



Geo³- Hydrogéologie - Département ArGenCo

(Architecture, Géologie, Environnement et Constructions)

Université de Liège



Département de



Département de Géologie

Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix à Namur



POLYTECH.MONS



Cellule d'Hydrogéologie - Département GFA

(Géologie Fondamentale et Appliquée)

Faculté Polytechnique de Mons

Convention RW et SPGE – AQUAPOLE

Caractérisation hydrogéologique et support à la mise en œuvre de la Directive Européenne 2000/60 sur les masses d'eau souterraine en Région Wallonne

Délivrable D.2.22 – Partie MESO RWM011

Rapport de caractérisation de la MESO RWM011

TABLE DES MATIERES

<u>1</u>	<u>INTRODUCTION.....</u>	<u>5</u>
<u>2</u>	<u>CADRE GEOMORPHOLOGIQUE</u>	<u>7</u>
<u>3</u>	<u>GEOLOGIE DE LA MASSE D’EAU SOUTERRAINE ET DE SA COUVERTURE.....</u>	<u>9</u>
3.1	CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL.....	9
3.2	GÉOLOGIE DE LA MASSE D’EAU	11
3.3	GÉOLOGIE DES TERRAINS DE COUVERTURE	15
<u>4</u>	<u>HYDROGEOLOGIE DE LA MASSE D’EAU SOUTERRAINE</u>	<u>18</u>
4.1	CLASSIFICATION HYDROGEOLOGIQUE DES FORMATIONS GEOLOGIQUES	18
4.2	DESCRIPTION DES UNITES HYDROGEOLOGIQUES.....	21
4.3	PIEZOMETRIE.....	27
4.4	HYDRODYNAMIQUE DE(S) AQUIFERE(S).....	30
4.5	CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES.....	34
4.6	BILANS HYDROGEOLOGIQUES ET RESSOURCES EN EAU.....	36
4.6.1	BILANS HYDROGEOLOGIQUES	36
4.6.2	RESSOURCES EN EAU	38
4.6.2.1	Détermination des coefficients d’infiltration	39
4.6.2.2	Estimation des ressources renouvelables pour la masse d’eau RWM011.....	41
4.6.2.3	Répartition des ressources renouvelables au sein de la masse d’eau	42
4.6.2.4	Comparaison des ressources prélevées aux ressources renouvelables.....	43
4.6.2.5	Ressources renouvelables et ressources exploitables.....	46
4.7	RESEAU DE SURVEILLANCE QUANTITATIVE	47
4.8	INTERACTIONS EAUX DE SURFACE – EAUX SOUTERRAINES (ESO-ESU).....	51
4.8.1.1	Introduction.....	51
4.8.1.2	Cartographie - Typologie des interactions ESO-ESU.....	51
4.8.1.3	Cartographie de la masse d’eau RWM011.....	52
<u>5</u>	<u>ETAT QUALITATIF DE LA MASSE D’EAU SOUTERRAINE.....</u>	<u>55</u>
5.1	CARTOGRAPHIE RÉGIONALE DE LA CHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES	55
5.1.1	COMPOSITION CHIMIQUE « TYPE ».....	57

5.1.2	DIAGRAMMES DE PIPER.....	58
5.1.3	ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)	59
5.1.3.1	Analyse graphique sur les échantillons d'eau prélevés en été.....	60
5.1.3.2	Analyse graphique sur les échantillons d'eau prélevés en hiver	62
5.1.3.3	Conclusions concernant l'analyse « ACP »	62
5.1.4	MATRICES AUTO ORGANISANTES (SOMs).....	63
5.1.5	CONCLUSIONS GÉNÉRALES.....	63
5.2	RESEAU DE SURVEILLANCE QUALITATIF	64
5.3	APPLICATION DU SEQ-ESO ET RISQUE QUANTITATIF	64
6	<u>CONCLUSIONS</u>	<u>67</u>

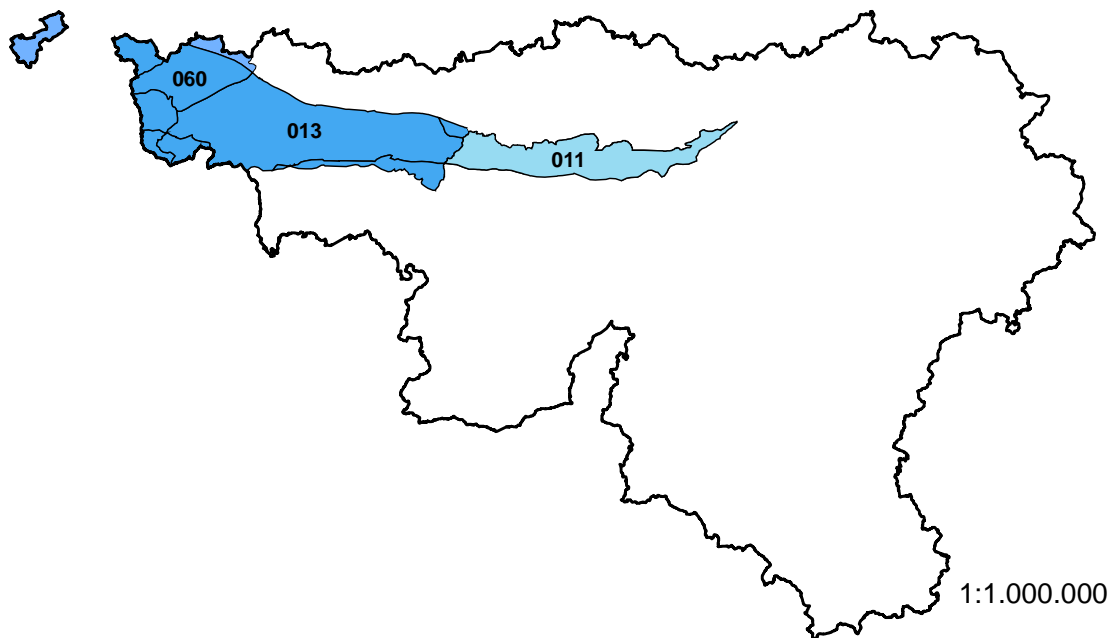
TABLE DES ANNEXES

Annexe 1	: Unités hydrogéologiques de la masse d'eau RWM011 – Ajouts des villes importantes.....	71
Annexe 2	: Légende des unités hydrogéologiques de la masse d'eau RWM011.....	72
Annexe 3	: Méga-unités de la RWM011 – Ajouts des villes principales.....	73
Annexe 4	: Tableau de correspondance Lithologie - Hydrogéologie.....	74

MASSE D'EAU SOUTERRAINE RWM011

—

CALCAIRES DU BASSIN DE LA MEUSE BORD NORD



1 Introduction

La masse d'eau souterraine RWM011 est dénommée « Calcaires du bassin de la Meuse bord nord ».

Elle s'étend de la zone située au Sud de Nivelles jusqu'au nord de Huy, en passant par Fleurus et Namur (Figure 1-1). D'une superficie de 800 km², sa longueur d'Ouest en Est est de 70 km pour une largeur de 8 km du côté Ouest se réduisant progressivement vers l'Est.

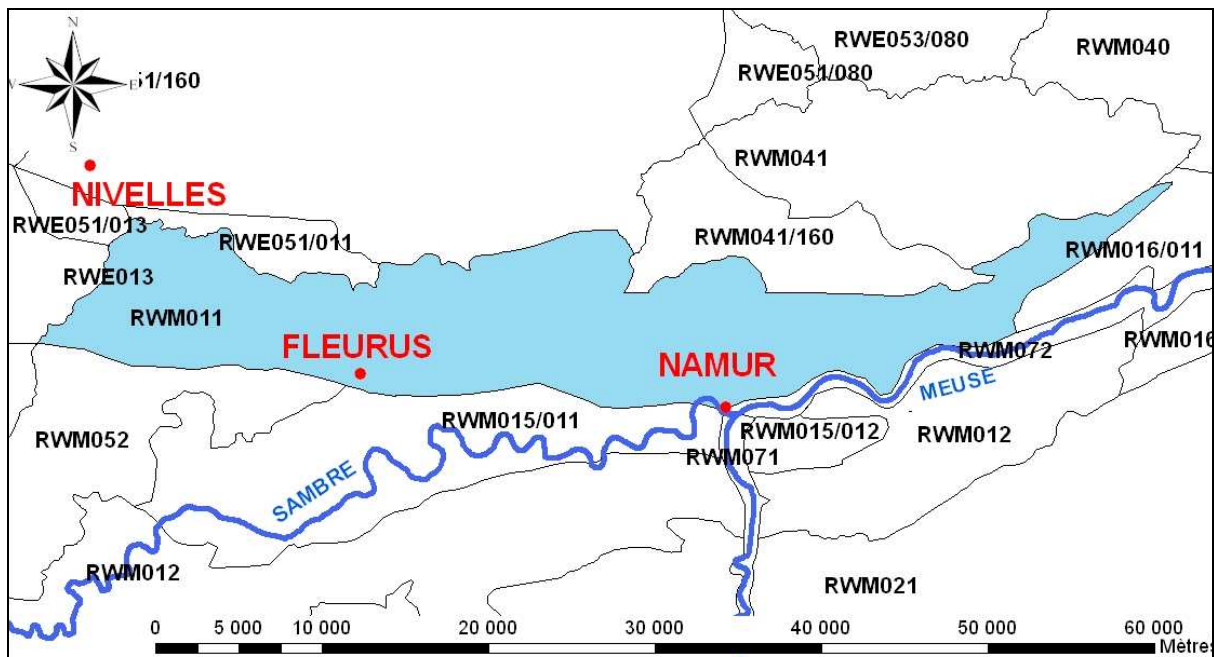


Figure 1-1 : Masse d'eau souterraine RWM011 et masses d'eau voisines

Cette masse d'eau concerne la partie Est de l'aquifère connu sous le nom d' « aquifère des calcaires Dévono-Carbonifères du Bord Nord du Synclinorium de Namur ». Cet aquifère est principalement formé de roches carbonatées, calcaires et dolomitiques et concerne trois masses d'eau. D'Ouest en Est, nous avons la RWE060, dénommée « Calcaires du Tournaisis », la RWE013 dénommée « Calcaires de Péruwelz-Ath-Soignies » et la RWM011 qui est présentée ici. Ces masses d'eau se situent dans deux bassins hydrographiques distincts : la RWE060 et la RWE013, appartiennent au bassin de l'Escaut tandis que la masse d'eau étudiée, RWM011, se trouve dans le bassin de la Meuse (Figure 1-2).

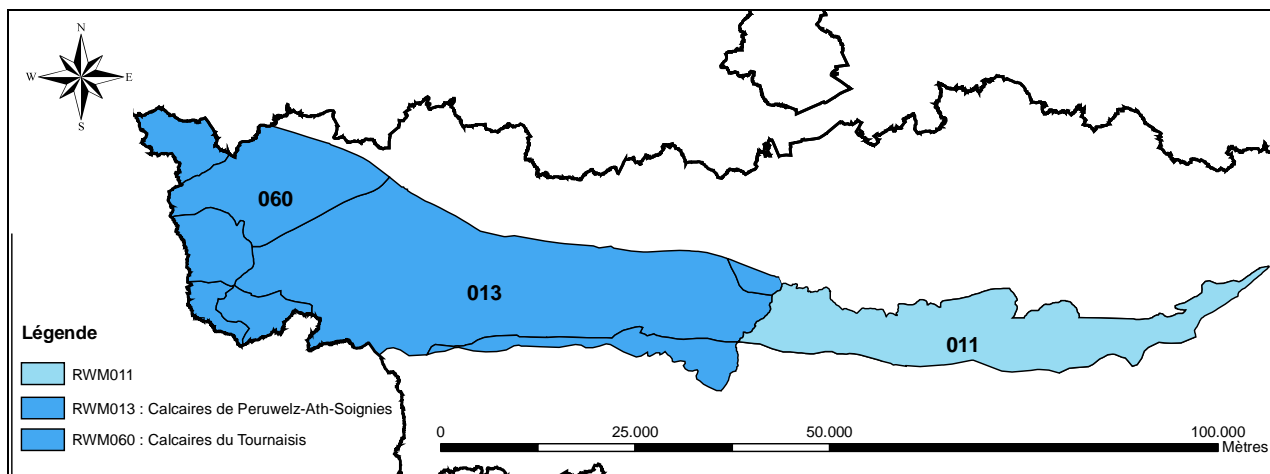


Figure 1-2: Extension de l'aquifère des Calcaires Dévono-Carbonifères (Masses d'eau souterraines RWM011 – RWE013 et RWE060).

Le volume total des prélèvements sur cette masse d'eau équivaut à 18.9% du volume total des prélèvements du district de la Meuse, soit 40 858 512 m³/an ou l'équivalent d'une lame d'eau de 51 mm/an répartie sur la superficie concernée. Elle constitue donc une ressource importante en eau souterraine à l'échelle de la Wallonie.

L'essentiel de la masse d'eau est un aquifère à bonne perméabilité et très productif composé de calcaires dévono-carbonifères à perméabilité de fissure et karstifié.

Les calcaires s'appuient au Nord sur le socle du Brabant et disparaissent au Sud sous les terrains houillers.

Cet ensemble plissé et abondamment faillé est partiellement recouvert, en couches subhorizontales, par des terrains sablo-argileux du Tertiaire plus épais à l'Ouest qu'à l'Est et par des limons et alluvions quaternaires.

2 Cadre géomorphologique

La masse d'eau couvre principalement les communes de Pont-à-Celles, Courcelles, Les Bons Villers, Fleurus, Sombreffe, Gembloux, Jemeppe-sur-Sambre, La Bruyère, Namur, Fernelmont, Andenne, Héron et Wanze.

L'examen de la carte d'occupation du sol de la Région Wallonne montre que la grande majorité de la masse d'eau correspond à un territoire essentiellement consacré à l'agriculture avec de nombreux champs et prairies. Deux zones font exception à cette tendance, celle de Namur où un habitat discontinu s'étale sur moins de 10 km² mais également la zone au Nord de Charleroi, qui développe un habitat discontinu et continu (Industries) sur 5 km². Pour le reste, seuls quelques grosses villes (Fleurus,...) et gros villages sont présents. Peu de zones boisées sont présentes sauf dans l'Est de la masse d'eau.

Du point de vue hydrologique, la masse d'eau reprend une partie des sous-bassins hydrographiques du bassin du Piéton, de l'Orneau, du Houyoux, de Gelbressée et Hainaut, et de la Mehaigne (Figure 2-1).

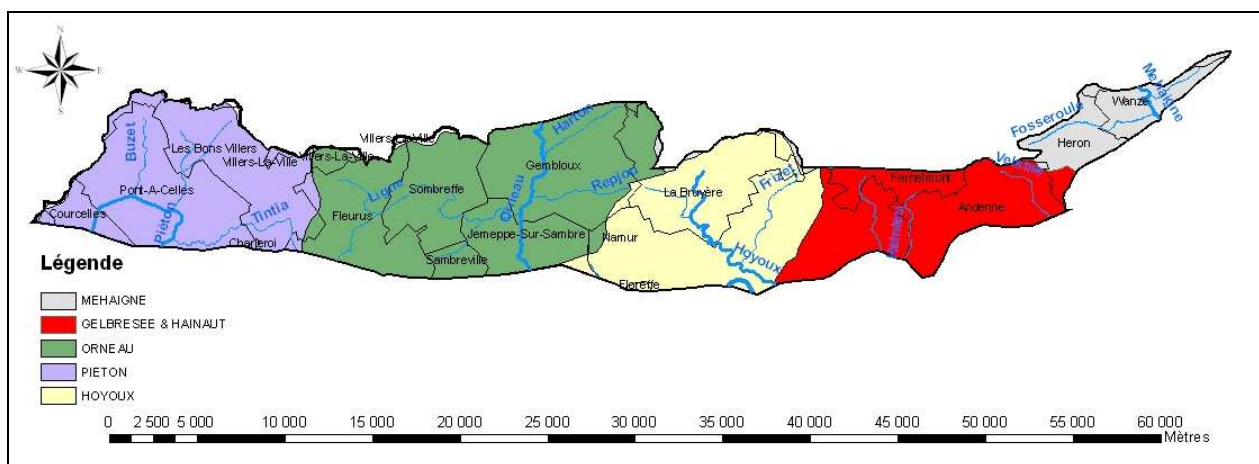


Figure 2-1 : Les différents sous-bassins hydrographique de la RWM011

Les principaux cours d'eau sont le Piéton, et ses affluents (Tintia, Buzet et Rampe), l'Orneau, et ses affluents (Ligne, Repjou, Harton), le Houyoux et son affluent (Frizet), la Gelbressée et le Hainaut et enfin, la Mehaigne et son affluent (Fossieroule).

A l'Ouest, aux environs de Pont-à-Celles, la masse d'eau est également traversée par le canal Charleroi – Bruxelles.

La masse d'eau s'étend à l'Ouest sous la plaine limoneuse hennuyère et à l'Est sous la Hesbaye namuroise.

Le paysage est dicté en grande partie par l'hydrographie et dans une moindre mesure par la géologie.

Le relief général est peu accentué et présente une altitude moyenne de 160 mètres. Ce plateau est toutefois creusé par les vallées du Piéton, de l'Orneau et du Houyoux (et de leurs affluents respectifs). A l'Ouest, le point le plus bas est dans la vallée de l'Orneau (120 mètres), qui est la plus encaissée. A l'Est, le point le plus bas (80m) se trouve en bord de Meuse, à Seilles. Le point culminant se trouve au Nord-Ouest de Namur, près du village de Bovesse à 192 mètres, au droit des formations du Givetien. Cependant, en général, les altitudes les plus élevées correspondent aux zones moins érodées par le réseau hydrographique et où se retrouve généralement la couverture sableuse.

3 Géologie de la masse d'eau souterraine et de sa couverture

3.1 Contexte géologique régional

Les roches aquifères contenant l'eau de la nappe des Calcaires du Carbonifère appartiennent à une structure plus vaste, résultant d'une histoire géologique complexe: l'unité para-autochtone de Namur.

Rappel de la structure géologique régionale

L'histoire géologique de la Wallonie peut se résumer de manière très succincte comme une succession de grands épisodes :

- dépôt d'une série sédimentaire cambro-silurienne ;
- plissement lors de l'orogénèse calédonienne et érosion ;
- sédimentation en discordance sur le socle calédonien d'une série dévono-carbonifère ;
- plissement varisque et érosion
- dépôt de façon discontinue, en discordance sur le socle varisque, de sédiments méso-cénozoïques.

Lors de l'orogénèse varisque, à la fin du Westphalien, on observe un raccourcissement dont la direction générale est N-S, marqué par le plissement des formations paléozoïques et le développement de chevauchements longitudinaux : la partie sud de l'ensemble plissé, le Synclinorium de Dinant, a été charriée sur la partie septentrionale, l'unité para-autochtone de Namur, par l'intermédiaire d'une faille de charriage de grande importance, la Faille du Midi ou Faille eifelienne (Figure 3-2).

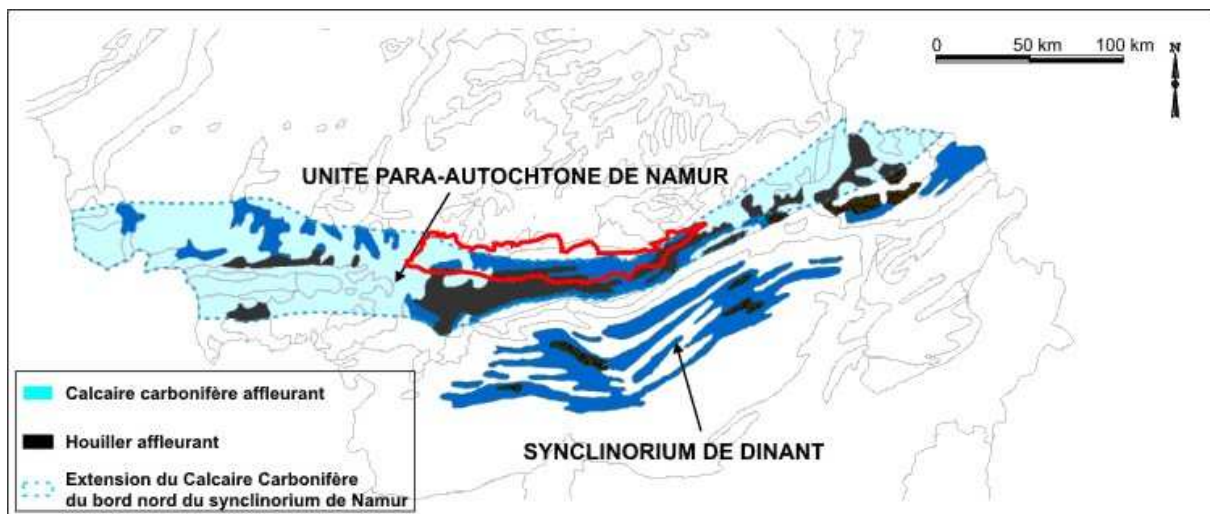


Figure 3-1 : Extension en Belgique des Calcaires Carbonifères du bord nord de l'Unité para-autochtone de Namur – Superposition (en rouge) de la masse d'eau RWM011

Font donc partie de l'unité para-autochtone de Namur les roches dévoniennes et carbonifères comprises entre les roches plus anciennes du Massif du Brabant (socle brabançon) et la Faille du Midi.

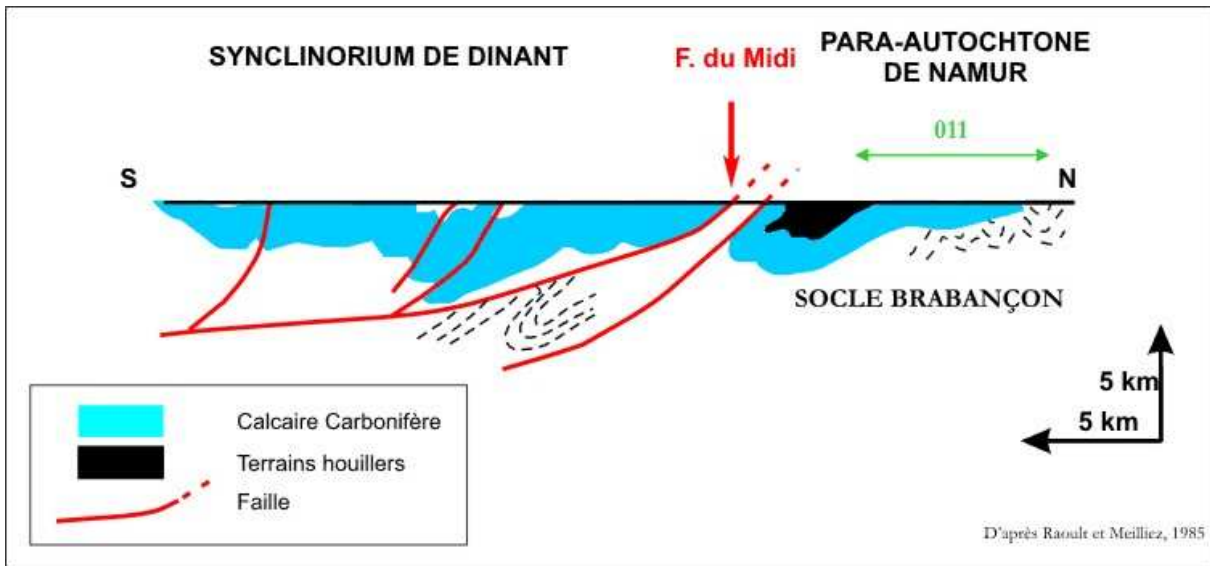


Figure 3-2 : Coupe structurale simplifiée de l'Unité para-autochtone de Namur et du synclinorium de Dinant – Superposition (en vert) de la masse d'eau RWM011

La masse d'eau RWM011 est située sur le flanc Nord de l'unité para-autochtone de Namur (Figure 3-1 et 3-2).

Dans cette unité se développe la nappe des Calcaires Dévono-Carbonifères. Ces calcaires s'étendent de l'Est de Namur à Lille, avec une extension latérale étroite de ± 2 km aux environs de Namur, et qui atteint un maximum de ± 30 km dans le Tournaisis (Figure 3.3). Le pendage général des couches est de 5° à 15° en moyenne, vers le Sud ou SSW.

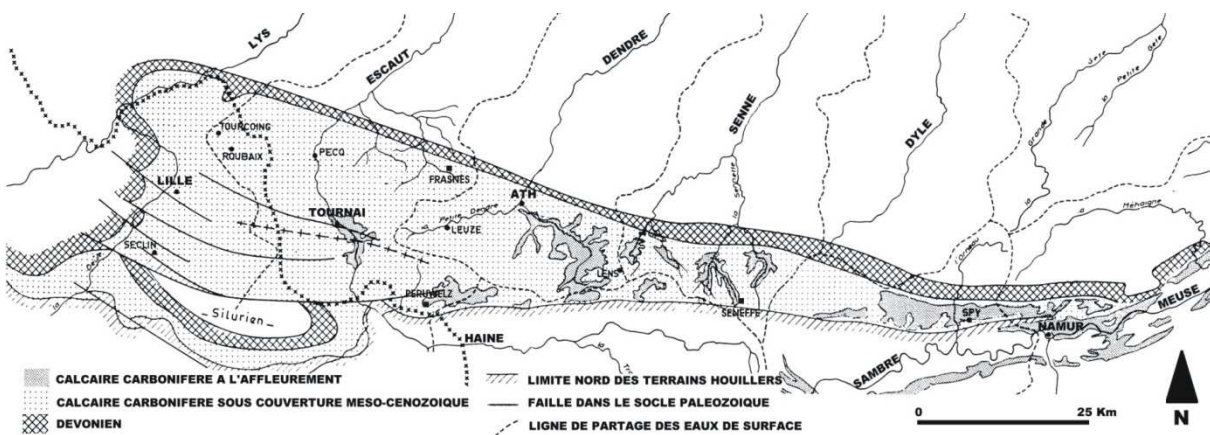


Figure 3-3: Extension de la nappe des calcaires dévono-carbonifères du bord nord de l'unité para-autochtone de Namur (d'après Youssouf H., 1973, modifié).

Une couverture cénozoïque repose en discordance sur le socle paléozoïque. Elle est quasi tabulaire, avec toutefois une légère pente vers le Nord-Ouest. Son épaisseur peut atteindre une vingtaine de mètres. Les formations éocènes sont elles-mêmes recouvertes par des loess pléistocènes en épaisseur fort variable et parfois importante.

Cette structure régulière est localement perturbée par la présence de poches karstiques profondes (jusqu'à un maximum de 50m) remplies de sédiments datant du Crétacé.

3.2 Géologie de la masse d'eau

La masse d'eau RWM 011 est formée principalement de terrains calcaires et dolomitiques, avec des passages plus ou moins schisto-argileux, affectés de fissures et discontinuités parfois karstifiées, reposant en discordance sur les terrains du Paléozoïque Inférieur (Massif du Brabant). Ces terrains sont en partie surmontés de sables et argiles crétacés et tertiaires, ainsi que d'argiles et limons quaternaires, en couches subhorizontales.

Sa limite Nord est principalement constituée par des crêtes hydrologiques sauf pour la zone reprenant une partie du massif cambro-silurien où elle est imprécise.

La frange Sud de la masse d'eau est déterminée par la limite d'affleurement des calcaires carbonifères qui ont un pendage Nord et qui s'enfoncent sous des terrains houillers peu perméables. La limite Sud de la masse d'eau a été fixée arbitrairement dans ces terrains houillers, considérant que les calcaires restent exploitables jusqu'à une profondeur de quelques centaines de mètres.

Les terrains présents dans la masse d'eau souterraine varient d'Ouest en Est et sont décrits ci-dessous, des plus anciens aux plus récents. Ils sont repris dans le tableau 4.1 qui montre une différenciation entre l'Ouest et l'Est dues aux variations de faciès.

L'Ordovicien est caractérisé par plusieurs formations qui ont été regroupées sous le terme « Formations ordoviciennes indifférenciées ». A l'Est, ces terrains du Massif du Brabant affleurent dans le Nord de la masse d'eau, sur de faibles étendues. Les formations observées présentent toutes un caractère schisteux. A l'Ouest, par contre, ces terrains sont complètement recouverts par la couverture cénozoïque. Même l'incision des vallées est insuffisante pour faire affleurer ces roches. Par continuité, on peut néanmoins supposer leurs présences.

Le Silurien est composé de plusieurs formations qui ont été regroupées sous le terme « Formations siluriennes indifférenciées ». Elles affleurent, au centre de la masse d'eau, dans la partie amont de la vallée de l'Orneau et dans la vallée de la Sombre, affluent de la Ligne. Elles sont composées principalement de schistes, de siltites, de phyllades et de grès micacés. Toutes ces formations ont une épaisseur supérieure à 100 mètres.

Les roches du Dévonien reposent en discordance sur le socle ordovicien-silurien. Ce système est représenté par les étages : Givetien, Frasnien et Famennien.

La première formation date exclusivement du Givetien. Elle est formée de siltite, de calcaire, de grès, de conglomérats et de dolomie. A l'Ouest, le caractère calcaire ressort plus qu'à l'Est.

La Formation du Bois de Bordeaux (BOR – Dévonien moyen, Givetien) représente les premières couches discordantes sur le socle cambro-silurien du Massif du Brabant. Absente à l'affleurement, elle est divisée en trois membres et correspond à des dépôts continentaux, alors que les roches sus-jacentes sont clairement d'origine marine.

La première formation du Frasnien, la formation de Bossières, n'est présente qu'à l'Est de la masse d'eau. Elle est composée de schistes.

La formation de Bossières (BOS) composé de schistes fins à oolithes ferrugineuses (hématite). Son épaisseur est faible, 10 m maximum.

La seconde formation du Frasnien, la formation de Bovesse, est constituée, à l'Ouest, de schistes incorporant des lentilles de calcaires dolomités construits et des intercalations de calcaires argileux et à l'Est, de calcaires et de dolomies.

A l'Ouest, la *Formation de Bovesse (BOV – Dévonien supérieur, Frasnien)*, elle est tout d'abord formée de lentilles de dolomie massive, souvent pulvérulente, dense ou caverneuse, leur épaisseur pouvant atteindre 20 m ; ensuite, elle est formée de schistes entourant les lentilles dolomitiques du membre précédent et s'enrichissant en nodules calcaires à leur proximité. L'épaisseur de ce membre est de 70 à 90 m, hors développement des lentilles du membre de Combreuil.

A l'Est, la *Formation de Bovesse (BOV – Dévonien supérieur, Frasnien)*, est constituées de calcaires et de dolomies. Son épaisseur est approximativement de 100 mètres.

La troisième formation du Frasnien comporte des bancs épais de calcaires nodulaires gris-bleu très fossilifères.

La *Formation de Rhisnes* (RHI – Dévonien supérieur, Frasnien) varie latéralement.

A l'Est, elle est caractérisée par des calcaires nodulaires, calcaires stratifiés, très fins et noirs, riches en brachiopodes avec localement des bancs calcaires à coraux et stromatopores. Son épaisseur est d'une quarantaine de mètres pouvant atteindre 80m dans la vallée de l'Orneau.

A l'Ouest, elle se divise en trois membres d'épaisseur quasi équivalente (de 90 à 120m au total). La partie inférieure, le *Membre de Watiamont* (WAT) (épaisseur entre 30 et 45 m) est constitué de calcaires argileux et noduleux, souvent très fossilifères et parfois partiellement dolomités et la partie supérieure, le *Membre de Falnuée* (FAL) (épaisseur entre 60 et 75 m) constitués de bancs épais de calcaires nodulaires gris-bleu très fossilifère. En ce qui concerne la partie centrale, nous retrouvons à l'extrême Ouest un calcaire stratifié rugueux (*Membre de la Rocq*, RCQ) et à au centre de la masse d'eau un calcaire noir très fin (*Membre de Golzinne*, GZN). La variation latérale doit se produire dans la partie Ouest de la masse d'eau mais le lieu et la nature de cette transition sont inconnus en raison du manque d'informations disponibles. Cette formation est considérée comme étant la base de l'aquifère des calcaires dévono-carbonifères.

La quatrième formation fait la jonction entre le Frasnien et le Famennien. Sa lithologie est totalement différente de celle des autres formations dévoniennes : il s'agit de schistes.

La *Formation de Franc-Waret* (FRW – Dévonien supérieur, Frasnien à Famennien) est représentée par des schistes brunâtres avec quelques traces fossilifères et contient aussi un horizon d'oolithes ferrugineuses (hématite), autrefois exploité. (Épaisseur : 20 m maximum). La base de cette formation est d'âge nettement frasnien.

Le dernier membre du Famennien se nomme le *Membre du Bois de la Rocq*. C'est un ensemble gréseux à intercalations calcaires et schisteuses. Ces couches s'épaississent vers l'Est et deviennent de plus en plus importante.

Le *Membre du Bois de la Rocq* (BDR – Dévonien supérieur, Famennien) constitue la base de la Formation de la Samme. C'est un ensemble gréseux à intercalations calcaires et schisteuses. Ces couches s'épaississent vers l'Est et peuvent atteindre 45 m.

La sédimentation carbonatée du Carbonifère commence avec le Dinantien (Tournaisien et Viséen) et devient terrigène au Silésien (Namurien et Westphalien).

Le premier membre, dénommé le *Membre de Feluy* n'est présent qu'à l'Ouest de la masse d'eau.

Le *Membre de Feluy* (FEL – Tournaisien, Hastarien) se compose d'un calcaire très varié, gréseux ou dolomitique et fossilifère. Il fait partie de la Formation de la Samme, qui est à cheval sur la Dévonien et le Carbonifère.

La formation suivante constitue un intercalaire schisteux de quelques mètres dans la série des calcaires. Cette formation affleure au centre de la masse d'eau (vallée de l'Orneau) et non à l'Ouest.

Le *Formation du Pont d'Arcole* (PDA – Tournaisien, Hastarien) est faite de schistes fins brun-verdâtre à gris-brunâtre à joints fossilifères. Dans la vallée de l'Orneau, leur épaisseur est de 8 à 10 m.

Les huit dernières formations du Dinantien sont principalement composées de calcaire, mais également de calcaire partiellement dolomitisé, de calcschistes, de calcaires argileux, de dolomies et de brèches. Certaines de formations varient latéralement (voir tableau).

Le *Formation de Landelies* (LAN – Tournaisien, Hastarien) correspond, dans sa partie inférieure, à une alternance de calcaires crinoïdiques partiellement dolomitisé, en bancs peu réguliers et de calcschistes. Il semble que le calcaire prenne plus d'importance en montant dans la formation.

Le *Formation de Lalaing* (LAL – Tournaisien, Ivorien) est constituée de calcaires argileux stratifiés en petits bancs. Plusieurs niveaux riches en cherts ou dolomitiques existent.

Cette formation est présente, à l'Ouest de l'Orneau où elle atteint à Balâtre 25 m d'épaisseur. Elle est formée principalement de calcaires et de dolomies stratifiés avec des intercalations de calcschistes.

Varie latéralement

Le *Formation des Ecaussinnes* (ECA – Tournaisien, Ivorien) n'affleurent qu'aux alentours de Ligny, où il était intensivement exploité autrefois (Le Petit Granit de Ligny) Il est composée de bancs métriques d'encrinite grise à noire. L'épaisseur de cette formation est supérieure à 30 m.

Le *Formation de Namur* (NMR – Tournaisien, Ivorien à Viséen, Molinacien) correspond à une variation latérale de faciès des unités calcaires observées plus à l'Ouest (Malon-Fontaine, Montils, Grand Chemin). Ici, ces calcaires du Tournaisien supérieur sont affectés par une dolomitisation secondaire. Le passage latéral n'est pas visible et doit vraisemblablement s'opérer sous la couverture éocène à l'Ouest de la masse d'eau.

Au centre, la formation est marquée par une dolomitisation complète. Elle est constituée de dolomies très crinoïdiques et stratifiées s'intercalant dans des horizons de dolomies à cherts. La partie supérieure comporte des calcaires et des calcaires dolomitiques assez massifs et grenus, et des dolomies claires. Son épaisseur est d'environ 200 m.

Le *formation d'Onoz* (ONO) est constituée, de bas en haut, de bancs de calcaire noir, en bancs minces, argileux et dolomitique, puis de couches de dolomies intercalées à des gros bancs métriques de

calcaire (*membre de la Carrière du Parc*). Ensuite apparaissent des calcaires mieux stratifiés noirs et souvent fort fins, avec des bancs de calcaires à oolithes, de calcaires argileux et de calcaires bréchifiés (*membre de la Carrière Leurquin*). L'épaisseur de cette formation est comprise entre 120 et 150 m.

La *Formation de Lives* (LIV – Viséen, Livien) rassemble des calcaires stratifiés et des brèches intercalées, plus développées vers le sommet. L'épaisseur de cette formation est variable, fonction du développement des brèches, pouvant atteindre la centaine de mètres.

La *Formation de Viesville* (VIE – Viséen, Warnantien) est constituée de l'alternance de bancs de calcaires noirs, de couches de calcschistes et de plaquettes de calcaires argileux. A proximité de la surface du sol, ces calcaires sont silicifiés, rendant leur distinction vis à vis des phanites de la base du Houiller très difficile.

Le Silésien est formé par le groupe Houiller. Il est composé de schistes, de siltites et de grès contenant des couches de charbon. Divisé en quatre formations distinctes, son épaisseur totale peut être estimée à plus de 700 mètres.

3.3 Géologie des terrains de couverture

Des terrains meubles recouvrent les roches qui forment l'essentiel de la masse d'eau. Ils sont principalement présents dans la partie Ouest de la masse d'eau, mais également par partie dans la partie Est. Leur lithologie est détaillée ci-après.

Le Crétacé est composé de deux formations. La première contient des sables et des argiles. Ces terrains sont présents dans des poches karstiques et peuvent atteindre des profondeurs assez importantes. La seconde est présente, entre autres, dans le bassin de l'Orneau, au droit du village de Loncée et est composée d'une argile sableuse glauconieuse.

Entre les couches éocènes et le socle paléozoïque ont été recoupés des poches karstiques. Elles sont remplies de sédiments fort hétérogènes, constitués de sables clairs et d'argiles sombres. Leur âge est assez imprécis mais ils pourraient être raccordés à la *Formation du Hainaut* (HAI, Crétacé inférieur).

Les formations du Crétacé Supérieur sont présentes dans le bassin de l'Orneau, au droit du village de Loncée d'où le nom de la formation : la *formation de Loncée* (LON), d'âge sénonien-santonien. Elle est composée d'une argile sableuse glauconieuse, à fragments crayeux riche en débris coquilliers.

Le Paléogène est formé de trois séries : le Paléocène, l'Eocène et l'Oligocène.

Le Paléocène est présent que très localement dans la partie Ouest de la masse d'eau. Il est composé de sables siliceux fins, avec des couches d'argiles plastiques ou sableuses.

La formation d'Erquelines (ERQ) n'a été observée que très localement, par exemple au Sud-Est de Spy. Elle est composée de sables siliceux fins, avec des couches d'argiles plastiques ou sableuses.

L'Eocène est représenté par deux étages. Le premier, l'Yprésien, est divisé en deux formations. La première comprend des terrains de composition assez hétérogène, avec une alternance de couches d'argiles et de sables. Cette formation n'est présente qu'à l'Ouest de la masse d'eau car à l'Est, elle a été érodée par la transgression qui a permis la sédimentation des sables bruxelliens. La seconde formation de l'Yprésien est globalement représentée par des sables fins, un peu argileux. Le second étage de l'Eocène est divisé en deux formations. La première, la Formation de Bruxelles recouvre une grande partie de la masse d'eau. Elle est principalement formée de sables. Au sud de la masse d'eau, cette formation ne forme plus que quelques lambeaux comblant les poches paléokarstiques et de ce fait préservés de l'érosion. La seconde formation est également constituée de sables.

La Formation de Carnières (CAR - Eocène, Yprésien) a une composition assez hétérogène, avec une alternance de couches d'argiles gris foncé et de sables gris et fin. A l'extrême Ouest, la base est soulignée par un gravier à silex ou à débris de roches. A l'Est, cette formation a été érodée par la transgression des sables bruxelliens (épaisseur : de 0 à 15m).

La Formation de Mons-en-Pévèle (MEP – Eocène, Yprésien) est représentée par des sables fins, un peu argileux, renfermant quelques lentilles d'argile plastique (le plus souvent dans la partie supérieure). Son extension est limitée, son épaisseur peu importante et la transition avec la formation sous-jacente est malaisée. Seul le caractère sableux plus dominant de cette formation permet leur différenciation.

La Formation de Bruxelles (BXL – Eocène, Lutétien) recouvre une grande partie de la masse d'eau. Elle se caractérise par des sables grossiers (faciès plus siliceux) dans sa partie inférieure et des sables plus fins (faciès plus carbonaté), légèrement argileux au sommet. Son épaisseur est très variable et peut atteindre la vingtaine de mètres. On note la présence de nodules gréseux en bancs ou en éléments isolés («pierres de grotte»), ainsi que d'un gravier à silex, à la base.

Au sud de la masse d'eau, cette formation ne forme plus que quelques lambeaux comblant les poches paléokarstiques et de ce fait préservés de l'érosion. Au droit de ces poches de dissolution, on a observé des dépôts sur 15 m de profondeur.

La Formation de Lede (LED – Eocène, Lutétien) est constituée de sables jaunâtres fins, bigarrés de concrétions ferrugineuses rouges et dont la base est plus graveleuse.

L'Oligocène est scindé en deux parties, l'une reprenant les dépôts inférieurs marins (sables quartzeux) et l'autre reprenant les dépôts supérieurs continentaux (argiles avec sables intercalés).

Le Quaternaire reprend les limons et alluvions. Il est essentiellement constitué par les dépôts limoneux du Pléistocène. Ces limons sont très homogènes et composés de dépôts éoliens (poussières) siliceux, argileux et calcaires très fins. Les limons n'ont toutefois pas été cartographiés.

Les alluvions sont composées d'argiles et de limons, accompagnées de lentilles sableuses, tourbeuses et de graviers lorsque le socle est entaillé. Quelques horizons tourbeux de faible importance ont été signalés dans les vallées.

4 Hydrogéologie de la masse d'eau souterraine

4.1 Classification hydrogéologique des formations géologiques

Les formations géologiques sont regroupées selon leurs caractéristiques hydrodynamiques en unités hydrogéologiques. Les regroupements choisis et leurs appellations sont celles utilisées dans le cadre des cartes hydrogéologiques de Wallonie. Les unités sont qualifiées d'aquifère, aquitard ou aquiclude en fonction de la perméabilité des formations :

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

Ces terrains décrits ci-dessus peuvent être regroupés suivant leur caractéristique en unités hydrogéologiques (Tableau 4-1). Toutefois, les variations d'Est en Ouest doivent être soulignées. Le tableau est donc différent à l'Ouest et à l'Est (*Note : les lacunes géologiques sont laissées en blanc*). (Pour plus de détails, voir figure Annexe 4).

VERS L'OUEST

VERS L'EST

Ere	Système	Série	Etage	Groupe	Formation	Membre	Abréviation	Lithologie	Hydrogéologie	Hydrogéologie	Lithologie	Abréviation	Membre	Formation	Groupe	Etage	Série	Système	Ere	
CENO ZOIQUE	Quaternaire	Holocène					AMO - LIM	Alluvions modernes, Limons	Aquifère des alluvions et de couverture	Aquifère des alluvions et de couverture	Alluvions modernes, Limons	AMO - LIM					Holocène	Quaternaire	CENO ZOIQUE	
		Pléistocène																Pléistocène		
	Paléogène	Oligocène								Aquitard	Aquifère	Argiles plastiques avec sables intercalés						Oligocène		
		Eocène	Lutétien	Senne	Lede		LED		Sable	Aquifère des sables éocènes	Aquifère des sables éocènes	Sable quartzeux, grès fistuleux et argile glauconifères						Lutétien		Eocène
			Yprésien	Ypres	Mons-en-Pévèle		MEP		Sable argileux	Aquifère des argiles yprésiennes										
Paléocène	Thanétien		Erquelines		ERQ		Sable siliceux	Aquifère									Paléocène			
MESO.	Crétacé	Supérieur	Santonien		Lonzée		LON	Argile sableuse	Aquitard	Aquitard	Sables et marnes	CP2		Herve		Senonien	Supérieur	Crétacé	MESO.	
Inférieur			Hainaut		HAI			Sable, Argile	Aquiclude du Crétacé inférieur								Inférieur			
PALEOZOIQUE	Carbonifère	Westphalien							Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller	Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller	Grès souvent feldspathiques, shales siliceux, schistes, phanite, houille maigre	H1a - H1b			Houiller inférieur		Westphalien	Carbonifère		
		Namurien		Houiller		HOU		Schiste, Siltite et Grès contenant des couches de charbon											Namurien	
		Viséen	Warrantien		Hoyoux		HOY		Calcaire stratifié					HOY		Hoyoux				Viséen
				Viesville		VIE		Calcaire, Calcschiste						V2c		Grand Malade				
				Livien		LIV		Calcaire à intercalation bréchique						LIV		Lives				
		Tournaisien	Molinacien		Onoz		ONO		Calcaire						V2a		Neffe		Dinant	
				Namur		NMR		Calcaire, Dolomie							NAM		Namur			
				Ivoirien		Ecaussinnes		ECA		Calcaire									Ivoirien	
				Lalain		LAL		Calcaire argileux												
			Landelles		LAN		Calcaire								LAN		Landelles			
		Hastarien		Pont d'Arcole		PDA		Schiste	Aquiclude des schistes du Carbonifère	Aquiclude des schistes du Carbonifère	Schiste	PDA		Pont d'Arcole		Hastarien				
				Feluy		FEL		Calcaire noduleux, Calcaire gréseux	Aquifère d'Hastière	Aquifère d'Hastière										
				Samme		BDR		Grès à intercalation de calcaire et de schiste	Aquifère des grès dévonien	Aquifère des grès dévonien	Calcaire siliceux, psammite	BDR			Bois de la Rocq	Famennien				
				Franc-Waret		FRW		Schiste	Aquiclude	Aquiclude	Grès à ciment calcaire	FRW			Franc-Waret					
	Dévonien	Supérieur	Rhisnes		Falnuète		FAL		Calcaire noduleux	Aquifère des calcaires frasniens	Aquifère des calcaires frasniens	Calcaires nodulaires, calcaires stratifiés, très fins, noirs			Rhisnes		Frasnien			
			Rocq/Golzine		RCO/GZN		Calcaire													
		Watiament		WAT		Calcaire noduleux														
		Bovesse		BOV		Schiste, Calcaire argileux		Aquiclude du Dévonien	Aquiclude	Calcaires et dolomies	BOV		Bovesse							
Moyen		Givetien		Bois de Bordeaux		BOR		Siltite, Grès, Calcaire	Aquifère du Givetien	Aquifère du Givetien	Siltite rouge, calcaire et conglomérat	BOR		Bois de Bordeaux	Givetien					
			Mazy				Calcaire, Schiste													
			Alvaux				Grès, Siltite, Calcaire													
			Mautiennes																	
Silurien	Ludlow		Gorstien														Ludlow	Silurien		
	Wenlock	Homerien																		
		Sheinwoodien																		
	Llandoverly		Telychien																	
			Aeronien																	
			Rhuddanian																	
Ordovicien	Ashgill		Ashgillien														Ashgill			
	Caradoc		Caradocien														Caradoc			

Tableau 4-1 : Tableau de correspondance Lithologie - Hydrogéologie

Les terrains ordoviciens et siluriens présentent une lithologie proche (schistes, siltites, avec des passages gréseux ou calcaires). Hydrogéologiquement, ils sont regroupés et forment « l'aquifère local de fissures et d'altération du socle cambro-silurien ».

Les terrains dévoniens forment des unités hydrogéologiques qui se correspondent mais avec des nuances dues aux variations latérale de faciès.

A l'Ouest, l'aquifère du Givetien est formé de trois membres de nature différente, alors qu'à l'Est, il est représenté par une seule formation.

La première formation du Frasnien, la formation de Bovesse, constitue tant à l'Est qu'à l'Ouest, l'aquiclude du Dévonien.

Cette deuxième formation, celle de Rhisnes, forme l'aquifère des calcaires frasniens.

La troisième formation, celle de Franc-Waret, est de nature schisteuse. Elle constitue un aquiclude tant à l'Ouest qu'à l'Est.

La formation de Bois de la Rocq est un aquifère composé de bancs de calcaires et de grès.

La sédimentation du Carbonifère est divisée en deux parties : le Dinantien (Tournaisien et Viséen) et le Silésien (Namurien et Westphalien).

A l'Ouest, le premier membre du Dinantien est dénommé le Membre de Feluy. Il est composé de calcaires noduleux et de calcaires gréseux. A l'Est, il est dénommé Formation d'Hastière et est composé de calcaires dolomitiques.

La formation suivante (Pont d'Arcole) est composée de schistes et est donc aquiclude.

Les dernières formations du Dinantien forment, autant à l'Ouest qu'à l'Est, malgré certaines variations latéral de faciès, « l'aquifère des calcaires carbonifères » (Tableau 4-1). En général, les formations tournaisiennes sont plus massives et donc moins perméables que celles du Viséen. Les formations viséennes, plus dolomitiques, sont très productives.

La seconde partie du Carbonifère (la plus récente) reprend les terrains du Silésien, est constituées de schistes comprenant des niveaux gréseux. Elle forme l'aquiclude à niveaux aquifères du Houiller.

Le Crétacé est divisé en deux parties : Inférieur et Supérieur.

Le Crétacé Inférieur, uniquement présent par place à l'Ouest, est composé de sables et d'argiles et forme « l'aquiclude de remplissage du Hainaut ».

Le Crétacé Supérieur, composé d'argile, forme « l'Aquitard du Santonien ». Il est présent au centre de la masse d'eau et à l'Est.

Le Paléogène est formé de trois séries : le Paléocène, l'Eocène et l'Oligocène.

Le Paléocène est présent dans la partie Ouest de la masse d'eau. Il y forme « l'Aquifère des sables du Paléocène ».

L'Eocène est représenté par deux étages. Le premier, l'Yprésien, est divisé en deux formations. La première n'est présente qu'à l'Ouest de la masse d'eau et forme « l'aquiclude des argiles yprésiennes ». La seconde formation de l'Yprésien, n'est également présente qu'à l'Ouest et forme avec les formations du Lutétien « l'Aquifère des sables de l'Eocène ». A l'Est, seule la formation de Bruxelles (aquifère des sables bruxelliens) est présente dans cet aquifère des sables de l'Eocène.

L'Oligocène est scindé en deux parties, l'une contenant des sables forme un aquifère, l'autre reprenant les dépôts supérieurs continentaux (argiles avec sables intercalés), forme un aquitard.

Les terrains du Quaternaire sont regroupés dans l'aquifère « des Alluvions et de couverture ».

4.2 Description des unités hydrogéologiques

La carte ci-dessous reprend l'extension des différentes unités hydrogéologiques (Figure 4-1, pour plus de détails, Figure Annexe 1) ainsi que quelques grandes villes.

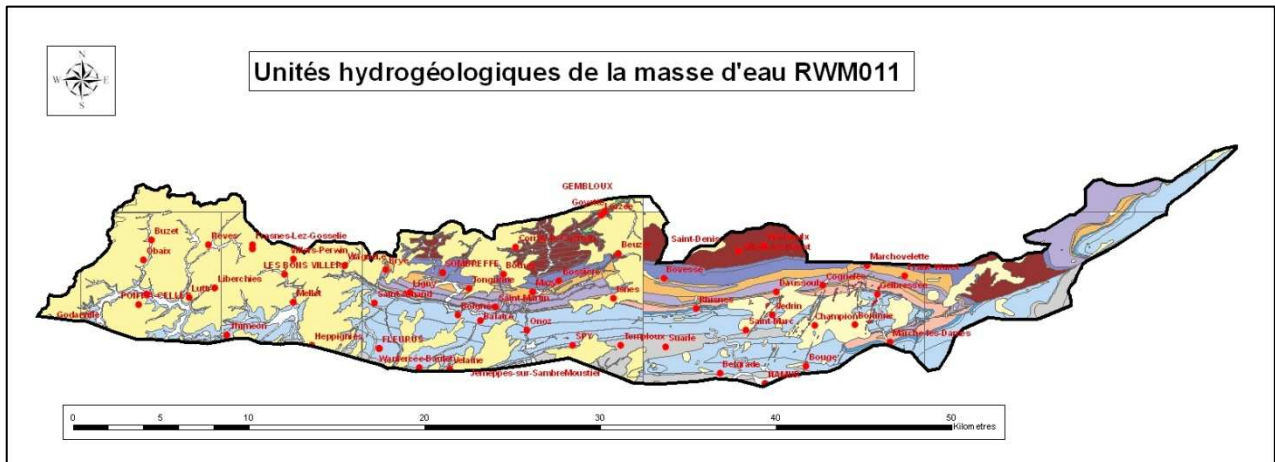


Figure 4-1 : Unités hydrogéologiques de la masse d'eau RWM011 et grandes villes (Légende en fin de rapport Figure Annexe 2)

La masse d'eau recense 18 unités hydrogéologiques. De la plus ancienne à la plus récente, nous avons :

- Aquifère local de fissures et d'altération du socle Cambro-Silurien

Situé dans la partie Nord de la masse d'eau, il est recouvert en partie par des sables (Sables de l'Eocène), le reste étant à l'affleurement (principalement aux environs de Corroy le Château/Lorzée, où sa largeur est de 3 km). Les formations schisteuses de cet aquitard sont très peu perméables. Il présente toutefois des potentialités aquifères locales, dans certains niveaux gréseux ou altérés. Ces potentialités sont généralement mises à profit pour le prélèvement de quantités réduites (usage local).

On peut distinguer deux types de nappes dans les niveaux aquifères du socle cambro-silurien : la nappe d'altération du sommet contenu dans le colluvium et la nappe des fissures en profondeur (cfr cartes hydrogéologiques Gouy les Piéton / Gosselies et Fleurus/Spy).

- Aquifère du Givetien

Les formations calcaires du Givetien contiennent une nappe de fissures au caractère fortement karstique. Cet aquifère est limité, au Nord, par les formations schisteuses du socle cambro-silurien et au Sud, par les formations schisteuses du Frasnien. A l'affleurement, il forme une bande d'extension Est-Ouest allant des environs de Sombreffe jusqu'à Beuzet, d'environ 1 km de large (Figure 4-9).

- Aquiclude du Dévonien :

Dans la partie Ouest de la masse d'eau, la formation de Bovesse de nature principalement schisteuse est considérée comme aquiclude puisque formée de terrains peu perméables. Cette formation s'intercale entre l'aquifère des calcaires du Givetien et l'aquifère des calcaires du Frasnien. Elle est présente à l'affleurement sous forme d'une bande allant de Brye (à l'Ouest) à Bovesse (à l'Est). La largeur à l'affleurement de cette formation est d'environ 500 mètres (Figure 4-1, pour plus de détails, Figure Annexe 1)

- Aquifère des calcaires du Frasnien :

La formation de Rhisnes, de nature calcaire, contient une nappe de fissures au caractère fortement karstique. Cet aquifère s'étend, d'Ouest en Est, avec une largeur de 700-800 mètres. Il est peu exploité, mis à part la galerie de la Mine de Vedrin (Vivaqua). Quelques puits de particuliers sont également présents.

- Aquiclude du Frasnien-Famennien:

La formation de Franc-Waret est de nature schisteuse et donc peu perméable. Son épaisseur est de l'ordre de la dizaine de mètres. Elle est présente entre l'aquifère des calcaires du Frasnien et l'aquifère des grès dévoniens.

- Aquifère des grès du Famennien:

Ces formations essentiellement composées de grès et de grès à ciment calcaire, forment un aquifère relativement important. La porosité des grès donne à cet aquifère une capacité importante, mais son exploitabilité dépend fortement de la perméabilité influencée essentiellement par la fracturation. Elle est qualifiée de « nappe de fissures » dans les grès micacés fracturés. Quant ces grès sont altérés en sable (par dissolution du ciment carbonaté), le potentiel aquifère est accru par la perméabilité de pores. Elle se présente à l'affleurement sous la forme d'une bande discontinue, orientée Est-Ouest, de largeur variable de 50m à plusieurs centaines de mètres d'Ouest en Est. Par sa lithologie, cet aquifère est moyennement perméable et est en relation latérale avec la nappe des calcaires carbonifères. En allant vers l'extrême Ouest de la masse d'eau, cette formation devient de plus en plus calcaire et appartient alors au système hydrogéologique que sont les calcaires dévono-carbonifères.

- Aquifère d'Hastière:

A l'Ouest, il est constitué par le membre de Feluy, composé de calcaires noduleux et de calcaires gréseux, tandis qu'à l'Est, il est représenté par la Formation d'Hastière de nature calcaro-dolomitique.

- Aquiclude des schistes du Carbonifère:

La formation schisteuse de Pont d'Arcole est peu perméable. Son épaisseur est de l'ordre de la dizaine de mètres. Elle forme un aquiclude peu épais qui peut constituer une séparation hydraulique entre l'aquifère d'Hastière et l'important aquifère des calcaires carbonifères. Cette séparation hydraulique est surtout sensible à proximité des prises d'eau, ailleurs, elle est peu exprimée.

- Aquifère des calcaires du Carbonifère :

Les formations calcaires du Tournaisien et du Viséen, sauf les deux premières, peuvent être groupées en une seule unité hydrogéologique. Ces formations contiennent l'aquifère principal de la masse d'eau RWM011. Les roches aquifères contenant l'eau de la nappe des calcaires appartiennent à l'unité para-autochtone de Namur. Celles-ci sont comprises entre les formations

gréseuses du Famennien et les premières assises des schistes houillers. D'extension Est-Ouest, la largeur de cet aquifère varie de 7km à l'Ouest à 2 km à l'Est (Namur) (Figure 4-7).

Cet aquifère est en partie recouvert par les sables de l'Eocène. Il affleure des environs de Thimeon, jusqu'à l'Est de Spy où sa largeur à l'affleurement est de 3,5 km.

Il s'agit d'un aquifère de fissures, pouvant être localement karstifié. Dans la vallée de l'Orneau, dans la région d'Onoz et de Balâtre, la présence de grottes, de fissures élargies et de conduits dans la roche calcaire indique une karstification intense (Atlas du karst wallon, 1996). Au contact des formations schisto-gréseuses du Silésien, des phénomènes karstiques, que certains attribuent à la circulation des eaux acides provenant de l'altération des pyrites des formations du Silésien, sont observés.

Les limites d'extension de la nappe des calcaires sont :

- au Nord, la formation de Pont d'Arcole ;
- au Sud, les terrains houillers (il s'agit d'une limite arbitraire, à l'affleurement, puisque les couches calcaires continuent sous le houiller).

- Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller :

Les terrains schisto-gréseux houillers renferment des nappes locales de fissures dans les horizons gréseux.

- Aquiclude du Crétacé inférieur:

Entre les couches éocènes et le socle paléozoïque ont été recoupés par place des formations, peu perméables, hétérogènes, principalement constitués de sables et d'argiles. Ces terrains sont rapprochés des assises du Hainaut et se retrouvent dans des dépressions et des poches au-dessus des calcaires.

- Aquitard du Santonien:

Cette formation constituée principalement d'argile, de sable et de marnes est présente de manière très locale : dans le bassin de l'Orneau, au droit du village de Loncée, par exemple. Cette formation a une épaisseur très réduite.

- Aquifère des sables du Paléocène:

L'intérêt hydrogéologique de ces formations tertiaire est faible. Les sables tertiaires thanétiens sont très hétérogènes et d'extension limitée. Leur capacité aquifère est faible.

- Aquiclude des argiles de l'Eocène:

Cette formation yprésienne de composition assez hétérogène contient des alternances de couches d'argile et de sable.

Cette formation n'est pas présente à l'Est puisqu'elle a été érodée par la transgression des sables bruxelliens.

- Aquifère des sables de l'Eocène :

La nappe des sables éocènes s'étend principalement dans la partie Ouest de la masse d'eau RWM011.

L'aquifère est séparé hydrauliquement de l'aquifère des Calcaires Dévono-Carbonifère par les argiles de la formation de Carnières (Ouest de la masse d'eau, carte Gouy-les-piéton/Gosselies), sauf à partir de Fleurus-Spy où les sables peuvent reposer directement sur cette nappe calcaire.

Cet aquifère est libre sous les limons quaternaires et est bien réalimenté par les eaux de pluie.

L'écoulement des eaux souterraines au sein de cette nappe superficielle est ralenti au contact de celle-ci avec les formations yprésiennes, moins perméables. Ce phénomène mène à la formation de lignes de sources au contact des deux unités hydrogéologiques, ce qui génère une quantité de petits ruisseaux bien inscrits dans le paysage.

Cette nappe est un tampon entre les précipitations et l'alimentation des calcaires carbonifères sous-jacents. Les relations entre l'aquifère des sables de couverture et celui des calcaires se font par drainance per descensum.

- Aquifère de l'Oligocène :

Cet aquifère est formé par des dépôts inférieurs marins (sables quartzeux). Ces dépôts, perméables, ont comblé les paléokarsts affectant les calcaires carbonifères du côté Est de la masse d'eau. Certains placages sont également observés sur les roches famenniennes.

- Aquitard de l'Oligocène :

Cet aquitard est formé par des dépôts supérieurs continentaux (argiles avec sables intercalés). Ces dépôts, très peu perméables, ont comblé les paléokarsts affectant les calcaires carbonifères du côté Est de la masse d'eau. Certains placages sont également observés sur les roches famenniennes.

- Aquifère des alluvions et de couverture :

Les premières nappes rencontrées dans les vallées, toujours superficielles, sont celles respectivement des alluvions des cours d'eau et des limons.

Ces alluvions très hétérogènes sont constituées de lentilles sableuses et argileuses, qui en font un aquifère plus ou moins continu à nappe libre. Cette nappe superficielle contenue dans les alluvions est en relation directe avec les sables éocènes ou avec les calcaires carbonifères dans les vallées. Ceci nous amène souvent à considérer ces aquifères en continuité hydraulique et en intercommunication avec les ruisseaux.

4.3 Piézométrie

L'inventaire des données piézométriques existantes a permis de récupérer de longues chroniques piézométriques pour l'aquifère du calcaire. Cependant, ces données ne sont disponibles que pour certaines zones très localisées de la masse d'eau et aucun suivi régulier et continu n'est disponible. Le tableau ci-dessous (Tableau 4-2) reprend les piézomètres qui ont été suivis de manière plus régulière et les années au cours desquelles ce suivi a eu lieu.

NOM	63-79	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
FPMS11697																		x	x	x	x	x						
CHATEAU DE CHASSART Puits 38	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x									x		x				x
FERME DE L'AYAUBE		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x						
GIROFOSSE	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x					x
PRAIRIE	x	x	x	x	x						x	x	x									x				x		x
PZ 3 Bossière																	x	x	x	x	x	x						
PZ 4 Bossière																	x	x	x	x	x	x						
R CHAUFFOUR	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x															x
R FLORIVAL	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x															x
RUE DE LA VALLEE						x	x	x															x	x				x
TONGRINNE	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x	x				
VELAINE P1															x	x	x	x	x	x	x	x	x					
VELAINE P2															x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
VELAINE P3															x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
VILLERS Pz1																		x	x	x	x	x	x	x				x
VILLERS Pz2																		x	x	x	x	x	x	x				x
VILLERS Pz3																		x	x	x	x	x	x	x				x
VILLERS Pz4																		x	x	x	x	x	x	x				x
VILLERS Pz5																			x	x	x	x	x	x				x
VILLERS Pz7																			x	x	x	x	x	x				x
VILLERS Pz8																			x	x	x	x	x	x				x
VILLERS Pz11																			x	x	x	x	x	x				x
VILLERS Pz12																			x	x	x	x	x	x				x
Puits Muyshondt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x										
Artet	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x											
Tramaka															x	x	x	x	x									
Chauffour	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																
Wantiez	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																
Mehaigne (rive gauche)															x	x	x	x										

Tableau 4-2 : Tableau reprenant les piézomètres suivis régulièrement et les années de suivi

En vue de définir au mieux l'état de la nappe, un réseau de suivi piézométrique a été mis en place par les équipes Synclin'EAU (Figure 4-2). Celui-ci couvre l'ensemble de la masse d'eau et a été élaboré en tenant compte des différents aquifères présents. Il comprend 79 puits et piézomètres, relevés mensuellement dans le cadre du projet. Certains piézomètres sont équipés de sondes de pression afin de suivre les fluctuations du niveau de la nappe à un pas de temps horaire. De nouveaux forages sont venus s'ajouter à ce réseau.

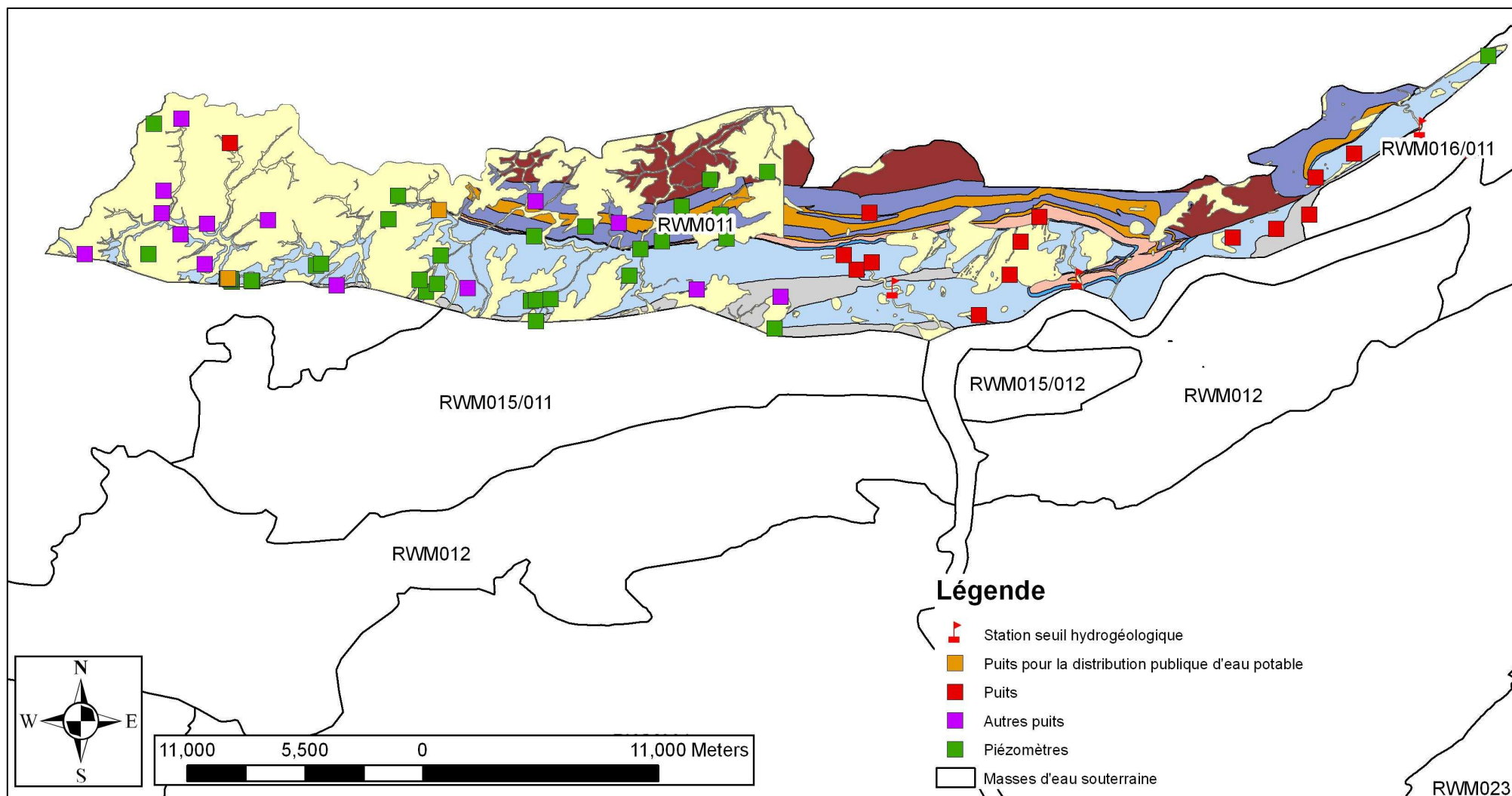


Figure 4-2 : Réseau de caractérisation de la masse d'eau RWM011

Les chroniques piézométriques « historiques » et les mesures réalisées mensuellement (ou plus fréquemment, par le biais de sondes automatiques) dans le cadre de SYNCLIN'EAU ont permis de tirer certaines conclusions quant aux variations locales de la piézométrie des nappes.

La couverture sableuse située à l'ouest de la masse d'eau RWM011 influence la dynamique de l'aquifère. L'analyse des variations piézométriques des ouvrages implantés dans les calcaires de cette zone ont montré très peu de fluctuation de la nappe (moins de 1 mètre). En effet, le transfert entre l'aquifère de couverture et l'aquifère des calcaires s'effectuent par drainance et non par une infiltration directe. Par contre, lorsque les sables disparaissent, la dynamique de recharge de la nappe des calcaires est plus marquée et les variations saisonnières sont mises en évidences.

Par ailleurs, le suivi piézométrique a permis de mettre en évidence des zones à surveiller comme par exemple aux alentours de Villers-le-Bouillet, en rive gauche de la Meuse, où trois ouvrages présentent des niveaux piézométriques dont la décroissance est continue et ne semble pas remonter malgré d'abondantes précipitations utiles.

De même, dans la région de Villers-Perwin, le niveau général de la nappe baisse sous l'influence des captages.

4.4 Hydrodynamique de(s) aquifère(s)

L'aquifère des calcaires carbonifères contient la plus grande partie des réserves en eau souterraine exploitables et exploitées de la masse d'eau RWM011. Il est alimenté non seulement par l'infiltration des eaux météoriques dans la zone de recharge directe, mais aussi par drainance des nappes superficielles (nappe des sables de l'Eocène, nappe des alluvions et de couverture, ...).

La partie Ouest de la masse d'eau RWM011 (de Pont-à-Celles à Onoz) est recouverte par une nappe superficielle des sables de l'Eocène. Les cours d'eau y sont drainants par rapport à la nappe des sables. Cette nappe superficielle diminue en importance de l'Ouest vers l'Est et disparaît quasi complètement dans la zone centrale de la masse d'eau RWM011.

Dans cette partie Ouest, une carte piézométrique de la nappe des calcaires carbonifères a été dressée. En effet, l'aquifère peut être considéré comme continu et les mesures piézométriques (115 ouvrages) effectuées en janvier 2007 sont réparties de manière à pouvoir tracer des isopièzes (Figure 4-3).

La carte piézométrique permet de déduire les écoulements globaux de la nappe (les écoulements à l'échelle régionale).

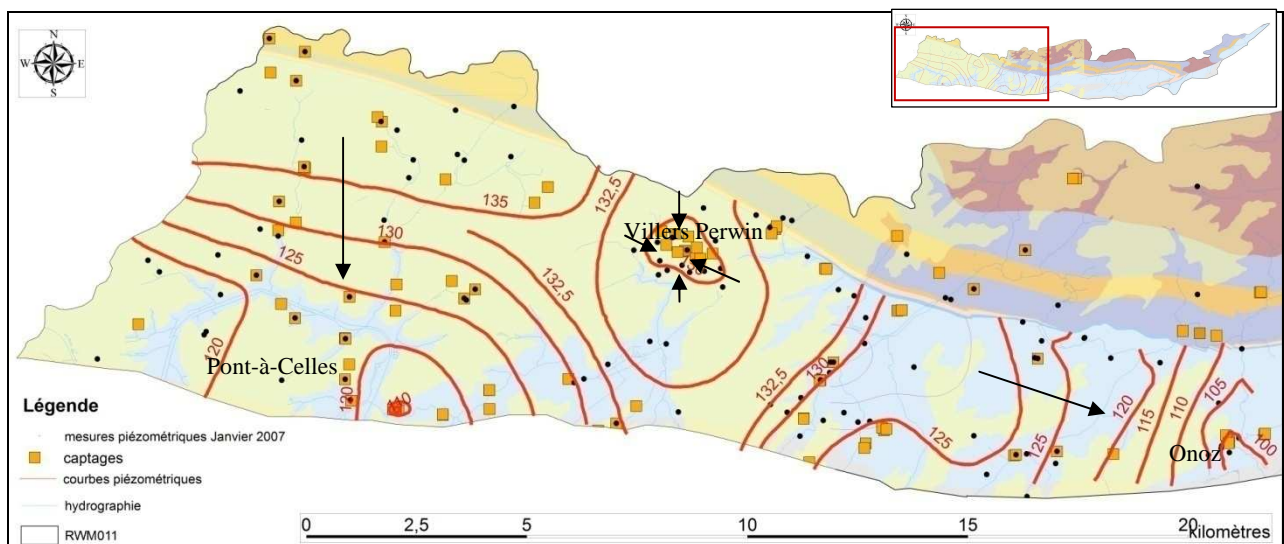


Figure 4-3: courbes piézométriques de la partie Ouest de la RWM011

A l'Ouest, dans la région de Pont-à-Celles, les eaux circulent vers le Sud, vers la vallée du Piéton et du canal du centre dont le bief est à la cote de 121 mètres.

Au centre de la partie Ouest, dans la région de Villers-Perwin, la nappe est déprimée par le champ captant de Villers-Perwin. La cote y est de plus ou moins 130 mètres.

Plus vers l'Est, dans la région d'Onoz, la piézométrie indique un écoulement qui se fait vers l'Orneau, qui coule à la cote 100 mètres. Cette partie semble donc drainée vers l'Orneau et localement vers les captages de Fleurus. A noter que dans la partie Est, la plupart des cours d'eau sont perdants.

En résumé, dans la partie Ouest de la masse d'eau RWM011, l'aquifère et sa piézométrie peuvent être considérés comme continus. Les écoulements se font en direction des grandes zones de captages mais aussi vers le réseau hydrographique qui forme le niveau de base naturel de la nappe.

L'aquifère peut être divisé en sous-bassins hydrogéologiques sur base du tracé des crêtes piézométriques. Le tracé piézométrique réalisé en janvier 2007 pour la partie Ouest permet de distinguer trois bassins hydrogéologiques : le bassin du Piéton (en rose), le bassin de Wagnelée (en vert) et le bassin de l'Orneau (en jaune) (Figure 4-2).

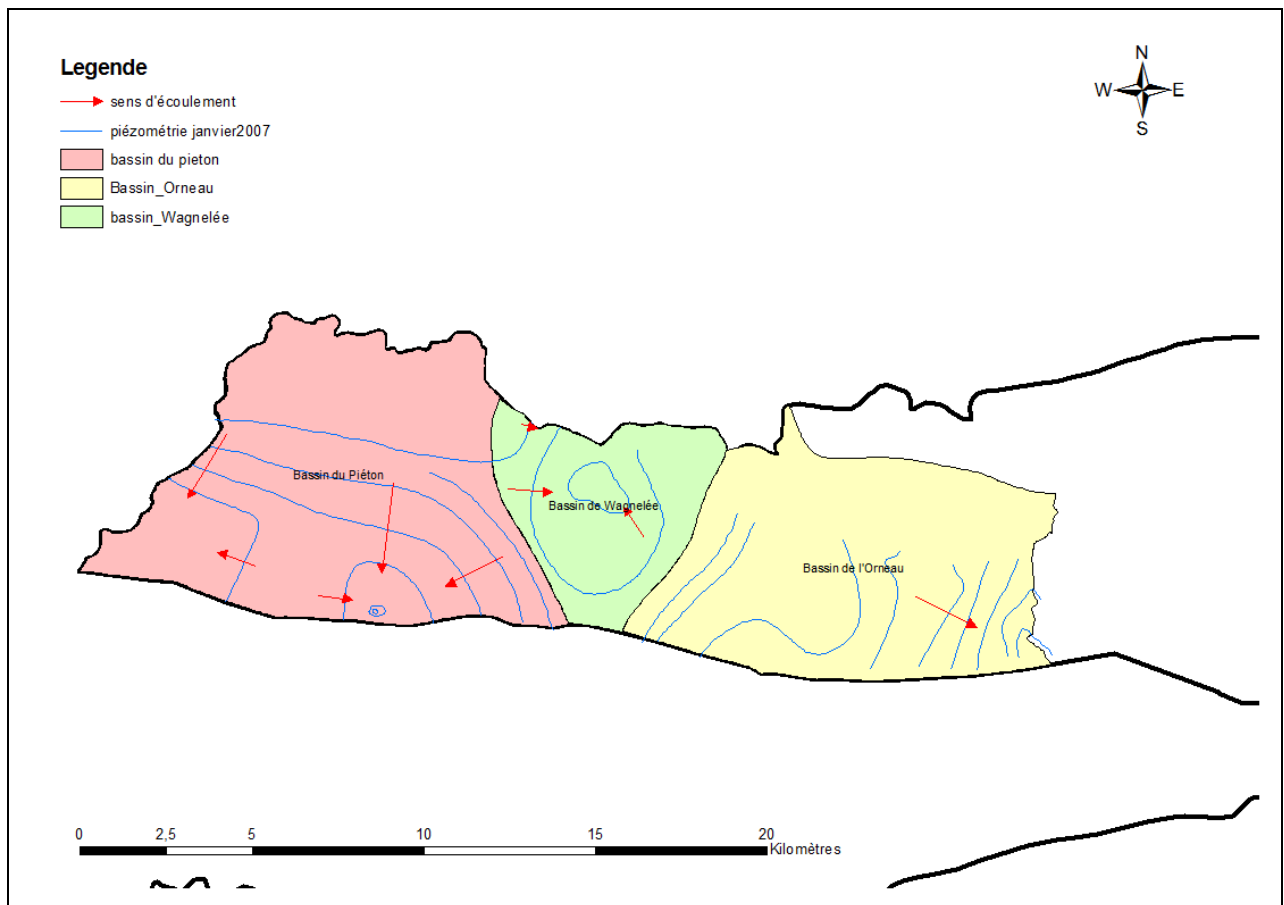


Figure 4-2: Localisation des bassins hydrogéologiques déterminés par les isopièzes de janvier 2007

Pour les parties centrales et orientales de la masse d'eau, et contrairement à sa partie occidentale, il n'a pas été possible de dessiner des courbes piézométriques, la densité des mesures

piézométriques ponctuelles y étant trop faible. Toutefois, les données piézométriques ponctuelles ont permis de dresser une cartographie des sens d'écoulement (Figure 4-3).

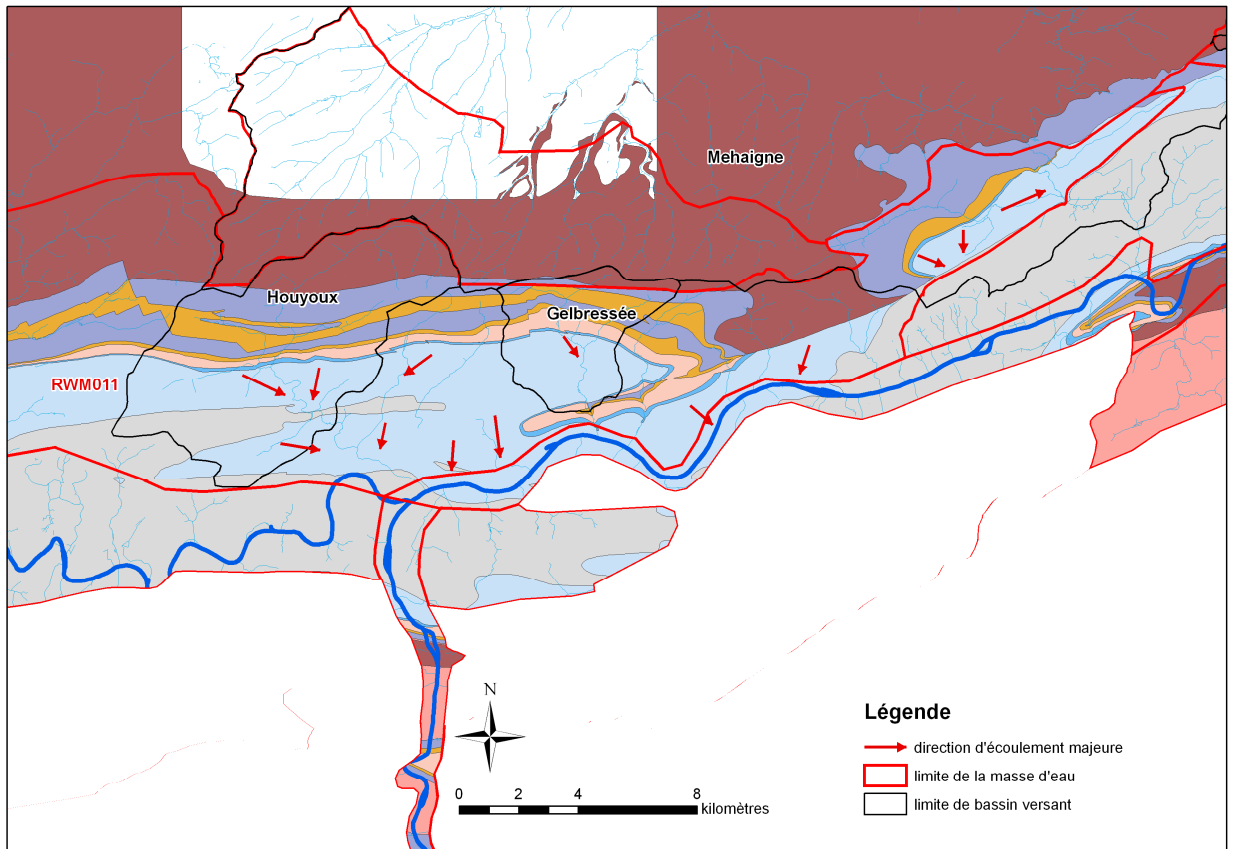


Figure 4-3 : Sens d'écoulement dans les bassins du Houyoux, de Gelbressée et de la Mehaigne – Comportement hydraulique partie Est

L'exutoire naturel des aquifères constituant cette masse d'eau est l'axe Sambre-Meuse. Les écoulements souterrains régionaux sont donc globalement orientés du nord vers le sud. Dans la partie nord, les aquifères locaux situés au sein du socle cambro-silurien et des grès et calcaires dévoniens sont drainés par le réseau hydrographique vers le sud et le centre du Synclinorium de Namur. Le centre de cette structure synclinale est occupé par des formations de calcaires carbonifères. Ceux-ci, fracturés et karstifiés, constituent les principaux aquifères exploités dans cette région. Les écoulements au sein de ces aquifères karstiques sont également orientés globalement vers le sud.

Les écoulements locaux peuvent cependant prendre une autre orientation, en fonction des caractéristiques géologiques et morphologiques locales. Au nord de Namur, dans le bassin versant du Houyoux et de plusieurs autres ruisseaux de moindre importance, les écoulements souterrains au sein des calcaires carbonifères sont perturbés par plusieurs captages importants.

Ainsi, la SWDE exploite un puits de production à Rhisnes. Les volumes captés y atteignent 350000 m³ par an. Ce puits provoque un rabattement important et modifie le sens des écoulements locaux. Vivaqua (ex-CIBE) exploite quant à elle une ancienne galerie de mine entre Vedrin et Saint-Marc. Cette galerie est implantée à la limite orientale du bassin du Houyoux. Les volumes captés y sont de l'ordre de 10⁶ m³ par an, soit un volume analogue à celui sortant du bassin du Houyoux à son embouchure. Le rabattement provoqué par ce captage influence fortement la piézométrie locale.

La partie la plus orientale de la Masse d'eau RWM011, dans le bassin versant de la Méhaigne, présente des sens d'écoulements particuliers (Figure 4-3). La majorité du bassin versant de la Méhaigne est situé au droit d'autres masses d'eau, au nord de la RWM011. Elle traverse cependant cette dernière dans sa partie aval. Entre Huccorgne et Moha, la Méhaigne traverse un synclinal de calcaires dévoniens et carbonifères séparés par des shales et des grès du dévonien supérieur. Ce synclinal est bordé au Sud par les schistes du houiller constituant la Masse d'eau (virtuelle) RWM016. Ceux-ci créent une barrière hydrogéologique qui sépare les aquifères calcaires du bassin de la Méhaigne de la Meuse, l'exutoire régional. Les écoulements souterrains au sein des calcaires dévono-carbonifères sont orientés selon une direction SO-NE, vers la Méhaigne.

A l'extrémité occidentale de ce synclinal, une ancienne galerie d'exhaure de mine rabat la nappe et draine les eaux vers le Sud et la Meuse

4.5 Caractéristiques hydrauliques

Un paramètre important d'un aquifère est sa perméabilité ou sa transmissivité (produit du coefficient de perméabilité par l'épaisseur de l'aquifère). Un inventaire bibliographique des essais de pompage réalisés a donc été effectué, sans oublier les essais réalisés dans le cadre de l'étude SYNCLIN'EAU.

La gamme de valeurs de perméabilité (ou conductivité hydraulique) répertoriées dans les calcaires est très étendue. La matrice de la roche composant le réservoir de l'aquifère des calcaires dévono-carbonifères est peu perméable, mais le milieu comporte des nombreuses failles et diaclases qui améliorent la conductivité hydraulique de l'ensemble. De plus, ces zones fracturées peuvent de surcroît être altérées et karstifiées. Les perméabilités calculées dans cet aquifère sont par conséquent variables en fonction de la nature lithologique des roches traversées (calcaire, dolomie, schistes,..) et de l'état d'altération des fractures, fissures et failles.

L'aquifère des calcaires carbonifères a une transmissivité moyenne de $1.5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, avec un minimum de $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ et un maximum de $4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

Trop peu de valeurs sont disponibles pour les autres formations pour en citer des ordres de grandeur.

Les tableaux ci-dessous (Tableau 4-1 et Tableau 4-2) reprennent la synthèse des différents paramètres hydrauliques collectés sur des ouvrages de la masse d'eau RWM011 : le premier concerne les paramètres retrouvés via un inventaire bibliographique, le second concerne les paramètres tirés des essais réalisés sur les forages SYNCLIN'EAU.

Nature	Nom de l'ouvrage	T (m ² /s)	T pompage (m ² /s)	T remontée (m ² /s)	K (m/s)	coeff. d'emmagasinement	Porosité eff.	dispers. Long.	Source
Aquifère des calcaires dévono-carbonifères	Flawime-Flœeffe	2.4 ± 0.3 10 ⁻²			2.2 ± 0.3 10 ⁻⁴				
	Rhisnes	2 à 25 10 ⁻³							
	Champion	110.5 à 10 ⁻⁶							
	Beéz	3.41 10 ⁻²			4.1 10 ⁻⁴				
	Marche-les-Dames		2.8 10 ⁻³ à 1.6 10 ⁻²	3.9 10 ⁻² à 4.8 10 ⁻²					
	Velaine P1	1.5 10 ⁻² à 7,5 10 ⁻³			2,73 10 ⁻⁴ à 1,36 10 ⁻⁴				carte hydro 47/1-2
	Velaine P2	1.5 10 ⁻² à 7,5 10 ⁻³			2,73 10 ⁻⁴ à 1,36 10 ⁻⁴				carte hydro 47/1-2
	Velaine P3	1.5 10 ⁻² à 7,5 10 ⁻³			2,73 10 ⁻⁴ à 1,36 10 ⁻⁴				carte hydro 47/1-2
	Velaine PR1- P4	5 à 40 10 ⁻³				4,22 10 ⁻² à 5 10 ⁻⁴			carte hydro 47/1-2
	Congo P1		4.4 à 6.4 10 ⁻³	3.8 à 9.5 10 ⁻³					
	Villers-Perwin	5.5 10 ⁻³ à 10 10 ⁻³			0.8 à 5.9 10 ⁻³				carte hydro 46/3-4
	Joncquiere	9,05 ± 1,95 10 ⁻³			1.22 ± 0.26 10 ⁻⁴	2,56 ± 0,76 10 ⁻³			carte hydro 47/1-2
	PR1-Villers-le-Bouillet		de 2,5 10 ⁻⁴ à 3,6 10 ⁻³	2.3 10 ⁻⁴	8.5 10 ⁻⁶ à 1.31 10 ⁻⁴				
	P1-Villers-le-Bouillet		de 2,3 10 ⁻⁴ à 2,5 10 ⁻³	de 1,1 10 ⁻⁴ à 3 10 ⁻⁴	6.5 10 ⁻⁶ à 1.52 10 ⁻⁴				
	P2-Villers-le-Bouillet		de 1,4 10 ⁻⁴ à 4,2 10 ⁻³	1.4 10 ⁻⁴	8.8 10 ⁻⁶ à 2.62 10 ⁻⁴				
	PR2-Villers-le-Bouillet		2.14 10 ⁻³	1.8 10 ⁻³	0.00001 à 1.27 10 ⁻⁵				
	PR3 Villers-le-Bouillet		de 3,3 10 ⁻³ à 6,7 10 ⁻³	2.8 10 ⁻³	0.00002 à 3.91 10 ⁻⁵				
ONoz PZ2 PZ4 PR3	1,4 à 7 10 ⁻³							carte hydro 47/1-2	
ONoz PR4	11 à 50 10 ⁻³							carte hydro 47/1-2	
Aquifère des calcaires dévoniens	captage SWDE						1,8 à 10%	entre 25 et 100m	carte hydro 47/1-2
Aquifère des calcaires devono-carbonifère	captage SWDE	1,82 10 ⁻³ à 2,48 10 ⁻²			2,43 10 ⁻⁴ à 3,1 10 ⁻⁴	(1,67 +/-1,65) 10 ⁻³			carte hydro 46/3-4
Aquifère des calcaires devono-carbonifère	captage SWDE	9 10 ⁻⁴ à 9 10 ⁻³			2 10 ⁻⁵ à 1 10 ⁻⁴	2 10 ⁻⁵ à 1 10 ⁻⁴			carte hydro 46/3-4

Tableau 4-2 : Tableau des valeurs collectées pour les paramètres hydrauliques de la RWM011.

Nature	Nom de l'ouvrage	Conductivité hydraulique - perméabilité (m/s)	Transmissivité (m ² /s)	
			rabattement	remontée
Aquifère des calcaires frasniens	FPMS 2 -MAZY	2,02 10 ⁻⁸		
	FPMS 10 - Tongrinne	2,16 10 ⁻⁷		
Aquifère des calcaires carbonifères	FPMS 3 - Pont à Celles	1 10 ⁻⁵	5,25 à 6,15 10 ⁻³	3,65 10 ⁻³
	FUNDP 1 - Gelbreessee			
	FUNDP 2 - Couthuin			

Tableau 4-3 : Tableau des valeurs collectées pour les paramètres hydrauliques des forages réalisés sur la RWM011.

4.6 Bilans hydrogéologiques et ressources en eau

4.6.1 *Bilans hydrogéologiques*

Afin de pouvoir mettre en évidence des éventuels échanges d'eaux souterraines entre bassin versant et de calculer le taux de renouvellement et d'exploitation de ces bassins, des bilans hydrogéologiques ont été réalisés dans le cadre du projet SYNCLIN'EAU pour différents bassins. Le résultat de ces bilans sont repris en détails dans le rapport D3.12 caractérisation hydrauliques pour la masse d'eau RWM011.

Les bilans ont été réalisés pour les stations limnimétriques du réseau Aqualim (DGRNE) et du réseau Sathy (MET) ainsi que pour les stations spécialement mises en place pour le projet SYNCLIN'EAU. L'ensemble des données utilisées pour l'établissement de ces bilans est repris à la Figure 4-3.

Dans la partie Est de la masse d'eau MRW011, les bassins de la Mehaigne, du Houyoux et des Awirs ont été étudiés.

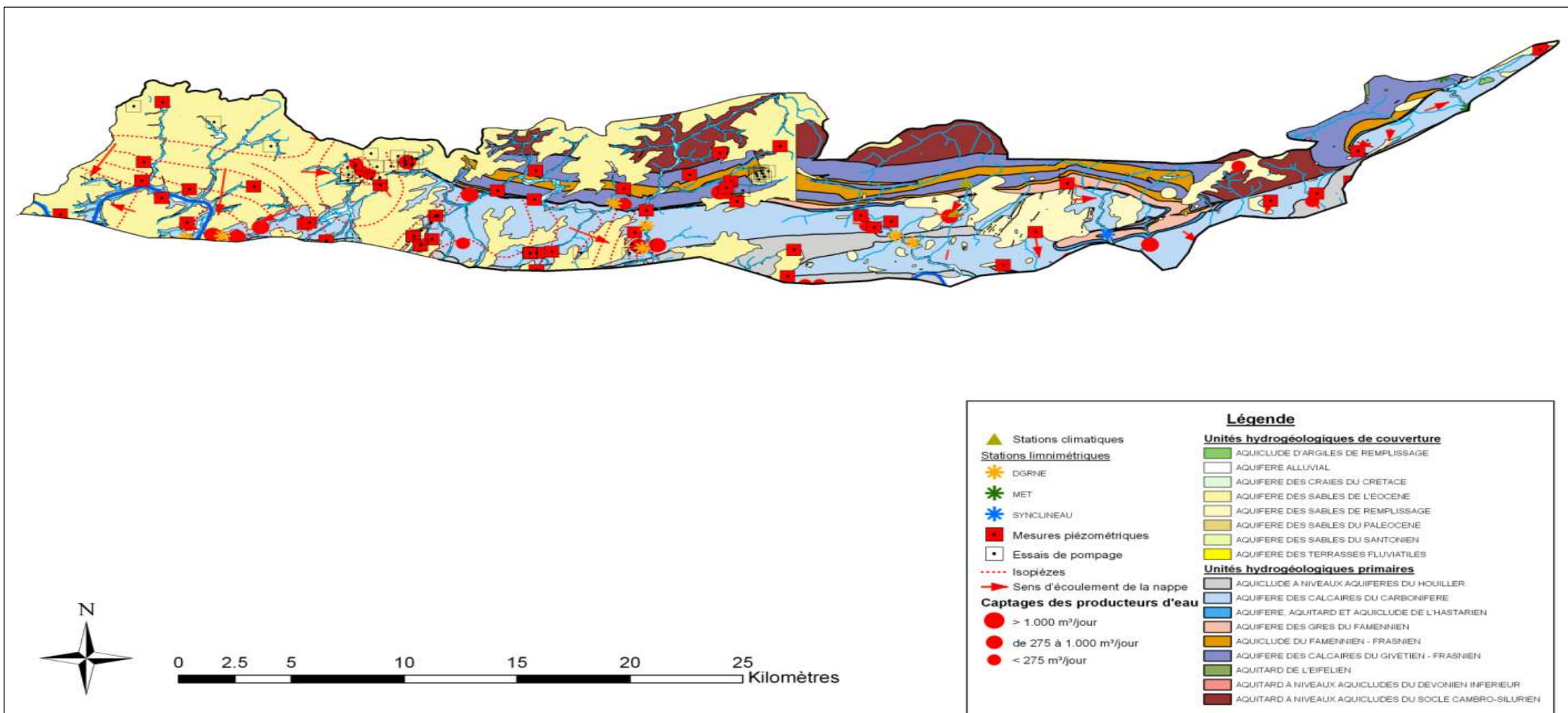


Figure 4-3 : Localisation des données utilisées pour l'établissement des bilans

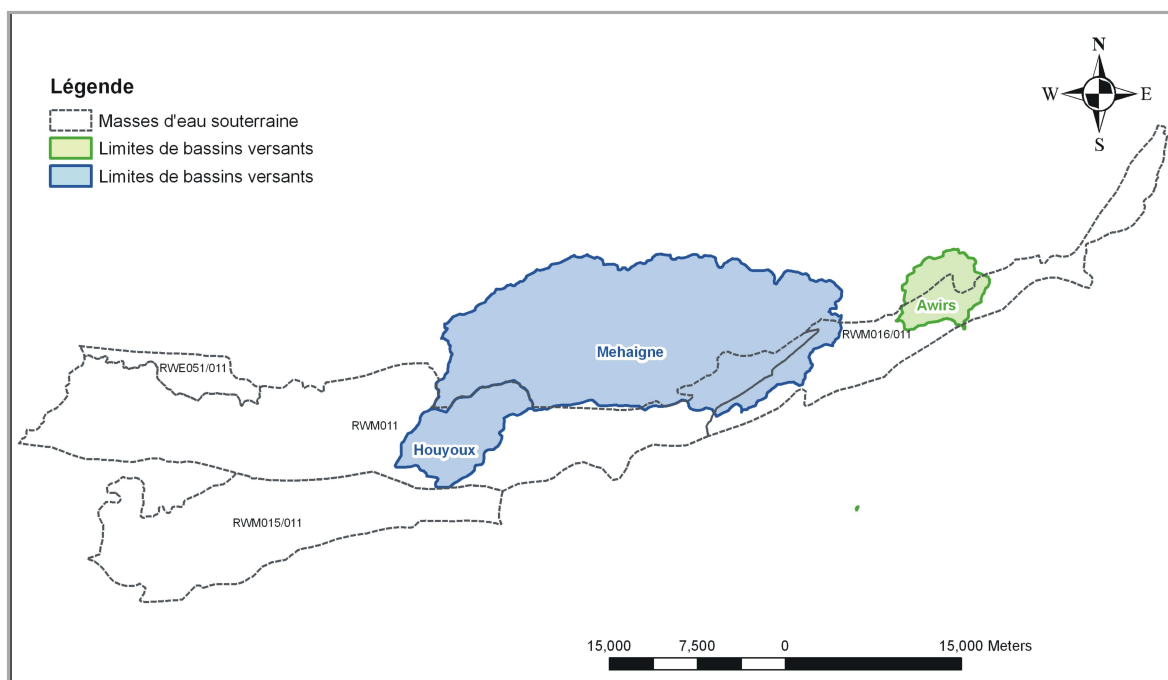


Figure 4-4 : RWM011 - Localisation des bassins versant étudiés

Au regard des bilans et graphiques réalisés, il apparaît que l'aquifère joue un rôle tampon dans l'alimentation des cours d'eau pour la partie Est de la masse d'eau. En effet, lors d'années sèches, il libérerait vers les cours d'eau un volume plus important que ce qu'il ne reçoit par infiltration des eaux de pluies et, lors d'années humides, ses réserves se reconstitueraient. Une estimation de l'eau utile nécessaire à la réalimentation des nappes a été déterminée. Elle est variable en fonction du bassin versant et vaut 250 mm/an pour le bassin de la Mehaigne et 350 mm/an pour le bassin du Houyoux.

4.6.2 Ressources en eau

Les ressources renouvelables en eau souterraine représentent le flux moyen (et non un stock) d'eau qui s'infiltré annuellement dans le sol pour atteindre la zone saturée des terrains. Ces ressources doivent être estimées sur de longues périodes.

Les ressources renouvelables ne doivent pas être confondues avec les ressources exploitables. Une partie seulement de ces ressources renouvelables est exploitable du fait de différentes contraintes hydrogéologiques, hydrologiques, écologiques, environnementales, technico-économiques, politiques et sociales. D'un point de vue hydrogéologique, les caractéristiques hydrauliques ne permettent pas d'exploiter économiquement toutes les formations pour la production d'eau.

4.6.2.1 Détermination des coefficients d'infiltration

Une méthode d'estimation globale des ressources renouvelables par les coefficients d'infiltration est exposée dans le livrable D3.12. Elle nécessite la détermination d'autant de coefficients d'infiltration moyens CI_i que de grande catégorie de terrains distingués pour cette estimation. L'équation utilisée est celle du bilan, exprimée de manière à identifier la recharge comme le produit d'un coefficient d'infiltration par la surface concernée :

$$\sum(CI_i \cdot Si) \cdot (P - ETR) / (Qw + Qout) = 1$$

Les masses d'eau RWM021, RWM012 et RWM011 et RWM023 présentent des terrains de natures lithologiques similaires. Pour ces masses d'eau, cinq coefficients CI_i peuvent être définis, regroupant certaines formations aux propriétés hydrodynamiques semblables :

- CI_{cc+has} : coefficient d'infiltration pour l'aquifère des calcaires du Carbonifère et pour l'aquifère à niveaux aquicludes de l'Hastarien ;
- CI_g : coefficient d'infiltration pour l'aquifère des grès du Famennien ;
- CI_{cgf} : coefficient d'infiltration pour l'aquifère des calcaires du Givetien–Frasnien ;
- CI_{h+a} : coefficient d'infiltration pour l'aquiclude à niveaux aquifères du Houiller et pour l'aquiclude du Famennien–Frasnien ;
- CI_{ats+at} : coefficient d'infiltration pour l'aquitard à niveaux aquicludes du socle cambro-silurien et pour l'aquitard à niveaux aquicludes du Dévonien inférieur.

La détermination de ces coefficients nécessite d'écrire au minimum autant d'équations que d'inconnues CI_i , soit cinq équations.

Dans les masses d'eau concernées, 15 bassins ont été retenus, considérant que la connaissance et les données acquises sur ceux-ci étaient suffisamment fiables. Il s'agit, d'une part, des bassins sur lesquels les données couvrent des périodes suffisamment longues pour lisser les variations temporelles et spatiales, et d'autre part de bassins pour lesquels les données ont été acquises dans le cadre de l'étude et dont les résultats sont propices à l'expression d'une équation fiable. Il s'agit d'une sélection de bassins pour lesquels les résultats des bilans hydrogéologiques traduisent un certain équilibre de la nappe. Cet équilibre est indiqué par un terme de fermeture proche de 0 (à +/- 10%). La nappe du système n'est ni dans une phase de vidange (excès d'écoulement) ni dans une phase de recharge (déficit d'écoulement). On peut alors considérer que le débit de base à l'exutoire du bassin est fort proche de la quantité d'eau infiltrée.

L'équation est écrite pour chaque bassin sélectionné. Le Tableau 4-4 reprend l'ensemble de ces équations.

$$\sum(CI_i \cdot S_i) \cdot (P - ETR) / (Q_w + Q_{out}) = 1$$

Pour chaque bassin, chacun des coefficients d'infiltration est multiplié par un terme multiplicateur qui reprend :

- S_i , la surface à l'affleurement de l'unité hydrogéologique relative au coefficient d'infiltration ;
- $(P-ETR)$ et Q_w , relatifs à l'ensemble du bassin.

MESO	Nom du bassin	Type de bilan														
RWM012	Samson	Historique		0,647		0,234		0,062		0,33		1,019				
	Reumont	Synclin'eau		0		0		0		0		5,153				
	S3 Wanet	Synclin'eau		0,293		0,151		0,042		0,107		0,512				
RWM021	Yves	Historique		0,744		0,266		0		0,68		0				
	Bocq	Historique		0,635		0,647		0,02		0,107		0,004				
	Molignée	Historique		0,871		0,581		0		0,292		0				
	Hoyoux Aval	Historique		0,644		0,272		0,025		0,061		0,056				
	Néblon	Historique	$CI_{CC+hast} \cdot$	0,735	+	$CI_g \cdot$	0,292	+	$CI_{cgf} \cdot$	0	+	$CI_{h+a} \cdot$	0,21	+	$CI_{ats+at} \cdot$	0
	H1 PetitAvin	Synclin'eau		0,761		0,233		0		0,031		0				
	L5990 -Hoyoux	Synclin'eau		0,627		0,265		0,025		0,06		0,055				
	S1-Vaux	Synclin'eau		0,67		0,286		0		0,102		0				
	01-Comblain	Synclin'eau		0,593		0,326		0		0		0				
	03-Haze	Synclin'eau		0,008		0,733		0		0,429		0,03				
	06-Oxhe	Synclin'eau		0,249		0,451		0,045		0,103		0,11				
	RWM023	Brouffe	Synclin'eau		0		0		0		4,99		0			

Tableau 4-4: Equations des bassins retenus.

H : aquiclude à niveaux aquifères du Houiller ;

Cc : aquifère des calcaires carbonifères ;

hast : aquifère, aquitard et aquiclude de l'Hastarien ;

g : aquifère des grès du Famennien ; a : aquiclude du Famennien-Frasnien ;

gf : aquifère des calcaires givetiens-frasnien ;

at : aquitard à niveaux aquicludes du Dévonien inférieur ;

ats : aquitard à niveaux aquicludes du socle cambro-silurien.

La résolution du système d'équations à cinq inconnues a été menée suivant une méthode mathématique.

L'incertitude liée à la méthode peut alors être exprimée grâce à la valeur de l'écart type pondéré. En prenant deux fois l'écart-type autour de la valeur calculée, la confiance à accorder à l'intervalle est statistiquement de 95 %. Les différentes estimations réalisées (voir livrable D.3.12) sont alors accompagnées d'une incertitude de +/- 37 %.

4.6.2.2 Estimation des ressources renouvelables pour la masse d'eau RWM011

La méthode de détermination des coefficients d'infiltration ci-dessus a été développée pour les terrains paléozoïques que l'on retrouve dans les trois masses d'eau de l'étude Synclin'Eau, à savoir RWM011-012-021. Une grande partie du sous-sol paléozoïque de la masse d'eau RWM011 a la particularité d'être recouvert par des terrains de couverture éocènes (cénozoïques). Ces terrains de couverture constituent l'aquifère des sables de l'Eocène et l'aquifère à niveaux aquicludes des sables argileux de l'Eocène. Pour déterminer les ressources renouvelables de la masse d'eau RWM011, les coefficients d'infiltration de ces terrains de couverture ont été repris d'une étude réalisée en 2002 sur les mêmes unités hydrogéologiques et dans la partie Ouest de la nappe d'eau¹.

On a défini les ressources renouvelables en eau souterraine comme étant le flux d'eau annuel **moyen** qui s'infiltré dans le sol pour atteindre la zone saturée des terrains. L'estimation des ressources renouvelables pour la masse d'eau RWM011 est la moyenne de la recharge annuelle sur une période de 27 ans : 84 millions de m³ avec une incertitude de +/- 37% soit :

84 (+/- 31) millions de m³ d'eau par an.

Il faut rappeler qu'une partie seulement de ces ressources naturelles est exploitable du fait de différentes contraintes hydrogéologiques, hydrologiques, écologiques et technico-économiques.

En raison de l'importance que peut avoir un tel chiffre sur la gestion des ressources en eau et de l'incertitude élevée liée à l'estimation des ces ressources, on peut conseiller, par prudence, d'utiliser comme valeur des ressources renouvelables, une estimation « basse » des ressources renouvelables qui consiste à considérer la valeur la plus basse de l'estimation engendrée par l'intervalle de confiance (84 millions de m³ - 37%) soit :

Estimation «basse » des ressources renouvelables = 54 millions de m³ d'eau par an

¹Etude de la nappe des calcaires carbonifères du bord Nord du Synclinorium de Namur entre la vallée de la Dendre occidentale, à l'Ouest, et la vallée de l'Orneau, à l'Est. Etude réalisée pour la RW, DGRNE, Service des eaux souterraines par FPMS, septembre 2002.

4.6.2.3 Répartition des ressources renouvelables au sein de la masse d'eau

Connaissant la surface à l'affleurement de chaque unité hydrogéologique, la répartition des ressources renouvelables par unité hydrogéologique peut être estimée. Le diagramme de la Figure 4-5 représente le pourcentage des ressources renouvelables pour chaque unité hydrogéologique.

C'est dans les calcaires carbonifères très bien représenté dans la masse d'eau (voir Figure 4-6) et avec un coefficient d'infiltration de 80% que l'on retrouve, logiquement, la plus grande part des ressources renouvelables, qui représente 35% des ressources de la masse d'eau. Le diagramme indique qu'une grande partie des ressources renouvelables (41%) s'infiltrate au droit de l'aquifère des sables de l'Eocène et de l'aquifère à niveaux aquicludes des sables de l'Eocène. Une grande partie des ressources renouvelables engendrées au droit des sables s'infiltrate vers les terrains sous jacents, la majorité des sables éocènes recouvrent l'aquifère des calcaires carbonifères. Les ressources renouvelables des calcaires carbonifères bénéficient alors d'une partie des ressources renouvelables engendrées au niveau des sables éocènes. L'aquifère des calcaires du Givetien – Frasnien engendre 15% des ressources renouvelables de la masse d'eau.

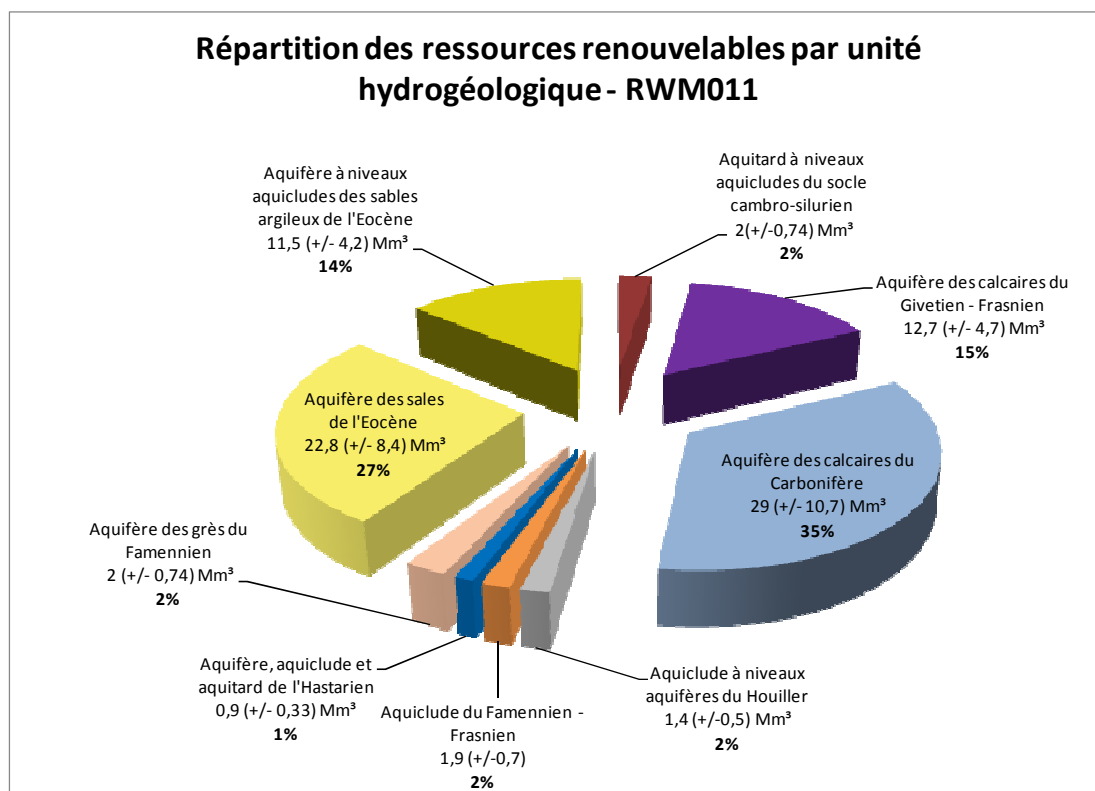


Figure 4-5 : Ressources renouvelables par unité hydrogéologique en millions de m³ (Mm³) et pourcentage que cela représente par rapport aux ressources renouvelables totales de la RWM011.

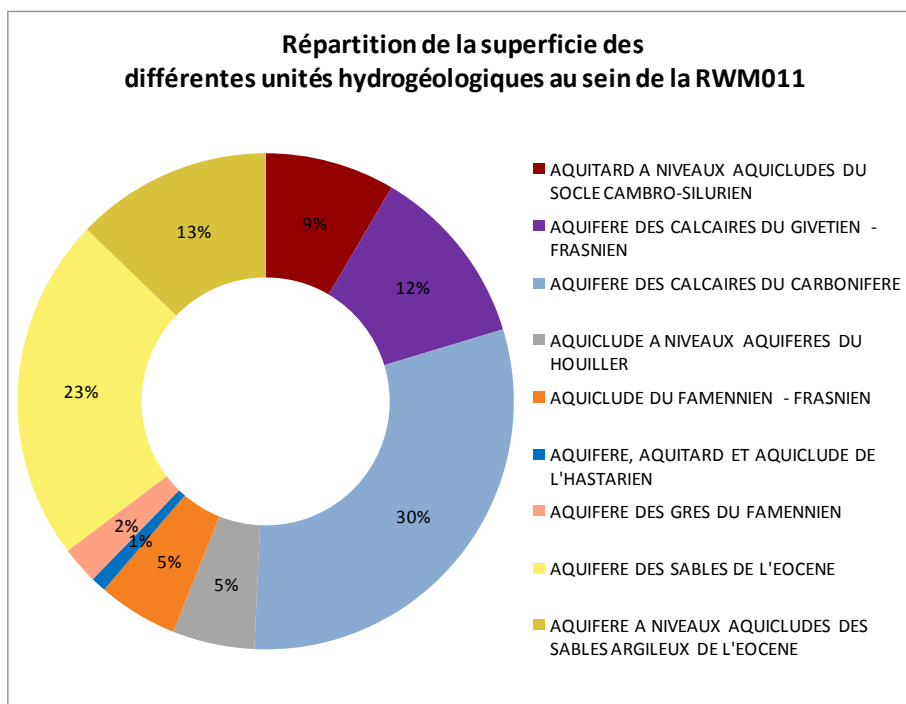


Figure 4-6 : Pourcentage de la superficie des différentes unités hydrogéologiques par rapport à la superficie totale de la RWM011.

4.6.2.4 Comparaison des ressources prélevées aux ressources renouvelables

Le volume annuel prélevé dans la masse d'eau RWM011 peut être comparé aux ressources renouvelables afin de visualiser la proportion que cela représente. Cette comparaison peut également être faite pour certaines unités hydrogéologiques.

La Figure 4-7 représente le pourcentage du volume prélevé sur les ressources renouvelables pour la masse d'eau RWM011 dans son entièreté. Le volume prélevé considéré est le volume moyen annuel² de 30,5 millions de m³. Celui-ci est comparé aux ressources renouvelables en considérant trois estimations :

- estimation « théorique » des ressources renouvelables : estimation des ressources renouvelables calculée à partir des coefficients d'infiltration ;
- estimation « basse » des ressources renouvelables: estimation qui minimise les risques d' une surestimation des ressources renouvelables, en considérant comme valeur, la limite inférieure de la marge d'imprécision, soit, les ressources renouvelables - 37% (deux fois l'écart-type);

² En fait, volume prélevé pour l'année 1999 considéré comme représentatif du volume prélevé moyen annuel. Chiffres provenant de l'atlas du karst wallon.

- estimation « haute » des ressources renouvelables : estimation qui maximise les risques d'une surestimation des ressources renouvelables, en considérant comme valeur, la limite supérieure de la marge d'imprécision, soit, les ressources renouvelables + 37% (deux fois l'écart-type).

En estimant par le bas les ressources renouvelables de la RWM011, c'est-à-dire en appliquant un « principe de précaution » quant aux chiffres cités, et en considérant la limite inférieure de l'estimation des ressources renouvelables soit 53 millions de m³ (84 millions de m³ - 37%), on voit que le volume prélevé dans la masse d'eau représente 58% des ressources renouvelables.

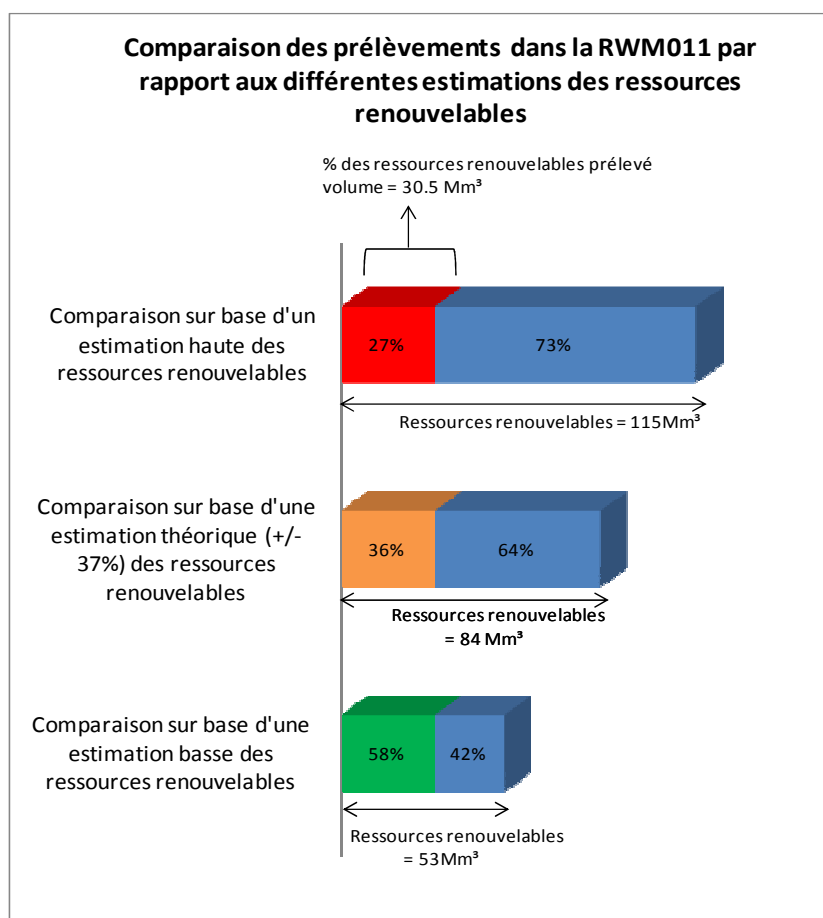


Figure 44.6 -7 : Prélèvements rapporté sur les différentes estimations des ressources renouvelables.

On peut appliquer cette comparaison par unité hydrogéologique. Cependant la séparation par unité n'est pas toujours judicieuse, des transferts d'eau pouvant se produire d'une unité à l'autre. Le Tableau 4-5 reprend les volumes prélevés dans les unités hydrogéologiques de la RWM011, ainsi que leur comparaison avec les différentes estimations des ressources renouvelables engendrées au droit de l'unité hydrogéologique.

Pour les ressources renouvelables engendrées au sein des calcaires carbonifères sont considérées, les ressources engendrées là où les calcaires affleurent, mais aussi la part des ressources engendrée au droit des sables éocènes là où celui-ci est sus-jacent aux calcaires carbonifères. La grande majorité (96%) des prélèvements est concentrée dans les calcaires carbonifères (89.5%) et dans les calcaires du Givetien-Frasnien (6.5%). Les 4% restants se répartissent dans les autres unités hydrogéologiques. La différence d'exploitation entre les calcaires carbonifères et les calcaires givetiens-frasnien est marquée. Selon des estimations basses des ressources renouvelables, le volume prélevé dans les calcaires carbonifères représenterait 74% des ressources engendrées. Tandis que dans les calcaires givetiens-frasnien, le pourcentage du volume prélevé représenterait 25% des ressources renouvelables engendrées au sein de cette unité hydrogéologique.

RWM011 captages Versus Ressources renouvelables								
	Volume prélevé (m ³)	Volume prélevé/Volume prélevé total (%)	Ressources renouvelables (m ³)			Pourcentage (Volume prélevé/Ressources)		
			Estimation basse	Estimation théorique	Estimation haute	Estimation basse	Estimation théorique	Estimation haute
Total RWM011	30.564.257	100,00	52.886.144	83.946.261	115.006.377	58	36,4	26,6
AQUIFERE DES CALCAIRES DU CARBONIFERE	27.362.032	89,52	36.887.256	58.551.200	80.215.144	74,2	46,7	34,1
AQUIFERE DES CALCAIRES DU GIVETIEN - FRASNIEN	2.009.005	6,57	8.016.324	12.724.323	17.432.323	25,1	15,8	11,5
Reste	1.193.220	3,90						

Tableau 4-5 : Comparaison du volume prélevé annuel moyen aux différentes estimations des ressources renouvelables, pour la RWM011 et pour chaque unité hydrogéologique dans lesquelles il y a un prélèvement significatif.

L'aquifère des calcaires carbonifères est fort sollicité par rapport aux autres unités hydrogéologiques. Le diagramme de la Figure 4-8 illustre le pourcentage du volume prélevé au sein des calcaires carbonifères par rapport aux différentes estimations des ressources renouvelables. Les ressources renouvelables dont il est question ici, sont les ressources engendrées au droit des aquifères calcaires carbonifères. Selon une estimation des ressources renouvelables que l'on peut qualifier « d'optimiste » (estimation haute), le volume prélevé (27 millions de m³) représenterait 34% des ressources renouvelables. Selon l'estimation théorique, le prélèvement serait de 46%, et enfin selon l'estimation basse, les volumes prélevés correspondraient à 74% des ressources renouvelables.

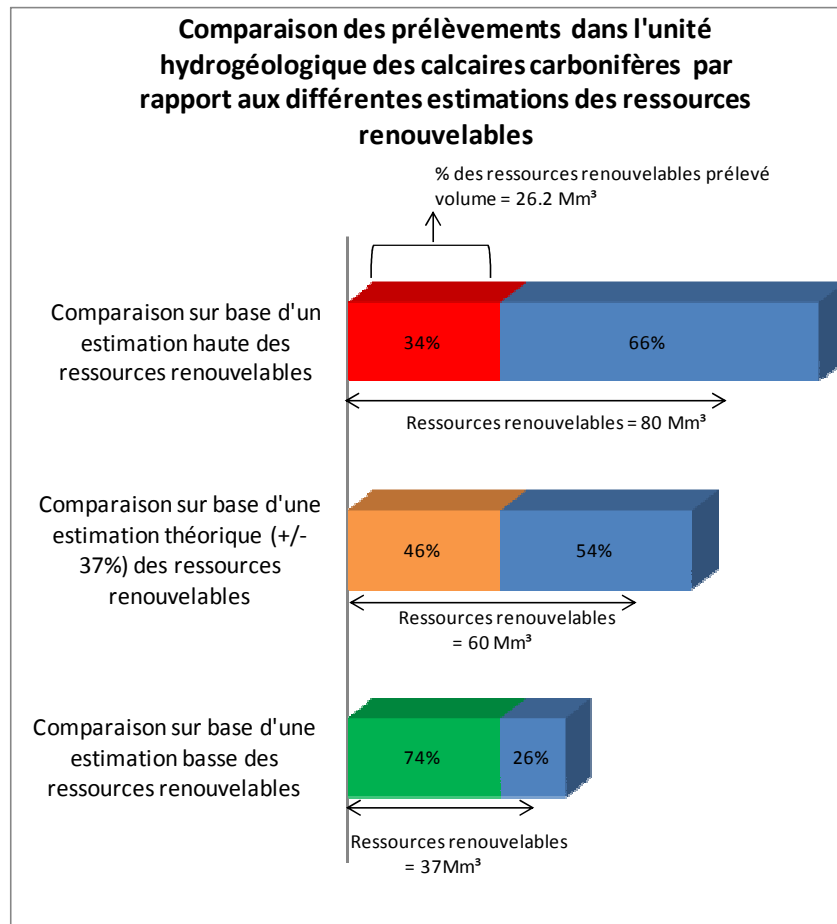


Figure 4.6 -8 : Prélèvements au sein des calcaires carbonifères par rapport aux différentes estimations des ressources renouvelables.

4.6.2.5 Ressources renouvelables et ressources exploitables

Si la détermination des ressources renouvelables à l'échelle d'une masse d'eau est une tâche délicate engendrant un degré d'incertitude important associé à l'estimation, la détermination, d'une manière objective, des ressources exploitables est un exercice autrement difficile qui sort du cadre stricte de l'hydrogéologie. Au regard de la DCE, la ressource exploitable peut être comprise comme étant le flux annuel moyen calculé à long-terme (les ressources renouvelables) pour la masse d'eau diminuée du flux moyen annuel nécessaire pour atteindre les objectifs de qualité écologique³ pour les eaux de surface associées, et pour éviter toute diminution significative de l'état écologique des ces eaux de surface, pour éviter tout dommage significatif aux écosystèmes terrestres associés⁴.

³ Défini dans l'article 4 de la DCE

⁴ Wojciech R, 2006.

Du point de vue hydrologique, il faut rappeler que les eaux souterraines contribuent au maintien du débit des cours d'eau, en particulier en période d'étiage. Environnementalement, beaucoup de zones humides sont liées à la présence des nappes d'eau souterraine.

L'exploitation des ressources renouvelables de chaque bassin doit être examinée à la lumière de critères spécifiques, ce qui n'est pas envisagé dans cette étude.

4.7 Réseau de surveillance quantitative

La directive européenne 2000/60/CE impose que des réseaux de surveillance quantitatifs soient établis de manière à fournir une estimation fiable de l'état quantitatif de toutes les masses ou tous les groupes de masses d'eau souterraine. Pour les masses d'eau souterraine recensées comme risquant de ne pas répondre aux objectifs de bon état, il faut de surcroît assurer une fréquence suffisante de surveillance pour évaluer l'impact des captages et des rejets sur le niveau de l'eau souterraine.

Le réseau de surveillance proposé intègre trois types de points: (1) points de suivi piézométrique, (2) points de suivi de sources et émergences, (3) points de suivi limnimétrique de seuils hydrogéologiques. Le schéma représenté à la Figure 4-7 permet globalement de conceptualiser la démarche suivie pour la sélection des points intégrés dans le réseau de surveillance. Cette figure représente cependant une démarche idéale, de laquelle il a parfois fallu s'éloigner pour tenir compte des contraintes imposées par le terrain.

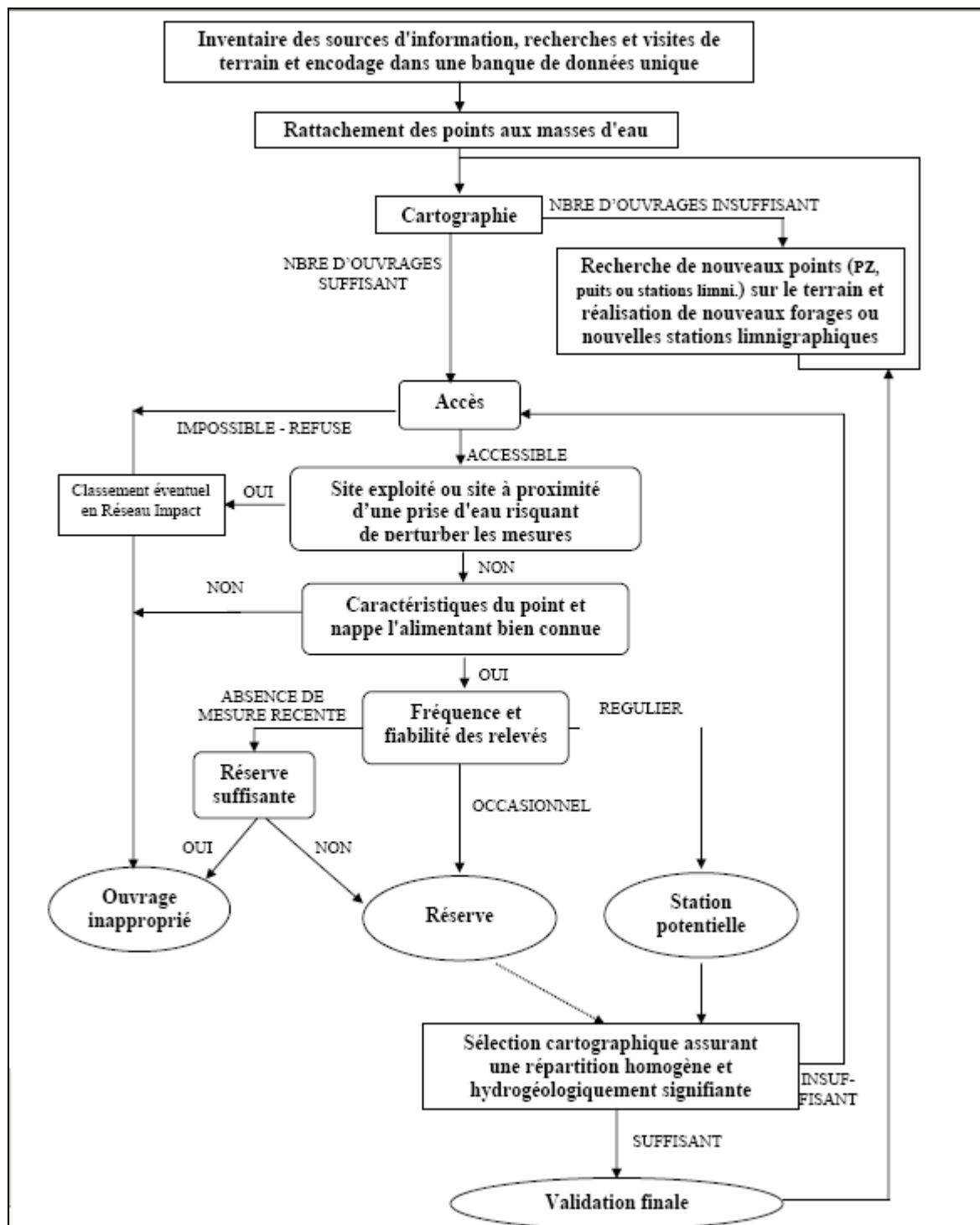


Figure 4-7 : Déroulement idéal du processus de rationalisation des points d'observation.

La Figure 4-12 présente le réseau de surveillance quantitatif final, au terme de la convention SYNCLIN'EAU. La majorité des points de surveillance piézométriques retenus sont implantés dans les formations calcaires du Carbonifères. Le réseau de surveillance a été complété par trois nouveaux forages implantés dans le cadre de la convention d'étude.

L'aquifère le plus productif et exploité étant situé au Sud de la masse d'eau, la majorité des points de surveillance piézométrique sont implantés dans les formations calcaires du Carbonifère. Par ailleurs, plusieurs ouvrages implantés dans les calcaires frasniens et givetiens, ainsi que quelques ouvrages implantés dans le massif du brabant, ont été également été retenus dans ce réseau afin d'assurer une surveillance plus globale des variations piézométriques au sein de la masse d'eau.

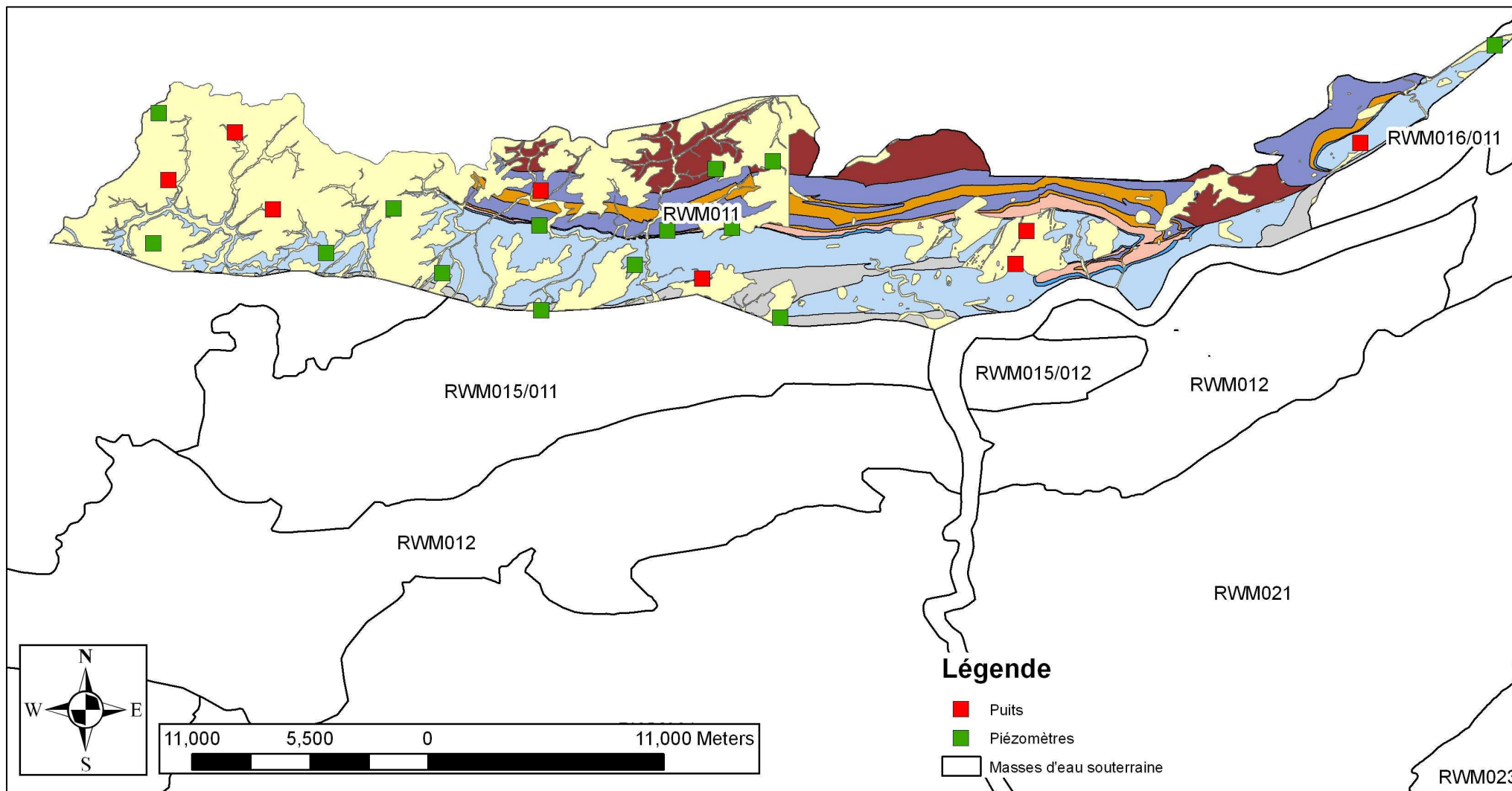


Figure 4-8 : Réseau de surveillance quantitatif pour la masse d'eau souterraine RWM011.

4.8 Interactions eaux de surface – eaux souterraines (ESO-ESU)

4.8.1.1 Introduction

Au regard de la DCE, le travail de caractérisation détaillée des masses d'eau souterraine recensées comme courant un risque doit, entre autres, comprendre un « *inventaire des systèmes de surface associés, et les masses d'eau de surface auxquels la masse d'eau souterraine est dynamiquement liée* » complété d'une estimation « *des directions et taux d'échange de l'eau entre la masse d'eau souterraine et le système de surface associé* ». Dans le cadre du projet Synclin'EAU, les recherches menées à ce niveau, ont été abordées sous deux approches :

- une approche régionale visant à déterminer la direction des échanges entre les eaux souterraines et les eaux de surface pour l'ensemble des masses d'eau de surface. Le résultat majeur est une cartographie des interactions ESO-ESU offrant une vision d'ensemble des flux échangés entre les eaux de surface et les eaux souterraines.
- Une approche locale, dans laquelle, différentes méthodes d'études des mécanismes d'échange entre les eaux de surface et les eaux souterraines ont été investiguées.

Un résumé des résultats de l'approche régionale est présenté ci-après. L'étude complète des interactions ESO-ESU, constitue un livrable à part entière (D3.52 – D4.52).

4.8.1.2 Cartographie - Typologie des interactions ESO-ESU

Afin de cartographier les différents types d'échange ayant lieu entre les eaux souterraines et les eaux de surface, une typologie mettant en évidence 4 mécanismes d'échange différents, à été développée. Chacun de ces mécanismes a des caractéristiques qui lui sont propres, et met en évidence leur influence sur les eaux souterraines et les eaux de surface, quantitativement et qualitativement. La cartographie permet alors d'évaluer les risques potentiels qu'une pression qualitative ou quantitative peut avoir sur les eaux de surface ou/ et sur les eaux souterraines. Les 4 systèmes d'échange sont les suivants :

- 1) Système potentiellement drainant : l'aquifère alimente le cours d'eau et contribue à maintenir un « niveau de base ». La qualité des eaux du cours d'eau est influencée, entre autre, par la qualité des eaux souterraines.

- 2) Système potentiellement perdant : le cours d'eau alimente l'aquifère et la qualité des eaux souterraines est influencée, entre autre, par la qualité des eaux de surface.
- 3) Système en pseudo-équilibre : les fluctuations de la nappe (hautes eaux – basses eaux) et du ruisseau (crues ou étiages) font en sorte que le sens des échanges peut être variable, de l'aquifère vers le cours d'eau (ESO->ESU) ou du cours d'eau vers l'aquifère (ESU->ESO). Les débits d'échange sont en général faibles.
- 4) Système perte-résurgence : dans les zones karstiques, un cours d'eau peut présenter des secteurs où l'essentiel des écoulements est souterrain et d'autres secteurs où ces écoulements ont lieu à la surface du sol. Les pertes correspondent aux points d'entrée des eaux de surface dans le milieu souterrain et les résurgences correspondent à leur réapparition en surface

4.8.1.3 Cartographie de la masse d'eau RWM011

La Figure 4-13 reprend la cartographie des interactions ESO-ESU et des unités hydrogéologiques de la masse d'eau RWM011. Les cours d'eau⁵ se répartissent principalement en systèmes perdants et drainants. La majorité (en termes de longueur cumulée) des cours d'eau a été évaluée comme étant drainant, soit 51%. Ces cours d'eau sont surtout localisés au droit des unités hydrogéologiques les moins perméables de la masse d'eau, à savoir, l'aquitard à niveaux aquicludes du socle Cambro-Silurien, l'aquiclude du Famennien-Frasnien. On les retrouve aussi au droit d'unité plus perméable comme l'aquifère des sables éocènes (à l'Ouest de la masse d'eau) et l'aquifère des calcaires givetiens-frasniens. Sur 389 km du réseau hydrographique qui s'écoule dans la masse d'eau RWM011, 29 % ont été déterminé selon la typologie perdant, soit, 113 km de cours d'eau qui constituent des systèmes « à risques » pour les eaux souterraines. D'un point de vue qualitatif, en cas de pollution des eaux de surface, celles-ci peuvent, contaminer les eaux souterraines. D'un point de vue quantitatif, le débit du cours d'eau s'en retrouve alors plus ou moins affecté selon le taux d'infiltration, ce qui peut conduire à l'assèchement du tronçon en période d'étiage. On retrouve ce type d'échange presque uniquement au droit des calcaires carbonifères, ainsi que dans une moindre mesure au sein des calcaires givetiens-frasniens.

⁵ Sont considérés ici, les cours d'eau constituant le réseau secondaire, c'est-à-dire tout le réseau hydrographique de la masse d'eau RWM011 excepté la Meuse.

Aucun des cours d'eau n'a été classé selon la typologie de type perte-résurgence. Enfin sur 14% du réseau hydrographique, les échanges n'ont pu être évalués.

En résumé, au vu de la cartographie, il apparaît que les cours d'eau drainants sont concentrés au droit des terrains les moins perméables (aquitard à niveaux aquiclude du socle cambro-silurien, aquiclude du Famennien-Frasnien), tandis qu'on retrouve au droit des calcaires carbonifères beaucoup de cours d'eau perdants. La potentialité d'une contamination de l'eau souterraine au sein de cette unité hydrogéologique vulnérable (porosité de fissure) est donc importante. Rappelons que c'est l'unité qui présente le plus important potentiel aquifère, et qui est la plus exploitée.

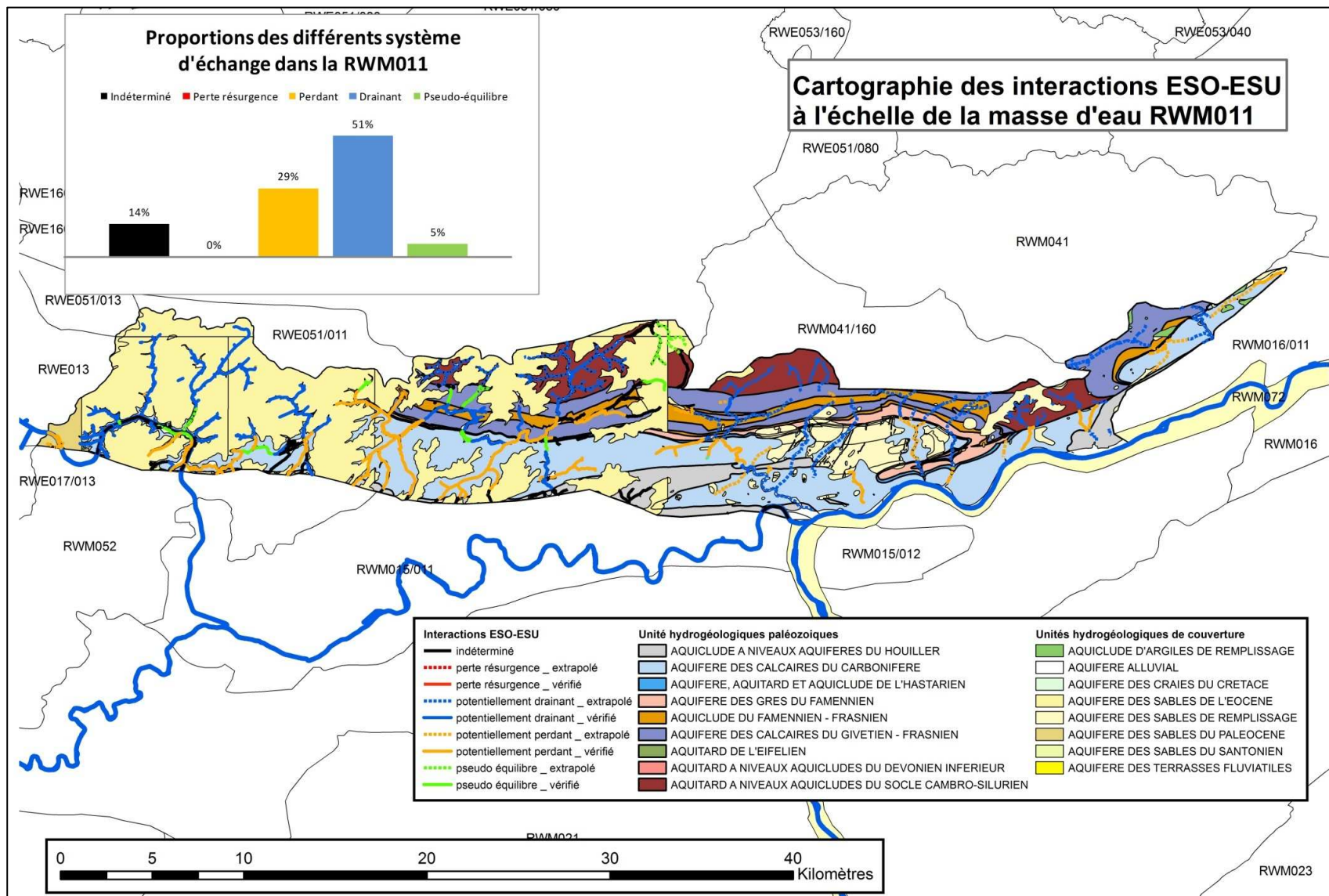


Figure 4 -13 : Cartographie des interactions ESO-ESU à l'échelle de la masse d'eau RWM011. Les proportions correspondent au pourcentage de la longueur cumulée des différents systèmes d'échange par rapport à la longueur totale du réseau hydrographique de la masse d'eau, excepté la Meuse.

5 Etat qualitatif de la masse d'eau souterraine

Afin de caractériser au mieux les masses d'eau souterraine du point de vue de leur hydrochimie générale, un réseau de caractérisation qualitatif a été établi dans ce sens. Par ailleurs, en support à la mise en œuvre de la Directive cadre 2000/60/CE, un réseau de surveillance qualitatif a été mis en place.

Le réseau de caractérisation a fait l'objet de deux campagnes d'échantillonnages en 2007, la première en juillet-août et la seconde en novembre. Sur le réseau de surveillance, une analyse SEQ_ESO a été réalisée. Ces deux approches sont reprises dans des livrables (D4.1 : rapport relatif aux échantillonnages complémentaires des éléments majeurs) et sont résumées ci-dessous.

5.1 Cartographie régionale de la chimie des eaux souterraines

Afin de (1) caractériser l'hydrochimie de la masse d'eau souterraine RWM011 à travers les unités hydrogéologiques qui la compose; (2) identifier les variations saisonnières de la chimie des eaux souterraines et (3) identifier d'éventuelles pollutions dans les eaux souterraines, deux campagnes d'échantillonnages ont été réalisées en 2007, la première en juillet-août et la seconde en novembre. Les points échantillonnés sont représentés sur les figures 5-1 & 5-2 (Ensemble des ouvrages échantillonnés sur les trois masses d'eau du projet Synclin'Eau).

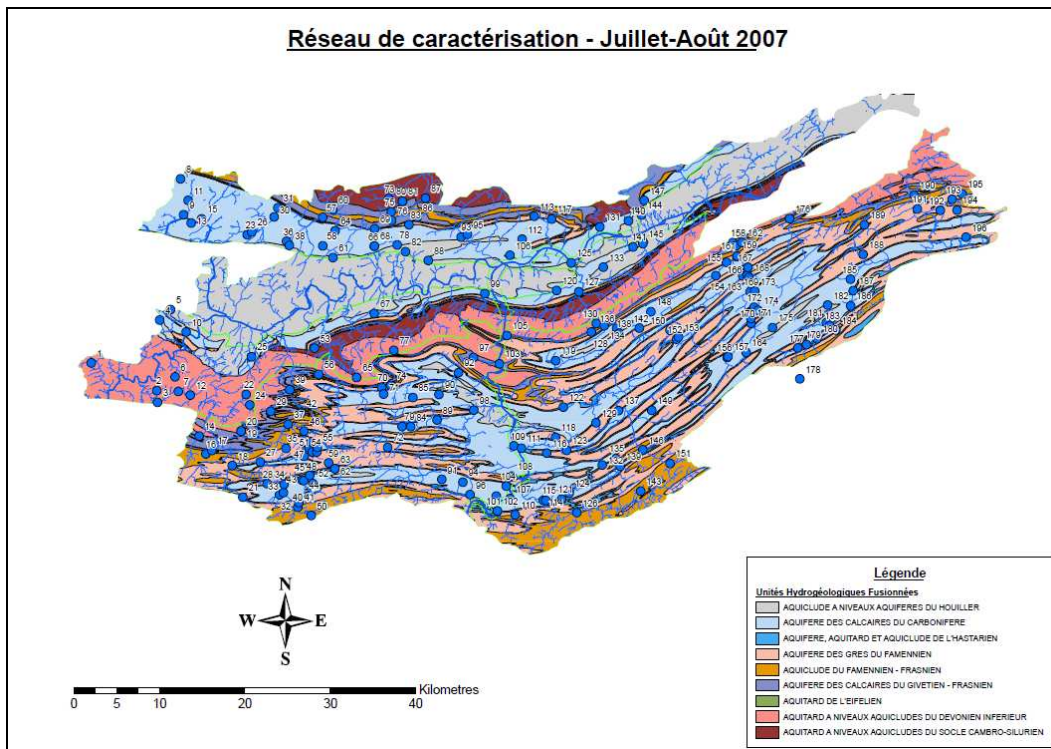


Figure 5-1 : Localisation des points de prélèvements effectués en Juillet-Août 2007

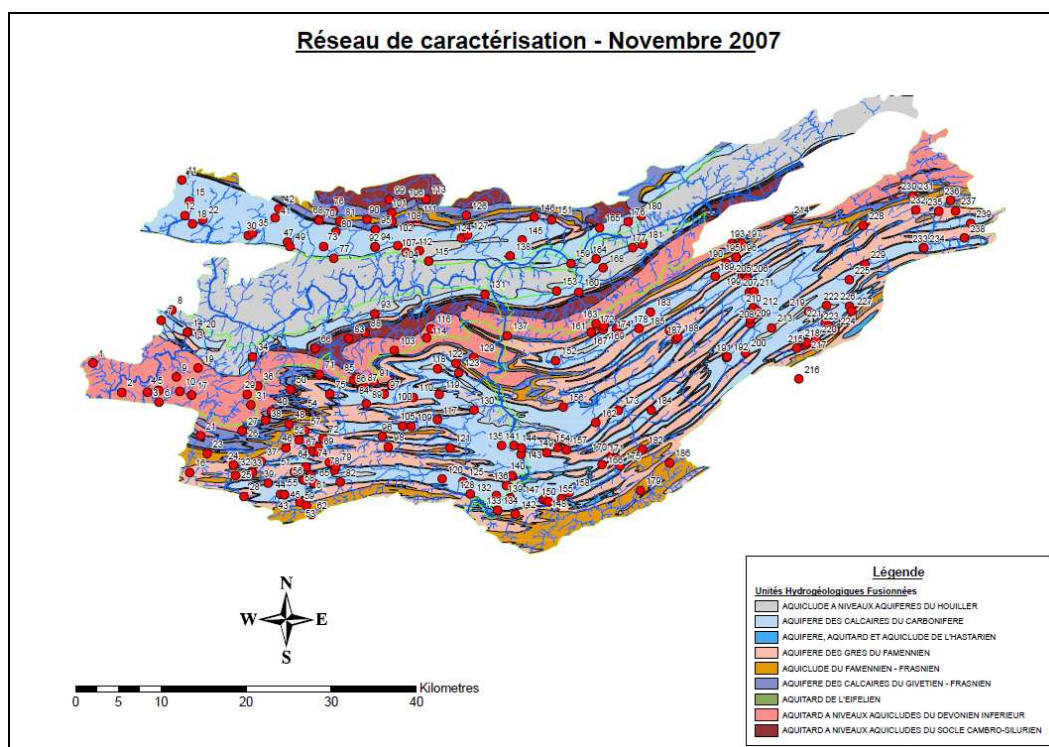


Figure 2 : Localisation des points de prélèvements effectués en Novembre 2007

Une approche multi méthodes a été utilisée pour le traitement des résultats d'analyses chimiques. Elle fait l'objet d'un livrable intitulé « D4.1. Rapport relatif aux échantillonnages complémentaires des éléments majeurs ».

Les échantillons ont été prélevés sur l'ensemble des masses d'eau (011-012-021), dans des puits domestiques et des sources, et ont été analysés sur les paramètres physico-chimiques suivants :

- Conductivité, résistivité, pH, pHS, indice de Langelier, dureté, titre alcalimétrique ;
- Cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{3+} , Fe total, Mn^{2+} ;
- Anions : Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , F, $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$, CO_3^{2-} , HCO_3^- , CO_2 libre, SiO_2 .

L'interprétation des résultats a été faite suivant différentes méthodes. Ainsi, une étude statistique complète reprenant l'étude des histogrammes, des matrices de corrélations ou encore des diagrammes de dispersion été – hiver de chaque paramètre ont été effectuées. Ensuite, les résultats obtenus ont été confirmés voire affinés grâce à l'utilisation de deux analyses statistiques différentes, l'analyse en composantes principales (ACP) et les matrices auto-organisantes (SOMs). Une analyse cartographique complète ainsi que l'analyse de diagrammes de base ont également été réalisées.

5.1.1 Composition chimique « type »

Le tableau (Tableau 5-1) suivant présente la composition chimique « type » pour la masse d'eau RWM011 et les nappes qui la composent, à savoir les calcaires carbonifères (CC), les calcaires dévoniens (CD) et les formations du Cambro-Silurien (CS). Aucune composition n'a été obtenue sur les terrains houillers de la masse d'eau par manque d'analyse dans cette formation.

La concentration pour chaque valeur, élément ou composé, est ici la médiane de la distribution statistique des échantillons. Elle est calculée sur 74 prélèvements: 55 proviennent des calcaires carbonifères, 11 des calcaires dévoniens et 7 des formations cambro-siluriennes. Les prélèvements d'eau polluée ont été retirés de la distribution.

	RWM011	CC 011	CD 011	CS 011
<i>pH in situ</i>	7,03	7,05	6,92	6,70
<i>T° in situ</i>	11,50	11,60	11,30	11,30
<i>Cond in situ</i>	772,00	779,00	901,00	543,50
<i>pH Laboratoire</i>	7,82	7,80	7,84	7,72
<i>Conductivité 25°C Labo (µS/cm)</i>	793,25	807,00	768,00	526,00
<i>Résistivité 25°C (Ω-cm)</i>	1260,50	1239,00	1302,00	1901,00
<i>pHs (de saturation)</i>	7,05	7,03	6,99	7,41
<i>Indice de Langelier</i>	0,71	0,72	0,64	-0,04
<i>Dureté totale (°fr)</i>	39,60	40,80	41,80	22,80
<i>Dureté permanente (°fr)</i>	11,00	13,40	8,70	5,30
<i>Dureté temporaire (°fr)</i>	26,05	26,40	31,50	17,50
<i>TA (°fr)</i>	0,10	0,10	0,10	0,00
<i>TAC (°fr)</i>	26,05	26,40	31,50	17,50
<i>Ca++ (mg/l)</i>	122,90	129,35	123,14	81,75
<i>Mg++ (mg/l)</i>	15,60	16,35	15,50	5,89
<i>Na+ (mg/l)</i>	15,78	15,60	21,82	15,93
<i>K+ (mg/l)</i>	2,95	2,72	9,76	2,36
<i>Fe+++ sol (mg/l)</i>	0,01	0,02	0,01	0,01
<i>Fer total (mg/l)</i>	0,11	0,12	0,11	0,08
<i>Mn++ sol (mg/l)</i>	0,00	0,00	0,04	0,00
<i>Mn++ total (mg/l)</i>	0,02	0,02	0,03	0,01
<i>NH4+ (mg/l)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cl- (mg/l)</i>	41,17	43,63	41,24	21,28
<i>SO4-- (mg/l)</i>	68,31	76,85	67,34	24,12
<i>NO2- (mg/l)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>NO3- (mg/l)</i>	27,09	32,23	20,34	14,82
<i>F- (mg/l)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>H2PO4- (mg/l)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>CO3-- (mg/l)</i>	1,05	1,02	1,17	0,28
<i>HCO3- (mg/l)</i>	311,11	320,32	383,23	212,71
<i>CO2 libre (mg/l)</i>	3,25	3,30	3,30	3,60
<i>SiO2 (mg/l)</i>	12,00	11,30	12,30	15,20
<i>Total cations (méq/l)</i>	8,78	9,09	9,14	5,71
<i>Total anions (méq/l)</i>	8,62	8,81	8,98	5,53
<i>Balance ionique (%)</i>	1,35	1,39	1,15	1,02

Tableau 5-1 : Composition "type" de la masse d'eau RWM011 - des calcaires carbonifères - des calcaires dévoniens - des formations cambro-siluriennes

5.1.2 Diagrammes de Piper

Les diagrammes de Piper sont composés de deux diagrammes ternaires dans lesquels sont reportés les proportions en cations et en anions. Le troisième diagramme reprend une synthèse des deux précédents et permet de rapidement caractériser l'eau analysée. La figure suivante (Figure 5-3) présente un diagramme de Piper ainsi que les différents types d'eau que l'on peut rencontrer dans la nature.

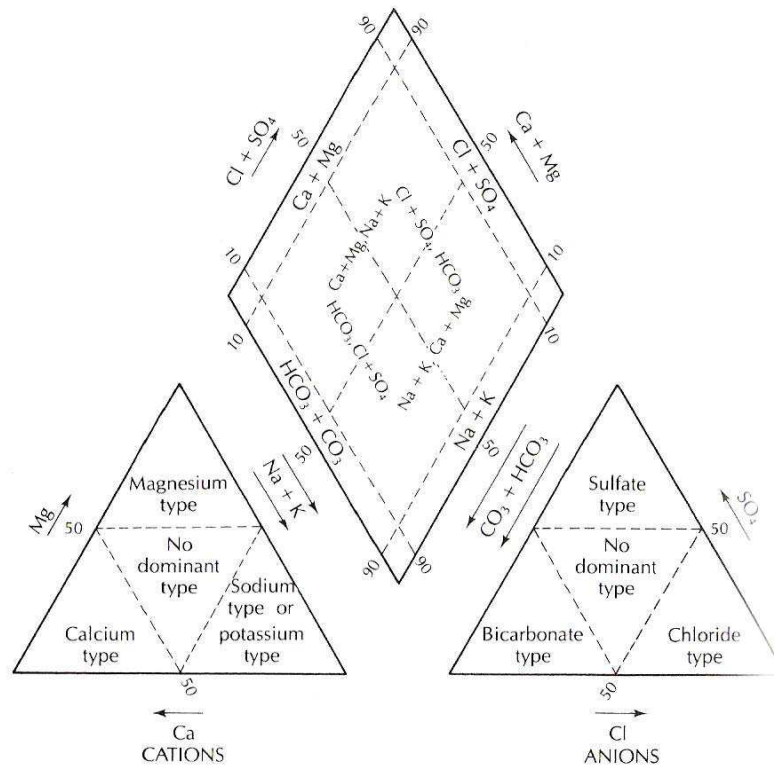


Figure 5-3 : Diagramme de Piper (Fetter, 2001).

Chaque sommet des triangles représente 100% d'un des trois constituants. Pour les cations, on représente en général Ca^{++} , Mg^{++} et $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ tandis que pour les anions, il s'agit de Cl^{-} , SO_4^{--} et $\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{--}$. Ce type de diagramme sert à caractériser une eau grâce à la proportion des différents éléments majeurs.

Dans le diagramme, les points de prélèvement sont distingués selon leur unité hydrogéologique. La Figure 5-4 présente ces unités et les codes « nappe » associés.

- Calcaires carbonifères
- Calcaires dévoniens
- ◆ Grès/schistes Gd-Sg-Em-Co
- ▼ Grès/schistes Fr-Fa
- ▲ Grès/schistes Cambro-Silurien
- Terrains Houillers

Figure 5-4 : Légende des diagrammes de Piper.

Les figures ci-dessous reprennent, à gauche, le diagramme calculé pour la MESO RWM011 en été, et à droite, le diagramme calculé pour les résultats « hiver » (Figure 5-5 & 5-6).

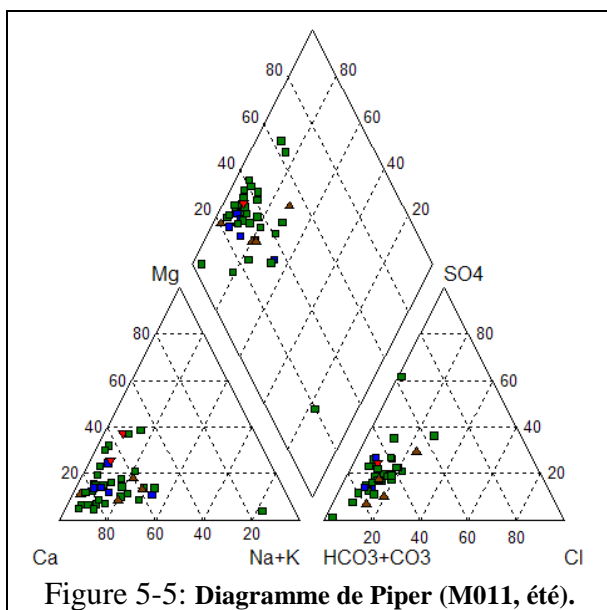


Figure 5-5: Diagramme de Piper (M011, été).

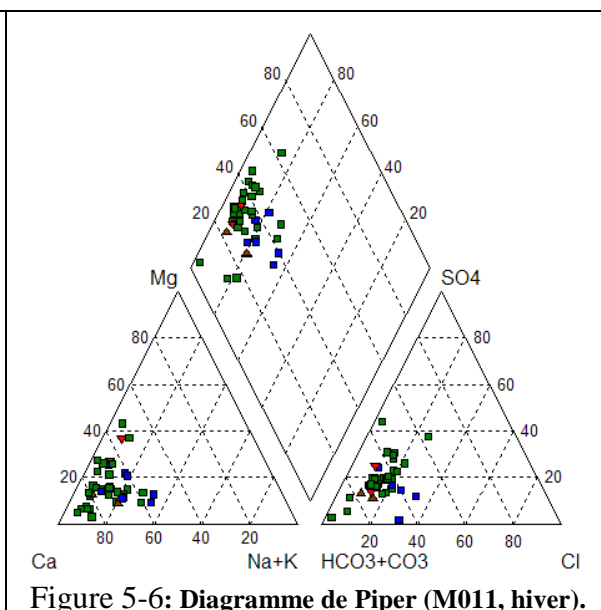


Figure 5-6: Diagramme de Piper (M011, hiver).

On peut conclure qu'à part quelques points vraisemblablement contaminés par des sources anthropiques, la majorité des échantillons d'eau prélevés possèdent un faciès « bicarbonaté calcique ». Cela semble logique pour les différentes formations calcaires, tout comme pour les points situés dans les grès du Famennien.

Le problème des diagrammes de Piper est qu'ils affichent des proportions relatives. Dès lors, deux points avec des concentrations en éléments majeurs fortement différentes peuvent occuper la même position dans le graphique, ce qui semble être le cas ici. Ce problème nous a amené à rechercher d'autres méthodes d'interprétation comme l'ACP (analyse en composantes principales) ou les SOMs (matrices auto-organisantes) qui sont abordés ci-dessous.

5.1.3 Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est un traitement mathématique permettant une étude exploratoire de données multivariées. Elle permet de traiter un tableau de N échantillons dépendant de X variables. Globalement, l'analyse en composantes principales tend à mettre en évidence des corrélations entre deux éléments (sur bases de relations linéaires) et de regrouper des échantillons suivant des « axes » portant un maximum d'informations (axes d'inertie).

La méthode peut être résumée comme suit : les échantillons sont représentés par des points dans un espace à X dimensions. Dans ce dernier, l'ACP recherche des directions privilégiées, les axes d'inertie, qui correspondent aux directions d'allongement maximum du nuage de points. Ces axes sont des fonctions linéaires des variables chimiques et indiquent des tendances dans le comportement des échantillons. L'ACP donne une représentation graphique qui est la projection selon les deux axes

d'inertie du nuage de points, qui sont supposés porter une grande partie de l'information statistique. A l'aide de celle-ci, il est possible de distinguer diverses tendances dans le comportement des échantillons.

Des axes d'inertie sont calculés et il est alors aisé de voir autour de quels axes se regroupent la majorité des points. Ces axes déterminent une tendance vis-à-vis des éléments chimiques que suivent la plupart des échantillons.

5.1.3.1 *Analyse graphique sur les échantillons d'eau prélevés en été*

Dans l'analyse réalisée sur les échantillons d'été, le premier axe d'inertie qui est appelé « Facteur 1 » dans la suite de ce chapitre, est inversement proportionnel à la teneur en Ca^{++} et en HCO_3^- , à la conductivité électrique, à la dureté totale et temporaire, au TAC et proportionnel au pH de saturation. Le second axe d'inertie appelé « Facteur 2 » est proportionnel à la teneur en CO_2 libre et inversement proportionnel au pH mesuré au laboratoire, au TAC, à la teneur en CO_3^{--} et à l'indice de LANGELIER.

Le facteur 1 porte 35.03% de l'information tandis que le facteur 2 en représente 13,88%, ce qui veut dire que quoiqu'ils soient les plus représentatifs, ils ne portent qu'une partie de l'information (Figure 5-7).

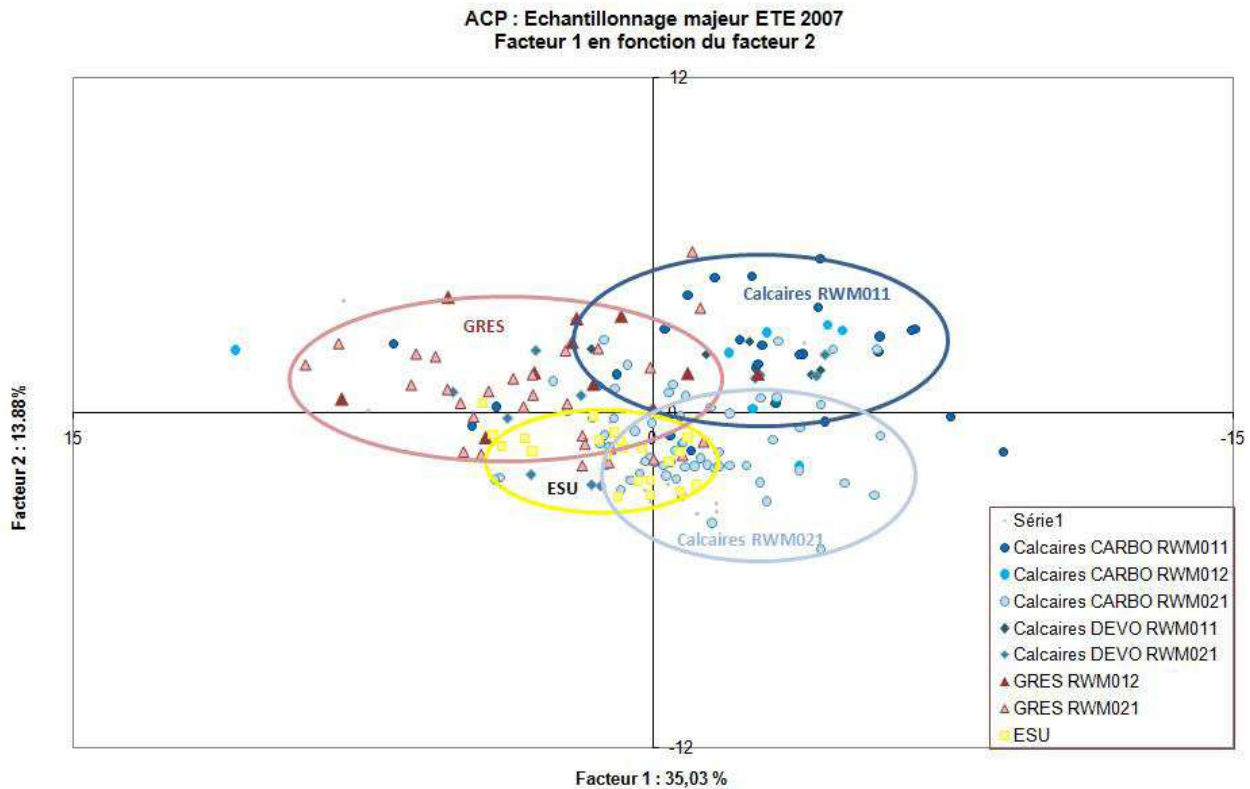


Figure 5-7: ACP sur les résultats d'analyse de l'échantillonnage majeur réalisé en été 2007.

L'ACP donne une représentation graphique qui est la projection selon les deux axes d'inertie du nuage de points. A l'aide de celle-ci, il est possible de distinguer diverses tendances dans le comportement des échantillons.

Sur la Figure 5-5 sont représentés les résultats de l'ACP pour la campagne de prélèvements réalisée en été 2007. Sont repris en bleu les analyses d'eau calcaire (bleu foncé pour la RWM011, bleu ciel pour la RWM012 et bleu clair pour la RWM021), en rose les analyses d'eau gréseuse (rose foncé pour la RWM012 et rose clair pour la RWM021). Des points relatifs aux quelques prélèvements d'eau de surface sont repris en jaune.

Un « groupe » de point bleus se forme dans la partie droite du graphique, il s'agit de la majorité des échantillons provenant de l'eau des calcaires. Dans la partie gauche du graphique, se forme un autre « groupe » (points roses), celui-ci reprend la majorité des échantillons provenant de l'eau des formations gréseuses.

Les eaux de surface, représentée en jaune sur le graphique (ESU) semblent également former un groupe mais il est noyé dans les deux groupes « calcaires » et « grès ». Ceci peut s'expliquer par le fait que cette eau constitue un mélange des diverses eaux souterraines.

Par contre, au sein de ces groupes « calcaires » et « grès », l'appartenance à l'une ou l'autre masse d'eau n'apparaît pas comme un facteur discriminant. Seul l'eau des calcaires de la RWM011 semblent plus propices à faire l'objet d'un groupe (Figure 5-8). Sur cette dernière figure, les eaux calcaires de la RWM011 sont représentées en bleu tandis que l'ensemble des autres données sont représentées en gris léger. Néanmoins, ce groupe est encore trop dispersé pour pouvoir définir une eau type.

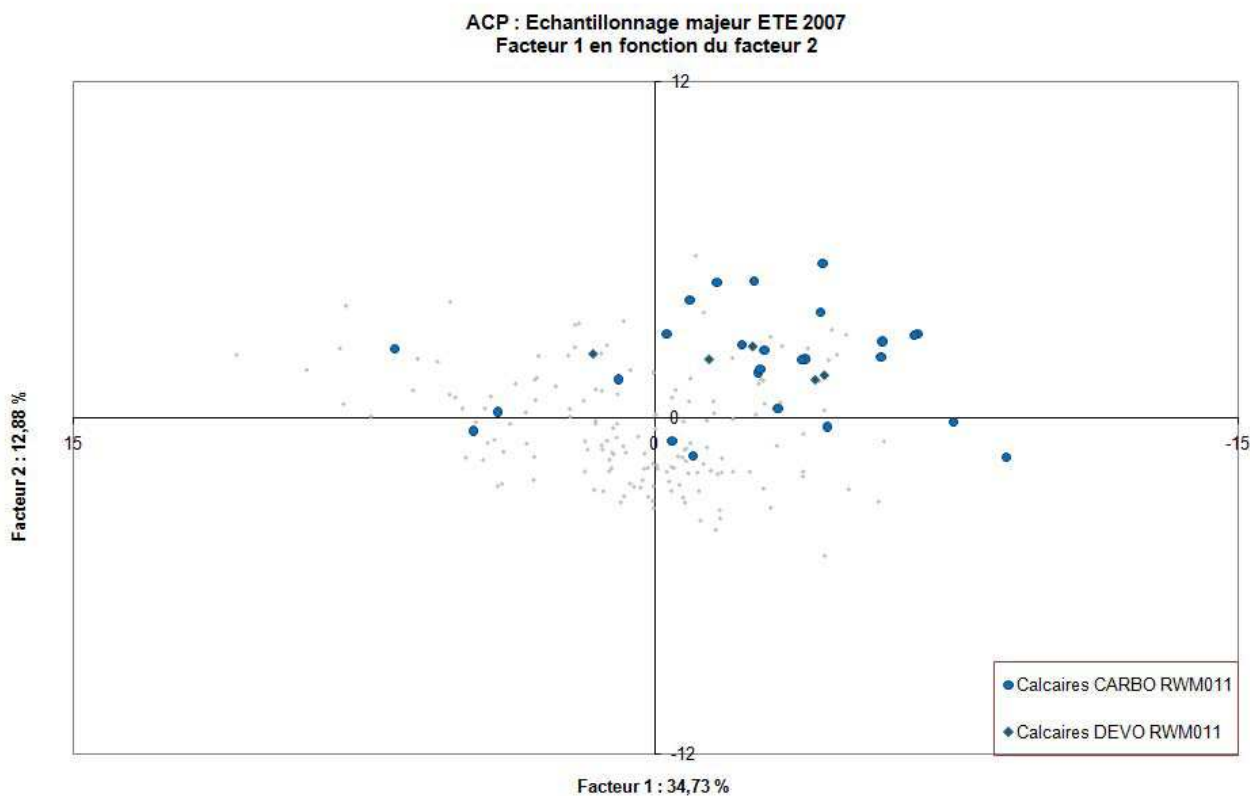


Figure 5-8: Mise en évidence de la masse d'eau RWM011 dans les résultats de l'ACP (été).

5.1.3.2 Analyse graphique sur les échantillons d'eau prélevés en hiver

L'ACP réalisée sur les échantillons prélevés en hiver est semblable à celle d'été et les conclusions sont identiques.

Comme en été, seul l'eau des calcaires de la RWM011 semblent plus propices à faire l'objet d'un groupe. Mais ce groupe est toujours trop dispersé que pour pouvoir en tirer des conclusions.

5.1.3.3 Conclusions concernant l'analyse « ACP »

L'intérêt de la formation de différentes populations d'eau est de sortir des caractéristiques propres à chaque groupe. Les différents graphiques montrent que des tendances sont perceptibles mais qu'elles ne sont pas nettes. Il est dès lors difficile de pouvoir tirer une « analyse type » d'un des groupes d'eau à partir de l'ACP.

Les eaux des calcaires de la RWM011 semblent cependant ressortir plus fortement. Néanmoins, comme l'étalement de ce groupe est important, aucune caractéristique ne peut être clairement définie pour ce groupe.

De même, les eaux de surface semblent former un groupe différent des autres mais il est noyé dans les deux groupes « calcaires » et « grès ». Ceci peut s'expliquer par le fait que cette eau provient en partie de l'eau des nappes « calcaires » et « gréseuses ».

5.1.4 *Matrices auto organisantes (SOMs)*

Les matrices auto-organisantes (Self-Organizing Maps, SOMs) sont une méthode de visualisation de sets de données multivariées. Le problème que ces techniques essaient de résoudre est que l'homme est simplement incapable d'interpréter des données inscrites dans des matrices de grandes dimensions. Les SOMs permettent de réduire les dimensions des données à travers un réseau neural auto organisant qui produit in fine une image résultante (généralement en deux dimensions) regroupant les échantillons similaires entre eux. Les SOMs accomplissent donc deux choses, elles réduisent les dimensions des données et elles affichent les similarités.

Cette méthode a été appliquée à l'ensemble des masses d'eau Synclin'Eau (voir livrable D4.1 : rapport relatif aux échantillonnages complémentaires des éléments majeurs). Aucune conclusion ne peut être tirée pour la masse d'eau RWM011.

5.1.5 *Conclusions relatives aux analyses chimiques des eaux (tirées du livrable D4.1)*

Cette approche multi-méthodes a montré son efficacité pour le traitement de données hydrochimiques. Les distributions et les matrices organisantes permettent de faire ressortir des populations différentes dans le jeu de données. Par contre, l'utilisation des diagrammes de base ont montré leurs limitations pour des données où les différences entre paramètres ne sont pas toujours très nettes.

L'étude statistique a permis de montrer que les eaux souterraines des unités hydrogéologiques composant les MESO étudiées sont globalement de même caractère. Les eaux de formations calcaires sont proches des eaux des formations gréseuses du Famennien tandis que les eaux des formations gréseuses du Dévonien et du socle Cambro-silurien du Massif de Brabant sont moins minéralisées. La différence principale entre ces deux groupes est la concentration en calcium logiquement plus importante pour les unités calcaires par rapport aux eaux des unités gréseuses.

Les diagrammes de dispersion été – hiver ont mis en évidence qu'il n'y avait pas de variations temporelles importantes dans la qualité des eaux souterraines.

L'analyse cartographique n'a pas réellement permis de montrer une variation spatiale de la qualité des eaux souterraines à travers les différentes MESO. Cependant, une légère variation a pu être détectée grâce à l'analyse en composantes principales. En effet, il semblerait que seuls les calcaires de MESO RWM011 ressortent légèrement par rapport aux autres formations des autres masses d'eau étudiées.

Peu de pollutions ont été détectées. Il s'agit la plupart du temps de valeurs extrêmes qui ont été retirées du set de données afin de ne pas fausser les corrélations entre paramètres. Par ailleurs, ces dernières ne nous montrent que des relations attendues.

Enfin, les matrices auto organisantes nous ont permis de définir une composition chimique « type » de chaque unité hydrogéologique étudiée.

5.2 Réseau de surveillance qualitatif

Le réseau de surveillance qualitatif mis en place est constitué de deux types de sites: «points producteurs» et «points patrimoniaux». Les analyses des «points producteurs» ont été transmises par les sociétés de distribution d'eau publique via la DGRNE. L'échantillonnage et l'analyse de l'eau prélevée dans les «points patrimoniaux» ont été réalisés par l'ISSEP. La liste des paramètres analysés est celle définie dans le cadre de la mise en œuvre du Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines en Région wallonne (SEQ-ESO).

L'ensemble du réseau de surveillance qualitatif de la masse d'eau («points producteurs» et «points patrimoniaux») est décrit à la figure suivante (Figure 5-9).

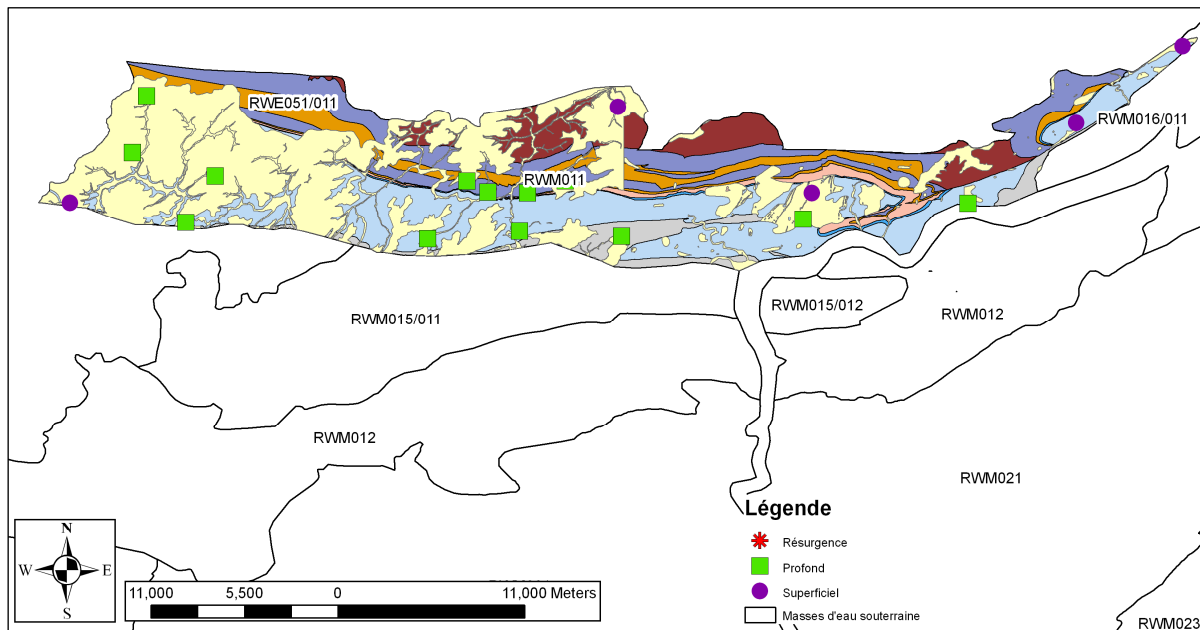


Figure 5-9: Réseau de surveillance qualitatif pour la masse d'eau souterraine RWM011.

5.3 Application du SEQ-ESO et risque quantitatif

Le principal outil mis en œuvre pour apprécier l'état chimique des masses d'eau souterraine de Wallonie et répondre ainsi aux objectifs de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau est le Système d'Evaluation de la Qualité des Eaux Souterraines (SEQ-ESO) employé par la DGRNE –

DESO du Ministère de la Région Wallonne (Delloye & Rentier, 2004)⁶. Ce système, qui repose sur le SEQ – Eaux Souterraines développé par les Agences de l’Eau françaises, utilise une échelle d’appréciation générale de la qualité des eaux souterraines élaborée à partir de l’étude des usages et autres fonctions de celles-ci (notamment le concept d’état patrimonial des réserves en eau souterraine). A l’aide d’indices adimensionnels, tous les paramètres sont traités sur un pied d’égalité en les regroupant sous forme d’altérations (substances appartenant à une même famille chimique ou présentant des comportements similaires). Moyennant certaines règles d’agrégation, cet outil permet de qualifier l’état général d’une masse d’eau souterraine à partir des données issues d’un réseau de sites de surveillance représentatif notamment (1) de la géologie et de l’hydrogéologie de la masse d’eau et (2) de l’ensemble des fonctions et usages qui sont faits des réserves en eau souterraine de cette masse d’eau.

Dans le cadre de l’évaluation de la qualité des eaux souterraines de la masse d’eau RWM011, le réseau de surveillance qualitative évoqué ci-dessus au point 5-3 a fait l’objet d’un traitement par l’outil SEQ-ESO. Une évaluation de la qualité des eaux souterraines prélevées dans la période 2000 – 2007 sur chaque site de surveillance de ces deux masses d’eau a été réalisée selon les critères du SEQ-ESO. Les résultats de cette analyse, illustrés à la figure 5-10, montrent que les principaux problèmes de qualité rencontrés dans les eaux souterraines de la masse d’eau RWM011 relèvent presque exclusivement des apports anthropiques, telles que les nitrates. Les couleurs sont attribuées aux différents sites en fonction de la classe de qualité SEQ-ESO tandis que le paramètre le plus limitant est repris en label du site.

Ces résultats ont été agrégés de manière à obtenir une évaluation globale de la qualité pour l’ensemble de la masse d’eau RWM011. Cette évaluation est synthétisée à la figure 5-11 sous forme d’une fiche qualité. Celle-ci montre qu’à l’échelle de la masse d’eau RWM011, la qualité des eaux souterraines doit être considérée comme bonne (classe verte du système SEQ-ESO). La problématique des nitrates y est bien visible.

A ce titre, la masse d’eau souterraine RWM011 doit être considérée comme en bon état chimique mais à surveiller quant à l’évolution des concentrations en nitrates.

⁶ Delloye F. & Rentier C. (2004). Système d’évaluation de la qualité des eaux en Région wallonne. Tribune de l’eau.

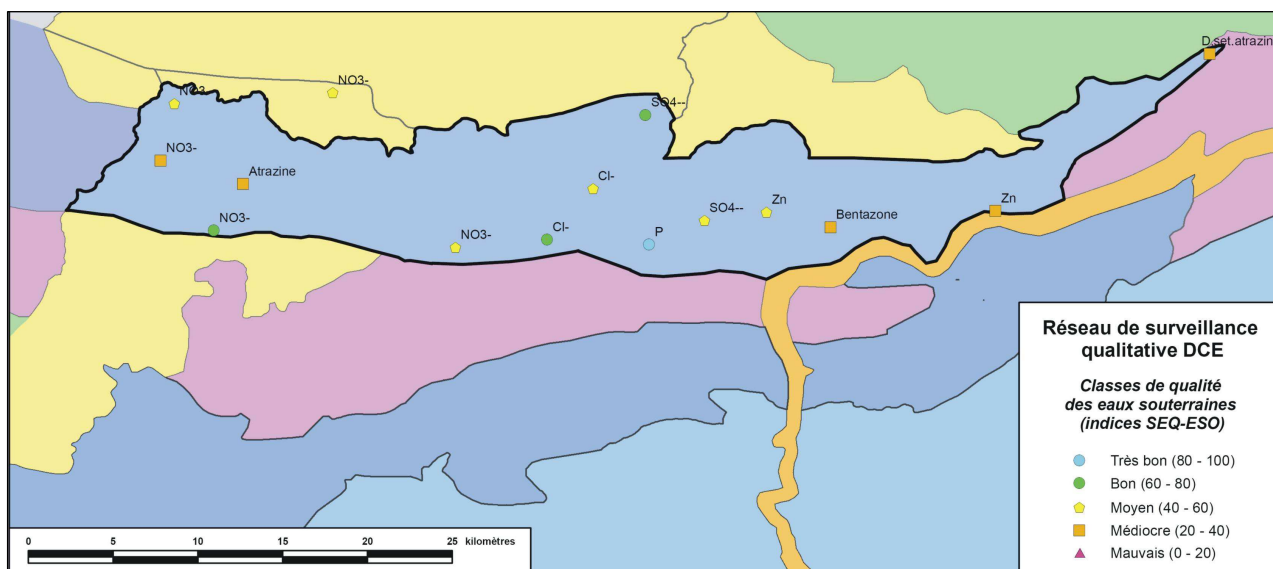


Figure 5-10: Evaluation de la qualité des eaux souterraines de la masse d'eau RWM011 à l'aide de l'outil SEQ-ESO (période 2000 – 2007)

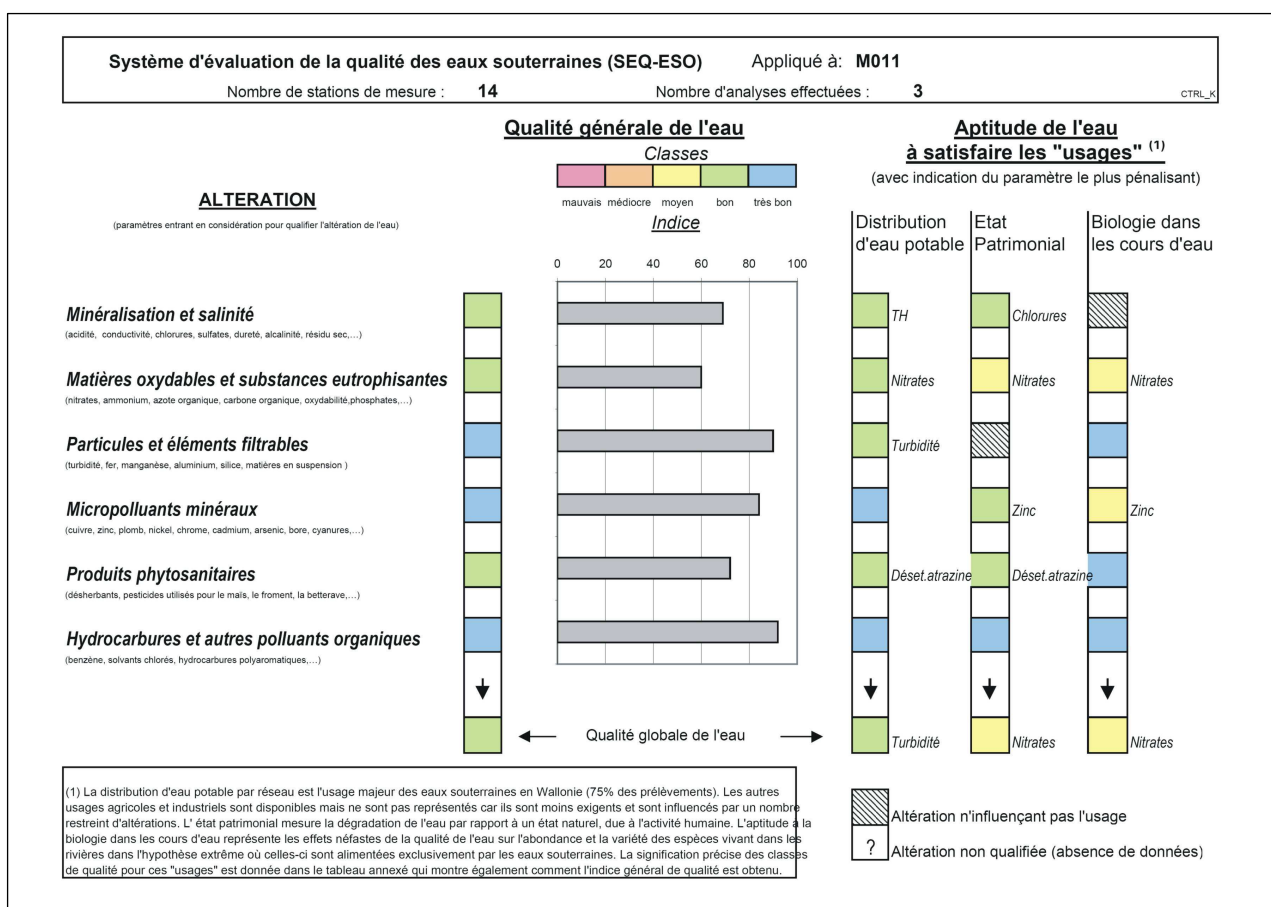


Figure 5-11: Fiche SEQ-ESO d'évaluation de la qualité des eaux souterraines de la masse d'eau RWM011.

6 Conclusions

La masse d'eau souterraine RWM011, « Calcaires du bassin de la Meuse bord nord », reprend une partie de l'aquifère des calcaires Dévono-Carbonifères du Bord Nord du Synclinorium de Namur. Cet aquifère est principalement formé de roches carbonatées, calcaires et dolomitiques.

L'aquifère des calcaires carbonifères est l'aquifère le plus productif de la masse de la masse d'eau RWM011 du fait de sa bonne perméabilité (transmissivité moyenne : $1.5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$).

Il est alimenté non seulement par l'infiltration des eaux météoriques dans la zone de recharge directe, mais aussi par drainance des nappes superficielles (nappe des sables de l'Eocène, nappe des alluvions et de couverture, ...).

Ces terrains de couverture, plus épais à l'Ouest qu'à l'Est, permettent de distinguer deux parties dans la masse d'eau RWM011.

Dans la *partie Ouest*, la couverture sableuse influence la dynamique de l'aquifère. Sous cette couverture, la nappe des calcaires fluctue très peu (moins d'un mètre). Le transfert entre l'aquifère de couverture et l'aquifère des calcaires s'effectuent en grande partie par drainance plutôt que par infiltration directe.

Une carte piézométrique a pu être tracée et montre que les écoulements dans la nappe des calcaires se font en direction des grandes zones de captages mais aussi vers le réseau hydrographique dans les zones d'affleurement du calcaire. Dans la couverture, les cours d'eau sont drainants par rapport à la nappe des sables.

Le suivi piézométrique et le tracé de la carte piézométrique ont permis de mettre en évidence des zones à surveiller : dans la région de Villers-Perwin, le niveau général de la nappe est rabattu sous l'influence des captages.

L'aquifère peut être divisé en trois sous-bassins hydrogéologiques sur base du tracé des crêtes piézométriques: le bassin du Piéton, le bassin de Wagnelée et le bassin de l'Orneau.

Dans la *partie Est*, la dynamique de la nappe des calcaires est influencée par l'infiltration d'une partie de l'eau utile et les variations saisonnières sont mises en évidence. Au regard des bilans et graphiques réalisés, il apparaît que l'aquifère joue un rôle important dans l'alimentation des cours d'eau pour cette partie de la masse d'eau.

Le suivi piézométrique a permis de mettre en évidence des zones à surveiller : aux alentours de Villers-le-Bouillet et en rive gauche de la Mehaigne.

La ressource renouvelable de la masse d'eau RWM011 a été estimée : 84 m³ d'eau (+/- 31 m³) par an. Une partie seulement de ces ressources naturelles est exploitable du fait de différentes contraintes hydrogéologiques, hydrologiques, écologiques et technico-économique. La répartition des ressources renouvelables par unité hydrogéologique ainsi que la comparaison des prélèvements dans la masse d'eau par rapport aux estimations des ressources ont été étudiées et montrent que, d'une part, une grande partie des ressources renouvelables s'infiltrer au droit des terrains de couverture, et qu'une partie de ces ressources s'infiltrer ensuite vers les terrains sous-jacents, et d'autre part l'aquifère des calcaires carbonifères est fort sollicité par rapport aux autres unités.

Les cours d'eau drainants sont concentrés sur les terrains les moins perméables (aquitards à niveaux aquicludes du socle cambro-silurien, aquicludes du Famennien-Frasnien), ainsi que sur les terrains de couverture dans la partie Ouest. Au droit des calcaires, et particulièrement dans les régions de Thiméon, Viesville, Fleurus, Balâtre et Spy, on retrouve des cours d'eau perdants. La potentialité d'une contamination de l'eau souterraine au sein de cette unité hydrogéologique vulnérable (porosité de fissure) y est donc importante.

Deux réseaux de surveillance ont été mis en place: quantitatif et qualitatif.

Le réseau de surveillance quantitatif proposé intègre trois types de points: le suivi piézométrique, le suivi de sources et émergences, et le suivi limnimétrique de seuils hydrogéologiques. La démarche suivie pour la sélection des ouvrages a été expliquée. Au total, 21 ouvrages sont repris dans ce réseau et ont été mesurés mensuellement ou équipés d'une sonde de relevé automatique.

Le réseau de surveillance qualitatif mis en place est constitué de deux types de sites: «points producteurs» et «points patrimoniaux». Au total, 17 ouvrages sont repris dans ce réseau et font l'objet de campagne d'échantillonnage par l'ISSEP. L'eau de la masse d'eau RWM011 est «bicarbonatée calcique». Globalement l'eau, la qualité de l'eau est correcte par rapport aux normes de potabilité. Les quelques problèmes de qualité rencontrés dans les eaux souterraines proviennent presque exclusivement des apports anthropiques, telles que les nitrates, aux environs de Pont-à-Celles – Luttre, Saint-Amand – Boignée et Rhisnes.

In fine, la masse d'eau peut donc être classée en bon état qualitatif mais doit être surveillée au niveau quantitatif dans quelques secteurs de sa partie Ouest.

Bibliographie

Faculté Polytechnique de Mons & Ministère de la Région Wallonne, 2005, Carte Hydrogéologique de Wallonie Planche 46/3-4 Gouy-les-Piéton-Gosselies, Notice explicative, 36p.

Faculté Polytechnique de Mons & Ministère de la Région Wallonne, 2005, Carte Hydrogéologique de Wallonie Planche 46/3-4 Gouy-les-Piéton-Gosselies, Carte.

Laboratoires de Géologie de l'Ingénieur, d'Hydrogéologie et de Prospection Géophysique & Ministère de la Région Wallonne, 2002, Carte Hydrogéologique de Wallonie Planche 47/1-2 Fleurus-Spy, Notice explicative, 42p.

Laboratoires de Géologie de l'Ingénieur, d'Hydrogéologie et de Prospection Géophysique & Ministère de la Région Wallonne, 2002, Carte Hydrogéologique de Wallonie Planche 47/1-2 Fleurus-Spy, Carte.

Laboratoires de Géologie de l'Ingénieur, d'Hydrogéologie et de Prospection Géophysique & Ministère de la Région Wallonne, 2001, Carte Hydrogéologique de Wallonie Planche 47/3-4 Namur-Champion, Notice explicative, 35p.

Laboratoires de Géologie de l'Ingénieur, d'Hydrogéologie et de Prospection Géophysique & Ministère de la Région Wallonne, 2002, Carte Hydrogéologique de Wallonie Planche 47/3-4 Namur-Champion, Carte.

Faculté Polytechnique de Mons, 2002, Etude de la nappe des Calcaires Carbonifères du bord nord du Synclinorium de Namur entre la vallée de la Dendre occidentale, à l'ouest, et la vallée de l'Orneau, à l'est.

DGRNE (Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement) & CWEPS (Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains asbl), 1996, Atlas du karst wallon, Inventaire cartographique et descriptif des sites karstiques et rivières souterraines de Wallonie.

SWDE, 1997, Rapport technique SWDE, Service de Production d'eau, Réalisation de six piézomètres à Fleurus dans le cadre de l'étude des zones de prévention des prises d'eau Congo P1 et Mammouth P1 et P2, 29p+Annexes.

SWDE, 1997, Rapport technique SWDE, Service de Production d'eau, Réalisation de six piézomètres à Les Bons Villers et de six piézomètres à Fleurus, 32p+Annexes.

SWDE, 1997, Rapport technique SWDE, Service de Production d'eau, Réalisation de deux piézomètres, de deux puits de reconnaissance et de deux puits de production à Fleurus, 18p+Annexes.

SWDE, 1997, Rapport technique SWDE, Service de Production d'eau, Nettoyage et pompage d'essai sur les puits Velaine P1 – Velaine P2 – Velaine P3 à Sambreville (ANCT. Velaine), 24p.

Youssof H., 1973, Hydrologie karstique du calcaire carbonifère de la Belgique et du Nord de la France – Synthèse des données acquises en 1972, Thèse de la Faculté des Sciences de l'Université de Lille, 126p.



Unités hydrogéologiques de la masse d'eau RWM011

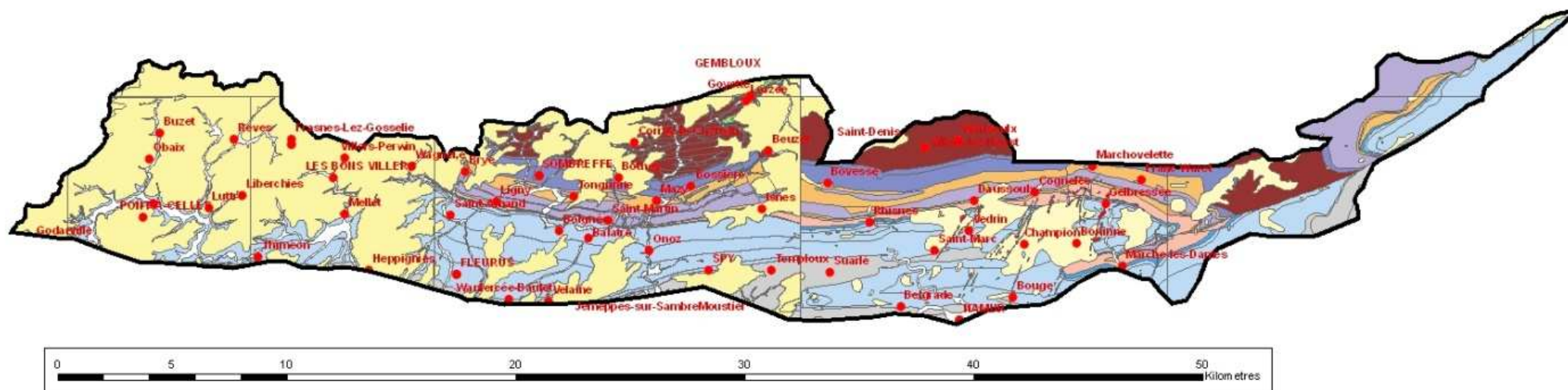


Figure Annexe 1 : Unités hydrogéologiques de la masse d'eau RWM011 – Ajouts des villes importantes

Légende









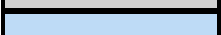








	Aquifère des alluvions et de couverture
	Aquitard de l'Oligocène
	Aquifère de l'Oligocène
	Aquifère des sables éocènes
	Aquiclude des argiles yprésiennes
	Aquifère des sables du Paléocène
	Aquitard du Santonien
	Aquiclude du Crétacé inférieur
	Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller
	Aquifère des calcaires carbonifères
	Aquiclude des schistes du Carbonifère
	Aquifère d'Hastière
	Aquifère des grès dévoniens
	Aquiclude du Frasnien-Famennien
	Aquifère des calcaires frasniens
	Aquiclude du Frasnien
	Aquifère du Givetien
	Aquitard à niveaux aquifères du socle Cambro-silurien

Figure Annexe 2 : Légende des unités hydrogéologiques de la masse d'eau RWM011

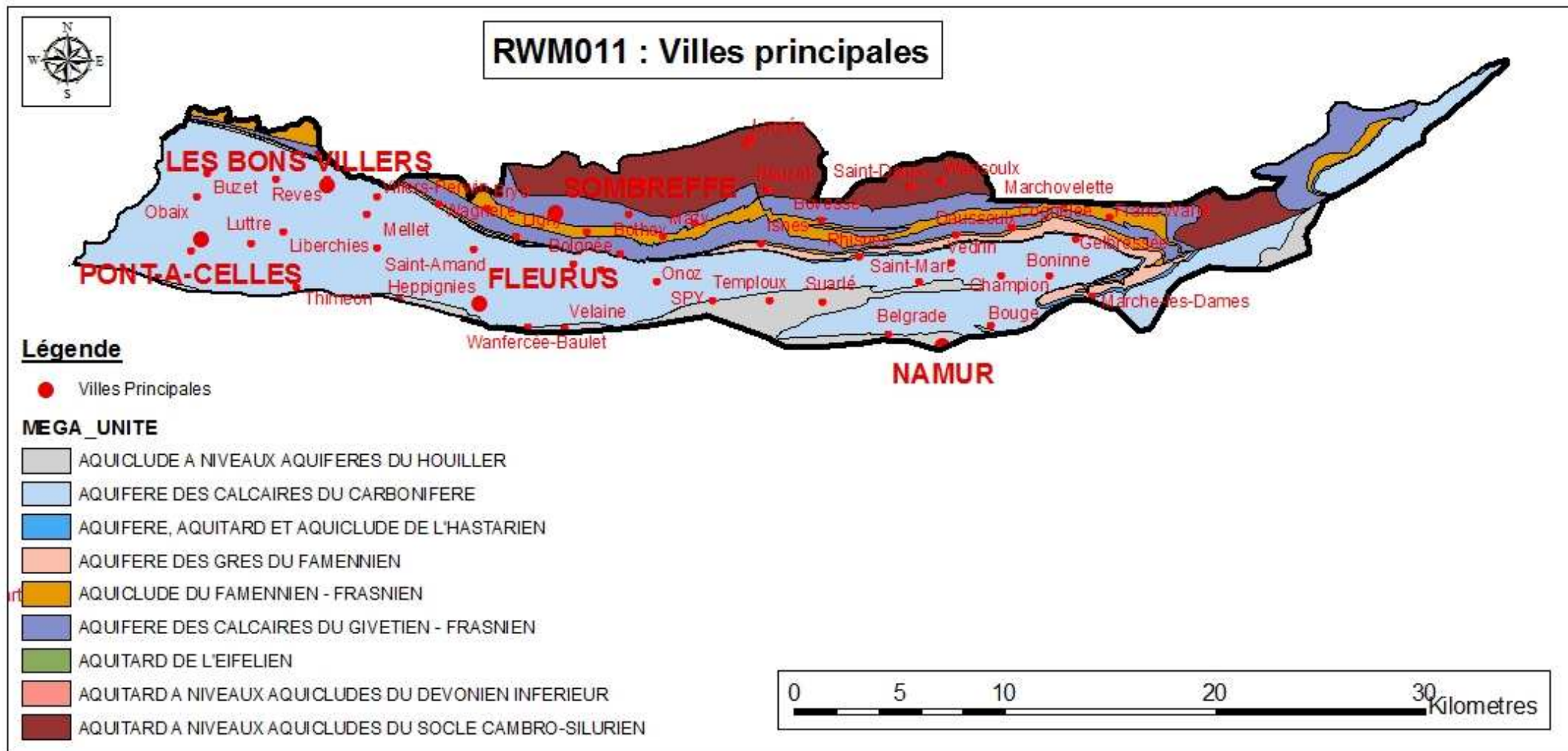


Figure 3 : Méga-unités de la RWM011 – Ajouts des villes principales

VERS L'OUEST

VERS L'EST

Ere	Système	Série	Etage	Groupe	Formation	Membre	Abréviation	Lithologie	Hydrogéologie	Hydrogéologie	Lithologie	Abréviation	Membre	Formation	Groupe	Etage	Série	Système	Ere	
CENOZOÏQUE	Quaternaire	Holocène							Aquifère des alluvions et de couverture	Aquifère des alluvions et de couverture	Alluvions modernes, Limons	AMO - LIM					Holocène	Quaternaire	CENOZOÏQUE	
		Pléistocène															Pléistocène			
	Paléogène	Oligocène									Aquitard	Argiles plastiques avec sables intercalés						Oligocène		Paléogène
			Eocène	Lutétien	Senne	Lede		LED	Sable	Aquifère des sables éocènes	Aquifère des sables éocènes	Sable quartzeux, grès fistuleux et argile glauconifères				Lutétien	Eocène			
		Yprésien		Ypres	Mons-en-Pévèle		MEP	Sable argileux												
Paléocène	Thanétien		Erquelinnes		ERQ	Sable siliceux	Aquiclude des argilles yprésiennes	Aquifère									Paléocène			
MESO.	Crétacé	Supérieur	Santonien		Lonzée		LON	Argile sableuse	Aquitard	Aquitard	Sables et marnes	CP2		Herve		Senonien	Supérieur	Crétacé	MESO.	
		Inférieur			Hainaut		HAI	Sable, Argile	Aquiclude du Crétacé inférieur								Inférieur			
PALEOZOÏQUE	Carbonifère	Westphalien						Schiste, Siltite et Grès contenant des couches de charbon	Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller	Aquiclude à niveaux aquifères du Houiller	Grès souvent feldspathiques, shales siliceux, schistes, phanite, houille maigre	H1a - H1b			Houiller inférieur		Westphalien	Carbonifère	PALEOZOÏQUE	
			Namurien		Houiller		HOU													Namurien
		Viséen	Warnantien		Hoyoux		HOY	Calcaire stratifié	Aquifère des calcaires carbonifères	Aquifère des calcaires carbonifères			Calcaires	V2c		Hoyoux				Viséen
				Viesville		VIE	Calcaire, Calcschiste					Calcaires avec cherts noirs	LIV		Lives					
			Livien	Lives		LIV	Calcaire à intercalation bréchique					Calcaire à points cristallins, calcaire oolithique	V2a		Neffe		Dinant			
				Molinacien	Onoz		ONO	Calcaire					Dolomies	NAM		Namur				
		Tournaisien	Ivorien		Namur		NMR	Calcaire, Dolomie					Calcaires	LAN		Landelies				Tournaisien
				Ecaussinnes		ECA	Calcaire													
			Lalaing		LAL	Calcaire argileux														
			Landelles		LAN	Calcaire														
	Hastarien		Pont d'Arcole		PDA	Schiste	Aquiclude des schistes du Carbonifère	Aquiclude des schistes du Carbonifère	Schiste	PDA		Pont d'Arcole		Hastarien						
		Feluy		FEL	Calcaire noduleux, Calcaire gréseux		Aquifère d'Hastière	Aquifère d'Hastière												
	Dévonien	Supérieur	Famennien		Samme		BDR	Grès à intercalation de calcaire et de schiste	Aquifère des grès dévoniens	Aquifère des grès dévoniens	Calcaire siliceux, psammite	BDR			Bois de la Rocq	Famennien	Supérieur			
				Franc-Waret		FRW	Schiste	Aquiclude	Aquiclude	Schistes violacés	FRW		Franc-Waret							
			Frasnien	Falnuée		FAL	Calcaire noduleux	Aquifère des calcaires frasniens	Aquifère des calcaires frasniens	Calcaires nodulaires, calcaires stratifiés, très fins, noirs			Rhines		Frasnien					
Rocq/Golzine					RQG/GZN	Calcaire			Calcaires et dolomies	BOV		Bovesse								
Bovesse			BOV	Schiste, Calcaire argileux	Aquiclude du Dévonien	Aquiclude	Schistes													
Moyen		Givetien		Bois de Bordeaux		BOR	Siltite, Grès, Calcaire, Calcaire, Schiste, Grès, Siltite, Calcaire	Aquifère du Givetien	Aquifère du Givetien	Siltite rouge, calcaire et conglomérat	BOR		Bois de Bordeaux		Givetien					
			Mazy																	
	Alvaux																			
Silurien	Ludlow	Gorstien					Aquifère local, de fissures et d'altération, du socle cambrosilurien	Aquifère local, de fissures et d'altération, du socle cambrosilurien									Ludlow			
	Wenlock	Homerien																		
		Sheinwoodien																		
	Llandovery	Telychien																		
Aeronien																				
Ordovicien	Ashgill	Ashgillien															Ashgill			
	Caradoc	Caradocien															Caradoc			

Tableau Annexe 4 : Tableau de correspondance Lithologie - Hydrogéologie

