

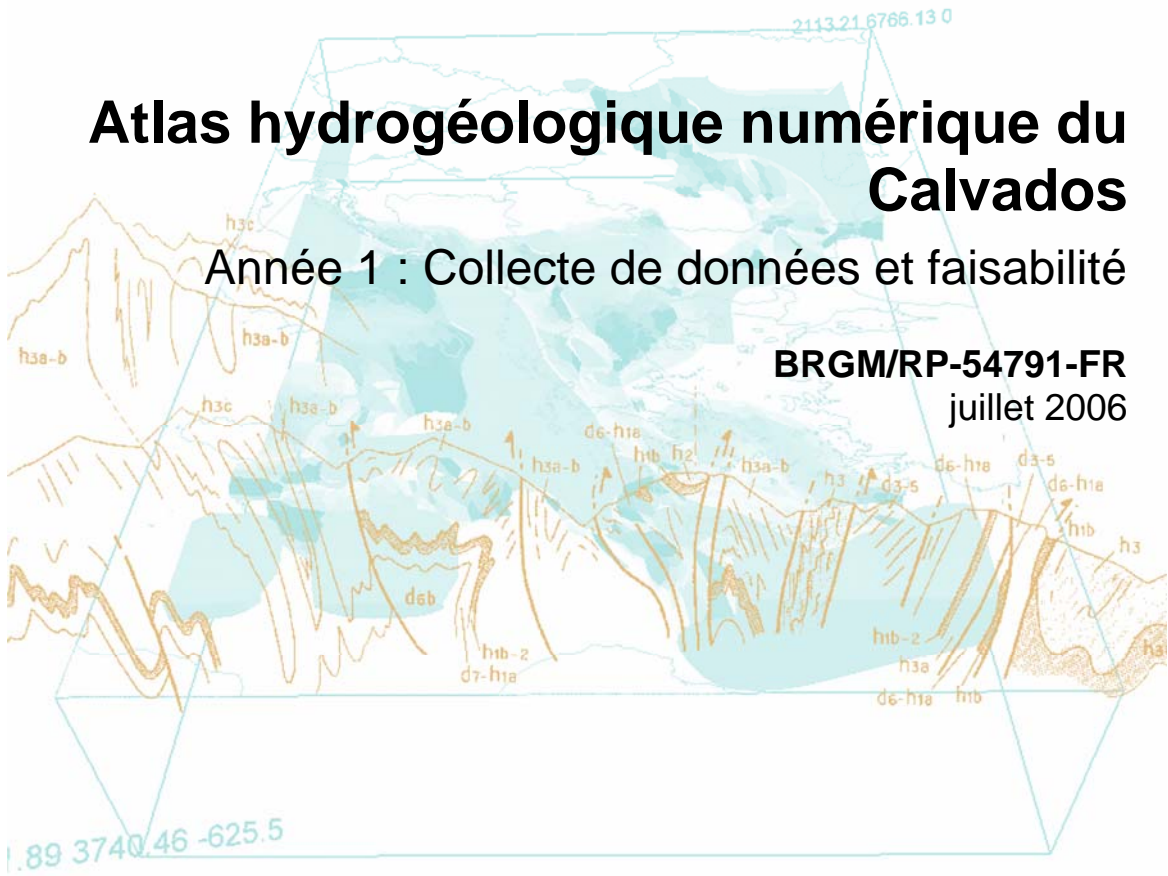
Document public



Atlas hydrogéologique numérique du Calvados

Année 1 : Collecte de données et faisabilité

BRGM/RP-54791-FR
juillet 2006



Direction Régionale de l'Environnement
BASSE-NORMANDIE



Atlas hydrogéologique numérique du Calvados

Année 1 : Collecte de données et faisabilité

BRGM/RP-54791-FR
juillet 2006

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 05-EAU-A02

Conseil Général



Calvados

L. Arnaud, R. Couëffe avec la collaboration de D. Regnier



Vérificateur :

Nom : Seguin J.-J.

Date : 20 juillet 2006

Signature :

Approbateur :

Nom : Pasquet J.-F.

Date : 21 juillet 2006

Signature :



Direction Régionale de l'Environnement
BASSE-NORMANDIE

Mots clés : Aquifère, Atlas, Bajocien, Bathonien, Bilan hydrique, Cénomanién, Débits spécifiques, Données climatiques, Données hydrologiques, Emmagasinement, Essais de pompage, Faisabilité, Lias, Logs géologiques validés, Marnes de Port-en-Bessin, Massif Armoricaín, Oxfordien, Piézométrie, Référentiel Géologique Français, SIG, Transmissivité, Trias, Vulnérabilité, Calvados, Basse-Normandie.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Arnaud L., Couëffe R.. – Atlas hydrogéologique numérique du Calvados – Année 1 : collecte de données et faisabilité. Rapport BRGM/RP-54791-FR, 115 p., 35 fig., 7 tabl., 3 ann.

Synthèse

Le Conseil Général du Calvados, l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), la DIREN Basse-Normandie et le brgm se sont associés pour la réalisation d'un Atlas hydrogéologique numérique du Calvados. Ce projet d'atlas hydrogéologique s'articule en trois volets thématiques principaux : un volet cartographique, un volet quantitatif et un volet qualitatif.

Compte tenu de la complexité du contexte géologique du Calvados et de l'incertitude relative aux données de base disponibles, il a été décidé de planifier le projet en deux phases. Une première année (2005/2006) d'étude de faisabilité avec la collecte et le traitement des données et une seconde (2006/2007) pour la réalisation des livrables.

Le présent rapport fait la synthèse des travaux menés lors de l'étude de faisabilité (année 1). Pour chacun des trois volets, un inventaire des données collectées et traitées a été dressé. Sur cette base, des perspectives de réalisation ont été proposées pour l'année 2 :

Volet cartographique :

La caractérisation géométrique des principaux aquifères et horizons imperméables pourra être menée à partir de 2 990 logs géologiques validés. Des réserves sont, cependant, à apporter pour l'aquifère multicouche du Lias, les aquifères alluvionnaires de l'Orne et de la Touques, et pour les argiles à poissons (plancher de l'aquifère du Bajocien) pour lesquels peu de données sont disponibles.

Des cartes piézométriques seront élaborées pour les aquifères du Cénomaniens, du Bathonien et du Bajocien. Les données collectées ne permettront pas de réaliser des cartes à partir de valeurs synchrones. Les cartes de "hautes eaux", "moyennes eaux" et "basses eaux" seront, par conséquent, établies (approches statistiques) avec les limites d'utilisation que cela implique.

Volet quantitatif :

Les bilans hydriques seront calculés pour les bassins versants de la Seulles, de la Mue et de la Dives amont (masse d'eau du bajo-bathonien).

Volet qualitatif :

Pour chacune des masses d'eau souterraine du département, les cartes de vulnérabilité simplifiée réalisées par le brgm à l'échelle du bassin Seine-Normandie pourront être validées et affinées à partir du MNT au pas de 20 m et des épaisseurs de la zone non saturée résultant du volet cartographique.

Sommaire

1. Introduction.....	11
2. Contextes géologique et hydrogéologique du Calvados.....	13
2.1. GEOLOGIE.....	13
2.2. RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE	16
3. Caractérisation géométrique des aquifères	19
3.1. COLLECTE DES DONNEES.....	19
3.1.1. Données issues de la Banque de données du Sous-Sol	19
3.1.2. Données complémentaires.....	20
3.2. TRAITEMENT DES DONNEES.....	21
3.2.1. Les logs géologiques validés	21
3.2.2. Analyse critique des données	22
3.2.3. Bilan	24
3.3. BILAN ET PERSPECTIVES	27
3.3.1. Aquifères de socle.....	28
3.3.2. Aquifère du Trias.....	31
3.3.3. Aquifère du Lias	33
3.3.4. Aquifères du Bajocien et du Bathonien	34
3.3.5. Marnes callovo-oxfordiennes	36
3.3.6. Aquifère de l'Oxfordien.....	38

3.3.7. Aquifère du Cénomanién	38
3.3.8. Aquifères alluviaux.....	41
3.3.9. Récapitulatif	41
4. Données piézométriques	43
4.1. COLLECTE DES DONNEES	43
4.1.1. Données issues de la BSS	43
4.1.2. Données complémentaires	43
4.2. ATTRIBUTION DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES	45
4.3. BILAN ET PERSPECTIVES	45
4.3.1. Elaboration des cartes piézométriques : aperçus méthodologiques	45
4.3.2. Aquifères du Dogger	47
4.3.3. Aquifère de la craie cénomaniénne	52
4.3.4. Les autres aquifères	56
4.3.5. Récapitulatif	56
5. Volet quantitatif	59
5.1. INTRODUCTION A GARDENIA.....	59
5.2. COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNEES.....	64
5.2.1. Analyse des contextes hydrogéologiques	64
5.2.2. Délimitation des zones d'étude	64
5.2.3. Les données d'entrée	64
5.2.4. Les données de sortie	65
5.3. SELECTION DES BASSINS VERSANTS.....	65
5.3.1. Bassin versant de la Seulles.....	66

5.3.2. Bassin versant de la Mue	67
5.3.3. Bassin versant de la Dives amont	69
5.4. DELIVRABLES	72
6. Volet qualitatif	73
6.1. LA METHODE IDPR	73
6.2. DONNEES COLLECTEES	75
6.3. DELIVRABLES	77
7. Conclusions	79
8. Bibliographie.....	81

Liste des illustrations

FIGURES

<i>Fig. 1 – Carte géologique simplifiée du Calvados (brgm).</i>	15
<i>Fig. 2 – Découpage des masses d'eau souterraine pour la partie de la Basse-Normandie comprise sur l'emprise du bassin Seine-Normandie (source : AESN).</i>	18
<i>Fig. 3 – Représentation du log géologique validé de l'ouvrage n° 01194X0005 (commune d'Anguerny).</i>	22
<i>Fig. 4 – Localisation des logs géologiques validés.</i>	26
<i>Fig. 5 – Description litho-stratigraphique simplifiée des aquifères du Calvados.</i>	27
<i>Fig. 6 – Modèle conceptuel stratiforme de la structure et des propriétés des aquifères de socle (R. Wyns, brgm).</i>	28
<i>Fig. 7 – Répartition des ouvrages constituant la base de données relative au socle.</i>	30
<i>Fig. 8 – Répartition des logs validés décrivant les formations du Trias.</i>	32
<i>Fig. 9 – Répartition des logs validés décrivant l'aquifère multicouche du Lias.</i>	33
<i>Fig. 10 – Répartition des logs validés décrivant l'aquifère du Bajocien.</i>	34
<i>Fig. 11 – Répartition des logs validés décrivant la formation des argiles à poissons.</i>	35
<i>Fig. 12 – Répartition des logs validés décrivant les marnes du Bathonien inférieur.</i>	35
<i>Fig. 13 – Répartition des logs validés décrivant l'aquifère du Bathonien.</i>	36
<i>Fig. 14 – Répartition des logs validés décrivant les marnes callovo-oxfordiennes.</i>	37
<i>Fig. 15 – Répartition des logs validés décrivant l'aquifère de l'Oxfordien.</i>	39
<i>Fig. 16 – Répartition des logs validés décrivant l'aquifère crayeux.</i>	40
<i>Fig. 17 – Répartition des logs validés décrivant des formations alluvionnaires sur l'Orne aval et la Touques aval.</i>	42
<i>Fig. 18 – Répartition des données piézométriques relevées par la DIREN Basse-Normandie (printemps 2001).</i>	44
<i>Fig. 19 – Répartition des données piézométriques disponibles pour les aquifères du Dogger.</i>	48
<i>Fig. 20 – Graphique de distribution des relevés piézométriques par année pour les aquifères du Dogger.</i>	49
<i>Fig. 21 – Chronique piézométrique enregistrée au droit de l'ouvrage de St-Contest (1966-2006).</i>	50
<i>Fig. 22 – Données piézométriques disponibles pour caractériser les années de basses eaux (a) et de hautes eaux (b) de l'aquifère du Bathonien.</i>	51
<i>Fig. 23 – Répartition des données piézométriques disponibles pour l'aquifère crayeux.</i>	53

<i>Fig. 24 – Graphique de distribution des relevés piézométriques par année pour l'aquifère crayeux.</i>	54
<i>Fig. 25 – Données piézométriques disponibles pour caractériser les années de basses eaux de l'aquifère crayeux.</i>	55
<i>Fig. 26 – Schéma hydrologique illustratif du bilan hydrique quantitatif (GARDENIA, brgm).</i>	60
<i>Fig. 27 – Principe du modèle hydrologique global GARDENIA pour la simulation du débit d'un cours d'eau ou d'un niveau piézométrique.</i>	61
<i>Fig. 28 – Données nécessaires aux modélisations GARDENIA.</i>	63
<i>Fig. 29 – Bassins versants sélectionnés pour les modélisations GARDENIA.</i>	66
<i>Fig. 30 – Localisation des stations de mesure (pluie, ETP, débit, niveau piézométrique) pour les bassins versants de la Seulles et de la Mue.</i>	68
<i>Fig. 31 – Localisation des stations de mesure (pluie, ETP, débit, niveau piézométrique) pour le bassin versant de la Dives amont.</i>	71
<i>Fig. 32 – Carte de vulnérabilité de la masse d'eau souterraine du Bajo-bathonien obtenue par la méthode IDPR (brgm, 2005).</i>	74
<i>Fig. 33 – Carte de répartition des précipitations efficaces en Basse-Normandie (source : MEDD).</i>	75
<i>Fig. 34 – Carte de répartition des ouvrages BSS ayant fait l'objet d'un essai de pompage (sur fond de carte géologique simplifiée).</i>	76
<i>Fig. 35 – Carte de répartition des cavités souterraines issues de l'inventaire départemental du Calvados (sur fond de carte géologique simplifiée).</i>	77

TABLEAUX

<i>Tabl. 1 – Synthèse des modifications apportées aux dossiers BSS.</i>	23
<i>Tabl. 2 – Répartition des logs géologiques validés par carte géologique au 1/50 000.</i>	25
<i>Tabl. 3 – Synthèse des données disponibles dans la base « socle ».</i>	30
<i>Tabl. 4 – Synthèse des données piézométriques disponibles pour les aquifères du Dogger.</i>	47
<i>Tabl. 5 – Données collectées pour la modélisation du bassin versant de la Seulles.</i>	67
<i>Tabl. 6 – Données collectées pour la modélisation du bassin versant de la Mue.</i>	69
<i>Tabl. 7 – Données collectées pour la modélisation du bassin versant de la Dives amont.</i>	70

Liste des annexes

Annexe 1 – Principe de saisie des logs géologiques validés du Référentiel Géologique Français	81
Annexe 2 – Comptes-rendus des réunions du Comité de Pilotage	87
Annexe 3 – Aquifères de socle : nouveaux concepts (publication parue dans la revue Géosciences en janvier 2006)	98

1. Introduction

Le Conseil Général du Calvados, l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), la DIREN Basse-Normandie et le brgm se sont associés pour la réalisation d'un Atlas hydrogéologique numérique du Calvados. Chaque organisme est représenté dans le Comité de Pilotage du projet.

La dernière version de l'Atlas hydrogéologique du Calvados, sur support papier, date de 1991. Cette version est épuisée et n'a pas été accompagnée d'une notice explicative. Elle méritait, par conséquent, d'être mise à jour au format numérique.

Ce projet d'atlas hydrogéologique, dont le cahier des charges a été construit en collaboration avec les partenaires, s'articule en trois volets thématiques principaux :

- un volet cartographique avec la modélisation géométrique des aquifères du département et l'élaboration de cartes piézométriques ;
- un volet quantitatif avec le calcul d'un bilan hydrologique sur trois bassins versants par l'intermédiaire du logiciel GARDENIA (brgm) ;
- un volet qualitatif avec la validation des cartes de vulnérabilité simplifiée par masse d'eau souterraine (travail mené par le brgm à l'échelle du bassin Seine-Normandie).

Compte tenu de la complexité du contexte géologique du Calvados et de l'incertitude relative aux données de base disponibles, il a été décidé de planifier le projet en deux phases. Une première année (2005/2006) d'étude de faisabilité avec la collecte et le traitement des données et une seconde (2006/2007) pour la réalisation des livrables.

Le présent rapport fait la synthèse des travaux menés lors de l'étude de faisabilité (année 1). Pour chacun des trois volets, un inventaire des données collectées et traitées est dressé. Sur cette base, des perspectives de réalisation sont proposées pour l'année 2.

2. Contextes géologique et hydrogéologique du Calvados

2.1. GEOLOGIE

Le Calvados est localisé à la limite de deux grands ensembles géologiques qui influencent largement la morphologie et les paysages :

- le Massif Armoricaïn à l'W-SW du département, composé de terrains plissés précambriens et paléozoïques et caractérisé par des paysages vallonnés de bocage ;
- la bordure occidentale du Bassin Parisien dans la partie centrale et orientale du département, composée de terrains carbonatés jurassiques et crétacés et correspondant à un ensemble de plaines et de plateaux.

Dans le détail, on distingue d'Est en Ouest, les terrains suivants (Fig. 1) :

- La partie située à l'W-SW du département correspond à des roches plissées du Briovérien (schistes et siltites) percées d'intrusions de grano-diorite associées à des auréoles de métamorphisme (schistes tachetés et cornéennes). Ces roches témoignent de l'histoire « cadomienne » (période comprise approximativement entre 600 et 540 millions d'années) du Massif Armoricaïn. Superposés de façon discordante aux roches briovériennes, les terrains du Paléozoïque inférieur sont composés de poudingues, de schistes (Schistes du Pissot par exemple), de grès (Grès de May, Grès Armoricaïn) et de quelques formations calcaires. Ces terrains, structurés en grands synclinaux d'axe WNW-ESE, sont entaillés par des vallées parfois profondes aux versants abrupts. Dans les synclinaux, les niveaux inférieurs, datés du Cambrien et de l'Ordovicien, ont fait l'objet d'intenses exploitations de minerai de fer (May-sur-Orne, Soumont-St-Quentin, St-Rémy-sur-Orne) ;
- Le deuxième ensemble, qui forme une étroite bande NW-SE s'évasant vers le NW, regroupe les formations du Trias, du Jurassique inférieur ainsi que les premiers termes du Jurassique moyen. Les dépôts du Trias correspondent à des formations fluviatiles composées d'argiles et de conglomérats plus ou moins indurés. Le Jurassique inférieur est composé de formations calcaires (Toarcien, Aalénien) qui n'affleurent que très peu dans le Calvados, les formations marno-calcaires bajocien-bathonien les recouvrant presque toujours. La Vire draine une partie de ces terrains, en relation avec des petits ruisseaux peu nombreux du fait de la karstification notable des calcaires ;
- Le troisième ensemble correspondant à la Plaine de Caen et au Bessin est composé de niveaux du Jurassique moyen (Bajocien et Bathonien). Le sous-sol du Bessin est principalement constitué par des calcaires et des marnes du Bajocien. Ces niveaux carbonatés sont connus pour être karstiques (pour exemple, on citera le réseau des pertes de l'Aure, situé en partie sur le territoire de Port-en-Bessin). Le sous-sol de la

Plaine de Caen est composé essentiellement de terrains calcaires d'âge bathonien, qui sont nappés par les limons fertiles de la région (Riout, 1980). On notera que ces calcaires sont localement affectés par des réseaux karstiques (cas du réseau karstique de Ranville) et ont fait l'objet d'intenses exploitations de pierre à bâtir (cas de la célèbre « Pierre de Caen ») ;

- Plus à l'Est, les reliefs mous du Pays d'Auge, occupés par des herbages généralement humides, sont composés des terrains argileux et marneux du Jurassique moyen et supérieur (Callovien, Oxfordien et Kimméridgien) ;

- Enfin, sur la bordure orientale du département, la présence d'une cuesta marque morphologiquement le passage des terrains argileux du Jurassique supérieur (appartenant au Pays d'Auge) aux assises crétacées des plateaux du Lieuvin (« zone craie »). Les terrains du Crétacé sont composés, en base, de couches sableuses (Sables du Maine, Sables du Perche) surmontées par des craies glauconieuses. Ces craies glauconieuses passent vers leur sommet, à des dépôts de plus en plus carbonatés représentés notamment par la craie blanche à silex affleurant le long des versants de vallées (Juignet, 1974). L'ensemble de cette zone crayeuse est recouvert d'un manteau d'altérites à silex qui passe de quelques mètres en bordure de cuesta à plus de 15-20 m vers l'Est. Ce manteau d'altérites donne cet aspect de plateau à l'Est du département ou à la partie située entre Touques et Dives. Les altérites résultent de phénomènes pédologiques qui ont induit des processus de concentration en fer (résidus de cuirasses ferrugineuses, concentrations pédologiques par lessivage en bas de profil – Laignel, 1997 ; Quesnel, 1997). Dans leur partie amont, les vallées, développées en général sur une semelle d'altérites, sont peu entaillées. Par opposition, dans leur partie aval où les rivières s'écoulent en général directement sur le substrat crayeux, les vallées deviennent plus profondes et forment des gouttières à versant fortement penté laissant affleurer la craie. Tout comme en Haute-Normandie, la craie a fait depuis longtemps l'objet d'exploitations (artisanales ou non) de type carrière à entrée latérale (en contexte de versant) ou de type carrière souterraine à puits d'accès vertical (marnière). La craie est également concernée par le développement de réseaux karstiques.

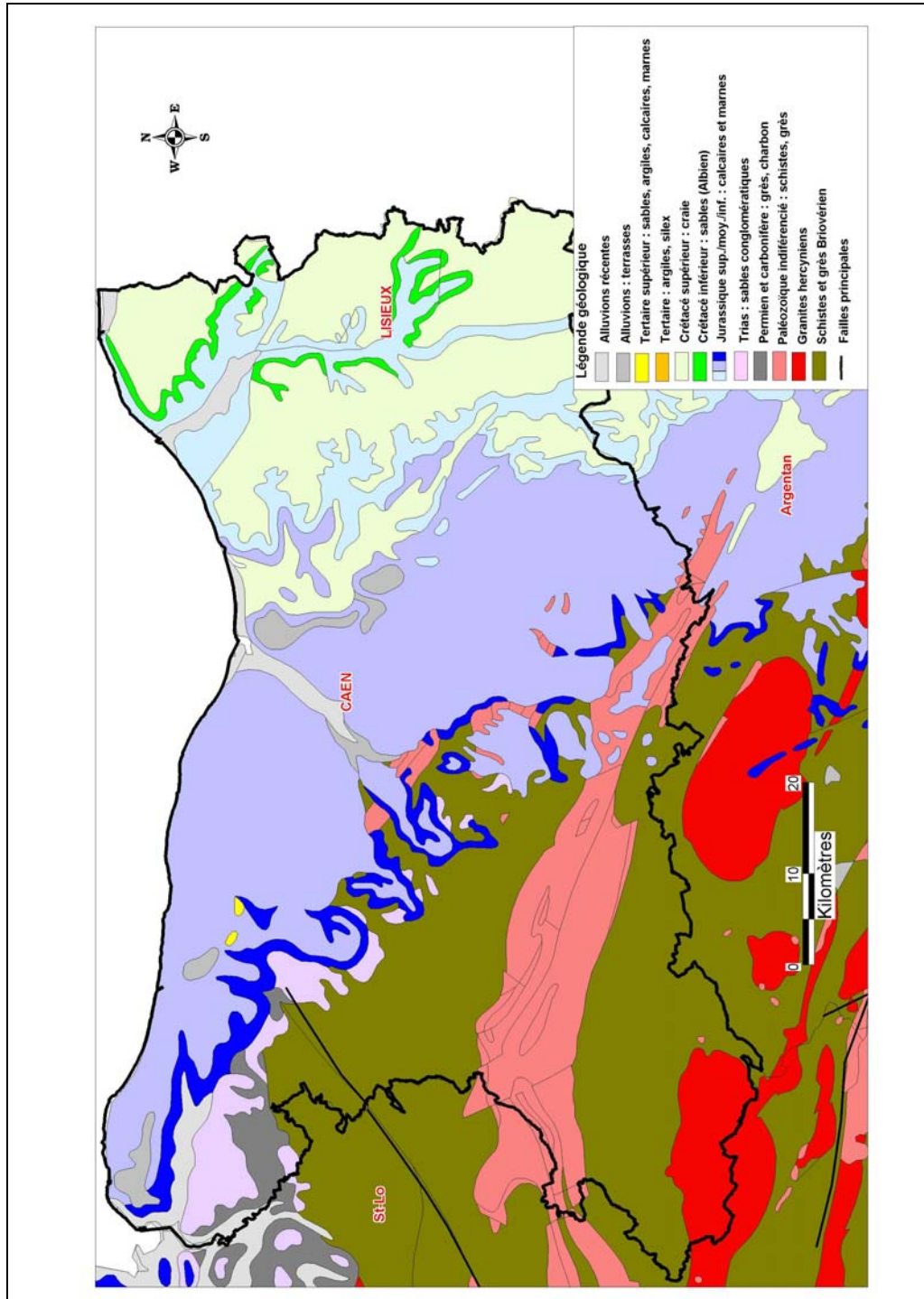


Fig. 1 – Carte géologique simplifiée du Calvados (brgm).

2.2. RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

L'approvisionnement en eau potable du département du Calvados se fait essentiellement à partir de prélèvements d'eaux souterraines. L'exploitation de cette ressource concerne en grande majorité l'ensemble des aquifères libres à l'affleurement.

Plusieurs systèmes aquifères sont à distinguer dans le Calvados. Ils feront donc l'objet, dans la mesure du possible, d'un modèle géologique dans le cadre de l'Atlas hydrogéologique numérique :

Aquifères libres du socle :

Le socle fissuré renferme des unités aquifères libres généralement de faible extension, à productivité réduite (5 à 15 m³/h) et sans protection superficielle. Des productivités plus importantes (30 à 60 m³/h) peuvent être localement rencontrées sur des axes de fracturation, de schistosité ou d'altération importants.

Aquifère du Trias :

Les premières assises sédimentaires à l'échelle régionale sont les niveaux de sables et galets du Trias. Les médiocres conditions d'affleurement du Trias et le découpage par la tectonique ont morcelé ce réservoir en autant d'unités à géométrie limitée et donc de faible emmagasinement. Les possibilités de prélèvement entre Isigny et Falaise sont donc extrêmement variables (à noter un champ captant dans la région de Longraye).

Aquifère du Lias :

Les premiers niveaux carbonatés du Lias, peu puissants, avec des séquences marneuses notables et des surfaces affleurantes restreintes (vallée de l'Aure), ne sont exploités que par de rares captages.

Aquifère multicouche du Bajocien :

Il est constitué des niveaux calcaires du Toarcien supérieur, de l'Aalénien et du Bajocien (Bessin, Suisse Normande) et constitue un des principaux aquifères du département. C'est un réseau aquifère développé dans la fissuration avec une karstification importante sous les vallées. Cet aquifère est libre dans la région de Bayeux et au sud-ouest de Caen, dans la vallée de l'Orne sous la Prairie. Il devient captif sous les marnes de Port-en-Bessin (Bathonien). Au niveau de la nappe libre, la surface piézométrique épouse assez fidèlement la topographie. La productivité peut atteindre jusqu'à 100 m³/h par endroit.

Aquifère multicouche du Bathonien :

L'aquifère du Bathonien (Campagnes de Caen et de Falaise et Bessin littoral) est constitué de niveaux calcaires multicouches (Calcaire de Caen, de Creully, de Langrune, de Ranville et de Blainville), entrecoupés de "caillasses" argileuses qui

cloisonnent partiellement la nappe. C'est un aquifère libre dont le substratum est constitué par les bancs de calcaires argileux situés à la base de la Pierre de Caen. Dans la vallée de la Dives, l'aquifère peut devenir semi-captif à localement captif sous les marnes calloviennes. La surface piézométrique épouse les grands traits de la topographie. La productivité est liée essentiellement aux réseaux de fissures. L'écoulement souterrain s'effectue des plateaux vers les vallées, les rivières drainant l'aquifère (existence d'un drainage au niveau de certaines vallées sèches). Dans les zones en vallées ou en vallons secs, la productivité peut atteindre jusqu'à 300 m³/h (captages de Thaon, Mondeville, Hérouville, Janville, Mézidon).

Aquifère de l'Oxfordien :

Il est constitué par des couches de sable associées aux calcaires de l'Oxfordien moyen et supérieur : plusieurs réservoirs d'extension limitée. Dans le département du Calvados, les calcaires coralliens affleurent peu au-dessus de l'épaisse série des argiles de Villers, essentiellement au droit de la vallée de la Touques. L'intérêt porté à cette ressource est croissant compte tenu de son potentiel et des enjeux eau potable dans le département.

Aquifère du Crétacé :

L'aquifère du Crétacé est essentiellement formé par la craie du Cénomaniens, moyennement fissurée, au-dessus des couches argilo-glaucosieuses de base. Ces terrains forment une bande de plateaux constituant les hauteurs du pays d'Auge. La craie contient une nappe libre importante, fréquemment perchée, donnant lieu à des sources d'importance inégale en périphérie de plateaux. L'exploitation se fait principalement en bordure des grandes vallées, où la productivité est la plus intéressante : elle peut atteindre 100 m³/h.

La Fig. 2 présente le découpage des masses d'eau souterraines (MES) retenu au titre de la Directive Cadre Européenne (DCE). Les masses d'eau intéressant le projet sont :

- MES 3212 : "Craie et marnes du Lieuvin-Ouche – Bassin versant de la Risle" : cette masse d'eau concerne l'aquifère de la craie (Cénomaniens au Turonien) sur une très faible partie du Calvados (extrême nord-est) ;
- MES 3213 : "Craie et marnes du Lieuvin-Ouche – Pays d'Auge, bassin versant de la Touques" : constituée de l'aquifère crayeux circonscrit au bassin versant de la Touques et de l'aquifère des calcaires coralligènes de l'Oxfordien affleurant dans la vallée de la Touques ;
- MES 3308 : "Bathonien-Bajocien de la Plaine de Caen et du Bessin" : constituée par les aquifères multicouches du Lias, du Bajocien et du Bathonien. A l'est, elle passe sous couverture des masses d'eau 3212 et 3213. Il est à noter que cette masse d'eau est classée en Zone de Répartition des Eaux (Z.R.E.) en raison d'une forte pression anthropique et d'une forte vulnérabilité de la ressource ;
- MES 3402 : "Trias du Cotentin Est et Bessin" : cette masse d'eau regroupe les formations du Permo-trias ;

- MES 3502, 3503, 3505 et 3506 : aquifères de socle des bassins versants de la Douve et de la Vire, de la Seulles et de l’Orne, de la Sienne, de la See.

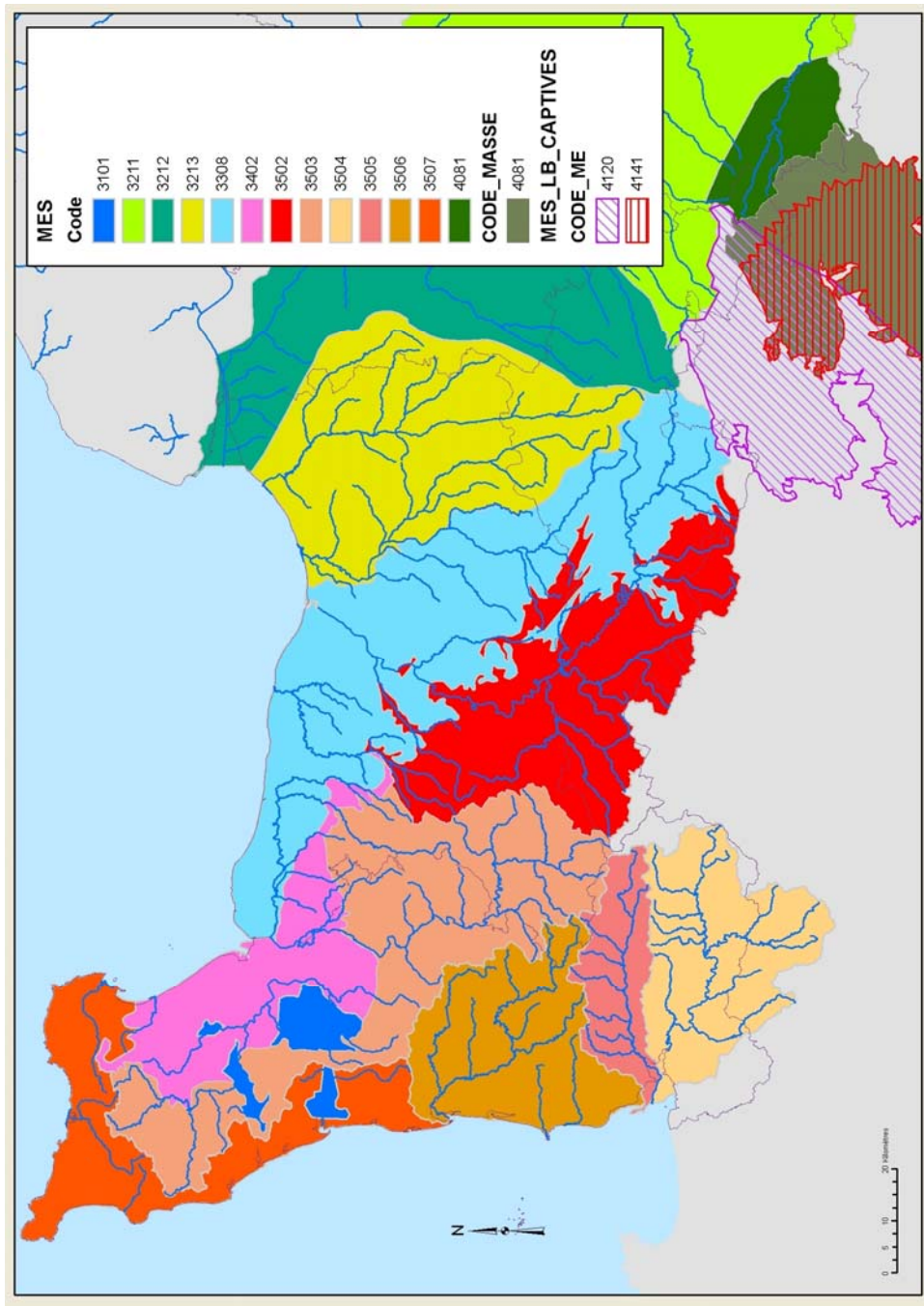


Fig. 2 – Découpage des masses d’eau souterraine pour la partie de la Basse-Normandie comprise sur l’emprise du bassin Seine-Normandie (source : AESN).

3. Caractérisation géométrique des aquifères

Le principal travail de la présente étude de faisabilité a consisté en la collecte du maximum de dossiers de sondage et en une interprétation litho-stratigraphique homogène des logs géologiques. Pour ce faire, il a été décidé d'utiliser la méthodologie des logs validés développée par le brgm dans le cadre du Référentiel Géologique de la France (Cf. § 3.2.1).

En complément de la base de données élaborée, les caractérisations géométrique et géologique des aquifères du Calvados seront établies sur la base de la carte géologique numérique harmonisée au 1 / 50 000 du département (brgm). La carte géologique numérique au 1 / 250 000 du Massif Armoricaire (brgm, 2002) pourra également être exploitée.

Par ailleurs, une convention a été passée entre le brgm et l'Université de Caen (représentée par le Professeur Olivier Dugué) dans le but d'associer l'expertise de cette dernière au volet cartographique de l'Atlas (année 2).

3.1. COLLECTE DES DONNEES

La principale source d'information exploitée a été la Banque de données sur le Sous-Sol (BSS), mais, en complément, les archives du Conseil Général du Calvados et de la D.D.E. ont été consultées.

3.1.1. Données issues de la Banque de données du Sous-Sol

Pour chacune des cartes géologiques au 1/50 000 couvrant le département du Calvados, les dossiers BSS du SGR Basse-Normandie comportant une coupe géologique (coupe « foreur » dans la majorité des cas) ont été examinés. Pour chacun de ces dossiers, le log géologique a été réinterprété par les géologues du brgm selon la méthodologie du Référentiel Géologique Français (§ 3.2.1).

A la fin juin 2006, la BSS de Basse-Normandie comptait 8 500 dossiers pour le département du Calvados, 3 451 pour la Manche et 2 036 pour l'Orne. Sur l'ensemble des cartes géologiques couvrant la zone d'étude, seuls 3 434 dossiers étaient composés d'une coupe géologique (qualité très variable d'un dossier à l'autre). A l'issue de cet examen, **2 969 logs ont été réinterprétés et numérisés selon la méthodologie du RGF**. Plusieurs logs ont, en effet, été écartés du traitement en raison de descriptions trop approximatives voire totalement erronées.

3.1.2. Données complémentaires

Conseil Général du Calvados :

Les études susceptibles d'intéresser le brgm (fonction de la localisation, de la profondeur des sondages, ...) ont été recensées par le Conseil Général (Service Etudes et Travaux routiers de la Direction de l'Aménagement) et mises à disposition du brgm pour consultation. Il s'agit des dossiers :

- RD 577 – Déviation de Vire : 4 coupes géologiques sélectionnées ;
- RD 40 – Déviation de Vieux-Fumé et Magny-la-Campagne : 1 coupe géologique sélectionnée ;
- RD 524 entre Saint-Sever et Mesnil-Clinchamps : 1 coupe géologique sélectionnée ;
- Déviation de Canapville : 4 coupes géologiques sélectionnées ;
- RD 562 entre Fleury-sur-Orne et Boulon : aucune coupe géologique sélectionnée ;
- RD 579 – Déviation d'Ouvilly-le-Vicomte : 2 coupes géologiques sélectionnées.

Au total, 12 nouveaux dossiers ont donc été instruits en BSS, interprétés et saisis dans la base de données du Référentiel Géologique Français.

D.D.E. du Calvados :

Le Service Etudes et Grands Travaux de la DDE a mis à la disposition du BRGM pour consultation les études géotechniques suivantes :

- A88 – Caen-Sées – Section Falaise/Nécy : 7 coupes géologiques sélectionnées ;
- RN 13 – Déviation d'Osmanville : 4 coupes géologiques sélectionnées ;
- Périphérique Sud de l'agglomération caennaise : aucune coupe géologique sélectionnée (sondages déjà inventoriés en BSS).

Au total, 11 nouveaux dossiers ont été instruits en BSS, interprétés et saisis dans la base de données du Référentiel Géologique Français.

Font encore défaut, à la date de rédaction de ce rapport, les données de sondage DDE relatives aux travaux de l'A84.

3.2. TRAITEMENT DES DONNEES

3.2.1. Les logs géologiques validés

Les logs géologiques validés sont un des livrables du programme "Référentiel Géologique de la France". Ils sont constitués d'une description géologique codifiée (un code pour la lithologie, un pour la formation et un pour la stratigraphie). Les informations utilisées sont les documents de la banque du sous-sol et des interprétations de diagraphies lorsqu'elles existent (très rares dans le cas présent). Les codes sont issus de lexiques propres au bassin de Paris. Il existe trois niveaux de vérification :

- le niveau 1 (géoréférencement et codage lithologique, stratigraphique et formation) d'après des lexiques ;
- le niveau 2 pour lequel la cohérence d'au moins un niveau repère stratigraphique a été vérifiée par cartographie en isohypses ;
- le niveau 3 pour lequel tous les niveaux repères ont été cartographiés.

A l'issue des travaux de cartographie de l'Atlas hydrogéologique (année 2), les logs exploités passeront, par conséquent, en niveau de validité 2.

Les logs sont, dans un premier temps, saisis et codés sous Excel© avant déversement, en central à Orléans, dans une base de données nationale. A l'issue de ce déversement, les logs géologiques validés sont consultables sur Internet via le portail InfoTerre du brgm (<http://infoterre.brgm.fr>).

Les principes de saisie ainsi qu'un aperçu de fichier de travail Excel sont reportés en Annexe 1.

La Fig. 3 représente le modèle simplifié d'un log validé tel que disponible sur Internet.

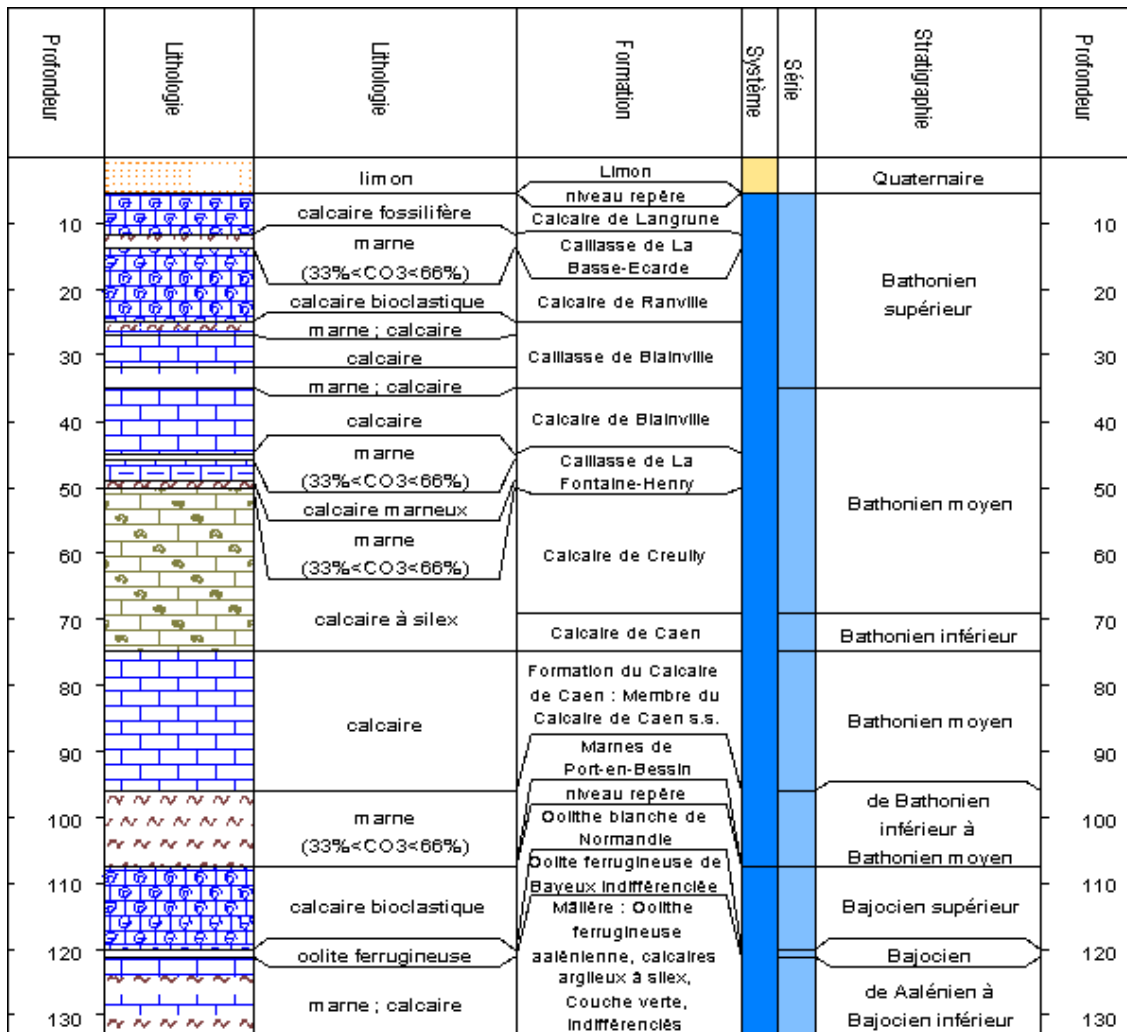


Fig. 3 – Représentation du log géologique validé de l'ouvrage n° 01194X0005 (commune d'Anguerny).

3.2.2. Analyse critique des données

Une fois la base de données constituée, il a été procédé à un contrôle de cohérence sur :

- les coordonnées X et Y des ouvrages ;
- la cote altimétrique Z des têtes d'ouvrage.

Dans ce but, 2 étapes de contrôle ont été mises en place par l'intermédiaire de requêtes réalisées avec le logiciel MapInfo :

- vérification de la cohérence entre la commune affectée au dossier BSS et la commune correspondant aux coordonnées X et Y (source : BdCarto de l'IGN). Tous les ouvrages implantés à une distance inférieure à 100 m d'une limite de commune ont été exclus du contrôle, car la couverture des communes utilisée n'est qu'une approximation fournie par l'IGN qui, aux frontières, ne correspond pas à la réalité du cadastre ;
- vérification de la cohérence entre la cote altimétrique enregistrée en BSS et la cote altimétrique du Modèle Numérique de Terrain (MNT). Nous avons utilisé un MNT défini au pas de 20 mètres pour le département du Calvados (mis à disposition par le Conseil Général) et un MNT au pas de 50 mètres pour les autres départements. Pour un premier dégrossissage, les dossiers ont été jugés incorrects à partir d'un écart calculé supérieur à 10 mètres. L'analyse sera ensuite affinée lors des travaux de cartographie.

Pour lever les incohérences ainsi mises en évidence, un retour aux dossiers "papier" de la BSS a été nécessaire. Les ouvrages ont été écartés du jeu de données lorsqu'il n'a pas été possible d'expliquer les écarts observés.

Le Tabl. 1 dresse le bilan des modifications apportées, il inclut également les ouvrages relatifs aux données piézométriques (§ 2) :

Type de contrôle	Nbre d'ouvrages examinés	Nbre d'ouvrages modifiés	% modification
Coordonnées X, Y	7 973	351	4.4
Altitude Z	6 130	236	3.8

Tabl. 1 – Synthèse des modifications apportées aux dossiers BSS.

A ce stade de l'étude, ces contrôles de cohérence ne peuvent être exhaustifs et, il est fort probable que d'autres anomalies seront mises en évidence lors de la phase de cartographie (année 2).

Dans un deuxième temps, un contrôle de cohérence a été mené sur la succession stratigraphique de chaque log validé à l'aide du logiciel MultiLayer (brgm). D'un côté, des erreurs d'interprétation ont pu être mises en évidence et corrigées, de l'autre, des sondages, réalisés par exemple dans le cadre d'étude de glissement de terrain ont, pu être écartés (successions Cénomaniens/Albiens/Cénomaniens sur les versants glissés du Pays d'Auge).

3.2.3. Bilan

La Fig. 4 présente la localisation de l'ensemble des coupes géologiques déstockées et interprétées à la fin des travaux de l'année 1 et, donc susceptibles d'être exploitées dans le cadre des travaux de cartographie futurs.

En domaine de socle, les logs n'ont pas toujours été intégrés au RGF car ce dernier ne répond pas totalement aux besoins de l'Atlas hydrogéologique pour les aquifères fissurés. Il a, par conséquent, été décidé de créer une base parallèle à celle du RGF (Cf. § 3.3.1).

Au total, **2 990 logs** ont été numérisés selon la méthodologie du RGF et mis en ligne sur Internet : 2 146 dans le Calvados, 323 dans la Manche, 194 dans l'Orne et 327 en Haute-Normandie. Les cartes géologiques trans-départementales ont, en effet, été traitées dans leur totalité.

La répartition des logs est très hétérogène, elle est surtout fonction de la disponibilité des ressources du sous-sol (eau souterraine essentiellement) et de l'activité humaine (agglomérations, aménagements routiers, etc...).

Le tableau suivant présente la répartition des logs validés par coupure géologique à l'échelle du 1 /50 000.

Dans le paragraphe suivant, la répartition des logs géologiques sera détaillée par système aquifère dans le but d'évaluer la faisabilité d'une caractérisation géométrique de chacun.

Le tracé des isohypses sera cartographié à l'aide des logiciels GDM et MultiLayer développés par le brgm. L'extension de chaque système à modéliser devra bien entendu avoir été définie au préalable. La carte géologique harmonisée numérique du Calvados permettra par ailleurs de densifier le réseau de logs (ajout de points virtuels).

N°	Nom de la feuille	Nombre de logs validés
94	Sainte-Mère-Eglise	141
95	Grandcamp-Maisy	122
96	Courseulles-sur-Mer	47
97	Le Havre	341
98	Pont-Audemer	32
117	Carentan	32
118	Balleroy	144
119	Bayeux	329
120	Caen	398
121	Lisieux	371
122	Brionne	24
144	Torigny-sur-Vire	48
145	Villers-Bocages	93
146	Mézidon	196
147	Livarot	87
148	Bernay	45
173	Villedieu-les-Poëles	67
174	Vire	87
175	Condé-sur-Noireau	57
176	Falaise	63
177	Vimoutiers	39
178	Rugles	50
210	Mortain	87
213	Sees	90
TOTAL		2 990

Tabl. 2 – Répartition des logs géologiques validés par carte géologique au 1/50 000.

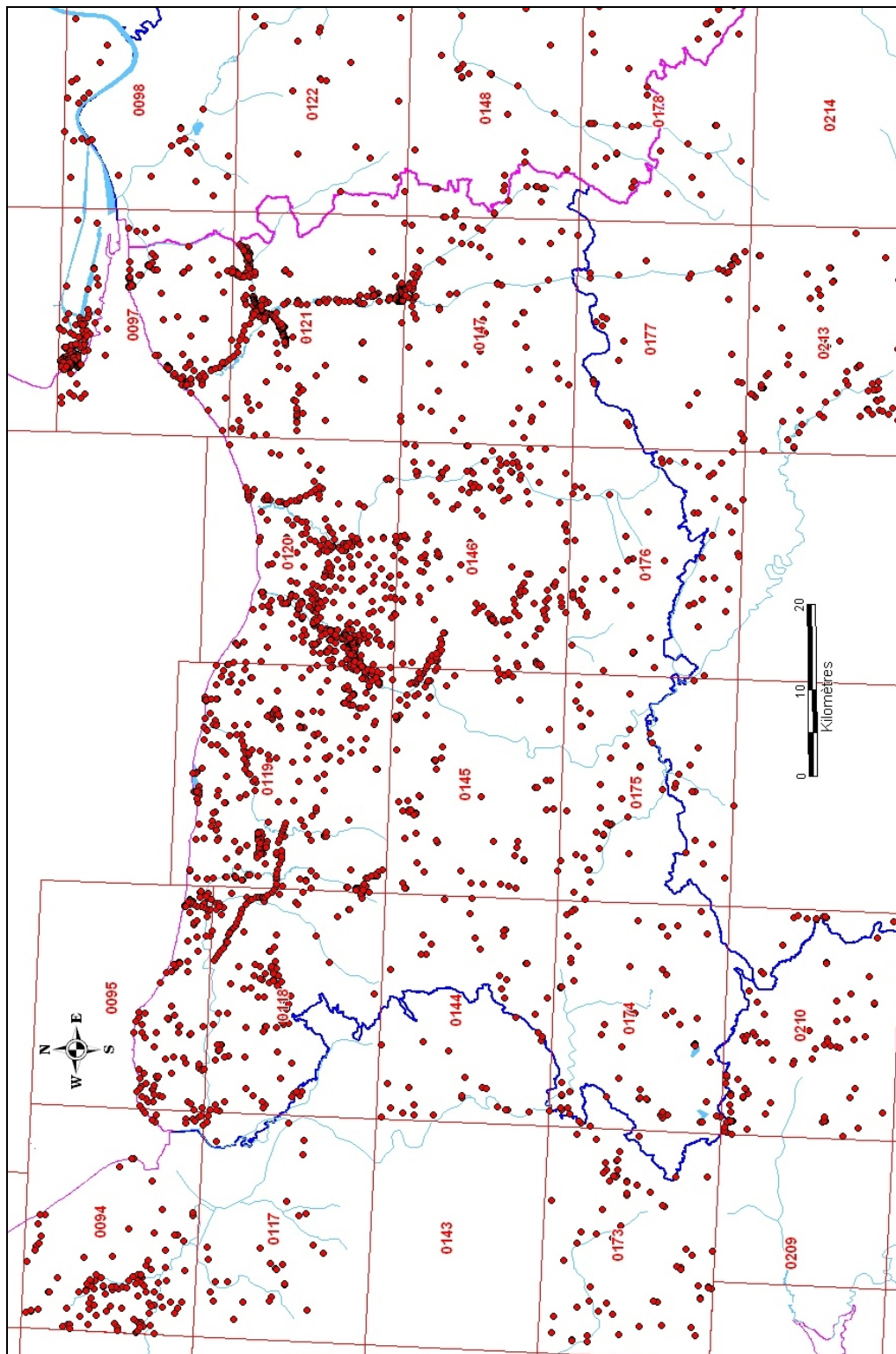


Fig. 4 – Localisation des logs géologiques validés.

3.3. BILAN ET PERSPECTIVES

En introduction à ce chapitre, la figure suivante décrit une partie de la colonne stratigraphique du Calvados (du Permien au Cénomanién) et les potentiels aquifères associés à chacune des formations.

AGE		FORMATIONS	POTENTIEL AQUIFERE
Cénomanién	Cénomanién supérieur	Craie à <i>I. labiatus</i>	Aquifère du Cénomanién
		Craie à <i>A. plenus</i>	
	Cénomanién moyen	Craie de Rouen	
	Cénomanién inférieur	Craie glauconieuse	
Albien		Glauconie de base	
		Argiles de Gault	
		Sables glauconieux	
Aptien	Aptien supérieur	Sables siliceux et glauconieux, argiles silteuses noires à violacées	
Kimméridgien			
Oxfordien	Oxfordien supérieur	Marnes de Villerville et de Criqueboeuf	Aquifère des calcaires de l'Oxfordien
		Sables de Glos / Calcaire gréseux de Hennequeville / Calcaires à Astarte Calcaire de Blangy	
	Oxfordien moyen	"Coral rag" Calcaire oolithique de Trouville / de Lisieux Calcaire d'Auberville Roussier de Gacé	
	Oxfordien inférieur	Argiles à <i>Loph. gregarea</i> Oolite ferrugineuse de Villers Marnes de Villers	
Callovien	Callovien supérieur	Marnes de Dives	
	Callovien moyen	Marnes et calcaires de Crèvecœur-en-Auge Marnes à <i>Belemnopsis latesulcatus</i>	
	Callovien inférieur	Marnes d'Argences Marnes d'Escoville Argiles de Lion / Faciès du <i>Combrash</i>	
Bathonien	Bathonien supérieur	Calcaire de Langrune	Aquifère du Bathonien
		Caillasse de la Basse-Ecarde Calcaire de Ranville Caillasse de Blainville	
	Bathonien moyen	Calcaire de Blainville / de Bon-Mesnil Caillasse de Fontaine-Henry Calcaire de Creully / de Rouvres / de St-Pierre-du-Mont Calcaire de Caen	
	Bathonien inférieur	Marnes de Port-en-Bessin / Bancs bleus / Couches de passage	
Bajocien	Bajocien supérieur	Calcaire à spongiaires Oolite ferrugineuse de Bayeux	Aquifère du Bajocien
	Bajocien inférieur	La "Malière"	
Aalénien	Aalénien		
	Aalénien	Oolite ferrugineuse	
Toarcien	Toarcien sup./moy.	Marnes et calcaires à ammonites	
	Toarcien inférieur	Argiles à poissons	
Pliensbachien		Banc de Roc Marnes et calcaires à bélemnites Calcaires à <i>Cincta numismalis</i>	Aquifère multi-couche du Lias
Sinemurien		Argiles noires pyriteuses Marnes et calcaires à gryphées	
Hettangien		Argiles et calcaires d'Huberville et de Valognes / Calcaires d'Osmanville	
Trias	Trias supérieur	Argiles à lignite d'Airel	
		Formation résiduelle : galets du Trias Sables, argiles panachées, cailloutis et calcrètes	
Permien	Autunien	Schistes, grès, conglomérats, pélites	
Sources : Cartes géologiques au 1 / 50 000 (BRGM) / Dugué et al., 1998 / Juignet, 1974			
		Formations à potentiel aquifère	
		Formations non aquifère	

Fig. 5 – Description litho-stratigraphique simplifiée des aquifères du Calvados.

Le modèle proposé est le résultat des discussions du Comité de Pilotage (modèle validé lors de la réunion de clôture du 7 juillet 2006). Chaque compte-rendu de réunion du comité de pilotage est reporté en Annexe 2 (4 réunions).

Les travaux de cartographie seront réalisés sur la base de ce modèle pour tenir compte des réalités hydrogéologiques. Il s'agissait donc de bien définir les toits et murs des aquifères dans le but d'en cartographier les isohypses. L'objet de ce chapitre est, par conséquent, de croiser ce modèle avec les données collectées afin d'évaluer la faisabilité de tels projets de cartographie.

3.3.1. Aquifères de socle

Les travaux du brgm sur les aquifères de socle tendent à montrer l'importance du rôle des profils d'altération sur les propriétés aquifères des roches fissurées (Fig. 6) :

- les altérites meubles avec une perméabilité relativement faible et une fonction capacitive significative ;
- l'horizon fissuré auquel l'aquifère de socle doit sa perméabilité (Cho et al., 2001 ; Lachassagne, Wyns et al., 2001). Son épaisseur est à mettre en relation avec celle de l'horizon altéré ;
- le substratum rocheux sain ne présentant des perméabilités significatives que très localement.

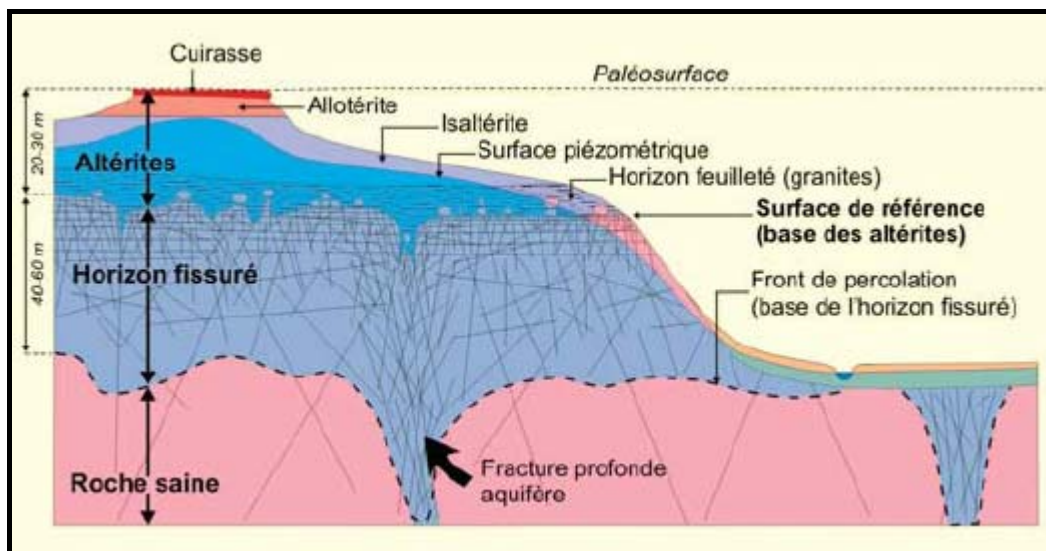


Fig. 6 – Modèle conceptuel stratiforme de la structure et des propriétés des aquifères de socle (R. Wyns, brgm).

Les propriétés hydrogéologiques semblent être optimales en présence de ces trois horizons et lorsque ces derniers combinent au mieux leurs caractéristiques hydrodynamiques (Lachassagne, Wyns et al., 2006). La fracturation tectonique ne

constitue donc pas la seule condition pour assurer de bonnes propriétés hydrogéologiques.

Une publication faisant la synthèse des résultats obtenus par le brgm (Wyns, Lachassagne et al., 2006) est reportée en Annexe 3.

C'est dans cet esprit qu'il a été décidé de traiter les aquifères de socle du Calvados (sud-ouest) à partir d'une base de données complémentaire. Pour ces formations anciennes, une simple codification de logs géologiques selon la méthodologie du RGF ne s'est, en effet, pas avérée adaptée. Cette base complémentaire contient **329 logs** (Fig. 7) pour lesquels sont mentionnés :

- le type d'ouvrage ;
- l'identification du foreur ;
- l'indice BSS de l'ouvrage ;
- les coordonnées X, Y et Z ;
- la description litho-stratigraphique de chacune des passes selon la codification du RGF ;
- une évaluation de la fracturation de chacune des passes (code de 0 à 3 : 0 = nul / 1 = légèrement fracturé / 2 = fracturé-fissuré / 3 = très fracturé) ;
- une appréciation de l'altération de chacune des passes (code de 0 à 3 : 0 = nul / 1 = légère altération / 2 = altéré / 3 = très altéré) ;
- le niveau statique et sa date de mesure ;
- la profondeur et le débit des différentes venues d'eau ;
- le débit d'exploitation potentiel de l'ouvrage.

L'évaluation de la fracturation et de l'altération a été réalisée sur la base des descriptions foreurs (vocabulaire propre à un foreur, texture, couleur, ...), des épaisseurs de passe, de la lithologie ou encore des indications de venues d'eau. Cette méthodologie a été inspirée des travaux menés par le Service Géologique Régional (SGR) de Bretagne (Mougin et al., 2004).

Malgré une faible densité, la répartition des logs décrivant les aquifères de socle apparaît relativement homogène (Fig. 7).

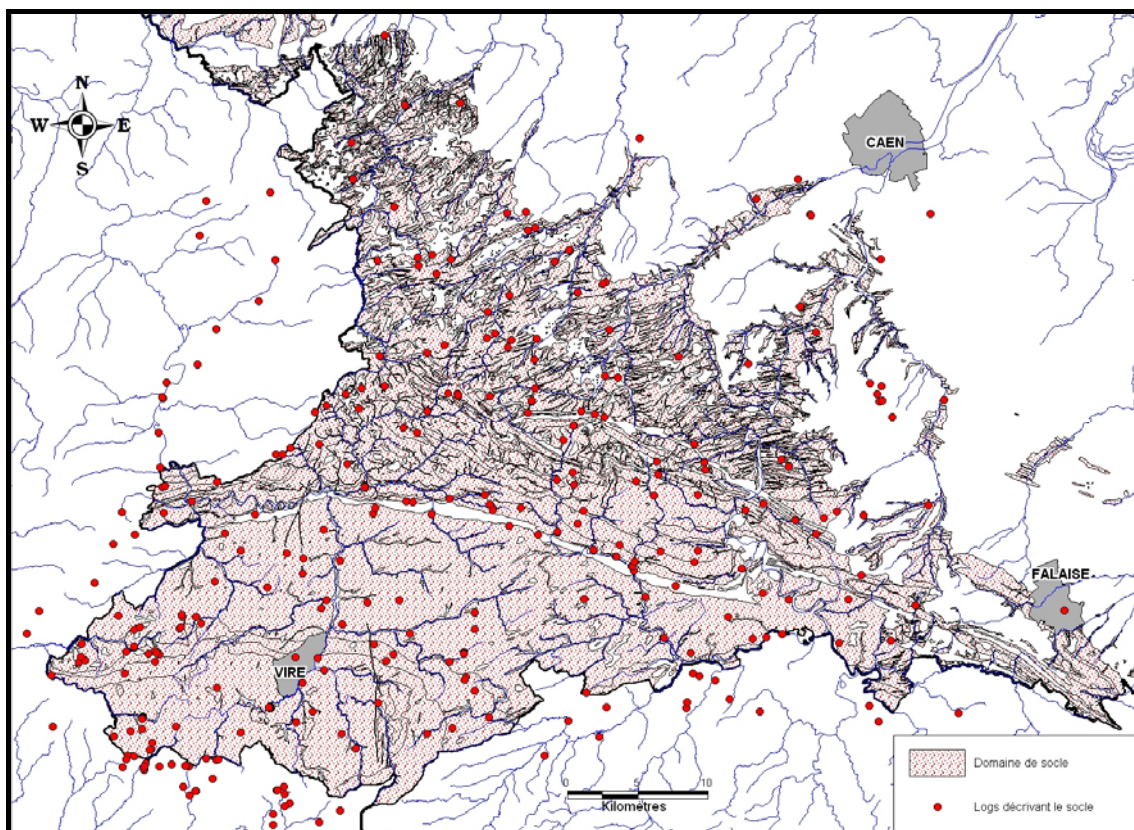


Fig. 7 – Répartition des ouvrages constituant la base de données relative au socle.

Comme illustré par le tableau suivant, il est, cependant, rare de pouvoir renseigner la totalité des champs de la base de données pour un même ouvrage (niveau d'information très variable d'un foreur à l'autre) :

Type de donnée	Nombre d'ouvrages	% du total des ouvrages
Niveau statique	131	40
Débit d'exploitation	107	33
Profondeur des venues d'eau	104	32
Débit des venues d'eau	98	30

Tabl. 3 – Synthèse des données disponibles dans la base "socle".

A partir de la base de données ainsi constituée, différentes pistes de travail pourront être envisagées au cours de la phase 2 :

- carte d'épaisseurs des altérites ;
- carte des ouvrages d'exploitation recensés (analyse thématique sur les débits d'exploitation) ;
- analyse croisée sur les débits exploitables et les lithologies associées ;
- corrélation entre les épaisseurs d'altérites et les débits mobilisables ;
- croisement des données avec les éléments structuraux ;
- etc...

Par rapport à cette thématique, l'expertise du SGR de Bretagne et/ou du Service EAU du brgm pourra être sollicitée.

3.3.2. Aquifère du Trias

Pour des raisons pratiques et après consultation du Comité de Pilotage, il a été décidé de retenir l'ensemble des formations triasiques comme système aquifère même si le potentiel aquifère de cet ensemble se révèle très hétérogène et compartimenté. Contrairement au département de la Manche, il n'est pas possible de cibler des bassins d'effondrement aquifères. Il a également été décidé de ne pas intégrer à ce système aquifère les formations de l'Autunien (permien) reconnues imperméables.

En définitive, **les toits et murs à cartographier correspondront aux limites stratigraphiques du Trias**. Au total, **229 logs validés** décrivent les formations du Trias (Fig. 8) et permettront de cartographier les isohypses des limites géométriques de ce système aquifère.

L'information fournie par cette représentation simplifiée permettra d'indiquer un potentiel aquifère global, entre toit et mur. L'état actuel des connaissances sur le Trias dans le Calvados ne nous permettra pas d'être plus précis. L'expertise de l'Université de Caen sera particulièrement précieuse pour ce système aquifère.

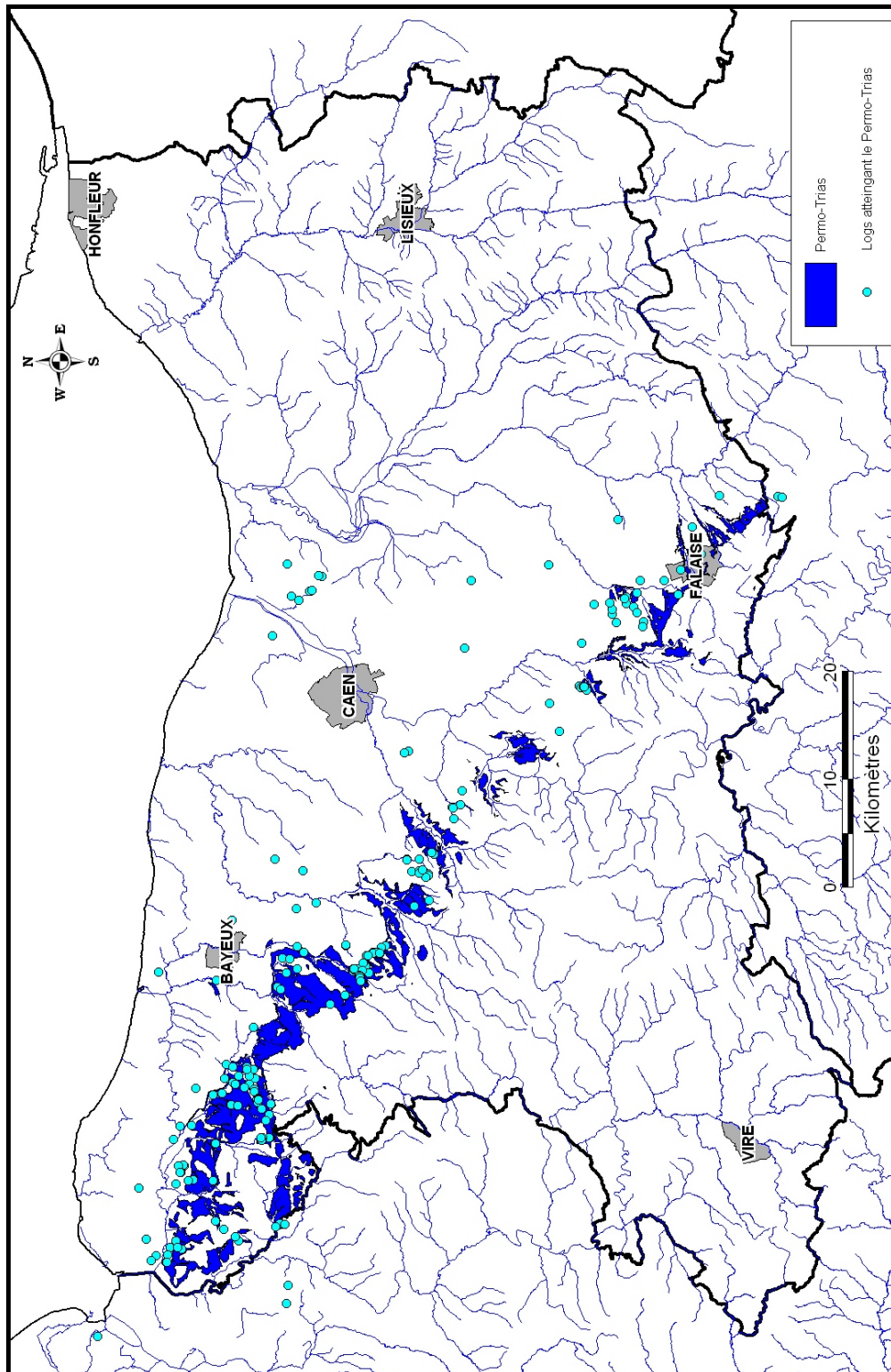


Fig. 8 – Répartition des logs validés décrivant les formations du Trias.

3.3.3. Aquifère du Lias

Nous le considérerons comme un aquifère multicouche allant des argiles et calcaires d'Huberville et de Valognes (Hettangien) au Banc de Roc du Pliensbachien (Fig. 5).

Dans le cadre de la présente étude, **le toit de cet aquifère est, par conséquent, considéré comme le toit du Pliensbachien (ou mur du Toarcien) et son plancher comme le mur de l'Hettangien (ou toit du Trias).**

Au total, **ce système aquifère est décrit par 252 logs géologiques validés** (Fig. 9). Cependant, compte tenu d'une répartition très diffuse et du peu d'affleurements observés, le brgm attire l'attention sur l'incertitude probablement importante à attribuer aux rendus cartographiques. A ce titre, les limites de l'exercice et les difficultés rencontrées seront précisées dans le rapport final.

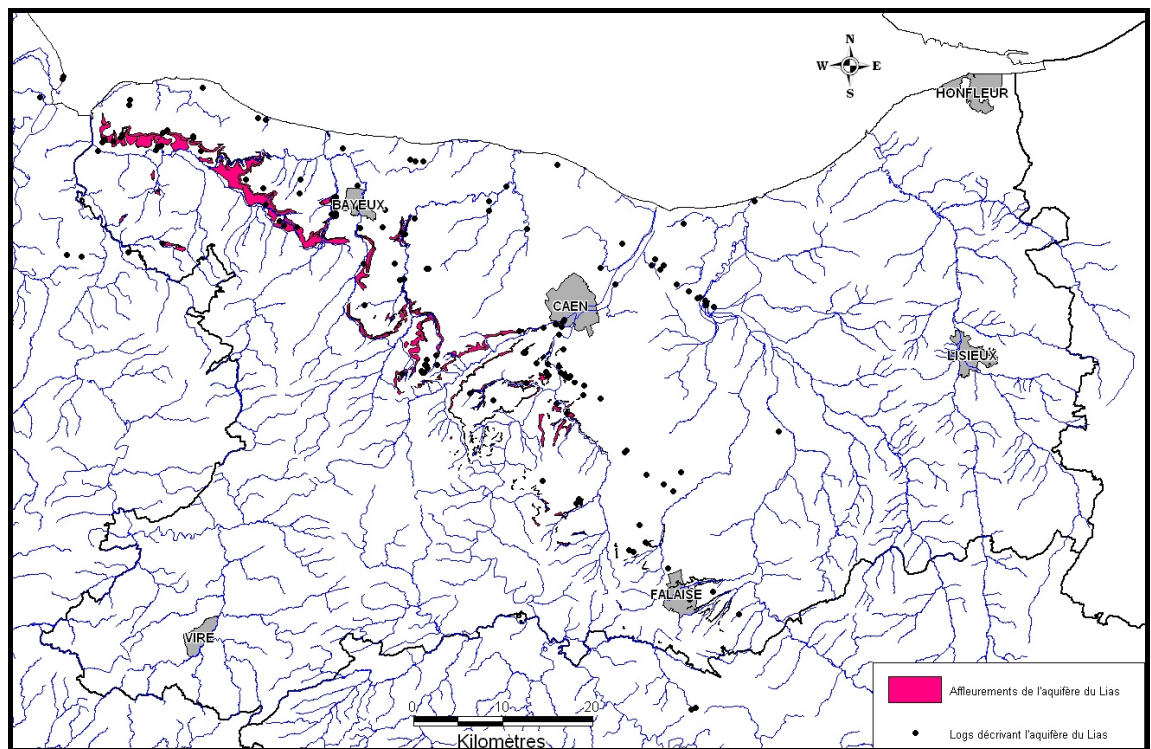


Fig. 9 – Répartition des logs validés décrivant l'aquifère multicouche du Lias.

3.3.4. Aquifères du Bajocien et du Bathonien

Aquifère du Bajocien :

Sous-jacent à celui du Bathonien, il est compris entre les argiles à poissons (Toarcien inférieur) et les marnes de Port-en-Bessin (ou équivalents latéraux : bancs bleus, couches de passage) du Bathonien inférieur. Cet aquifère est décrit par **362 logs validés** (Fig. 10).

Le toit de cet aquifère est retenu comme le toit stratigraphique du Bajocien (base des marnes du Bathonien inférieur lorsqu'elles existent) **et son plancher comme le toit des argiles à poissons** du Toarcien inférieur. Le tracé des isohypses du mur de cet aquifère s'annonce difficile car peu de logs décrivent les argiles à poissons au sens strict (seulement 88, Fig. 11). Il est, en effet, souvent procédé au regroupement "argiles à poissons et calcaires et marnes à ammonites". Aussi, une cartographie précise de cette formation n'est pas garantie et, il sera peut-être nécessaire de simplifier le modèle hydrogéologique en représentant le mur de l'aquifère par le mur du Toarcien. Des tests seront conduits en année 2.

Il est à signaler qu'au sud du département, les aquifères du Bathonien et du Bajocien ne pourront plus être individualisés, un des objectifs de ce travail sera, en effet, de préciser la limite d'extension des marnes du Bathonien inférieur (Fig. 12). Etant donné le rôle hydraulique important joué par ces formations, les isohypses de leurs toits et murs seront tracées à partir des 247 logs validés disponibles (Fig. 12).

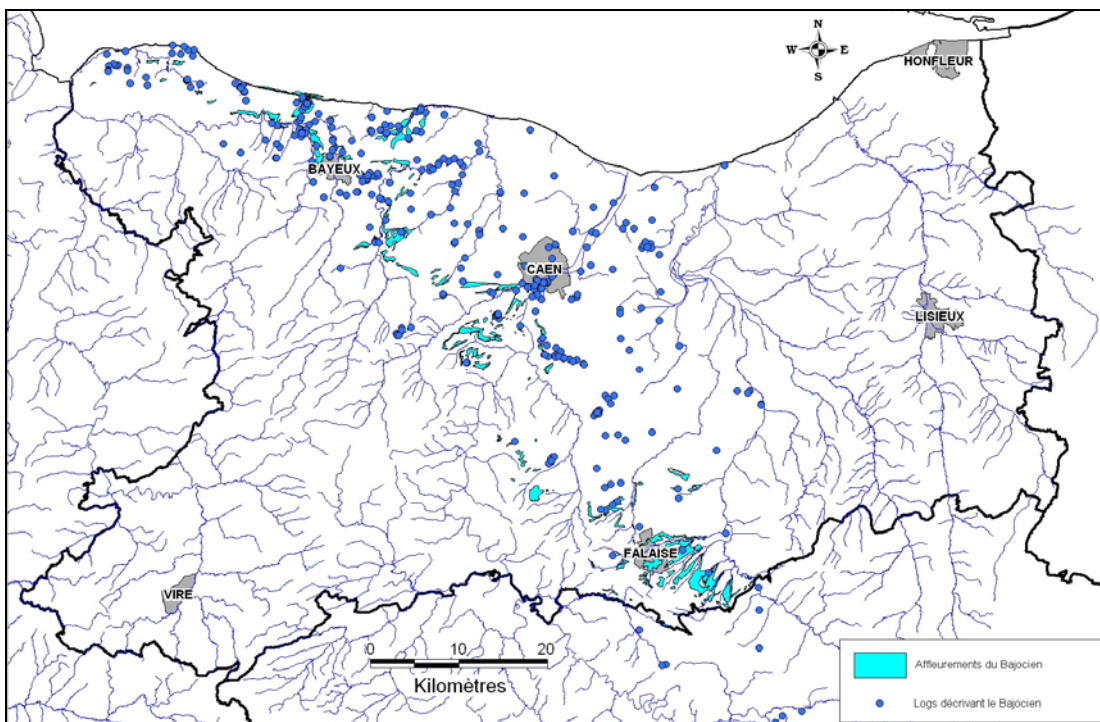


Fig. 10 – Répartition des logs validés décrivant l'aquifère du Bajocien.

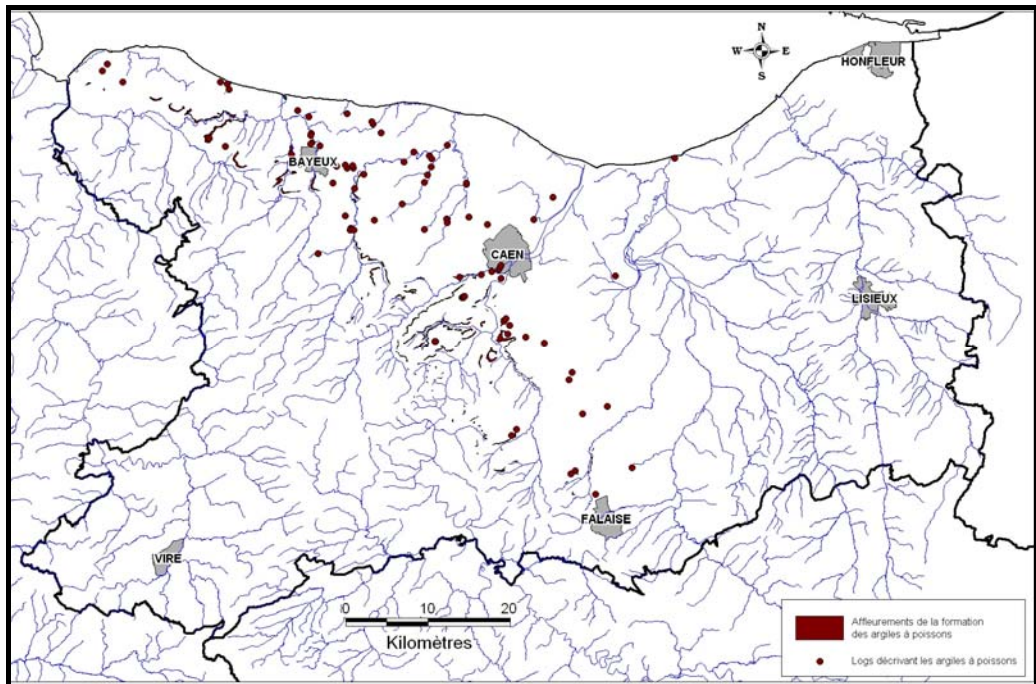


Fig. 11 – Répartition des logs validés décrivant la formation des argiles à poissons.

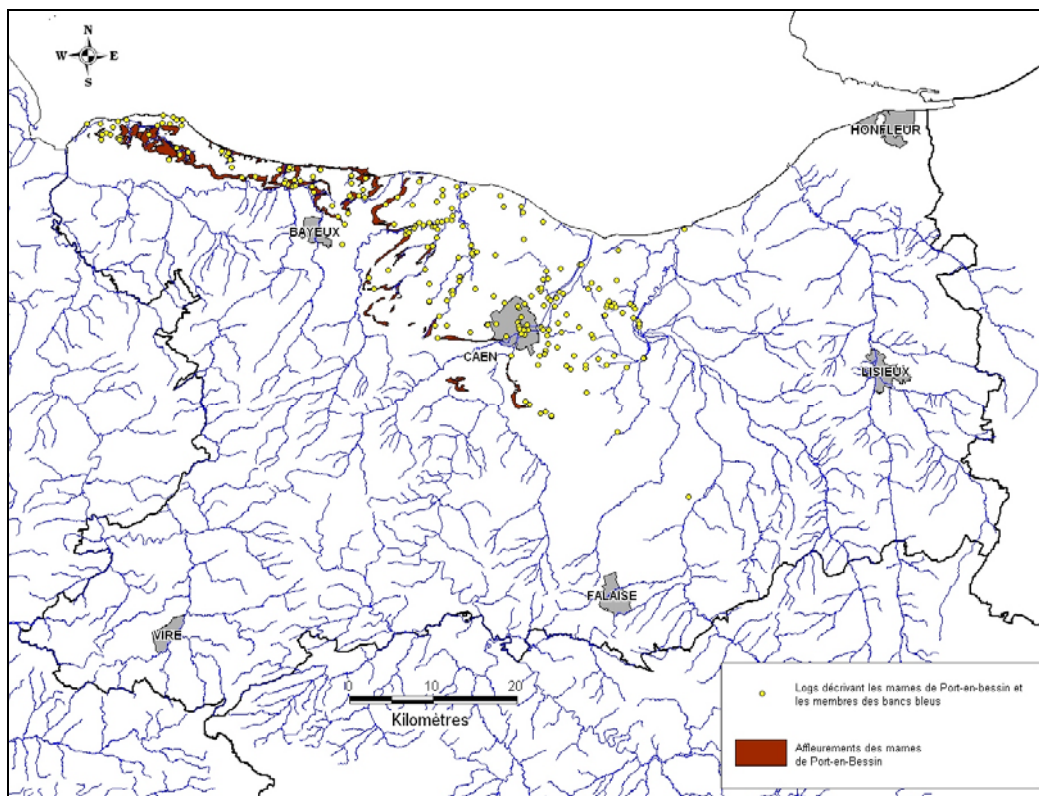


Fig. 12 – Répartition des logs validés décrivant les marnes du Bathonien inférieur.

Aquifère du Bathonien :

Au total, **786 logs validés** décrivent les formations du Bathonien (Fig. 13), principal aquifère du département. En revanche, une plus faible densité de logs est à noter dans le sud du Calvados et le nord de l'Orne. Les nombreux affleurements observés devraient cependant permettre d'obtenir des résultats satisfaisants.

Dans le cadre de nos travaux, **le toit de cet aquifère est défini comme le toit stratigraphique du Bathonien et son plancher comme le toit des marnes du Bathonien inférieur** (marnes de Port-en-Bessin et équivalents latéraux).

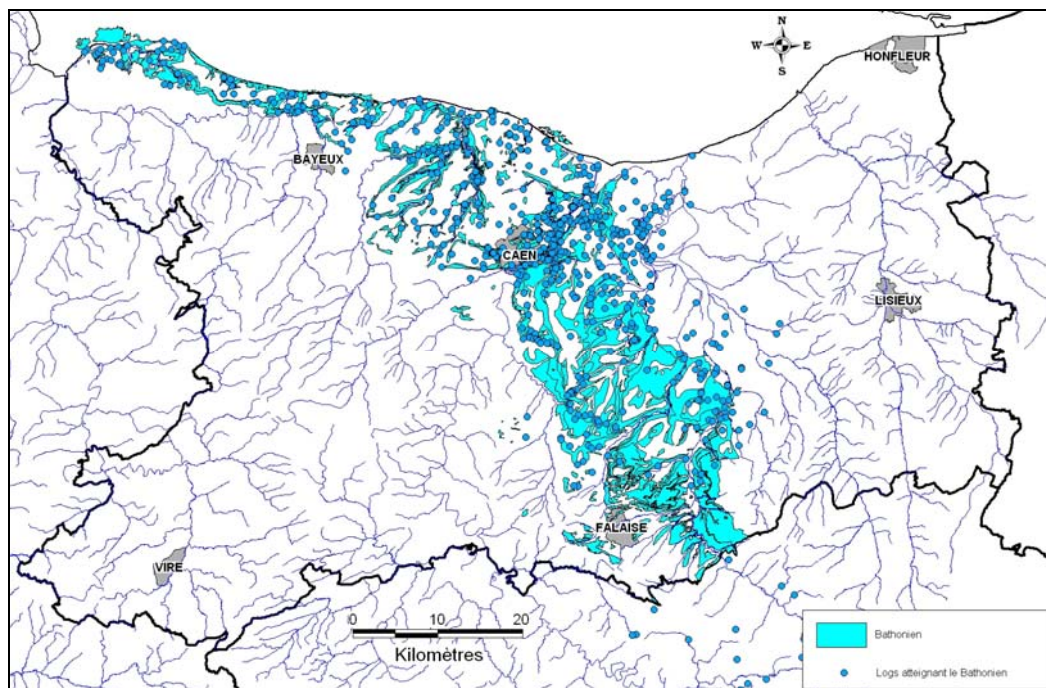


Fig. 13 – Répartition des logs validés décrivant l'aquifère du Bathonien

3.3.5. Marnes callovo-oxfordiennes

Les marnes callovo-oxfordiennes jouent un rôle hydrogéologique important à l'échelle du département : la nappe du Bathonien devient captive sous les marnes calloviennes et les marnes oxfordiennes (marnes de Villers) constituent le plancher de la nappe contenue dans les calcaires coralligènes de l'Oxfordien supérieur et moyen. Aussi, en année 2, leur extension ainsi que les isohypses des toits et murs de ce regroupement de formations marneuses seront cartographiées. Pour ce faire, **359 logs géologiques validés décrivant ces formations seront utilisés** (Fig. 14).

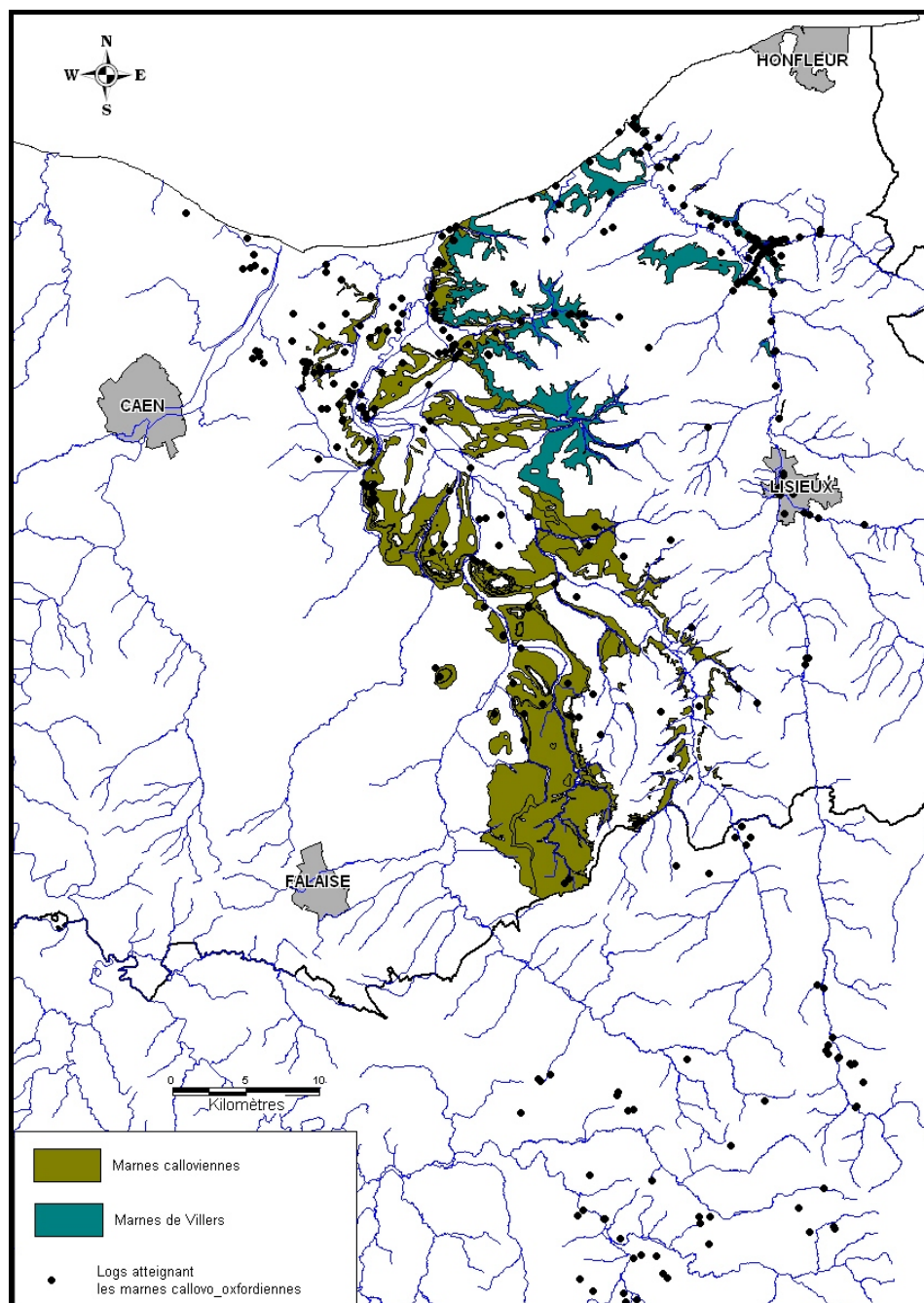


Fig. 14 – Répartition des logs validés décrivant les marnes callovo-oxfordiennes.

3.3.6. Aquifère de l'Oxfordien

Les formations aquifères de l'Oxfordien, très hétérogènes et compartimentées, sont composées des sables de Glos (Oxfordien supérieur) et surtout des calcaires coralliens (Oxfordien moyen à supérieur). Les travaux de cartographie seront réalisés sur la base de ce regroupement de formations qui est décrit par **424 logs validés** (Fig. 15).

Dans le sud du département, il n'y a quasiment aucune donnée. Dans ce secteur, les calcaires oxfordiens sont en effet, très peu connus ; l'expertise de l'Université permettra peut-être de lever certaines incertitudes. Pour le reste du département, les données sont principalement concentrées en fond de vallée de la Touques (affleurements), ce qui ne facilite pas non plus l'interpolation d'isohypses.

Encore une fois, les limites et difficultés rencontrées devront être explicitées clairement dans le rapport final (fortes incertitudes à attendre sur les résultats).

3.3.7. Aquifère du Cénomaniens

Au total, **261 logs validés** décrivent l'aquifère de la craie cénomaniens (Fig. 16). Cela représente une faible quantité de données compte tenu de la superficie de l'aquifère, mais plusieurs éléments complémentaires devraient permettre une modélisation satisfaisante : carte géologique numérique (densification de points), résultats de l'atlas hydrogéologique de l'Eure pour l'harmonisation aux frontières et travaux menés sur le bassin de Paris.

Le toit de l'aquifère est ici défini comme le toit de l'étage du Cénomaniens ou celui du Turonien pour les quelques logs concernés. Son substratum est défini comme le toit de la glauconie de base (Albien supérieur à Cénomaniens inférieur) ou des argiles du Gault. Ces dernières formations sont décrites par **168 logs validés**.

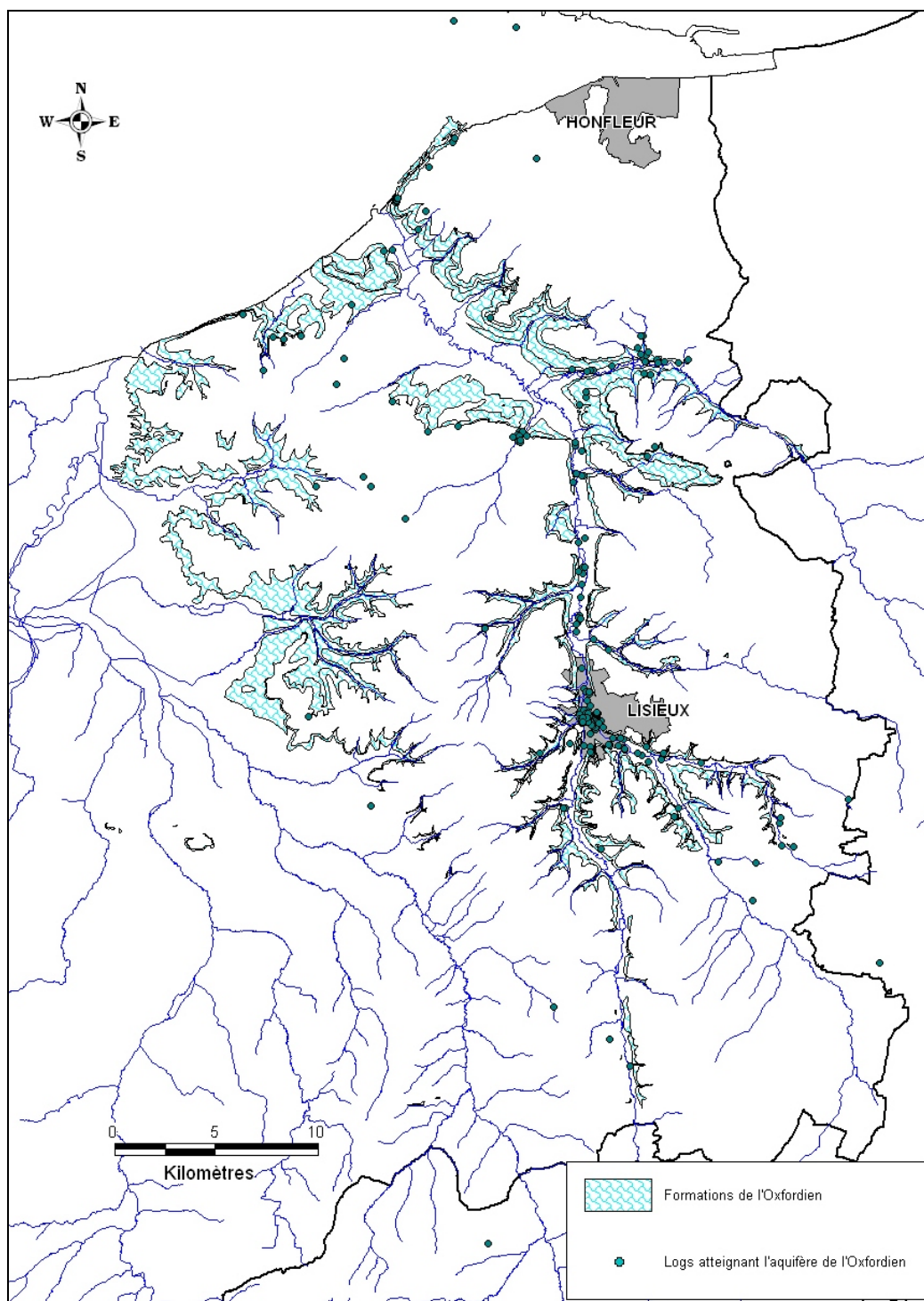


Fig. 15 – Répartition des logs validés décrivant l'aquifère de l'Oxfordien.

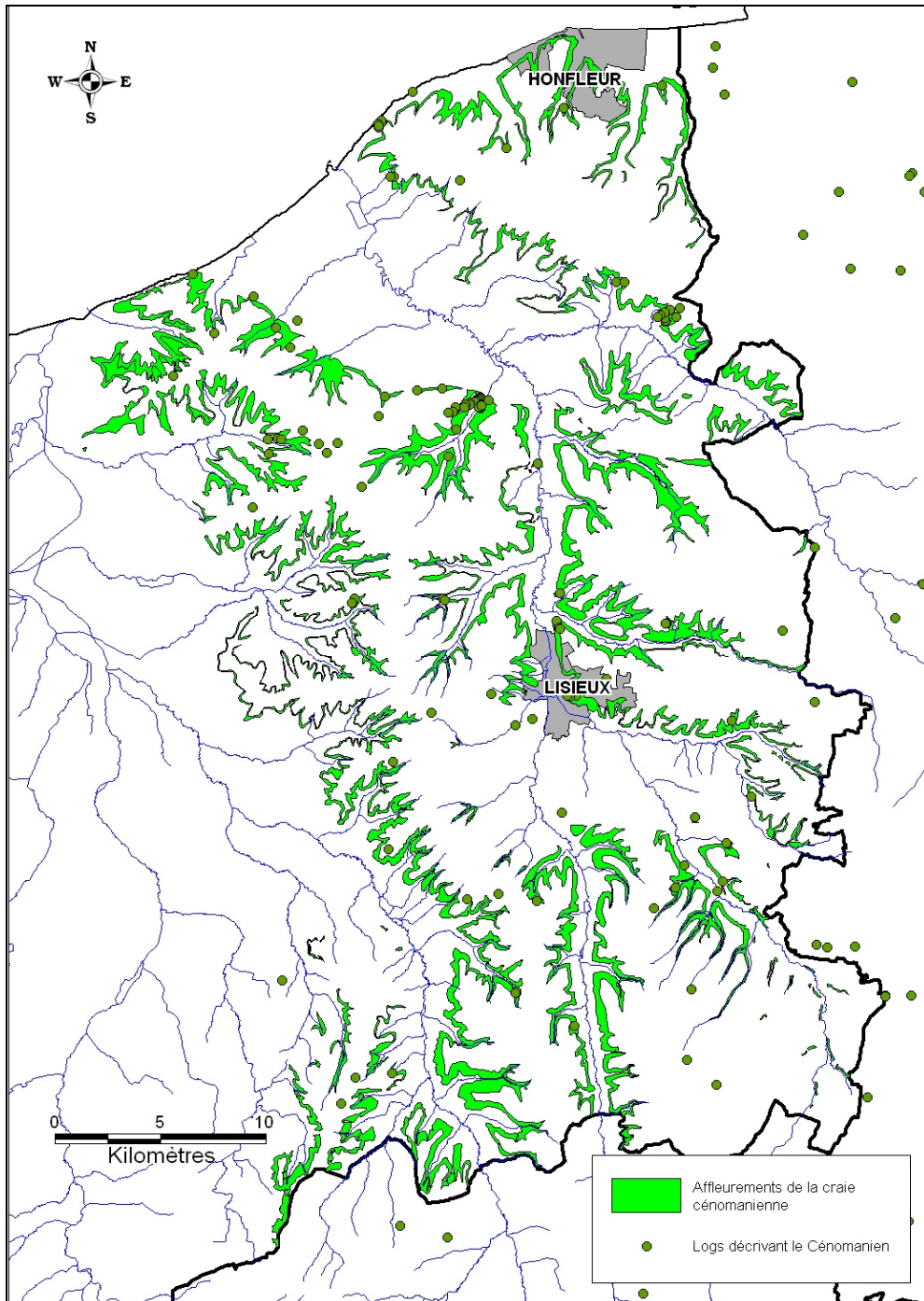


Fig. 16 – Répartition des logs validés décrivant l'aquifère crayeux.

3.3.8. Aquifères alluviaux

En ce qui concerne les alluvions, la modélisation géométrique n'est envisageable que sur deux secteurs : vallées de l'Orne aval (à partir de l'agglomération caennaise) et de la Touques aval (à partir de Lisieux) (Fig. 17). La densité de logs disponibles y reste cependant très faible. Des tests, sans garantie de résultats pertinents, seront menés en année 2.

Lors de la réunion de clôture, les membres du comité de pilotage ont mentionné l'existence d'études réalisées par l'agglomération caennaise sur la nappe des alluvions de l'Orne. Le brgm tentera, par conséquent, de faire la synthèse de ces nouveaux éléments. En revanche, les nouveaux logs géologiques éventuellement recensés ne pourront intégrer la base de données ; ceux-ci seront enregistrés en BSS pour une mise à jour ultérieure.

3.3.9. Récapitulatif

Les livrables numériques à la fin de l'année 2 seront finalement constitués :

- d'une couche numérique avec la localisation des logs géologiques retenus pour la modélisation géométrique des aquifères sédimentaires du Calvados. La base de données des logs validés « bruts » (consultable sur Internet via InfoTerre) ne sera pas remise. En revanche, les logs codés selon le modèle géologique retenu pour la cartographie feront partie des livrables ;
- de la base de données complémentaire relative aux aquifères de socle ;
- de 8 cartes d'extension pour les aquifères du Trias, du Lias, du Bajocien, du Bathonien, de l'Oxfordien, du Cénomaniens ainsi que pour les horizons imperméables des marnes du Bathonien inférieur et des marnes callovo-oxfordiennes ;
- de 16 cartes d'isohypses des toits et murs des entités hydrogéologiques précédentes ;
- de 6 cartes d'isohypses (toit et mur), à titre de test, pour les alluvions de l'Orne et de la Touques, les argiles à poissons ainsi que pour les altérites du socle.

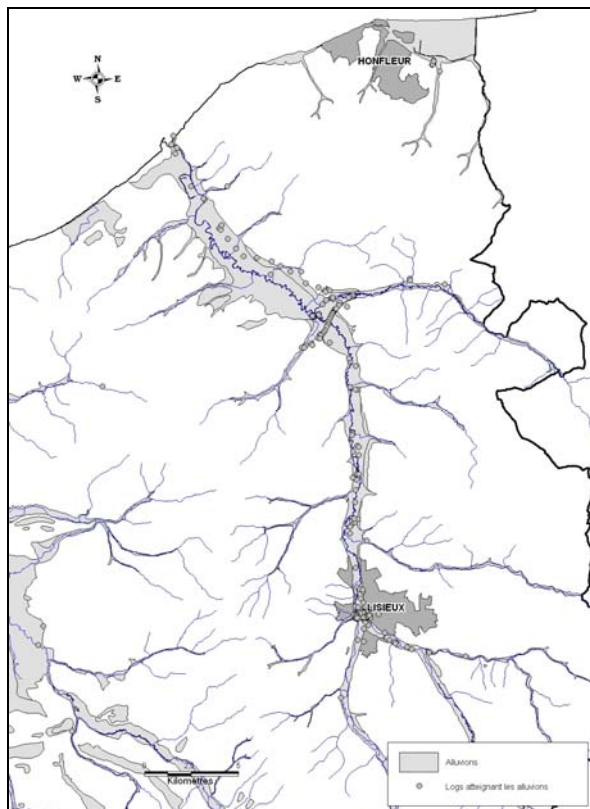
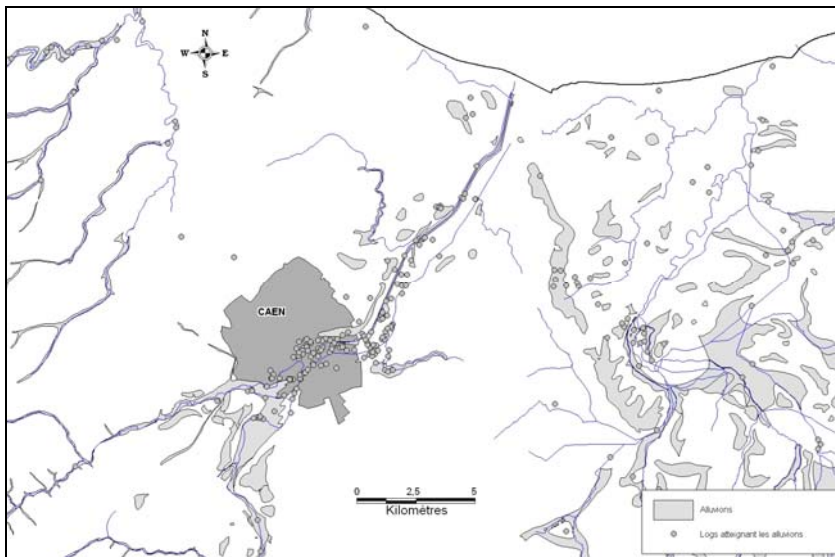


Fig. 17 – Répartition des logs validés décrivant des formations alluvionnaires sur l'Orne aval et la Touques aval.

4. Données piézométriques

Des cartes piézométriques "hautes eaux", "moyennes eaux" et "basses eaux" seront établies pour les aquifères de la craie cénomanienne, des calcaires du Bajocien et du Bathonien. Les données de base disponibles pour les autres aquifères ne sont, en effet, pas suffisantes pour envisager le tracé de telles cartes. Il est à noter qu'en domaine de socle, une carte "moyennes eaux" a été réalisée par la DIREN Basse-Normandie, celle-ci pourra, par conséquent, être intégrée à l'atlas hydrogéologique numérique du Calvados.

4.1. COLLECTE DES DONNEES

4.1.1. Données issues de la BSS

La quasi-totalité des données est issue de la BSS, avec pour le département du Calvados :

- 1 106 dossiers correspondant à des sources ;
- 6 132 dossiers disposant d'au moins une mesure de niveau piézométrique ;
- 76 dossiers disposant d'une chronique piézométrique (mesures régulières sur une durée minimale d'un an).

4.1.2. Données complémentaires

Conseil Général du Calvados :

En complément de la BSS, le Conseil Général du Calvados a mis à disposition du brgm les documents suivants :

- relevés piézométriques sur des forages d'irrigation dans la vallée de la Dives en période hivernale de 1992 à 1994. Cette enquête concernait 4 ouvrages référencés en BSS et 4 ouvrages inconnus pour lesquels de nouveaux dossiers ont été créés ;
- relevés piézométriques réalisés par le bureau d'étude Géotherma en 1997 dans le cadre d'une étude sur la ressource en eau souterraine du Permo-Trias. Cette étude a permis d'instruire 45 nouveaux dossiers en BSS.

DIREN Basse-Normandie :

Les relevés piézométriques réalisés par la DIREN au printemps 2001 (situation de très hautes eaux) ont été mis à disposition du brgm. Il s'agit à la fois de relevés de terrain et d'affleurements mis en évidence sur photographie aérienne. Les données se répartissent de la façon suivante :

- 1 233 mesures de niveau piézométrique sur puits ou forages ;
- 503 résurgences ;
- 2 531 points d'affleurements, dont 1 597 observés par survol aérien le 3 avril 2001.

Ces données géoréférencées couvrent essentiellement les masses d'eau souterraine 3402 (Trias) et 3308 (Bajo-Bathonien) (Cf. Fig. 18).

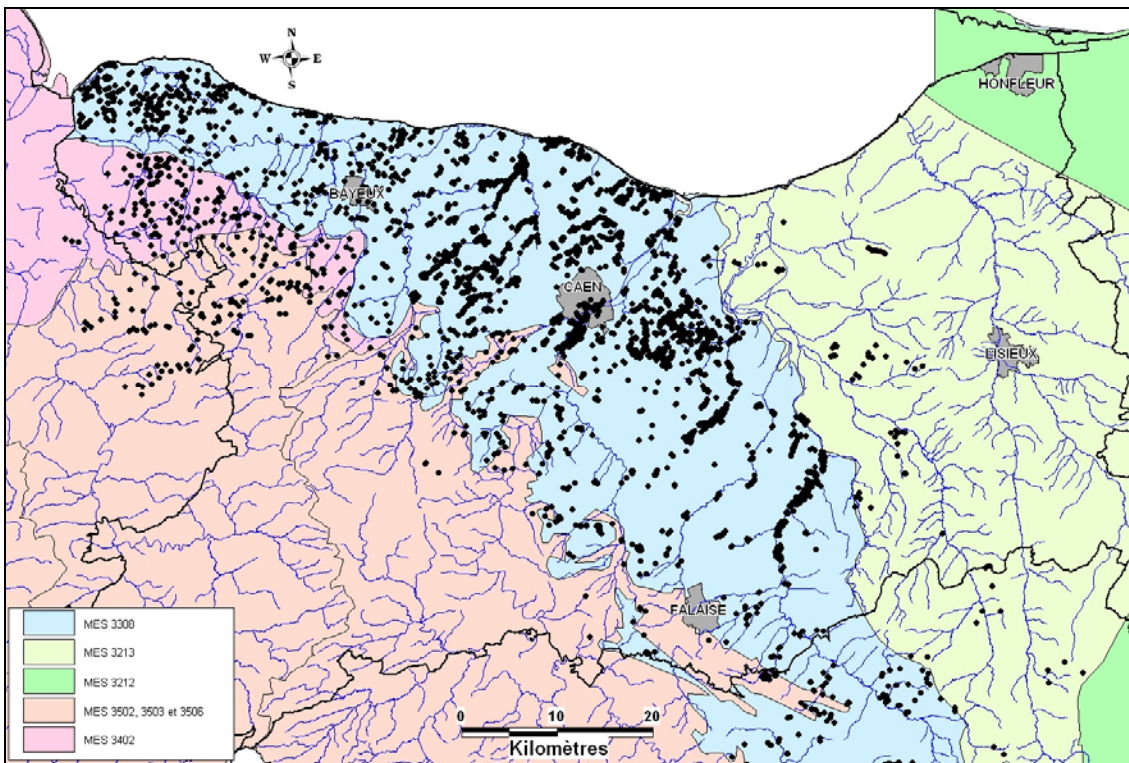


Fig. 18 – Répartition des données piézométriques relevées par la DIREN Basse-Normandie (printemps 2001).

Pour les puits et forages mesurés, aucun recoupement avec les ouvrages de la BSS ne semble possible. Il n'est donc pas envisageable de remonter à leur profondeur et donc au niveau aquifère capté. L'exploitation de ces données devra, par conséquent, se faire avec beaucoup de précaution dans le but de ne pas prendre en compte les mesures relatives aux nappes perchées (loess, argiles à silex, ...). L'objectif de ce

travail était de faire une cartographie de sensibilité aux remontées de nappe, ce qui diffère des objectifs de l'Atlas. La cartographie obtenue par la DIREN pourra cependant être intégrée au S.I.G. de l'Atlas de façon indépendante.

4.2. ATTRIBUTION DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES

Dans un premier temps, les coordonnées X, Y et Z ont été contrôlées et corrigées si nécessaire comme présenté précédemment (§ 3.2.2).

Ensuite, le principal travail a consisté à attribuer un aquifère à chaque niveau piézométrique en recoupant les informations contenues dans le dossier BSS (profondeur de l'ouvrage, profondeur du niveau d'eau mesuré, commentaires sur la nappe captée...), les coupes des logs géologiques validés et la carte géologique harmonisée du Calvados. La même opération a été réalisée pour les sources référencées en BSS. Cette analyse a permis de dégager plusieurs cas de figure :

- un seul aquifère est capté ;
- plusieurs aquifères semblent être captés : un retour au dossier papier est alors indispensable pour en savoir plus ;
- l'aquifère capté correspond à une nappe perchée (dans les argiles à silex ou les limons de plateaux par exemple).

Les ouvrages concernés par les deux derniers cas de figure ont bien entendu été écartés de la sélection finale. De la même manière, toutes les valeurs douteuses ou aberrantes ont été éliminées du jeu de données.

4.3. BILAN ET PERSPECTIVES

4.3.1. Elaboration des cartes piézométriques : aperçus méthodologiques

La mesure des points a été effectuée suite à leur inventaire ou lors de leur création et correspond donc à différentes situations hydrogéologiques (variations saisonnières et interannuelles). Il est donc bien rappelé qu'il ne s'agira en aucun cas de cartes piézométriques synchrones, les seules permettant de déterminer, en toute rigueur, les gradients hydrauliques et les trajectoires d'écoulement. Les données disponibles en BSS sur une même période ne sont *a priori* pas suffisantes pour dresser une carte synchrone. Les résultats cartographiques, établis à partir de valeurs asynchrones, devront, par conséquent, être utilisés avec précaution.

Densification des points de calcul :

Dans le but de densifier le réseau de points de calcul, différentes approches seront mises en œuvre :

- approches statistiques pour tenter de mettre en évidence des relations entre les niveaux piézométriques et différents paramètres géomorphologiques (cote

altimétrique, distance au cours d'eau, etc...). Si des corrélations apparaissent, des points virtuels pourront être ajoutés au jeu de données initial ;

- identification de zones à comportement homogène par l'analyse des porosités et des types de fluctuations rencontrés (dans la mesure des données disponibles) ;
- étude des relations nappe-rivière : pour les cours d'eau drainant, des points de contraintes pourront être ajoutés au niveau du fond des lits mineurs ;
- prise en compte des résultats de l'atlas hydrogéologique numérique de l'Eure (brgm, 2004). Ces données permettront, en outre, d'harmoniser les résultats aux frontières départementales.

Cartes piézométriques de "moyennes eaux" :

Les cartes de "moyennes eaux" seront élaborées à partir de l'ensemble des points de mesure rattachés aux aquifères ciblés. Les niveaux piézométriques exploités seront exprimés en profondeur par rapport à la surface du sol (corrections à faire pour les niveaux mesurés à partir d'un repère dont la cote altimétrique est différente de celle du sol). Pour chaque point de mesure, la cote du sol sera prise égale à celle du MNT au pas de 20 mètres. Les valeurs moyennes des chroniques piézométriques disponibles serviront de points de contrôle de la carte piézométrique des niveaux moyens. Pour les sources identifiées comme exutoire pérenne des aquifères, le niveau piézométrique retenu correspondra à la cote altimétrique du sol fourni par le MNT au pas de 20 mètres.

Au vu de ces commentaires, le qualificatif de "moyennes eaux" sera à modérer en fonction de la distribution des années de mesure. L'incertitude liée au MNT se répercutera également sur la précision des résultats.

En complément des données piézométriques, les éléments structuraux (carte géologique harmonisée) devront être pris en compte pour éventuellement mettre en relief des discontinuités piézométriques (ne pas se limiter à des interpolations automatiques).

Cartes piézométriques de "hautes eaux" et de "basses eaux" :

En fonction des données disponibles, plusieurs méthodes sont envisageables, sachant que le maximum de données relatives à une même année de référence (ex : 2001 pour une situation de très hautes eaux) devra toujours être recherché. Les données relatives à une année pourront être complétées par des données obtenues pour des années similaires en recharge (examen de chroniques piézométriques).

Dans certains cas, un calcul plus théorique pourra être réalisé à partir des battements obtenus entre la carte "moyennes eaux" et la carte "hautes eaux" ou "basses eaux" (sous réserve qu'au moins un des 2 états ait pu être cartographié au préalable). Par exemple, à partir du battement obtenu pour les hautes eaux, on peut définir les basses eaux après avoir appliqué un coefficient de proportionnalité au battement (fonction de la capacité d'infiltration).

Les cartes ainsi obtenues devront bien sûr faire l'objet de prudentes interprétations et les limites du travail seront clairement explicitées au niveau du rapport final.

Vérifications :

Après tracé de la carte piézométrique, il est nécessaire de s'assurer que :

- la surface piézométrique ne dépasse pas la surface du sol (MNT) ;
- la surface piézométrique est cohérente avec la géométrie de l'aquifère concerné ;
- les discontinuités piézométriques, les dômes ou dépressions peuvent s'expliquer ;
- la surface piézométrique représente bien les points de mesure expérimentaux et plus particulièrement ceux déduits de l'analyse des chroniques piézométriques. On différenciera l'analyse des écarts par type de données (mesures ponctuelles, chroniques, sources, points virtuels, ...). Les points anormaux, ainsi mis en évidence, feront l'objet d'une analyse spécifique.

Outils informatiques :

Les cartes piézométriques seront élaborées à l'aide des logiciels GDM (brgm) et ArcView©. Les méthodes d'interpolation utilisées seront détaillées lors de la phase 2. Des retouches manuelles seront effectuées si nécessaires.

4.3.2. Aquifères du Dogger

Les données piézométriques collectées et traitées pour ces aquifères se répartissent de la façon suivante (hors données DIREN) :

Type de données	Aquifère du Bathonien	Aquifère du Bajocien	Aquifère du Dogger indifférencié
Relevés ponctuels	2 113	414	116
Sources	~ 90	~ 15	/
Chroniques	54	13	1

Tabl. 4 – Synthèse des données piézométriques disponibles pour les aquifères du Dogger (hors données DIREN).

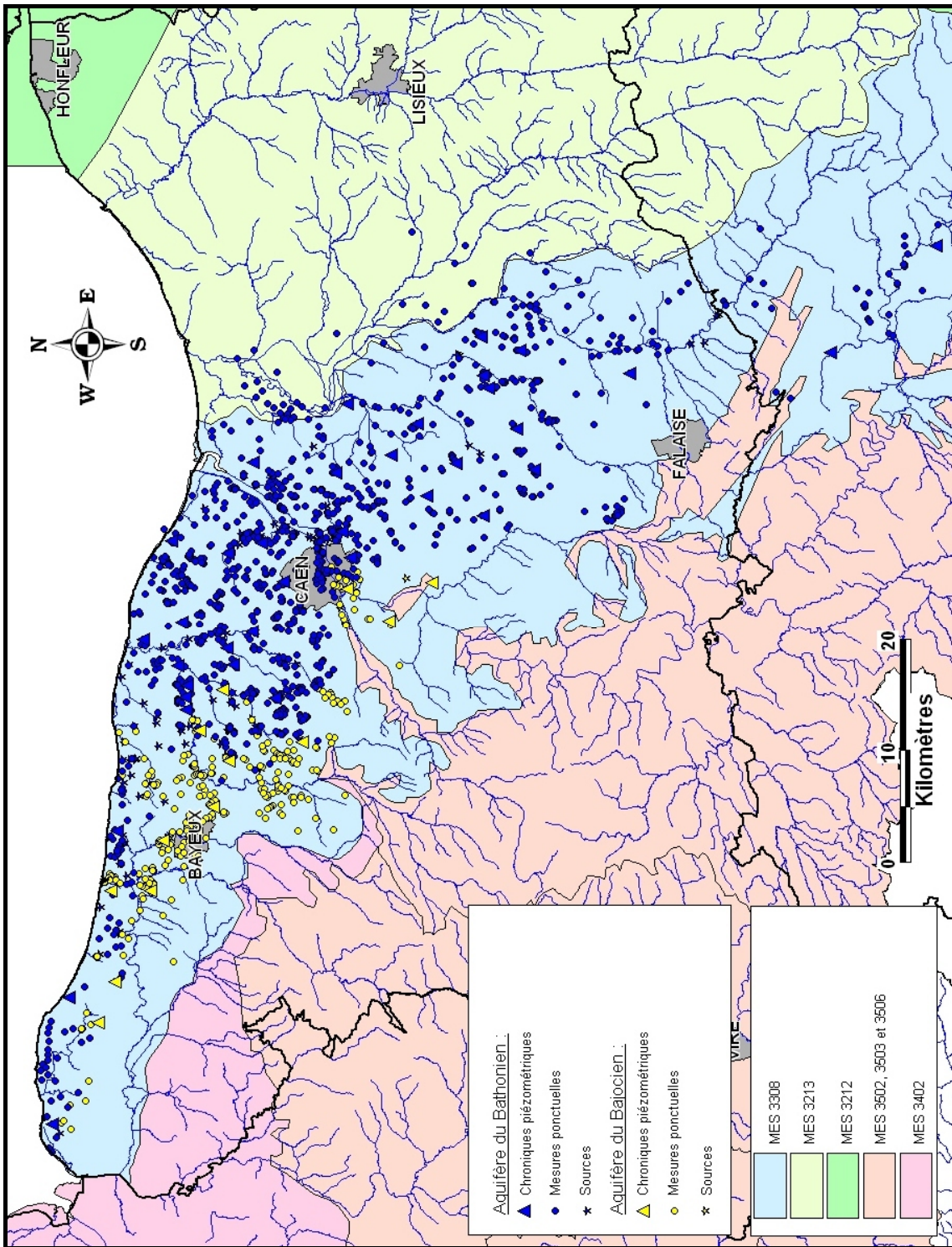


Fig. 19 – Répartition des données piézométriques disponibles pour les aquifères du Dogger.

La densité des points de mesure apparaît satisfaisante excepté dans l'extrême sud du département où peu d'ouvrages sont recensés en BSS. Ce secteur est également dépourvu de piézomètres de surveillance en fonctionnement (recherche en cours).

La grande majorité des chroniques piézométriques collectées couvrent la période 1974-1978. Dans le Calvados, les réseaux piézométriques ont, en effet, été fortement développés à partir de 1974. Le suivi de cette période en de nombreux points devrait permettre de comparer les fluctuations piézométriques d'un secteur à l'autre et, éventuellement, de dégager des zones à fonctionnement homogène.

Comme illustré par la Fig. 20, les mesures ponctuelles, recensées en BSS, sont concentrées sur quelques années : 1965, 1966, 1974 et 1975 pour l'aquifère du Bathonien et 1966 pour le Bajocien. Les années 1965 et 1966 ont, en effet, été l'objet d'inventaires de points d'eau pour enrichir la BSS dans le Calvados.

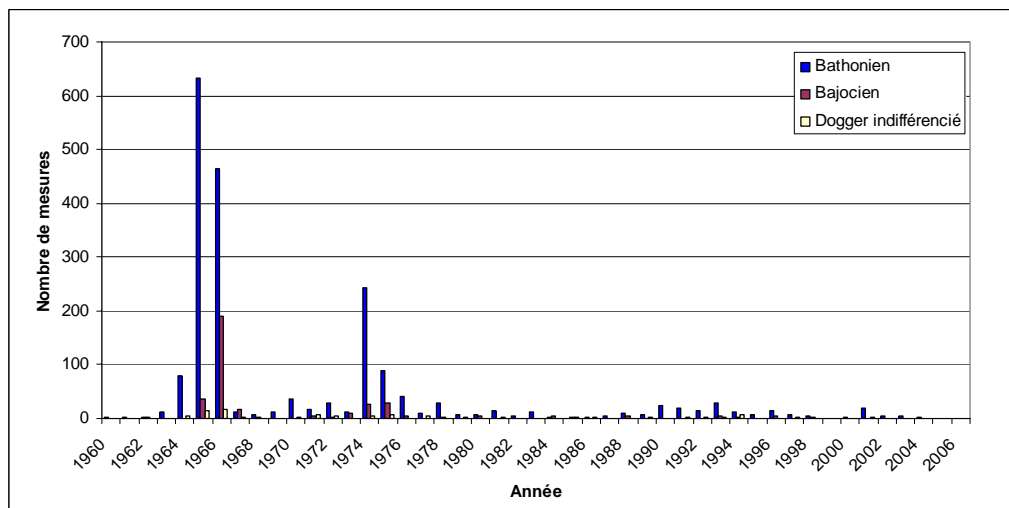


Fig. 20 – Graphique de distribution des relevés piézométriques par année pour les aquifères du Dogger.

L'année 1966 correspond à une année de hautes eaux, mais de façon beaucoup moins marquée que pour l'année 2001 (Fig. 21). En revanche, l'année 1974 correspond à une année de très basses eaux (vidange des aquifères de 1967 à 1974).

Par conséquent, au vu de cette distribution, la carte calculée des moyennes eaux risque d'être quelque peu surévaluée, et plus particulièrement pour le Bajocien libre (essentiellement représenté par des mesures de 1966).

Les cartes de basses eaux et de hautes eaux pourront être calées à partir des relevés de 1966 (hautes eaux) et de 1974 (basses eaux). Les cartes ne pourront cependant pas être réalisées à partir de ces seules mesures au vu de leur répartition géographique (Fig. 22). Des mesures faites sur d'autres années de référence devront,

en effet, être exploitées : 1992 et 1993 pour les basses eaux, 1967, 1982-83, 1988, 1995 et 2001-02 pour les hautes eaux.

Il apparaît donc clairement que les cartes piézométriques résultantes ne seront pas issues de valeurs synchrones. Aussi, les années de mesure utilisées et les méthodes statistiques employées devront être bien précisées.

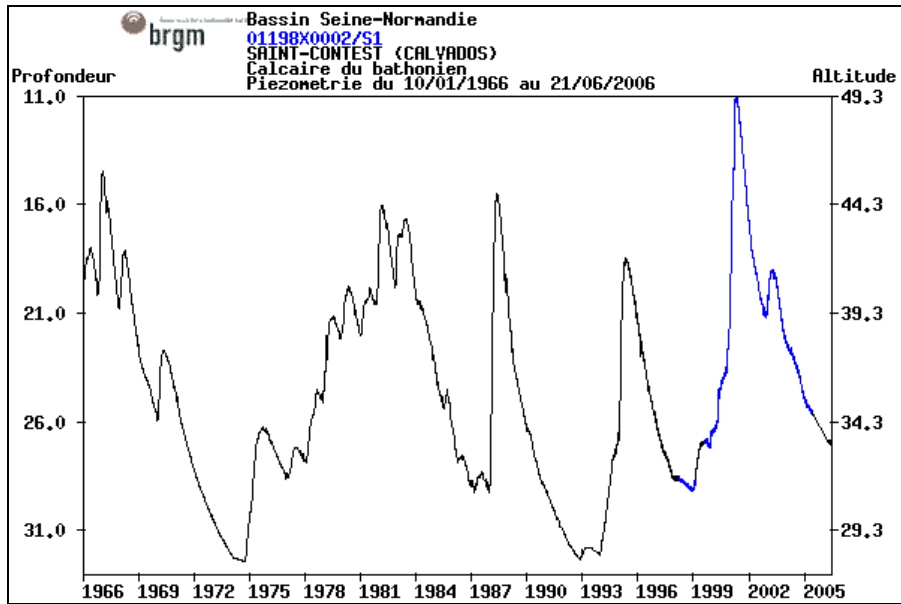


Fig. 21 – Chronique piézométrique enregistrée au droit de l'ouvrage de St-Contest (1966-2006).

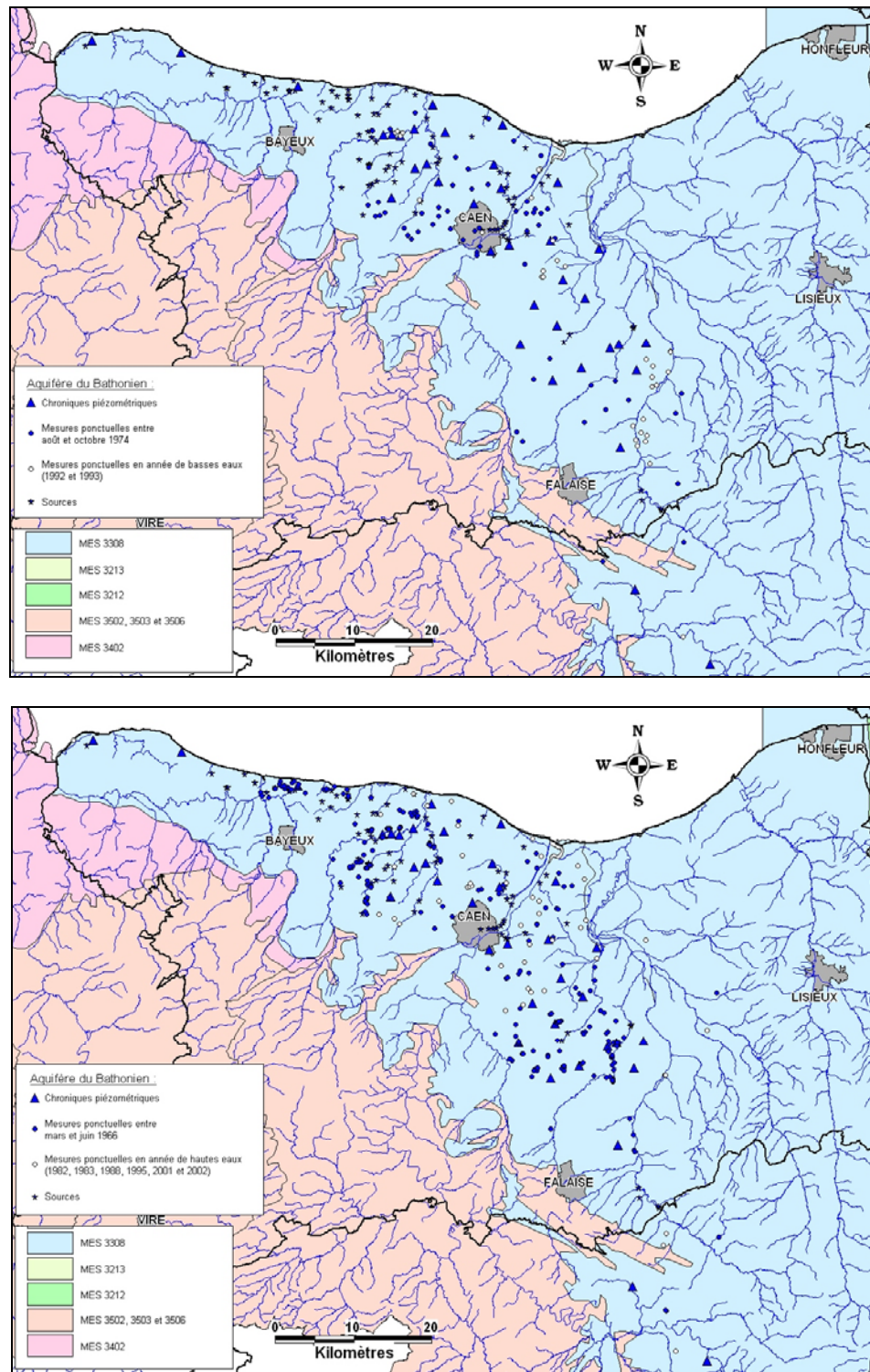


Fig. 22 – Données piézométriques disponibles pour caractériser les années de basses eaux (a) et de hautes eaux (b) de l'aquifère du Bathonien.

4.3.3. Aquifère de la craie cénomanienne

Au total, **environ 600 niveaux d'eau ponctuels et 500 sources** ont été recensés pour cet aquifère ainsi que **20 chroniques piézométriques** (6 d'une durée de l'ordre de 30 ans et 14 d'une durée de 1 à 5 ans). La Fig. 23 présente la répartition de ces données piézométriques.

La répartition des points de mesure est très hétérogène : densité convenable sur les cartes géologiques du Havre (n°97) et de Lisieux (n°121) et densité beaucoup plus faible sur la carte géologique de Livarot (n°147) au sud du département. Contrairement aux coupures du Havre et de Lisieux, celle de Livarot n'a pas fait l'objet d'une synthèse géologique et hydrogéologique par le passé (travaux d'acquisition menés par le brgm en 1970), ce qui peut expliquer la disparité observée au niveau de la répartition des points de mesure.

Comme pour les aquifères du Dogger, la quasi-totalité des chroniques piézométriques déstockées couvrent la période 1974-1978.

En complément de ces données, il est rappelé que les courbes isopièzes calculées dans le cadre de l'atlas hydrogéologique numérique de l'Eure seront exploitées pour consolider notre modèle et harmoniser les cartes piézométriques à la frontière départementale.

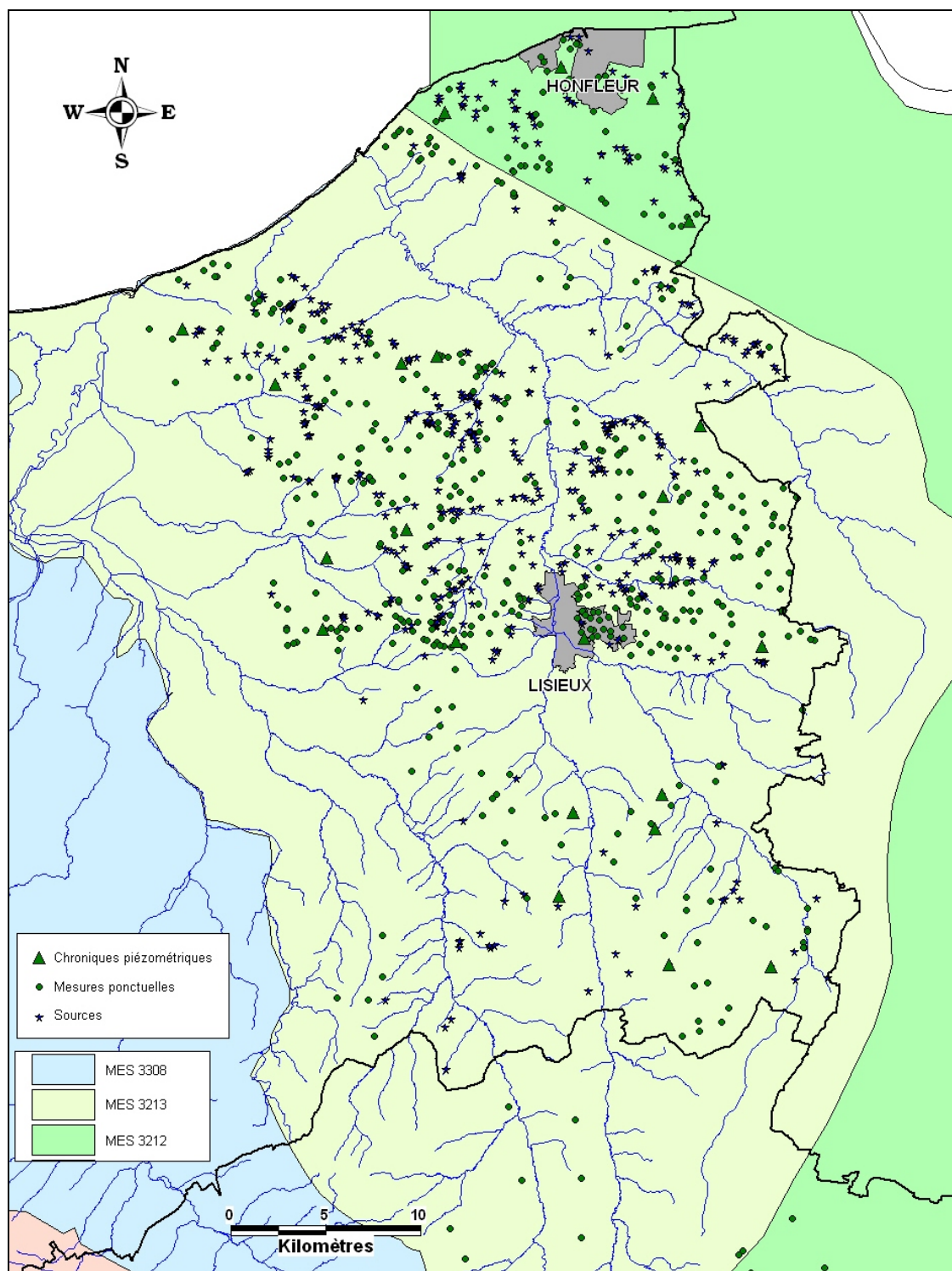


Fig. 23 – Répartition des données piézométriques disponibles pour l'aquifère crayeux.

La Fig. 24 présente la répartition des relevés piézométriques disponibles en fonction des années de mesure.

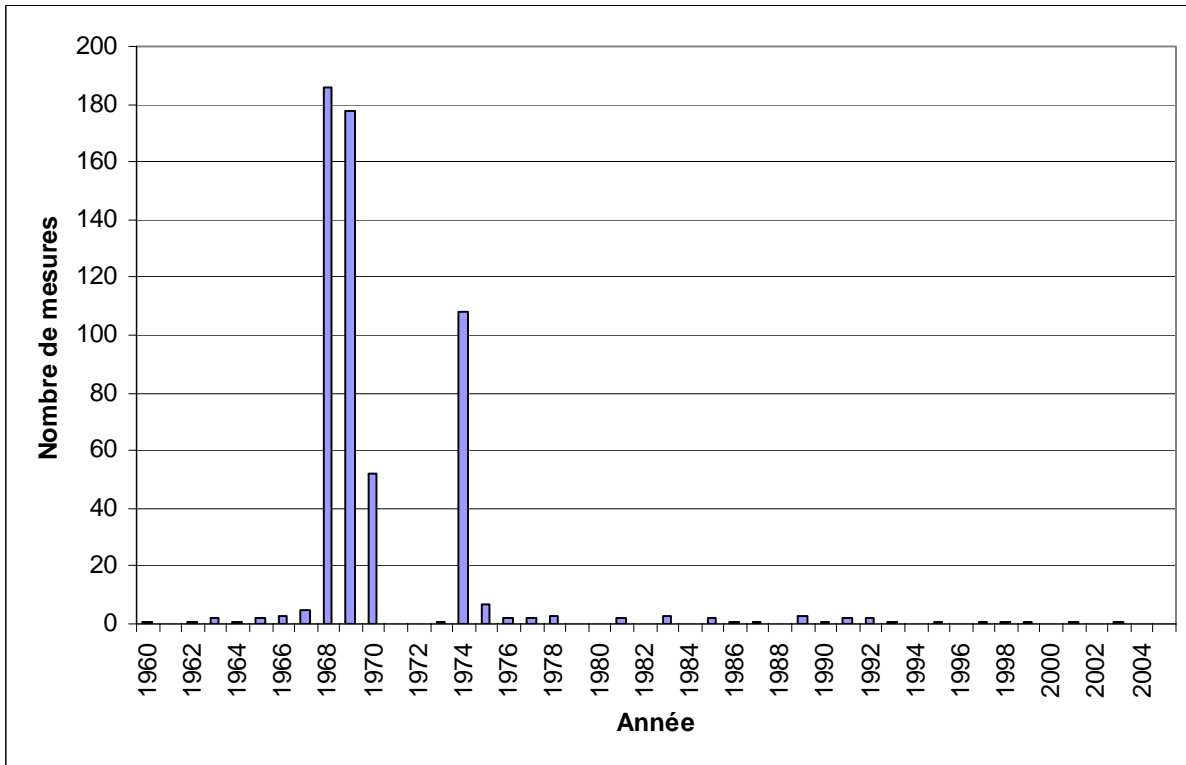


Fig. 24 – Graphique de distribution des relevés piézométriques par année pour l'aquifère crayeux.

Les données issues de la BSS sont là aussi concentrées sur quelques années : 1968, 1969, 1970 et 1974. L'année 1968, pouvant être rapprochée de l'année 1966, correspond à une année de hautes eaux tandis que 1974 correspond à une année de très basses eaux.

Compte tenu de la répartition des données, la carte calculée des moyennes eaux pourrait donc effectivement s'annoncer représentative d'un état moyen.

En revanche, très peu de données en année de hautes eaux sont disponibles en BSS, les plus hautes eaux disponibles correspondent à la période juillet-août 1968 qui ne correspond pas à des niveaux de référence. Aucune donnée n'est non plus disponible pour cet aquifère au niveau des données 2001 collectées par la DIREN Basse-Normandie. La carte des hautes eaux extrapolée (par exemple à l'aide des battements connus) ne pourra donc avoir une représentativité que très limitée.

Même si la situation est légèrement plus favorable pour représenter une carte de basses eaux (Fig. 25), le jeu de données disponible est également loin d'être suffisant.

Pour cet aquifère, les cartes de basses eaux et de hautes eaux devront donc être interpolées à partir d'une analyse statistique sur les battements.

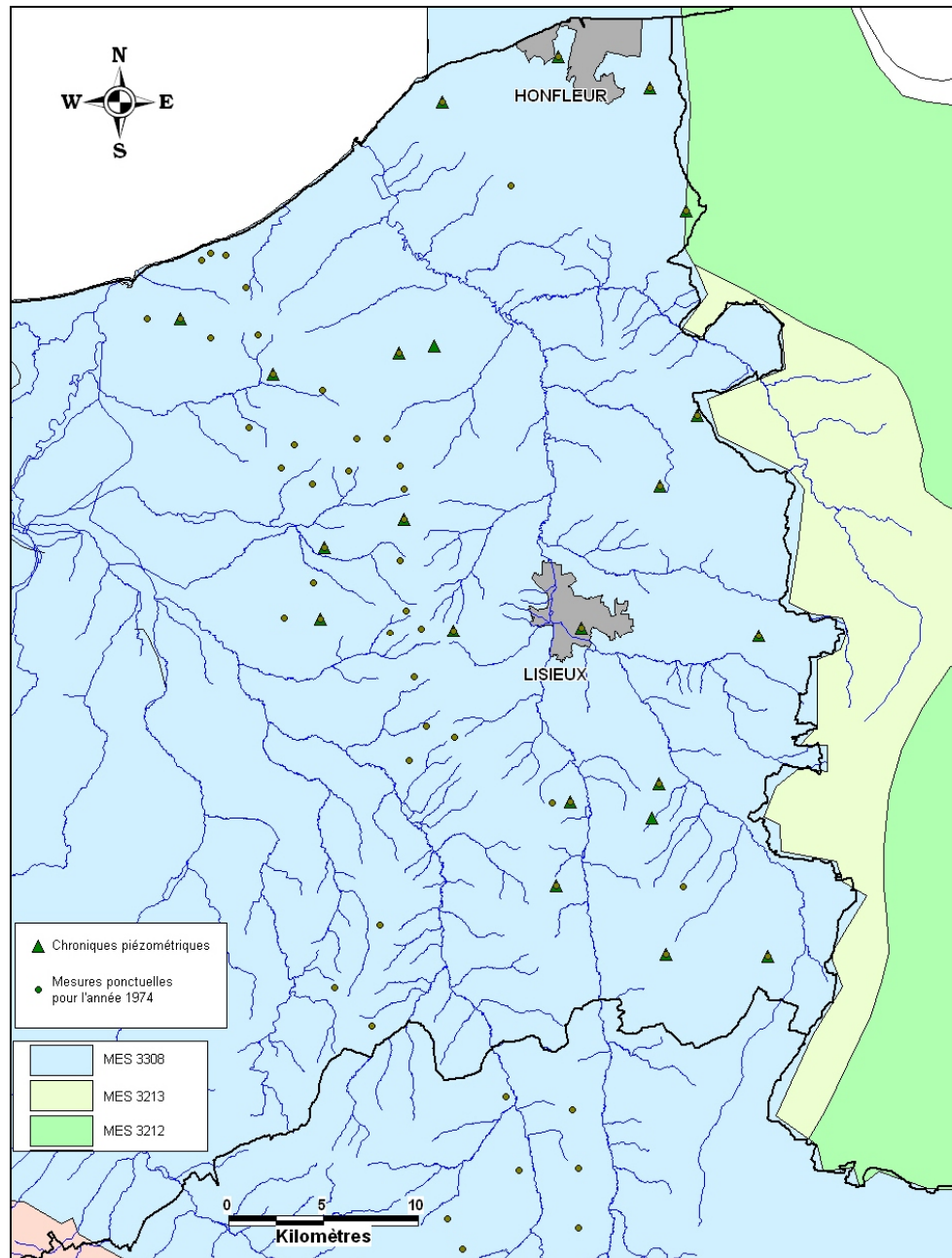


Fig. 25 – Données piézométriques disponibles pour caractériser les années de basses eaux de l'aquifère crayeux.

4.3.4. Les autres aquifères

Aquifères de socle :

L'approche méthodologique proposée pour traiter ces aquifères a été détaillée précédemment (§ 3.3.1).

Par ailleurs, compte tenu du peu de données piézométriques disponibles, la carte piézométrique réalisée par la DIREN Basse-Normandie en domaine de socle sera intégrée à l'atlas hydrogéologique du Calvados.

Aquifère du Trias et de l'Oxfordien :

Pour ces 2 aquifères très hétérogènes (faciès plus ou moins aquifère, aquifère compartimenté, ...) et pour lesquels peu de données piézométriques sont disponibles (un seul piézomètre de surveillance en service pour l'Oxfordien et aucun pour le Trias), les réalisations cartographiques envisageables sont :

- la cartographie des points d'eau recensés avec mention du niveau statique mesuré ;
- la cartographie des principaux prélèvements connus (sources : AESN, brgm) ;
- le recensement des caractéristiques hydrodynamiques disponibles en BSS ;
- la délimitation approximative des zones les plus productives par recoupement des résultats précédents et des logs géologiques validés.

4.3.5. Récapitulatif

En définitive, les livrables numériques comprendront :

- la localisation des points utilisés pour les travaux de cartographie (6 couches numériques : Socle, Trias, Bajocien, Bathonien, Oxfordien et Cénomaniens) ;
- 3 cartes piézométriques calculées pour les "moyennes eaux" (Bajocien, Bathonien et Cénomaniens) ;
- 3 cartes piézométriques interpolées pour les "hautes eaux" (Bajocien, Bathonien et Cénomaniens) ;
- 3 cartes piézométriques interpolées pour les "basses eaux" (Bajocien, Bathonien et Cénomaniens) ;
- 3 cartes d'épaisseur de la zone non saturée (Bajocien, Bathonien et Cénomaniens) ;

- 3 cartes des épaisseurs saturées en eau (Bajocien, Bathonien et Cénomanién) ;
- 3 cartes de battement (Bajocien, Bathonien et Cénomanién) ;
- 6 cartes des prélèvements en eau souterraine (Socle, Trias, Bajocien, Bathonien, Oxfordien et Cénomanién) ;
- 6 cartes de synthèse des caractéristiques hydrodynamiques recensées en BSS ;
- 2 cartes de délimitation des zones à potentiel aquifère pour les formations du Trias et de l'Oxfordien.

5. Volet quantitatif

La présente étude prévoit le calcul du bilan hydrologique sur trois bassins versants du département par l'intermédiaire du modèle GARDENIA. L'objectif de la première phase des travaux était de sélectionner les bassins versants puis de collecter et traiter les données nécessaires à la mise en œuvre des modélisations.

5.1. INTRODUCTION A GARDENIA

GARDENIA est un logiciel développé par le BRGM permettant de réaliser un modèle hydrologique global sur un bassin versant.. Le logiciel simule le cycle de l'eau sur le bassin versant en tentant de reconstituer soit les débits à l'exutoire du bassin (rivière) ou bien les débits d'une source soit les niveaux de la nappe sur un piézomètre jugé représentatif du bassin (Fig. 26). Ce modèle est global, car il considère des « données d'entrée » globales (pluie et évapotranspiration potentielle) et une sortie unique qui est suivant le cas le débit à l'exutoire ou le niveau piézométrique en un point de la nappe sous-jacente. Le cycle de l'eau est simulé par l'intermédiaire de plusieurs réservoirs en cascade. Plusieurs configurations sont possibles. Dans la présente étude, nous retiendrons celle à 3 réservoirs (Fig. 27) qui représentent schématiquement :

- la zone superficielle du sol, sujette à la reprise par évaporation ;
- une composante "rapide" : ruissellement ou écoulements de type karstique ;
- la nappe, (écoulements lents dans l'aquifère).

Les échanges entre les réservoirs sont définis par des fonctions de transfert faisant intervenir une dizaine de paramètres globaux (réserve utile, temps de demitarissement, etc.) définis pour un bassin versant ou une entité homogène au sein d'un bassin versant.

En modélisation hydrologique globale, pour initialiser l'état de remplissage des réservoirs, il est nécessaire de prendre en compte une période d'initialisation. Celle-ci doit être d'autant plus longue que l'inertie ou « mémoire » de l'aquifère est grande. Cela suppose de disposer de chroniques de pluie et d'ETP sur une période aussi longue que possible antérieurement à la période de calage.

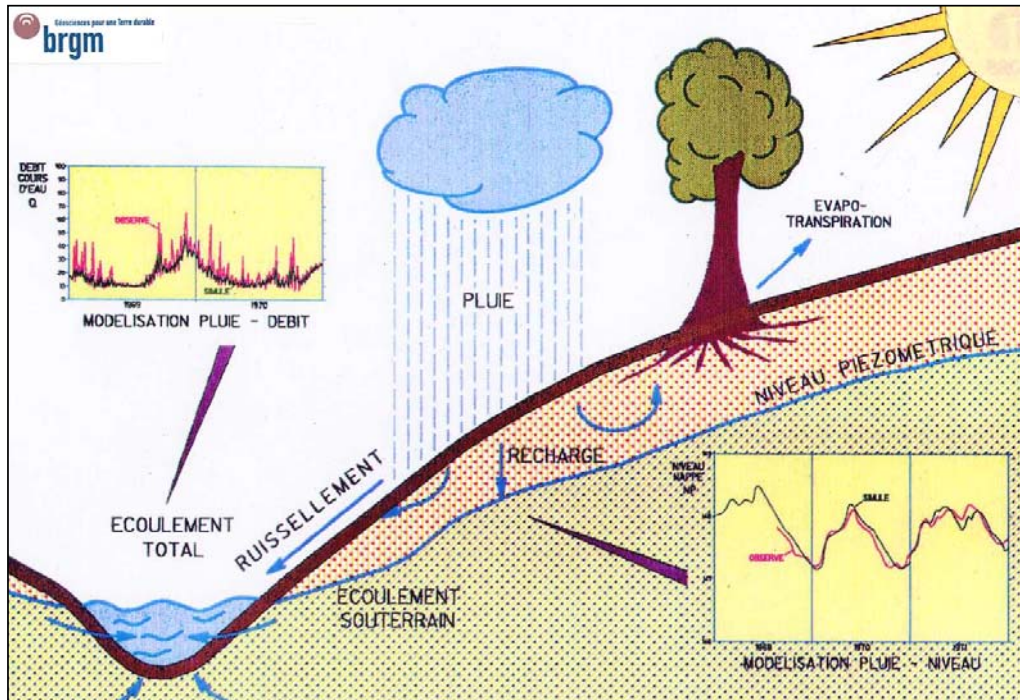


Fig. 26 – Schéma hydrologique illustratif du bilan hydrique quantitatif (GARDENIA, brgm).

Le calage du modèle consiste à ajuster au mieux les calculs sur les données de sortie (débit ou niveau piézométrique) avec un jeu de paramètres réaliste. Ce calage s'effectue par une méthode semi-automatique. L'utilisateur fournit un jeu de paramètres initiaux et indique ceux qui doivent être optimisés. Le logiciel fait alors varier ces paramètres jusqu'à trouver un jeu fournissant la meilleure adéquation entre séries calculées et observées. Ce calage s'effectue sous le contrôle de l'utilisateur qui peut le contraindre, notamment par la fixation des valeurs de certains paramètres ou de bornes plausibles. Pour ce faire, une bonne connaissance du fonctionnement hydrogéologique du bassin versant est indispensable.

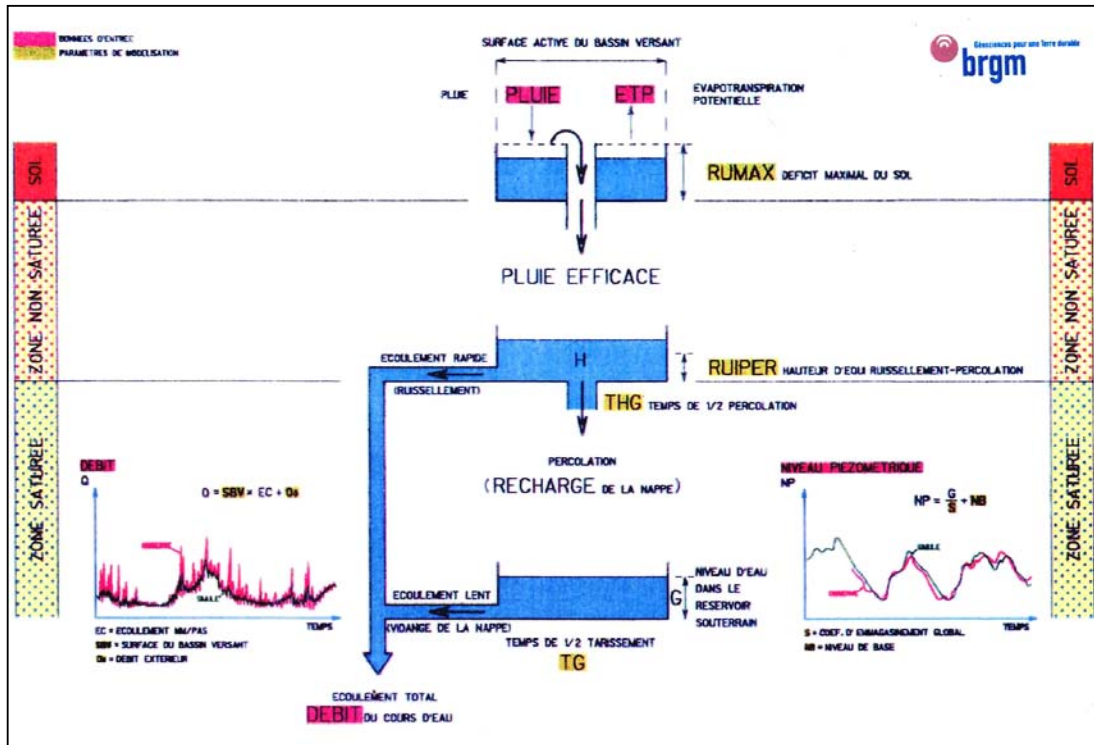


Fig. 27 – Principe du modèle hydrologique global GARDENIA pour la simulation du débit d'un cours d'eau ou d'un niveau piézométrique.

Une fois calé, le modèle peut être utilisé en prévision (débits ou niveaux sur une période de temps donnée caractérisée par différents scénarios climatiques)

Après calage, il permet aussi d'accéder aux différents termes du bilan hydrologique. Les équations du bilan hydrologique global **pluie-débit** sont les suivantes :

$$\begin{aligned}
 PLUIE &= ETR + PEF \\
 PEF &= Q_{RAP} + Q_{SOUT} + dSTO \\
 QRivière &= (Q_{RAP} + Q_{SOUT}) + Q_{Echange}
 \end{aligned}$$

avec :

- PLUIE Lame d'eau précipitée sur le bassin ;
- ETR Lame d'eau évapotranspirée sur le bassin ;
- PEF Hauteur de pluie efficace ou écoulement global ;
- Q_{RAP} Lame d'eau écoulee rapide (Ruissellement superficiel + écoulement karstique rapide) ;

Q_{SOUT} Lame d'eau écoulée correspondant à l'écoulement souterrain lent ;

$Q_{Echange}$ Lame d'eau écoulée correspondant au débit d'échange avec d'autres systèmes hydrologiques.

$Q_{Echange} > 0$ si apport extérieur au bassin

$Q_{Echange} < 0$ si sortie d'eau bassin

Pour les modélisations **pluie-niveau piézométrique**, le niveau piézométrique est déduit de la hauteur d'eau dans le réservoir souterrain (G) par la relation :

$$NP = \frac{G}{SG} + NB$$

avec :

NP Niveau piézométrique

G Hauteur d'eau dans le réservoir souterrain

SG Coefficient d'emménagement global

NB Niveau de base

Dans le cadre de la présente étude, nous utiliserons ces résultats pour différencier les deux composantes de l'écoulement :

- celle rapide que l'on peut assimiler au ruissellement superficiel et à la composante rapide des écoulements karstiques ;
- celle lente que l'on peut assimiler à la composante lente des écoulements souterrains, c'est-à-dire à la contribution des aquifères au débit des rivières.

Cette décomposition entre les écoulements lents et souterrains ne doit toutefois être considérée que comme indicative car le calage est global et relatif à des "sorties" observables et non à des composantes internes du système.

Les termes du bilan hydrologique peuvent être calculés à des pas de temps différents (journalier, pentadaire, décadaire, mensuel). Le pas de temps mensuel apparaît suffisant pour répondre à nos objectifs.

La Fig. 28 reprend l'ensemble des données nécessaires à de telles modélisations.

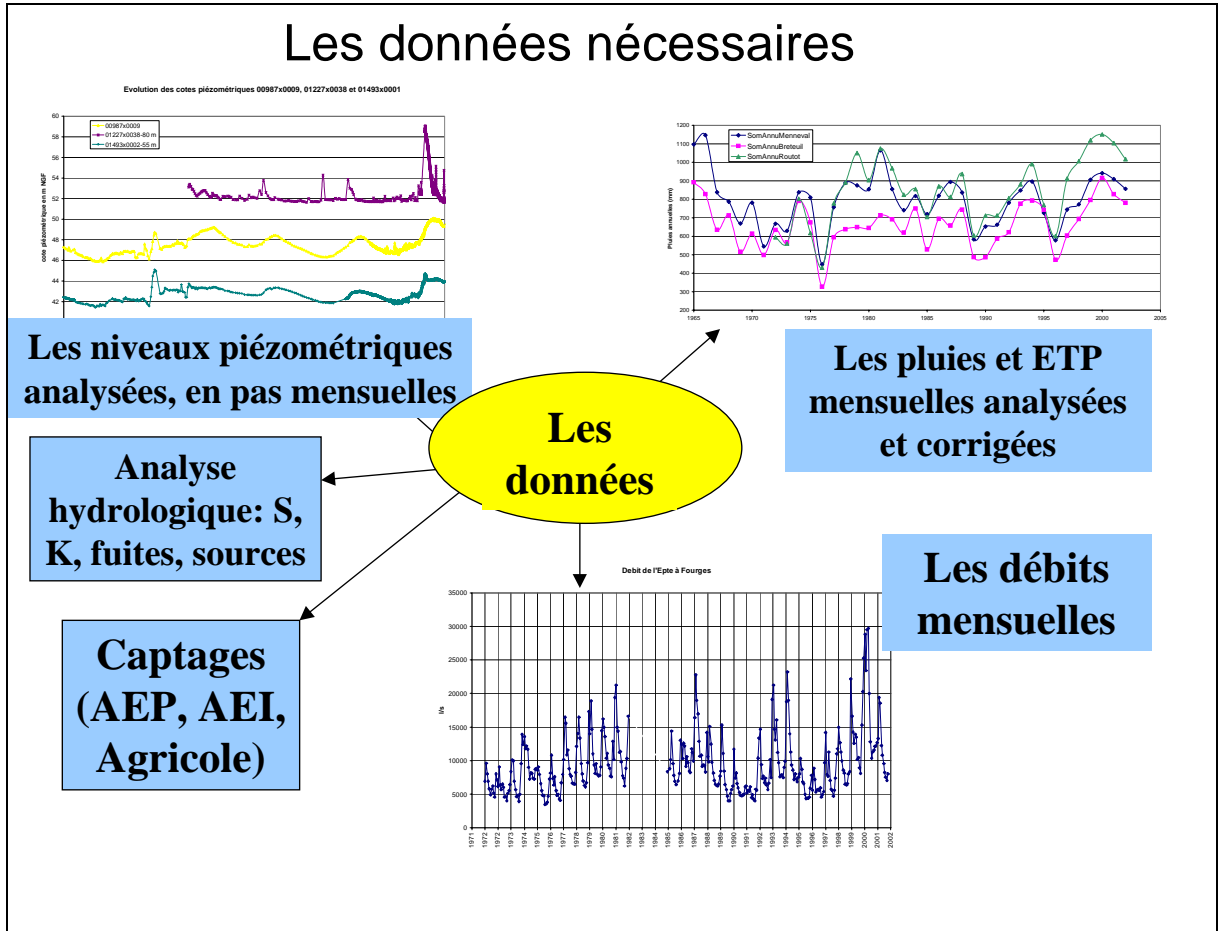


Fig. 28 – Données nécessaires aux modélisations GARDENIA.

5.2. COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNEES

5.2.1. Analyse des contextes hydrogéologiques

La première étape de la phase de collecte concerne l'analyse des systèmes hydrogéologiques afin d'étudier leurs conditions aux limites :

- échanges avec d'autres systèmes (prélèvements, apports et/ou sorties souterraines, etc...);
- bassin d'alimentation (il peut en effet être différent du bassin versant topographique, notamment en milieu karstique) ;
- caractéristiques hydrodynamiques.

Cette analyse est réalisée à partir des cartes géologiques et hydrogéologiques, des études régionales ou locales. A ce titre, plusieurs études ont été transmises par le Conseil Général du Calvados (§ 8). Il est à signaler que ce travail de synthèse bibliographique se poursuivra lors de la deuxième année du projet.

5.2.2. Délimitation des zones d'étude

Le découpage des bassins versants hydrographiques ainsi que le tracé du réseau hydrographique ont été mis à disposition par l'Agence de l'eau Seine-Normandie (AESN). En toute rigueur, les bilans hydrologiques devraient se faire sur des bassins versants souterrains, mais les éléments bibliographiques disponibles (cartes piézométriques de 1975 et 1991, brgm) semblent montrer une bonne concordance entre les deux entités pour nos trois bassins d'étude. Il a donc été décidé de travailler à partir des bassins versants de surface dont le découpage est par ailleurs très précis (niveau de précision difficilement envisageable pour le tracé des bassins versants souterrains à partir des cartes piézométriques existantes).

5.2.3. Les données d'entrée

Données climatiques :

Les données climatiques ont été achetées auprès de Météo France :

- chroniques de précipitations et d'ETP au pas de temps décadaire sur les postes climatiques, en fonctionnement, les plus proches des bassins d'étude. Les chroniques du poste synoptique de Caen Carpiquet (qualité de donnée supérieure) ont notamment été achetées sur la période la plus longue possible. Les différents postes climatiques concernées sont listés au paragraphe suivant ;

- grille au pas de 1 km de l'ETP annuel moyen et des précipitations annuelles moyennes à l'échelle nationale. Ces cartes permettent de juger de la bonne représentativité des données récupérées.

Une analyse critique a été effectuée sur les données climatiques de façon à identifier les lacunes d'observations et les erreurs grossières. L'analyse de l'homogénéité des séries pluviométriques a été effectuée par la méthode des doubles cumuls. Des corrections et des reconstitutions ont été faites lorsque cela s'avérait nécessaire. En effet, aucune lacune d'observation n'est acceptée pour les données d'entrée.

Données de prélèvement :

Les données de prélèvement ont été récupérées auprès de l'AESN, elles concernent les prélèvements industriels, agricoles et ceux des collectivités de 1997 à 2004. Deux types de données ont été fournis : le volume prélevé annuel et le volume prélevé pendant la période d'étiage. A défaut de chroniques de prélèvement, cela permet d'évaluer l'ordre de grandeur des variations saisonnières.

En complément, la D.D.A.F. du Calvados a réalisé une enquête auprès des irrigants du département dans laquelle est mentionné un prélèvement annuel moyen. Les résultats obtenus permettent de compléter les données de l'Agence de l'Eau. A titre d'exemple, le prélèvement agricole annuel 2004 est de 1.7 Mm³ dans le registre de l'Agence de l'Eau contre 2.8 Mm³ dans l'enquête D.D.A.F.

5.2.4. Les données de sortie

Données de débit :

Les données de débits des cours d'eau ont été extraites de la banque HYDRO par la DIREN au pas de temps journalier. Seules les stations définies comme représentatives par la DIREN ont été analysées. Les stations hydrologiques concernées sont listées dans le paragraphe suivant.

Données piézométriques :

Les chroniques piézométriques ont été extraites de la base de données nationale ADES. Une analyse critique des chroniques a été réalisée pour tenter de mettre en évidence les influences (pompage, réseau hydrographique) et les risques de débordement ou d'assec. Si nécessaire, des données aberrantes ont ainsi pu être éliminées. Pour les données de sortie, des lacunes d'observation sont possibles.

5.3. SELECTION DES BASSINS VERSANTS

Comme vu précédemment, un bassin versant peut faire l'objet d'une modélisation GARDENIA sous réserve que des données climatiques (Précipitations et ETP), hydrologiques (débit du cours d'eau) et piézométriques soient disponibles sur des périodes de suivi les plus longues possibles. Il est également indispensable de

disposer d'une chronique piézométrique représentative du comportement de la nappe (le moins influencé possible). Or, après un premier inventaire des données disponibles, le choix des bassins versants répondant à ces critères s'est avéré limité : bassins versants de la Seulles, de la Mue, de la Dives amont et de la Touques amont. En domaine de socle, seules des modélisations pluie-débit sont envisageables.

Devant les pressions anthropiques auxquelles est soumis l'aquifère des calcaires du bajo-bathonien (masse d'eau souterraine classée en Z.R.E.), le Comité de Pilotage a décidé de réaliser les modélisations GARDENIA sur les bassins versants de la Seulles, de la Mue et de la Dives amont (Fig. 29).

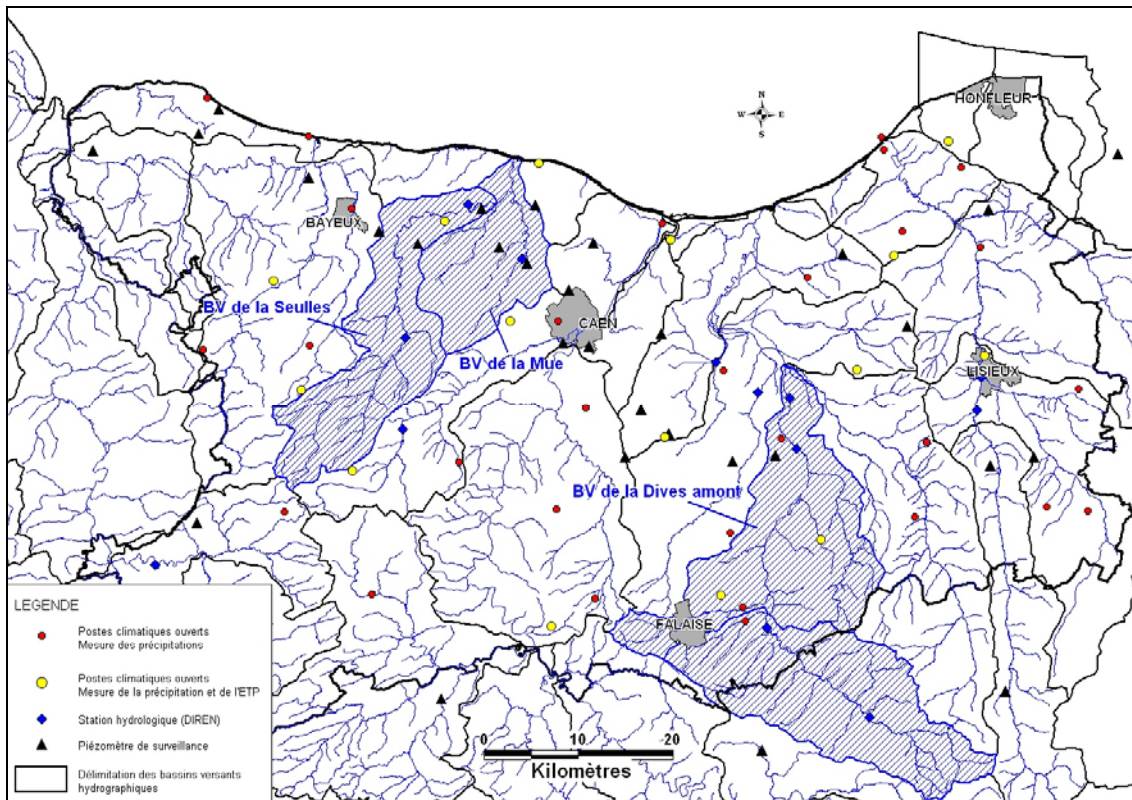


Fig. 29 – Bassins versants sélectionnés pour les modélisations GARDENIA.

5.3.1. Bassin versant de la Seulles

Le bassin versant s'étend de la source de la Seulles jusqu'à son point de confluence avec la Thue (exclue) et couvre une superficie de 266 km². La Seulles repose en amont sur des formations du Briovérien supérieur (jusqu'à sa confluence avec le Bordel). Pour le reste, le bassin versant est caractérisé par les formations calcaires du Jurassique (Fig. 30).

Les données collectées pour le calcul du bilan sont récapitulées dans le tableau suivant :

Type de données	Source	Points de mesure	Période
Données pluviométriques	Météo France	Caen Carpiquet	1951-2005
		Saint-Gabriel-de-Brécy	2000-2005
		Saint-Vigor-le-Grand	1992-2005
Données d'ETP	Météo France	Caen Carpiquet	1951-2005
Données hydrologiques	DIREN	Juvigny-sur-Seulles	1981-2005
		Tierceville	1971-2004
Données piézométriques	ADES	Martragny	1974-2005
		Amblie	1974-2001
Données de prélèvements	AESN	/	1997-2004
	DDAF	/	2005

Tabl. 5 – Données collectées pour la modélisation du bassin versant de la Seulles.

5.3.2. Bassin versant de la Mue

Le bassin versant s'étend des sources de la Thue et de la Mue jusqu'à l'embouchure : il couvre une superficie de 393 km². La Thue et la Mue reposent sur les calcaires du Bajocien et du Bathonien (Fig. 30).

Les données collectées pour le calcul du bilan sont récapitulées dans le Tabl. 6.

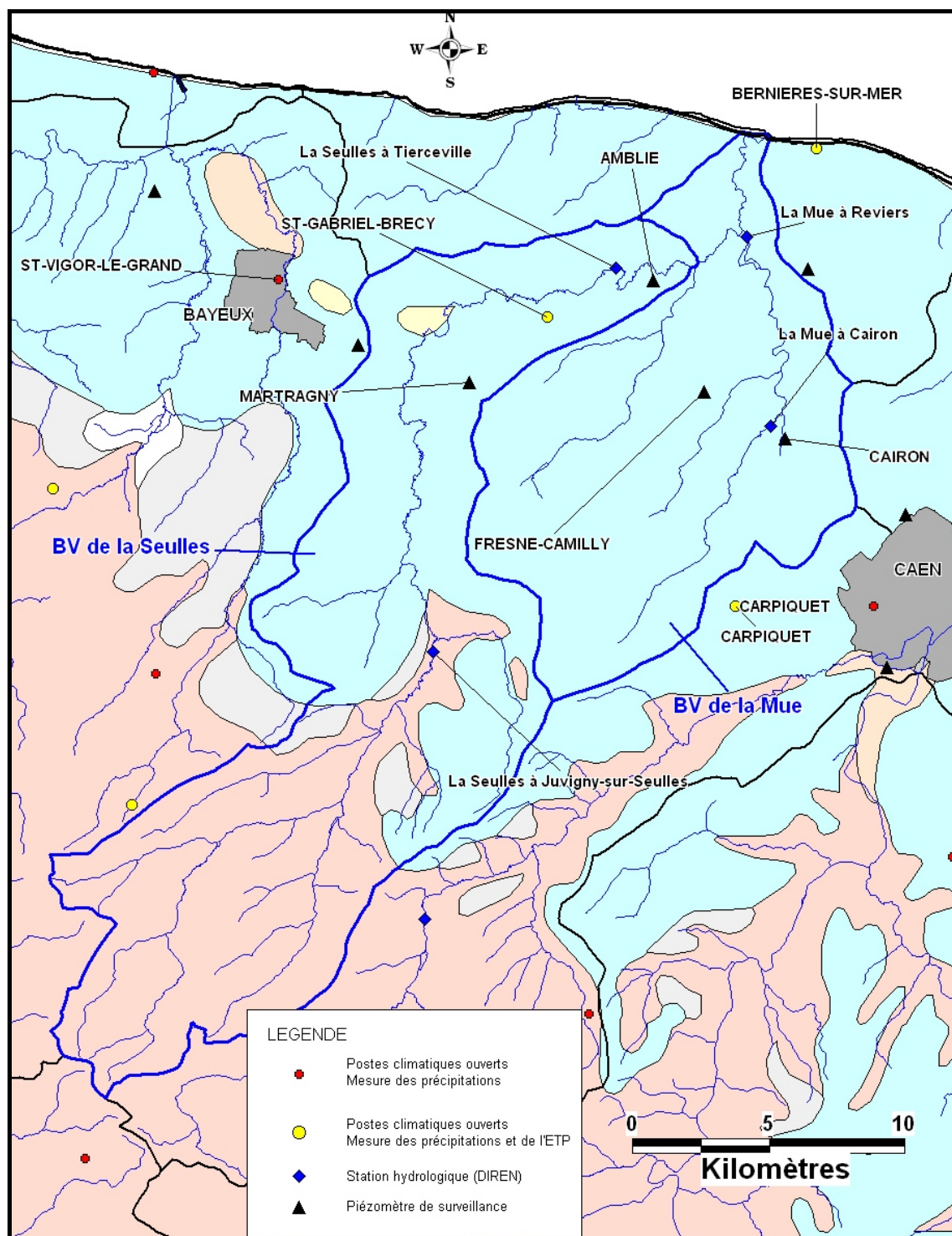


Fig. 30 – Localisation des stations de mesure (pluie, ETP, débit, niveau piézométrique) pour les bassins versants de la Seules et de la Mue.

Type de données	Source	Points de mesure	Période
Données pluviométriques	Météo France	Caen Carpiquet	1951-2005
		Saint-Gabriel-de-Brécy	2000-2005
		Bernière-sur-Mer	2001-2005
Données d'ETP	Météo France	Caen Carpiquet	1951-2005
		Bernière-sur-Mer	2001-2005
Données hydrologiques	DIREN	Cairon	1981-2001
		Reviars	1970-2005
Données piézométriques	ADES	Fresne-Camilly	1974-2005
		Cairon	1971-2006
Données de prélèvements	AESN	/	1997-2004
	DDAF	/	2005

Tabl. 6 – Données collectées pour la modélisation du bassin versant de la Mue.

5.3.3. Bassin versant de la Dives amont

Le bassin versant s'étend de la source de la Dives dans le département de l'Orne jusqu'à sa confluence avec la Vie (exclue) : il couvre une superficie de 662 km². La Dives amont repose sur les calcaires du Bathonien (Fig. 31).

Les données collectées pour le calcul du bilan sont récapitulées dans le Tabl. 7.

Type de données	Source	Points de mesure	Période
Données pluviométriques	Météo France	Caen Carpiquet	1951-2005
		Damblainville	1997-2005
		L'Oudon	1963-2005
		Mézidon-Canon	1992-2005
Données d'ETP	Météo France	Caen Carpiquet	1951-2005
		Damblainville	1997-2005
		L'Oudon	1994-2005
Données hydrologiques	DIREN	Beaumais	1969-2005
		Bieville-Quetieville	1972-1993
		Mesnil-Auger	1993-2005
		Saint-Lambert-sur-Dives	1978-2005
Données piézométriques	ADES	Percy-en-Auge	1978-2001
Données de prélèvements	AESN	/	1997-2004
	DDAF	/	2005

Tabl. 7 – Données collectées pour la modélisation du bassin versant de la Dives amont.

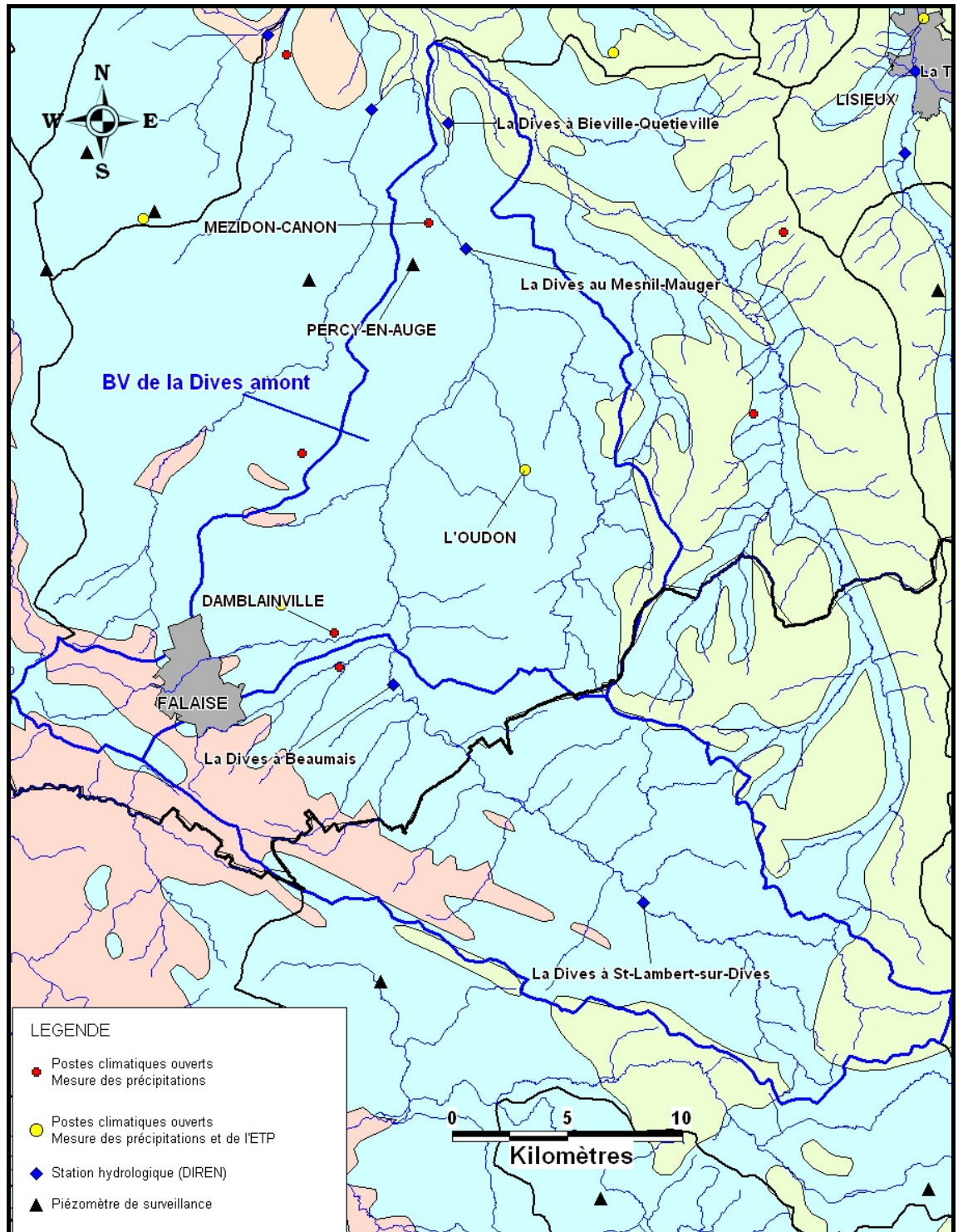


Fig. 31 – Localisation des stations de mesure (pluie, ETP, débit, niveau piézométrique) pour le bassin versant de la Dives amont.

5.4. DELIVRABLES

En définitive, pour le volet quantitatif, le livrable de la phase 2 sera essentiellement constitué d'un rapport incluant notamment des représentations schématiques, des tableaux récapitulatifs et des éléments de discussion sur les résultats des modélisations hydrologiques globales (composantes des bilans, contribution des écoulements souterrains au débit des rivières, variations temporelles, ...).

6. Volet qualitatif

Le dernier objectif de l'Atlas hydrogéologique du Calvados est de valider, et de si possible affiner, les cartes de vulnérabilité simplifiée des masses d'eau souterraine réalisées par le brgm selon la méthodologie de l'IDPR pour le compte des Agences de l'Eau.

6.1. LA METHODE IDPR

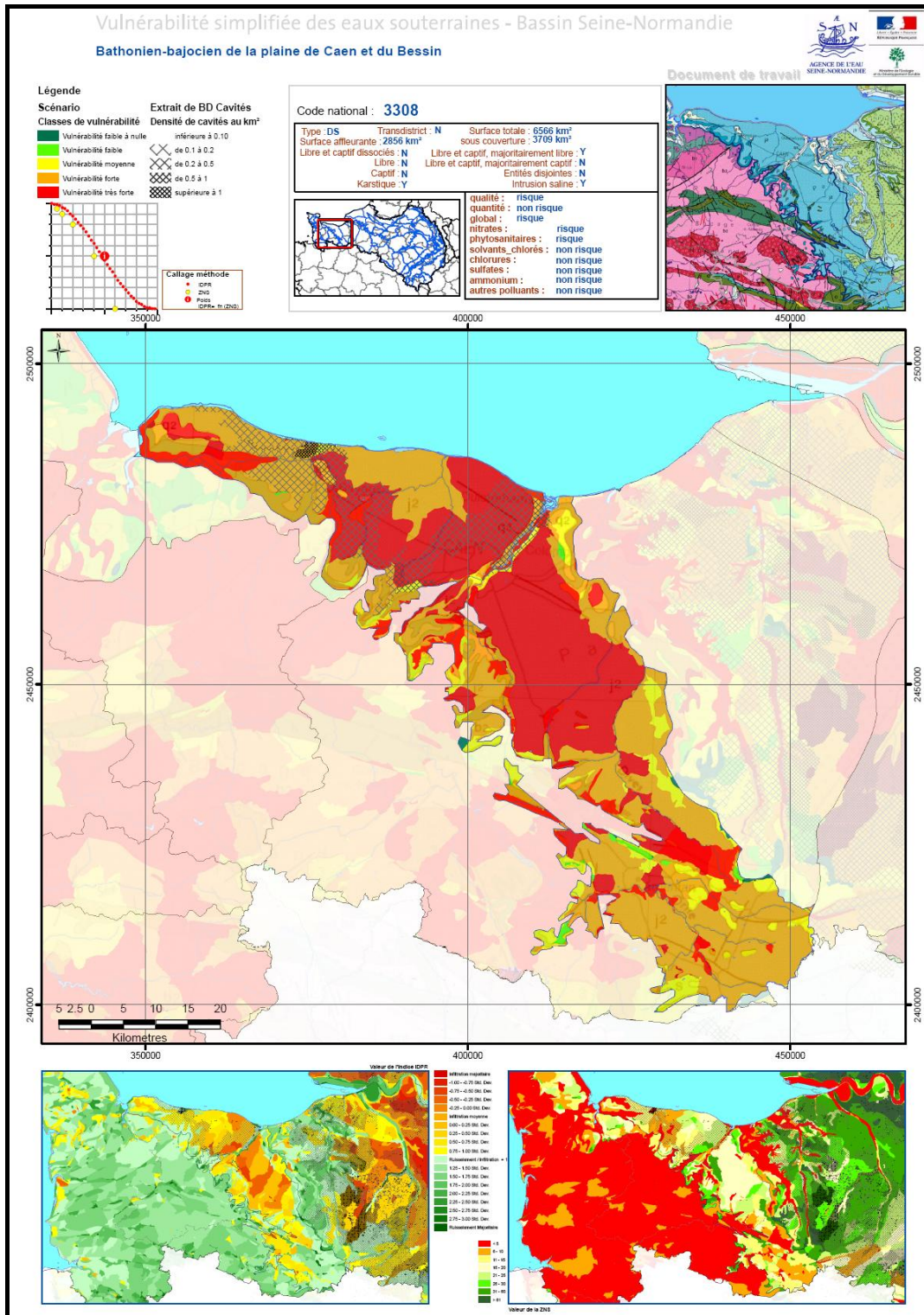
La méthode mise au point par le brgm (V. Mardhel, 2005) résulte du croisement de deux critères :

- l'épaisseur de la zone non saturée (déduite des niveaux des nappes libres issues de la BSS et du MNT au pas de 50 m) ;
- et l'indice de développement et de persistance des réseaux (Indice IDPR) qui tend à unifier et simplifier l'approche géomorphologique relative à la nature des formations de couverture des premières nappes rencontrées (rapport entre les axes de drainage liés aux talwegs calculés à partir du MNT et les axes hydrologiques observés).

L'IDPR devient ainsi un moyen de quantifier la proportion entre infiltration et ruissellement en comparant **un réseau théorique** établi selon l'hypothèse d'un milieu parfaitement homogène (indice de développement ID) au réseau naturel mis en place sous le contrôle d'un contexte géologique hétérogène (de persistance des réseaux PR).

L'IDPR résulte de l'analyse du Modèle Numérique de Terrain et du réseau hydrographique.

La Fig. 32 présente par exemple le résultat obtenu pour la masse d'eau du Bajobathonien (MES 3308).



6.2. DONNEES COLLECTEES

Dans le but d'affiner les cartes de vulnérabilités obtenues par l'étude nationale, il est proposé d'utiliser le MNT au pas de 20 m (contre un pas de 50 m pour l'étude nationale) et les épaisseurs de la zone non saturée résultantes de la phase 2 de la présente étude. Le MNT au pas de 20 m a été fourni par le Conseil Général du Calvados.

En complément, d'autres données, classiquement utilisées pour évaluer la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère, ont été collectées :

- la répartition des précipitations efficaces moyennes (calculées sur la période 1946-2001). Il s'agit d'une cartographie nationale réalisée par Météo France pour le compte du M.E.D.D. (Fig. 33) ;

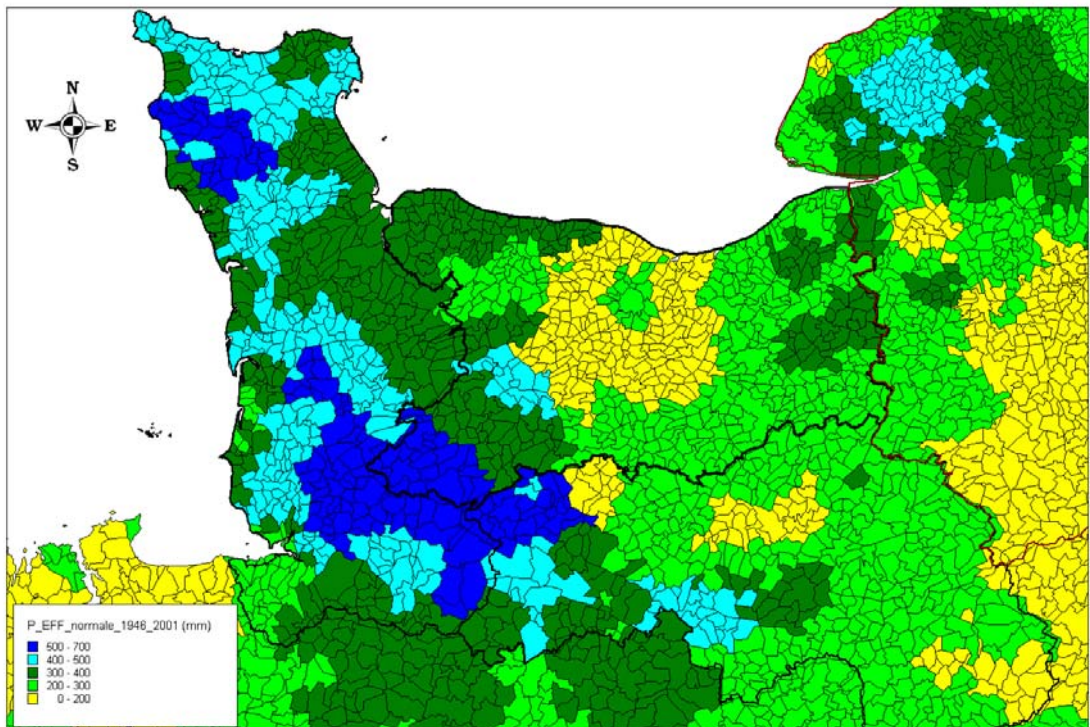


Fig. 33 – Carte de répartition des précipitations efficaces en Basse-Normandie (source : MEDD).

- la synthèse des caractéristiques hydrodynamiques disponibles en BSS. La Fig. 34 représente la répartition des forages pour lesquels des pompages d'essai ont été menés. Le travail de déstockage est en cours, mais on peut déjà signaler que peu de valeurs de transmissivité et d'emménagement ont été calculées à partir de ces essais. Il sera, par conséquent, peut-être plus intéressant de représenter la répartition des débits spécifiques mesurés (valeur plus fiable) ;

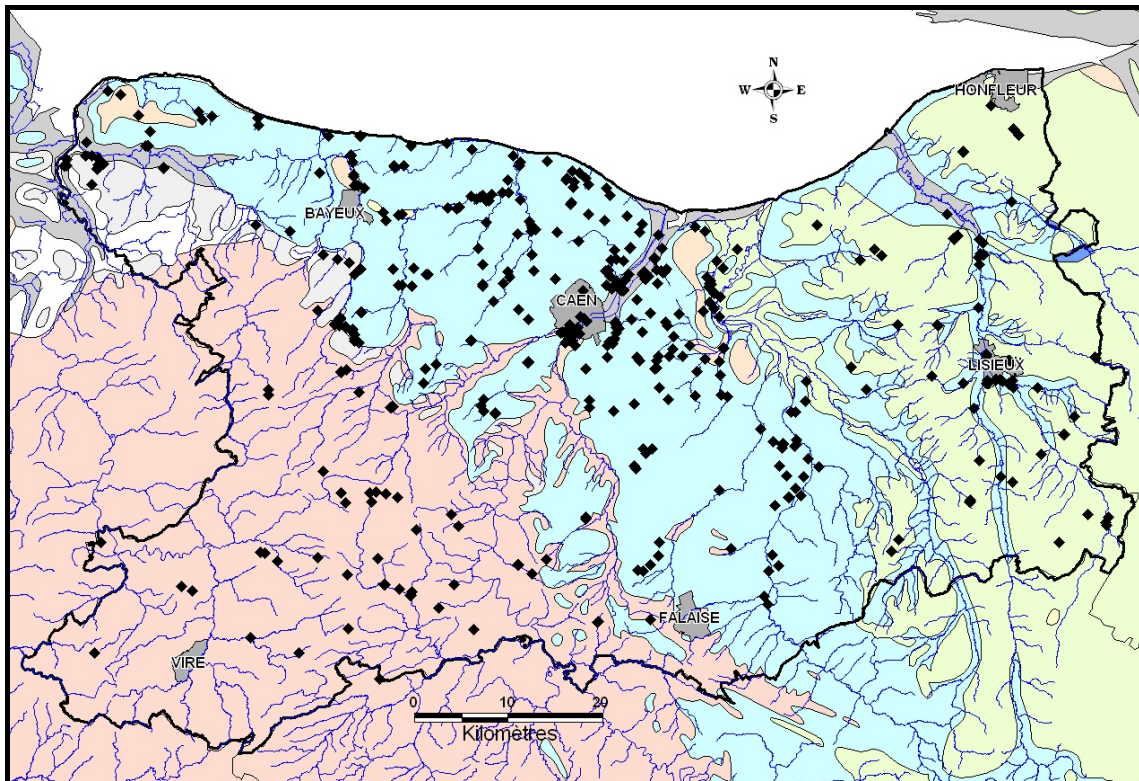


Fig. 34 – Carte de répartition des ouvrages BSS ayant fait l'objet d'un essai de pompage (sur fond de carte géologique simplifiée).

- la répartition des cavités souterraines, extraites de l'inventaire départemental des mouvements de terrain et cavités souterraines réalisé par le brgm pour le compte du M.E.D.D. Cet inventaire recense 367 cavités naturelles (dolines, bétoires, pertes, etc.) et 1 964 cavités d'origine anthropique (carrières souterraines) (Fig. 35). On peut constater que peu d'études brgm ont été menées sur le karst dans le Calvados, seuls deux rapports ont été répertoriés :
 - rapport BRGM R39232 - Commune de Port-en-Bessin (Calvados) - Aléas cavités naturelles - Avis du BRGM ;

- rapport BRGM R39821 (décembre 1997) - Reconnaissance par géophysique d'un réseau karstique à Port-en-Bessin (Calvados).

En complément, la DIREN Basse-Normandie a transmis au BRGM l'étude réalisée sur le système karstique de l'Orbiquet en collaboration avec le Conseil Général et l'équipe spéléologique d'Hérouville-Saint-Clair (Leblanc, 1998).

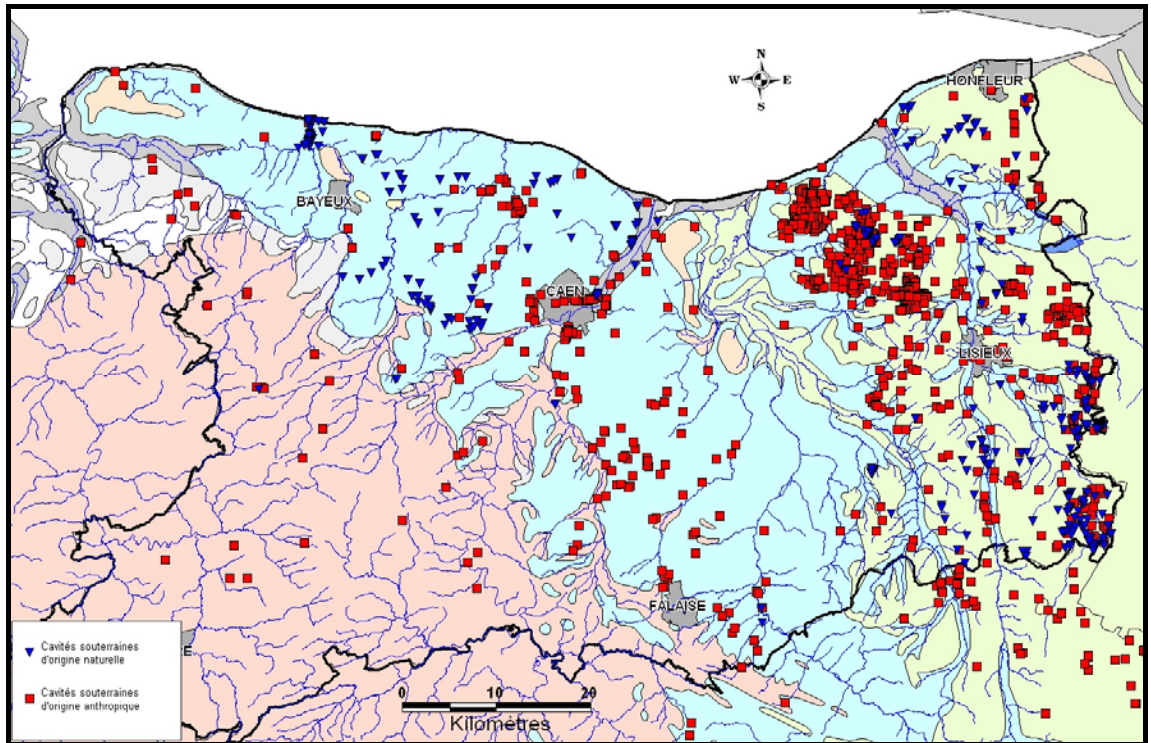


Fig. 35 – Carte de répartition des cavités souterraines issues de l'inventaire départemental du Calvados (sur fond de carte géologique simplifiée).

6.3. DELIVRABLES

Pour chacune des masses d'eau souterraine du département, une nouvelle carte de vulnérabilité sera dressée et comparée à l'existante.

Comme convenu avec le Comité de Pilotage, il est précisé que les nouvelles cartes résultantes ne se substitueront en aucun cas à celles réalisées dans le cadre de l'étude nationale.

7. Conclusions

La première phase de collecte des données nécessaires à la réalisation de l'Atlas hydrogéologique du Calvados est terminée. Après traitement et mise en forme des données, la faisabilité des objectifs fixés au départ a ainsi pu être précisée pour chacun des trois volets thématiques composant le projet. Il est rappelé que l'ensemble des propositions faites résultent des discussions du Comité de Pilotage :

Volet cartographique :

La caractérisation géométrique des principaux aquifères et horizons imperméables pourra être menée à partir de 2 990 logs géologiques validés. Des réserves sont, cependant, à apporter pour l'aquifère multicouche du Lias, les aquifères alluvionnaires de l'Orne et de la Touques, et pour les argiles à poissons (plancher de l'aquifère du Bajocien). Compte tenu du peu de données disponibles, l'obtention de résultats permettant d'obtenir une bonne reconstitution de la géométrie ne peut, en effet, être garantie.

Des cartes piézométriques seront élaborées pour les aquifères du Cénomaniens, du Bathonien et du Bajocien. Les données collectées ne permettront pas de réaliser des cartes à partir de valeurs synchrones. Les cartes de "hautes eaux", "moyennes eaux" et "basses eaux" seront interpolées (approches statistiques) et devront, par conséquent, être utilisées avec précaution. Leurs limites d'utilisation seront précisées dans le rapport final.

Volet quantitatif :

Les bilans hydrologiques seront calculés pour les bassins versants de la Seulles, de la Mue et de la Dives amont. Ces trois derniers sont, en effet, équipés de postes climatiques, de stations hydrologiques et de piézomètres rendant possible les modélisations globales.

Volet qualitatif :

Pour chacune des masses d'eau souterraine du département, les cartes de vulnérabilité simplifiée réalisées par le brgm à l'échelle du bassin Seine-Normandie pourront être validées et affinées à partir du MNT au pas de 20 m et des épaisseurs de la zone non saturée résultantes du volet cartographique.

Le lancement opérationnel de la deuxième phase du projet a débuté courant juillet 2006.

8. Bibliographie

ARMINES – 1977 – Modèles de simulation et de gestion des ressources en eau des bassins de l'Orne, la Dives et la Seulles.

Jauffret D. – Septembre 1984 – Thèse de doctorat – Géologie des bassins versants et régime de tarissement et d'étiage des cours d'eau de Basse-Normandie ; application à une évaluation des ressources en eau souterraine.

Pascaud P., Mauger D. – 1991 – Carte hydrogéologique du département du Calvados.

Mazenc B. – Janvier 2004 – BRGM – Gestion de la ressource en eau de l'aquifère captif du Bajocien. Phase 2. Rapport BRGM/R 37952.

BURGEAP – Février 1994 – Etude hydrogéologique générale sur l'aire du S.D.A.U. et ses marges. Rapport de synthèse. Rapport R 1417-A.3463/293104.

GEOETHERMA – Avril 1997 – Etude hydrogéologique générale de l'aquifère du Trias de la région du Sud Bessin. Rapport n° 261125.

Dugué O., Fily G. et Rioult M. – Septembre 1997 – Université de Caen – Le Jurassique des côtes du Calvados. Biostratigraphie, Sédimentologie, Paléoécologie, Paléogéographie et Stratigraphie séquentielle.

BRGM – Novembre 1997 – Recherche de sites potentiels de roches dures dans l'Est de la Région Basse-Normandie et dans la Sarthe. Rapport BRGM/R39778.

Leblanc M. – 1998 – DIREN Basse-Normandie – Le système karstique de l'Orbiquet.

SOGREAH – 1998 – Etude des mécanismes de dénitrification naturelle de l'aquifère du Bathonien dans la région de Saint-Pierre-sur-Dives. Rapport n° 830124.

SOGREAH – Mai 2002 – Etude des inondations de nappe à Grentheville. Rapport n° 830124.

HYDROEXPERT – Octobre 2003 – Etude du phénomène de crue de nappe à Saint-Sylvain (Calvados). Détermination des cotes de plus hautes eaux pour différentes fréquences de retour et dimensionnement des drains. Rapport n° RPP03H052a.

Mougin B. et al – Novembre 2003 – BRGM – Comportement hydrodynamique des roches altérées de la surface sur le bassin versant de la rade de Brest. Rapport BRGM/RP-52656-FR.

Equilbey E., Normand M., Schomburgk S. – Février 2004 – BRGM – Atlas hydrogéologique numérique de l'Eure. Volet quantitatif. Rapport BRGM/RP-52988-FR.

Equilbey E. et al – Février 2004 – BRGM – Atlas hydrogéologique numérique de l'Eure. Volet cartographie de l'aquifère de la craie. Rapport BRGM/RP-52989-FR.

Lachassagne P. et al – Janvier 2005 – Nouveaux outils et méthodes pour gérer et protéger la ressource en eau souterraine des régions de socle. Hydrosociences, n° 25.

Gravier A., Koch-Mathian J.Y., Mardhel V., Nowak C. – 2006 – BRGM – Croisement des données des sites BASOL avec la vulnérabilité simplifiée des nappes du bassin Seine-Normandie. Rapport de synthèse. Rapport BRGM/RP-54257-FR.

Annexe 1

-

Saisie des logs géologiques validés du Référentiel Géologique

Saisie des logs du Référentiel Géologique avec les modèles de saisie Excel 97

J.Bobillier – 28 août 2001, révisé le 22 juillet 2004

Annule et remplace SaisieExcel.doc du 28 août 2002

Fonctionnement général

Copier le Classeur modèle (Modèle_22juillet2004.xls) sous le nom d'une feuille, ou d'un huitième de feuille au 1/50000 (Exemple F155.XLS, ou F155_7.XLS).

Attention, pour limiter le risque de propagation d'un modèle endommagé, toujours copier à partir du modèle, et non pas à partir du classeur d'une autre feuille au 1/50000 dans lequel on aurait déjà travaillé

Au chargement, choisir l'option « Activer les macros ».

Le classeur contient trois feuilles :

- Saisie
- Base GDM
- Formules

L'utilisateur ne travaille que dans la première feuille. Quand il a terminé la saisie des forages de la feuille (ou du huitième de feuille), il va cliquer sur le bouton PREPA GDM. Ceci exécute une macro utilisant les formules stockées dans la troisième feuille, qui range dans la deuxième feuille les données saisies, en les mettant en forme pour lecture par GDM 5. C'est sur cette feuille « Base GDM » que GDM va pouvoir se connecter.

On peut cliquer sur PREPA GDM à n'importe quel moment, mais l'opération peut paraître longue si vous avez saisi beaucoup de données et si votre ordinateur est un peu ancien.

Si la dernière ligne saisie est en dessous de la ligne 7000, utiliser PREPA GDM 10000, car PREPA GDM ne traite que 4000 lignes.

Principes de saisie

La saisie commence en ligne 3001 (les lignes précédentes sont inaccessibles. Elles contiennent les 3 lexiques Litho, Strati, et LithoStrati (formations).

On ne doit pas laisser de lignes vides ni en tête de la feuille, ni entre les forages, ni entre des passes de forages : PREPA GDM ne traitera pas les données qui seraient situées après une ligne ne contenant pas de valeur dans les colonnes « Forage » et « prof. Fin de passe »

Certaines colonnes vont contenir des informations concernant le forage dans son ensemble (noms du forage, coordonnées, date, ...) : on ne saisira ces données que pour la première ligne de chaque forage, à l'exception du nom court de forage (1^{ère} colonne intitulée Forage)

Les colonnes qui contiendront les informations concernant chaque passe de forage (profondeur, codes, ...) devront être remplies sur toutes les lignes.

On doit décrire chaque forage en ordre de profondeurs croissantes. Comme on ne saisit que la Profondeur fin de passe, chaque ligne décrit la passe de forage comprise entre Profondeur fin de passe de la ligne précédente (ou la profondeur zéro dans le cas de la première passe d'un forage) et la Profondeur fin de passe de la ligne courante.

Note : sur la feuille de saisie, l' « alignement horizontal » a été déclaré « standard » pour toutes les cellules. En conséquence, tout ce qui est interprété comme « numérique ou date » par Excel se cadre automatiquement à droite, alors que ce qui est interprété comme « texte » se cadre à gauche. Ceci permet de détecter certaines erreurs au moment de la saisie : ainsi les données saisies dans les colonnes XXXX, YYYY, ZZZZ, Prof fin de passe, Cote Eau, et Date sondage doivent se cadrer automatiquement à droite (sauf cas particulier de Date sondage saisie en caractères, voir plus loin).

Si le cadrage ne se fait pas automatiquement à droite dans ces colonnes, vous ne devez surtout pas modifier l'alignement horizontal (ce qui ne corrige pas la valeur), mais corriger la valeur elle-même (par exemple, si le séparateur décimal déclaré dans Windows est le point, la coordonnée 641,328 est invalide et apparaît cadrée à gauche. Vous devez dans ce cas remplacer la virgule par un point).

Détail de la saisie

3.1. Colonne « Forage » : doit être saisie sur toutes les lignes.

Elle contient un nom court du forage, créé par l'utilisateur, toujours d'une longueur de 4 caractères. Ce nom peut être « numérique » ou « texte ». Exemples : 2011 (numérique), '2011 (texte), 2A23, etc.

Pour limiter les erreurs de saisie, il faut saisir le nom court sur la première ligne du forage seulement, puis quand toutes les passes de ce forage ont été saisies Copier ce nom sur toutes les lignes du forage.

Ce nom court n'entrera pas dans la base Oracle. Il va servir à nommer les forages sur les cartes qui seront produites pour valider les données : avec des noms courts, on limitera les superpositions de textes sur les cartes.

Pour créer ce nom court, à partir du Numéro BSS « 01557X0002 » par exemple :

- 1^{er} caractère : numéro du huitième de feuille. Dans le Numéro BSS, c'est le chiffre précédant la lettre X (7 dans cet exemple)
- 3 caractères suivants : 3 derniers chiffres du numéro d'ordre du forage dans le huitième de feuille. Ce numéro d'ordre constitue les 4 derniers caractères du Numéro BSS (0002 dans cet exemple)

Le nom court sera donc 7002.

Attention : sur certains huitièmes de feuilles, le numéro d'ordre du forage peut dépasser 1000. Avec la méthode décrite ci-dessus, on obtiendrait donc le même nom court pour les forages 0002 et 1002, ou pour les forages 0102 et 1102, etc.

Quand le numéro d'ordre est plus grand que 999 : pour les forages 1000 à 1099, prendre comme 3 derniers caractères du nom court A00 à A99, pour les forages 1100 à 1199 prendre B00 à B99. Cette méthode permet d'aller jusqu'à 3599 (Z99). Si nécessaire, on peut ensuite continuer avec les lettres minuscules de « a00 » à « z99 » (z99 = 6199).

Certains numéros de forages BSS peuvent être suivis d'une lettre (A, B, etc.). Si c'est le cas, ces forages sont très proches les uns des autres, et on n'aura probablement qu'un de ces forages à saisir. On peut alors oublier la lettre finale. S'il faut toutefois saisir plusieurs forages ayant le même Numéro BSS (pour les 10 premiers caractères), « se débrouiller » pour leur trouver des noms courts différents des autres forages saisis dans le même huitième de feuille : par exemple _25A, _25B, etc. En utilisant un signe _ au début, et une lettre en dernière position, on ne les confondra pas avec les noms courts « ordinaires ».

3.2. Colonnes « Information générale sur forage » : à ne saisir que sur la première ligne de chaque forage. (Pour mieux voir le passage d'un forage à un autre, car la saisie sur les autres lignes ne serait pas gênante pour le passage à GDM).

« **Diag** » : Saisir Diag si on a utilisé des diagraphies pour caler les profondeurs de ce forage. Sinon, laisser vide. Ce champ n'entre pas dans la base Oracle.

« **Validé** » : non utilisé. Ne pas remplir.

« **Commentaire** » : Texte libre (maxi 500 caractères). Optionnel mais à remplir si on a des informations générales sur le forage. Ce champ entre dans la base Oracle.

« **Num Forage BSS** » : C'est « le nom long du forage ». Obligatoire. 10 caractères (ou jusqu'à 12 si plusieurs forages sont enregistrés dans la BSS sous le même numéro). Si on ne dispose pas du numéro BSS, utiliser le numéro CGG s'il est disponible. Sinon mettre un nom long d'un format différent du format BSS.

Note : ne pourront entrer dans la base Oracle que les forages déjà enregistrés sous un Numéro BSS, et pourvus d'une « Désignation BSS » sur 6 caractères. (procédure à mettre au point)

« **XXXX** » : Coordonnée X du forage en Km Lambert II étendu. Obligatoire.

« **YYYY** » : Coordonnée Y du forage en Km Lambert II étendu. Obligatoire.

« **ZZZZ** » : Coordonnée Z du forage en mètres. Obligatoire.

Notes : Les champs XXXX, YYYY, ZZZZ sont obligatoires pour le passage dans GDM : on a besoin des coordonnées pour tracer les cartes d'isovaleurs.

Ils n'entreront pas dans la base Oracle, car il y seront déjà au moment de l'importation des données.

Au cours de la validation des données par tracé de cartes isovaleurs, on notera probablement des erreurs sur certaines coordonnées. IL SERA INDISPENSABLE DE SIGNALER LES CORRECTIONS A FAIRE DANS LA BSS, puisque les coordonnées validées ne seront pas importées.

« **Date sondage** » : Saisir la date de relevé du niveau d'eau si elle est disponible, sinon la date de foration, sinon, laisser vide. Ce champ n'entre pas dans la base Oracle.

Note : Si la date est antérieure à 1900, Excel ne l'affiche pas correctement. Dans ce cas, saisir la date en caractères (en commençant par une apostrophe). Exemples : '15 oct 1879, ou '15/10/1879, ou 'oct 1879

3.3. Colonnes « Informations sur les passes » : à saisir sur toutes les lignes (sauf Cote Eau).

« **Prof fin de passe** » : Profondeur de la base de la passe, en mètres. Obligatoire. Ce champ entre dans la base Oracle.

Notes : Il s'agit de la profondeur, pas d'une altitude.

Pour les passes successives d'un même forage, cette profondeur doit être croissante. GDM refusera de traiter deux profondeurs successives égales ou décroissantes.

Pour cette raison, on entrera une profondeur égale à celle de la passe précédente + 0.01m pour les niveaux repères (Exemple Toit du Dogger, ou Nappe du Lutétien)

« **Cote Eau** » : Profondeur de la nappe, en mètres. Si disponible. Ce champ n'entre pas dans la base Oracle. Attention, il faut saisir ce champ sur la même ligne que la passe contenant ce niveau. Exemple, passes avec profondeur fin de passe 35.25, 42.75, 48.30 et niveau de nappe à 41.30 : on saisit la Cote Eau sur la passe de profondeur 42.75.

« **Code Litho** » : Un des codes du lexique Litho. Obligatoire. Ce champ est utilisé pour le transfert des données dans la base Oracle. Voir notes ci-dessous.

« **Code Strati** » : Un des codes du lexique Strati. Obligatoire. Ce champ entre dans la base Oracle. Voir notes ci-dessous.

« **Code Formation** » : Un des codes du lexique LithoStrati. Obligatoire. Ce champ est utilisé pour le transfert des données dans la base Oracle. Voir notes ci-dessous.

Notes : Pour chacun des trois codes, quand on clique dans la case à remplir, cela fait apparaître un bouton de liste déroulante à droite de la cellule. Quand on clique sur le code choisi, il est copié dans la cellule à remplir.

Les listes contiennent les codes suivis d'un « / » puis du libellé. Elles sont triées en ordre alphanumérique croissant. En raison de la longueur de ces listes, il faut connaître le code que l'on cherche (voir les listes imprimées de ces codes, qui sont triées dans un ordre logique).

Vous ne pouvez pas modifier les codes ainsi saisis, ni le libellé.

« **Description Lithologique** » : Texte libre correspondant à la description initiale du dossier BSS (maxi 500 caractères). Optionnel. Ce champ entre dans la base Oracle.

Forage	Diag	Val	idé	Commentaire	PREPA GDM 10000	Num_ Forage	Désignat	XXXX	YYYY	ZZZZ	Pierfin	Cote	Date sondage	Code Litho	Code Strati	Code Formation	Description Lithologique
1016	N	1		Sondages de reconnaissance de qualité des sables entrepris par PERRIER sur la commune d'ESQUAY SUR SEULLES Coupe établie et interprétée par C.I. Parenj	PREPA GDM	01191X0016		382,480	175,050	75,000	2,80		mars-66	TV/terre végétale	QUAT / Quaternaire	00100/ sol (terre végétale)	Terre végétale
1016											2,81			LACULacune	MOUAT / Mur du Quaternaire		
1016											2,82			LACULacune	TPU / Tot du Pliocène		
1016											4,00			SAGRSable argileux à graviers	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Sables très grossiers et petits graviers dans un enduit argileux brun
1016											5,00			SOsable grossier	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Sables jaunes grossiers, beaucoup de grains RM et EL
1016											10,00			SATOsable très grossier	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Sable très grossier blanc, majorité de grain RM
1016											11,00			GALE/Galets	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Gros galets de quartz blanc
1016											19,00			SBsable à galets	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Sables grossiers et galets
1016											28,00			SAGRSable argileux à graviers	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Sables grossiers avec quelques graviers roulés
1016											29,00			GALE/Galets	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Niveau de galets à quartz et de grès
1016											30,00			SOsable grossier	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Sables grossiers avec quelques graviers roulés
1016											31,00			ASBargille sableuse	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Argile brune très finement sableuse avec quelques galets
1017	N	1		Sondages de reconnaissance de qualité des sables entrepris par PERRIER sur la commune d'ESQUAY SUR SEULLES Coupe établie et interprétée par C.I. Parenj		01191X0017		382,200	175,950	75,000	2,80		mars-66	TV/terre végétale	QUAT / Quaternaire	00100/ sol (terre végétale)	Terre végétale
1017											2,81			LACULacune	MOUAT / Mur du Quaternaire		
1017											2,82			LACULacune	TPU / Tot du Pliocène		
1017											4,00			SAGRSable argileux à graviers	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Sables très grossiers et petits graviers dans un enduit argileux brun
1017											5,00			SOsable grossier	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Sables jaunes grossiers, beaucoup de grains RM et EL
1017											10,00			SATOsable très grossier	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Sable très grossier blanc, majorité de grain RM
1017											11,00			GALE/Galets	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Gros galets de quartz blanc
1017											19,00			SBsable à galets	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Sables grossiers et galets
1017											28,00			SAGRSable argileux à graviers	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Sables grossiers avec quelques graviers roulés
1017											29,00			GALE/Galets	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Niveau de galets à quartz et de grès
1017											30,00			SOsable grossier	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Sables grossiers avec quelques graviers roulés
1017											31,00			ASBargille sableuse	PLIO / Pliocène	02680/ Sables de Saint-Vigor	Argile brune très finement sableuse avec quelques galets

Annexe 2

-

Comptes-rendus des réunions du Comité de Pilotage

Réf. : CP1

Caen, le 19/07/05

COMPTE RENDU DE RÉUNION	
Projet : Atlas hydrogéologique du Calvados	Numéro : PSP05BNO17
Objet : Réunion de lancement	
Date : 08/07/2005 et 13/07/2005	Lieu : SGR Caen
Participants : T. Pay (CG 14) ; F. Gresselin (DIREN BNO) ; J.-F. Pasquet, M. Denti, L. Arnaud (BRGM)	
Absents : Excusé : C. Brannelec (AESN)	
Diffusion :	

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS
<p>1. <u>Présentation des données internes au BRGM</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - carte géologique harmonisée du Calvados au 1 / 50 000 ; - carte géologique numérique du massif armoricain au 1 / 250 000 ; - carte numérique des masses d'eau ; - logs géologiques validés (issus de la BSS) : déjà de l'ordre de 1 400 logs numérisés, appui de BRGM CDG pour le reste à faire (1 000 logs). Travail de mise en cohérence et de critique des données nécessaire ; - atlas hydrogéologique de l'Eure pour l'harmonisation aux frontières ; - 3 500 niveaux piézométriques asynchrones numérisés en BSS (à rattacher à des aquifères) ; - 1 100 sources numérisées en BSS (à rattacher à des aquifères) ; - retour d'expérience sur les aquifères de socle (SGR Bretagne, Services CDG et EAU) ; - étude prospective relative à l'extraction de granulats dans le Calvados.
<p>2. <u>Discussion sur les données susceptibles d'être récupérées auprès du Conseil Général</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - dossiers de forage complémentaires : se rapprocher de la DDE et du Service Routes du CG14 ; - MNT numérique au pas de 20 m (F. Gresselin a mentionné de possibles erreurs comme le secteur de la forêt de Cinglais) : voire si nécessité de passer une convention de mise à disposition ; - rapports de recherches en eau menées de 1990 à 2000, positives comme infructueuses ; - étude Géotherma sur le Permo-trias ; - notice ou rapport associé à la dernière version de l'Atlas hydrogéologique du Calvados (1991) ? ? ; - coupes sériées et transversales réalisées par l'Université de Caen dans le socle sur certains BV ? ?.
<p>3. <u>Discussion sur les données susceptibles d'être récupérées auprès de la DIREN BNO</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - stations de jaugeage et chroniques associées pour les bilans par BV : abonnement BRGM à la banque HYDRO ;

<ul style="list-style-type: none"> - données relatives au réseau piézométrique implanté dans les aquifères de socle : 1 point suivi par la DIREN dans le Calvados (chronique disponible sur ADES) ; - carte piézométrique hautes eaux réalisée à partir des observations faites en 2001 (disponible en novembre 2005) ; - carte piézométrique moyennes eaux (disponible en novembre 2005) ; - zones humides au format numérique ; - données Météo France achetées par la DIREN jusqu'en 2001 : contacter P. Galineau de la DIREN pour voir si il est possible de les récupérer ; - SCAN de la carte IGN au 1 / 250 000 ; - données de traçage sur le BV de l'Orbiquet + indices de cavités souterraines ; - données numériques relatives aux toit et murs du Bajocien, du Bathonien (exploitation de données BSS en 1998).
<p>4. <u>Données susceptibles d'être récupérées auprès de l'AESN :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - réseau hydrographique fin au format numérique ; - bassins versants topographiques ; - prélèvements en eaux souterraines ; - étude stagiaire :bilans par BV (données sources de la DIREN) ; - principales pertes en format numérique (BDCarto).
<p>5. <u>Autres données / retours d'expérience à recueillir :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - données météorologiques : METEO France ; - captages AEP et périmètres de protection : DDASS 14 ; - DDAF 14 : enquête menée dans le but de régulariser les forages agricoles (prélèvements complémentaires + puits privés dans le socle) ; - campagne basses eaux : non justifiée pour 2005 dans le Calvados (éventuellement en 2006 si prochaine recharge hivernale encore déficitaire), serait en revanche pertinente pour le Sud de l'Orne ; - retour d'expérience et contribution de l'Université de Caen (O Dugué, J. Legal, E. Laville) - Thèse de Damien Butaeye sur le bassin versant de la Druance (2001) ; - Thèses récentes sur les formations superficielles et les sols au Centre de Géomorphologie.
<p>6. <u>Aquifères et couches géologiques à traiter en prévisionnel :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - formations superficielles (alluvions, loess, LP, RS, biefs à silex) :extensions à cartographier ; - craie du Cénomanién : extension, toit et mur + niveaux piézométriques à cartographier ; - sables albién et aptién dans le pays d'Auge (rôle hydrogéologique) : extension ; - calcaires et sables oxfordiens : extension à cartographier (distinguer si possible les zones aquifères) ; - callovien ; - calcaires du batho-bajocién : extension, toit et mur + niveaux piézométriques à cartographier ; - marnes de Port-en-Bessin : extension, toit et mur ; - calcaires du Bajocién dans le Bessin : extension, toit et mur + niveaux piézométriques à cartographier (distinguer les zones karstiques et très karstiques) ; - Lias : extension ; - Trias : extension, toit et mur (distinguer si possible les zones aquifères ?) ; - socle : extension, mur des altérites, réflexion à mener.
<p>7. <u>Attentes complémentaires :</u> F. Gresselin a souhaité que des prospectives de tarissement soient menées sur certains piézomètres dans le cadre du projet par l'intermédiaire du logiciel GARDENIA. Le BRGM étudiera la faisabilité de ces simulations (non inscrites à la convention).</p>

ACTIONS
Conseil Général du Calvados : <ul style="list-style-type: none">- mise à disposition des données décrites au § 2 (modalités de mise à disposition à préciser).
DIREN BNO : <ul style="list-style-type: none">- mise à disposition des données décrites au § 3 (modalités de mise à disposition à préciser).
BRGM : <ul style="list-style-type: none">- contacter l'AESN pour discuter de la mise à disposition de données (§ 4) ;- contacter P. Galineau pour discuter des modalités de mise à disposition de données DIREN (SCAN 1 / 250 000, cartes piézométriques, données météo France, zones humides numérisées) ;- contacter les autres organismes susceptibles de fournir des données : DDASS14, DDAF14, Université de Caen, Météo France, ... (§ 5) ;- poursuivre le déstockage de la BSS (numérisation des niveaux d'eau, saisie des logs validés) et procéder à l'analyse critique des données récoltées ;- contacter l'Université de Caen pour envisager les modalités d'un partenariat ;- étudier la possibilité de réaliser des prospectives de tarissement sur certains piézomètres par le logiciel GARDENIA ;- identifier précisément les besoins en données hydrologiques pour discussion ultérieure avec la DIREN (bilans par BV).

Réf. : CP2

Caen, le 19/10/05

COMPTE RENDU DE RÉUNION	
Projet : Atlas hydrogéologique du Calvados	Numéro : PSP05BNO17
Objet : Discussion d'un avenant à la convention	
Date : 19/10/2005	Lieu : SGR Caen
Participants : T. Pay (CG 14) ; N. Roussel et C. Brannelec (AESN) ; J.-F. Pasquet, L. Arnaud (BRGM)	
Absents : Excusé : F. Gresselin (DIREN)	
Diffusion : Participants	

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS
<p>8. <u>Présentation de l'avancement des travaux par le BRGM</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Travaux débutés en juillet 2005 ; - Déstockage de la totalité des logs géologiques recensés en BSS et interprétation en cours selon la méthode du Référentiel Géologique Français (BRGM) ; - Déstockage de la totalité des niveaux d'eau présents en BSS ; - Données de prélèvements fournis par l'AESN ; - Analyse des données disponibles par bassin versant en cours : en fonction des résultats, 3 bassins seront sélectionnés en concertation avec le Comité de pilotage ; - Les travaux de cartographie devraient pouvoir débuter mi 2006.
<p>9. <u>Rappel par le BRGM des financements actuellement mobilisés pour la réalisation du projet</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Travail partiellement réalisé en 2005 à partir des seuls financements BRGM, DIREN et Conseil Général du Calvados ; - Impossibilité de fonctionner en 2006 sans la contribution de l'AESN.
<p>10. <u>Présentation des attentes de l'AESN concernant l'Atlas hydrogéologique du Calvados</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les travaux de faisabilité en cours doivent intégrer plus d'aspects qualitatifs, et pour conserver une masse constante au projet, les études réalisées par la DIREN Basse-Normandie sur les bilans hydriques par bassin versant doivent être exploitées et non recalculées. Le traitement des aspects qualitatifs pourra être ciblé sur la masse d'eau du Bathonien-bajocien ; - Propositions faites par l'AESN : collecte des études départementales et régionales sur les pressions polluantes (nitrates, phytosanitaires), approfondissement et validation des cartes de vulnérabilité simplifiée en cours de finalisation par le BRGM, synthèse des caractéristiques hydrodynamiques (de nombreuses données déjà synthétisées par la DIREN), aborder la géologie structurale avec un objectif de vulnérabilité de la ressource, évocation d'un atlas pédo-géochimique de la Basse Normandie (étude BRGM) ;

11. Conclusions :

- Etant donné la connaissance actuelle, il sera difficile d'aboutir à des couches numériques des pressions polluantes, mais les études disponibles pourront être consultées ;
- L'atlas géochimique réalisé en 1998 par le BRGM en Basse-Normandie ne concerne que le domaine de socle (BRGM) et ne devrait donc amener aucune information sur la masse d'eau du Bathonien-Bajocien ;
- Il n'est pas nécessaire de recalculer des bilans par bassin versant si déjà disponibles à la DIREN, seuls les modélisations par GARDENIA sur 3 bassins pourront être conservées ; ces bilans devront être mis à disposition par la DIREN et seront intégrés au projet en l'état ;
- La caractérisation de la vulnérabilité intrinsèque de la masse d'eau Bathonien répond aux objectifs d'un atlas hydrogéologique (avis partagé par l'ensemble du comité de pilotage). Les critères prédéterminant cette vulnérabilité pourront être croisés dans la mesure où les données seront effectivement mises à la disposition du BRGM dans des délais compatibles avec la réalisation des études (épaisseur et nature des formations superficielles, données pédologiques, caractéristiques hydrodynamiques, battement, épaisseur aquifère, structurale, relations eaux de surface - eaux souterraines ...).

ACTIONS

BRGM :

- Proposition d'un projet d'avenant à la convention retardant la fin de l'étude de faisabilité à fin juin 2006 et intégrant un volet qualitatif à l'étude sur la base des conclusions de la réunion. Cette proposition sera soumise au comité de pilotage et devra être finalisée au plus tard pour le 4 novembre.

Réf. : CP3

Caen, le 03/05/06

COMPTE RENDU DE RÉUNION	
Projet : Atlas hydrogéologique du Calvados	Numéro : PSP05BNO17
Objet : Réunion d'avancement (Année 1)	
Date : 03/05/2006	Lieu : SGR Caen
Participants : T. Pay (CG 14) ; N. Roussel (AESN) ; F. Gresselin (DIREN) ; J.-F. Pasquet, L. Arnaud (BRGM)	
Absents :	
Diffusion : Participants	

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS
<p>12. <u>Avancement des travaux concernant le volet cartographique</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - sur la base de la note d'avancement remise aux partenaires le 24 avril 2006, le brgm a fait le point sur l'avancement des travaux ; - le brgm a mis en relief le peu de forage disponible pour décrire la géométrie de l'aquifère du Cénomaniens dans sa partie Sud. La bonne connaissance des zones d'affleurement et les données de l'Eure devraient cependant permettre une représentation cartographique satisfaisante ; - Concernant le Trias, le CG a insisté sur l'hétérogénéité des faciès et des structures rencontrés (plusieurs bassins avec des fonctionnements propres). Pour la cartographie de cet aquifère, il s'agira probablement de réaliser un zonage par potentialité plutôt que des cartes des toits et murs des formations du Trias ; - Pour le domaine de socle, le brgm a précisé que seul l'horizon altéré pourra éventuellement être cartographié. Sur ce point, la DIREN a insisté sur la nécessité d'être précis au niveau de la notice explicative de l'Atlas ; - Dans la mesure du possible, les principales formations superficielles seront cartographiées, mais les cartes piézométriques ne concerneront que les nappes principales et non les nappes perchées contenues dans les formations superficielles ; - la DIREN a mis à disposition du brgm une carte piézométrique correspondant à un état de très hautes eaux (2001) des niveaux phréatiques (premiers niveaux d'eau rencontrés) au format numérique. Il est rappelé que les cartes piézométriques élaborées par le brgm seront indépendantes de cette dernière, mais une confrontation des résultats ne pourra être que bénéfique aux 2 projets. Une carte des zones humides sera également mise à disposition du brgm ; - le CG14 remettra au brgm des chroniques piézométriques de courte durée en complément des données déstockées en BSS (suivis mis en place sur des forages d'irrigation pendant l'hiver sur la Dives amont) ; - l'achèvement de la collecte des données relatives au volet cartographique est programmé pour la fin mai 2006. L'analyse critique des données sera ensuite réalisée sur la première moitié du mois de juin excepté le contrôle de cohérence des successions stratigraphiques des logs validés qui ne pourra être traité qu'à la fin juin.

<p>13. <u>Avancement des travaux concernant le volet quantitatif</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le brgm a fait le point sur l'avancement des travaux ; - par rapport aux 3 bassins versants sélectionnés par le Comité de Pilotage (Seulles, Mue, Dives amont), le brgm a sollicité le C.P. pour le recueil d'études hydrogéologiques. A ce titre, le CG14 remettra au brgm plusieurs études : BURGEAP (Mue), SOGRAH (Dives amont), SAFEGE. Le brgm se rapprochera également des syndicats de bassin versant dans le but de collecter des études complémentaires ; - le CG14 et la DIREN ont précisé qu'aucune perte karstique n'engendrait de débits de fuite sur les bassins versants de la Seulles et de la Mue ; - en complément des prélèvements déjà transmis, l'AESN complètera les données pour les années 2004 et 2005 ; - en complément, l'enquête réalisée par la DDAF auprès des irrigants du département a été récupérée ; - les travaux réalisés par la DIREN (bilans par bassin versant au pas de temps mensuel) devront être intégrés à l'Atlas.
<p>14. <u>Avancement des travaux concernant le volet qualitatif</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le brgm a fait le point sur l'avancement des travaux ; - concernant la synthèse des paramètres hydrodynamiques disponibles en BSS, une partie du travail a déjà été réalisé par la DIREN, les résultats de ce premier déstockage seront récupérés par le brgm ; - la DIREN mettra également à disposition du brgm une carte d'épaisseur de la ZNS pour notamment permettre d'approcher la vulnérabilité des masses d'eau pour lesquelles la piézométrie ne sera pas cartographiée.
<p>15. <u>Délivable</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la réunion de clôture de l'année 1 a été fixée au 7 juillet 2006 à 9h30 dans les locaux du brgm à Hérouville-Saint-Claire ; - le Comité de pilotage s'est mis d'accord sur la remise d'un rapport final pour la mi-juillet 2006 ; - comme convenu initialement, la facturation pourra ainsi être émise par le brgm à la fin juin 2006.

ACTIONS

AESN :

- fourniture des données de prélèvements pour les années 2004 et 2005.

DIREN :

- mise à disposition de la cartographie des zones humides du département au format numérique ;
- mise à disposition des bilans hydriques réalisés sur les bassins versants du Calvados ;
- mise à disposition des paramètres hydrodynamiques collectés à partir de la BSS ;
- mise à disposition d'une carte d'épaisseur de la ZNS pour le département (obtenue à partir des niveaux phréatiques).

CG14 :

- fourniture de chroniques piézométriques sur la Dives amont (forages irrigants) ;
- mise à disposition de plusieurs études réalisées sur les 3 bassins versants sélectionnés pour les bilans.

BRGM :

- terminer les différentes tâches en cours selon le planning présenté dans la note d'avancement (saisie des logs validés, mise en forme et analyse critique des données , etc.) ;
- contacter les syndicats de bassin versant pour la Seulles, la Mue et la Dives amont ;
- soumettre au Comité de pilotage les modèles géométriques retenus pour chaque aquifère (ex. : aquifère du bajocien = bajocien + Aalénien + Toarcien sup/moy) ;
- remise d'un rapport final pour la mi-juillet 2006.

Réf. : CP4

Caen, le 10/07/06

COMPTE RENDU DE RÉUNION	
Projet : Atlas hydrogéologique du Calvados	Numéro : PSP05BNO17
Objet : Réunion de clôture (Année 1) et de lancement (Année 2)	
Date : 07/07/2006	Lieu : SGR Caen
Participants : T. Pay (CG 14) ; N. Roussel (AESN) ; F. Gresselin (DIREN) ; J.-F. Pasquet, L. Arnaud, D. Reynier (BRGM)	
Absents :	
Diffusion : Participants	

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS
<p>16. <u>Bilan des travaux concernant le volet quantitatif</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'ensemble des données nécessaires à la réalisation des bilans hydrologiques des bassins versants de la Seulles, de la Mue et de la Dives amont ont été récoltées : données climatiques (Météo France), données de prélèvements (AESN), chroniques piézométriques (ADES), données hydrologiques et résultats de bilans hydrologiques antérieurs (DIREN) ainsi que des éléments bibliographiques (CG14) ; - Il a été précisé que des éléments bibliographiques complémentaires seraient probablement recherchés pour préparer au mieux les modélisations GARDENIA ; - Le CP a, par ailleurs, attiré l'attention du brgm sur la possibilité de pluies efficaces en période estivales (événements pluvieux de très forte intensité).
<p>17. <u>Bilan des travaux concernant le volet qualitatif</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le brgm a confirmé la possibilité d'élaborer, en année 2, de nouvelles cartes de vulnérabilité par la méthode IDPR à partir du MNT au pas de 20 m (CG14) et des ZNS qui seront obtenues à l'issue des travaux cartographiques ; - il a été précisé que ces nouvelles cartes ne se substitueront pas aux résultats de l'étude nationale.
<p>18. <u>Bilan des travaux concernant la caractérisation géométrique des aquifères</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le brgm a présenté la répartition des logs géologiques déstockés et interprétés à l'issue de l'année 1 (données issues de la BSS, de la DDE et du CG14) ; - la DIREN a fait remarquer la possibilité de récupérer les dossiers de sondages géotechniques réalisés dans le cadre des travaux de l'A84. A ce titre, le brgm relancera la DDE malgré un premier déstockage ; - à l'issue de cette dernière relance, le brgm a précisé que l'alimentation de la base de données ne pourrait se poursuivre sous peine de retarder le lancement des travaux de cartographie ; - la convention passée avec l'Université de Caen est en cours de finalisation, son expertise sera apportée, en année 2, à la validation du modèle géologique interprété par le brgm et sur l'analyse des rendus cartographiques ; - sur cette base et à après discussion autour d'une « pile » litho-stratigraphique décrivant les systèmes aquifères visés, le Comité de Pilotage a arrêté les cartes numériques et/ou synthèses à réaliser en année 2 : <ul style="list-style-type: none"> ▪ alluvions de l'Orne aval et de la Touques aval : synthèse des principales études réalisées par

<p>l'agglomération de Caen + tests de cartographie à partir des logs validés dans ces zones ;</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>aquifère de la craie cénomanienn</u>e : extension, toit (= toit des formations crayeuses, essentiellement cénomanienn)e et mur (= toit de la glauconie de base et/ou des argiles du Gault) ; ▪ <u>aquifère de l'Oxfordien</u> : extension, toit et mur des formations de l'Oxfordien moyen et supérieur (coral rag, calcaires...). Le peu de données de base disponibles dans le sud du département nécessitera de bien préciser les limites de l'exercice (appui de l'Université). ▪ <u>Marnes callovo-oxfordiennes</u> : extension, toit (= toit du Callovien ou des marnes oxfordiennes) et mur (= mur du Callovien) ; ▪ <u>Aquifère du Bathonien</u> : extension, toit (= toit du Bathonien) et mur (= toit des marnes de la base du Bathonien quand elles existent) ; ▪ <u>Marnes de la base du Bathonien</u> (marnes de Port-en-Bessin, bancs bleus, couches de passage) : extension, toit et mur ; ▪ <u>Aquifère du Bajocien</u> : extension, toit (= toit du Bajocien) et mur (= mur du Toarcien + test à réaliser sur toit des argiles à poissons) ; ▪ <u>aquifère multi-couche du Lias</u> : extension, toit (= mur du Toarcien) et mur (= toit du Trias) ; ▪ <u>aquifère du Permo-Trias</u> : extension, toit (= toit du Trias) et mur (après analyse des données disponibles, il sera décidé d'intégrer ou non l'Autunien) ; ▪ <u>aquifères de socle</u> : le brgm a réalisé une base de données spécifique à partir de laquelle un essai de cartographie des épaisseurs d'altérites sera effectué ainsi que la mise en corrélation de différentes informations (épaisseur altération, débits, éléments structuraux, ...). Pour aider à cette analyse, des cartes de tarissement réalisées par la DIREN seront mis à disposition du brgm.
<p>19. <u>Bilan des travaux concernant la piézométrie des aquifères</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - exploitation des données issues de la BSS (+ étude Géotherma sur le Trias) terminée et présentation d'un bilan chiffré pour les aquifères de la craie et des calcaires bajocien et bathonien ; - en complément de ces données, il reste à récupérer les données brutes de la DIREN, datées de 2001 ; - pour les aquifères de socle, la carte moyennes eaux de la DIREN sera intégrée à l'atlas en raison du manque d'information en BSS ; - pour les aquifères de la craie et des calcaires bajocien et bathonien, les cartes piézométriques seront réalisées à partir des données synthétisées par le brgm et indépendantes des cartes de la DIREN. Une confrontation des résultats pourra être menée. Les données de base, la méthodologie employée et les objectifs visés devront clairement être notifiés dans le rapport d'étude ; - pour ces 2 derniers aquifères, des cartes moyennes eaux, basses eaux et hautes eaux seront réalisées en précisant bien les limites de cartes calculées et ne reposant pas sur des campagnes de mesures synchrones ; - en complément, et à la demande de l'AESN, il a été rappelé qu'une carte de synthèse des caractéristiques hydrodynamiques disponibles en BSS serait également réalisée.
<p>20. Suite à la demande de l'AESN, il a été précisé par le brgm que la base de données des logs validés « bruts » (consultable sur Internet via InfoTerre) ne serait pas remise. En revanche, les logs codés selon le modèle géologique retenu pour la cartographie feront partie des livrables.</p>
<p>21. Sous réserve de la remise du rapport final par le brgm courant juillet, la clôture de la phase 1 du projet a été actée par le Comité de Pilotage. Cette réunion a également permis de lancer la deuxième phase des travaux.</p>

ACTIONS

DIREN :

- mise à disposition de cartes de tarissement en domaine de socle.

CG14 :

- retour courrier pour formaliser par écrit le partenariat mis en place avec l'Université de Caen (représenté par O. Dugué).

BRGM :

- remise d'un rapport final pour la troisième semaine de juillet ;
- préparation d'une convention pour échange de données avec la DIREN ;
- relance de la DDE pour le déstockage potentiel de sondages géotechniques réalisés dans le cadre des travaux de l'A84 ;
- contact avec l'Agglomération de Caen pour la récupération d'études sur la nappe des alluvions de l'Orne.

Annexe 3

-

**Aquifères de socle : nouveaux concepts
(Publication parue dans Géosciences, janvier
2006)**

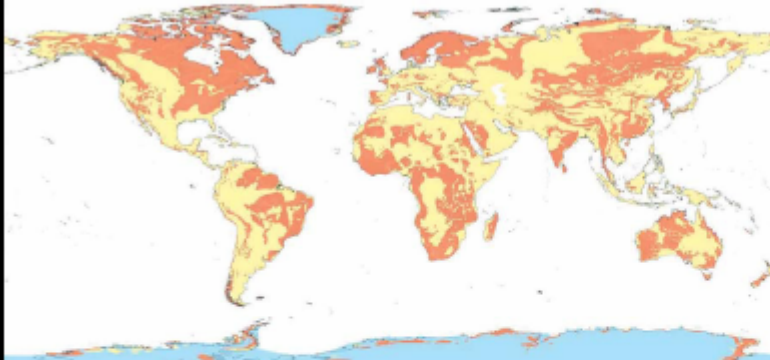


Fig. 1 : Carte des régions de socle dans le Monde
Fig. 1.: Map of the world's hardrock regions
 © BRGM-Imagis / CDG - R. Wynn

Fig. 2 : Concept "classique" d'aquifère discontinu
Fig. 2: Classical model of discontinuous aquifers

Fig. 3 : Modèle conceptuel stratiforme de la structure et des propriétés hydrogéologiques des aquifères de socle
Fig. 3: Stratiform conceptual model of the structure and hydrogeological properties of hard rock aquifers

© BRGM-Imagis / CDG - R. Wynn

“ Les aquifères de socle présentent l'avantage de proposer une ressource eau souvent bien répartie géographiquement et peu dépendante des eaux de surface. ”

phiquement et peu dépendante des eaux de surface. Contrairement à ux aquifères alluviaux ou karstiques, des sites favorables à l'implantation de forages en roche de socle sont susceptibles d'être trouvés à l'échelle de chaque commune.

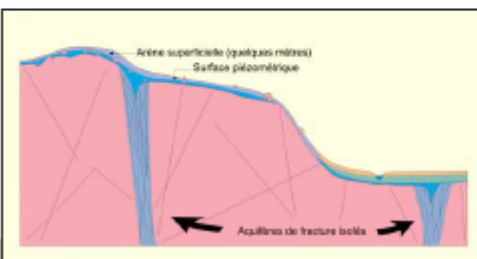
Alors qu'en climat tempéré ces ressources sont rarement concurrentielles aux eaux de surface pour les agglomérations de taille moyenne à grande, il n'en est pas de même en milieu rural. La mise en valeur de ces aquifères est susceptible de contribuer au développement économique des régions de socle, notamment dans les pays arides à semi-arides où ces eaux contribuent à l'émergence d'une agriculture irriguée à forte valeur ajoutée, alors que dans d'autres régions l'objectif est de produire une eau de bonne qualité sanitaire.

De nouveaux concepts sur les aquifères de socle

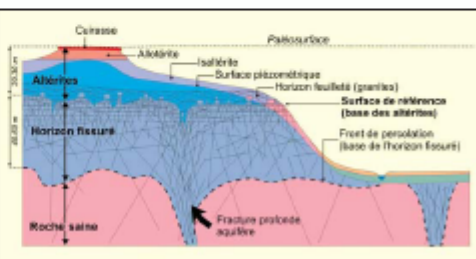
Les "aquifères de socle", "fissurés" ou encore "discontinus", exploitables à faible profondeur ont une distribution "discrète" de leur perméabilité. En forage, les premières "venues d'eau" significatives apparaissent au sein de la roche "saine". L'origine de certaines fissures est attribuée à la "décompression" de la roche par érosion des terrains qui les surmontaient mais le modèle classique d'aquifère discontinu, développé au cours des années 1970, identifie les principales venues d'eau dans les fractures d'origine tectonique et ouvertes (Fig. 2).

De nombreux auteurs ont constaté la raréfaction des venues d'eau avec la profondeur et l'ont attribuée à la "fermeture" des fractures tectoniques, du fait de l'augmentation de la pression des terrains avec la profondeur.

La plupart des régions où affleurent les roches métamorphiques ou plutoniques sont dites « stables ». Emergées, elles ont été exposées, pendant des durées très longues à l'altération météorique, sous des climats humides. Les roches affleurantes comportent en général une pellicule superficielle altérée de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur qui correspond à un profil d'altération de type latéritique.



Arène superficielle (quelques mètres)
 Surface piézométrique
 Aquifère de fracture isolée



Craie
 Paléosurface
 Albitris
 Isalbitris
 Surface piézométrique
 Horizon feuilleté (granite)
 Surface de référence (base des albitris)
 Front de percolation (base de l'horizon fissuré)
 Roche saine
 Fracture probable aquifère





Le développement de tels profils d'altération requiert de longues périodes pendant lesquelles les régions concernées ne présentent qu'un relief modéré. Si le relief est plus accentué, le taux d'érosion devient supérieur au taux d'altération et les produits d'altération ne peuvent s'accumuler. En Europe, le Crétacé inférieur et l'Eocène inférieur et moyen constituent les périodes les plus récentes durant lesquelles l'essentiel des profils d'altération du Massif Armoricain et du Massif Central s'est développé, avec pour conséquence la création d'un horizon fissuré de 50 à 70 m d'épaisseur sous 20 à 30 m d'altérites meubles (Lachassagne, Wyns et al., 2001; Wyns, Baltassat et al., 2004).

Application à la prospection et à la gestion des aquifères de socle

Les différents horizons constituent un aquifère composite, dont les propriétés hydrogéologiques sont optimales dans les secteurs où les trois compartiments décrits sont présents et où ils combinent au mieux leurs caractéristiques hydrodynamiques. L'existence d'une fracturation tectonique ne constitue ainsi pas la seule condition pour assurer de bonnes propriétés hydrogéologiques.

A l'échelle régionale, les couches altérées sont parallèles aux paléosurfaces d'aplanissement, c'est-à-dire à la surface topographique contemporaine de l'altération. Ces paléosurfaces peuvent avoir été érodées. La morphologie de ces horizons peut aussi être influencée par des variations lithologiques ou liées à la fracturation tectonique.

Sur la base de la connaissance de ces principes génétiques, il est relativement aisé de cartographier l'altitude de la limite entre les altérites et l'horizon fissuré sur le principe de la connaissance de son épaisseur moyenne pour chaque type de lithologie (Fig. 7a) (Lachassagne, Wyns et al., 2001).

L'analyse statistique des résultats de forages montre des relations entre les propriétés hydrogéologiques et la lithologie. La cartographie géologique classique et la cartographie des horizons d'altération des roches de socle sont complémentaires pour évaluer a priori la ressource en eau du socle. Elles permettent de tracer, sur la base d'une approche géologique pure croisée avec des statistiques et des observations hydrogéologiques, des secteurs très favorables et d'autres moins (Lachassagne, Wyns et al., 2001).

NOUVEAUX CONCEPTS



Fig. 6 - Exemple de la distribution verticale des débits spécifiques.
 En abscisse : débit total du puits, au soufflage [m³/j]/épaisseur de la formation recoupée [m], mesurée à partir de la base des altérites) en fonction. En ordonnée : épaisseur de la formation recoupée sous la base des altérites. Exemple de puits forés dans des secteurs présentant une couverture d'altération (granites jurassiques, région de Jeonju-Wanju, Corée du Sud)

Fig. 6 - Example of the vertical distribution of specific yield
 (x-axis: total well discharge by air-lift pumping [m³/j]/thickness of the drilled formation [m], measured from the bottom of the alterite) plotted against (y-axis) the thickness of the drilled formation underlying the alterite [m] for wells drilled in areas having a regolith (Jurassic granite, Jeonju-Wanju region, South Korea)

© BRGM (image) / IAU - P. Lachassagne

“ La qualité des eaux qu'ils contiennent, peu minéralisées et semi-protégées des agressions de la surface, est généralement bonne ; leur faible profondeur impose la vigilance ”

35

Géosciences - numéro 2 - août 2005

AQUIFÈRES DE SOCLE

Pour des besoins plus importants, les cibles hydrogéologiques classiques peuvent être recherchées, en complément des fissures d'altération. La configuration optimale est constituée par la présence d'un couloir de fracturation tectonique et d'horizons altérés bien préservés, saturés en eau, d'extension latérale significative, avec une configuration morphologique favorable à la recharge par les précipitations. Les méthodes utilisées pour localiser et caractériser ce type de sites reposent sur des prospections géologiques complémentaires, de la prospection émanométrique radon et sur des méthodes géophysiques.

La méthode géophysique RMP (Résonance Magnétique Protonique) a montré tout son intérêt en contexte de socle pour caractériser la profondeur des niveaux piézométriques, la puissance, ainsi que la porosité des différents horizons de la frange altérée (Wyns, Baltassat et al., 2004).

L'intensification de l'exploitation des aquifères de socle en Europe ou en Afrique, les surexploitations dans certaines régions comme l'Inde requièrent la mise en œuvre d'outils de gestion. Les méthodes de cartographie de la géométrie et des propriétés hydrodynamiques de ces aquifères fournissent des éléments de base qui permettent maintenant de répondre à ces besoins.

L'étude des fluctuations du niveau d'eau au sein de la nappe est réalisable à l'échelle du bassin versant et permet de quantifier les différents termes du bilan hydrologique. L'évaluation de ces paramètres a été mise au point et testée en Inde. Ces méthodes autorisent

Fig. 7 : Bassin versant lozérien de la Truyère (Lozère), 700 km²
GAUCHE : carte de l'épaisseur des altérites et de l'horizon fissuré-altéré. Légende : couleurs jaune, rouge, noir : épaisseurs croissantes d'altérites, vert : horizon fissuré-altéré, blanc : roche saine. **DROITE :** carte des potentialités en eau souterraine (analyse multicritères). Légende : du noir au rouge : potentialités en eau souterraine croissantes.

Fig. 7: Truyère catchment (Lozère), 700 km²
LEFT: map of the thickness of the alterite and the fractured-weathered horizon. Yellow, red, black: alterite layers of increasing thickness; green: fracture-weathered horizon; white: solid rock. **RIGHT:** map of groundwater potential (multivariate analysis). Black to red: increasing groundwater potential.

Carte / Left: © BRGM-Imège / CDG - E. Wyns
 Droite / Right: © BRGM-Imège / GOU - F. Lachassagne

la gestion de la ressource à l'échelle du bassin versant (Fig. 8) et permettent de construire des modèles mathématiques maillés multicouches (Lachassagne, Ahmed et al., 2001).

La prévision de la qualité des eaux souterraines et de la durabilité des pollutions d'origine anthropique passe, entre autres, par l'évaluation de la ressource renouvelable et des réserves. Dans le massif armoricain, plusieurs études ont montré que 80 à 85 % de la réserve est contenue dans l'horizon fissuré (Fig. 9) (Wyns, Baltassat et al., 2004).

Fig. 8 : Prévisions de l'évolution de la ressource en eau souterraine pour différents scénarios de politiques agricoles. Bassin versant de Maheshwaram, Andhra Pradesh, Inde.
 Légende : graphique supérieur : -5 %, -10 %, -15 % : réduction de 5, 10 et 15 % des prélèvements d'eau souterraine pour l'irrigation, « Current pumping » : poursuite de l'augmentation des prélèvements pour l'irrigation selon la tendance actuelle, FAO : augmentation des prélèvements afin de satisfaire aux objectifs de production des scénarios FAO.
 Schémas inférieurs : niveaux piézométriques actuels au sein de l'aquifère (2002) et prévision pour 2022 dans le cas de la poursuite de l'augmentation des prélèvements pour l'irrigation selon la tendance actuelle

Fig. 8: Predicted evolution of groundwater resources for different agricultural policy scenarios. Maheshwaram, Andhra Pradesh (India) catchment.
 Upper graph: -5%, -10%, -15%: 5, 10 and 15% reduction of groundwater withdrawal for irrigation; Current pumping: continuation of the current trend of increased pumping for irrigation; FAO: increased withdrawal in order to meet the production objectives of FAO scenarios.
 Lower graph: current water levels in the aquifer (2002) and predictions for 2022 if increase in withdrawal for irrigation continues to increase according to the current trend.

© BRGM-Imège / GOU - B. Dewandel et JM. Gondif

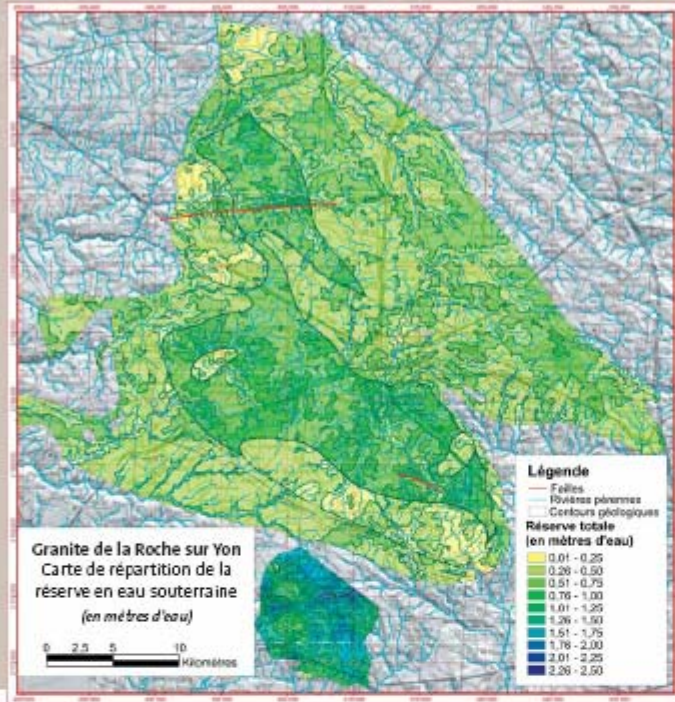


Figure 9 : Carte de la réserve en eau souterraine. Granite de La Roche-sur-Yon (Vendée)

Nota : seules les failles dont le jeu affecte la couverture d'alévation ont été figurées.

Figure 9: Map of groundwater reserves. La Roche sur Yon granite (Vendée, France)

N.B. Only the faults whose displacement has affected the reservoir are shown

© BRGM - Inédit / CDG - E. Wyns



Bed rock covers large surfaces of the Earth, Europe and France. Water resources in hard rock or bedrock aquifers are modest in terms of available discharge per well compared to those in other types of aquifers - porous, karstic or volcanic. They are, however, geographically widespread and therefore well suited to scattered populations in bedrock regions with moderate population densities, and are a significant factor in the economic development of these regions, in particular in arid or semi-arid areas where there is little surface water.

Significant advances have recently been made in our knowledge of the origin, geometry and functioning of hard rock aquifers. Newly developed geological and hydrogeological concepts find numerous practical applications - from the mapping of groundwater potential on a regional scale, through well siting techniques and methods (increasing the success rate in terms of exploitable discharge), to water resource management at the catchment scale, crucial in areas where groundwater is heavily exploited (in India, for example).

Conclusion

Les ressources du socle sont modestes, ce qui a conduit à chercher des solutions peu coûteuses, souvent indirectes, parfois très imaginatives pour détecter ces eaux précieuses, en particulier en contexte aride ou semi-aride. À l'inverse des aquifères sédimentaires, les propriétés des réservoirs sont dissociées : les altérites accumulent l'eau, les fissures lui permettent d'alimenter les forages. Sur la base de cette observation, l'analyse morphologique, la lithologie, les processus d'altération, la structure apportent un appui considérable à la reconnaissance de ces réservoirs peu profonds mais subtils, mais aussi et surtout à la gestion de leur ressource en eau et à la préservation ou la restauration de sa qualité. ■

“L'intensification de l'exploitation des aquifères de socle en Europe ou en Afrique, les surexploitations avérées dans certaines régions du monde comme l'Inde requièrent la mise en œuvre d'outils de gestion.”

Bibliographie : Cho, M., Choi, Y., Ji, K., Kee, W., Lachassagne, R., Wyns, R. In Relationship between the permeability of hard rock aquifers and their weathering, from geological and hydrogeological observations in South Korea. International Association of Hydrogeologists (IAH) Conference on "Groundwater in fractured rocks", Prague 19-23 September 2005, Prague 2005. — Lachassagne, R., Béné, S., Saliot, C., Marichal, J.-C., Thiery, D., Toussard, F., Wyns, R. In A methodology for the mathematical modelling of hard-rock aquifers at catchment scale based on the geological structure and the hydrogeological functioning of the aquifer. XXXI IAH Congress "New approaches characterizing groundwater flow", "Hard Rock Hydrogeology" session, Munich, Germany, 16th-19th September 2007, 2007. Wehlich, S. Ed., AIGU, Munich, Germany, 2007. — Lachassagne, R., Wyns, R., Béral, F., Brunel, T., Chéry, L., Couland, T., Desprats, J.-F., Le Strat, P., Exploitation of high-yield in hard-rock aquifers: Downscaling methodology combining GIS and multicriteria analysis to delineate field prospecting zones. Ground Water 2007, 39 (4), 558-581. — Divers in "La Houille Blanche" n° 116-1199. "Crues de la normale à l'extrême" — Marichal, J.-C., Diwanand, R., Sabarwal, R., Use of hydraulic tests at different scales to characterize fracture network properties in the weathered fractured layer of a hard rock aquifer. Water Resources Research 2005, 41 (1), 15. — Wyns, R., Béné, S., Saliot, C., Marichal, J.-C., Leghank, A., Valon, L. Application of proton magnetic resonance soundings to groundwater reserve mapping in weathered basement rocks (Brittany, France). Bulletin de la Société Géologique de France 2004, 175 (1), 21-34.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Basse-Normandie
Citis Odyssée
4 avenue de Cambridge
14209 – Hérouville Saint Clair - France
Tél. : 02 31 06 66 40