

Etat de l'Environnement wallon

Etudes - Expertises

L'état quantitatif et qualitatif des eaux souterraines en Région wallonne

Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du
Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon

Ce Rapport est réalisé sous la responsabilité exclusive de son auteur et n'engage pas la Région wallonne

Dr Ir Serge BROUYERE

Ir Philippe ORBAN

Lic Ingrid RUTHY

Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement

Département ArGEnCo

Aquapôle

Université de Liège



Juin 2006

Dr Ir Serge Brouyère est Ingénieur géologue et Docteur en sciences appliquées de l'Université de Liège.

Il est actuellement Chercheur qualifié au sein du Groupe d'Hydrogéologie et de Géologie de l'Environnement du Département ArGEnCo (Prof. A.Dassargues) et à l'Aquapôle, Université de Liège et Chargé de cours adjoint à la Faculté des Sciences appliquées à l'Université de Liège. Il est responsable et coordinateur de plusieurs projets de recherche financés par la Commission Européenne (FP6), la Politique Scientifique Fédérale (BELSPO) et la Région Wallonne (notamment Synclin'EAU).

Les activités du Groupe d'hydrogéologie et de Géologie de l'Environnement de l'Université de Liège sont principalement dédiées à l'identification, la caractérisation et l'évaluation tant quantitative que qualitative des ressources en eau souterraine. Les propriétés hydrogéologiques des aquifères mais aussi des milieux peu perméables sont étudiées, à différentes échelles, pour le calcul et la modélisation des écoulements des eaux souterraines et du transport de contaminants. Les applications dans le domaine de la Géologie de l'Environnement, les études d'impact et les études prévisionnelles sont multiples.

Ir Philippe ORBAN est Ingénieur géologue de l'Université de Liège.

Il est actuellement Assistant au sein du Département ArGEnCo de l'Université de Liège. Il réalise une thèse de doctorat sur le thème de la modélisation du transport de soluté dans les eaux souterraines à l'échelle des masses d'eaux souterraines.

Lic. Ingrid RUTHY est Licenciée en géographie et en hydrologie de l'Université de Liège.

Elle est actuellement responsable de la réalisation des cartes hydrogéologiques de Wallonie à l'Université de Liège

Les Rapports sur "l'état de l'environnement wallon" sont établis par la Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement (DGRNE) du Ministère de la Région wallonne, en étroite collaboration avec les universités et les centres de recherche francophones de Wallonie et de Bruxelles (Art. 5 du Décret du 21 avril 1994 relatif à la planification en matière d'environnement dans le cadre du développement durable).

Le 31 mai 2002, le Gouvernement wallon a adopté une convention -cadre pour financer la mise en place d'une coordination inter-universitaire, fondée sur une équipe scientifique permanente et sur un réseau d'expertise. Cette convention-cadre a été passée avec le Centre d'Etude du Développement Durable (CEDD) de l'Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire (IGEAT) de l'Université Libre de Bruxelles (ULB). L'équipe scientifique est pluridisciplinaire et travaille avec la DGRNE qui assure la coordination générale. Les chercheurs comme les experts scientifiques sont issus de différentes universités.

<http://mrw.wallonie.be/dgrne/eww/>

Préambule

Cette note scientifique consacrée à l'état quantitatif et qualitatif des ressources en eaux souterraines en Région wallonne fait suite à l'établissement d'une convention d'expertise scientifique dans le cadre de l'élaboration du Rapport 2006 sur l'état de l'environnement wallon établie entre l'IGEAT - CEDD (ULB) et le groupe d'Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement de l'ULg.

Cette note se veut une description, de l'état des eaux souterraines et des outils de gestion des eaux souterraines utilisés ou en cours de développement en Région wallonne. L'information est structurée suivant l'approche DPSIR (Agence Européenne de l'Environnement).

Tout au long du texte, le lecteur trouvera des textes encadrés reprenant des propositions permettant, à notre avis, de mieux cerner la problématique ou améliorer les connaissances et la gestion des eaux souterraines.

Tables des matières

1	Introduction et mise en contexte	4
1.1	Le cycle de l'eau (Atlas des Eaux Souterraines, 2006).....	4
1.2	Importance des eaux souterraines en Région Wallonne.....	5
1.3	Principales formations aquifères	7
1.4	Législation.....	17
1.4.1	La Directive cadre sur l'eau.....	17
2	Etat et évolution	20
2.1	Introduction	20
2.2	Etat d'avancement des travaux d'inventaire et de caractérisation	21
2.2.1	Etat d'avancement des travaux d'inventaire	21
2.2.2	Etat d'avancement des travaux de caractérisation.....	24
2.2.3	Conclusions	33
2.3	Etat et tendances en matière de quantités d'eau souterraine en Région wallonne ...	33
2.3.1	Bilans hydrogéologiques pour les principales formations aquifères.....	33
2.3.2	Réseau de mesure quantitatif.....	34
2.4	Etat et tendance de la qualité des eaux souterraines.....	37
2.4.1	Bruit de fond géochimique.....	37
2.4.2	Contaminations anthropiques des eaux souterraines.....	38
2.4.3	Réseau de surveillance qualité	42
2.4.4	Le système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (SEQ-ESO).....	42
2.4.5	Tendances en matière de qualité des eaux souterraines	45
3	Facteurs explicatifs.....	48
3.1	Pression quantitative	48
3.1.1	Localisation des principaux captages	48
3.1.2	Evolution des volumes captés par masse d'eau	51
3.1.3	Usage de l'eau	54
3.2	Pression qualitative	56
3.2.1	Pollution diffuse	56
3.2.2	Pollution ponctuelle.....	57
4	Impacts	58
4.1	Impacts quantitatifs	58
4.1.1	Impacts sur les niveaux piézométriques.....	58
4.1.2	Impacts géotechniques	58
4.1.3	Impacts des changements climatiques.....	58
4.2	Impact qualitatif	59
5	Réponses.....	61
5.1	Mise en œuvre de la Directive Cadre en Région wallonne	61
5.1.1	Délimitation des masses d'eau souterraine	61
5.1.2	Le Code de l'eau	64
5.1.3	Mise en place des réseaux de surveillance	64
5.2	Gestion centralisée des données	64
5.3	Zone vulnérable au sens de la Directive Nitrate.....	66
5.4	Programme PIRENE	67
5.5	Zones de prévention	68
5.5.1	Contexte d'application en Région wallonne	68
5.5.2	Etat d'avancement en Région wallonne.....	69
5.6	Cartes de vulnérabilité.....	69
5.7	Poursuite des projets de caractérisation des masses d'eau souterraine	70

5.8	Limitation et contrôle des rejets	71
-----	---	----

1 Introduction et mise en contexte

1.1 Le cycle de l'eau (Atlas des Eaux Souterraines, 2006)

Le capital eau douce de la Wallonie est de l'ordre de 13 milliards de m³ par an (18 milliards de m³ de précipitations, diminués des 6,5 milliards évapotranspirés, mais auxquels il faut ajouter 4,5 milliards d'eau de surface provenant de France). Ces chiffres et le bilan hydrique qui en découlent (Figure 1) sont simplifiés, basés sur des valeurs moyennes et des approximations. En considérant que la population en Région Wallonne est de 3.395.942 habitants (statistiques 2005, IWEPS), la quantité moyenne d'eau douce disponible est de 3828 m³ par an et par habitant. Cette quantité est inférieure à la moyenne mondiale (6600 m³/hab.an) mais est largement supérieure au seuil de stress hydrique défini par l'ONU (1700 m³/hab.an). Le capital eau douce est dû avant tout à un régime de précipitations abondant et régulier (pluie et neige) qui constituent la première phase essentielle du cycle de l'eau. Les précipitations représentent en effet une quinzaine de milliards de m³ par an. Sur le plateau des Hautes-Fagnes, il tombe annuellement 1400 mm d'eau (1400 litres par mètre carré) contre seulement la moitié à Comines, à l'extrémité Ouest de la Région wallonne. On enregistre, par an, entre 160 et 200 jours en moyenne au cours desquels il tombe plus de 0,1 mm d'eau. Cette régularité permet, selon la nature plus ou moins favorable du sol, une plus ou moins grande infiltration.

De cette eau, 40 à 45% est directement évapotranspiré. La quantité d'eau restante (eau utile estimée à 8500 millions de m³ par an) ruisselle à la surface des sols ou s'infiltré dans les sols. Cette eau qui percole contribue à la recharge des nappes. Au niveau du ruissellement, deux composantes sont distinguées: le ruissellement et l'écoulement hypodermique qui est un mouvement latéral de l'eau dans les premiers horizons du sol. Le ruissellement alimente le réseau hydrographique.

Le volume des eaux infiltrées aboutissant aux nappes souterraines varie fortement en fonction de la nature du sous-sol. Dans une région schisteuse à substrat imperméable, il est souvent négligeable alors que dans une région à sous-sol plus perméable, comme la craie, la part des précipitations rejoignant la nappe est très importante et peut représenter plus de la moitié du volume d'eau utile. Globalement, les volumes alimentant annuellement directement les eaux souterraines sont estimés à 550 millions de m³, dont 2/3 environ sont captés.

Aux précipitations tombant sur le sol wallon, il faut ajouter l'eau entrant sur son territoire par les rivières en provenance de France, soit environ 4,5 milliards de m³ par an. Selon la même logique, les rivières wallonnes et les fleuves traversant le territoire wallon alimentent à leur tour les régions voisines (Pays-Bas et Flandre essentiellement mais aussi Allemagne et Grand-Duché de Luxembourg).

Une large part des prélèvements effectués dans les eaux de surface (2600 millions de m³) et souterraines (370 millions de m³) retourne dans le circuit hydrologique sous forme de rejets dans les rivières (2730 millions de m³). Une fraction non négligeable, estimée à 80 millions de m³, n'est pas restituée, soit parce qu'elle est évaporée, notamment dans des processus de fabrication, soit parce qu'elle est incorporée dans des produits de l'industrie ou consommée.

Il faut faire remarquer qu'une part non négligeable de l'eau prélevée en Région wallonne (de l'ordre de 160 millions de m³ d'eau de surface et souterraine) est « exportée » et destinée à la distribution publique d'eau potable dans les régions bruxelloise et flamande (ces volumes ne réintègrent donc pas non plus le réseau hydrographique wallon).

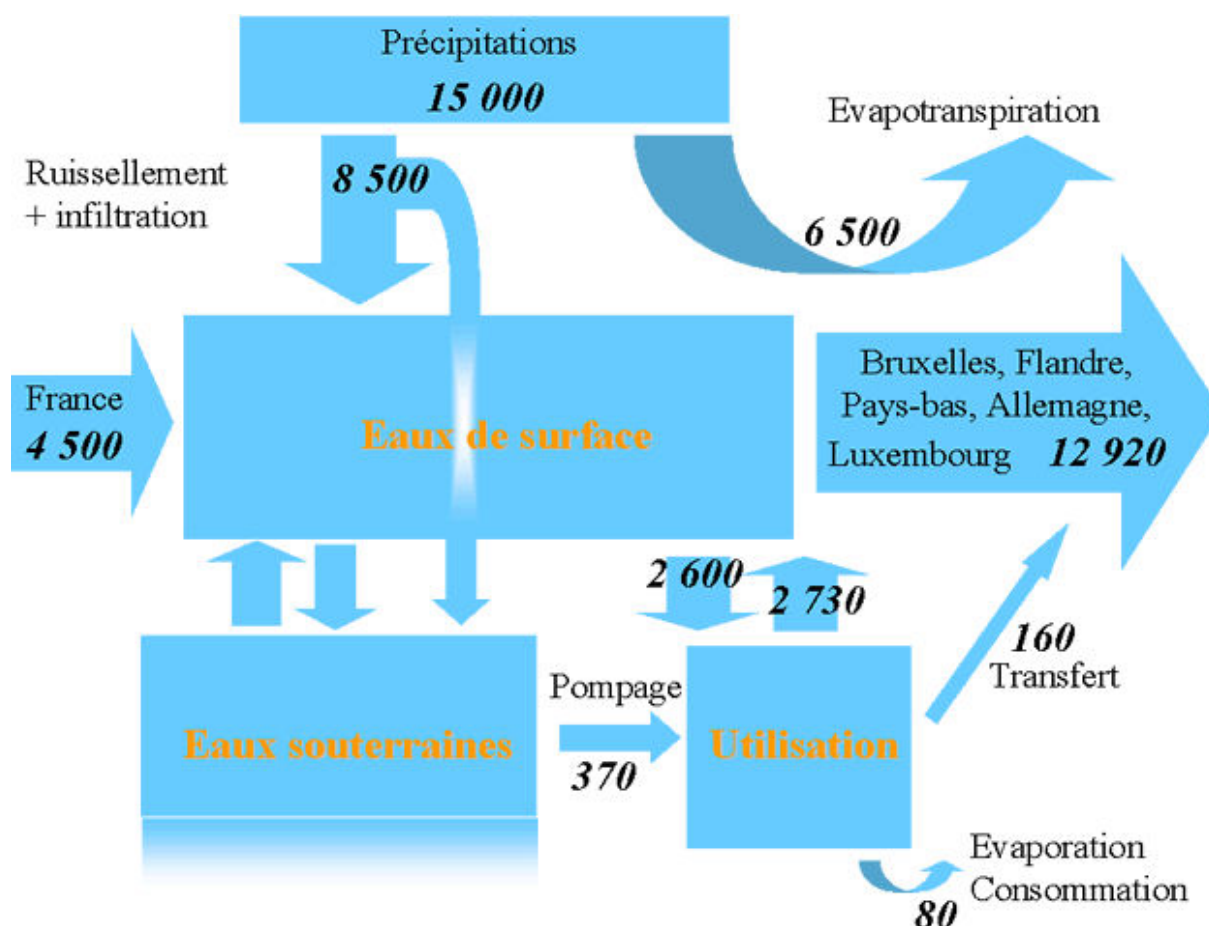


Fig. 1 : Bilan hydrique de la Région wallonne (millions de mètres cubes) (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, DGRNE 2006) (bilan « entrées-sorties » réalisé à partir des valeurs moyennes mesurées sur la période 1996-2001)

1.2 Importance des eaux souterraines en Région Wallonne

Etant donné leur relative abondance et la moindre variabilité de leurs caractéristiques chimiques par rapport aux eaux de surface, les eaux souterraines représentent plus de 80 % des volumes captés en Wallonie pour la distribution publique d'eau potable. Chaque année, environ 400 millions m³ d'eau souterraine sont prélevés dans les aquifères. Les volumes captés devant être déclarés à l'administration, il est possible d'en avoir une estimation fiable. De ces prélèvements (403,1 millions m³, en 2003), 80,4% sont utilisés pour l'approvisionnement public en eau potable (Figure 2). L'embouteillage de boissons représente 1,4% (26% des volumes prélevés sont effectivement mis en bouteilles et 74% sont destinés aux activités de production notamment le lavage des machines et des bouteilles). Les industries utilisent 7,7% des volumes captés (dont 46% pour le refroidissement ou la production de vapeur et 54% pour les activités industrielles). L'exhaure des carrières et des mines concerne 8,4% des volumes prélevés et les activités agricoles totalisent 0,9% (le volume encodé est rarement basé sur des relevés d'index mais le plus souvent celui d'un calcul réalisé au départ de l'importance du cheptel. Aux volumes prélevés par les éleveurs, il faut ajouter les volumes prélevés par quelques agriculteurs pratiquant l'irrigation). La catégorie "Autres" (reprenant entre autres les activités hospitalières, les activités commerciales, les campings, les particuliers) représente 1,2% des volumes prélevés. Il faut souligner que cette répartition des volumes prélevés ne serait pas sensiblement modifiée par l'introduction des milliers d'ouvrages privés tant les volumes concernés sont négligeables par rapport au total des volumes prélevés.

En 2003, le volume total destiné à la distribution publique d'eau potable était de 387 millions m³ dont les eaux souterraines représentaient 83,7% (324 millions m³) et les eaux de surface 16,1% (63 millions m³). La Figure 3 présente l'évolution des prélèvements d'eau à des fins de distribution publique en Région wallonne.

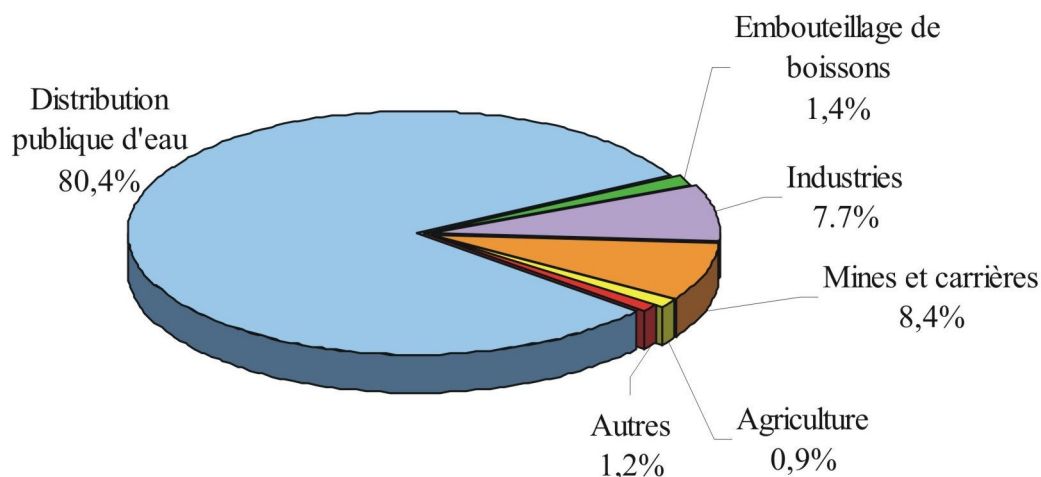


Fig. 2 : Répartition des volumes prélevés en fonction de l'usage de l'eau en 2003 (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, DGRNE, 2006)

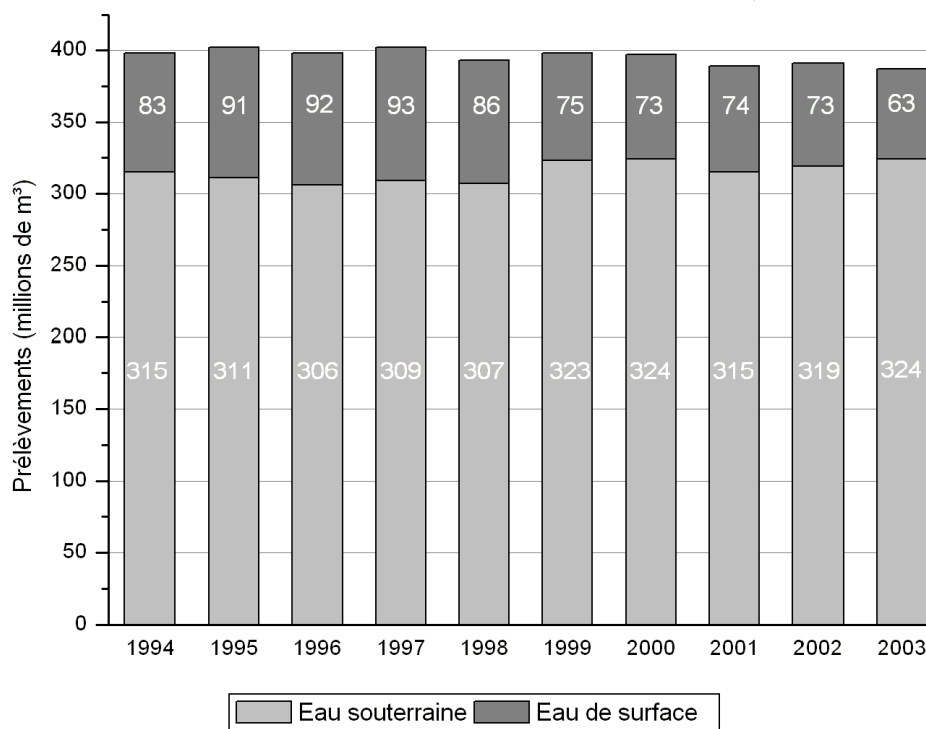


Fig. 3 : Evolution des prélèvements d'eau pour la distribution publique en Région wallonne (millions de mètres cubes) (Source: Ministère de la Région wallonne, DGRNE)

L'importance des eaux souterraines se constate également dans le soutien aux débits des cours d'eau en période d'étiage. Du fait de son caractère relativement permanent, le débit d'étiage, indépendant des conditions atmosphériques, exerce un effet régulateur sur l'alimentation du réseau hydrographique mais également sur la composition chimique et la température des eaux de surface.

100% de l'eau prélevée n'atteint pas le robinet du consommateur. En effet, l'Union professionnelle des Opérateurs du cycle de l'eau en Wallonie, AquaWal, a calculé un

rendement global du réseau de distribution d'eau en Wallonie en 2003 de l'ordre de 68% (Prevedello 2006¹).

1.3 Principales formations aquifères

(source : Atlas des ESO, cartes hydrogéologiques)

Le sous-sol wallon est bien pourvu en ressources d'eau souterraine, même si toutes les nappes ne présentent pas des capacités d'exploitation intéressantes. En fonction de la lithologie et du type de porosité des terrains, on peut distinguer deux types de réservoirs aquifères:

- les nappes de roches meubles ou non consolidées: l'eau se loge dans les interstices du sous-sol. Selon la porosité, la circulation y est lente (sables du Bruxellien) ou rapide comme dans les graviers de la Meuse (dépôts du Quaternaire). On parle aussi de nappes de porosité de pores.
- les nappes de roches cohérentes: dans les formations compactes ou consolidées, l'eau souterraine est localisée dans les zones perméables et poreuses qui n'existent que si les roches sont fissurées et/ou altérées. Le nombre et la largeur des fissures influencent la vitesse de circulation; l'eau y circule souvent rapidement. Les fissures sont généralement liées à la présence de phénomènes tectoniques (failles ou plis). Ce type de nappes est également appelé nappes de fissures.

Toutefois, les roches compactes présentent souvent un caractère mixte avec coexistence de pores et de fissures (ex: les craies). La frange altérée des roches cohérentes est aussi le siège d'une nappe, nommée 'Nappe du manteau d'altération'. Son importance est liée au taux d'altération différentielle des grès, quartzites, siltites et schistes. Les grès et les quartzites s'altérant en sables peuvent contenir un aquifère intéressant. Par contre les schistes, qui s'altèrent en argile, sont pratiquement imperméables.

En fonction de leurs caractéristiques propres, les nappes wallonnes peuvent être regroupées en 6 formations aquifères principales (Figure 4)

- **les massifs schisto-gréseux du Paléozoïque** comprennent les formations schisto-gréseuses de l'Ardenne, du Synclinorium de Dinant, du Synclinorium de Namur et du Bassin de la Vesdre ainsi que le Cambro-silurien de l'Ardenne et du massif du Brabant.

Les formations schisto-gréseuses de l'Ardenne sont principalement constituées de schistes, phyllades, grès, quartzites et quartzophyllades. Les aquifères qui y correspondent couvrent une grande partie de la Région wallonne, mais, vu leurs caractères superficiels et peu profonds, ils possèdent de faibles capacités et ils peuvent même se tarir par endroits en été. En effet, les terrains ardennais sont relativement peu perméables. Par contre, il existe localement des niveaux aquifères constituant des réservoirs non négligeables. Ces réservoirs aquifères locaux sont localisés dans des niveaux de grès et de quartzites fissurés, intercalés dans les shales². Les puits, qui souvent sont alimentés par une ou plusieurs fissures, montrent localement un caractère captif.

L'étendue des nappes du Massif ardennais est difficile à délimiter, puisqu'il s'agit de nappes relativement indépendantes. Seule une étude géologique et hydrogéologique approfondie des formations paléozoïques permettra d'établir le cadre hydrogéologique précis de l'Ardenne.

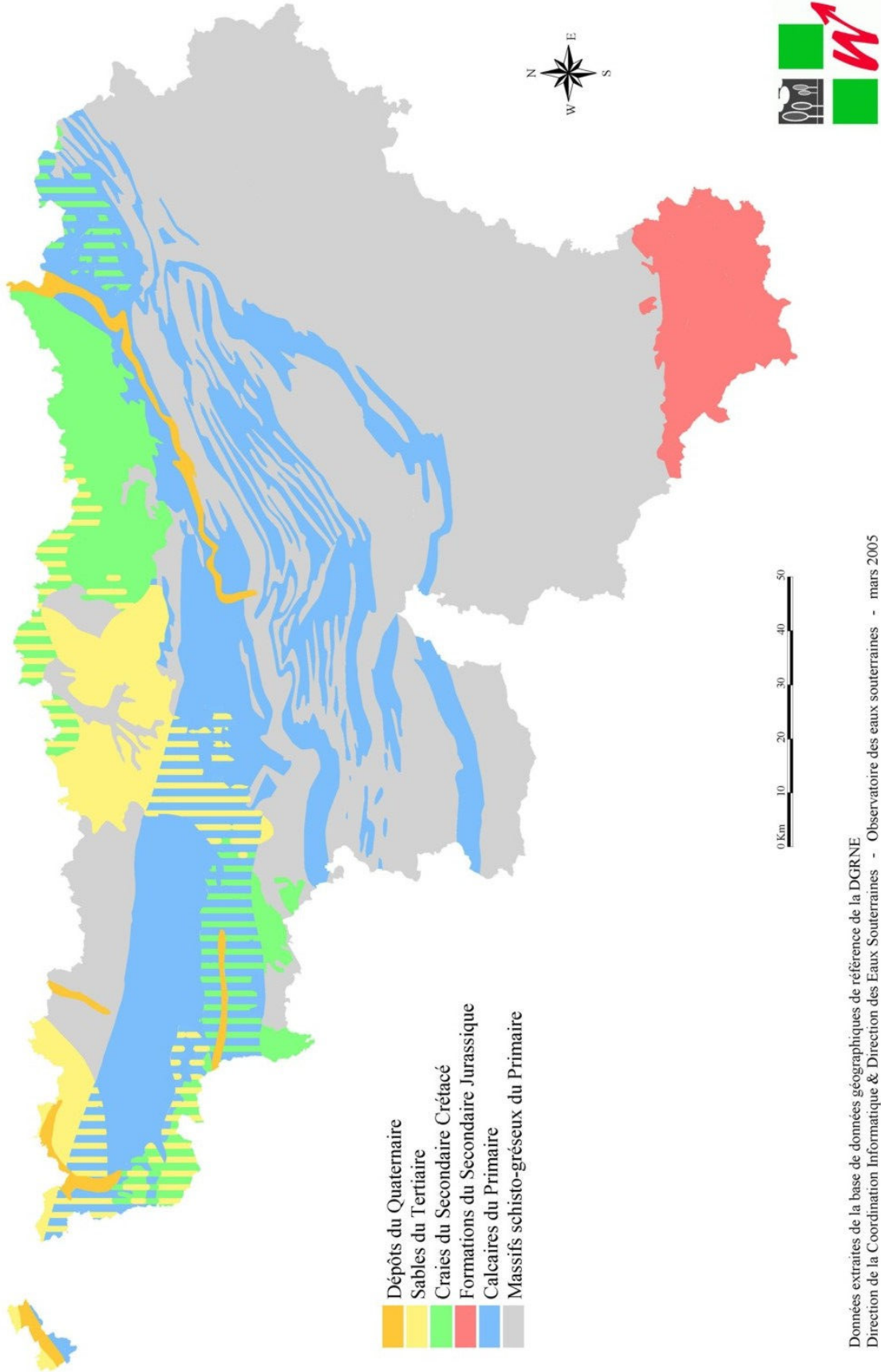
¹ Prevedello, C. 2006. L'utilisation de l'eau de distribution en Région Wallonne : Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006 sur l'Etat de l'Environnement Wallon. Aquawal. 119p.

² Terme désignant toute roche sédimentaire litée à grain très fin, en général argileuse.

Les nappes phréatiques contenues dans les couches superficielles altérées sont captées par drains et galeries. Les nappes de fissures localisées dans les zones tectonisées du substratum rocheux sont exploitées par des puits forés profonds. Les aquifères schisto-gréseux de l'Ardenne ne sont cependant pas à négliger puisqu'ils constituent souvent une des seules ressources en eau pour les communes ardennaises. La dispersion de la population en petites agglomérations ou en habitations isolées rend l'accès au réseau de distribution difficile. Ces ressources locales en eau souterraine sont donc précieuses pour les régions isolées de l'Ardenne.

Le Massif schisto-gréseux des synclinoriums de Namur, de Dinant et du bassin de la Vesdre prolonge au Nord le Massif schisto-gréseux de l'Ardenne. Les caractéristiques hydrogéologiques de ces deux entités sont semblables. L'étendue de cette partie du Massif schisto-gréseux est bien moindre que celle de l'Ardenne. Néanmoins, les grès du Famennien (situés essentiellement dans le Synclinorium de Dinant) présentent des potentialités aquifères non négligeables. En effet, l'altération des grès en sables procure à ces réservoirs une importante porosité de pores combinée, en raison de la fracturation des grès sous jacents, à une porosité de fissures qui engendre une perméabilité intéressante pour drainer l'eau logée dans les pores. La nature sableuse du manteau d'altération superficiel confère une bonne capacité de filtration à ces aquifères, garantissant une eau de qualité. Dans le Condroz, ces aquifères généralement perchés (crêtes), se déversent vers les dépressions calcaires voisines (chavées) de manière diffuse ou, par l'influence des formations schisteuses imperméables de la base du Tournaisien, via des sources temporaires ou pérennes.

La nappe du socle cambro-silurien du Massif du Brabant est logée dans le manteau d'altération et dans les niveaux fissurés et fracturés. Les ouvrages qui sollicitent cette nappe sont généralement localisés dans les zones d'affleurements du socle ou dans les zones où la couverture méso-cénozoïque est peu épaisse. C'est le cas dans les vallées de la Dyle et de la Senne.



Données extraites de la base de données géographiques de référence de la DGRNE
 Direction de la Coordination Informatique & Direction des Eaux Souterraines - Observatoire des eaux souterraines - mars 2005

Fig. 4 : Localisation des principales formations aquifères (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, DGRNE 2006)

- **les calcaires du Paléozoïque** regroupent les calcaires du Carbonifère et du Dévonien du Synclinorium de Namur, du Synclinorium de Dinant et du Massif de la Vesdre.

Ce sont des roches carbonatées (calcaires, calcaires dolomitiques ou dolomies), à l'origine fissurées, où l'action mécanique (corrosion) et l'action chimique (dissolution des carbonates) des eaux souterraines ont agrandi les fractures pour aboutir à des conduits, chenaux et cavités pouvant atteindre de grandes dimensions. C'est le phénomène de karstification donnant naissance à des réseaux de chenaux (réseaux karstiques). Le milieu fissuré est alors discontinu. Les formations hydrogéologiques de ce type (c-à-d carbonatées, perméables, fissurées et karstiques) renferment des aquifères importants (Castany, 1982).

Les calcaires carbonifères du bord Nord du Synclinorium de Namur forment une nappe qui s'étend depuis la région de Lille en France jusqu'à Namur puis qui se prolonge vers Visé en suivant la Meuse. La bande calcaire, d'orientation générale Est-Ouest et large d'environ 2 kilomètres à hauteur de Namur, s'élargit vers l'Ouest et atteint une trentaine de kilomètres d'extension latérale à hauteur de Tournai. C'est l'aquifère le plus exploité en Région wallonne, il se prolonge au-delà de la frontière vers la France et la Flandre. Il est limité au Nord par les formations cambro-siluriennes du socle du Brabant. Au Sud, il plonge sous les terrains houillers.

Dans la partie occidentale du bord Nord du Synclinorium de Namur (Hainaut), des failles normales, cisailantes dextres, orientées E-W délimitent le «Horst du Tournaisis» et permettent de diviser l'aquifère des calcaires dévono-carbonifères en deux parties principales: les calcaires de la zone Pecq-Roubaix (Tournaisis) et les calcaires de la zone Pérulwez-Ath-Soignies, séparés approximativement par l'anticlinal de Frasnes (Figure 5). L'aquifère des calcaires du Tournaisis (zone de Pecq-Roubaix) est couvert de dizaines de mètres de terrains peu perméables (marnes, sables argileux et argiles) mésozoïques et cénozoïques. Cette nappe était captive à l'origine mais le sommet de l'aquifère est actuellement dénoyé³ sur une partie importante de la zone suite à sa surexploitation des deux côtés de la frontière. Il faut toutefois remarquer qu'entre Tournai et Ramegnies-Chin, la couverture imperméable est absente, les nappes superficielles étant drainées vers le calcaire sous-jacent.

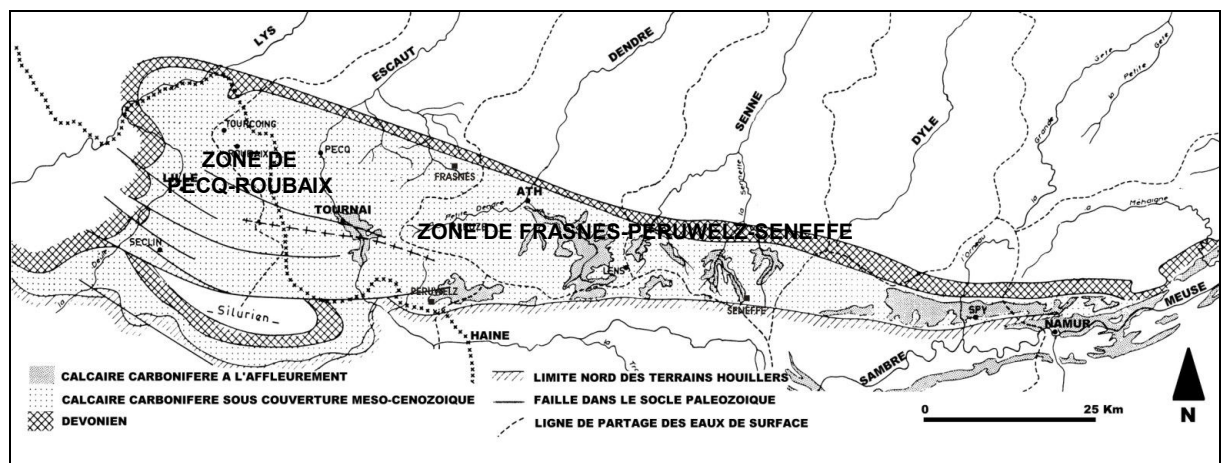


Fig. 5 : Extension de la nappe des calcaires dévono-carbonifères du bord nord du Synclinorium de Namur (Youssouf H., 1973, modifié)

³ Qualifie un milieu, une partie d'un aquifère, devenus, temporairement ou non, non saturés, à partir d'un état initial saturé.

A l'Est, dans la zone de Frasnes-Péruwelz-Seneffe, la couverture est souvent moins épaisse et plus perméable, conférant à cette partie de l'aquifère un caractère libre, semi-libre ou semi-captif.

Les ressources en eau souterraine du Synclinorium de Dinant logées dans les terrains carbonatés sont situées dans le Condroz (partie centrale du bassin), la Calestienne et le Massif de Philippeville.

Dans le Condroz, la nappe des calcaires est discontinue, logée au cœur des synclinaux et est généralement alimentée latéralement par le débordement de la nappe des grès du Famennien (Figure 6). Les eaux des grès du Famennien, étant décalcifiées, sont agressives vis-à-vis des calcaires, générant des poches de dissolution dans la zone de débordement de la nappe des grès, généralement situées sur les axes de fissuration transverse. Les aquifères calcaires sont également compartimentés à la base par l'intercalation d'une zone schisteuse correspondant à la formation du Pont d'Arcole. Cette dernière isole donc les calcaires de la formation d'Hastièrre (base du Tournaisien) qui présente donc moins d'intérêt hydrogéologique, d'autant plus qu'elle contient des passées argileuses.

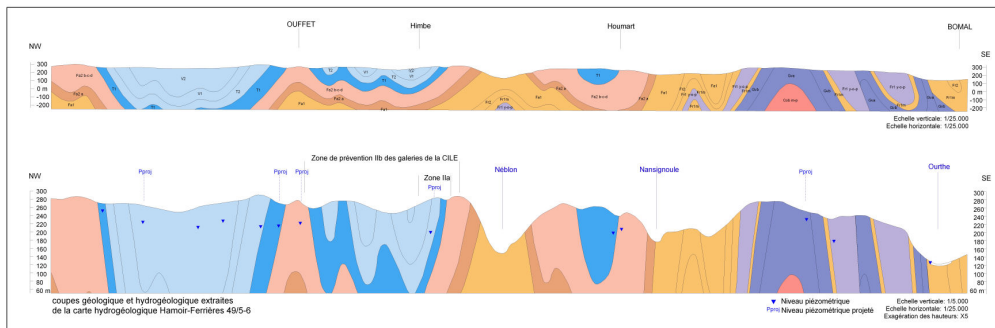


Fig. 6 : Coupes illustratives du cadre géologique et hydrogéologique condruzien

Une nappe de fissures et à caractère karstique est également présente dans les formations calcaires du Dévonien du Massif de Philippeville. Cet aquifère est compartimenté par les formations schisteuses du Frasnien, présentes au toit et au mur des niveaux calcaires, rendant l'aquifère localement captif. Le caractère fortement faillé de l'Anticlinorium de Philippeville permet vraisemblablement des connexions, dues aux failles et fissures transverses, entre les différents compartiments calcaires. Les formations schisteuses et argilo-calcaires du sommet du Frasnien contiennent localement des lentilles de calcaires appelées « récifs de marbres rouges » qui peuvent contenir de petites nappes aquifères.

La Calestienne est une bande essentiellement calcaire à calcaro-schisteuse constituée par les formations du Givetien et du Frasnien inférieur. Cette zone régulière et rectiligne, de direction NE-SW, présente une largeur variant entre 600 et 1600 m. Une structure anticlinale transverse peut cependant lui donner une extension plus grande, comme au niveau du plateau du Gerny à Rochefort. Cette unité présente une conductivité hydraulique et une porosité de fissures élevées, liées à la fracturation intense et à la karstification pouvant être localement importante. Les roches carbonatées du Givetien forment un important système aquifère où la circulation des eaux souterraines peut être localement réduite par la présence de passées plus schisteuses.

- **les formations du Jurassique et du Trias** constituent le sous-sol de la Lorraine belge (Calcaires Bajociens, Sables et Grès de Virton, ...). Du fait de l'alternance stratigraphique de couches géologiques perméables et imperméables, caractéristiques des dépôts mésozoïques de la Lorraine belge, on distingue plusieurs aquifères superposés (Figures 7 et 8). Ces réservoirs aquifères, de bonne qualité et d'ampleur importante, constituent actuellement la seule source pour la distribution publique d'eau potable pour les

différentes agglomérations de l'extrême Sud de la Région wallonne. Ces aquifères sont également exploités par le privé comme c'est le cas pour la production d'eau minérale par les entreprises Valvert.

Les aquifères les plus importants sont abrités dans la Formation des sables et grès-calcaires de Luxembourg ainsi que dans la Formation des grès sableux de Mortinsart. Il existe, par ailleurs, d'autres niveaux aquifères non négligeables dans les grès et quartzites du socle paléozoïque, dans les conglomérats et les dolomies de la Formation d'Habay (Trias) ainsi que dans les alluvions et les terrains quaternaires.

La Formation de Habay est caractérisée par un changement latéral du faciès allant des argiles imperméables aux conglomérats dolomitiques, ceux-ci pouvant abriter localement des réservoirs aquifères intéressants. Cet aquifère est limité par la formation schisteuse du massif paléozoïque à la base et par la Formation des marnes d'Attert au sommet. Cette dernière formation peut également renfermer exceptionnellement des corps aquifères de moindre importance dans les conglomérats et grès qui peuvent être présents.

Contrairement aux formations précitées, la Formation des grès sableux de Mortinsart renferme un réservoir aquifère continu sur toute son étendue. Cette formation s'amincit vers l'Ouest et finit par disparaître sous forme d'un biseau au méridien des Bulles. La même formation s'épaissit vers l'Est et vers le Sud, atteignant une quinzaine de mètre en moyenne. L'aquifère de Mortinsart (équivalent du Rhétien) devient rapidement captif sous l'épaisse formation marneuse imperméable de Jamoigne qui le sépare de l'aquifère des grès calcaires de Luxembourg. L'aquifère de Mortinsart est essentiellement alimenté au niveau de sa zone d'affleurement située dans le Nord et le Nord-Est de la Lorraine Belge. Des échanges d'eau sont également possibles avec d'autres aquifères par le biais de failles. L'aquifère de Mortinsart est très peu étudié vu sa moindre importance par rapport à l'aquifère sinémurien. Pourtant l'aquifère captif du Rhétien suscite ces derniers temps beaucoup d'intérêts tant au niveau publique que privé, comme c'est le cas des captages des entreprises Valvert.

Les réservoirs aquifères les plus importants sont contenus dans la formation des sables et grès-calcaires sinémuriens (Formations de Luxembourg). Il s'agit d'une série de nappes aquifères superposées, séparées par des niveaux marneux plus ou moins épais appartenant à la Formation d'Arlon. Des échanges localisés entre ces différents aquifères sont envisageables par l'intermédiaire des phénomènes de pseudo-karstification, par des accidents de faibles rejets non identifiés et/ou par des lacunes de sédimentation de certains niveaux marneux.

Les nombreux passages de couches marneuses définissent une série de nappes dont certaines sont d'une importance locale. Toutefois, deux nappes principales de plus grande importance se dégagent : la nappe profonde contenue dans les grès calcaires de Florenville et la nappe supérieure contenue dans les grès sableux d'Orval.

L'aquifère des grès calcaires de Florenville est le plus important et affleure sur une large bande appelée la cuesta sinémurienne. Une partie non négligeable de cette zone d'alimentation est drainée vers le Nord et alimente le bassin de la Semois. Le reste alimente l'aquifère de Florenville qui devient rapidement captif vers le Sud. L'aquifère des grès sableux d'Orval est limité à la base par les marnes de Strassen qui disparaissent à l'Ouest, au-delà, à hauteur du méridien 'Habay-la-Neuve- St-Léger' (à hauteur du forage de l'Abri forestier situé à Valansart) (Figure 8). Vu la discontinuité du Membre marneux de Strassen, il est difficile de délimiter avec précision l'aquifère d'Orval, notamment vers la partie Nord-Est de la Formation de Luxembourg.

D'autres aquifères d'importance locale sont également identifiés, comme les aquifères d'Hondelange et celui d'Aubange et Messancy.

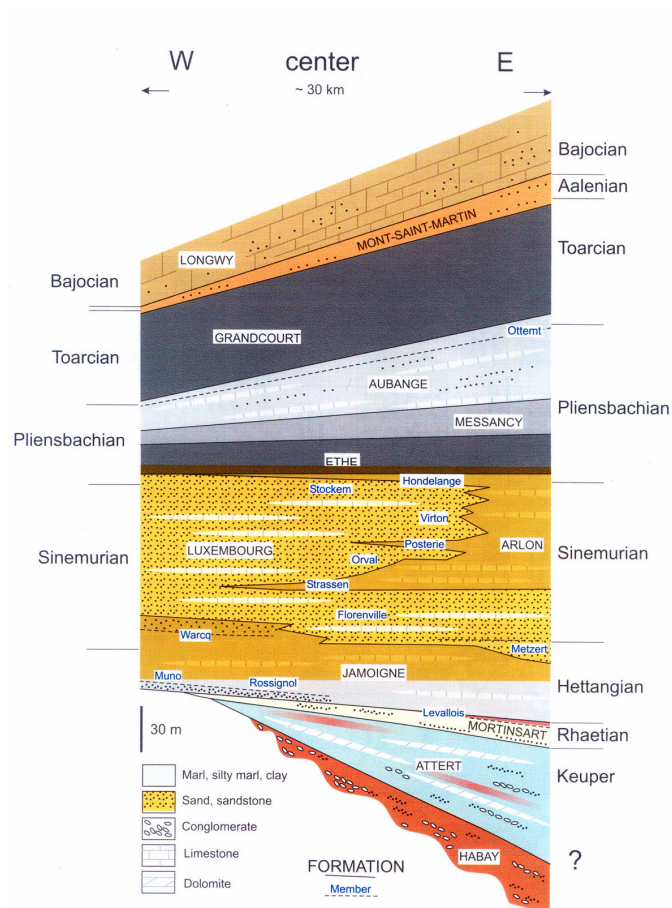


Fig. 7 : Schéma litho-stratigraphique général de la Lorraine Belge (F. Boulvain *et al.*, 2001)

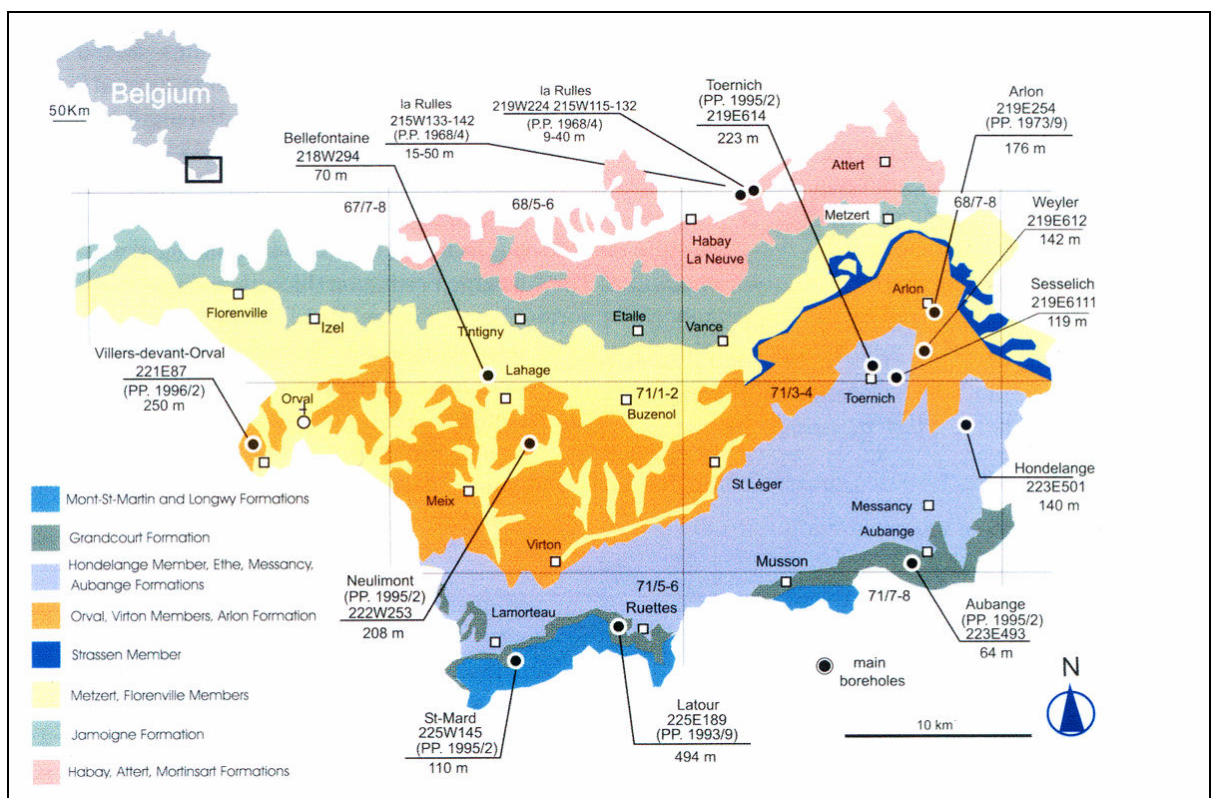


Fig. 8 : Carte géologique simplifiée de la Lorraine belge (Boulvain *et al.*, 2001)

- **les craies du Crétacé** reprennent la nappe des craies de Hesbaye, délimitée par les vallées de la Meuse, de la Mehaigne et du Geer, les craies captives du Brabant et des deux Flandres, les craies du pays de Herve, encadré par la Meuse et la Vesdre, le Crétacé indifférencié du pays de Herve, les craies du Bassin de Mons, le Crétacé du Bassin de Paris et le Crétacé indifférencié du Hainaut.

Les aquifères crayeux présentent une double porosité: porosité de pores et porosité de fissures. La perméabilité et la porosité de la craie varient fortement (Dassargues et Monjoie, 1993):

- à l'échelle microscopique (quelques centimètres), la craie est un matériau compact mais micro poreux (porosité de 30 à 45%, diamètre moyen des pores de l'ordre du μm) qui ne permet qu'une lente circulation de l'eau (conductivité hydraulique de l'ordre de 1×10^{-9} m/s). L'eau contenue dans une telle roche est très difficilement libérée sauf au travers de micro-fissures qui augmentent localement la perméabilité de la craie. Cette porosité de matrice permet principalement le stockage de l'eau qui peut ensuite s'écouler via les fissures.
- à l'échelle macroscopique (quelques dizaines de mètres), des réseaux de fissures plus ou moins développés améliorent de façon notable la perméabilité de la craie (conductivité hydraulique de l'ordre de 1×10^{-4} m/s).
- à l'échelle de la nappe, des accidents tectoniques majeurs peuvent avoir fissuré la roche. Au droit de ces zones faillées, souvent observées à l'aplomb des vallées sèches, la craie peut présenter une conductivité hydraulique élevée (1×10^{-3} m/s) et une porosité efficace d'ensemble déterminée par essais de traçage de 10 à 15%. Les réseaux de diaclases, de joints de stratification, souvent distribués de façon hétérogène augmentent aussi la perméabilité du milieu. Des conduits karstiques d'ouverture centimétrique ont également été observés, notamment lors du creusement des galeries de la CILE en Hesbaye liégeoise. On observe enfin une perméabilité plus élevée au sommet des craies, suite probablement à la détente du matériau mais surtout du fait de la forte altération de la roche par dissolution progressive en liaison avec le battement de la nappe.

L'aquifère des Craies du Bassin de Mons, défini de façon précise par ses contours géologiques, est intégralement contenu dans le bassin versant hydrologique de la Haine. Il se prolonge vers l'Ouest, au-delà de la frontière française, vers le Bassin de l'Escaut. Cet aquifère répond à la définition d'un aquifère stratifié perméable et il comporte de bas en haut des formations siliceuses à gangue carbonatée turoniennes, des craies sénonniennes, des calcarénites et des calcaires grossiers d'âge dano-montien.

Les épaisseurs de ces différentes formations sont très variables. A certains endroits, la puissance totale peut atteindre 250 à 300 m. L'axe du bassin crétacé s'incline globalement vers l'Ouest. Ses formes se compliquent par une suite d'ondulations affectant les terrains d'âge Crétacé en une succession de « bosses » et de « creux ». Ces ondulations réduisent parfois l'épaisseur des «Craies» (Seuil d'Hensies, à l'Ouest).

La nappe du Crétacé de Hesbaye, localisée au sein de bancs crayeux réguliers d'orientation Est-Ouest et à légère pente vers le Nord, s'écoule du Sud vers le Nord en direction du Geer, son exutoire principal. La surface piézométrique présente un gradient de l'ordre de 1% à l'amont des galeries de captage exploitées par la CILE suite aux rabattements qu'elles provoquent. A l'aval, le gradient est d'environ 0.5% et de 0.3% à proximité du Geer (Figure 9). Certaines anomalies piézométriques se marquent nettement, étant souvent dues à des zones préférentielles d'écoulement en relation avec des zones de

failles (vallée de le Yerne, Villers-Saint-Siméon). Plus localement, des anomalies sont liées à une déformation du substratum (Voroux-Goreux, Momalle-Kemexhe), au relief accusé (Seraing-le-Château) ou à la présence de vallées sèches importantes (Xhendremael, Viemme). Ces vallées sèches sont vraisemblablement dues aux axes de fracturation.

Des données piézométriques sont disponibles depuis 1951 grâce aux relevés réalisés par la CILE. Ils montrent que la morphologie générale de la nappe varie peu en fonction de la pluviométrie, sauf au droit des galeries captantes et à proximité du Geer. Toute la surface piézométrique a tendance à se déplacer verticalement, sensiblement parallèlement à elle-même avec un gradient vers le Nord assez constant dans le temps. Un délai entre les précipitations et les fluctuations piézométriques de l'aquifère variant de quelques semaines (région Sud de la nappe) à un an et demi (région Nord de la nappe) est observé. Cela est à mettre en liaison avec la forte épaisseur et la relativement faible perméabilité des limons qui surmontent la nappe des craies dans presque l'entièreté du bassin (Hallet, 1998).

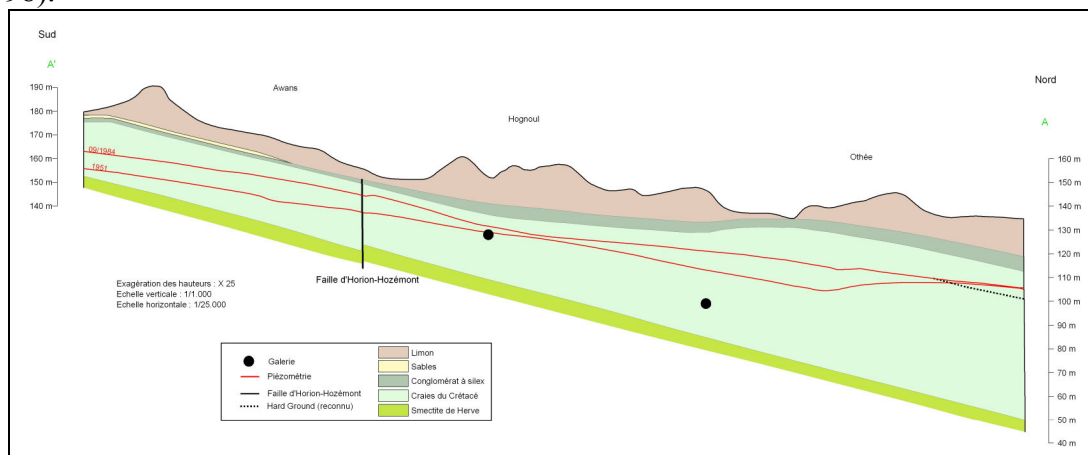


Fig. 9 : Coupe hydrogéologique de la nappe des craies de Hesbaye (Carte hydrogéologique Allieur-Liège, 2002)

Un aquifère de grande capacité est logé dans les craies du Brabant. Cette nappe est isolée de l'aquifère des sables bruxelliens sur-jacent et rendue captive par les terrains du Thanétien (ancien Landenien) et de l'Yprésien. Son extension géographique est limitée. Les terrains du Crétacé n'existent pas dans les bassins contigus de la Dyle, constituant donc une unité hydrogéologique isolée. Plus vers l'Est, dans la région de Jauche et de Orp-le-Grand, on retrouve également une avancée du massif crétacé qui s'étend vers le Nord de la Belgique. La piézométrie générale de la nappe montre un écoulement vers le Nord-Est (Gulinck & Loy, 1971).

L'aquifère du Crétacé du Pays de Herve est constitué de différentes nappes localisées dans les formations crayeuses de Gulpen, les formations sablo-argileuses de Vaals et les formations sableuses d'Aachen. Comme pour les craies de Hesbaye, la nappe des craies de Gulpen présente une double porosité (pores et fissures). La perméabilité est essentiellement déterminée par la fracturation et peut varier fortement d'un endroit à l'autre (aussi bien verticalement qu'horizontalement). L'écoulement général des eaux souterraines est de direction SE-NW (reflétant l'inclinaison des couches géologiques). Cette tendance générale est nuancée par le caractère "perché" de la nappe, abondamment drainée par les ruisseaux. Des zones de sources sont observées localement au contact avec la formation peu perméable de Vaals sous-jacente. Cette dernière est peu aquifère, sauf localement, au niveau de quelques passages plus riches en sables qui sont exploités localement. Dans l'Ouest du Pays de Herve (région de Bolland), la formation est

relativement peu perméable. En revanche, la perméabilité va croissante vers l'Est. Des bancs locaux de grès, fracturés par l'activité tectonique, sont remarqués vers l'Est de la région et sont affectés d'une perméabilité secondaire (de fissuration) importante. Ces zones gréseuses peuvent être en contact avec la formation surincombante de Gulpen via des chenaux sableux dans les sédiments. Les sables d'Aachen, plus perméables, présentent des potentialités aquifères intéressantes mais réduites vu leur faible extension (biseau vers l'Ouest) et leur faible épaisseur dans cette région. De plus, la formation d'Aachen est relativement hétérogène, composée de sables et d'argiles. Dans le Pays de Herve, l'hydrogéologie des terrains crétacés est donc rendue relativement complexe par les variations latérales de faciès dans les formations de Vaals et d'Aachen. On distingue par endroits un système aquifère composé de deux nappes (craies de Gulpen et sables d'Aachen), séparées par un horizon peu perméable (Formation de Vaals). Par ailleurs, suite aux changements de lithologie de la formation de Vaals, une seule unité hydrogéologique du Crétacé est observée.

Le Houiller joue le rôle de niveau de base de cette nappe, surtout lorsqu'il présente un faciès schisteux. A son contact, de nombreuses sources (exutoire de la nappe du Crétacé) sont observées.

▪ **les sables du Cénozoïque** comprennent essentiellement les sables Bruxelliens.

La formation des sables Bruxelliens est constituée de roches meubles (sables quartzeux, concrétions gréseuses, sables et grès calcarifères) et se situe essentiellement dans le Brabant wallon. La zone d'alimentation de la nappe est très étendue (+/- 1400 km² dans la partie septentrionale). La lithologie des sables est très variable (sables grossiers à fins) et ils sont localement indurés en grès à ciment carbonaté ou siliceux. Des lentilles, voire des horizons de sables glauconifères sont également présents. Outre ces hétérogénéités, des failles préexistantes du socle ont été réactivées au Mésozoïque et au Cénozoïque induisant une anisotropie nette avec des axes préférentiels d'écoulement. Les rivières qui entaillent les vallées jusqu'au socle, constituent des drains naturels de la nappe (principalement la Dyle, la Gette et la Senne). De nombreuses sources (exutoires de l'aquifère) jaillissent en pied de versant alimentant le réseau hydrographique. La surface libre de la nappe peut localement affleurer dans les fonds de vallées, créant des zones marécageuses, des étangs et des plans d'eau. On constate aussi que le niveau de la nappe des sables bruxelliens est relativement stable dans le temps.

▪ **les dépôts du Quaternaire** regroupent les Thalwegs de la Meuse et ses affluents, les terrasses de la vallée de la Meuse, les Thalwegs de l'Escaut et ses affluents et les alluvions tourbeuses de la vallée de la Haine. Des ressources en eau considérables existent dans les graviers de la Meuse dont le thalweg est principalement creusé dans les terrains paléozoïques (Figure 10). Le gisement aquifère est exploité depuis Dinant jusqu'à Liège.

La nappe des graviers de la Meuse est en relation directe avec la Meuse, son alimentation provenant de l'apport direct des eaux pluviales (parfois rendu faible par l'imperméabilisation urbaine de la plaine), de l'apport des nappes localisées dans les versants, y compris dans le manteau d'altération et de l'apport de la nappe du bed-rock sous-jacent.

L'hétérogénéité des alluvions de la Meuse, selon que l'on se trouve au droit d'anciens îlots de graviers ou d'anciens bras remblayés et chenaux fluviaux, induit des caractéristiques hydrogéologiques très variables. La perméabilité de la nappe alluviale de la Meuse est de l'ordre de 2 à 4×10⁻³ m/s, avec des axes de drainage où la conductivité hydraulique peut être aussi élevée que 1×10⁻² m/s et des secteurs moins perméables où la conductivité hydraulique peut-être aussi faible que 4×10⁻⁴ m/s (Calembert *et al*, 1974).

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

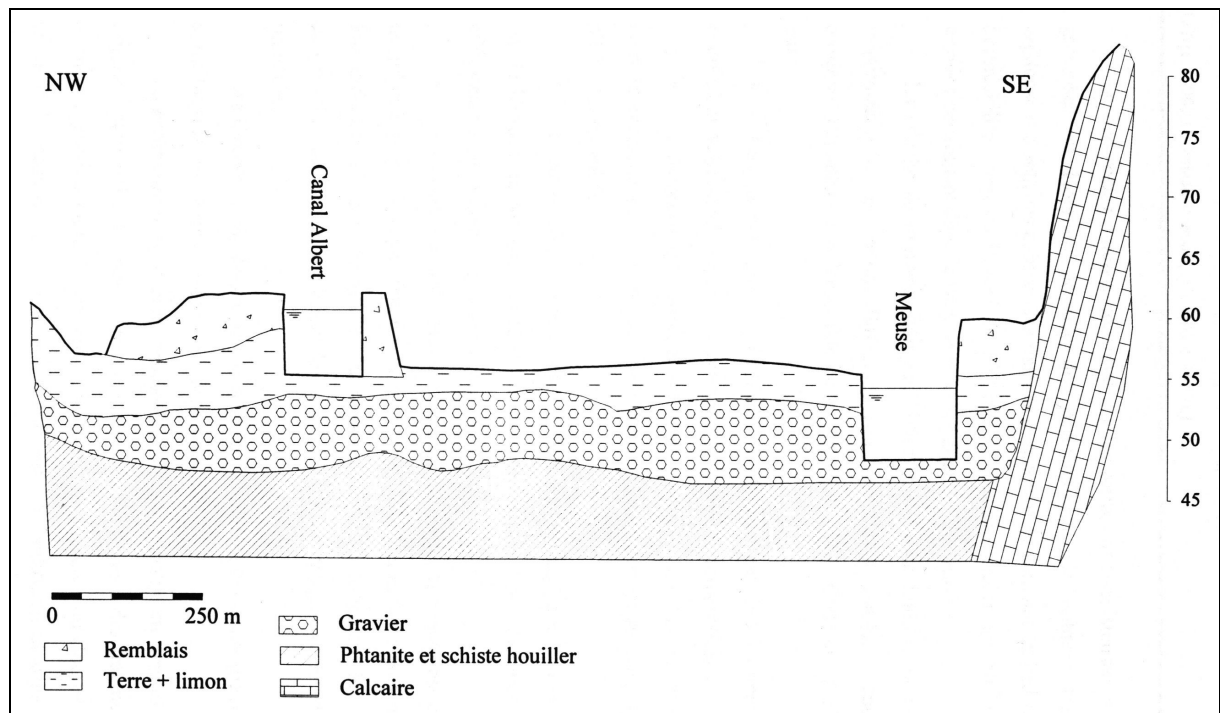


Fig. 10 : Coupe géologique de la plaine alluviale de la Meuse en aval de Liège (Haerens, 1999)

Pour être complet, il convient de mentionner les gisements particuliers comme les conglomérats de Stavelot et les eaux minérales carbo-gazeuses ainsi que les aquifères non caractérisés tels que le Quaternaire indifférencié et les terrains houillers indifférenciés. Les formations du Houiller affleurent largement dans le bassin de Namur suivant une bande orientée WSW-ENE, depuis le bassin de Mons jusqu'au bassin de Liège. Les schistes, grès et quartzites du Houiller sont peu perméables. Leur porosité varie entre 0,5 et 1,5%. Ils ne contiennent de l'eau récupérable que dans les fissures ouvertes des bancs de grès et de quartzites tectonisés et fracturés. Dans les schistes, les fractures sont généralement colmatées par un remplissage argileux. Cette eau minéralisée présente souvent une concentration élevée en fer et en sulfates, ainsi que de faibles valeurs de pH (eaux acides), liées à l'altération des sulfures de fer (pyrites) souvent abondants dans ces formations.

1.4 Législation

1.4.1 La Directive cadre sur l'eau

(Source : http://environnement.wallonie.be/directive_eau/pg_menu/dce.asp?Menu=1#)

1.1.1.1 Généralités

La Commission Européenne a adopté le 23 octobre 2000 (J.O.C.E du 22 décembre 2000) la Directive 2000/60/CE établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, communément appelée " Directive cadre sur l'eau ".

La Directive cadre précise que l'eau n'est pas un bien marchand comme les autres mais un patrimoine qu'il faut défendre et protéger. Elle précise que les eaux dans la Communauté sont de plus en plus soumises à des contraintes dues à une croissance continue de la demande en eau de bonne qualité pour toutes les utilisations. Cette directive recouvre un ensemble complexe d'objectifs, d'instruments et d'obligations. Le succès de sa mise en œuvre passera par une collaboration étroite et une action cohérente de la Communauté, des Etats membres et

des autorités locales. Elle requerra également l'information, la consultation et la participation des utilisateurs et du public.

La Directive demande d'élaborer une politique communautaire intégrée dans le domaine de l'eau, c'est-à-dire mener une gestion qui recourt à des actions, moyens et acteurs qui relèvent des politiques sectorielles (industrie, agriculture, conservation de la nature, ...).

Le concept pivot de la Directive consiste en l'organisation et la gestion de l'eau à l'échelle des bassins hydrographiques. A cet effet, des districts hydrographiques internationaux ou nationaux ont été délimités, englobant non seulement l'ensemble du réseau hydrographique mais également la superficie du territoire drainé et les estuaires, en ce compris les eaux souterraines, marines et les milieux annexes qui y sont associés.

Les échéances imposées sont spécifiées par les différents articles de la Directive cadre. La région wallonne respecte actuellement le calendrier imposé par la Commission européenne :

- Pour le **22 décembre 2003**, les Etats membres devaient avoir mis en vigueur les dispositions législatives, réglementaires et administratives nécessaires pour se conformer à la Directive, laquelle doit donc être transposée en droit national ou régional;
- Pour le **22 juin 2003**, les Etats membres devaient avoir délimité les districts hydrographiques internationaux, désigné les autorités compétentes et en informer la Commission;
- Pour le **22 décembre 2004**, les Etats membres devaient avoir :
 - achevé, pour chaque district hydrographique :
 - l'identification et la caractérisation des masses d'eau;
 - l'analyse de leurs caractéristiques;
 - l'étude de l'incidence de l'activité humaine sur l'état des eaux de surface et des eaux souterraines;
 - l'analyse économique de l'utilisation de l'eau;
 - établi un ou plusieurs registres reprenant toutes les zones protégées dans le cadre d'une législation communautaire;
 - recensé toutes les masses d'eau utilisées pour le captage, ainsi que toutes les masses d'eau destinées, dans le futur, à un tel usage.
- Pour le **22 décembre 2006**, les Etats membres doivent avoir établi des programmes de surveillance de l'état des eaux afin de dresser un tableau cohérent et complet au sein de chaque district hydrographique;
- Pour le **22 décembre 2009**, les Etats membres doivent avoir établi:
 - des programmes de mesures basés sur les résultats des analyses des districts hydrographiques;
 - des plans de gestion;
- Pour le **1er janvier 2010**, les Etats membres doivent avoir veillé:
 - à ce que la politique de tarification incite les usagers à utiliser les ressources en eau de façon efficace;
 - à ce que les différents secteurs économiques contribuent de manière appropriée à la récupération des coûts des services de l'eau;
- Pour le **22 décembre 2012**, les Etats membres doivent avoir veillé à ce que toutes les mesures soient opérationnelles;
- Pour le **22 décembre 2015**, les Etats membres doivent:
 - parvenir à ce que les eaux de surface atteignent un bon état;
 - obtenir un bon potentiel écologique et un bon état chimique pour leurs masses d'eau artificielles et fortement modifiées;
 - obtenir un bon état des eaux souterraines;

- assurer le respect de toutes les normes et de tous les objectifs établis pour les zones protégées.

La Directive cadre envisage de prendre en considération les aspects quantitatifs et qualitatifs dans la définition du bon état des eaux souterraines. Pour définir le bon état quantitatif, la Directive cadre se base sur le niveau d'eau ; celui-ci doit être tel que le taux annuel moyen de captage à long terme ne dépasse pas la ressource annuellement disponible de la masse d'eau souterraine (Annexe V, 2.1.2 de la Directive). Il s'agit donc de connaître le bilan en eau à l'échelle des masses d'eau souterraine et donc les flux et les variations des réserves afin de ne pas surexploiter les masses d'eau souterraines. Ainsi un réseau de surveillance doit être mis en place de manière à fournir une estimation fiable de l'état quantitatif de toutes les masses d'eau y compris une évaluation des ressources disponibles en eau souterraine (Annexe V, 2.2.1). Ce réseau doit être composé de points de surveillance représentatifs pour évaluer le niveau d'eau dans chaque masse d'eau compte tenu des variations à court et long termes des recharges (Annexe V, 2.2.2 de la Directive). Par le bon état qualitatif, la Directive Cadre entend que la composition chimique de la masse d'eau souterraine soit telle que les concentrations en polluants ne montrent pas d'effets d'une invasion salée ou autre, ne dépassent pas les normes de qualité, ne soient pas telles qu'elles empêcheraient d'atteindre les objectifs environnementaux selon l'Article 4 (Annexe V, 2.3.2 de la Directive). La méthodologie de détermination de ces normes de qualité sera définie dans la directive fille relative aux eaux souterraines. Comme pour l'état quantitatif, un réseau de surveillance doit être mis en place. Ce réseau doit permettre de fournir une image cohérente et globale de l'état chimique des eaux souterraines et de détecter la présence de tendances à la hausse à long terme de la pollution induite par l'activité anthropique. Ce réseau doit être significativement représentatif.

1.1.1.2 Notion de masse d'eau souterraine

Comme pour les eaux de surface, la Directive cadre sur l'Eau (Directive 2000/60/CE) introduit un nouveau concept, celui de masse d'eau souterraine, nouvelle unité élémentaire du milieu aquatique, mieux adaptée à la gestion des eaux à l'intérieur des bassins hydrographiques à large échelle (districts hydrographiques). La **masse d'eau souterraine** est donc un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou de plusieurs aquifères.

L'article 5 de la Directive précise que les États membres doivent réaliser une caractérisation initiale de toutes les masses d'eau souterraine pour évaluer leurs utilisations et le risque qu'elles présentent de ne pas répondre aux objectifs de qualité prévus à l'article 4. Cet article définit les objectifs environnementaux applicables aux masses d'eau.

2 Etat et évolution

2.1 Introduction

Dans le cadre de la directive européenne sur l'eau, les états membres sont notamment tenus de :

- assurer la réduction progressive de la pollution des eaux souterraines et prévenir son aggravation ;
- promouvoir une utilisation durable de l'eau ;
- contribuer à atténuer les effets des inondations et des sécheresses.

Une bonne connaissance des aquifères et l'estimation des ressources en eau souterraine constituent des étapes primordiales dans l'aboutissement de ces objectifs. Deux types de travaux, dont les objectifs sont souvent confondus, sont actuellement menés en Région wallonne afin de mieux connaître les aquifères :

- les travaux d'inventaires ;
- les travaux de caractérisation.

Les travaux d'inventaires consistent à collecter et synthétiser l'ensemble de l'information existante, à un moment donné pour un territoire donné. Ces inventaires ne comportent normalement aucune nouvelle mesure et aucun nouvel essai.

Deux travaux d'inventaire sont actuellement menés en parallèle en Région wallonne :

- La Carte Hydrogéologique de Wallonie

La Carte Hydrogéologique de Wallonie est réalisée par quatre équipes universitaires (ULg, ULg-Arlon, FUNDP, FPMs) pour le compte de la Région wallonne. Sur une base cartographique au 1/25.000, les informations à caractère hydrogéologique disponibles sont collectées auprès de l'Administration de la Région Wallonne, des administrations communales, des producteurs d'eau, des entreprises actives sur le territoire concerné par la carte et même auprès des particuliers (puits privés...). Ces informations sont groupées et structurées dans une banque de donnée géorelationnelle (BDHydro, convention RW-ULg, Wojda *et al.*, 2005) couplée à un système d'information géographique.

- Les états des lieux

Dans le cadre de l'établissement des états des lieux des districts hydrographiques (Directive cadre sur l'eau), l'administration de la Région wallonne a effectué un travail de synthèse de l'information disponible pour toutes les masses d'eau souterraine, sur base de l'information contenue dans les diverses banque de données de l'Administration (http://environnement.wallonie.be/directive_eau/homepage.cfm).

Par ailleurs, les travaux de caractérisation des nappes d'eau souterraine permettent d'acquérir de nouvelles données afin de mieux comprendre le fonctionnement des aquifères de la Région. Par exemple, la caractérisation hydrogéologique menée depuis le 1^{er} décembre 2005 pour une durée de 4 ans par les équipes d'hydrogéologie de l'ULg, des FUNDP et de la FPMs sous la coordination de l'équipe d'hydrogéologie de l'ULg dans le cadre du projet Synclin'EAU (masses d'eau souterraine RWM011, RWM012, RWM021, RWM022 et RWM023) a pour but de mieux comprendre les mécanismes d'écoulement propres aux différents types d'aquifères rencontrés, d'estimer les paramètres hydrauliques moyens et de mieux comprendre les mécanismes de recharge. A cette fin, les bassins hydrologiques sont instrumentés (sondes pressiométriques...) et divers essais sont réalisés.

2.2 Etat d'avancement des travaux d'inventaire et de caractérisation

2.2.1 Etat d'avancement des travaux d'inventaire

Les travaux d'inventaire de la Carte Hydrogéologique de Wallonie ont débuté en 1999. Chaque année, 12 cartes sont produites. La Figure 11 permet de visualiser l'état d'avancement de ces travaux. Dans le tableau 1, est repris le pourcentage de la superficie de chaque masse d'eau souterraine couverte par la carte hydrogéologique (situation au 1^{er} septembre 2006). On constate directement que plusieurs masses d'eau souterraine sont déjà entièrement couvertes par la carte hydrogéologique. D'autres, par contre, n'ont pas ou très peu été abordées. Il faut cependant nuancer ces pourcentages de couverture. En effet, la carte hydrogéologique constitue une synthèse des données existantes, seuls quelques relevés piézométriques sont effectués. Il ne s'agit donc en aucun cas d'une couverture de caractérisation hydrogéologique des masses d'eau. Néanmoins, la carte hydrogéologique est la première étape vers une meilleure connaissance des eaux souterraines en Wallonie. Elle permet en outre de mettre le doigt sur les régions où il manque cruellement de données hydrogéologiques.

A ce jour, 141 cartes ont été réalisées au rythme de trois cartes par an par équipe universitaire. A ce rythme, la couverture complète de la Région wallonne est prévue en 2011. La Direction des Eaux souterraines de la DGRNE souhaite proposer au Gouvernement une modification du rythme de travail pour le plan triennal 2007-2010. Les équipes ne réaliseront plus que deux cartes par an mais travailleront également à la diffusion internet de deux cartes par an. La couverture complète de la Région wallonne serait alors reportée en 2012.

Distr,	code MESO	Dénomination	Superficie (km2)	% de la superficie de la masse d'eau couverte par la carte hydrogéologique
ESCAUT	RWE013	Calcaires de Peruwelz-Ath-Soignies	1020	98
	RWE030	Craies de la Haine	644	100
	RWE031	Sables de la vallée de la Haine	241	100
	RWE032	Craies de la Deûle	73	100
	RWE051	Sables du Bruxellien	965	50
	RWE053	Sables du Landénien (Est)	206	0
	RWE060	Calcaires du Tournaisis	392	100
	RWE061	Sables du Thanétien des Flandres	389	85
	RWE080	Craies du Brabant	348	7
	RWE160	Socle du Brabant	1382	50
MEUSE	RWM011	Calcaires du bassin de la Meuse bord Nord	799	75
	RWM012	Calcaires du bassin de la Meuse bord Sud	484	8
	RWM021	Calcaires et grès du Condroz	1661	70
	RWM022	Calcaires et grès dévoniens du bassin de la Sambre	443	9
	RWM023	Calcaires et grès de la Calestienne et de la Famenne	1504	90
	RWM040	Crétacé du bassin du Geer	440	70
	RWM041	Sables et Craies du bassin de la Méhaigne	305	3
	RWM052	Sables Bruxelliens des bassins Haine et Sambre	142	60
	RWM071	Alluvions et graviers de Meuse (Givet - Namur)	38	70
	RWM072	Alluvions et graviers de Meuse (Namur - Lanaye)	78	50
	RWM073	Alluvions et graviers de Meuse (Engis - Herstal)	46	100
	RWM091	Trias supérieur (Conglomérats du Rhétien)	170	100
	RWM092	Lias inférieur (Sinémurien) - district de la Meuse	536	100
	RWM093	Lias supérieur (Domérien)	133	100
	RWM094	Calcaires du Bajocien-Bathonien (Dogger)	53	100
	RWM100	Grès et schistes du massif ardennais :Lesse,Outhe,Ambles	3588	20
	RWM102	Grès et schistes du massif ardennais: bassin de la Roer	110	0
	RWM103	Grès et schistes du massif ardennais :Semois,Chiers, H	1224	50
RWM141	Calcaires et grès du bassin de la Gueule	188	90	
RWM142	Calcaires et grès du bassin de la Vesdre	207	15	
RWM151	Crétacé du Pays de Herve	286	80	
RHI	RWR092	Lias inférieur (Sinémurien) - district du Rhin	65	100
	RWR101	Grès et schistes du massif ardennais : bassin de la Mosel	668	25

Tab. 1 : % de la superficie des masses d'eau souterraine couverte par la carte hydrogéologique (situation au 1^{er} septembre 2006).

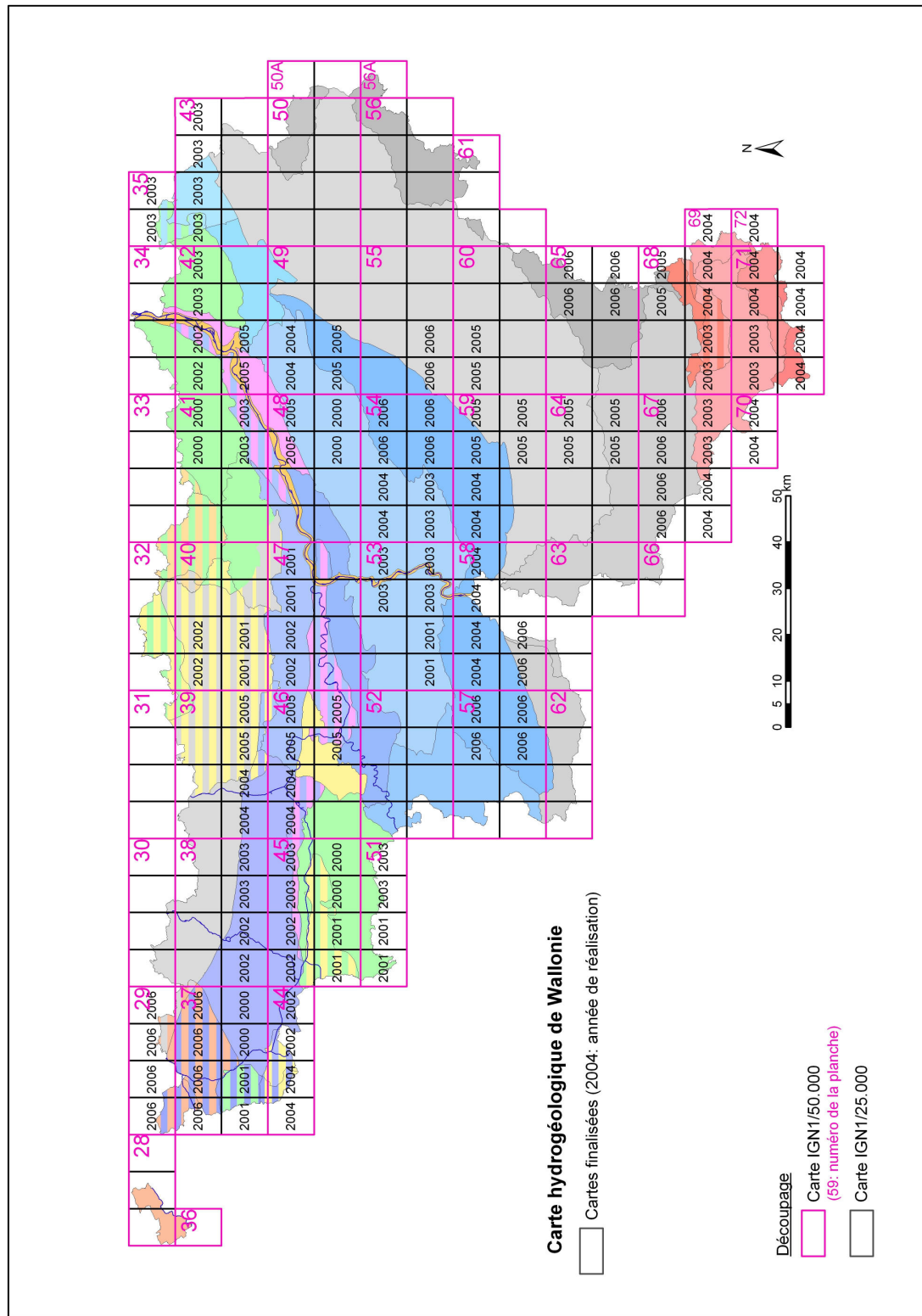


Fig. 11 : Etat d'avancement des travaux d'inventaire de la carte hydrogéologique (situation au 1^{er} septembre 2006)

2.2.2 Etat d'avancement des travaux de caractérisation

Dans le cadre des travaux de modélisation relatifs au programme PIRENE (Programme Intégré de Recherche Environnement Eau), les équipes d'Hydrogéologie des Universités de Liège et de Mons ont dressé, en 2004, un inventaire du degré de caractérisation des différents aquifères en Région Wallonne.

Formations schisto-gréseuses du Massif ardennais

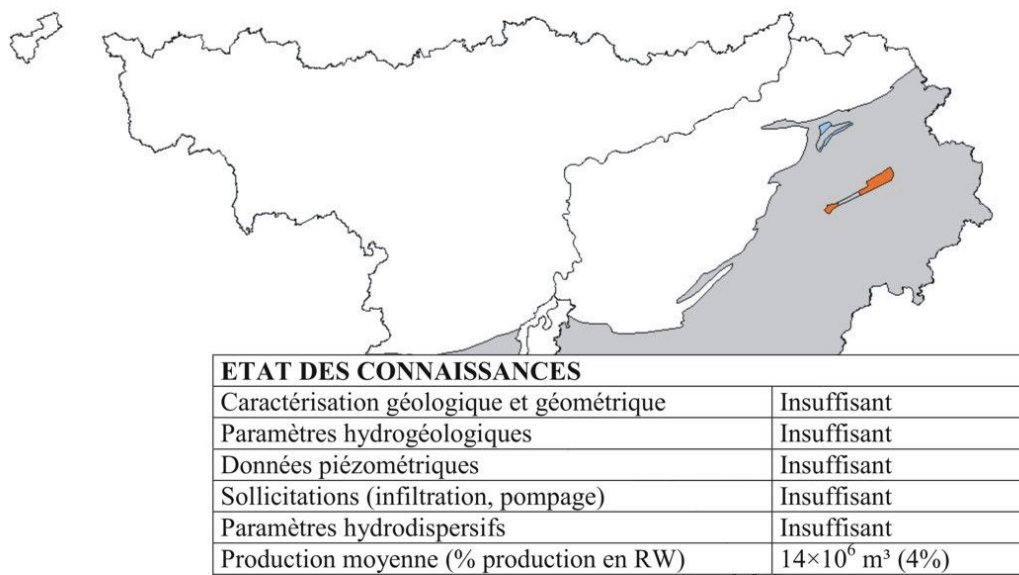


Fig. 12 : Localisation et état des connaissances des Formations schisto-gréseuses du Massif ardennais (PIRENE, 2004)

Ces formations étant exploitées très localement et de faible intérêt d'un point de vue aquifère, très peu d'études et de données sont effectivement disponibles. Seules quelques études locales ont été réalisées (Centrale hydroélectrique de Coö, barrages d'Eupen, de la Gileppe, implantation de CET, détermination de zones de prévention...).

Dans le cadre des projets SSTC et MOHICAN, des modèles d'écoulements ont été développés pour l'Ourthe occidentale en amont de Mabompré, la Vesdre et la Lesse. Faute de données piézométriques, ces modèles ont été calibrés uniquement sur le débit de base à l'exutoire des cours d'eau.

Des données piézométriques à l'échelle régionale, des données permettant le calcul de bilans hydrogéologiques, des données hydrodispersives, ainsi que des données concernant la qualité de l'eau seraient nécessaires.

Formations dévono-carbonifères du Synclinorium de Namur

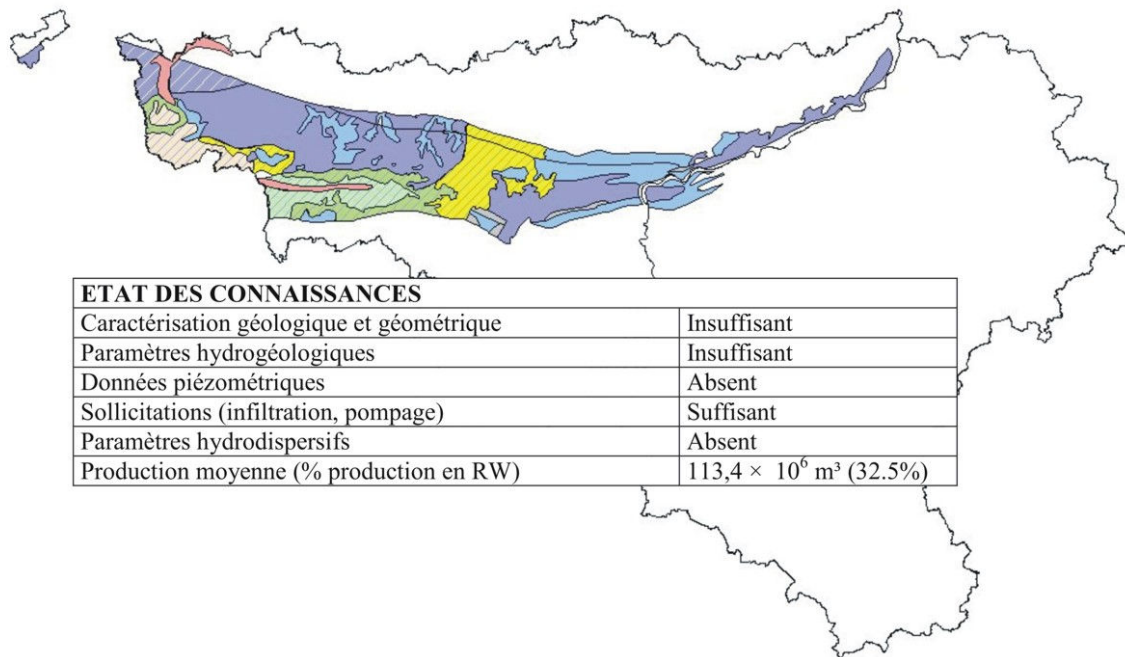


Fig. 13 : Localisation et état des connaissances des Formations dévono-carbonifères du Synclinorium de Namur (PIRENE, 2004)

Les calcaires dévono-carbonifères du Synclinorium de Namur constituent un aquifère de fissures pouvant être localement karstifié.

La Formation d'Hastière (Tournaisien inférieur) présente moins d'intérêt d'un point de vue hydrogéologique car elle contient des schistes intercalaires limitant les flux entre les bandes calcaires. Par contre le Tournaisien supérieur et le Viséen forment une seule entité hydrogéologique.

De nombreux captages sont implantés dans les calcaires carbonifères du Synclinorium de Namur (SWDE, CIBE...). Des données piézométriques et des résultats d'essais de pompages sont disponibles au niveau de ces sites de captage.

La partie Ouest des calcaires carbonifères du Synclinorium de Namur a fait l'objet d'une étude de caractérisation.

Formations dévono-carbonifères du Synclinorium de Dinant

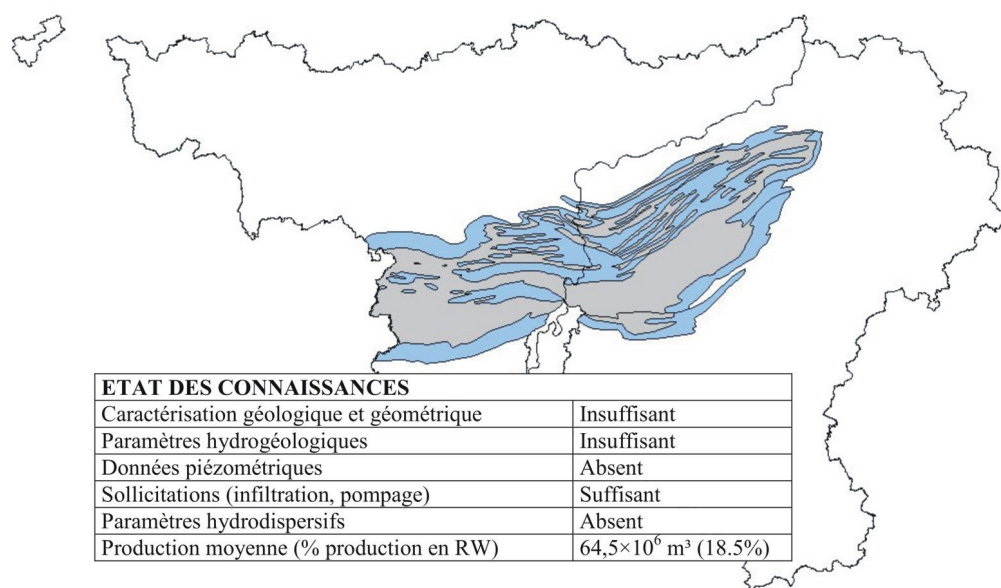


Fig. 14 : Localisation et état des connaissances des Formations dévono-carbonifères du Synclinorium de Dinant (PIRENE, 2004)

De nombreux puits et galeries exploitent les aquifères calcaires. Plus localement, certains captages exploitent les grès du Famennien. Dans l'Entre-Sambre-et-Meuse, la SWDE, l'AIEM, l'INASEP possèdent plusieurs sites de captage. Dans le Condroz, plusieurs captages sont implantés dans les calcaires, notamment ceux de la CIBE à Spontin, à Ciney, à Modave, à Havelange, ceux de la SWDE à Ciney, à Assesse, à Gesves, à Havelange, ceux de la CILE à Limet, à Triffoix et dans le bassin du Néblon et ceux de l'AIEC à Ciney et Havelange. Les grès du Famennien sont également exploités à Sprimont.

Les aquifères calcaires de l'Entre-Sambre-et-Meuse ont fait, fin des années 80, l'objet d'une étude générale d'identification financée par la Région Wallonne. Cette étude a été réalisée en coordination avec la SWDE, l'ISSEP et les LGIH⁴. En outre, différentes études fournissent des données locales telles que des données piézométriques, hydrodynamiques et hydrodispersives, notamment celles menées afin de déterminer des zones de prévention autour des captages d'eau souterraine. Des bilans ont été établis pour certains bassins hydrogéologiques.

Les potentialités des aquifères gréseux de l'extrémité Est du Condroz ont été étudiées pour la Région wallonne par les LGIH⁵.

Des données piézométriques à l'échelle régionale seraient nécessaires. Des études de bilans hydrologiques ont mis en évidence des pertes entre bassins, sans les quantifier. Des investigations complémentaires sur le terrain sont donc nécessaires, tout comme des données concernant la qualité de l'eau.

⁴ Rapport LGIH-SWDE ESM/894, 1989, Etude des potentialités aquifères du calcaire carbonifère de l'Entre-Sambre-et-Meuse.

⁵ Rapport LGIH-RW RW/892 Etude d'une zone prototype sur les potentialités aquifères des horizons gréseux du Sud de la Belgique, 150p + annexes + documents

Formations du Pays de Herve

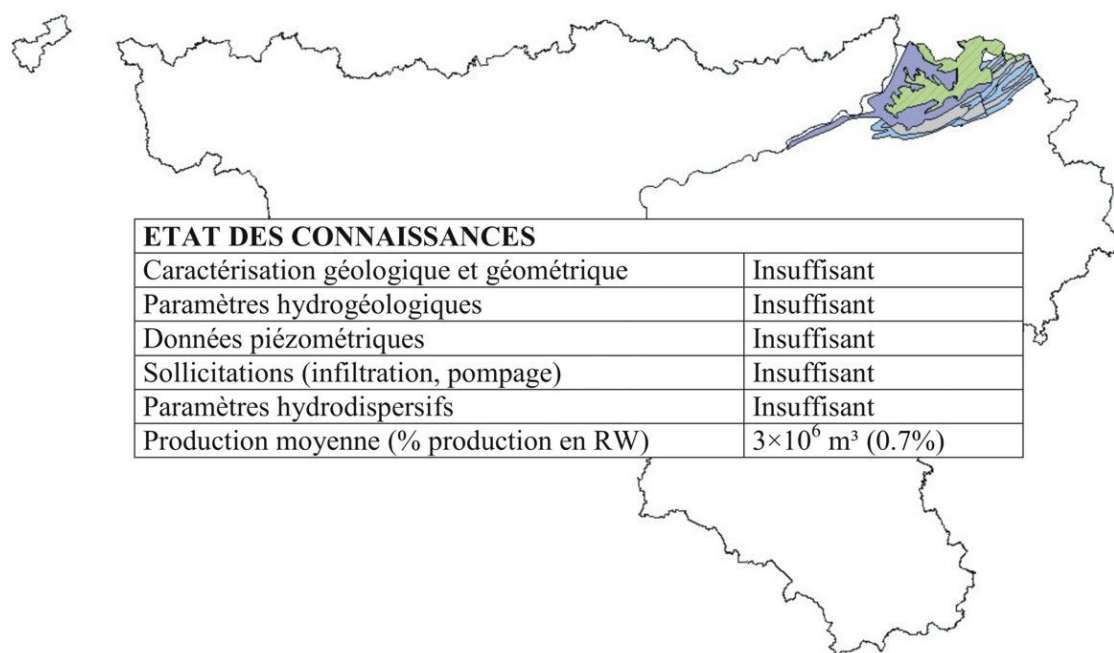


Fig. 15 : Localisation et état des connaissances des Formations du Pays de Herve (PIRENE, 2004)

Dans le Pays de Herve, des nappes aquifères peuvent être identifiées au sein des craies et des sables du Mésozoïque, des synclinaux calcaires et des grès fissurés du socle paléozoïque. Vu l'extension transfrontalière de la plupart de ces aquifères, il est difficile, voire impossible de définir des conditions aux limites précises sans passer par une caractérisation et une étude débordant les frontières de la Région wallonne.

Dans la région d'Henry-Chapelle, Moresnet et La Calamine, des pompages sont implantés dans les sables, les craies et les calcaires. Les aquifères calcaires de la région d'Eupen et de Moresnet sont très localement exploités en Belgique mais sont très sollicités en Allemagne.

Fin des années 1990, une étude financée par la Région Wallonne a permis de réaliser un inventaire des données disponibles pour le plateau de Herve. Différentes études de détermination des potentialités aquifères de la région ont fourni localement des données piézométriques et hydrodynamiques. Dans le cadre d'un projet InterReg de l'Euregio Meuse-Rhin⁶, la qualité de l'eau souterraine du plateau de Herve a été étudiée en détail.

Des données piézométriques régionales, des données hydrodispersives ainsi que des données permettant le calcul de bilans hydrogéologiques seraient nécessaires.

⁶ Qualité de l'eau souterraine dans les aquifères des provinces Limbourg belge, Limbourg néerlandais et Liège, Décembre 2000

Les craies du Bassin de Mons

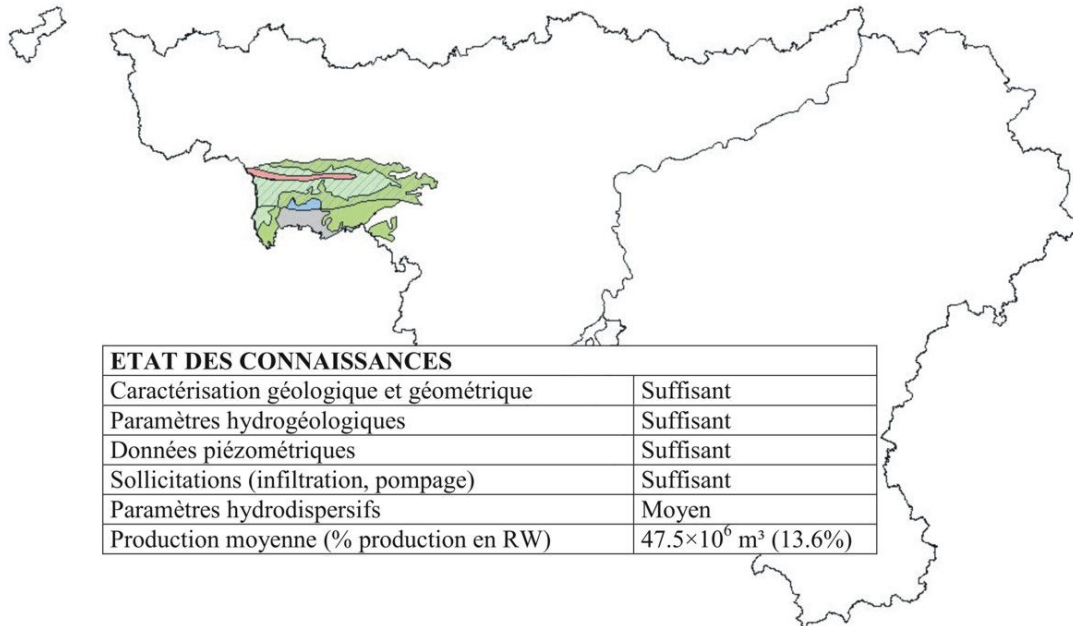


Fig. 16 : Localisation et état des connaissances des craies du Bassin de Mons (PIRENE, 2004)

Dans le bassin de Mons, la dépression du bassin de subsidence de la Haine, comblé localement de plus de 300 mètres de terrains du Crétacé, constitue un gisement important d'eau souterraine. L'aquifère du Bassin de Mons est composé d'un ensemble de formations carbonatées plus ou moins perméables superposées depuis le mur imperméable (marnes turoniennes) jusqu'au toit constitué de silts argileux ou glauconifères sensiblement imperméables. Dans la partie orientale du bassin, l'aquifère est libre. A l'Ouest, par contre, la présence de sédiments landéniens à la base de la couverture et un recouvrement local d'argiles yprésiennes confèrent à la nappe un caractère captif ou du moins semi-captif.

La surface piézométrique des craies est influencée par la vallée de la Haine.

Des puits de captages existent dans la région de Cuesmes (IDEA), Nimy (CIBE), Ghlin (CIBE) et Hainin (TMVW). Des essais de pompage et de traçage ont été réalisés en divers points de la nappe. Des données chimiques existent également. Des problèmes de tassement dus à la désaturation des tourbes surmontant les formations crayeuses dans les plaines alluviales ont été relevés.

Cet aquifère a été étudié et caractérisé par l'équipe d'hydrogéologie de la FPMs (Prof A. Rorive).

Les craies de Hesbaye

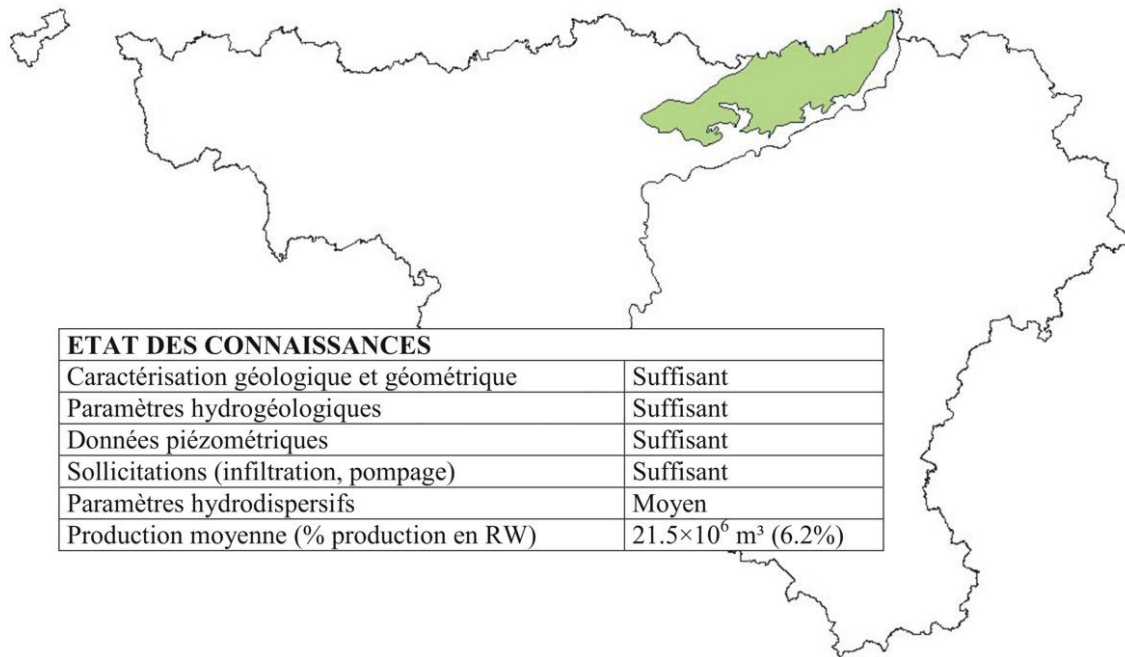


Fig. 17 : Localisation et état des connaissances des craies de Hesbaye (PIRENE, 2004)

La nappe aquifère des craies de Hesbaye est caractérisée par une double porosité : porosité de pores qui assure un grand volume de stockage et porosité de fissures qui assure le drainage de l'aquifère. Le Geer qui s'écoule principalement de l'Ouest vers l'Est, draine partiellement l'aquifère crayeux. Le bassin hydrogéologique ne coïncide pas exactement avec le bassin hydrologique. Les bilans hydrologiques mettant en évidence des pertes d'eau souterraine vers le Nord

Plusieurs captages ont été implantés dans l'aquifère par la CILE (captages par galeries drainantes), la SWDE et la VMW (captages par puits). Le débit total exploité par ces différentes sociétés est d'environ 25 à 30 millions m³/an.

Différentes études, menées principalement dans le cadre de la délimitation des zones de prévention autour de captages ont fourni des données géologiques, des données piézométriques, des données hydrodynamiques (déduites de l'interprétation d'essais de pompage) et des données hydrodispersives (déduites de l'interprétation d'essais de traçage). Plusieurs thèses et projets de recherches (Programme Action Hesbaye, projet « Bovenistier »⁷ ...) ont permis de mieux comprendre la dynamique des écoulements et du transfert des polluants (essentiellement les nitrates) à l'échelle régionale dans la zone saturée et dans la zone non saturée des craies de Hesbaye.

Plusieurs modèles numériques de complexité croissante ont été développés⁸, notamment dans le cadre du Programme Action Hesbaye et d'un projet SSTC, notamment au sein du modèle MOHISE intégrant les autres paramètres du cycle de l'eau. Dans le cadre d'un projet InterReg

⁷ Rapport LGIH-RW /2001-2. Etude phénoménologique de la propagation d'une substance miscible en milieu non saturé et application au transport des nitrates vers la nappe aquifère de Hesbaye (Etude financée par la Région wallonne), 2001.

⁸ Notamment dans le cadre du Programme Action Hesbaye et du projet SSTC « Integrated modelling of the hydrological cycle in relation to global climate change » (CG/DD/08).

de l'Euregio Meuse-Rhin (voir note de bas de page numéro 6), la qualité de l'eau dans la province du Limbourg belge et la région liégeoise a été étudiée.

Globalement, on peut considérer que le niveau de caractérisation de cet aquifère est suffisant. Il manque toutefois quelques informations telles que des données piézométriques au Nord du bassin du Geer pour affiner l'évaluation des pertes dans cette direction.

Les aquifères du Jurassique et du Triasique de la Lorraine Belge

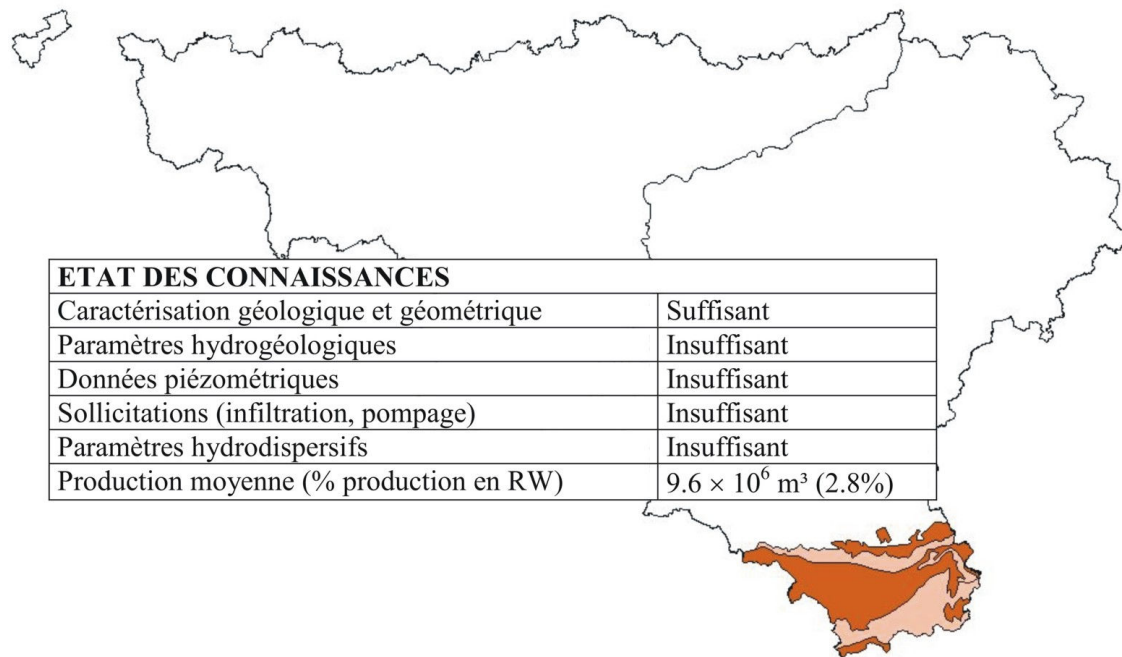


Fig. 18 : Localisation et état des connaissances des aquifères du Jurassique et du Triasique de la Lorraine Belge (PIRENE, 2004)

Dans le cadre de contacts relatifs à la définition des aquifères transfrontaliers pour la Directive cadre sur l'eau (Belgique, France, Grand-Duché du Luxembourg), quatre principaux ensembles aquifères ont été définis. Ces différents ensembles peuvent être considérés comme des unités aquifères séparées les unes des autres par des formations peu perméables. Vu l'extension transfrontalière de la plupart de ces aquifères, il est difficile voire impossible de définir des conditions aux limites précises sans passer par une caractérisation et une étude débordant les frontières de la Région wallonne, en partenariat avec la France et le Grand Duché de Luxembourg. En Région wallonne, l'aquifère principal est localisé dans les calcaires gréseux du Sinémurien.

Une étude de caractérisation des aquifères du Sinémurien a été financée par la Région wallonne et réalisée par la FUL (Convention RW-FUL, Debbaut 1988, Masson 1993). Divers captages sont implantés dans les calcaires gréseux sinémuriens et virtoniens, notamment sur le site de Valvert, ainsi qu'à Florenville et Chassepierre par la SWDE. Différentes études menées principalement dans le cadre de la définition des zones de prévention autour de captages ou pour déterminer l'impact hydrogéologique de l'implantation de CET ont fourni localement des données piézométriques, hydrodynamiques et hydrodispersives. Lors de la réalisation des cartes hydrogéologiques, une esquisse de carte piézométrique régionale a été dessinée.

Des données piézométriques complémentaires à l'échelle régionale, des données permettant le calcul de bilans hydrogéologiques, ainsi que des données concernant la qualité de l'eau seraient nécessaires. Une étude transfrontalière en partenariat avec le Grand-Duché du Luxembourg et la France est indispensable pour comprendre correctement le fonctionnement hydrodynamique de ces différents aquifères.

Les sables bruxelliens et les aquifères du socle du massif du Brabant

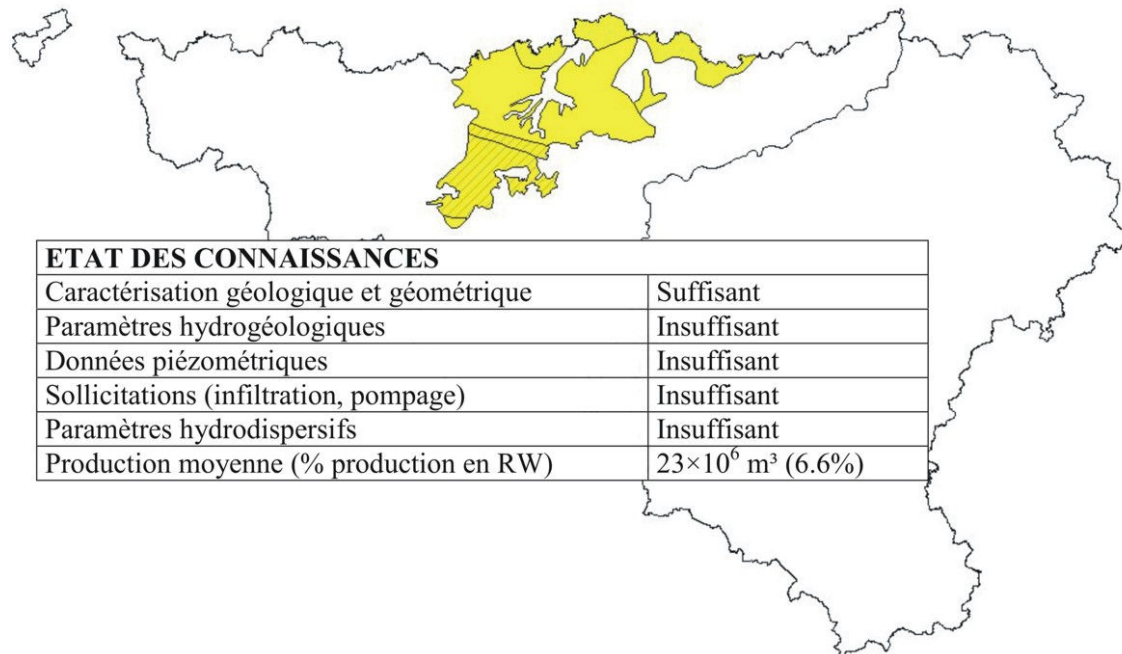


Fig. 19 : Localisation et état des connaissances des sables bruxelliens et des aquifères du socle du massif du Brabant (PIRENE, 2004)

Dans cette région, les nappes aquifères les plus importantes sont présentes dans les sables bruxelliens. Ces nappes présentent de faibles extensions vu le réseau dense de rivières qui érodent les formations cénozoïques et s'écoulent directement au sein des formations paléozoïques.

Toutefois, les grès et les quartzites du Devillien situés sous les sables bruxelliens proprement dits, ont été paléoaltérés et sont fortement faillés. Ils constituent des aquifères intéressants mais souvent d'extension réduite. Par leur double porosité, les craies du Crétacé du massif du Brabant constituent également un aquifère intéressant. De nombreux captages sont implantés dans l'aquifère du Bruxellien et dans les grès paléoaltérés du Devillien. Les craies de la région de Wavre sont également exploitées.

La nappe des sables bruxelliens a fait l'objet d'une caractérisation, financée par la Région Wallonne et réalisée par l'IBW, les LGIH et la SWDE. Différentes études menées afin de déterminer des zones de prévention autour de captages ou de déterminer l'impact hydrogéologique de l'implantation de nombreux CET fournissent localement des données piézométriques et hydrodynamiques.

Des données piézométriques à l'échelle régionale, des données permettant le calcul de bilans hydrogéologiques et des données concernant la qualité de l'eau seraient nécessaires.

Les graviers de la Meuse

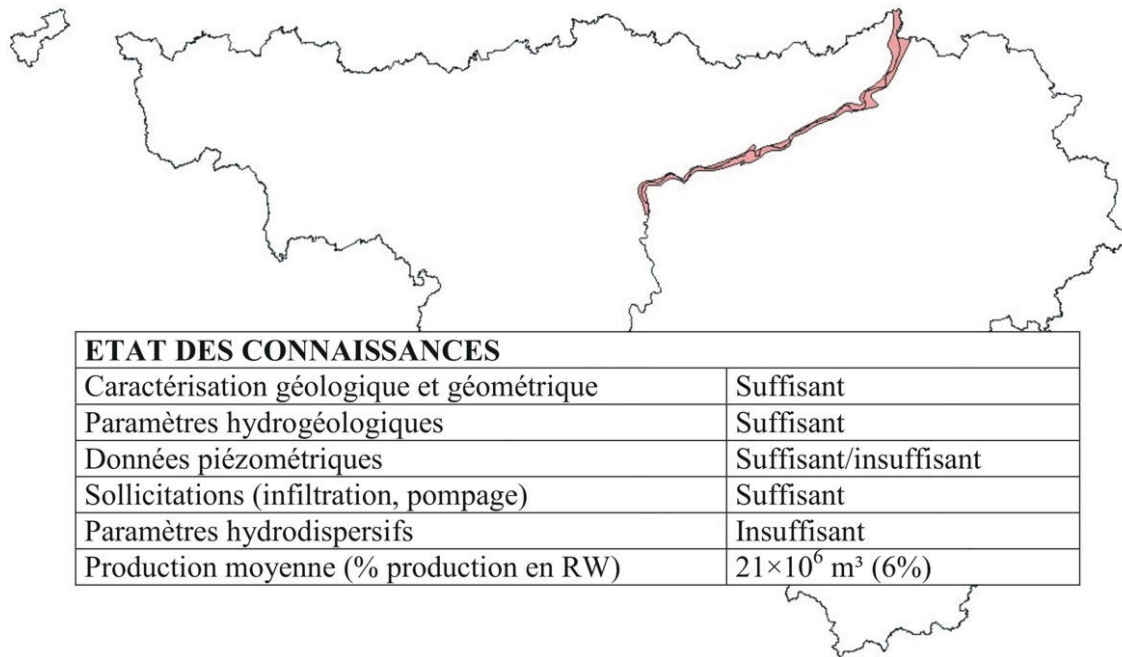


Fig. 20 : Localisation et état des connaissances des graviers de la Meuse (PIRENE, 2004)

La nappe est alimentée par l'impluvium direct, par l'infiltration de la Meuse, par le bed-rock sous-jacent (pour peu que celui-ci soit perméable) et par le déversement des nappes des versants. La Meuse présente un caractère drainant sur la plus grande partie de son parcours. Elle alimente également par endroit l'aquifère notamment à l'amont des barrages et au droit des sites de captage.

De nombreux sites de captages (SWDE, CIBE et de captages d'industries) sont implantés dans les formations alluviales de la Meuse, depuis la frontière française jusqu'à la frontière néerlandaise. Des installations de démergement existent également, notamment dans la région liégeoise.

La nappe alluviale de la Meuse a fait l'objet d'une caractérisation générale dans le cadre de la thèse de Haddouchi en 1987. Un modèle mathématique des écoulements souterrains de la nappe alluviale de la Meuse a été réalisé en 1990 entre Monsin et Lanaye (région liégeoise). Ce modèle n'a pas été actualisé. Différentes études ont été réalisées afin de déterminer des zones de prévention autour de captages (Anseremme, Tailfer, Jambes, Beez, Ben-Ahin, Hermalle-sous-Huy, Amay, Vivegnis, Hermalle-sous-Argenteau, Visé). Elles fournissent des données à l'échelle locale, notamment des données piézométriques, hydrodynamiques et hydrodispersives et des modèles mathématiques locaux ont également été réalisés.

La dernière synthèse exhaustive des données concernant les graviers de la Meuse remontant à 1987, une actualisation est nécessaire. Depuis cette date, des aménagements de la plaine alluviale ont été réalisés, ce qui a modifié les échanges nappe-fleuve. L'étude InterReg sur la qualité de l'eau souterraine a montré que la qualité de l'eau de la nappe alluviale (entre Amay et la frontière néerlandaise) présentait un caractère très local.

2.2.3 Conclusions

L'inventaire des données disponibles et l'estimation du degré de caractérisation réalisés tant par les équipes PIRENE en 2004 que par l'administration ont mis en évidence d'importantes lacunes. Par conséquent, en vue de préserver et de gérer au mieux les ressources en eau souterraine, il apparaît nécessaire de poursuivre les efforts de caractérisation en vue de mieux comprendre le fonctionnement des systèmes aquifères. En réponse à ces besoins, la Région wallonne et la SPGE ont financé un projet de caractérisation des ressources en eau souterraine portant notamment sur les calcaires et grès du Synclinorium de Dinant (projet Synclin'EAU). Ce projet a démarré le 1^{er} décembre 2005, pour une durée de 4 ans. Les équipes de recherche en hydrogéologie de l'ULg, de la FUNDP et de la FPMs y participent, sous la coordination de l'Aquapôle de l'ULg. Les masses d'eau souterraines RWM011, RWM012, RWM021 seront caractérisées sur base des mesures disponibles et d'investigations complémentaires. Les masses d'eau RWM022 et RWM023 seront étudiées sur base des données actuellement disponibles. Actuellement, aucun autre projet de recherche n'est prévu pour caractériser les masses d'eau à ce jour peu caractérisées.

2.3 Etat et tendances en matière de quantités d'eau souterraine en Région wallonne

2.3.1 Bilans hydrogéologiques pour les principales formations aquifères

L'établissement de bilans hydrogéologiques a pour but de quantifier les quantités d'eau entrant, transitant et sortant du milieu souterrain. Les différents paramètres intervenant dans le bilan hydrogéologique sont :

- l'infiltration ;
- les volumes échangés avec les eaux de surface et/ou les aquifères voisins ;
- les volumes extraits ou réinfiltrés suite aux différentes activités humaines ;
- les variations de stockage au sein du milieu aquifère.

Parmi tous ces paramètres seuls les volumes extraits suite aux activités humaines (pompages, galeries, ...) sont relativement bien estimés pour l'ensemble du territoire wallon. Les volumes réinfiltrés sont à ce jour considérés comme négligeable. Les flux transitant par les aquifères sont beaucoup plus difficiles à estimer car la clé de répartition de l'eau utile (pluie – évapotranspiration) entre l'infiltration et le ruissellement n'est généralement pas connue avec une précision suffisante. De plus, les écarts fréquemment observés entre bassins hydrologiques et bassins hydrogéologiques compliquent encore l'interprétation de ces bilans.

Vu toutes ces imprécisions et le manque de caractérisation soulevé au paragraphe 2.2, il est quasiment impossible de calculer, actuellement en Région wallonne, des bilans hydrogéologiques pour l'ensemble des aquifères. Des bilans hydrogéologiques détaillés existent pour l'aquifère des craies de Hesbaye (Hallet, 1998 ; Dassargues & Monjoie, 1993), l'aquifère calcaire du Tournaisis (Convention FPMs-RW, 2002) et pour l'aquifère des craies du bassin de Mons lors de différentes études réalisées par la FPMs. Ailleurs, seuls des bilans hydrogéologiques locaux, à l'échelle de petits bassins versants, ont pu être établis.

Des modèles numériques simulant la répartition de l'eau entre les différents compartiments du cycle de l'eau, comme par exemple le modèle EPICGrid développé par l'équipe de l'unité d'hydrologie et d'hydraulique agricole de la faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux (Prof. S. Dautrebande) ont été utilisés pour l'ensemble du territoire wallon

(Dautrebande *et al*, 2006⁹). Ils fournissent une estimation globale à l'échelle du km². Les résultats de ces modèles devraient être calibrés et validés par des hydrogéologues. L'amélioration des connaissances en matière de bilans hydrogéologiques doit donc rester une priorité en Région wallonne.

2.3.2 Réseau de mesure quantitatif

2.3.2.1 Réseau antérieur à la directive cadre sur l'eau

Bien avant l'adoption de la directive cadre sur l'eau, l'administration de la Région wallonne (DGRNE-DE-Direction des Eaux souterraines) dispose d'un réseau de mesures piézométriques de 361 stations (Figure 22) relevées régulièrement par le personnel de la DGRNE. Comme le montre la Figure 22, ces stations sont principalement installées dans les calcaires du Tournaisien (afin de mieux suivre la baisse des niveaux piézométriques constatée dans cette nappe) et dans quelques autres sous-bassins. Ce réseau de mesures permet de suivre les variations naturelles ou anthropiques du niveau piézométrique (Figure 21).

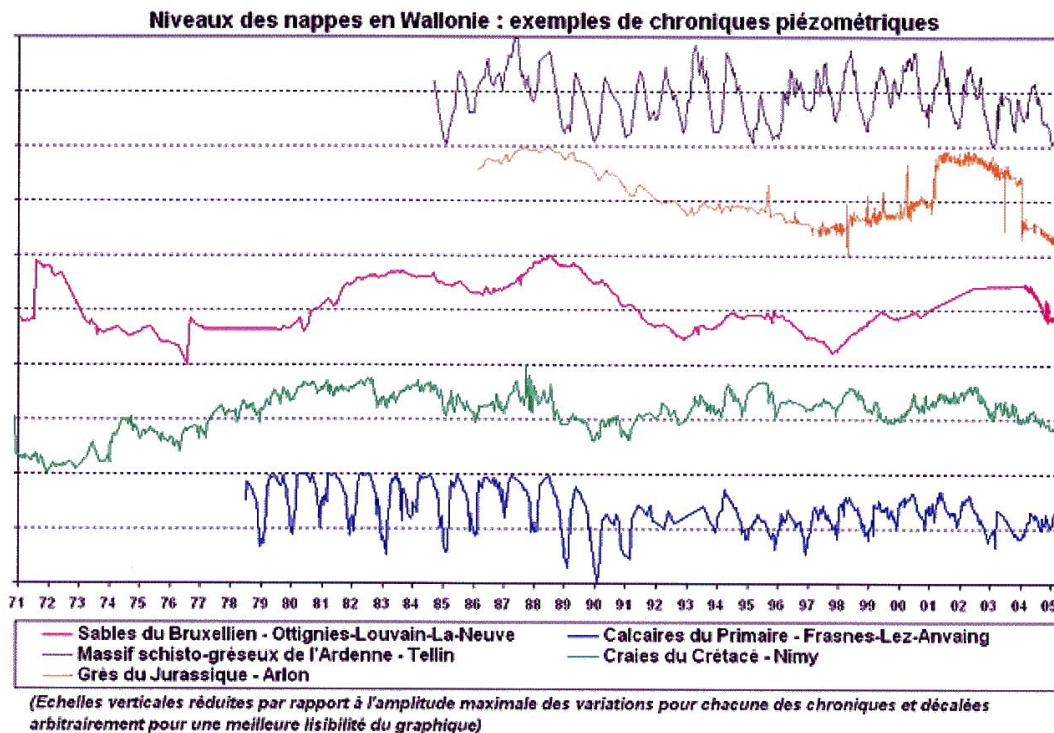
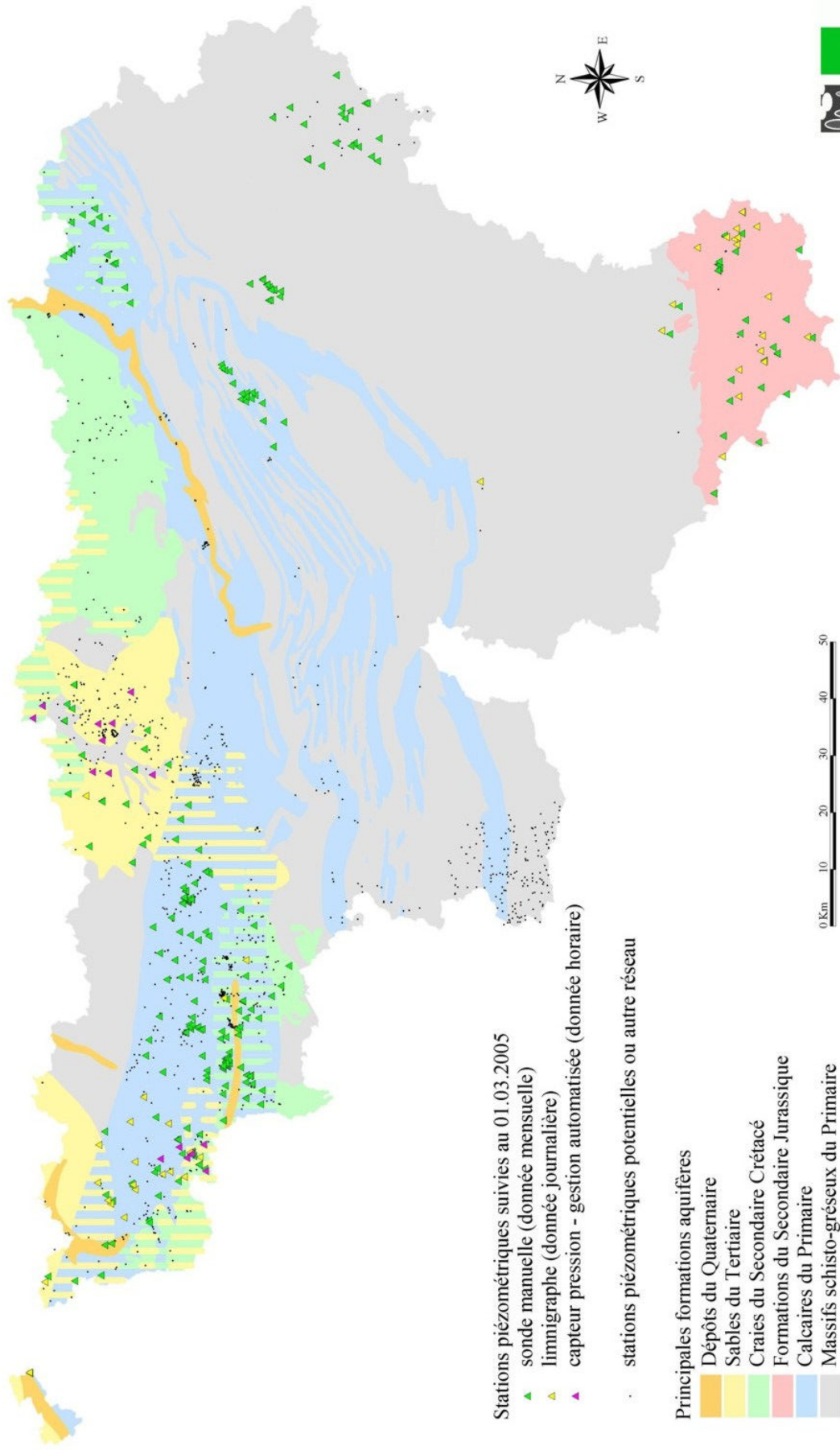


Fig. 21 : Exemples de chroniques piézométriques (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, DGRNE 2006)

D'autres points de mesures sont répertoriés dans la base de données « 10-SOU » de la Division des eaux souterraines de la DGRNE et sont susceptibles d'intégrer ce réseau. La surveillance quantitative des nappes est également assurée, souvent localement, par les producteurs d'eau comme, par exemple, dans l'aquifère de Hesbaye.

⁹ Dautrebande, S. et Sohier, C. 2006. *La contamination des sols en Région wallonne* : Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006 sur l'Etat de l'Environnement wallon. Hydrologie & hydraulique Agricole, Génie Rural et Environnement, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. 94 p.



Données extraites de la base de données géographiques de référence de la DGRNE et de la banque de données Dix-Sous
 Direction de la Coordination Informatique & Direction des Eaux Souterraines - Observatoire des eaux souterraines - mars 2005

Fig. 22 : Réseau piézométrique DGRNE antérieur à la Directive cadre (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, DGRNE 2006)

2.3.2.2 Réseau de surveillance quantitatif mis en place afin de répondre aux exigences de la Directive cadre sur l'eau

La Directive cadre sur l'eau impose aux états membres de mettre en place un réseau de surveillance du niveau de l'eau souterraine pour toutes les masses d'eau souterraine (ou tout groupe de masse d'eau). La Directive n'apporte cependant que peu de précisions sur la manière de mettre en place ce réseau, des informations plus précises sur la méthodologie de mise en place seront fournies dans la Directive fille relative aux eaux souterraines. Chaque état membre doit donc établir sa propre méthodologie afin de répondre aux exigences de la Directive. Différents travaux relatifs à l'élaboration des réseaux de surveillance « quantité » ont été menés en région Wallonne.

1. Une ébauche de note méthodologique interne à la DGRNE a été élaborée.
2. Dans le cadre des travaux du projet Scaldit, l'équipe d'hydrogéologie de la FPMs propose de sélectionner les points de mesure du réseau suivant la procédure suivante :
 - maillage de la masse d'eau à l'aide d'une grille carrée de 5 km de côté (cette dimension permet de respecter une des recommandations de la Directive qui préconise d'avoir un point de surveillance tous les 25 km² pour les masses d'eau souterraines à risques) ;
 - dans chaque maille, sélection d'un point de mesure en fonction de l'accessibilité des points, de la régularité et de la longueur des séries de mesures piézométriques disponibles et de l'absence d'influence de pompages.

Cette méthode est applicable dans le cas des masses d'eau souterraine « homogènes » de superficie importante. Par contre, dans le cas des masses d'eau hétérogènes comme, par exemple les calcaires et les grès du Condroz, cette méthode n'est pas applicable. En effet, dans chaque maille de 5 km de côté, des situations hydrogéologiques très différentes pourraient coexister et le point choisi dans chaque maille ne serait donc pas obligatoirement représentatif de l'entièreté de la maille.

L'équipe d'Hydrogéologie de la Faculté Polytechnique de Mons (FPMs) a également mis au point une Méthode d'Analyse des Tendances (MAT) sur base des suivis piézométriques afin d'évaluer l'état quantitatif des masses d'eau souterraine.

Cette méthode consiste en :

- la décomposition du signal piézométrique en différentes composantes, une tendance à long terme, un cycle de variation pluriannuelles et une variation saisonnière ;
- l'estimation des différentes composantes ;
- l'évaluation de l'état quantitatif sensu-stricto.

Cette méthode est actuellement peu documentée et appliquée. Son intérêt, par rapport à d'autres méthodes statistiques classiques, n'est pas clair.

3. Dans le cadre du projet SynclinEau, une méthodologie de mise en place d'un réseau de surveillance quantité est également proposée. Différents types de points sont choisis :
 - des piézomètres ;

A l'instar de ce qui se fait d'un point de vue qualitatif, il est intéressant de pouvoir suivre l'évolution des ressources en eau souterraine d'un point de vue quantitatif hors influence des pressions anthropiques en vue de suivre l'évolution de la ressource. Certains points dits « patrimoniaux », suffisamment éloignés de toutes activités anthropiques pouvant

influencer les niveaux piézométriques sont donc choisis. D'autres points reflétant l'impact de ces activités font également partie du réseau.

- des exutoires naturels ou non de la nappe ;

En ces points, des débits seront mesurés. Ils fourniront une information complémentaire relative aux flux transitant dans la masse d'eau souterraine.

- des stations limnimétriques.

A l'inverse des deux autres types de points qui fournissent une information locale, les mesures réalisées à ces stations limnimétriques permettent de réaliser une étude bilantaire représentative à l'échelle d'un bassin.

2.4 Etat et tendance de la qualité des eaux souterraines

2.4.1 Bruit de fond géochimique

Naturellement, les eaux souterraines contiennent différents composants chimiques provenant principalement des interactions avec la roche (altération, dissolution...) à des concentrations plus ou moins importantes, selon la nature du substrat. Ces différents constituants définissent l'état de référence géochimique (ou bruit de fond) des eaux souterraines. C'est à cet état de référence que seront comparés les résultats d'analyses afin de mettre en évidence une éventuelle contamination anthropique des eaux souterraines. En compilant les résultats d'analyses transmis par les producteurs d'eau, l'administration de la Région wallonne a pu étudier de manière statistique ce bruit de fond géochimique pour les principaux aquifères de la Région. Le Tableau 2 présente les valeurs moyennes des concentrations en éléments majeurs calculées lors de cette étude¹⁰.

Code	Nappe principale	Cl- mg/l	SO4-- mg/l	NO3- mg/l	HCO3- mg/l	Ca++ mg/l	Mg++ mg/l	Na+ mg/l	K+ mg/l	Anions meq/l	Cations meq/l	Balance ionique
Aq01	Calcaires du bord Nord du bassin de Namur	31.9	83.5	10.1	353.7	125.4	18.8	12.7	2.17	8.6	8.43	102%
Aq02	Calcaires carbonifères du bassin de Dinant	32.1	40.9	23.4	324.1	107	16.6	11	2.31	7.45	7.25	103%
Aq06	Calcaires carbonifères du Tournaisis	47	133.6	6.4	433.2	138.2	27.8	39.9	12.4	11.31	11.25	101%
Aq12	Calcaires dévonien du bassin de Dinant	28.3	39.9	31.1	306.8	112.1	12.7	10	1.86	7.16	7.13	100%
Aq14	Aquifères du massif de la Vesdre	13.5	39.6	28.4	181.4	65.5	14	8.1	2.42	4.64	4.84	96%
Aq10	Massif schisto-gréseux de l'Ardenne	16	7	12	37.3	12.9	4.1	7.4	1	1.4	1.33	105%
Aq11	Massif schisto-gréseux du bassin de Dinant	23.1	31.6	26.5	185.1	65.7	11.9	9.1	1.82	4.77	4.71	101%
Aq13	Socle cambro-silurien de l'Ardenne	9.5	5.9	6.6	14.6	6	2.1	5.3	0.76	0.74	0.72	102%
Aq16	Socle cambro-silurien du Brabant	45.3	87.6	15.9	212.6	101.5	13.7	16.4	2.51	6.84	6.99	98%
Aq03	Craies du bassin de Mons	44.8	121	24.4	352.2	149.4	10.5	27.3	4.61	9.95	9.64	103%
Aq04	Craies de Hesbaye	47.7	51.8	32.6	343.4	137.6	13.7	13.2	2.24	8.58	8.64	99%
Aq08	Craies captives du Brabant	36.9	61.3	15.8	338.2	119.7	14.3	15.7	3.06	8.11	7.92	102%
Aq15	Crétacé du Pays de Herve	10.4	37.5	22	218.2	84.1	2.8	8.3	1.09	5.01	4.82	104%
Aq09	Formations jurassiques du Sud-Luxembourg	13.7	22.2	12.8	209.5	77	3.9	5.9	1.11	4.49	4.45	101%
Aq05	Sables Bruxellien et Landéniens du Brabant	47.2	77.5	40.6	268.8	131.4	10.5	14.9	1.94	8	8.13	98%
Aq07	Graviers de la Meuse	43.8	88.8	18.8	320.6	120.7	14.5	29.9	4.47	8.64	8.64	100%
Aq17	Eaux Carbo-gazeuses (pour mémoire)	2.3	1.2	0	275.2	32.5	22	10	1.96	4.6	3.92	117%

Tab. 2 : Concentrations moyennes en éléments majeurs dans les principaux aquifères (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, DGRNE 2006)

Les variations moyennes au sein d'un aquifère ne sont pas négligeables puisque les écarts-types sont en général de l'ordre de 25% de la composition moyenne.

D'autres ions, qualifiés de mineurs car présents à des concentrations beaucoup plus faibles dans les eaux souterraines ont également été étudiés. Les résultats sont présentés dans le Tableau 3.

¹⁰ Les résultats résultent d'une compilation des analyses transmises par les producteurs d'eau pendant la période 1994-2000 concernant 550 sites de captage pour un total de 2200 analyses des composés minéraux.

Code	Nappe principale	F-	PO4-	NO2-	Br-	NH4+	Sr++	Ba++	SiO2	Al	Fe++	Mn++
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Aq01	Calcaires du bord Nord du bassin de Namur	0.27	0.03	0	0.1	0.03	251	101	13.9	11	391	62
Aq02	Calcaires carbonifères du bassin de Dinant	0.11	0.05	0	0	0.01	120	15.7	9.4	67	132	3
Aq06	Calcaires carbonifères du Tournaisis	0.81	0.29	0.02	0.1	0.53	2059	54.2	17.3	13	2364	51
Aq12	Calcaires dévoniens du bassin de Dinant	0.07	0.05	0	0	0	192	25.2	8.6	31	27	2
Aq14	Aquifères du massif de la Vesdre	0.07	0.04	0	0	0	122	29.4	7.2	54	62	50
Aq10	Massif schisto-gréseux de l'Ardenne	0.05	0.02	0	0	0.01	49	15.3	6.2	53	137	19
Aq11	Massif schisto-gréseux du bassin de Dinant	0.07	0.05	0.01	0	0	102	20.8	13.2	23	31	6
Aq13	Socle cambro-silurien de l'Ardenne	0.05	0.03	0	0	0	19	17.8	6.2	135	116	30
Aq16	Socle cambro-silurien du Brabant	0.11	0.04	0.02	0.1	0.03	254	44	13.6	62	647	402
Aq03	Craies du bassin de Mons	0.2	0.08	0	0.1	0.08	500	33.2	18.2	11	141	5
Aq04	Craies de Hesbaye	0.13	0.11	0.01	0.1	0.01	250	39.4	19	21	28	2
Aq08	Craies captives du Brabant	0.13	0.05	0	ND	0.05	453	115.7	26.5	52	456	29
Aq15	Crétacé du Pays de Herve	0.08	0.29	0	0	0	216	26.7	17.9	91	548	5
Aq09	Formations jurassiques du Sud-Luxembourg	0.09	0.04	0	0.1	0.01	151	7.8	7.9	16	52	12
Aq05	Sables Bruxelliens et Landéniens du Brabant	0.1	0.11	0	0.1	0.01	353	38.2	26	20	32	3
Aq07	Graviers de la Meuse	0.12	0.03	0.03	0.1	0.08	230	21.6	10.8	17	31	162
	Eaux Carbo-gazeuses (pour mémoire)	0.08	ND	ND	0	ND	48	83.8	22.9	71	19740	1675
	Limite de détection usuelle	0.1	0.05	0.02	0.1	0.05	-	50	-	10	20	5
	ND : non disponible											

Tab. 3 : Concentrations moyennes en éléments mineurs dans les principaux aquifères (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, DGRNE 2006)

Les écarts-types sont élevés. Ils traduisent le fait que des variations locales importantes des concentrations en éléments mineurs existent. Les contaminations ponctuelles ayant été écartées des statistiques présentées, les variations locales observées sont dues à la géologie.

Une étude a été menée de manière similaire sur les micropolluants minéraux dans le but de déterminer des valeurs de référence pour les eaux souterraines utilisables en tant que valeurs cibles pour l'assainissement des sites contaminés. Concernant les micropolluants dans les eaux souterraines, le lecteur est invité à se référer à la contribution de l'Aquapôle (Chalon *et al*, 2006)¹¹.

2.4.2 Contaminations anthropiques des eaux souterraines

Diverses activités humaines ont provoqué et provoquent encore la dégradation de la qualité des eaux souterraines. Classiquement, ces pollutions sont classées en :

- pollutions diffuses si la contamination couvre un large territoire comme, par exemple, les pollutions d'origine agricole ou dues aux retombées atmosphériques ;
- pollutions ponctuelles si elles sont localisées dans l'espace.

Les contaminants les plus fréquemment détectés dans les eaux souterraines sont les nitrates et les produits phytosanitaires. D'autres contaminants comme les métaux lourds, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les BETEX, les huiles minérales et les solvants chlorés sont également détectés mais plus localement. Ces dernières contaminations sont généralement associées à des activités industrielles.

2.4.2.1 Contamination des eaux souterraines par les nitrates

Les concentrations naturelles en nitrates dans les eaux souterraines sont généralement inférieures à 10 mg/l. Des teneurs supérieures résultent essentiellement d'activités anthropiques (voir § 3.2.1). Les niveaux de contaminations les plus élevés sont actuellement observés dans la masse d'eau souterraine des sables bruxelliens, des sables de Comines-

¹¹ Chalon, C., Leroy, D., Thome, J-P., Goffart, A., Wojda, P. & Brouyère, S. 2006. *Les micropolluants dans les eaux en Région wallonne* : Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006 sur l'Etat de l'Environnement wallon. Aquapôle. Xxxx.

Warneton, du Crétacé de Hesbaye et dans une moindre mesure dans la masse d'eau du Crétacé de Pays de Herve et dans le Sud namurois. Par contre, les masses d'eau souterraine situées dans des zones où la forêt domine (Ardennes et Lorraine belge) présentent par contre des eaux de bonne qualité peu ou pas contaminées par les activités anthropiques (Figure 24).

2.4.2.2 Contamination des eaux souterraines par les produits phytosanitaires

Les herbicides à usage agricole ou non agricole (particuliers, réseaux routiers et ferroviaires...) modifient profondément la composition originelle des eaux souterraines. L'atrazine et son principal métabolite, la déséthylatrazine, sont les deux molécules les plus problématiques. Elles présentent en effet les concentrations les plus élevées dans 80% des analyses réalisées entre 1996 et 2003. Les suivis effectués sur la plupart des captages révèlent néanmoins l'apparition d'autres molécules en concentrations élevées (Figure 23), comme le 2,6-dichlorobenzamide. Ce métabolite du dichlobénil est utilisé comme herbicide sélectif en pépinières et cultures fruitières, et comme herbicide total à dose plus élevée. D'autres produits comme la bentazone ou d'autres herbicides totaux à usage principalement non agricoles (espace verts, voiries, chemin de fer, usages domestiques) sont également actuellement détectés. Cette situation s'explique principalement par une utilisation plus intensive de la bentazone en agriculture en remplacement de l'atrazine et par un manque de professionnalisme des utilisateurs occasionnels d'herbicides (dosages inadéquats, pulvérisateurs inadaptés, gestion inappropriée des emballages...).

Les masses d'eau touchées par les pesticides sont celles des sables bruxelliens et des calcaires du bassin de la Sambre. Les aquifères situés en Ardennes sont quant à eux relativement peu contaminés. Les nappes captives recouvertes par une couche peu perméable (calcaire du Tournaisis et craies du Brabant) sont également peu contaminées.

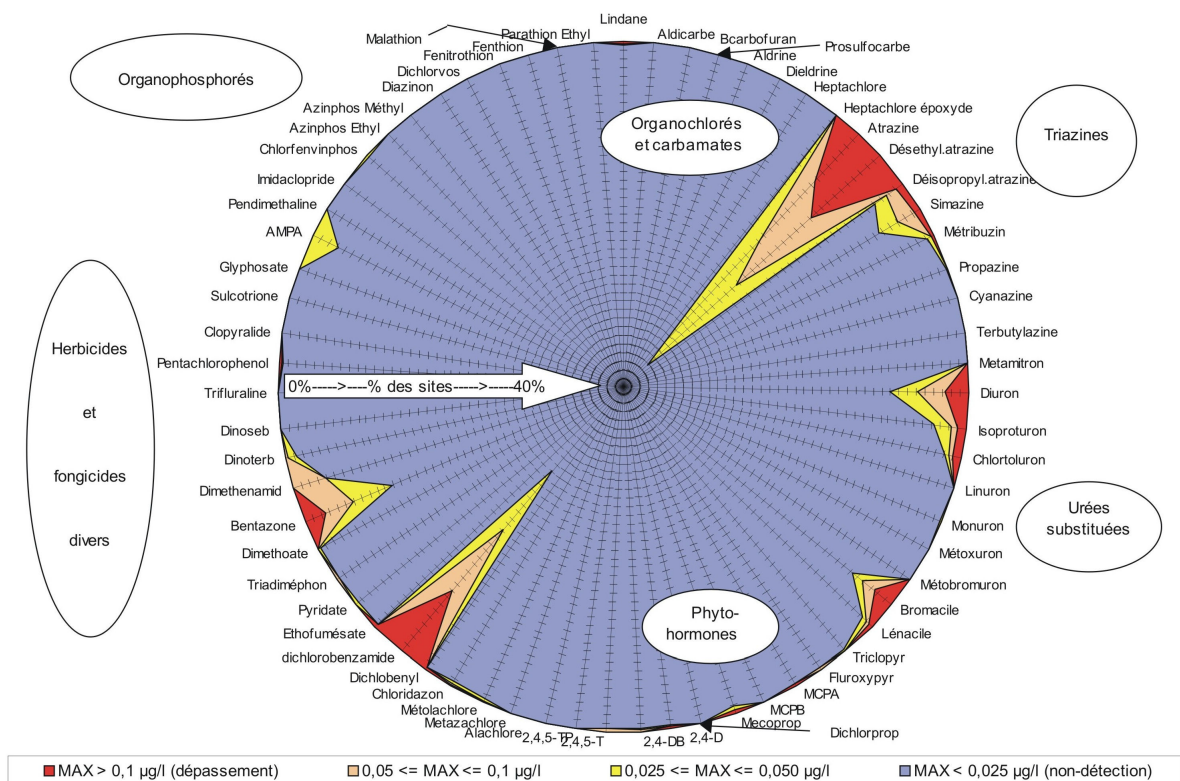


Fig. 23 : Substances et métabolites recherchés dans les eaux souterraines (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, DGRNE 2006)

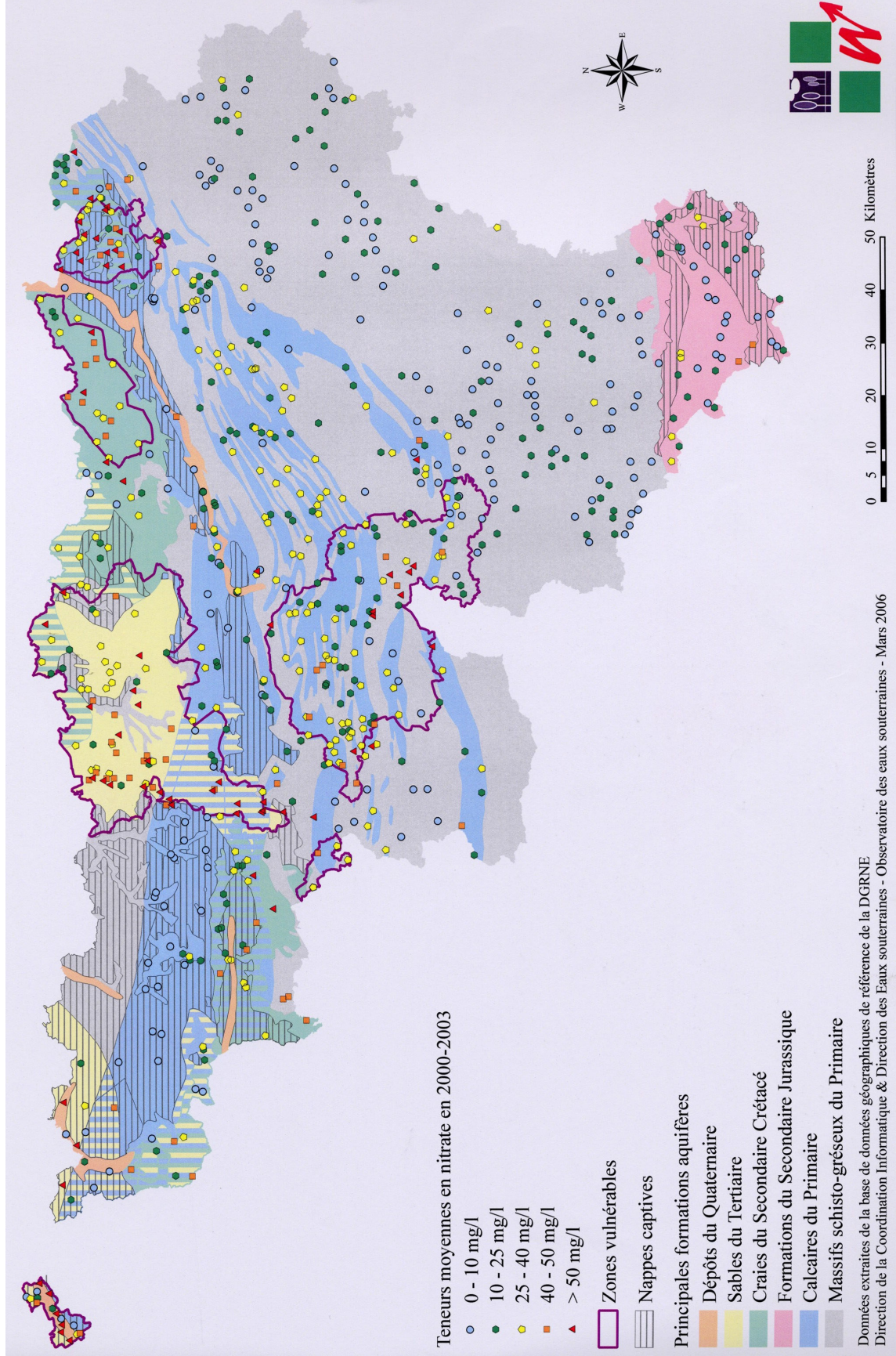


Fig. 24 : Nitrates dans les eaux souterraines – Survey nitrate 2000-2003 (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, DGRNE 2006)

2.4.3 Réseau de surveillance qualité






Jusqu'au début des années 90, les données relatives aux mesures de la qualité de l'eau souterraine provenaient principalement des producteurs d'eau. Le fait de se baser uniquement sur l'information des producteurs d'eau provoquait un biais vu que les producteurs ont tendance à implanter leur captage dans des sites où la qualité chimique de l'eau est bonne et à abandonner les captages de médiocre qualité. Suite à l'adoption par la commission européenne de la Directive 91/676/CEE visant à la réduction et à la prévention de la contamination des eaux par les nitrates d'origine agricole, la DGRNE a mis en place un réseau « Survey Nitrate ». La Figure 24 montre les résultats du Survey nitrate 2000-2003.

Dans le cadre de la mise en application de la Directive cadre sur l'eau, l'administration élabore actuellement les réseaux de surveillance de la qualité des eaux souterraines. Comme mentionné dans le paragraphe relatif au réseau destiné à suivre les aspects quantitatifs, la Directive n'apporte que peu de précisions sur la manière de mettre en place ce réseau, chaque Etat Membre doit donc établir sa propre méthodologie afin de répondre aux exigences de la Directive cadre.

2.4.4 Le système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (SEQ-ESO)

Depuis 2004, la Direction des Eaux souterraines de la DGRNE utilise l'outil SEQ-ESO (Système d'Evaluation de la Qualité des Eaux Souterraines) pour apprécier la qualité des eaux souterraines. Ce système, développé initialement par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières pour les agences de l'eau en France, a été adapté aux spécificités de la Région wallonne (Convention ULg-RW, Rentier *et al.* 2004). L'outil SEQ-ESO constitue une grille de lecture et d'interprétation d'un protocole d'analyse complet relatif à un point d'eau reposant sur trois concepts :

- les fonctions de l'eau (en effet, la notion de « qualité d'une eau souterraine » est relative et dépend des usages auxquelles cette eau est destinée) :
 - les usages de l'eau : la qualité de l'eau est définie par rapport à des normes et des besoins correspondants à différents usages (le principal usage considéré en Wallonie est la production d'eau pour l'alimentation en eau potable mais d'autres usages peuvent également être considérés, comme par exemple, l'industrie, l'abreuvement...);
 - l'état patrimonial : celui-ci exprime le degré de dégradation d'une eau souterraine du fait de la pression exercée par les activités socio-économiques et ce, sans faire référence à un usage particulier. Les différentes classes de dégradation proposées dans le SEQ-ESO sont reprises dans le Tableau 4.
 - l'aptitude chimique des eaux souterraines à la biologie des cours d'eau
- des altérations regroupant chacune des paramètres chimiques apparentés du point de vue de leur nature, de leurs effets et du traitement de l'eau qu'ils nécessitent (Tableau 5); L'ensemble des usages et des altérations prises en compte est présenté dans le Tableau 6.
- des seuils de qualité, correspondant soit à des normes, soit à des jugements d'experts.

Classes		Niveaux de dégradation Etat patrimonial.
Bleu		Eau dont la composition est naturelle ou "sub-naturelle".
Vert		Eau de composition proche de l'état naturel, mais détection d'une contamination d'origine anthropique.
Jaune		Dégradation significative par rapport à l'état naturel.
Orange		Dégradation importante par rapport à l'état naturel.
Rouge		Dégradation très importante par rapport à l'état naturel.

Tab. 4 : Différents états identifiés par rapport à l'état patrimonial. (Convention ULg-RW, Rentier *et al.* 2004)

Groupe d'altération	Altération	Paramètres
1. Minéralisation et salinité	1MIN	pH (in-situ) Conductivité (in-situ) Dureté totale Chlorures Magnésium Sodium Sulfates Résidu sec (à 180 °C) Alcalinité totale ou bicarbonates Calcium
	1MIX	Fluorures Potassium Baryum
2. Matières oxydables et substances eutrophisantes	2MOX	Oxydabilité (KMnO ₄) Carbone organique total Azote Kjeldahl
	2NO3	Nitrates
	2AZO	Ammonium Nitrites
	2PHO	Phosphore total Ortho-phosphates
3. Particules et éléments filtrables	3MES	Turbidité Matières en suspension
	3FEM	Fer (sur filtre 0.4μ)
	3ARG	Aluminium Silice

4. Micropolluants minéraux	4MPM	Arsenic Bore Cadmium Chrome (total) Cuivre Cyanures (totaux) Mercure Nickel Plomb Zinc Selenium Antimoine
	4MLd	Chrome Cuivre Nickel Plomb Zinc
5. Produits phytosanitaires	5PES	Atrazine Chlortoluron Déséthyl Atrazine Diuron Isoproturon Simazine Lindane Terbutylazine Bromacile Bentazone Chloridazon Pesticides totaux
6. Hydrocarbures et autres polluants organiques	6HAP	Benzo (a) pyrène HAP Somme (4) Benzo (b) fluoranthène Benzo (k) fluoranthène Benzo (g,h,i) pérylène Indéno (1,2,3-cd) pyrène
	6SOL	Trichloréthylène Tétrachloréthylène TriEtPerchloréthylène Benzène

Tab. 5 : Paramètres retenus pour chaque altération ou groupe d'altération (modifié de Convention ULg-RW, Rentier *et al.* 2004)

Groupes d'altérations	Usages		
	ADE	PAW	BIO
Minéralisation et salinité	x	r	
Matières oxydables et substances eutrophisantes	x	r	x
Particules et éléments filtrables	x		r
Micropolluants minéraux	x	x	x
Produits phytosanitaires	x	x	x
Hydrocarbures et autres polluants organiques	x	x	r

Tab. 6 : Groupes d'altérations repris pour chaque usage (modifié de Convention ULg-RW, Rentier *et al.* 2004) (ADE : Aptitude Distribution Eau, PAW : état Patrimonial en Wallonie, BIO : Aptitude à la BIOLOGIE des cours d'eau)

L'outil SEQ-ESO vise à représenter la qualité de l'eau à l'aide d'un code de couleurs facilement lisible. Il permet d'établir une visualisation globale, à un moment donné, de la qualité chimique des eaux souterraines en comparant des résultats d'analyse à des normes.

L'outil SEQ-ESO peut-être utilisé de différentes façons :

- en ne considérant qu'un paramètre (ou une altération) ;
- en agrégeant les données relatives à différents paramètres (ou altérations) au niveau d'un point de mesure ;
- en agrégeant les données au niveau de la masse d'eau ; il constitue alors à l'heure actuelle l'indicateur censé être représentatif de l'état qualitatif global de la masse d'eau. Cette aggrégation se réalise en respectant le principe « One out all out », l'indice de qualité le plus mauvais pour le point le plus contaminé est utilisé pour l'ensemble de la masse d'eau.

La Figure 25 montre que la représentation de la qualité de l'eau obtenue avec le SEQ-ESO dépend de l'usage considéré. A chaque point est associé un indicateur global de qualité et l'altération la plus pénalisante.

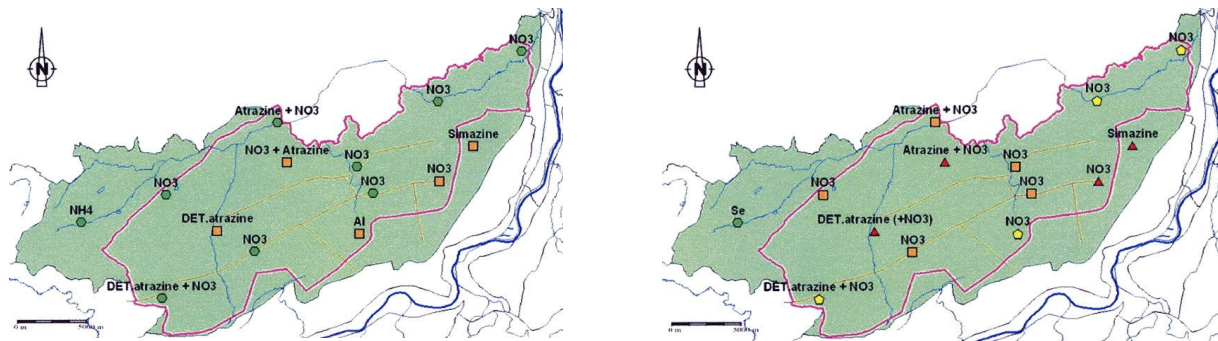


Fig. 25 : Carte de qualité des prises d'eau et piézomètres composant le réseau de surveillance de la masse d'eau du Crétacé de Hesbaye (a) usage distribution eau potable, (b) état patrimonial

Les outils d'agrégation développés au sein du SEQ-ESO permettent d'obtenir un indicateur global de la qualité de la masse d'eau et de déterminer quelle est l'altération la plus pénalisante. Par contre, des problèmes émergents peuvent être masqués.

2.4.5 Tendances en matière de qualité des eaux souterraines

La comparaison de deux applications de l'outil SEQ-ESO à des dates différentes permet d'obtenir une première visualisation de l'évolution de la qualité de l'eau. Pour obtenir, une information plus précise sur cette évolution, il est nécessaire d'utiliser des méthodes plus complexes, par exemple, statistiques, en vue de démontrer l'existence de tendances.

Une étude statistique a été menée dans le cadre du projet européen FP6-IP AquaTerra en vue de déterminer les tendances en matière de concentration en nitrates pour 4 masses d'eau tests que sont le bassin du Geer, le Pays de Herve, le bassin du Néblon et la plaine alluviale de la Meuse. Parmi l'ensemble des données « nitrates » disponibles, seuls ont été retenus les points de mesures pour lesquels des données de concentrations en nitrates étaient disponibles sur un intervalle temporel de plusieurs années afin de pouvoir mener une analyse de tendance. La procédure statistique suivie comprend un test de normalité, un test de détection de tendance (test Mann-Kendall) et une procédure d'estimation de la tendance (Pente de Kendall).

Les résultats de ces calculs statistiques sont résumés au Tableau 7 (Batlle *et al*, 2004)

Masse d'eau souterraine	Nbre de points de mesures nitrate	Nbre de points de mesure où les tendances sont décroissantes	Nbre de points de mesure où les tendances sont croissantes	Nbre de points de mesures sans tendances significatives	Pourcentage de tendances significatives
Bassin du Geer	26	0	15	11	0.577
Pays de Herve	12	2	6	4	0.666
Bassin du Néblon	6	1	4	1	0.833
Plaine alluviale de la Meuse	38	15	11	12	0.684

Tab. 7 : Nombre de tendances croissantes et décroissantes détectées pour le bassin du Geer, le Pays de Herve, le bassin du Néblon et la plaine alluviale de la Meuse.

Cette étude confirme de manière statistique que les concentrations en nitrates augmentent quasiment sur l'ensemble des quatre masses d'eau tests. A titre d'exemple, la Figure 26 présente la répartition spatiale des tendances pour le bassin du Geer.

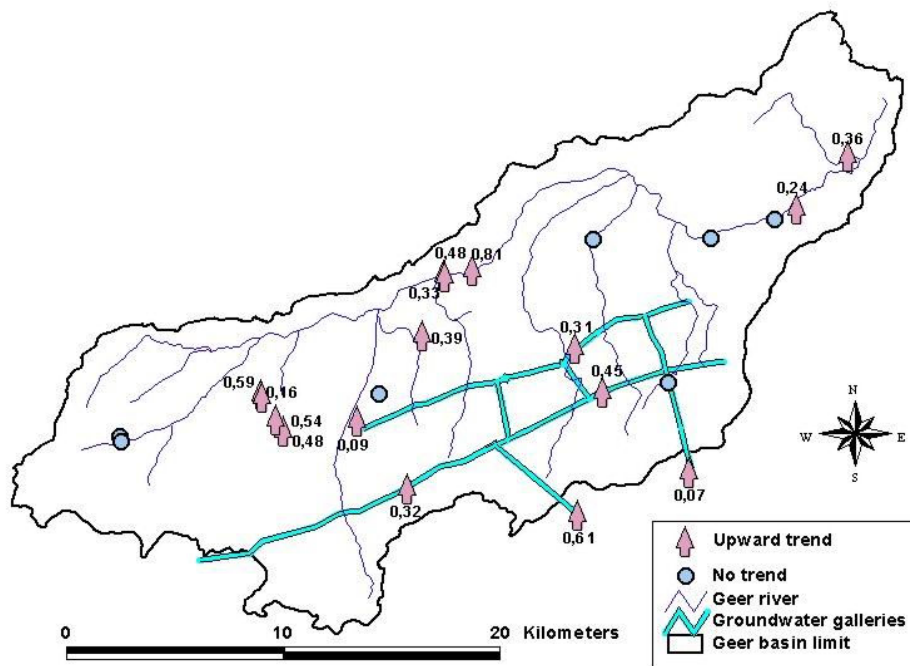


Fig. 26 : Répartition spatiale des tendances de la contamination des eaux souterraines par les nitrates dans le bassin du Geer

Comme les changements dans les pratiques agricoles sont récents, que la migration des nitrates dans la zone non saturée est d'environ 1 m/an et que l'épaisseur de la zone non saturée varie de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres, il peut être considéré que les tendances observées aujourd'hui vont se poursuivre pendant des années. En se basant sur cette hypothèse, les tendances calculées ont été extrapolées pour estimer le temps restant avant que les concentrations en nitrates dépassent la norme de potabilité de 50 mg/l (Figure 27).

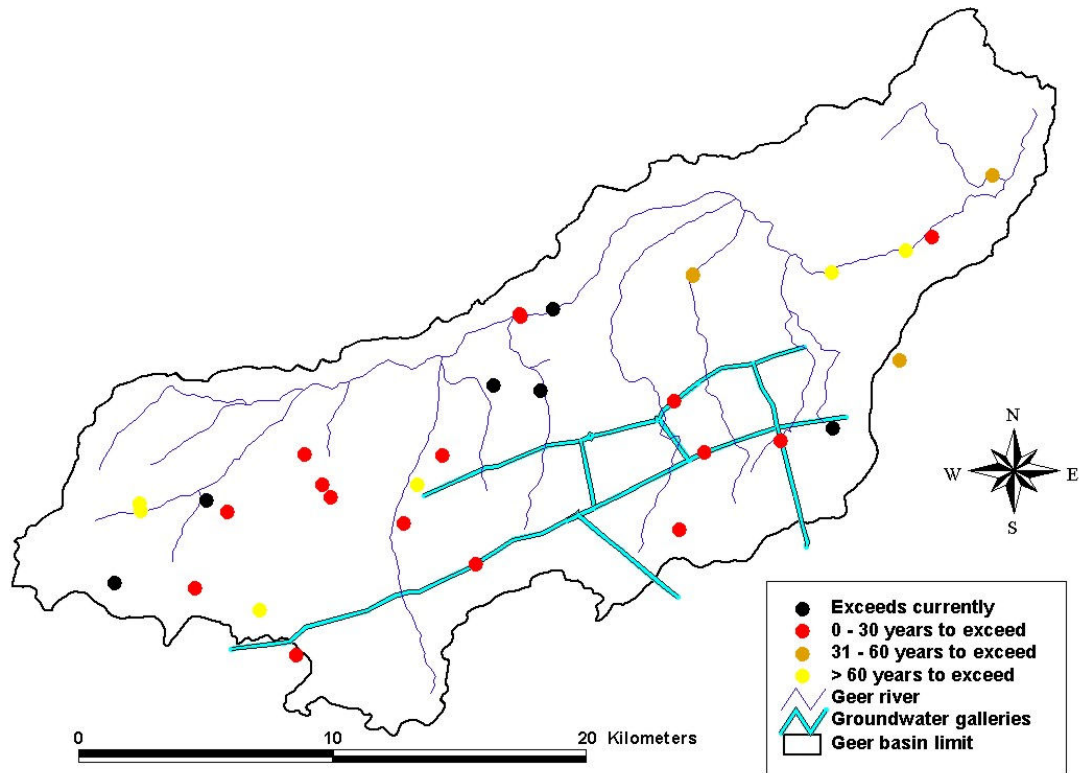


Fig. 27 : Temps prévus avant le dépassement de la norme de potabilité pour les nitrates

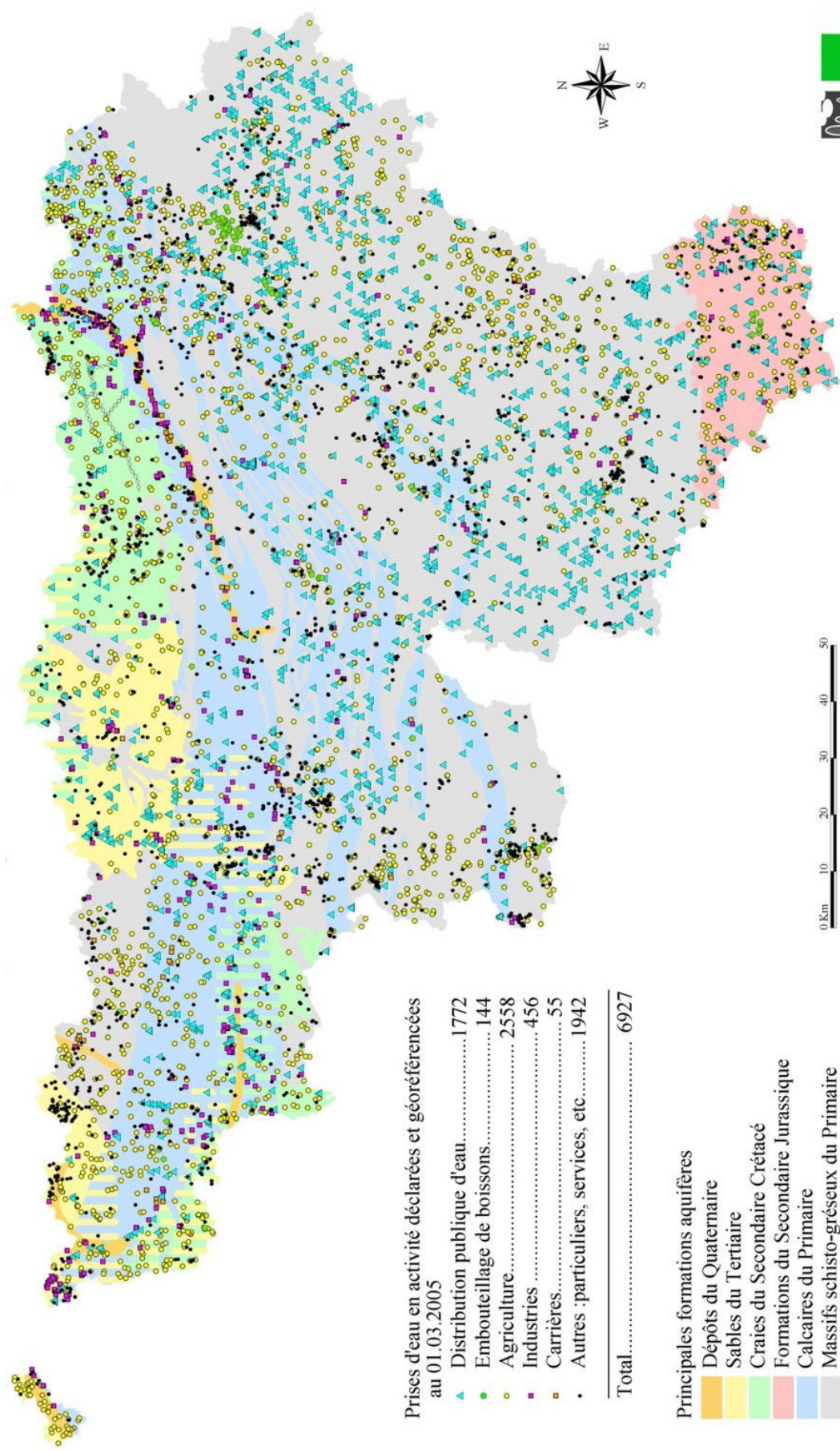
A priori, pour cette masse d'eau, plus rien ne peut donc être fait pour éviter le dépassement de la limite de potabilité de 50 mg/l. Les objectifs d'atteinte de bon état pour 2015 ou même d'inversion de tendance sont inatteignables.

3 Facteurs explicatifs

3.1 Pression quantitative

3.1.1 Localisation des principaux captages

De nombreux captages existent dans l'ensemble des masses d'eau. La Figure 28 présente les 6927 prises d'eau en activités déclarées et géoréférencées (au 1^{er} mars 2005) réparties sur l'ensemble du territoire wallon. En plus de ces prises d'eau géoréférencées, il faut ajouter un peu moins de 7000 prises d'eau exploitées par des particuliers et des agriculteurs dont la localisation précise n'est pas, à ce jour, connue. Par contre, les volumes potentiellement captables varient fortement d'une masse d'eau souterraine à l'autre en fonction de la géologie qui détermine les propriétés hydrogéologiques. Ainsi les principaux captages se situent dans les calcaires du Synclinorium de Dinant et de Namur et dans les craies du bassin du Geer et de Mons (Figure 29).



Prises d'eau en activité déclarées et géoréférences au 01.03.2005

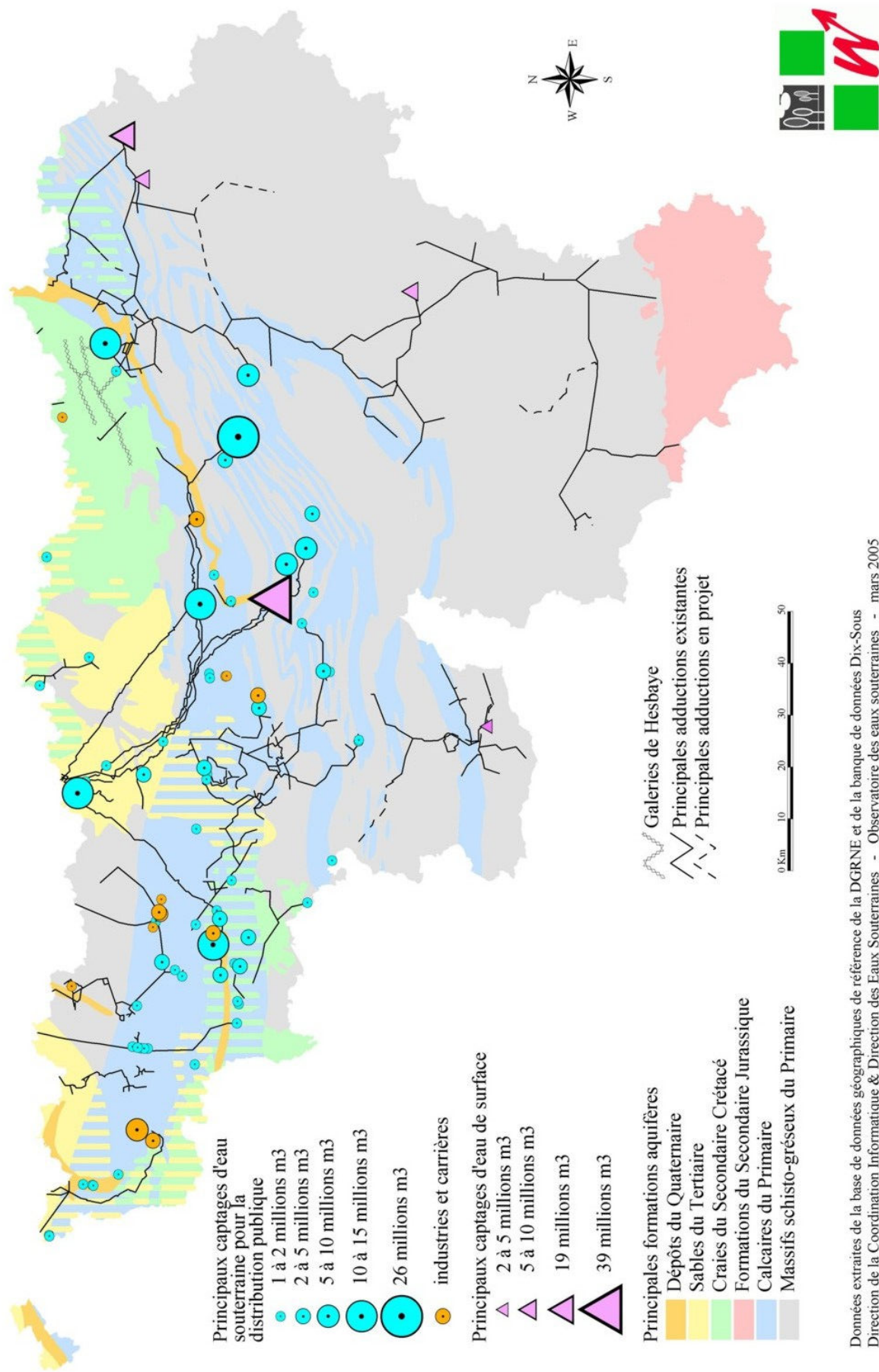
▲ Distribution publique d'eau.....	1772
● Embouteillage de boissons.....	144
○ Agriculture.....	2558
■ Industries.....	456
□ Carrières.....	55
• Autres :particuliers, services, etc.....	1942
Total.....	6927

Principales formations aquifères

■ Dépôts du Quaternaire
■ Sables du Tertiaire
■ Craies du Secondaire Crétacé
■ Formations du Secondaire Jurassique
■ Calcaires du Primaire
■ Massifs schisto-gréseux du Primaire

Données extraites de la base de données géographiques de référence de la DGRNE et de la banque de données Dix-Sous Direction de la Coordination Informatique & Direction des Eaux Souterraines - Observatoire des eaux souterraines - mars 2005

Fig. 28 : Prise d'eau en activité déclarées et géoréférences au 01/03/2005 (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, DGRNE 2006)



Données extraites de la base de données géographiques de référence de la DGRNE et de la banque de données Dix-Sous
 Direction de la Coordination Informatique & Direction des Eaux Souterraines - Observatoire des eaux souterraines - mars 2005

Fig. 29 : Principaux captages en Région wallonne (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, DGRNE 2006)

3.1.2 Evolution des volumes captés par masse d'eau

Les volumes prélevés varient fortement d'une masse d'eau souterraine à l'autre notamment en fonction des propriétés hydrogéologiques (perméabilité, emmagasinement) des aquifères. Grâce aux données communiquées chaque année par les exploitants des prises d'eau à la DGRNE, il est possible de suivre l'évolution des volumes captés par masse d'eau. Cette évolution des volumes captés, bien que montrant une certaine variabilité, ne permet pas de dégager une tendance globale (Figure 31). Différentes hypothèses peuvent être émises pour expliquer les variations observées :

- Diminution dans la consommation entraînant une diminution des volumes captés
- Mise en exploitation ou abandon de captages
- Défaut d'encodage
- ...

Ainsi, l'importante diminution apparente des volumes prélevés en 2004 pour la masse d'eau RWM021 présenté à la Figure 30 s'explique avant tout par le fait que toutes les données pour 2004 n'ont pas encore été transmises à l'Administration.

Il faut noter que toutes les prises d'eau ne sont pas encore associées à une masse d'eau souterraine dans la banque de donnée de la Région wallonne. Tous les volumes captés ne sont donc pas attribués à une masse d'eau souterraine.

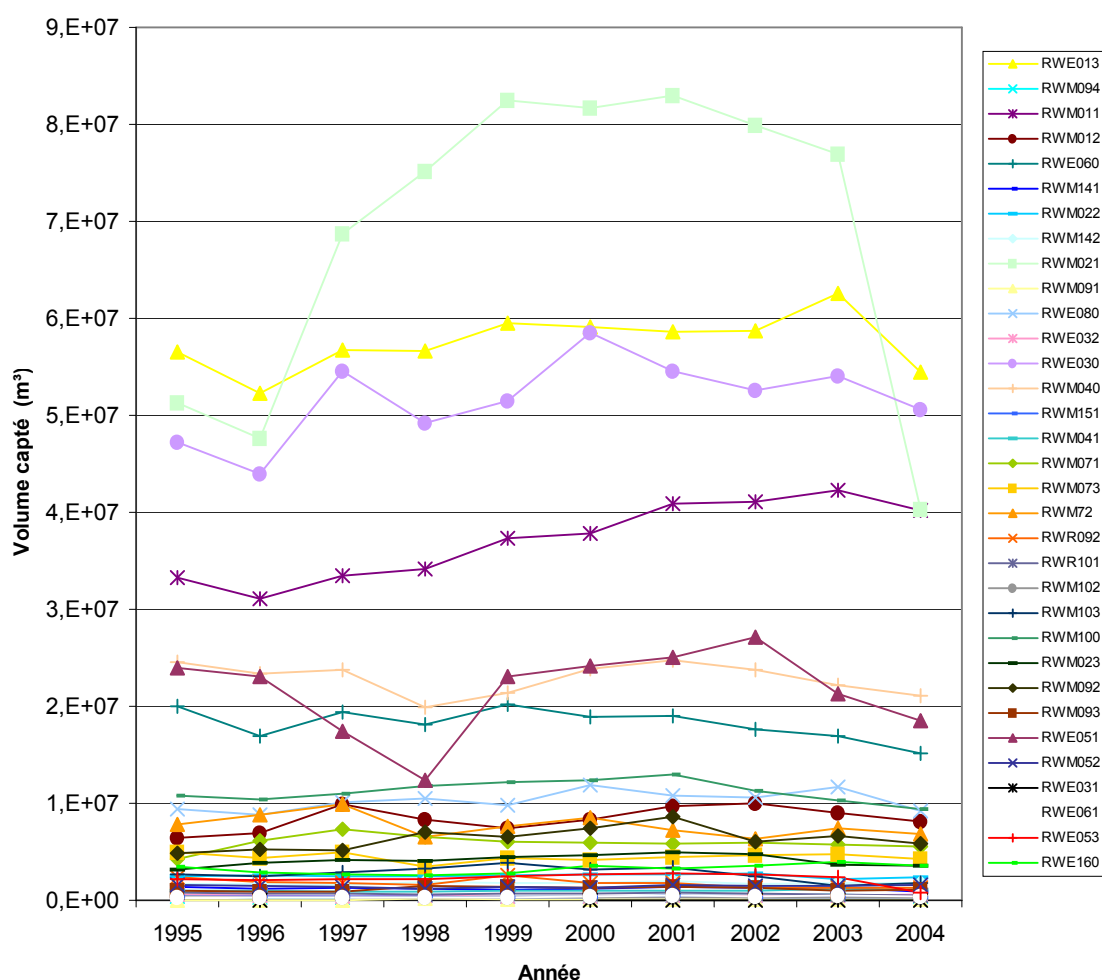


Fig. 30 : Evolution des volumes d'eau souterraine prélevés dans les différentes masses d'eau entre 1995 et 2004 (Données extraites de la base de données 10-sous de le DGRNE)

Une autre manière de présenter les données est proposée à la Figure 31. Les volumes captés par masse d'eau souterraine ont été divisés par la superficie de la masse d'eau et ramenés en mm. Au km², les trois masses d'eau les plus exploitées sont celles des graviers de la Meuse. L'explication réside dans la grande perméabilité des formations graveleuses et dans l'intrusion d'eau du fleuve provoquée par le rabattement des niveaux piézométriques dans la nappe engendrés par le pompage. In fine, une partie de l'eau captée provient donc de l'eau de la Meuse.

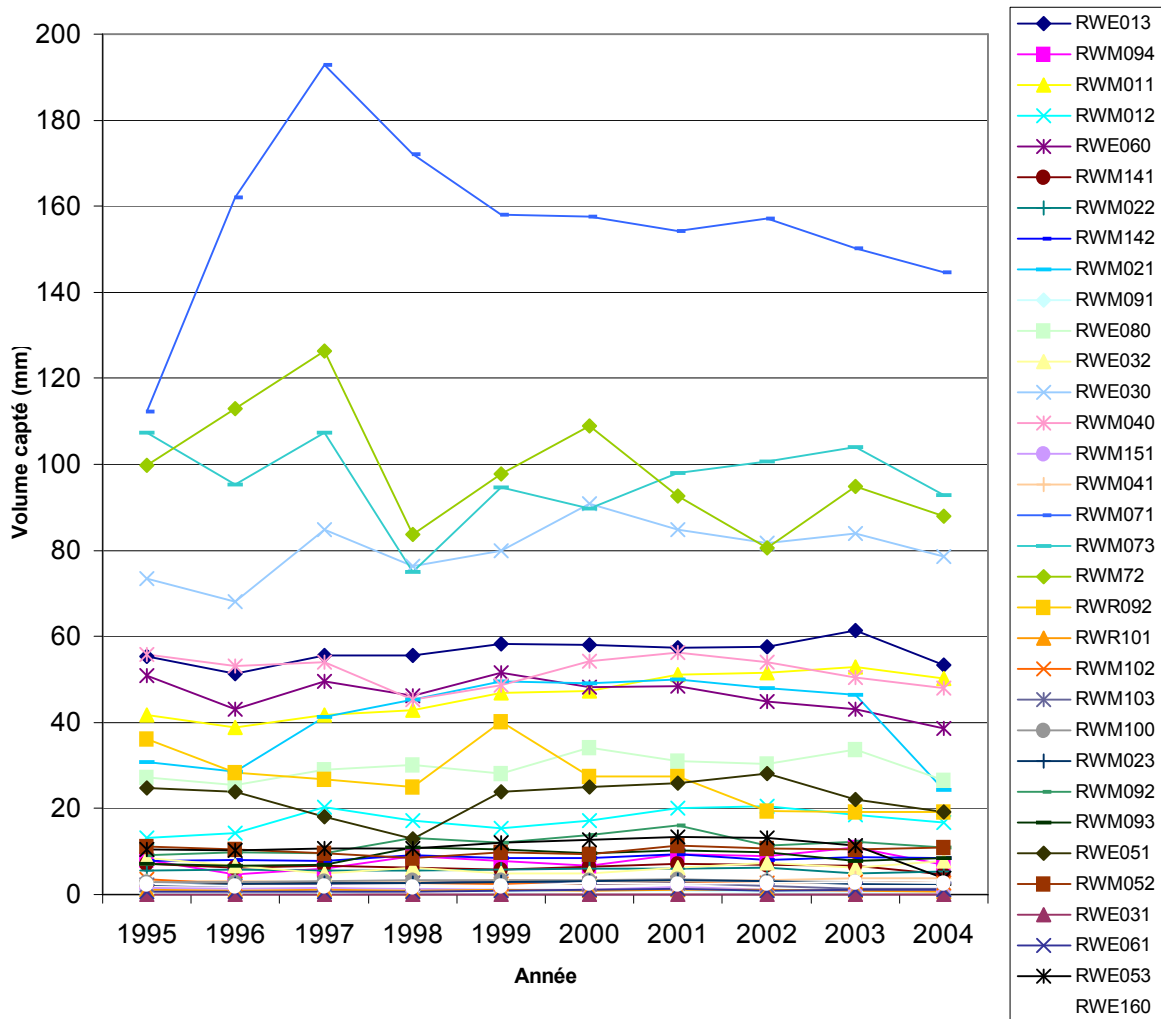


Fig. 31 : Evolution des volumes d'eau souterraine prélevés dans les différentes masses d'eau entre 1995 et 2004 exprimé en hauteur d'eau (Transformations de données extraites de la base de données 10-sous de le DGRNE)

L'estimation précise des volumes prélevés est importante dans l'étude des eaux souterraines et notamment lors du calcul des bilans hydrogéologiques. Deux sources principales d'imprécision demeurent :

- Dans certaines conditions (par exemple lorsque la turbidité dépasse certaines valeurs), l'eau est mise en décharge. Ces volumes d'eau ne sont pas comptabilisés.
- Les volumes captés par les particuliers (volume inférieur à 3000 m³/an) ne sont pas systématiquement transmis et/ou encodés par l'Administration.

Un indicateur fréquemment utilisé est le taux d'exploitation qui est défini comme le rapport entre les flux prélevé et les flux transitant effectivement par les aquifères. La Figure 32 représente ces taux d'exploitation estimés très grossièrement pour les principaux aquifères wallons. En effet, les flux transitant par les aquifères sont difficiles à estimer (§ 2.1).

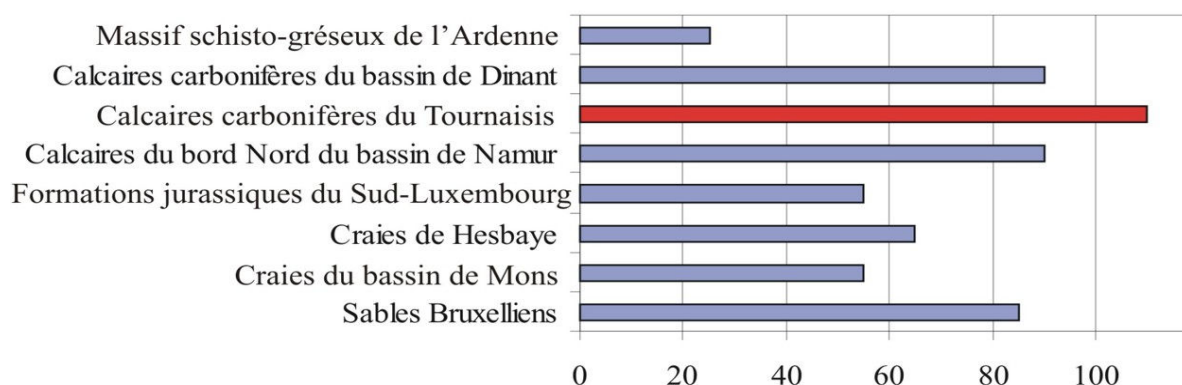


Fig. 32 : Estimation du taux d'exploitation (en %) des principaux aquifères de Wallonie (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, DGRNE 2006)

Le taux d'exploitation, défini comme le rapport entre le volume annuel prélevé au sein d'une masse d'eau souterraine et le volume annuellement renouvelé par la recharge pluviométrique, est fréquemment utilisé comme indicateur quantitatif du degré d'exploitation de la ressource en eau souterraine. Cet indicateur est inapproprié puisqu'il laisse penser qu'une exploitation durable de la ressource en eau souterraine consiste à ne pas dépasser son taux de renouvellement annuel, en négligeant le fait que l'eau souterraine assure de nombreux autres usages essentiels, tel que le débit minimal des cours d'eau à l'étiage, l'alimentation des zones humides.... Leur rôle environnemental ne peut donc pas être négligé. L'alternative est de considérer et d'estimer au mieux le taux d'exploitation durable de la ressource en eau souterraine (« sustainable Yield », Sophocleous 2000, Devlin et Sophocleous 2005, Kalf et Wooley 2005) en retranchant de la recharge pluviométrique effective une estimation du volume annuel minimum d'eau souterraine nécessaire pour assurer de manière durable et non compromettante pour ses autres fonctions naturelles.

A l'heure actuelle, on ne peut affirmer sur base des données et des observations, principalement piézométriques, disponibles que la tendance est à une augmentation ou une surexploitation des eaux souterraines, même si certaines nappes sont plus sollicitées que d'autres. Ainsi, la nappe du Calcaire carbonifère du Tournaisis est reconnue comme étant surexploitée. Dans cette nappe, les volumes d'eau souterraine prélevés sont supérieurs à son alimentation estimée, provoquant une diminution constante du niveau de la nappe d'environ 1 à 2 m par an. Cependant, on peut constater que le taux d'exploitation de cette nappe tend vers la baisse. Cette baisse se confirme avec la stabilisation des niveaux piézométriques depuis la mise en service du centre de production «Transhennuyère», dont le but est de récupérer les eaux d'exhaure des carrières du Tournaisis, potabilisées et adoucies dans une station de traitement, après mélange avec de l'eau amenée depuis des captages situés plus à l'Est. Ces eaux sont fournies aux principaux producteurs grâce à de nouveaux conduits d'adduction. L'objectif est de revenir à l'équilibre de la nappe le plus rapidement possible sans détérioration de la qualité de l'eau brute.

3.1.3 Usage de l'eau

Les états des lieux des districts hydrographiques wallons réalisés par l'administration dans le cadre de la Directive Cadre comprennent une répartition des volumes prélevés sur base de cinq catégories d'activités :

- Distribution publique et embouteillage
- Activité industrielle
- Carrière
- Activité agricole
- Autres

Outre cette répartition, il nous paraît également intéressant d'étudier la répartition des volumes prélevés en fonction de l'utilisation qui est faite de l'eau. Les usages encodés dans la banque de donnée sont, en effet, relativement détaillés ce qui permet d'avoir une répartition plus détaillée que le classement en catégories d'activités.

A titre d'exemple, le Tableau 8 présente la répartition des volumes d'eau souterraine prélevés en 2002 dans les masses d'eau souterraine RWME013 (calcaires de Peruwelz-Ath-Soignies) et RWM040 (crétacé du bassin du Geer) en fonction de l'usage de l'eau. Dans ces deux masses d'eau, l'usage prépondérant est la distribution publique d'eau. Par contre, dans les calcaires de Péruwelz-Ath-Soignies, l'activité des carriers est importante et nécessite de pomper d'importants volumes d'eau d'exhaure qui sont actuellement rejetés dans le cours d'eau. Certains usages ne sont pas récurrents (service incendie, pompage d'essais...) et les volumes associés à ces usages peuvent donc fortement varier d'une année à l'autre.

Usage	RWE013			RWM040		
	Nbre de captage	Volume capté (m3)	% volume capté	Nbre de captage	Volume capté (m3)	% volume capté
AGRICULTURE - HORTICULTURE - ARBORICULTURE	13	10712	0.02	58	84716	0.35
ALIMENTATION D'UN ETANG, DE PISCINE PRIVEE, DE FONTAINE	4	16880	0.02	1	2500	0.01
BAINS, DOUCHES, PISCINES OU AUTRES INSTALLATIONS SIMILAIRES	3	287038	0.40			0.00
CAR-WASH	5	9798	0.01	1	7413	0.03
DISTRIBUTION PUBLIQUE	56	34139544	47.92	16	21068219	86.01
ELEVAGE	358	308325	0.43	24	43349	0.18
EXHAURE	11	26018950	36.52			0.00
FABRICATION DE DENREES ALIMENTAIRES	2	1191070	1.67	8	1141743	4.66
FABRICATION INDUSTRIELLE D'UN PRODUIT NON ALIMENTAIRE	3	148797	0.21	4	9508	0.04
INDETERMINE	164	852507	1.20	4	539763	2.20
INDUSTRIE DES BOISSONS	2	12742	0.02			0.00
LAVAGE ET PREPARATION D'UN PRODUIT OU D'UNE MATIERE PREMIER	4	143436	0.20	1	82750	0.34
NETTOYAGE DE LOCAUX ET/OU DE MATERIEL	8	70684	0.10	1	6706	0.03
POMPAGES D'ESSAI D'UNE DUREE N'EXCEDANT PAS 12 MOIS	9	4413183	6.19	1	93312	0.38
POMPAGES TEMPORAIRES/TRAVAUX GENIE CIVIL PUBLICS OU PRIVES	4	94731	0.13			0.00
PRODUCTION DE VAPEUR	5	2635248	3.70			0.00
REFROIDISSEMENT DES INSTALLATIONS ET REFRIGERATION	10	815519	1.14	4	203064	0.83
RINGAGE ET NETTOYAGE DANS L'INDUSTRIE DES BOISSONS	3	8075	0.01			0.00
SALON-LAVOIR - BLANCHISSERIE	3	37984	0.05			0.00
SERVICE INCENDIE				1	1197536	4.89
USAGE DOMESTIQUE ET SANITAIRE	28	28063	0.04	5	13412	0.05
	695	71243286	100.00	129	24493991	100.00

Tab. 8 : Répartition des volumes d'eau souterraine prélevés en 2002 dans les masses d'eau souterraine RWE013 (Calcaires de Peruwelz-Ath-Soignies) et RWM040 (Crétacé du bassin du Geer) en fonction de l'usage de l'eau.

3.2 Pression qualitative

3.2.1 Pollution diffuse

Les pressions d'origine diffuse agricole (nitrates et pesticides) sur les eaux souterraines sont évaluées, en Wallonie, à partir notamment du modèle EPICgrid-PIRENE développé par la Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux (FUSAGx) pour le compte de la Région wallonne. Pour plus d'informations concernant ces pressions, nous renvoyons le lecteur à la problématique de la contamination diffuse des sols (SL4) et à la contribution rédigée par l'équipe de la FUSAGx sur le sujet¹².

Il faut noter que si le modèle EPICgrid simule la répartition du flux de nitrates et de pesticides d'origine agricole entre les différentes composantes que sont le ruissellement direct, les écoulements hypodermiques et la percolation, il ne permet pas de représenter les mécanismes de transport en milieux souterrains. De plus, le modèle EPICgrid ne permet pas de prendre en compte les sources locales des nitrates et de pesticides alors que celles-ci peuvent constituer des apports non négligeables.

D'autres projets, comme par exemple le projet MONICA¹³ ont également été menés, à une échelle plus locale, pour estimer les flux de nitrates vers les eaux souterraines.

Les mécanismes de transport de contaminants, de dégradation et d'adsorption en zone saturée et non saturée font encore l'objet d'étude actuellement par la communauté scientifique. En Région wallonne, divers essais de traçage ont été réalisés dans la zone saturée, principalement dans le but de définir les zones de prévention autour des captages. Par contre, très peu d'essais ont été effectués dans la zone non-saturée.

Les nitrates proviennent essentiellement des épandages agricoles et des rejets d'eaux usées domestiques lorsque celles-ci ne sont pas collectées et épurées (puits perdants...). Cette dernière partie devrait diminuer suite au raccordement progressif des habitations au réseau d'égouttage ou à l'installation de système d'épuration individuel (voir la problématique de l'évacuation et de l'assainissement des eaux usées, EAU1).

Les pesticides proviennent également en partie de l'activité agricole mais également de l'activité des particuliers. Pour plus d'information sur l'usage des pesticides, le lecteur est invité à se référer à l'étude du CERVA estimant les quantités de pesticides appliquées par type d'utilisateurs¹⁴.

¹² Dautrebande, S. et Sohier, C., *La contamination diffuse des sols en Région wallonne* : Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006 sur l'Etat de l'Environnement wallon. Hydrologie & Hydraulique Agricole, Génie Rural & Environnemental, Faculté Universitaire de Sciences Agronomiques de Gembloux. 94p.

¹³ Piñeros Garcet, J.D., Tilmant, A., Javaux, M., Degant, E., Rentmeesters, G., Vanclooster, M., Persoons, E. 2000. *Mobilité des Nitrates au dessus des Cultures Agricoles, Etude expérimentale et numérique en vue de la mise en oeuvre du programme d'action de la directive européenne CEE/91/676*. Rapport Final. Unité de Génie Rural, Université Catholique de Louvain.

¹⁴ Pissard, A., Van Bol, V., Piñeros Garcet, J.D., Harcz, P. & Pussemier, L. (2005). *Calcul d'indicateurs de risques liés à l'utilisation de produits phytosanitaires. Etude préliminaire : détermination du niveau d'utilisation des pesticides en Région wallonne*. Rapport final. CERVA/CODA/VAR. 47p.

3.2.2 Pollution ponctuelle

Sous le vocable de pollutions ponctuelles sont regroupées des pollutions d'origines et de natures très diverses, comme :

- les rejets domestiques issus des maisons non reliées à un système d'égouttage ou de traitement individuels (puits perdants par exemple);
- les pertes des réseaux d'égouttages ;
- les pollutions d'origines accidentelles ;
- les pollutions issues d'anciennes friches industrielles ;
- les pollutions issues des anciennes décharges et des CET actuels;
- les pollutions issues des sites d'activité économique désaffectés ;
- ...

Ce chapitre fera l'objet d'un dossier complémentaire. Il faut néanmoins dès à présent signaler que l'information relative à ces pollutions ponctuelles est peu centralisée et de qualité médiocre¹⁵.

¹⁵ Lizin, P. 2006. Rapport de stage effectué à la DGRNE, Université de Liège, 23 p.

4 Impacts

4.1 Impacts quantitatifs

4.1.1 Impacts sur les niveaux piézométriques

Au vu des niveaux piézométriques mesurés actuellement en Région wallonne, seule la nappe des calcaires du Tournaisis semble affectée de manière durable par les activités anthropiques. Une solution a été trouvée au problème de baisse des niveaux piézométriques de la nappe des calcaires du Tournaisis grâce à la mise en place de la Transhennuyère en 1997. La Transhennuyère est un ensemble d'installations techniques de production d'eau, comportant notamment divers puits, pompages et stations de traitement, mais surtout un énorme réseau souterrain de conduites d'eau (48 km, avec des diamètres allant de 30 à 90 cm) qui véhicule chaque année 20 millions de m³ d'eau traitée. La Transhennuyère a été construite dans le but de réduire de manière significative les pompages dans la nappe captive surexploitée de Pecq-Roubaix en utilisant à la fois des eaux d'exhaure de carrières et des eaux de la nappe de Peruwelz-Seneffe. La transhennuyère récupère l'eau d'exhaure des carrières du Tournaisis et la mélange pour en réduire la teneur en sulfates, à un volume équivalent d'eau souterraine provenant de cinq puits de captage. Elle est ensuite dirigée principalement vers les réseaux de distribution de la SWDE, de la Régie de Tournai et de l'Intercommunale d'Etudes et de Gestion.

4.1.2 Impacts géotechniques

Deux types d'impacts géotechniques liés à l'exploitation des eaux souterraines ont été relevés en Région Wallonne : les tassements du sol et les effondrements karstiques.

De nombreux tassements du sol liés à l'exploitation des eaux souterraines et à l'abaissement des niveaux piézométriques sont à mentionner dans la vallée de la Haine. Dû au faible relief, les dépôts alluviaux sont accompagnés du développement de végétaux et se transforment en tourbe. Lorsque ces niveaux de tourbe sont saturés, leur teneur en eau peut varier entre 300% et 600%. Leur assèchement provoque une diminution de grande amplitude de l'ordre de 20 à 50% de l'épaisseur de la couche. La vallée de la Haine se superpose à l'aquifère crayeux du Crétacé du Bassin de Mons. La nappe des alluvions est donc superposée à la nappe exploitée des craies, parfois séparée par des intercalations sablo-argileuses. De 1960 à 1973, les pompages des compagnies d'eau et l'exhaure lié à des grands travaux de génie civil ont crû régulièrement, provoquant un abaissement général du niveau piézométrique de la nappe des craies et par drainance un abaissement du niveau piézométrique dans la nappe alluviale. Les rabattements les plus importants ont provoqués le dénoyage des tourbes et des dégâts important en surface. Ce problème est actuellement maîtrisé en contrôlant les volumes captés et en surveillant régulièrement les niveaux piézométriques.

Dans le Tournaisis, le dénoyage des calcaires suite aux différents pompages provoque la réactivation de paléokarsts et l'effondrement de puits naturels. Une cartographie du risque lié à l'apparition de ces zones d'effondrement a été réalisée (Convention RW (DGATLP) – ULg, Convention RW (DGATLP) – FPMs, Convention RW (DGATLP) – CWEPS).

4.1.3 Impacts des changements climatiques

Un des problèmes quantitatifs qui pourrait survenir est lié aux changements climatiques. Afin d'étudier l'impact de ces changements, dans le cadre d'un projet financé par le SSTC, un modèle hydrologique intégré (MOHISE) a été développé pour plusieurs sous-bassins représentatifs de Belgique. L'approche intégrée a, notamment, été appliquée pour évaluer l'impact des changements climatiques (scénarios de changements climatiques de l'IPCC), sur le cycle de l'eau du bassin du Geer en Belgique. Le module « eau souterraine » développé

dans la structure intégrée, calibré et validé en régime permanent et transitoire a mis en évidence que, dans certains scénarios, une baisse du niveau de la nappe était à craindre et provoquerait le dénoyement de la galerie Sud de la CILE (Brouyère *et al*, 2003). Il faut de plus remarquer que les simulations n'ont pas pris en compte d'éventuelles modifications en terme de prélèvement induites par ces changements climatiques. Néanmoins, ces résultats sont fortement dépendants du type de scénarios climatiques, eux-mêmes soumis à de fortes incertitudes. Dans le cadre du projet européen AquaTerra, de nouveaux scénarios climatiques, plus récents, sont en cours de développement à l'Université de Newcastle et seront inclus dans des futures simulations hydrogéologiques du bassin du Geer.

4.2 Impact qualitatif

L'altération de la qualité des eaux souterraines a déjà des conséquences pour les producteurs d'eau potable. Des captages en nombre de plus en plus élevés (Figure 33) doivent être abandonnés ou reliés à un système de traitement de l'eau (traitement sur charbon actif par exemple). Une des stratégies mises en place par les producteurs d'eau consiste à mélanger des eaux de diverses provenances. C'est, par exemple, la stratégie mise en place par la CILE pour

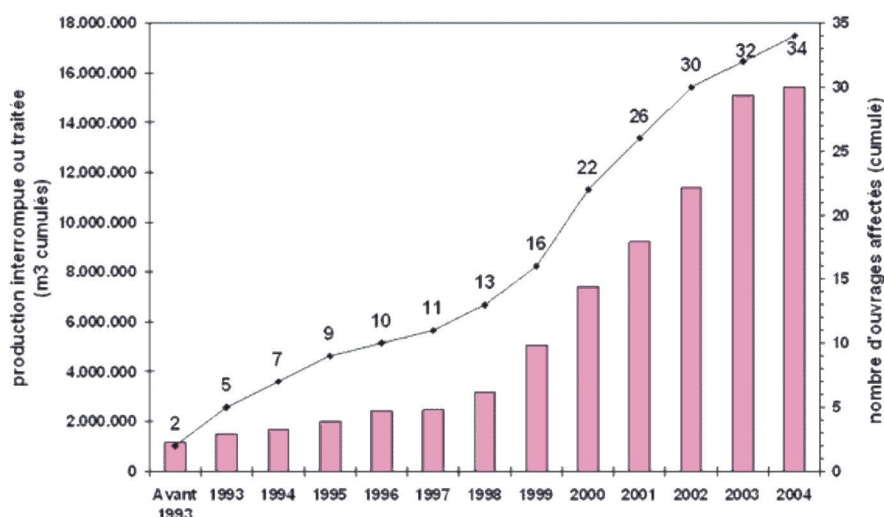


Fig. 33 : Impact des pesticides sur la production d'eau potable à partir d'eau souterraine (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, DGRNE 2006)

ses captages de Hesbaye. En effet, la répartition géographique des nitrates dans la nappe est irrégulière et leur concentration diminue avec la profondeur. A la sortie des galeries de la CILE, les eaux provenant de toute la Hesbaye se sont mélangées et présentent des concentrations moyennes en nitrates comprises entre 35 et 45 mg par litre. Il arrive que ces concentrations se rapprochent temporairement de la norme de potabilité obligeant la CILE à les diluer en pompant de l'eau moins contaminée en profondeur (Hodiaumont *et al*, 1999).

La Direction des eaux souterraines de la DGRNE a dressé, en 2006, un inventaire des captages définitivement ou provisoirement (mais toujours en stand by en 2006) mis hors service pour cause de pollution (Tableau 9).

Sites définitivement mis hors service		Site provisoirement mis hors service mais toujours en stand by en 2006	
Pollutions aux pesticides	Autres pollutions	Pollutions aux pesticides	Autres pollutions

2000	0	3	1	1
2001	3	8	3	1
2002	1	4	1	2
2003	0	2	1	0
2004	1	2	0	0
2005	0	0	0	0

Tab. 9 : Nombre de captage mis définitivement ou provisoirement hors service pour cause de pollution (Source : DGRNE 2006)

Actuellement seules les conséquences de la contamination sur la distribution des eaux souterraines sont envisagées et chiffrées. Pour connaître l'étendue des conséquences de la contamination des eaux souterraines sur l'environnement en général, il faut non seulement étudier l'impact de la contamination pour les différents utilisateurs de l'eau (industriel, élevage, irrigation) mais également sur la faune et la flore des cours d'eau et des zones humides. L'impact de la pollution peut être estimé via la notion de coûts environnementaux.

5 Réponses

5.1 Mise en œuvre de la Directive Cadre en Région wallonne

5.1.1 Délimitation des masses d'eau souterraine

Contrairement aux eaux de surface, la Directive Cadre et les documents guides qui en dérivent ne proposent pas de méthodologie précise pour délimiter les masses d'eau souterraine. En Région wallonne, les travaux indispensables pour réaliser cette délimitation ont débuté en 2001 et ont été menés par un comité d'experts réunissant les services universitaires spécialisés en hydrogéologie et la Direction des Eaux souterraines, en présence des représentants du projet PIRENE. Une étape importante du processus a consisté à déterminer les aquifères transfrontaliers lors de réunions de travail internationales qui se sont tenues le 10 juillet 2001 à Namur, le 31 juillet 2001 à Luxembourg et le 27 août 2001 à Mons. Les résultats de ces travaux concertés ont été actés par la Conférence ministérielle de Liège du 30 novembre 2001. La mise en œuvre des critères de délimitation définis par le Comité d'experts s'est poursuivie pendant l'année 2002 pour aboutir à une première délimitation. Les approches utilisées pour les districts de la Meuse et de l'Escaut étant parfois différentes, une concertation s'est déroulée au second trimestre 2003 au sein des deux commissions internationales (Escaut et Meuse) pour harmoniser la délimitation des masses d'eau souterraine au niveau des districts.

Alors que les aquifères sont délimités suivant des critères purement hydrogéologiques, il a été accepté que les masses d'eau souterraine, définies au sens de la Directive cadre, peuvent être délimitées suivant des critères tant hydrogéologiques que non hydrogéologiques. Les limites des masses d'eau souterraine peuvent également tenir compte d'impératifs liés à la gestion même de la masse d'eau.

Les critères retenus sont:

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

Sur base de ces critères, le territoire de la Région wallonne a été découpée en 33 masses d'eau souterraine dont 10 sont situées dans le district de l'Escaut, 21 dans celui de la Meuse et 2 dans celui du Rhin (Figure 35). Le Tableau 10 reprend la liste des masses d'eau souterraine ainsi définies ainsi que quelques-unes de leurs caractéristiques. Cependant, il faut souligner que la délimitation des masses d'eau souterraine est toujours susceptible d'évoluer en fonction de l'amélioration des connaissances de certains aquifères insuffisamment caractérisés à l'heure actuelle.

District	code MESO	Dénomination	Superficie (km2)	Typologie simplifiée
ESCAUT	RWE013	Calcaires de Peruwelz-Ath-Soignies	1020	Socle primaire
	RWE030	Craies de la Haine	644	Sédimentaire
	RWE031	Sables de la vallée de la Haine	241	Dépôts et quaternaire
	RWE032	Craies de la Deûle	73	Sédimentaire
	RWE051	Sables du Bruxellien	965	Sédimentaire
	RWE053	Sables du Landénien (Est)	206	Sédimentaire
	RWE060	Calcaires du Tournaisis	392	Socle primaire
	RWE061	Sables du Thanétien des Flandres	389	Dépôts et quaternaire
	RWE080	Craies du Brabant	348	Sédimentaire
	RWE160	Socle du Brabant	1382	Socle primaire
MEUSE	RWM011	Calcaires du bassin de la Meuse bord Nord	799	Socle primaire
	RWM012	Calcaires du bassin de la Meuse bord Sud	484	Socle primaire
	RWM021	Calcaires et grès du Condroz	1661	Socle primaire
	RWM022	Calcaires et grès dévoniens du bassin de la Sambre	443	Socle primaire
	RWM023	Calcaires et grès de la Calestienne et de la Famenne	1504	Socle primaire
	RWM040	Crétacé du bassin du Geer	440	Sédimentaire
	RWM041	Sables et Craies du bassin de la Méhaigne	305	Sédimentaire
	RWM052	Sables Bruxelliens des bassins Haine et Sambre	142	Sédimentaire
	RWM071	Alluvions et graviers de Meuse (Givet - Namur)	38	Dépôts et quaternaire
	RWM072	Alluvions et graviers de Meuse (Namur - Lanaye)	78	Dépôts et quaternaire
	RWM073	Alluvions et graviers de Meuse (Engis - Herstal)	46	Dépôts et quaternaire
	RWM091	Trias supérieur (Conglomérats du Rhétien)	170	Sédimentaire
	RWM092	Lias inférieur (Sinémurien) - district de la Meuse	536	Sédimentaire
	RWM093	Lias supérieur (Domérien)	133	Sédimentaire
	RWM094	Calcaires du Bajocien-Bathonien (Dogger)	53	Sédimentaire
	RWM100	Grès et schistes du massif ardennais : Lesse, Outhe, Amblève et Vesdre	3588	Socle primaire
	RWM102	Grès et schistes du massif ardennais: bassin de la Roer	110	Socle primaire
	RWM103	Grès et schistes du massif ardennais : Semois, Chiers, Houille et Viroin	1224	Socle primaire
RWM141	Calcaires et grès du bassin de la Gueule	188	Socle primaire	
RWM142	Calcaires et grès du bassin de la Vesdre	207	Socle primaire	
RWM151	Crétacé du Pays de Herve	286	Sédimentaire	
RHIN	RWR092	Lias inférieur (Sinémurien) - district du Rhin	65	Sédimentaire
	RWR101	Grès et schistes du massif ardennais : bassin de la Moselle	668	Socle primaire
total	33			

Tab. 10 : Les 33 masses d'eau souterraine en Région Wallonne (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, DGRNE 2006)

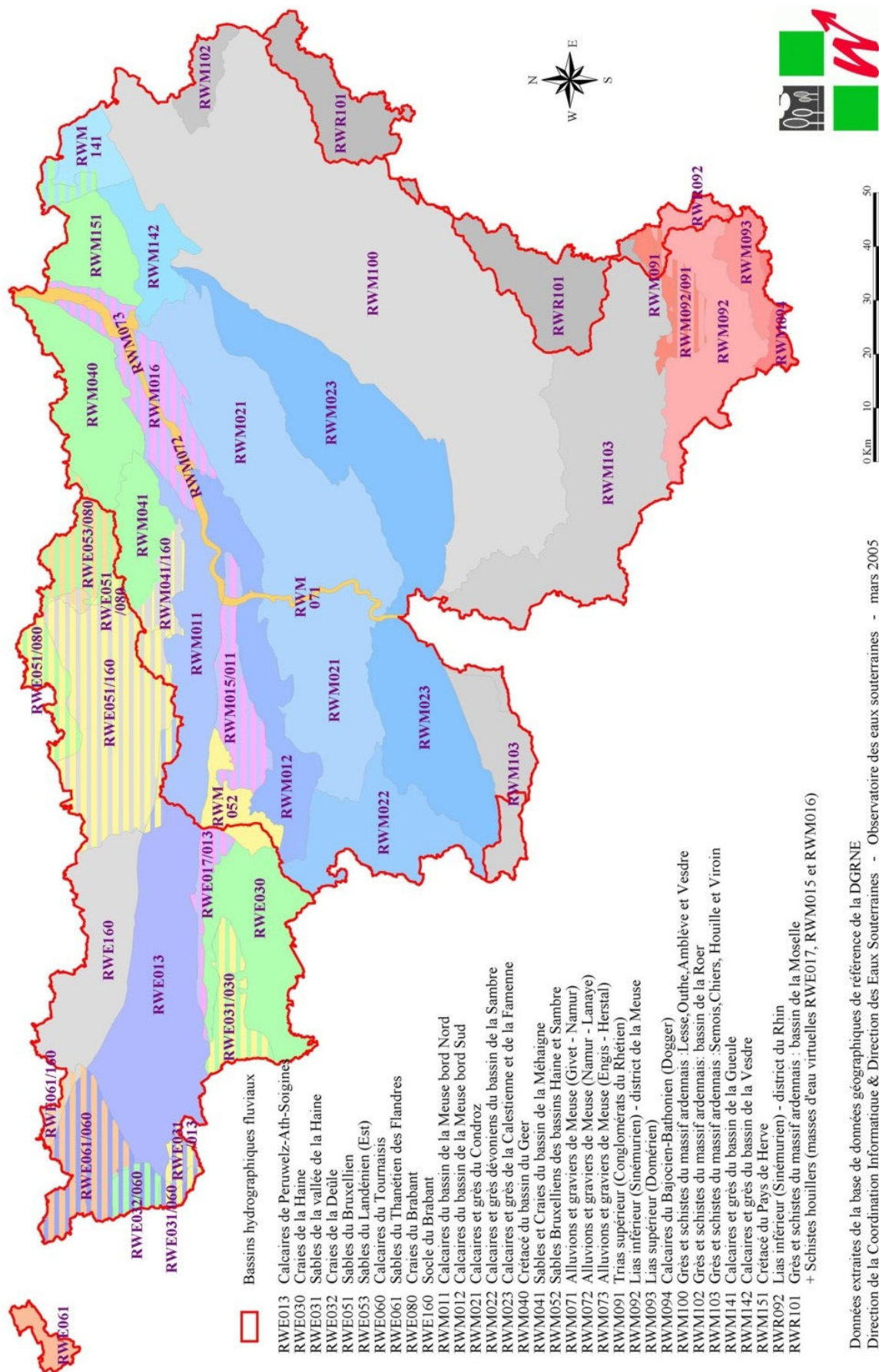


Fig. 34 : Masses d'eau souterraine (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, DGRNE 2006)

5.1.2 Le Code de l'eau

La transposition de la Directive cadre 2000/60/CE en droit wallon a été réalisée conjointement à la codification du droit wallon de l'eau. En effet, le Gouvernement wallon s'était engagé à rassembler l'ensemble des textes législatifs et réglementaires dans le domaine de l'eau en un seul et unique Code wallon de l'eau.

Le Gouvernement Wallon a ainsi adopté le 27 mai 2004 le décret relatif au livre II du Code de l'Environnement, contenant en particulier le code de l'Eau (M.B. 23/09/2004) et, de manière plus générale, coordonnant dans un seul document toute une série de textes applicables en matière d'eau, ceci afin de constituer un tout cohérent, dans un souci de meilleure efficacité. Ce document contient également des modifications concernant la transposition de la Directive cadre dans la partie décrétable du Code de l'eau tandis que la transposition des annexes de cette même directive sont intégrées dans la partie réglementaire du Code. L'Arrêté du Gouvernement Wallon du 3 mars 2005 marque la date d'entrée en vigueur du Code de l'Eau (M.B. 12/04/2004).

Les arrêtés du 14/11/1991 (MB 24.03.92) et du 09/03/1995 (MB 14.06.95), relatifs aux prises d'eau et aux zones de prévention, deviennent les articles Art.D171 à Art.D.174 du Chapitre II "Protection des eaux souterraines et des eaux utilisées pour le captage d'eau potabilisable". Le décret du 30/04/1990 (MB 30.06.90), traitant de la protection et de l'exploitation des eaux souterraines, est remplacé par les articles Art R143 à Art R153 du Chapitre III "Protection des eaux souterraines et des eaux utilisées pour le captage d'eau potabilisable". Ces textes définissent, entre autres, les zones de prises d'eau, de prévention et de surveillance et précisent les mesures qui doivent y être prises.

5.1.3 Mise en place des réseaux de surveillance

Une étape importante de la mise en œuvre de la Directive Cadre Eau est l'établissement d'un programme de surveillance des masses d'eau souterraine. En Région wallonne, la mise en place de ce réseau (appelé réseau principal DCE) a nécessité deux années de travail en étroite collaboration avec les universités (projets Scaldit et Synclin'Eau pour les masses d'eau souterraine respectivement du bassin de l'Escaut et de la Meuse).

L'application de la Directive Cadre a nécessité une restructuration et un redéploiement du réseau de surveillance existant de manière à surveiller les masses d'eau souterraine mal connues. En outre, son exigence de représentativité a abouti à la nécessité de rééquilibrer le réseau de surveillance entre les ressources exploitées et non exploitées.

Le réseau principal de surveillance DCE totalise 600 sites de contrôle répartis sur l'ensemble de la Région wallonne (Figure 35).

Le programme des analyses et des relevés qui seront effectués sur cet ensemble de 600 sites de contrôle a été défini pour la période 2007-2015.

5.2 Gestion centralisée des données

Les données collectées lors d'études hydrogéologiques sont multiples et variées et proviennent de diverses sources. Ces données se composent principalement d'informations géologiques, hydrologiques (réseau hydrographique, station limnimétrique...), hydrogéologiques (piézométrie, hydrochimie...), techniques (équipement des puits...), karstiques (perte, résurgence). De telles données, aussi complexes et abondantes, nécessitent une organisation structurée de manière à optimiser leur stockage, leur gestion et leur mise à jour. Ainsi une banque de données hydrogéologiques géorelationnelle a été développée sous Access (Microsoft) (Gogu *et al*, 2001). Cette première version de la banque de données BD-Hydro a été régulièrement améliorée par les auteurs de la carte hydrogéologique en fonction de leurs besoins.

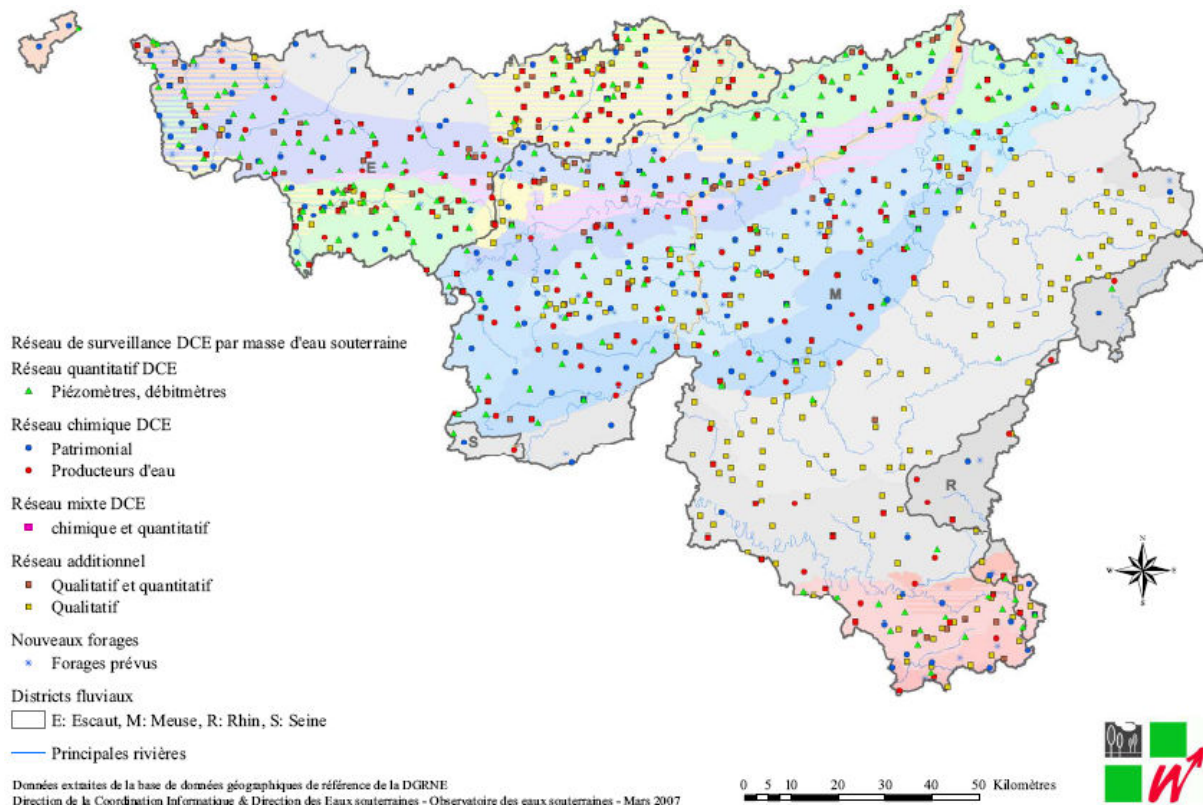


Fig. 35 : Réseau de surveillance de l'état des masses d'eau souterraine (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, DGRNE 2007)

Au fur et à mesure des années de travail, de plus en plus d'institutions étaient impliquées dans la gestion des eaux souterraines et manipulaient les données hydrogéologiques. De manière non exhaustive ce sont :

- l'Administration wallonne (DGRNE, Division de l'Eau) ;
- l'Observatoire des Eaux souterraines ;
- les équipes qui réalisent les projets « cartes hydrogéologiques » de la Région wallonne, les projets de « cartes de vulnérabilité », les projets de caractérisation des aquifères ;
- les groupes de travail initiés en application de la Directive Cadre ;
- les équipes scientifiques chargées de la modélisation des eaux souterraines dans différents projets.

Dans un souci d'homogénéité entre les équipes de la carte hydrogéologique et d'autres institutions (dont l'administration wallonne, DGRNE), la banque de données devait être révisée. Il fallait également créer un outil de travail commun et performant, répondant aux besoins des spécialistes impliqués dans la gestion des eaux souterraines. Les données hydrogéologiques dispersées géographiquement devaient être disponibles dans une seule base de données centralisée. Une convention terminée fin 2005 entre l'ULg et la DGRNE a permis de réviser la base et de l'améliorer. Cette base de données est maintenant gérée par l'administration (DGRNE, DCI), en partenariat avec l'ULg. Cette gestion concerne tant la structure que la mise à jour trimestrielle des données.

La nouvelle base de données hydrogéologiques est toujours implémentée dans un système de gestion de bases de données relationnelles (SGBDR) MS Access afin de garantir une bonne maîtrise de l'outil et une facilité de travail. Elle regroupe toutes les informations disponibles en matière d'hydrogéologie en Région wallonne (les bases des cartes hydrogéologiques, la

base de données administratives de la Région Wallonne « Dix-sous » et la base de données qualitatives Calypso). Elle est également enrichie avec les informations sur les études, rapports et d'autres documents hydrogéologiques écrits¹⁶. Elle présente aussi une grande facilité et une convivialité de travail quant à l'acquisition, la gestion, la mise à jour, le traitement, la mise à disposition, l'encodage et la recherche de données grâce à ses interfaces graphiques avec des options multiples (il existe un manuel d'utilisation qui indique les possibilités principales de l'interface). L'exportation de données vers d'autres logiciels est aussi garantie par son interopérabilité (Word, Excel, Adobe Acrobat). Celle-ci facilite considérablement le travail et le traitement des données. Elle conserve toutes les possibilités offertes par MS-Access pour les utilisateurs avancés. Elle facilite aussi le traitement spatial des données dans les systèmes d'information géographique (SIG). Elle veille sur la sécurité des données qui est gérée au niveau de différents groupes d'utilisateurs et profils d'utilisateurs particuliers par les modules intégrés dans l'application. Elle peut être alimentée périodiquement depuis la base de données hydrogéologiques administratives « Dix-sous » par une méthode de transferts développée et testée lors de la convention.

5.3 Zone vulnérable au sens de la Directive Nitrate

En 1991, pour répondre à l'augmentation constante des concentrations en nitrates des eaux de surface et souterraines, la commission européenne a adopté une directive « politique de l'eau : pollution par les nitrates d'origine agricole » (91/676/CEE) qui vise à réduire et prévenir la contamination des eaux par les nitrates d'origine agricole.

Cette Directive impose aux Etats Membres de :

- désigner des surfaces de territoire qui contribuent à la contamination des eaux (= zones vulnérables) ;
- établir des programmes d'action et de surveillance de ces zones ;
- élaborer un code de bonnes pratiques agricoles.

Actuellement, suite au litige entre la Commission européenne et la Région wallonne réglé en juin 2006 après la proposition de révision des zones vulnérables faite par la Région wallonne, 5 zones vulnérables au sens de la directive ont été définies en Région wallonne (Figure 36). Ces 5 zones présentant des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines proches de ou supérieures à 50 mg NO₃⁻/l.

En parallèle de la définition de ces zones, le Gouvernement wallon a défini un programme visant à améliorer la qualité des eaux dont les piliers sont (Vandenberghe et Marcoen 2004, Vandenberghe et Marcoen 2006¹⁷) :

- la structure d'encadrement des agriculteurs (asbl Nitrawal) ;
- le code de bonnes pratiques agricoles (doses d'effluents applicables par hectare);
- le cadastre des épandages ;
- le « Survey nitrate » (surveillance de la qualité des eaux souterraines);
- Le « Survey surfaces agricoles » (réseau de parcelles cultivées pour le calcul des valeurs de référence d'azote lessivable.

¹⁶ Il s'agit ici des informations de base c-à-d les métadonnées des études

¹⁷ Vandenberghe, C. et Marcoen, J-M. 2006. Le programme de gestion durable de l'azote en agriculture en région wallonne : Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006 sur l'Etat de l'environnement wallon. Groupe de Recherche Environnement et Ressources azotées, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. 36p.

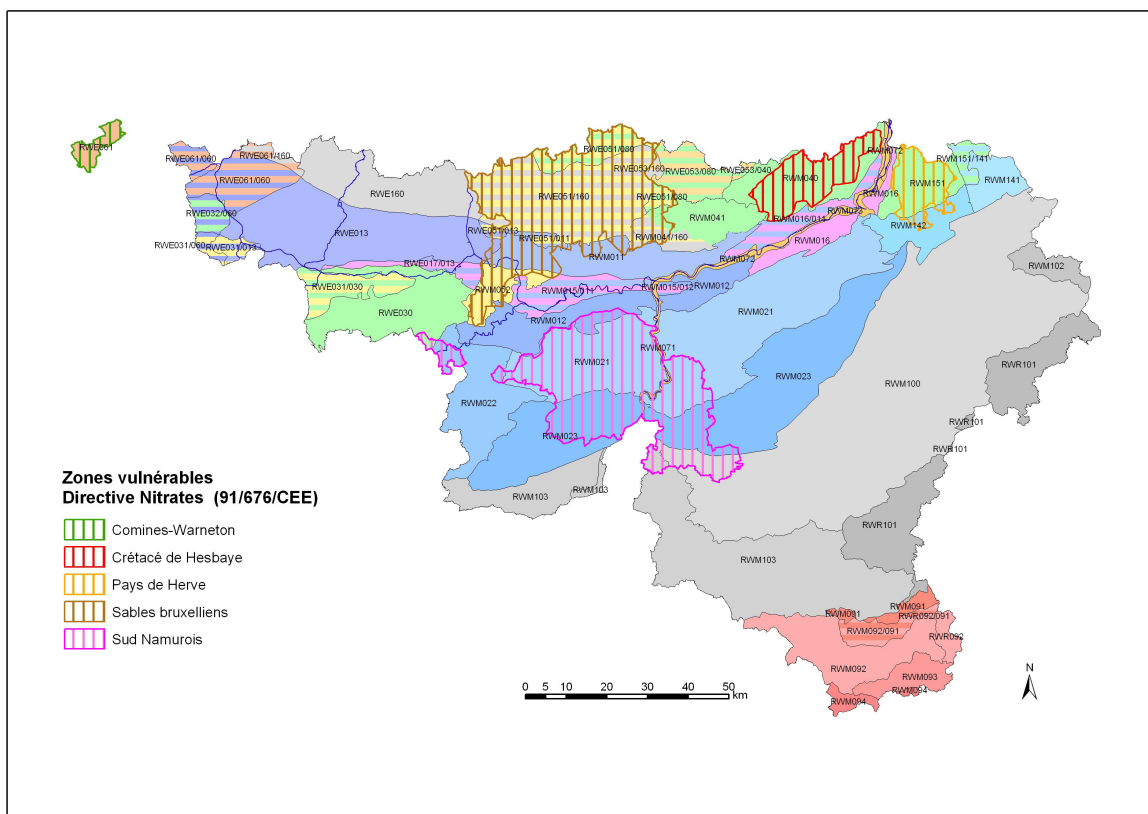


Fig. 36 : Localisation des zones vulnérables au sens de la Directive Nitrates

Malgré les mesures visant à réduire les flux de nitrates vers les nappes d'eau souterraine, les tendances des concentrations en nitrates dans les nappes semblent toujours à la hausse. Soit l'impact de ces mesures sur la qualité des eaux souterraines ne se fera sentir que dans plusieurs années, soit ces mesures ne sont pas suffisantes pour réduire les concentrations en nitrates dans les eaux souterraines. Il faut toutefois faire remarquer que si la Directive Nitrates impose des contraintes en terme de diminution de la pression par un contrôle et une réduction des intrants, elle ne comporte aucune obligation de résultats en matière de diminution des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines. On peut espérer que la mise en œuvre de la Directive Cadre Eau et de la Directive Fille Eau Souterraine contribuera à combler cette lacune en imposant cette fois l'atteinte d'un bon état qualitatif au niveau des eaux souterraines.

5.4 Programme PIRENE

Le programme PIRENE initié en 2000 par l'administration de la Région wallonne et le ministre de l'Environnement avait pour but de développer des outils de gestion intégré du cycle de l'eau à l'échelle des bassins hydrographiques. Un modèle « écoulement et transport de contaminants dissous intégré simulant les compartiments eaux de surface, sols et eaux souterraines et leurs interactions » a été développé.

En ce qui concerne les eaux souterraines, le développement d'un modèle écoulement-transport spatialement distribué à l'échelle des bassins versants s'est avéré être une tâche prématurée vu le manque de caractérisation constaté pour les aquifères de la région et le manque de code de calcul permettant une telle simulation. Dans le cadre du projet PIRENE,

une méthodologie générale applicable pour la modélisation à l'échelle des bassins versants a été développée. Des premiers tests de simulation ont également été mis en œuvre.

Il faut rappeler que de tels outils à l'échelle régionale ne donneront jamais que des prévisions ou des réponses à l'échelle régionale. Ce n'est donc pas le type d'outil adapté à la compréhension de phénomènes locaux comme par exemple les pollutions ponctuelles ou les zones de prévention.

5.5 Zones de prévention

5.5.1 Contexte d'application en Région wallonne

En application du décret du 30 avril 1990 (abrogé par l'arrêté du GW du 3 mars 2005) sur la protection et l'exploitation des eaux potabilisables, des zones de prévention et de surveillance doivent être définies autour de la plupart des prises d'eau de catégorie B. La catégorie B comprend les prises d'eau destinées à :

- 1° la distribution publique;
- 2° la consommation humaine;
- 3° la fabrication de denrées alimentaires;
- 4° l'alimentation des installations publiques de piscines, bains, douches ou autres installations similaires.

La réglementation prévoit 4 niveaux de protection à mesure que l'on s'éloigne du captage: zone de prise d'eau (zone I), zone de prévention rapprochée (zone IIa), zone de prévention éloignée (zone IIb) et zone de surveillance (zone III).

Dans le cadre de l'établissement de ces zones, des études plus ou moins poussées, selon l'importance du captage, ainsi qu'un inventaire des mesures à prendre, sont réalisées par les producteurs d'eau et financées par la redevance sur la protection des eaux potabilisables. Des actions de prévention y seront menées pour garantir la pérennité de la qualité de l'eau.

La Société Publique de Gestion de l'Eau (S.P.G.E., instituée par le décret du 15 avril 1999) assure la gestion financière des dossiers concernant la protection des eaux potabilisables distribuées par réseaux, par le biais de contrats de service passés avec les producteurs d'eau.

Dans le cadre du traitement administratif et technique des programmes de protection particulière et des dossiers y relatifs, la Direction des Eaux souterraines (service central et antennes extérieures) et l'Observatoire des Eaux Souterraines, assurant un rôle d'assistance technique, reçoit les dossiers de la S.P.G.E. et rend, après analyse, un avis sur ceux-ci. La Direction a aussi en charge l'instruction des dossiers de délimitation des zones de prévention et de surveillance, depuis leur préparation jusqu'à la notification des arrêtés aux personnes désignées.

Les phases nécessaires à la détermination des zones de prévention sont les suivantes :

- avis sur les programmes d'études et d'action et approbation;
- avis sur les études complètes et approbation;
- réalisation des enquêtes de commodo et incommodo;
- délimitation des zones par arrêtés ministériels;
- avis sur les programmes de mesures;
- mise en oeuvre des mesures.

5.5.2 Etat d'avancement en Région wallonne

Au 10.03.2006, 89 zones de prévention et 4 zones de surveillance sont approuvées (Figure 36). Pour 28 des 48 dossiers pour lesquels il existe un projet d'arrêté de zone de prévention, l'enquête publique est en cours ou terminée.

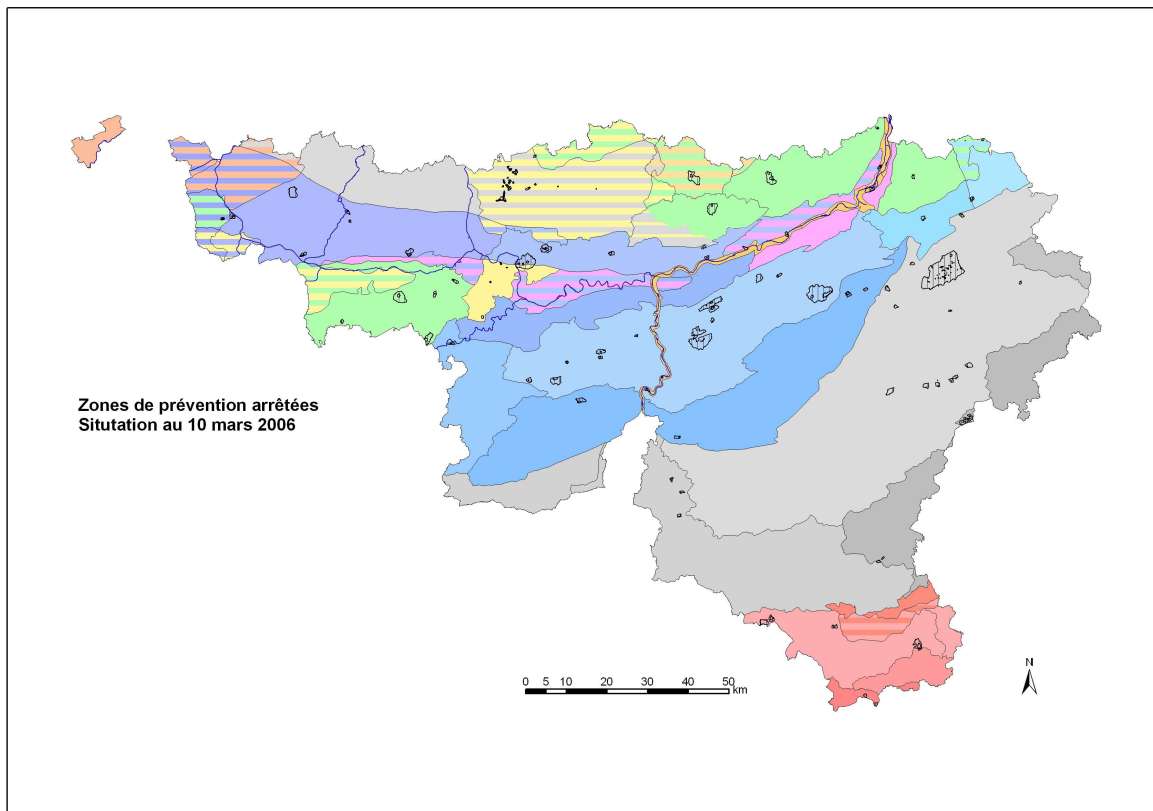


Fig. 37 : Zones de prévention arrêtées au 10/03/2006

La législation relative aux zones de prévention repose sur le concept de temps de transfert de polluants dans les eaux souterraines. Elle est donc relativement bien adaptée vis-à-vis de la prévention des pollutions accidentelles ponctuelles. Cependant, cette même législation est complètement inadaptée à la prévention des risques de contamination par pollution diffuse, pour lesquelles les concepts de temps de transfert n'est pas clair. La législation wallonne serait ainsi avantageusement complétée par la mise en œuvre d'un programme de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à une échelle de travail compatible avec des problématiques très concrètes telles que l'aménagement du territoire, par exemple 1/25.000ème.

5.6 Cartes de vulnérabilité

La très grande diversité des conditions géologiques rencontrées en Wallonie engendre que certains aquifères sont plus vulnérables à tout type de contamination. La réalisation de cartes de vulnérabilité des nappes aquifères wallonnes permettrait une meilleure gestion de l'occupation du sol.

Les techniques les plus communes et les plus utilisées sont des méthodes d'indexation et de pondération de ces facteurs (DRASTIC, Aller *et al*, 1987 ; EPIK, Doerflinger *et al*, 1997...). Ces méthodes sont relativement simples à appliquer, cependant, elles souffrent d'un empirisme important, rendant toute comparaison impossible et fournissant des résultats

(indices et classes de vulnérabilité) difficiles, voire impossibles à interpréter physiquement et à valider. Les résultats obtenus avec ces méthodes sont donc peu fiables et sans réelle utilité pratique. Six de ces méthodes ont été appliquées en Région wallonne, sur le bassin du Néblon (Gogu *et al*, 2003), les résultats obtenus confirmant ce constat.

Plus récemment, des recherches sur le développement d'une méthode basée sur des critères physiquement significatifs ont été menées à l'Université de Liège, par le secteur 'Hydrogéologie et de Géologie de l'Environnement' (Brouyère *et al*, 2001 ; Popescu *et al*, 2004). Cette méthodologie repose sur des critères physiques gouvernant la mobilité de l'eau et des polluants dans le sol et le sous-sol, aboutissant à des résultats clairs et validables. Une première application a été menée sur le bassin du Néblon (Figure 38) dans le cadre d'une convention Région wallonne (Popescu *et al*, 2004). Cette approche est maintenant généralisée dans le cadre d'un projet européen FP6 (GABARDINE, Gardin *et al*, 2006).

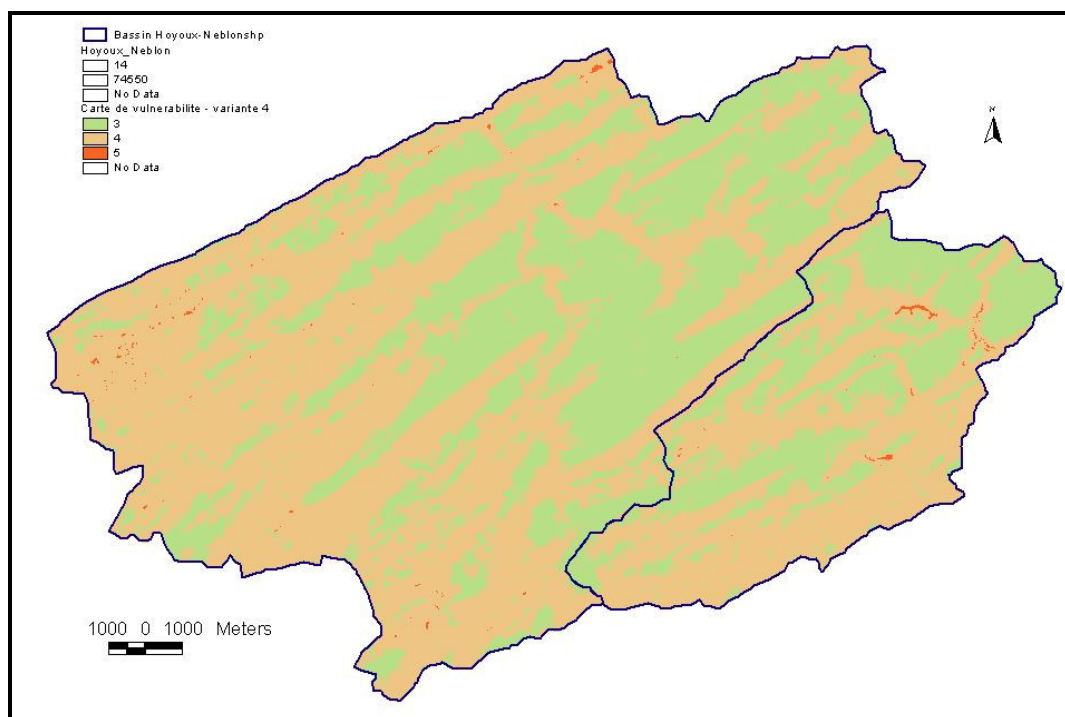


Fig. 38 : Carte de vulnérabilité – variante 4 (Test d’une méthode de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque applicable aux nappes aquifères de la Région wallonne. Application à l’aquifère calcaire du Néblon)

5.7 Poursuite des projets de caractérisation des masses d’eau souterraine

Suite aux remarques des équipes PIRENE et de la Direction des Eaux souterraines (DGRNE) relatives au manque de caractérisation de certaines masses d’eau souterraine de la région, la Région wallonne et la SPGE ont financé un projet de caractérisation des ressources en eau souterraine portant notamment sur les calcaires et grès du Synclinorium de Dinant (projet Synclin’EAU). Ce projet a démarré le 1^{er} décembre 2005, pour une durée de 4 ans. Les équipes de recherche en hydrogéologie de l’ULg, de la FUNDP et de la FPMs y participent, sous la coordination de l’Aquapôle de l’ULg. Les masses d’eau souterraines RWM011, RWM012, RWM021 seront caractérisées sur base des mesures disponibles et d’investigations complémentaires. Les masses d’eau RWM022 et RWM023 seront étudiées sur base des données actuellement disponibles.

5.8 Limitation et contrôle des rejets

Différentes mesures sont envisagées pour réduire l'impact des pesticides sur la qualité des eaux souterraines, tant au niveau fédéral (retrait de l'agrégation de certains produits, Programme fédéral de réduction des pesticides,...), qu'au niveau régional (restriction ou interdiction de l'usage de certaines molécules dans les zones de captages, révision de la législation relative à l'usage des herbicides non agricoles...).

Néanmoins, vu la détection de plus en plus fréquente de molécules comme la bentazone ou d'autres herbicides à usage principalement non agricoles dans les eaux souterraines, il apparaît que les efforts de sensibilisation à une utilisation et une gestion raisonnée de ces produits doivent être poursuivis et intensifiés.

Références

Aller, L., Bennet, T., Lehr, H.J., Petty, J.R., Hackett, G., (1987) DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings, [en anglais], Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency Report EPA-600/2-87-035, 622 p.

Battle Aguilar J., Orban Ph., Brouyère S., Report on point by point statistical trend analysis and extrapolated time trends at test sites, Project AquaTerra, Deliverable TREND2.4, 2004.

Boulvain, F., Belanger, I., Delsate, D., Ghysel, P., Godefroit, P., Laloux, M, Monteyne, R. & Roche, M., 2001, Triassic and jurassic lithostratigraphic units (Belgian Lorraine). *Geologica Belgica*, 4 (1-2), 113- 119.

Brouyère S., Carabin G., Dassargues A., Climate change impacts on groundwater resources : modelled deficits in a chalky aquifer, Geer basin, Belgium, *Hydrogeology Journal*, 12, pp123-134, 2003.

Brouyère S., Jeannin P.-Y., Dassargues A., Goldscheider N., Popescu I.-C., Sauter M., Vadillo I. and Zwahlen F., Evaluation and validation of vulnerability concepts using a physically based approach, *Sci. Tech. Envir.*, Mém. H. S. n°13, pp. 67-72, 2001.

Calembert, L., Fagnoul, A. Stassen, P., Bonnechere, F., Monjoie, A. & Van Duyse, H., 1974, La géologie de l'ingénieur appliquée à l'étude du site du métro dans le bed-rock houiller à Liège, Colloque de Centenaire de la Société Géologique de Belgique, pp. 163-192.

Castany, G., 1982, Principes et méthodes de l'hydrogéologie, eds Bordas, Paris, 238p

Conventions FPMS-Cellule d'Hydrogéologie - Ministère de la Région wallonne, 1999-2006, Cartes hydrogéologiques de Wallonie

Convention FPMS-Cellule d'Hydrogéologie – Ministère de la Région wallonne, 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.

Convention FUL – Ministère de la Région Wallonne, 1988, Etude des ressources en eau souterraine du Sud de la Province de Luxembourg, Debbaut, V., et Vander Borght, P.

Convention FUL – Ministère de la Région Wallonne, 1993, Etude de l'aquifère sinémurien du Pays Lorrain, Masson, B., Debbaut, V., Tomasi, B., Vander Borght, P.

Conventions FUNDP-Géologie - Ministère de la Région wallonne, 2002-2006, Cartes hydrogéologiques de Wallonie

Conventions ULg- Hydrogéologie - Ministère de la Région wallonne, 1999-2006, Cartes hydrogéologiques de Wallonie

Convention ULG-Droit public et administratif – Ministère de la Région wallonne, 2004, Projet PIRENE: Aspects juridiques de la gestion intégrée de l'eau

Convention ULG-Hydrogéologie – Ministère de la Région wallonne, 2004, Projet PIRENE: Modélisation des nappes d'eau souterraine

Convention ULG-Hydrogéologie - Ministère de la Région wallonne, 2004, Mise au point d'un réseau de mesure et de surveillance des eaux souterraines en vue de la mise en œuvre de la Directive-cadre et du système d'évaluation de la qualité des eaux (SEQ-Eaux souterraines) en Région wallonne, Rentier C., Dassargues A., Delloye F.

Convention ULG-Hydrogéologie - Ministère de la Région wallonne, 2004, Popescu I.C., Dachy M., Brouyère S., Dassargues A., Test d'une méthode de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque applicable aux nappes aquifères de la Région wallonne. Application à l'aquifère calcaire du Néblon. Rapport Final, Ministère de l'Environnement et des Ressources naturelles de la Région wallonne, 154p + annexes, Popescu I.C., Dachy M., Brouyère S., Dassargues A.

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

Conventions ULG- Sciences et Gestion de l'Environnement - Ministère de la Région wallonne, 2002-2006, Cartes hydrogéologiques de Wallonie

Convention ULG – RW (DGATLP) N°02/41146, Convention FPMs – RW (DGATLP) N°02/41147, Convention CWE PSS – RW (DGATLP) N°02/41149, 2003, Cartographie de synthèse des périmètres de contraintes physiques inhérentes au karst en zones urbanisables, en zone agricole et aux alentours des infrastructures en projet en Région Wallonne.

Dassargues A., Monjoie A., The chalk in Belgium. In: Downing RA, Price M., Jones G.P. (eds) The hydrogeology of the chalk of north-west Europe. Clarendon Press, Oxford, UK, pp 153-269, 1993.

Devlin J.F., Sophocleous M., The persistence of the water budget myth and its relationship to sustainability, *Hydrogeology Journal*, 13(4), pp 549-554, 2005.

Doerflinger, N., Zwahlen, F., 1997, _ Méthode de détermination des zones de protection en régions karstiques. Cartographie multicritère de la vulnérabilité (méthode EPIK), Rapport pour le Service Hydrogéologique et Géologique National (OFEFP).

Gardin N., Wojda P., Brouyère S., Stress factors and associated physically based criteria for developing a generalized physically based groundwater vulnerability assessment method, Project report D43, FP6-STREP GABARDINE, May 2006.

Gogu R, Hallet V. & Dassargues A., 2003, Comparison between aquifer vulnerability assessment techniques. Application to the Néblon river basin (Belgium), *Environmental Geology*, 44(8), 881-892.

Gulinck, M. & Loy, W., 1971, *Hydrogéologie du Crétacé du Bassin de la Dyle (Brabant)*, Bull. Soc. Belg. Géol. Paléont. Hydrol., T.80, fasc 1-2, pp 77-83

Haerens B., 1999. *Etude de la sensibilité des essais de traçage au mode d'injection et à la nature des traceurs*. Travail de fin d'étude (DES), Université de Liège. Faculté des Sciences appliquées. 78 p

Hallet V., *Etude de la contamination de la nappe aquifère de Hesbaye par les nitrates : hydrogéologie, hydrochimie et modélisation mathématique des écoulements et du transport en milieu saturé*, Thèse de doctorat, Université de Liège, Faculté des Sciences, 361 pp, 1999.

Hodiaumont A., Cantillana R., Compère J.-M., *Les eaux souterraines de la CILE : contexte, captage et qualité*, Tribune de l'eau, 52, n° 600-601, pp 31-50, 1999.

Kalf F.R.P., Woolley D.R., *Applicability and methodology of determining sustainable yield in groundwater systems*, Hydrogeology Journal, 13(1), pp 295-312, 2005.

Rapport technique n° 7 de l'Eurowaternet, *Technical guides for implementation, Draft final*, ETC/IW, 1998.

Sophocleous M., *From safe yield to sustainable development of water resources – the Kansas experience*, Journal of Hydrology, 235, pp 27-43, 2000.

Vandenberghe C., Marcoen J.-M., *Transposition de la directive nitrate (CE) en Région wallonne : azote potentiellement lessivable de référence pour les sols cultivés en région Wallonne*, Biotechnol. Agron. Soc. Environ., 8(2), pp111-118, 2004

Youssef, H., 1972, *Hydrologie karstique du calcaire carbonifère de la Belgique et du Nord de la France – Synthèse des données acquises en 1972*, Thèse de doctorat, Fac. Sciences, Université de Lille, 126 p

Liste des acronymes

AIEC	Association Intercommunale des Eaux du Condroz
AIEM	Association Intercommunale des Eaux de la Molignée
BETEX	BEnzène – Toluène – Ethylbenzène – Xylène
CEDD	Centre d’Etudes du Développement Durable
CET	Centre d’Enfouissement Technique
CIBE	Compagnie Intercommunale Bruxelloise des Eaux
CILE	Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux
CWEPSS	Commission Wallonne d’Etude et de Protection des Sites Souterrains
DCI	Direction de la Coordination Informatique
DGATLP	Direction Générale de l’Aménagement du territoire, du Logement et du Patrimoine
DGRNE	Division Générale des Ressources Naturelles et de l’Environnement
DGRNE-DE	Division Générale des Ressources Naturelles et de l’Environnement - Division de l’eau
DPSIR	Drivers – Pressures – State – Impact - Responses
EPIC-Grid	Erosion Productivity Impact Calculator
ESO	Eaux SOuterraines
FP6	Framework Program 6 (6ème programme cadre de recherche européen)
FPMs	Faculté Polytechnique de Mons
FUNDP	Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix Namur
GABARDINE	Groundwater Artificial recharge Based on Alternative sources of waterR : aDvanced INtegrated technologies and managEment
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
IBW	Intercommunale du Brabant Wallon
IDEA	Intercommunale de Développement Economique et d’Aménagement du Territoire
IGEAT	Institut de Gestion de l’Environnement et d’Aménagement du Territoire
INASEP	Intercommunale Namuroise de Services Publics
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISSEP	Institut Scientifique de Service Public
JOCE	Journal Officiel de la Communauté Européenne
LGIH	Laboratoire de Géologie de l’Ingénieur et d’Hydrogéologie et de Prospection Géophysique
MB	Moniteur Belge
MOHICAN	MOdèle Hydrologique Intégré pour le calcul des Crues et l’Amplitude des Niveaux d’eau
MOHISE	Modèle Hydrologique Intégré pour la Simulation du cycle de l’Eau
PIRENE	Programme Intégré de Recherche Environnement-Eau
SEQ-ESO	Système d’Evaluation de la Qualité des Eaux Souterraines
SPGE	Société Publique de Gestion de l’Eau
SSTC	Services fédéraux des Affaires scientifiques, techniques et

	culturelles
SWDE	Société Wallonne des Eaux
TMVW	Tussengemeentelijke Maatschappij der Vlaanderen voor Waterbedeling
UHAGx	Unité d'Hydrologie & Hydraulique agricole de la FUSAGx
ULB	Université Libre de Bruxelles
ULg	Université de Liège
ULg - Arlon	Université de Liège – Site d'Arlon
VMW	Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening