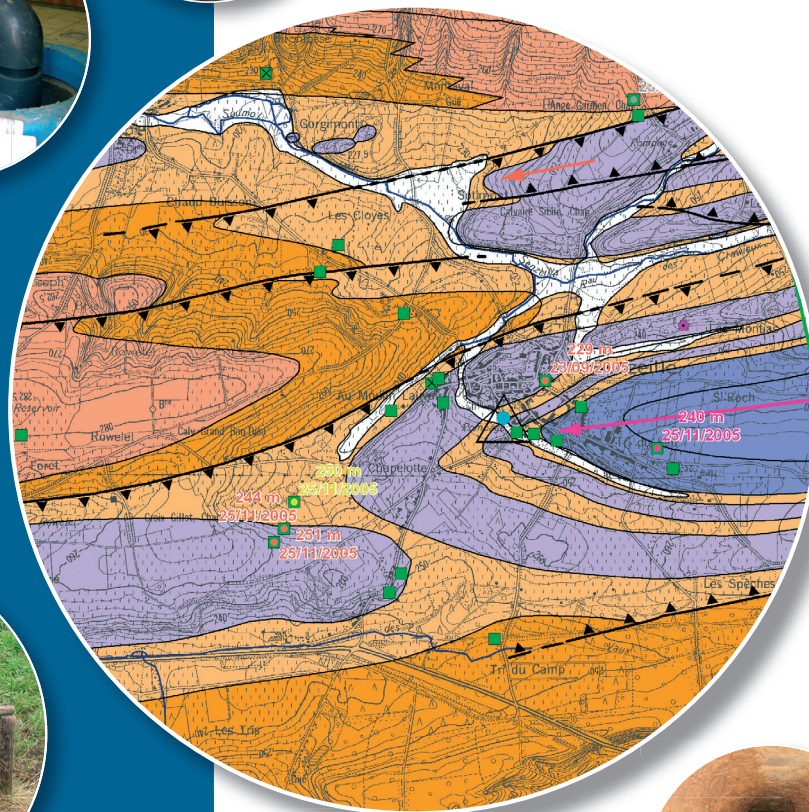


## Notice explicative

### 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 Froidchapelle - Senzeille



# FROIDCHAPELLE - SENZEILLE

## 57/3-4

Samantha **REKK**, Vincent **HALLET**

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



### NOTICE EXPLICATIVE

2010

Première édition : Janvier 2006  
Actualisation partielle : Janvier 2010

Dépôt légal – D/2010/12.796/2 - ISBN : 978-2-8056-0070-8

**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

<b>CARTE HYDROGEOLOGIQUE DE WALLONIE .....</b>	<b>1</b>
<b>CARTE HYDROGEOLOGIQUE DE .....</b>	<b>2</b>
<b>AVANT-PROPOS.....</b>	<b>3</b>
<b>I. INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
<b>II. CADRES GEOGRAPHIQUE, GEOMORPHOLOGIQUE ET HYDROGRAPHIQUE.....</b>	<b>5</b>
<b>III. CADRES GEOLOGIQUES .....</b>	<b>8</b>
III.1. CADRE GEOLOGIQUE GENERAL.....	8
III.2. CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL .....	9
III.2.1. Introduction.....	9
III.2.2. Cadre lithostratigraphique .....	11
III.2.2.1. Le Paléozoïque.....	11
III.2.2.2. Le Cénozoïque .....	14
III.3. CADRE STRUCTURAL .....	15
III.3.1. Le Massif de Philippeville.....	15
III.3.2. La Fagne .....	15
<b>IV. CADRE HYDROGEOLOGIQUE.....</b>	<b>18</b>
IV.1. MASSES D'EAU SOUTERRAINE .....	18
IV.2. DESCRIPTION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES.....	21
IV.2.1. Unités hydrogéologiques du Paléozoïque .....	24
IV.2.1.1. Aquifère des calcaires du Givetien (MHR, FRO) .....	24
IV.2.1.2. Aquifère des calcaires du Frasnien (FSA, PHV).....	25
IV.2.1.3. Aquiclude du Frasnien (NIS, MAC, NV, NM) .....	26
IV.2.1.4. Aquiclude du Famennien (FAM).....	27
IV.2.1.5. Aquitard du Famennien (FAM, AYE, ESN, SVP, CE).....	28
IV.2.2. Unités hydrogéologiques du Cénozoïque.....	29
IV.3. PHENOMENES KARSTIQUES .....	30
IV.3.1. Avant-propos.....	30
IV.3.2. Systèmes karstiques de la région de Froidchapelle - Senzeille .....	30
IV.3.2.1. Cerfontaine.....	30
IV.3.2.2. Les Montias .....	31
IV.4. HYDROGEOLOGIE REGIONALE .....	32
IV.4.1. Le bilan hydrogéologique.....	32
IV.4.2. Évolution piézométrique des différentes unités hydrogéologiques .....	33
IV.4.2.1. Le Massif de Philippeville .....	33
IV.4.2.2. La dépression de la Fagne .....	40
IV.4.2.3. Conclusions.....	46
IV.4.3. Débit des cours d'eau et variations des réserves des aquifères .....	46
IV.4.4. Bilans hydrologiques sur les bassins versants des R <sup>au</sup> de Soumoy et de l'Eau d'Heure à l'amont des lacs de l'Eau d'Heure .....	49
IV.5. COUPES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE .....	52
IV.6. CARACTERE LIBRE, SEMI-CAPTIF, CAPTIF DES NAPPES .....	58
<b>V. CADRE HYDROCHIMIQUE .....</b>	<b>60</b>
V.1. CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES .....	60
V.1.1. Aquifère des calcaires du Givetien .....	60
V.1.2. Aquifères des calcaires du Frasnien.....	62
V.1.3. Aquiclude du Frasnien .....	64
V.1.4. Aquitard du Famennien .....	67
V.1.5. Aquiclude du Famennien .....	70
V.1.6. Commentaires.....	72
V.2. PROBLEMATIQUE DES NITRATES.....	74
V.1. PROBLEMATIQUE DES PESTICIDES.....	77
V.2. AUTRES POLLUTIONS.....	84
V.3. ETAT DES MASSES D'EAU .....	84
<b>VI. EXPLOITATION DES AQUIFERES .....</b>	<b>87</b>
VI.1. VOLUMES PRELEVES POUR LA DISTRIBUTION PUBLIQUE .....	92
VI.2. AUTRES VOLUMES CAPTES .....	96

VI.3. LISTE DES CAPTAGES .....	98
<b>VII. PARAMETRES HYDROGEOLOGIQUES.....</b>	<b>101</b>
VII.1. PARAMETRES D'ECOULEMENT.....	101
VII.2. PARAMETRES DE TRANSPORT .....	101
<b>VIII. ZONES DE PREVENTIONS.....</b>	<b>102</b>
VIII.1. CADRE LEGAL .....	102
VIII.1.1. Zone I ou zone de prise d'eau .....	104
VIII.1.2. Zone IIa ou zone de prévention rapprochée.....	104
VIII.1.3. Zone IIb ou zone de prévention éloignée .....	104
VIII.1.4. Zone de surveillance.....	105
VIII.1.5. Mesures de prévention .....	105
VIII.2. ZONE DE PREVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE LA REGION FROIDCHAPELLE - SENZEILLE .....	105
VIII.2.1. Zones de prévention arrêtée.....	106
VIII.2.2. Zones de prévention proposées .....	106
VIII.2.3. Zones de prévention à définir .....	109
<b>IX. MÉTHODOLOGIE D'ÉLABORATION DE LA CARTE HYDROGÉOLOGIQUE .....</b>	<b>111</b>
IX.1. INTRODUCTION.....	111
IX.2. COLLECTE DE DONNEES .....	111
IX.2.1. Données existantes .....	111
IX.2.2. Campagnes de mesures sur le terrain .....	112
IX.3. METHODOLOGIE DE CONSTRUCTION DE LA CARTE .....	112
IX.3.1. Encodage dans une banque de données .....	112
IX.3.2. Construction de la carte hydrogéologique .....	113
IX.4. BANQUE DE DONNEES HYDROGEOLOGIQUES .....	115
<b>X. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>117</b>
<b>XI. LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>119</b>
<b>XII. LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>121</b>

## AVANT-PROPOS

La carte hydrogéologique de Froidchapelle - Senzeille (57/3-4) 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 de Namur (FUNDP), l'Université de Mons (Faculté Polytechnique, Umons) et l'Université de Liège (ArGEnCO-GEO<sup>3</sup>-Hydrogéologie & Sciences et Gestion de l'Environnement, ULg-Campus d'Arlon, ULg).

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

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

La carte de Froidchapelle - Senzeille (57/3-4) a été réalisée par Rekk Samantha en 2006 et le projet supervisé par V. Hallet du Département de Géologie (FUNDP). Une mise à jour partielle de la carte a été effectuée en 2010 avant la publication de la carte sur Internet. Excepté les zones de prévention et les unités hydrogéologiques, les informations concernées par cette mise à jour sont toutes des données ponctuelles, se trouvant dans *BD HYDRO* : ouvrages, cote ponctuelles de la piézométrie, volumes, chimie et tests. L'actualisation des unités hydrogéologiques, suite à la publication de la nouvelle carte géologique, entraîne une mise à jour en cascade de la plupart des autres couches d'informations composant le projet cartographique.

Les auteurs de la carte hydrogéologique remercient vivement Virginie Dumoulin et Sabine Blockmans (géologues attachés à la carte géologique de Wallonie à l'ULB.), Marc Drèze (S.W.D.E.) et Ingrid Ruthy (ULg) 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 Froidchapelle - Senzeille est téléchargeable gratuitement sur Internet (notice explicative + carte au format PDF) ou consultable dynamiquement via une application WebGIS (<http://environnement.wallonie.be/cartosig/cartehydrogeo>).

# I. INTRODUCTION

La région couverte par la planche 57/3-4 Froidchapelle - Senzeille est située dans l'Entre-Sambre-et-Meuse, à environ vingt-cinq kilomètres au sud de Charleroi et trente kilomètres au sud-ouest de Dinant (Figure I.1). La région couverte par cette carte est à cheval sur les provinces de Namur et du Hainaut et couvre principalement les communes de Cerfontaine, de Froidchapelle et dans une moindre mesure celle de Chimay.

Les principaux aquifères, non exploités par des sociétés de distribution publique d'eau, sont logés dans les calcaires givetiens et frasniens du Dévonien moyen et supérieur. Ces calcaires se situent dans le nord-est de la carte et appartiennent à l'extrémité occidentale du Massif de Philippeville.

Seuls l'Aquiclude du Frasniens (formations de Neuville, des Valisettes, Dévonien supérieur) et l'Aquifère des calcaires du Frasniens sont exploités par une société de distribution publique d'eau (I.N.A.S.E.P.).

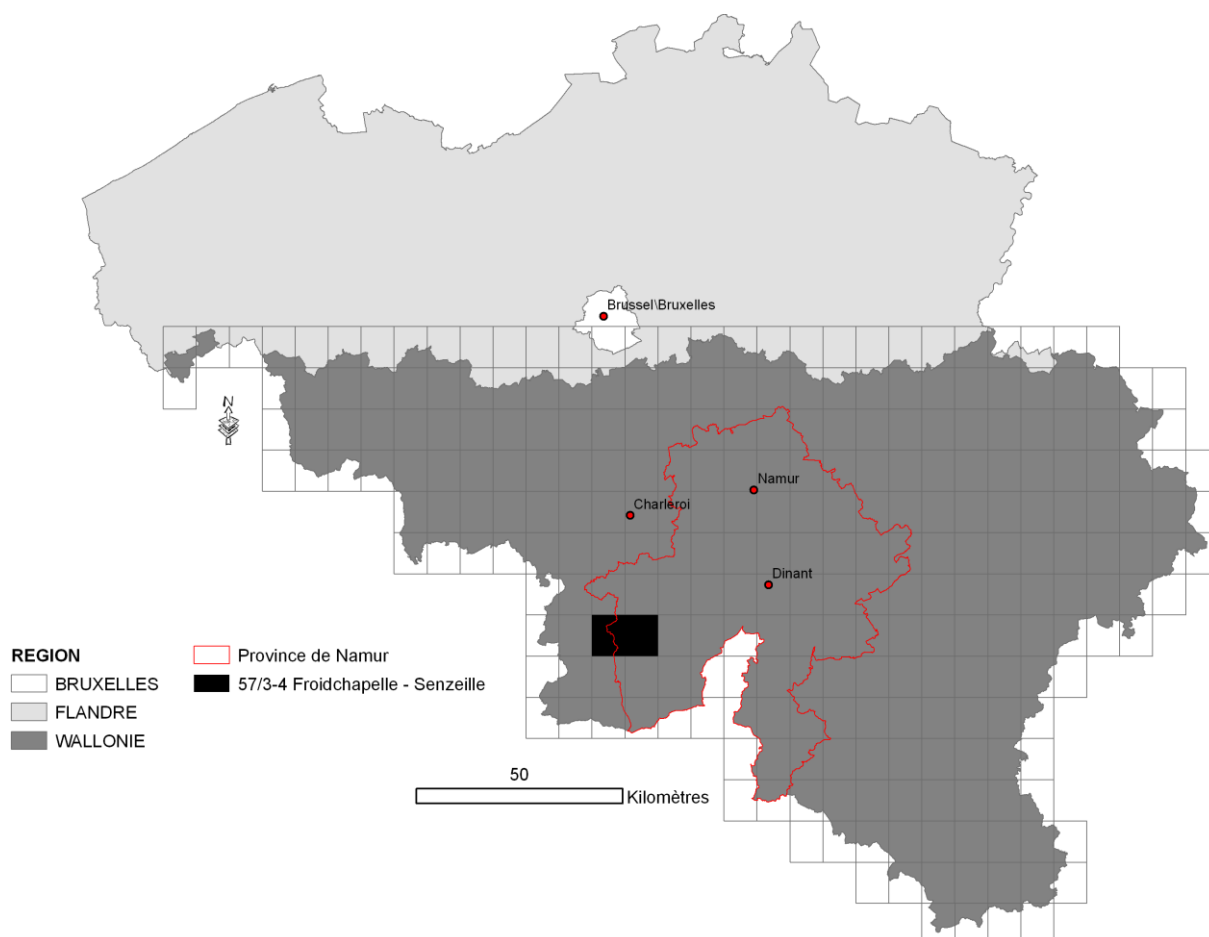


Figure I.1 : Localisation de la carte Froidchapelle - Senzeille en Région wallonne (Planche IGN 57/3-4 au 1/25 000).



## II. CADRES GEOGRAPHIQUE, GEOMORPHOLOGIQUE ET HYDROGRAPHIQUE

D'une superficie de 160 km<sup>2</sup> (équivalant à une planche topographique au 1/25 000), la planche Froidchapelle - Senzeille est située dans les provinces de Namur et du Hainaut. Elle s'étend principalement sur les communes de Cerfontaine (localités de Cerfontaine, Senzeille, Villers-Deux-Eglises, Soumoy) et de Froidchapelle (localité de Froidchapelle).

Du point de vue géographique, cette région appartient à la région de l'Entre-Sambre-et-Meuse. Deux unités morphostructurales sont distinguées :

1. la terminaison occidentale du "Massif de Philippeville", dôme anticlinal complexe, formant au nord-est un vaste plateau dont l'altitude maximale est de 287 m et constitué principalement de roches argilo-carbonatées d'âge givetien et frasien ;
2. la dépression de la Fagne occupe le reste de la carte et est représentée par une zone synclinoriale. De relief contrasté (170 m à 295 m), elle est incisée de nombreux cours d'eau qui y entaillent de larges vallées dans les substrats les moins résistants (les shales). De nombreuses crêtes sont observées, elles sont à mettre en relation avec des niveaux lithologiques arénacés plus résistants.

La densité de population sur le territoire de cette carte est faible et les principaux centres urbanisés sont les entités de Cerfontaine et de Froidchapelle.

Le réseau hydrographique (**Figure II.1**) se divise en deux types différents selon l'unité morphostructurale dans laquelle il se situe. Dans la zone synclinoriale, il se répartit de manière homogène, est dendritique et dense. Au contraire, dans le Massif de Philippeville, partie nord-est de la carte, il est moins dense et moins ramifié.

La planche de Froidchapelle - Senzeille est divisée en six bassins versants, trois majeurs et trois mineurs :

- le bassin de l'Eau d'Heure (49.9 km<sup>2</sup>), occupe principalement la moitié nord de la carte et est drainé, du sud vers le nord et de l'est vers l'ouest, par l'Eau d'Heure et ses affluents (r<sup>au</sup> de Soumoy, des Crawieux Prés, de Senzeille, des Vaux, de la Rozère, de la Marchande, du Pré Breuzet, le Barbinconia et du Pont de Pierre). Ce bassin comporte une partie des lacs de l'Eau d'Heure (Lac de Plate Taille) ;
- le bassin de l'Eau Blanche (65.8 km<sup>2</sup>), occupe principalement la moitié sud de la carte et est drainé, du nord vers le sud et de l'ouest vers l'est, par la Brouffe et ses affluents (r<sup>au</sup> de Révleumont, du Laid Revers, de Streubois et du Fond Belvaux), et les r<sup>au</sup> Chapeau, Ri des Boles, de Nou Pré et du Fourneau. Ce bassin comporte le lac de Roly ;

- Le bassin de la Hante (26.9 km<sup>2</sup>) occupe principalement le tiers ouest de la carte et est drainé, du sud vers le nord par la Hante et ses affluents (r<sup>au</sup> de Bussignies, de la Fourchette, du Bois Brulé, de Grand Riau, du Vivier du Gouverneur et de la Gratterie) ;
- le bassin de l'Hermeton (6.7 km<sup>2</sup>) occupe le coin nord-est de la carte et est drainé de l'ouest vers l'est ;
- bassin de la Grande Helpe (3.8 km<sup>2</sup>) occupe une partie du coin sud-ouest de la carte et est drainé de l'est vers l'ouest par l'Eau d'Eppe ;
- bassin du lac de Virelle (6.8 km<sup>2</sup>) occupe l'autre coin sud-ouest de la carte et est drainé du nord vers le sud par le r<sup>au</sup> Nicolas.

A plus grande échelle, les bassins de l'Eau Blanche et de l'Hermeton alimentent le bassin de la Meuse, tandis que les autres bassins (Eau d'Heure, Hante, Grande Helpe, Virelle) alimentent le bassin de la Sambre.

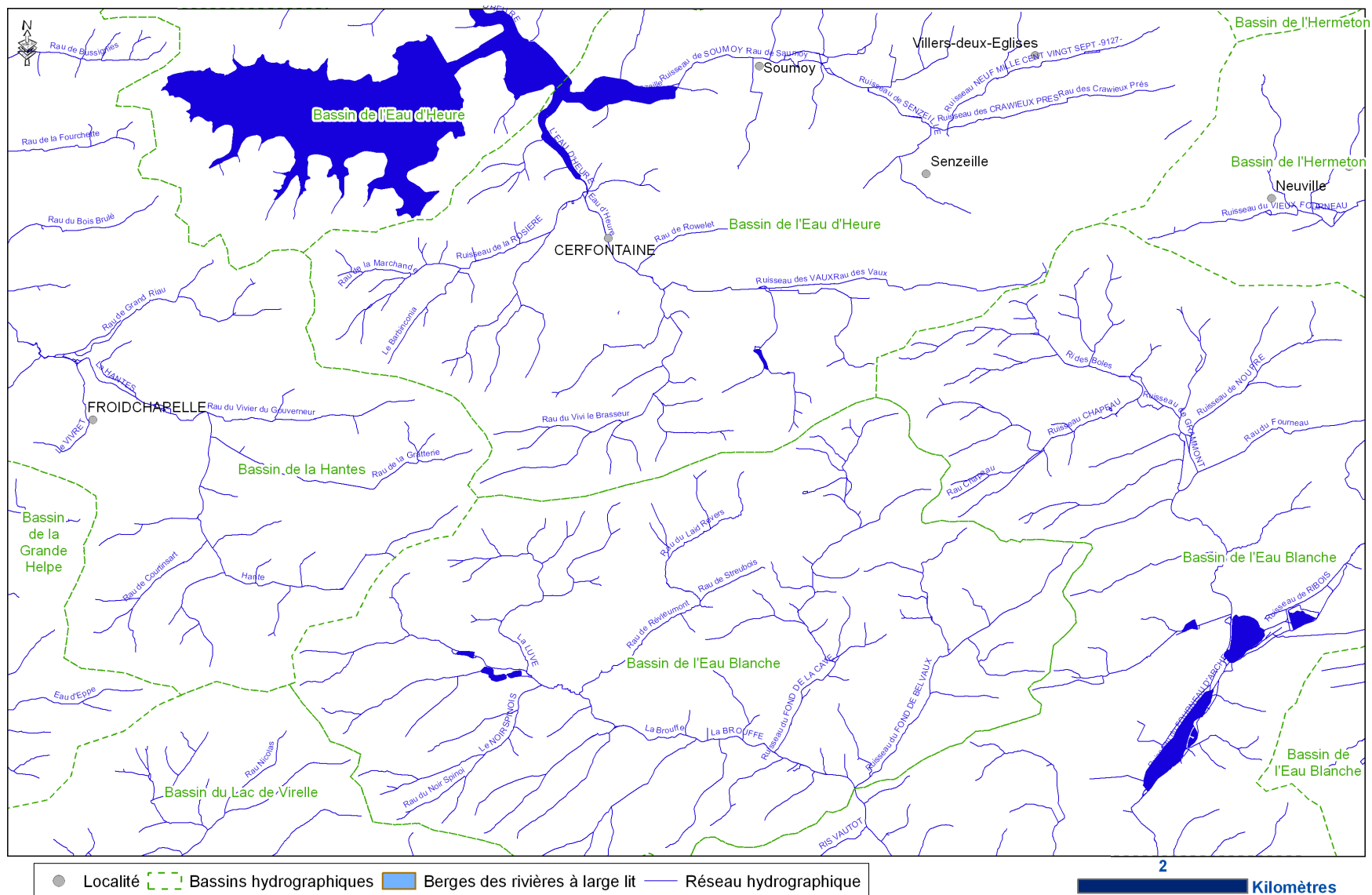


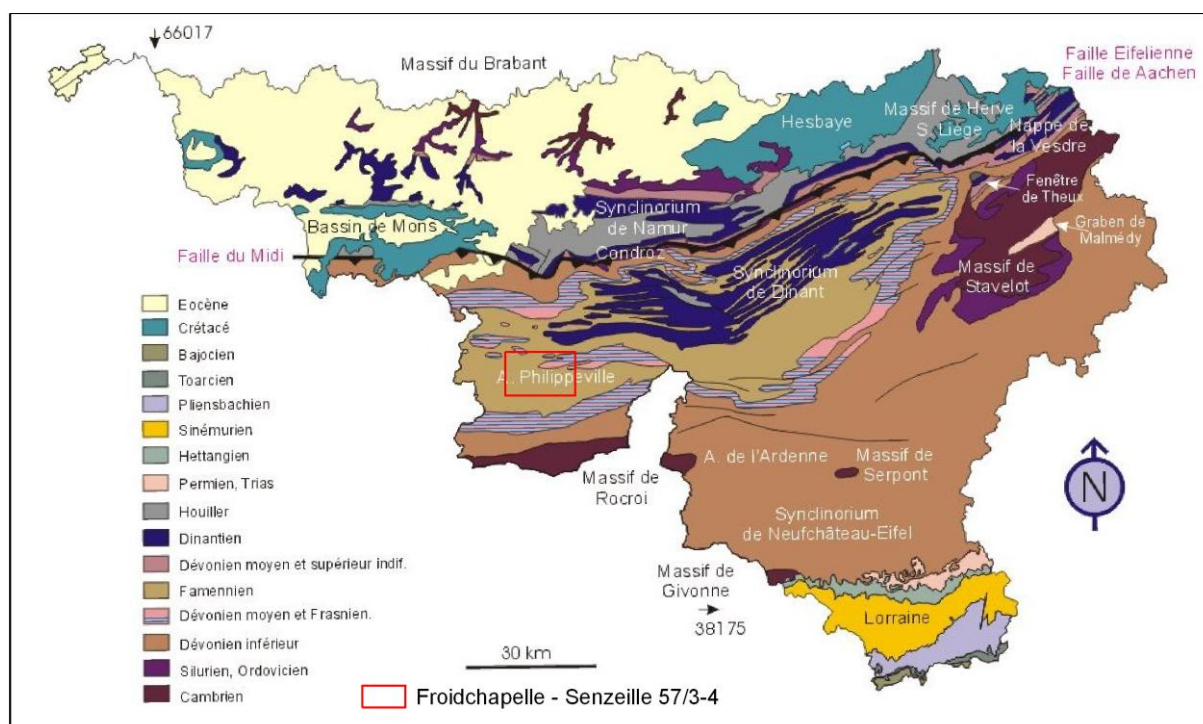
Figure II.1 : Réseau hydrographique de la carte de Froidchapelle – Senzeille 57/3-4.

### III. CADRES GEOLOGIQUES

#### III.1. CADRE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL

Les informations relatives au cadre géologique général proviennent de la notice géologique de la carte Froidchapelle - Senzeille (57/3-4) (*Dumoulin, V. et Marion J.-M., 1998*).

La région de Froidchapelle - Senzeille appartient à la bordure sud du Synclinorium de Dinant (*Figure III.1*). Elle appartient à l'allochtone ardennais ou nappe du Condroz qui, par le jeu de la Faille du Midi, a été charrié sur la région située plus au nord. A plus grande échelle, la zone étudiée appartient au domaine rhéno-hercynien (zone externe nord) de l'orogène varisque en Europe occidentale (*Ziegler, 1990* cité par *Dumoulin, V. et Marion J.-M., 1998*).



**Figure III.1 : Situation de la carte Froidchapelle - Senzeille (57/3-4) dans le cadre géologique général de la Wallonie.**

Les dépôts de la région de Froidchapelle - Senzeille font partie de la transgression majeure dévono-dinantienne, discordante sur un socle calédonien érodé. Cette pile sédimentaire a été plissée par l'orogénèse varisque puis érodée, jusqu'à la formation d'une pénéplaine sur laquelle se sont déposés, en discordance, des sédiments d'âge méso-cénozoïque dont il ne subsiste rien aujourd'hui dans la région étudiée.

Au Quaternaire, l'évolution paléogéographique de la Belgique appartient essentiellement au domaine continental. Ce qui se traduit principalement par l'incision progressive de l'Ardenne en surrection par le réseau hydrographique.

## III.2. CADRE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

Toutes les descriptions qui suivent proviennent de la notice explicative accompagnant la carte géologique de Froidchapelle - Senzeille 57/3-4 (*Dumoulin, V. et Marion J.-M., 1998*) et accessoirement de la notice explicative de la carte géologique Sautour - Surice 58/1-2 (*Dumoulin, V. et Marion J.-M., 1997*).

### III.2.1. Introduction

Hormis les alluvions modernes des vallées, toutes les unités géologiques présentes sur la carte 57/3-4 appartiennent au système Dévonien. La zone synclinoriale est couverte par des formations datant du Dévonien supérieure (étages Famennien et Frasnien) dont les lithologies dominantes sont les shales/schistes, les siltites et les grès. Dans le "Massif de Philippeville" les formations, datant du Dévonien moyen (Étage Givetien), sont constituées de calcaires et de schistes. La zone "Massif de Philippeville" n'occupant qu'une petite partie de la carte, ce sont les formations du Dévonien supérieur qui dominent largement.

Les structures affectant les sédiments de la carte 57/3-4 sont le résultat de l'orogénèse varisque (ou hercynienne). Cette dernière a entraîné le plissement en synclinoria et anticlinoria et le faillage des couches. La planche de Froidchapelle - Senzeille, située sur la bordure sud du Synclinorium de Dinant, appartient à l'allochtone ardennais charrié par le jeu de la Faille du Midi vers le nord.

Le **Tableau III.1** reprend l'ensemble des formations géologiques qui affleure dans la zone cartographiée.



ERE	SYSTEME	SERIE	ETAGE	Formation et Membre		Lithologie (description carte géologique 1999)		Abréviation de la carte géologique			
					Anticlinal de Roly		Anticlinal de Roly		Anticlinal de Roly		
CENOZOIQUE	QUATERNAIRE	HOLOCENE		Alluvions modernes des vallées		Graviers et sables		AMO			
P A L E O Z O I Q U E	D E V O N I E N	D E V O N I E N  S U P E R I E U R	F A M E N N I E N	Etroeuingt		Grès, siltites et grès argileux.		CE			
				Ciney							
				Souverain-Pré		Grès et siltites avec bancs de calcaire		SVP			
				Esneux		alternance d'argilo-siltites et de grès argileux		ESN	AE	FA	
						schistes et grès calcaireux ou argileux avec lentilles calcaires					
						grès et grès argileux et au sommet grès calcaireux avec minces lentilles calcaires					
			Aye		alternance de siltites argileuses et de grès argileux		AYE				
			Famenne		Shales et schistes à rares intercalations silto-gréseuses		FAM				
			F R A S N I E N	Valisettes	Matagne	Schistes et monticules micritiques (MM)		NV		NM	
				Neuville	Neuville	Calcaires argileux, schistes et monticules micritiques (MM)					
				Philippeville		Calcaires et calcaires dolomités		PHV			
				Pont de la Folle	Machenées		Schistes		FOL	MAC	
		Fontaine Samart			Calcaires		FSA				
		Nismes		Schistes		NIS					
				Calcaires argileux							
Fromelennes		Calcaires et schistes		FRO							
Mont d'Haus		Calcaires		MHR							
		D E V O N I E N  M O Y E N	G I V E T I E N								

Tableau III.1 : Tableau lithostratigraphique de la région de Froidchapelle - Senzeille 57/3-4.

### III.2.2. Cadre lithostratigraphique

Les formations sont décrites de manière non exhaustive. Seules sont précisées les informations nécessaires à l'hydrogéologie (lithologie et épaisseur) et la situation géographique des formations. Pour de plus amples informations il faudra se reporter aux notices citées plus haut et reprises au chapitre X. **Bibliographie.**

Les formations seront décrites de la plus ancienne à la plus jeune.

#### III.2.2.1. Le Paléozoïque

Le Paléozoïque de la carte de Froidchapelle - Senzeille reprend le Dévonien moyen et supérieur uniquement.

Le Dévonien moyen est constitué des étages Eifelien et Givetien dont seul ce dernier s'observe au NE de la carte, dans la zone du "Massif de Philippeville".

Le Dévonien supérieur est constitué des étages Frasnien et Famennien. Les roches de l'Étage Frasnien affleurent essentiellement dans le quart NE de la carte et plus particulièrement dans la zone du "Massif de Philippeville". Les roches de l'Étage Famennien couvrent tout le reste de la planche 57/3-4. Le Frasnien comporte des roches calcaires et détritiques (schistes/shales) tandis que le Famennien est composé essentiellement de roches détritiques (schistes/shales, siltites, grès).

##### III.2.2.1.1 Etage Givetien

Le Givetien, essentiellement calcaire, est subdivisé en quatre formations : Trois-Fontaines, Terres d'Hours, Mont d'Hours et Fromelennes. Seules ces deux dernières sont observées sur la planche de Froidchapelle - Senzeille.

La **Formation du Mont d'Hours** (MHR) est constituée d'une alternance de calcaires biostromaux massifs et de calcaires fins en bancs décimétriques à métriques. Certains sont dolomitiques. Son épaisseur est d'environ 100 mètres. Cette formation constitue le cœur de l'anticlinal de Senzeille.

La **Formation de Fromelennes** (FRO) est constituée par une base de 7 mètres de schistes nodulaires, suivis d'environ 15 mètres de calcaires argileux dolomitiques, eux-mêmes surmontés par environ 55 mètres de calcaires non argileux. Son épaisseur est d'environ 80 mètres. Cette formation succède à la Formation du Mont d'Hours et jouxte donc le cœur calcaire givetien de l'anticlinal de Senzeille.

##### III.2.2.1.2 Etage Frasnien

L'Étage Frasnien est constitué des formations de Nismes, du Pont de la Folle, de Philippeville, de Neuville, des Valisettes et de Matagne. Le Frasnien rassemble essentiellement des formations à caractère schisteux. La Formation de Philippeville constitue l'unité calcaire principale de cet étage.

Comme sur la planche de Sautour – Surice 58/1-2, les formations du Frasnien présentent des variations latérales de faciès. Sur la carte de Froidchapelle - Senzeille cependant, ces variations de faciès ne concernent que les formations des Valisettes et de Matagne. La première évoluant à la seconde latéralement, du NO vers le SE. Pour de plus amples informations sur ces variations latérales de faciès il faudra consulter la notice de la carte géologique de Sautour – Surice 58/1-2, au 1/25.000 (*Dumoulin, V. et Marion, J.-M., 1997*).

Au vu de la pauvreté des affleurements, ces trois formations ont été cartographiées ensembles : dans le NE on retrouvera le regroupement Neuville-Valisettes (NV) et dans le SE le regroupement Neuville-Matagne (NM).

La description de la Formation de Matagne, absente de la notice de Froidchapelle – Senzeille, provient de la notice de la carte Sautour – Surice 58/1-2 (*Dumoulin, V. et Marion, J.-M., 1997*).

La **Formation de Nismes** (NIS) est constituée par des calcaires argileux à la base et par des schistes dans lesquels s'intercalent, quelques mètres avant le sommet, des calcaires noduleux et des bancs à coraux. Son épaisseur est d'environ 30 à 40 mètres. Cette formation n'est présente que dans l'anticlinal de Senzeille.

La **Formation du Pont de la Folle** (FOL) est constituée par deux membres : le Membre de la Fontaine Samart constitué de calcaires et le Membre des Machénées constitué de schistes. Son épaisseur est d'environ 95 mètres; 30 à 35 mètres pour le Membre de la Fontaine Samart et environ 60 mètres pour le Membre des Machénées. Il faut ajouter que sur la planche de Froidchapelle – Senzeille, ces deux membres ne sont pas toujours d'épaisseur constante et le membre schisteux peut disparaître, presque complètement, ne laissant qu'une formation calcaire. Cette formation n'est présente que dans la zone du "Massif de Philippeville". Le Membre des Machénées apparaît de manière plus importante dans la zone de plis de Villers-Deux-Eglises, localité située au nord de Senzeille.

La **Formation de Philippeville** (PHV) est constituée principalement de calcaires en bancs décimétriques à métriques. Vers la base, on retrouve 7 mètres de calcaires argileux et, à environ 27 mètres de la base, 3 mètres de schistes et de calcaires argilo-dolomitiques. Son épaisseur est d'environ 100 à 120 mètres. Cette formation affleure à différents endroits dans le quart NE de la planche de Froidchapelle - Senzeille. Elle constitue le cœur d'un petit anticlinal au sud-ouest de Soumoy (anticlinal du r<sup>au</sup> de Soumoy), constitue les contreforts de l'anticlinal de Senzeille et de Philippeville, et enfin forme les cœurs des anticlinaux de Cerfontaine et de Sautour.

La **Formation de Neuville** (NEU) est constituée de calcaires argileux et de schistes à nodules de calcaire. Localement, cette formation contient des biohermes<sup>1</sup>; lentilles plus ou

---

<sup>1</sup> appelés aussi mud-mound, monticules micritiques ou récifs de marbre rouge.



moins aplaties de calcaire massif. Ces édifices s'indentent fortement dans les sédiments argilo-calcaires qui les entourent. L'épaisseur de la formation est d'environ 20 mètres. Les biohermes ont une épaisseur pluridécamétrique et un diamètre plurihctométrique.

La **Formation des Valisette** (VAL) est constituée principalement de schistes. Sa base débute par quatre minces bancs de calcaire. Localement des calcaires noduleux et des schistes à nodules de calcaire sont observés. Son épaisseur est d'au moins 100 mètres.

La **Formation de Matagne** (MAT) est constituée de schistes finement feuilletés avec quelques nodules de calcaire et de rares bancs de calcaire. Son épaisseur est de 50 mètres.

Le regroupement Neuville – Valisettes (NV) enferme les anticlinaux de Senzeille, de Sautour et de Philippeville mais également plus au sud dans deux petits anticlinaux.

Au niveau de l'anticlinal de Roly, dans le quart sud-est de la planche 57/3-4, ce sont les formations de Neuville et de Matagne (NM) qui sont regroupées.

#### **III.2.2.1.2.1 Les récifs de marbres rouges**

Les récifs de marbres rouges sont des monticules micritiques qui forment des édifices carbonatés épais de 40 à 80 mètres s'étendant latéralement sur plusieurs centaines de mètres. Ils sont formés essentiellement par une fine boue carbonatée (micrite) consolidée par des organismes récifaux et micro-organismes, eux-mêmes sources de carbonates.

Lorsqu'ils se développent dans la Formation de Neuville, ils ont un relief peu important. A l'inverse, lorsqu'ils se développent dans la Formation des Valisettes, ils ont un relief appréciable et des pentes latérales marquées.

Ces monticules micritiques abondent sur le pourtour de l'anticlinal de Sautour. Quelques-uns sont également observés au SE de Soumoy, à l'ouest de Cerfontaine, au sud et SE de Villers-Deux-Eglises et dans les petits anticlinaux formés des schistes des formations de Neuville - Valisettes et de Neuville – Matagne, dans le quart SE de la planche de Froidchapelle - Senzeille.

#### *III.2.2.1.3 Etage Famennien*

L'Étage Famennien, essentiellement terrigène, est représenté par deux types de lithologie : les schistes et les grès. Cet Étage est constitué des formations de la Famenne, d'Aye, d'Esneux, de Souverain-Pré, de Ciney et d'Étroeungt.

La Formation d'Aye est uniquement visible dans le nord de la carte, au nord de Soumoy. La Formation d'Esneux est uniquement visible dans le nord où elle affleure d'est en ouest. Partout ailleurs ces deux formations sont regroupées.

La **Formation de la Famenne** (FAM) est constituée d'argilo-siltites micacées, interstratifiées de grès en bancs centimétriques à pluricentimétriques avec des lentilles de calcaires. Son

épaisseur est de 140 mètres au maximum. C'est, avec le regroupement Aye-Esneux (AE), la formation la plus répandue sur la planche de Froidchapelle – Senzeille et plus particulièrement dans la moitié SE de la carte.

La **Formation d'Aye** (AYE) est constituée d'une alternance de schistes et de siltites ou de grès hétérogène argileux contenant des nodules et des lentilles de calcaire. Localement des assemblages de bancs de grès micacés (barre sableuse) sont observés, notamment au niveau des barrages de l'Eau d'Heure et de la Plate Taille (nord de la carte) où l'épaisseur de grès peut atteindre 50 mètres. Son épaisseur est de 120 mètres au maximum.

La **Formation d'Esneux** (ESN) est formée de trois membres qui sont :

- Un membre inférieur constitué principalement de grès et de grès argileux, avec au sommet des grès calcaireux et de minces lentilles calcaires passant à des lumachelles ;
- Un membre moyen constitué de schistes et de grès calcaireux ou argileux avec des lentilles calcaires ;
- Un membre supérieur constitué d'une alternance d'argilo-siltites et de grès argileux ou micacés.

Son épaisseur totale est de 250 mètres ; 90 mètres pour le membre inférieur, 30 à 40 mètres pour le membre moyen et 120 mètres pour le membre supérieur.

La **Formation de Souverain-Pré** (SVP) est constituée à la base de schistes calcaireux à nodules de calcaire passant rapidement à des calcaires argileux dans lesquels s'intercalent des grès micacés. On retrouve cette formation essentiellement dans le NW de la carte, à l'ouest, à l'est et au nord du lac de Plate Taille, partout ailleurs, il s'agit de quelques petits affleurements. Son épaisseur est d'environ 120 mètres.

La **Formation de Ciney et d'Etroeungt** (CE) est constituée d'une alternance de grès micacés, de grès argileux, de siltites gréseuses et de siltites fines et argileuses. Cette formation n'occupe qu'une toute petite surface limitée à la bordure nord de la carte, au nord du lac de la Plate Taille. Son épaisseur est d'environ 200 mètres.

### **III.2.2.2. Le Cénozoïque**

Les dépôts quaternaires correspondent aux alluvions modernes des fonds de vallées (AMO), aux dépôts limoneux de couverture et de pente ainsi qu'à des travertins (T).

Seules les alluvions modernes et les travertins sont représentés sur la carte géologique. Les limons de plateaux ne sont pas assez épais que pour être indiqués. Quelques dépôts de travertins sont observés dans la localité de Roly (carte voisine 58/1-2) et ses environs, ainsi qu'au SE de la carte Froidchapelle – Senzeille, plus précisément au NE de l'étang de Prandlage.

### III.3. CADRE STRUCTURAL

Les formations géologiques de la carte de Froidchapelle – Senzeille appartiennent au domaine rhéno-hercynien, zone externe nord des Variscides, et les terrains qui la composent à la "nappe charrié du Condroz". La région a été le cadre d'un raccourcissement N-S lié à l'orogénèse varisque<sup>2</sup>, durant laquelle le bloc allochtone plissé ardennais a été charrié vers le nord par l'intermédiaire de la Faille du Midi ou Eifélienne.

Cet important raccourcissement se mesure aux nombreuses failles de charriage, de rétro-charriage et d'imbrication d'écailles qui prennent naissance à la faveur de décollement dans les niveaux incompetentes. De petites failles transversales à fort pendage déboîtent les structures dans la direction du raccourcissement.

La forte variation de la compétence des différentes lithologies induit une disharmonie importante des plis. La région est caractérisée par la direction SW-NE des axes de plis, bien qu'au méridien de la tour du barrage de la Plate Taille, apparaît une zone de relais de plis où s'opère un changement de direction ; d'ENE-WSW, celle-ci passe en E-W.

Deux unités morphostructurales s'y déclinent : le Massif de Philippeville et la Fagne ([Figure III.2](#), p. 17).

#### III.3.1. Le Massif de Philippeville

Le NE de la carte Froidchapelle - Senzeille est caractérisée par la zone d'envoyage occidentale du Massif de Philippeville. Ce dernier est un dôme anticlinal complexe limité au nord par une faille de chevauchement à pente sud et de rejet plurihectométrique, et au S par une série de failles inverses à vergence sud et pendage peu élevé, résultat d'un rétro-charriage. Habituellement, le Massif de Philippeville est composé de six anticlinaux majeurs, mais seuls trois sont visibles sur la carte, à savoir, les anticlinaux de Philippeville, de Senzeille et de Sautour. Ces plis sont ouverts avec une longueur d'onde plurihectométrique ou fermés avec une longueur d'onde pluridécamétrique suivant la lithologie, respectivement compétente ou non. Ils sont généralement dissymétriques et leur envoyage est d'environ 10° vers l'ouest.

#### III.3.2. La Fagne

La Fagne, qui représente 75% de la carte, peut être subdivisée en deux zones:

1. Une zone dépressionnaire, développée dans la série de dépôts argileux de la partie supérieure du Frasnien (Fm de Neuville et Fm des Valisettes) et de la base du Famennien (Fm de la Famenne) ;

---

<sup>2</sup> Cette orogénèse serait le résultat de la collision entre les continents Gondwanien et la Laurasia.

2. Une zone au relief accidenté, développée dans la série de dépôts argilo-silteux et silto-gréseux du Famennien inférieur (Fm d'Aye et Fm d'Esneux) et supérieur (Fm de Souverain-Pré).

L'importante extension géographique de l'Etage Famennien suggère son intense plissement, voire le passage d'accidents structuraux importants. Cependant, lors de la réalisation de la nouvelle carte géologique (*Dumoulin V. et Marion J.-M., 1999*), les données de terrains ont été insuffisantes que pour en déduire une étude structurale précise. Le levé géologique permet quand même de conclure à la présence de nombreux plis serrés de longueur d'onde décamétrique ou ouverts de longueur d'onde hecto- à plurihectométrique, à vergence sud.

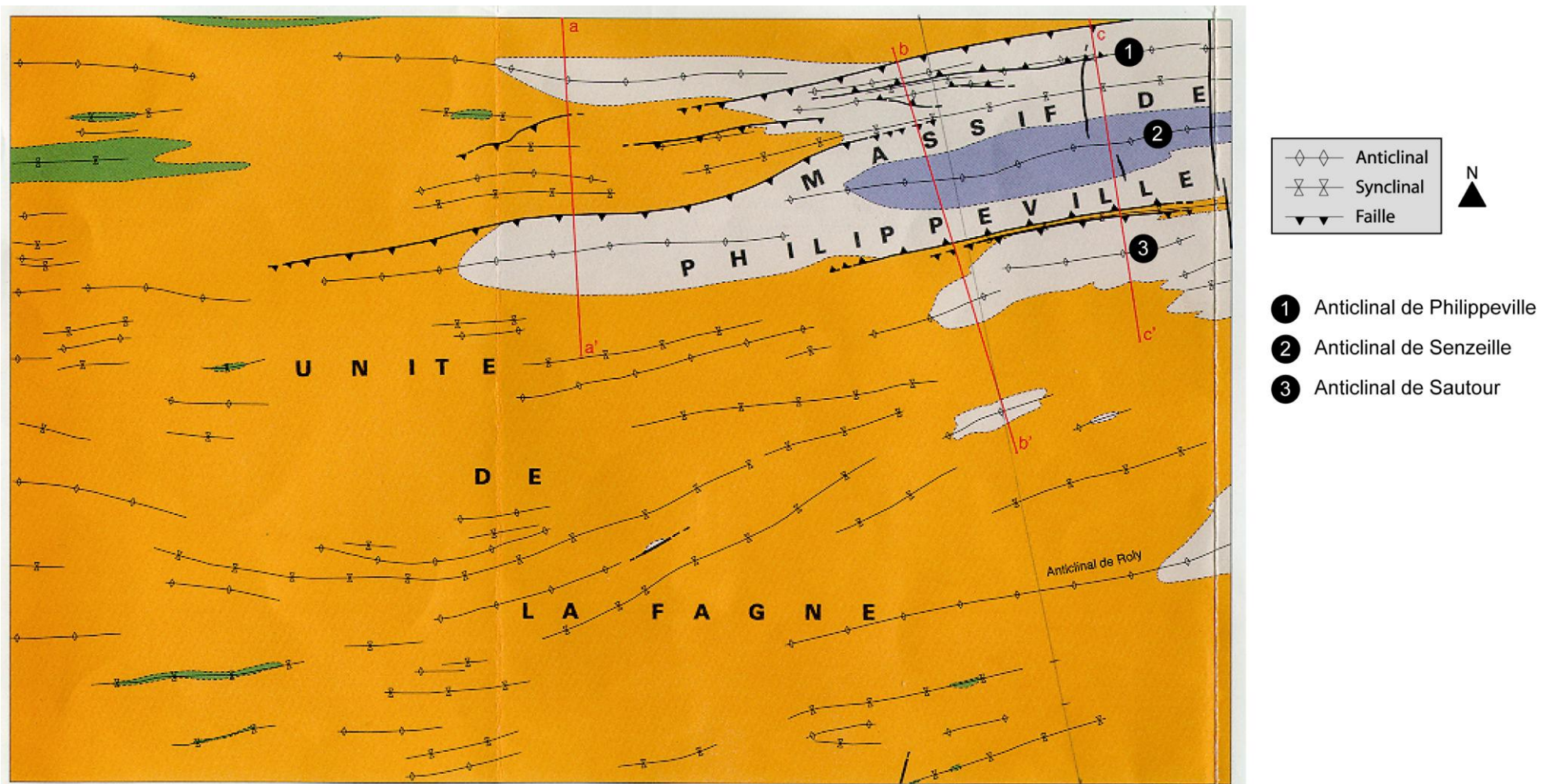


Figure III.2 : Carte structurale simplifiée de la planchette 57/3-4 Froidchapelle - Senzeille (DUMOULIN, V., MARION, J.-M., 1999)

## IV. CADRE HYDROGEOLOGIQUE

### 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 ministère de la Région wallonne.

La Directive cadre sur l'Eau (Directive 2000/60/CE) a introduit le concept de **masse d'eau souterraine**, mieux adaptée 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 suivant des critères non hydrogéologiques. Les critères sont les suivants :

- **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 le captage que 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.

Finalement, 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.

La carte Froidchapelle - Senzeille est concernée par deux masses d'eau (Figure IV.1):

1. RWM022 : Calcaires et grès dévoniens du bassin de la Sambre;
2. RWM023 : Calcaires et grès de la Calestienne et de la Famenne.

# Masses d'eau souterraine

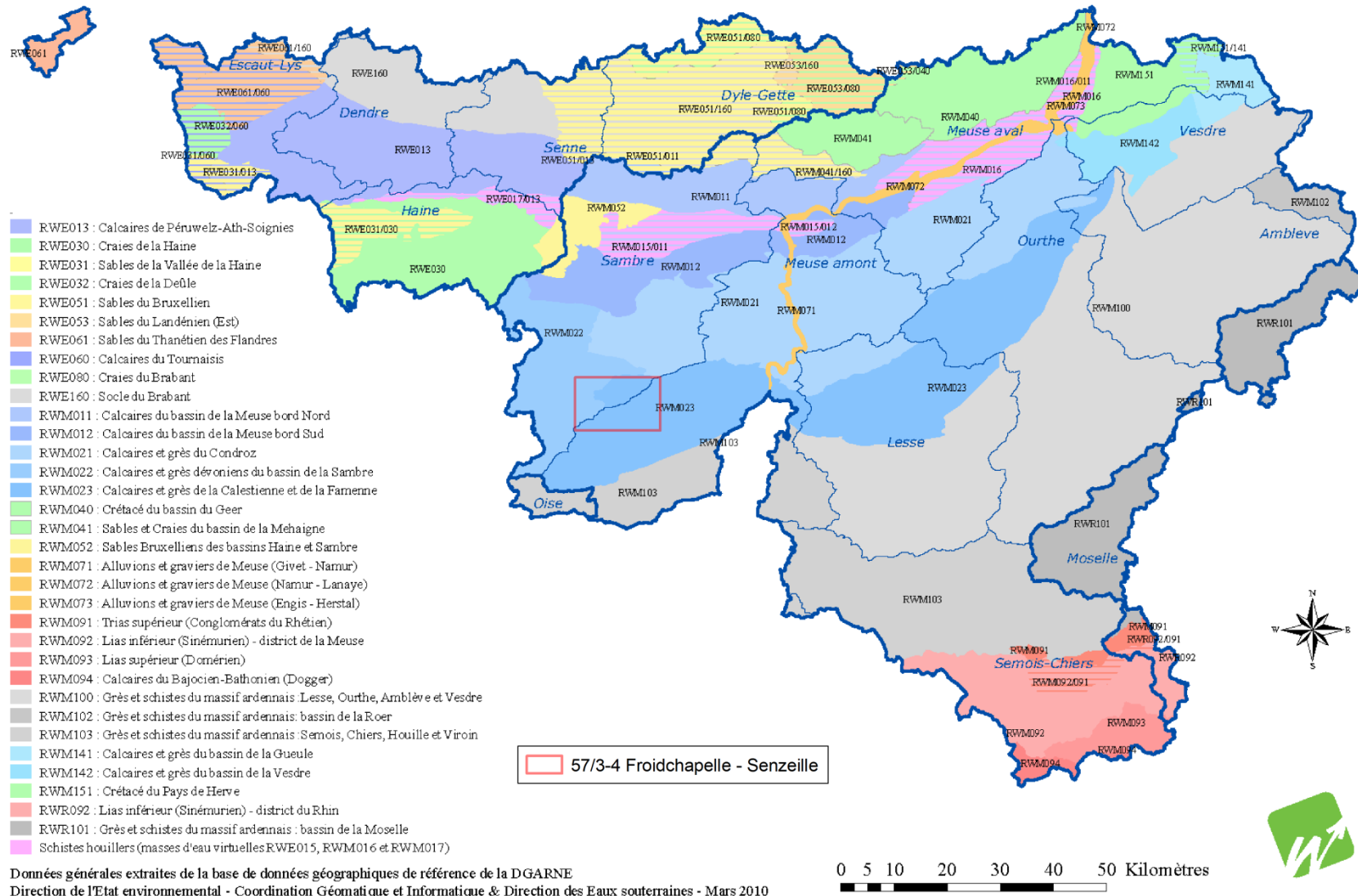


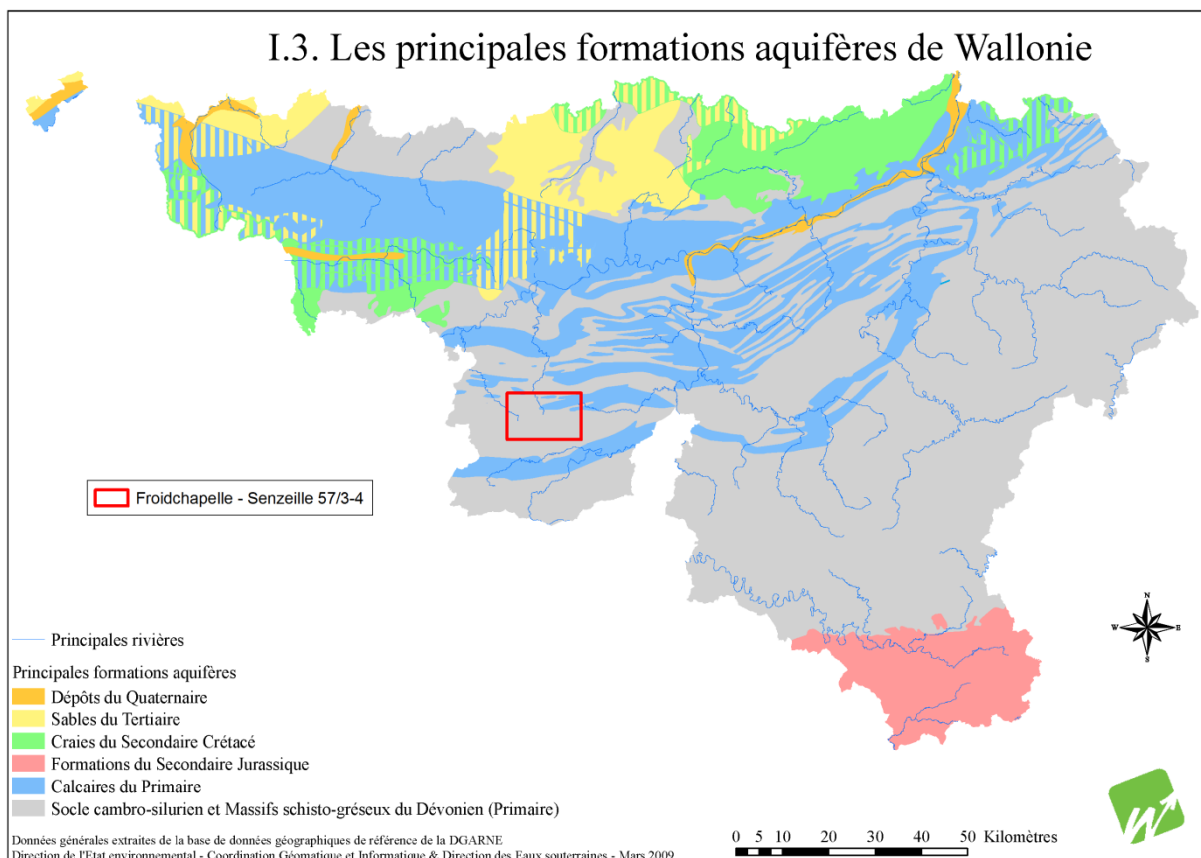
Figure IV.1 : Masses d'eau souterraines en Wallonie (Etat des nappes d'eau, mars 2010, <http://environnement.wallonie.be>).



## IV.2. DESCRIPTION DES UNITÉS HYDROGÉOLOGIQUES

A l'échelle de la Wallonie, la carte Froidchapelle - Senzeille se situe à cheval sur deux formations aquifères principales (Figure IV.2) :

- les calcaires du Primaires ;
- les massifs schisto-gréseux du Dévonien (Primaire).



**Figure IV.2 : Les principales formations aquifères de Wallonie (Référence, modifié) et localisation de la planchette Froidchapelle - Senzeille.**

Les **Calcaires du Primaire** regroupent les calcaires du Carbonifère et du Dévonien du bord nord et sud du Synclinorium de Namur, du Synclinorium de Dinant et de la Nappe de la Vesdre (Figure III.1, p. 8). Les calcaires carbonifères du Synclinorium de Namur s'étendent depuis la région de Lille jusque Namur, puis se prolonge vers Visé en suivant la Meuse. Ces calcaires renferment l'aquifère le plus important en Région wallonne, il se prolonge en Flandre et en France.

Les **Massifs schisto-gréseux du Dévonien** rassemblent les formations schisto-gréseuses de l'Ardenne, des synclinoria de Namur et de Dinant et de la Nappe de la Vesdre (Figure III.1, p. 8). Ces formations sont principalement constituées de schistes, phyllades, grès, quartzophyllades et quartzites fissurés. Cet ensemble aquifère constitue la nappe principale en Ardenne mais est nettement moins étendu dans les synclinoria de Namur, de Dinant et

dans la nappe de la Vesdre. (Figure IV.2). Bien qu'étendu, et en comparaison de la nappe des **Calcaires du Primaire**, il possède une faible capacité et peut même s'assécher par endroit en été. La nappe est contenue dans les zones superficielles, fissurées et altérées, et sont généralement captées par drains et par galeries. Cet aquifère reste malgré tout une ressource précieuse pour les régions isolées de l'Ardenne.

Au niveau de la planchette, toutes les formations lithologiques qui couvrent la région de Froidchapelle - Senzeille sont potentiellement porteuses de réserves en eaux souterraines. Leurs productivités sont cependant fortement conditionnées par le type de roche et les structures qui affectent ces formations. C'est pourquoi ces dernières sont regroupées ou subdivisées en unités hydrogéologiques. Chacune est caractérisée par un comportement hydrodynamique qui lui est propre.

Trois termes sont utilisés pour qualifier le caractère plus ou moins perméable des roches en hydrogéologie (*Elsevier, 1990, UNESCO, 1992*) :

- **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 ;
- **Aquiclude** : formation à caractère imperméable dans laquelle on ne peut extraire des quantités d'eau économiquement appréciables.

Ces définitions assez subjectives sont à manipuler avec précautions. Elles permettent néanmoins 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 sur la description lithologique et pétrographique de ces unités.

Les unités hydrogéologiques définies pour la carte de Froidchapelle - Senzeille 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.1** ainsi que dans le tableau lithostratigraphique du document cartographique qui accompagne cette notice.

ERE	SYSTEME	SERIE	ETAGE	Formation et Membre		Lithologie (description carte géologique 1999)		Abréviation de la carte géologique			Caractéristiques hydrogéologiques									
					Anticlinal de Roly		Anticlinal de Roly		Anticlinal de Roly			Anticlinal de Roly								
PALEOZOIQUE	DEVONNIEN	HOLOCENE		Alluvions modernes des vallées		Sables et graviers		AMO			Aquifère alluvial localement aquifère									
			FAMENNIEU	Etroeungt		Grès, siltites et grès argileux		CE			Aquitard du Famennien									
		Ciney																		
		Souverain-Pré		Grès et siltites avec bancs de calcaire		SVP			Aquitard du Famennien											
		Esneux		Alternance d'argilo-siltites et de grès argileux		ESN	AE	FA	Aquitard du Famennien à niveaux aquifères et aquicludes		Aquitard du Famennien à niveaux aquicludes et aquifères?	Aquitard du Famennien à niveaux aquicludes et aquifères?								
				Schistes et grès calcaireux ou argileux avec lentilles calcaires																
				Grès et grès argileux et au sommet grès calcaireux avec minces lentilles calcaires																
		Aye		Alternance de siltites argileuses et de grès argileux		AYE			Aquitard du Famennien											
		Famenne		Shales et schistes à rares intercalations silto-gréseuses		FAM			Aquiclude du Famennien											
		FRASNIEU	Valisettes		Matagne		Schistes et monticules micritiques (MM)		Schistes à rares bancs de calcaires vers la base		NV	MM	NM	MM	Aquiclude du Frasnien à niveaux aquifères		Aquifère localisé	Aquiclude à niveaux aquifères		Aquifère localisé
			Neuville		Neuville		Calcaires argileux, schistes et monticules micritiques (MM)		Calcaires argileux, schistes et monticules micritiques (MM)											
			Philippeville				Calcaires et calcaires dolomités				PHV			Aquifère des calcaires du Frasnien						
			Pont de la Folle		Machenées		Schistes				FOL		MAC		Aquiclude du Frasnien					
					Fontaine Samart		Calcaires						FSA		Aquifère des calcaires du Frasnien					
			Nismes		Schistes				NIS			Aquiclude du Frasnien à niveaux aquifères								
			Fromelennes		Calcaires argileux				FRO			Aquifère des calcaires du Givetien à aquiclude à la base								
		Mont d'Hairs		Calcaires et schistes (à la base)				MHR			Aquifère des calcaires du Givetien									
				DEVONNIEN SUPÉRIEUR	GIVETIEN															
				DEVONNIEN MOYEN																

Tableau IV.1: Tableau lithostratigraphique et unités hydrogéologiques de la région de Froidchapelle - Senzeille.

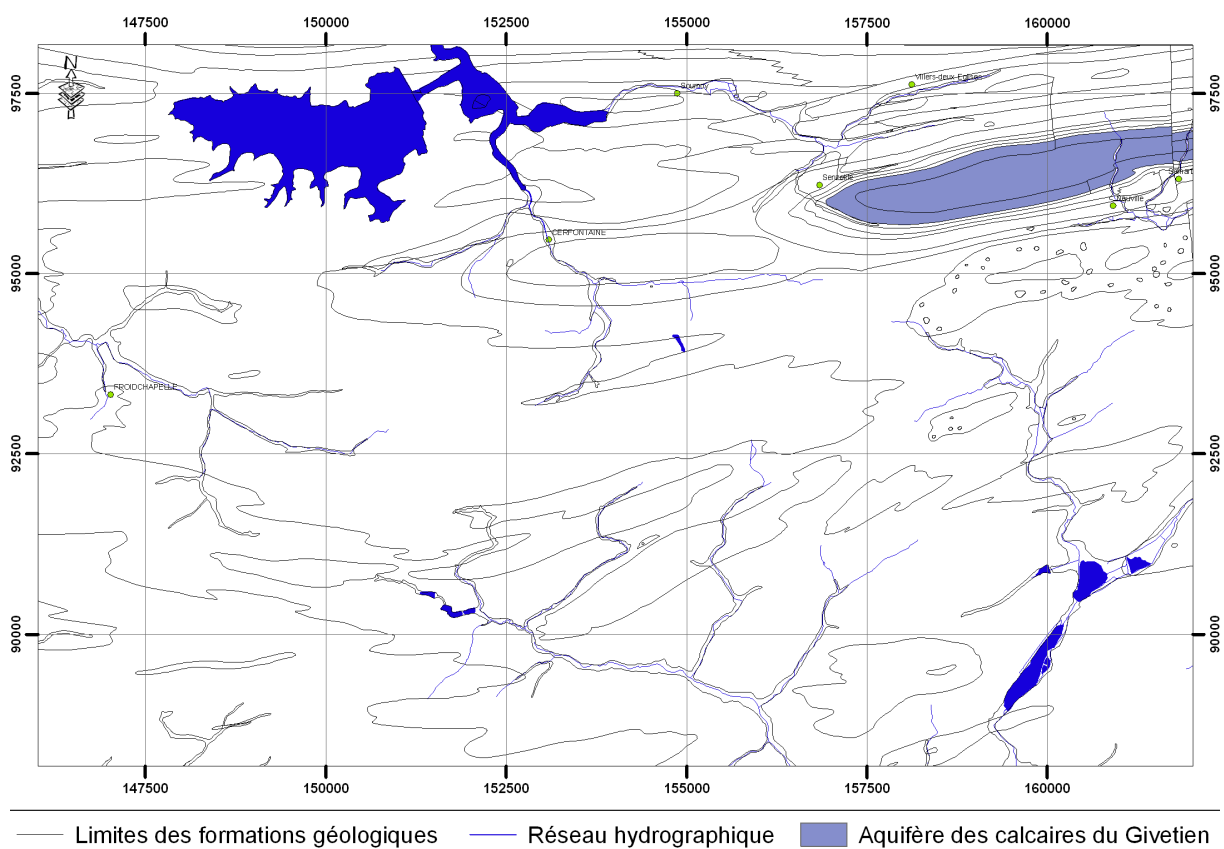
## IV.2.1. Unités hydrogéologiques du Paléozoïque

### IV.2.1.1. Aquifère des calcaires du Givetien (MHR, FRO)

Cet aquifère est constitué des formations du Mont d'Hauris et de Fromelennes. La première est entièrement calcaire, la seconde est composée majoritairement de calcaires, à l'exception de 15 mètres de schistes à sa base. La stratification et la fracturation sont autant de lieux où la dissolution est à l'œuvre, donnant lieu à une plus ou moins forte karstification des calcaires et permettant une excellente circulation des eaux souterraines. Les schistes de la Formation de Fromelennes peuvent créer une compartimentation de l'aquifère et constitue un petit aquiclude au sein de celui-ci.

Cette unité constitue le cœur de l'anticlinal de Senzeille au sein du Massif de Philippeville (Figure IV.3).

Son épaisseur est d'environ 180 mètres.



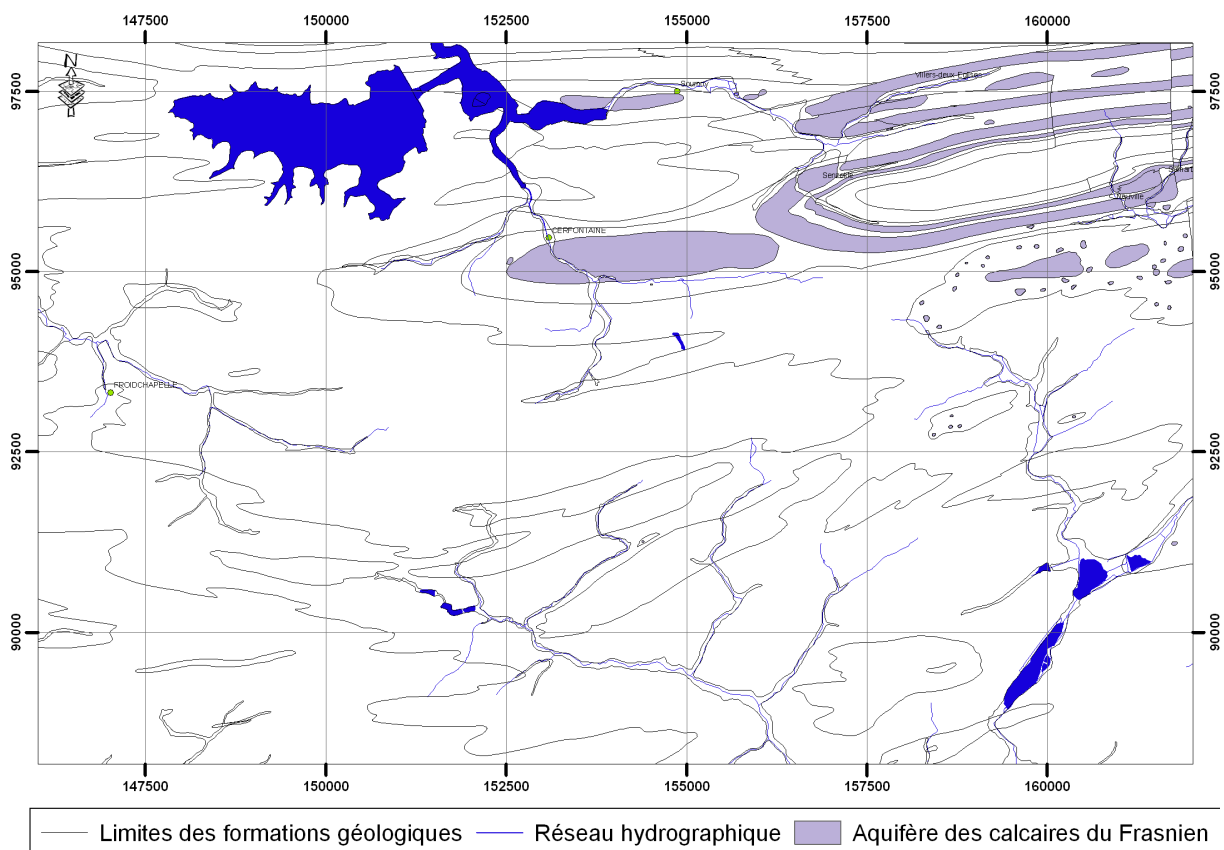
**Figure IV.3 : Localisation de l'Aquifère des calcaires du Givetien sur la carte Froidchapelle - Senzeille.**

**IV.2.1.2. Aquifère des calcaires du Frasniens (FSA, PHV)**

Cet aquifère rassemble la Formation de Philippeville et le Membre de la Fontaine Samart appartenant à la Formation du Pont de la Folle. La Formation de Philippeville est constituée de calcaires, de calcaires argileux, de calcaires argilo-dolomitiques et de 3 mètres de schistes situés à environ 27 mètres de la base de la formation. Le Membre de la Fontaine Samart est constitué de calcaires. De la même façon que pour les calcaires givetiens, la stratification et la fracturation sont autant de lieux où la dissolution est à l'œuvre, donnant lieu à une plus ou moins forte karstification des calcaires et permettant une excellente circulation des eaux souterraines. Les schistes de la Formation de Philippeville, peu épais, doivent constituer une légère discontinuité dans la circulation des eaux souterraines mais sans vraiment compartimenter l'aquifère.

Cette unité constitue le cœur des anticlinaux de Cerfontaine et de Sautour, et les contreforts des anticlinaux de Philippeville et de Sautour, au sein du Massif de Philippeville (Figure IV.4).

Son épaisseur cumulée est de 130 à 155 mètres.



**Figure IV.4 : Localisation de l'Aquifère des calcaires du Frasnien sur la carte Froidchapelle - Senzeille.**

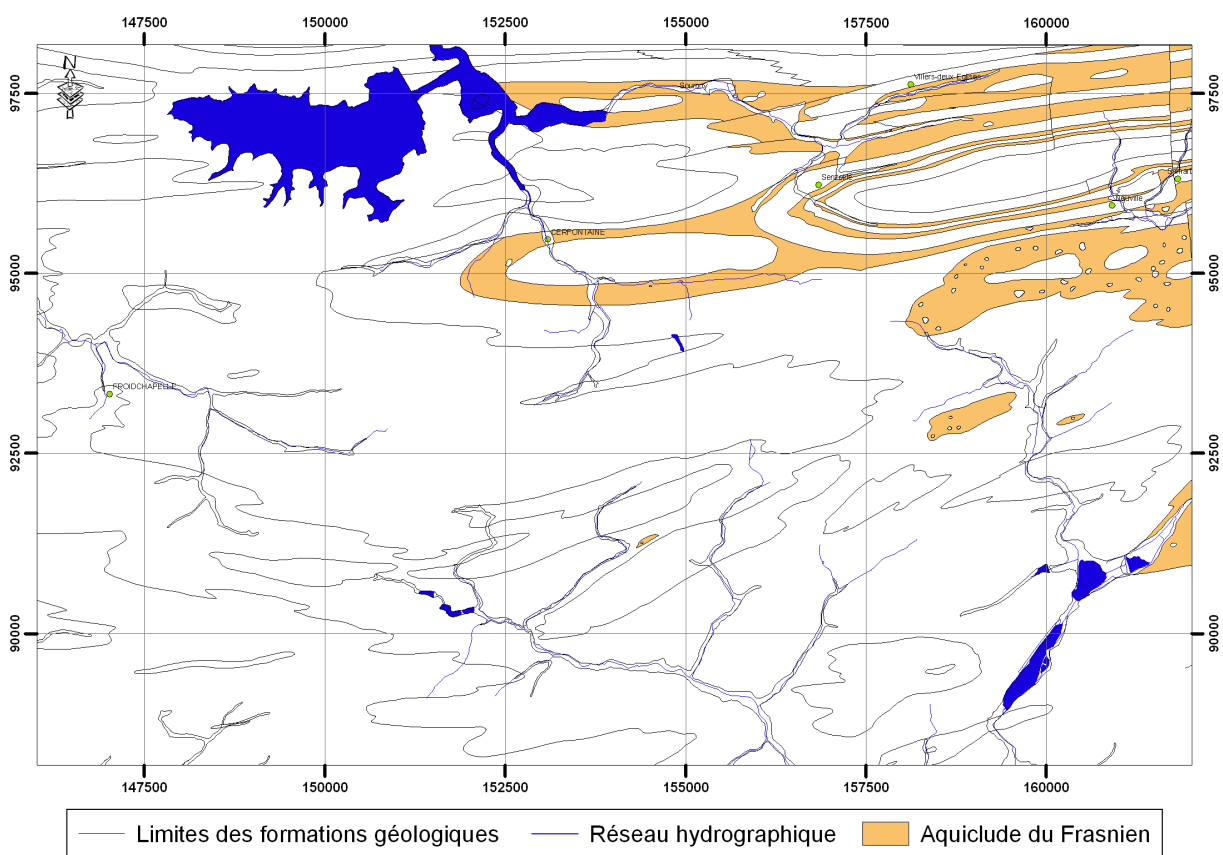
**IV.2.1.3. Aquiclude du Frasnien (NIS, MAC, NV, NM)**

Cet aquiclude regroupe la Formation de Nismes, le Membre des Machénées appartenant à la Formation du Pont de la Folle et les formations de Neuville, des Valisettes et de Matagne. L'ensemble de ces formations et de ce membre présente une lithologie largement dominée par les schistes. Les quelques minces bancs de calcaire de la Formation de Matagne constituent des niveaux aquifères anecdotiques au sein des schistes et les rares niveaux de calcaires argileux de la Formation de Neuville ne doivent pas entraîner de modifications notables dans la circulation des eaux souterraines.

Au sein des formations des Valisettes et de Neuville on retrouve les monticules micritiques, calcaires, qui sont autant de petits aquifères au sein de l'Aquiclude du Frasnien. Cependant le volume restreint de ces monticules et leur recharge très faible, lié à l'encaissant schisteux, ne permet pas conférer un caractère plus aquifère à ces formations.

Cette unité enserme les anticlinaux de Philippeville, de Senzeille et de Sautour. On la retrouve également au sud du Massif de Philippeville dans deux petits anticlinaux et au niveau de l'ennoyage de l'anticlinal de Roly, dans le quart SE de la planche (Figure IV.5).

Son épaisseur cumulée est de 210 à 220 mètres.



**Figure IV.5 : Localisation de l'Aquiclude du Frasnien sur la carte Froidchapelle - Senzeille.**

#### IV.2.1.4. Aquiclude du Famennien (FAM)

Cet aquiclude reprend uniquement la Formation de la Famenne. La lithologie de cette dernière est constituée uniquement d'argilo-siltites, roches imperméables.

Cette unité se retrouve partout dans les zones en dépression de la Fagne, et plus particulièrement dans le quart SE de la carte (Figure IV.6).

Son épaisseur est de 140 mètres au maximum.

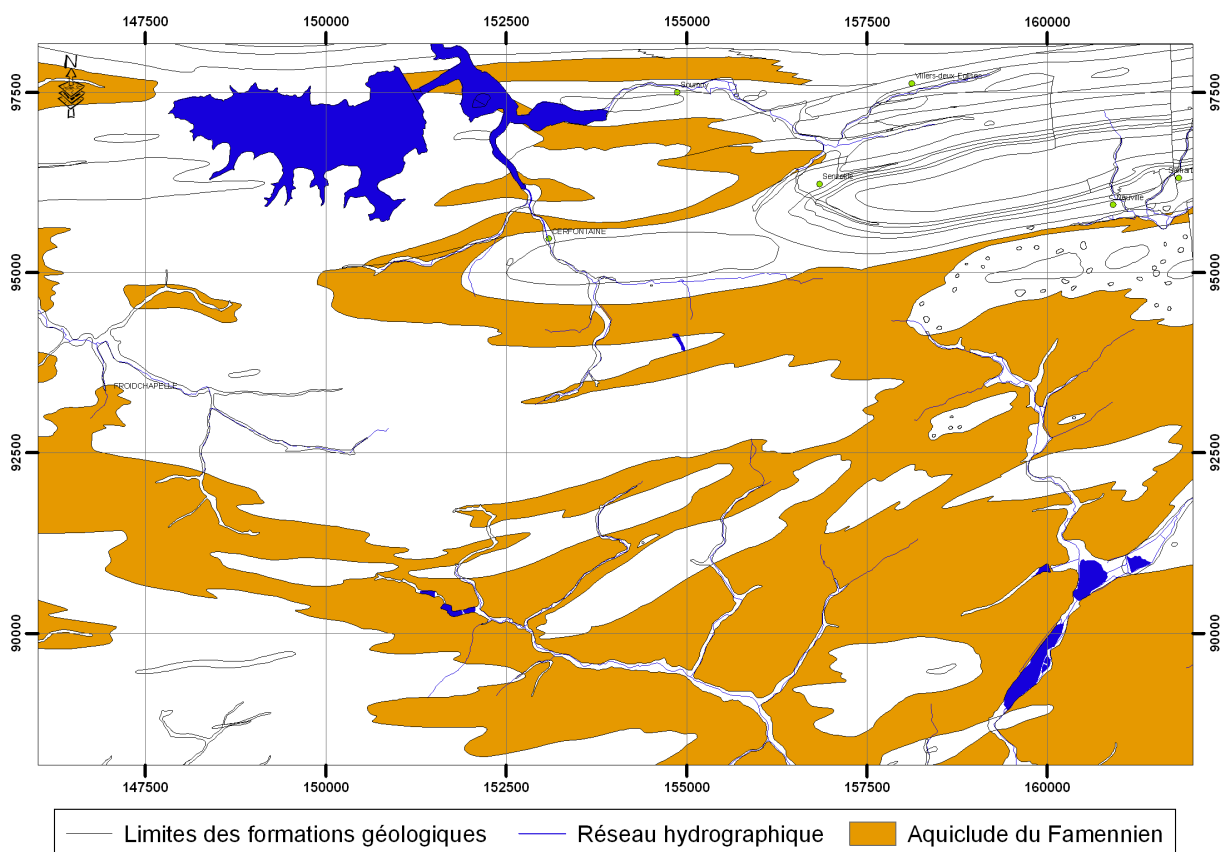


Figure IV.6 : Localisation de l'Aquiclude du Famennien sur la carte Froidchapelle - Senzeille.

#### IV.2.1.5. Aquitard du Famennien (FAM, AYE, ESN, SVP, CE)

Au vu des regroupements opérés sur la carte de Froidchapelle - Senzeille, à savoir AE (formations d'Aye et d'Esneux) et FA (AE + Formation de la Famenne), l'Aquitard du Famennien regroupe les formations de la Famenne, d'Aye, d'Esneux, de Souverain-Pré et de Ciney-Etroeungt (Figure IV.7).

Mis à part la Formation de la Famenne, constituée d'argilo-siltites, les autres formations sont constituées par une alternance de grès, de grès argileux ou calcaireux, de siltites avec quelques rares bancs de calcaire. Les schistes constituent des niveaux aquicludes, tandis que les calcaires et les grès donnent des niveaux aquifères. Cette succession de roches, soit perméables soit imperméables, donne une unité aux caractéristiques moyennes, qualifiée d'aquitard. Bien sûr, la base de cet aquitard, formé par la Formation de la Famenne, sera plus proche de l'aquiclude, puisque cette dernière est composée uniquement de shales. De même on peut s'attendre à une productivité plus grande lorsque les puits seront implantés dans les niveaux supérieurs de cette unité, dans les formations d'Aye et d'Esneux, comportant des barres gréseuses plus ou moins importantes et où la circulation des eaux souterraines à travers le réseau de fissures est plus aisée.

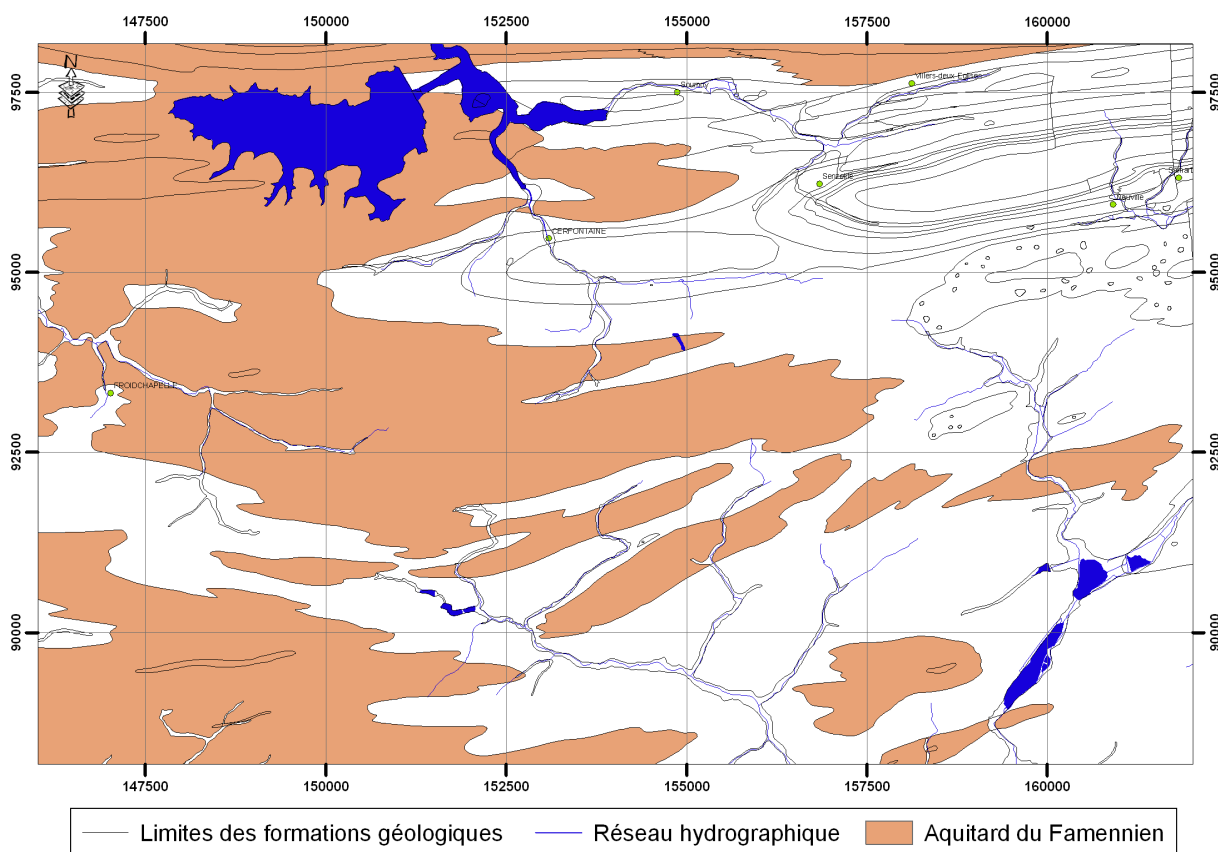


Figure IV.7 : Localisation de l'Aquitard du Famennien sur la carte Froidchapelle - Senzeille.



### IV.2.2. Unités hydrogéologiques du Cénozoïque

Les unités hydrogéologiques post-paléozoïques sont représentées par les alluvions modernes (Figure IV.8). Les lithologies meubles qui les constituent comprennent des limons, des sables et des graviers à galets. Leur conductivité hydraulique est fonction de la granulométrie, les zones sablo-graveleuses étant plus perméables que les zones limoneuses ou argileuses. Les formations post-paléozoïques sont considérées, d'un point de vue hydrogéologique, comme localement aquifères.

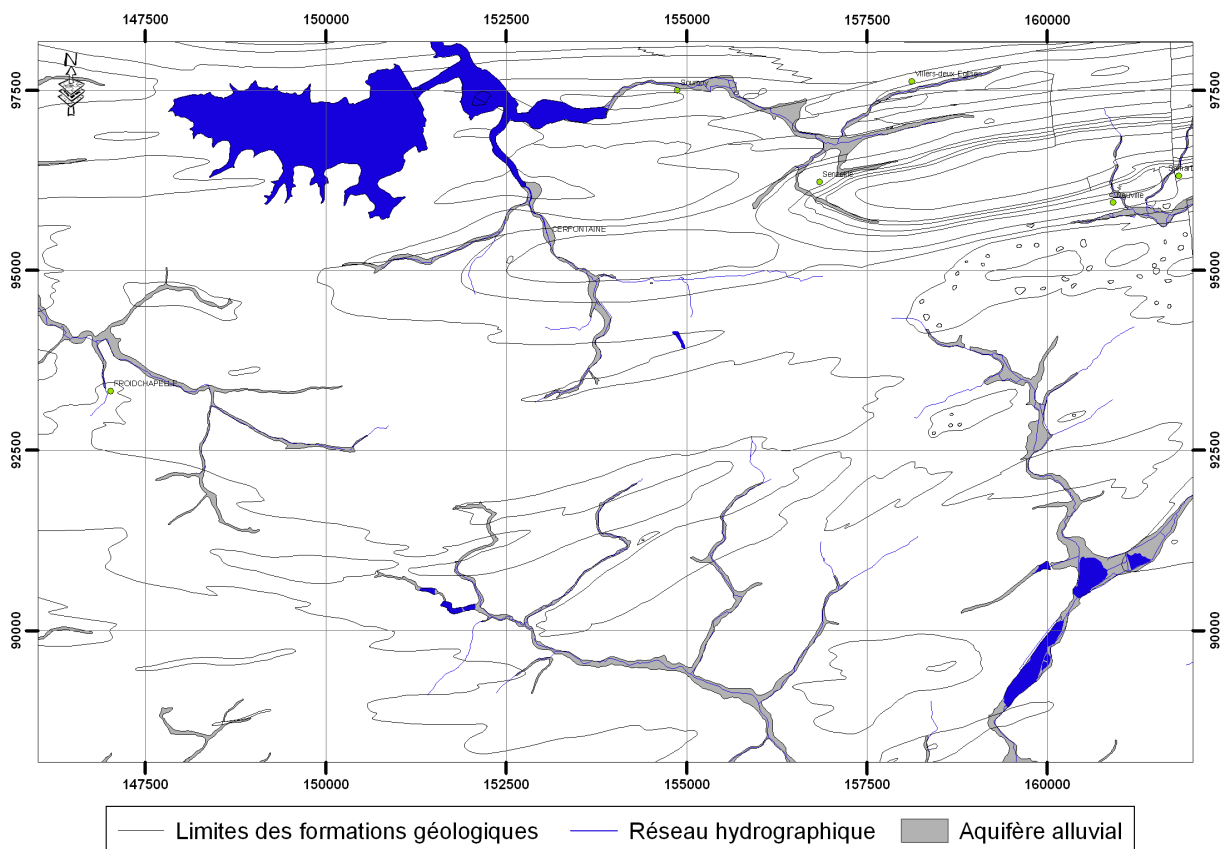


Figure IV.8 : Localisation de l'Aquifère alluvial sur la carte Froidchapelle - Senzeille.

## IV.3. PHÉNOMÈNES KARSTIQUES

### IV.3.1. Avant-propos

Les calcaires dévoniens de la carte Froidchapelle - Senzeille 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 et la forte solubilité des carbonates (*Quinif, 1999 ; Quinif et al., 2001*) qui les constituent permettent la formation de réseaux de pertes, dolines et de cavités souterraines au développement parfois plurikilométrique.

Les massifs calcaires affectés par ces phénomènes karstiques présentent généralement des porosités et perméabilités de fissure assez élevées qui permettraient d'y exploiter d'énormes volumes d'eau en vue, par exemple, d'une distribution publique. Néanmoins, ces aquifères sont d'une grande vulnérabilité face aux pollutions, que l'origine de ces dernières soit locale ou diffuse. En effet, malgré le rôle de filtre joué par la mince couverture quaternaire, des eaux contaminées en surface sont susceptibles d'atteindre très rapidement la nappe en empruntant les réseaux karstiques dont les pertes constituent les principaux points d'alimentation.

Les données qui suivent sont issues de l'Atlas du Karst Wallon (AKWA) qui constitue l'inventaire cartographique le plus récent des sites karstiques et des rivières souterraines de Wallonie (*De Broyer et al., 2002*).

### IV.3.2. Systèmes karstiques de la région de Froidchapelle - Senzeille

Les phénomènes karstiques de la planche Froidchapelle - Senzeille se résument à trois pertes et une résurgence. Ils sont tous localisés dans la Formation de Philippeville (*Figure IV.9*), composée de calcaires frasniens et se situent dans la partie nord de la carte à Cerfontaine et à Senzeille.

#### IV.3.2.1. Cerfontaine

Le système karstique de Cerfontaine se compose de deux pertes situées sur le r<sup>au</sup> du Rowelet, affluent de l'Eau d'Heure, d'une résurgence et d'une grotte située sur l'Eau d'Heure (*Figure IV.9*).

Les deux pertes du r<sup>au</sup> de Rowelet, *perte du Cimetière* (site AKWA n°57/3-4) et plus en aval le *Chantoir du Rowelet* (site AKWA n°57/3-2) seraient en relation avec la *source du Four à Chaux* (site AKWA n°57/3-6), résurgence située sur la rive droite de l'Eau d'Heure en amont de la confluence avec le r<sup>au</sup> de Rowelet. Plus en amont de la *source du Four à Chaux*, toujours sur la rive droite de l'Eau d'Heure, se situe une cavité, dite *Trou de la Faille* (site AKWA n°57/3-7), formée d'un réseau de galeries en quadrillage et laissant voir la nappe d'eau des calcaires frasniens.

### IV.3.2.2. Les Montias

Le système karstique du lieu-dit "les Montias" se compose d'une perte dite *Adugeoir de Montias* (site AKWA n°57/4-1) absorbant les eaux de crues d'un petit ruisseau non permanent, prenant son départ au lieu dit "Les Montias" (Figure IV.9).

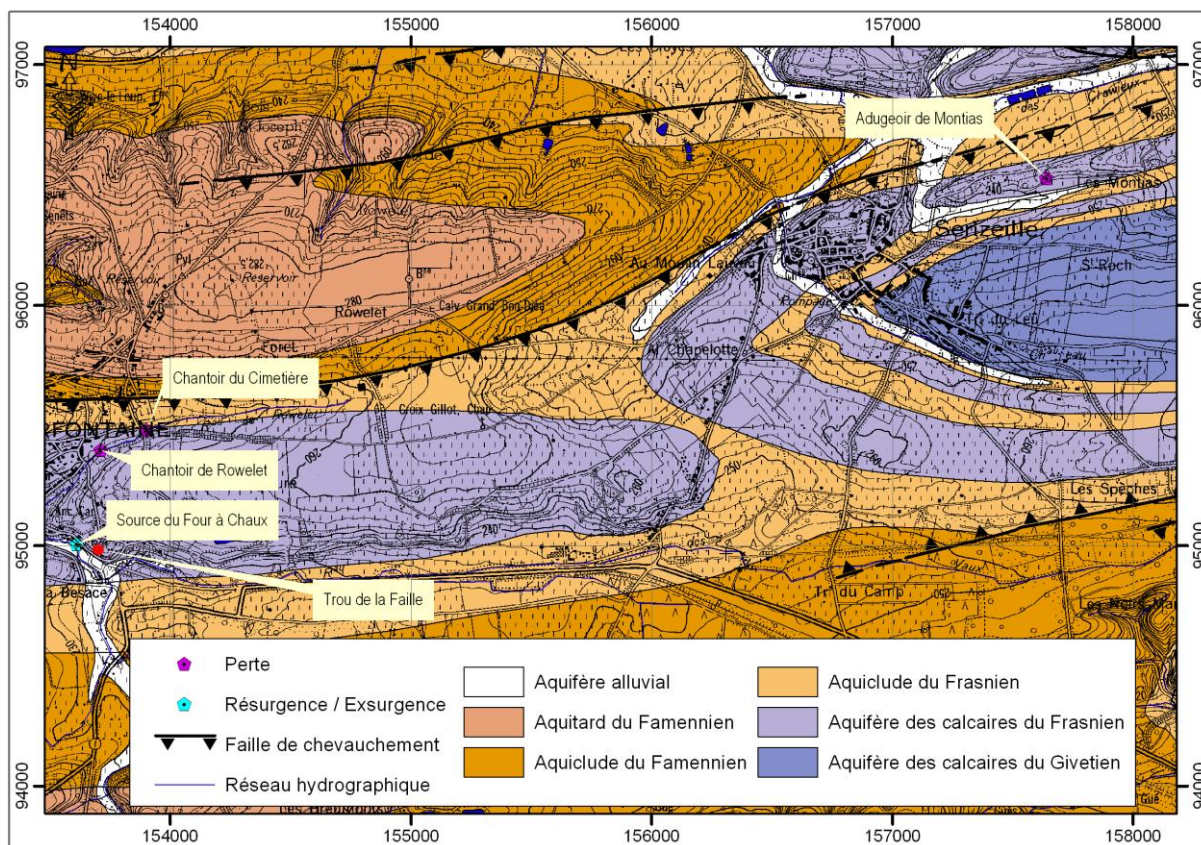
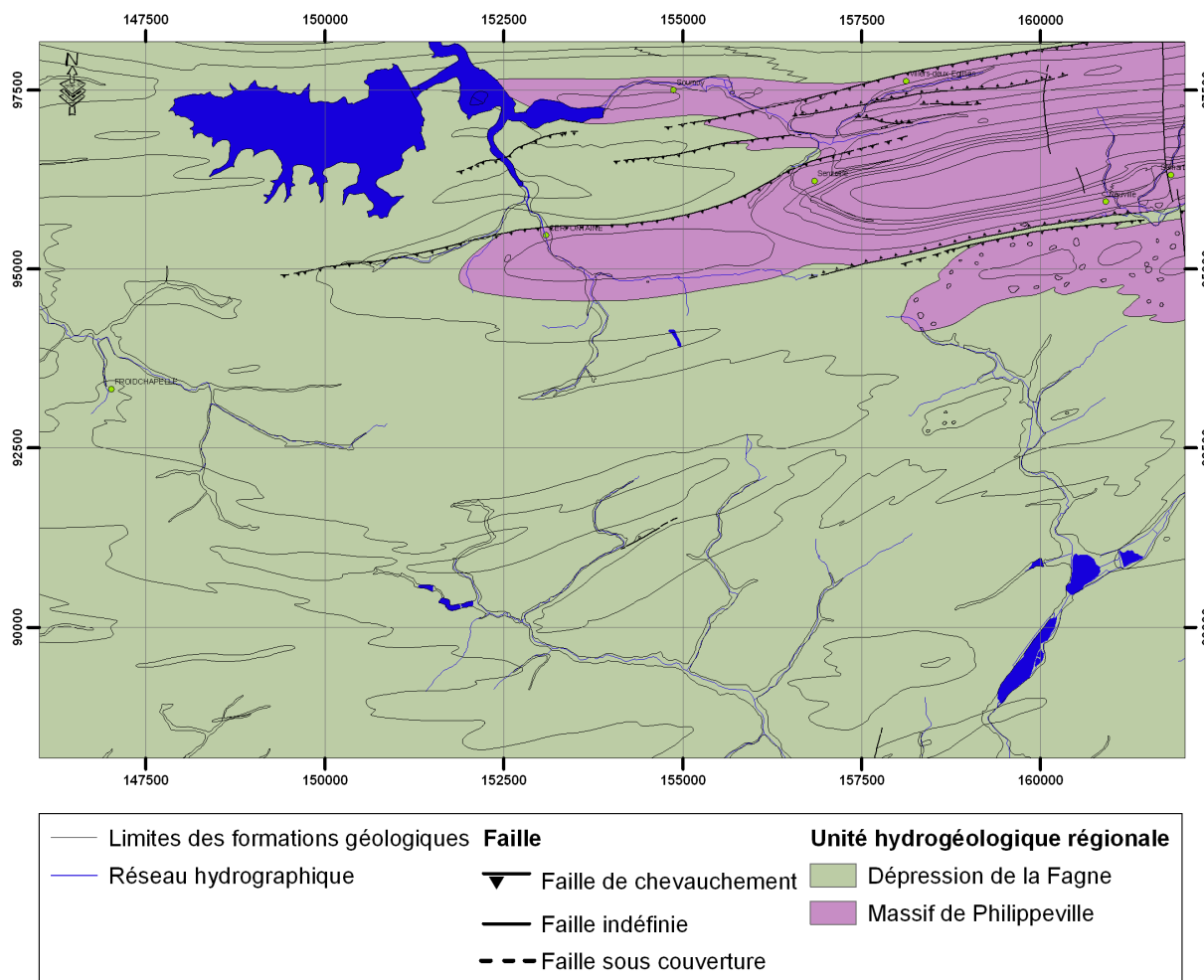


Figure IV.9 : Localisation des phénomènes karstiques de la carte de Froidchapelle - Senzeille.

### IV.4. HYDROGÉOLOGIE RÉGIONALE

Du point de vue hydrogéologique, la région couverte par la carte de Froidchapelle - Senzeille peut être subdivisée en deux parties, représentées sur la **Figure IV.10** :

- la zone NE de la planche composée par la terminaison occidentale du Massif de Philippeville ;
- La moitié sud et le quart NW de la planche composée par la dépression de la Fagne.



**Figure IV.10 : Unités hydrogéologiques régionales de la carte Froidchapelle - Senzeille.**

#### IV.4.1. Le bilan 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" et qui 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 s'étalant souvent de novembre à octobre ; octobre étant, selon l'année, le mois de la fin de l'été.

Le calcul du bilan hydrogéologique, simples opérations comptables, 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, contenue dans le sol, 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, la RFU est souvent trop faible par rapport à l'ETP. L'ETR est alors plus faible que l'ETP.

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 ne tient donc pas compte de la recharge de la RFU. En conséquence, la recharge des nappes aquifères se fait uniquement 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.

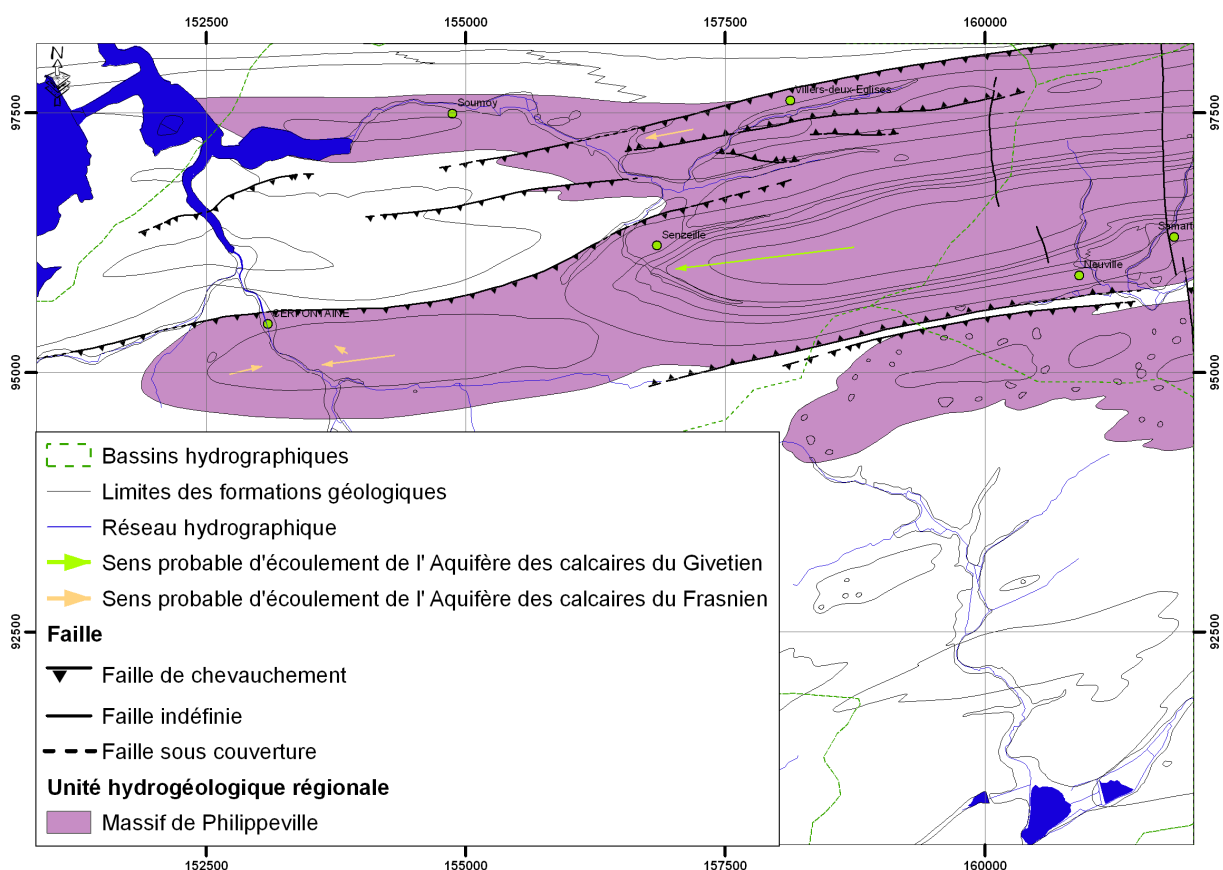
Pour comprendre les fluctuations des niveaux piézométriques, il est donc nécessaire de calculer la quantité d'EU. La méthode de Thornthwaite (*Thornthwaite et Matter, 1955*) permet de calculer la quantité d'EU pour une région définie, à partir de paramètres météorologiques comme les précipitations et la température.

## **IV.4.2. Évolution piézométrique des différentes unités hydrogéologiques**

### ***IV.4.2.1. Le Massif de Philippeville***

La première unité hydrogéologique régionale - le Massif de Philippeville - est formée d'un dôme anticlinal complexe, constitué en grande majorité d'unités calcaires d'âge givetien et frasnien entre lesquelles viennent s'intercaler des niveaux schisteux d'âge frasnien. Les calcaires, de forte conductivité hydraulique, ne présentent pas de perméabilité de pores mais

une grande perméabilité de fissures qui varie d'un endroit à l'autre suivant les phénomènes de fracturation puis de dissolution (karstification) dont ils ont fait l'objet. Cette zone présente des failles de chevauchement, mais ces dernières ne doivent pas être considérées comme des zones de circulation préférentielle pour l'eau. En effet, ces failles se sont installées à la faveur des niveaux plus ductiles constitués par les unités schisteuses dont l'altération physico-chimique donnera de l'argile, rendant ces failles improductives. En certains endroits seulement, lorsqu'elles traversent les calcaires, ces failles seront de bons drains. Les niveaux schisteux, de très faible conductivité hydraulique, constituent des barrières imperméables entre les horizons calcaires, limitant ainsi le transfert d'eau entre les aquifères calcaires et favorisant un écoulement parallèle à la direction des bancs vers les exutoires (Figure IV.11). Localement, ces niveaux schisteux, présents aux toits et aux murs des unités calcaires, peuvent leur conférer un caractère captif. Quelques failles de type indéterminé, transverses aux structures, peuvent servir de drains plus ou moins efficaces entre les niveaux aquifères si le jeu des failles les mettent en contact.



**Figure IV.11 : Sens d'écoulement probable des eaux souterraines dans les niveaux aquifères du Massif de Philippeville.**

Le réseau hydrographique du Massif de Philippeville est peu développé et des vallées sèches se rencontrent couramment, témoignant du caractère perméable de cette zone.

L'EU n'a pu être calculée pour l'année 2005 car nous ne disposons malheureusement pas des données *précipitations-températures* de l'IRM pour cette année. A titre d'exemple, à partir des données moyennes mensuelles des précipitations et températures de l'IRM, les

valeurs d'eau utile et d'évapotranspiration ont été calculées pour la station météorologique de Soumoy pour les années 2003 et 2004.

En 2004 (Figure IV.12), de l'eau utile était disponible de janvier à avril et en décembre avec un très net maximum en janvier. De mai à novembre, les précipitations n'ont pu être utiles à la recharge des nappes du fait d'une évapotranspiration croissante et à la recharge de la RFU (Réserve Facilement Utilisable), cela malgré des précipitations supérieures à l'évapotranspiration en juillet et août.

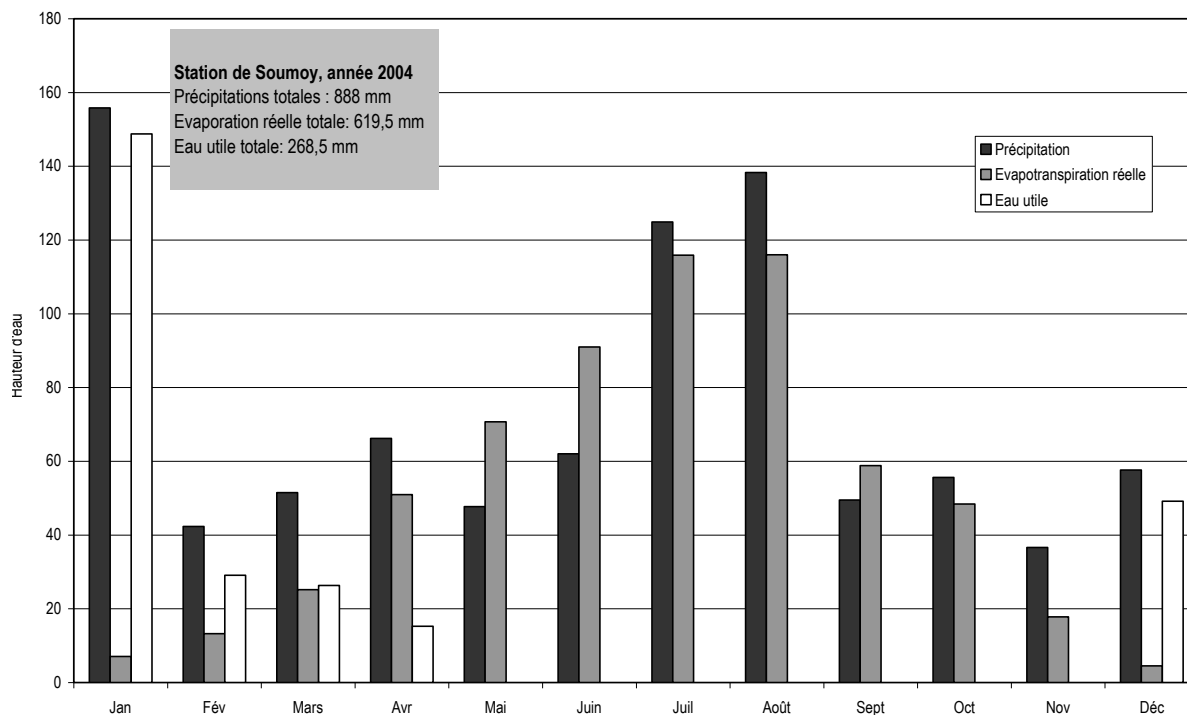


Figure IV.12 : Calcul de l'eau utile pour l'année 2004, station météorologique Soumoy.

L'année 2003 (Figure IV.13), fut une année très sèche et un faible volume de précipitations fut disponible pour la recharge des nappes. Sur l'année, 185 mm seulement d'eau utile ont pu partiellement recharger les nappes durant les mois de janvier à mai.

En comparaison, durant les années 2000 à 2002, la région bénéficia d'un apport d'environ 500 mm/an d'eau utile, cela sur une période de 5 à 6 mois, généralement en hiver et au printemps.

Les précipitations plus abondantes de l'hiver, couplées à une évapotranspiration très faible, permet une recharge efficace des nappes et donc en principe une hausse éventuelle du niveau piézométrique. Rappelons, qu'au droit de terrain peu perméable, une grande partie de l'eau utile s'écoule en surface sous forme de ruissellement.

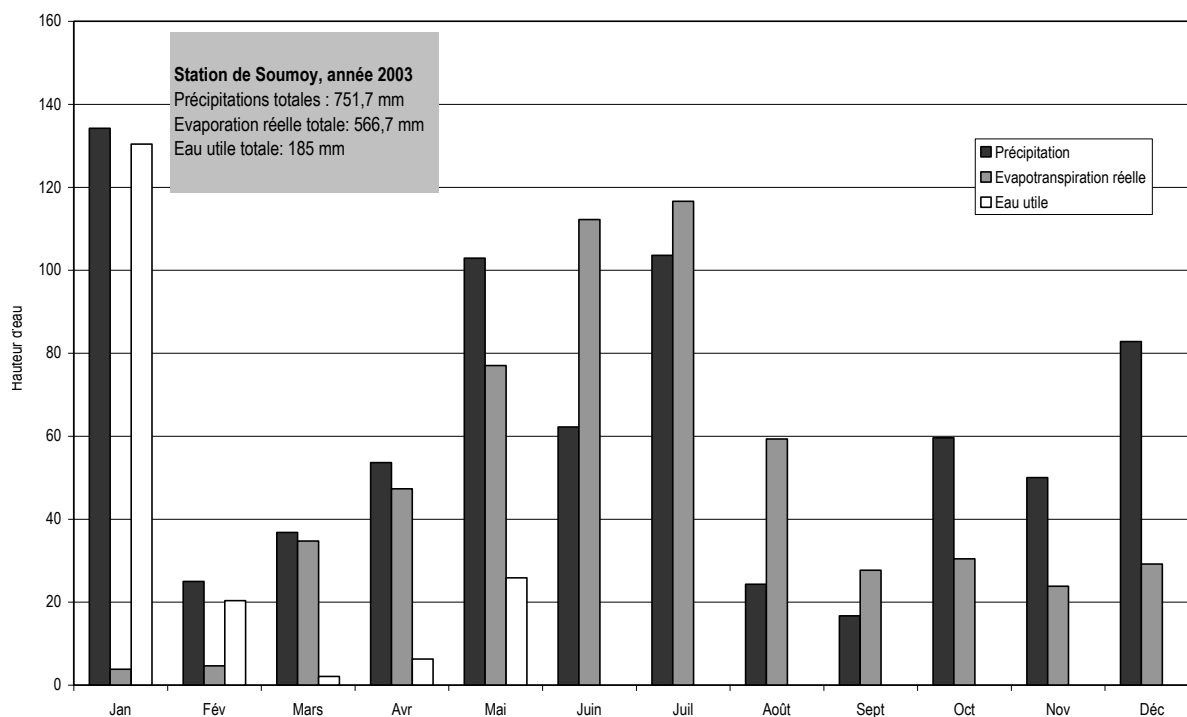


Figure IV.13 : Calcul de l'eau utile pour l'année 2003, station météorologique Soumoy.

Deux stations pluviométriques installées sur le lac de Plate Taille et à Senzeille ont donné les informations relatives aux précipitations de l'année 2005. Le mois de juillet fut assez pluvieux ; il faut ensuite attendre la mi-octobre pour qu'il y ait à nouveau de fortes précipitations.

Un puits sis au droit de l'Aquifère des calcaires du Givetien (puits Lambert JC) et deux sis au droit de l'Aquifère des calcaires du Frasnien (puits Vael et puits Ganhy) ont fait l'objet de mesures piézométriques bimensuelles depuis le mois de mai 2005 jusqu'au mois de janvier 2006.

L'évolution de la piézométrie (Figure IV.15) du puits Lambert, sis dans les calcaires givetien (Figure IV.14) renseigne sur deux choses :

- La très faible fluctuation du niveau piézométrique (66 cm) est probablement à mettre en relation avec une forte conductivité hydraulique du massif calcaire givetien dans lequel ce puits s'alimente. Il se situe dans l'extrados d'un anticlinal, zone généralement très fracturée. De petites vallées sèches sont localisées dans ce massif, ce qui renforce l'idée d'une forte karstification de ces calcaires. Une légère remontée est observée en octobre, période à laquelle les pluies efficaces peuvent à nouveau être observées ;



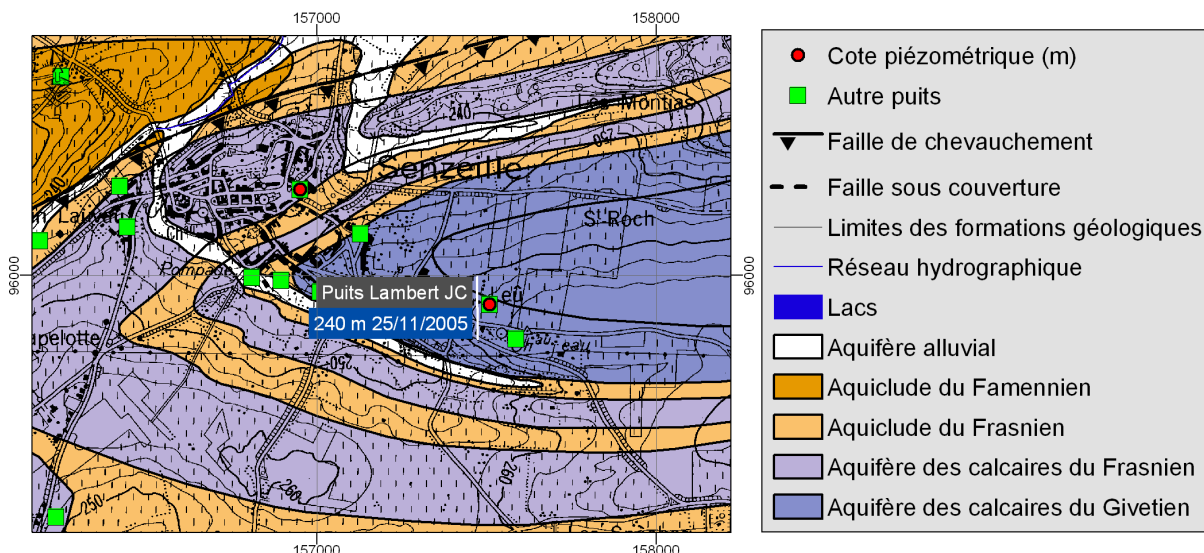


Figure IV.14 : Localisation du puits Lambert JC à Senzeille.

- Le niveau piézométrique relativement bas de la nappe ( $\pm 240$  m) par rapport à la cote altimétrique (263 m) du puits indiquerait que l'exutoire de ce massif serait le ruisseau des Boles à  $\pm 245$  m d'altitude alimenté par des sources diffuses.

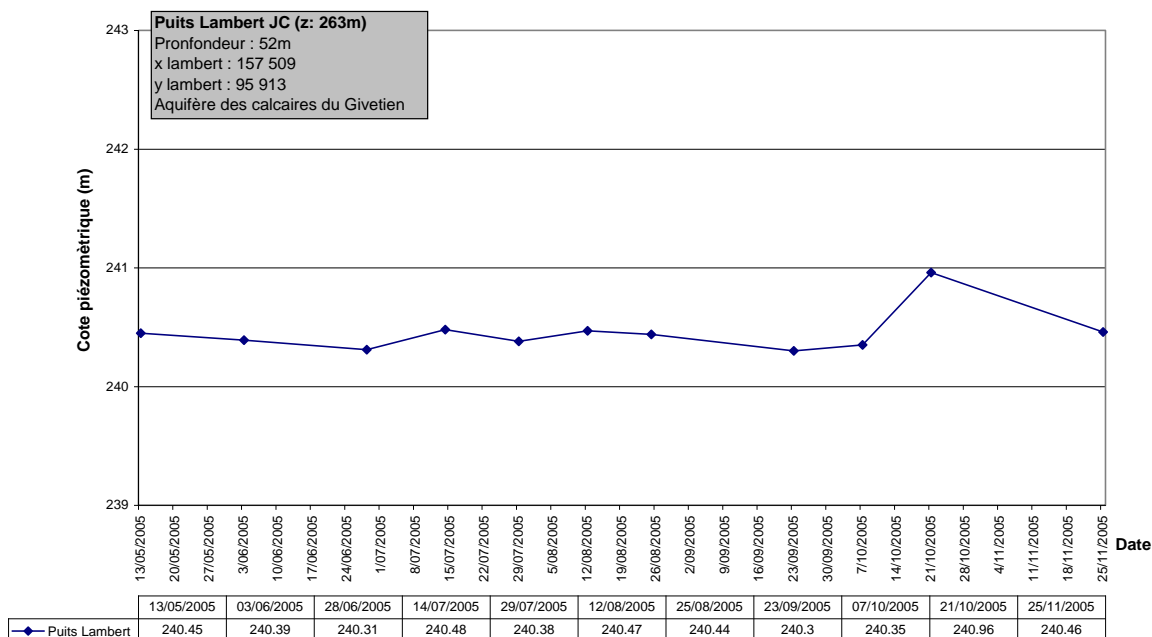
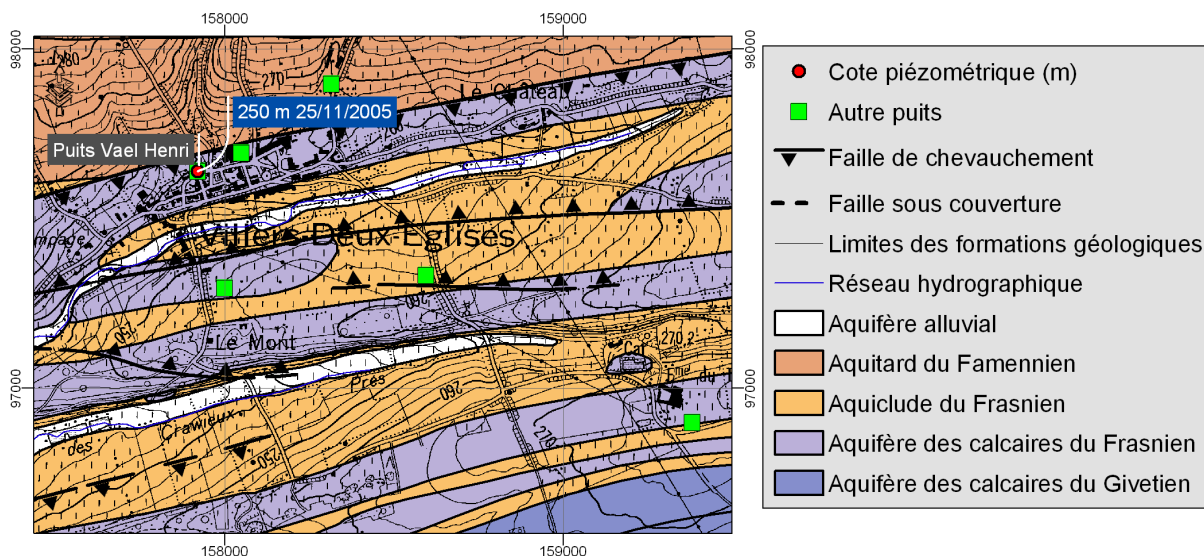


Figure IV.15 : Évolution du niveau piézométrique dans un puits privé (puits Lambert JC) situé à Senzeille et s'alimentant dans la nappe des calcaires du Givetien.

L'évolution de la piézométrie (Figure IV.17) du puits Vael, sis dans les calcaires frasniens (Figure IV.16) montre que :

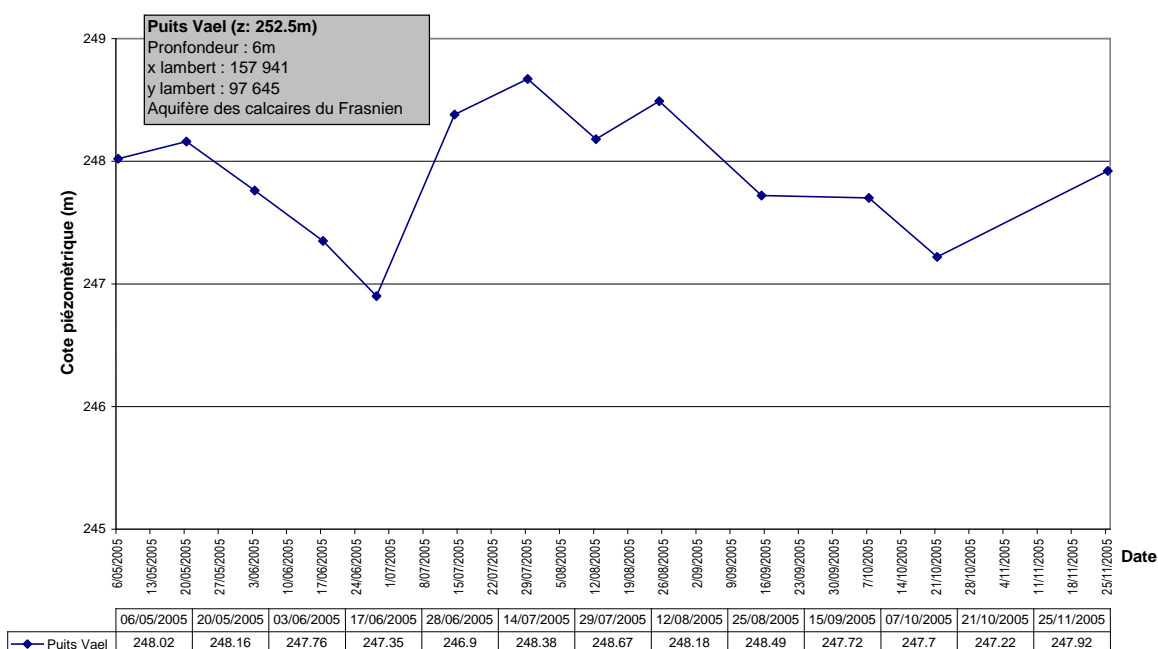
- Le niveau piézométrique est à faible profondeur, maximum 5 m, au dessous de la topographie (252,5 m). Ceci est à mettre en relation avec l'environnement géologique du puits : ce dernier s'alimente dans une bande de calcaires frasniens de faible épaisseur et entourée de part et d'autre de shales frasniens, jouant le rôle de seuils hydrogéologiques de par leur très faible conductivité hydraulique. Par la proximité

des shales environnants, les faibles distance et dénivelé jusqu'à son exutoire, le niveau piézométrique de cet aquifère frasnien est peu rabattu malgré une forte conductivité hydraulique ;



- La variation du niveau piézométrique suit le rythme des précipitations. Son alimentation se fait donc de manière rapide et assez directe.

Le petit ruisseau au sud du puits Vael est à une cote altimétrique de ± 242.5 m, cote inférieure à la profondeur de la nappe dans ce puits (Figure IV.17), il est donc drainant. Ce ruisseau sourd, au NE du puits Vael, à la limite Aquiclude du Frasnien/Aquifère des calcaires du Frasnien, à une cote altimétrique d'environ 265 m. L'écoulement de la nappe se fait probablement de l'ENE vers l'WSW, ce qui correspond à la direction des bancs.



**Figure IV.17 : Évolution du niveau piézométrique dans un puits privé (puits Vael) situé à Villers-Deux-Eglises et s'alimentant dans la nappe des calcaires du Frasnien.**

Le puits Ganhy bien que localisé dans l'Aquiclude du Frasnien (Figure IV.18), s'alimente en réalité dans l'Aquifère des calcaires du Frasnien. La profondeur de son niveau piézométrique (- 22 m), trop importante pour un aquiclude, atteste l'alimentation à la nappe des calcaires du Frasnien. Les calcaires frasniens doivent effectivement se situer à faible profondeur à cet endroit comme en témoigne la présence de nombreux monticules micritiques qui apparaissent au dessus de la Formation de Philippeville. L'évolution de la piézométrie du puits Ganhy -diminution constante du niveau (Figure IV.19) - indique que cette nappe semble répondre à une longue cyclicité saisonnière.

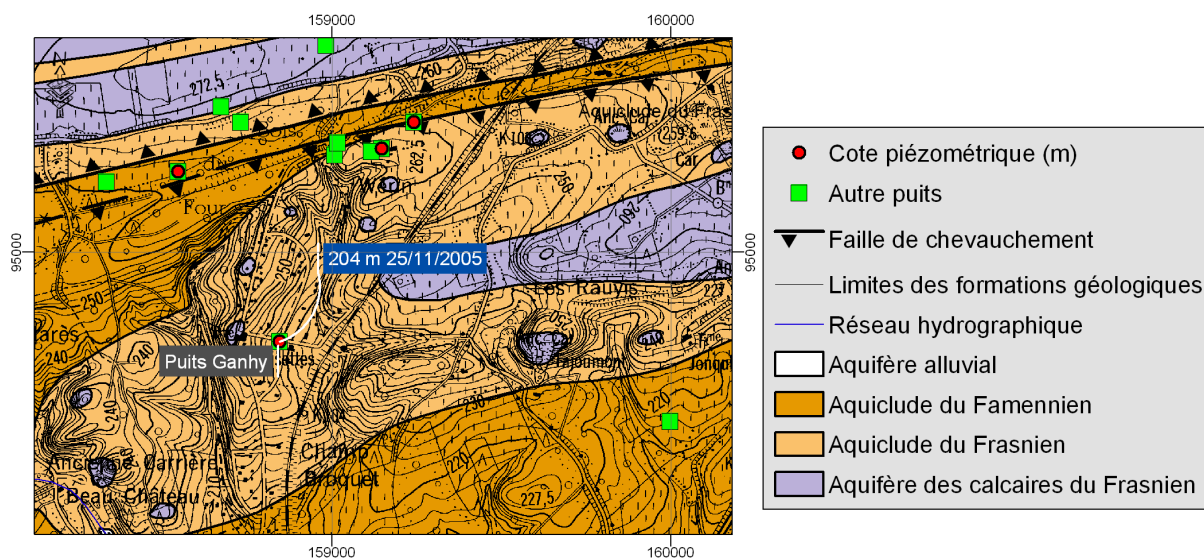


Figure IV.18 : Localisation du Puits Ganhy de Neuville.

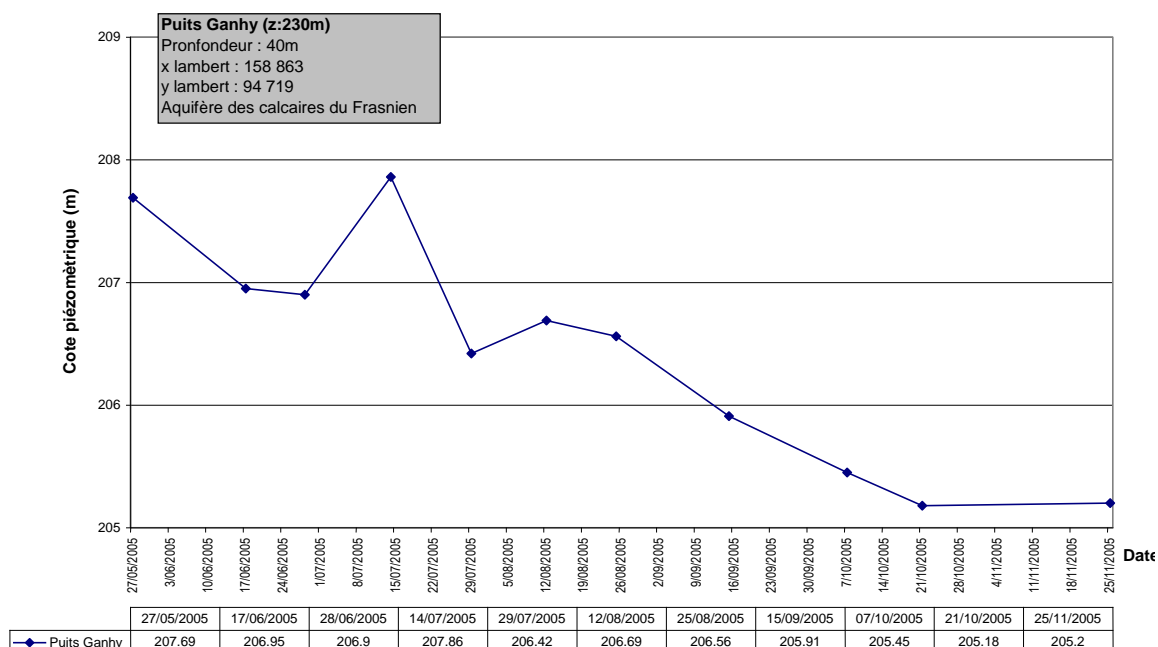


Figure IV.19 : Évolution du niveau piézométrique dans un puits privé (Puits Ganhy) situé dans le domaine des Valisettes et s'alimentant vraisemblablement dans la nappe des calcaires du Frasnien.

Un niveau piézométrique pris le 23/09/05 dans un puits foré de 80 m de profondeur sis à Senzeille (puits Dujoux) dans les calcaires frasniens donne une cote de 20 m plus bas que la

topographie (260 m). Ici malgré la toute proximité des shales frasniens (Figure IV.20), le niveau est très bas car il est en relation avec un exutoire, le ruisseau de Senzeille, situé à proximité et dont le talweg se situe vers la cote de 240 m.

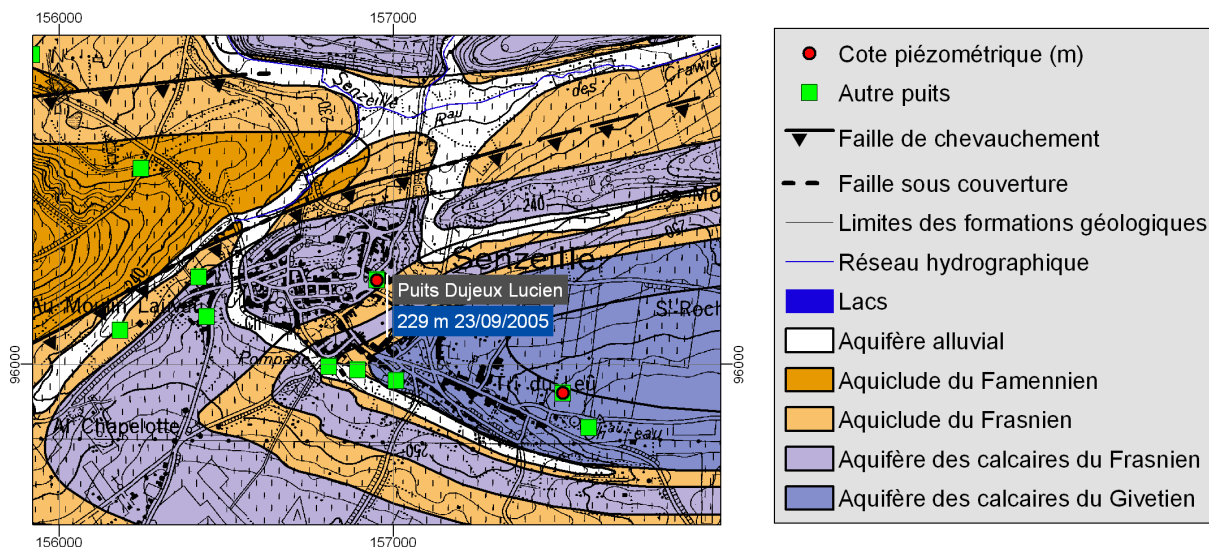
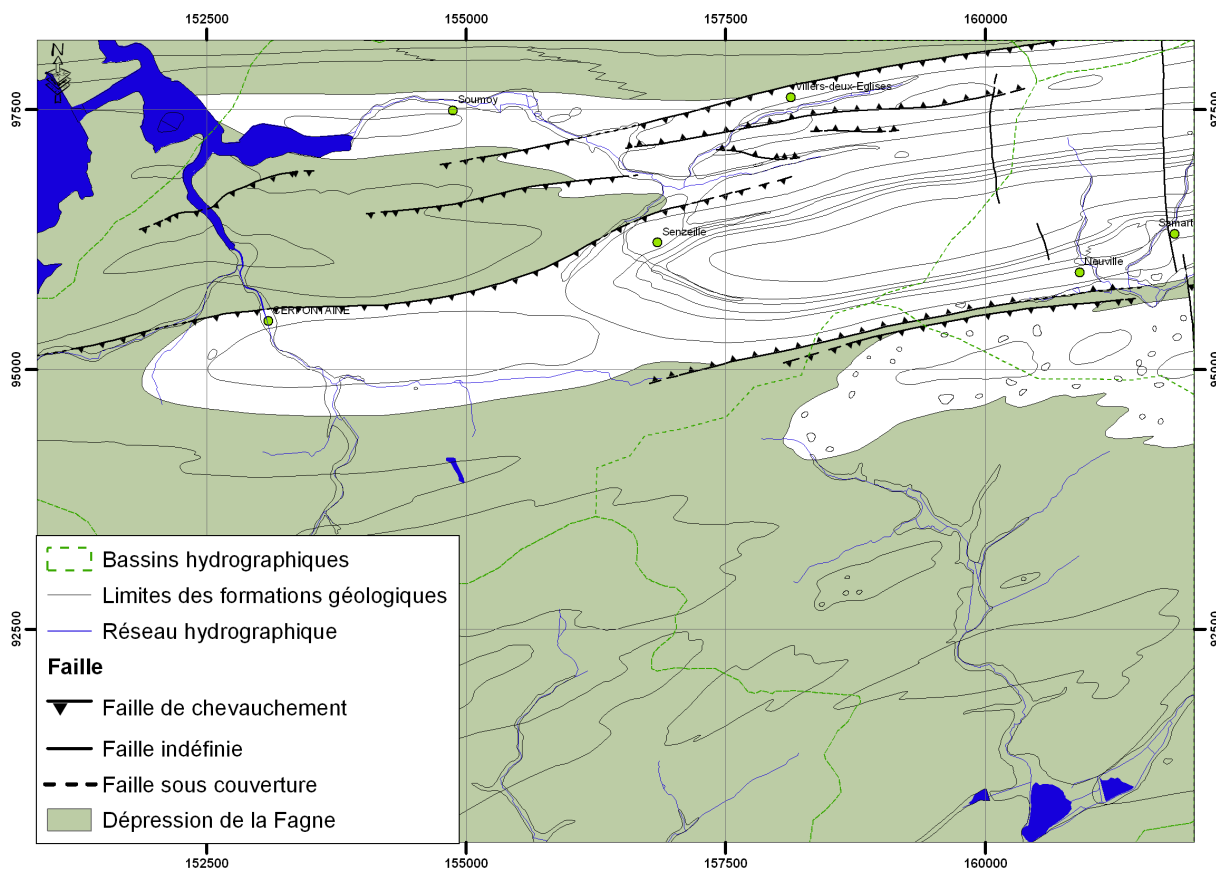


Figure IV.20 : Localisation du Puits Dujeux Lucien de Senzeille.

#### IV.4.2.2. La dépression de la Fagne

La dépression de la Fagne occupe les 2/3 tiers de la carte Froidchapelle – Senzeille (Figure IV.21). Son substratum est en très grande majorité constitué des formations de la Famenne, d'Aye et d'Esneux d'âge famennien et minoritairement des formations de Souverain-Pré (Famennien), de Neuville, de Matagne et des Valisettes d'âge frasien.



**Figure IV.21 : Localisation de l'unité hydrogéologique régionale *Dépression de la Fagne*.**

Les formations de la Famenne, de Neuville, des Valisettes et de Matagne forment les aquicludes du Frasnien et du Famennien (voir [IV.2.1.3](#), [IV.2.1.4](#), p. 26) tandis que les formations d'Aye, d'Esneux, de la Famenne (non dissociées sur la carte) et de Souverain-Pré forment l'Aquitard du Famennien (voir [IV.2.1.5](#), p. 28).

Les lithologies présentes sont donc essentiellement des shales et des siltites avec intercalations gréseuses. La perméabilité est de ce fait faible à très faible, ce qui se traduit par un réseau hydrographique fort ramifié et par des vallées très encaissées, témoins d'un ruissellement superficiel important.

Les cours d'eau principaux de la région sont, d'ouest en est, la Hante (Bassin de la Hante), l'Eau d'Heure (Bassin de l'Eau d'Heure), La Brouffe (Bassin de l'Eau Blanche) et le R<sup>au</sup> de Grammont (Bassin de l'Eau Blanche). Tous ces cours d'eau sont généralement drainants et influencent la piézométrie locale. Vu la faible conductivité hydraulique des formations de cette région, la nappe est généralement à faible profondeur et son sens d'écoulement est directement lié au réseau hydrographique. On peut dès lors estimer que les limites des bassins hydrographiques se superposent à celles des bassins hydrogéologiques et que sur les versants, les sens d'écoulement des ruissellements en surface correspondent au sens d'écoulement de la nappe.

Des niveaux piézométriques ponctuels relevés dans plusieurs puits nous donnent une idée de la profondeur à laquelle la nappe est susceptible d’être rencontrée dans les différentes unités hydrogéologique de la dépression de la Fagne :

- Dans l'**Aquiclude du Famennien**, le puits Bomled à Soumoy (Figure IV.22) donnait, au 2/9/05, un niveau piézométrique d'1 m sous le niveau topographique ;

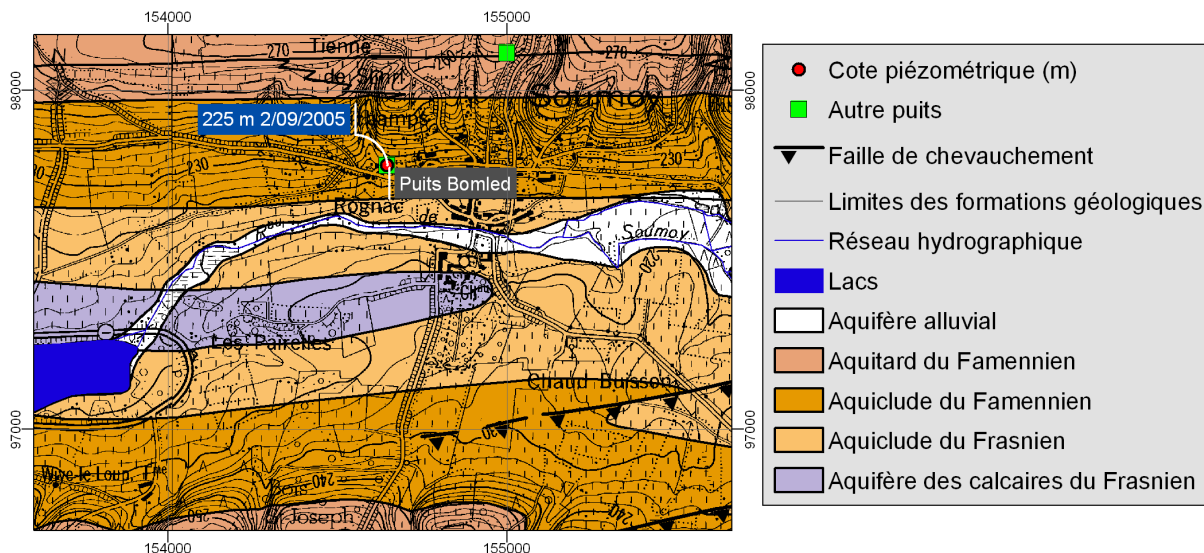


Figure IV.22 : Localisation du puits Bomled à Soumoy.

- Dans l'**Aquitard du Famennien**, au NE de Froidchapelle, les puits Alain Damman, Ferme Queue de l'Herse 2, et Vandesinde donnent un niveau piézométrique respectivement à 5 m, 1,6 m au 2/9/05 et 4,6 m au 18/8/05, sous le niveau topographique (Figure IV.23) ;

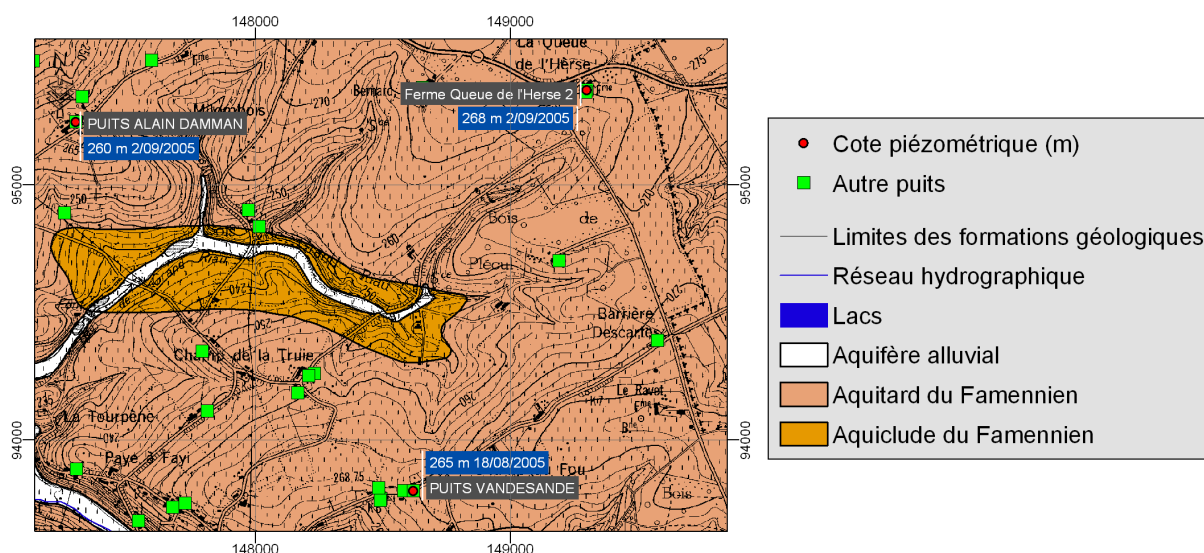


Figure IV.23 : Localisation des puits Alain Damman, Ferme Queue de l'Herse 2 et Vandesinde au NE de Froidchapelle.

- Dans l'**Aquiclude du Frasnien**, le puits Maschiet (Figure IV.24) à Cerfontaine donne un niveau piézométrique à 2,8 m, au 19/8/05, sous le niveau topographique.

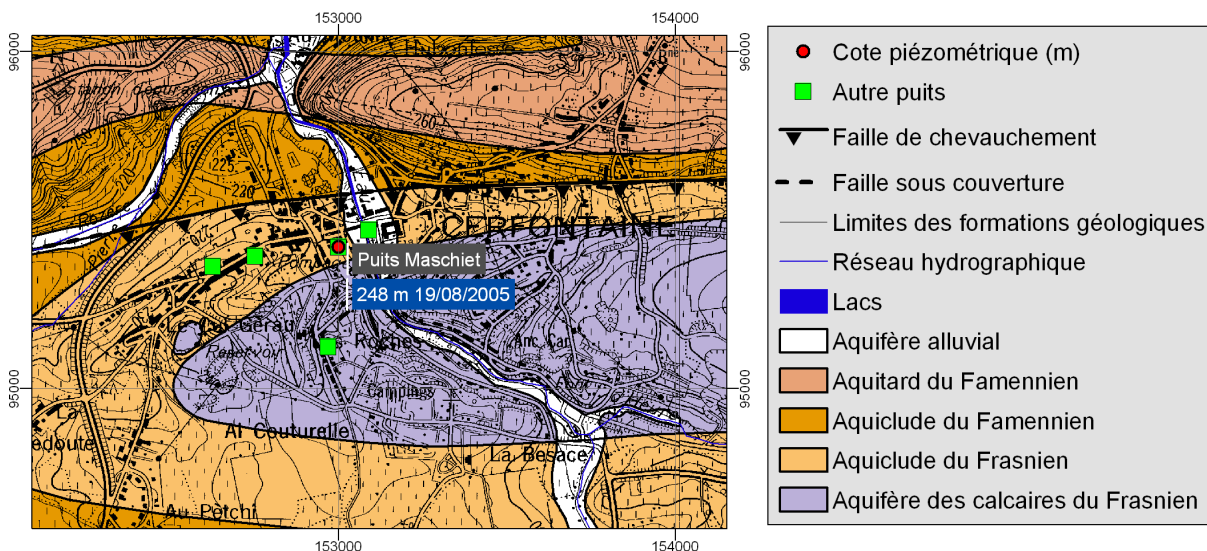


Figure IV.24 : Localisation du puits Maschiet à Cerfontaine.

Des mesures piézométriques régulières, s'étendant du mois de mai au mois d'octobre, ont été relevées dans trois puits. Les deux premiers, Lechat Pâtüre 1 et Porcherie Mouchette sont localisés dans l'Aquiclude du Frasnien (Figure IV.25). Le troisième puits, l'Ange Gardien, est situé dans l'Aquitard du Famennien (Figure IV.27). Ces relevés donnent une idée de l'évolution du niveau piézométrique de ces nappes au cours de cette période.

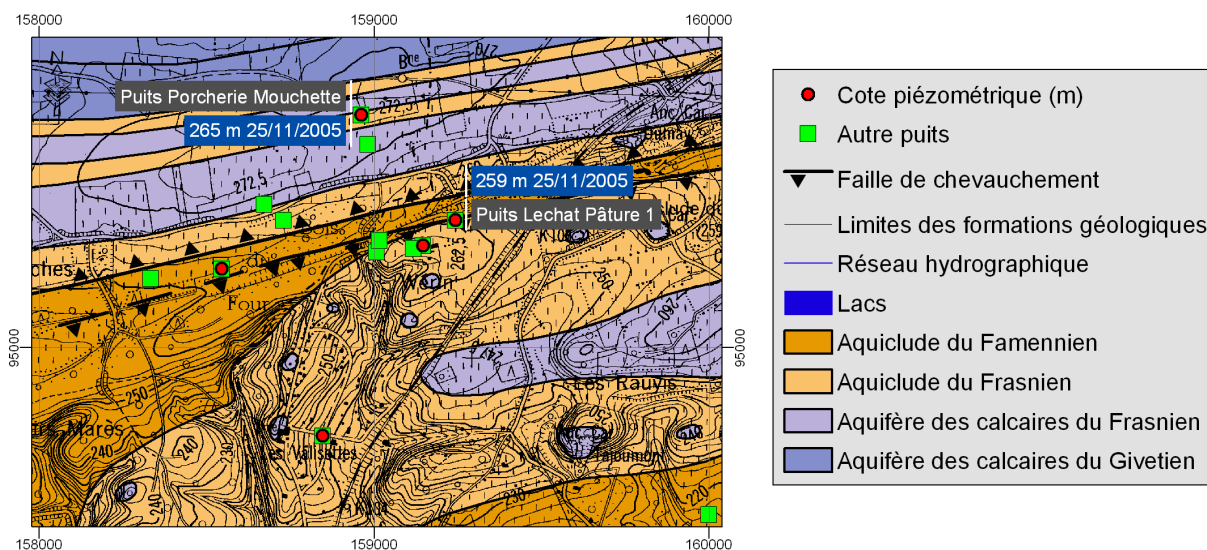
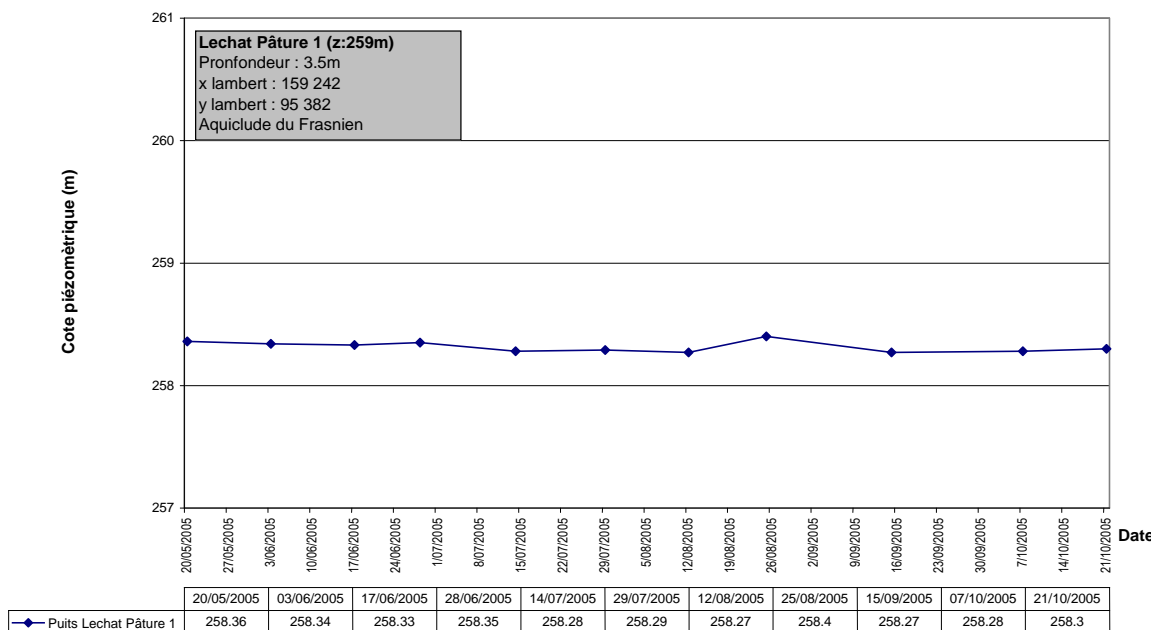


Figure IV.25 : Localisation des puits Lechat Pâtüre 1 et Porcherie Mouchette.

Les deux puits sis dans l'Aquiclude du Frasnien présentent des comportements très différents. Le premier, le puits Lechat Pâtüre 1, présente un niveau piézométrique très stable (Figure IV.26), à peine 13 cm de débattement et à 1 m de profondeur seulement. Ce puits est situé à une cote de 259 m, sur une faille de charriage de direction ENE-WSW, dont le bloc allochtone est au sud. Au vu de la lithologie - shale - on peut penser que cette zone présente une conductivité hydraulique quasi nulle du fait des shales broyés et altérés en argile. La réponse de la nappe aux précipitations doit donc être très lente et les fluctuations du niveau piézométrique ne peuvent être mises en relation avec les précipitations. Deux ruisseaux, l'un à l'est, l'autre à l'ouest du puits Lechat Pâtüre 1 sourdent tous deux à une

cote de ± 252 m. Du fait de la très faible conductivité hydraulique le niveau piézométrique suit la topographie au plus près.



**Figure IV.26 : Évolution du niveau piézométrique dans un puits privé (Puits Lechat Pâtüre 1).**

Le second, le puits Porcherie Mouchette, présente un niveau piézométrique (Figure IV.27) dont les fluctuations (Figure IV.28) peuvent être mises en relation avec la pluviométrie. Une très forte remontée du niveau piézométrique au mois de juillet, marqué par des précipitations importantes, puis une diminution progressive jusqu'au mois d'octobre, période durant laquelle, les précipitations furent en constante diminution par rapport au pic de juillet, et à nouveau une remontée à caler sur les pluies de fin octobre début novembre. La réponse de la nappe des shales frasnien est donc très rapide à cet endroit et proportionnelle à la quantité des précipitations. Le niveau de la nappe en période de sécheresse est de ± 2 m sous la topographie et subaffleurant en période de fortes pluies.



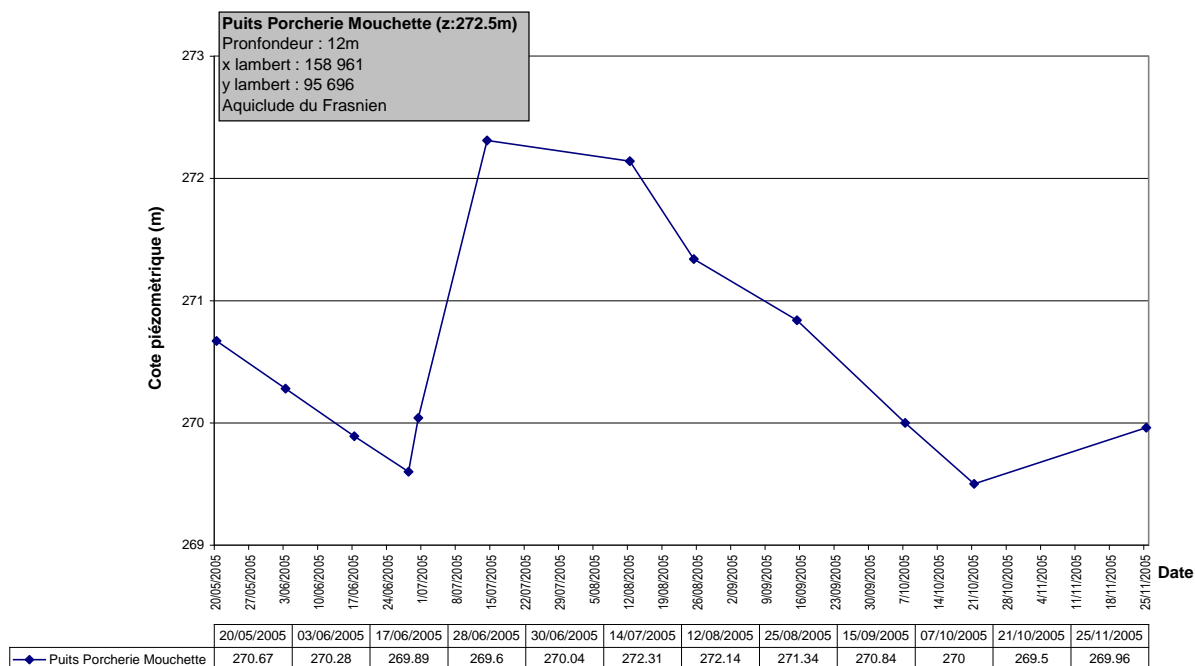


Figure IV.15 : Évolution du niveau piézométrique dans un puits privé (Puits Porcherie Mouchette).

Le puits de l'Ange Gardien est situé dans la nappe d'altération de l'Aquitard du Famennien et présente un niveau piézométrique de ± 2 m sous la topographie. Deux petites remontées du niveau piézométrique (Figure IV.28) sont observées, mi-juillet et mi-août, et ne peuvent être mises en relation avec la pluviométrie. L'Aquitard du Famennien suit une cyclicité qui ne peut être mise en évidence ici du fait de la période de mesures trop courte.

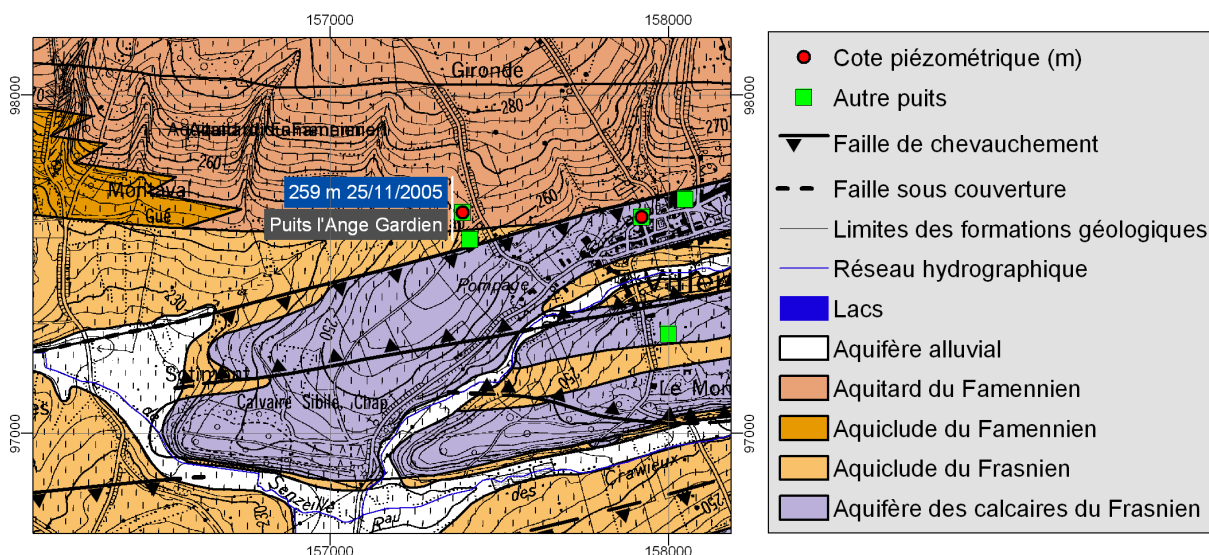


Figure IV.27 : Localisation du puits l'Ange Gardien.

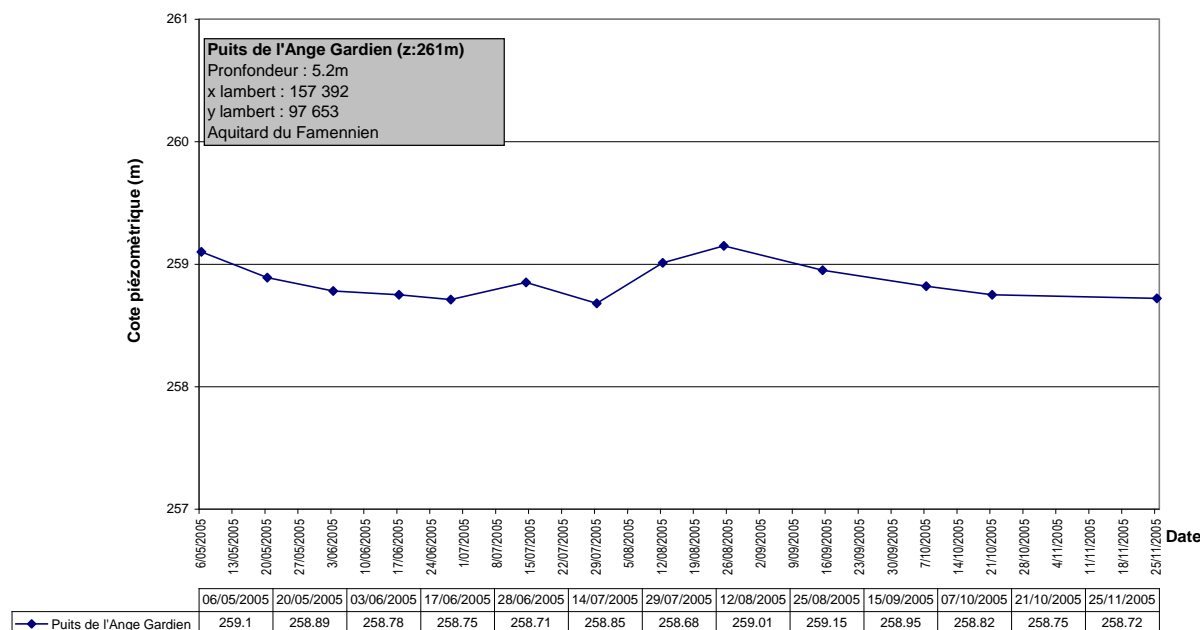


Figure IV.28 : Évolution du niveau piézométrique dans un puits privé (Puits de l'Ange Gardien).

**IV.4.2.3. Conclusions**

La profondeur et la variation du niveau piézométrique, quelle que soit la nappe considérée, sont très variables et fonction de nombreux facteurs, comme on a pu le voir dans ce chapitre. Les niveaux piézométriques cités ci-dessous ne peuvent être généralisés à toute la carte car le nombre de mesures est insuffisant. Ces mesures piézométriques doivent toujours être remises dans leur contexte hydrogéologique.

Dans l'Aquifère des calcaires du Frasnien, tout comme dans l'Aquifère des calcaires du Givetien, suivant la topographie, les exutoires possibles, la structure et les formations géologiques environnantes, les niveaux piézométriques ont été enregistrés entre -5 et -20 m.

Dans les aquicludes du Famennien et du Frasnien, le niveau piézométrique a été enregistré entre la surface et -2 m au maximum.

Dans l'Aquitard du Famennien, le niveau piézométrique a été enregistré entre 1.6 et 5 m de profondeur.

**IV.4.3. Débit des cours d'eau et variations des réserves des aquifères**

Le débit d'un cours d'eau, mesuré à son exutoire par une station de jaugeage, comprend :

- un apport dû au ruissellement ou écoulement de surface à la suite de précipitations ;
- un apport dû à l'écoulement hypodermique ou de subsurface ;
- un apport des nappes (débit de base).

Lors d'un épisode pluvieux, le débit mesuré augmente progressivement puis, une fois que les pluies ont cessé, diminue car le ruissellement, puis l'écoulement hypodermique ne sont plus alimentés. Le débit du cours d'eau n'est alors plus assuré que par les nappes.

L'évolution du débit du cours d'eau en fonction du temps - ou hydrogramme- (Figure IV.29) permet d'estimer la réserve en eau des nappes grâce au calcul du coefficient de tarissement ( $\alpha$ ), obtenu par la *courbe de tarissement*.

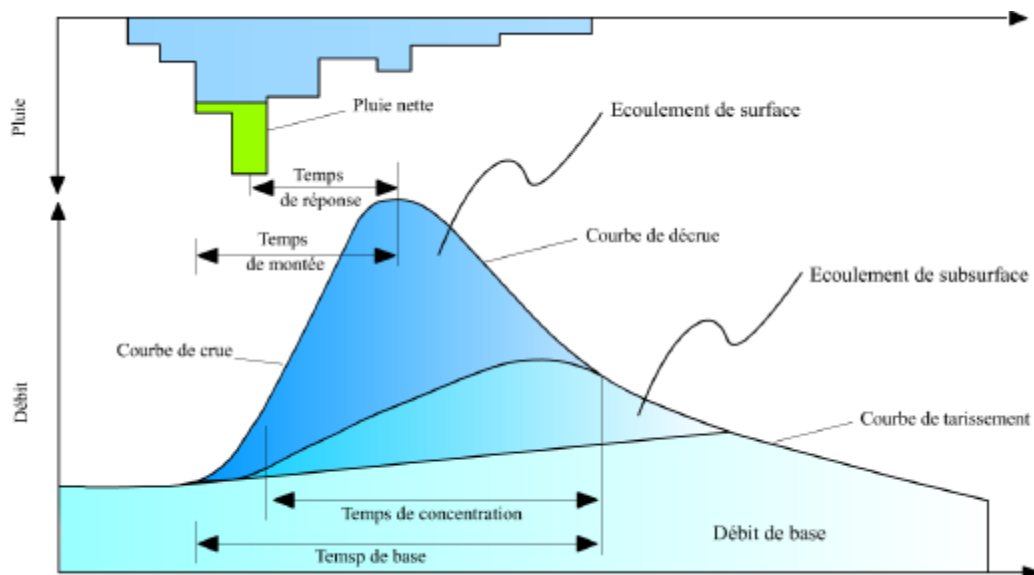


Figure IV.29 : Exemple d'hydrogramme de crue combiné à un hyétogramme résultant d'un événement pluviométrique (<http://hydram.epfl.ch/e-drologie>).

Gardin (2003) donne les coefficients de tarissement du R<sup>au</sup> de Soumoy et de l'Eau d'Heure :

Le r<sup>au</sup> de Soumoy (Figure IV.30), situé dans le quart NE de la carte, alimente le lac de Falemprise. Il s'écoule d'est en ouest, et constitue la "partie aval" du r<sup>au</sup> de Senzeille. Le parcours de ces deux cours d'eau se fait dans les shales frasniens principalement, mis à part deux petits tronçons qui s'écoulent dans les calcaires frasniens. Ces cours d'eau sont donc essentiellement drainants et peuvent servir d'exutoires à la nappe des calcaires du Frasnien. L'alimentation du r<sup>au</sup> de Soumoy se fait par une nappe caractérisée par deux coefficients de tarissement différents (Gardin, 2003)<sup>3</sup> :

- $\alpha_1 : 38,16 \cdot 10^{-3}/j$  ;
- $\alpha_2 : 67,12 \cdot 10^{-3}/j$ .

<sup>3</sup> Valeur moyenne calculée sur base de 51 épisodes de crues durant la période s'étalant de 1986 à 2002.

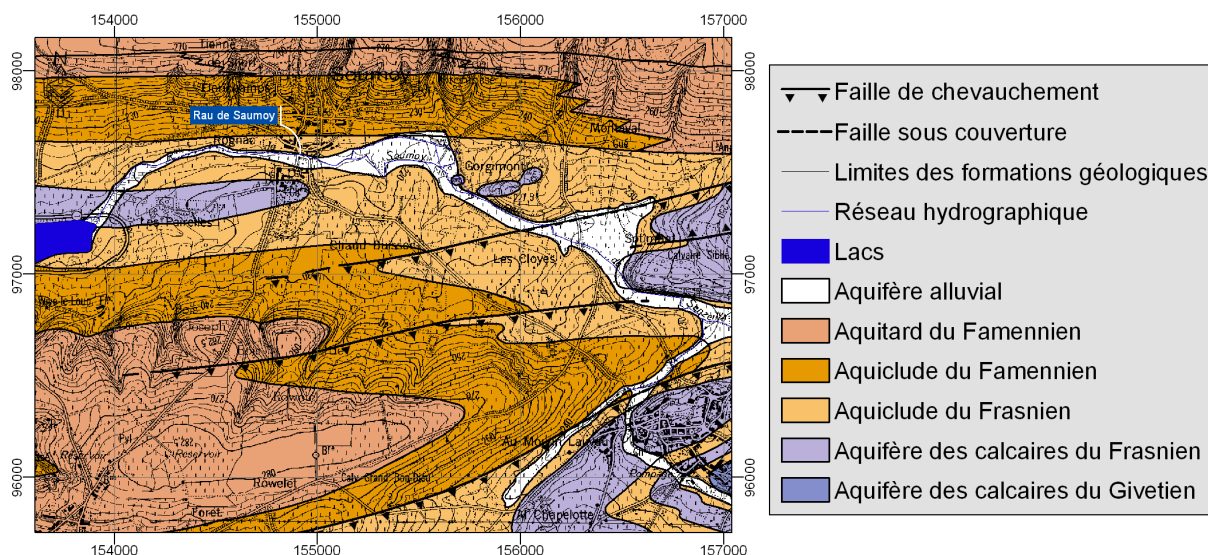


Figure IV.30 : Localisation du  $r^{\text{au}}$  de Soumoy.

La limite de débits entre ces deux coefficients de tarissement semble se situer autour de  $0,013\text{m}^3/\text{s}$  même si le coefficient  $\alpha_1$  peut apparaître pour des débits de  $0,1\text{m}^3/\text{s}$ . En fait, la zone caractérisée par le coefficient  $\alpha_1$  ne s'observe que lorsque la courbe de tarissement se développe sur de nombreux jours et donc après une période de sécheresse relativement longue. La zone caractérisée par le coefficient  $\alpha_2$  semble participer de manière importante à l'alimentation du  $r^{\text{au}}$  de Soumoy car il est omniprésent dans les courbes de tarissement. Le coefficient  $\alpha_2$  serait associé au manteau d'altération et le coefficient  $\alpha_1$  au bed-rock.

L'Eau d'Heure (Figure IV.31) prend sa source dans l'Aquitard du Famennien, au sud de Cerfontaine et s'écoule du sud vers le nord. De sa source jusqu'à son exutoire – le lac de Falemprise, au nord de Cerfontaine – elle traverse les shales frasniens et famenniens, les grès et siltites famenniennes et les calcaires frasniens. Ce cours d'eau est donc principalement drainant et sert d'exutoire à la nappe des calcaires du Frasnien. L'alimentation de l'Eau d'Heure se fait également par une nappe caractérisée par deux coefficients de tarissement différents (Gardin, 2003)<sup>4</sup> :

- $\alpha_1 : 28,97 \cdot 10^{-3}/\text{j}$  ;
- $\alpha_2 : 76,85 \cdot 10^{-3}/\text{j}$ .

<sup>4</sup> Valeur moyenne calculée sur base de 62 épisodes de crues durant la période s'étalant de 1986 à 2002.

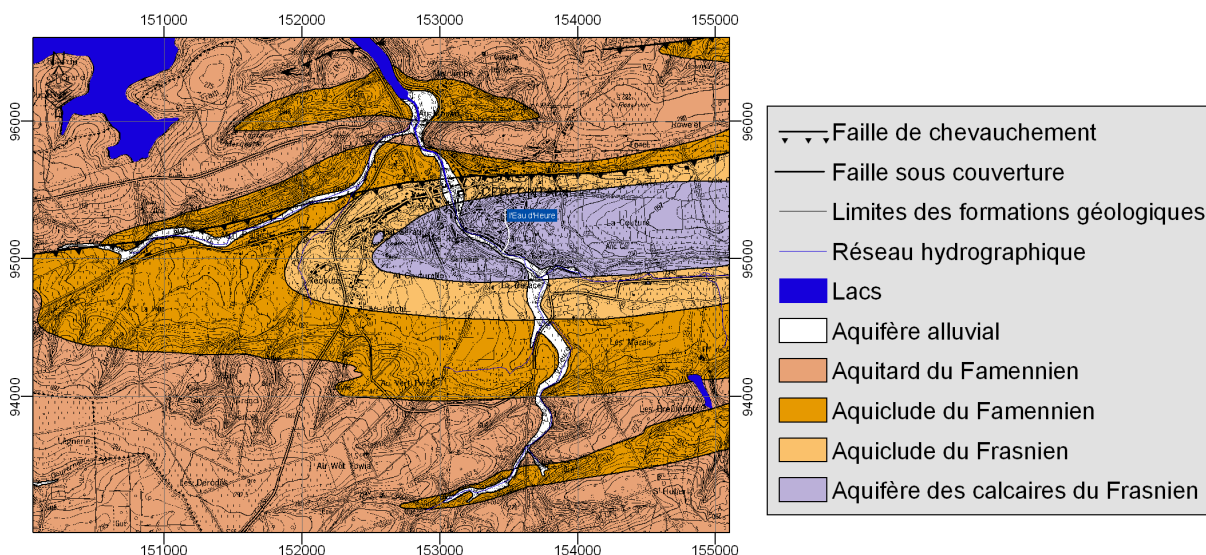


Figure IV.31 : Localisation de l'Eau d'Heure.

Le coefficient  $\alpha_2$  est observé pour des débits supérieurs à  $0,055\text{m}^3/\text{s}$ . A la suite d'épisodes pluvieux relativement longs et caractérisés par des hauteurs d'eau élevées, l'Eau d'Heure est principalement alimentée par une partie de la nappe présentant un coefficient de tarissement  $\alpha_2$  correspondant sans doute au manteau d'altération. Quelques jours après les pluies, le coefficient  $\alpha_2$  est remplacé par le coefficient  $\alpha_1$ , caractéristique de la partie de la nappe assurant l'alimentation "pérenne" de l'Eau d'Heure et représentant sans doute le bed-rock.

Ces coefficients de tarissements sont relativement élevés et sont le reflet d'une nappe dont la réserve est faible. En comparaison, citons la valeur de  $1,1 \cdot 10^{-3}/\text{j}$  pour un cours d'eau s'écoulant sur substratum calcaire.

#### IV.4.4. Bilans hydrologiques sur les bassins versants des $R^{\text{au}}$ de Soumoy et de l'Eau d'Heure à l'amont des lacs de l'Eau d'Heure

Les données suivantes sont issues du travail de Gardin (2003 ; tirées de Monjoie & Lox, 1986).

Le Tableau IV.2 (Gardin, 2003) donne, de 1986 à 2001, les valeurs de débits annuels et les variations de réserves des nappes des bassins du Rau de Soumoy et de l'Eau d'Heure. Selon les années, les variations de réserve s'échelonnent de -6,84 mm à 7,27 mm pour le  $r^{\text{au}}$  de Soumoy et de -2,58 mm à 3,82 mm pour l'Eau d'Heure. Ces faibles valeurs peuvent indiquer un potentiel aquifère limité, comme le démontre par ailleurs les coefficients de tarissement relativement élevés.

Ri de Soumoy					Eau d'Heure à Cerfontaine				
Période	Débits (mm)	R <sub>i</sub> (mm)	R <sub>f</sub> (mm)	ΔR (mm)	Période	Débits (mm)	R <sub>i</sub> (mm)	R <sub>f</sub> (mm)	ΔR (mm)
18/08/86 - 23/08/87	397.04	1.88	6.07	4.19	18/08/86 - 23/08/87	547.75	6.38	9.44	3.06
24/08/87 - 09/09/88	582.92	6.07	1.85	-4.22	24/08/87 - 21/09/88	656.93	9.44	8.35	-1.09
10/09/88 - 12/09/89	381.34	1.85	1	-0.85	22/09/88 - 05/10/89	502.59	8.35	5.77	-2.58
13/09/89 - 30/08/90	183.81	1	0.43	-0.57	06/10/89 - 07/10/90	287.97	5.77	5.32	-0.45
31/08/90 - 15/09/91	195.2	0.43	0.14	-0.29	08/10/90 - 16/09/91	330.57	5.32	5.62	0.3
16/09/91 - 28/08/92	192.74	0.14	7.41	7.27	17/09/91 - 05/10/92	483.01	5.62	9.44	3.82
29/08/92 - 09/09/93	331.98	7.41	0.57	-6.84	06/10/92 - 20/09/93	416.74	9.44	6.99	-2.45
10/09/93 - 05/09/94	415.09	0.57	0.86	0.29	21/09/93 - 12/10/94	593.62	6.99	5.77	-1.22
06/09/94 - 06/09/95	414.3	0.86	0.86	0	13/10/94 - 25/10/95	584.26	5.77	7.59	1.82
07/09/95 - 27/09/96	88.69	0.86	1.28	0.42	26/10/95 - 14/10/96	225.99	7.59	7.29	-0.3
28/09/96 - 31/08/97	194.49	1.28	1.28	0	15/10/96 - 05/10/97	388.28	7.29	6.99	-0.3
01/09/97 - 29/08/98	213.11	1.28	0.71	-0.57	06/10/97 - 07/10/98	372.67	6.99	7.14	0.15
30/08/98 - 15/09/99	415	0.71	0.57	-0.14	08/10/98 - 25/09/99	552.24	7.14	6.38	-0.76
16/09/99 - 15/09/00	329.78	0.57	3.96	3.39	26/09/99 - 27/09/00	523.13	6.38	8.75	2.37
16/09/00 - 29/08/01	466.72	3.96	0.86	-3.1	28/09/00 - 02/09/01	636.9	8.75	7.29	-1.46

Tableau IV.2 : Débits annuels et variations de réserves des aquifères des bassins du Rau de Soumoy et de l'Eau d'Heure à Cerfontaine (*Gardin, 2003*).

R<sub>i</sub> : réserve initiale, R<sub>f</sub> : réserve finale, ΔR : variation de réserve.

Au niveau du bassin du r<sup>au</sup> de Soumoy, les bilans (*Tableau IV.3, Gardin, 2003*) montrent que :

- en période d'étiage, les bilans présentent une faible erreur négative de fermeture qui pourrait s'expliquer par des apports souterrains en provenance du bassin de l'Hermeton, à travers les calcaires ;
- en période de crue, les bilans présentent une erreur de fermeture positive importante qui pourrait s'expliquer par des sorties souterraines vers le bassin de l'Hermeton, à travers les calcaires ;
- sur une période d'un an, l'erreur de fermeture reste positive et importante (11.4%) ce qui confirmerait l'importance des sorties souterraines extérieures.

Bilan	P (mm)	ETR (mm)	EU (mm)	Q (mm)	$\Delta S$ (mm)	R <sub>init</sub> (mm)	R <sub>fin</sub> (mm)	$\Delta R$ (mm)	Erreur absolue (mm)	Erreur relative (%)
1	169.6	165.7	0	7.6	3.9	4.6	1.4	-3.2	-4.4	-2.6
2	344.4	171.8	200.5	146	-27.9	10.3	5.9	-4.4	58.9	17.1
3	26.7	49.7	0	2.1	23	3.6	1.7	-1.9	-0.2	0.7
4	31.9	44.8	0	1.6	-12.9	1.9	1.4	-0.5	-1.1	-3.4
5	862.2	470.7	422.4	326.5	-30.9	3.6	1.4	-2.2	98.1	11.4
6	439.8	47.3	364.6	246.2	27.9	1.7	8.0	6.3	112.1	25.5
7	71.2	149.1	0	7.2	-77.9	6.9	1.4	-5.5	-2.3	-3.2

Tableau IV.3 : Bilans hydrologiques du bassin versant du Rau de Soumoy.

P : précipitations, ETR : évapotranspiration réelle, EU : eau utile, Q : débit,  $\Delta S$  : variation de stock en eau du sol, R<sub>init</sub> : réserve en eau de l'aquifère en début de période, R<sub>fin</sub> : réserve en eau de l'aquifère en fin de période,  $\Delta R$  : variation des réserves en eau de l'aquifère (d'après *Monjoie & Lox, 1986 in Gardin, 2003*).

Au niveau du bassin de l'Eau d'Heure, les bilans (Tableau IV.4, *Gardin, 2003*) montrent que :

- en période d'étiage, les bilans présentent une faible erreur négative de fermeture qui pourrait s'expliquer par des apports souterrains en provenance des bassins voisins de la Brouffe et de l'Hermeton, à travers les calcaires ;
- en période de crue, les bilans ferment avec une erreur positive qui pourrait s'expliquer par des sorties souterraines vers le bassin de l'Hermeton, à travers les calcaires. Les transferts les plus importants auraient lieu en hiver ;
- sur une période d'un an, l'erreur de fermeture reste positive et importante (8.7%) suite à l'importance des sorties extérieures souterraines.

Bilan	P (mm)	ETR (mm)	EU (mm)	Q (mm)	$\Delta S$ (mm)	R <sub>init</sub> (mm)	R <sub>fin</sub> (mm)	$\Delta R$ (mm)	Erreur absolue (mm)	Erreur relative (%)
1	158.9	146.9	0	13	12	6.7	1.5	-5.2	-7.8	-4.9
2	350.7	177.3	199.6	188	-26.2	10.1	7.4	-2.7	14.3	4.1
3	5.3	35.3	0	3.4	-30	5.5	2.5	-3	-0.4	-7.5
4	870.3	413.6	464.7	390.8	-8	5.5	4.0	-1.5	75.4	8.7
5	497.3	49.7	417.1	280.8	30.5	1.6	10.2	8.6	127.7	25.7
6	29.1	84.6	0	5.5	-55.5	8.7	4.0	-4.7	-0.8	-2.7

Tableau IV.4 Bilans hydrologiques du bassin versant de l'Eau d'Heure.

P : précipitations, ETR : évapotranspiration réelle, EU : eau utile, Q : débit,  $\Delta S$  : variation de stock en eau du sol, R<sub>init</sub> : réserve en eau de l'aquifère en début de période, R<sub>fin</sub> : réserve en eau de l'aquifère en fin de période,  $\Delta R$  : variation des réserves en eau de l'aquifère (d'après *Monjoie & Lox, 1986 in Gardin, 2003*).

Ces bilans démontrent qu'il peut exister des différences entre les limites hydrographiques et hydrogéologiques suite aux écoulements souterrains. La direction de ces derniers peut par ailleurs varier selon les conditions hydrogéologiques de hautes et basses eaux.

### IV.5. COUPES GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Afin de mieux comprendre la structure géologique de la région de Froidchapelle - Senzeille et de mieux visualiser l'allure du tracé piézométrique, une coupe hydrogéologique a été dessinées et digitalisées. Le trait de coupe, orienté NNW-SSE, passe au nord par la localité de Villers-Deux-Eglises et au sud, à l'ouest de l'Étang du Fraiti. Sa position a été choisie afin que les coupes soient représentatives de la géologie (structures et lithologies) et de l'hydrogéologie (unités hydrogéologiques et piézométrie) de la zone cartographiée.

Le tracé de la coupe, traverse du nord au sud le Massif de Philippeville et la dépression de la Fagne (Figure IV.32). Les structures rencontrées y sont très clairement mises en évidence (Figure IV.40) :

- Au nord, le Massif de Philippeville ; succession d'anticlinaux au cœur de calcaire et de synclinaux au cœur pélitique, bordés de failles au nord et au sud ;
- La dépression de la Fagne occupé par des formations pélitiques.

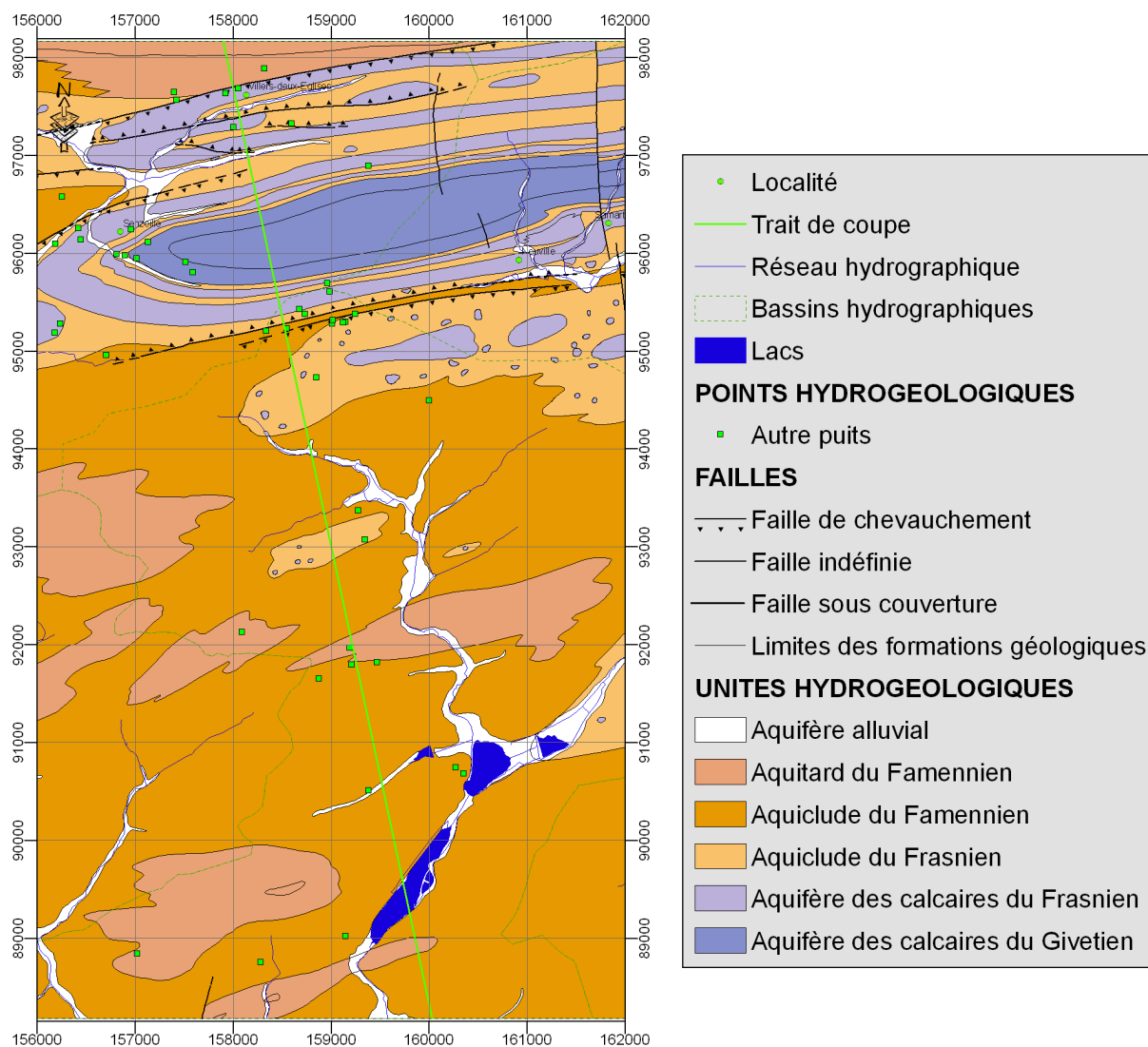


Figure IV.32 : Localisation du trait de coupe sur la carte Froidchapelle - Senzeille (57/3-4).



En fonction de la géologie et donc des unités hydrogéologiques, la hauteur de la surface piézométrique peut varier fortement. La piézométrie a été estimée sur base des niveaux piézométriques pris lors de la réalisation de cette carte, des exutoires proches de la coupe et des lithologies. Dans les aquifères, le niveau des nappes est d'autant plus rabattu que la conductivité hydraulique est forte et que, dans les cas des aquifères calcaires, des phénomènes karstiques sont observés. Dans les aquicludes et aquitards, du fait d'une (très) faible conductivité hydraulique, le niveau piézométrique est subaffleurant ou à maximum 10 m de profondeur.

Au niveau du Massif de Philippeville :

- Dans l'Aquifère des calcaires du Givetien, les mesures ponctuelles dans le puits Lambert JC (Figure IV.33) indiquent une profondeur de la surface piézométrique de  $\pm 20$  m ;
- Dans l'Aquifère des calcaires du Frasnien, les mesures ponctuelles dans le puits Vael (Figure IV.34) indiquent une profondeur de la surface piézométrique de  $\pm 5$  m. Ailleurs sur la carte (Puits Dujoux à Senzeille, Figure IV.35) la surface piézométrique est localisée à  $\pm 20$  m de profondeur. Ces différences sont directement fonction des altitudes des exutoires possibles de l'aquifère frasnien et de l'épaisseur des séquences calcaires frasnien.

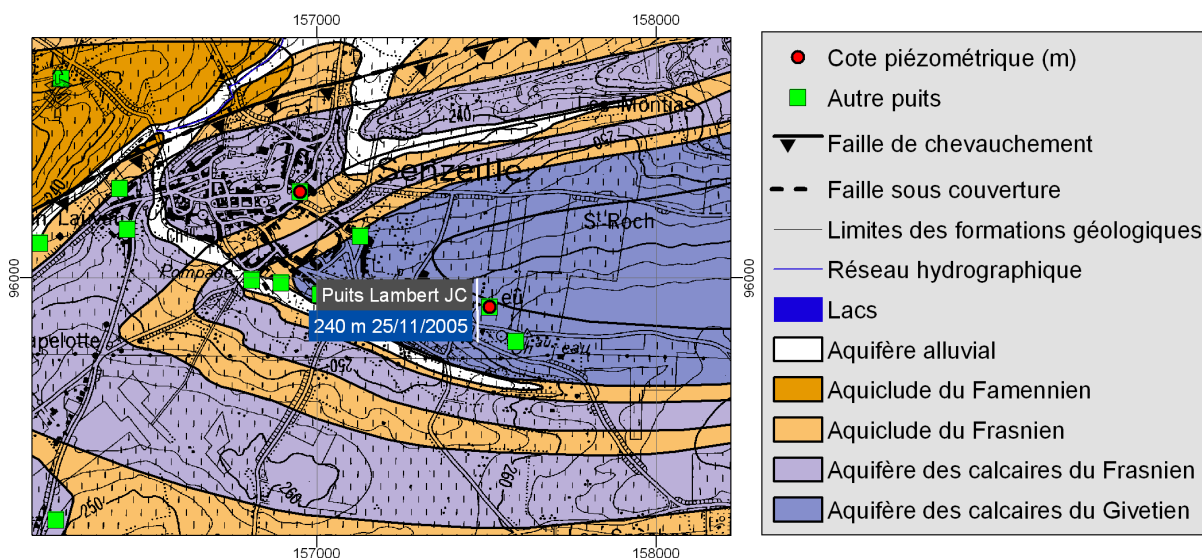


Figure IV.33 : Localisation du puits Lambert JC.

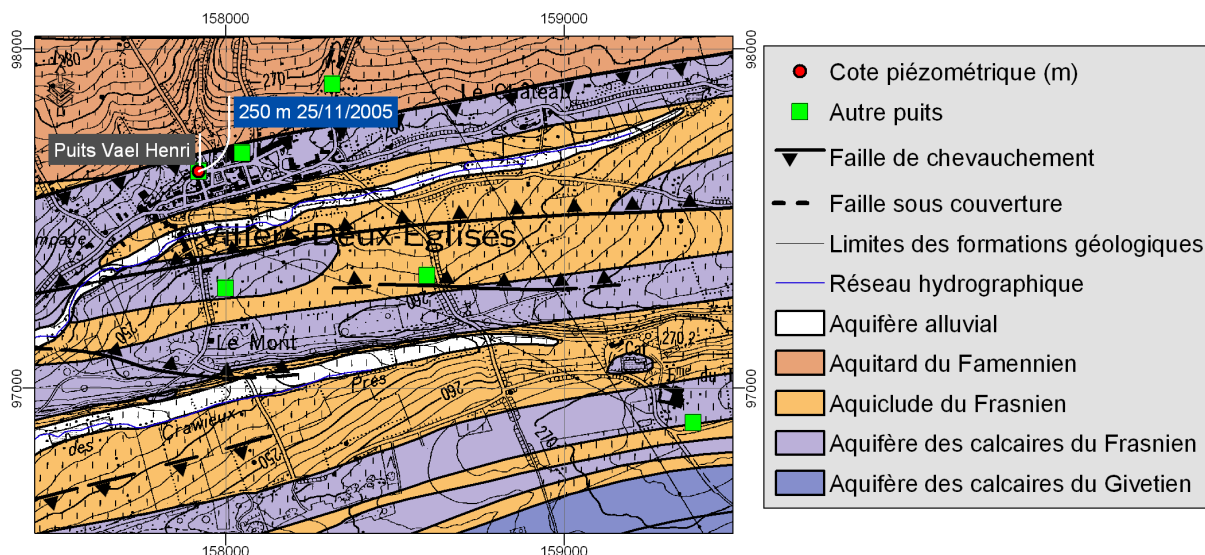


Figure IV.34 : Localisation du puits Vael.

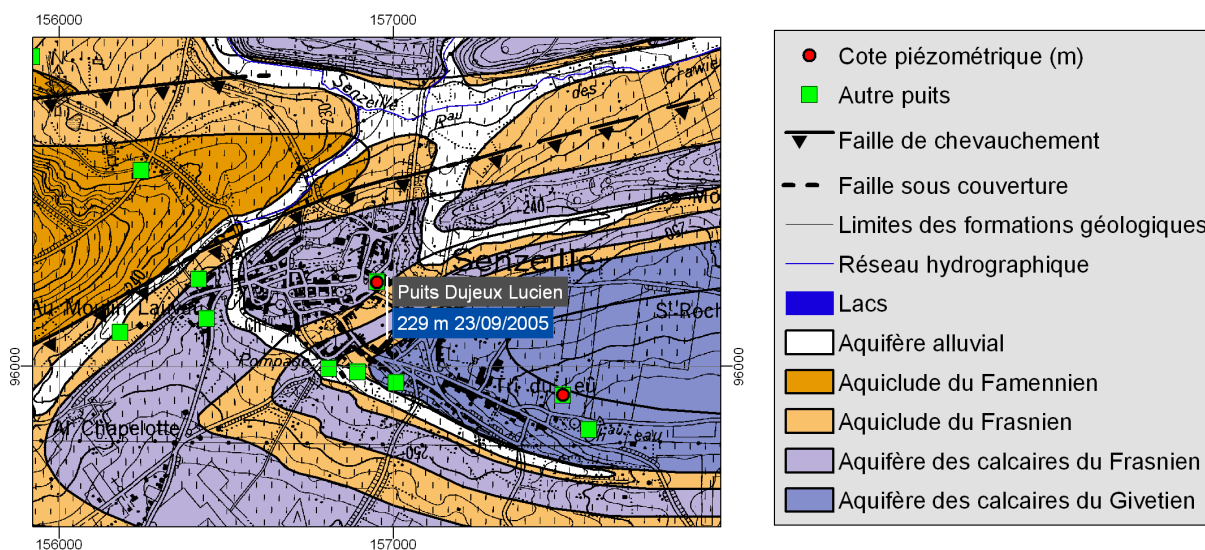


Figure IV.35 : Localisation du puits Dujoux à Senzeille.

Au niveau de la dépression de la Fagne :

- Les divers niveaux ponctuels pris dans différents puits indiquent que la nappe est toujours à moins de 10 m de profondeur.

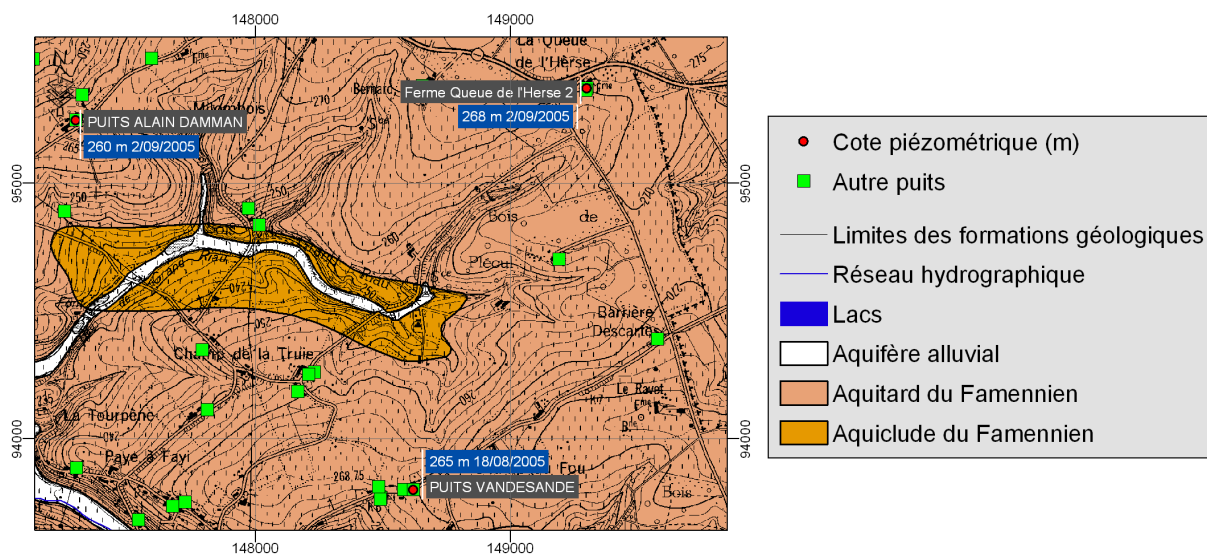


Figure IV.36 : Localisation des puits Alain Damman, Ferme Queue de l'Herse 2 et Vandésande.

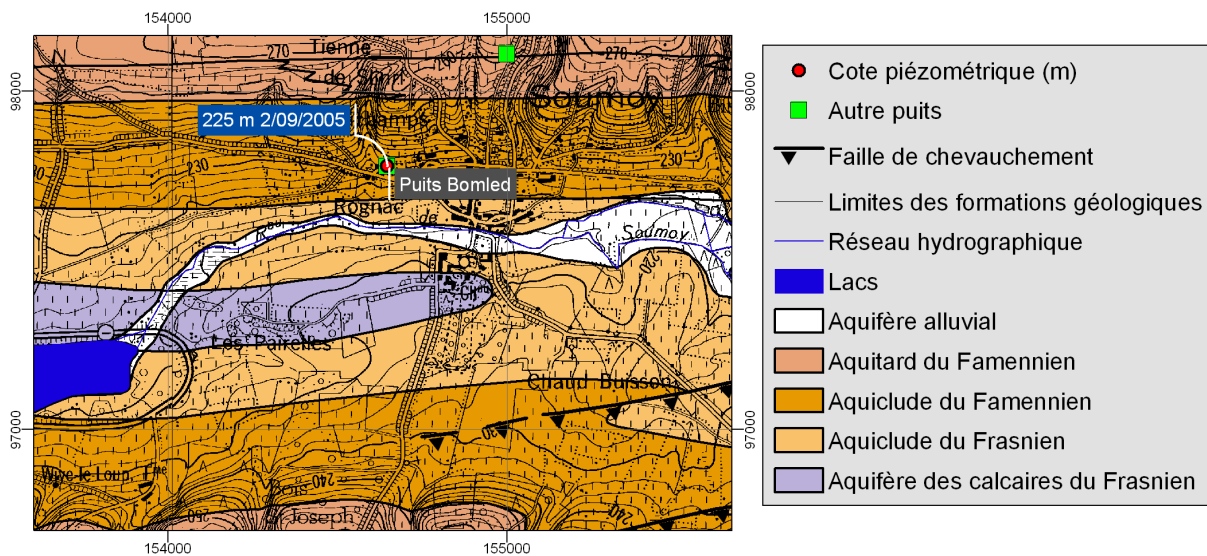


Figure IV.37 : Localisation du puits Bomled.

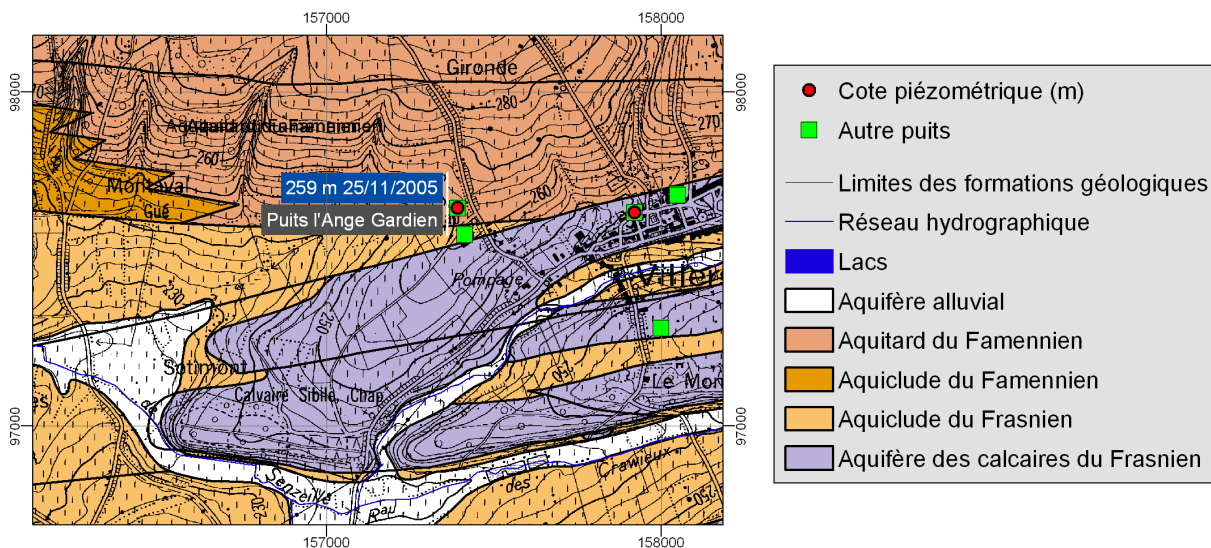


Figure IV.38 : Localisation du puits l'Ange Gardien.

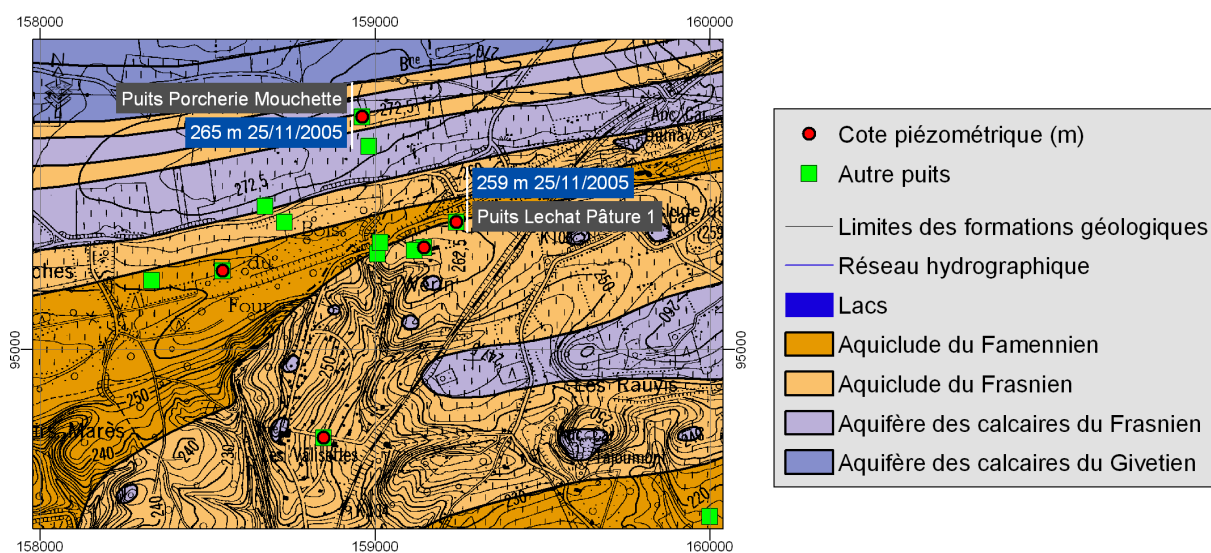


Figure IV.39 : Localisation des puits Porcherie Mouchette et Lechat Pâtüre 1.

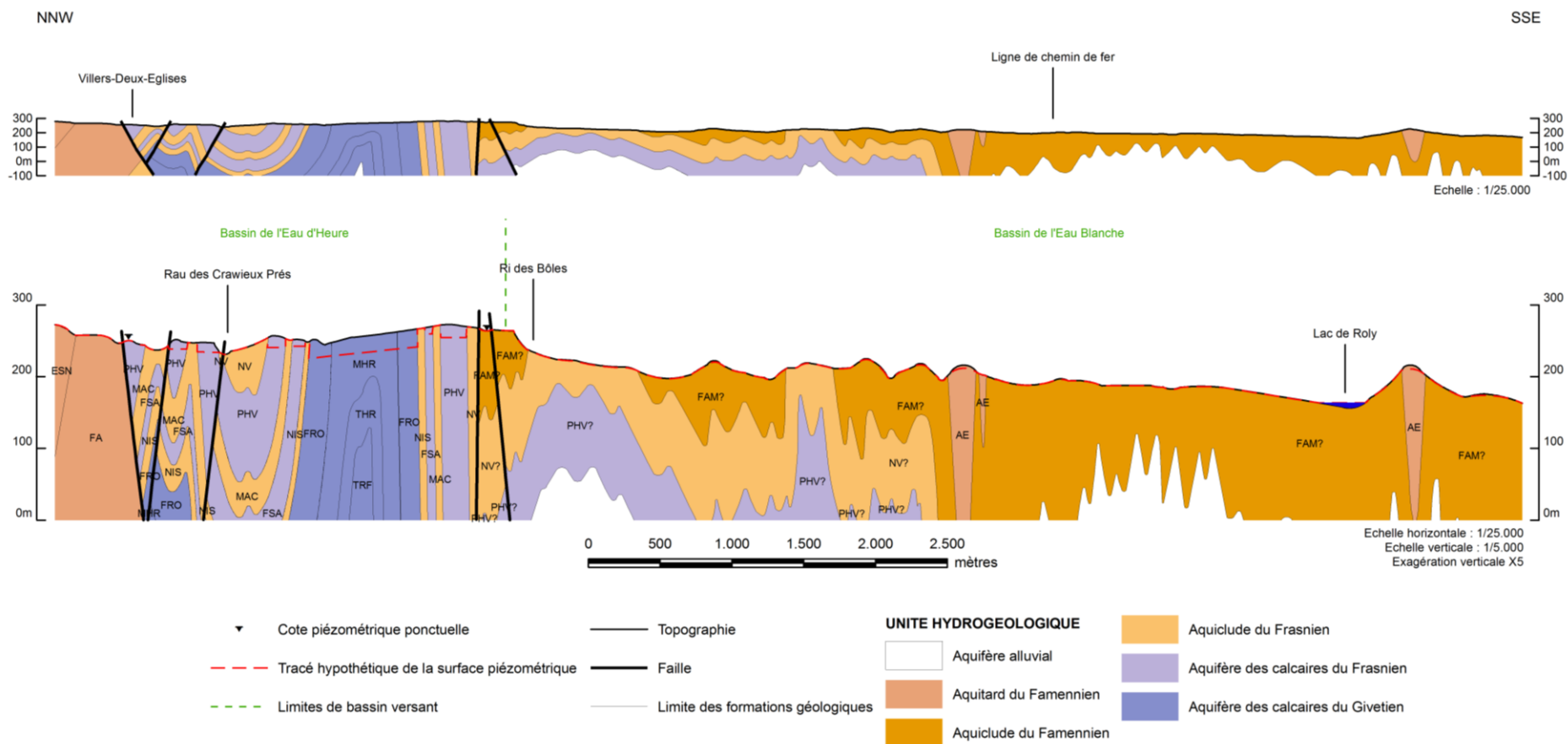


Figure IV.40 : Coupe hydrogéologique de la carte de Froidchapelle – Senzeille (57/3-4).

### IV.6. CARACTÈRE LIBRE, SEMI-CAPTIF, CAPTIF DES NAPPES

La captivité d'une nappe implique qu'elle soit surmontée d'une couche imperméable (aquiclude) et que son niveau piézométrique à l'équilibre dépasse le toit de la nappe. D'une manière générale, sur l'entièreté de la carte les nappes peuvent être considérées comme étant libres pour une profondeur plus ou moins importante en fonction de l'inclinaison des couches. Cependant, dans une structure plissée où alternent calcaires et schistes, comme dans l'Anticlinal de Philippeville (Calestienne), il est évident qu'il existe, au sein d'une même formation aquifère, des zones de nappes libres et captives (Figure IV.40). La Figure IV.41 localise les zones captives les plus probables de l'Aquifère des calcaires du Frasnien, "accessibles".

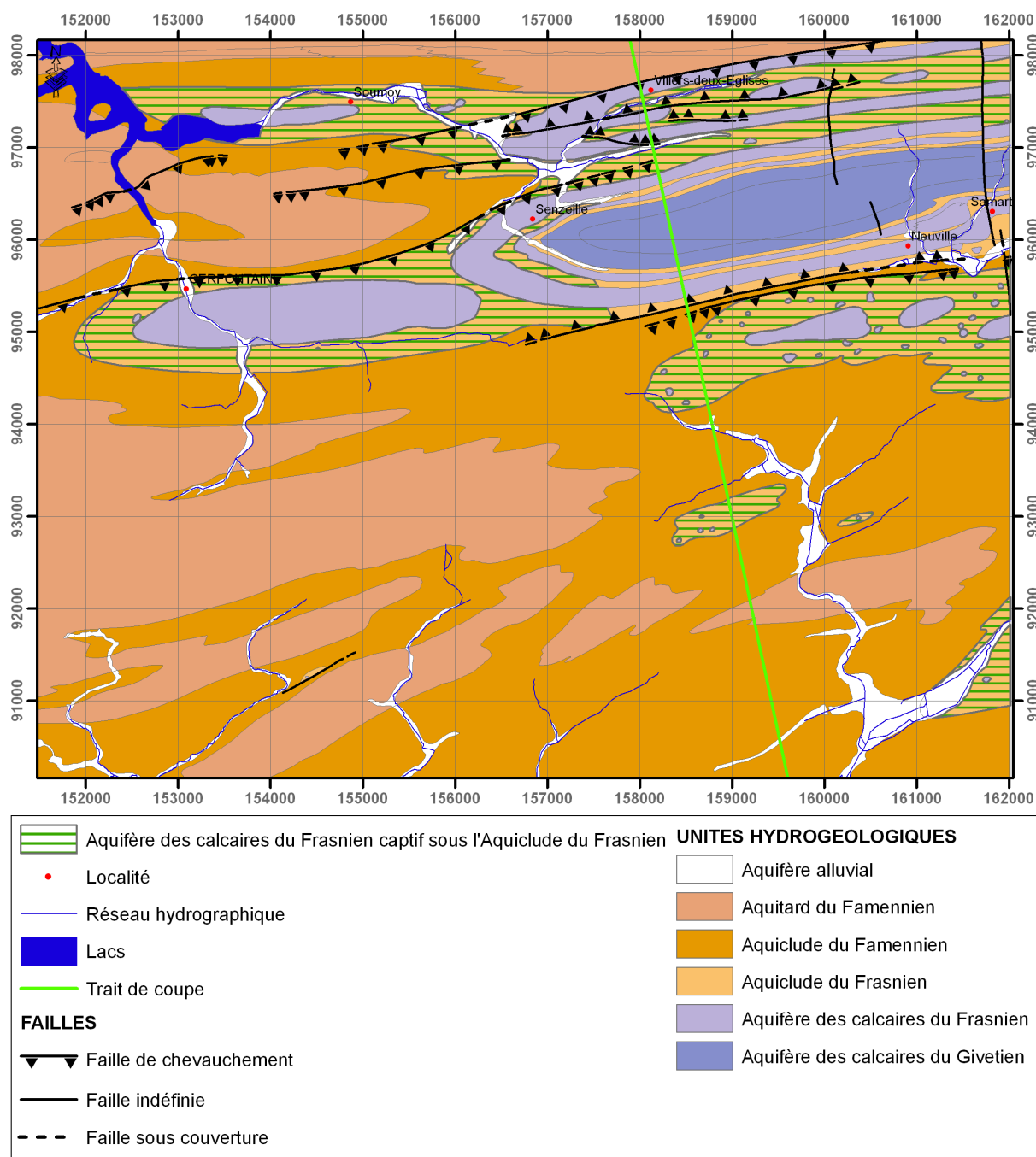


Figure IV.41 : Localisation des zones captives les plus probables de l'Aquifères des calcaires du Frasnien et à "faible" profondeur.

---

En terrain plissé, en termes de protection, la notion de captivité doit être prise avec précaution. Bien que la présence d'un aquiclude au toit d'un aquifère est gage d'une certaine protection vis-à-vis des pollutions, il est possible que le polluant puisse provenir d'une zone d'alimentation libre de l'aquifère.

## V. CADRE HYDROCHIMIQUE

Ce chapitre présente une synthèse des caractéristiques chimiques des eaux souterraines rencontrées dans les différentes formations de la carte Froidchapelle - Senzeille.

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

Des analyses sont disponibles pour certaines prises d'eau. Cependant, ces analyses sont généralement insuffisantes pour caractériser les eaux souterraines. Dans le cadre de la réalisation de cette carte hydrogéologique, une campagne d'échantillonnages et d'analyses pour certaines prises d'eau a été mise sur pied avec la Direction des Eaux Souterraines de la DGARNE afin d'étoffer le nombre d'informations hydrochimiques disponibles. Cette campagne d'analyse a eu lieu en novembre 2005.

Toutes les unités hydrogéologiques présentes sur cette carte n'ont pas fait l'objet d'une analyse chimique. C'est le cas notamment de l'Aquiclude du Frasnien et du Famennien.

### V.1. CARACTÉRISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

#### V.1.1. Aquifère des calcaires du Givetien

Trois analyses hydrochimiques complètes ont été réalisées sur des puits privés de Senzeille (Figure V.1). Une, en date du 7/11/2005, sur le puits Lambert JC, deux autres, en 2004, sur le puits Dumay Georges et sur le puits Plennevaux Gv. La première a été réalisée par le laboratoire de la S.W.D.E. dans le cadre de la réalisation de cette carte et les deux autres nous ont été fournies par Nicolas Gardin de l'ULg. Le Tableau V.1 reprend les résultats de ces trois analyses.

Dans les trois prises d'eau, l'eau est légèrement basique ( $\text{pH} > 7$ ), la conductivité est relativement importante ( $>600 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) et la teneur en calcium élevée ( $>140 \text{mg}/\text{l}$ ).

La conductivité nettement plus importante du puits Plennevaux Gv s'explique par des teneurs nettement plus élevées en calcium, potassium, sodium, magnésium, manganèse et ammonium.



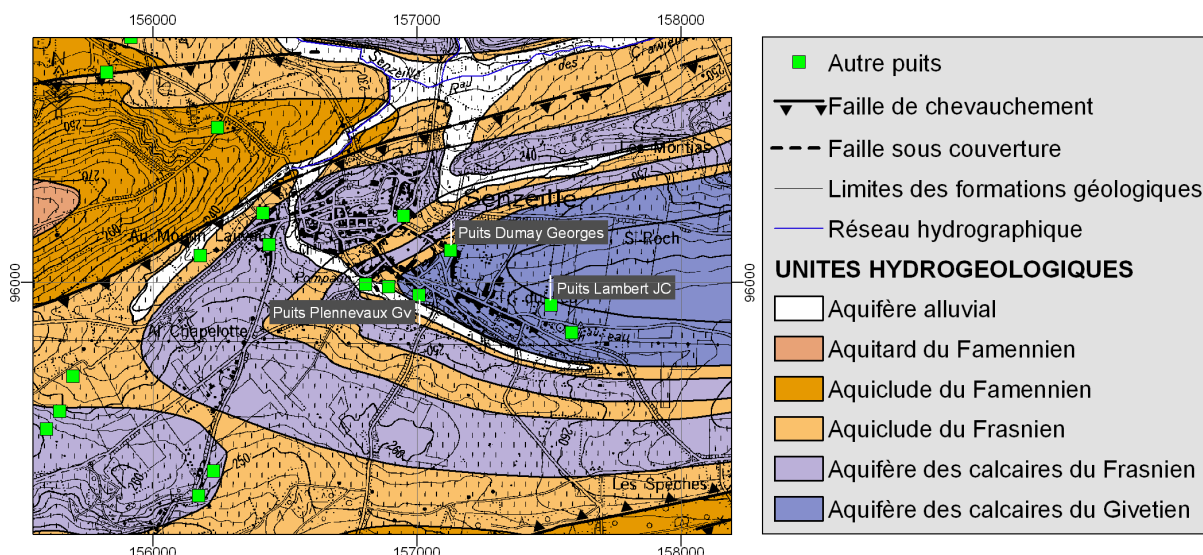


Figure V.1 : Localisation des puits Lambert JC, Dumay Georges et Plennevaux Gv de Senzeille.

Paramètres	Unités	Norme	Puits Lambert JC	Puits Plennevaux A.	Puits Dumay G.
Date de prélèvement			07/11/2005	2004	2004
Profondeur du puits	<b>m</b>		52	38	48
pH	<b>unité pH</b>	<b>6,5 à 9,2</b>	7.34	8.1	7.7
Conductivité électrique	<b>µS/cm</b>	<b>2100</b>	698	1150	694
Dureté totale	<b>°F</b>	<b>67.5</b>	39.7	56.6	43.2
Aluminium	<b>µg/l Al</b>	<b>200</b>	0	/	/
Calcium	<b>mg/l Ca</b>	<b>270</b>	140.4	186.9	148.2
Sodium	<b>mg/l Na</b>	<b>200</b>	12	36	7.8
Potassium	<b>mg/l K</b>		3.7	66.4	1.7
Magnésium	<b>mg/l Mg</b>	<b>50</b>	11.3	24.2	15.1
Fer (total dissous)	<b>µg/l Fe</b>	<b>200</b>	0	/	/
Manganèse	<b>µg/l Mn</b>	<b>50</b>	3.7	6300	200
Chlorures	<b>mg/l Cl</b>	<b>250</b>	32.9	42.1	30.1
Nitrates	<b>mg/l NO<sub>3</sub></b>	<b>50</b>	47.5	0.57	<0.2
Nitrites	<b>mg/l NO<sub>2</sub></b>	<b>0.5</b>	0.01	<0.3	25.9
Ammonium	<b>mg/l NH<sub>4</sub></b>	<b>0.5</b>	0	88.5	16
Phosphates	<b>mg/l PO<sub>4</sub></b>		0	/	/
Sulfates	<b>mg/l SO<sub>4</sub></b>	<b>250</b>	31.5	<0.3	<0.2
TAC	<b>°F</b>		29.9	57.1	35.9
Hydrogénocarbonates	<b>mg/l HCO<sub>3</sub></b>		/	686.9	435.4

Tableau V.1 : Analyses hydrochimiques de l'Aquifère des calcaires du Givetien.

Ces trois puits sont pollués en azote (N) :

- le puits Lambert JC (47,5 mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), du fait de sa position proche des cultures, probablement par une infiltration chargée en nitrates ;
- les puits Plennevaux (88,5 mg/l NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et Dumay (16 mg/l NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et 25,9 mg/l NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), localisés en zone urbaine, par une possible pollution issue d'une dégradation organique à proximité (égouttage, puits perdus, etc.).

Rappelons que ces pollutions sont dues à des phénomènes de lessivage vers la nappe et que ces teneurs peuvent fluctuer dans le temps de manière assez forte.

Le potassium, élément présent dans les engrais, peut également être un indicateur de la vulnérabilité de la nappe. Cet élément est apporté principalement sous forme de chlorures de potassium (KCl). L'eau du puits Plennevaux, pollué au niveau de l'azote présente aussi les teneurs les plus élevées en potassium et en chlorures.

Ce puits présente également une très importante pollution en manganèse (Mn). Dans les eaux souterraines, le manganèse naturel est très généralement associé au fer, ce qui n'est pas le cas ici. Il pourrait donc être le résultat de l'emploi d'un engrais riche en cet élément, utilisé spécialement pour les légumes et les agrumes.

### V.1.2. Aquifères des calcaires du Frasnien

Trois analyses hydrochimiques complètes ont été réalisées en date du 7/11/2005 sur les puits privés Ganhy de Neuville (Figure V.2), Vael de Villers-Deux-Eglises (Figure V.3) et Mathurin de Senzeille (Figure V.4). Ces analyses ont été réalisées par le laboratoire de la S.W.D.E. dans le cadre de la réalisation de cette carte. Le Tableau V.2 reprend les résultats de ces trois analyses.

Paramètres	Unités	Norme	Puits Vael	Puits Ganhy	Puits Mathurin
Date de prélèvement			7/11/2005	7/11/2005	7/11/2005
Profondeur du puits	m		6	40	46
pH	unité pH	6,5 à 9,2	7.06	7.27	7.28
Conductivité électrique	µS/cm	2100	825	633	778
Dureté totale	°F	67.5	40	38.6	41.1
Aluminium	µg/l Al	200	13	0	16
Calcium	mg/l Ca	270	144.4	123.5	147
Sodium	mg/l Na	200	22.1	6.3	31.1
Potassium	mg/l K		55.9	1.4	4.3
Magnésium	mg/l Mg	50	9.6	18.9	10.7
Fer (total dissous)	µg/l Fe	200	420	0	0
Manganèse	µg/l Mn	50	21.5	8.7	2.2
Chlorures	mg/l Cl	250	34.5	29.5	59.6
Nitrates	mg/l NO <sub>3</sub>	50	51.8	15.3	44.5
Nitrites	mg/l NO <sub>2</sub>	0.5	0.03	0	0
Ammonium	mg/l NH <sub>4</sub>	0.5	0.06	0	0
Phosphates	mg/l PO <sub>4</sub>		0.17	0	0
Sulfates	mg/l SO <sub>4</sub>	250	35.8	21.4	43.1
TAC	°F		35.9	31	29.3
Hydrogénocarbonates	mg/l HCO <sub>3</sub>		/	/	/

Tableau V.2: Analyses hydrochimiques de l'Aquifère des calcaires du Frasnien.

Les eaux de ces trois puits sont riches en ions calcium (> 120 µg/l), de pH légèrement basique (pH > 7) et de forte conductivité.

Le puits Ganhy (Figure V.2) présente une conductivité et une teneur en calcium plus faible à mettre en relation avec son alimentation. A cet endroit l'Aquifère des calcaires du Frasnien est captif du fait de la présence à son toit des formations frasniennes de Neuville-Matagne, imperméables. Le puits Ganhy s'alimente probablement aux deux nappes et plus particulièrement à la nappe de l'Aquifère des calcaires du Frasnien comme en témoigne les valeurs de pH, d'ions calcium et de conductivité plus faibles que celles rencontrées dans les aquifères de type calcaire mais plus élevées que celles rencontrées dans les aquicludes frasniens (voir plus loin). Au droit de ce puits, l'Aquifère des calcaires du Frasnien bénéficie d'une excellente protection par la présence à son toit des shales du Frasnien. Cela se traduit très clairement dans son analyse chimique : peu de nitrate, moins de chlorure, de potassium, de sodium, de sulfates. Retenons également que ce puits se situe dans un contexte d'où sont exclues les pâtures et les cultures.

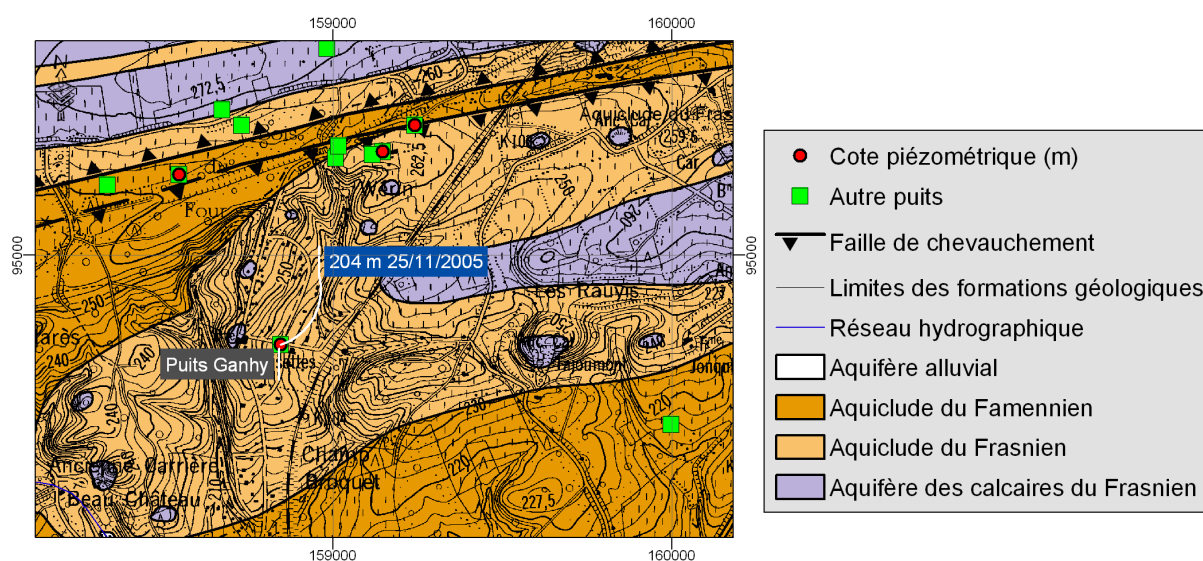


Figure V.2 Localisation du Puits Ganhy de Neuville.

Tout comme dans le puits Plennevaux (voir point V.1.1) on constate que le puits Vael (Figure V.3), largement pollué en nitrates ( $50.1 \text{ mg/l NO}_3^-$ ), présente des teneurs nettement plus élevées en potassium et en chlorure, témoins de l'utilisation d'engrais qui ont été lessivés et entraînés vers la nappe. Le puits Vael présente une très forte teneur en fer ( $420 \text{ } \mu\text{g/l}$ ) associé à une teneur en manganèse élevée ( $21.5 \text{ } \mu\text{g/l}$ ). Ces teneurs élevées en ions fer et manganèse sont probablement dues à la présence de ces éléments en quantité importante dans les shales de l'Aquiclude du Frasnien encadrant la bande calcaire dans lequel se situe le puits Vael.

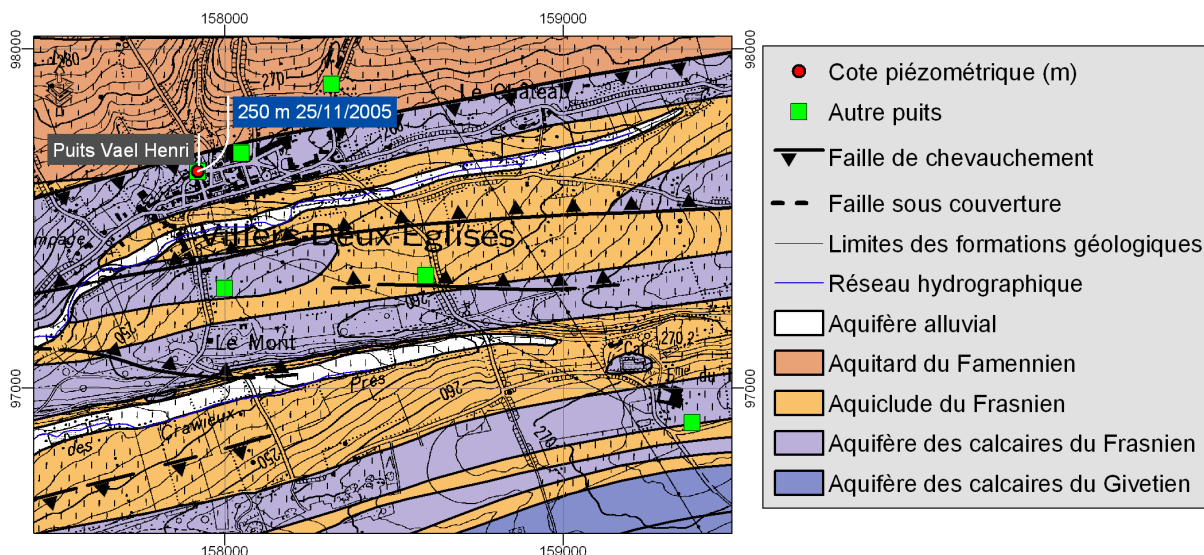


Figure V.3 : Localisation du Puits Vael de Villers-Deux-Eglises

Le puits Mathurin (Figure V.4) présente également une pollution en nitrates importante, à laquelle sont sans doute liées les valeurs plus élevées en sodium, en chlorures et en sulfates; ions que l'on retrouve dans les composants des engrais. La pollution du puits Mathurin semble différente de celle du puits Vael – pas de potassium dans le premier- et pourrait être corrélée à l'environnement de ces puits. Le premier se situe en zone de pâtures, tandis que le deuxième se situe en aval de zones de pâtures et de cultures.

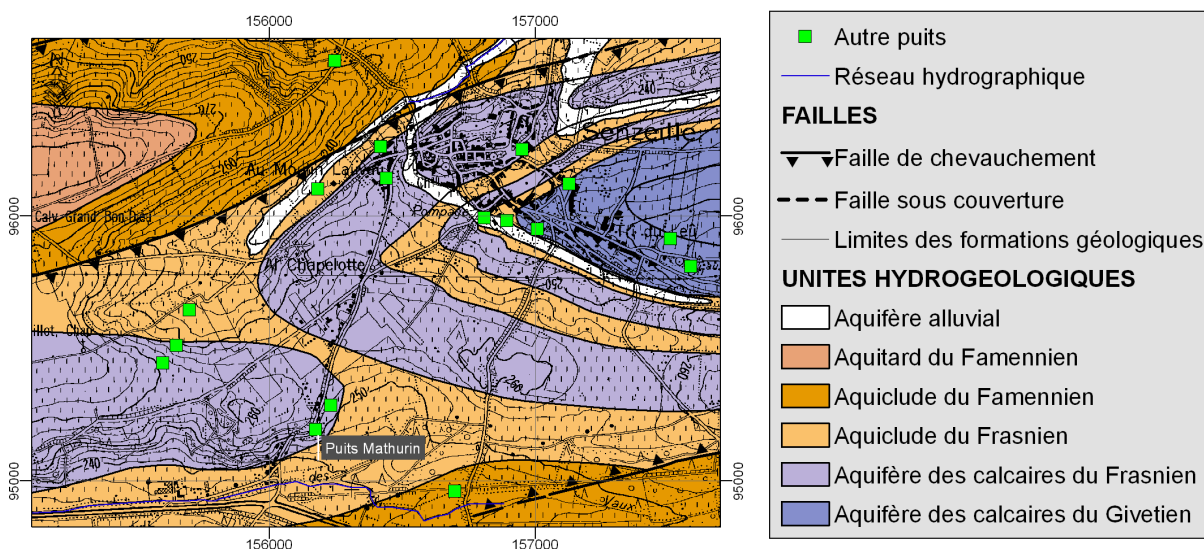


Figure V.4 : Localisation du Puits Mathurin de Senzeille.

### V.1.3. Aquiclude du Frasnien

Six analyses hydrochimiques complètes ont été réalisées sur les puits privés Pré du Pusse et Trî des Vaches à l'est de Villers-Deux-Eglises (Figure V.5), Ouest Al Chapelotte, Nord Trî du Camp, Ouest Les Spèches et r<sup>au</sup> des Vaux au SW de Senzeille (Figure V.6) dont les analyses nous ont été fournies par N. Gardin de l'ULg. Le Tableau V.3 reprend les résultats de ces six analyses. Tous les puits analysés s'alimentent dans la nappe d'altération de l'Aquiclude du Frasnien.

Paramètres	Unités	Norme	Puits Pré du Pusse	Puits Trî des Vaches	Puits ouest Al Chapelotte	Puits R <sup>au</sup> des Vaux	Puits ouest Les Spèches	Puits nord Trî du Camp
Date de prélèvement			2004	2004	2004	2004	2004	2004
Profondeur du puits	M		5	7	6	4	5	6
pH	unité pH	6,5 à 9,2	7.2	7.4	6.9	7.6	7.9	7.6
Conductivité électrique	µS/cm	2100	290.9	261	227.4	626	375	317
Dureté totale	°F	67.5	15.2	12.8	10.9	28.8	19.7	18.5
Aluminium	µg/l Al	200	/	/	/	/	/	/
Calcium	mg/l Ca	270	50.9	43.8	36.2	106.4	70.6	67.5
Sodium	mg/l Na	200	4.9	4.4	2.6	16.4	3.7	2.3
Potassium	mg/l K		1.5	5.1	0.6	4.4	1.6	3.1
Magnésium	mg/l Mg	50	6.1	4.6	4.5	5.5	5	4
Fer (total dissous)	µg/l Fe	200	/	/	/	/	/	/
Manganèse	µg/l Mn	50	0	0	0	0	0	0.6
Chlorures	mg/l Cl	250	13.5	10.8	19.4	16.5	28.8	5.9
Nitrates	mg/l NO <sub>3</sub>	50	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Nitrites	mg/l NO <sub>2</sub>	0.5	11.7	27.2	4.4	3.2	34.8	0
Ammonium	mg/l NH <sub>4</sub>	0.5	13.6	9.8	18.7	94.4	7.4	2.6
Phosphates	mg/l PO <sub>4</sub>		0.1	0.1	0	0.4	0.7	0.5
Sulfates	mg/l SO <sub>4</sub>	250	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
TAC	°F		11.1	9.6	6.1	17.1	13	17.7
Hydrogénocarbonates	mg/l HCO <sub>3</sub>		135.1	116.8	74.3	207.7	157.1	214.8

Tableau V.3 : Analyses hydrochimiques de l'Aquiclude du Frasnien.

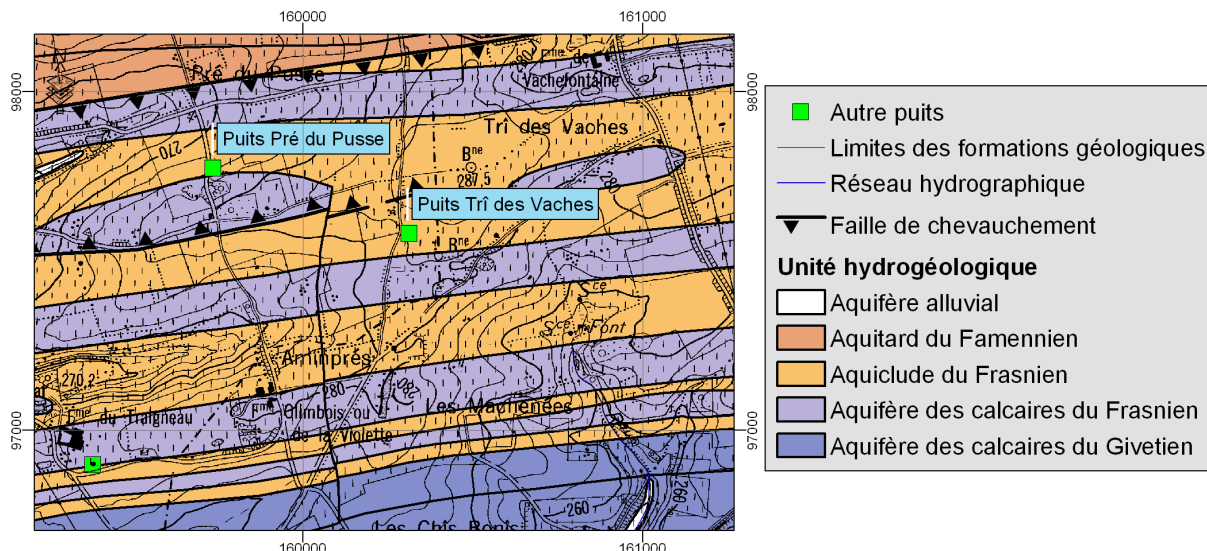


Figure V.5 : Localisation des puits Pré du Pusse et Trî des Vaches.

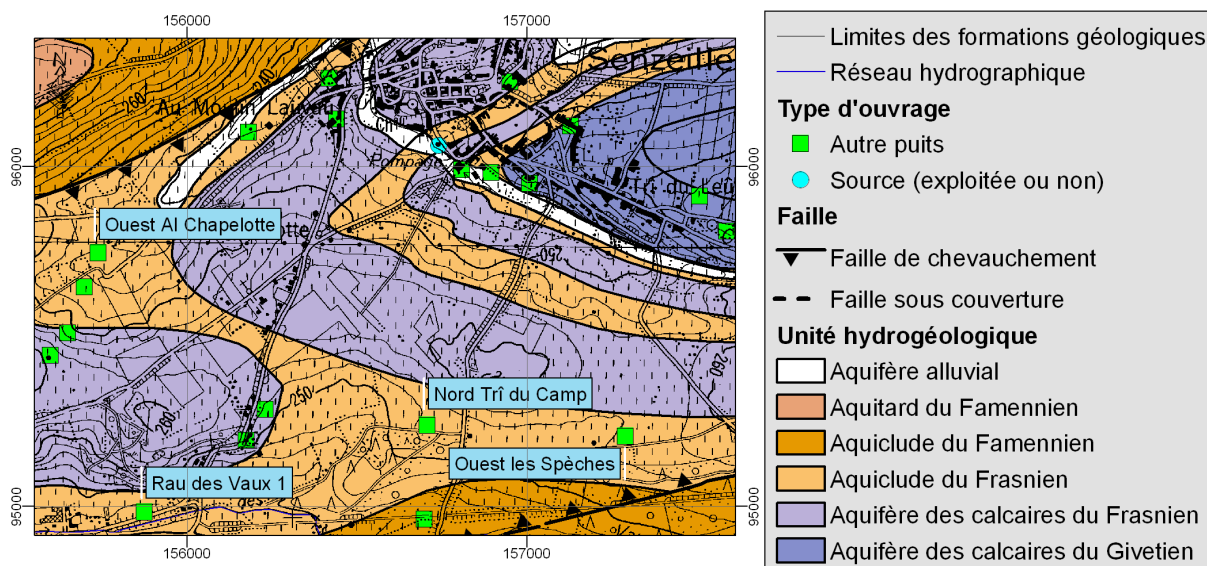


Figure V.6 : Localisation des puits Ouest Al Chapelotte, Ouest Les Spèches, Nord Trî du Camp et r<sup>au</sup> des Vaux 1.

L'eau des puits analysée présente un pH variant entre 6,9 et 7,9 avec une moyenne de 7,4. La teneur en ions calcium ne dépasse pas 106,4 mg/l.

Tous les puits présentent une eau de conductivité faible (< 400 µS/cm) excepté le Puits R<sup>au</sup> des Vaux 1 (626 µS/cm). La conductivité plus élevée de ce dernier est à mettre en relation avec la forte teneur en ions calcium, ammonium et sodium.

L'eau de tous ces puits est polluée en azote (N) sous forme d'ammonium (2,6 à 94,4 mg/l) et/ou de nitrites (3,2 à 34,8 mg/l) dont les teneurs dépassent la norme de potabilité (0,5 mg/l). Ceci indiquerait une pollution par une source organique (lisier, fumier, etc.). Ces puits de faible profondeur sont des puits de pâture et sont probablement pollués par les bovins qui y paissent. Le puits nord Trî du Camp, sis en bordure d'une zone boisée, présente des teneurs en nitrites nulles et en ammonium nettement plus basses que les autres puits.

#### **V.1.4. Aquitard du Famennien**

Cinq analyses hydrochimiques complètes ont été réalisées sur les puits privés Dagneaux E. et Dagneaux L. 1 de Froidchapelle (Figure V.7), Revelart et Pierson de Cerfontaine (Figure V.8) dont les analyses nous ont été fournies par N. Gardin de l'ULg et sur le puits Mestdagh G. de Froidchapelle (Figure V.9) dont l'analyse a été réalisée par le laboratoire de la S.W.D.E. dans le cadre de la réalisation de cette carte. Le Tableau V.4 reprend les résultats de ces cinq analyses. Tous les puits analysés s'alimentent dans la nappe d'altération de l'Aquitard du Famennien.

Paramètres	Unités	Norme	Puits Dagneau E.	Puits Dagneaux L. 1	Puits Revelart	Puits Pierson E.	Puits Mestdagh
Date de prélèvement			2004	2004	2004	2004	7/11/2005
Profondeur du puits	<b>M</b>		9	13	11	4	5
pH	<b>unité pH</b>	<b>6,5 à 9,2</b>	6.7	7.7	8.5	7.4	7.29
Conductivité électrique	<b>µS/cm</b>	<b>2100</b>	207.7	422	552	249.4	518
Dureté totale	<b>°F</b>	<b>67.5</b>	7.6	17.7	25.5	12.6	31.5
Aluminium	<b>µg/l Al</b>	<b>200</b>	/	/	/	/	0
Calcium	<b>mg/l Ca</b>	<b>270</b>	23.2	61.2	80.2	45.5	115.8
Sodium	<b>mg/l Na</b>	<b>200</b>	6.3	5.9	14.9	5.9	6.7
Potassium	<b>mg/l K</b>		10.1	16.3	12.6	4	1.3
Magnésium	<b>mg/l Mg</b>	<b>50</b>	4.5	6	13.3	2.9	6.3
Fer (total dissous)	<b>µg/l Fe</b>	<b>200</b>	/	/	/	/	110
Manganèse	<b>µg/l Mn</b>	<b>50</b>	0	0	0	1	7.9
Chlorures	<b>mg/l Cl</b>	<b>250</b>	15.2	24.7	40	13.7	59.6
Nitrates	<b>mg/l NO<sub>3</sub></b>	<b>50</b>	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	7.8
Nitrites	<b>mg/l NO<sub>2</sub></b>	<b>0.5</b>	27.6	68.3	24.5	4.2	0.01
Ammonium	<b>mg/l NH<sub>4</sub></b>	<b>0.5</b>	10.3	20.8	38.9	10.6	0
Phosphates	<b>mg/l PO<sub>4</sub></b>		0	0.3	3.3	0.2	0
Sulfates	<b>mg/l SO<sub>4</sub></b>	<b>250</b>	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	
TAC	<b>°F</b>		4.9	9.1	17.6	11.2	27.7
Hydrogénocarbonates	<b>mg/l HCO<sub>3</sub></b>		59.7	110.3	207.7	136.2	/

**Tableau V.4 : Analyses hydrochimiques de l'Aquitard du Famennien.**



L'Aquitard du Famennien est assez hétérogène lithologiquement (voir point IV.2.1.5, p. 28) puisqu'il rassemble des argilo-siltites, des grès, des grès argileux ou calcaireux, des siltites et des bancs de calcaire. La diversité des pH, des conductivités et des teneurs en ions calcium exprime bien cette diversité. Ces eaux présentent de faible conductivité du fait de teneurs en ions calcium ne dépassant pas 120 mg/l. Les eaux issues des niveaux carbonatés (puits Revelart et Mestdagh) se différencient de celles issues des niveaux plus acides, de shales et de grès (Tableau V.4, Puits Dagneaux E., Puits Pierson), par des pH plus basiques, des teneurs en ions calcium et des conductivités plus élevées.

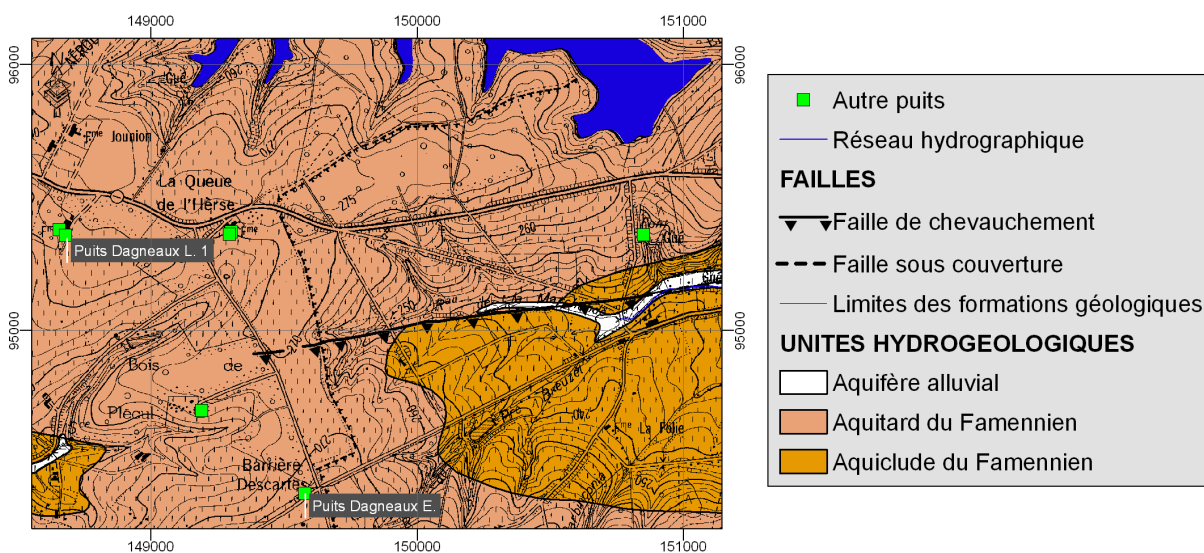


Figure V.7 : Localisation des Puits Dagneaux L. 1 et Dagneaux E.

Tous ces puits, excepté le puits Mestdagh, sont pollués en azote sous forme d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et de nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), dont les teneurs dépassent largement les normes de potabilité. Ceci indiquerait plutôt une pollution organique type lisier, fumier ou autre au droit de ces puits. Il y a de forte chance pour que ces puits, qui sont des puits de pâtures, soient pollués par les déjections des bovins qui y paissent. Le puits Mestdagh, implanté au cœur d'une zone boisée, ne présente pas ce type de pollution.

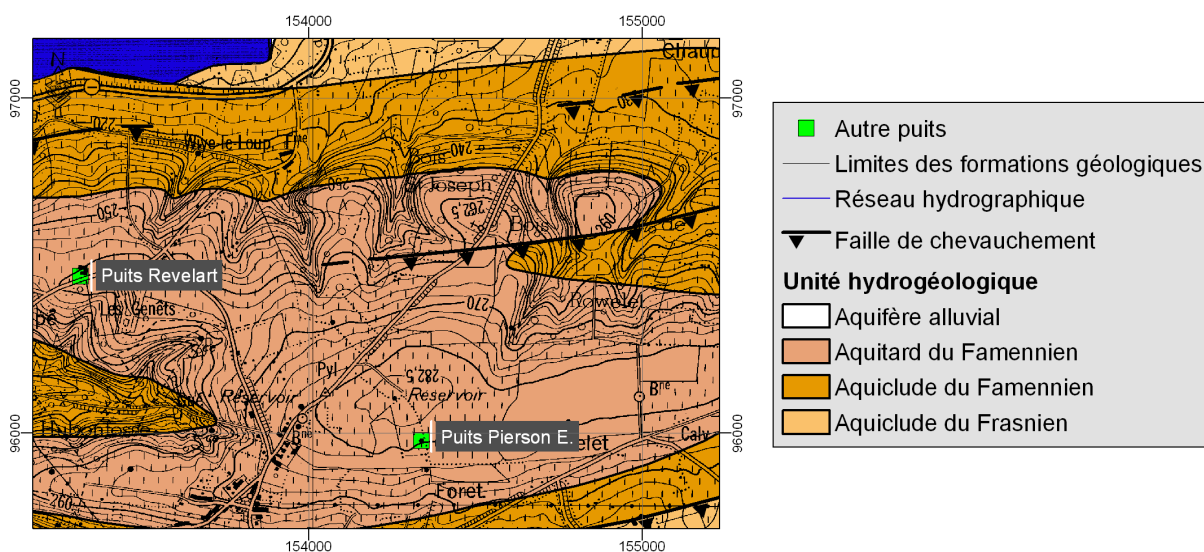


Figure V.8 : Localisation des Puits Revelart et Pierson.

Le puits Mestdagh (Figure V.7) présente une teneur en fer élevée associée à du manganèse. Ces éléments sont sans doute issus des roches dans lesquelles est implanté ce puits. Au niveau des pesticides, seul le puits Mestdagh a fait l'objet d'une analyse. Il ne montre aucune pollution de ce type, ce qui peut éventuellement être mis en relation avec son environnement, dans une propriété privée de grande surface, donc "à l'abri" d'une éventuelle pollution agricole à plus longue distance du fait des faibles perméabilités.

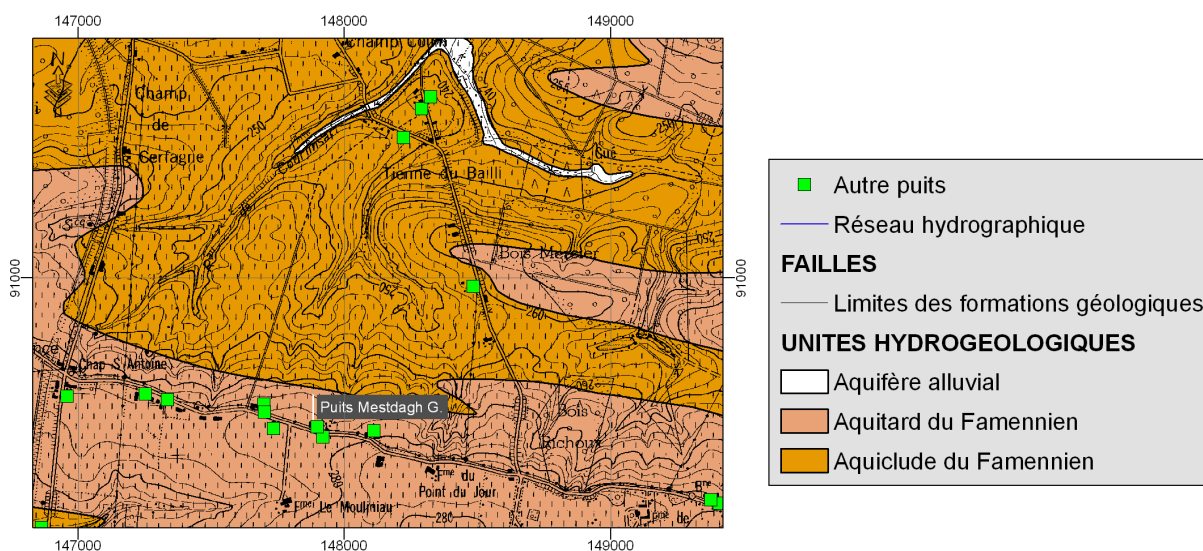


Figure V.9 : Localisation du Puits Mestdagh G.

### V.1.5. Aquiclude du Famennien

Trois analyses hydrochimiques complètes ont été réalisées sur les puits privés Pierson E. 2, Le Barbinconia et Au Vert Pwèri de Cerfontaine (Figure V.10) dont les analyses nous ont été fournies par Nicolas Gardin de l'ULg. Le Tableau V.5 reprend les résultats de ces trois analyses. Tous les puits analysés s'alimentent dans la nappe d'altération de l'Aquiclude du Famennien.

Paramètres	Unités	Norme	Puits Pierson E. 2	Puits Le Barbinconia	Puits Au Vert Pwèri
Date de prélèvement			2004	2004	2004
Profondeur du puits	M		3	5	6
pH	unité pH	6,5 à 9,2	7.3	7.4	6.5
Conductivité électrique	µS/cm	2100	462	281.6	159.6
Dureté totale	°F	67.5	19.6	14.2	5.9
Aluminium	µg/l Al	200	/	/	/
Calcium	mg/l Ca	270	67.4	48.9	20
Sodium	mg/l Na	200	13.8	4.1	6.1
Potassium	mg/l K		14.8	1.6	1.7
Magnésium	mg/l Mg	50	6.7	4.9	2
Fer (total dissous)	µg/l Fe	200	/	/	/
Manganèse	µg/l Mn	50	0	0	1
Chlorures	mg/l Cl	250	35.3	9	9
Nitrates	mg/l NO <sub>3</sub>	50	<0.2	<0.2	<0.2
Nitrites	mg/l NO <sub>2</sub>	0.5	75.6	27.1	2.1
Ammonium	mg/l NH <sub>4</sub>	0.5	16	6	23.7
Phosphates	mg/l PO <sub>4</sub>		0.2	0.2	0
Sulfates	mg/l SO <sub>4</sub>	250	<0.2	<0.2	<0.2
TAC	°F		11.5	10.8	2.9
Hydrogénocarbonates	mg/l HCO <sub>3</sub>		139.9	131.3	35.4

Tableau V.5 : Analyses hydrochimiques de l'Aquiclude du Famennien.

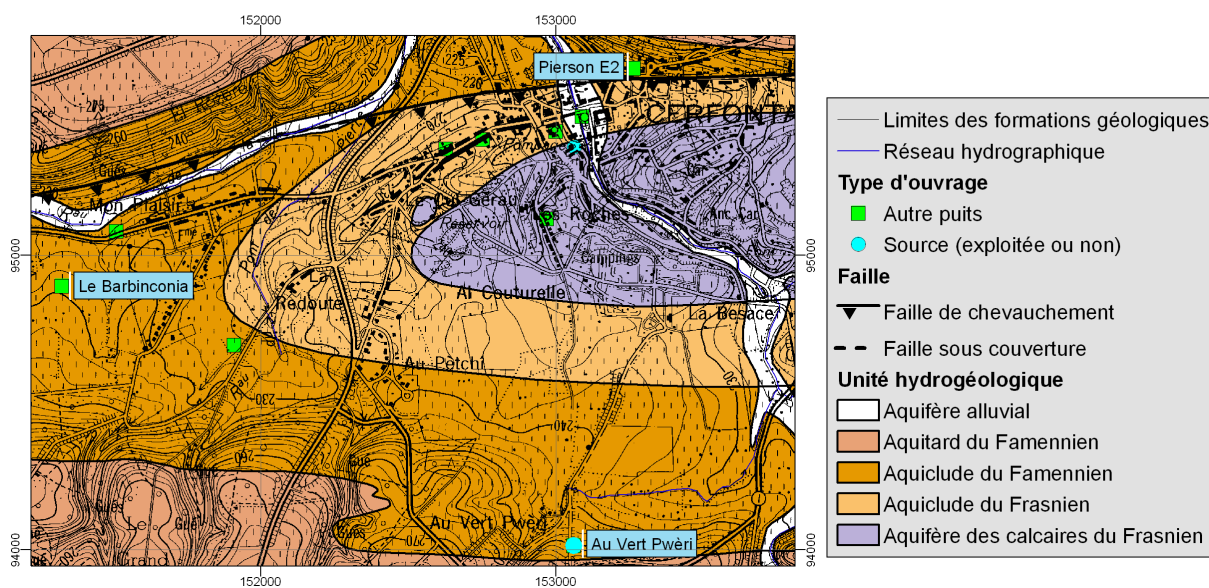


Figure V.10 Localisation des Puits Pierson E. 2, Le Barbinconia et au Vert Pwèri.

L'eau des puits analysés présente un pH variant entre 6,5 et 7,4. La teneur en ions calcium ne dépasse pas 70,4 mg/l.

Tous les puits présentent une eau de conductivité très faible (< 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) excepté le Puits Pierson E. 2 (462  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) à mettre en relation avec les fortes teneurs en ions calcium, ammonium, potassium, sodium, chlorure et nitrites de ce dernier.

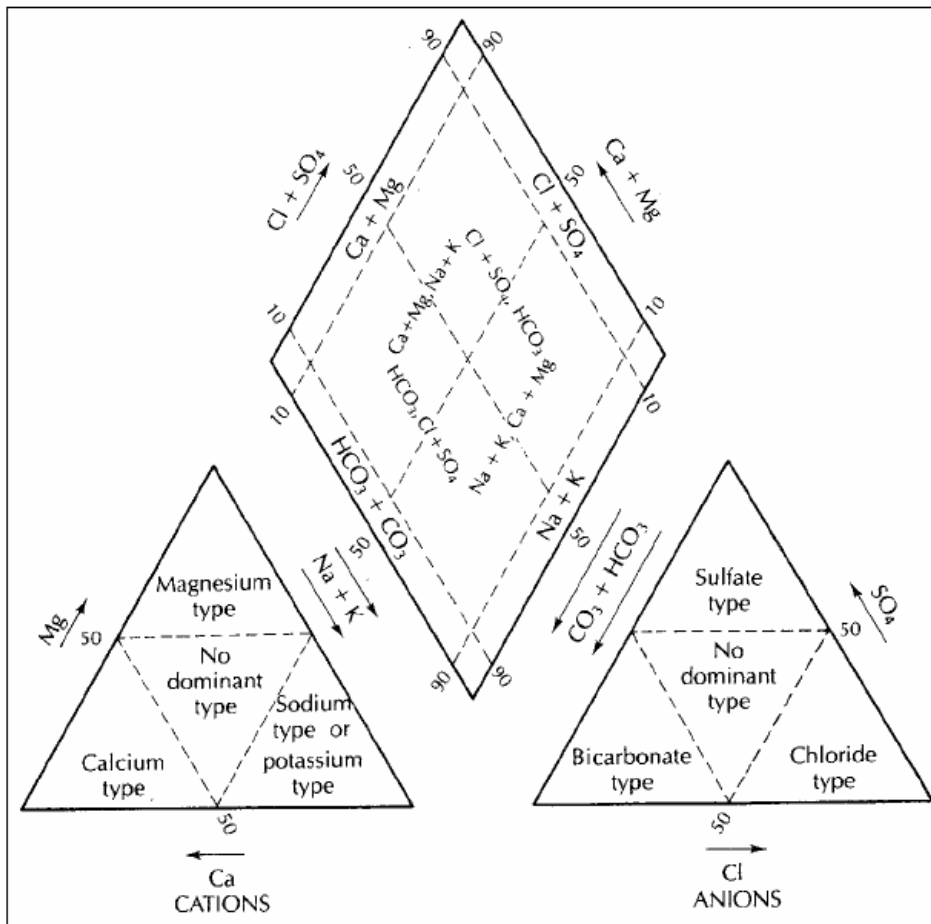
L'eau de tous ces puits est polluée en azote (N) sous forme de nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) pour les puits Pierson E. 2 (75,6 mg/l), Le Barbinconia (27,1 mg/l) et Au Vert Pwèri (2,1mg/l) et sous forme d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) pour les puits Pierson E. 2 (16 mg/l), Le Barbinconia (6 mg/l) et Au Vert Pwèri (23,7 mg/l) dont les teneurs dépassent la norme de potabilité (0,05 mg/l) pour ces deux éléments. Ceci indiquerait une pollution par une source organique (lisier, fumier, etc.). La forte teneur en chlorures et potassium du Puits Pierson E. 2, associée à des valeurs importante en azote indiquerait plutôt une pollution par engrais agricoles.

Au niveau des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) les teneurs – toutes inférieures à 0,2 mg/l - sont largement en dessous de la norme de potabilité (50 mg/l).

Tous ces puits sont de faible profondeur, ils sont de ce fait très sensibles aux ruissellements de surface et de subsurface qui vont lessiver et concentrer les effluents "aux bas" des pentes. La présence d'ammonium et de nitrites et l'absence de nitrates semblent démontrer des contaminations rapides des puits à partir de la surface.

#### **V.1.6. Commentaires**

Les analyses des différentes nappes ont été projetées dans un diagramme de Piper (*Fetter, 2001, Figure V.11*). Ce diagramme, basé sur les concentrations en éléments majeurs naturellement présents dans l'eau, permet de classer différents types d'eaux souterraines (*Figure V.12*).



**Figure V.11: Classification hydrochimique des eaux souterraines (Fetter, 2001).**

Toutes les eaux souterraines analysées sont de type bicarbonaté calcique. Le caractère bicarbonaté plus ou moins marqué de l'Aquitard du Famennien est à mettre en relation avec la présence de niveaux calcaires dans certaines formations composant cette unité hydrogéologique (voir IV.2.1.5, p. 28).

Les eaux des aquicludes du Frasnien et du Famennien et de l'Aquitard du Famennien sont pauvres et même dépourvues de sulfates, seules les eaux de l'Aquifère des calcaires du Frasnien présentent des concentrations plus élevées.

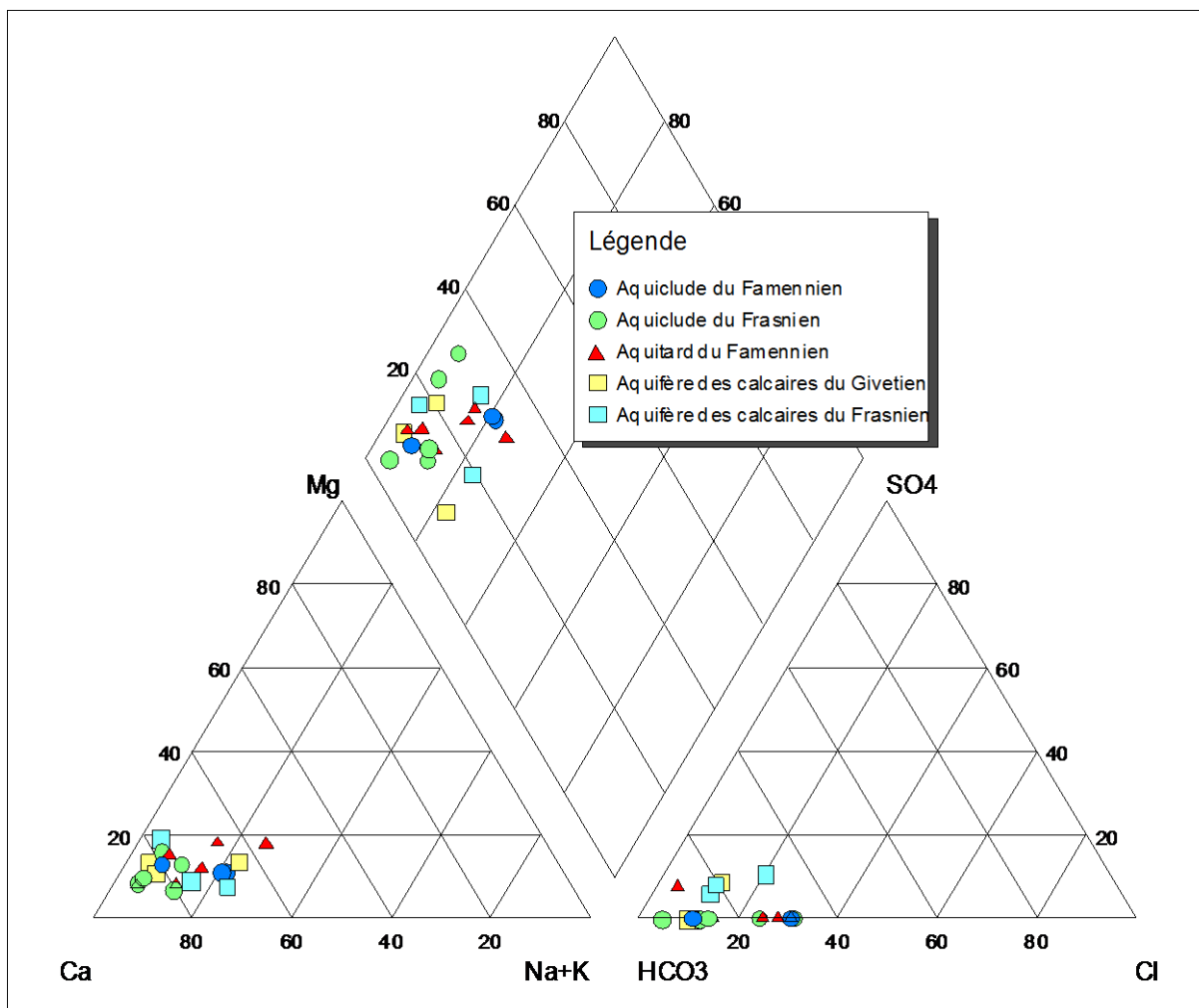


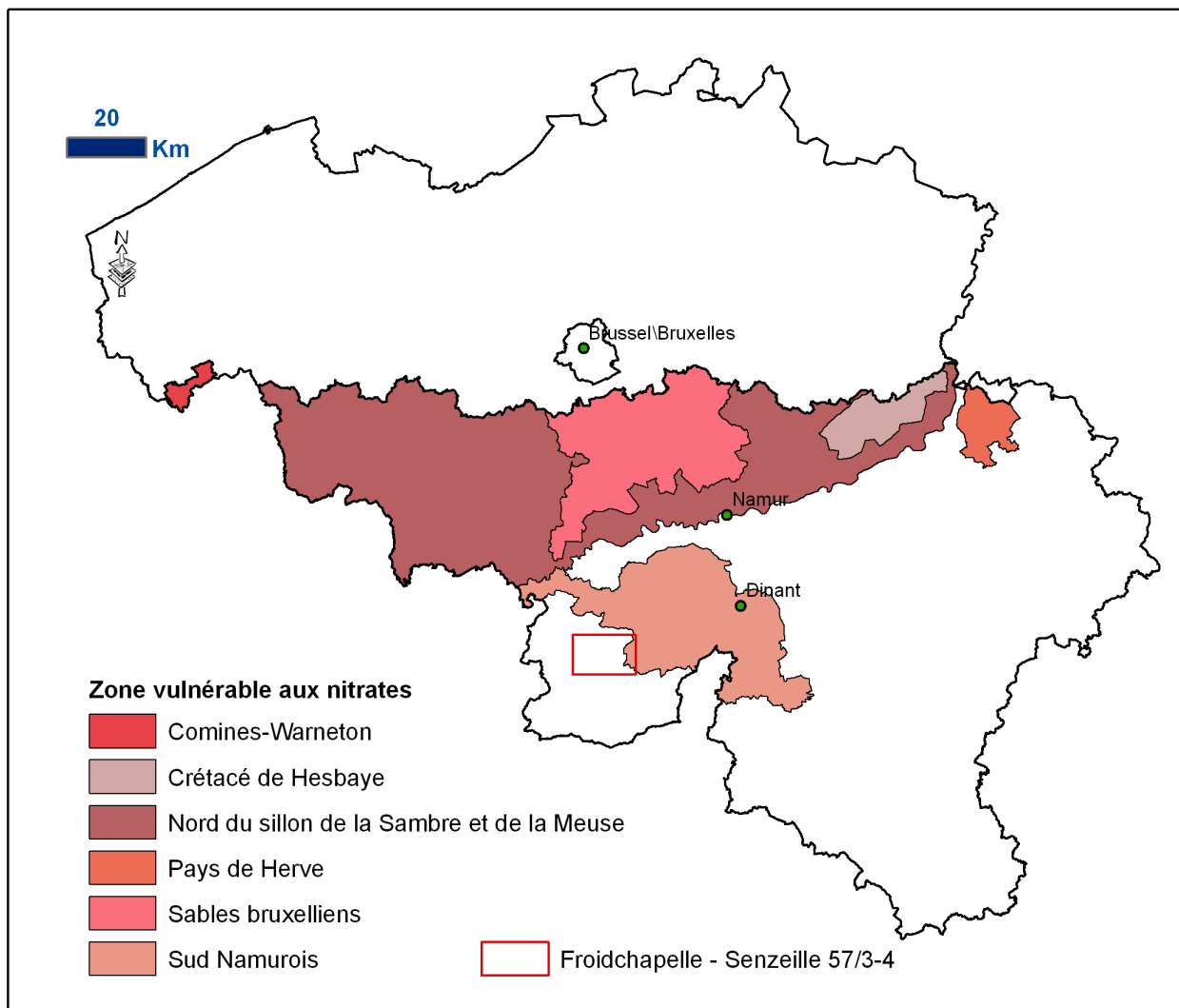
Figure V.12 : Diagramme de Piper des analyses hydrochimiques des différentes unités hydrogéologiques rencontrées sur la carte Froidchapelle - Senzeille.

## V.2. PROBLÉMATIQUE DES NITRATES

Les nitrates font depuis plusieurs années l'objet de contrôles réguliers de la part des sociétés de distribution d'eau. La norme européenne est de 50 mg de NO<sub>3</sub> par litre d'eau au maximum. Pour protéger les eaux de surface et souterraines de la pollution par les nitrates, 6 "zones vulnérables" ont été désignées par arrêtés ministériels (Figure V.13). Cette désignation implique l'application d'un programme d'action précis dont les mesures ont été arrêtées dans le code de "bonne pratique agricole". Pour plus d'informations le site [www.nitrawal.be](http://www.nitrawal.be) peut être consulté.

L'ensemble de ces 6 zones vulnérables aux nitrates reprennent la quasi-totalité (97%) des captages échantillonnés dépassant la norme des 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 (Figure V.14).

La carte Froidchapelle - Senzeille est située au sud-ouest de la zone "Sud Namurois" (Figure V.13).



**Figure V.13 : Zones vulnérables aux nitrates arrêtées en Wallonie et localisation de la carte Froidchapelle - Senzeille dans la zone vulnérable du sud namurois.**

Les teneurs en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) mesurées sur les ouvrages de la carte Froidchapelle - Senzeille (particuliers et sociétés de distribution) sont relativement élevées en ce qui concerne les aquifères des calcaires givetiens et frasniens. Elles se situent le plus souvent dans une fourchette allant de 10 à 40 mg/l mais peuvent parfois dépasser 50 mg/l. L'évolution des teneurs en nitrates sur la période 2004-2007, sur le réseau DCE de la Région wallonne donne des fourchettes similaires, entre 0 et 40 mg/l (Figure V.14).

# Nitrate dans les eaux souterraines

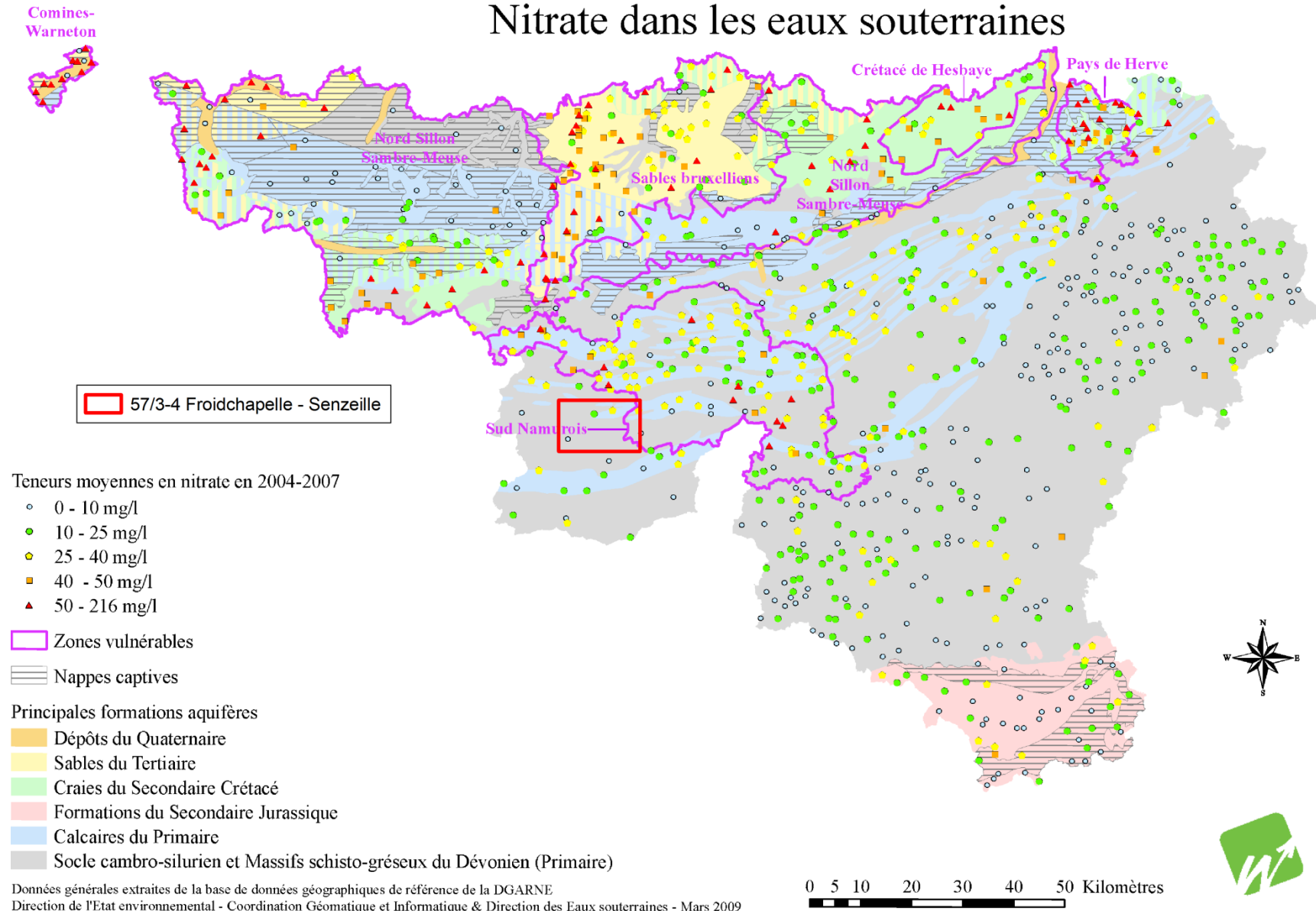
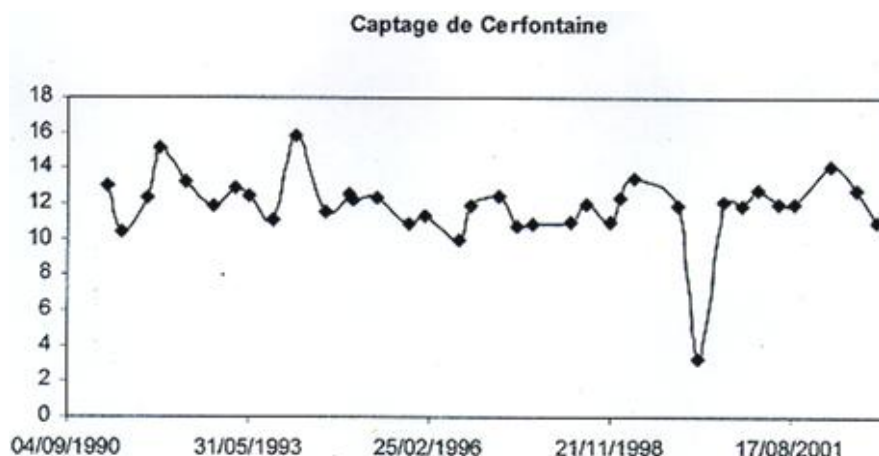


Figure V.14 : Carte des teneurs moyennes en nitrates de 2004 à 2007 des captages en Région et localisation de la planchette Froidchapelle - Senzeille.



La **Figure V.15** reprend l'évolution des teneurs en nitrates du captage de Cerfontaine (**Gardin, 2003**). Ce captage montre des teneurs en nitrates relativement faibles (< 18 mg/l) depuis 1990 jusque 2001. L'intervalle de ces teneurs oscille très généralement entre 9 et 16 mg/l, excepté en 2000 où la teneur en nitrate est descendue à  $\pm 2$  mg/l. Sans être exempte de nitrates, l'eau de la nappe des calcaires du Frasnien semble assez protégée des effluents agricoles à cet endroit.



**Figure V.15** Evolution des teneurs en nitrates dans le captage de Cerfontaine sur la carte de Froidchappelle – Senzeille (**Gardin, 2003**).

Les analyses réalisées dans le cadre de cette carte indiquaient des teneurs importantes en nitrates, que ce soit dans la nappe des calcaires du Frasnien ou du Givetien (**Tableau V.1**, p. 61, **Tableau V.2**, p. 62). À l'inverse les Aquicludes du Frasnien et du Famennien et l'Aquitard du Famennien ne présentaient pas de pollution en nitrates (**Tableau V.4**, p. 68, **Tableau V.5**, p. 71, **Tableau V.3**, p. 65). On note cependant dans ces dernières nappes, des teneurs en nitrites et/ou ammonium très souvent supérieures aux normes de potabilité.

## V.1. PROBLÉMATIQUE DES PESTICIDES

En 2006, la Région wallonne a mis en place un nouveau réseau de surveillance de la qualité de ces eaux souterraines. Les résultats ont montré que les pesticides font partie des micropolluants les plus problématiques (**Figure V.16**,

**Figure V.17**). Une analyse de l'utilisation des pesticides par les différents secteurs d'activité (**Pissard et al., 2005**) a montré que pour l'année 2003 en Belgique, 51 % des pesticides (en poids de matières actives) ont été consommés par le secteur de l'agriculture, 33 % pour l'entretien des jardins, 2 % par les services communaux et 0,5 % par la SNCB (les usages des quelque 14 % de matières actives restants n'ont pas pu être déterminés avec une précision suffisante).

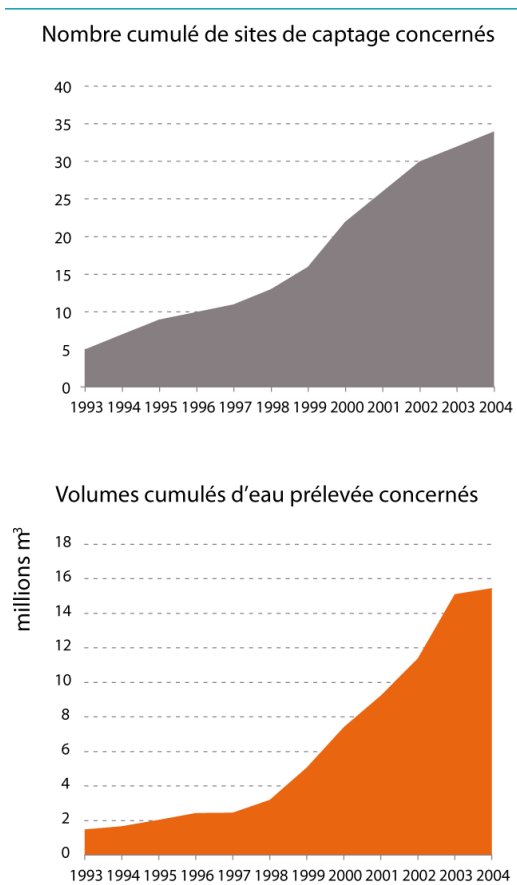


Figure V.16 : Nombre de captages et volumes d'eau concernés par une interruption de production ou un traitement de potabilisation des eaux souterraines à cause d'une pollution par les pesticides en Région wallonne (1993-2004, *Cellule Etat de l'Environnement Wallon (2007)*).

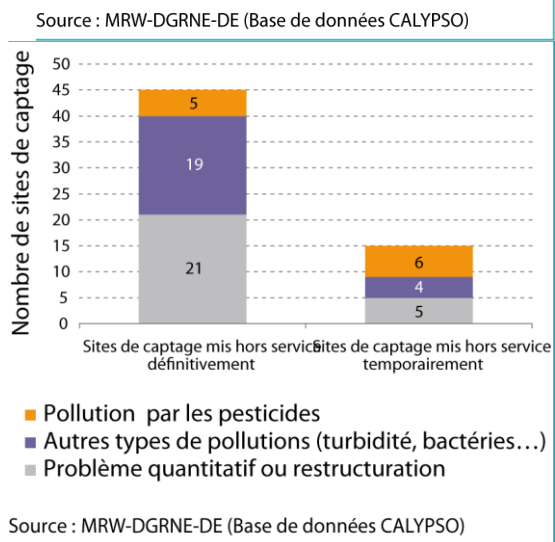
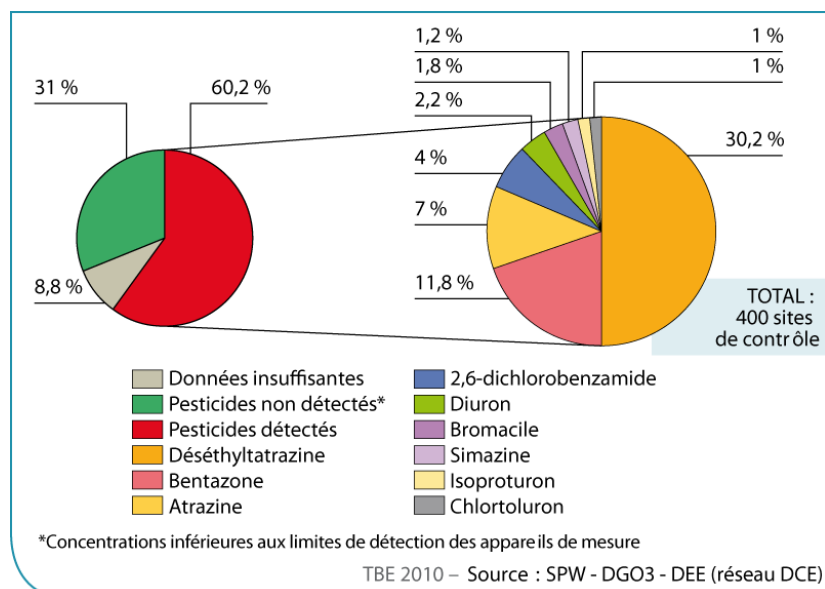


Figure V.17 : Mise hors service des captages d'eau souterraine en Région wallonne (2000-2005, *Cellule Etat de l'Environnement Wallon (2007)*).

Parmi les pesticides, les plus problématiques sont l'atrazine et son principal métabolite (la déséthylatrazine), la bentazone et le 2,6-dichlorobenzamide, produit de dégradation du dichlobenil (Figure V.18). L'atrazine, bien que définitivement interdite depuis septembre 2005, est le pesticide le plus communément détectées en concentrations élevées dans les eaux souterraines, en raison notamment de leur mobilité et de leur persistance dans les sols et les aquifères. Les distributeurs d'eau notent cependant une diminution progressive de la pollution à l'atrazine depuis 2002.



**Figure V.18 : sites de contrôle de la qualité des eaux souterraines répartis selon le pesticide présentant la concentration la plus élevée, en Région wallonne (période 2005-2008) (Tableau de bord de l'environnement Wallon, 2010).**

Parmi la très large gamme de pesticides, la famille des herbicides permet d'éliminer les plantes appelées communément "mauvaises herbes". L'une des propriétés recherchées pour un herbicide, outre sa sélectivité, est sa durée d'action après traitement, voilà pourquoi sa persistance dans l'environnement est parfois assez longue. D'autre part, les plus solubles d'entre eux sont susceptibles d'être entraînés, soit par ruissellement vers les cours d'eau, soit par infiltration lente en profondeur jusqu'aux nappes phréatiques.

Sous l'impulsion de directives européennes, un arsenal législatif relativement complet protège le consommateur; les directives 91/414/CEE et 98/8/CEE relatives à la mise sur le marché, respectivement, des pesticides à usage agricole et des biocides<sup>5</sup> sont transposées en droit belge par les arrêtés royaux des 28 février 1994 et 22 mai 2003. Le récent programme fédéral instituant le premier plan de réduction des pesticides à usage agricole et des biocides (A.R. 22.2.2005) détermine les objectifs d'une utilisation plus raisonnée.

Selon le décret relatif au Code de l'eau (3 mars 2005), le distributeur est tenu de contrôler la qualité de l'eau sortant du robinet du consommateur. D'une manière générale, l'objectif des gestionnaires des réseaux de distribution d'eau potable est de pouvoir anticiper les pollutions de la ressource pour limiter le recours aux traitements de décontamination et/ou de désinfection.

En Région wallonne, à l'exception des espaces pavés ou recouverts de gravier et des allées de cimetière, l'emploi d'herbicides est interdit sur la voie publique, les accotements et les talus (A.E.R.W. 27.1.1984 mod. par A.E.R.W. 24.4.1986); cette interdiction est trop peu connue et pourrait être mieux respectée. Par ailleurs, l'article D.161 du Code de l'eau interdit de déverser dans les égouts publics, les collecteurs et les eaux de surface d'autres matières que des eaux

<sup>5</sup> les biocides sont les pesticides qui ne sont pas des herbicides ou des produits de protection des plantes

usées, et par conséquent des herbicides. Enfin, le Code de l'eau (Titre VII - Protection de l'eau, chapitre III - Protection des eaux souterraines et des eaux utilisées pour le captage d'eau potabilisable) détermine aussi une série de mesures de précaution dans les zones de protection (rapprochée et éloignée) définies autour des captages.

Les puits analysés sur la carte Froidchapelle - Senzeille présentent des pollutions assez diverses et plus ou moins importantes qui sont symptomatiques de la localisation du puits (zone agricole ou non, topographie) et de la vulnérabilité de la nappe (nappe libre ou captive, type de roche) :

Le puits Lambert JC s'alimentant dans l'Aquifère des calcaires du Givetien ([Figure V.1](#), p. 61) et localisé sur une crête hydrogéologique montre une pollution en pesticides ([Tableau V.6](#)) qui ne dépasse cependant pas les normes de potabilité admises;

Le puits Vael, s'alimentant dans l'Aquifère des calcaires du Frasnien ([Figure V.3](#), p. 64) et situé en aval de terrains agricoles montre une importante pollution en pesticides ([Tableau V.6](#)) qui dépasse parfois plus de 4 fois la norme de potabilité. La bande de calcaires frasniens dans lequel s'alimente ce puits, entourée de part et d'autre part les shales frasniens, constitue un véritable drain, captant tous les polluants, probablement agricoles, situés en amont;

Le puits Mathurin, s'alimentant dans la nappe des calcaires du Frasnien ([Figure V.4](#), p. 64), bien que localisé dans une zone privée entourée de pâturages, excepté un petit champ de maïs, présente une pollution en pesticides relativement importante ([Tableau V.6](#));

Le puits Ganhy ([Figure V.2](#), p. 63) bénéficie de la protection qu'offre l'Aquiclude du Frasnien à la nappe des calcaires du Frasnien dans laquelle s'alimente ce puits et de sa situation au milieu d'un domaine entouré de pâturages. Ce qui se traduit par une pollution en pesticide nulle ([Tableau V.6](#));

Le puits Mestdagh ([Figure V.9](#), p. 70), s'alimentant dans l'Aquitard du Famennien et situé dans une zone boisée à l'intérieure d'une très vaste propriété privée ne présente pas de pollution en pesticides ([Tableau V.6](#)).

Signalons également que l'eau du puits Ganhy ([Figure V.2](#), p. 63) présente une teneur en bromates anormale (>99 µg/l) largement au-dessus de la norme de potabilité (25 µg/l). L'origine de cette anomalie n'est pas connue.

Les pesticides concernés par ces pollutions sont essentiellement des herbicides. Certains sont l'apanage des agriculteurs, comme les produits dérivés du groupe chimique Triazine (Atrazine, Simazine, Propazine), qui sont des herbicides sélectifs utilisés principalement pour la culture du maïs, ou le Bentazone, utilisé dans la culture de la pomme de terre. D'autres, comme le Diuron, sont plutôt utilisés par les particuliers (jardin et potager) et les communes (entretien des voiries et lieux publics).

Notons également la présence, en très grandes quantités, dans le Puits Vael (Figure V.3, p. 64) de 2,6-Dichlorobenzamide et de Bentazone. Le premier est un produit de dégradation du Dichlobenyl, analysé depuis 2003 et confirmé en 2004 dans près de 20% de 321 sites en service exploités par les principaux producteurs - distributeurs d'eau associés à Aquawal<sup>6</sup> (Aquasambre, Cibe, Cile, I.E.C.B.W., I.N.A.S.E.P. et S.W.D.E.) à une concentration supérieure à 50% de la norme. En conséquence, la dose d'emploi du Dichlobenyl utilisé comme produit de substitution du Diuron en désherbage des terrains non cultivés devrait être revue à la baisse. Le second est un produit dont les teneurs sont en continuelle augmentation; son usage principal en culture de pommes de terre a donc été retiré à la fin de la saison 2004 pour tenter d'y remédier.

Entre 2005 et 2008, sur le réseau DCE<sup>7</sup> de la Région wallonne, la classe de qualité des eaux souterraines de la planchette Froidchapelle - Senzeille, pour les pesticides, a été qualifiée de bonne à excellente (Figure V.19).

---

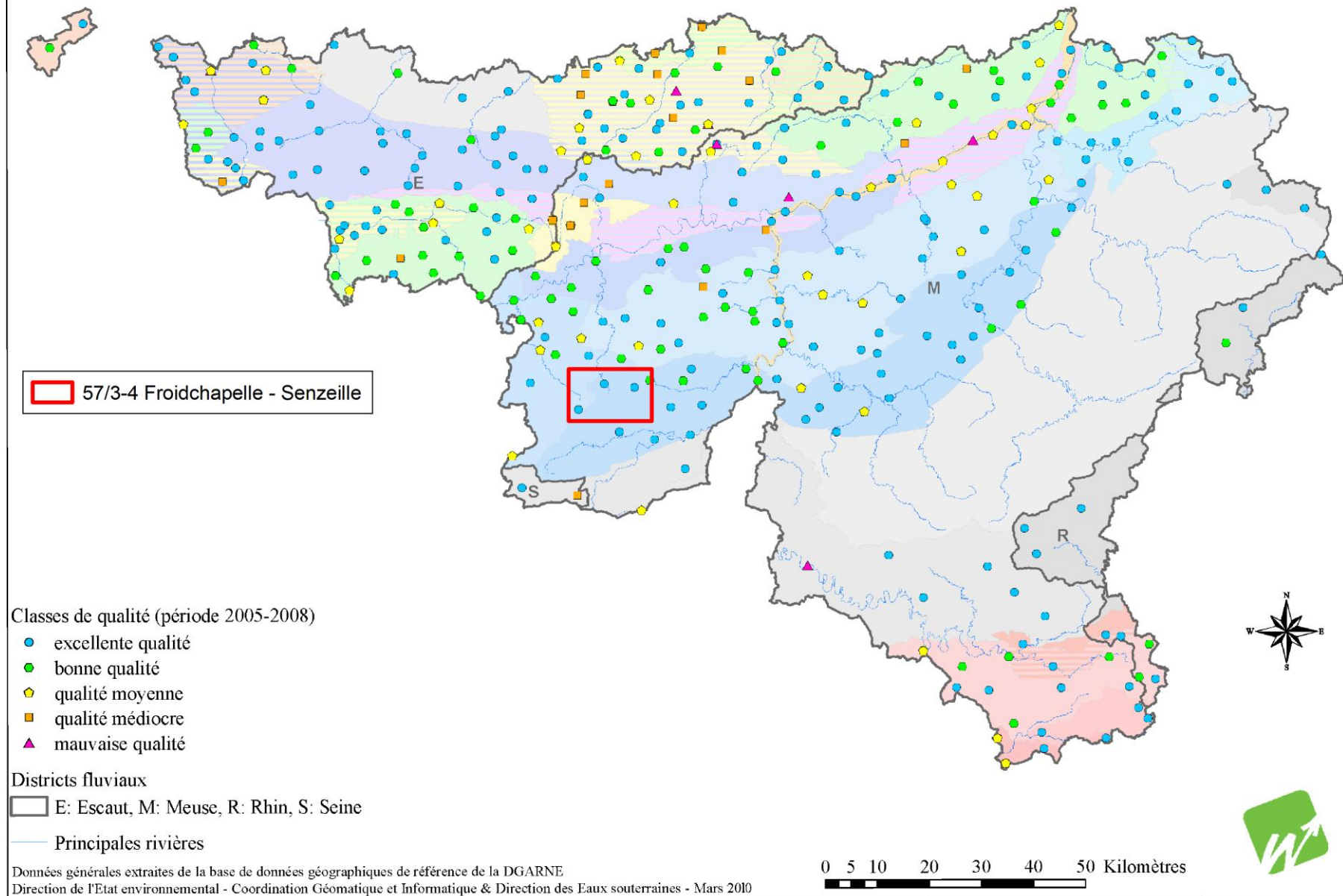
<sup>6</sup> Aquawal est l'Union professionnelle des Opérateurs du cycle de l'eau regroupant les principaux Producteurs et Distributeurs d'eau potable ainsi que l'ensemble des Organismes d'épuration agréés de la Région wallonne. Aquawal joue un rôle majeur dans le développement de la gestion intégrée du cycle de l'eau par bassins et sous-bassins hydrographiques en Wallonie (<http://www.aquawal.be/>).

<sup>7</sup> Réseau de surveillance des eaux souterraines par la Directive-Cadre de l'Eau (DCE).

Paramètres	Unités	Norme	Puits Lambert JC	Puits Vael	Puits Mathurin	Puits Ganhy	Puits Mestdagh
Unité hydrogéologique			Aquifère des calcaires du Givetien	Aquifère des calcaires du Frasnien	Aquifère des calcaires du Frasnien	Aquifère des calcaires du Frasnien	Aquitard du Famennien
Date de prélèvement			07/11/2005	07/11/2005	07/11/2005	07/11/2005	07/11/2005
Profondeur du puits	m		52	6	46	40	5
<b>BACTERIES</b>							
Germes totaux à 22°C	Nbre/100ml	0	Au moins 300	Au moins 300	Au moins 300	Au moins 300	Au moins 300
Coliformes totaux	Nbre/100ml	0	5	1533	8	31	123
Coliformes fécaux	Nbre/100ml	0	0	180	0	0	6
Escherichia Coli	Nbre/100ml	0	0	19	0	0	5
Entérocoques	Nbre/100ml	0	0	16	0	0	0
Clostridia-sulfito-réducteur	Nbre/100ml	0	0	0	0	Au moins 99	0
<b>PESTICIDES</b>							
Atrazine	ng/l	100	32	56	266	0	0
Déséthyl Atrazine	ng/l	100	46	39	66	0	0
Simazine	ng/l	100	10	25	97	0	0
Propazine	ng/l	100	0	0	5	0	0
Diuron	ng/l	100	1	441	157	0	0
Isoproturon	ng/l	100	0	107	1	0	0
Chortoluron	ng/l	100	0	48	0	0	0
Linuron	ng/l	100	0	1	0	0	0
Monuron	ng/l	100	0	25	11	0	0
Bromacile	ng/l	100	0	10	64	0	0
2-méthyl-4-phénoxyacétate	ng/l	100	0	2	0	0	0
2-méthyl-4-phénoxypropionate	ng/l	100	0	3	0	0	0
2,4-dichlorophénoxypropionate	ng/l	100	0	1	0	0	0
Bentazone	ng/l	100	0	17	0	0	0
Chloridazon	ng/l	100	0	1	0	0	0
Dichlobenyl	ng/l	100	0	210	0	0	0
Imidaclopride	ng/l	100	0	2	0	0	0
2,6-dichlorobenzamide	ng/l		0	1638	0	0	0
Anthracène			2	6	0	0	0
<b>AUTRE POLLUANTS</b>							
Bromates	µg/l	25	0	0	0	Au moins 99	0

Tableau V.6 : Teneurs des paramètres "bactéries" et "pesticides" et autres polluants des Aquifère des calcaires du Givetien et du Frasnien et de l'Aquitard du Famennien. Au niveau des pesticides, seuls ceux présentant des valeurs supérieures à zéro ont été mentionnés.

# Indice de qualité pour les pesticides sur le réseau DCE



**Figure V.19 : Indice de qualité des eaux souterraines en Wallonie pour les pesticides sur le réseau DCE et localisation de la planchette Froidchapelle - Senzeille pour la période 2005-2008 (<http://environnement.wallonie.be/>).**

## V.2. AUTRES POLLUTIONS

Les analyses réalisées dans le cadre de la réalisation de la carte Froidchapelle - Senzeille montrent une pollution en bactéries également (*Tableau V.6*).

Tous les puits, quel que soit l'unité hydrogéologique concernée, sont pollués. On note cependant que les puits profonds présentent une pollution moindre et une diversité bactérienne plus faible que les puits de surface.

## V.3. 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 ministère de la Région wallonne.

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.7*) :

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 <sub>4</sub> /l
Antimoine	5 µg/l
Arsenic	10 µg/l
Cadmium	5 µg/l
Chlorures	150 mg/l
Chrome	50 µg/l
Cuivre	100 µg/l
2,6-dichlorobenzamide (BAM)	0,2 µg/l
Mercurure	1 µg/l
Nickel	20 µg/l
Phosphore total	1,15 mg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Plomb	10 µg/l
Sulfates	250 mg/l
Trichloréthylène	10 µg/l
Tétrachloréthylène	10 µg/l
Zinc	200 µg/l

**Tableau V.7 : Valeurs seuils des paramètres chimiques intervenant dans la dégradation des masses d'eau souterraines.**

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 micro-polluants (métaux, composés organiques) et des risques quantitatifs (industrie extractive) ;
- La **Collectivité qui** 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 cause n'est à négliger. La [Figure V.20](#) indique l'état des masses d'eau en fonction des causes de leur dégradation. En 2008, seulement 45 % des masses d'eau souterraines de Wallonie ont été jugées en bon état et sans risque de détérioration. Les plans de gestion de la directive cadre eau visent à amener cette proportion à 70% d'ici 2015.

Les masses d'eau concernées par la carte Froidchapelle - Senzeille, en 2008, étaient qualifiées en bon état avec risques qualitatifs ([Figure V.20](#)).

## Etat des lieux en 2008 des masses d'eau souterraine

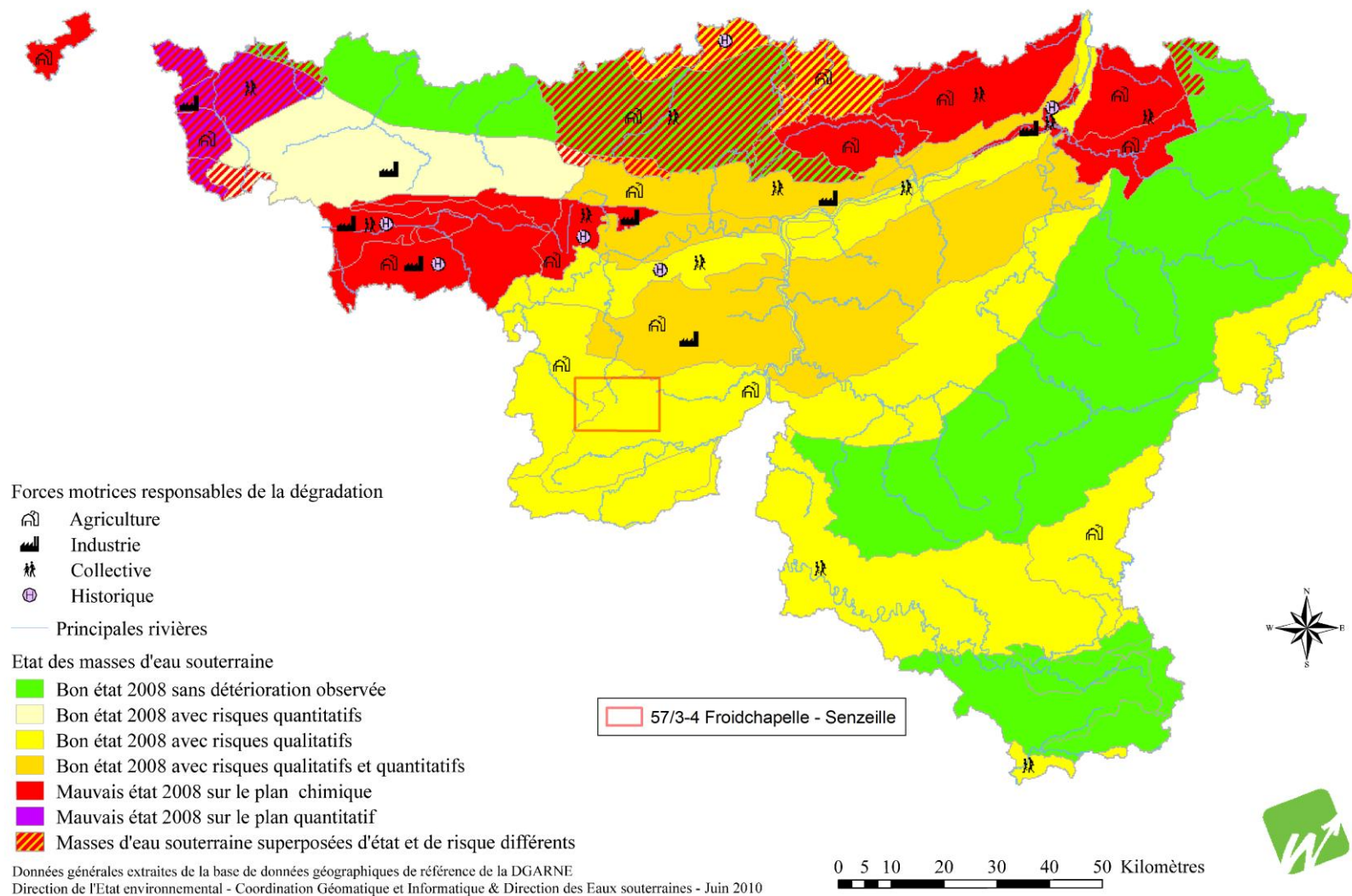


Figure V.20 : Etat des masses d'eau pour l'année 2008 et causes de leur dégradations (Etat des nappes d'eau, juin 2010, <http://environnement.wallonie.be>).

## VI. EXPLOITATION DES AQUIFERES

La planche de Froidchapelle - Senzeille compte 215 ouvrages dont 3 appartiennent à l'I.N.A.S.E.P., société de distribution d'eau publique. Le **Tableau VI.1** résume la répartition des ouvrages entre les différentes nappes.

Nappe exploitée	Nombre d'ouvrage
Aquitard du Famennien	108
Aquiclude du Famennien	44
Aquiclude du Frasnien	25
Aquifère des calcaires du Frasnien	16
Aquifère des calcaires du Givetien	4

**Tableau VI.1 : Distribution des ouvrages entre les différentes nappes de la carte de Froidchapelle - Senzeille (57/3-4).**

En plus des captages pour la distribution publique d'eau potable, les prises d'eau en activité au 1/6/2009 concernent surtout des agriculteurs et des privés (**Figure VI.1**).

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 m<sup>3</sup>/an). Les puits des particuliers et des agriculteurs ne sont pas tous pourvus d'un compteur.

Les volumes destinés à la distribution publique d'eau sont ceux de l'année 2008. Pour les autres volumes (industries, agriculteurs, particuliers), il s'agit de l'année 2005.

L'exploitation d'une prise d'eau souterraine est soumise à de nombreux aléas et donc peut être variable. Les contraintes techniques de l'ouvrage, l'activité économique liée à ce captage, l'évolution des conditions hydrogéologiques de la nappe sollicitée et les éventuelles pollutions, peuvent limiter les capacités de production. La présentation des volumes moyens prélevés sur la *Carte des volumes*, correspond à la moyenne des cinq dernières années (2004-2008) encodées par l'administration (basés sur les déclarations des titulaires de prise d'eau). Ils illustrent de manière plus réaliste l'exploitation des eaux souterraines sur la carte étudiée. Ces valeurs moyennes ne sont pas représentatives du potentiel d'exploitation ni de l'exploitation réelle des nappes mais reflètent l'importance d'un site d'exploitation pendant les cinq années considérées. Parmi ces dernières, il se peut que certaines d'entre elles soient des années sans prélèvement.

# Les prises d'eau en activité

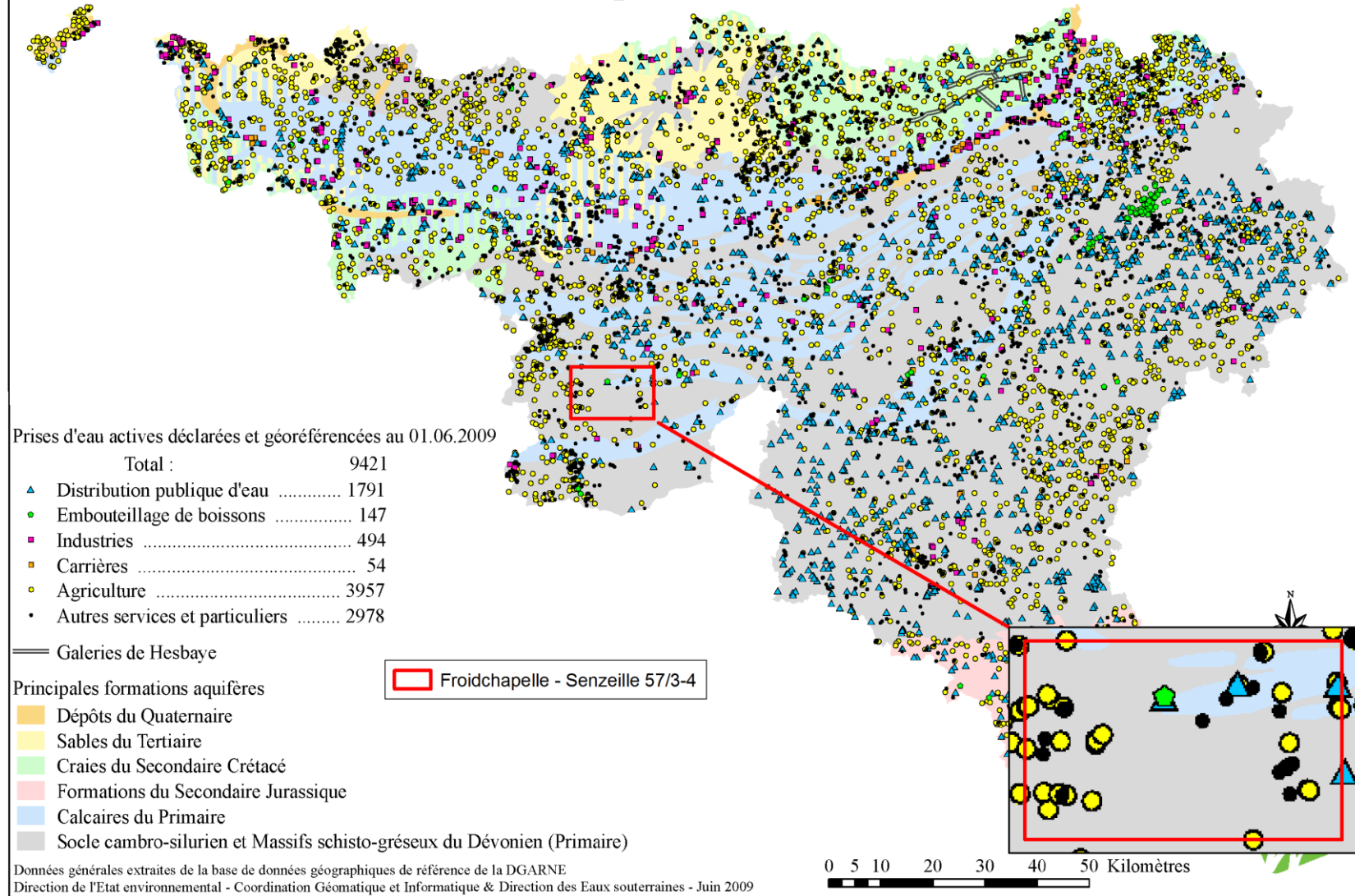
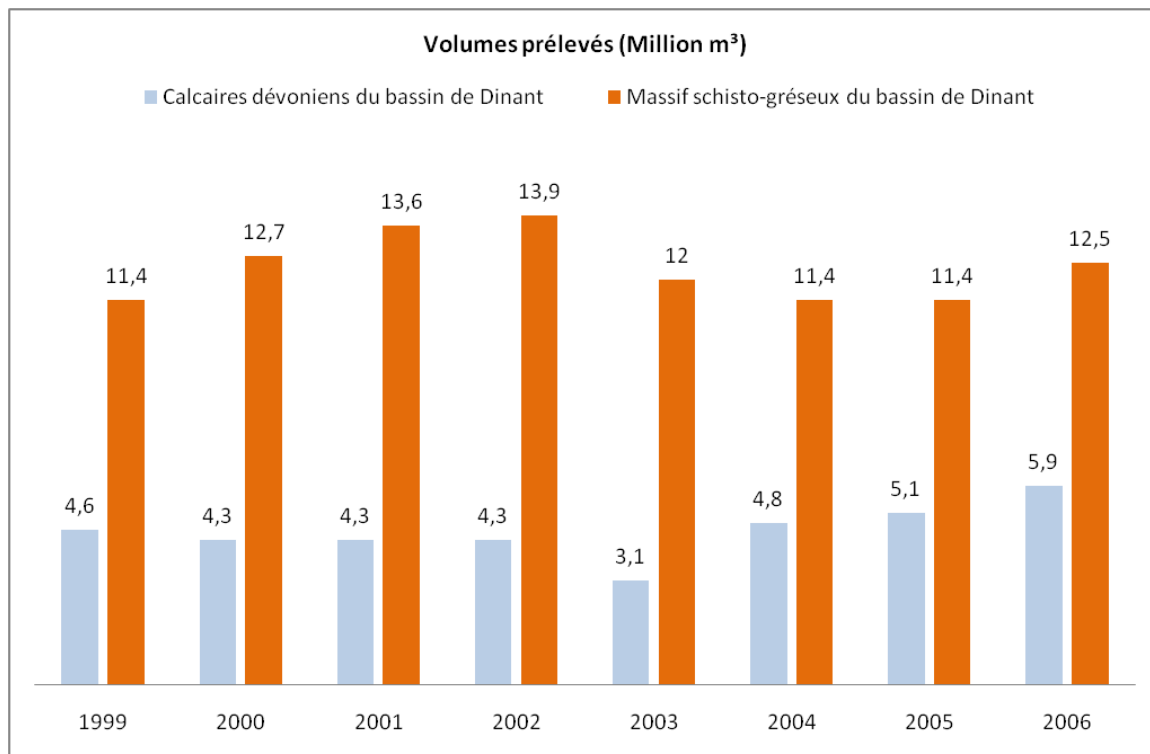
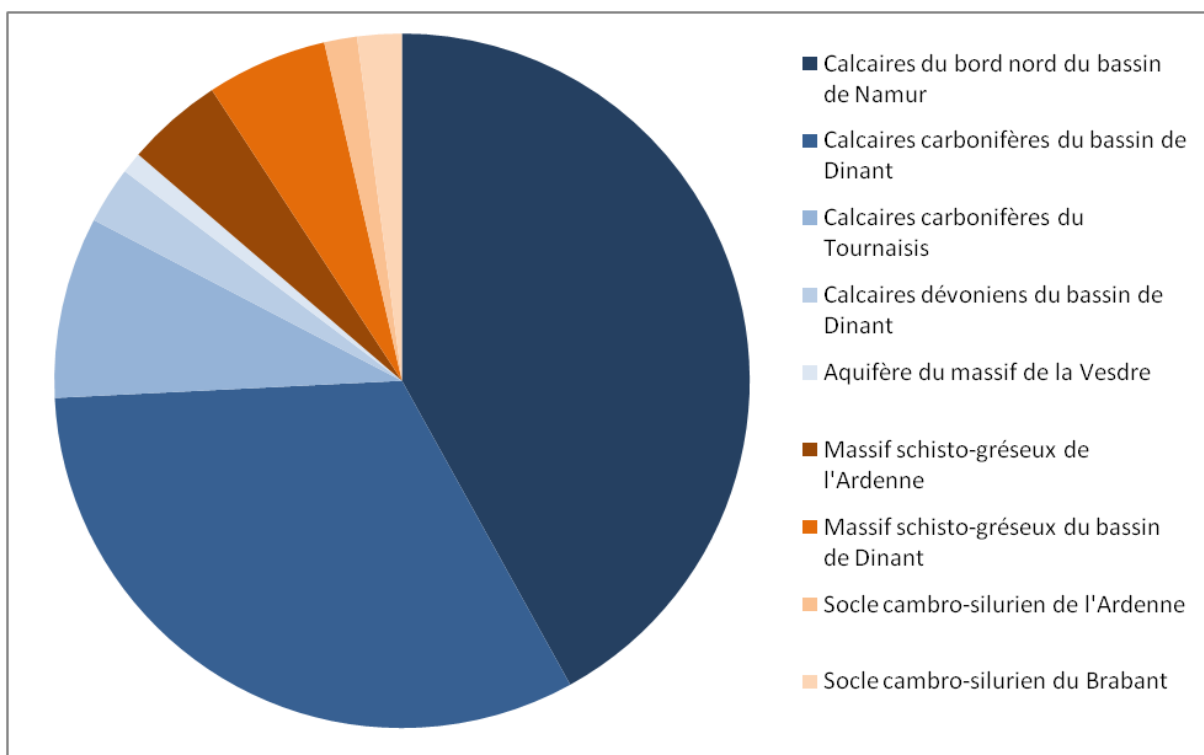


Figure VI.1 : Prises d'eau en activité déclarées et géoréférencées au 1/06/2009 et localisation de la planchette Froidchapelle – Senzeille (<http://environnement.wallonie.be/>).

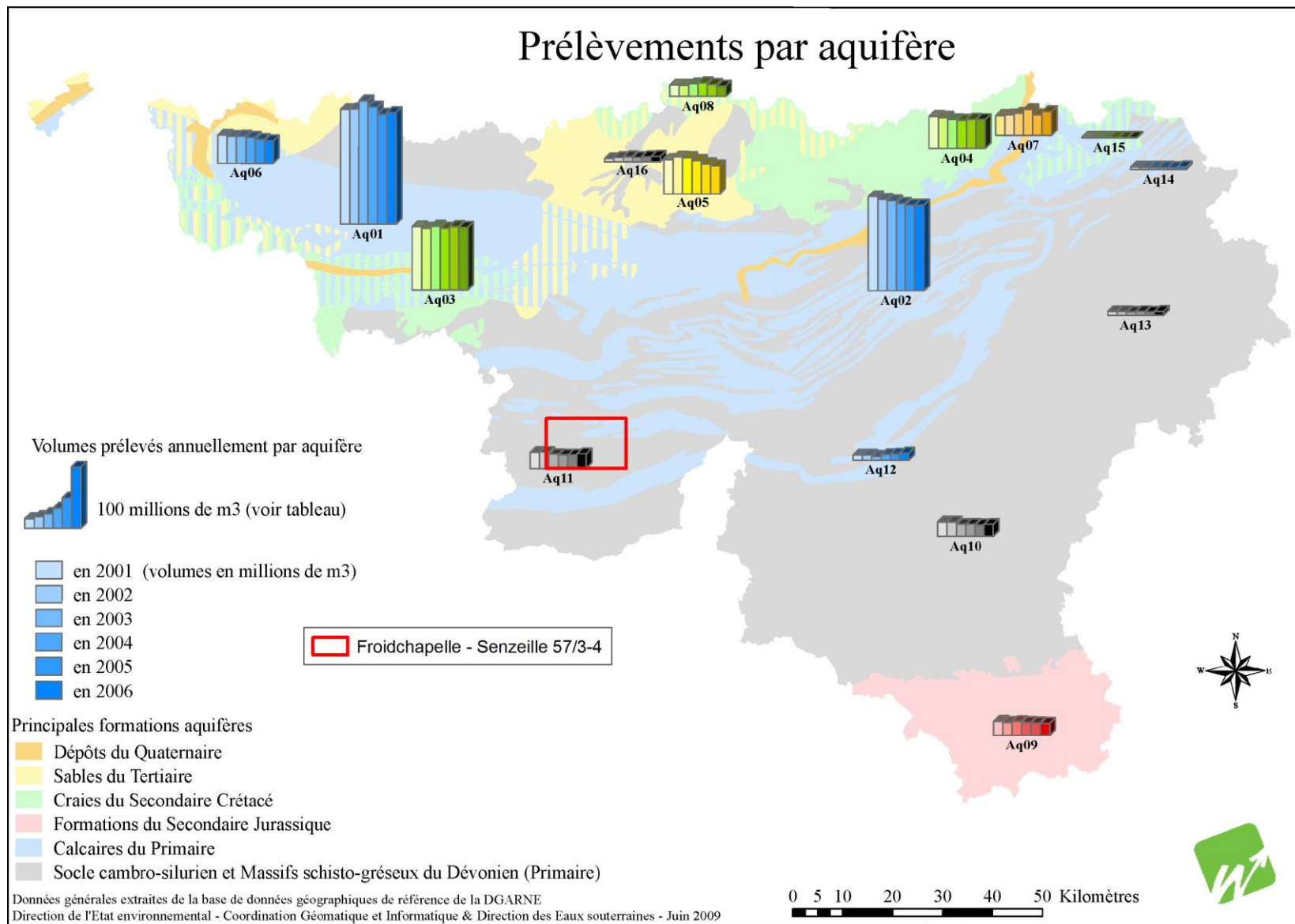
A l'échelle de la Wallonie, les volumes soutirés dans les aquifères présents sur la planchette Froidchapelle - Senzeille sont faibles (Aq11 et Aq12, [Figure VI.4](#)). Entre 1999 et 2006 ([Figure VI.2](#)), les volumes prélevés annuellement dans le *Massif schisto-gréseux du bassin de Dinant* ont varié entre 11.4 et 13.9 millions m<sup>3</sup>/an tandis que pour les *Calcaires dévoniens du bassin de Dinant*, ils ont varié entre 3.1 et 5.9 millions de m<sup>3</sup>/an. Au regard de ce qui est prélevé chaque années dans les calcaires dévono-carbonifères des bassins de Namur et de Dinant ([Figure VI.3](#)), il s'agit de volumes plus que restreints.



**Figure VI.2 : Prélèvements annuels (1999 - 2006) dans l'aquifère des calcaires dévoniens du bassin de Dinant et dans le massif schisto-gréseux du bassin de Dinant à l'échelle de la Wallonie.**



**Figure VI.3 : Proportions relatives des volumes prélevés en 2006 dans les Calcaires du Primaire et dans les Massifs schisto-gréseux du Primaire.**



**Figure VI.4 : Prélèvements par aquifère au niveau de la Wallonie et localisation de la planchette Froidchapelle – Senzeille (<http://environnement.wallonie.be/>).**

## VI.1. VOLUMES PRÉLEVÉS POUR LA DISTRIBUTION PUBLIQUE

Trois captages sont présents sur la carte et appartiennent tous à l'Intercommunale Namuroise de Services Publics (I.N.A.S.E.P.). Il s'agit de trois sources ; Fontaine Samart (Figure VIII.6), Fontaine le Cerf (Figure VIII.5) et Source Fontaine de Senzeille (Figure VIII.7).

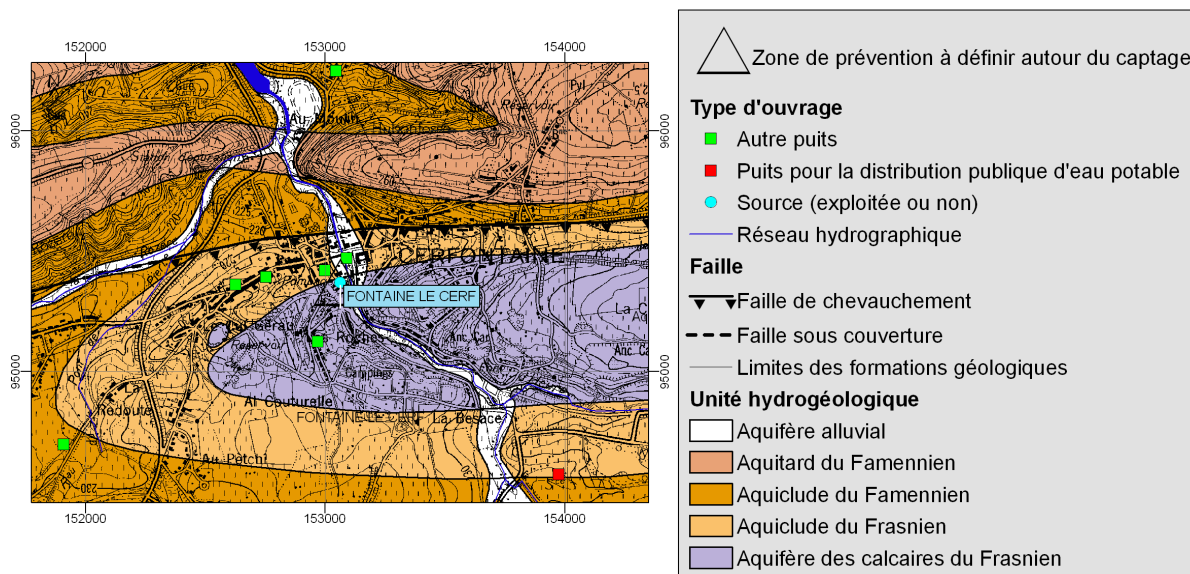


Figure VI.5 : Localisation de la source *Fontaine le Cerf*, exploitée par l'I.N.A.S.E.P., dans son contexte hydrogéologique.

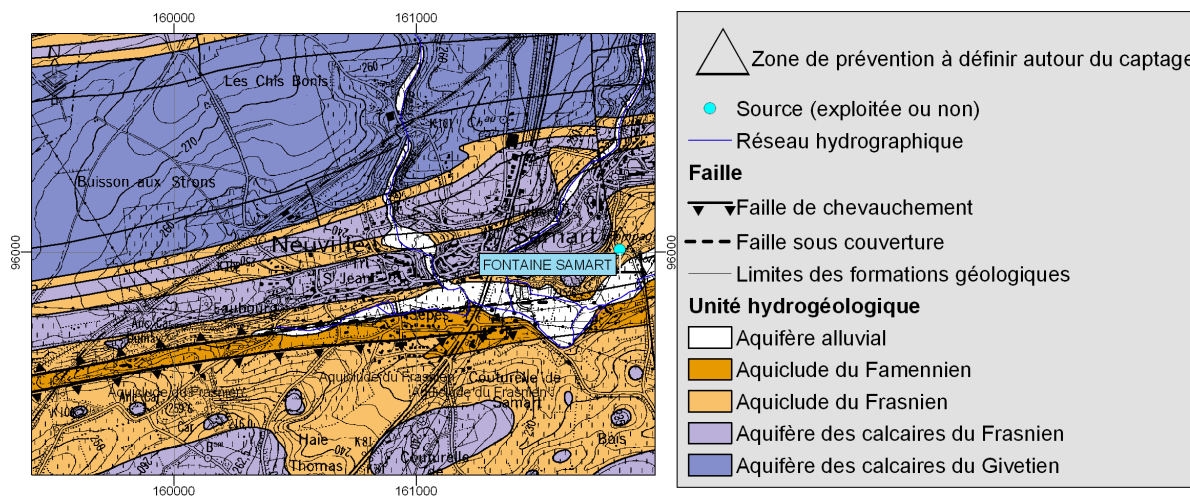
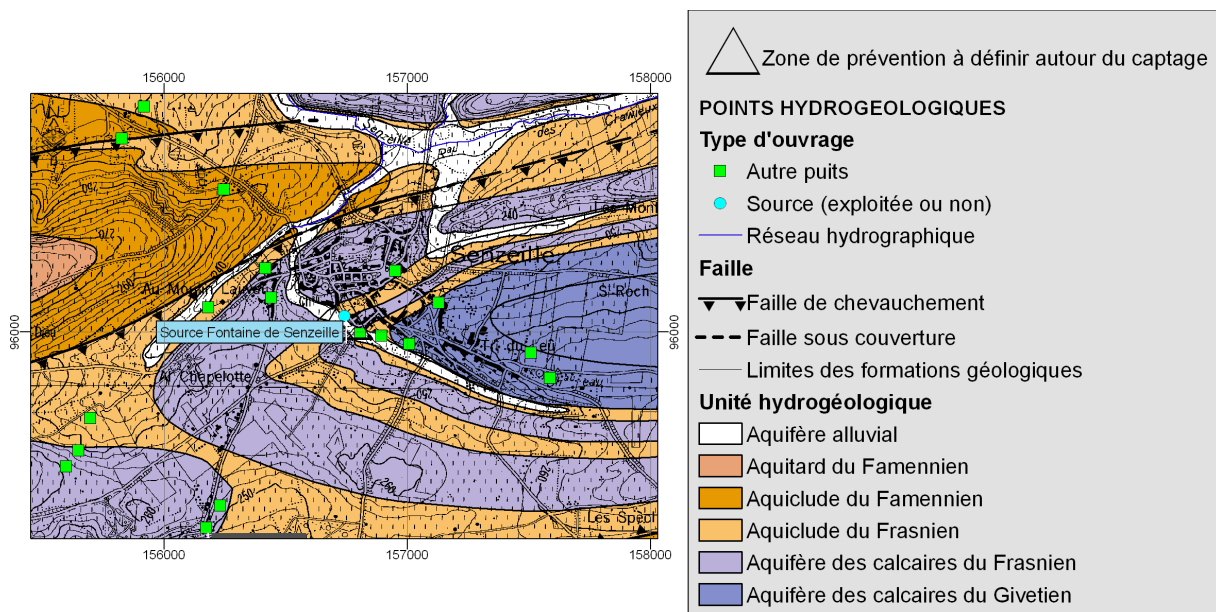


Figure VI.6 : Localisation de la source *Fontaine Samart*, exploitée par l'I.N.A.S.E.P., dans son contexte hydrogéologique.

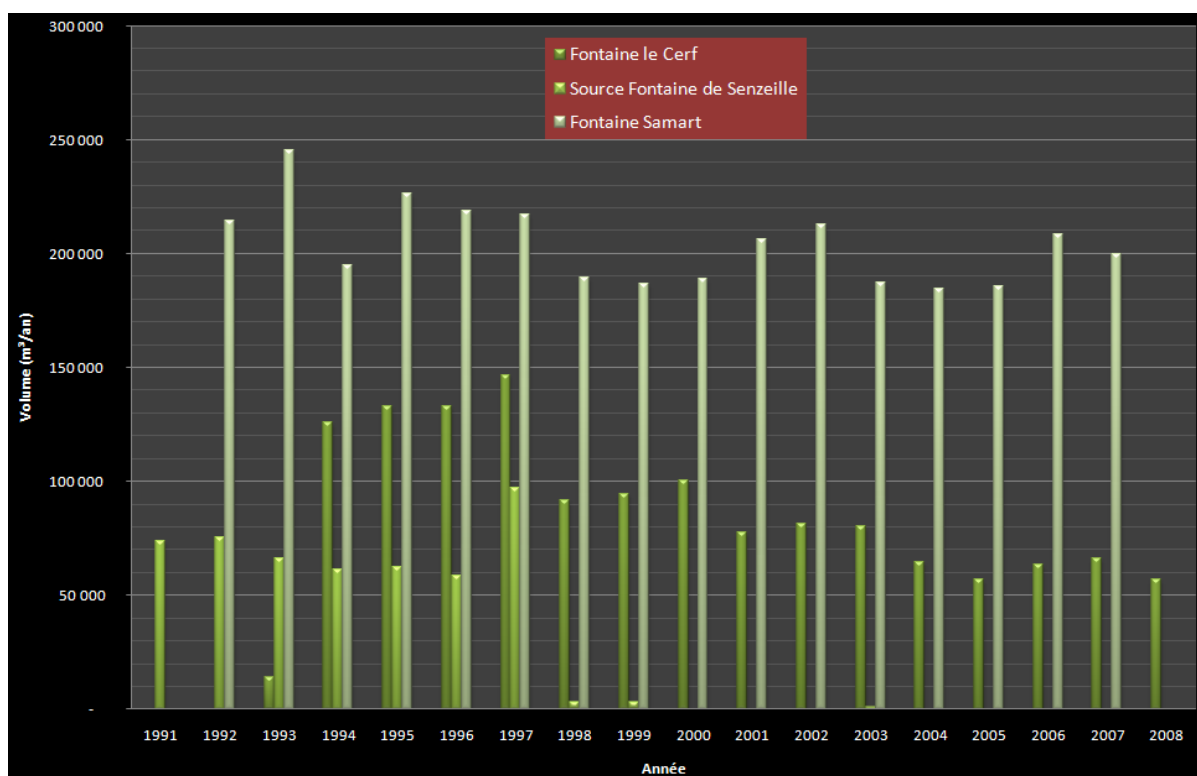




**Figure VI.7 : Localisation de la Source Fontaine de Senzeille, exploitée par l'I.N.A.S.E.P., dans son contexte hydrogéologique.**

Fontaine le Cerf et Source Fontaine de Senzeille exploite l'Aquifères des calcaires du Frasnien et Fontaine Smart l'Aquiclude du Frasnien. Au vu de sa localisation, sur une faille mettant en contact les calcaires et les schistes frasnien, il est plus que probable que Fontaine Smart reçoive les eaux de la nappe des calcaires frasnien.

Les volumes prélevés ne sont pas énormes et n'ont pas dépassés, entre 1991 et 2008, 250.000 m<sup>3</sup>/an pour Fontaine Smart, 150.000 m<sup>3</sup>/an pour Fontaine le Cerf et 100.000 m<sup>3</sup>/an pour Source Fontaine de Senzeille (Figure VI.8).



**Figure VI.8 : Volumes prélevés, entre 1991 et 2008, par les trois sources exploitées par l'I.N.A.S.E.P. (Fontaine Le Cerf, Source Fontaine de Senzeille, Fontaine Samart).**

Depuis 2004, Source Fontaine de Senzeille n'est plus exploitée et l'I.N.A.S.E.P. achète l'eau nécessaire à la distribution de Senzeille au départ du barrage du Ry de Rome à Couvin (Figure VI.10). Le réseau d'adduction de ce barrage distribue de l'eau de surface et est le principal de cette région (Figure VI.9). Ce barrage est géré conjointement par l'E.R.P.E.<sup>8</sup> et la S.W.D.E. Le lac de retenue, alimenté principalement par le Ry de Rome et accessoirement par le Ry de l'Ermitage et le Ry des Serpents, occupe le sud-est de la carte Chimay - Couvin et s'étend vers l'est, sur la carte Olloy-sur-Viroin – Treignes 58/5-6 (Figure VI.10). Le volume de retenue d'eau à la cote maximale est de 2 200 000 m<sup>3</sup>. Son potentiel annuel, dépendant de la pluviosité (~800 mm/an), est estimé à 4 800 000 m<sup>3</sup>/an.

<sup>8</sup> Entreprise Régionale de Production et d'adduction d'Eau.

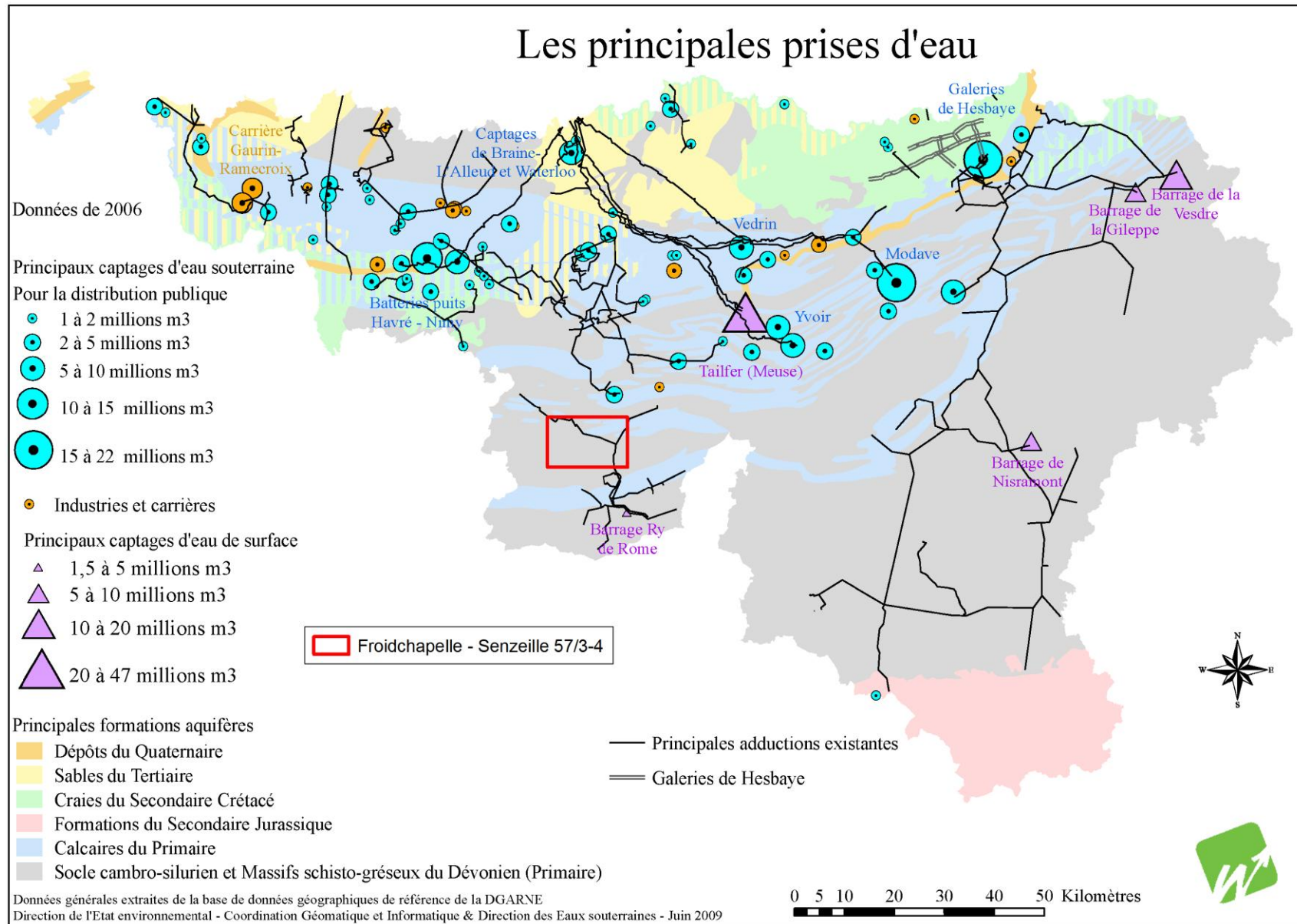
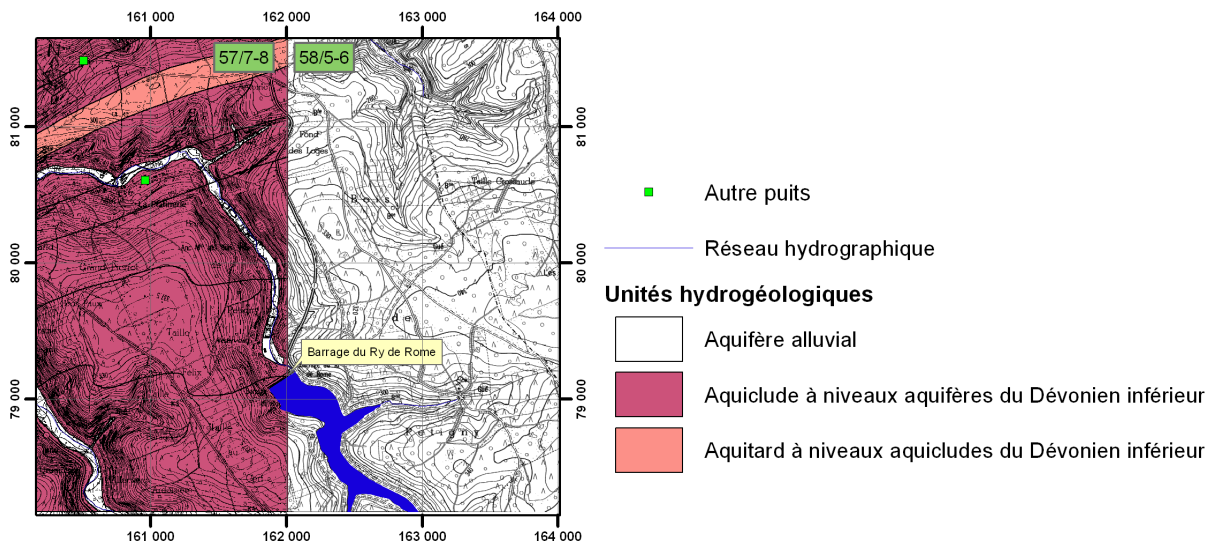
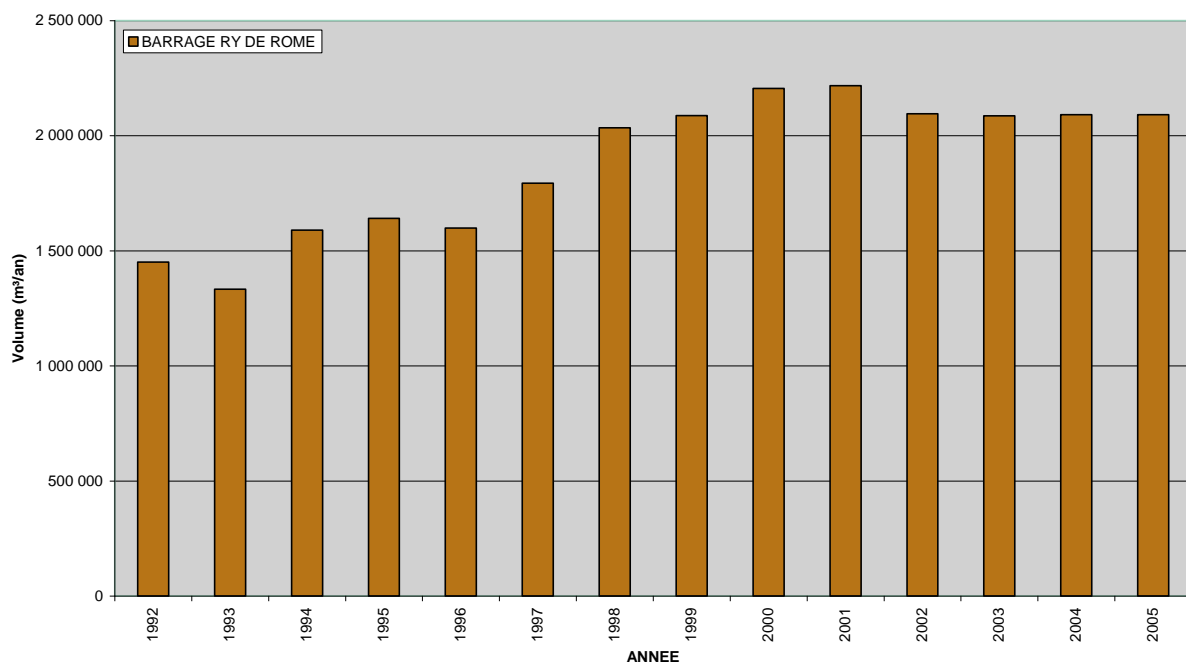


Figure VI.9 : Principales prises d'eau en Région wallonne et localisation de la planchette Froidchapelle – Senzeille (<http://environnement.wallonie.be/>).

Comme on le voit sur la **Figure VI.11**, les volumes prélevés au barrage du Ry de Rome sont importants, dépassant les 2 millions de m<sup>3</sup>/an.



**Figure VI.10 : Localisation du barrage du Ry de Rome sur la carte Chimay-Couvin 57/78 et Olloy-sur-Viroin – Treignes 58/5-6.**



**Figure VI.11 : Volumes d'eau de surface prélevés dans le lac de retenue du barrage du Ry de Rome entre 1992 et 2005, sur la carte Chimay-Couvin 57/7-8.**

Pour le moment et depuis 2008, Fontaine Samart n'est plus exploitée car elle subit une pollution aux pesticides.

## VI.2. AUTRES VOLUMES CAPTÉS

Dans les volumes prélevés par les particuliers on remarque plus particulièrement le puits Taille Brulé (**Figure VI.12**) dont les volumes atteignent entre 20 000 et 27 000 m<sup>3</sup>/an (**Figure VI.13**).

Avec un volume annuel oscillant entre 5 000 et 9 000 m<sup>3</sup>, les puits Pinson P1 et P2 (Figure VI.12), sont les deuxièmes plus gros préleveurs d'eaux souterraines après Taille Brulée. Le puits Pinson P1, d'une profondeur de 106 m, s'alimente dans l'Aquiclude du Famennien. Le puits Pinson P2, d'une profondeur de 162 m, s'alimente dans l'Aquitard du Famennien.

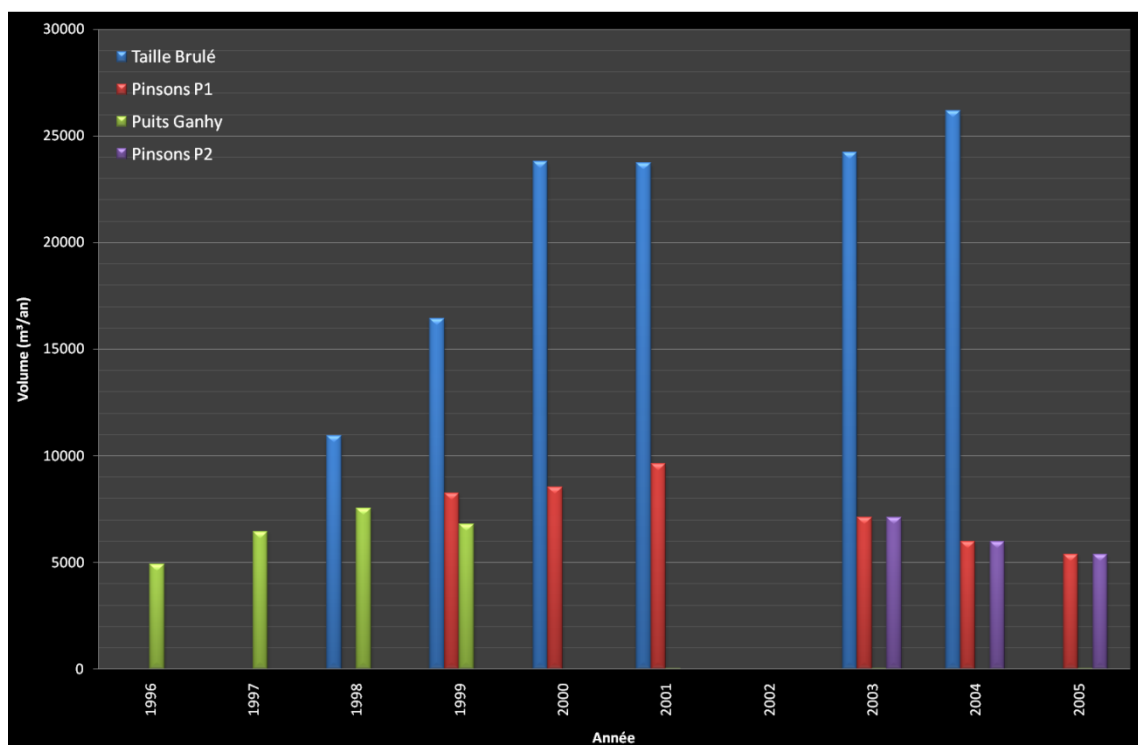
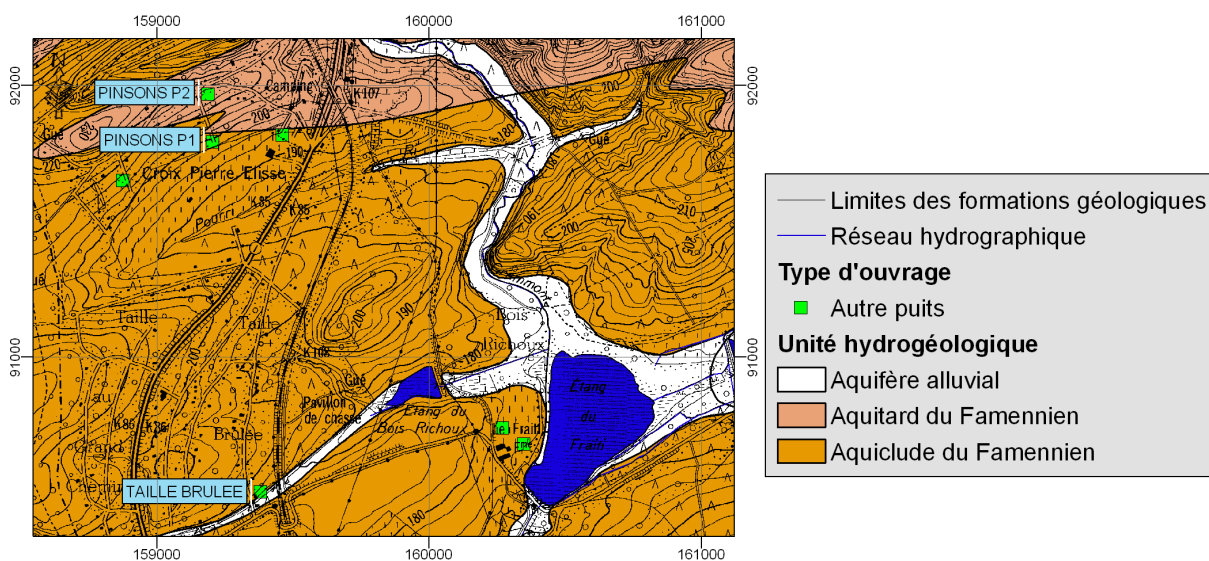


Figure VI.13 : Volumes prélevés par les ouvrages Taille Brulée, Pinson P1 et P2 et Ganhy, entre 1996 et 2005.

Le puits Ganhy (Figure VI.14), bien que situé dans l'Aquiclude du Famennien, s'alimente en réalité dans l'Aquifère des calcaires du Frasnien. Entre 1996 et 1999, ce puits à prélevé entre 5 000 et 7 500 m<sup>3</sup>/an (Figure VI.13).

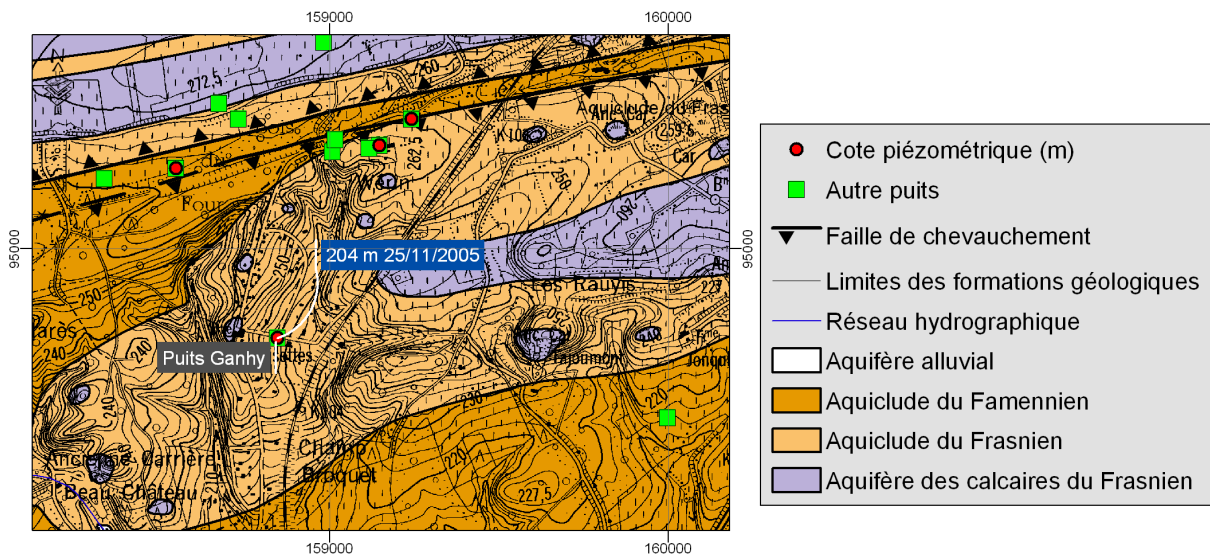


Figure VI.14 : Localisation du puits Ganhy, s'alimentant à la nappe des calcaires du Frasnien.

### VI.3. LISTE DES CAPTAGES

Le **Tableau VI.2** ci-dessous reprend, avec leurs coordonnées cartographiques une liste de tous les captages qui ont fait et/ou font encore l'objet d'une exploitation sur la carte Froidchapelle - Senzeille en vue d'une distribution publique. La **Figure VI.15** localise ces captages. Les chiffres repris ci-dessous sont des volumes indicatifs de l'importance de la prise d'eau.

**Tableau VI.2 : Liste des captages qui font ou on fait l'objet d'une exploitation sur la carte Froidchapelle - Senzeille (source : banque de données hydrogéologiques de la Région wallonne). I.N.A.S.E.P. : Intercommunale Namuroise de Service Public.**

N°	Nom de l'ouvrage	type	Propriétaire	Coordonnée Lambert X (m)	Coordonnée Lambert Y (m)	Unité hydrogéologique	Volume maximum en m³/an (année)
1	FONTAINE LE CERF	Source	I.N.A.S.E.P.	153 062	95 368	Aquifère des calcaires du Frasnien	146 548 m³ (1997)
2	SOURCE FONTAINE DE SENZEILLE	Source	I.N.A.S.E.P.	156 741	96 063	Aquifère des calcaires du Frasnien	97 394 m³ (1997)
3	FONTAINE SAMART	Source	I.N.A.S.E.P.	161 843	96 010	Aquiclude du Frasnien	245 434 m³ (1993)

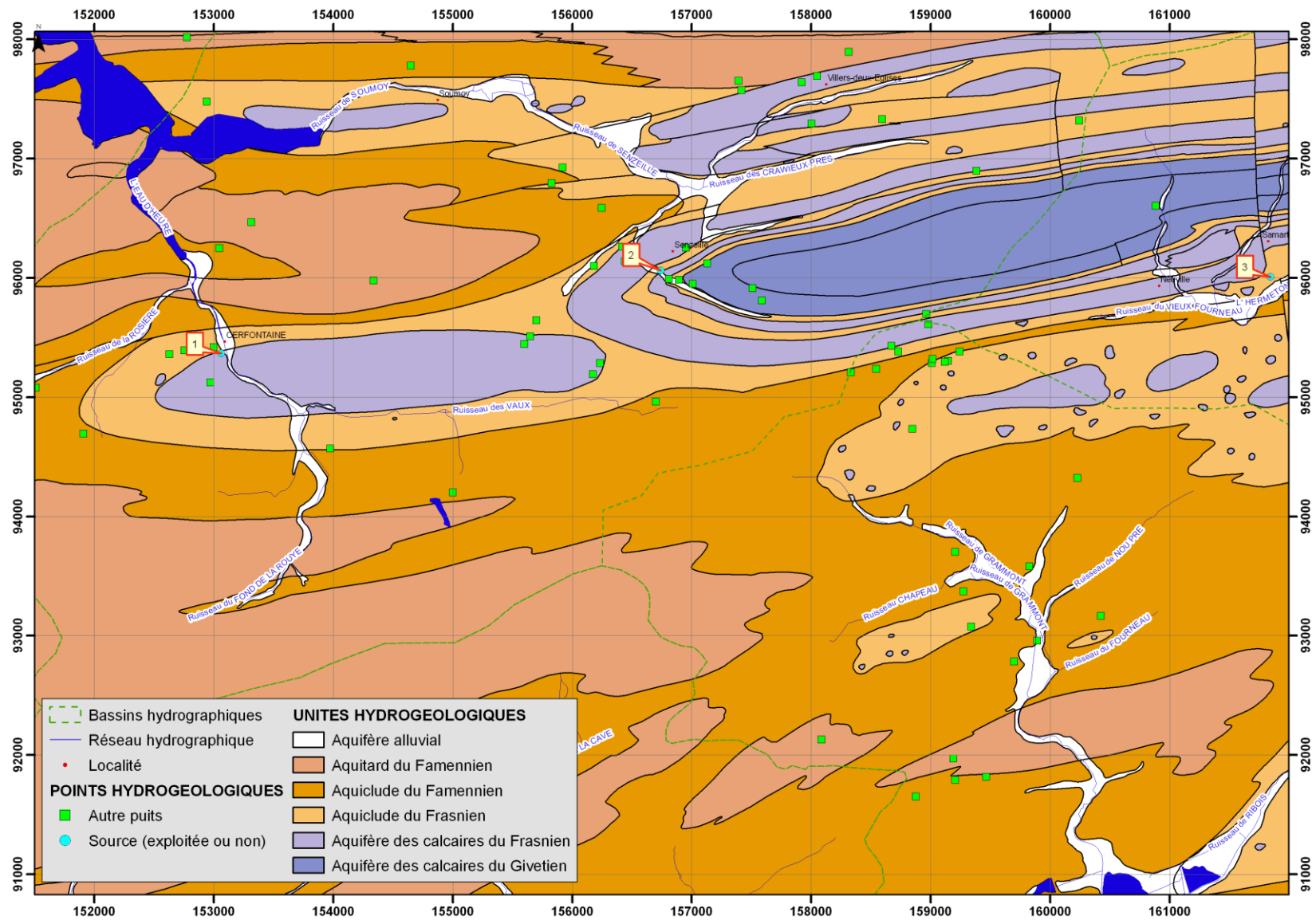


Figure VI.15 : Localisation sur la carte Froidchapelle - Senzeille des captages pour la distribution publique d'eau potable.



## VII. PARAMETRES HYDROGEOLOGIQUES

### VII.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 et, en présence de piézomètres à proximité, le coefficient d'emmagasinement et/ou la porosité efficace.

Gardin (2003) donne des valeurs de perméabilité et d'emmagasinement pour les captages de Senzeille et de Cerfontaine. Ces valeurs ont été calculées par l'I.N.A.S.E.P. "sur base d'essais de pompage ou d'expériences similaires sur des sols wallons". Pour ces captages, l'I.N.A.S.E.P. cite comme site de référence "Thy-le-Château". Gardin (2003) cite également un essai Lugeon réalisé au pré-barrage de Falemprise à Cerfontaine. Le **Tableau VII.1** donne les valeurs des coefficients de perméabilité et d'emmagasinement ainsi que les unités hydrogéologiques concernées.

Ouvrage	Unité hydrogéologique	Coefficient de perméabilité K(m/s)	Coefficient d'emmagasinement S (%)
Captage de Senzeille	Aquifère des calcaires du Frasnien	$5 \cdot 10^{-4}$	5
Captage de Cerfontaine	Aquifère des calcaires du Frasnien	$5 \cdot 10^{-4}$	5
Pré-barrage de Falemprise à Cerfontaine	Aquiclude du Famennien	2.7 à $3.6 \cdot 10^{-6}$ (schistes fissurés) $2.2 \cdot 10^{-6}$ (schistes sains)	/

**Tableau VII.1** tableau récapitulatif des coefficients de perméabilité et d'emmagasinement des captages de Senzeille, de Cerfontaine et perméabilité par essai Lugeon au pré-barrage de Falemprise (Gardin, 2003).

### VII.2. PARAMÈTRES DE TRANSPORT

Aucune investigation de terrain n'a été réalisée sur le domaine de cette carte afin de déterminer des valeurs pour les paramètres de transport. Ceux-ci ne peuvent dès lors être estimés.

## VIII. ZONES DE PREVENTIONS

### VIII.1. CADRE LÉGAL

Suite au développement économique, les ressources en eaux souterraines sont de plus en plus sollicitées et en même temps soumises à des pressions environnementales 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 qui sont d'intérêt public (voir le site web <http://environnement.wallonie.be/>). Ces textes définissent, entre autres, les zones de prises d'eau, de prévention et de surveillance et précisent les mesures qui devront y être prises.

La législation wallonne (arrêté du Gouvernement Wallon du 14/11/1991) définit quatre zones distinctes (Figure VIII.2):

- la zone I ou zone de prise d'eau;
- la zone de prévention IIa ou zone rapprochée;
- la zone de prévention IIb ou zone 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 réalisées par les producteurs d'eau et financées par la redevance sur la protection des eaux potabilisables. Des actions de prévention y sont menées afin de garantir la pérennité de la qualité de l'eau.

L'extension de ces périmètres de prévention est établie de manière différente selon le type d'aquifère (*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 protection 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, et de tests (pompage, traçage), d'analyse (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.

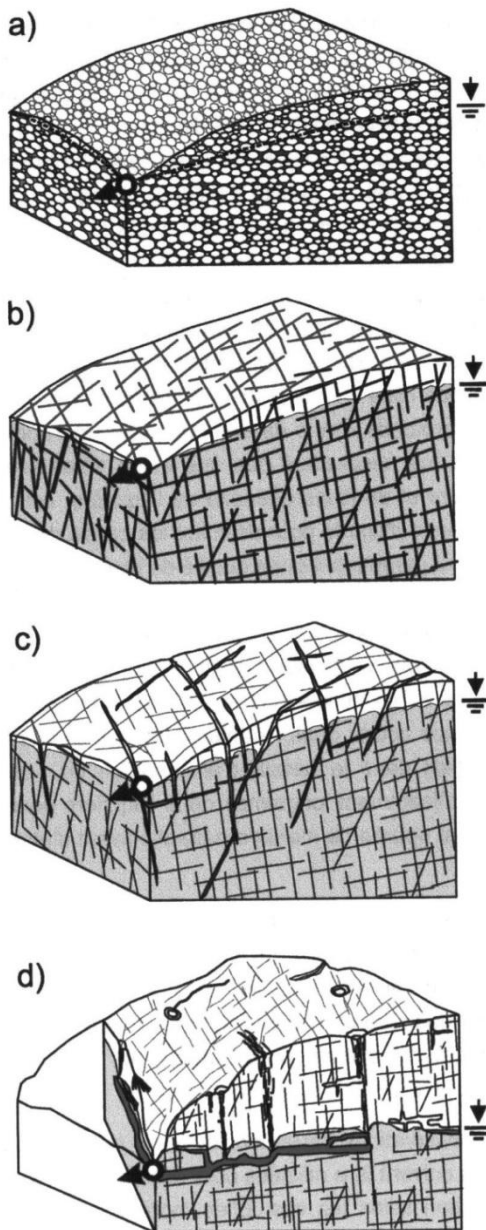


Figure VIII.1 : Représentation schématique de quatre aquifères caractérisés par une hétérogénéité croissante, a) milieu poreux homogène, b) milieu fissuré faiblement hétérogène, c) milieu fissuré hétérogène, d) milieu karstique très hétérogène (*Pochon et Zwahlen, 2003*).

Si la prévention à un prix, elle est aussi un investissement à long terme. Elle devrait permettre d'améliorer durablement la qualité de l'eau captée en permettant de planifier adéquatement l'occupation du sol (épandage, engrais, pesticide) sur l'ensemble du bassin d'alimentation du captage. D'autre part, elle doit également permettre de réduire au maximum les problèmes de pollutions ponctuelles accidentelles dans les zones vulnérables.

#### **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 dix mètres des limites extérieures des installations en surfaces 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 surfaces, dans le cas d'un puits, et par deux lignes situées à **25 m au minimum** de part et d'autre de la projection en surface de l'axe longitudinal dans le cas d'une galerie.

**En milieu karstique**, tous les points de pénétration préférentiels (doline et perte) dont la liaison avec le captage est établie sont classés en zone IIa.

#### **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 IIb 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)).

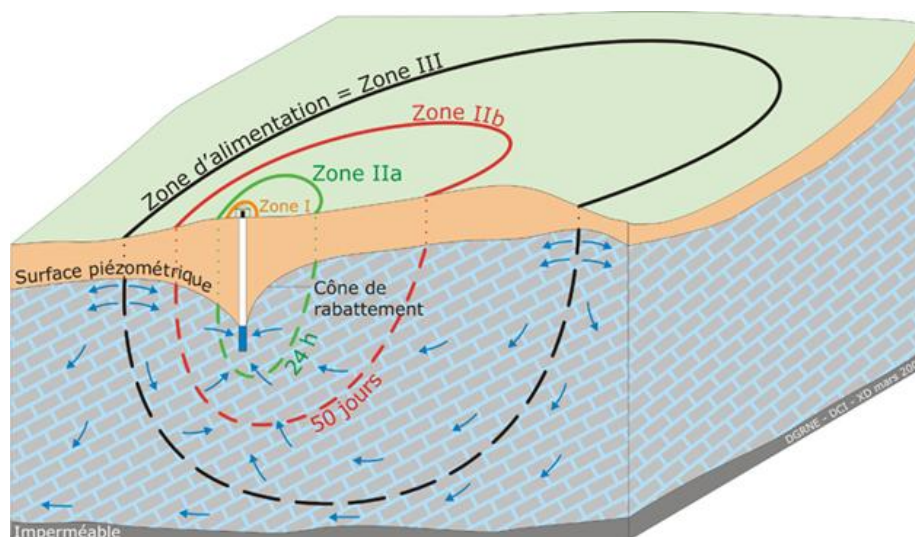


Figure VIII.2 : Représentation théorique des zones de prévention autour d'un captage (<http://environnement.wallonie.be/>).

### 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 (<http://environnement.wallonie.be/>).

Pour financer les recherches relatives à la délimitation des zones de prévention et indemniser tout particulier ou toute société dont les biens doivent être mis en conformité avec la législation, une redevance de 0,107 € est prélevée sur chaque m<sup>3</sup> fourni par les sociétés de distribution d'eau.

Une détermination de l'extension des zones de prévention sur base de dossiers scientifiques peut s'avérer onéreuse car elle nécessite des prospections géophysiques, des forages, des essais de pompage et de traçage ainsi que la mise en œuvre de modèle mathématique.

## VIII.2. ZONE DE PRÉVENTION AUTOUR DES CAPTAGES DE LA RÉGION FROIDCHAPPELLE - SENZEILLE

La Figure VIII.3 donne les zones de prévention arrêtées en Région wallonne au mois de juin 2009. La Figure VIII.4 donne les zones de prévention à l'enquête publique en Région wallonne au mois de juin 2009.

L'ensemble des captages qui sont destinés à une distribution publique d'eau devra, dans un futur plus ou moins proche, faire l'objet d'une étude de délimitation des zones de prévention

rapprochée et éloignée. Cette étude sera proposée au Service 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.

#### **VIII.2.1. Zones de prévention arrêtée**

A ce jour aucune zone de prévention n'a été arrêtée (Figure VIII.3) sur le territoire de la carte Froidchapelle - Senzeille.

#### **VIII.2.2. Zones de prévention proposées**

A ce jour aucune zone de prévention n'est à l'enquête publique (Figure VIII.4) sur le territoire de la carte Froidchapelle - Senzeille.

# Zones de protection approuvées par arrêté ministériel

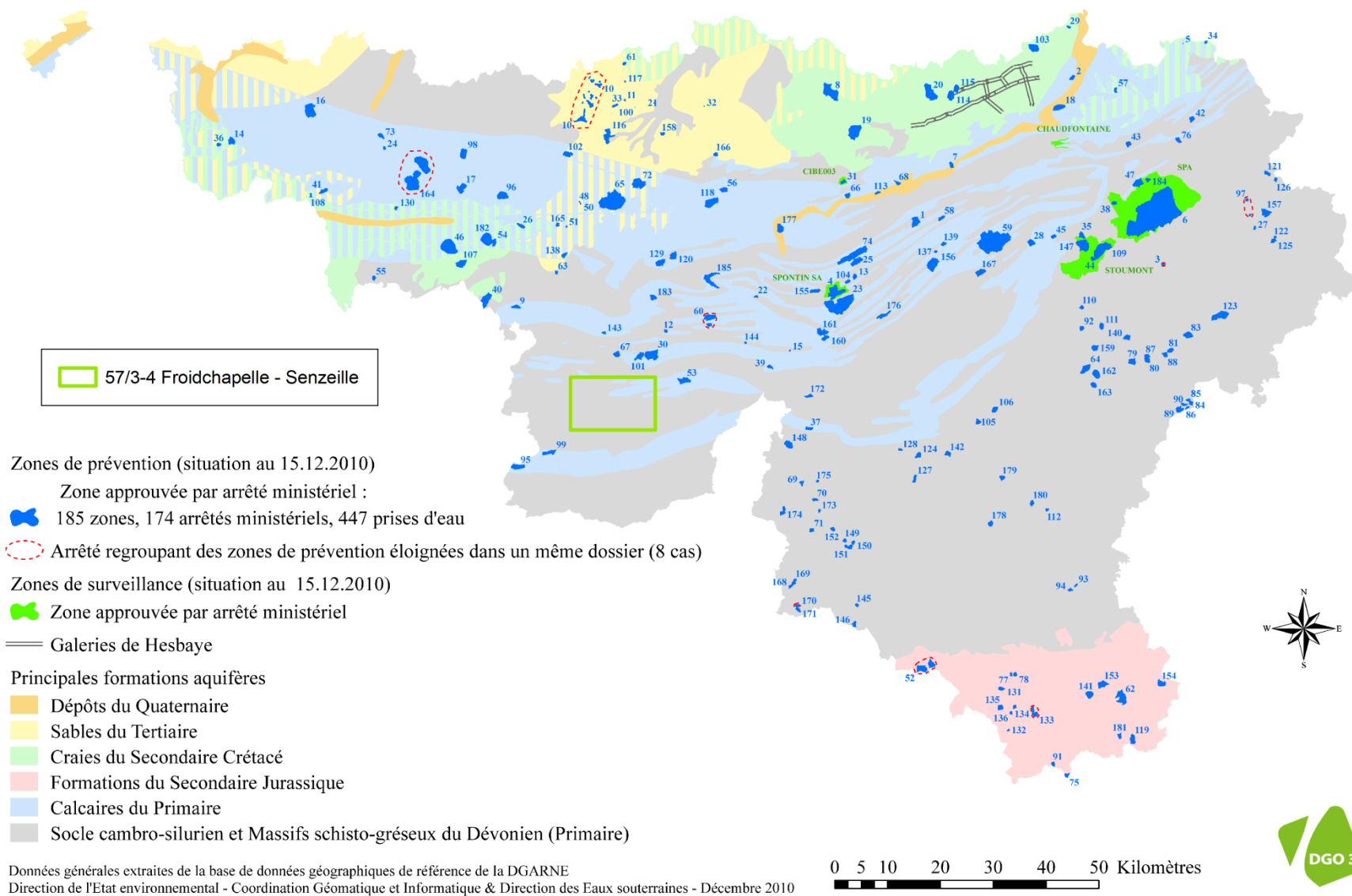


Figure VIII.3 : Zones de protection approuvées par arrêté ministériel en Région Wallonne, décembre 2010 (<http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas/>).

# Zones de protection à l'enquête publique et dossiers particuliers

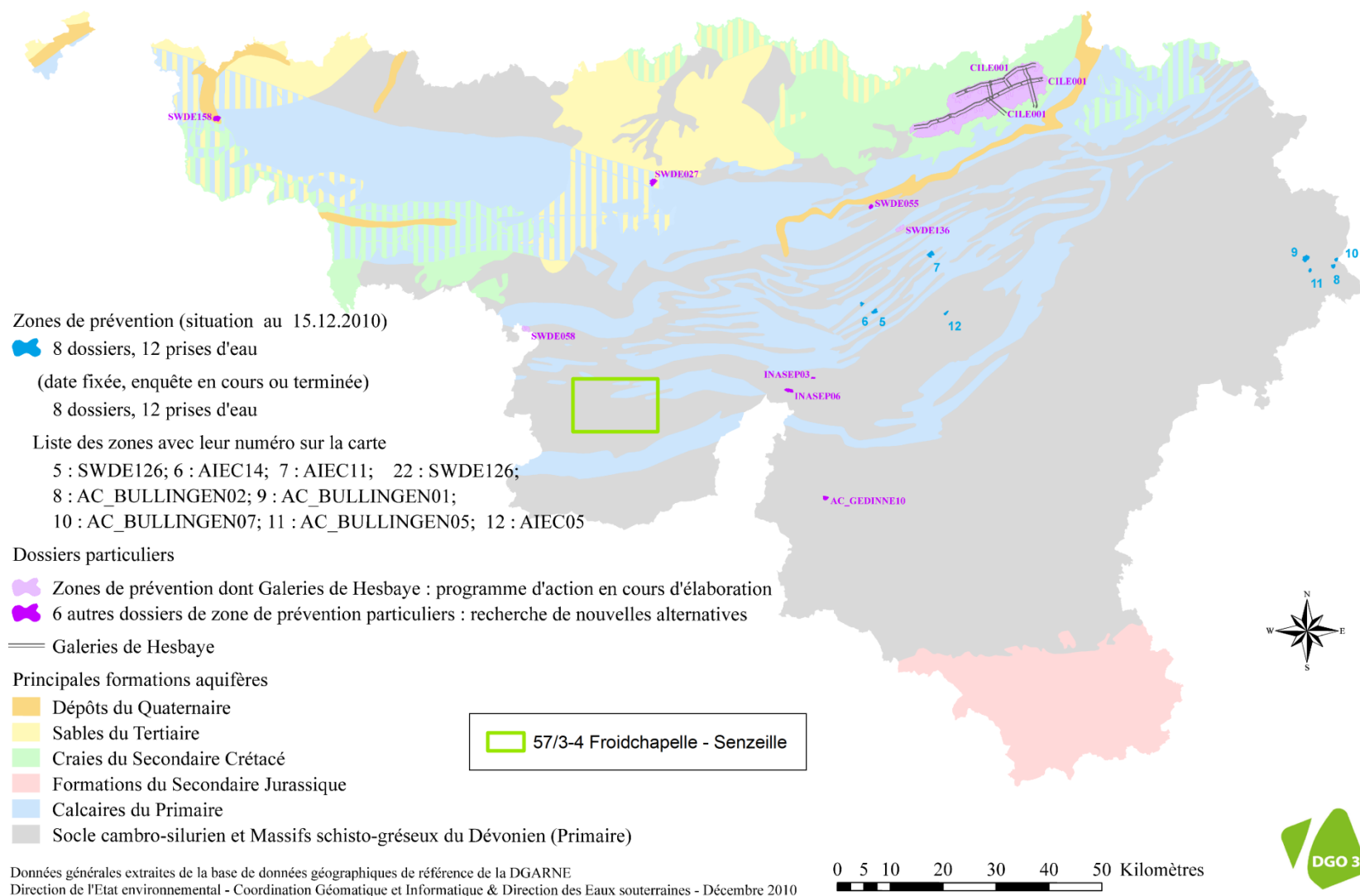


Figure VIII.4 : Zones de protection à l'enquête publique en Région wallonne, décembre 2010 (<http://environnement.wallonie.be/de/es/atlas/>).

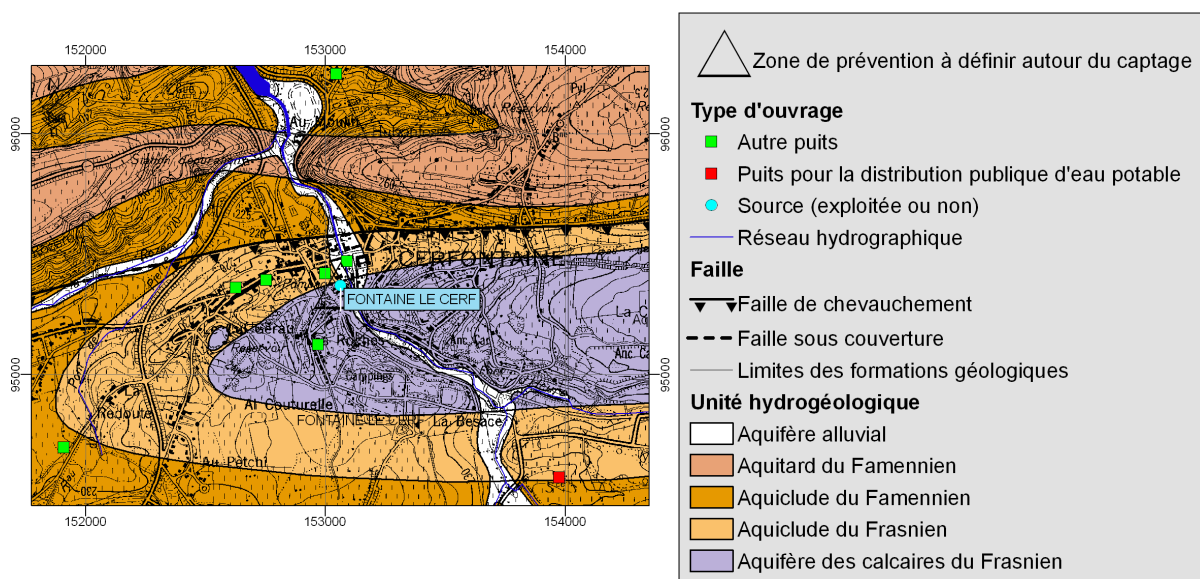


### VIII.2.3. Zones de prévention à définir

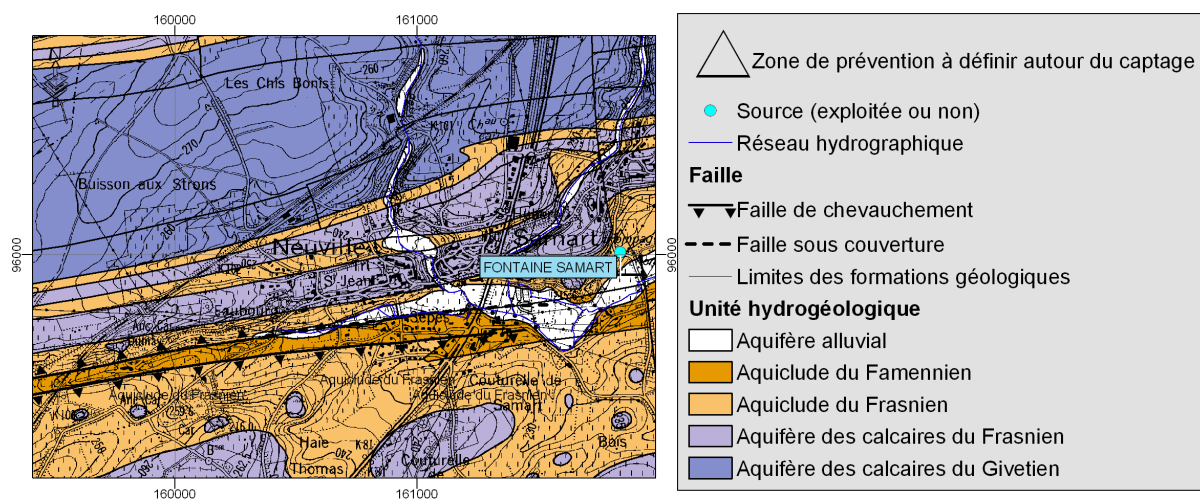
Les trois captages exploités actuellement sur la carte de Froidchapelle - Senzeille font l'objet d'une zone de prévention à définir, à savoir :

1. *Fontaine le Cerf* (Figure VIII.5) ;
2. *Fontaine Samart* (Figure VIII.6) ;
3. *Source Fontaine de Senzeille* (Figure VIII.7).

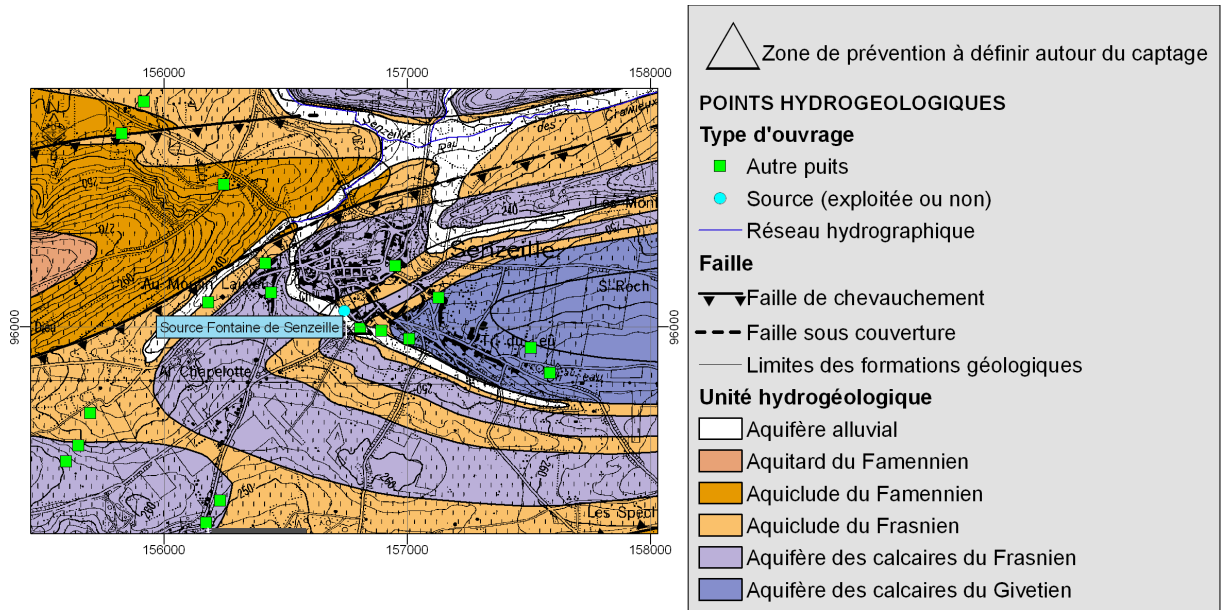
A ce jour cependant, aucune étude n'a encore été entreprise afin de délimiter les zones de prévention.



**Figure VIII.5 : Localisation de la source *Fontaine le Cerf*.**



**Figure VIII.6 : Localisation de la source *Fontaine Samart*.**



**Figure VIII.7 : Localisation de la Source Fontaine de Senzeille.**

# IX. MÉTHODOLOGIE D'ÉLABORATION DE LA CARTE HYDROGÉOLOGIQUE

## IX.1. INTRODUCTION

La réalisation de la carte hydrogéologique Froidchapelle - Senzeille (57/3-4) 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.

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.

Pour la carte Froidchapelle – Senzeille, les données hydrochimiques ont, pour la plupart, été fournies par la banque de données de la Région Wallonne, par les sociétés de distribution d'eau, par le dossier d'étude Gardin (2003). Une campagne d'échantillonnages et d'analyses hydrochimiques (novembre 2005) a été mise sur pied avec la Direction des Eaux Souterraines de la DGARNE afin de pallier au manque d'informations disponibles.

## **IX.2.2. Campagnes de mesures sur le terrain**

Un travail important est mené sur terrain afin de vérifier, compléter et parfois corriger les données collectées. En effet, certaines données reçues des administrations contiennent peu d'informations techniques sur les puits des particuliers qui sont nombreux et dont les volumes extraits sont généralement assez faibles. Le travail sur le terrain consiste essentiellement à vérifier la position de quelques ouvrages et à y effectuer des mesures de niveau d'eau (hauteur piézométrique) récentes. Il permet aussi d'enquêter auprès du propriétaire sur l'historique et les caractéristiques du captage. Ces visites de terrain permettent donc de récolter de nouvelles données et de mieux connaître la zone à cartographier.

## **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, DGARNE<sup>9</sup>), 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 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 physicochimique 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.

---

<sup>9</sup> Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement (DGO3). Département de l'Etude du Milieu naturel et agricole - Direction de l'Etat environnemental. Coordination Géomatique et Informatique. Avenue Prince de Liège 15 - B-5100 Jambes, Belgique.

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

Les phénomènes karstiques ont également été pris en compte. Ces données proviennent essentiellement de l'Atlas du Karst Wallon publié par la Région Wallonne (*De Broyer, 2002*).

### **IX.3.2. Construction de la carte hydrogéologique**

Les unités hydrogéologiques sont directement dérivées de la nouvelle carte géologique (*Dumoulin et Marion, 1999*), publiée par le Ministère de la Région Wallonne (DGARNE). 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 des unités hydrogéologiques figurent les unités 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 carte des eaux souterraines, est inventorié dans un tableau récapitulatif avec le nom et la couleur respectifs de chaque unité.

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 ponctuels, 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, les isohypses peuvent être assez facilement extrapolés. Dans le cas de structures plissées et faillées, comme sur carte Froidchapelle - Senzeille (57/3-4), il est impossible de tracer de tels isohypses.

Pour la carte Froidchapelle - Senzeille (57/3-4), les données piézométriques ne sont pas très abondantes. Elles proviennent notamment des campagnes piézométriques bimensuelles effectuées dans le cadre de la réalisation de cette carte sur des puits appartenant à des particuliers, 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 litho-stratigraphique 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 (CP) 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 (CV) 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 (CC) 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 (CI), 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).

#### **IX.4. BANQUE DE DONNÉES HYDROGÉOLOGIQUES**

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 HHYDRO* a été régulièrement améliorée.

Dans un souci d'homogénéité entre les équipes et d'autres institutions (dont l'administration wallonne, DGARNE<sup>10</sup>), la base de données a été révisée. Le but est de créer un outil de travail commun et performant, répondant aux besoins des spécialistes impliqués dans la gestion des eaux souterraines. Les données hydrogéologiques dispersées géographiquement devaient être disponibles dans une seule base de données centralisée.

Ainsi les données détaillées de l'hydrochimie, de la piézométrie, des volumes exploités, des paramètres d'écoulement et de transport, de géologie telles que les descriptions de log de forage et d'autres données administratives ou autre sont stockées dans la *BD HHYDRO* qui se trouve à la DGARNE. Ces données peuvent être demandées à la Région qui décide de

---

<sup>10</sup> Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement (DGO3). Département de l'Etude du Milieu naturel et agricole - Direction de l'Etat environnemental. Coordination Géomatique et Informatique. Avenue Prince de Liège 15 - B-5100 Jambes, Belgique

leur accessibilité au cas par cas. L'ensemble des données collectées est encodé dans la base de données géorelationnelle, *BD HHYDRO* (Wojda et al, 2005). Elle regroupe toutes les informations disponibles en matière d'hydrogéologie en Région wallonne. Parmi les nombreuses et diverses données de la *BD HHYDRO* 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 HHYDRO*. 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.



## X. BIBLIOGRAPHIE

**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. *DGRNE (Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement) – CWEPPSS (Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains asbl)*.

**Dejonghe, L., 1998**, Guide de lecture des cartes géologiques de Wallonie au 1/25 000, *Éd. Ministère de la Région Wallonne*, 47 p.

**Dumoulin, V., Marion, J.-M., 1997**, Carte géologique de Wallonie, planchette 58/1-2, Sautour - Surice, *Ed. Ministère de la Région Wallonne*.

**Dumoulin, V., Marion, J.-M., 1999**, Carte géologique de Wallonie, planchette 57/3-4, Froidchapelle – Senzeille, et sa notice explicative (1998), 48 p., *Ed. Ministère de la Région Wallonne*.

**Elsevier, 1990**, Elsevier's Dictionary of Environmental Hydrogeology, *Elsevier*.

**Fetter, C.W., 2001**, Applied Hydrogeology, Fourth Edition, *Eds. Prentice Hall*, 598 p.

**Gardin, N., 2003**, Mémoire, Etude des eaux souterraines dans le bassin de l'Eau d'Heure, *ULG, Département de Géoressources, Géotechnologies et Matériaux de construction (GEOMAC)*.

**Gogu, R.C., 2000**, Thèse de doctorat. Advances in groundwater protection strategy using vulnerability mapping and hydrogeological GIS databases, *Université de Liège*.

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

**Monjoie, A., Lox, A., 1986**, Première esquisse de bilan sur le bassin de l'Eau d'Heure, *Laboratoire de Géologie de l'Ingénieur, d'Hydrogéologie et de prospection géophysique, Faculté des Sciences Appliquées, ULG*, 56p.

**Pochon, A. & Zwahlen, F. 2003**: Délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré – Guide pratique. L'environnement pratique. *Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Office fédéral des eaux et de la géologie, Berne*, 83 p.

**Quinif, Y., 1999**, Karst et évolution des rivières : le cas de l'Ardenne, *Geodinamica Acta*, 12, 3-4, pp. 267-277.

**Quinif, Y. & Vandycke, S., 2001**, Les phénomènes karstiques de la région Han-sur-Lesse-Rochefort (Belgique), *Bull. Inf. Bass. Paris*, 38, fasc. 1, pp.6-19.

**Thorntwaite, C.W. & Mather, J.R.**, 1955, The water balance, *Publication 8*, 1-86, *Centeron N.J., Laboratory of Climatology*.

**UNESCO-OMM**, 1992, *Glossaire International d'Hydrogéologie*, *seconde édition*, 413 pp.

**Wojda, P., Dachy, M., Popescu, C., Ruthy, I., Gardin, N., Brouyère, S., Dassargues, A.**, 2005, Appui à la conception de la structure, à l'interfaçage et à l'enrichissement de la base de données hydrogéologiques de la Région wallonne, *SPW - DGARNE, Convention SPW -ULg-Hydrogéologie*.

**Ziegler, P. A.**, 1990, Geological atlas of Western and Central Europe. *Shell Internationale Petroleum Maatschappij BV*, 2<sup>nd</sup> ed., 239 p.

## XI. LISTE DES FIGURES

Figure II.1 : Réseau hydrographique de la carte de Froidchapelle – Senzeille 57/3-4. ....	7
Figure III.2 : Carte structurale simplifiée de la planchette 57/3-4 Froidchapelle - Senzeille (DUMOULIN, V., MARION, J.-M., 1999) .....	17
Figure IV.1 : Masses d'eau souterraines en Wallonie (Etat des nappes d'eau, mars 2010, <a href="http://environnement.wallonie.be">http://environnement.wallonie.be</a> ). ....	20
Figure IV.2 : Les principales formations aquifères de Wallonie (Référence, modifié) et localisation de la planchette Froidchapelle - Senzeille. ....	21
Tableau IV.1: Tableau lithostratigraphique et unités hydrogéologiques de la région de Froidchapelle - Senzeille. ....	23
Figure IV.3 : Localisation de l'Aquifère des calcaires du Givetien sur la carte Froidchapelle - Senzeille. ....	24
Figure IV.4 : Localisation de l'Aquifère des calcaires du Frasnien sur la carte Froidchapelle - Senzeille. ....	25
Figure IV.5 : Localisation de l'Aquiclude du Frasnien sur la carte Froidchapelle - Senzeille. ....	26
Figure IV.6 : Localisation de l'Aquiclude du Famennien sur la carte Froidchapelle - Senzeille. ....	27
Figure IV.7 : Localisation de l'Aquitard du Famennien sur la carte Froidchapelle - Senzeille. ....	28
Figure IV.8 : Localisation de l'Aquifère alluvial sur la carte Froidchapelle - Senzeille. ....	29
Figure IV.9 : Localisation des phénomènes karstiques de la carte de Froidchapelle - Senzeille. ....	31
Figure IV.10 : Unités hydrogéologiques régionales de la carte Froidchapelle - Senzeille. ....	32
Figure IV.12 : Calcul de l'eau utile pour l'année 2004, station météorologique Soumoy. ....	35
Figure IV.13 : Calcul de l'eau utile pour l'année 2003, station météorologique Soumoy. ....	36
Figure IV.14 : Localisation du puits Lambert JC à Senzeille. ....	37
Figure IV.18 : Localisation du Puits Ganhy de Neuville. ....	39
Figure IV.20 : Localisation du Puits Dujoux Lucien de Senzeille. ....	40
Figure IV.21 : Localisation de l'unité hydrogéologique régionale <i>Dépression de la Fagne</i> . ....	41
Figure IV.22 : Localisation du puits Bomled à Soumoy. ....	42
Figure IV.24 : Localisation du puits Maschiet à Cerfontaine. ....	43
Figure IV.25 : Localisation des puits Lechat Pâturage 1 et Porcherie Mouchette. ....	43
Figure IV.26 : Évolution du niveau piézométrique dans un puits privé (Puits Lechat Pâturage 1). ....	44
Figure IV.27 : Localisation du puits l'Ange Gardien. ....	45
Figure IV.28 : Évolution du niveau piézométrique dans un puits privé (Puits de l'Ange Gardien). ....	46
Figure IV.30 : Localisation du r <sup>au</sup> de Soumoy. ....	48
Figure IV.31 : Localisation de l'Eau d'Heure. ....	49
Figure IV.32 : Localisation du trait de coupe sur la carte Froidchapelle - Senzeille (57/3-4). ....	52
Figure IV.33 : Localisation du puits Lambert JC. ....	53
Figure IV.34 : Localisation du puits Vael. ....	54
Figure IV.35 : Localisation du puits Dujoux à Senzeille. ....	54
Figure IV.36 : Localisation des puits Alain Damman, Ferme Queue de l'Herse 2 et Vandesinde. ....	55
Figure IV.37 : Localisation du puits Bomled. ....	55
Figure IV.38 : Localisation du puits l'Ange Gardien. ....	56
Figure IV.39 : Localisation des puits Porcherie Mouchette et Lechat Pâturage 1. ....	56
Figure IV.40 : Coupe hydrogéologique de la carte de Froidchapelle – Senzeille (57/3-4). ....	57
Figure V.1 : Localisation des puits Lambert JC, Dumay Georges et Plennevaux Gv de Senzeille. ....	61
Figure V.2 Localisation du Puits Ganhy de Neuville. ....	63
Figure V.3 : Localisation du Puits Vael de Villers-Deux-Eglises. ....	64
Figure V.4 : Localisation du Puits Mathurin de Senzeille. ....	64
Figure V.5 : Localisation des puits Pré du Pusse et Trî des Vaches. ....	66
Figure V.7 : Localisation des Puits Dagneaux L. 1 et Dagneaux E. ....	69
Figure V.8 : Localisation des Puits Revelart et Pierson. ....	69
Figure V.9 : Localisation du Puits Mestdagh G. ....	70
Figure V.10 Localisation des Puits Pierson E. 2, Le Barbinconia et au Vert Pwèri. ....	71

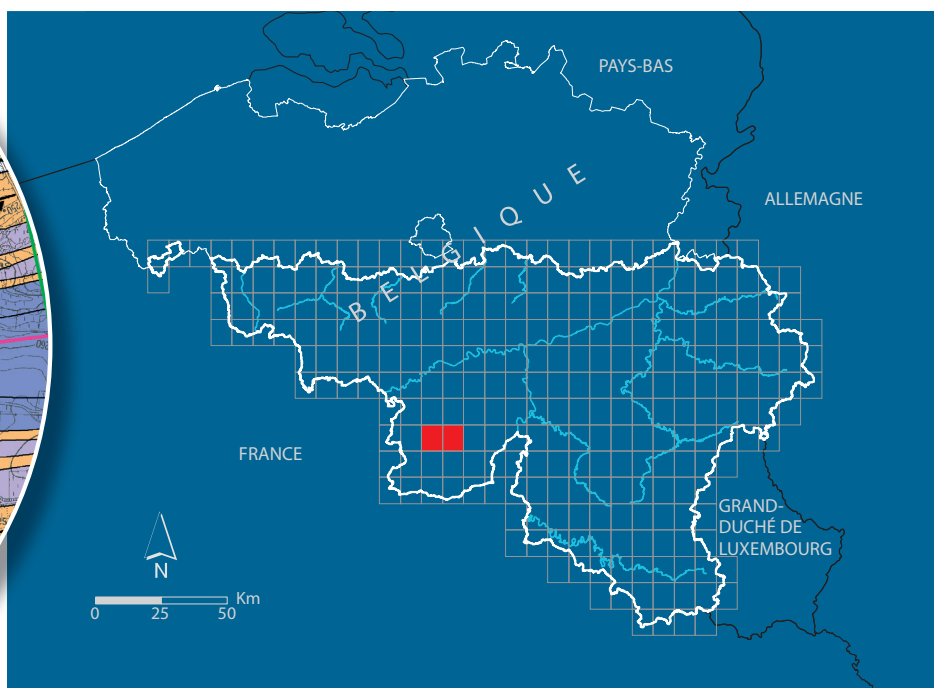
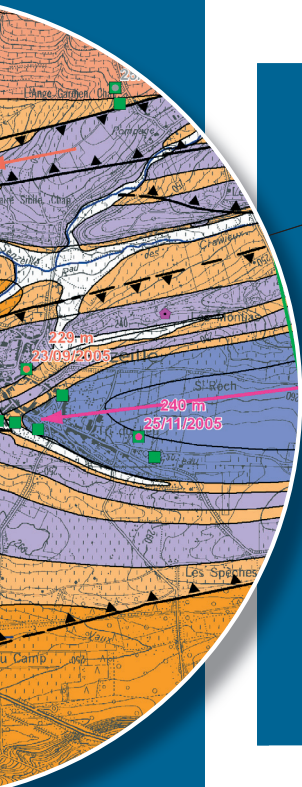
Figure V.11: Classification hydrochimique des eaux souterraines (Fetter, 2001). .....	73
Figure V.14 : Carte des teneurs moyennes en nitrates de 2004 à 2007 des captages en Région et localisation de la planchette Froidchapelle - Senzeille. ....	76
Figure V.16 : Nombre de captages et volumes d'eau concernés par une interruption de production ou un traitement de potabilisation des eaux souterraines à cause d'une pollution par les pesticides en Région wallonne (1993-2004, <i>Cellule Etat de l'Environnement Wallon (2007)</i> ). ....	78
Figure V.17 : Mise hors service des captages d'eau souterraine en Région wallonne (2000-2005, <i>Cellule Etat de l'Environnement Wallon (2007)</i> ). ....	78
Figure V.18 : sites de contrôle de la qualité des eaux souterraines répartis selon le pesticide présentant la concentration la plus élevée, en Région wallonne (période 2005-2008) ( <i>Tableau de bord de l'environnement Wallon, 2010</i> ). ....	79
Tableau V.7 : Valeurs seuils des paramètres chimiques intervenant dans la dégradation des masses d'eau souterraines. ....	84
Figure V.20 : Etat des masses d'eau pour l'année 2008 et causes de leur dégradations (Etat des nappes d'eau, juin 2010, <a href="http://environnement.wallonie.be">http://environnement.wallonie.be</a> ). ....	86
Tableau VI.1 : Distribution des ouvrages entre les différentes nappes de la carte de Froidchapelle - Senzeille (57/3-4). ....	87
Figure VI.1 : Prises d'eau en activité déclarées et géoréférencées au 1/06/2009 et localisation de la planchette Froidchapelle – Senzeille ( <a href="http://environnement.wallonie.be/">http://environnement.wallonie.be/</a> ). ....	88
Figure VI.2 : Prélèvements annuels (1999 - 2006) dans l'aquifère des calcaires dévonien du bassin de Dinant et dans le massif schisto-gréseux du bassin de Dinant à l'échelle de la Wallonie. ....	89
Figure VI.3 : Proportions relatives des volumes prélevés en 2006 dans les Calcaires du Primaire et dans les Massifs schisto-gréseux du Primaire. ....	90
Figure VI.4 : Prélèvements par aquifère au niveau de la Wallonie et localisation de la planchette Froidchapelle – Senzeille ( <a href="http://environnement.wallonie.be/">http://environnement.wallonie.be/</a> ). ....	91
Figure VI.5 : Localisation de la source <i>Fontaine le Cerf, exploitée par l'I.N.A.S.E.P., dans son contexte hydrogéologique</i> . ....	92
Figure VI.6 : Localisation de la source <i>Fontaine Samart, exploitée par l'I.N.A.S.E.P., dans son contexte hydrogéologique</i> . ....	92
Figure VI.7 : Localisation de la Source <i>Fontaine de Senzeille, exploitée par l'I.N.A.S.E.P., dans son contexte hydrogéologique</i> . ....	93
Figure VI.8 : Volumes prélevés, entre 1991 et 2008, par les trois sources exploitées par l'I.N.A.S.E.P. (Fontaine Le Cerf, Source Fontaine de Senzeille, Fontaine Samart). ....	94
Figure VI.9 : Principales prises d'eau en Région wallonne et localisation de la planchette Froidchapelle – Senzeille ( <a href="http://environnement.wallonie.be/">http://environnement.wallonie.be/</a> ). ....	95
Figure VI.10 : Localisation du barrage du Ry de Rome sur la carte Chimay-Couvin 57/78 et Olloy-sur-Viroin – Treignes 58/5-6. ....	96
Figure VI.11 : Volumes d'eau de surface prélevés dans le lac de retenue du barrage du Ry de Rome entre 1992 et 2005, sur la carte Chimay-Couvin 57/7-8. ....	96
Figure VI.12 : Localisation des puits Taille Brulée, Pinson P1 et P2 dans leur contexte hydrogéologique. ....	97
Figure VI.15 : Localisation sur la carte Froidchapelle - Senzeille des captages pour la distribution publique d'eau potable. ....	100
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 ( <i>Pochon et Zwahlen, 2003</i> ). ....	103
Figure VIII.2 : Représentation théorique des zones de prévention autour d'un captage ( <a href="http://environnement.wallonie.be/">http://environnement.wallonie.be/</a> ). ....	105
Figure VIII.3 : Zones de protection approuvées par arrêté ministériel en Région Wallonne, décembre 2010 ( <a href="http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas/">http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas/</a> ). ....	107
Figure VIII.4 : Zones de protection à l'enquête publique en Région wallonne, décembre 2010 ( <a href="http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas/">http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas/</a> ). ....	108
Figure VIII.5 : Localisation de la source <i>Fontaine le Cerf</i> . ....	109
Figure VIII.6 : Localisation de la source <i>Fontaine Samart</i> . ....	109
Figure VIII.7 : Localisation de la Source Fontaine de Senzeille. ....	110

## XII. LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1 : Tableau lithostratigraphique de la région de Froidchapelle - Senzeille 57/3-4.....	10
Tableau IV.1: Tableau lithostratigraphique et unités hydrogéologiques de la région de Froidchapelle.....	23
Tableau IV.2 : Débits annuels et variations de réserves des aquifères des bassins du Rau de Soumoy et de l'Eau d'Heure à Cerfontaine ( <i>Gardin, 2003</i> ). $R_i$ : réserve initiale, $R_f$ : réserve finale, $\Delta R$ : variation de réserve. ....	50
Tableau IV.3 : Bilans hydrologiques du bassin versant du Rau de Soumoy. P : précipitations, ETR : évapotranspiration réelle, EU : eau utile, Q : débit, $\Delta S$ : variation de stock en eau du sol, $R_{init}$ : réserve en eau de l'aquifère en début de période, $R_{fin}$ : réserve en eau de l'aquifère en fin de période, $\Delta R$ : variation des réserves en eau de l'aquifère (d'après <i>Monjoie &amp; Lox, 1986</i> in <i>Gardin, 2003</i> ). ....	51
Tableau IV.4 Bilans hydrologiques du bassin versant de l'Eau d'Heure. P : précipitations, ETR : évapotranspiration réelle, EU : eau utile, Q : débit, $\Delta S$ : variation de stock en eau du sol, $R_{init}$ : réserve en eau de l'aquifère en début de période, $R_{fin}$ : réserve en eau de l'aquifère en fin de période, $\Delta R$ : variation des réserves en eau de l'aquifère (d'après <i>Monjoie &amp; Lox, 1986</i> in <i>Gardin, 2003</i> ). ....	51
Tableau V.1 : Analyses hydrochimiques de l'Aquifère des calcaires du Givetien. ....	61
Tableau V.2: Analyses hydrochimiques de l'Aquifère des calcaires du Frasnien. ....	62
Tableau V.3 : Analyses hydrochimiques de l'Aquiclude du Frasnien. ....	65
Tableau V.4 : Analyses hydrochimiques de l'Aquitard du Famennien.....	68
Tableau V.5 : Analyses hydrochimiques de l'Aquiclude du Famennien.....	71
Tableau V.6 : Teneurs des paramètres "bactéries" et "pesticides" et autres polluants des Aquifère des calcaires du Givetien et du Frasnien et de l'Aquitard du Famennien. Au niveau des pesticides, seuls ceux présentant des valeurs supérieures à zéro ont été mentionnés.....	82
Tableau V.7 : Valeurs seuils des paramètres chimiques intervenant dans la dégradation des masses d'eau souterraines. ....	84
Tableau VI.1 : Distribution des ouvrages entre les différentes nappes de la carte de Froidchapelle - Senzeille (57/3-4). ....	87
Tableau VI.2 : Liste des captages qui font ou on fait l'objet d'une exploitation sur la carte Froidchapelle - Senzeille (source : banque de données hydrogéologiques de la Région wallonne). I.N.A.S.E.P. : Intercommunale Namuroise de Service Public. ....	99
Tableau VII.1 tableau récapitulatif des coefficients de perméabilité et d'emménagement des captages de Senzeille, de Cerfontaine et perméabilité par essai Lugeon au pré-barrage de Falemprise ( <i>Gardin, 2003</i> ). ....	101







Dépôt légal : D/2010/12.796/2 – ISBN : 978-2-8056-0070-8

Editeur responsable : Claude DELBEUCK, DGARNE,

15, Avenue Prince de Liège – 5100 Jambes (Namur) Belgique