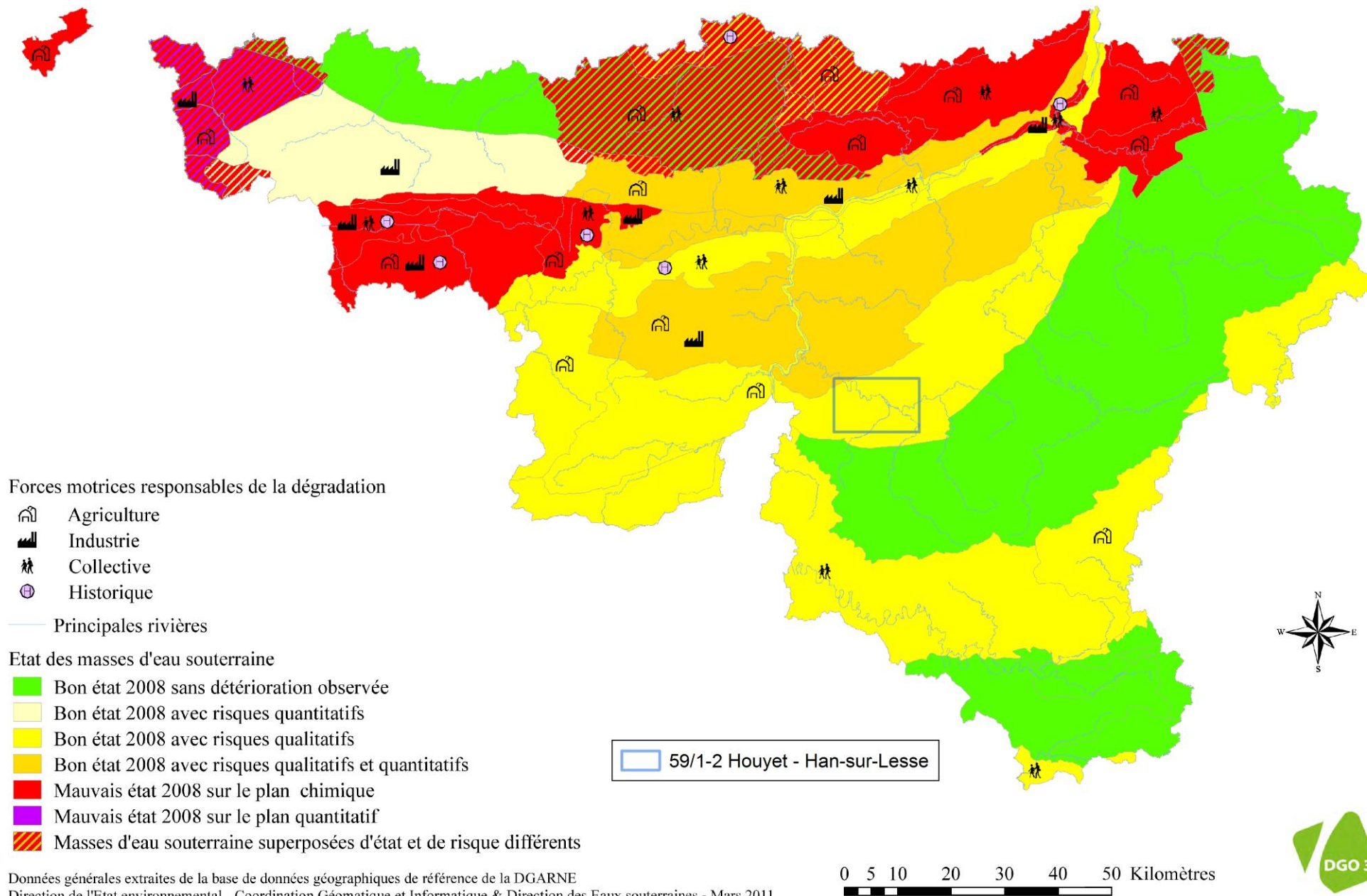
La force motrice dite collective réunit les ménages et les services liés à la population au sens large (approvisionnement en eau, assainissement, transports, urbanisation, espaces verts, ...) ; l'approvisionnement en eau peut provoquer des risques quantitatifs ; les autres secteurs cités peuvent émettre 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.27** indique l'état des masses d'eau en fonction des causes de leur dégradation. En 2008, seulement 45 % des

masses d'eau souterraine de Wallonie ont été jugées en bon état et sans risque de détérioration. Les plans de gestion de la Directive cadre de l'eau visent à amener cette proportion à 70% d'ici 2015.

La principale masse d'eau de la carte Houyet – Han-sur-Lesse, Calcaires et grès de la Calestienne et de la Famenne (RWM023), est en "bon état 2008 avec risques qualitatifs". Les causes des dégradations sont principalement l'agriculture (Figure V.27).



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 2011

Figure V.27 : Etat des masses d'eau souterraine pour l'année 2008 et causes de leur dégradation (Etat des nappes d'eau souterraine , mars 2011, <http://environnement.wallonie.be>).

VI. EXPLOITATION DES AQUIFÈRES

La planche de Houyet – Han-sur-Lesse compte 172 ouvrages dont 28 servent à la distribution publique d'eau potable via l'INASEP et la commune de Rochefort. Le **Tableau VI.1** résume la répartition des ouvrages entre les différentes nappes.

Nappe exploitée	Nombre d'ouvrage
Aquiclude du Frasnien	71
Aquiclude du Famennien	61
Aquifère alluviale	26
Aquifère des calcaires du Frasnien	6
Aquifère des calcaires du Givetien	5
Aquitard de l'Eifelien	2
Aquiclude de l'Eifelien	1

Tableau VI.1 Distribution des ouvrages entre les différentes nappes de la carte Houyet – Han-sur-Lesse.

Les aquicludes du Frasnien et du Famennien sont largement en tête des sollicitations suivit par l'Aquifère alluvial. Les aquifères calcaires frasnien et givetien sont peu sollicités (**Tableau VI.1**). Cette distribution est bien en accord avec l'exploitation des nappes d'eau souterraine (Aq11 et Aq12) à l'échelle de la Région wallonne (**Figure VI.1**).

Les prises d'eau en activité (**Figure VI.3**) sur la planchette Houyet – Han-sur-Lesse concernent principalement des agriculteurs et des privés (particuliers ou autres sociétés privées), deux distributeurs publics d'eau potable et dans une toute petite mesure des industries (Briqueterie de Wanlin).

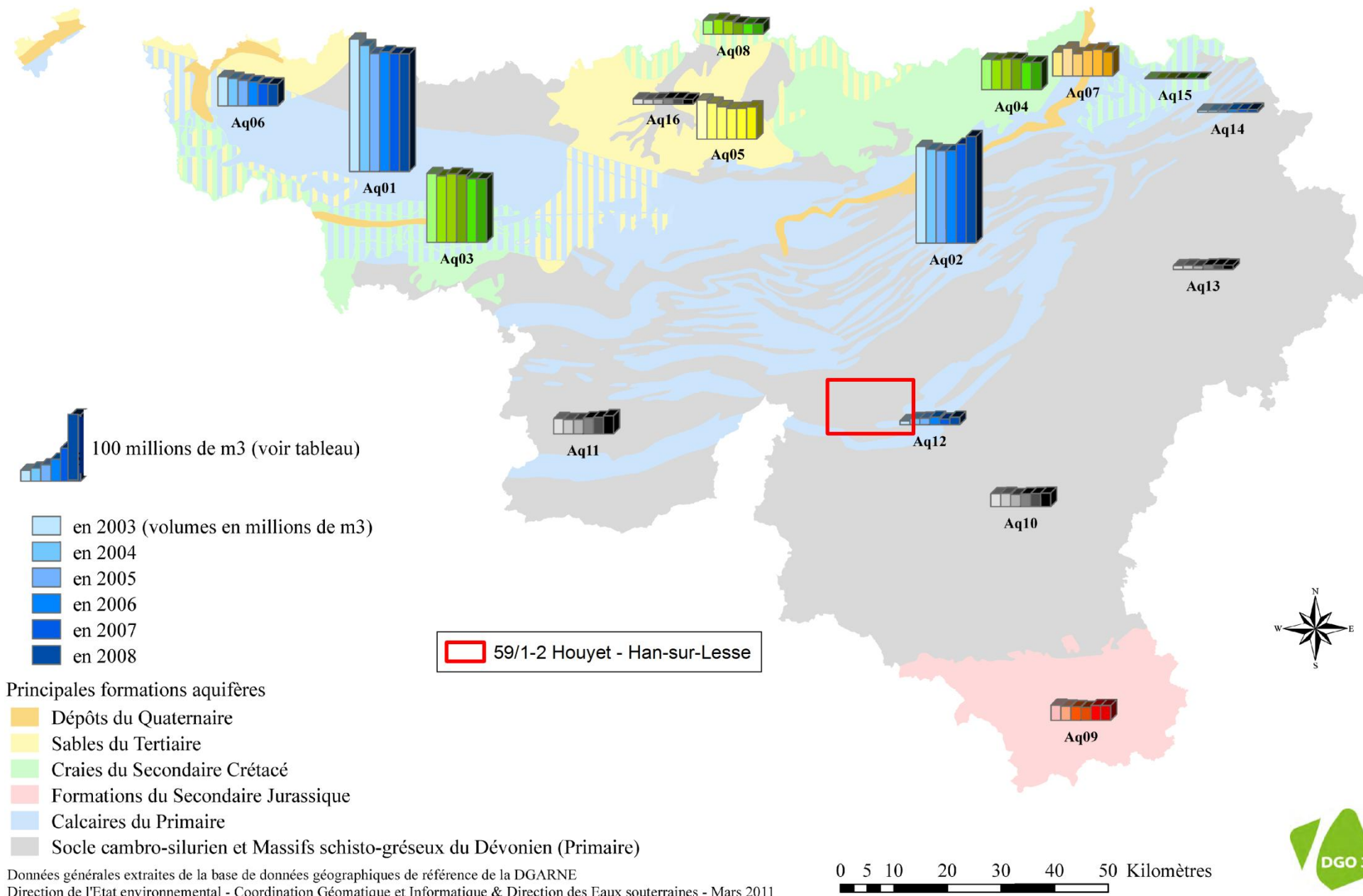


Figure VI.1 : Prélèvement par aquifère en Région wallonne et localisation de la planchette Houyet – Han-sur-Lesse (<http://environnement.wallonie.be/>).

Avec une densité de prélèvements très élevée, atteignant en moyenne $23\ 000\ \text{m}^3/(\text{km}^2.\text{an})$, la Région wallonne fait partie des régions d'Europe qui exploitent le plus leurs ressources en eau souterraine. Une estimation grossière du taux d'exploitation des nappes fait apparaître que celui-ci est relativement élevé en Région wallonne, tout en demeurant inférieur à 1 en général (Figure VI.2). Cette situation s'explique par une densité de population élevée et par le fait que la Région wallonne exporte environ 30 % de sa production d'eau potable (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007).

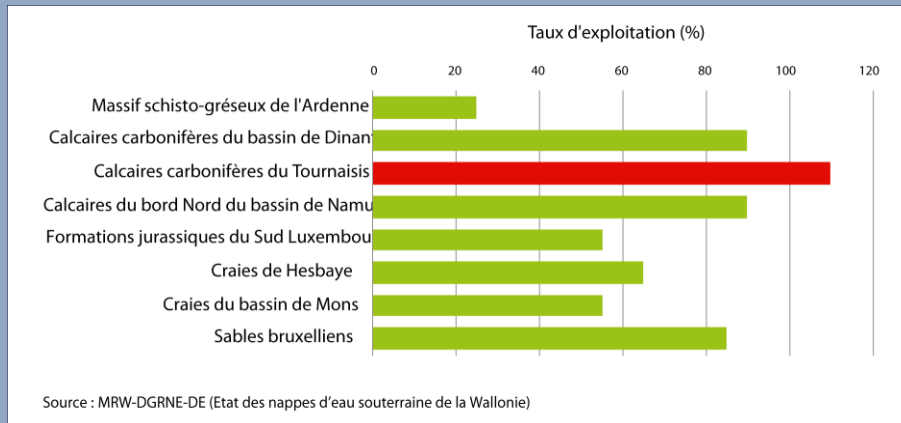


Figure VI.2 : Estimation du taux d'exploitation des principales nappes d'eau souterraine en Région wallonne (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007).

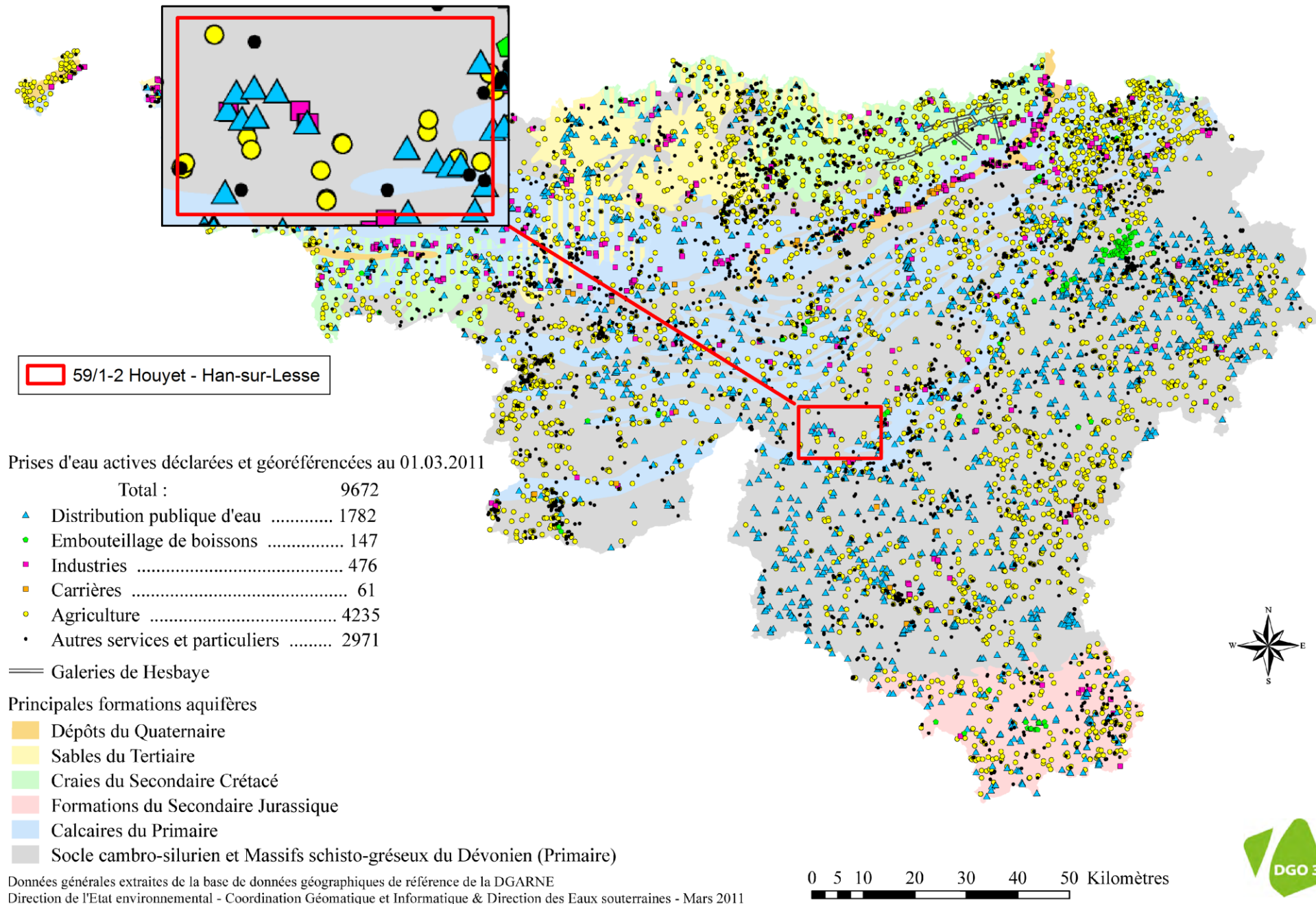


Figure VI.3 : Prises d'eau en activité en Région wallonne et localisation de la planchette Houyet – Han-sur-Lesse, mars 2011
[\(http://environnement.wallonie.be/\)](http://environnement.wallonie.be/).

Les données présentées dans ce chapitre sont extraites de la base de données de la Région Wallonne. Malheureusement, l'encodage des volumes d'eau prélevés n'est pas complet. Ceci concerne principalement les petits exploitants et donc les petits volumes (< 3000 m³/an). Les puits des particuliers et des agriculteurs ne sont pas tous pourvus d'un compteur.

Les volumes destinés aussi bien à la distribution publique d'eau potable qu'aux autres (industries, agriculteurs, particuliers) sont ceux de l'année 2010.

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, l'évolution des conditions hydrogéologiques de la nappe sollicitée et les éventuelles pollutions, peuvent influencer les capacités de production. La présentation des volumes moyens prélevés sur la *Carte des volumes*, correspond à la moyenne des cinq dernières années disponibles (2006-2010), encodées par l'administration sur base des déclarations des titulaires de prise d'eau. Ces volumes moyennés illustrent de manière plus réaliste l'exploitation des eaux souterraines sur la carte étudiée. Attention cependant que ces valeurs moyennes ne sont pas représentatives du potentiel d'exploitation ni de l'exploitation réelle des nappes mais reflètent l'importance d'un site d'exploitation pendant les cinq années considérées. Il se peut que certaines d'entre elles soient des années sans prélèvement.

VI.1. VOLUMES PRÉLEVÉS POUR LA DISTRIBUTION PUBLIQUE

La [Figure VI.4](#) présente la structure de la distribution publique d'eau potable pour la carte de Houyet - Han-sur-Lesse. Les distributeurs publics sont l'INASEP à l'ouest, la SWDE au centre et les régies et services communaux à l'est. Seul l'INASEP et la commune de Rochefort exploitent des ouvrages qui sont effectivement sur la carte de Houyet - Han-sur-Lesse. La SWDE n'exploite aucun ouvrage sur l'étendue de cette carte.

Le [Tableau VI.2](#) reprend la liste des captages qui font ou ont fait l'objet d'une exploitation sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse. Ils sont localisés sur la [Figure VI.5](#). Les volumes prélevés par les exploitants peuvent varier fortement d'une année à l'autre (allant d'un arrêt temporaire à une exploitation intense du captage).

Aucun des captages pour la distribution publique d'eau potable ne prélève des volumes importants (<100 000 m³/an) et n'est à ranger dans la catégorie des principaux captages de la Région wallonne (>1.000.000 m³/an, [Figure VI.6](#)). Le captage le plus important est le *Puits Labasse* avec un prélèvement de 78 981 m³ en 2010.

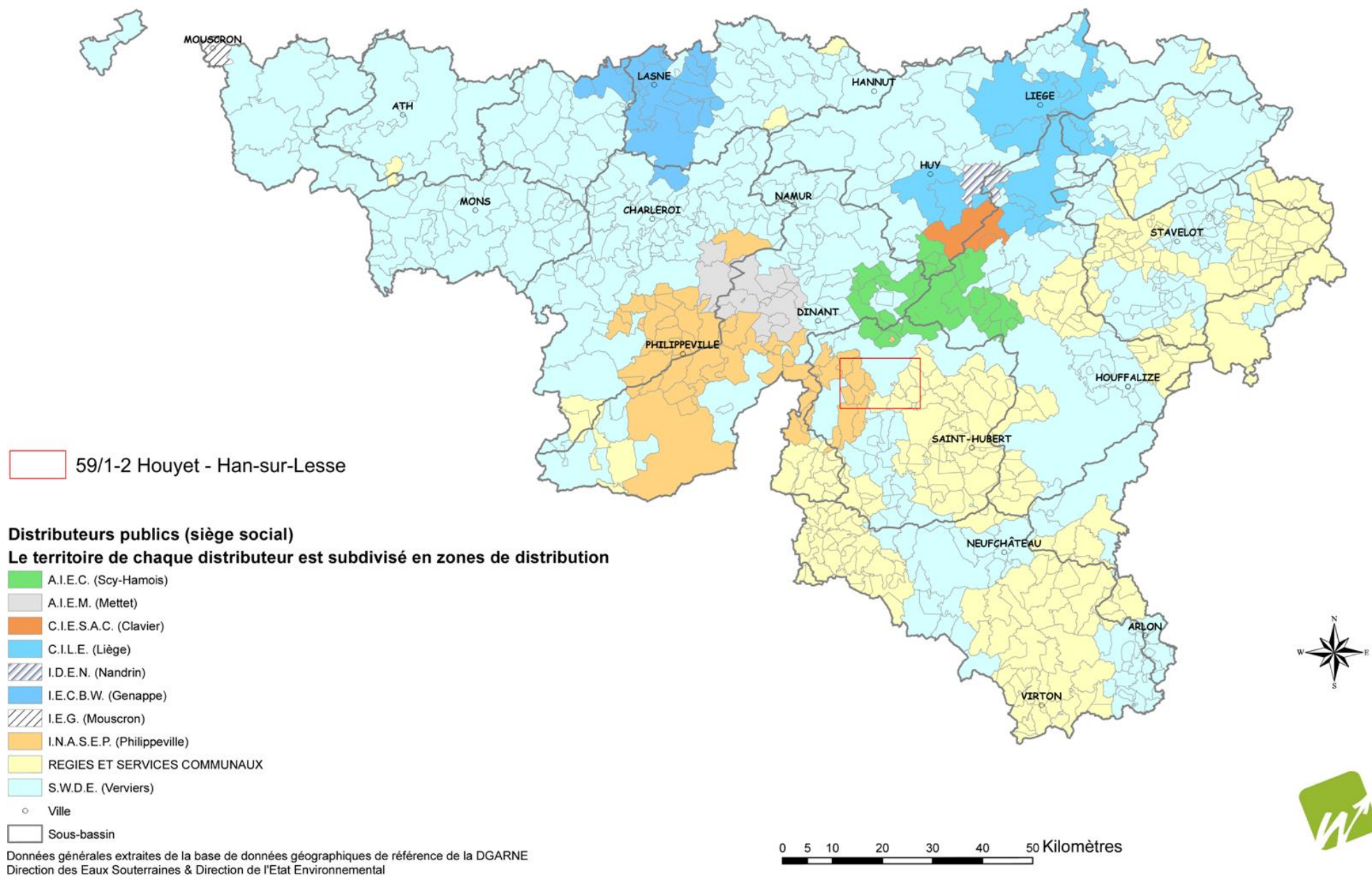
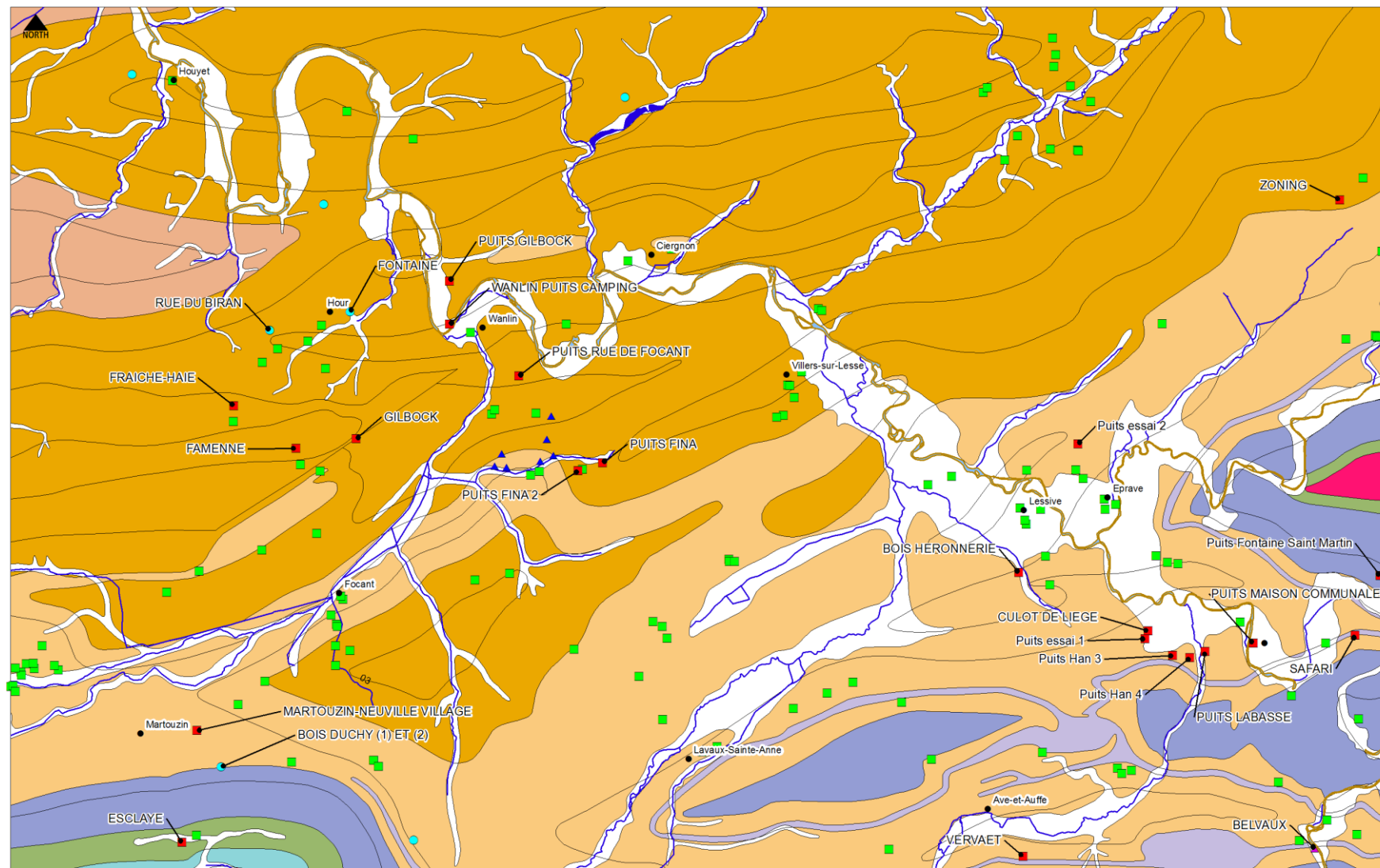


Figure VI.4 : Structure de la distribution publique d'eau en Wallonie au 1^{er} janvier 2011 (<http://environnement.wallonie.be/>).

Nom de l'ouvrage	Type	Distributeur publique	X (m)	Y (m)	Volumes prélevés en m³/an (année)
Fraîche haie	Puits	INASEP	196 600	93 555	15 (2007)
Fontaine	Source		197 945	94 645	21 688 (2010)
Famenne	Puits		197 320	93 065	-
Rue du Biran	Source		197 015	94 430	13 840 (1995)
Puits Gilbock	Puits		198 018	93 174	2 578 (2006)
Wanlin puits camping	Puits		199 100	94 500	226 (2009)
Puits FINA	Puits		200 870	92 898	24 023 (2010)
Puits FINA 2	Puits		200 589	92 804	3 194 (2008)
Martouzin-Neuville village	Puits		196 174	89 798	15 562 (2010)
Bois Duchy (1) et (2)	Source		196 450	89 375	13 358 (2010)
Esclaye	Puits		196 000	88 500	26 354 (1993)
Zoning	Puits		209 410	95 940	-
Puits rue de Focant	Puits		199 900	93 900	27 859 (1994)
Bois Héronnerie	Puits		205 690	91 625	28 976 (2010)
Culot de Liège	Puits	207 190	90 950	38 468 (2010)	
Vervaet	Puits	205 740	88 340	25 045 (2010)	
Puits maison communale	Puits	208 410	90 810	21 141 (2010)	
Belvaux	Drain	Commune de Rochefort	209 120	88 430	10 000 (2008)
Puits Labasse	Puits		207 850	90 710	78 981 (2010)
Puits Essai 1	Puits		207 152	90 860	
Puits Essai 2	Puits		206 379	93 117	
Puits Han 3	Puits		207 476	90 665	
Puits Han 4	Puits		207 675	90 640	
Puits Fontaine Saint Martin	Puits		209 875	91 590	41 (2010)
Safari	Puits		209 588	90 900	

Tableau VI.2 : Liste des captages qui ont fait et/ou font encore l'objet d'une exploitation par un distributeur publique d'eau potable sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse. Les volumes indiqués sont les plus récents connus.



Point hydrogéologique

- Puits pour la distribution publique d'eau potable
- Autre puits

▲ Drain

- ▲ Piézomètre
- Source (exploitée ou non)

Unité hydrogéologique

- Aquifère alluvial
- Aquifère des sables de remplissage
- Aquitard du Famennien
- Aquiclude du Famennien
- Aquiclude du Frasnien
- Aquifère des calcaires du Frasnien
- Aquifère des calcaires du Givetien
- Aquitard de l'Eifelien
- Aquifère de l'Eifelien
- Aquiclude de l'Eifelien

1.000 m

Figure VI.5 : Localisation des captages de distribution publique d'eau potable sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse.

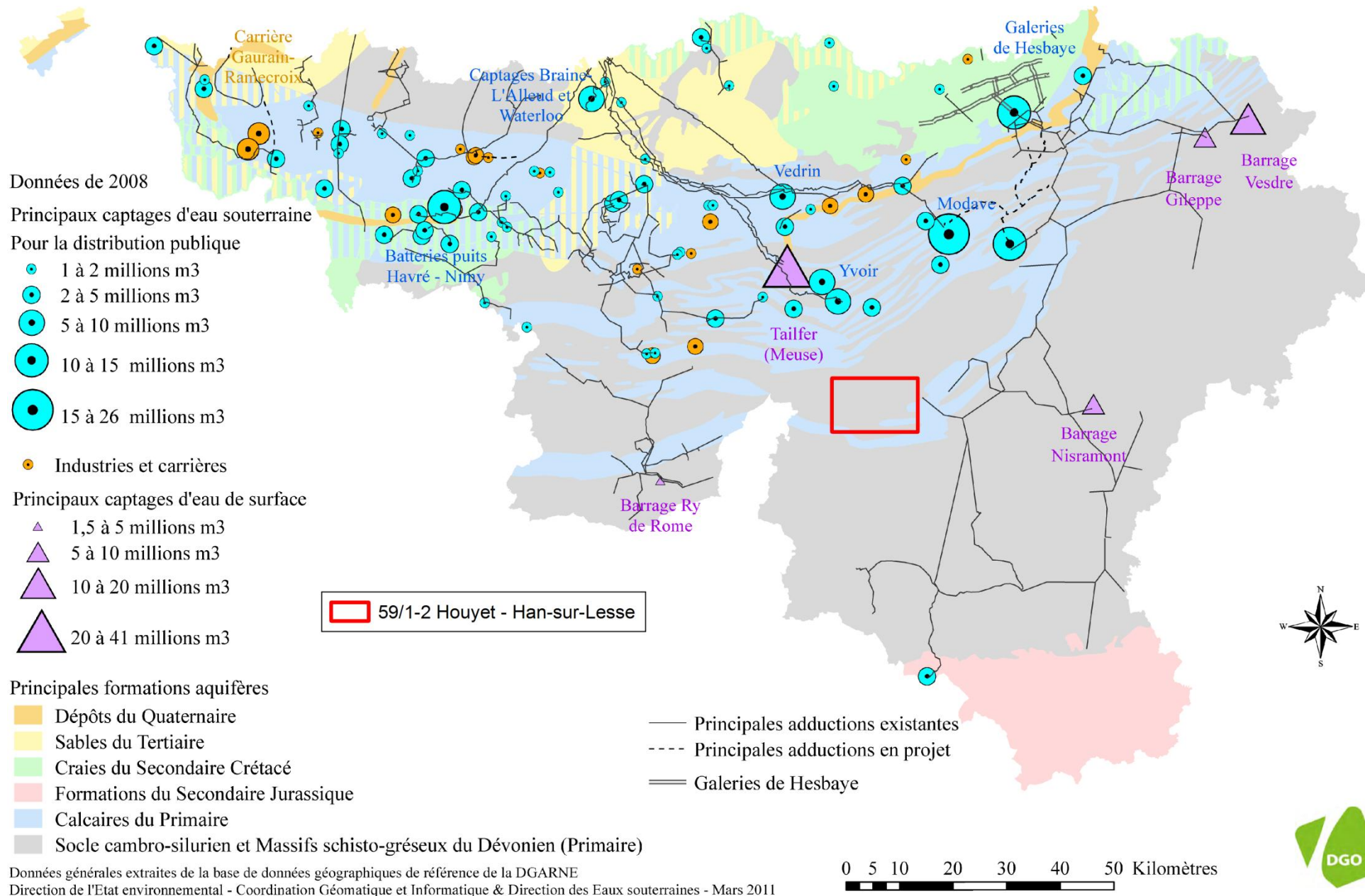


Figure VI.6 : Principales prises d'eau en Région wallonne et localisation de la planchette Houyet – Han-sur-Lesse (<http://environnement.wallonie.be/>).

VI.2. VOLUMES PRÉLEVÉS PAR LES PARTICULIERS

Les particuliers exploitent à peu près tous les types de nappes dans la région de Houyet – Han-sur-Lesse. La position des villages et la géologie imposent qu'ils exploitent essentiellement les aquicludes du Frasnien et du Famennien.

Les puits de particuliers prélèvent des volumes annuels variant généralement entre 3 et 8 590 m³.

En ce qui concerne les industries, citons plus particulièrement :

- la société **Sogetrol Service**, possédant 1 ouvrage (*Puits Fina 1*), exploitant l'Aquiclude du Famennien et dont les volumes annuels prélevés étaient compris entre 3 000 et 8 500 m³ entre 2003 et 2005 ;
- la société **Steen Desimpel** possédant 1 ouvrage (*Puits*), exploitant l'Aquiclude du Famennien et dont les volumes annuels sont compris entre 1 000 et 2 800 m³.

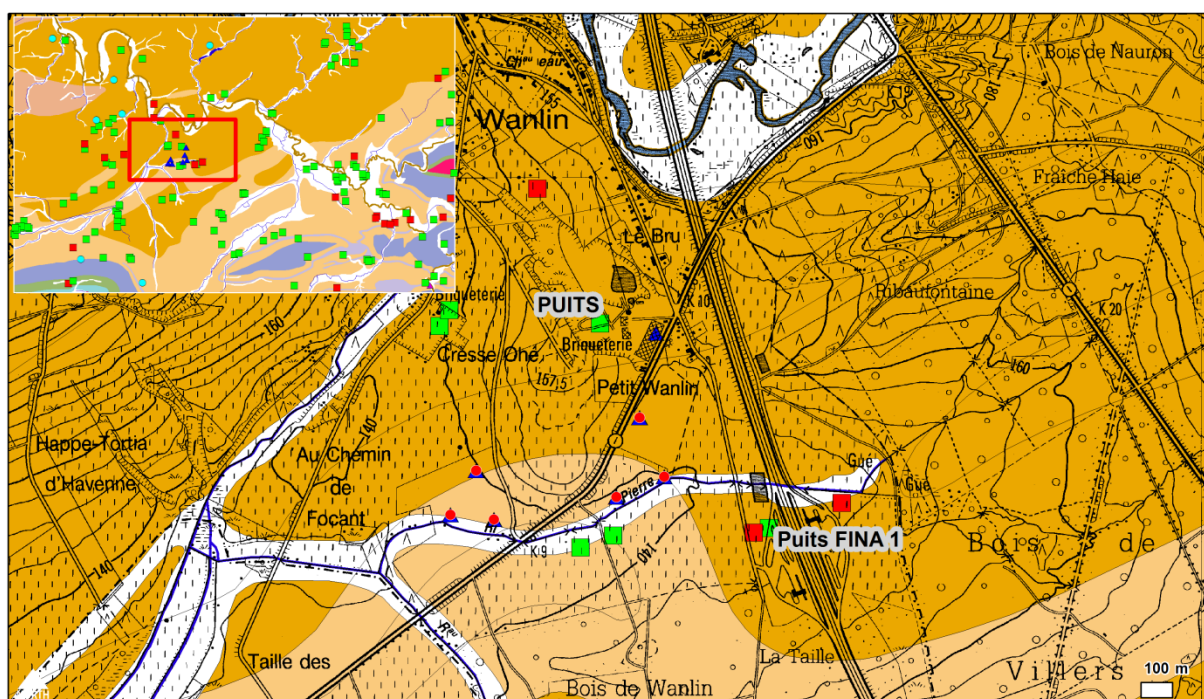


Figure VI.7 : Localisation des ouvrages Puits et Puits FINA 1.

VI.3. COMMENTAIRES

Brouyère *et al.* (2009) a évalué le risque de surexploitation des masses d'eau RWM022 et RWM023 auxquelles appartiennent les aquifères de la carte Houyet – Han-sur-Lesse. La **Figure VI.8** présente le taux d'exploitation¹⁶ (TE) par bassin

¹⁶ Rapport entre la lame d'eau annuelle moyenne prélevée dans chaque bassin hydrographique et l'Eau Utile Annuelle calculée pour la station météorologique qui est associée (période 1986-2005).

hydrographique de ces deux masses d'eau. Les TE calculés sont bien inférieurs à la recharge moyenne vraisemblable des ressources en eau souterraine par l'Infiltration Efficace, supposée de l'ordre de 10 à 30 % de l'Eau Utile Moyenne Annuelle. Ces TE, bien qu'ils soient approximatifs, montrent de manière assez vraisemblable, pour des prélèvements identiques à ceux de la période étudiée, l'absence sur le long terme de tout risque de surexploitation des réserves en eau souterraine des masses d'eau RWM022 et RWM023.

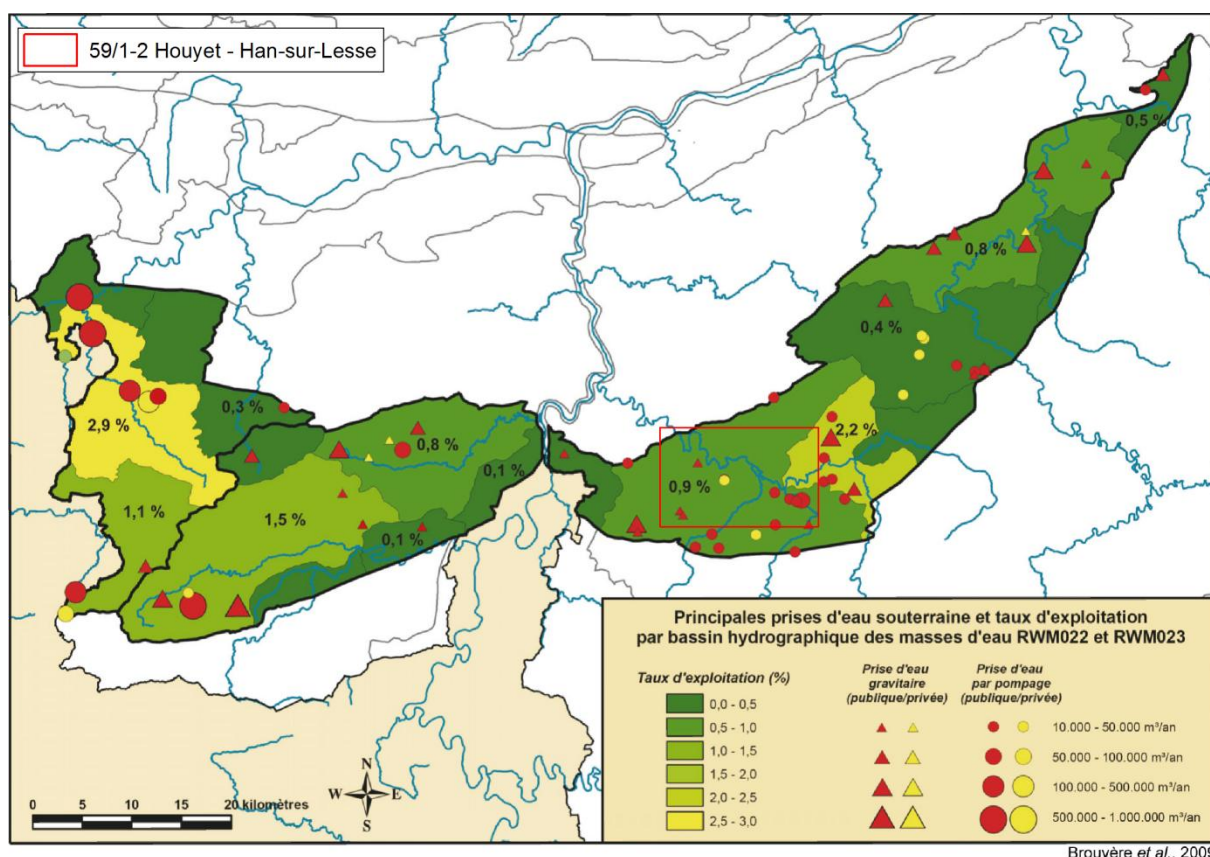


Figure VI.8 : Principales prises d'eau souterraine et taux d'exploitation, par bassin hydrographique, des masses d'eau souterraine RWM022 et RWM023.

VII. PARAMÈTRES D'ÉCOULEMENT ET DE TRANSPORT

VII.3.1. Paramètres d'écoulement

Les essais de pompage sont des tests fréquemment réalisés sur les puits dans divers types d'études (zones de prévention, études de risques ou d'incidence, nouveaux captages,...). Ils visent à quantifier l'efficacité de la circulation des eaux souterraines dans le sous-sol et permettent d'estimer plus ou moins précisément le débit que peut fournir un ouvrage. Les principaux paramètres calculés à partir des essais de pompage sont la conductivité hydraulique et la transmissivité.

Sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse, seuls quatre puits ont fait l’objet d’essais de pompage dont nous avons pu obtenir les données. Il s’agit des puits SAFARI et Fontaine Saint Martin de l’Administration Communale de Rochefort, situés près de Han-sur-Lesse, et de deux piézomètres implantés à Wanlin dans le cadre du projet d’extension de l’exploitation de la Briqueterie (Pz2 et Pz3). Les résultats de ces essais de pompage sont repris dans le **Tableau VII.1**. Les puits qui ont fait l’objet d’essais de pompage sont localisés par un carré centré transparent sur la **carte des informations complémentaires et du caractère des nappes**. Celle-ci se trouve sur le document cartographique joint à cette notice.

Nom de l’ouvrage	Nappe	Conductivité hydraulique (m/s)
SAFARI (Commune de Rochefort)	Aquiclude du Frasnien	$\sim 1 \cdot 10^{-6}$
Puits Fontaine Saint Martin	Aquifère des calcaires du Givetien	1 à $2,6 \cdot 10^{-6}$
Pz2 Briqueterie Wanlin	Terrain superficiel argilo-graveleux	2,8 à $3,6 \cdot 10^{-5}$
Pz3 Briqueterie Wanlin	Terrain superficiel argilo-graveleux	$1,6 \cdot 10^{-5}$

Tableau VII.1 : Conductivité hydraulique pour quelques ouvrages de la carte Houyet - Han-sur-Lesse.

Il faut noter cependant que les valeurs des paramètres obtenues par essais de pompage ne sont valables que dans la proximité immédiate du puits testé. De plus, l’étude des paramètres hydrodynamiques des masses d’eau RWM022 et RWM023 a montré une variabilité spatiale importante et difficilement prévisible (Brouyère *et al.*, 2009). La **Figure VII.1** présente des gammes de conductivités hydrauliques rencontrées fréquemment dans les masses d’eau RWM022 et RWM023.

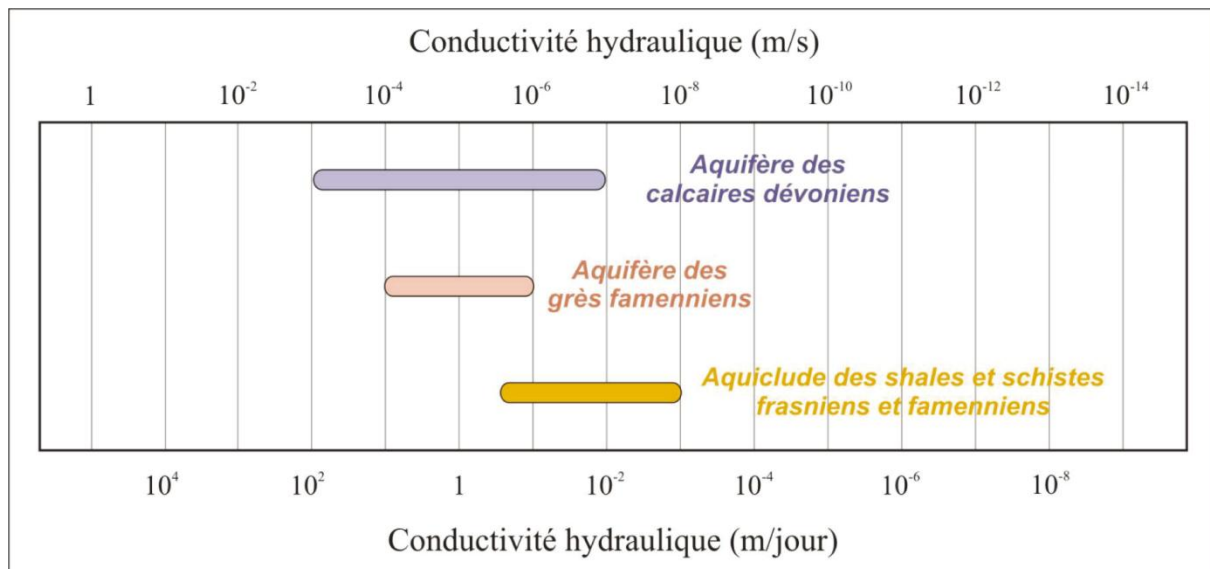


Figure 1-20. Fourchettes de conductivités hydrauliques couramment rencontrées dans les masses d'eau souterraine RWM022 et RWM023 ainsi que dans des contextes hydrogéologiques similaires proches

Figure VII.1 : Fourchettes de conductivités hydrauliques couramment rencontrées dans les masses d'eau RWM022 et RWM023 ainsi que dans des contextes hydrogéologique similaires proches (Brouyère et al., 2009).

VII.3.2. Paramètres de transport

Les paramètres de transport renseignent sur la vitesse à laquelle une substance (un éventuel polluant ou un traceur) va se déplacer dans le sous-sol à la faveur des circulations d'eau souterraine. Ces paramètres sont généralement déterminés à partir d'essais de traçage qui consistent à injecter un traceur dans la nappe ou dans une rivière souterraine et à observer sa restitution en un autre point de la nappe (par exemple un captage). La courbe de restitution permet de connaître les temps de transfert du traceur et de calculer les principaux paramètres de transport : porosité, effet de retard, dispersivités transversale et longitudinale. Ces deux dernières permettent notamment d'estimer la manière dont le nuage de polluant va évoluer dans la nappe au cours du temps.

Bonniver (2011) a réalisé huit essais de traçage quantitatifs dans les calcaires du Givetien :

- sept dans le système karstique des grottes de Han-sur-Lesse (Figure VII.2 à Figure VII.4) ;
- un entre la Laide Fosse et le Rond Tienne (Figure VII.5).

Les paramètres d'écoulement et de transport (Tableau VII.2 à Tableau VII.5) caractérisant ces systèmes ont été modélisés à l'aide du Logiciel Qtracer2 et OTIS

(Runkel, 1998). Bien sûr, tous ces traçages ont été réalisés au sein de systèmes karstiques et ne sont pas représentatifs d'un calcaire non karstifié. De plus, chaque karst est plus ou moins développé, de la simple fissure agrandie à la rivière souterraine. Il va de soi donc, que les paramètres de transport au sein des calcaires seront proportionnels à l'importance du développement des systèmes karstiques et qu'ils peuvent varier fortement d'un endroit à l'autre sans que ces derniers soient nécessairement éloignés.

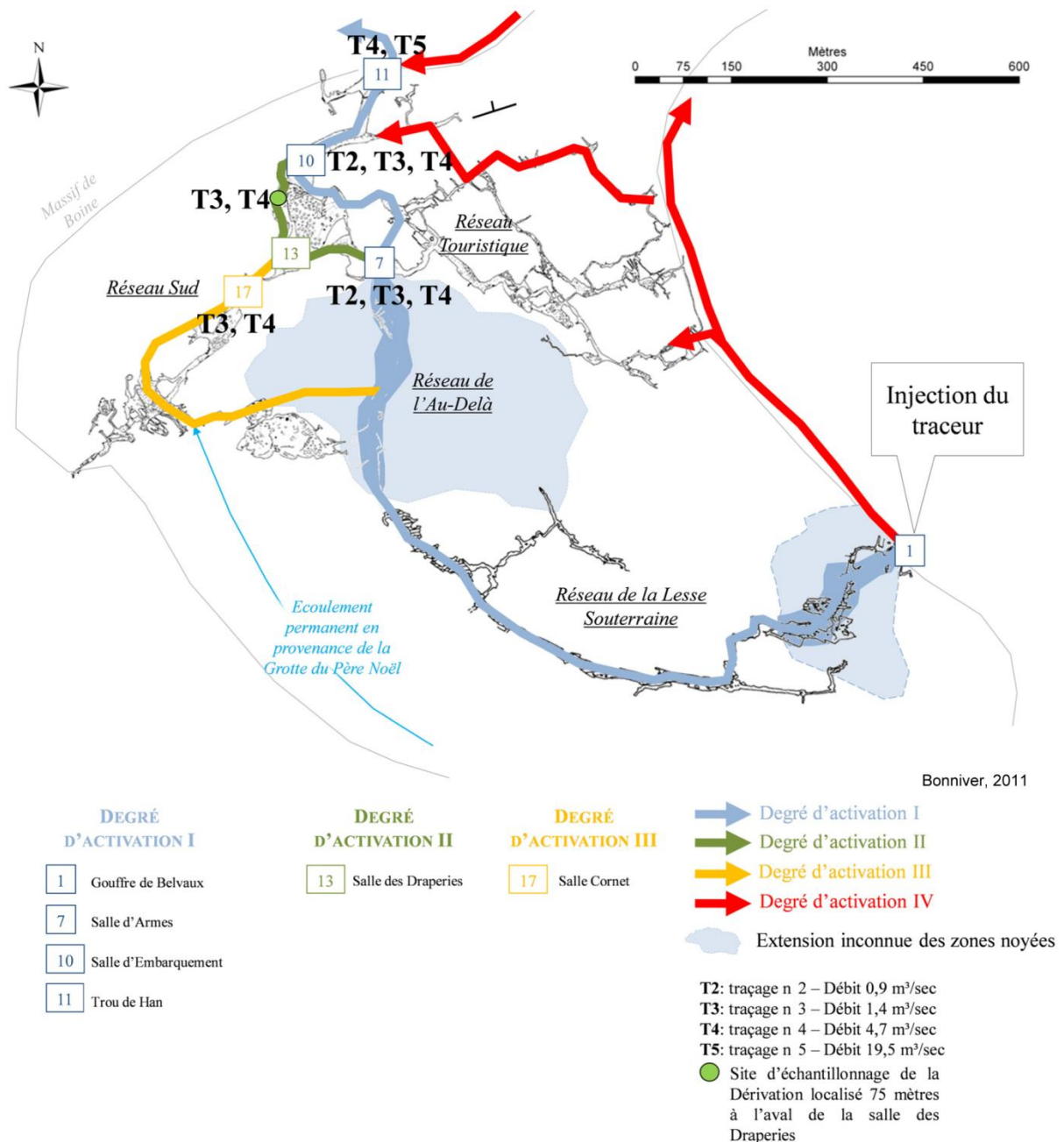


Figure VII.2 : Site d'injection et dispositif d'échantillonnage des essais de traçage 2 à 5, réalisés dans le système karstique des grottes de Han-sur-Lesse (Bonniver, 2011).

Période	SI	Traceur	Quantité (kg)	Q moyen (m³/sec)	SE	x (m)	T _{PA} (h)	V _{max} (m/h)	T _{mod} (h)	C _{max} (ppb)	C _{max} (ppb/kg inj.)	T _{Moyen} (h)	V _{app} (m/h)	α _L (m)	D _L (m²/sec)	T _r (h)	TR (%)	AI	V (m³)	A (m²)	Pe	N _r
sept-05	Gouffre de Belvaux	Naphionate	1	0,9	SA	1526	13,5	113,0	17,6	34,0	34,0	18,7	81,5	9,8	0,2	16,5	69,5	0,3	60640,0	39,7	155,5	1,4E+05
					EMB	1870	15,0	124,7	19,5	30,0	30,0	20,7	90,6	11,5	0,3	18,5	67,7	0,3	66909,0	35,8	162,9	1,5E+05
juil-05			2	1,4	SA	1526	8,0	190,8	11,0	65,4	32,7	12,7	119,5	13,5	0,4	24,5	82,8	0,2	64347,0	42,2	112,7	2,1E+05
					EMB	1870	9,0	207,8	12,0	60,1	30,0	14,0	133,6	15,9	0,6	26,0	26,0	0,7	22982,0	12,3	117,5	1,3E+05
					DER	1860	9,5	195,8	13,5	44,9	22,4	15,1	122,8	18,0	0,6	25,5	44,9	0,6	51471,0	27,7	103,5	1,8E+05
mai-06			2	4,7	SA	1526	2,0	763,0	4,0	68,6	34,3	4,6	328,6	25,3	2,3	11,0	95,9	0,0	84250,0	55,2	60,4	6,7E+05
	EMB	1870			3,0	623,3	5,0	48,3	24,2	5,5	338,8	15,6	1,5	4,0	43,9	0,6	65035,0	34,8	120,0	5,5E+05		
	DER	1860			3,5	531,4	4,5	56,3	28,1	4,6	406,0	14,0	1,6	3,0	30,1	0,7	41168,0	22,1	133,2	5,3E+05		
	CoIS	1050			8,0	131,3	/	/	/	/	/	/	/	/	6,0	/	/	/	/	/	/	
	TH	2002			4,0	500,5	5,5	43,3	21,6	6,8	295,5	18,0	1,5	11,0	80,9	0,2	121280,0	60,6	111,3	6,3E+05		
janv-08		Uranine	3	19,5	TH	2002	2,2	910,0	2,8	53,3	17,8	3,1	641,8	27,5	4,9	3,3	114,5	-0,1	220650,0	110,2	72,8	1,9E+06

Bonniver, 2011

Résultats des essais de traçage n°2 à n°5. Paramètres d'écoulement et de transport calculés à l'aide du logiciel Qtracer2 (Field, 2002) – SI : site d'injection, Q moyen : débit moyen de la Lesse en GB, SE : site d'échantillonnage, x : distance, T_{PA} : temps de première arrivée, V_{max} : vitesse maximale, T_{mod} : temps modal, C_{max} : concentration maximale, T_{Moyen} : temps moyen de séjour, V_{app} : vitesse apparente de transit, α_L : dispersivité longitudinale, D_L : coefficient de dispersion longitudinale, T_r : durée de la restitution, TR : taux de restitution, AI : accuracy index, V : volume, A : section, Pe : nombre de Peclet, N_r : nombre de Reynolds.

Tableau VII.2 : Tableau récapitulatif des paramètres d'écoulement et de transport, calculés dans le système karstique des grottes de Han-sur-Lesse, traçages 2 à 5, affectant des calcaires du Givetien. SA : Salle d'Armes, EMB : Salle d'Embarquement, DER : Dérivation, CoIS : Collecteur du Réseau sud, TH : Trou de Han, GB : Gouffre de Belvaux. (Bonniver, 2011).

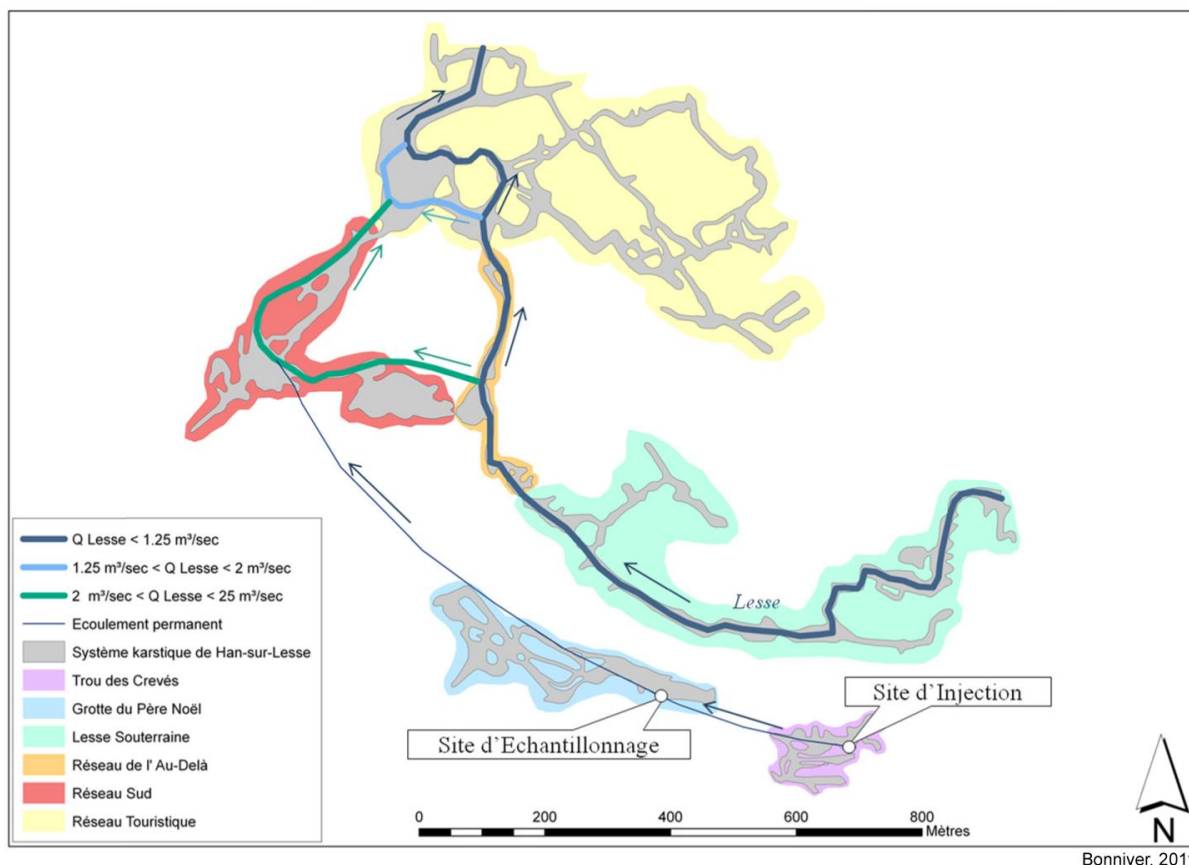


Figure VII.3 : Localisation des sites d'injection (Trou des Crevés) et d'échantillonnage (grotte du Père Noël) du traçage n°6 (Bonniver, 2011).

Période	SI	Traceur	Quantité (kg)	Q moyen (m³/sec)	SE	x	T _{PA}	V _{max}	T _{mod}	C _{max}	C _{max}	T _{Moyen}	V _{app}	
						(m)	(h)	(m/h)	(h)	(ppb)	(ppb/kg inj.)	(h)	(m/h)	
juil.-09	Rivière du Trou des Crevés	Uranine	1,5	0,004	Rivière de la Grotte du Père Noël	325	2,8	114,7	5,1	7750,5	5167,0	8,4	38,5	
						α_L	D _L	T _r	TR	AI	V	A	Pe	N _r
						14,8	0,2	37,2	31,0	0,7	121,6	0,4	22,0	6,5E+03

Bonniver, 2011

Résultats de l'essai de traçage n°6 sur le système karstique "trou des Crevés – grotte du Père Noël" – Paramètres d'écoulement et de transport calculés à l'aide du logiciel QTracer2 (Field, 2002) – SI : site d'injection, Q moyen : débit moyen de la Lesse en GB, SE : site d'échantillonnage, x : distance, T_{PA} : temps de première arrivée, V_{max} : vitesse maximale, T_{mod} : temps modal, C_{max} : concentration maximale, T_{Moyen} : temps moyen de séjour, V_{app} : vitesse apparente de transit, α_L : dispersivité longitudinale, D_L : coefficient de dispersion longitudinale, T_r : durée de la restitution, TR : taux de restitution, AI : accuracy index, V : volume, A : section, Pe : nombre de Peclet, N_r : nombre de Reynolds.

Tableau VII.3 : Résultats de l'essai de traçage n°6 réalisé par Bonniver (2011) depuis le Trou des Crevés jusqu'au réseau du Père Noël, Aquifère des calcaires du Givetien.

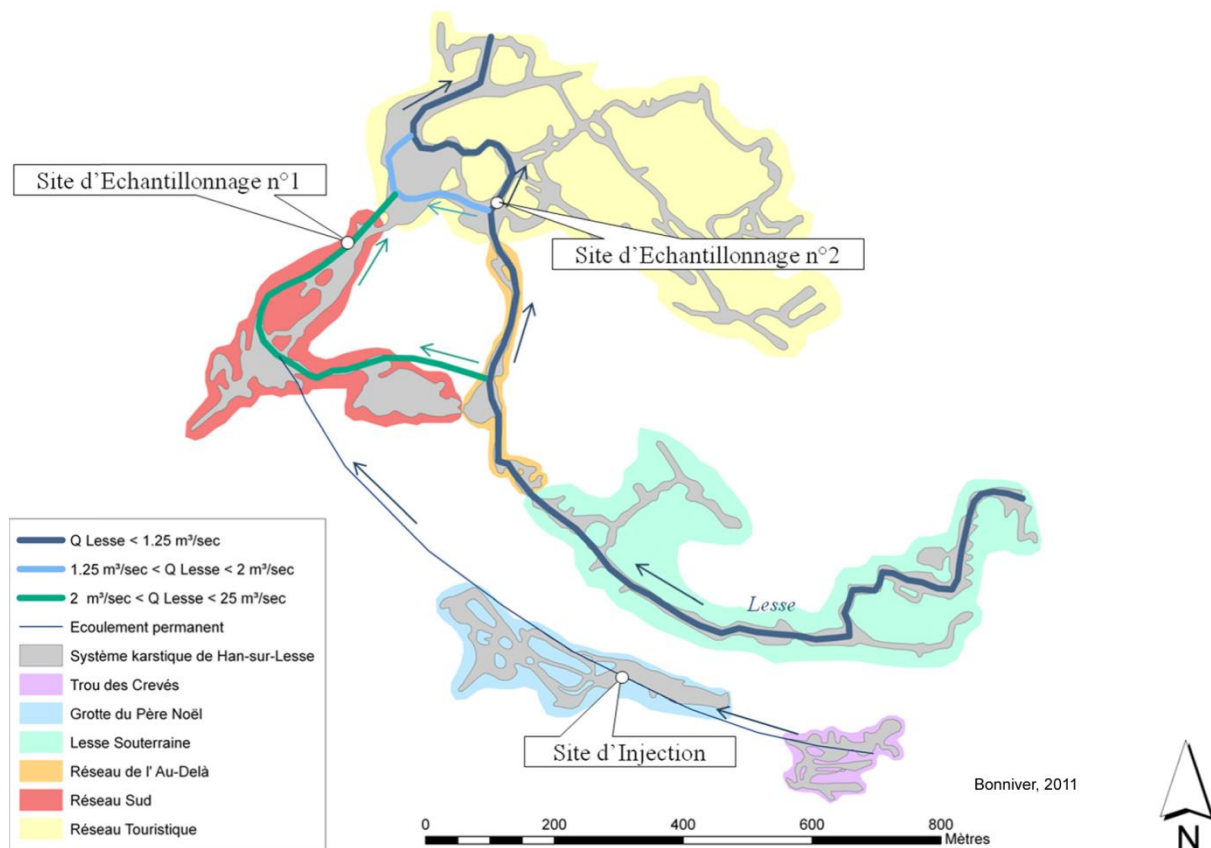


Figure VII.4 : Localisation du site d'injection (Grotte du Père Noël) et des sites d'échantillonnage (Réseau Sud) du traçage n°7 au sein du système karstique de Han-sur-Lesse (Bonniver, 2011).

Période	SI	Q SI (L/sec)	Traceur	Quantité (kg)	SE	Q SE (L/sec)	x	T _{PA}	V _{max}	T _{mod}	C _{max}	C _{max}	T _{Moyen}	V _{app}	
							(m)	(h)	(m/h)	(h)	(ppb)	(ppb/kg inj.)	(h)	(m/h)	
oct-07	Rivière de la Grotte du Père Noël	1	Uranine	1	Exutoire du Réseau Sud (ColS)	36	1000	75,0	13,3	176,3	5,5	5,5	294,7	3,4	
							α_L	D _L	T _r	TR	AI	V	A	Pe	N _r
							(m)	(m ² /sec)	(h)	(%)		(m ³)	(m ²)		
							103,1	0,1	500,0	22,2	0,8	44628,0	44,6	9,7	6,2E+03

Résultats de l'essai de traçage sur le système karstique "grotte du Père Noël – réseau Sud" – Paramètres d'écoulement et de transport calculés à l'aide du logiciel QTracer2 (Field, 2002) – SI : site d'injection, Q moyen : débit moyen de la Lesse en GB, SE : site d'échantillonnage, x : distance, T_{PA} : temps de première arrivée, V_{max} : vitesse maximale, T_{mod} : temps modal, C_{max} : concentration maximale, T_{Moyen} : temps moyen de séjour, V_{app} : vitesse apparente de transit, α_L : dispersivité longitudinale, D_L : coefficient de dispersion longitudinale, T_r : durée de la restitution, TR : taux de restitution, AI : accuracy index, V : volume, A : section, Pe : nombre de Peclet, N_r : nombre de Reynolds.

Tableau VII.4 : Résultats de l'essai de traçage n°7 réalisé par Bonniver (2011) depuis la Grotte du Père Noël jusqu'au Réseau Sud, Aquifère des calcaires du Givetien.

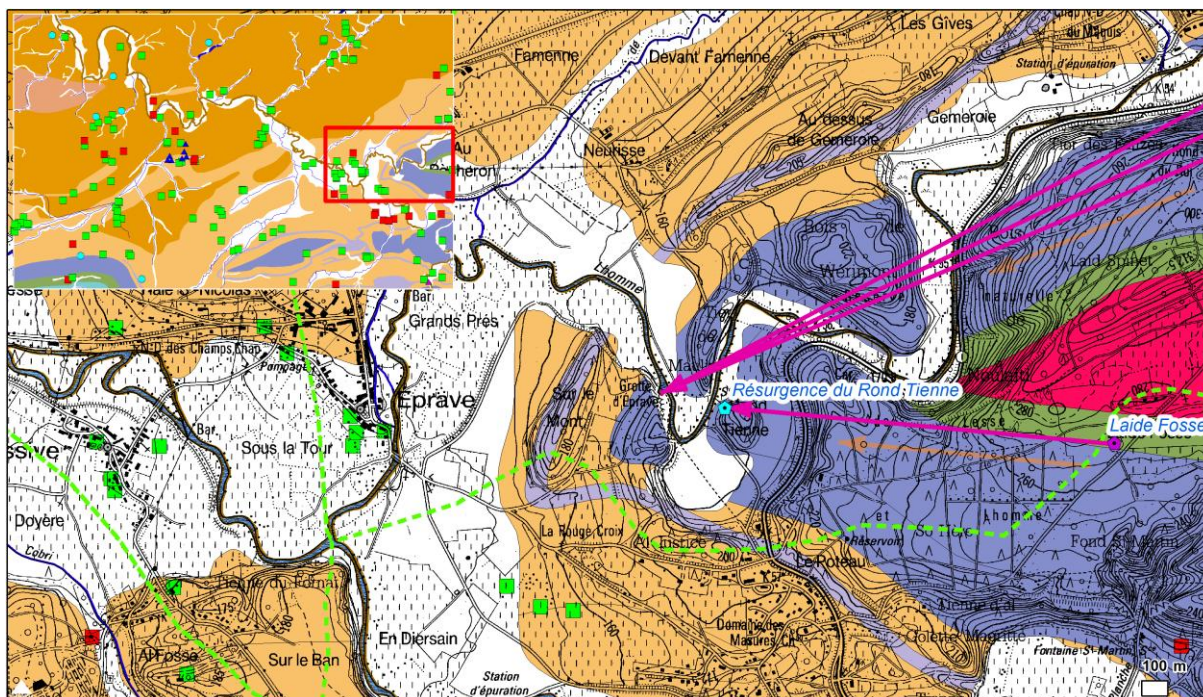


Figure VII.5 : Localisation du chantoir de la Laide Fosse et de la Résurgence du Rond Tienne.

Traceur	Masse injectée (g)	Site d'injection	Débit au site d'injection (l/sec)	Sites d'échantillonnage			Résultats de traçage enregistrés à la résurgence du Rond Tienne						
				Fontaine Saint-Martin	Résurgence du Rond Tienne	Résurgence d'Eprave	Arrivée première (h)	Temps modal (h)	Bruit de fond (ppb)	Concentration modale (ppb/kg injecté)	Vitesse maximale (m/h)	Vitesse modale (m/h)	Durée de la restitution (h)
				Distance au site d'injection (m)									
Naphionate	3145	Chantoir de la Laide Fosse (Perte active)	2.0	Débit en début de traçage (l/sec)			10	13	0	1011	149	115	25
				/	67	/							
				Restitution du traceur									
				Non détectée	Détectée	Non détectée							
				Taux de restitution (%)									
/	80	/											
Uramine	20	Chantoir de la Laide Fosse (Perte active)	0.4	Débit en début de traçage (l/sec)			19	23,25	0	403	79	64	Concentration toujours supérieure au bruit de fond après 90 h d'échantillonnage
				/	36	/							
				Restitution du traceur									
				Non détectée	Détectée	Non détectée							
				Taux de restitution (%)									
/	50	/											

Bonniver, 2011

Tableau VII.5 : Résultats des essais de traçage réalisés par Bonniver (2011) sur le système karstique de la Laide Fosse, Aquifère des calcaires du Givetien.

Des valeurs de transmissivité ont pu être calculées sur le puits Fontaine Saint Martin sollicitant l'Aquifère des calcaires du Givetien, profond de 52 m et crépiné sur une hauteur de 32 m (AQUALE, 2005) :

- $4,03 \cdot 10^{-5}$ à $1,01 \cdot 10^{-4}$ m²/s en rabattement (transmissivité-Theiss, palier à 6,1 m³/h), soit une perméabilité de $1,34 \cdot 10^{-6}$ à $3,16 \cdot 10^{-6}$ m/s ;
- $4,03 \cdot 10^{-5}$ à $1,03 \cdot 10^{-4}$ m²/s en remontée (transmissivité-Theiss, palier à 6,1 m³/h), soit une perméabilité de $1,34 \cdot 10^{-6}$ à $3,22 \cdot 10^{-6}$ m/s.

VIII. ZONES DE PROTECTION

VIII.1. CADRE LÉGAL

Suite au développement économique, les ressources en eau souterraine sont de plus en plus sollicitées et en même temps soumises à des pressions environnementales et anthropiques qui menacent leur qualité. La Région wallonne a mis en place une législation qui concerne la réalisation de nouvelles prises d'eau ainsi que la protection des captages d'eau potable (distribution publique, producteurs de boissons) (<http://environnement.wallonie.be/>). Ces textes définissent, entre autres, les zones de prise d'eau, de prévention et de surveillance et précisent les mesures qui devront y être prises.

La législation wallonne (arrêté du Gouvernement Wallon du 12/02/2009) définit quatre zones de protection distinctes, dans lesquelles des actions de prévention sont menées afin de garantir la pérennité de la qualité de l'eau. (Figure VIII.2) :

- la zone I ou zone de prise d'eau ;
- la zone IIa ou zone de prévention rapprochée ;
- la zone IIb ou zone de prévention éloignée ;
- la zone de surveillance.

Dans le cadre de l'établissement de ces zones, des études plus ou moins poussées selon l'importance du captage, ainsi qu'un inventaire des mesures à prendre, sont réalisés par les producteurs d'eau et financés par la redevance sur la protection des eaux potabilisables.

L'extension de ces zones de protection est établie de manière différente selon le type d'aquifère (Figure VIII.1, Pochon et Zwahlen, 2003) :

- Dans les aquifères de roche meuble (sable, argile, etc.), le dimensionnement de ces zones est basé sur une durée d'écoulement donnée, qui correspond au temps nécessaire aux eaux souterraines pour arriver au captage ;
- Dans les aquifères fissurés (grès, calcaire, siltite, etc.), les vitesses d'écoulement des eaux souterraines sont parfois très hétérogènes. A priori, la méthode de dimensionnement des zones de prévention basée sur des vitesses d'écoulement homogènes dans l'aquifère n'est donc pas systématiquement approprié. Dans ce cas, la délimitation des zones de protection se base sur la vulnérabilité du bassin d'alimentation du captage. La vulnérabilité d'un captage est établie sur base de la connaissance de son contexte hydrogéologique, de tests (pompage, traçage) et d'analyses

(chimique, diagraphie). Ainsi, de manière générale, deux milieux peuvent être caractérisés :

1. Les milieux fissurés à circulation lente : stabilité du débit, de la conductivité, de la température, même en période de fortes précipitations, ainsi qu'un maintien des qualités chimiques, biologiques et de turbidité. Ces caractéristiques permettent de conclure à des vitesses d'écoulement lentes et à des temps de résidence élevés dans l'aquifère permettant une épuration naturelle des eaux souterraines.
2. Les milieux fissurés à circulation rapide : fluctuation du débit, de la température, de la conductivité lors de fortes précipitations, ou problèmes liés à la qualité de l'eau (biologie, turbidité). Ceci démontre la présence de connexions rapides entre le bassin d'alimentation et le captage. Une partie des eaux ne séjourne pas suffisamment longtemps dans l'aquifère que pour être assez filtrée et épurée naturellement avant d'être captée.

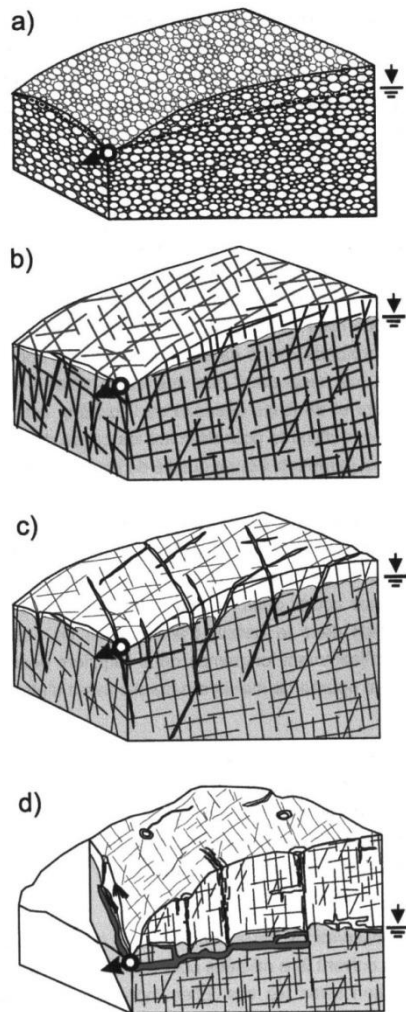


Figure VIII.1 : Représentation schématique de quatre aquifères caractérisés par une hétérogénéité croissante, a) milieu poreux homogène, b) milieu fissuré faiblement hétérogène, c) milieu fissuré hétérogène, d) milieu karstique très hétérogène (Pochon et Zwahlen, 2003).

Si la prévention à un prix, elle est aussi un investissement à long terme. Elle doit permettre de réduire au maximum les problèmes de pollutions ponctuelles accidentelles dans les zones de prévention.

En Région wallonne quatre zones de protection ont été définies comme suit.

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

La zone de prise d'eau est délimitée par une ligne située à une distance de 10 m des limites extérieures des installations de surface strictement nécessaires à la prise d'eau (Figure VIII.2).

VIII.1.2. Zone IIa ou zone de prévention rapprochée

La zone IIa est comprise entre le périmètre de délimitation de la zone de prise d'eau 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** (Figure VIII.2).

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.

VIII.1.3. Zone IIb ou zone de prévention éloignée

La zone IIb est comprise entre le périmètre extérieur de la zone IIa et le périmètre extérieur de la zone d'appel de la prise d'eau.

Le périmètre extérieur de la zone IIb ne peut être situé à une distance de l'ouvrage supérieure à celle correspondant à un temps de transfert de l'eau souterraine jusqu'à l'ouvrage de prise d'eau égal à **50 jours** en zone saturée (Figure VIII.2).

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 fissurées ou karstiques.

VIII.1.4. Zone de surveillance

La zone de surveillance englobe l'entièreté du bassin versant et du bassin hydrogéologique situé à l'amont du point de captage (bassin d'alimentation du captage, Figure VIII.2).

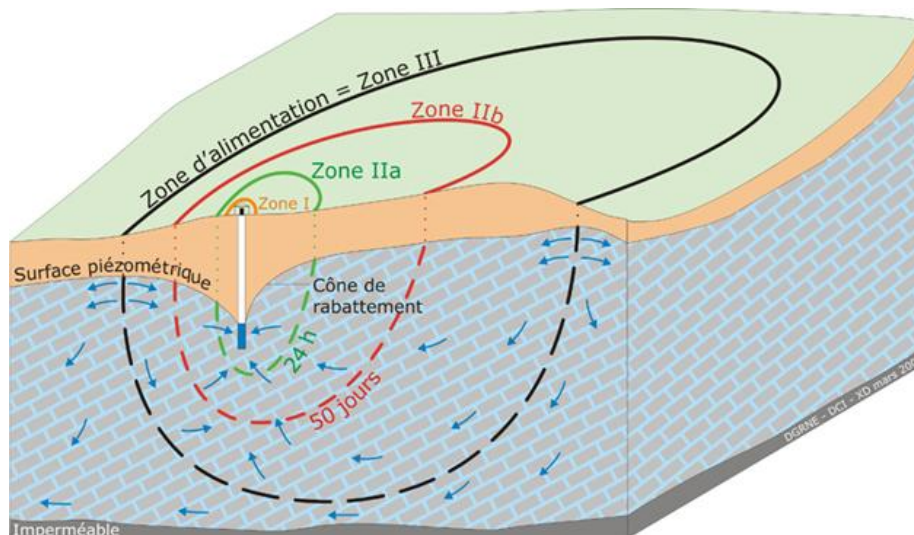


Figure VIII.2 : Représentation théorique des zones de prévention autour d'un captage (<http://environnement.wallonie.be/>).

VIII.1.5. Mesures de prévention

La législation belge a défini diverses mesures de prévention à prendre dans les quatre zones de prévention définies ci-dessus. 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, etc. Elles visent à réduire au maximum les risques de contamination de la nappe.

VIII.2. ZONE DE PRÉVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE LA CARTE DE HOUYET – HAN-SUR-LESSE

L'ensemble des captages qui sont destinés à une distribution publique d'eau devront, 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 arrêtée, après éventuelle révision, par signature du ministre wallon en charge de l'environnement. 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.

A la date d'édition de cette carte (2012), aucune zone de prévention n'a encore été proposée à la DGRNE du Ministère de la Région Wallonne.

La **Figure VIII.6** donne les zones de prévention arrêtées en Région wallonne au mois de mars 2011. La **Figure VIII.7** donne les zones de prévention à l'enquête publique en Région wallonne au mois de mars 2011 et la **Figure VIII.8** donne les zones de prévention programmées ou en cours d'étude au mois de mars 2011.

VIII.2.1. Zone de prévention arrêtée

A la date du mois de mars 2011, aucune zone de prévention arrêtée n'est recensée sur la carte Houyet – Han-sur-Lesse (**Figure VIII.6**).

VIII.2.2. Zone de prévention à l'enquête publique

A la date du mois de mars 2011, aucune zone de prévention n'est à l'enquête publique sur la carte de Houyet – Han-sur-Lesse (**Figure VIII.7**).

VIII.2.3. Zones de prévention à définir

A la date du mois de mars 2011, onze captages sur la carte de Houyet – Han-sur-Lesse font l'objet d'une zone de prévention à définir (**Figure VIII.8**), à savoir les ouvrages *Bois Heronnerie*, *Maison communale*, *Labasse*, *Belvaux* et *Vervaeet* (**Figure VIII.3**), *Fontaine*, *Wanlin puits camping*, *Fraiche-Haie*, *Gilbock* et *Fina* (**Figure VIII.4**) et *Bois Duchy 1 et 2* (**Figure VIII.5**)

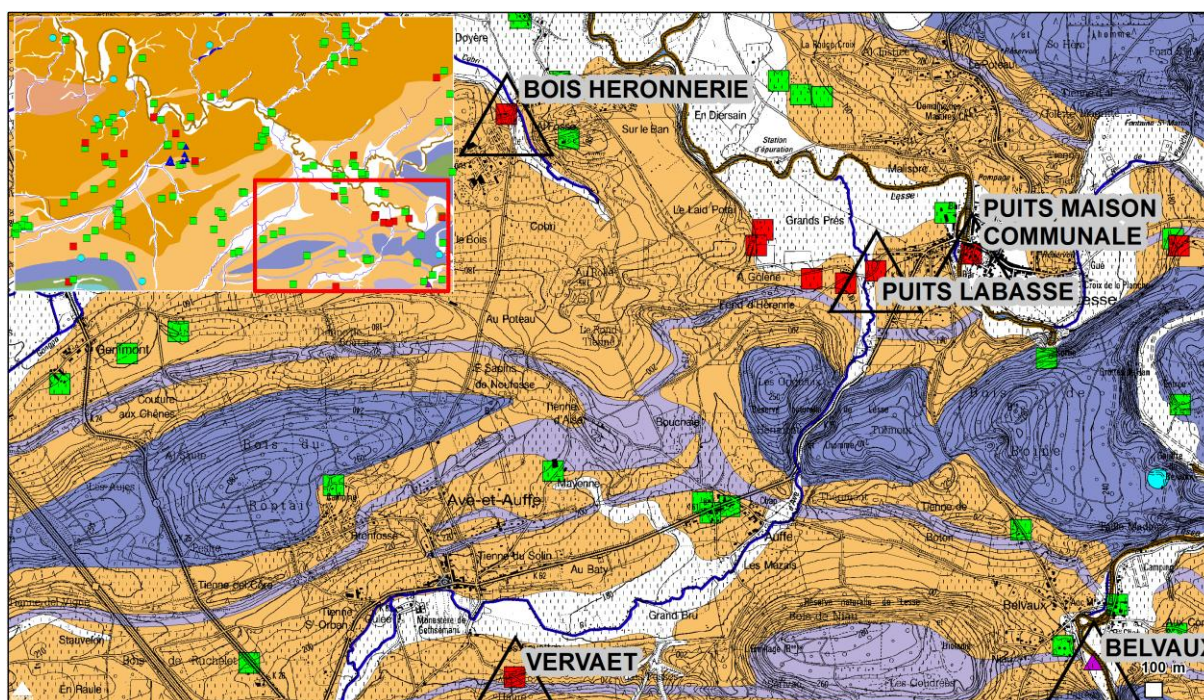


Figure VIII.3 : Localisation des zones de prévention à définir des captages *Bois Heronnerie*, *Maison communale*, *Labasse*, *Belvaux* et *Vervaeet*.

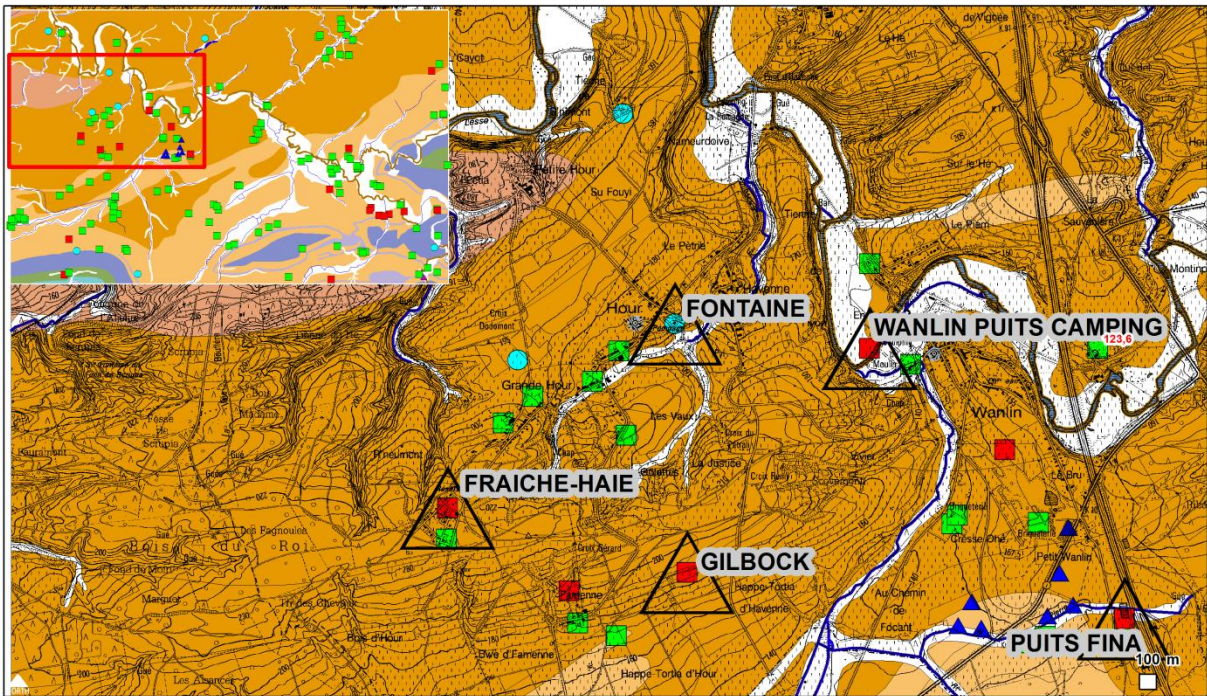


Figure VIII.4 : Localisation des zones de prévention à définir des captages *Fontaine, Wanlin puits camping, Fraiche-Haie, Gilbock et Fina.*

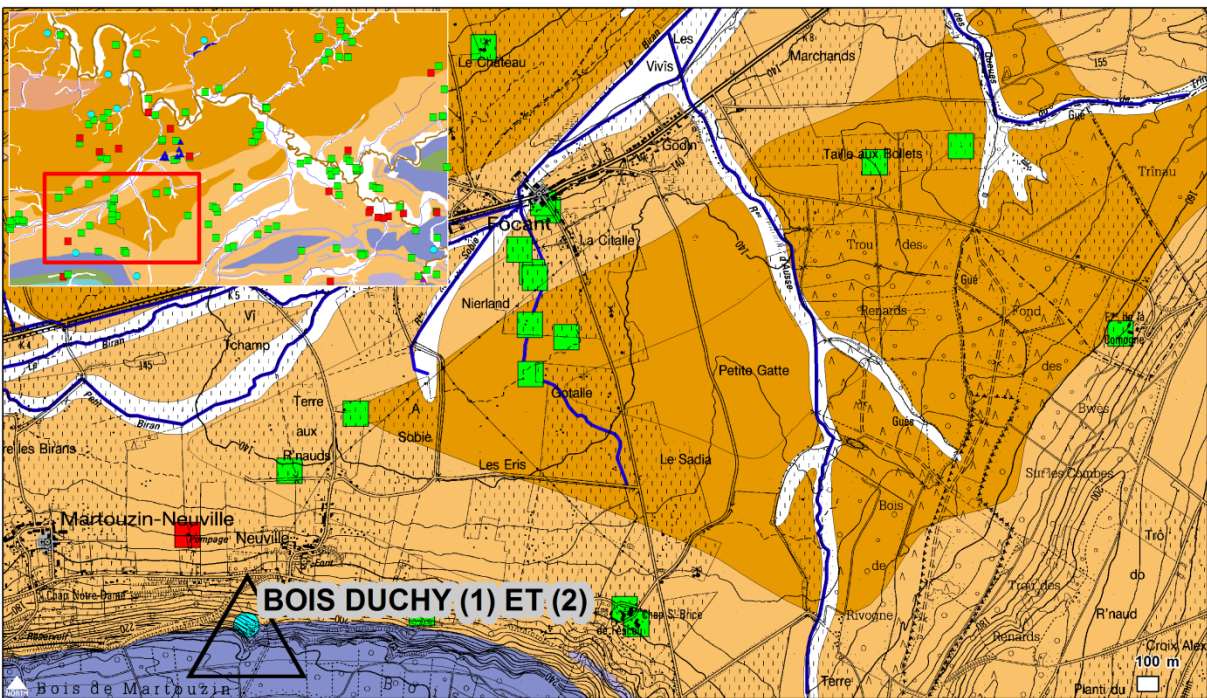


Figure VIII.5 : Localisation des zones de prévention à définir des captages *Bois Duchy 1 et 2.*

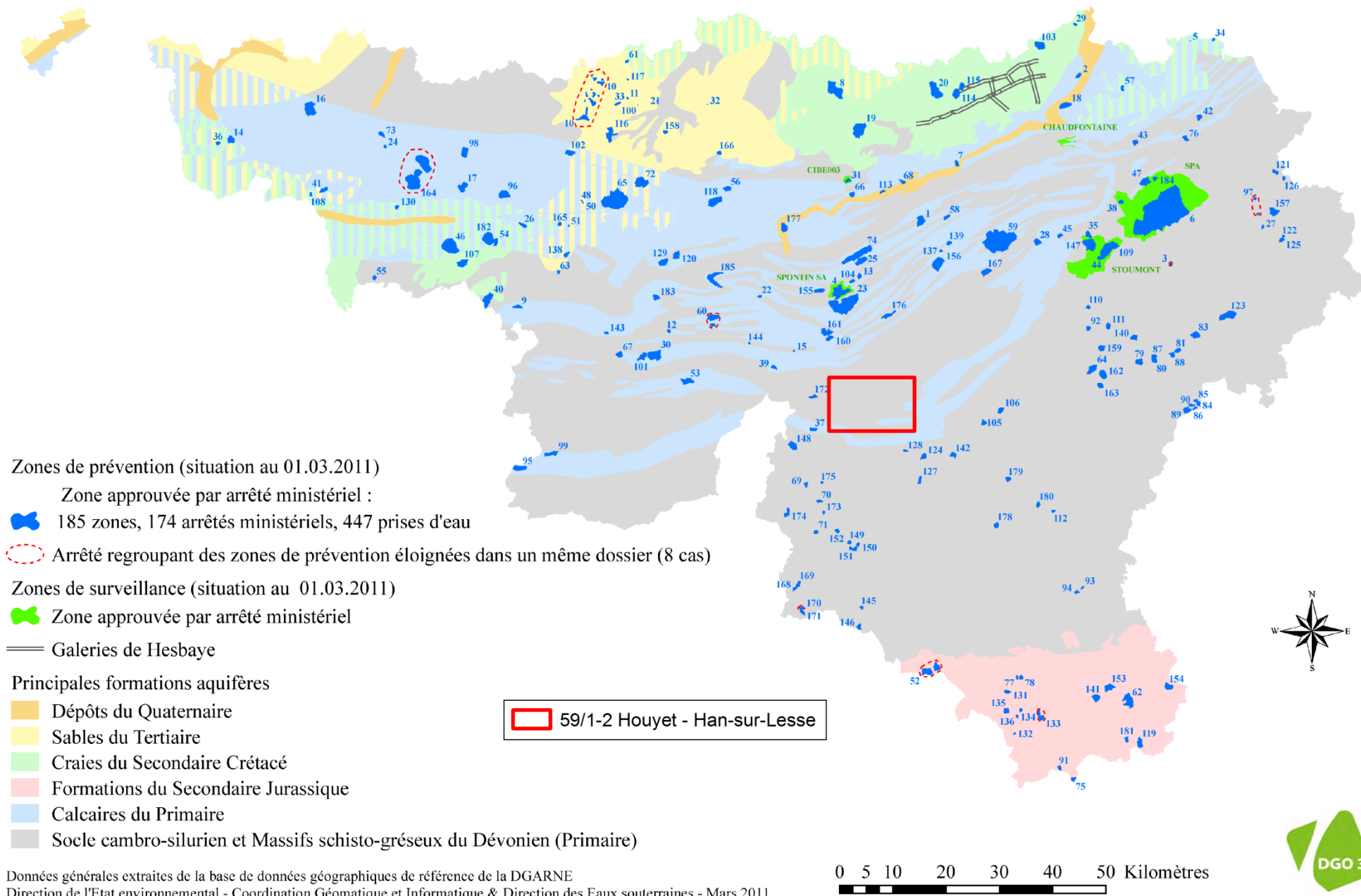


Figure VIII.6 : Zones de prévention arrêtées en Région Wallonne (État des nappes d'eau souterraine, mars 2011, <http://environnement.wallonie.be/>).

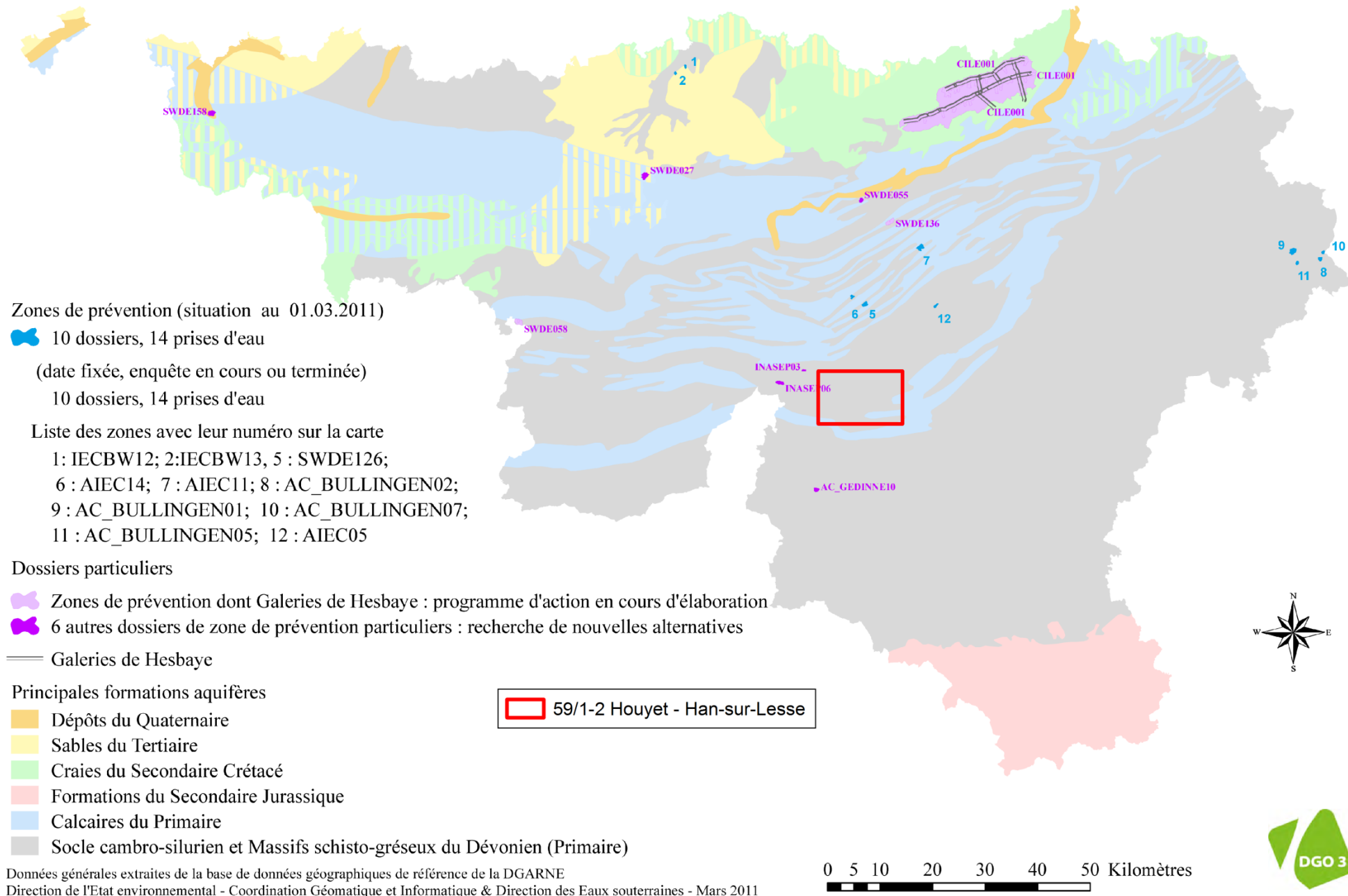


Figure VIII.7 : Zones de prévention à l'enquête publique en Région Wallonne (État des nappes d'eau souterraine, mars 2011, <http://environnement.wallonie.be/>).

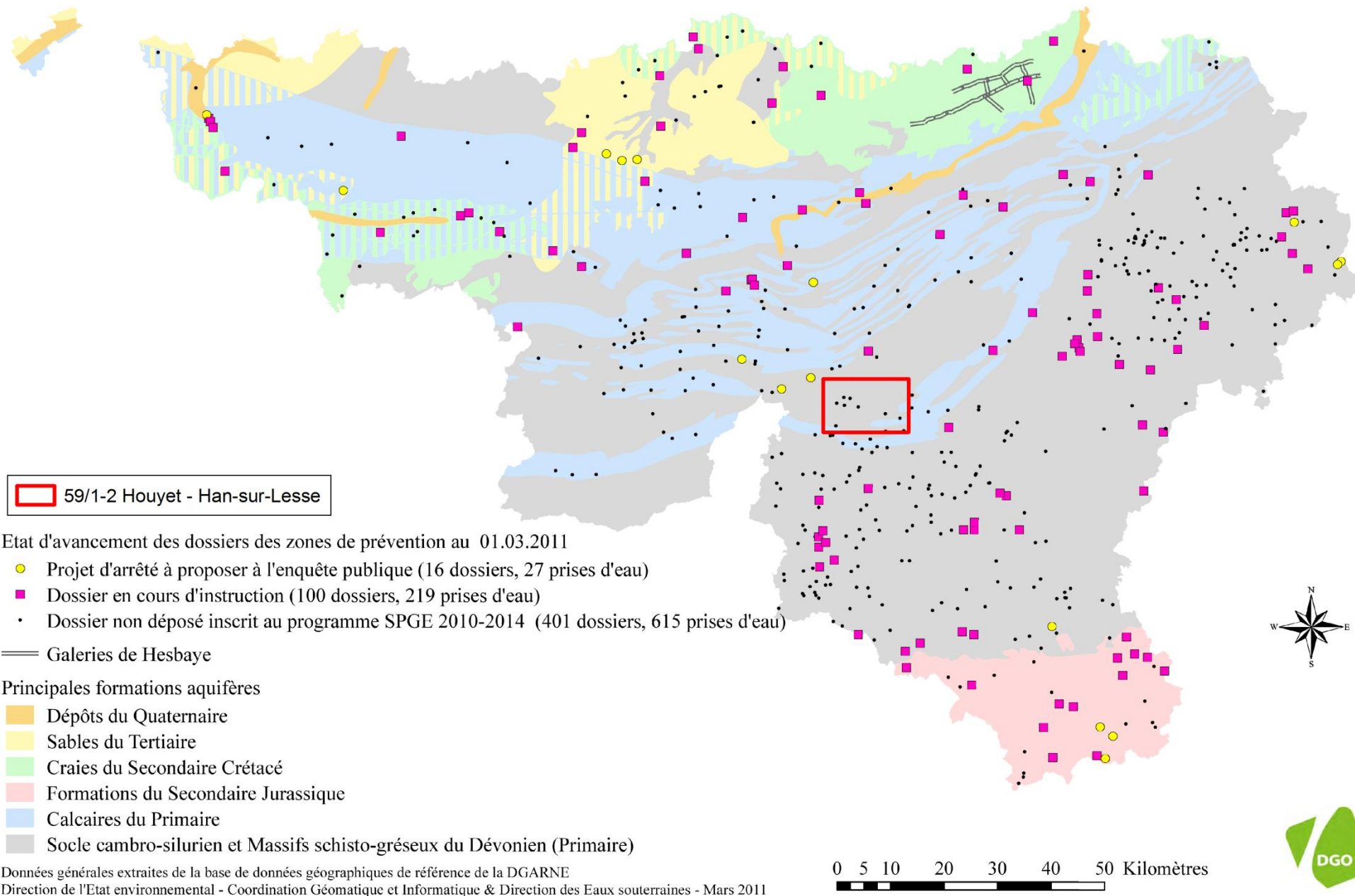


Figure VIII.8 : Zones de prévention programmées ou en cours d'étude en Région Wallonne (État des nappes d'eau souterraine, mars 2011, <http://environnement.wallonie.be/>).

IX. MÉTHODOLOGIE D'ÉLABORATION DE LA CARTE HYDROGÉOLOGIQUE

IX.1. INTRODUCTION

La réalisation de la carte hydrogéologique Houyet – Han-sur-Lesse (59/1-2) est basée essentiellement sur un travail de synthèse des données existantes provenant de sources multiples et variées. Ces données sont en outre complétées par des campagnes de mesures et de recherches d'information sur le terrain. Les informations récoltées sont ensuite stockées dans une banque de données géorelationnelle BD Hydro.

IX.2. COLLECTE DE DONNÉES

IX.2.1. Données existantes

La première étape de la réalisation de la carte hydrogéologique est la collecte de données auprès de sources multiples et variées.

La majorité des données proviennent des bases de données (Base de données des captages "Dix-Sous", Base de données géographiques de référence, Banque de données hydrogéologiques BD HYDRO, la base de données hydrochimiques "CALYPSO") de la Direction Générale des Ressources Naturelles et environnementales de la Région wallonne.

Les points d'information encodés dans la BD HYDRO (puits, galeries, drains, sources exploitées ou au niveau desquelles des données chimiques sont disponibles, piézomètres) sont au nombre de 172 pour la carte Houyet – Han-sur-Lesse ; 133 ouvrages de particuliers, 22 puits de distribution publique d'eau potable, 9 sources, 7 piézomètres et 1 drain. Ces données ont été fournies par la banque de données "Dix-Sous" de la Région Wallonne, les sociétés de distribution d'eau, les industries et des particuliers (essentiellement des agriculteurs).

D'autres données comme les anciens fonds géologiques et les fonds topographiques (récents et anciens) proviennent respectivement du Service Géologique de Belgique et de l'Institut National Géographique de Belgique.

Des compléments de données diverses (études, enquêtes sur le terrain, thèses, compte rendus de travaux, tests, rapports de recherche, etc.) ont été collectés auprès des :

- producteurs d'eau : sociétés de distribution d'eau, services communaux, associations intercommunales, sociétés d'embouteillage d'eau ;
- universités ;
- sociétés de forage et carriers ;
- bureaux d'études en environnement ;
- industries ;
- particuliers.

IX.2.2. Campagnes de mesures piézométriques

Les données piézométriques proviennent d'une part d'études hydrogéologiques et d'autre part de campagnes piézométriques effectuées dans le cadre de la réalisation de cette carte sur des puits appartenant à des particuliers.

IX.3. MÉTHODOLOGIE DE CONSTRUCTION DE LA CARTE

IX.3.1. Encodage dans une banque de données

De telles données, aussi complexes et plus ou moins abondantes, nécessitent une organisation structurée de manière à optimiser leur stockage, leur gestion et leur mise à jour. Ainsi une base de données hydrogéologiques géorelationnelle a été développée (Gogu, 2000), (Gogu, et al., 2001). Cette première version de la base de données BD HYDRO a été régulièrement améliorée. Dans un souci d'homogénéité entre les équipes et d'autres institutions (dont l'administration wallonne, DGARNE¹⁷), la base de données a été révisée. Le but est de créer un outil de travail commun et performant, répondant aux besoins des spécialistes impliqués dans la gestion des eaux souterraines. Les données hydrogéologiques dispersées géographiquement devaient être disponibles dans une seule base de données centralisée. Ainsi les données détaillées de l'hydrochimie, de la piézométrie, des volumes exploités, des paramètres d'écoulement et de transport, de la géologie, telles que les descriptions de log de forage et d'autres données administratives ou autre sont stockées dans la BD HYDRO qui se trouve à la DGARNE. Ces données peuvent être demandées à la Région qui décide de leur accessibilité au cas par cas. L'ensemble des données collectées est encodé dans la base de données géorelationnelle, BD HYDRO (Wojda, et al., 2005). Elle regroupe toutes les informations disponibles en matière d'hydrogéologie en Région wallonne. Parmi les nombreuses et diverses données de

¹⁷ Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement (DGO3). Avenue Prince de Liège 15 - B-5100 Jambes, Belgique.

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

Pour l'élaboration des différentes parties de la carte hydrogéologique, certaines données cartographiques sont numérisées et harmonisées.

IX.3.2. Construction de la carte hydrogéologique

Les unités hydrogéologiques sont directement dérivées de l'ancienne carte géologique (planchette 185 publiée en 1900 et dressée par M.H. Forir). Les unités hydrogéologiques sont définies principalement sur base de la lithologie des formations géologiques mais aussi sur des critères piézométriques et géométriques. Dans certains cas, plusieurs formations géologiques superposées sont groupées en une seule unité hydrogéologique en tant qu'aquifère, aquiclude ou aquitard, selon leurs caractéristiques hydrogéologiques. Dans d'autre cas, la même formation géologique peut être scindée en plusieurs niveaux aquifères si elle est entrecoupée par des niveaux aquicludes suffisamment imperméables.

Sur la carte principale, les unités hydrogéologiques figurent les unités sous la couche de limon et à l'affleurement. Une bonne compréhension de cette carte doit tenir compte des coupes géologiques et hydrogéologiques ainsi que du tableau de correspondance entre les formations géologiques et les unités hydrogéologiques. L'ensemble des unités hydrogéologiques, définies en Wallonie dans le cadre du projet cartographique "Eaux souterraines" commandé et financé par le Service Public de Wallonie (S.P.W), est inventorié dans un tableau récapitulatif avec le nom et la couleur respectifs de chaque unité.

Des discontinuités, entre les limites géologiques et/ou hydrogéologiques, avec les cartes voisines peuvent apparaître avec la carte 54/5-6 Achêne – Leignon située au nord et celle située à l'ouest, 58/3-4 Agimont - Beauraing. Lorsque c'est le cas, elles sont le résultat de l'utilisation d'un fond géologique récent pour ces deux cartes alors que la carte hydrogéologique 59/1-2 Houyet - Han-sur-Lesse a été

réalisée avec un ancien fond géologique. La façon dont sont actuellement levées les nouvelles cartes géologiques ayant changé, des discontinuités entre les unités géologiques existent entre les différentes générations. 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 justifient les discontinuités. Des conditions de levé différentes (quantité d'affleurement) et des variations latérales de faciès peuvent également entraîner des limites ou des formations géologiques différentes, avec pour conséquence des unités hydrogéologiques différentes.

Le type de couverture d'une nappe est déterminé sur base de la lithologie des formations géologiques qui affleurent sur la carte géologique. Plusieurs possibilités sont alors envisagées : nappe à l'affleurement, nappe sous couverture perméable, nappe sous couverture imperméable et nappe sous couverture semi-perméable. Dans le cas de la superposition de plusieurs nappes, c'est la couverture de la nappe principale qui est considérée et dans d'autres cas, c'est la couverture de la nappe supérieure qui est représentée.

Les données ponctuelles encodées dans la BD HYDRO sont structurées dans différentes requêtes. Celles-ci sont créées sur base du numéro de la carte et sur d'autres critères selon le type d'information. Chaque requête sera ensuite chargée dans la couche appropriée de la donnée géographique numérisée et projetée sur la carte correspondante.

On retrouve dans cette catégorie, les points hydrogéologiques, les points nappes, les cotes piézométriques ponctuelles, les mesures (chimie, pompage, traçage et diagraphie), les volumes prélevés sur une année, les points karst, les cotes isohypses ponctuelles, les stations (climatiques et limnimétriques) et les zones de prévention à définir.

Les isopièzes sont tracés par interpolation des cotes piézométriques mesurées, des cotes altimétriques des sources et des niveaux des cours d'eau. Il faut s'assurer que les cotes piézométriques considérées appartiennent à la même nappe, en examinant la profondeur de l'ouvrage et son équipement (niveaux des crépines). Les sources et les niveaux des cours d'eau doivent aussi être en continuité hydraulique avec la nappe en question. Si par contre, les cotes piézométriques ne sont pas suffisamment bien réparties sur la carte, ou si la nappe

n'est pas continue, il est très difficile de tracer des isopièzes. Dans ce cas, seuls des cotes ponctuelles sont présentés sur la carte avec la mention de la date de mesure.

Les isohypses sont tracés par interpolation des cotes ponctuelles de la base ou du sommet d'un aquifère d'après les données de forage. Ces données sont complétées par les cotes altimétriques des contacts à l'affleurement de cet aquifère avec les unités hydrogéologiques voisines. Son contact avec l'unité sous-jacente détermine sa base, alors que son contact avec l'unité sus-jacente détermine son sommet. Si les unités hydrogéologiques ont une structure tabulaire ou monoclinale, les isohypses peuvent être assez facilement extrapolés.

Pour la carte Houyet – Han-sur-Lesse (59/1-2), les données piézométriques ne sont pas très abondantes. Elles proviennent notamment des campagnes piézométriques effectuées dans le cadre de la réalisation de cette carte sur des puits appartenant à des particuliers ou des industries (piézomètres de la briqueterie de Wanlin), de la banque de données de la Région Wallonne, et des administrations communales.

Par un choix délibéré, la version papier de la carte hydrogéologique veut éviter toute superposition outrancière d'informations conduisant à réduire sa lisibilité. Dans ce but, outre la carte principale, trois cartes thématiques, une coupe hydrogéologique et un tableau lithostratigraphique sont réalisés pour chaque planche.

Chaque carte hydrogéologique est composée d'une notice explicative avec complément d'information et d'un poster au format A0 qui contient :

- une carte principale au 1/25 000, reprenant la topographie, le réseau hydrographique, les unités hydrogéologiques en terme d'aquifère, d'aquiclude ou d'aquitard, les zones de prévention, les ouvrages selon leur type (puits, piézomètre, source, galerie etc.), la piézométrie à une date donnée (isopièzes ou, à défaut, cotes ponctuelles de la nappe), les phénomènes karstiques, etc. ;
- une ou plusieurs coupes hydrogéologiques montrant la structure des unités hydrogéologiques et le niveau piézométrique à une date donnée ;
- un tableau de correspondance entre les formations géologiques et les unités hydrogéologiques ;
- deux ou trois cartes thématiques au 1/50 000 complétant l'information donnée par la carte principale :

- une carte des volumes où est repris l'ensemble des ouvrages (puits, piézomètres, sources,..) différenciés selon les principaux aquifères sollicités, ainsi que les volumes pompés et déclarés dans les différentes nappes en distinguant les volumes prélevés pour la distribution publique d'eau potable et des autres volumes prélevés (par les industries, les agriculteurs, les particuliers, etc.) ;
- une carte des informations complémentaires, du caractère de la nappe et/ou de la couverture sur laquelle figurent les ouvrages pour lesquels des données hydrochimiques sont disponibles, les sites où divers tests (essais de pompage, traçages, diagraphies, ...) ont été réalisés, les zones investiguées par prospection géophysique, ou reconnues comme vulnérables aux nitrates ;
- lorsque l'information existe, une carte des isohypses de la base et du toit de l'aquifère, qui montre les aspects structuraux des aquifères principaux et leur épaisseur. Cette carte n'est pas toujours disponible, étant donné le contexte géologique (tectonique) et la disponibilité des données (log de forage).

X. BIBLIOGRAPHIE

- AQUALE, 2005, Ville de Rochefort – STC- Han-sur-Lesse. Recherche d'une source d'alimentation alternative et complémentaire en eau potable du village de Han-sur-Lesse. Forage et caractérisation du puits Fontaine Saint Martin, Rapport ROCH/HAN/2005/02, *Aquale SPRL, Ecofox Development*.
- AVERBUCH O., LACQUEMENT F., MANSY J.L., SZANIAWSKI R. ET LEWANDOWSKI M., 2006, Déformations au front septentrional de la chaîne varisque : l'exemple des Ardennes franco-belges dans la région de Givet. *Géologie de la France*, 1-2, pp. 85-90.
- BLOCKMANS S. ET DUMOULIN V., 2010, (soumis) Houyet – Han-sur-Lesse 59/1-2. Carte géologique de Wallonie. *Ed. Ministère de la Région Wallonne*.
- BLONDIEAU M., 1997, Recherches minières, mines et carrières de Famenne, *ed. D'auteur*, 111 p.
- BONNIVER I., ROCHEZ G. ET HALLET V. (2010b) Essais de traçage sur le système karstique du Chantoir de la Laide Fosse. *Regard*, 73, pp. 5-9
- BONNIVER, I., 2011, Etude hydrogéologique et dimensionnement par modélisation du "système – traçage" du réseau karstique de Han-sur-Lesse (Massif de Boine – Belgique), Thèse de doctorat, *Thèse fac. Des Sciences, Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix, Namur, Belgique*, 350p.
- BOULVAIN F. & COEN-AUBERT M., 1997, Le sondage de Focant : lithostratigraphie et implications structurales, *Memoirs of the Geological Survey of Belgium*, 43, 74 p.
- BROUYÈRE, S., GESELS, J., JAMIN, P., ROBERT, T., THOMAS, L., DASSARGUES, A., BASTIEN, J., VAN WITTENBERGE, F., RORIVE, A., DOSSIN, F., LACOUR, J.-L., LE MADEC, D., NOGARÈDE, P., HALLET, V., 2009, Caractérisation hydrogéologique et support à la mise en œuvre de la Directive Européenne 2000/60 sur les masses d'eau souterraine en Région Wallonne (Projet Synclin'EAU), délivrable D.5.11 – partie RWM022 et RWM023. *Convention RW et SPGE-Aquapole*.
- CELLULE ETAT DE L'ENVIRONNEMENT WALLON, 2007, Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007. *MRW – DGRNE*, p. 736.
- DEJONGHE L., 1998, Guide de lecture des cartes géologiques de Wallonie au 1/25 000 *édité par le Ministère de la Région Wallonne*, 47 p.
- DELBROUCK R., 1971, Les phénomènes karstiques des régions de Han-sur-Lesse – Rochefort, Collection Karst, *ed. L'Electron*, 55 p.
- DELBROUCK, R., 1974, Expérience de traçage des eaux souterraines de la Wamme et de la Lhomme. *Ministère de l'Agriculture, Serv. Hydraulique Agricole, District V, Namur*, 127 p.
- DELBROUCK R., 1975, Les phénomènes karstiques de la région de Han-sur-Lesse – Rochefort : Compléments, Collection Karst, *Ed. L'Electron*, 15 p.
- DELVAUX D., 1985, Géologie et tectonique du Parc de Lesse et Lhomme au bord sud du Bassin de Dinant (Rochefort, Belgique), *Bull. Soc. Géol. Belg.*, 94, fasc.1, pp. 81-95.
- DELVAUX D., 1989, Structures tardi- et post-hercyniennes dans le bord sud du Synclinorium de Dinant, entre Han-sur-Lesse et Beauraing (Belgique), *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 112, fasc.2, pp.317-325.

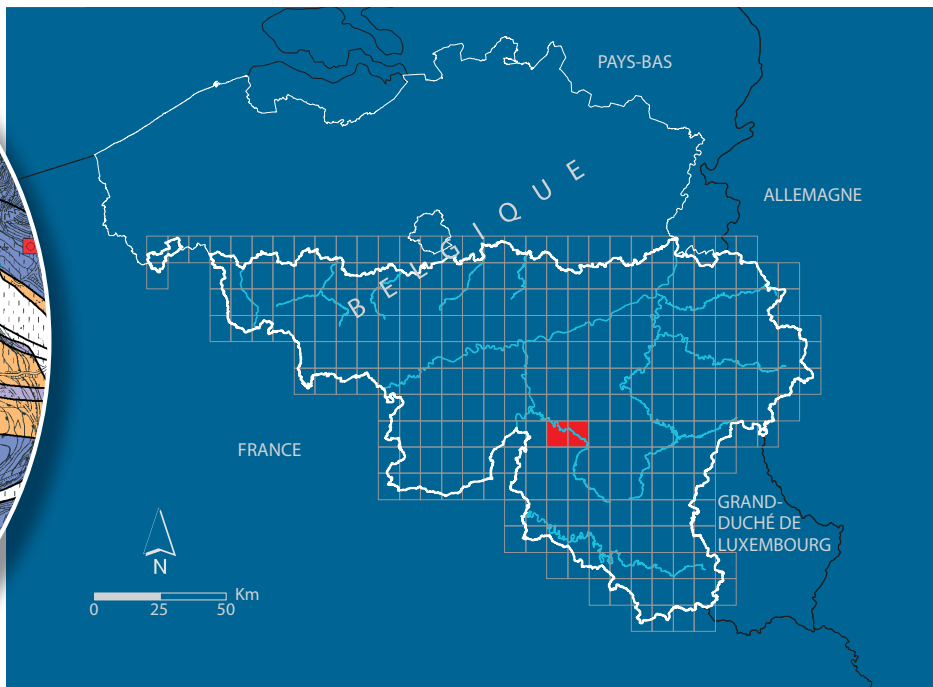
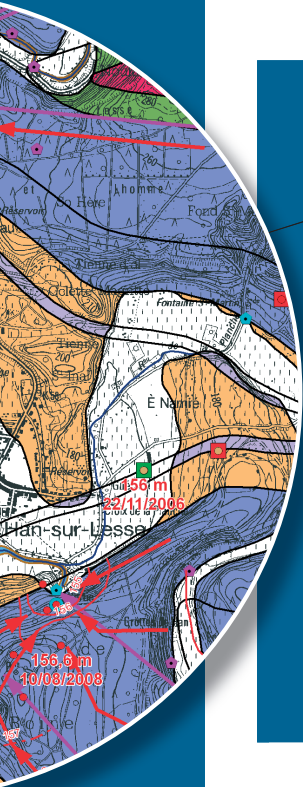
- DE BROYER C., THYS G., FAIRON J. & MICHEL G., 2002, Atlas du Karst Wallon, Inventaire cartographique des sites karstiques et des rivières souterraines de Wallonie. *Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGRNE) - Commission Wallonne d'étude et de protection des sites souterrains asbl (CWEPSS)*.
- FETTER C.W., 2001, Applied Hydrogeology, *Fourth Edition*, eds. Prentice Hall, 598 p.
- FORIR H., 1900, Carte géologique de la Belgique au 1/40000, Planche 185 Houyet – Han-sur-Lesse.
- GEVAERTS H., 1970, Répertoire des pertes, cavernes, résurgences dans la vallée de la Lesse et de ses affluents, *Serv. Géol. Belg., Professional Paper, 14, 170 p.*
- HALLET, V., MEUS, PH., 2011, Contexte hydrogéologique des systèmes karstiques de la région de Rochefort, *Geological Survey of Belgium, Professional paper 2011/2, N. 309, p.39-46.*
- HAVRON C., VANDYCKE S. ET QUINIF Y. (2007) Interactivité entre tectonique méso-cénozoïque et dynamique karstique au sein des calcaires dévoniens de la région de Han-sur-Lesse (Ardennes, Belgique). *Geologica Belgica, 10(1-2), pp. 93-108.*
- IRM (2003), Rapport annuel 2003, *Institut Royal météorologique, pp. 59-66.*
- LEMONNE E. & DUMOULIN V., 1998, Carte géologique de Wallonie, planchette 58/3-4 Agimont-Beauraing *éditée par le Ministère de la Région Wallonne.*
- PISSART A., 1976, Dépôts et morphologie périglaciaires. Géomorphologie de la Belgique, Hommage au Pr. P. Macar. *Laboratoire de Géographie Physique, Université de Liège.*
- POCHON, A. & ZWAHLEN, F., 2003, Délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré – Guide pratique. L'environnement pratique. *Berne : Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Office fédéral des eaux et de la géologie, p. 83.*
- QUINIF, Y., 1988a, La structure hydrogéologique du Massif de Boine, *Lapiaz hors-série "Spécial Han", pp. 11-14.*
- QUINIF, Y., 1988b, Une nouvelle topographie de la Grotte de Han. *Lapiaz hors série "Spécial Han", pp.15-18.*
- RUNKEL, R.L., 1998, One-dimensional transport with inflow and storage (OTIS) : a solute transport model for streams and rivers. *USGS - Water - Resources Investigations Report, 98-4018, 73 p.*
- SPW, V.1.10, juin 2010, District hydrographique international de la Meuse : Etat des lieux de la masse d'eau souterraine RWM023 "Calcaires et Grès de la Calestienne et de la Famenne", *Service Public de Wallonie.*
- THORNTHWAITE, C. W., MATTER, J. R., 1955, The water balance. Publication 8. Centeron N.J., *Laboratory of Climatology, pp. 1-86.*
- VAN DEN BROECK E., MARTEL E.-A. & RAHIR E., 1910, Les cavernes et rivières souterraines de la Belgique, Tome I, 800 p.
- QUINIF Y. & VANDYCKE S., 2001, Les phénomènes karstiques de la région de Han-sur-Lesse – Rochefort (Belgique), *Bull. Inf. Bass. Paris, 38, fasc.1, pp.6-19.*
- RAPPORTS ATELIER 50 SPRL & BELGEO SA., 2002, Etude d'incidence et demande de permis d'extraction, Briqueterie de Wanlin.

RAPPORT ROC/HSL/001 ECOFOX, 2000, Etude des périmètres de prévention du site des prises d'eau de Han-sur-Lesse, Administration Communale de Rochefort, *ECOFOX*.

WOJDA P. et al., 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. *SPW - DGARNE, Convention SPW - ULg-Hydrogéologie*.

XI. TABLE DES OUVRAGES CITÉS DANS LA NOTICE

NUMERO	IDRW	CODERW	NOM	TITULAIRE	EXPLOITANT	TYPE	X	Y	PROF
FUNDPN00_2704	3048	5929003	BELVAUX	ADMINISTRATION COMMUNALE DE ROCHEFORT	KEYEUX ANNE	Drain	209 120	88 430	-
FUNDPN00_2685	131	5917002	BOIS DUCHY (1) ET (2)	INASEP	MONSIEUR LIBERTIAU	Source	196 450	89 375	-
FUNDPN00_2695	7921	5925001	BOIS HERONNERIE	ADMINISTRATION COMMUNALE DE ROCHEFORT	KEYEUX ANNE	Puits pour la distribution publique	205 690	91 625	-
FUNDPN00_3030	17720	5934008	COLLARD R	COLLARD RENE	COLLARD RENÉ	Puits de particulier	206 292	97 258	37
FUNDPN00_2686	2283	5917003	ESCLAYE	SWDE RUE DE LA CONCORDE 41,4800 VERVIERS	ADM COMM BEAURAING	Puits pour la distribution publique	196 000	88 500	-
FUNDPN00_2687	8870	5917004	ESCLAYE	BETONAC S.A.	LOWEL HERMAN	Puits de particulier	196 168	88 585	-
FUNDPN00_2674	6723	5915001	FONTAINE	INASEP	MONSIEUR LIBERTIAU	Source	197 945	94 645	-
FUNDPN00_2673	4964	5914002	FRAICHE-HAIE	INASEP	MONSIEUR LIBERTIAU	Puits pour la distribution publique	196 600	93 555	-
FUNDPN00_2677	846	5915006	GILBOCK	INASEP	MONSIEUR LIBERTIAU	Puits pour la distribution publique	198 018	93 174	-
FUNDPN00_2703	876	5929002	Ours/RESERVE	SA GROTTES DE HAN	J.CORNAND	Puits de particulier	209 630	89 930	-
FUNDPN00_2718	0	0	Piezo "Petit Wanlin" sud Pz3	Michel Barthelemy	Michel Barthelemy	Piézomètre	200 152	92 917	-
FUNDPN00_2717	0	0	Piezo "Petit Wanlin" nord Pz2 Briqueterie	Michel Barthelemy	Michel Barthelemy	Piézomètre	200 304	92 982	6
FUNDPN00_2680	4501	5916002	PUITS	STEEN. DESIMPEL N.V.	BULCKE ELS	Puits de particulier	200 100	93 470	-
FUNDPN00_2642	18102	5911009	Puits Brasseur HOUR	BRASSEUR RENE	BRASSEUR RENE	Puits de particulier	197 105	94 215	40
FUNDPN00_3231	1169	5934003	PUITS DES SOEURS	ADMINISTRATION COMMUNALE DE ROCHEFORT	KEYEUX ANNE	Puits de particulier	209 989	92 508	-
FUNDPN00_2667	19966	5911035	Puits Ferme Dardenne Hérock	DARDENNE JOSEPH	DARDENNE JOSEPH	Puits de particulier	198 679	96 643	51
FUNDPN00_2630	19715	5849075	Puits Ferme de Comogne	DE COOMAN CHRISTIANE	DE COOMAN CHRISTIANE	Puits de particulier	200 542	90 740	42
FUNDPN00_2698	7526	5927001	Puits Ferme de Génimont	XXXXXX INCONNU XXXXXXXX	CAVILLOT J-P	Puits de particulier	203 080	90 050	49
FUNDPN00_2598	18838	5849043	Puits Ferme du Fusik	DEGEMBES LEON	DEGEMBES LEON	Puits de particulier	197 271	89 432	17
FUNDPN00_2683	9188	5916005	PUITS FINA	INTERCOMMUNALE NAMUROISE DES	PH.LIBERTIAUX	Puits pour la distribution publique	200 870	92 898	-
FUNDPN00_2682	489	5916004	Puits FINA 1	SOGETROL SERVICE	DUFOING PIERRE	Puits de particulier	200 638	92 819	-
DGRNEJ03_65268	32231	5929008	Puits Fontaine Saint Martin	Commune de Rochefort	Commune de Rochefort	Puits pour la distribution publique	209 875	91 590	52
FUNDPN00_2597	18818	5849042	Puits Gozin Jaspert	JASPART BAUDOIN JEAN POL XAVIER	JASPART BAUDOIN JEAN POL XAVIER	Puits de particulier	194 137	90 472	90
FUNDPN00_2706	7367	5929005	PUITS LABASSE	ADMINISTRATION COMMUNALE DE ROCHEFORT	KEYEUX ANNE	Puits pour la distribution publique	207 850	90 710	-
FUNDPN00_2702	7064	5929001	PUITS MAISON COMMUNALE	ADMINISTRATION COMMUNALE DE ROCHEFORT	KEYEUX ANNE	Puits pour la distribution publique	208 410	90 810	5
FUNDPN00_2681	6647	5916003	PUITS RUE DE FOCANT	INASEP	MONSIEUR LIBERTIAU	Puits pour la distribution publique	199 900	93 900	-
FUNDPN00_2723	0	0	Pz1 Briqueterie Wanlin	Michel Barthelemy	Michel Barthelemy	Piézomètre	200 225	93 170	10
FUNDPN00_2724	0	0	Pz4 Briqueterie Wanlin	Michel Barthelemy	Michel Barthelemy	Piézomètre	199 761	92 845	4
FUNDPN00_2725	0	0	Pz5 Briqueterie de Wanlin	Michel Barthelemy	Michel Barthelemy	Piézomètre	199 623	92 860	2
FUNDPN00_2726	0	0	Pz9 Briqueterie Wanlin	Michel Barthelemy	Michel Barthelemy	Piézomètre	199 705	93 001	5
DIXSOU00_25064	23400	5929007	SAFARI	Commune de Rochefort	Commune de Rochefort	Puits pour la distribution publique	209 588	90 900	-
FUNDPN00_2701	5299	5928002	VERVAET	ADMINISTRATION COMMUNALE DE ROCHEFORT	KEYEUX ANNE	Puits pour la distribution publique	205 740	88 340	-
FUNDPN00_2678	3004	5915007	WANLIN PUIITS CAMPING	INASEP	MONSIEUR LIBERTIAU	Puits pour la distribution publique	199 100	94 500	-



SPW | Éditions, CARTES

Dépôt légal : D/2011/12.796/4 – ISBN : 978-2-8056-0095-1

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

N° Vert du SPW : 0800 11 901 - www.wallonie.be



Service public
de Wallonie

DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE
DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT

