

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 Allieur - Liège



ALLEUR - LIEGE

42/1-2

Ingrid **RUTHY**, Alain **DASSARGUES**
Université de Liège
Sart-Tilman - Bâtiment B52 B-4000 Liège (Belgique)



NOTICE EXPLICATIVE

2006

Première édition : Mai 2002
Actualisation partielle : Mai 2006

Dépôt légal – **D/2006/12.796/3** - ISBN : **978-2-8056-0053-1**

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE

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

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

Avant - propos

La carte hydrogéologique n°42/1-2 Allier-Liège a été commandée par le Ministère de la Région Wallonne. Cette carte hydrogéologique est réalisée par les Laboratoires de Géologie de l'Ingénieur, d'Hydrogéologie et de Prospection géophysique de l'Université de Liège sous la direction du Professeur A. Monjoie (aujourd'hui activités reprises par le secteur 'Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement, ULg).

Le projet a été supervisé par A. Dassargues (chargé de cours) et la carte réalisée par I.Ruthy (licenciée en sciences), en 2002. La carte et la notice ont relue par J.Bellière (géologue) et JM. Compère (hydrogéologue, CILE), en 2005.

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

Par un choix délibéré, la carte 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 présentés.

Les données utilisées pour la réalisation de la carte ont été encodées dans une banque de données sous le format «Access - Microsoft» qui a été remise au Service des Eaux Souterraines (DGRNE) de la Région wallonne.

Table des matières

I	Introduction	4
II	Cadre géographique et géomorphologique	5
III	Cadre géologique	7
III.1	Cadre litho-stratigraphique	7
III.1.1	Les formations du Paléozoïque	7
III.1.2	Les formations du Mésozoïque	8
III.1.3	Les formations du Cénozoïque	10
III.2	Cadre tectonique régional	11
IV	Cadre hydrogéologique	13
IV.1	Description des unités hydrogéologiques	13
IV.1.1	Aquifère des craies de Hesbaye	13
IV.1.2	Aquifères locaux schisto-gréseux du Houiller	14
IV.1.3	Aquifère alluvial de la Meuse	15
IV.2	Description de l'hydrogéologie régionale	16
IV.2.1	Aquifère des craies de Hesbaye	16
IV.2.2	Aquifères locaux schisto-gréseux du Houiller	18
IV.2.3	Aquifère alluvial de la Meuse	19
V	Cadre hydrochimique	21
V.1	Caractéristiques hydrochimiques des eaux	21
V.1.1	Caractéristiques hydrochimiques des eaux de la nappe des craies de Hesbaye	21
V.1.2	Caractéristiques hydrochimiques des eaux des terrains schisto-gréseux du Houiller	22
V.1.3	Caractéristiques hydrochimiques des eaux de la nappe alluviale de la Meuse	23
V.2	Problématique des nitrates	25
V.2.1	Aquifère des craies de Hesbaye	25
V.2.2	Aquifère alluvial de la Meuse	28
V.3	Qualité bactériologique	29
V.4	Pesticides	29
VI	Exploitation des aquifères	30
VI.1	Aquifère des craies de Hesbaye	30
VI.2	Aquifère schisto-gréseux du Houiller	31
VI.3	Aquifère alluvial de la Meuse	31
VII	Paramètres d'écoulement et de transport	32
VII.1	Aquifère des craies de Hesbaye	32
VII.2	Aquifère alluvial de la Meuse	33
VIII	Zones de prévention	34
VIII.1	Cadre légal	34
VIII.2	Zones de prévention autour des galeries de la CILE	36
VIII.3	Zones de prévention autour des captages de la SWDE	38
VIII.4	Zones de prévention autour des captages Interbrew	39

<i>IX</i>	<i>Présentation de la carte hydrogéologique</i>	40
IX.1	Carte hydrogéologique	40
IX.2	Cartes thématiques	41
IX.2.1	Localisation des ouvrages de prise d'eau	41
IX.2.2	Caractérisation de la couverture des nappes et informations complémentaires	41
IX.2.3	Carte des isohypses de la base de l'aquifère des craies et informations ponctuelles sur le toit	42
IX.3	Coupe hydrogéologique	42
IX.4	Tableau de correspondance 'Géologie-Hydrogéologie'	42
<i>X</i>	<i>Méthodologie de l'élaboration de la carte hydrogéologique</i>	43
X.1	Origine des informations	43
X.1.1	Données géologiques	43
X.1.2	Données météorologiques	43
X.1.3	Données hydrogéologiques	44
X.1.4	Données hydrochimiques	44
X.2	Banque de données hydrogéologiques	45
<i>XI</i>	<i>Références bibliographiques</i>	46

Annexe 1 : Glossaire des abréviations

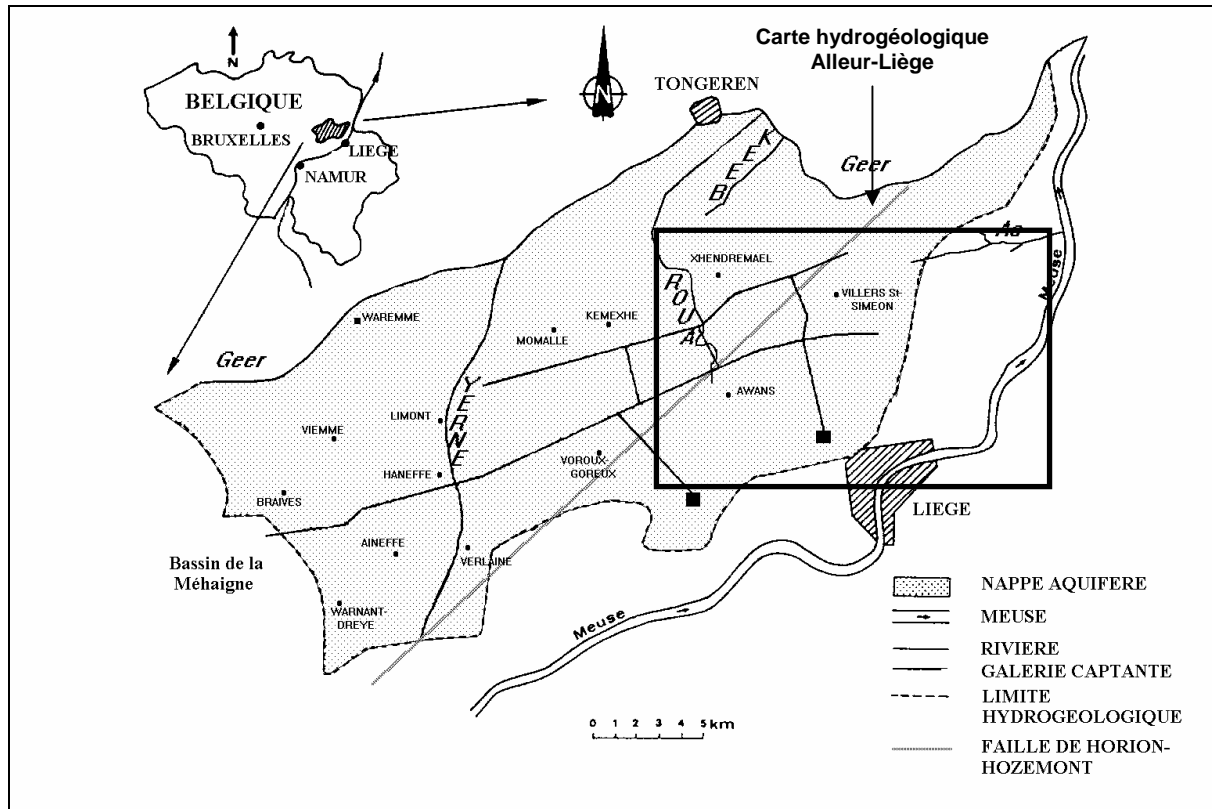
Annexe 2 : Carte de localisation des captages

I INTRODUCTION

La région d'Aller-Liège couvre la partie septentrionale de la ville Liège et la partie orientale du plateau hesbignon (figure I.1). L'aquifère principal de cette région est la nappe de Hesbaye. Cette dernière est limitée par le versant gauche de la Meuse au Sud et à l'Est, par le bassin de la Méhaigne à l'Ouest ; vers le Nord, elle est drainée par le Geer et se prolonge sous les couvertures tertiaires. Cet aquifère assure, en grande partie, l'alimentation de l'agglomération liégeoise par un système de galeries drainantes, creusées dans la craie.

D'autres formations aquifères sont aussi présentes au droit de cette carte. Dans la vallée de la Meuse, la nappe logée dans les alluvions du fleuve est fortement exploitée tant par les compagnies de distribution d'eau que par les industries. Les formations schisto-gréseuses du socle houiller peuvent être localement aquifères.

Figure I.1 : Plan de localisation



II CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

La région couverte par la carte Alleur-Liège se situe en bordure Sud-Est du plateau de Hesbaye. Ce dernier présente une surface topographique en pente douce vers le NNW, avec des pentes inférieures à 4-5%. Il représente environ les deux tiers de la carte étudiée avec des altitudes comprises entre 190 m au Sud et 100 m au Nord.

Le plateau est drainé par quelques ruisseaux, souvent intermittents. Orientés Sud-Nord, ils s'écoulent majoritairement vers la vallée du Geer.

La Roua s'écoule vers le Nord en direction du Geer. Perché dans la partie supérieure de son cours, il est alimenté par les eaux de ruissellement de la région d'Awans.

Le Grand Aa s'écoule à proximité de la limite Est de l'aquifère, en direction de la Meuse.

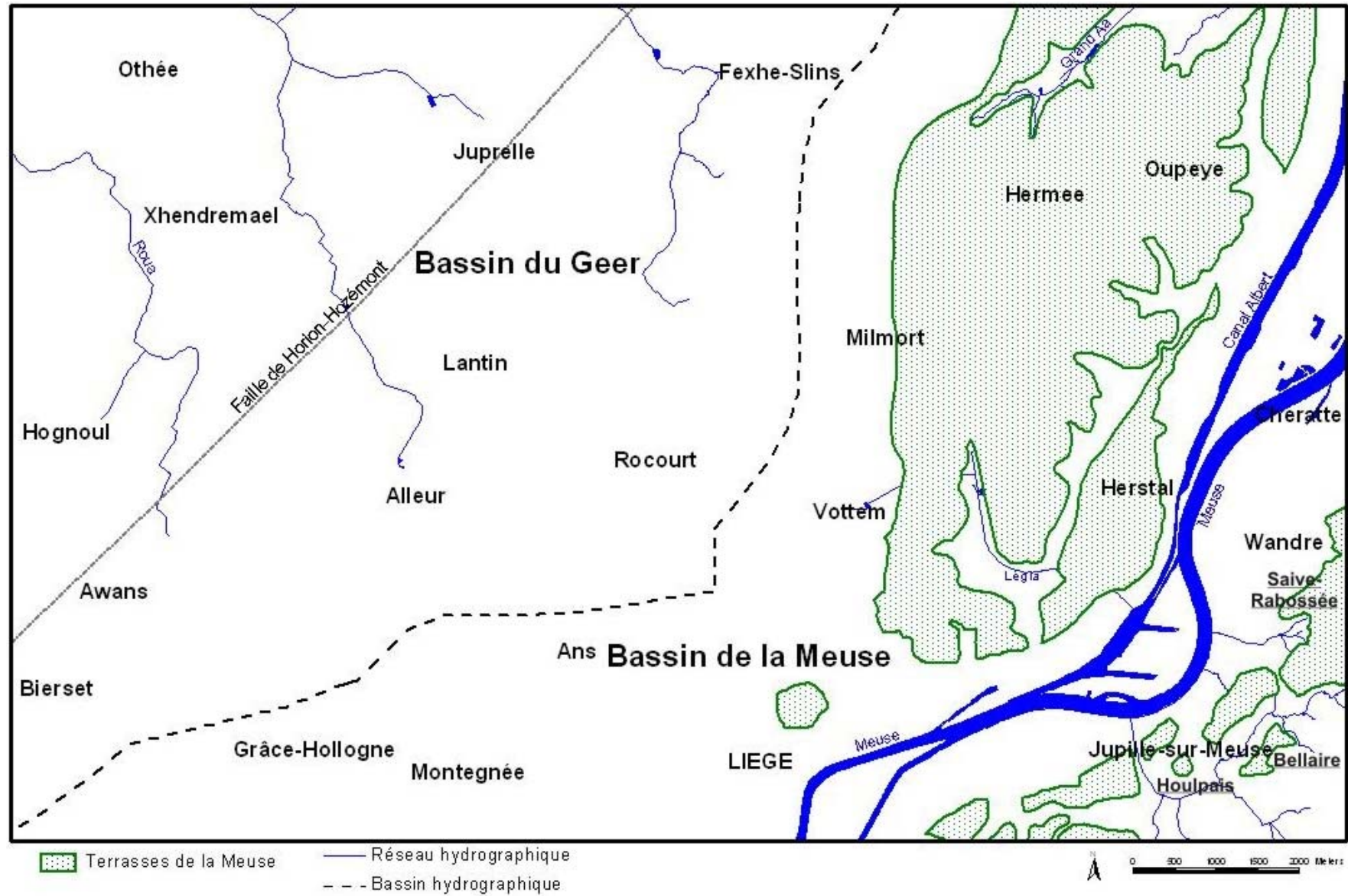
De nombreuses vallées sèches de directions générales S-N, SW-NE et SE-NW, définissent un réseau hydrographique fossile conduisant à un relief très typique, constitué d'une succession de crêtes et de dépressions largement arrondies.

La partie Sud-Est de la carte est occupée par la plaine alluviale de la Meuse, dont la largeur peut atteindre 2000 m. L'altitude moyenne du niveau du fleuve est de +60 m. De part et d'autre de la Meuse, on distingue plusieurs replats correspondant aux terrasses de la Meuse (figure II.1). Dans la partie Sud-Est de la carte, on distingue plusieurs terrasses dont la cote de base est comprise entre +60 m et +115 m pour les basses terrasses. Elle varie entre +125 m et +180 m pour les moyennes et hautes terrasses (Bellaire, Houlpais, Saive-Rabosée,...).

Au Nord de la Meuse, deux terrasses principales se distinguent. Il s'agit des terrasses de Hermée et de Herstal. La cote de base de la première varie entre +105 m et +120 m. Elle est entaillée au Nord par les ruisseaux du Grand Aa et de Beaurieux. L'altitude de la terrasse de Herstal est comprise entre +120 m et +140 m. Elle est entaillée par un ravin orienté Nord-Sud.

La région appartient au bassin hydrographique de la Meuse ; 47% de la superficie sont drainés vers le Nord par une série de ruisseaux appartenant au bassin hydrographique du Geer, affluent de la Meuse à la frontière belgo-hollandaise.

Figure II.1 : Terrasses de la Meuse au droit de la carte Alleur-Liège



III CADRE GEOLOGIQUE

III.1 CADRE LITHO-STRATIGRAPHIQUE

Les formations géologiques rencontrées sur la carte Allier-Liège sont constituées de roches datant du Houiller et du Crétacé. Le Houiller affleure dans la vallée de la Meuse et sur ses versants, tandis que les formations du Crétacé se rencontrent sur le plateau hesbignon, reposant sur le socle paléozoïque pénéplané. Ces formations sont surmontées localement par des sables oligocènes et de façon générale par des limons quaternaires. Ces formations, paléozoïques et mésozoïques, sont affectées de nombreuses failles.

A défaut d'une carte géologique récente, la description lithologique des formations fait référence à la carte n°121 de M.H.Forir dressée en 1902 du S.G.B.. Cette carte géologique sert de fond à la carte hydrogéologique. A la demande du comité de pilotage des nouvelles cartes géologiques, les dénominations employées ici n'ont pas été actualisées, la nouvelle échelle lithostratigraphique de la région n'ayant pas encore été établie.

Rappelons que, pour les anciennes cartes géologiques, l'unité de base est « l'assise », celle-ci constituant une unité chronostratigraphique. Actuellement, les nouvelles cartes sont définies sur base de la « formation » qui constitue une unité lithologique cartographiable à l'échelle de la carte. En outre, certains termes, anciens et locaux, ne sont plus très usités dans le langage du géologue et de l'hydrogéologue. Les définitions de certains termes propres à cette ancienne nomenclature sont reprises ci-dessous (Dejonghe, 1998) :

Psammite : mot utilisé jadis en Belgique pour désigner des grès micacés largement employés en construction. La forte proportion de paillettes de micas, disposées en lits parallèles, leur confère une aptitude à se débiter en feuillets ;

Schiste : roche argileuse de la classe des lutites, consolidée, ayant pris une schistosité. Notons que le mot schiste a souvent été employé en français dans le sens de shale ; c'est le cas pour la carte Allier-Liège. Les riches pélitiques affectées d'un feuillage parallèle à la stratification, comme la plupart des pélitiques du Houiller, sont des shales.

Afin d'éviter toute confusion entre la carte de M.H.Forir et la carte hydrogéologique, les anciens termes seront utilisés dans cette notice.

III.1.1 Les formations du Paléozoïque

III.1.1.1 Cambro-silurien

Les terrains cambro-siluriens constituent le socle sur lequel reposent, en discordance, les dépôts secondaires du plateau de Hesbaye. Cette pénéplaine épi-varisque est inclinée vers le Nord-Est et est affectée de nombreuses failles. La plus importante est la faille d'Horion-Hozémont ou faille Bordière du Massif du Brabant qui met en contact les calcaires du Viséen inférieur ou éventuellement les schistes du Houiller (compartiment SE) et les schistes et grès du Cambro-Silurien (compartiment NW).

Les roches du Cambro-silurien sont principalement composées de grès, schistes et phyllades. Elles ont été observées uniquement en sondages sur la carte Allier-Liège. Quelques pointements de roches éruptives ont été reconnus localement (hors carte).

III.1.1.2 Carbonifère

Ce système n'est représenté, sur la carte Allier-Liège, que par le Houiller: Namurien (H1) et Westphalien (H2). Ce substratum paléozoïque, dégagé par l'érosion, affleure dans la vallée mosane. Ces terrains sont localisés dans la partie Sud et Sud-Est de la carte.

Cet étage est formé par des alternances de schistes plus ou moins gréseux, de psammites et de grès avec intercalations de veines de charbon, d'épaisseur comprise entre 0,5 et 1 m, mais pouvant atteindre 2,5 m au maximum. Ces roches ont été intensément plissées et faillées lors de l'orogénèse varisque puis pénéplanées avant la transgression du Crétacé.

Les terrains du Houiller ont fait l'objet de nombreuses exploitations minières qui ont provoqué des affaissements se prolongeant jusqu'en surface avec fissuration et dégradation des caractéristiques mécaniques des terrains sus-jacents.

III.1.2 Les formations du Mésozoïque

III.1.2.1 Crétacé

Au début du Crétacé, survint une pulsation tectonique majeure (phase cimmérienne tardive), amenant notamment un vaste mouvement de subsidence de l'ensemble de nos régions. Par la suite, la mer crétacée a transgressé rapidement, depuis le NE en direction du SW, déposant des formations argilo-marneuses à la base, carbonatées ensuite.

Les craies sont formées de petits squelettes de fossiles, d'une taille de 10 à 20 microns, appelés coccolithes et constitués de calcite pure. Cet assemblage, plus ou moins induré lors de la diagenèse sous l'effet du poids des terrains surimcombants, résulte d'une sédimentation en milieu marin.

Tableau III.1 : Lithologie du Crétacé de Hesbaye au droit de la carte Allour-Liège

Ère	Système	Série	Étage	Assise	Lithologie	Abréviation
					Conglomérat à Silex (argile, sable, silex)	Sx
MEZOZOIQUE	CRETACE	SENONIEN	Maastrichtien		Tuffeaux et calcarénites	M
					Craie tigrée, bancs de silex	M
					Craie grise	M
				Hardground de Froimont	Craie indurée	M
			Campanien	Craie de Spiennes	Craie à silex	Cp4
				Craie de Nouvelles	Craie blanche	Cp3b-c
				Craie de Loën	Craie glauconifère	Cp3a
				Smectite de Herve (Formation de Vaals)	Argile marneuse	Cp2

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

a) *la smectite de Herve* :

Datant du Campanien inférieur (Assise de Vaals), elle consiste en un matériau marneux, de teintes vertes, gris vert ou gris foncé, contenant 20 à 35 % de CaCO₃. La base est fréquemment soulignée par un fin conglomérat à cailloux arrondis de quartz, quartzite, grès, schistes ou encore de calcaires. Des rognons de pyrite et de marcassite y abondent. Vers le sommet, elle devient plus crayeuse et se charge en glauconie (J.Thorez et A.Monjoie, 1973).

La smectite de Herve constitue le mur imperméable de l'aquifère crétacé. A quelques rares endroits, elle est absente; les craies reposent alors sur un substratum constitué de schistes et de grès du Cambro-Silurien, argilisés au sommet et reconnus peu ou non aquifères et, plus localement, sur des pointements de roches éruptives.

Le sommet de la smectite de Herve est sensiblement horizontal, avec une pente de 1 à 1.5 % vers le Nord (voir carte thématique). Dans l'ensemble, son épaisseur croît de l'Ouest (quelques mètres) vers l'Est (10 mètres et plus).

b) *l'Horizon de Loën* :

Il consiste en une craie glauconifère, d'épaisseur généralement métrique; en l'absence de Smectite de Herve, il repose directement sur le socle paléozoïque.

c) *la craie blanche du Campanien supérieur* :

Définie comme craie blanche, ou craie inférieure, elle se présente en bancs réguliers, inclinés de 1 à 2 % vers le NNE et totalise en moyenne une vingtaine de mètres d'épaisseur, soit, dans l'ensemble, les deux tiers de la puissance globale des craies dans la région. Compte tenu du caractère transgressif des dépôts, cette épaisseur va en diminuant vers l'Ouest. La fraction carbonatée avoisine toujours les 95 %, avec quelques rares silex isolés.

Dans cet horizon, la circulation des eaux est principalement limitée aux réseaux denses de diaclases et de fissures associés aux vallées sèches, failles et bombements du socle. De ce fait, la perméabilité d'ensemble est souvent anisotrope et hétérogène.

d) *le Hardground dit Horizon de Froidmont* :

Ce niveau de craie indurée d'extension régionale - puisque retrouvé notamment au Sud de Louvain - souligne une lacune sédimentaire importante entre le Campanien et le Maastrichtien (Calembert, 1953, 1958). Ce hardground, véritable surface-repère, apparaît sous la forme d'un banc d'épaisseur le plus souvent (infra) métrique, incliné régulièrement de 1 à 3 % vers le NW (voir coupe géologique). Cette régularité d'ensemble est en fait troublée par quelques ravinements ou encore par des perforations remplies de craie glauconifère. Il est affecté par d'assez nombreuses failles de gravité de rejets limités (failles définissant des mini-horst et graben) et souvent altérées. Dans la partie Sud de la Hesbaye, il disparaît du fait de l'érosion.

Ce hardground intervient dans la dynamique de l'écoulement. Sa faible perméabilité (de l'ordre de $2 \cdot 10^{-5}$ m/s) génère une discontinuité entre la nappe qui est logée dans la craie inférieure d'âge campanien et celle de la craie supérieure d'âge maastrichtien. Les discontinuités qui l'affectent conduisent, localement, à des circulations préférentielles de l'eau entre ces deux aquifères.

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

e) *la craie grise* :

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

f) *la craie tigrée* :

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

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

g) *les tuffeaux ou calcarénites à gros bancs de silex*

Ils affleurent dans la partie Nord de la Hesbaye. Dans la région étudiée, ces tuffeaux ont, après l'émergence des dépôts maastrichtiens et préalablement aux transgressions tertiaires, subi d'intenses phénomènes d'altération superficielle, conduisant à leur dissolution et, corollairement, à la formation :

- de ravines et d'entonnoirs karstiques. Ce caractère karstifié du sommet de la craie est bien mis en évidence par les nombreux effondrements observés en surface;
- de niveaux phosphatés, autrefois localement exploités;
- d'un conglomérat résiduel à silex, de perméabilité variable, recouvrant les dépôts crétacés.

III.1.3 Les formations du Cénozoïque

III.1.3.1 Paléogène

Les formations oligocènes présentes sur la carte Allier-Liège datent de l'Oligocène et sont constituées par des dépôts inférieurs marins et des dépôts supérieurs continentaux. Les premiers sont formés de sables fins, quartzeux et homogènes. Ils sont très peu présents sur cette carte. Les seconds sont constitués de sables graveleux avec des amas de cailloux et de glaises plastiques. Ils se répartissent irrégulièrement sur le plateau de Hesbaye sous forme de grandes étendues ou de lambeaux épars, avec des épaisseurs variables. Sur cette carte, on les rencontre principalement au Sud et Sud-Ouest, sur le plateau de Hesbaye.

III.1.3.2 Quaternaire

a) les limons du plateau de Hesbaye

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

b) les alluvions et les terrasses de la Meuse

Les alluvions récentes de la Meuse et les terrasses fluviales sont composées de limons fluviaux d'épaisseur variable (3 à 8 m) surmontant des sables et graviers roulés d'une puissance comprise entre 2 et 10 m.

La structure des dépôts de la plaine alluviale de la Meuse est typique d'une rivière périglaciaire à lit anastomosé, avec des îlots de graviers, des chenaux fluviaux, des bras remblayés du fleuve... Ces nombreuses variations du faciès de la couche graveleuse, comprise entre le bed-rock houiller peu perméable et les limons fluviaux pratiquement imperméables jouent un rôle hydrogéologique non-négligeable, dont il sera question dans le chapitre 'Hydrogéologie'.

En pied de versant, on observe des cônes d'alluvions et d'éboulis. Le plus important, sur la carte Allier-Liège est le cône de déjection de la Légia, constitué par des limons de pente, des limons fluviaux, des sables et des graviers.

Plusieurs terrasses, à différents niveaux, ont été observées sur les versants de la vallée de la Meuse (cf partim cadre géomorphologique).

III.2 CADRE TECTONIQUE REGIONAL

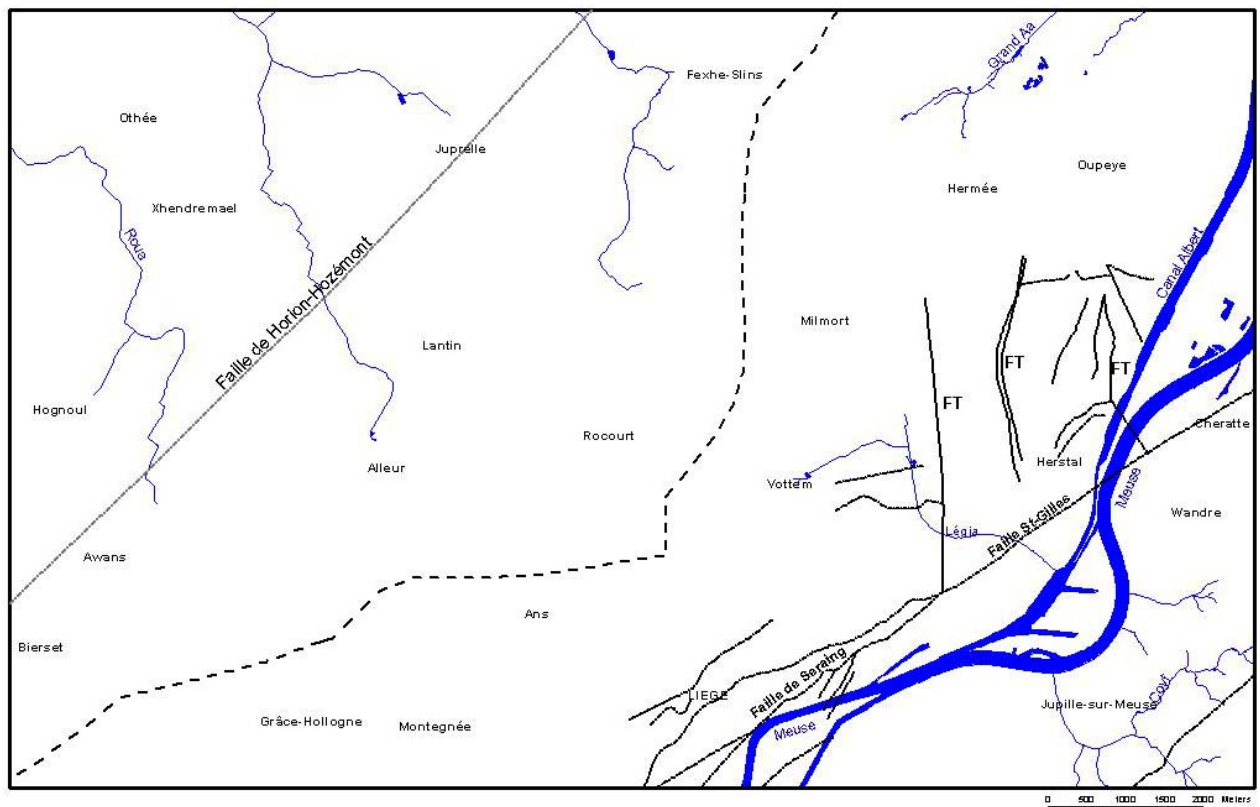
Du point de vue structural, la partie Sud-Est de la carte Allier-Liège se situe au cœur du synclinal de Liège. Cette structure est dissymétrique avec un flanc septentrional modérément incliné vers le Sud et un flanc méridional vertical, voire renversé vers le Nord.

Lui succède au Sud la structure anticlinale complexe et faillée de Coince - la Chartreuse, qui orientée NE-SW, sépare le synclinal de Liège du synclinal de Herve.

Deux accidents majeurs affectent le synclinal de Liège ; la faille St-Gilles et la faille de Seraing. Ces failles longitudinales de décrochement sont orientées SW-NE et ont des rejets importants (de 30 à 300 m). D'autres types de faille se distinguent dans cette région (figure III.1):

- les failles transversales (FT), de direction Nord-Sud et très redressées sont bien identifiées sur le flanc Nord du synclinal. Leur rejet est plus faible : une vingtaine de mètres.
- les plats-crains de décrochement (non cartographiés sur la figure III.1) qui se sont développés dans les premières phases de l'orogénèse avec un faible rejet, peu obliques par rapport à la stratification et ont été replissés avec l'ensemble du massif au cours de l'orogénèse hercynienne. Elles ont été reconnues grâce aux travaux miniers.

Figure III.1 : Cadre structural : les failles de la carte Allier-Liège



Sous le plateau de Hesbaye, on observe que le socle paléozoïque pénéplané (pénéplaine épi-varisque) est affecté de failles d'importances diverses, tant du point de vue de leur extension que de leur rejet. La plus importante est la faille de Horion-Hozémont ou faille Bordière du Massif du Brabant qui met en contact les calcaires du Viséen inférieur et éventuellement les schistes du Houiller (compartiment SE) et les schistes et grès du Cambro-Silurien (compartiment NW). Cette faille a rejoué après les dépôts du Mésozoïque, provoquant, outre une intense fracturation des craies crétacées, un rejet de plusieurs mètres de la base du réservoir aquifère. Dans la région de Villers-St-Siméon, où les sondages ont révélé une descente relative de 5 mètres du compartiment SE (P.Jungels, 1968), l'accroissement de la perméabilité, lié à la fracturation et à l'ouverture des diaclases préexistantes engendre un rabattement de plus de 15 m du niveau de la nappe. La faille de Horion-Hozémont traverse la carte hydrogéologique Alleur-Liège selon une direction SW-NE en passant par les entités d'Awans et de Juprelle.

Outre cette faille, il existe diverses failles de gravité d'orientation générale N-S et de petites failles liées à la tectonique hercynienne et ayant rejoué ultérieurement. Ces failles se manifestent souvent par de petites anomalies de la surface piézométrique suite à une augmentation de perméabilité liée à la fissuration induite dans les craies. C'est le cas dans la région de Xhendremael où plusieurs axes de fissuration (définis par photos aériennes et par prospection géophysique) engendrent un gradient piézométrique irrégulier (V.Hallet, 1998).

IV CADRE HYDROGEOLOGIQUE

L'aquifère principal de cette carte hydrogéologique est la nappe des craies de Hesbaye. Dans la vallée se trouve une nappe également exploitée par les compagnies d'eau et par les industries. Il s'agit de la nappe alluviale sise dans les sables et graviers de Meuse. D'autres aquifères sont présents dans cette région : la nappe de fissures dans le bed-rock paléozoïque, la nappe logée dans les sables tertiaires du plateau, ainsi que de petites nappes locales et temporaires dans les terrasses de la Meuse.

Les formations géologiques sont regroupées selon leurs caractéristiques hydrodynamiques. Trois termes sont utilisés pour décrire les unités hydrogéologiques, selon le caractère plus ou moins perméable des formations:

- **aquifère**: formation perméable contenant de l'eau en quantités exploitables (UNESCO, 1992);
- **aquitard**: formation semi-perméable permettant le transit de flux à très faible vitesse et rendant la couche sous jacente semi-captive (Elsevier, 1990);
- **aquiclude**: couche ou massif de roches saturées de très faible conductivité hydraulique et dans lequel on ne peut extraire économiquement des quantités d'eau appréciables (UNESCO, 1992).

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

Une carte simplifiée, présentée en annexe, reprend l'ensemble des puits, piézomètres, sources... cités dans le texte.

IV.1 DESCRIPTION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES

IV.1.1 Aquifère des craies de Hesbaye

Dans la région d'Aller-Liège, l'eau de la nappe aquifère de Hesbaye est logée principalement dans la craie, aquifère à double porosité. La perméabilité et la porosité de la craie varient fortement (A.Dassargues et A.Monjoie, 1993) :

- à l'échelle microscopique (quelques centimètres), la craie est un matériau légèrement compact mais poreux (porosité de 40 %) qui ne permet qu'une faible et lente circulation de l'eau (perméabilité de l'ordre de 1.10^{-9} m/s). L'eau contenue dans une telle roche n'est que très difficilement libérée, sauf au travers de micro-fissures qui augmentent localement la perméabilité de la craie. Cette porosité de pores joue principalement le rôle de stockage de l'eau qui peut ensuite s'écouler via les fissures.
- à l'échelle macroscopique (quelques dizaines de mètres), des réseaux de fissures plus ou moins intenses sont observés. Ils améliorent de façon notable la perméabilité de la craie (perméabilité de l'ordre de 1.10^{-4} m/s). La porosité efficace liée aux fissures représente environ 5 % d'eau facilement mobilisable ;
- à l'échelle de la nappe de Hesbaye, des accidents tectoniques ont fissuré la roche. Au droit des zones faillées, souvent observées à l'aplomb des vallées sèches, la craie peut présenter une perméabilité élevée (1.10^{-3} m/s) et une porosité efficace de fissures de 10 à 15 %. D'autre part, lors du creusement des galeries, des conduits karstiques d'ouverture centimétrique ont été recoupés. Les fortes perméabilités et porosités peuvent également être mesurées au sommet des craies, du fait de la forte altération par dissolution.

Les **sables oligocènes**, présents localement sur le plateau de Hesbaye, peuvent contenir une nappe d'extension réduite et d'épaisseur relativement faible (quelques mètres). Lorsque les terrains sous-jacents sont suffisamment perméables, la nappe des sables alimente l'aquifère crayeux.

La **couverture limoneuse**, dont l'épaisseur peut atteindre une vingtaine de mètres, joue un rôle de filtre pour l'aquifère crayeux de Hesbaye lors de l'infiltration des eaux météoriques et induit un retard à l'infiltration de l'ordre de 1 mois par mètre d'épaisseur de limons.

IV.1.2 Aquifères locaux schisto-gréseux du Houiller

Les schistes, grès et quartzites du Houiller sont peu perméables en petit. Leur porosité intrinsèque varie entre 0,5 et 1,5 %. Ils ne contiennent d'eau récupérable que dans les fissures ouvertes des bancs de grès et de quartzites tectonisés et fracturés, dans les schistes, les fractures étant généralement colmatées par un remplissage argileux.

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

Les zones d'anciennes exploitations minières ont vu leur potentiel aquifère augmenter. En effet, les affaissements miniers induisent une fracturation qui entraîne une augmentation de la perméabilité et une diminution des qualités géomécaniques des terrains (A.Monjoie et Cl.Polo-Chiapolini, 1973). De plus, les nombreuses galeries et puits, jouant le rôle de drains constituent des axes d'écoulement préférentiel. Dans la région de Liège, des variations du niveau d'eau comprises entre le mètre et la dizaine de mètres ont été observées.

D'autre part, les anciennes exploitations faites dans les versants ont été réalisées grâce à des galeries creusées au niveau de la plaine alluviale et rabattant la nappe du bed-rock. Elles sont devenues inopérantes quand les exploitations minières se sont prolongées en profondeur, rabattant la nappe du Houiller sur des centaines de mètres. La remontée de la nappe suite à l'arrêt de l'exhaure minière a rendu à ces anciennes galeries leur rôle de drain.

D'une manière générale, dans l'ensemble du bassin houiller de Liège, la perméabilité du bed-rock est fonction de la densité et de l'ouverture des fissures.

On distingue trois zones (A.Monjoie et Cl.Polo-Chiapolini, 1973) :

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

IV.1.3 Aquifère alluvial de la Meuse

Les alluvions déposées par la Meuse et composées principalement par des sables et des graviers offrent des potentialités aquifères non négligeables. Cette nappe est alimentée par les eaux pluviales (alimentation localement réduite par l'imperméabilisation urbaine de la plaine), par les nappes sises dans les versants, ainsi que par la nappe du bed-rock sous-jacent, le niveau piézométrique de cette dernière étant souvent légèrement supérieur à celui de la nappe alluviale. D'autre part, on peut supposer également un flux entre la nappe et la rivière, si celle-ci n'est pas canalisée par des murs imperméables.

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

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

Les formations graveleuses des terrasses fluviales peuvent aussi localement et temporairement contenir de petites nappes, alimentées par les eaux de précipitation et l'apport des nappes des versants. Par contre, l'exutoire de ces nappes correspond à la base aval de la terrasse, limitant fortement la capacité de stockage des terrains.

IV.2 DESCRIPTION DE L'HYDROGEOLOGIE REGIONALE

IV.2.1 Aquifère des craies de Hesbaye

Le cadre hydrogéologique du plateau de Hesbaye a été récemment synthétisé dans la thèse de V.Hallet (1998).

Il s'agit de l'aquifère le plus important de la carte hydrogéologique Allier-Liège. Il en occupe environ 70% de la superficie totale.

En raison de l'allure géométrique du réservoir (bancs réguliers d'orientation Est-Ouest, à légère pente vers le Nord) et de la disposition des limites du bassin (Meuse, Méhaigne, Geer), la nappe du Crétacé de Hesbaye s'écoule du Sud vers le Nord en direction du Geer, exutoire principal de la nappe. La surface piézométrique présente un gradient de l'ordre de 1 % à l'amont des galeries de captage suite aux rabattements qu'elles provoquent; à l'aval, le gradient est d'environ 0.5 % et de 0.3 % à proximité du Geer situé au Nord de la carte étudiée.

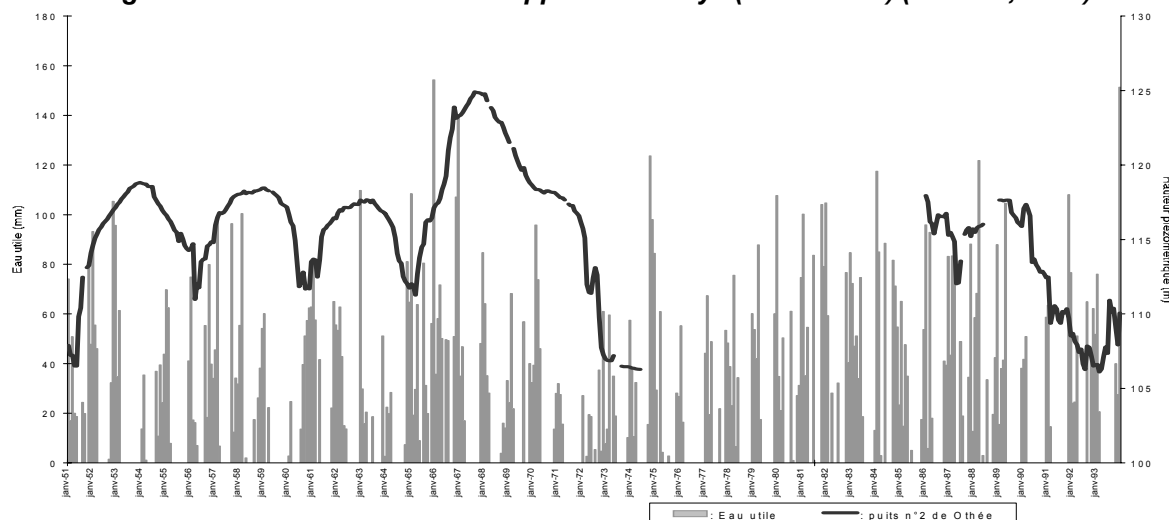
La nappe des craies de Hesbaye a fait l'objet de nombreuses études et campagnes piézométriques. Les cartes piézométriques ont permis de mettre en évidence un fort effet drainant de la faille d'Horion-Hozémont (voir carte hydrogéologique), provoquant un rabattement local de la nappe dans la zone de Couvenaille. D'autres anomalies piézométriques sont observées dans la région de Xhendremael, où des rabattements importants de la nappe suivent le tracé des vallées sèches.

Le thalweg du Roua est majoritairement situé au-dessus du niveau hydrostatique de la nappe. Son lit n'étant pas étanche, des infiltrations vers la nappe sont probables.

L'examen des données piézométriques disponibles depuis 1951, grâce aux relevés réalisés par la CILE, montre que, sauf au droit des galeries captantes et à proximité du Geer, la forme de la nappe varie peu en fonction de la pluviométrie. Toute la surface piézométrique a tendance à se déplacer verticalement, sensiblement parallèlement à elle-même avec un gradient vers le Nord assez constant dans le temps. Un délai variant de quelques semaines (région Sud de la nappe) à un an et demi (région Nord de la nappe) entre les précipitations et l'alimentation effective de l'aquifère est observé induit par la forte épaisseur et de la faible perméabilité des limons.

Pour le puits d'Othée, l'étude par corrélogrammes croisés entre l'eau utile (précipitation moins évapotranspiration réelle) et les niveaux piézométriques de la nappe montre l'existence d'un retard d'environ 1 an à 1 an ½ suivant que l'on se trouve dans un cycle d'années humides ou non (figure IV.1). Les fluctuations piézométriques pluriannuelles varient entre 12 et 17 m.

Figure IV.1 : Fluctuations de la nappe de Hesbaye (1951 - 1993) (V.Hallet, 1998)



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

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

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

Les précipitations moyennes et les températures moyennes de l'air sont mesurées par l'Institut Royal Météorologique de Belgique pour le bassin du Geer (F.Bultot et al., 1983). Les débits journaliers du Geer sont mesurés à la station de Kanne située à l'exutoire du bassin (Dienst Hydrologisch Onderzoek) et les débits captés sont fournis par les sociétés de distribution d'eau (CILE et SWDE). La méthode de Thornthwaite a été appliquée pour calculer l'évapotranspiration réelle; un pas de temps mensuel a été utilisé.

Un bilan hydrogéologique calculé de janvier 1975 à décembre 1994 (période pour laquelle des données journalières sur le débit du Geer à Kanne sont disponibles) donne les valeurs moyennes annuelles suivantes (V.Hallet, 1998) :

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

$$810 \text{ mm} = 508 \text{ mm} + 145 \text{ mm} + 67 \text{ mm} + 7,5 \text{ mm} + 82,5 \text{ mm}$$

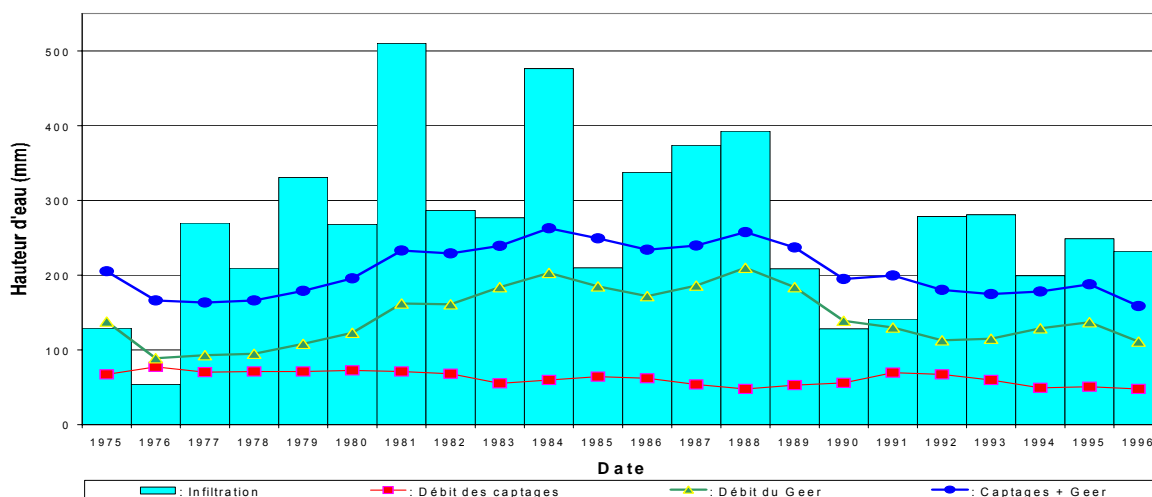
ou

$$100 \% = 63 \% + 18 \% + 8 \% + 1 \% + 10 \%$$

Les précipitations moyennes en Hesbaye sont de l'ordre de 810 mm. Les quantités d'eau évapotranspirées s'élèvent à 63 % des précipitations; il reste 37 % d'eau utile, généralement disponible de novembre à mars. Le volume d'eau s'écoulant par le Geer, exutoire de la nappe, représente 18 % des précipitations. Le débit des captages est de l'ordre de 8 %. Entre 1975 et 1995, le niveau de la nappe remonte de 3 mètres soit, pour une porosité moyenne de 5 %, une accumulation de 7,5 mm pour la période étudiée. Les pertes, principalement vers le Nord, sont estimées à 10 %.

Durant certaines années sèches (1975 - 1976, 1985, 1989 - 1991), les débits captés et le débit du Geer excèdent l'infiltration efficace (figure IV.2), accentuant ainsi le rabattement de la nappe observé 1 à 2 ans après. Le rabattement important de la nappe (9,93 m à Viemme de septembre 1989 à décembre 1992) consécutif aux années sèches de 1989 à 1992, influence directement le débit moyen annuel du Geer qui décroît jusqu'en 1992 malgré une quantité d'eau utile de 211 mm.

Figure IV.2 : Relation « Débit du Geer - Eau Utile - Débits des captages » (V.Hallet, 1998)

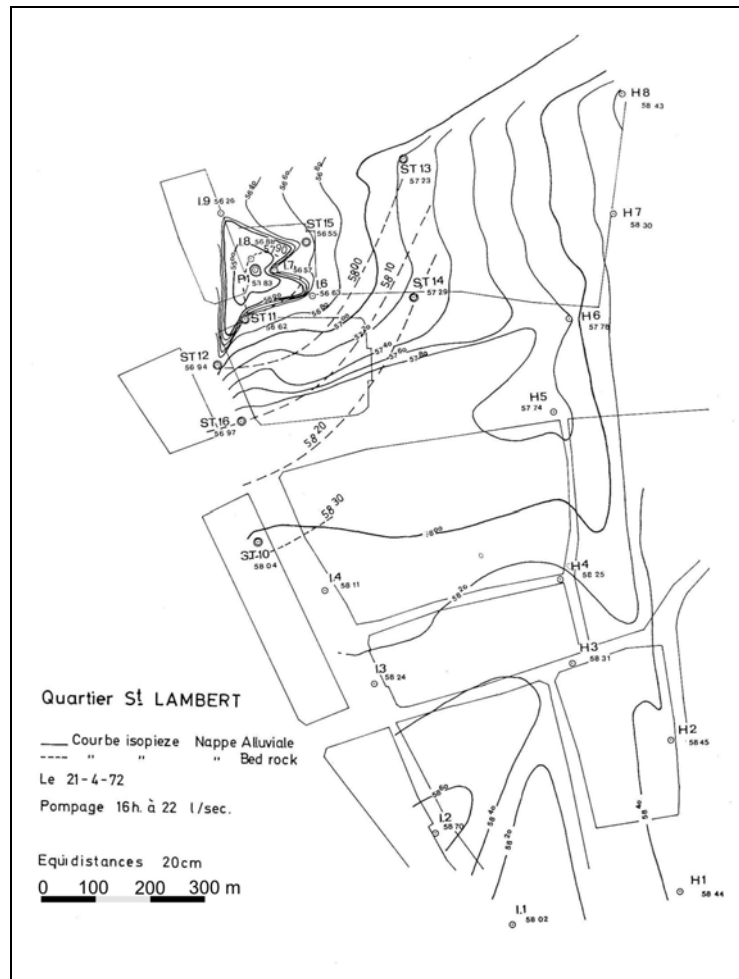


IV.2.2 Aquifères locaux schisto-gréseux du Houiller

Au droit de la carte Alleur-Liège, on ne dénombre que quelques ouvrages forés dans le bed-rock, peu perméable, dont le puits du site Atech, sur l'île Monsin (voir carte de localisation en annexe). Ce puits, profond de 25 mètres, traverse les alluvions de la Meuse et recoupe le bed-rock à 15,6m. Il est crépiné dans les terrains houillers sur 8 mètres. Les tests réalisés au droit de ce forage montrent une nappe captive dans le substratum, avec un niveau piézométrique situé à 8,40 m sous le niveau du sol, ce qui situe la nappe du bed-rock à une cote de 55,3 m (LGIH, 1992).

Dans le cadre des études réalisées pour un métro profond situé dans les roches du Houiller du bassin de Liège, on a constaté que la surface piézométrique de la nappe des fissures du bed-rock présente une allure subparallèle à la nappe alluviale de la Meuse avec généralement une légère mise en charge de l'ordre de 10 à 20 cm (L.Calembert et al, 1974). La figure IV.3 donne l'allure de la nappe alluviale et de la nappe du bed-rock au droit du quartier de St-Lambert, en avril 1972. Cette légère surpression de la nappe du bed-rock est partiellement due à l'altération argileuse des schistes colmatant les fissures et recouvrant le sommet des terrains houillers.

Figure IV.3 : Piézométrie de la nappe alluviale la Meuse et du bed-rock à Liège (A.Monjoie,1974)



IV.2.3 Aquifère alluvial de la Meuse

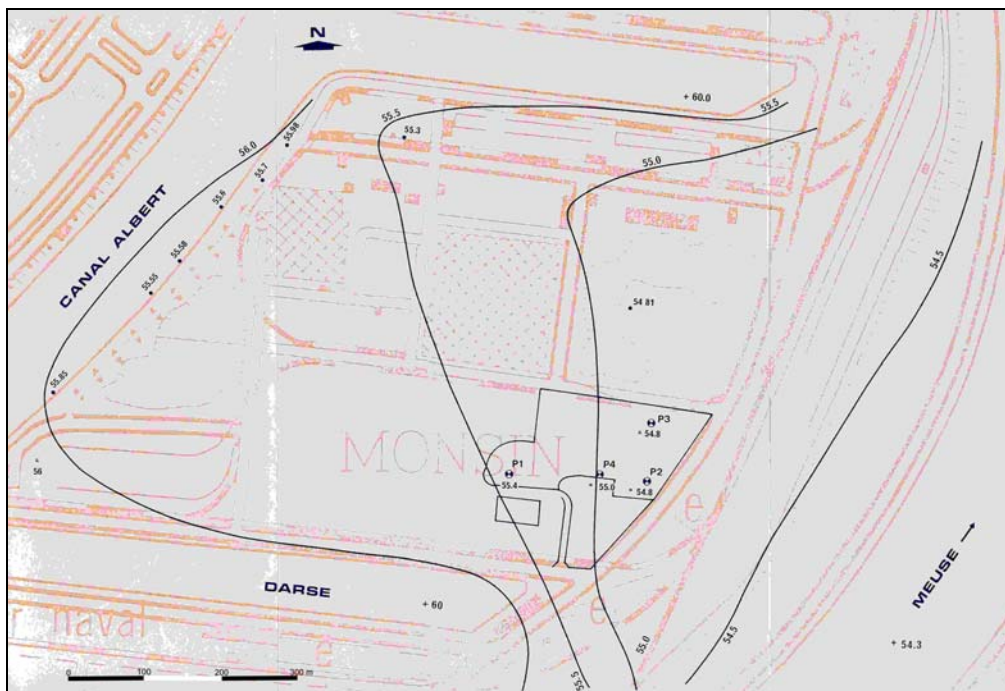
Sur la carte Allier-Liège, la plaine alluviale de la Meuse, où se loge une nappe de graviers, a une largeur moyenne de 1500 mètres. Elle repose directement sur le bed-rock houiller semi-perméable. La nappe alluviale est rendue localement captive sous les limons fluviaux.

D'une manière générale, les cotes piézométriques de la nappe alluviale varient de +56 m à +58 m dans la plaine en amont du pont-barrage de Monsin avec une cote de Meuse à +60 m. La nappe est donc partiellement alimentée par la Meuse dans la mesure où les murs de quai ne sont pas rigoureusement étanches. En aval de ce point, le phénomène est inversé; les cotes sont comprises entre +54,7 m et +56,7 m, avec une cote de Meuse à +54,3 m, la Meuse est donc drainante.

La SWDE possède à Vivegnis un site de captage avec plusieurs piézomètres de contrôle. Les niveaux piézométriques relevés début 1994 varient entre +54,375 m et +56,19 m. Le site de Vivegnis est influencé par le Canal Albert dont le niveau de flottaison est fixé à +60 m. Le niveau de la nappe étant légèrement décroché et l'étanchéité du canal n'étant pas complète, on constate des pertes du canal vers l'aquifère des graviers de Meuse. A titre indicatif, ces pertes sont de l'ordre de 2,7 m³/s sur le tronçon Monsin-Lanaye (LGIH, 1990).

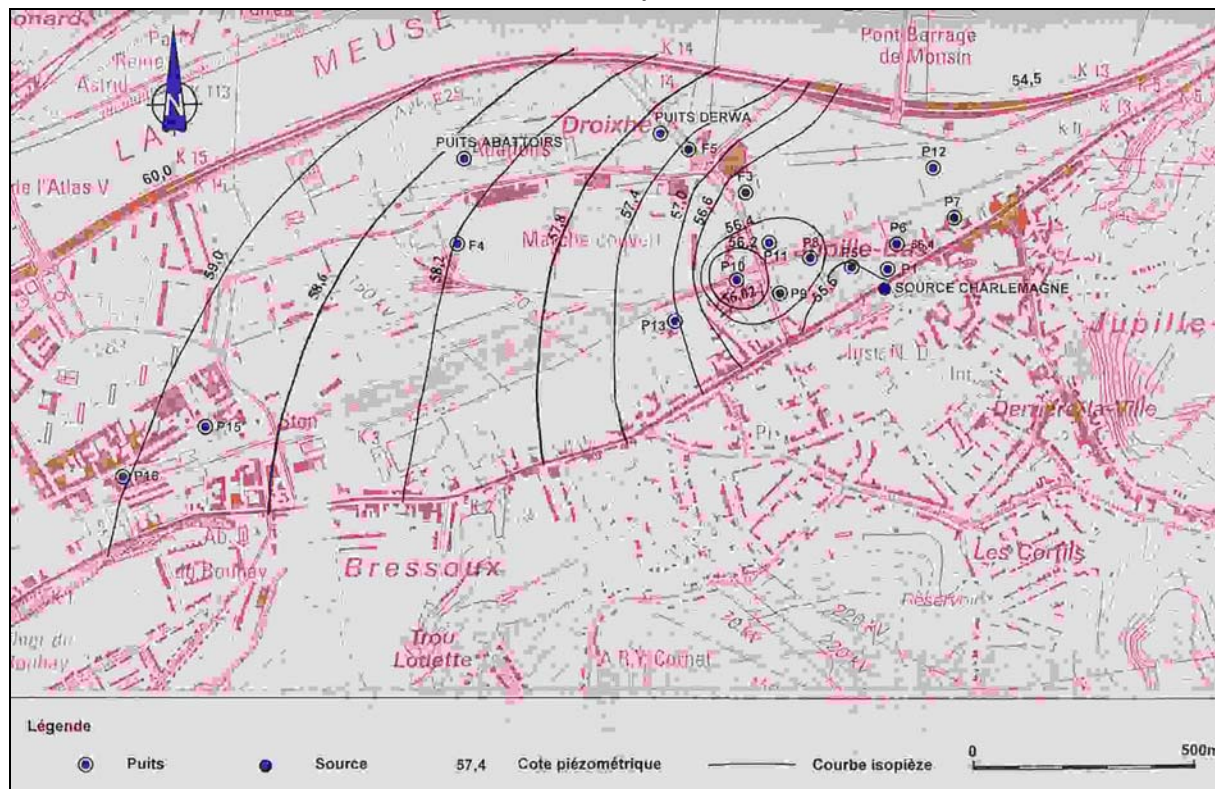
En amont, au niveau de Monsin, une étude hydrogéologique menée sur le site Atech a montré une nappe alluviale libre, avec un écoulement vers le Nord-Est (figure IV.4), avec des gradients très locaux de 4 et 8 % (LGIH, 1992).

Figure IV.4 : Carte piézométrique du site d'Atech (Ile Monsin) (LGIH, 1993)



Sur le site de la brasserie « Interbrew » à Jupille, plusieurs puits et piézomètres ont été implantés dans les alluvions de la Meuse, les niveaux d'eau étant mesurés périodiquement. La surface piézométrique est influencée par un ancien chenal rempli de silt fluvial jouant le rôle de barrière semi-imperméable. La tracé des isopièzes met aussi en évidence une sur-alimentation de la nappe alluviale par les versants (figure IV.5).

Figure IV.5 : Carte piézométrique du 2 mai 1999, au droit du site d'Interbrew, Jupille (S.Sellal, 2000)



Suite aux affaissements miniers, le niveau de la Meuse et du Canal Albert se trouve localement à une cote plus élevée que le terrain naturel. L'arrêt de l'exhaure minière a eu pour conséquence que la nappe du substratum houiller a sur-alimenté la nappe alluviale affaissée. Cette remontée de la nappe a causé l'inondation des caves de certains quartiers, nécessitant des stations de pompages pour refouler ces eaux venant du bed-rock sous jacent et des versants, vers la Meuse. C'est pourquoi l'AIDE a mis en place, depuis 1928, un système de drainage et de pompage permanent qui conditionne en partie le niveau piézométrique de la nappe. Au droit de la carte Allier-Liège, l'AIDE possède plusieurs stations de démergement : Jupille, Wandre, Herstal et Vivegnin.

V CADRE HYDROCHIMIQUE

V.1 CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX

V.1.1 Caractéristiques hydrochimiques des eaux de la nappe des craies de Hesbaye

Les eaux de la nappe des craies de Hesbaye sont de faciès bicarbonaté calcique de dureté élevée (35 à 45 °F). Le tableau V.1 reprend une analyse représentative de l'eau de la nappe de Hesbaye au droit de la carte hydrogéologique Alleur-Liège (captage de Xhendremael). Il est à noter que la valeur de 6.6 mg/l pour le sodium est exceptionnelle. La valeur moyenne observée est de l'ordre de 15 mg/l. Il en est de même pour les teneurs en sulfates qui sont généralement comprises entre 60 et 80 mg/l.

Tableau V.1 : Caractéristiques hydrochimiques moyennes de la nappe des craies de Hesbaye

Elément	Unité	Valeur
pH	unités pH	7.35
Conductivité	µS/cm à 20°C	700
Dureté totale	° français	38.7
Calcium	mg/l	131
Magnésium	mg/l	14.5
Sodium	mg/l	6.6
Potassium	mg/l	2.3
Strontium	µg/l	288.1
Fer total dissous	µg/l	9.84
Bicarbonates	mg/l	340
Sulfates	mg/l	43.1
Chlorures	mg/l	47.6
Nitrates	mg/l	37
Nitrites	mg/l	<0.05
Ammonium	mg/l	<0.05
Silice	mg/l SiO ₂	6

Source : CILE

V.1.2 Caractéristiques hydrochimiques des eaux des terrains schisto-gréseux du Houiller

Différentes analyses hydrochimiques ont été faites sur les eaux logées dans les aquifères schisto-gréseux du Houiller. Des analyses d'eau provenant de puits situés sur le site de la Centrale Turbine-Gaz-Vapeur de la Société Publique d'Electricité à Seraing (au Sud de la carte), crépinés dans le bed-rock houiller, ont donné de fortes teneurs en SO₄, Ca, Mg et Na. A titre d'exemple, le tableau V.2 reprend une analyse représentative des eaux provenant des schistes houillers (puits Valfil F1 - 03/12/1990).

Tableau V.12 : Caractéristiques hydrochimiques moyennes de la nappe fissurée du Houiller

Elément	Unité	Valeur
pH in situ	unités pH	6.8
Conductivité	μS/cm à 25°C	1262
Dureté totale	° français	86.2
Alcalinité totale (TAC)	° français	58.4
Calcium	mg/l	250
Magnésium	mg/l	58
Sodium	mg/l	108
Potassium	mg/l	5.9
Fer total dissous	mg/l	0.09
Manganèse	Mg/l	0.3
Bicarbonates	mg/l	710.7
Sulfates	mg/l	434.2
Chlorures	mg/l	80.5
Nitrates	mg/l	0.9
Silice	mg/l SiO ₂	18.47

Source : LGIH / SPE- 911, 1991

V.1.3 Caractéristiques hydrochimiques des eaux de la nappe alluviale de la Meuse

Les eaux de la plaine alluviale de la Meuse présentent un faciès carbonaté calcique avec des concentrations en sulfates non-négligeables. Le tableau V.3 reprend une analyse représentative de la nappe alluviale de la Meuse, au droit du site de Vivegnis (SWDE) (rive gauche) et au droit du site de Jupille (Interbrew) (rive droite).

**Tableau V.3. : Caractéristiques hydrochimiques moyennes
de la nappe alluviale de la Meuse**

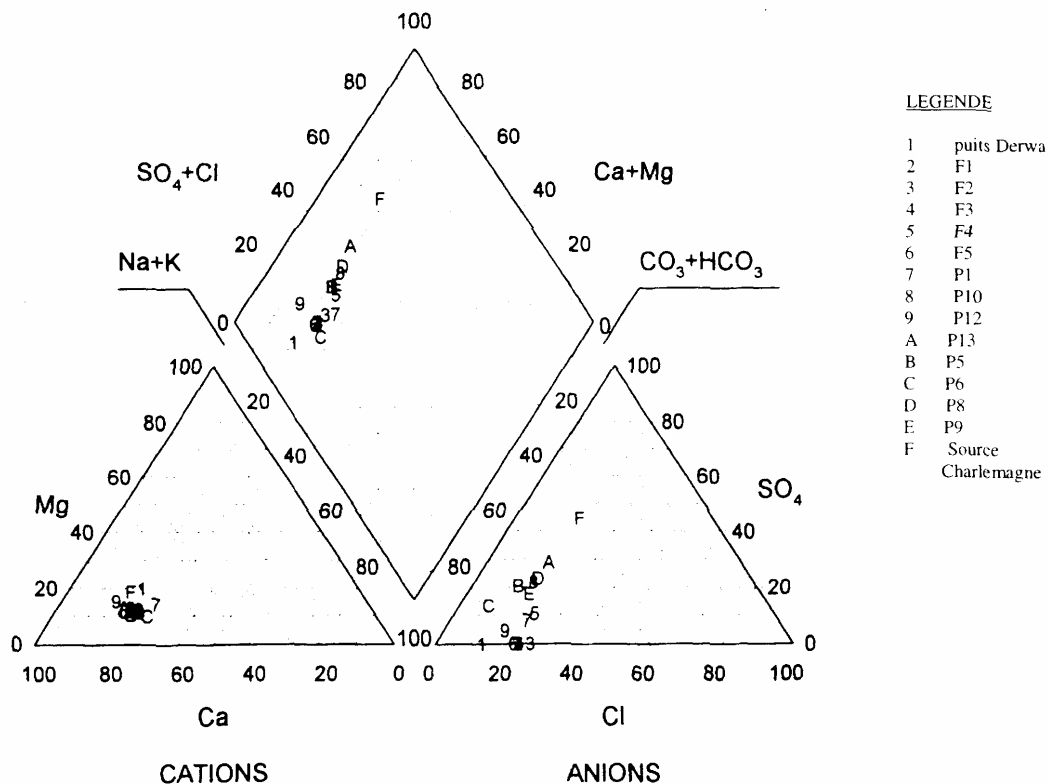
Elément	Unité	Puits - Vivegnis	Puits - Jupille
pH	unités pH	7	6.97
Conductivité	μS/cm à 20°C	1014	1036
Dureté totale	° français	42	42.7
Calcium	mg/l	142	143
Magnésium	mg/l	16	16
Sodium	mg/l	69	49
Potassium	mg/l	7	9.8
Strontium	μg/l	354	-
Fer total dissous	μg/l	<20	<20
Bicarbonates	mg/l	-	452.8
Sulfates	mg/l	165	95.8
Chlorures	mg/l	70	71.9
Nitrates	mg/l	18	9.6
Nitrites	mg/l	<0.05	-
Ammonium	mg/l	1	-
Silice	mg/l SiO ₂	-	14.9

Sources : SWDE - Interbrew

L'eau est chargée en ions et est particulièrement riche en sulfates. Cette minéralisation vient du substratum houiller. En effet, suite au lessivage des terrains dans le versant, l'eau est très minéralisée en pied de versant, avec une dureté totale élevée.

Le diagramme de Piper (figure V.1) des eaux provenant des puits d'Interbrew (Jupille) montre pour les éléments majeurs, un faible variabilité spatiale. Les puits proches du versant sont proportionnellement plus riches en sulfates.

Figure V.1 : Diagramme de Piper : site « Interbrew » à Jupille (S.Sellal, 2000)



V.2 PROBLEMATIQUE DES NITRATES

V.2.1 Aquifère des craies de Hesbaye

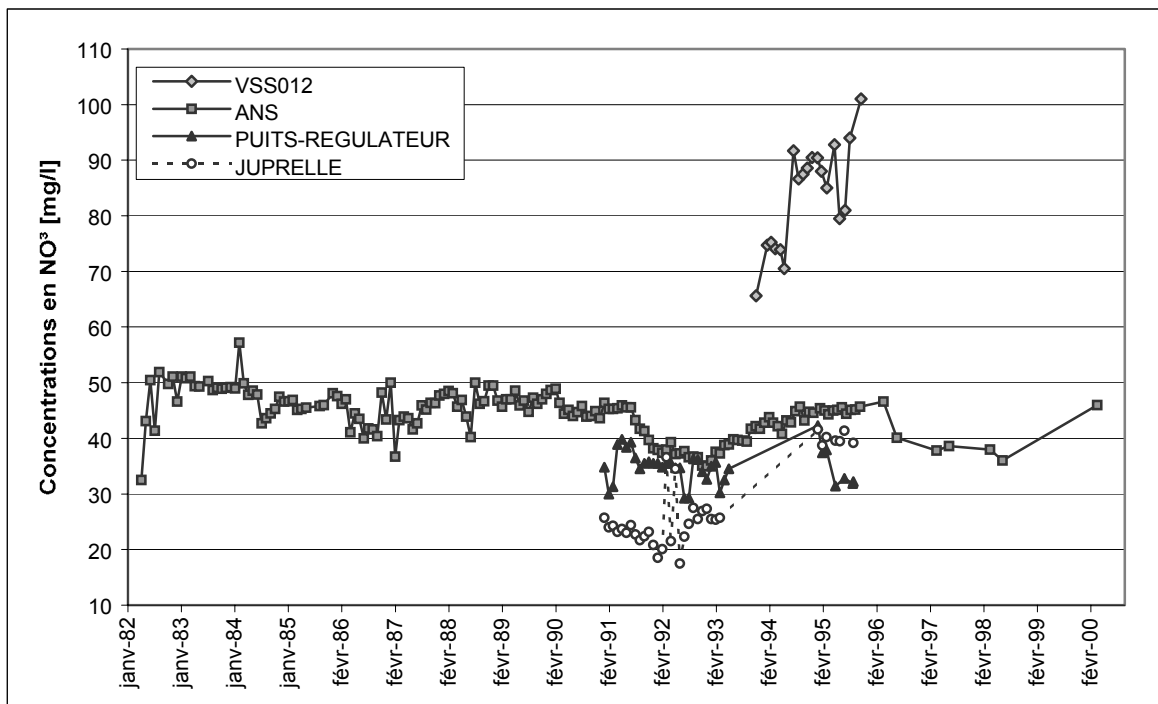
Depuis plusieurs années, les diverses compagnies de distribution d'eau constatent une lente mais constante augmentation des teneurs en nitrates dans la nappe aquifère de Hesbaye. C'est ainsi que la nappe aquifère de Hesbaye a été décrétée « zone vulnérable » par la Région Wallonne¹ (voir carte thématique).

Plusieurs études hydrochimiques relatives à l'évolution et à la répartition des teneurs en nitrates dans la nappe aquifère de Hesbaye ont été réalisées dans le cadre du Programme Action Hesbaye financé par les Communautés Européennes, la Région Wallonne, la CILE, la SWDE, et réalisé par les équipes du Centre de Recherche Agronomique de l'Etat de Gembloux (CRAGx), les Laboratoires de Géologie de l'Ingénieur, d'Hydrogéologie et de Prospection Géophysique (LGIH) de l'Université de Liège et par l'Unité d'Hydraulique Agricole des Facultés Agronomiques de Gembloux (UHAGx).

V.2.1.1 Evolution des teneurs en nitrates

La figure V.2 montre que de 1982 à 2000 les teneurs en nitrates dans la nappe de Hesbaye (partie libre) sont comprises entre 17,5 mg/l et 57,2 mg/l, excepté le puits VSS012.

Figure V.2 : Evolution des teneurs en nitrates des eaux de la nappe des craies de Hesbaye



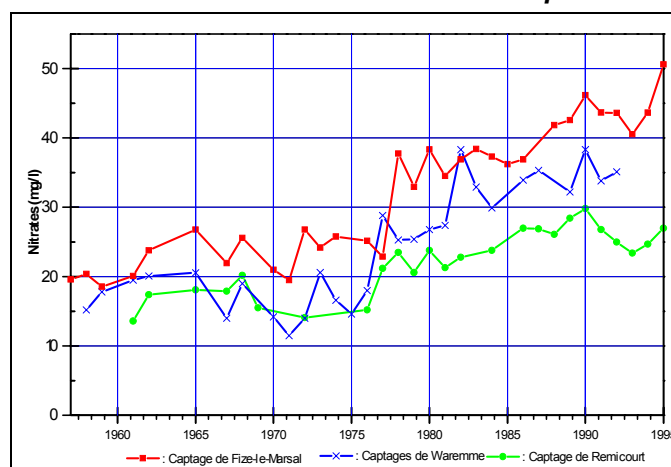
Pour les captages de la CILE (Juprelle, Puits-Régulateur et réservoir d'Ans), sur la période 1990-2000, on ne constate pas d'évolution significative des teneurs en nitrates. Dans le cadre du programme Action – Hesbaye (V.Hallet et A.Monjoie, 1996), des prélèvements mensuels ont été réalisés au réservoir d'Ans depuis mai 1982. Sur cette période, on ne constate pas de grandes variations de la teneur en nitrates. Cette stabilité résulte en partie des manoeuvres effectuées par le producteur d'eau pour mélanger les eaux produites dans différents tronçons des galeries et provenant de secteurs de la nappe aquifère où les teneurs en nitrates sont plus basses.

¹ Arrêté ministériel du 28 juillet 1994.

Le cas du puits VSS012 est l'exemple-type d'un puits contaminé en zone urbaine. Il est situé dans le village de Villers-St-Siméon (Juprelle) (voir carte de localisation en annexe). Les teneurs en nitrates relevées lors d'une campagne de deux ans (nov 93 à oct 95) varient entre 70,5 mg/l et 101 mg/l, valeurs nettement au-dessus des normes (50 mg/l NO₃).

La figure V.3 présente l'allure générale de l'évolution des teneurs en nitrates dans la nappe de Hesbaye, sur une période de 50 ans. Dans la partie libre de la nappe, notamment au droit des puits de Waremme, Remicourt et Fize le Marsal situés sur la carte de Waremme-Momalle (carte à l'Ouest), les valeurs moyennes annuelles des teneurs en nitrates montrent qu'entre 1958 et 1997 les concentrations en nitrates évoluent peu mais qu'ensuite, elles augmentent de 0,7 mg/l par an (figure V.3). L'évolution des concentrations reste néanmoins fortement tributaire des fluctuations piézométriques de la nappe, avec des minima en période de basses eaux (1993) et des maxima en périodes de remontée de nappe (1995).

Figure. V.3 : Evolution des teneurs en nitrates dans la partie libre de la nappe



Diverses études (V.Hallet, 1998) ont démontré que les teneurs en nitrates sont fortement dépendantes des fluctuations piézométriques et de l'infiltration efficace:

- pour les pollutions diffuses, les concentrations sont minimales en périodes de rabattement de la nappe et maximales en périodes de remontée; ce phénomène est lié au décrochement du niveau piézométrique de la nappe, dont la vitesse de rabattement, de 0,6 m par mois, est plus élevée que les nitrates descendant en zone non saturée de 0,10 à 0,20 m par mois (S.Dautrebande et al, 1999);
- pour les pollutions ponctuelles, les concentrations sont minimales en périodes de hautes eaux suite à l'augmentation du gradient de la nappe et donc à une plus grande dilution.

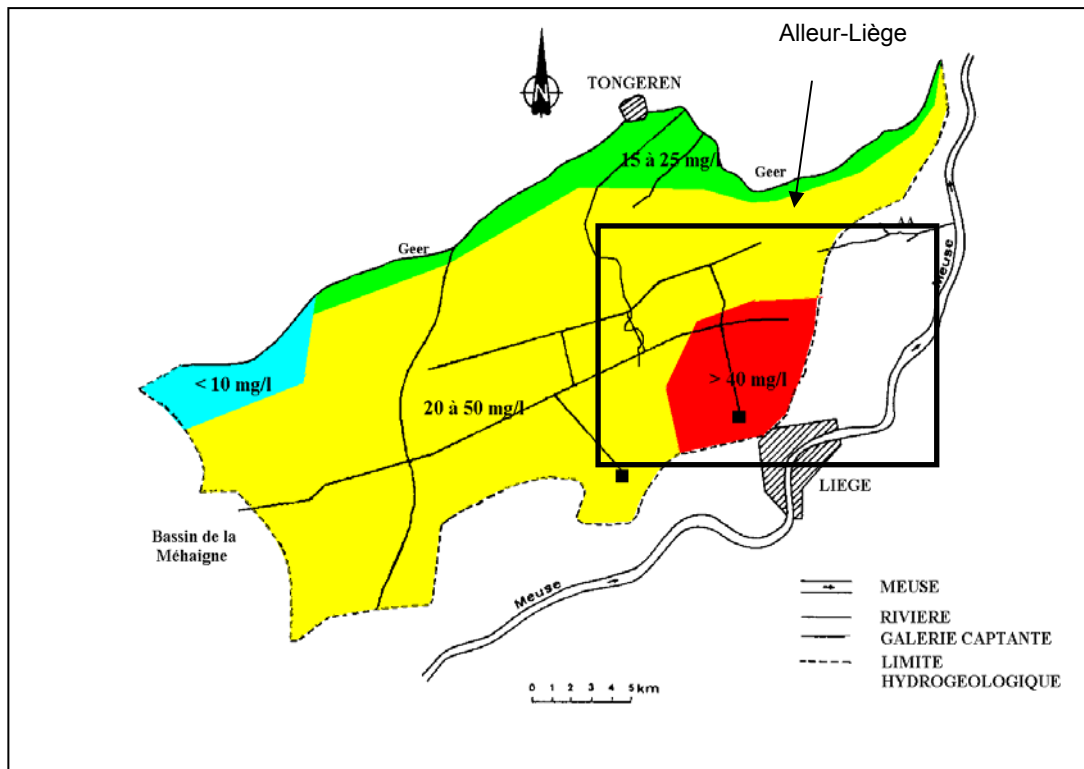
V.2.1.2 Répartition spatiale des nitrates

Les concentrations en nitrates montrent de fortes variations spatiales sur de courtes distances car fortement influencées non seulement par les apports de surface liés à l'occupation du sol, mais également par le contexte hydrogéologique de l'aquifère selon qu'il est libre, semi-captif ou captif (figure V.4)². En se référant aux concentrations observées dans les captages, on constate que, au droit de la carte Allier-Liège:

- en situation de nappe libre, en zone agricole, les concentrations sont généralement supérieures à 30 mg/l;
- en situation de nappe libre, en zone urbaine, elles sont généralement supérieures à 40 mg/l NO₃ (SE de la nappe des craies – Région d'Allier-Ans-Rocourt).

² Au Nord du Geer, suite au manque de données, les teneurs en nitrates n'ont pu être déterminées.

Figure V.4 : Répartition spatiale des teneurs en nitrates dans les puits de Hesbaye (V.Hallet, 1998)



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

Cette observation est confirmée par les teneurs en nitrates mesurées dans les galeries de la CILE (tableau V.4). Les plus faibles concentrations en nitrates sont observées dans les galeries captantes Nord, plus profondes que les galeries Sud. On constate que dans la nappe du Campanien, les teneurs en nitrates sont plus faibles que dans la nappe du Maastrichtien mettant en évidence le rôle du Hard-Ground qui, jusqu'à présent, limite la migration des nitrates en profondeur.

Les nitrates descendent d'un mètre par an dans les limons d'où un retard à l'infiltration très important. Ce gradient peut être accentué si les perméabilités diminuent avec la profondeur et si des niveaux moins perméables, tel que le hard-ground, existent.

Tableau V.4. : Teneurs moyennes en nitrates en différents points de prélèvement dans les galeries.

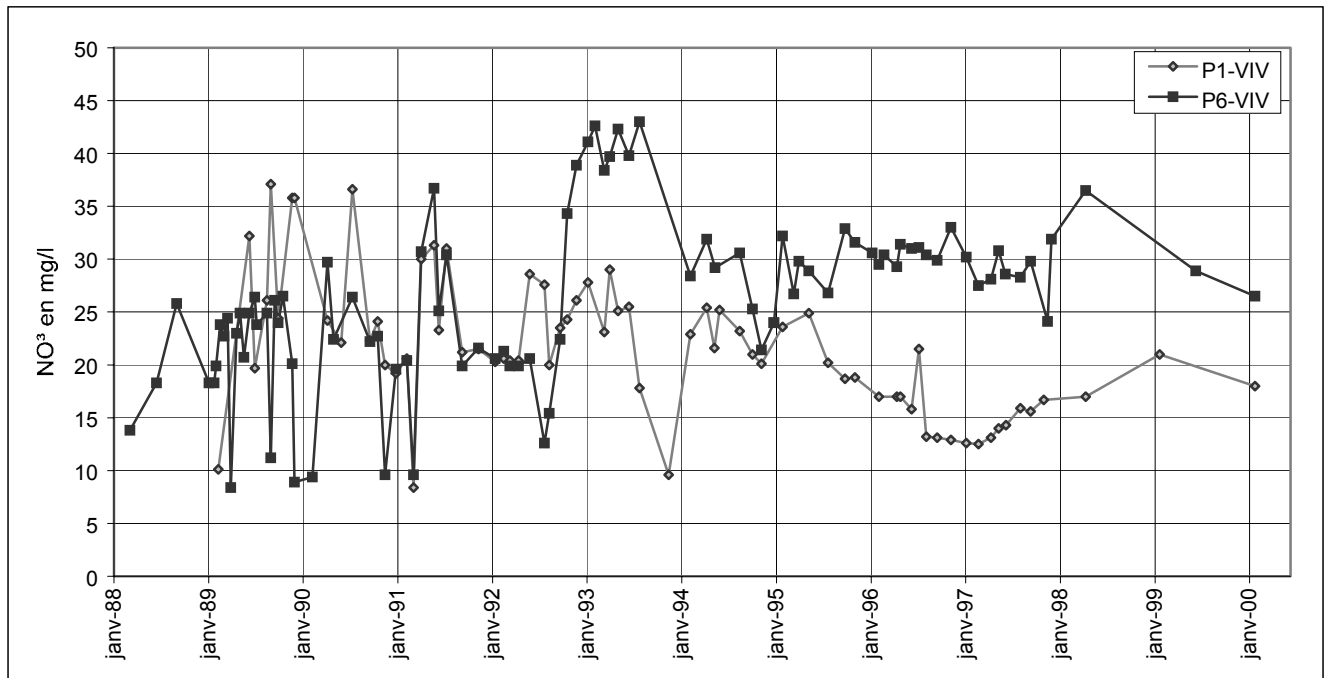
Galerie	Points de prélèvement	Origine des eaux captées	NO ₃ ⁻ mg/l (1992)	NO ₃ ⁻ mg/l (1995)
Sud	Hollogne (carte 42/5-6)	Sud-Ouest et Nord -Ouest par pompage	34.1	37.1
Sud	Ans	Sud-Est et Nord-Est par pompage	37.1	45.0
Sud	Waroux	Sud-Est	36.6	43.0
Nord	Kemexhe (carte 41/3-4)	Nord-Ouest	31.4	34.0
Nord	Puits régulateur	Nord	34.0	37.2
Nord	Juprelle	Nord-Est	25.2	40.0

Source : CILE

V.2.2 Aquifère alluvial de la Meuse

Sur le site de Vivegnis, en rive gauche du Canal Albert, les concentrations en nitrates varient de 8,4 à 43 mg/l, au droit des captages exploités par la SWDE. D'une manière générale, elles fluctuent autour de 25 mg /l NO₃ (figure V.5). Ces valeurs restent inférieures au aux normes légales (5050 mg/l NO₃).

Figure V.5 : Captages exploitant la nappe alluviale de la Meuse (Vivegnis) : évolution de la teneur en nitrates



Source : SWDE – Vivegnis

V.3 QUALITE BACTERIOLOGIQUE

Le tableau V.5 présente les résultats d'analyses microbiologiques effectuées au droit de captages de la carte Alleur-Liège

Les **eaux de Hesbaye** sont naturellement très pures et ne nécessitent aucun traitement à l'exception d'une légère chloration afin de se garantir contre le développement de germes dans les conduites d'amenée.

Il en est de même pour les eaux de la **nappe alluviale** logée dans les graviers de Meuse.

Tableau V.5 : Paramètres microbiologiques

Paramètres microbiologiques	Nappe des craies de Hesbaye Aqueduc d'Ans 27/03/2000	Nappe alluviale de la Meuse P2-Vivegnis 03/01/1995
Germes totaux à 22°C	0 colonie/ml	1 colonie/ml
Germes totaux à 37°C	0 colonie/ml	2 colonies/ml
Coliformes totaux	0 colonie/100 ml	0 colonie/100 ml
Coliformes fécaux	0 colonie/100 ml	0 colonie/100 ml
Streptocoques fécaux	0 colonie/100 ml	0 colonie/100 ml
Clostridia	0 colonie/100 ml	0 colonie/100 ml

V.4 PESTICIDES

Les données disponibles à la Région Wallonne (DGRNE, ESO) montre qu'actuellement, la pollution des galeries captantes de la CILE par les pesticides n'est pas inquiétante; les concentrations, par produits ou pour l'ensemble des pesticides, restent largement sous la norme de potabilité. Il n'en reste pas moins que la présence systématique d'atrazine et de ses produits de dégradation dans les eaux captées est préoccupante d'autant plus que depuis 1996 s'y additionne l'apparition quasi systématique d'autres dérivés tels que le diuron ou le chlortoluron (Hodiaumont et al, 1999). Des concentrations allant de 37 à 51 ng/l d'atrazine, de 0 à 2 ng/l de chlortoluron, de 0 à 26 ng/l de diuron, de 11 à 18 ng/l de simazine ont été observées sur des prélèvements effectués dans les captages de la CILE en été 2000.

De même, sur base des seules données disponibles, il semble que la pollution de la nappe alluviale par les pesticides reste limitée ; les concentrations par produits restent largement sous les normes de potabilité; de 10 à 20 ng/l d'atrazine, de 0 à 6 ng/l de diuron, de 3 à 9 ng/l de bentazone, de 11 à 20 ng/l de déséthyl-atrazine, de 0 à 7 ng/l de métribuzin, pas de trace de simazine, ni de chlortoluron.

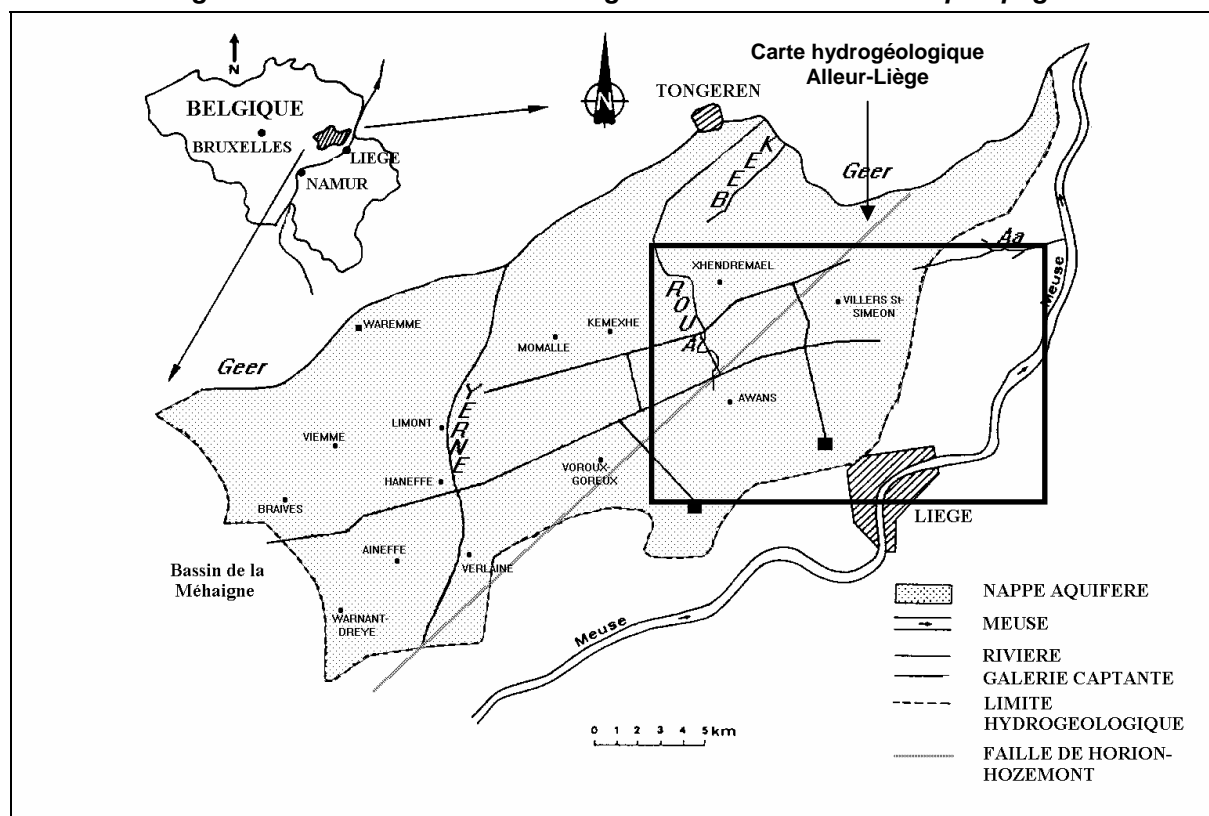
VI EXPLOITATION DES AQUIFERES

VI.1 AQUIFERE DES CRAIES DE HESBAYE

Au droit de la carte Allier-Liège, la nappe des craies est exploitée par la CILE et par quelques particuliers et firmes privées.

La CILE prélève l'eau de la nappe aquifère de Hesbaye par 45 km de galeries orientées Nord Est - Sud Ouest (figure VI.1). Ces galeries, creusées dans la craie, sont hautes de 1,8 m et larges de 1,2 m. Elles se subdivisent en deux réseaux: les galeries Sud et les galeries Nord.

Fig. VI.1 : Plan de localisation des galeries et des stations de pompage



Les galeries Sud captent les eaux souterraines vers une profondeur de 30 mètres dans les craies maastrichtiennes. Elles alimentent, gravitairement par aqueducs souterrains, les réservoirs de Hologne et de Ans.

Les galeries Nord captent les eaux vers 60 mètres de profondeur dans les craies campaniennes. Les eaux sont pompées au droit de trois stations (Kemexhe, Puits Régulateur et Juprelle) et sont rejetées via des aqueducs dans les galeries Sud. Dans les galeries Nord, des serrements permettent d'isoler différents tronçons.

Au droit de la carte Allier-Liège, cinq prises d'eau prélèvent de l'eau par pompage dans les galeries :

- dans la galerie Nord,
 - à Juprelle et à Xhendremael, afin d'alimenter un château d'eau pour la distribution locale ; les débits captés sont de l'ordre de 4500 m³/j et de 670 m³/j, respectivement, pour ces dix dernières années.
 - au Puits-Régulateur ; la station de pompage est constituée de deux puits et a une capacité maximale de 800 m³/h (soit 19 200 m³/j) mais les pompages peuvent être

très irréguliers et peuvent varier de 0 à 10 000 m³/j (la galerie Nord est sollicitée uniquement lorsque la production des galeries Sud est insuffisante ou lorsque la teneur en nitrates y est trop élevée).

- dans la galerie Sud,
 - à Waroux, afin d'alimenter un château d'eau ; les débits captés sont de l'ordre de 500 m³/j
 - à Lantin, sur la galerie principale, afin d'alimenter la prison (prise d'eau directe couplée à une station de traitement) ; les débits captés sont de l'ordre de 370 m³/j.

A la fin de l'aqueduc d'Ans se trouve un réservoir alimenté par gravité par la Galerie Principale. Les volumes captés sont de l'ordre de 8,5 millions de m³ par an (moyenne établie sur les 10 dernières années), c'est-à-dire environ 24 000 m³/j. A titre indicatif, les volumes prélevés au réservoir de Hollogne sont de l'ordre de 24 000 m³/j.

Les puits de particuliers sont principalement à usage agricole. Les volumes prélevés varient de 100 m³/an à 800 m³/an.

En ce qui concerne les industries localisées principalement dans les parcs industriels de Grâce-Hollogne et des Hauts-Sarts (Hermée), on en dénombre une dizaine possédant un ou plusieurs ouvrages forés dans les craies de Hesbaye. Les volumes annuels peuvent être fort variables, d'une entreprise à l'autre et d'une année à l'autre ; d'une manière générale, ils sont compris entre 100 m³/an et 85 000 m³/an.

VI.2 AQUIFERE SCHISTO-GRESEUX DU HOULLER

Au droit de la carte Alleur-Liège, la nappe de fissures du bed-rock houiller est peu exploitée.

Deux puits, appartenant à des salons-lavoir, exploitent les eaux des terrains houillers ; le puits Lavoir-Mosan est situé dans le bas de la commune de Herstal, d'une profondeur de 80 m, le second puits est dans le quartier de Ste-Marguerite (N-W de Liège) (voir carte de localisation en annexe). Les volumes pompés par ces ouvrages sont de l'ordre de 2000 à 3000 m³/an selon l'année.

VI.3 AQUIFERE ALLUVIAL DE LA MEUSE

Dans la zone correspondant à la carte Alleur-Liège, plusieurs ouvrages captent l'eau logée dans les graviers de Meuse.

La SWDE prélève, sur le site de Vivegnis (4 puits en service) un débit de l'ordre de 7000 m³/j pour l'alimentation de la commune d'Oupeye et du parc industriel des Hauts-Sarts.

En face de ce site, sur la rive droite du Canal Albert, la société Cockerill-Sambre prélève annuellement un volume moyen de 315 000 m³ (site de Chertal, voir carte de localisation en annexe).

La société Interbrew (Jupille) exploite aussi la nappe alluviale de façon non négligeable. Les volumes captés sont de l'ordre de 1,4 millions de m³ par an, soit environ 3850 m³/j.

Cet aquifère est encore exploité par d'autres entreprises, d'activités diverses (lavoir, car-wash, aciérie,...) qui prélèvent des volumes très variables, de 100 m³/an à 75 000 m³/an.

Les volumes pompés par l'AIDE pour le démergement sont de l'ordre de 950 000 m³ par an pour l'ensemble des 10 stations situées au droit de la carte Alleur-Liège. Ces stations, dites mixtes, récoltent aussi bien les eaux pluviales et des égouts que les eaux d'infiltration récupérées dans les caves des particuliers (démergement). Selon les secteurs, les volumes moyens annuels peuvent être très variables, de 17 000 m³/an à 2,4 millions de m³/an.

VII PARAMETRES D'ECOULEMENT ET DE TRANSPORT

VII.1 AQUIFERE DES CRAIES DE HESBAYE

Des données hydrogéologiques précises concernant les paramètres d'écoulement et de transport de l'eau dans les craies ont pu être déterminés lors de diverses campagnes d'essais de pompage et de traçage réalisées pour les organismes suivants :

- Région Wallonne - CE : Programme Action Hesbaye (V.Hallet et A.Monjoie, 1996);
- CILE : Campagnes de forage, d'essais de pompage et de traçage réalisées au droit des sites de Waroux, Xhendremael (Puits-Régulateur) et Juprelle (Rapports LGIH, 1996-1997).

► PARAMÈTRES D'ECOULEMENT

a) Perméabilité

Les perméabilités varient entre 1.10^{-4} et $100 10^{-4}$ m/s pour les axes de fissuration et les zones altérées et entre 0.01 et 1.10^{-4} m/s pour la matrice crayeuse.

b) Porosité efficace

La porosité efficace varie entre 0.5 et 7 %.

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

► PARAMÈTRES DE TRANSPORT

La simulation par modèle mathématique de nombreux essais de traçage a permis de préciser les valeurs des paramètres de transport de la nappe (V.Hallet, 1997).

a) Vitesse de transfert

Malgré les perméabilités relativement faibles mesurées au droit des différents sites, les vitesses de transfert des traceurs ont été généralement très élevées. Des vitesses de 5 à 15 m/h, correspondant à la première arrivée de traceurs, sont les plus fréquemment mesurées. Les valeurs extrêmes varient entre 0,67 m/h au sein de la matrice crayeuse et 120 m/h au droit de fissures ouvertes.

Les traçages ont également mis en évidence la forte hétérogénéité du milieu crayeux avec des vitesses de transfert très variables suivant la présence ou non d'axes de fracturations. Les prospections géophysiques ayant démontré une très forte densité de ces axes (de l'ordre d'un axe tous les cents mètres), la zone IIa a été définie à partir d'une courbe enveloppe déterminée sur base des temps de transfert définis au droit des axes de fracturation uniquement.

b) Porosité équivalente E.V.R.

Lors de la calibration des courbes de restitution, il est souvent nécessaire d'affecter des valeurs de porosité très faibles à l'Élément de Volume Représentatif (valeurs < à 1%). Ces valeurs de porosité ainsi définies sur l'EVR ne sont pas représentatives du milieu physique mais elles permettent de simuler les phénomènes de convection rapide en milieu fissuré. La porosité efficace ainsi définie est appelée « **porosité équivalente E.V.R. ou n_{EVR}** ». Les porosités équivalentes d'EVR (n_{EVR}) calculées par les modèles de transport varient de 0.02 à 1 % au droit des failles (V.Hallet et A.Dassargues, 1998).

c) Dispersivités longitudinales

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

- dans la craie fissurée mais peu altérée, les valeurs de dispersivité augmentent de manière linéaire en fonction de la distance de traçage selon une droite d'équation $\alpha_L = 0.002 + 0.14 d$ dans laquelle d est la distance de traçage;
- dans la craie fissurée et altérée, dans les poches de dissolution, ou dans la matrice crayeuse, les valeurs de dispersivité sont plus élevées et indépendantes des distances de traçage (plus de 50 m);
- dans les fissures, là où des vitesses de transfert supérieures à 50 m/h ont été mesurées et où les processus de transport se font principalement par convection, les valeurs de dispersivité calculées sont généralement très faibles, de l'ordre de quelques mètres, indépendamment des distances de traçage.

c) Effet d'eau immobile

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

La porosité d'eau immobile (θ_{im}) varie entre 8 et 42 %. Le coefficient de transfert de l'eau mobile vers l'eau immobile varie entre 1.10^{-6} et $9.8 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$. Ce coefficient semble peu influencé par la taille du domaine investigué.

VII.2 AQUIFERE ALLUVIAL DE LA MEUSE

Des essais de pompage et de traçage réalisés au droit des ouvrages des sites de Vivegnis (SWDE) et de Jupille (Intrebrew) ont permis de mieux caractériser la nappe alluviale par la détermination des paramètres hydrodynamiques.

► PARAMÈTRES D'ÉCOULEMENT

D'une manière générale, les perméabilités des alluvions de la Meuse sont de l'ordre de 2 à $4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ (L.Calemebert et al, 1974).

Les transmissivités moyennes obtenues à Vivegnis sont de l'ordre de $3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ mais elles peuvent descendre jusqu'à $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ dans les chenaux sablo-silteux. Le coefficient d'emménagement a été estimé à 0,10 (SWDE, 1995). Les rayons d'influence des puits de ce site varient entre 230 et 810 m (détermination en régime permanent).

Sur le site de Jupille plusieurs essais de pompage réalisés entre 1989 et 1991, ont permis de calculer les transmissivités (LGIH-PIED, 1989-1991). Les valeurs obtenues sont comprises entre $7,5 \cdot 10^{-3}$ et $79,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, dans les zones graveleuses. Par contre, on observe des transmissivités plus faibles, au droit d'un ancien chenal fluvial (terrains limoneux et vaseux) ; $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} < T < 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

► PARAMÈTRES DE TRANSPORT

En juin 1994, une campagne de traçage a eu lieu sur les puits du site de Vivegnis, suivi de la modélisation mathématique de ces tests. Cette étude a permis de préciser les paramètres de transport de la nappe ; la porosité efficace (n_e) est de l'ordre de 6 %, la dispersivité longitudinale (α_L) varie entre 0,01 et 0,95 m, la dispersivité transversale (α_T) entre 0,003 et 0,220 m (J.Derouane, 1994).

VIII ZONES DE PREVENTION

VIII.1 CADRE LEGAL

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

Afin de limiter les risques de contamination des captages, des périmètres de prévention doivent être mis en place. Quatre zones ont été définies dans la législation wallonne³:

1. la zone I (zone de prise d'eau);
2. la zone de prévention IIa (zone de prévention rapprochée) ;
3. la zone de prévention IIb (zone de prévention éloignée) et
4. la zone de surveillance.

1° Zone I ou zone de prise d'eau

La zone de prise d'eau est délimitée par une ligne située à une distance minimale de dix mètres des limites extérieures des installations en surface strictement nécessaires à la prise d'eau.

2° Zone IIa ou zone de prévention rapprochée

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

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

En milieu karstique, tous les points préférentiels de pénétrations (dolines et pertes) dont la liaison avec le captage est établie sont classés en zone IIa.

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 dans le sol saturé.

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

- 100 mètres pour les formations aquifères sableuses ;
- 500 mètres pour les formations aquifères graveleuses ;
- 1 000 mètres pour les formations aquifères fissurées ou karstiques.

³ Arrêté de l'Exécutif régional wallon du 14 novembre 1991 relatif aux prises d'eau souterraines, aux zones de prise d'eau, de prévention et de surveillance et à la recharge artificielle des nappes d'eau souterraine, abrogé par l'arrêté du GW du 3 mars 2005 relatif au livre II du code de l'Environnement, contenant le Code de l'Eau

Lorsqu'il existe des axes d'écoulement préférentiel de circulation des eaux souterraines alimentant la prise d'eau, la zone IIb est étendue le long de ces axes sur une distance maximale de 1000 m et sur une largeur au moins égale à celle de la zone IIa.

4° Zone de surveillance

La zone de surveillance englobe l'entièreté du bassin hydrographique et du bassin hydrogéologique situé à l'amont du point de captage.

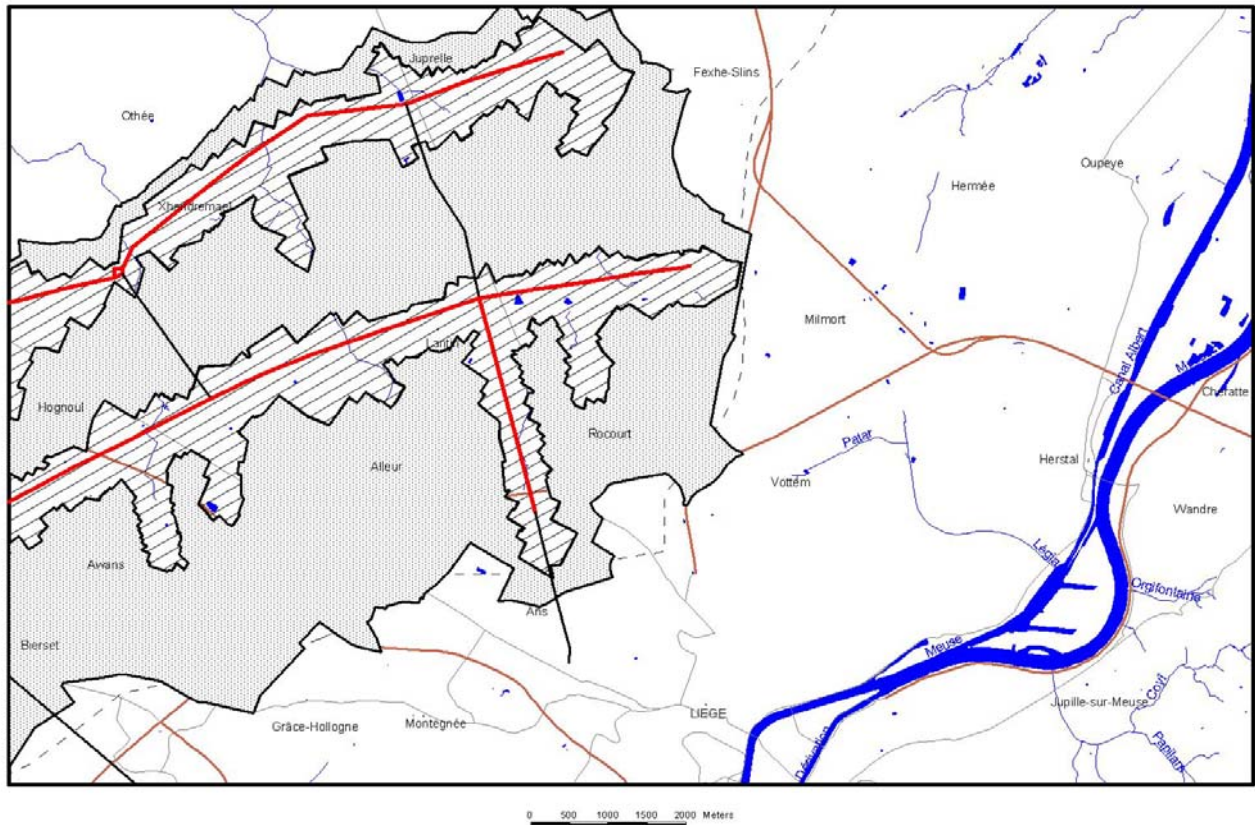
Diverses mesures de protection⁴ ont été définies au droit des quatre zones.

⁴ Arrêté du Gouvernement wallon du 9 mars 1995 modifiant l'arrêté de l'Exécutif régional wallon du 14 novembre 1991 relatif aux prises d'eau souterraines, aux zones de prise d'eau, de prévention et de surveillance et à la recharge artificielle des nappes d'eau souterraine, abrogé par AGW du 3 mars 2005.

VIII.2 ZONES DE PREVENTION AUTOUR DES GALERIES DE LA CILE

Les zones de prévention autour des galeries de la CILE (figure VIII.1) ont été déterminées expérimentalement autour de cinq stations de pompage dont trois, Juprelle, Waroux et Puits Régulateur sont situées au droit de la carte Alleur-Liège (voir carte de localisation).

Figure VIII.1 : Zones de prévention proposées des captages CILE sur la carte Alleur-Liège (Zone IIa en hachuré - zone IIb en grisé)



La détermination des zones de prévention IIa autour des stations de pompage de la CILE en Hesbaye a nécessité la réalisation de différentes études comprenant :

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

En fonction des résultats des différents traçages et des paramètres d'écoulement et de transport déterminés par les modèles sur des sites de pompage ponctuels (qqz km²), l'ordre de grandeur des distances en zone rapprochée (IIa), pour l'ensemble de la nappe dans les zones non-investiguées par les essais in-situ, dans des conditions d'exploitation usuelle⁵, a été fixé à :

1° à l'amont des galeries

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

2° à l'aval des galeries

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

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

Compte tenu de l'étendue du territoire concerné par les galeries, la zone de prévention éloignée (IIb) a été délimitée par l'extrapolation des résultats d'études locales, dont les campagnes d'essais réalisés autour des stations de pompage pour la délimitation des zones de prévention rapprochée. Son extension est d'environ deux kilomètres en amont des galeries, atteignant trois kilomètres au droit des principales vallées sèches. Vers l'aval, elle est limitée au cône de rabattement provoqué par les galeries, soit une distance moyenne de 500 mètres.

Quant à la zone de surveillance, elle englobe la totalité du bassin hydrogéologique de la nappe de Hesbaye, définie vers l'Ouest, le Sud et l'Est par la limite supérieure de la smectite de Herve.

Les limites définies à partir du modèle ont été localement déplacées pour correspondre avec des limites matérialisables sur le terrain. Cette délimitation des zones IIa et IIb a été proposée à la Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement, Service des Eaux Souterraines, au Ministère de la Région wallonne.

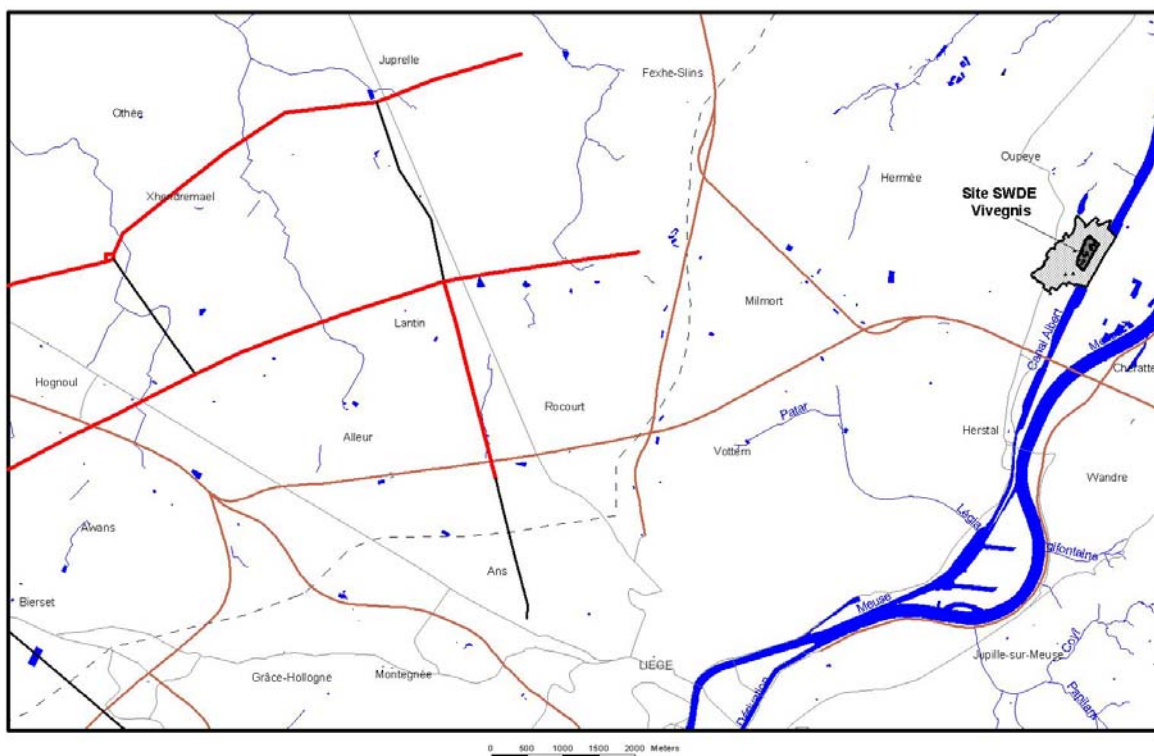
⁵ Les périmètres de la zone IIa ont été définis pour des conditions usuelles d'exploitation, en simulant l'injection de 5000 kg de polluant en différents points du modèle avec détermination des temps d'arrivée du polluant au droit des galeries à une concentration de 10 ppb.

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

Les zones de prévention IIa et IIb du champ captant de Vivegnis (SWDE) ont été déterminées sur base des temps de transfert suite à l'élaboration d'une modèle mathématique (écoulement et transport)(J.Derouane, 1994). Les limites définies à partir du modèle ont été localement déplacées pour correspondre avec des limites matérialisables sur le terrain (figure VIII.2)

Ces zones de prévention ont été arrêtées par le Gouvernement Wallon, en date du 24 juin 1999 ; *Arrêté du Gouvernement wallon relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée des ouvrages de prise d'eau souterraine potabilisable dénommés Vivegnis P1, P2, P3, P4, P6, sis à Oupeye* (Mention au M.B. 30.06.1999).

**Figure VIII.2 : Zones de prévention arrêtées du site de Vivegnis (SWDE)
(Zone IIa en gris foncé - zone IIb en gris clair)**

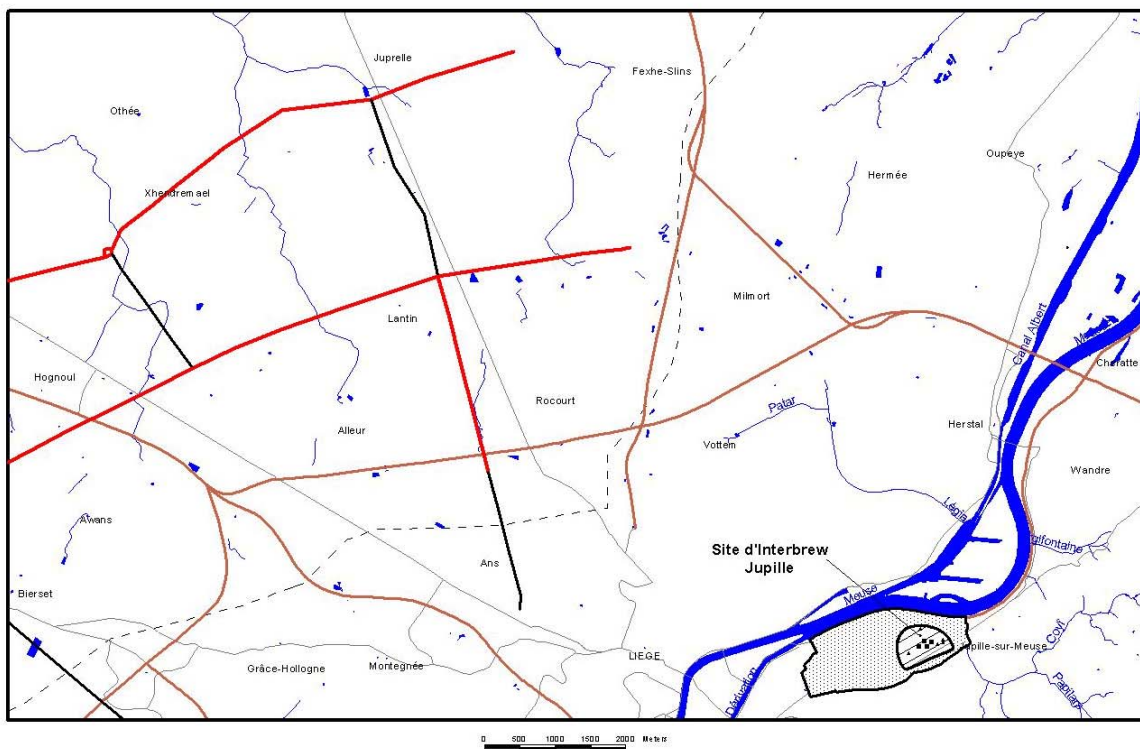


VIII.4 ZONES DE PREVENTION AUTOUR DES CAPTAGES INTERBREW

Les zones de prévention de la brasserie « Interbrew » autour du site de Jupille ont été déterminées par modélisation mathématique (LGIH, 1998). Les limites définies par le modèle ont été localement déplacées pour correspondre avec des limites matérialisables sur le terrain (figure VIII.3).

Ces zones de prévention ont été arrêtées par le Gouvernement Wallon, en date du 11 décembre 2004; *Arrêté ministériel relatif à l'établissement des zones de prévention rapprochée et éloignée des ouvrages de prise d'eau souterraine dénommés P8, P9, P10 et P11, sis sur le territoire de la commune de Liège (Jupille)* (M.B. du 07.01.2003, p.456).

**Figure VIII.3 : Zones de prévention arrêtées autour des captages d'Interbrew à Jupille
(Zone Ia en hachuré - zone IIb en grisé)**



IX PRESENTATION DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE

La carte hydrogéologique se compose:

- d'une carte hydrogéologique (1/25 000) donnant des informations sur les différentes formations aquifères, l'allure de la nappe, la localisation des prises d'eau...;
- d'une carte (1/50 000) de localisation des captages avec les volumes exploités pour une année donnée et les nappes exploitées;
- d'une carte (1/50 000) localisant:
 - les sites où sont disponibles des données hydrochimiques et au droit desquelles divers tests (essais de pompage, traçages, diagraphies, ...) ont été réalisés;
 - les sites investigués par prospections géophysiques;
 - la zone vulnérable aux nitrates.
- d'une carte (1/50 000) donnant des informations sur l'épaisseur de l'aquifère des craies de Hesbaye;
- d'une coupe hydrogéologique;
- d'un tableau lithostratigraphique.

IX.1 CARTE HYDROGEOLOGIQUE

La carte principale au 1/25 000 comprend 8 couches d'informations:

1. le fond topographique de la carte IGN 1/10 000 (en noir);
2. le réseau hydrographique (en bleu);
3. la carte géologique Alleur-Liège (1902). Cette carte a été digitalisée par nos soins;
4. la faille de Horion-Hozémont ou Faille bordière du Massif du Brabant qui joue un rôle important dans l'hydrogéologie régionale;
5. la localisation des points d'eau comptant:
 - des galeries captantes et les aqueducs;
 - des puits des sociétés de distribution d'eau;
 - des puits privés exploités et déclarés à la Région wallonne;
 - des piézomètres, ces derniers étant considérés comme tout point d'accès non exploité (forage de petit diamètre, puits non équipé, puits traditionnel);
 - des puits sur galerie (points de prélèvement par pompage ou par gravité dans une galerie);
6. la localisation des stations climatiques;
7. les isopièzes (en rouge) ; la carte piézométrique représente l'allure de la nappe observée en 1951, période exceptionnelle de « basses eaux ». Cette carte met clairement en évidence diverses anomalies piézométriques non observées en périodes de hautes eaux;
8. à défaut de carte piézométrique, des valeurs de niveau de la nappe, avec la date de la mesure
9. les zones de prévention IIa et IIb,
 - arrêtées par le Gouvernement Wallon (SWDE-site de Vivegnis et Interbrew-site de Jupille);
 - proposées par la CILE pour les galeries de Hesbaye.

IX.2 CARTES THEMATIQUES

IX.2.1 Localisation des ouvrages de prise d'eau

Cette carte situe l'ensemble des ouvrages recensés au droit de la zone en discernant :

- les ouvrages et piézomètres différenciés selon les aquifères recoupés :
 - les craies de Hesbaye,
 - les alluvions de la Meuse (plaine ou terrasses),
 - les terrains houillers indifférenciés.
- les ouvrages de prises d'eau déclarés (année 2000) avec d'une part les captages des sociétés de distribution d'eau (rond rouge de diamètre proportionnel aux débits captés) et d'autre part les captages privés (rond vert de diamètre proportionnel aux débits captés). Les volumes pompés par les stations de démergement de l'AIDE figurent aussi sur cette carte thématique (en rose);

Pour les galeries, les débits captés ont été définis au droit des stations de pompage ou à l'amont des aqueducs.

IX.2.2 Caractérisation de la couverture des nappes et informations complémentaires

Cette carte localise les différents sites au droit desquels des données quantitatives ou qualitatives sont disponibles (analyses chimiques, diagraphies, essais de pompage, essais de traçage).

L'aquifère des craies de Hesbaye est libre sous les limons éoliens et/ou les sables tertiaires. La nappe sise dans les graviers de Meuse est libre à semi-captive sous les limons fluviatiles. Les aquifères locaux schisto-gréseux du Houiller sont semi-captifs sous la couverture cénozoïque.

Les zones de prospections géophysiques sont également localisées, il s'agit de :

- Site de Juprelle (LGIH-CILE/963) : 10 sondages électriques, 6,825 km de traînés électriques.
- Site du Puits-Régulateur (Xhendremael) (LGIH-CILE/967) : 10 sondages électriques, 8.62 km de traînés électriques.
- Site de Waroux (LGIH-CILE/964) : 10 sondages électriques, 8,6 km de traînés électriques.
- Site de Gems (Loncin) (LGIH-DM/2000-01) : 5 sondages électriques, 840 m de traîné électrique et 4 tomographies électriques.
- Site d'Interbrew (Jupille) (LGIH-PIED/901-903) : 10 sondages électriques, 14 sondages sismiques.
- Site de l'île Monsin (LGIH-ATEC/921) : 4 sondages électriques, 12 sondages sismiques.
- Site de Wérihet (LGIH – ARMCO-PITTSBURG, 1975) : 14 sondages électriques.
- Site de Vivegnis (LGIH ;Guyot, 2000) : 9 sondages électriques et 2 tomographies électriques.

La nappe du Crétacé de Hesbaye a été déclarée, par arrêté ministériel (28/07/1994), zone vulnérable (mention au M.B. du 04/01/1995, p 53) ; arrêté relatif à la protection des eaux souterraines contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles. Cette désignation implique l'application d'un programme d'action précis dont les mesures ont été arrêtées dans le code de « bonnes pratiques agricoles ». Des mesures particulières relatives à la gestion durable de l'azote en agriculture sont définies dans le Code de l'Eau. Cette zone couvre le tiers de la superficie de la carte Alleur-Liège.

IX.2.3 Carte des isohypses de la base de l'aquifère des craies de Hesbaye et informations ponctuelles sur le toit

L'aquifère principal, localisé au sein des craies, est limité à sa base par la Smectite de Herve et au sommet par le conglomérat à silex. Localement, en l'absence de Smectite, la craie repose directement sur des intrusions de roches magmatiques ou sur le substratum paléozoïque.

La carte de la base de la nappe des craies a été dressée d'après les données fournies par une septantaine de forages. L'information relative au toit de l'aquifère est donnée de manière ponctuelle, là où l'information sur l'épaisseur des limons était disponible (sources : archives du Service Géologique, rapports LGIH, cartes géotechniques).

IX.3 COUPE HYDROGEOLOGIQUE

La coupe hydrogéologique a été orientée N-S et elle recoupe:

- les galeries de CILE;
- la faille de Horion-Hozémont.

Les formations géologiques du plateau de Hesbaye sont représentées, à savoir:

- la smectite de Herve, base de l'aquifère;
- le Hard-Ground
- la craie de Hesbaye;
- le conglomérat à silex;
- la couverture limoneuse, d'épaisseur très variable.

Elle a été réalisée dans le cadre d'une étude régionale de modélisation de l'aquifère crayeux de Hesbaye (LGIH, 1987). Les fluctuations piézométriques établies sur base des cartes piézométriques de 1951 (basses eaux) et 1984 (hautes eaux) ont été reportées sur la coupe hydrogéologique.

IX.4 TABLEAU DE CORRESPONDANCE 'GEOLOGIE-HYDROGEOLOGIE'

Le tableau lithostratigraphique reprend la liste des différentes formations susceptibles d'être rencontrées au droit de la carte Allier-Liège. En l'absence de nouvelle carte géologique, la nomenclature utilisée est celle de la carte géologique de Forir (1902).

La lithologie des formations est aussi décrite ; leur caractéristique hydrogéologique est définie en termes d' :

- aquifère⁶ : formation perméable contenant de l'eau en quantités exploitables
- aquiclude⁷ : couche ou massif de roches saturées de très faible conductivité hydraulique et dans lequel on ne peut extraire économiquement des quantités d'eau appréciables
- aquitard⁷ : formation semi-perméable permettant le transit de flux à très faible vitesse et rendant la couche sous jacente semi-captive.

Remarquons que ces notions restent très relatives et doivent s'adapter au contexte hydrogéologique.

⁶ Glossaire International d'Hydrologie. UNESCO - OMM. 1992.

⁷ Elevier's Dictionary of Environmental Hydrogeology, Elsevier, 1990.

X METHODOLOGIE DE L'ELABORATION DE LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE

Le présent chapitre décrit brièvement les principales sources d'informations géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques disponibles pour la région d'Aller-Liège.

X.1 ORIGINE DES INFORMATIONS

X.1.1 Données géologiques

Les données géologiques proviennent des descriptions de forages et galeries, disponibles principalement auprès du Service Géologique de Belgique et des sociétés de distribution d'eau (CILE et SWDE).

Au Service Géologique de Belgique, 167 forages sont décrits au droit de la carte 42-1 Aller et 41 forages pour la carte 42-2-Liège. Ces données sont généralement antérieures à 1970 ; de nombreuses descriptions proviennent notamment de forages de reconnaissance réalisés lors du creusement des galeries captantes de la CILE dans les années 50 pour la « Nouvelle Captante » et la galerie du « Puits Régulateur » et dans les années 70 pour les galeries Nord (description LGIH).

En 1984, la Région Wallonne a foré, en Hesbaye, 17 piézomètres (P.Ghysel, 1985) dont 2 au droit de la carte.

Les cartes géotechniques de la région liégeoise fournissent une documentation complète et aisément accessible sur la composition et les caractéristiques du sous-sol. Le tracé des terrasses de la Meuse a été réalisé à partir de ces cartes.

Plus récemment, la CILE a exécuté, dans le cadre des études pour la délimitation des périmètres de prévention, divers forages de reconnaissance, notamment au droit des sites de Waroux, Juprelle et Xhendremael (Puits-Régulateur).

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

Les limites entre les formations aquifères ont été établies selon la carte géologique présentée sur la carte géologique n° 121 Aller-Liège (M.H.Forir, 1902).

X.1.2 Données météorologiques

Des données de précipitations et températures sont disponibles à l'IRM pour la station de Liège-Monsin GV54 (précipitation depuis 01/1951 et température depuis 12/1953).

La CILE possède deux stations pluviométriques au droit de la carte « Aller-Liège », au Puits-Régulateur (Xhendremael) et au réservoir d'Ans (mesures journalières, depuis 1984).

Signalons que des données hydrométéorologiques très complètes (précipitations, températures, vitesses du vent, insolation, ...) sont disponibles depuis 1985 pour la station de Bierset, station située 1 km au Sud-Ouest de la carte Aller-Liège.

X.1.3 Données hydrogéologiques

X.1.3.1 Localisation des ouvrages

Dans la banque de données, 228 ouvrages ont été introduits (248 existent toujours dont 81 puits, 106 piézomètres, 9 points localisés au droit des galeries et des aqueducs et 10 stations de démergement). Ils sont répertoriés comme prise d'eau ou point d'accès à la nappe.

Ces données proviennent des sociétés de distribution d'eau et intercommunales (AIDE, CILE et SWDE), de divers rapports techniques (voir liste bibliographique), de particuliers et de la banque de données de la Région Wallonne.

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

X.1.3.2 Données piézométriques

Une douzaine de cartes piézométriques de la nappe aquifère de Hesbaye ont été dessinées ; la première date de 1932. Des cartes sont disponibles pour des périodes de « basses eaux » (1951) ou de « hautes eaux » (1984).

La CILE mesure, depuis 1951, de manière mensuelle, trimestrielle ou annuelle, les cotes piézométriques de la nappe au droit de divers puits. En 1986, elle a intensifié ses mesures avec 13 puits relevés mensuellement. Les campagnes de mesure réalisées par la CILE ont été réorganisées en 1997 ; actuellement, 26 puits sont relevés mensuellement dont 14 au droit de la carte Alleur-Liège. Une tournée hebdomadaire est aussi effectuée comprenant 27 puits répartis sur toute la Hesbaye dont 11 sont situés sur la carte Alleur-Liège.

Les données piézométriques ont été encodées dans la banque de données ; des valeurs de piézométrie sont disponibles pour 122 ouvrages ; les premières valeurs datent de 1951.

Quelques relevés piézométriques sont aussi disponibles au droit des ouvrages forés dans la nappe alluviale de la Meuse et sont intégrés dans la banque de données hydrogéologiques.

X.1.4 Données hydrochimiques

Les données hydrochimiques ont, pour la plupart, été fournies par les sociétés de distribution d'eau (CILE et SWDE), ainsi que par quelques industriels (Interbrew, Cockerill-Sambre...).

Les analyses fournies par la CILE proviennent d'échantillons prélevés dans les galeries captantes. Les concentrations mesurées représentent une moyenne des concentrations en éléments présents dans les eaux souterraines de la zone exploitée par la galerie, soit plusieurs kilomètres. Les galeries présentant une faible pente, les concentrations mesurées, pour chacune des galeries, sont représentatives des concentrations dans la nappe de Hesbaye au niveau altimétrique de chaque galerie. Certains éléments, tels que les nitrates, sont mesurés quotidiennement.

Des données hydrochimiques disponibles au droit de puits (58 sites) ont été encodées dans la banque de données hydrogéologiques ; 37 analyses caractérisent la nappe des craies de Hesbaye, 19, la nappe logée dans les graviers de Meuse et 2 les eaux des terrains houillers.

X.2 BANQUE DE DONNEES HYDROGEOLOGIQUES

L'ensemble des données collectées est encodé dans une banque de données, réalisée sous « Access - Microsoft» (Gogu & al, 2001). Elle contient 8 principales couches d'informations relatives :

- aux eaux souterraines (définies comme *point* dans le SIG) et contenant les données sur les ouvrages donnant accès à l'aquifère (puits, piézomètre, puits sur galerie, exutoire de galerie) ;
- aux eaux de surface (définies comme *point* dans le SIG) et contenant les données sur les sources, les pertes et les stations limnimétriques ;
- aux stations climatiques (définies comme *point* dans le SIG)
- aux galeries captantes, drains et aqueducs (définies comme *ligne* dans le SIG);
- aux carrières à ciel ouvert et souterrains d'intérêt hydrogéologique et aux anciennes mines (définies comme *polygone* dans le SIG);
- aux zones de prévention (définies comme *polygone* dans le SIG) ;
- aux bassins versants (définies comme *polygone* dans le SIG).
- aux zones de prospection géophysique (définies comme *polygone* dans le SIG).

Pour chaque « élément » ainsi défini, les données se subdivisent en six catégories d'informations reprenant :

- des **informations générales** telles que sa localisation (adresse, X,Y,Z, ...), son propriétaire, son code de référence à la Région wallonne, ...
- ses **caractéristiques techniques** tels que diamètre, profondeur, équipement, ...
- son **cadre géologique et hydrogéologique** ;
- une **liste des tests** effectués au droit du site (pompages, traçages, ...) ;
- des **données quantitatives** relatives aux niveaux piézométriques, aux débits pompés, ...
- des **données qualitatives** relatives au chimisme des eaux.

XI REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

• Publications

- BROUYERE S., HALLET V., DASSARGUES A. 1997. *Effets de retard et de piégeage des polluants dus à la présence d'eau immobile dans le milieu souterrain : importance de ces effets et modélisation*. Colloque national 1997 du Comité belge de Géologie de l'Ingénieur. Katholieke Universiteit Leuven
- BULTOT F., COPPENS A., and DUPRIEZ G.L, 1993. *Estimation de l'évapotranspiration potentielle en Belgique*. Inst. Roy. Mét. Pub., Série A, N° 112, Uccle - Bruxelles.
- CALEMBERT L., 1953. *Sur l'extension régionale d'un hard-ground et d'une lacune stratigraphique dans le Crétacé supérieur du Nord-Est de la Belgique*. Bulletin de l'Académie Royale des Sciences de Belgique, Classes des Sciences, 5° série, T. XXXIX, pp.724-733, 3 fig., Bruxelles
- CALEMBERT L, 1958. *Le Crétacé supérieur de Glons*. Annales de la Société Géologique de Belgique, T LXXXI, pp. 459-464.
- CALEMBERT, L, FAGNOUL, A., STASSEN, P., BONNECHÈRE, F., MONJOIE, A., & VAN DUYSE, H., 1974, *La géologie de l'ingénieur appliquée à l'étude du site d'un métro dans le bed-rock houiller à Liège*, Colloque de Centenaire de la Société Géologique de Belgique, pp. 163-192.
- DASSARGUES A., MONJOIE A., 1993. *Hydrogeology of the chalk of North-West Europe*, chapter 8 : Chalk as an aquifer in Belgium, pp; 153 - 169, Oxford University Press.
- DAUTREBANDE S., DEWEZ A., CASEE C., HENNEBERT P., 1999 - *Nitrate leaching at regional scale,: an implicit example of the hydrotope concept application. Modelling of transport processes in soils at various scales in time and space*. EurAgEng Soil and Water Interest Group's International Workshop, Leuven, Belgium.
- DEJONGHE L., 1998, Guide de lecture des cartes géologiques de Wallonie au 1/25 000 édité par le Ministère de la Région Wallonne, 47 p.
- DEWEZ A., DAUTREBANDE S., 1996. *Programme Action Hesbaye*. Rapport scientifique. Unité d'Hydraulique Agricole. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux.
- FORIR H., 1902, *Carte géologique de Belgique, Planchette 12 1- Alleur-Liège*, 1/40.000, Service géologique de Belgique
- GHYSEL P., 1985. *Etude du Crétacé de Hesbaye*. Contrat Région Wallonne - CILE.
- GOGU R.C., CARABIN G., HALLET V., PETERS V. & DASSARGUES A., 2001. *GIS-based hydrogeological database and groundwater modelling*. Hydrogeology Journal 9 : 555-569
- HALLET V., 1997. *Caractérisation des paramètres hydrodynamiques et hydrodispersifs de la craie de Hesbaye (Belgique)*, Ann. Soc. Géol. du Nord. T.5 (2° série), p 305 - 310.
- HALLET V., MONJOIE A., 1996. *Programme-Action Hesbaye*. Rapport Scientifique - LGIH. Ministère de la Région Wallonne, Division de l'eau - Service des eaux souterraines (Inédit).
- HALLET V. et DASSARGUES A., 1998, *Effective porosity values used in calibrated transport simulations in a fissured and slightly karstified chalk aquifer*, Groundwater Quality 1998, M. Herbert & K. Kovar (Eds.), Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten (TGA), C36, pp. 124-126.
- HODIAUMONT A., CANTILLANA R., COMPERE J-M., 1999. *Les eaux souterraines de la CILE : contexte, captage et qualité*. Tribune de l'eau. N°600-601/4-5. pp 31 - 50.
- JUNGELS P., 1968, *Sondages en Hesbaye*, Prof.Paper 15, Service Géologique de Belgique.
- MONJOIE A. et POLO-CHIAPOLINI Cl., 1973, *Influence des travaux miniers sur les caractéristiques hydrogéologiques et géomécaniques des massifs rocheux*, Extrait des Annales des Mines de Belgique, 9° livraison.

- ROUXHET F., GUIOT J., 1996. *Programme Action Hesbaye*. Rapport scientifique. Station de Phytotechnie. Centre de Recherche Agronomiques de Gembloux
- THOREZ J., MONJOIE A., 1973. *Lithologie et assemblage argileux de la smectite de Herve et des craies campaniennes et mastrichtiennes dans le Nord-Est de la Belgique*. Annales de la société Géologique de Belgique, T. 96, 1973, pp. 651-970.
- UNESCO-OMM, 1992, *Glossaire International d'Hydrologie*, seconde édition, 413p.

Cartes géotechniques de la région liégeoise

- BONNECHERE F., BOLLE A., MONJOIE A., DEHARD J, POLO-CHIAPOLINI CI., BURTON E et PIERROUX A., 1990, Carte géotechnique 42.1.8 Liège, Ministère des Travaux Publics (Institut Géotechnique de l'Etat et Centre National des Recherches des Constructions Civiles).
- BONNECHERE F., BOLLE A., MONJOIE A., POLO-CHIAPOLINI CI., YERNAUX C et BURTON E., Carte géotechnique 42.2.2 - 42.2.4 - 42.3.1 -42.3.3 Oupeye-Dalhem, Ministère des Travaux Publics (Institut Géotechnique de l'Etat et Centre National des Recherches des Constructions Civiles), inédit.
- BONNECHERE F, MONJOIE A, FAGNOUL A, PIGNON E., HAZARD J., POLO-CHIAPOLINI CI, CAJOT O. et ZEIMET M-J., 1982, Carte géotechnique 42.2.5 Liège, Ministère des Travaux Publics (Institut Géotechnique de l'Etat et Centre National des Recherches des Constructions Civiles).
- BONNECHERE F, MONJOIE A, FAGNOUL A, PIGNON E., HAZARD J., POLO-CHIAPOLINI CI et ZEIMET M-J., 1982, Carte géotechnique 42.2.6 Liège, Ministère des Travaux Publics (Institut Géotechnique de l'Etat et Centre National des Recherches des Constructions Civiles).
- CALEMBERT L, MONJOIE A, FAGNOUL A., POLO-CHIAPOLINI CI, CAJOT O., DARIMONT A. et SCROEDER Ch., 1975, Carte géotechnique 42.2.7 Liège, Ministère des Travaux Publics (Institut Géotechnique de l'Etat et Centre National des Recherches des Constructions Civiles).
- BONNECHERE F., BOLLE A., MONJOIE A., HAZARD J., POLO-CHIAPOLINI CI, BARNICH M-P. et ZEIMET M-J., 1986, Carte géotechnique 42.2.8 Liège (Jupille), Ministère des Travaux Publics (Institut Géotechnique de l'Etat et Centre National des Recherches des Constructions Civiles).

• Doctorat et travaux de fin d'études

- DEROUANE J., 1994, *Etude hydrogéologique du site de captage de Vivegnis – Détermination des zones de prévention*, LGIH, Fac. des Sc. Appliquées, Université de Liège, non publié
- GOGU R.C., 2000, *Advances in groundwater protection strategy using vulnerability mapping and hydrogeological GIS databases*, Thèse de doctorat, LGIH, Fac. Sciences Appliquées, Université de Liège., non publié
- HALLET V., 1998, *Etude de la contamination de la nappe aquifère de Hesbaye par les nitrates : hydrogéologie, hydrochimie et modélisation mathématique des processus d'écoulement et de transport en milieu saturé*, Thèse présentée en vue de l'obtention du grade légal de Docteur en Sciences, Université de Liège, non publié.
- SELLAL S., 2000, *Etude hydrogéologique et modélisation mathématique de la nappe aquifère de la Meuse à Jupille*, LGIH, Fac des Sc. Appliquées, Université de Liège, non publié

- **Rapports techniques**

- Rapport LGIH - ARMCO-PITTSBURG, 1975, *Puits de pompage- Prospection géophysique*, COSAN Y., MONJOIE A. et CALEMBERT L.
- Rapports LGIH CILE/967-9613-9617-9618-973, 1996-1997, *Etude des zones de protection des captages de Hesbaye – Phase 2 – Site du Puits-Régulateur ; prospection géophysique, forage des puits et piézomètres, essais de pompage, essais de traçage et modélisation.*
- Rapports LGIH CILE/964-966-9610-9615-9616, 1996, *Etude des zones de protection des captages de Hesbaye – Phase 2 – Site de Waroux ; prospection géophysique, forage des puits et piézomètres, essais de pompage, essais de traçage et modélisation.*
- Rapports LGIH CILE/963-965-969-971, 1996-1997, *Etude des zones de protection des captages de Hesbaye – Phase 2 – Site Juprelle ; prospection géophysique, forage des puits et piézomètres, essais de pompage, essais de traçage et modélisation.*
- Rapport LGIH ATEC/922, 1992, Aménagement des lagunes « Pétrifix » à l'île Monsin – Etude géologique, BENOIT A., POLO-CHIAPOLINI Cl. et MONJOIE A.
- Rapport LGIH ATEC/931, 1993, Simulation des écoulements et du transport par advection dans la nappe alluviale à l'île Monsin pour deux schémas de pompage, DASSARGUES A. et MONJOIE A.
- Rapport LGIH MTP/901, 1990, *Modélisation mathématique des écoulements souterrains de la nappe alluviale de la Meuse entre Monsin et Lanaye ainsi que les interactions entre le Canal Albert et la Meuse*, Ministère des Travaux Publics, Voies hydrauliques
- Rapport LGIH PIED/912, 1991, Interbrew- Relevé piézométrique et essais de pompage sur les forages F4 et F5, LEJEUNE V. et MONJOIE A.
- Rapport LGIH PIED/981, 1998, Prises d'eau à Jupille – Etude des zones de protection – Modélisation de la zone de captage, NZALI T., HALLET V. et MONJOIE A.
- Rapport LGIH PIED/891, 1989, *Brasserie Piedboeuf, Jupille –Tests des puits de pompage*, VERCRUYSSSE J. et MONJOIE A.
- Rapport LGIH PIED/902, 1990, *Interbrew, Jupille –Forage de nouveaux puits P12 et P13 et essais de pompage*, VERCRUYSSSE J. et MONJOIE A.
- Rapport LGIH PIED/901, 1990, *Brasserie Piedboeuf, Jupille –Prospection géophysique*, VERCRUYSSSE J. et MONJOIE A.
- Rapport LGIH PIED/903, 1990, *Interbrew, Jupille – Prospection géophysique complémentaire*, VERCRUYSSSE J. et MONJOIE A.
- Rapport LGIH PIED/911, 1991, *Interbrew –Nouvelle campagne de forages de reconnaissance à Droixhe*, VERCRUYSSSE J. et MONJOIE A.
- Rapport LGIH PIED/981, 1998, *Interbrew, Prises d'eau de Jupille- Etudes des zones de prévention – Modélisation de la zone de captage*, NZALI T., HALLET V. et MONJOIE A.
- Rapport LGIH SPE/911, 1991, *Site de Valfil – Centrale de Seraing – Etude hydrogéologique*, CAJOT O., POLO-CHIAPOLINI Cl. et MONJOIE A.
- Rapport LGIH DM 2000-01, 2000, *Dames & Moore – Site GEMS à Loncin – Prospection géophysique*, HORION D, HALLET V. et MONJOIE A.
- Rapport LGIH HESB/871, 1987, *Modélisation de la nappe aquifère de Hesbaye*, Ministère de la Région Wallonne, LGIH : HALLET V., BOLLY P-Y., DASSARGUES A et MONJOIE A, MSM : RADU J-P. et CHARLIER R.
- Rapport SWDE, 1995, *Réalisation de dix piézomètres à Oupeye (Vivegnis)*, Service Captage et Protection.

ANNEXE 1

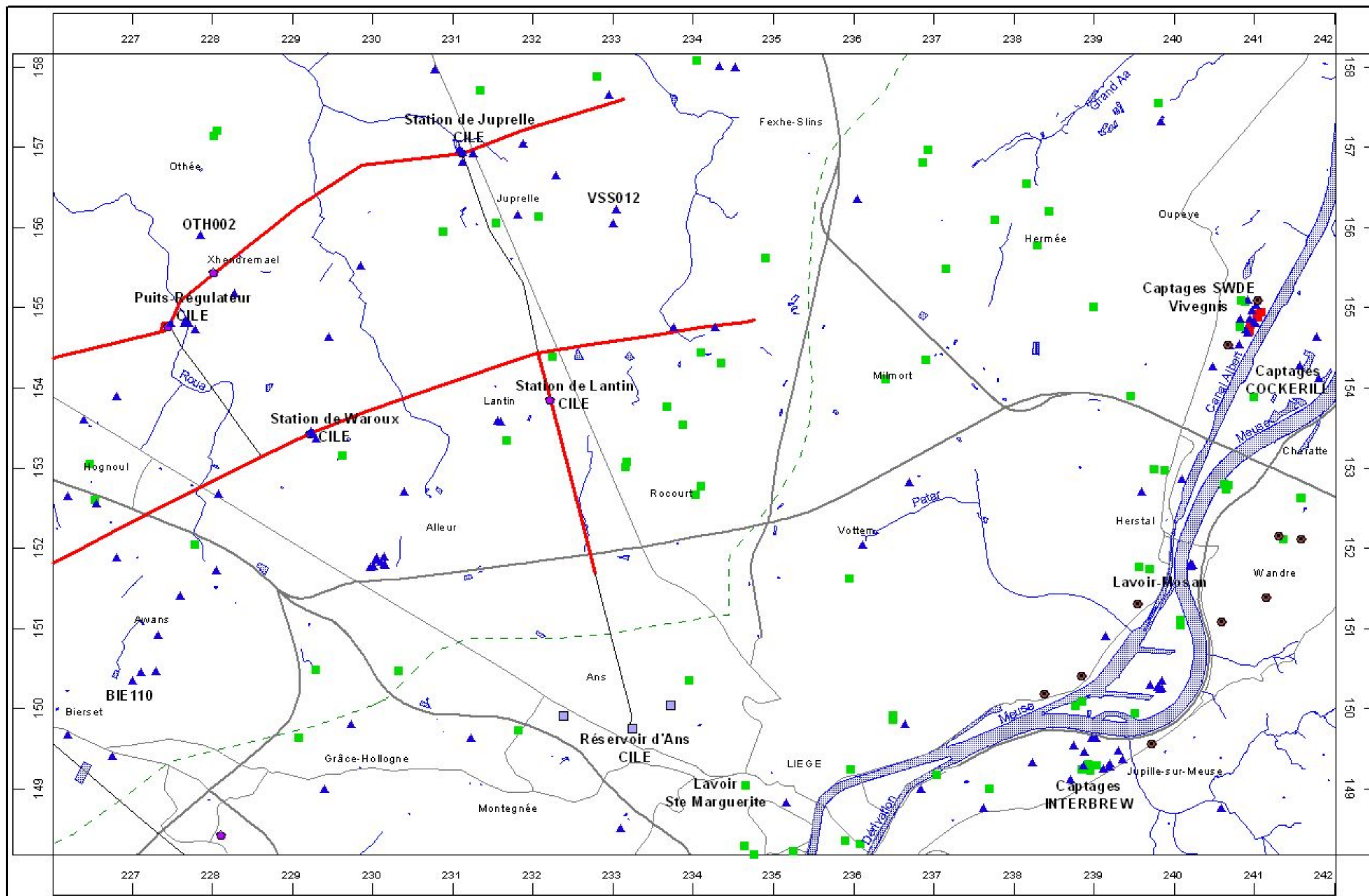
Glossaire des abréviations

- **A.I.D.E.** : Association Intercommunale pour le Démergement et l'Épuration des communes de la Province de Liège.
Rue de la Digue, 25 à 4420 SAINT-NICOLAS (Liège)
<http://www.aide.be/>
- **C.I.L.E.** : Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux
Rue du Canal de l'Ourthe, 8 à 4031 LIEGE (Angleur)
<http://www.cile.be/>
- **D.G.R.N.E.**: Ministère de la Région wallonne. Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement.
Avenue Prince de Liège, 15 à 5100 NAMUR
<http://environnement.wallonie.be/>
 - D.C.E.N.N.: Direction des Cours d'Eau Non Navigables
 - Direction des Eaux Souterraines
- **HG-GéomaC** : Hydrogéologie - GéomaC – Université de Liège
Bâtiment B52, niveau –1, Sart-Tilman à 4000 LIEGE
<http://www.hggeomac.ulg.ac.be/>
- **I.R.M.**: Institut Royal Météorologique, Section Climatologie.
Avenue Circulaire, 3 à 1180 BRUXELLES
<http://www.meteo.oma.be/IRM-KMI/>
- **L.G.I.H.** : Laboratoires de Géologie de l'Ingénieur, d'Hydrogéologie et de Prospection Géophysique, Université de Liège
Suite la succession du Professeur A.Monjoie, les activités sont poursuivies au sein du département GéomaC (ULg), Bâtiment B52, Sart-Tilman, Liège
- **S.G.B.**: Service Géologique de Belgique.
Département VII de l'Institut royal des Sciences Naturelles de Belgique
Rue Jenner, 13 à 1000 BRUXELLES
<http://www.sciencesnaturelles.be/geology>

ANNEXE 2

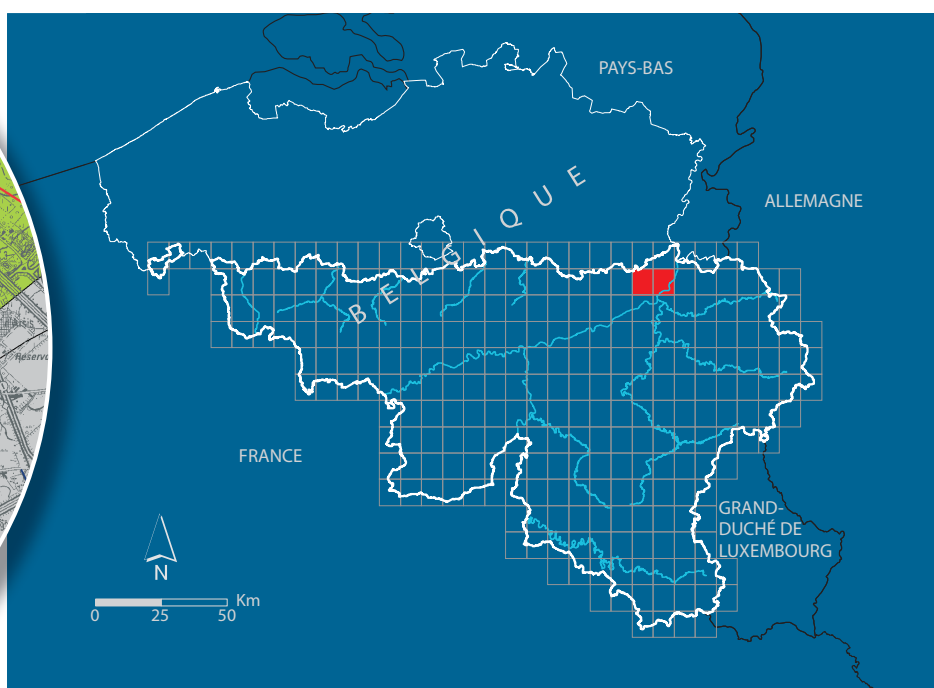
Carte de localisation

Plan de localisation des ouvrages



500 0 500 1000 1500 2000 Meters

- ▲ Piézomètre
 - Ouvrage de prise d'eau des sociétés de distribution d'eau
 - Autre ouvrage de prise d'eau
 - Ouvrage de prise d'eau sur galerie par pompage
 - Ouvrage de prise d'eau sur galerie par gravité
 - Station de démergement
- Galerie captante
— Aqueduc



Dépôt légal : D/2006/12.796/3 – ISBN : 978-2-8056-0053-1

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