

Modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives

Phase 1 : Collecte des données,
synthèse hydrogéologique
et construction du modèle géologique

BRGM/RP-62002-FR
Juin 2013

Modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives

Phase 1 : Collecte des données,
synthèse hydrogéologique
et construction du modèle géologique

BRGM/RP-62002-FR

Juin 2013

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 12EAUK17

**Wuilleumier A., Allanic C., Boudet M., Bourguine B., Croiset N.,
Machard de Gramont H., Pannet P., Tourlière B., Dugué O.**

Vérificateur :

Nom : Yves Barthélémy

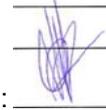
Date : 04/032013

Signature : 

Approbateur :

Nom : Benoît Vittecoq

Date : 20/03/2013

Signature : 

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots clés : Jurassique, Dogger, Bathonien, Bajocien, Dives, Orne, Calvados, hydrogéologie, modélisation maillée, synthèse hydrogéologique, modèle géologique

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Wuilleumier A., Allanic C., Boudet M., Bourguine B., Croiset N., Machard de Gramont H., Pannet P., Tourlière B., Dugué O. (2013) - Modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives. Phase 1 : Collecte des données, synthèse hydrogéologique et construction du modèle géologique. Rapport BRGM/RP-62002-FR. 178 pages, 84 ill., 35 tab., 24 annexes.

© BRGM, 2013, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

La DREAL de Basse-Normandie et l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN) ont sollicité le BRGM pour la réalisation d'un modèle hydrogéologique maillé portant sur les aquifères de la plaine de Caen-Argentan et le bassin de la Dives. Cette étude a pour vocation :

- de fournir les éléments scientifiques permettant la mise à jour de la délimitation de la Zone de Répartition des Eaux (ZRE) de l'aquifère du Bajo-Bathonien (plaine de Caen-Argentan et Bessin) ;
- d'évaluer la ressource en eau souterraine exploitable tout en respectant un rabattement piézométrique acceptable, ainsi qu'un débit d'étiage acceptable.

En co-maîtrise d'ouvrage entre l'AESN et le BRGM, et avec un co-financement AESN-BRGM, l'étude a été suivie par un comité de pilotage constitué par l'AESN, la DREAL, l'ARS, la DDTM du Calvados et la DDT de l'Orne¹. L'étude a pu bénéficier de l'expertise d'Olivier Dugué, géologue à l'Université de Caen, M. Dugué intervenant en tant que spécialiste du Jurassique de Basse-Normandie.

L'étude s'est déroulée selon le phasage suivant :

1. collecte des données et synthèse hydrogéologique ;
2. construction du modèle géologique ;
3. construction et calage du modèle hydrogéologique ;
4. exploitation du modèle hydrogéologique ;
5. formations à la modélisation en hydrogéologie et à l'utilisation du modèle hydrogéologique.

Les travaux réalisés sont décrits au travers de plusieurs rapports ; le présent rapport décrit les phases 1 et 2 de l'étude.

¹ Invitée, l'ONEMA régionale n'a pu être présente aux comités de pilotage.

Sommaire

1. Introduction	15
2. Rappel de notions d’hydrogéologie	17
2.1. AQUIFÈRE ET NAPPE.....	17
2.2. NAPPE LIBRE ET NAPPE CAPTIVE	18
2.3. CARACTÉRISATION D’UN AQUIFÈRE	19
2.3.1. Capacité de stockage	19
2.3.2. Capacité d’écoulement	21
3. Collecte des données	23
3.1. TOPOGRAPHIE DE LA ZONE D’ÉTUDE ET TRAITEMENTS ASSOCIÉS	23
3.1.1. Topographie	23
3.1.2. Pentes	24
3.1.3. Indice de Développement et de Persistance des Réseaux (IDPR)	25
3.2. CLIMATOLOGIE	27
3.2.1. Pluviométrie	27
3.2.2. Évapotranspiration	31
3.2.3. Pluie efficace	36
3.3. HYDROGRAPHIE ET HYDROMÉTRIE.....	37
3.3.1. Hydrographie	37
3.3.2. Zones humides	39
3.3.3. Hydrométrie des cours d’eau : stations de la banque HYDRO	40
3.3.4. Campagnes d’acquisition de données en période d’étiage : « les jaugeages volants »	43
3.3.5. Observatoire National des Étiages (réseau ONDE)	44
3.4. PIÉZOMÉTRIE ET SOURCES	45
3.4.1. Chroniques piézométriques	45
3.4.2. Cartes piézométriques	53
3.4.3. Sources	54
3.5. PARAMÈTRES HYDRODYNAMIQUES	57
3.5.1. Perméabilité	57
3.5.2. Transmissivité	58

3.5.3. Temps de demi-décroissance	64
3.5.4. Coefficient d'emménagement.....	66
3.6. VOLUMES PRÉLEVÉS.....	68
3.6.1. Prélèvements en eaux de surface.....	69
3.6.2. Eaux souterraines	73
3.6.3. Prélèvements pour l'élevage.....	77
3.6.4. Prélèvements pour l'alimentation en eau potable de la Ville de Caen.....	80
3.6.5. Répartition mensuelle des prélèvements pour l'AEP	86
3.6.6. Répartition mensuelle des prélèvements pour usage agricole	88
3.7. DÉBITS DE PRÉLÈVEMENT AUTORISÉS.....	91
3.7.1. Département du Calvados	91
3.7.2. Département de l'Orne.....	91
3.8. STATIONS D'ÉPURATION.....	95
3.9. GABIONS.....	96
3.9.1. Gabions du département du Calvados.....	96
3.9.2. Gabions du département de l'Orne.....	98
3.10. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE RELATIVE À LA PRÉSENCE DE KARSTS.....	100
3.10.1. Éléments généraux	100
3.10.2. Les pertes de l'Aure aux « fosses du Soucy »	102
3.11. ÉVALUATION DU RETOUR À LA NAPPE PAR PERTES DES RÉSEAUX D'EAU POTABLE ET EN SORTIE DE DISPOSITIFS D'ASSAINISSEMENT NON COLLECTIF.....	103
3.11.1. Impact des dispositifs d'Assainissement Non Collectif (ANC).....	103
3.11.2. Impact des pertes des réseaux d'eau potable	104
4. Synthèse hydrogéologique.....	107
4.1. HISTOIRE GÉOLOGIQUE DU SECTEUR D'ÉTUDE.....	108
4.1.1. Les zones d'écueils.....	109
4.2. FORMATIONS AQUIFÈRES DU BRIOVÉRIEN	111
4.3. FORMATIONS AQUIFÈRES DU TRIAS.....	112
4.3.1. Caractéristiques de production de l'aquifère.....	113
4.4. FORMATIONS AQUIFÈRES DU LIAS.....	115
4.4.1. Feuille de Bayeux-Courseulles	117

4.4.2. Feuille de Balleroy	118
4.4.3. Feuille de Mézidon	118
4.4.4. Feuille de Falaise	118
4.4.5. Feuille de Vimoutiers	118
4.4.6. Feuille d'Argentan.....	119
4.5. FORMATIONS AQUIFÈRES DU DOGGER (AALENIEN, BAJOCIEN ET BATHONIEN).....	119
4.5.1. Le Bajocien.....	119
4.5.2. Le Bathonien	121
4.5.3. Description par secteurs.....	125
4.5.4. Limites des Marnes de Port-en-Bessin et de leurs équivalents latéraux	131
4.5.5. Piézométrie de la nappe du Dogger	131
4.6. FORMATIONS AQUIFÈRES DU CALLOVO-OXFORDIEN	139
4.7. FORMATIONS AQUIFÈRES DU CRETACE.....	143
4.7.1. Description par secteurs.....	144
4.8. MODÈLE CONCEPTUEL	146
5. Construction du modèle géologique	149
5.1. TRAVAUX ANTÉRIEURS : MODÈLE GÉOLOGIQUE DU CALVADOS (2006)	149
5.1.1. « Pile » stratigraphique.....	149
5.1.2. « Logs » identifiés et codés	153
5.1.3. Schéma structural.....	153
5.2. MISE À JOUR DES DONNÉES NÉCESSAIRES AU MODÈLE	154
5.2.1. « Pile » litho-stratigraphique	154
5.2.2. Identification et codage de « logs » complémentaires.....	155
5.2.3. Schéma structural.....	161
5.2.4. Carte géologique synthétique.....	162
5.3. CONSTRUCTION DU MODÈLE GÉOLOGIQUE	163
5.3.1. Outil de modélisation géologique	163
5.3.2. Hypothèses complémentaires de construction	167
5.3.3. Géométrie des formations	170
6. Conclusion	171
7. Bibliographie.....	173

Liste des illustrations

Illustration 1 : Extension de la zone d'étude (Dugué, 2006).....	16
Illustration 2 : Zone saturée et zone non saturée d'un aquifère	18
Illustration 3 : Nappe libre et nappe captive : en 1 la nappe est libre ; en 2 la nappe est captive ; en 3 la nappe est captive et artésienne	19
Illustration 4 : Porosité d'un aquifère, eau libre et eau liée.....	20
Illustration 5 : Impact de la valeur de la perméabilité sur un pompage : une faible perméabilité induit un rabattement plus important du niveau de la nappe.....	21
Illustration 6 : Altimétrie de la zone d'étude (MNT de l'IGN au pas de 50 m) et principaux bassins versants	24
Illustration 7 : Pentés de la zone d'étude (d'après MNT de l'IGN au pas de 50 m)	25
Illustration 8 : Indice de Développement et de Persistance des Réseaux sur la zone d'étude	26
Illustration 9 : Pluviométrie moyenne annuelle selon la grille AURELHY établie par MétéoFrance.....	28
Illustration 10 : Postes pluviométriques suivis par MétéoFrance et disposant de données complètes sur la période 1994-2010 (fond : MNT IGN)	29
Illustration 11 : Exemples de double-cumul de la pluviométrie enregistrée sur différents postes de la zone d'étude (période 1971-2011).....	30
Illustration 12 : Double-cumul de la pluviométrie enregistrée à la station de Sassy (à droite) et à celle de Saint-Georges d'Aunay (à gauche). Ces cumuls sont comparés à ceux des stations de Caen-Carpiquet, Saint-Germain-Langot et l'Oudon (période 1971-2011).....	31
Illustration 13 : ETP décadaires aux stations MétéoFrance de Caen-Carpiquet et l'Oudon	33
Illustration 14 : Double-cumul des ETP aux stations Météo-France de Caen-Carpiquet et l'Oudon (période 1994-2011).....	34
Illustration 15 : Double-cumul des ETP aux stations Météo-France de Caen-Carpiquet et l'Oudon (période 1994-2004).....	34
Illustration 16 : Double-cumul des ETP aux stations Météo-France de Caen-Carpiquet et l'Oudon (période 2004-2011).....	35
Illustration 17 : Double-cumul des ETP aux stations Météo-France de Caen-Carpiquet et Argentan (période 1994-2004)	35
Illustration 18 : Double-cumul des ETP aux stations Météo-France de Caen-Carpiquet et Argentan (période 2004-2011)	35
Illustration 19 : Réseau hydrographique de la zone d'étude (BD Carthage de l'IGN). En fond de carte, zones d'affleurement des différents étages géologiques.....	38
Illustration 20 : Cartographie des zones humides de Basse-Normandie (source : DREAL Basse-Normandie, fond : carte géologique à l'échelle 1 / 1 000 000 ^{ème}).....	39
Illustration 21 : Localisation des stations de mesure du débit journalier dans la zone d'étude	42

Illustration 22 : Localisation des jaugeages volants dans la zone d'étude	43
Illustration 23 : Localisation des piézomètres situés dans la zone d'étude (hors piézomètres de la ville de Caen).....	46
Illustration 24 : Piézomètres suivis par des enregistreurs automatiques de niveau, par la ville de Caen (fond : carte géologique à 1/50 000).....	49
Illustration 25 : Piézomètres de l'Orne appartenant à la zone d'étude (infographie SDE de l'Orne).....	50
Illustration 26 : Localisation du suivi piézométrique du DPSM sur le site de la Ferrière-aux-Etangs	52
Illustration 27 : Localisation des sources dans la zone d'étude.....	55
Illustration 28 : Exemple d'aménagement d'une source	56
Illustration 29 : Répartition spatiale des valeurs de transmissivité par aquifère	59
Illustration 30 : Représentation en boîte à moustaches des transmissivités connues par aquifère (la moyenne figure en rouge, la valeur médiane correspond à la barre du milieu de la boîte).....	60
Illustration 31 : Répartition spatiale des valeurs de transmissivité pour le Bathonien	62
Illustration 32 : Répartition spatiale des valeurs de transmissivité pour le Bajocien	63
Illustration 33 : Temps de demi-décroissance calculés par la DREAL à partir des « jaugeages volants »	65
Illustration 34 : Répartition spatiale des valeurs d'emménagement par aquifère	67
Illustration 35 : Localisation des prélèvements d'eau de surface	70
Illustration 36 : Répartition des prélèvements dans les eaux de surface en 1994 (à gauche) et en 2010 (à droite).....	70
Illustration 37 : Volume annuel prélevé par les collectivités dans les eaux de surface, de 1994 à 2010	71
Illustration 38 : Volume annuel prélevé pour un usage industriel dans les eaux de surface, de 1994 à 2010	72
Illustration 39 : Volume annuel prélevé pour un usage agricole dans les eaux de surface, de 1994 à 2010	72
Illustration 40 : Localisation des prélèvements en eau souterraine dans la zone d'étude	74
Illustration 41 : Prélèvements en eau souterraine par type d'usage, en 1994 (à gauche) et en 2010 (à droite).....	74
Illustration 42 : Volume annuel prélevé dans les eaux souterraines de 1994 à 2010	75
Illustration 43 : Volume annuel prélevé par les collectivités dans les eaux souterraines, de 1994 à 2010	75
Illustration 44 : Volume annuel prélevé par les industriels dans les eaux souterraines, de 1994 à 2010	76
Illustration 45 : Volume annuel prélevé pour un usage agricole dans les eaux souterraines de 1994 à 2010	77
Illustration 46 : Consommation journalière d'eau par les bovins laitiers (Ward, 2007).....	79

Illustration 47 : Estimation du volume annuel moyen prélevé pour l'élevage.....	80
Illustration 48 : Prélèvements moyens mensuels pour différents sites de production de la ville de Caen (période 2001-2010)	83
Illustration 49 : Prélèvements mensuels dans les forages F3, F4 et F5 du bassin de la Mue (période 2001-2010)	85
Illustration 50 : Prélèvements mensuels (exprimés en % du total annuel) pour des syndicats de la zone côtière (en haut) et de l'intérieur des terres (en bas) – année 2002	87
Illustration 51 : Orientation technico-économique de la commune selon le Recensement Général Agricole (Agreste, 2010)	90
Illustration 52 : Prélèvements autorisés dans le département du Calvados et situés dans la zone d'étude.....	93
Illustration 53 : Prélèvements autorisés dans le département de l'Orne et situés dans la zone d'étude	94
Illustration 54 : Localisation et débits moyens journaliers des stations d'épuration situées dans la zone d'étude (données AESN, période 2008-2010).....	96
Illustration 55 : Localisation des gabions situés dans la zone d'étude (sur fond géologique à l'échelle 1M).....	97
Illustration 56 : Localisation des cavités souterraines issues de l'inventaire départemental du Calvados (sur fond de carte géologique simplifiée au 1/1 000 000 ^e).....	101
Illustration 57 : Rendement des réseaux d'eau potable par Unité de Gestion de l'Eau (SDAEP Calvados, 2003)	105
Illustration 58 : Emprise des feuilles géologiques au 1/50 000 ^{ème} sur le secteur d'étude	107
Illustration 59 : Extension des terrains du Trias (à gauche) et du Lias (à droite) Extraits de la Synthèse géologique du Bassin de Paris (1980).....	108
Illustration 60 : Extension du Jurassique Moyen (Synthèse géologique du Bassin de Paris, 1980)	109
Illustration 61 : les synclinaux paléozoïques et les zones d'écueils (Riout, 1985)	110
Illustration 62 : Jurassique transgressif sur le Trias en ocre et le Briovérien en vert (Feuille de Bayeux - Coupe SW-NE).....	111
Illustration 63 : Affleurements du Briovérien - hachuré vertical - et du Trias - hachuré oblique (figure extraite de la notice de la carte géologique de Balleroy).....	112
Illustration 64 : Isobathes de la base du Toarcien (notice de la carte géologique de Bayeux-Courseulles)	116
Illustration 65 : Coupe type du Lias (d'après Dugué et al., 1998)	117
Illustration 66 : Fluctuations saisonnières à Vieux-Fumé (indice BSS : 01463X0103/S1 – aquifère du Bathonien – les données antérieures à 1988 sont sujettes à caution)	123
Illustration 67 : Fluctuations saisonnières et pluriannuelles à Garcelles-Secqueville (indice BSS : 01462X0072/S1 – aquifère du Bathonien)	124
Illustration 68 : Fluctuations pluriannuelles à Cintheaux (indice BSS : 01461X0012/S1 – aquifère du Bathonien)	124
Illustration 69 : Piézomètre de Maisons dans la nappe bajocienne (indice BSS : 01184X0021/S1).....	127

Illustration 70 : La nappe bajocienne au piézomètre de Martagny (indice BSS : 01192X0043/S1)	128
Illustration 71 : Piézomètre de Saint Martin des Entrées (près Bayeux) dans le Bajocien (indice BSS : 01191X0004/S1)	128
Illustration 72 : Incision du Bajocien par la vallée de l'Orne dans le secteur de Caen (d'après Journaux, Pareyn et Roux, 1966)	130
Illustration 73 : Aquifère du Bathonien, compartimenté par la faille (E-W, puis N-S) du Moulin de la Marche (rapport Geotherma, 1993).....	137
Illustration 74 : Piézométrie du Dogger dans le secteur d'Argentan (rapport Conseil Général de l'Orne, Pivette Consultant et al., 2001)	139
Illustration 75 : Schéma structural simplifié du modèle géologique élaboré en 2006 (Arnaud, 2006)	154
Illustration 76 : Coupes de plus de 50 m de profondeur utilisées lors du modèle géologique 2006 (Arnaud, 2006)	156
Illustration 77 : Exemple de coupe foreur détaillée	157
Illustration 78 : Exemple de tableau d'interprétation et de codification.....	158
Illustration 79 : Localisation des coupes géologiques de référence validées lors de cette étude (en rouge) et des coupes géologiques utilisées lors de la première modélisation (en jaune)	159
Illustration 80 : Localisation d'éléments géologiques remarquables identifiés à l'occasion du codage de logs complémentaires courant 2012	161
Illustration 81 : Schéma structural retenu pour le modèle géologique 2012.....	162
Illustration 82 : Carte géologique synthétique de la zone d'étude (les codes géologiques sont présentés en Tableau 35)	163
Illustration 83 : Dernières formations rencontrées en forage.....	167
Illustration 84 : Corrélations des principaux forages profonds de Normandie (Bessin, Pays d'Auge, Vallée de la Seine, Pays de Caux, Bray ; Dugué, 2006).....	169

Liste des tableaux

Tableau 1 : Exemples de valeurs de porosité efficace pour diverses formations (source : guide d'application de l'arrêté interministériel du 11 septembre 2003, MEDD, 2004).....	20
Tableau 2 : Classification des aquifères selon leur perméabilité (source : guide d'application de l'arrêté interministériel du 11 septembre 2003, MEDD, 2004)	21
Tableau 3 : Année de début d'acquisition de données d'ETP Penman décadaire pour diverses stations Météo-France de la zone d'étude	32
Tableau 4 : Lamme d'eau moyenne interannuelle écoulée aux stations hydrométriques de la zone d'étude (source : banque HYDRO).....	37
Tableau 5 : Nombre de jaugeages ponctuels effectués par bassin versant	44
Tableau 6 : Liste des stations hydrographiques du réseau ONDE	45
Tableau 7 : Identification des piézomètres de la ville de Caen équipés d'enregistreurs automatiques de niveau	48
Tableau 8 : Répartition des sources par bassin versant (à gauche) et par système géologique (stratigraphie, à droite).....	55
Tableau 9 : Statistiques sommaires des valeurs de transmissivité recensées dans la zone d'étude	60
Tableau 10 : Valeurs des paramètres hydrodynamiques pour le champ captant de Prairie 1 (issues du rapport Lithologic, 2009).....	61
Tableau 11 : Statistiques sommaires des valeurs de coefficient d'emmagasinement recensées dans la zone d'étude.....	66
Tableau 12 : Volumes annuels produits et importés par la ville de Caen (Ville de Caen, 2002 ; Lithologic, 2008 et 2009)	82
Tableau 13 : Volumes annuels produits par la ville de Caen. Comparaison de deux sources d'information différentes.....	82
Tableau 14 : Prélèvements mensuels moyens (exprimés en % du total annuel) selon deux secteurs de la zone d'étude.....	88
Tableau 15 : Règles de répartition mensuelle de prélèvements annuels pour usage agricole utilisées dans des modèles régionaux.....	88
Tableau 16 : Proposition de répartition mensuelle des prélèvements à usage agricole (DDTM du Calvados).....	89
Tableau 17 : Volume rejeté en moyenne par les stations d'épuration dans la zone d'étude (2008-2010)	95
Tableau 18 : Répartition par bassin versant des gabions du Calvados situés dans la zone d'étude	97
Tableau 19 : Liste des gabions du département de l'Orne situés dans la zone d'étude.....	99
Tableau 20 : Répartition des gabions de l'Orne par bassin versant et estimation du prélèvement annuel associé.....	100
Tableau 21 : Caractéristiques de forages au Trias sur le secteur de la feuille de Balleroy.....	114

Tableau 22 : Caractéristiques de forages sur le secteur de la feuille de Bayeux-Courseulles	114
Tableau 23 : Caractéristiques de forages sur le secteur de la feuille de Villers Bocage.....	114
Tableau 24 : Exemple de débits de l'aquifère du Lias	116
Tableau 25 : Productivité de l'aquifère bajocien en fonction de la localisation (d'après les informations figurant dans la notice de la feuille géologique de Grandcamp-Maisy).....	126
Tableau 26 : Productivité de l'Aalénien et du Bajocien dans le secteur de Maisons.....	127
Tableau 27 : Caractéristiques de forages du Bajocien sur la feuille de Bayeux-Courseulles	128
Tableau 28 : Caractéristiques du Bathonien sur la feuille de Bayeux-Courseulles	129
Tableau 29 : Productivité des forage dans le secteur de Villers-Bocage	133
Tableau 30 : Productivité de forages captant l'aquifère du Dogger dans le secteur de Falaise.....	135
Tableau 31 : Caractéristiques du Bathonien dans le secteur de Sées.....	138
Tableau 32 : Caractéristiques de l'aquifère des calcaires Oxfordiens.....	142
Tableau 33 : Pile litho-stratigraphique utilisée pour la modélisation géologique réalisée en 2006	150
Tableau 34 : Description litho-stratigraphique des formations mésozoïques du Calvados et couches associées du modèle géologique (Arnaud, 2007).....	152
Tableau 35 : Pile litho-stratigraphique du modèle géologique réalisé en 2012.....	155

Liste des annexes

Annexe 1 Légende de la carte géologique à l'échelle 1 / 1 000 000 (BRGM)	179
Annexe 2 Liste des chroniques de débits disponibles dans la zone d'étude	183
Annexe 3 Liste des chroniques piézométriques disponibles dans la zone d'étude, hors piézomètres de la ville de Caen	187
Annexe 4 Coupe technique du puits de Louvigny (indice BSS 01198X0029/S8).....	191
Annexe 5 Liste des piézomètres de la ville de Caen équipés d'enregistreurs de niveau de nappe.....	195
Annexe 6 Exemples de chroniques piézométriques fournies par la ville de Caen	199
Annexe 7 Carte piézométrique de l'aquifère du Bathonien de la région d'Argentan – Sées.....	203
Annexe 8 Carte piézométrique de la nappe du Bajocien en situation de moyennes eaux (Atlas hydrogéologique numérique du Calvados).....	207
Annexe 9 Carte piézométrique de la nappe du Bathonien en situation de moyennes eaux (Atlas hydrogéologique numérique du Calvados).....	211
Annexe 10 Carte piézométrique de la nappe du Cénomani en situation de moyennes eaux (Atlas hydrogéologique numérique du Calvados).....	215
Annexe 11 Paramètres hydrodynamiques recensés par forage et par aquifère dans la zone d'étude	219
Annexe 12 Carte de perméabilité du modèle Argentan-Sées après calage (rapport Conseil Général de l'Orne, 2001)	225
Annexe 13 Localisation des prélèvements pour l'eau potable situés sur la commune de Saint-Pierre-Azif.....	229
Annexe 14 Prélèvements mensuels effectués sur les sites de production de la ville de Caen (2001-2010).....	233
Annexe 15 Champ captant de Moulines-Tournebu	239
Annexe 16 Forages de Prairie 1	247
Annexe 17 Localisation des forages de la ville de Caen dans le bassin versant de la Mue (fond IGN)	253
Annexe 18 Tableau des volumes journaliers moyens de 2008 à 2010 pour les STEP localisées dans la zone d'étude.....	257
Annexe 19 Système karstique des pertes de l'Aure (in CRSN, bilan des campagnes 1981-1985)	263
Annexe 20 Extraits des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 ^{ème} de la zone d'étude.....	267
Annexe 21 Coupe synthétique du Calcaire de Caen (Dugué, 1997)	283
Annexe 22 Schéma structural proposé dans le cadre du SDAEP de l'Orne (Lemoine, 2010).....	287
Annexe 23 Cartographie de la géométrie des formations géologiques modélisées	291
Annexe 24 Coupes verticales dans le modèle géologique et carte de localisation des coupes	303

1. Introduction

D'un point de vue réglementaire, les travaux de modélisation conduits au cours de cette étude se placent dans le cadre de :

- la Loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006 et du décret du 24 septembre 2007 qui prévoient la restauration de l'équilibre quantitatif de la ressource en eau dans les zones en déficit (ZRE) et la mise en place d'une gestion collective de l'eau ;
- la circulaire du 30 juin 2008 relative à la « résorption des déficits quantitatifs en matière de prélèvements d'eau et de gestion collective des prélèvements d'irrigation » qui prévoit que le volume prélevable dans les ressources en eau soit déterminé pour tous les usages dans les bassins en déficit quantitatif. Cette circulaire précise également que : « Dans le cas général, une ressource en eau fait l'objet d'une gestion quantitative équilibrée lorsque, statistiquement, huit années sur dix en moyenne, les volumes et débits maximums autorisés ou déclarés dans cette ressource, quels qu'en soient leurs usages (irrigation, alimentation en eau potable, ...), peuvent en totalité être prélevés dans celle-ci tout en garantissant le bon fonctionnement des milieux aquatiques correspondants. La garantie de bon fonctionnement peut, lorsqu'ils existent, s'observer par le respect des débits ou niveaux piézométriques d'objectifs, le cas échéant inscrits sous forme de Débit d'Objectif d'Étiage (DOE) ou de Piézométrie d'Objectif d'Étiage (POE) dans les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) ou les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) ».

D'un point de vue géologique, la zone d'étude couvre une zone de terrains sédimentaires mésozoïques, comprenant le département du Calvados et une partie du département de l'Orne, depuis l'embouchure de l'Aure dans le secteur de Grandcamp-Maisy jusqu'à l'embouchure de la Touques dans le secteur de Trouville, et jusqu'au sud dans le secteur d'Écouché à Sées (cf. Illustration 1).

Dans cette zone, les principaux aquifères sont constitués par les calcaires du Dogger (aquifères du Bathonien et du Bajocien), dont une restitution satisfaisante des comportements hydrogéologiques constitue donc un objectif primordial du modèle. On peut noter par ailleurs la présence des aquifères du Trias (sables et graviers), de l'Oxfordien (calcaires et sables) et du Cénomaniens (craie), qui sont de ce fait pris en compte dans l'étude.

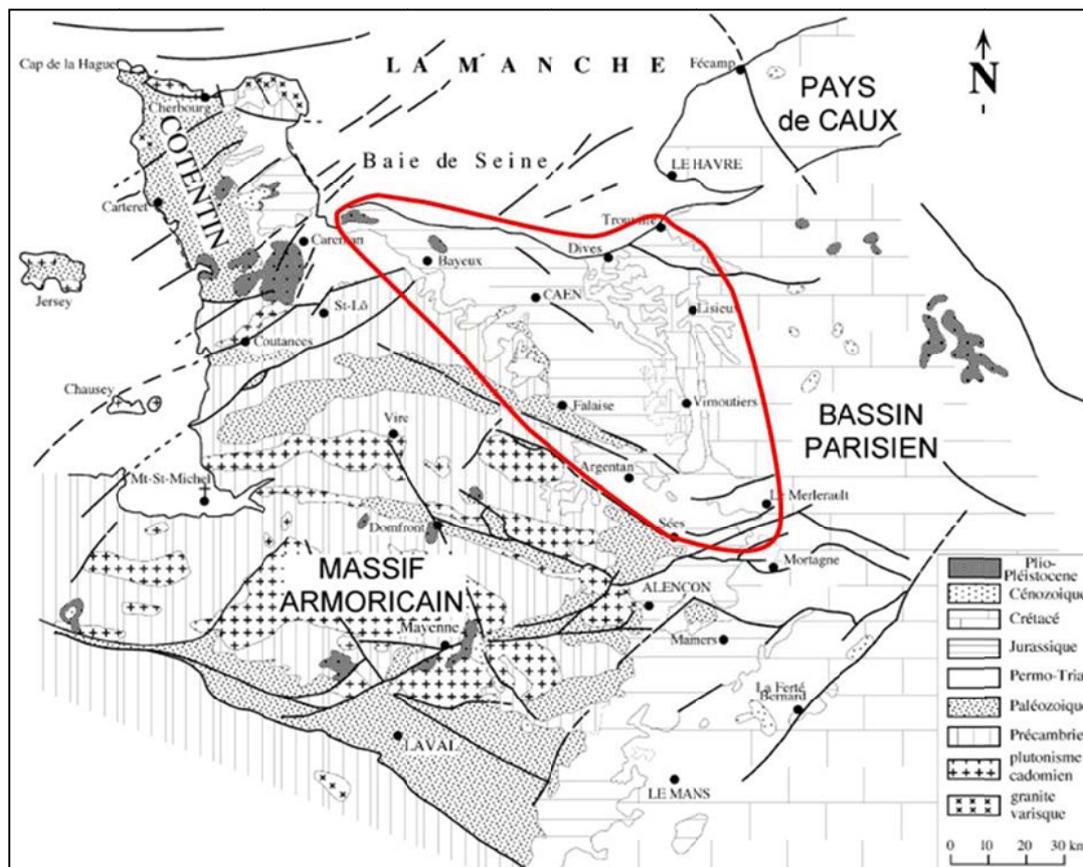


Illustration 1 : Extension de la zone d'étude (Dugué, 2006)

Le présent rapport correspond à la première partie de l'étude de modélisation. Il décrit la réalisation des opérations suivantes :

- collecte et première analyse des données ;
- synthèse hydrogéologique ;
- construction du modèle géologique.

Les parties ultérieures de l'étude sont décrites dans des rapports spécifiques.

2. Rappel de notions d'hydrogéologie

Les descriptions, tableaux et figures présentés dans les sections suivantes sont très largement inspirés du guide d'application de l'arrêté interministériel du 11 septembre 2003 (Ministère de l'Écologie et du Développement Durable), dont la référence est donnée en bibliographie. On pourra s'y reporter pour plus d'informations.

2.1. AQUIFÈRE ET NAPPE

Deux termes sont régulièrement utilisés par les hydrogéologues lorsque l'on évoque les eaux souterraines : aquifère et nappe.

Un aquifère peut être défini² comme un ensemble de roches perméables, reposant sur -et parfois recouvert par- des roches moins perméables, comportant une zone saturée³ et conduisant suffisamment l'eau pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables.

Une nappe est quant à elle définie comme « ensemble de l'eau présente dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique ».

En simplifiant, l'aquifère est le contenant (« le réservoir ») dans lequel s'écoule une nappe (le contenu).

Un aquifère comporte une zone saturée et le cas échéant une zone non saturée (cf. Illustration 2). La zone non saturée correspond à la partie de l'aquifère dans laquelle les vides de la roche ne sont pas entièrement saturés en eau.

² Définition du Comité National Français des Sciences Hydrologiques

³ La zone saturée d'un aquifère correspond à la zone du sous-sol dans laquelle l'eau occupe complètement les interstices des roches.

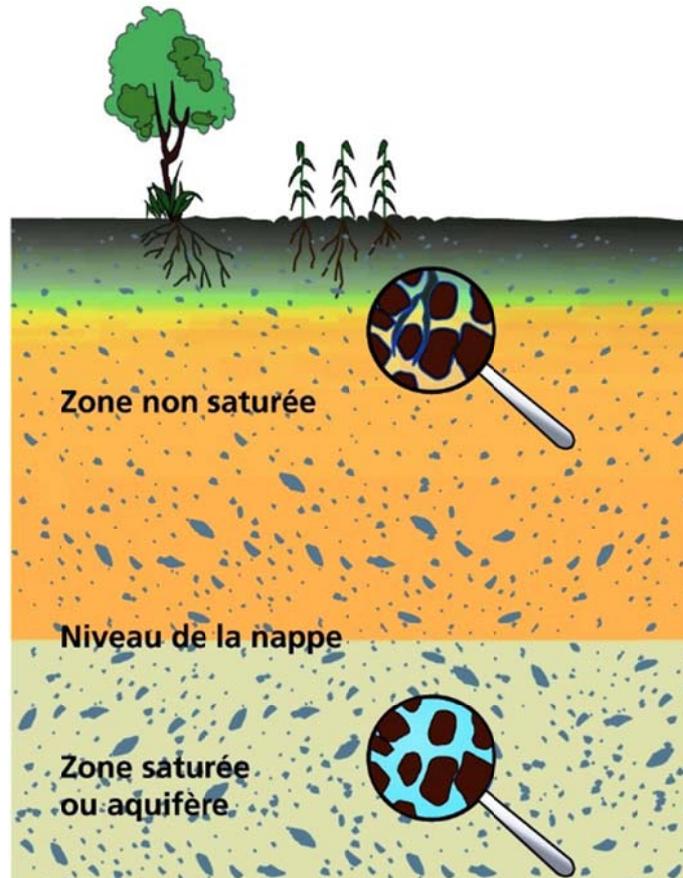


Illustration 2 : Zone saturée et zone non saturée d'un aquifère

2.2. NAPPE LIBRE ET NAPPE CAPTIVE

Selon les conditions géologiques et topographiques – parfois artificiellement modifiées – une nappe se trouve en situation de « nappe libre » ou de « nappe captive ».

Une nappe libre repose sur une couche très peu perméable et elle est surmontée d'une zone non saturée au sein de l'aquifère. Elle est donc soumise à la pression atmosphérique. C'est la première nappe rencontrée depuis la surface.

Dans une nappe captive, l'eau est confinée dans l'aquifère entre deux formations géologiques très peu perméables. Elle est donc mise sous pression. Ceci se produit souvent dans des aquifères profonds mais peut aussi être observé à quelques dizaines de mètres de profondeur.

Lorsqu'un forage atteint une nappe captive, le niveau de l'eau remonte dans le forage. Ce niveau, exprimé en altitude par rapport au niveau de la mer, définit le niveau piézométrique. Si ce niveau se situe au-dessus de la surface du sol, l'eau jaillit naturellement. On dit alors que le forage est artésien.

L'illustration 3 présente les différents cas évoqués précédemment.

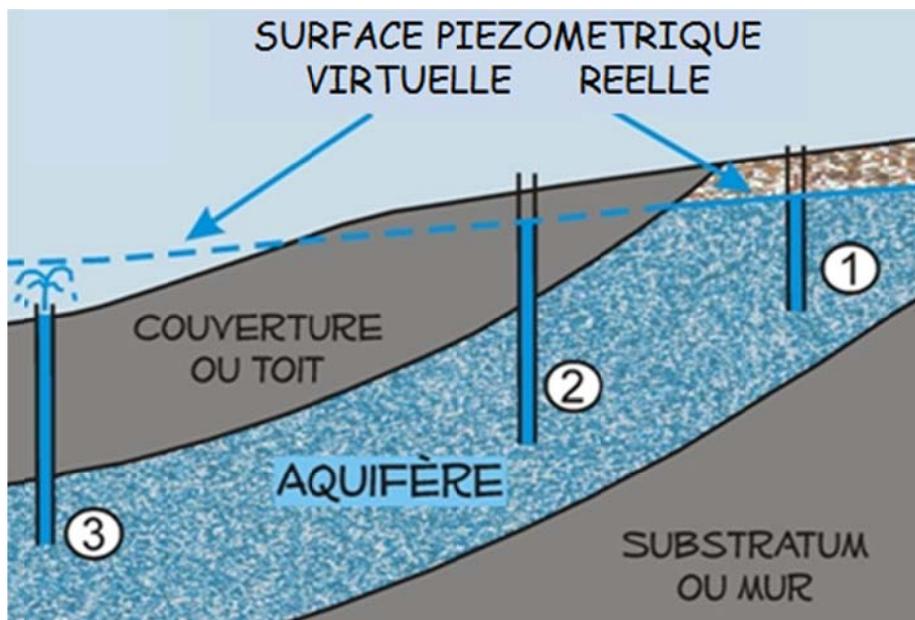


Illustration 3 : Nappe libre et nappe captive : en 1 la nappe est libre ; en 2 la nappe est captive ; en 3 la nappe est captive et artésienne

2.3. CARACTÉRISATION D'UN AQUIFÈRE

De nombreux paramètres permettent de qualifier les propriétés d'un aquifère. Quelques-uns sont cités ci-après, selon leur capacité à qualifier une fonction de stockage de l'aquifère ou une fonction d'écoulement dans l'aquifère.

2.3.1. Capacité de stockage

La quantité d'eau qu'un aquifère emmagasine dépend de ses dimensions (étendue, épaisseur) et de la porosité des roches qui le constituent. La porosité d'une roche correspond au ratio du volume des « vides » dans la roche divisé par le volume total. Une roche comporte en effet des vides résiduels, entre les grains qui la constituent (cf. Illustration 4). Cette porosité varie de quelques pourcents dans une roche compacte et massive (par exemple un basalte massif) à 10%-20% dans des sables et graviers, et plus de 40% dans des argiles (qui ne sont guère exploitables en raison de la taille des pores qui induisent d'importants phénomènes de capillarité).

La notion de porosité est essentielle car c'est elle (avec la taille de l'aquifère) qui permet d'estimer le volume d'eau contenu dans une roche. Néanmoins, seule une partie de l'eau contenue dans la roche est disponible pour les écoulements. En effet, une part de l'eau contenue au sein des pores est liée aux grains de la roche par des forces de tension superficielle. Cette part est dite « eau liée », par opposition à l'eau disponible pour les écoulements, dénommée « eau libre » (cf. Illustration 4).

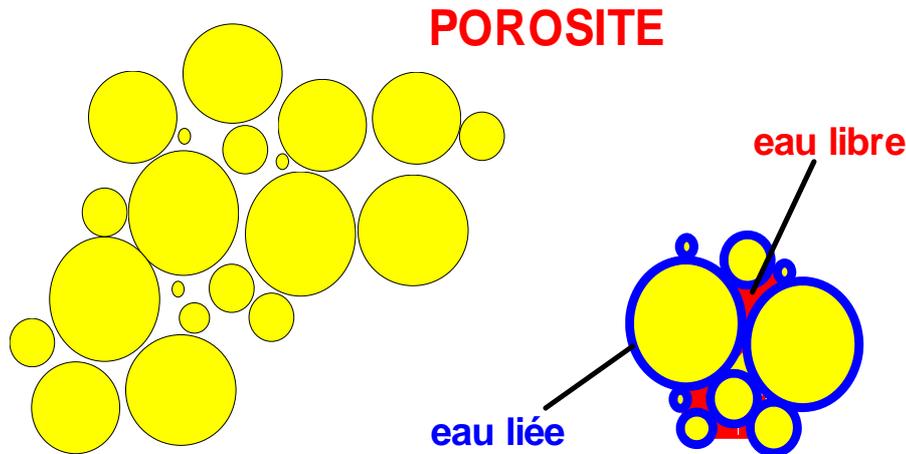


Illustration 4 : Porosité d'un aquifère, eau libre et eau liée

On définit donc une porosité efficace, correspondant schématiquement au ratio du volume d'eau libre qu'une roche peut contenir divisé par le volume total de la roche. Cette « porosité efficace » est à bien distinguer de la « porosité » : pour une argile par exemple, la porosité dépasse les 40%, tandis que la porosité efficace est généralement inférieure à 1%. Le Tableau 1 fournit des exemples de valeur de porosité efficace.

Graviers	25%
Sable et graviers	20%
Sable fin, grès	10%
Graviers argileux, cimentés	5%
Sables argileux	2 à 4%
argile	< à 1%
Craie	2 à 5 %

Tableau 1 : Exemples de valeurs de porosité efficace pour diverses formations (source : guide d'application de l'arrêté interministériel du 11 septembre 2003, MEDD, 2004)

En nappe libre, la porosité efficace est assimilable au coefficient d'emmagasinement (calculé comme le volume d'eau libéré par gravité pour une baisse de 1 m de la surface libre de la nappe).

On définit également un coefficient d'emmagasinement pour les nappes captives. Dans ce cas, la quantité d'eau libérée pour une baisse d'un mètre du niveau piézométrique est bien plus faible puisqu'elle n'est due qu'à la décompression de l'eau et de la roche réservoir.

On définit un coefficient d'emmagasinement spécifique, dont l'unité est en m^{-1} , qui correspond à la quantité d'eau libérée par un cube aquifère d'un mètre carré de section et un mètre d'épaisseur saturée pour une baisse d'un mètre du niveau piézométrique.

2.3.2. Capacité d'écoulement

L'aptitude d'un aquifère à laisser circuler l'eau est caractérisée par la notion de perméabilité (exprimée en m/s). Plus sa valeur est élevée et meilleure est la capacité de l'aquifère à laisser circuler l'eau. L'impact de la perméabilité sur un pompage est présenté en Illustration 5 : plus la perméabilité est faible et plus le rabattement est important. Des exemples de valeurs de perméabilité sont fournis dans le Tableau 2.

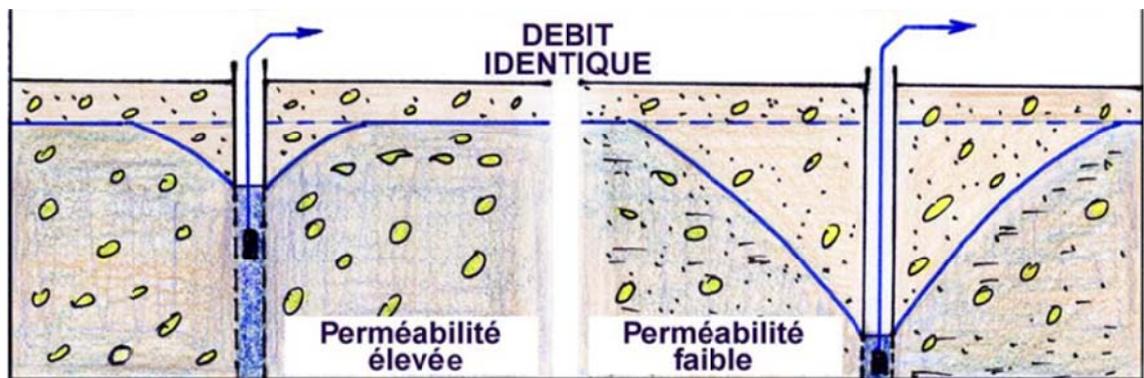


Illustration 5 : Impact de la valeur de la perméabilité sur un pompage : une faible perméabilité induit un rabattement plus important du niveau de la nappe

Valeur de la Perméabilité	Classification hydrogéologique	Valeur de l'aquifère	Exemple de roche
10^{-2} à 10^{-4} m/s	perméable	très bon à bon	Sables et Graviers
10^{-5} m/s	assez perméable	assez bon	Calcaires gréseux
10^{-6} à 10^{-7} m/s	peu perméable	médiocre à mauvais	Limons, Mames
égale ou inférieure à 10^{-8} m/s	très peu perméable	non aquifère	Argiles

Tableau 2 : Classification des aquifères selon leur perméabilité (source : guide d'application de l'arrêté interministériel du 11 septembre 2003, MEDD, 2004)

Un autre paramètre utilisé en hydrogéologie (car il est déduit des essais de pompage généralement effectués lors de la réalisation d'un forage) est la transmissivité. Exprimée en m^2/s , elle est égale au produit de la perméabilité par l'épaisseur saturée de l'aquifère.

Dans les modèles maillés d'écoulement souterrain, des valeurs de perméabilité sont affectées aux mailles et la transmissivité de l'aquifère varie automatiquement en fonction du niveau de nappe simulé par le logiciel. Les valeurs de perméabilité attribuées au modèle sont généralement déduites des transmissivités déduites des pompages d'essai, par le biais d'une estimation de l'épaisseur aquifère saturée.

En l'absence de valeurs de perméabilité ou de transmissivité, le débit spécifique peut apporter une première approximation de la capacité d'un aquifère à laisser l'eau circuler en son sein. Ce paramètre, exprimé en $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, est calculé comme le ratio entre un débit de pompage et le rabattement mesuré dans le forage pour ce débit. Le débit spécifique intégrant les pertes de charges quadratiques associées au forage et à son équipement, il ne reflète cependant pas uniquement les propriétés de l'aquifère.

3. Collecte des données

La collecte des données a principalement été effectuée auprès de l'AESN et des Services de l'État (DREAL, ARS, DDTM du Calvados et DDT de l'Orne), dans des délais courts. Le Conseil Général de l'Orne, du Calvados et la Ville de Caen ont aussi contribué efficacement à la fourniture de données.

Les données sont présentées par grandes thématiques : météorologie, altimétrie, hydrographie et hydrologie, piézométrie et sources, paramètres hydrodynamiques et données anthropiques (prélèvements, rejets de STEP et gabions).

Les données relatives à la partie géologique sont présentées en préambule du chapitre consacré au modèle géologique.

3.1. TOPOGRAPHIE DE LA ZONE D'ÉTUDE ET TRAITEMENTS ASSOCIÉS

3.1.1. Topographie

La topographie de la zone d'étude présentée en Illustration 6 provient du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'IGN au pas de 50 mètres. Elle fait apparaître les principaux bassins versants (BV), à savoir d'Est en Ouest :

- BV de la Touques ;
- BV de la Dives ;
- BV de l'Orne ;
- BV de la Seulles ;
- BV de la Vire, au travers du sous-bassin de l'Aure.

Plusieurs petits bassins versants côtiers de faible extension débouchent par ailleurs directement en mer, notamment entre Carentan et Caen.

La limite de la zone d'étude (en noir sur l'Illustration 6) est en règle générale masquée par les grands bassins versants dont elle suit le contour.

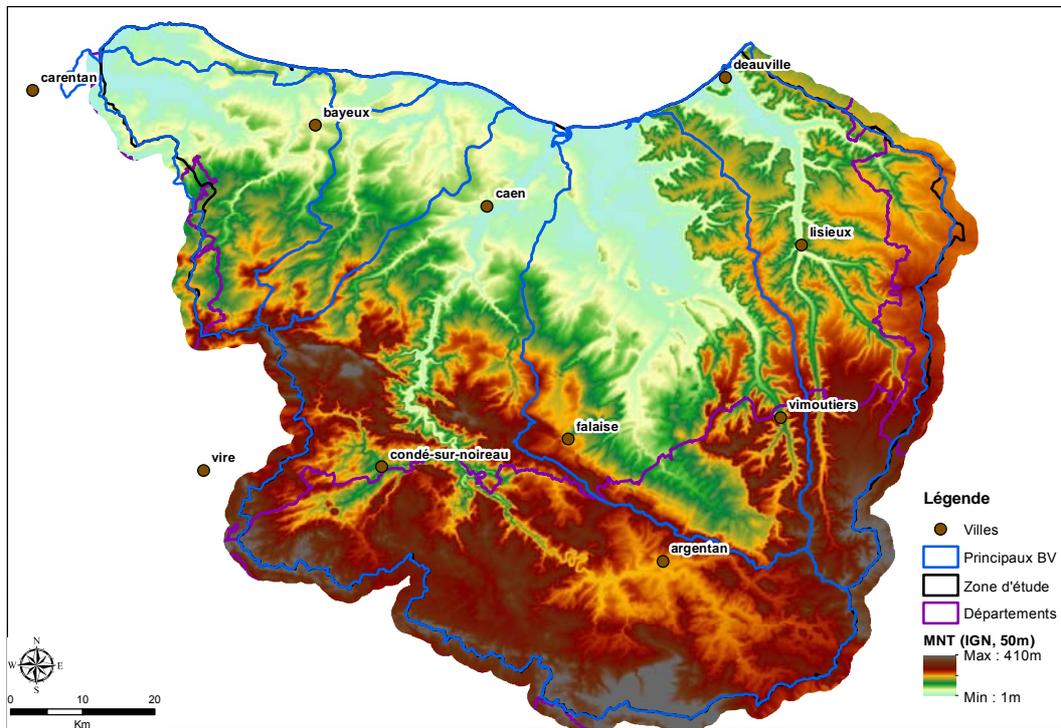


Illustration 6 : Altimétrie de la zone d'étude (MNT de l'IGN au pas de 50 m) et principaux bassins versants

On note par ailleurs et pour mémoire que la DREAL (avec le concours du CG14) a fait l'acquisition d'un MNT au pas de 10 m qui couvre également la zone d'étude. Ce MNT n'a pas été utilisé dans le cadre de l'étude compte tenu de la taille de maille retenue pour la modélisation (cf. rapport de phase 2).

3.1.2. Pentes

Les pentes présentées en Illustration 7 ont été déduites du MNT de l'IGN au pas de 50 mètres. Elles font apparaître plusieurs caractéristiques géologiques qui façonnent la géomorphologie du secteur. On observe ainsi, outre la zone de socle au relief plus accidenté au Sud-Ouest (vallée de l'Orne notamment) et la cuesta cénomaniennne à l'Est, plusieurs linéaments d'orientation N110 dans le secteur de Falaise – Argentan et se poursuivant au nord de Condé-sur-Noireau, ainsi qu'un linéament N100 se terminant à l'Est de Sées (angle Sud-Est de la zone d'étude).

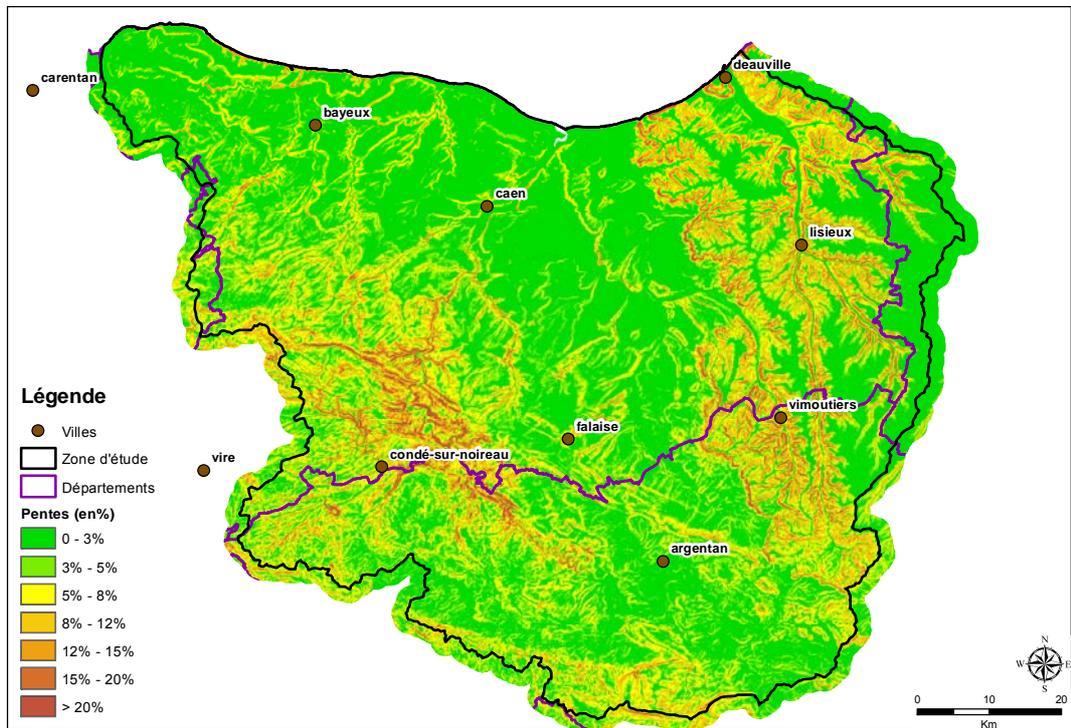


Illustration 7 : Pentes de la zone d'étude (d'après MNT de l'IGN au pas de 50 m)

3.1.3. Indice de Développement et de Persistance des Réseaux (IDPR)

L'Indice de Développement et de Persistance des Réseaux est un indice développé par le BRGM pour qualifier le caractère plus ou moins infiltrant des formations géologiques affleurantes. Sa distribution spatiale est présentée en Illustration 8. Une valeur faible (rouge sombre) correspond à une prédominance de l'infiltration, tandis qu'une valeur forte (vert foncé) indique un ruissellement prépondérant.

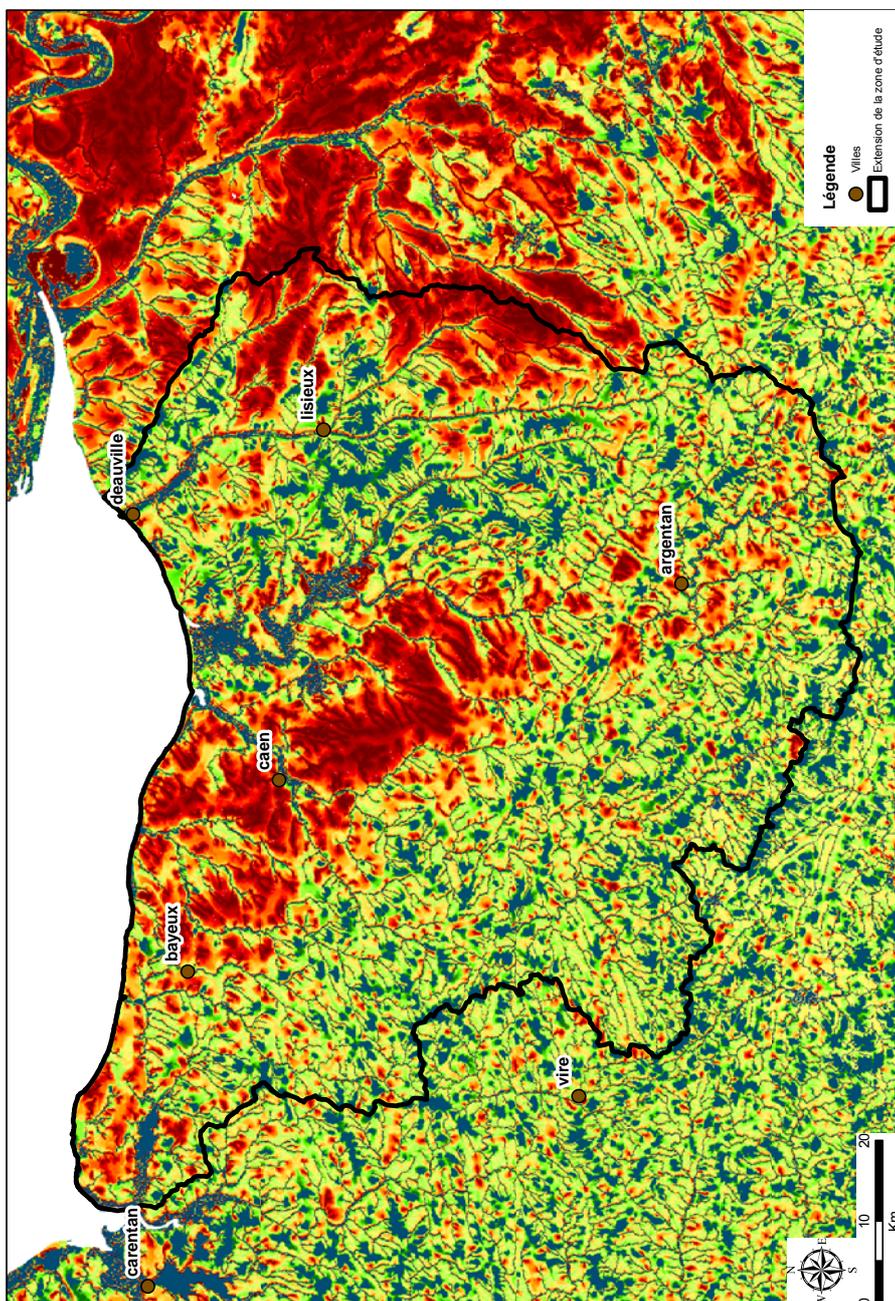


Illustration 8 : Indice de Développement et de Persistance des Réseaux sur la zone d'étude

Cet indice fait apparaître la prévalence de l'infiltration dans la plaine de Caen, là où les formations calcaires perméables du Bathonien moyen et supérieur affleurent. Il en va de même pour le bassin de la Touques, en particulier en rive droite où la craie cénomaniennne affleure, le cas échéant sous couverture des argiles à silex. On remarque que la partie aval du bassin, toujours en rive droite, présente des formations

plus favorables au ruissellement, ce qui est cohérent avec la présence à l’affleurement des formations infra-cénomaniennes (sables et marnes) et kimméridgiennes.

En rive gauche de la Touques, si la craie cénomanienne est également présente à l’affleurement entre la faille de Villers et Lisieux, son caractère perché par rapport au fond de vallée conduit à l’apparition de sources : ces dernières modifient le signal IDPR qui ne fait pas ressortir un pôle d’infiltration aussi important qu’en rive droite. En pratique, l’infiltration sur les plateaux crayeux demeure aussi importante en rive gauche qu’en rive droite : c’est le temps de résidence de l’eau dans la craie qui demeure limité compte tenu de la plus faible extension du réservoir.

Entre la plaine de Caen et la cuesta cénomanienne, la partie orientale du bassin de la Dives apparaît comme une zone majoritairement ruisselante, s’expliquant par la présence des marnes du Callovien à l’affleurement.

En zone de socle, l’IDPR est plus difficilement interprétable, notamment à l’échelle de la zone d’étude.

Enfin, la partie amont du bassin versant de l’Orne apparaît comme une zone de contrastes importants. Si l’on retrouve par exemple une zone d’infiltration (en rouge) associée aux affleurements calcaires du Bathonien au voisinage d’Argentan, son extension demeure limitée et discontinue.

3.2. CLIMATOLOGIE

3.2.1. Pluviométrie

La pluviométrie de la zone d’étude est appréhendée au travers :

- d’une représentation de la variabilité spatiale de la pluie basée sur la grille AURELHY (Analyse Utilisant le RELief pour l’HYdrométéorologie) de Météo-France ;
- d’une représentation de la variabilité temporelle de la pluie reposant sur les chroniques pluviométriques des postes pluviométriques existants.

La grille AURELHY de Météo-France représente la pluviométrie moyenne annuelle de la période 1971-2000 au pas de 1 km et à l’échelle de la France métropolitaine (cf. Illustration 9).

Cette grille fait apparaître une variabilité importante de la pluviométrie annuelle moyenne sur la zone d’étude : celle-ci passe du simple au double entre le bassin de la Dives aval, dans le secteur de la confluence avec la Vie (580 mm/an), et la crête topographique du bassin versant du Noireau au Sud-Ouest (1150 mm/an).

Le cumul annuel de la pluie est fortement influencé par la topographie : sa valeur diminue des bords de la zone d’étude vers son centre, avec par exemple une diminution marquée du SO vers le NE en partant de la partie amont du bassin versant du Noireau vers la zone de confluence Dives-Vie, au pied des reliefs de la cuesta

cénomaniennes. Ces derniers reçoivent une pluviométrie annuelle de l'ordre de 900 à 950 mm/an.

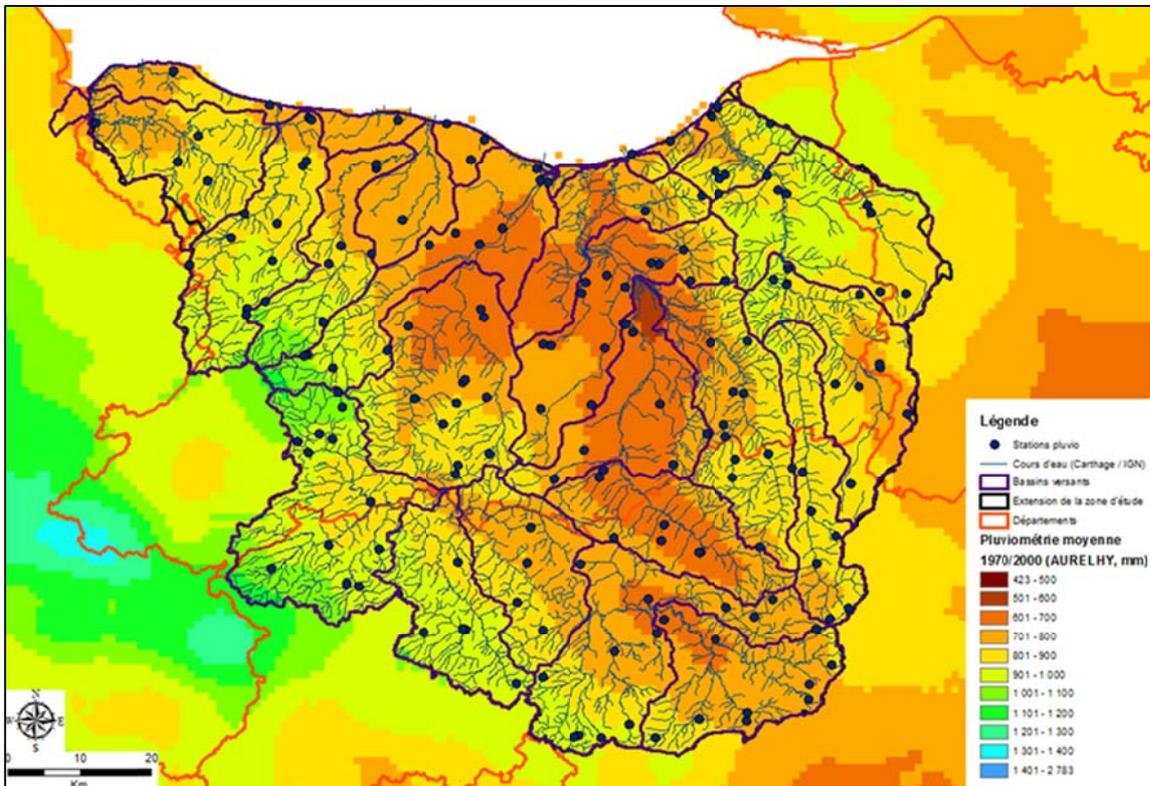


Illustration 9 : Pluviométrie moyenne annuelle selon la grille AURELHY établie par MétéoFrance

Pour le suivi de l'évolution temporelle de la pluviométrie, il existe 182 postes sur la zone d'étude, dont 35 ont été créés avant 1994 et sont toujours en activité en 2012 (cf. Illustration 10). On note la très bonne répartition des postes pluviométriques sur la zone d'étude.

La DREAL dispose de chroniques pluviométriques au pas de temps journalier jusqu'en 1997 pour une vingtaine de stations pluviométriques. Le BRGM a acheté les données nécessaires au pas décadaire auprès de Météo-France pour compléter les chroniques jusqu'en 2011, ce qui a permis de conduire une analyse par double cumul au pas de temps décadaire sur une période de temps couvrant au minimum les années 1994 à 2011.

Le principe de la méthode du double cumul consiste à vérifier la proportionnalité des valeurs mesurées à deux stations, en comparant sur un même graphique le cumul des précipitations de chaque station pour une période donnée.

Les double-cumuls effectués montrent en règle générale de bonnes corrélations entre les différentes stations de la zone d'étude, ce qui indique une bonne cohérence de la pluviométrie d'un secteur à l'autre de la zone d'étude. Bien entendu, ces corrélations

s'accompagnent d'un facteur d'amplitude, cohérent également avec celui observé au travers de la cartographie AURELHY.

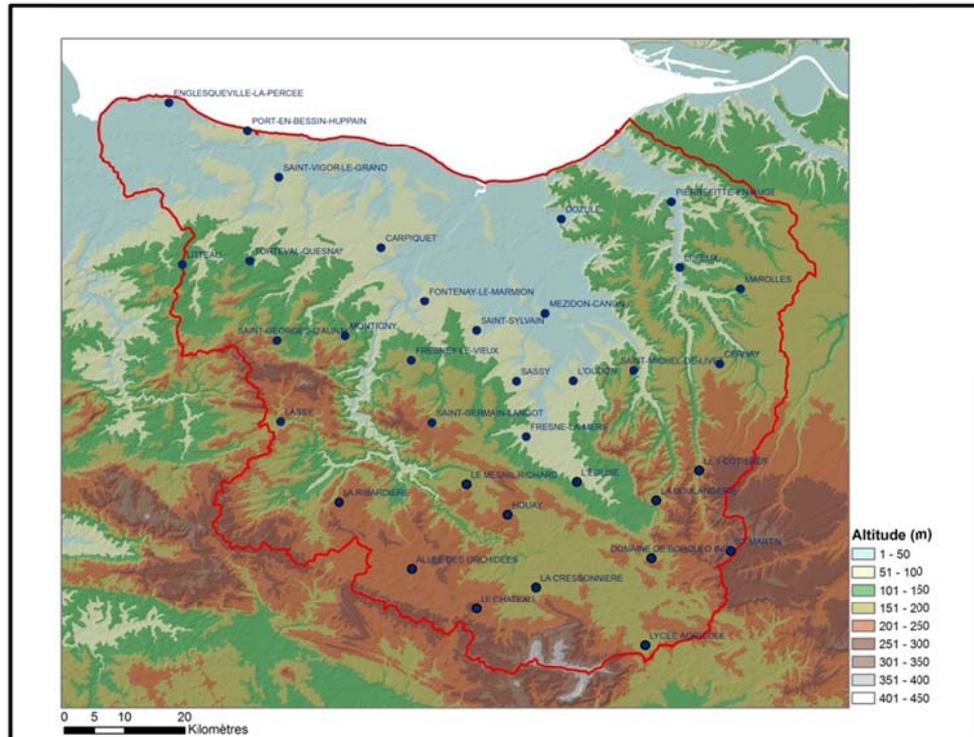


Illustration 10 : Postes pluviométriques suivis par MétéoFrance et disposant de données complètes sur la période 1994-2010 (fond : MNT IGN)

Les double-cumuls font toutefois ressortir des anomalies sur deux stations pluviométriques (cf. Illustration 12) :

- Sassy (identifiant 14669001) : le double-cumul laisse apparaître un palier dans la courbe. Ce palier correspond à une lacune dans la chronique de pluie de cette station, de juin 1991 à décembre 1994 ;
- Saint-Georges-d'Aunay (identifiant 14579002) : la proportionnalité du cumul avec celui d'une autre station n'est pas respectée sur l'ensemble de la période. On observe en particulier que cette proportionnalité augmente (cf. flèches bleues de l'illustration) au cours de la période 1994-2001. Cette période a été particulièrement pluvieuse, hormis 1996-1997 et l'on pourrait envisager que cette forte pluviométrie modifie le facteur de proportionnalité pour cette station située relativement en altitude (185 m NGF). Cependant, cette caractéristique n'étant pas retrouvée pour la station de Briouze, elle-même à une altitude de 215 m NGF, l'hypothèse semble assez peu plausible.

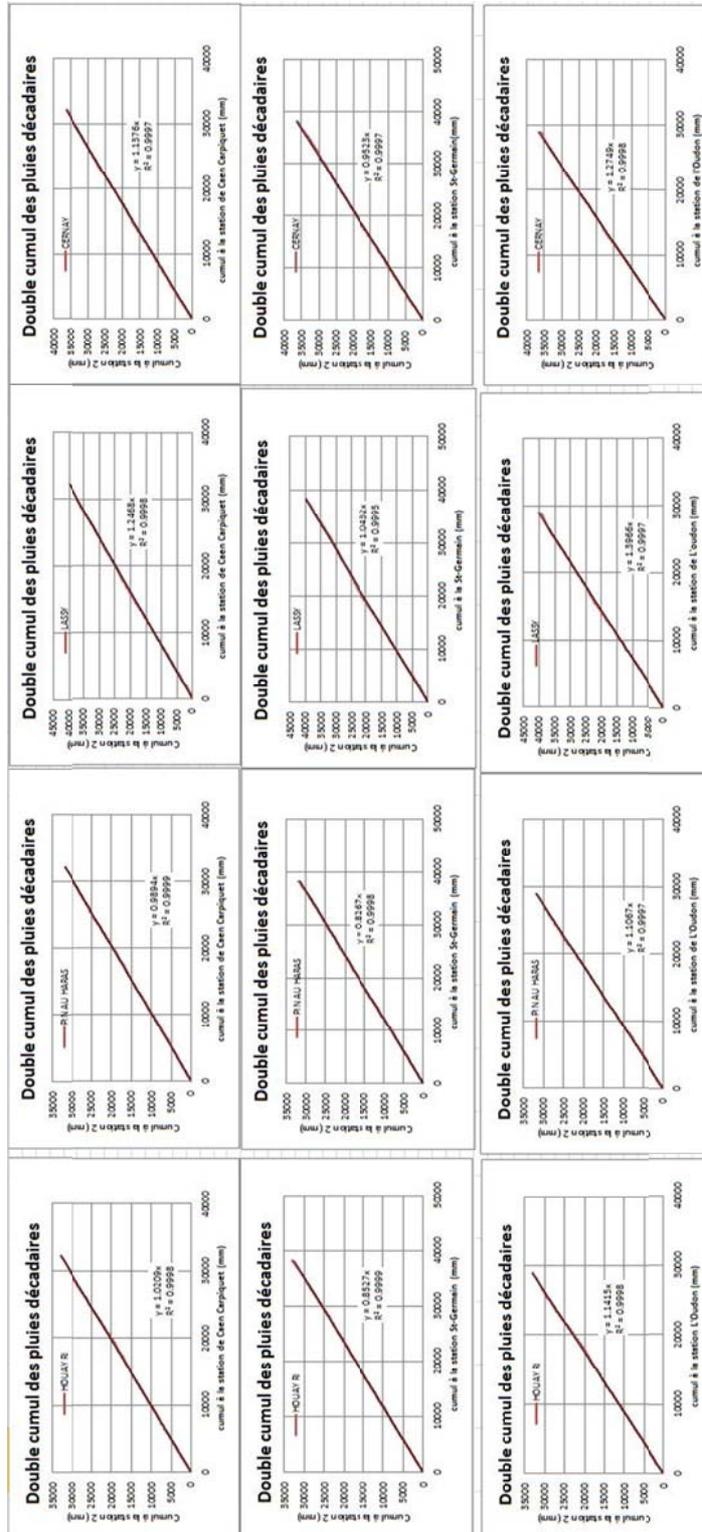


Illustration 11 : Exemples de double-cumul de la pluviométrie enregistrée sur différents postes de la zone d'étude (période 1971-2011)

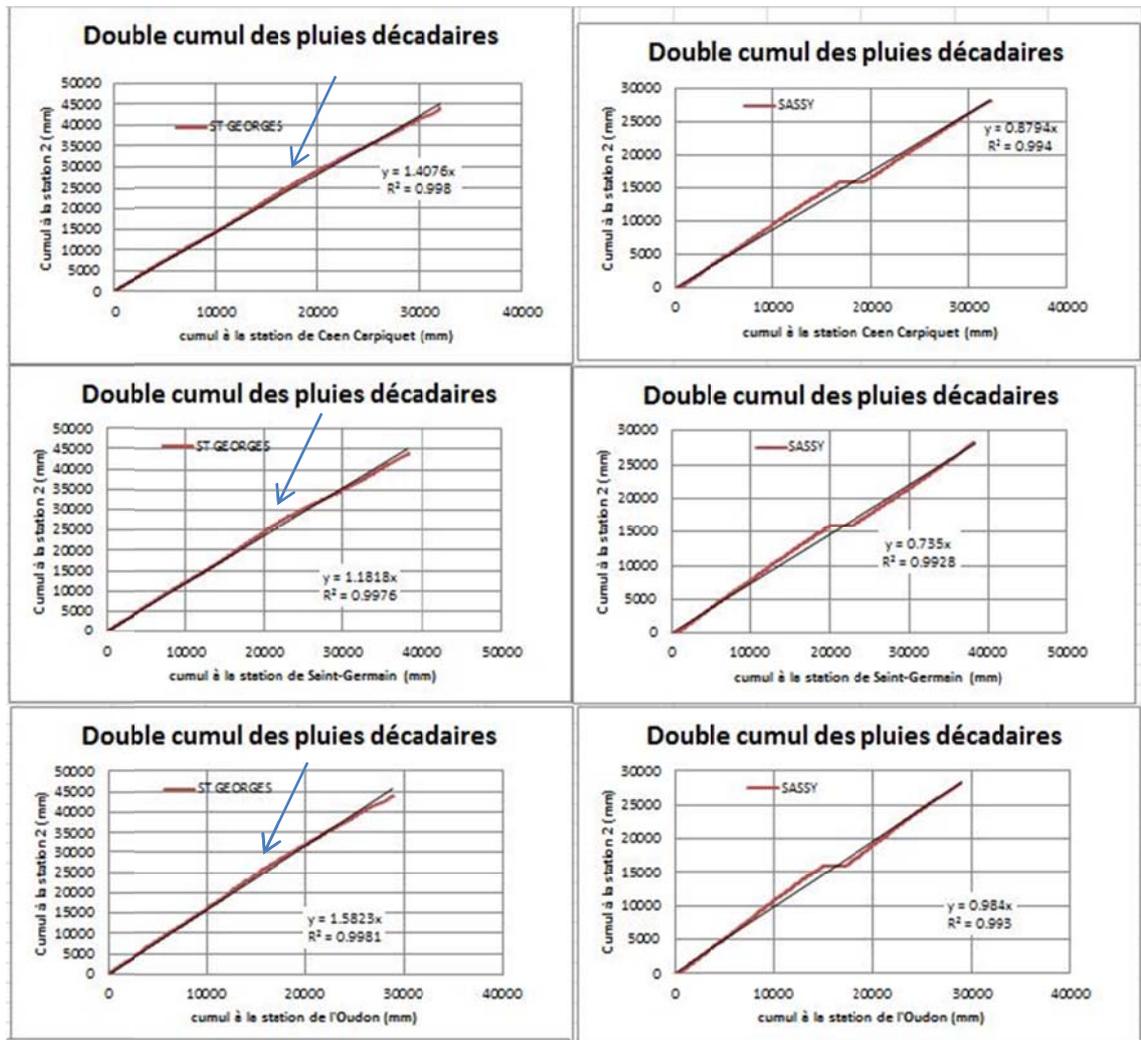


Illustration 12 : Double-cumul de la pluviométrie enregistrée à la station de Sassy (à droite) et à celle de Saint-Georges d'Aunay (à gauche). Ces cumuls sont comparés à ceux des stations de Caen-Carpiquet, Saint-Germain-Langot et l'Oudon (période 1971-2011)

3.2.2. Évapotranspiration

Le calcul d'une pluie efficace sur la zone d'étude ne peut se faire sans données d'évapotranspiration. Ces données sont disponibles auprès de Météo-France, sur certaines stations météorologiques. L'année de démarrage des chroniques d'ETP Penman de Météo-France au voisinage de la zone d'étude figure dans le Tableau 3.

Station	Département	Début chronique ETP Penman décadaire
Caen Carpiquet	14	1951
Lisieux	14	-
Vire	14	2004
L'Oudon	14	1994
Saint Sylvain	14	1997
Damblainville	14	1997
Livry	14	-
Saint-Georges	14	-
Lassy	14	-
Ticheville	61	2003
Argentan	61	-
Alençon	61	1949
Bernay	27	2007

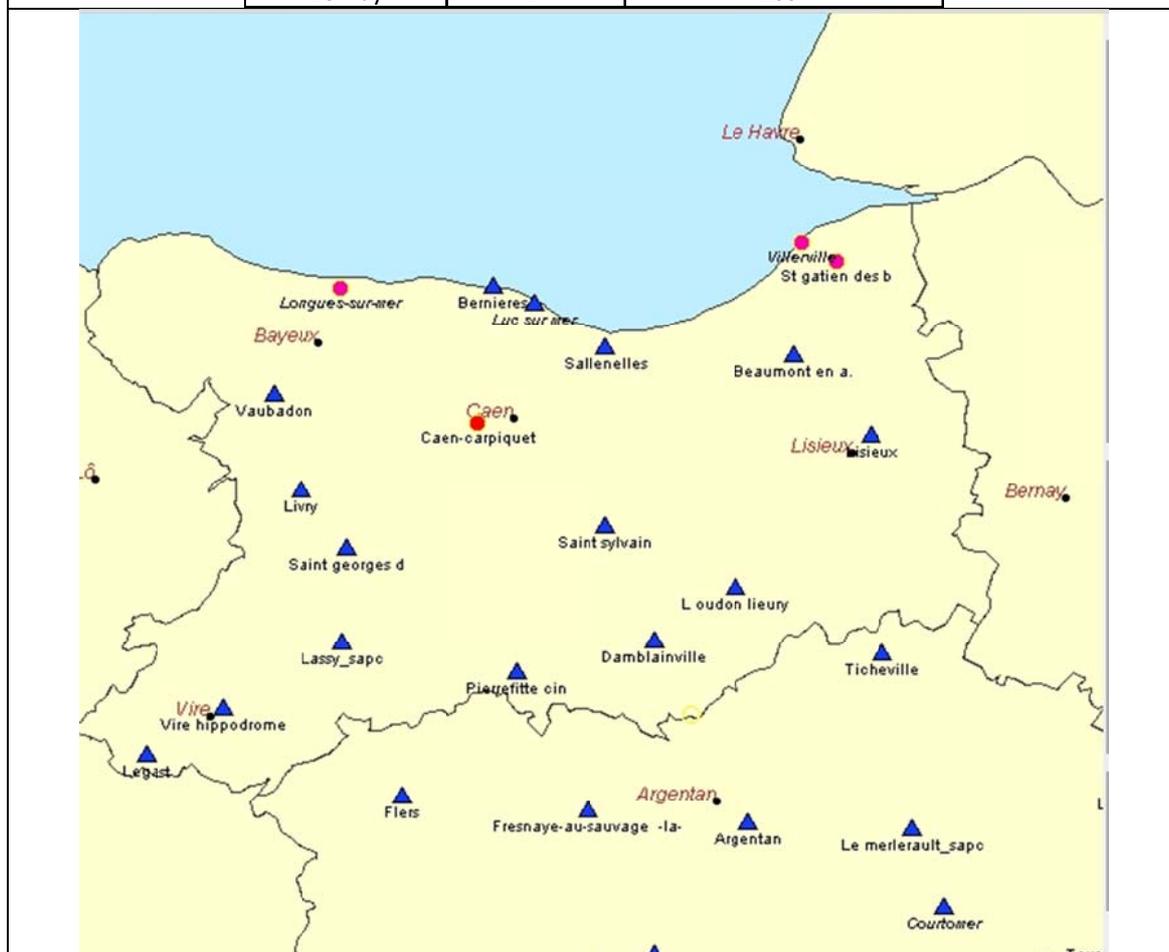


Tableau 3 : Année de début d'acquisition de données d'ETP Penman décadaire pour diverses stations Météo-France de la zone d'étude

Il existe en définitive peu de chroniques d'ETP disponibles sur la période 1994-2011, hormis les stations de Caen-Carpiquet, Alençon et l'Oudon (cette dernière démarrant en juin 1994).

L'illustration 13 présente les chroniques d'ETP décadaires de Caen et l'Oudon sur la période 1994-2011. Elle montre la forte cohérence de l'évolution de l'ETP calculée pour ces deux stations avec, en règle générale, des valeurs légèrement plus faibles à l'Oudon.

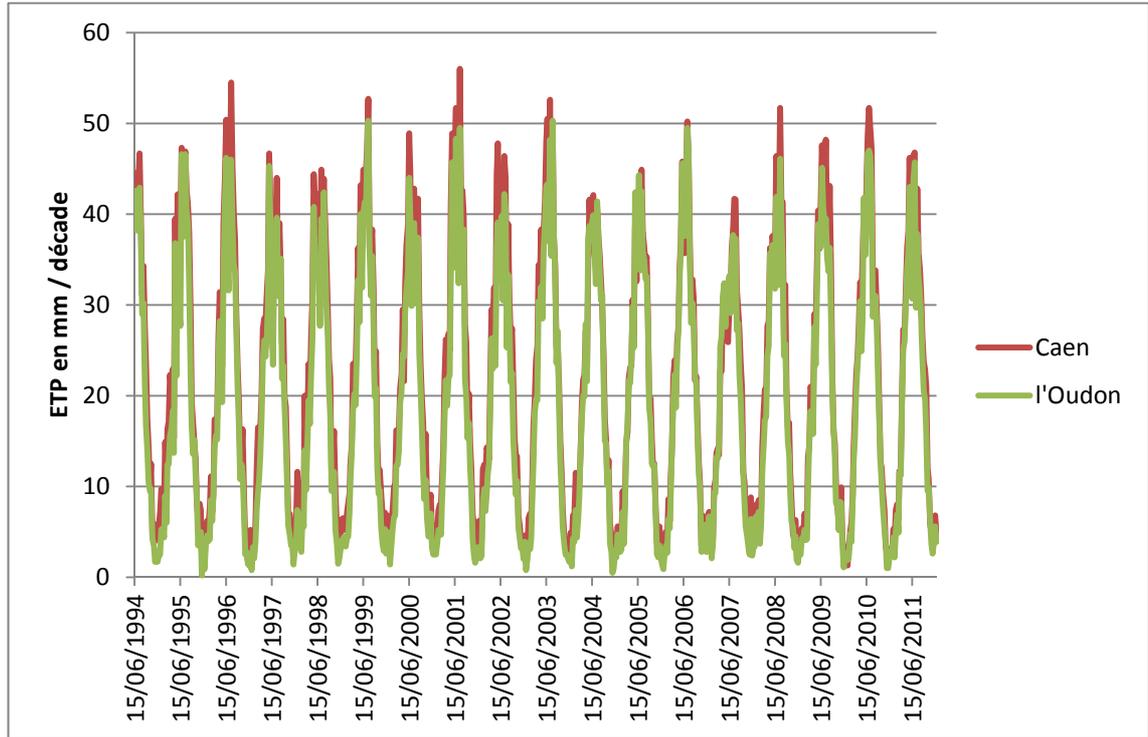


Illustration 13 : ETP décadaires aux stations MétéoFrance de Caen-Carpiquet et l'Oudon

Cette analyse est confirmée par le graphique de double-cumul (cf. Illustration 14) qui montre, d'une part une très bonne corrélation entre les deux chroniques et, d'autre part, une pente de 1.14 confirmant des valeurs d'ETP plus fortes à Caen-Carpiquet. Une analyse plus fine du double cumul montre une excellente corrélation sur deux périodes distinctes : 1994-2004 et 2004-2011 avec une évolution sensible de la pente de la droite de régression (de 1.17 à 1.07). En l'absence d'éléments susceptibles de remettre en cause la validité des mesures, cette évolution de la pente serait significative d'une évolution du comportement évapotranspiratoire, différente entre le nord et le sud de la zone d'étude.

Cette observation est confirmée par une analyse en double-cumul entre les chroniques ETP de Caen-Carpiquet et Alençon (cf. Illustration 17 et Illustration 18). D'une ETP sensiblement plus forte à Caen-Carpiquet, on évolue vers un cumul extrêmement

voisin entre les deux stations pour la période 2004-2011 (pente de la droite de régression voisine de 1).

Ces observations sur les double-cumuls nous amèneront à considérer par la suite non pas une chronique d'ETP pour l'ensemble de la zone modélisée mais trois chroniques.

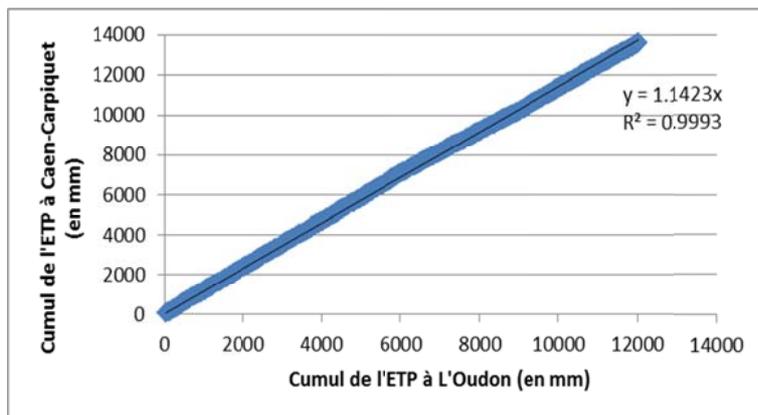


Illustration 14 : Double-cumul des ETP aux stations Météo-France de Caen-Carpique et l'Oudon (période 1994-2011)

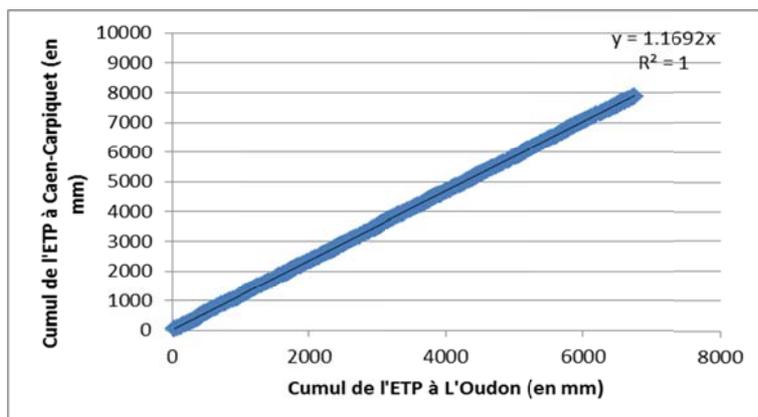


Illustration 15 : Double-cumul des ETP aux stations Météo-France de Caen-Carpique et l'Oudon (période 1994-2004)

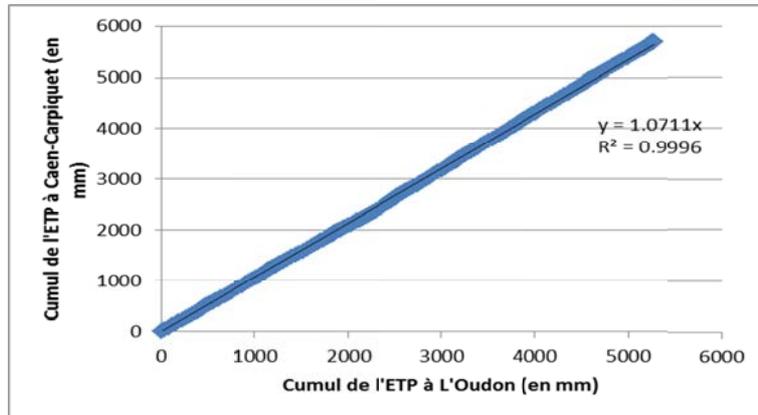


Illustration 16 : Double-cumul des ETP aux stations Météo-France de Caen-Carpiquet et l'Oudon (période 2004-2011)

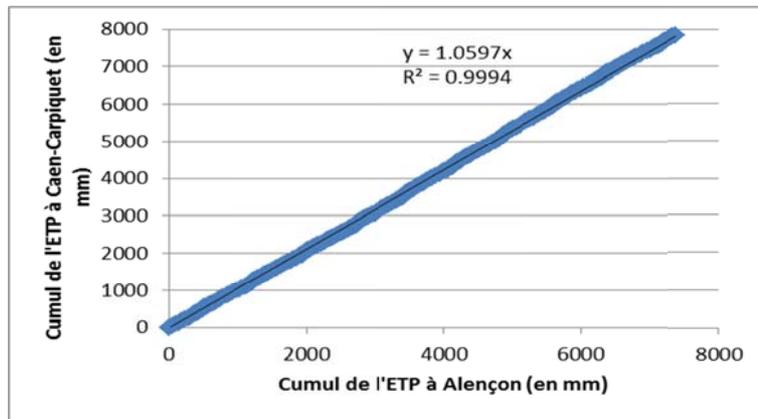


Illustration 17 : Double-cumul des ETP aux stations Météo-France de Caen-Carpiquet et Argentan (période 1994-2004)

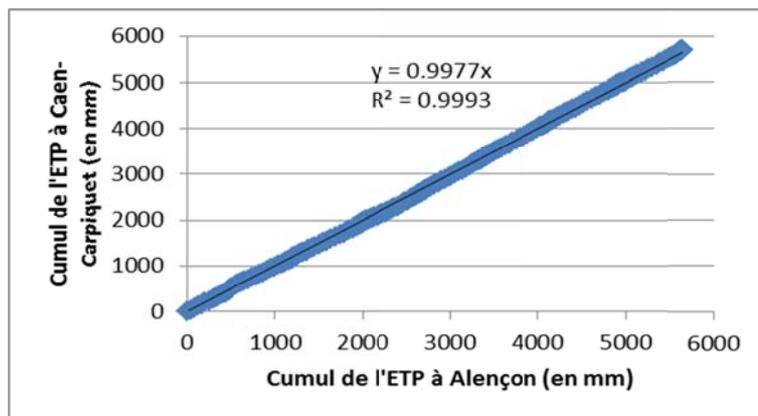


Illustration 18 : Double-cumul des ETP aux stations Météo-France de Caen-Carpiquet et Argentan (période 2004-2011)

3.2.3. Pluie efficace

Pour mémoire, on appelle « pluie efficace » la « fraction des précipitations génératrice d'écoulement, immédiat ou différé, superficiel ou souterrain. Comme les précipitations totales, elle s'exprime en hauteur (mm) rapportée à une unité de temps » (définition du CNFSH : Comité National Français des Sciences Hydrologiques). La pluie efficace se décompose schématiquement en ruissellement (ce qui s'écoule à la surface du sol) et en infiltration (ce qui percole vers la nappe).

Il n'existe pas de mesure directe de la pluie efficace. Ce paramètre peut être calculé à partir de chroniques de pluie et d'évapotranspiration (en fonction de la capacité de stockage en eau gravitaire du sol) ou déduit d'une modélisation de type pluie-débit ou pluie-niveau.

Un indicateur intéressant pour estimer la pluie efficace moyenne sur un bassin versant est la lame d'eau moyenne interannuelle écoulée à son exutoire. En considérant i) qu'il existe une bonne cohérence entre le bassin versant topographique et le bassin versant souterrain, ii) que le débit souterrain sortant est négligeable devant le débit écoulé en surface (hypothèse réaliste pour une nappe libre non karstifiée), et iii) que le calcul sur une période longue permet de s'affranchir du stockage/déstockage dans l'aquifère, cette lame d'eau donne un ordre de grandeur de la pluie efficace moyenne sur le bassin versant.

Le Tableau 4 présente les lames d'eau moyennes annuelles écoulées pour une vingtaine de stations hydrométriques dont les informations sont stockées dans la banque HYDRO. Les valeurs obtenues s'échelonnent entre 112 et 641 mm/an, ce qui donne un ordre de grandeur de la forte variabilité de la pluie efficace sur la zone d'étude : l'écart constaté sur les pluies (un facteur 2 entre le minimum et le maximum) augmente nettement pour la pluie efficace (facteur 5), constat classique sous nos climats.

Pour mémoire, en raison des prélèvements importants existant dans le bassin versant de la Mue, la lame d'eau écoulée à cette station sous-estime sans doute la pluie efficace.

Id_station	Station	Hauteurs	Débits	BV (km ²)	Lame eau (mm)
I4053010	La Mue à Reviere	1970 - 2012	1970 - 2012	96	112
I2021010	La Dives à Beaumais	1969 - 2012	1969 - 2012	282	173
I2051040	La Dives au Mesnil-Mauger	1972 - 1993 - 2012	1972 - 1993 - 2012	638	173
I3612062	La Laize à Fresney-le-Puceux	non disponible	1973 - 2002	135	234
I2213610	L'Ancre à Cricqueville-en-Auge	1969 - 2012	1969 - 2012	57	249
I5321510	L'Aure à Maisons [Pont-Fatu]	1981 - 2012	1981 - 2012	135	249
I1111010	La Touques à Lisieux	non disponible	1982 - 2012	632	263
I1103010	L'Orbiquet à Beuvillers	1982 - 2012	1982 - 2012	326	268
I5401510	L'Aure à Maisons [Fosses du Soucy]	non disponible	1981 - 2012	389	272
I1031010	La Touques à Saint-Martin-de-la-Lieue	1980 - 2012	1980 - 2012	289	278
I1213110	L'Yvie à Saint-Hymer	1973 - 1977	1970 - 2011	41	285
I3621010	L'Orne à May-sur-Orne	1983 - 2012	1983 - 2012	2506	302
I4032010	La Seulles à Tierceville	1971 - 2012	1971 - 2012	256	308
I5352010	La Drôme à Sully	1981 - 2012	1981 - 2012	245	309
I1203010	La Calonne aux Authieux-sur-Calonne	1973 - 2012	1970 - 2012	176	311
I3521020	L'Orne à Thury-Harcourt	1985 - 2012	1985 - 2012	2173	311
I4022010	La Seulles à Juvigny-sur-Seulles	1981 - 2012	1981 - 2012	133	353
I3712010	L'Odon à Épinay-sur-Odon	1991 - 2012	1991 - 2012	76	389
I3442310	La Druance à Périgny	1996 - 2012	1968 - 2012	88	428
I5053010	La Souleuvre à Carville	1969 - 2012	1969 - 2012	115	433
I5101010	La Vire à Malloué	1991 - 2012	1991 - 2012	469	492
I5013610	La Virène à Saint-Germain-de-Tallevende-la-Lande-Vaumont	1970 - 2012	1970 - 2012	42	641

Tableau 4 : Lame d'eau moyenne interannuelle écoulée aux stations hydrométriques de la zone d'étude (source : banque HYDRO)

3.3. HYDROGRAPHIE ET HYDROMÉTRIE

3.3.1. Hydrographie

Le réseau hydrographique de la zone d'étude, d'après la BD Carthage de l'IGN, est présenté en Illustration 19. On note la variabilité de la densité du réseau selon le contexte lithologique : très dense en zone de socle et sur le Callovien, ainsi qu'en bordure du Cénomaniens lorsque ce dernier est perché au-dessus de la vallée, il est à l'inverse extrêmement peu développé dans les zones où affleurent les calcaires bathoniens et bajociens et lorsque le Cénomaniens affleure en fond de vallée (partie orientale du bassin versant de la Touques).

On note aussi pour le bassin versant amont de l'Orne (à l'amont de l'entrée dans le socle au nord-ouest d'Argentan) que la densité hydrographique demeure conséquente malgré la présence de Bathonien calcaire à l'affleurement. Ceci peut notamment s'expliquer par la nature très hétérogène des formations affleurantes dans ce bassin versant.

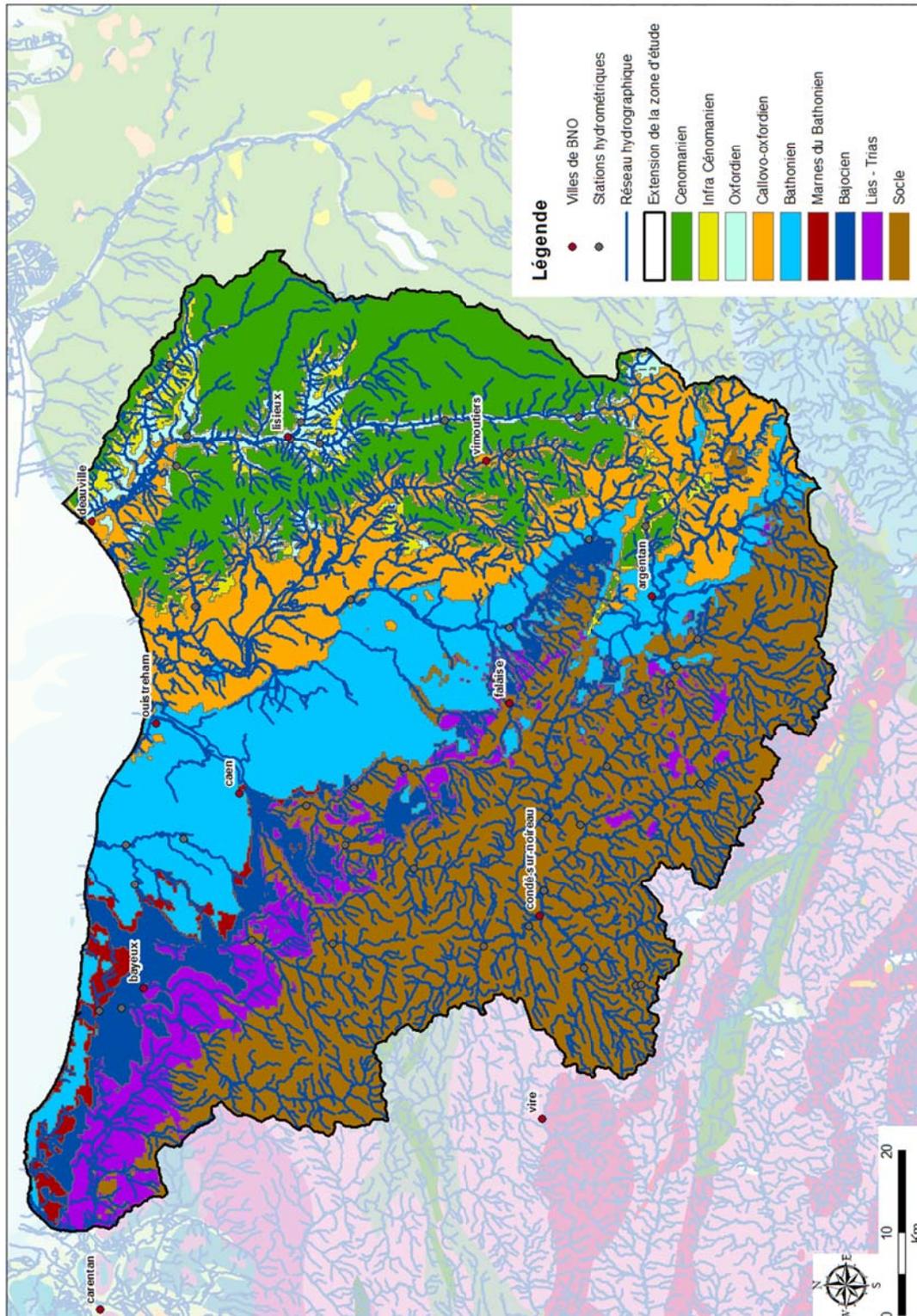


Illustration 19 : Réseau hydrographique de la zone d'étude (BD Carthage de l'IGN).
En fond de carte, zones d'affleurement des différents étages géologiques

Pour mémoire, la BD Topo (autre base de données de l'IGN) présente une densité hydrographique plus importante encore. Cependant, la BD Topo, contrairement à la BD Carthage, ne comporte pas d'informations descriptives des différents tronçons de cours d'eau, comme leur largeur par exemple.

3.3.2. Zones humides

La DREAL de Basse-Normandie a constitué au fil du temps une couche d'information SIG (au format Mapinfo) recensant les zones humides de la région. Cette couche identifie plus de 180 000 objets de tailles diverses, dont le plus grand occupe une superficie de l'ordre de 9 km² (cf. Illustration 20).

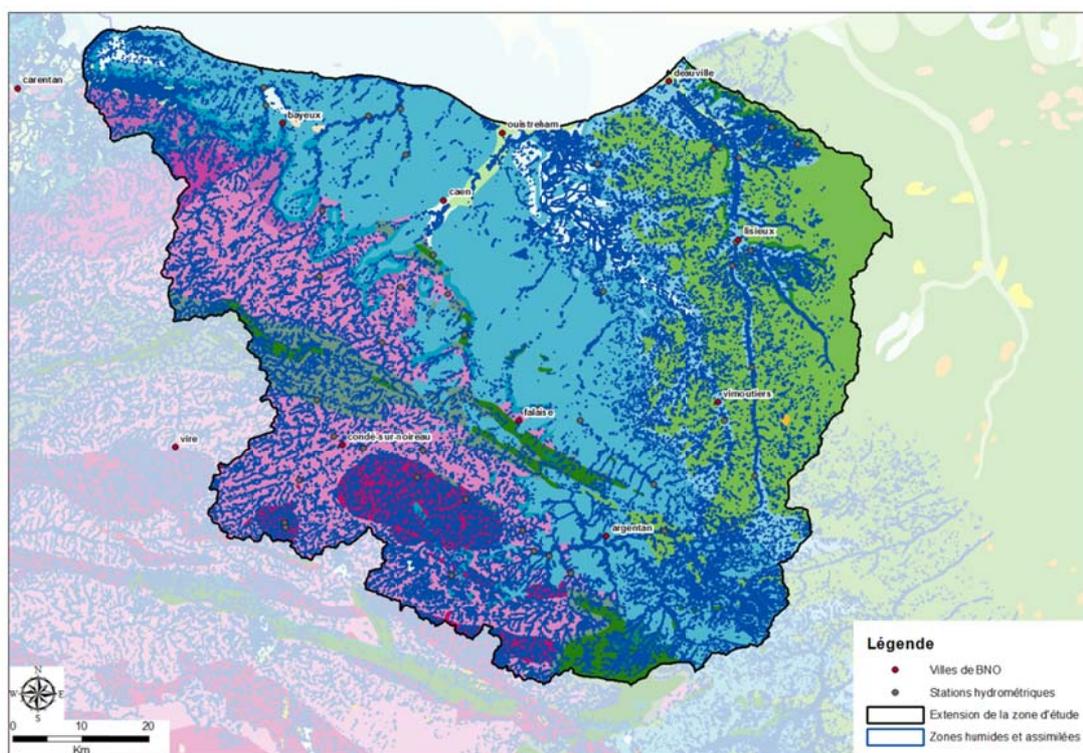


Illustration 20 : Cartographie des zones humides de Basse-Normandie
(source : DREAL Basse-Normandie, fond : carte géologique à l'échelle 1 / 1 000 000^{ème4})

L'identification de ces zones a été faite par la DREAL à partir de l'interprétation de photos aériennes et d'observations de terrain. Une typologie des objets recensés permet d'identifier :

- mares, étangs, lacs ;
- boisements, peupleraies ;

⁴ La légende de la carte géologique figure en Annexe 1.

- friches plus ou moins boisées ;
- prairies ;
- cultures, labours ;
- drainage agricole ;
- autre.

3.3.3. Hydrométrie des cours d'eau : stations de la banque HYDRO

Il existe 59 stations de mesures réparties sur les cinq principaux bassins versants de la zone d'étude (Annexe 2), dont 44 pour lesquelles l'acquisition de données s'est poursuivie au moins jusqu'en 1999 (Illustration 21).

La station la plus ancienne a été ouverte en 1960 (l'Orne à Rabodanges), la plus récente en 2010 (la Touques à Moutiers-Hubert) : 44 stations disposent d'une chronique de débit d'une durée au moins égale à 10 ans, certaines couvrant néanmoins des périodes antérieures à 1990 (le Lembron à Taillebois, la Dorette à Victot-Pontfol, le Laizon à Croissanville, ...).

Bassin versant de la Vire

Il existe 3 stations de mesures sur des affluents de la Vire. Deux stations (l'Aure à Maisons et la Drôme à Sully) couvrent une période de 30 ans entre 1981 et 2012. L'autre station (l'Aure à Etreham) est fermée et ne fournit des données que pour la période 1981-1986 (5 ans).

Bassin versant de la Seulles

Il existe 5 stations de mesures dans le bassin versant de la Seulles :

- la Seulline à Maisonnelles-Pelvay : suivi de 1981 à 1991 ;
- la Seulles à Juvigny-sur-Seulles : 1981-2012 ;
- la Seulles à Tierceville : 1971-2012 ;
- la Mue à Cairon : 1979-2001 ;
- la Mue à Reviers : 1970-2012.

Bassin versant de l'Orne

On dénombre 23 stations de mesures dans le bassin versant de l'Orne (liste détaillée en Annexe 2). La station la plus ancienne a été ouverte sur l'Orne en 1960. La longueur des chroniques varie de 5 à 45 ans pour l'Orne, dont 13 chroniques de plus de 15 ans. Outre l'Orne, les cours d'eau suivis sont :

- l'Ure ;
- la Cance ;
- l'Udon ;
- la Maire ;
- la Rouvre et son affluent le Lembron ;
- le Noireau et ses affluents, la Druance, la Visance et la Vère ;

- la Laize ;
- l'Odon.

Bassin versant de la Dives

Il existe 16 stations de mesures dans le bassin versant de la Dives. La chronique la plus ancienne date de 1969 (la Dives à Beaumais, la station étant toujours suivie). La longueur des chroniques varie de 1 à 42 ans pour la Dives, dont 6 chroniques couvrent une période de plus de 15 ans. Outre la Dives, les cours d'eau suivis sont :

- l'Ante à Eraines ;
- la Vie à Guerquesalles et Corbon ;
- le Laizon à Croissanville ;
- la Muance à Argences ;
- la Dorette à Victot-Pontfol ;
- l'Ancre à Criqueville-en-Auge.

Bassin versant de la Touques

Il existe 12 stations de mesures dans le bassin versant de la Touques. Les chroniques les plus anciennes datent de 1970. Les plus récentes sont actuelles. La longueur des chroniques varie de 1 à plus de 40 ans, dont 7 chroniques qui couvrent plus de 15 ans. Outre la Touques, les cours d'eau suivis sont :

- l'Orbiquet à Beuvillers (1982-2012) ;
- le Chaussey à Brévédent (1985-1987) et à Manneville-la-Pipard (1972-1999) ;
- l'Yvie à Saint-Hymer (1970-2010) ;
- la Calonne à Bonneville-la-Louvet (2009-2012) et à Authieux-sur-Calonne (1970-2012) ;
- le Douet de la Taille à Coudray-Rabut (1993-1996).

Pour mémoire, la DREAL a réalisé un travail de densification de la connaissance hydrométrique par l'intermédiaire d'interpolations des débits sur des tronçons contraints entre deux stations hydrométriques.

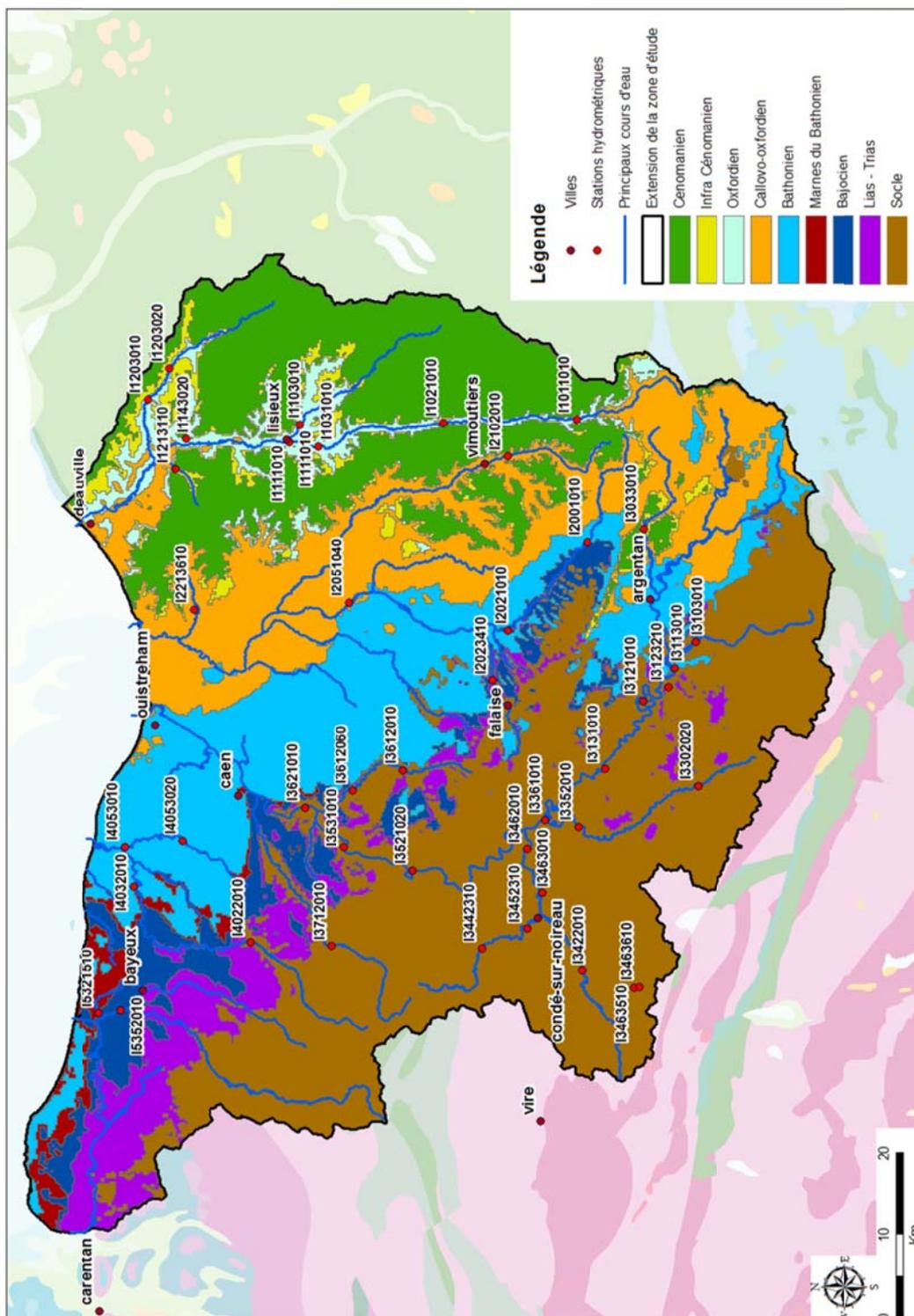


Illustration 21 : Localisation des stations de mesure du débit journalier dans la zone d'étude

3.3.4. Campagnes d'acquisition de données en période d'étiage : « les jaugeages volants »

De nombreuses campagnes de jaugeage des cours d'eau dans le secteur étudié ont été réalisées entre 1967 et 2011, notamment durant la période de décroissance du débit, mais également à d'autres époques de l'année, à l'occasion d'études spécifiques. La DREAL de Basse-Normandie a ainsi recensé et capitalisé 7 860 jaugeages sur les cinq principaux bassins versants de la zone d'étude (Illustration 22), dont 4 986 ont été réalisés entre le 1^{er} mai et le 30 novembre.

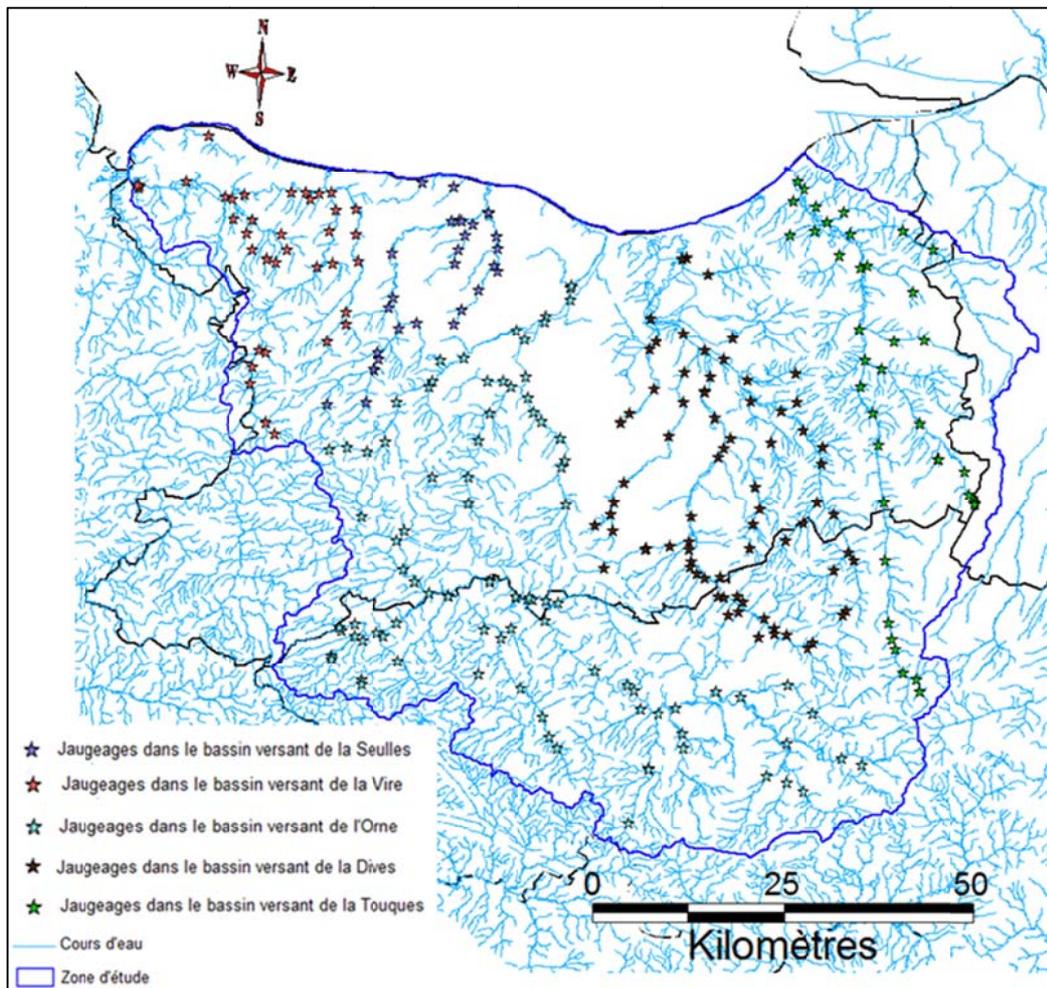


Illustration 22 : Localisation des jaugeages volants dans la zone d'étude

Le Tableau 5 donne une indication de la répartition des mesures de jaugeage par bassin versant.

Bassin versant	Nombre de mesures
Seulles	1087
Vire	730
Orne	2540
Dives	2535
Touques	968

Tableau 5 : Nombre de jaugeages ponctuels effectués par bassin versant

La vocation de ces campagnes de jaugeage a notamment été de caractériser la décroissance du débit des cours d'eau de Basse-Normandie : plusieurs jaugeages espacés dans le temps durant cette phase permettent de construire une courbe de décroissance, caractérisée par un temps de demi-décroissance en appliquant la loi de Maillet (qui prévoit une décroissance exponentielle du débit d'une source en l'absence de pluies efficaces). La DREAL a conduit le calcul des temps de demi-décroissance : ceux-ci sont présentés dans la partie « paramètres hydrodynamiques ».

3.3.5. Observatoire National des Étiages (réseau ONDE)

Le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD) a mis en œuvre en 2004 un « plan d'action sécheresse » national visant à minimiser les impacts des crises hydroclimatiques, telles que celle connue en 2003⁵.

Ce plan s'articule autour de 3 axes : anticiper la crise, améliorer la gestion de crise (notamment en améliorant le recueil et la diffusion des informations nécessaires) et lutter contre les déséquilibres demande/ressource en eau (actions à moyen terme). Dans ce cadre, l'ancien Conseil Supérieur de la Pêche (aujourd'hui intégré à l'ONEMA) a développé en 2004 un dispositif métropolitain d'observation des Assecs, appelé Réseau d'Observation de Crise des Assecs (ROCA), permettant de compléter les informations existantes (débits et piézomètres) dont les préfets disposent pour gérer les situations de crise.

L'intégration du dispositif ROCA dans le cadre plus large d'un Observatoire National des Étiages (ONDE) a été précisée dans la circulaire du 18 mai 2011 relative aux mesures exceptionnelles de limitation ou de suspension des usages de l'eau en période de sécheresse.

ONDE présente un double objectif : celui de constituer un réseau de connaissance stable sur les étiages estivaux et celui d'être un outil d'aide à la gestion des périodes de crise hydrologique.

Dans le Calvados, un réseau de suivi des eaux superficielles est mis en place en période d'étiage. Les composantes de ce réseau correspondent aux stations

⁵ Note technique relative au dimensionnement et au fonctionnement de « Onde », ONEMA, janvier 2012.

hydrométriques sur lesquelles l'Observatoire National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) réalise des campagnes de relevés. Leur liste et localisation géographique figurent dans le Tableau 6⁶.

Bassin hydrographique	Cours d'eau	Station hydrométrique de référence	Commune	Seuil de vigilance (m ³ /s)	Seuil d'alerte (m ³ /s)	Seuil d'alerte renforcée (m ³ /s)	Seuil de crise (m ³ /s)
Touques	Touques	I 103 10 10	Saint Martin de la Lieue	1,240	1,180	1,120	1,060
Dives	Dives	I 202 10 10	Beaumais	0,300	0,215	0,200	0,180
Orne	Orne	I 353 10 10	Grimbosq	1,640	1,440	1,240	1,040
Seulles	Seulles	I 403 20 10	Tierceville	0,190	0,160	0,140	0,120
Vire amont	Souleuvre	I 505 30 10	Carville	0,015	0,010	0,007	0,005
Aure	Drôme	I 535 20 10	Sully	0,120	0,090	0,070	0,055

Tableau 6 : Liste des stations hydrographiques du réseau ONDE

3.4. PIÉZOMÉTRIE ET SOURCES

3.4.1. Chroniques piézométriques

Il existe plusieurs réseaux de mesure des données piézométriques. On peut citer notamment :

- le suivi patrimonial des eaux souterraines, qui fait intervenir divers organismes : BRGM, ONEMA et les Conseils Généraux de l'Orne et du Calvados ;
- le suivi piézométrique de la Ville de Caen ;
- un suivi complémentaire de piézomètres dans l'Orne par le Syndicat Départemental de l'Eau de l'Orne ;
- le suivi d'un site minier par le Département Prévention et Sécurité Minière du BRGM (Ferrières-aux-Etangs) ;
- le suivi du site de stockage de May-sur-Orne ;
- les données relatives aux ICSP : 75 sites sont identifiés en Basse-Normandie.

Réseau piézométrique patrimonial

On dénombre 40 piézomètres du réseau patrimonial dans la zone d'étude (Illustration 23 et Annexe 3).

⁶ Arrêté Cadre départemental relatif à la définition de seuils de vigilance, d'alerte et de crise, et de mesures de limitation ou suspension provisoires de certains usages de l'eau en cas de sécheresse dans le département du Calvados (7 juin 2011).

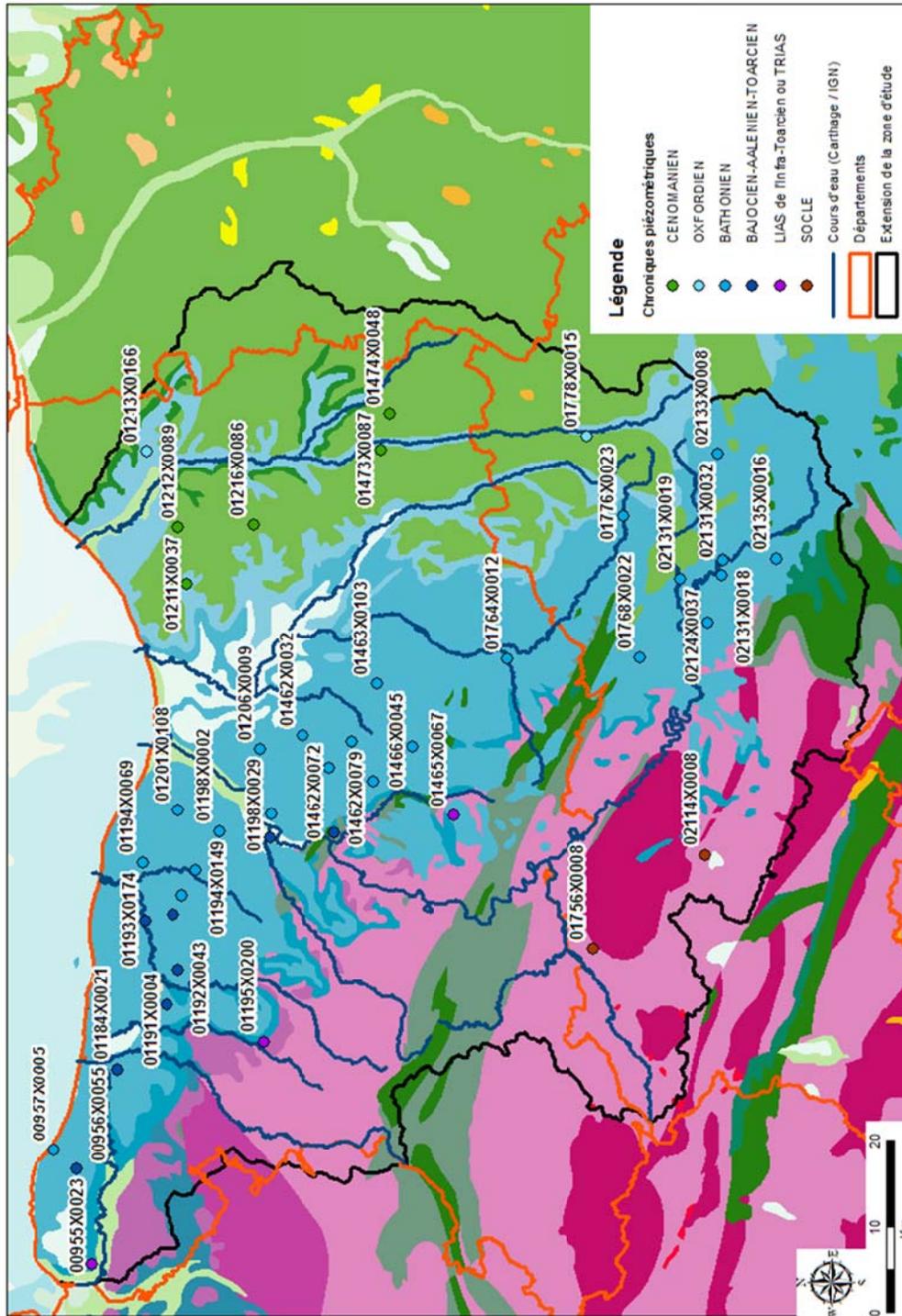


Illustration 23 : Localisation des piézomètres situés dans la zone d'étude (hors piézomètres de la ville de Caen)

Ces piézomètres se répartissent de la façon suivante entre les différents aquifères de la zone d'étude :

- 5 piézomètres suivent les fluctuations de la nappe de la craie du Cénomanién, à l'Est de la zone d'étude. Hormis le piézomètre de Beaumont-en-Auge (indice BSS : 01212X0089 ; période de suivi : 02/1974 à 02/2004), les autres piézomètres sont toujours suivis en 2012. Les piézomètres d'Auvillars (01216X0086), Auquainville (01473X0087) et Danestal (01211X0037) sont suivis depuis 1974, tandis que l'acquisition des données a démarré en 2005 pour celui de Saint-Cyr-du-Ronceray (01474X0048) ;
- 2 piézomètres suivent les fluctuations de la nappe de l'Oxfordien : Surville (01213X0166, données disponibles de 1974 à 2012) et Mardilly (01778X0015, données disponibles de 1999 à 2008) ;
- 20 piézomètres suivent les fluctuations de la nappe du Bathonien. Les chroniques s'étendent de 1966 à 2012 ;
- 8 piézomètres suivent les fluctuations de la nappe du Bajocien (l'aquifère étant constitué par les calcaires bajociens et ceux de l'Aalénien et du Toarcien). Trois d'entre eux ne sont plus suivis : Tierceville (01193X0174, acquisition de 1972 à 1999), Cully (01193X0177, acquisition de 1972 à 1998) et May-sur-Orne (01454X0065, acquisition de 1974 à 2000). Le piézomètre de Louvigny (01198X0029) capte cette formation d'après sa coupe technique et lithologique (cf. Annexe 4 page 191) ;
- 3 piézomètres suivent les fluctuations de la nappe du Lias de l'Infra-Toarcien ou des niveaux aquifères du Trias. Il s'agit des piézomètres d'Osmanville (Sinémurien, indice BSS 00955X0023, données disponibles de 1974 à 2011), de Longraye (sables et graviers du Trias, 01195X0200, données disponibles de 06/2006 à 2012) et de Tournebu (Infra-Toarcien à Trias, 01465X0067, données disponibles de 2008 à 2012). Le rattachement de ce forage à l'ensemble Lias-Trias a été effectué sur la base de la carte géologique et en cohérence avec les simulations du modèle hydrogéologique. L'absence d'une coupe lithologique des formations traversées par le puits ne permet cependant pas de confirmer totalement cette information ;
- 2 piézomètres suivent les fluctuations d'une nappe dans les formations du socle (Saint-Pierre-du-Regard – indice BSS 01756X0008, données disponibles de 1995 à 2008 – et Briouze – indice BSS 02114X0008, données disponibles de 1999 à 2004).

Réseau piézométrique de la Ville de Caen

Pour ses besoins spécifiques, la Ville de Caen a mis en place et suit un réseau piézométrique. Ce réseau comporte 41 piézomètres, dont 18 sont équipés d'enregistreurs automatiques de niveau (cf. Illustration 24 et Annexe 5). L'identification des piézomètres est faite au travers d'une numérotation et du lieu-dit d'implantation (cf. Tableau 7). Ces piézomètres sont concentrés principalement dans la zone alluviale de l'Orne.

Identifiant Ville de Caen	Lieu-dit	XL93	YL93	Altitude repère (mNGF)	Profondeur forage (m)
1	Rue de Maltot	453353	6902348	16.64	50
2	Esplanade ZENITH	453391	6902077	11.23	
5	Camping vers CAEN	454452	6901736	6.1	10.5
7	2 Camping vers Louvigny	454354	6901546	6	26
8	rue du Capitaine Boualam	453626	6903078	11.12	6
11	Eglise St Etienne	454204	6903271	12.77	16
	Gardin 1 (rue Jean de la Varende, différent du 21)	454469	6902801	5.8	4
	Gardin 2	454504	6902783	6	4
16	Gardin 3 (Rue de L'Hippodrome)	454504	6902934	6.27	19.6
18	Héлитas Tennis	454174	6902742	5.69	1.5
19	Hotel des Finances (Devant)	454693	6902932	5.91	19
25	Rue de Geole	454780	6903646	7.74	10
29	1 Rue des Carmes	455450	6903108	5.74	9
31	Rue Singer (Massif de fleurs)	455329	6902890	6.18	11
33	Rue de Falaise	455485	6901982	20.74	15
34	Rond Point de l'Orne (Gazon)	455757	6902987	5.92	
37	Rue de Suède et Norvège	455824	6903218	5.17	11
39	Rue Basse	456148	6903536	5.57	10

Tableau 7 : Identification des piézomètres de la ville de Caen équipés d'enregistreurs automatiques de niveau

Les mesures les plus anciennes datent du mois d'août 1978 (piézomètre 18) mais l'acquisition des données démarre en règle générale à la fin des années 1990 (cf. Annexe 5). L'acquisition s'est faite au pas de temps quotidien sur une période s'étendant au maximum entre 1997 et 2005, puis au pas de temps horaire entre 2006 et 2010. Des mesures manuelles existent par ailleurs sur ces ouvrages.

Des exemples de chroniques piézométriques figurent en Annexe 6.

Piézomètres du secteur d'Argentan-Sées

Une carte des piézomètres de l'Orne suivis dans la zone d'étude a été établie par le Syndicat Départemental de l'Eau de l'Orne (cf. Illustration 25).



Illustration 24 : Piézomètres suivis par des enregistreurs automatiques de niveau, par la ville de Caen (fond : carte géologique à 1/50 000)

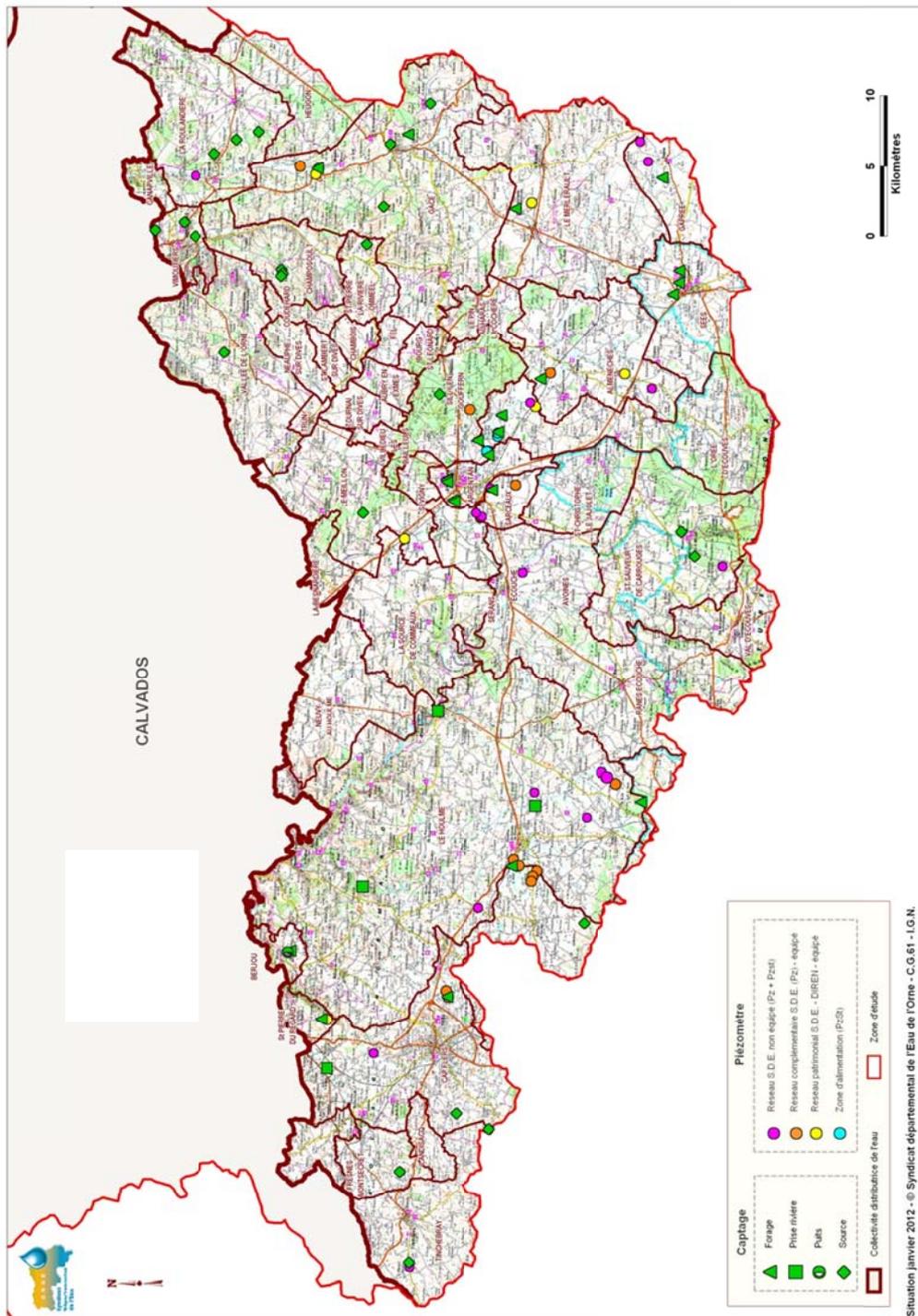


Illustration 25 : Piézomètres de l'Orne appartenant à la zone d'étude (infographie SDE de l'Orne)

En sus des données piézométriques acquises dans le cadre du réseau patrimonial⁷, les données correspondant aux forages suivants ont été transmises par le SDE de l'Orne :

- Commune de Sai, lieu-dit « Le Grand Clos », indice BSS 02131X0019. Aquifère capté : Bathonien. Période de disponibilité des données : 04/1995-06/1997, 11/1998-05/1999, 10/1999-06/2002, 08/2002-02/2003, 09/2003-11/2003, 03/2004-01/2012 ;
- Commune de Sarceaux, lieu-dit « Le Marais », indice BSS 02124X0037. Aquifère capté : Bathonien. Période de disponibilité des données : 10/1999-11/2002, 11/2003-01/2008 et 05/2009-04/2012 ;
- Commune d'Alménèches, piézomètre de Saint-Hippolyte, indice BSS 02131X0032. Aquifère capté : Bathonien. Période de disponibilité des données : 2004-2012.

Ces piézomètres figurent sur la carte de l'illustration 23 et dans la liste des piézomètres figurant en Annexe 3.

Réseau piézométrique du Département Prévention et Sécurité Minière (Ferrières-aux-Etangs)

Dans le cadre de la gestion et de la surveillance d'ouvrages de sites miniers, le Département Prévention et Sécurité Minière (DPSM) a assuré, entre 2001 et 2010, le suivi piézométrique de l'aquifère du Bajo-Bathonien sur une dizaine de points localisés à la Ferrière-aux-Etangs dans l'Orne (Illustration 26). Ce réseau, très dense, est localisé à l'extérieur de la zone d'étude.

⁷ Piézomètres d'Occagnes (01768X0022), de Saint-Pierre-du-Regard (01756X0008), Saint-Loyer-des-Champs (02131X0018), Saint-Germain-de-Clairefeuille (02133X0008), Mortrée (02135X0016)

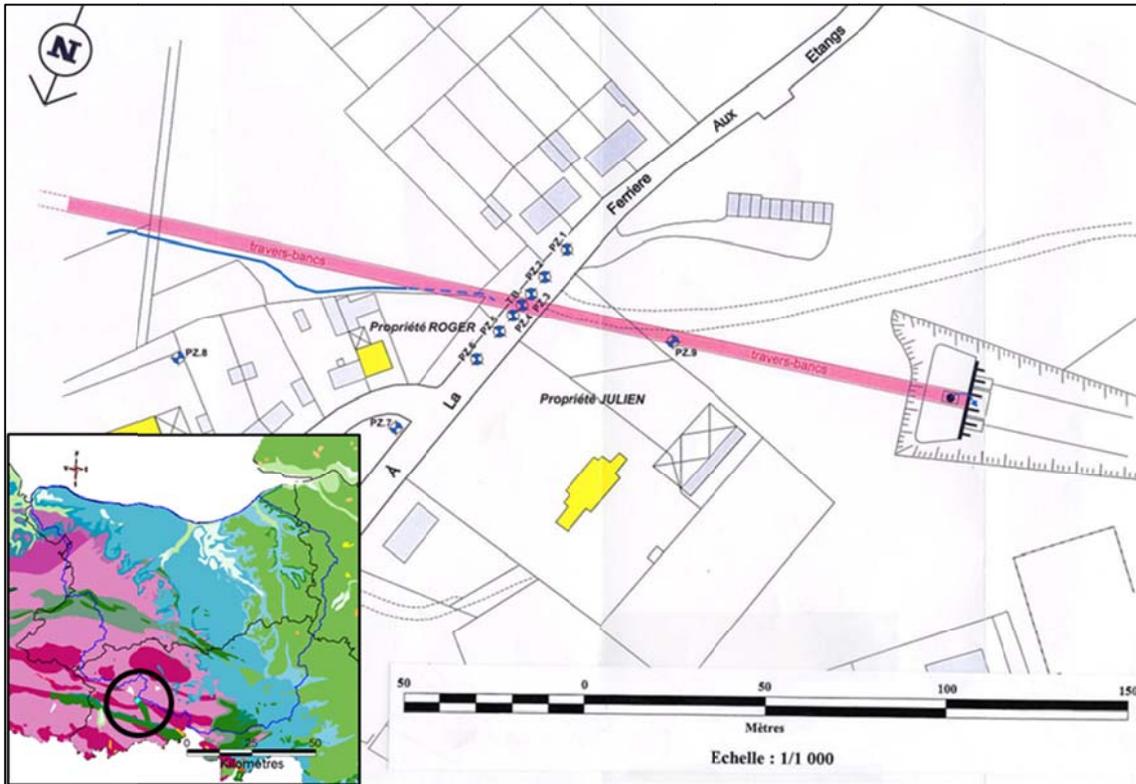


Illustration 26 : Localisation du suivi piézométrique du DPSM sur le site de la Ferrière-aux-Etangs (61)

Suivi du site de stockage d'hydrocarbures de May-sur-Orne

Les informations figurant ci-après sont pour partie issues de l'ouvrage « aquifères et eaux souterraines en France » (Collectif, 2006, page 246, tome 1).

À la fermeture de la mine de fer de May-sur-Orne (située à environ 10 km au sud de Caen) en 1968, il a été décidé d'utiliser les vides générés par l'exploitation du minerai (galeries) pour réaliser un stockage d'hydrocarbures dans les formations de socle (toit formé par les schistes de l'Ordovicien moyen et mur par les grès du Cambrien). Ce stockage a démarré en 1972 et s'est poursuivi jusqu'en 1984, date à partir de laquelle la vidange de l'hydrocarbure a été initiée, avant la mise en eau (l'ennoyage) des galeries (terminée en 1991). La fermeture définitive du site est intervenue en fin d'année 1993 (soit à une date antérieure au démarrage des simulations : 1994).

Pour mémoire, le suivi hydrogéologique du stockage a été assuré par un réseau de surveillance comprenant 42 piézomètres pour les terrains du Primaire et 17 pour ceux du Jurassique. L'acquisition des données s'arrêtant avant 1994, les chroniques n'ont pas pu être utilisées lors du calage en régime transitoire.

Suivi des eaux souterraines au droit des Installations Classées et des Sites Pollués

Le suivi de la qualité des eaux souterraines au droit des ICSP est réalisé sur 75 sites en Basse-Normandie. Des données piézométriques sont susceptibles d'exister pour certains d'entre eux, de façon très parcellaire. En effet, et dans les cas les plus favorables, des mesures piézométriques peuvent être faites à l'occasion des prélèvements d'eau effectués pour contrôler la qualité de la nappe. Ces données ne sont pas bancarisées et n'ont donc pu être utilisées dans le cadre du projet.

3.4.2. Cartes piézométriques

Cartes piézométriques de l'atlas hydrogéologique du Calvados

Le Conseil Général du Calvados, l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), la DREAL Basse-Normandie (anciennement DIREN) et le BRGM se sont associés pour la réalisation d'un Atlas hydrogéologique numérique du Calvados, dont les résultats sont parus en 2007.

Les cartes piézométriques du Bajocien et du Bathonien de l'atlas hydrogéologique numérique du Calvados, représentatives d'un état de moyennes eaux, sont respectivement présentées en Annexe 8 page 207 et Annexe 9 page 211.

Dans sa partie libre, la surface piézométrique de la nappe épouse la morphologie du terrain, en partie conditionnée par la fissuration des calcaires. Son tracé est cependant plus amorti. Les lignes de partage des eaux souterraines correspondent donc sensiblement à celles des bassins hydrographiques. La nappe forme des dômes d'alimentation sous les plateaux où l'aquifère peu fissuré a une fonction capacitive, et des dépressions dans les zones fissurées drainantes à fonction transmissive que sont les vallées humides et les vallées sèches. L'écoulement général de la nappe se fait en direction de la Manche : du sud vers le nord dans le Bessin et du sud-ouest vers le nord-est à l'est de la Mue. La nappe est drainée principalement par la Seulles, la Mue, l'Orne, la Muance, le Laizon et la Dives. À son passage en domaine de captivité sous les marnes calloviennes, on observe une crête piézométrique qui traduit une limite d'alimentation (à condition de flux) de l'aquifère libre par sa partie captive à charge supérieure. Cette crête piézométrique est avant tout dictée par la topographie (relief de cuesta). Hormis sous les principaux estuaires où la surface piézométrique est quasiment plane, les ordres de grandeur du gradient hydraulique sont de 5 à 8 % sur les versants et entre 0,5 et 1 % sous les plateaux.⁸

Dans le même cadre, des cartes piézométriques du Cénomaniens ont été élaborées pour des situations de basses eaux, moyennes eaux et hautes eaux. Elles figurent en Annexe 10.

⁸ Arnaud L., Mardhel V., Coueffé R, Tourlière B. (2007) - Atlas hydrogéologique numérique du Calvados. Volet cartographique. Rapport BRGM/RP-55670-FR, 150 p, 83 illustrations, 1 annexe.

Cartes piézométriques du secteur Argentan-Sées

Dans ce secteur, un modèle hydrogéologique maillé de l'aquifère du Bathonien a été réalisé en 2001 à la demande du Syndicat Départemental de l'Eau de l'Orne. Ce modèle s'est appuyé sur un recensement des points d'eau existants, effectués les 14 et 15 octobre 1999, au cours duquel des mesures piézométriques ont été effectuées.

Des mesures complémentaires ont été réalisées en période de hautes eaux (11/04/2000), au sud de la zone étudiée. Les points de mesure, leurs caractéristiques et la carte piézométrique associée figurent à l'annexe Annexe 7, page 203.⁹

Cette carte et le suivi ponctuel des niveaux de la nappe et de la rivière ont mis en évidence la position drainante de l'Orne par rapport à la nappe.

Carte piézométrique de la DREAL

La DREAL réalise et met à jour régulièrement une carte des premiers niveaux d'eau rencontrés depuis la surface du sol, soit directement à l'affleurement (plans d'eau, sources, rivières, zones humides), soit sous la surface du sol (mesures de niveau d'eau effectuées en nappe). Les mesures piézométriques prises en compte concernent l'ensemble des aquifères de la zone cartographiée (région Basse-Normandie), sans distinction temporelle. L'interpolation est effectuée à l'aide du module VerticalMapper du logiciel Mapinfo.

Si cette carte et surtout les données ponctuelles qui servent à son élaboration sont d'un grand intérêt, son utilisation directe dans le cadre du projet de modélisation n'est pas envisageable compte tenu des finalités distinctes des deux démarches : identification du premier niveau à l'affleurement ou sous la surface du sol d'une part, cartographie des écoulements par nappe d'autre part.

3.4.3. Sources

Les sources ont été inventoriées à partir des données disponibles en Banque du Sous-Sol (Illustration 27). Un total de 949 sources a été recensé dans la zone d'étude (Tableau 8).

Le recensement des sources inventoriées en BSS met en évidence l'existence de secteurs où leur densité est plus importante : c'est notamment le cas au nord de Lisieux où la nappe du Cénomaniens est perchée au-dessus du fond de vallée. Cette situation géographique et géologique donne naissance à des alignements de sources

⁹Conseil Général de l'Orne : Aquifère Bathonien de la région d'Argentan-Sées. Modélisation mathématique pour la gestion de la ressource. Pivette Consultant et Baumann ingeniering SARL (janvier 2001)

en limite d’affleurement, au contact d’une formation sous-jacente moins perméable (argiles glauconieuses albo-cénomaniennes et marnes callovo-oxfordiennes). On remarque à l’inverse la très faible densité de sources dans les secteurs où affleurent les calcaires bathoniens (bassin de la Dives notamment), hormis le secteur du Bessin dans lequel la nappe du Bathonien peut être perchée au-dessus des fonds de vallée.

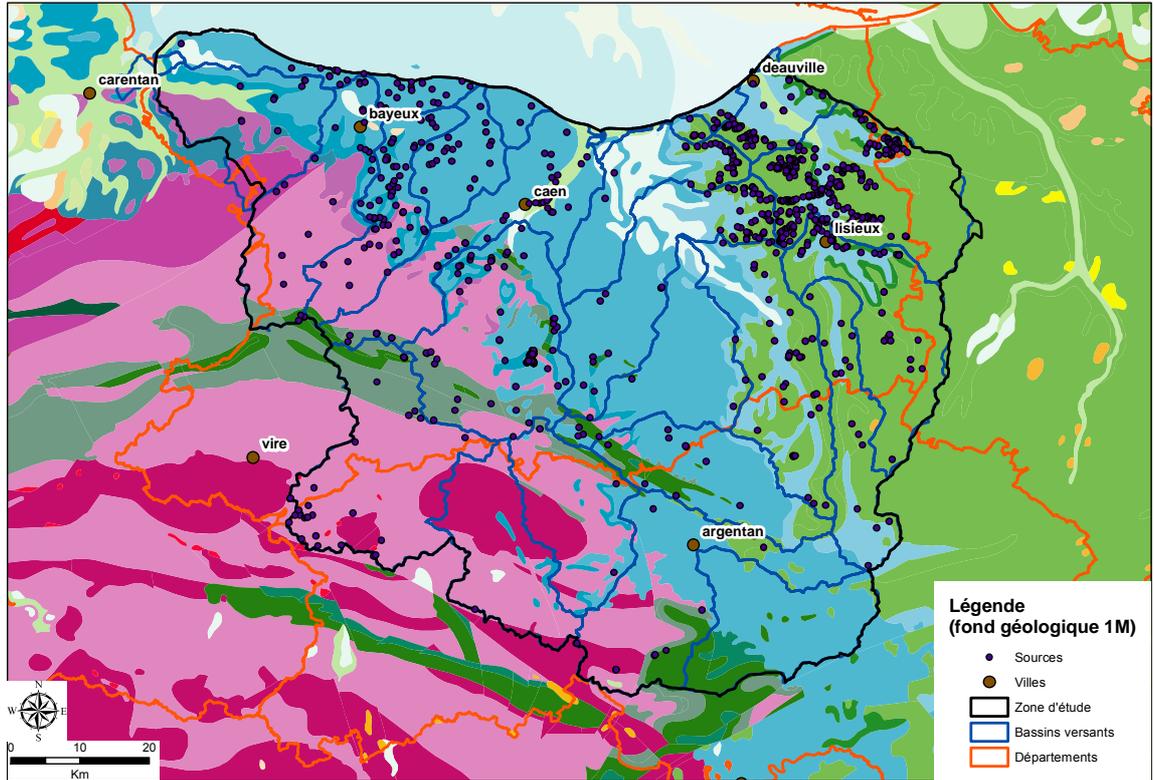


Illustration 27 : Localisation des sources dans la zone d’étude

Sources, nombre et surface (km ²)	Nombre	Superficie (km ²)	Systèmes géologiques	Nombre
Zone_projet	949	7441.8	Crétacé supérieur	390
Touques	419	1278.5	Crétacé inférieur	76
Dives	159	1779.5	Jurassique supérieur	102
Orne	204	2970	Jurassique moyen	157
Seulles	90	478.7	Jurassique inférieur	86
Aure	32	675	Trias	7
Bassins côtiers situés entre la Vire et la Seulles exclu	9	99	Socle	131
Autres bassins côtiers	36	161		

Tableau 8 : Répartition des sources par bassin versant (à gauche) et par système géologique (stratigraphie, à droite)

L'analyse des dossiers en Banque du Sous-Sol montre qu'au moins une partie des sources identifiées a été aménagée pour des captages. Des pompes sont ainsi installées sur l'ouvrage présenté en exemple sur l'illustration 28.

3.5. PARAMÈTRES HYDRODYNAMIQUES

Quatre sources d'informations différentes ont été principalement consultées pour élaborer ce chapitre :

- l'atlas hydrogéologique du Calvados ;
- un fichier Excel de la DREAL listant les forages pour lesquels des paramètres hydrodynamiques sont connus ;
- le rapport de modélisation de la zone d'Argentan-Sées (Pivette Consultant et Baumann ingeniering SARL, 2001) ;
- le mémoire universitaire présentant une modélisation hydrogéologique des aquifères du Bajocien – Bathonien dans le secteur des Bocages Normands¹⁰.

L'atlas hydrogéologique du Calvados présente un premier inventaire des paramètres hydrodynamiques dans ce département (rapport BRGM/RP-55670-FR, cf. bibliographie).

Aucune information ne figure dans le mémoire de master 2 présentant la modélisation hydrogéologique des aquifères du Bajocien – Bathonien dans le secteur des Bocages Normands. Seul le rapport écrit a pu être consulté lors de la phase de collecte des données, sans les fichiers de données associés.

Les paramètres hydrodynamiques utilisés dans le cadre du rapport de modélisation de la zone d'Argentan – Sées figurent dans les différentes sections ci-après.

La liste des forages, ainsi que les valeurs des paramètres hydrodynamiques qui leur sont associées, figurent en Annexe 11.

3.5.1. Perméabilité

La perméabilité est une information rarement disponible directement car les pompages d'essai, première source d'information en matière de productivité d'un aquifère, fournissent une valeur de transmissivité. La perméabilité doit ensuite être évaluée à partir de la transmissivité déduite de l'interprétation du pompage d'essai.

Les seules informations relatives à ce paramètre proviennent du rapport de modélisation de la zone d'Argentan-Sées (page 7) :

¹⁰ Charlotte Thierion, 2007 : Modélisation hydrogéologique des aquifères du Bajocien-Bathonien dans le secteur des Bocages Normands. Mémoire de master 2 de l'Université Pierre et Marie Curie.

En prenant en compte l'épaisseur mouillée de la nappe, la conductivité de l'aquifère peut être exprimée en perméabilité. Les valeurs de perméabilité ainsi déduites sont relativement homogènes. Les plus fortes valeurs sont situées :

- dans la vallée de l'Orne autour d'Argentan : $8 \cdot 10^{-4}$ m/s au forage "Le Prieuré" (N° 212-4X-0035), $7 \cdot 10^{-4}$ m/s au forage de production "Vingt Acres" (N° 212-4X-0014), et $6,5 \cdot 10^{-4}$ m/s au forage de production "Le Pré Clos" (N° 212-4X-0021) ;

- à l'Est de Mortrée : $7,5 \cdot 10^{-4}$ m/s dans le forage "La Petite Mortrée" (N° 213-5X-0007).

Dans un rayon de 1 à 2 km autour de ces zones, les perméabilités deviennent légèrement plus faibles. Elles se situent dans une fourchette allant de 1 à $2,5 \cdot 10^{-4}$ m/s. Elles diminuent encore d'avantage vers la bordure sud de l'aquifère, pour atteindre des valeurs de l'ordre de $5 \cdot 10^{-5}$ m/s (forage "Le Buot, N° 213-5X-0023).

Enfin, sous l'épais recouvrement du Callovien, les perméabilités se situent entre $7 \cdot 10^{-6}$ m/s (gare de Surdon) et $3,5 \cdot 10^{-5}$ m/s (St-Hippolyte).

Par ailleurs, à la suite du calage en régime permanent, le rapport indique que les perméabilités du Bathonien ont été ajustées comme suit (page 11 du rapport) : « de fortes perméabilités le long de l'Orne, dans le secteur d'Argentan, le long de l'Houay et à Mortrée sur une zone assez limitée. Les plus faibles perméabilités de $1,5 \cdot 10^{-5}$ m/s sont situées sous l'épais recouvrement du Callovien et le long de la bordure Sud ($2 \cdot 10^{-5}$ m/s). Les variations de la perméabilité du calcaire bathonien ne sont pas très importantes : le rapport entre la valeur la plus forte et la valeur la plus faible n'est que de 50. »

La carte des perméabilités ajustées suite au calage en régime transitoire (carte 1-6 du rapport de modélisation) est présentée en Annexe 12.

3.5.2. Transmissivité

La carte de l'illustration 29 présente la localisation des 215 valeurs de transmissivité recensées dans la zone d'étude. Le Tableau 9 en présente par ailleurs une synthèse statistique. On gardera en mémoire qu'il existe un biais notoire dans les données présentées puisque, d'une part, les valeurs obtenues le sont pour des sites réputés favorables à la production d'eau souterraine et, d'autre part, un forage « sec »¹¹ - c'est-à-dire un forage ne produisant notoirement pas la quantité d'eau attendue - ne donne pas lieu à l'estimation d'une transmissivité. Les valeurs présentées surestiment donc en règle générale la capacité transmissive moyenne des formations.

¹¹ Un forage réputé « sec » n'est pas nécessairement dépourvu d'eau : ce qui est constaté, c'est sa complète incapacité à produire le débit attendu.

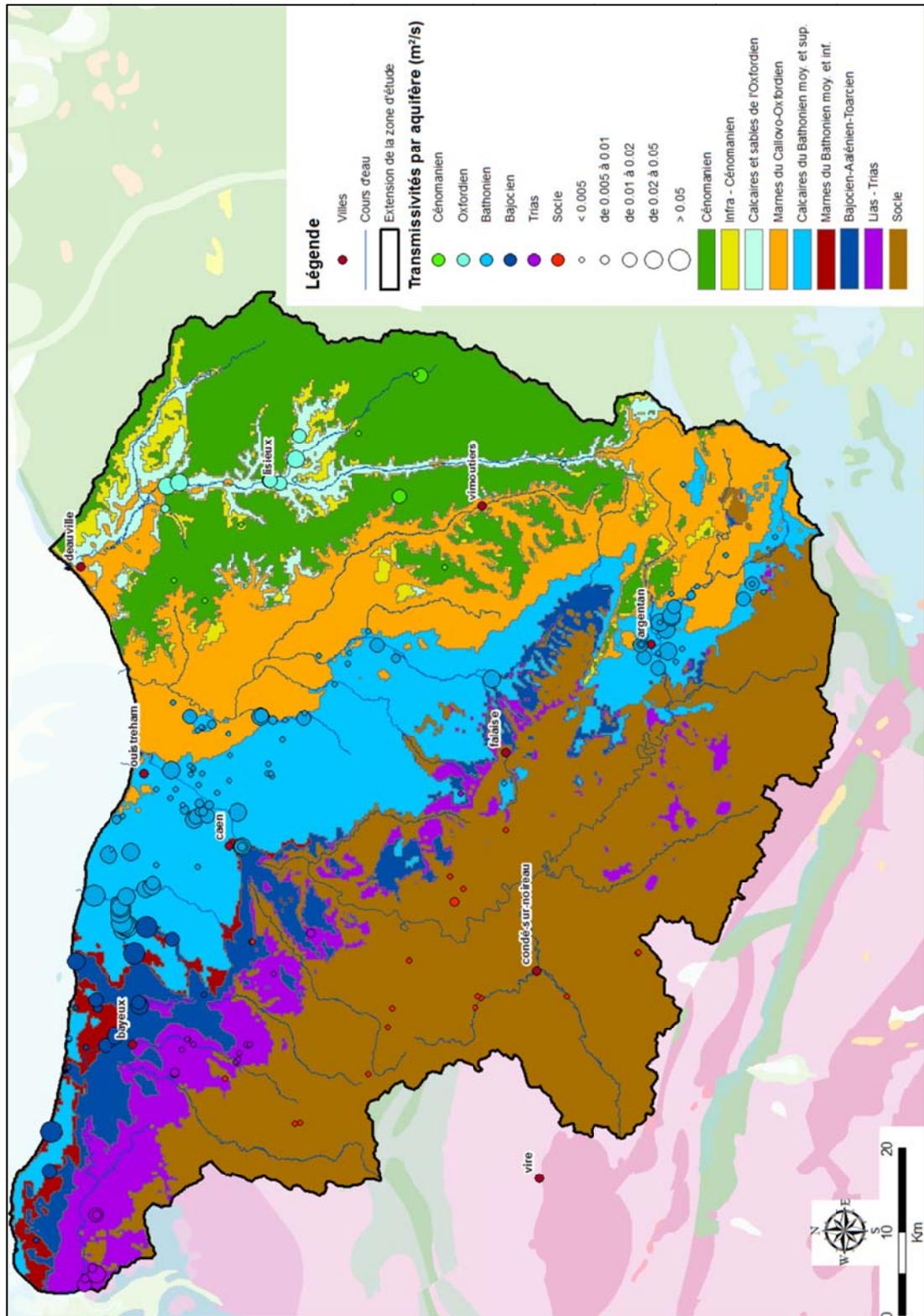


Illustration 29 : Répartition spatiale des valeurs de transmissivité par aquifère

Transmissivité (m ² /s)	Cénomanién	Oxfordien	Bathonien	Bajocién	Trias	Socle
Nb. d'observations	9	12	125	23	23	23
Minimum	3.6E-04	2.9E-03	8.3E-06	2.8E-05	4.2E-04	3.0E-05
Maximum	2.0E-02	4.2E-02	7.0E-01	2.7E-01	3.0E-02	7.0E-03
1er Quartile	5.3E-04	3.7E-03	1.1E-03	1.0E-03	1.4E-03	2.3E-04
Médiane	4.0E-03	1.4E-02	5.0E-03	1.0E-02	2.2E-03	5.0E-04
3ème Quartile	1.6E-02	1.7E-02	1.5E-02	2.3E-02	8.0E-03	1.6E-03
Moyenne	7.3E-03	1.4E-02	2.1E-02	3.4E-02	6.0E-03	1.3E-03

Tableau 9 : Statistiques sommaires des valeurs de transmissivité recensées dans la zone d'étude

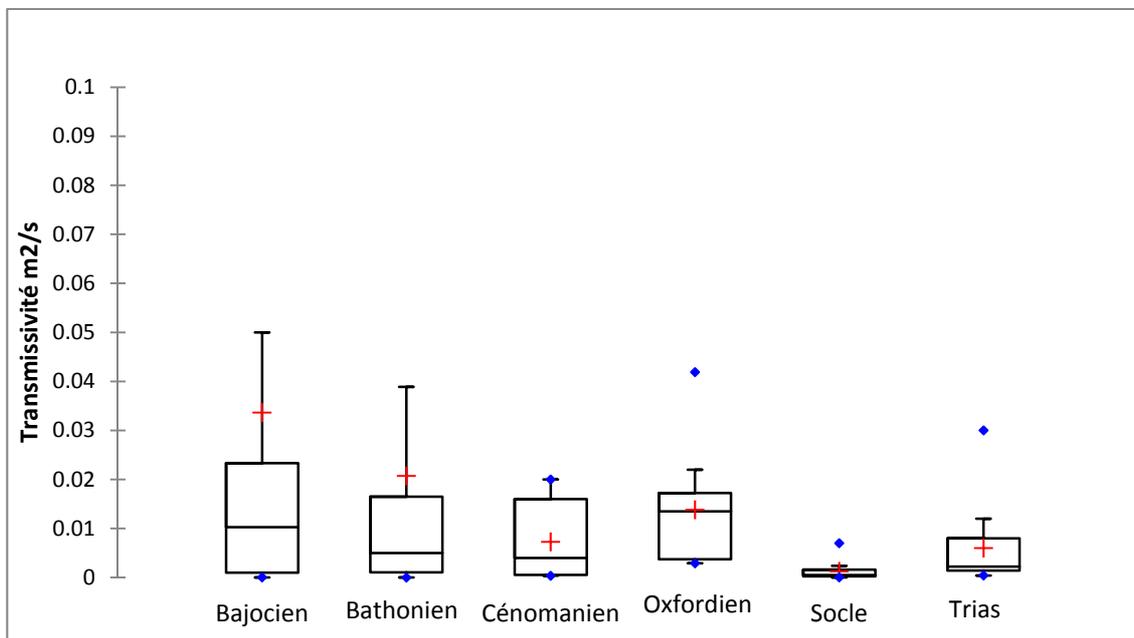


Illustration 30 : Représentation en boîte à moustaches des transmissivités connues par aquifère (la moyenne figure en rouge, la valeur médiane correspond à la barre du milieu de la boîte)

L'illustration 30 montre la répartition des valeurs de transmissivité par aquifère dans la zone d'étude. Elle fait apparaître - avec le biais d'effectifs hétérogènes selon les formations, faibles notamment pour l'Oxfordien et le Cénomanién :

- la faible productivité des formations de socle comparativement aux formations sédimentaires ;
- une bonne homogénéité des échantillons de façon générale (absence de valeurs « anormales ») ;
- une très bonne homogénéité des valeurs de transmissivité dans le Cénomanién et l'Oxfordien, sans valeurs anormales notables (moyenne et médiane sont très proches, écart inter-quartiles assez faible) ;

- des valeurs au-delà du troisième quartile qui sont particulièrement élevées dans le Bajocien et la Bathonien. Ceci traduit l'excellente productivité locale de ces aquifères.

Un exemple de très bonne productivité est celle rencontrée pour les forages de Prairie 1 appartenant à la ville de Caen, où des essais de nappe ont été réalisés en 1980 pendant 72 h à un débit moyen de 467 m³/h (cf. Tableau 10). Des résultats différents sont obtenus selon que l'interprétation du pompage d'essai est effectuée sur la phase de descente ou sur la phase de remontée du niveau piézométrique. En règle générale, l'interprétation de la phase de remontée est préférée car elle permet de s'affranchir des pertes de charge quadratiques dues au forage.

	Puits D	Forage A	Forage B
Transmissivité (m ² /s) - descente	1.10 ⁻²	3,4.10 ⁻²	1,3.10 ⁻²
Transmissivité (m ² /s) remontée	4,1.10 ⁻²	7,9.10 ⁻²	6,8.10 ⁻²
Coefficient d'emmagasinement de la réserve immédiatement utilisable S	/	2,2.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁵
Coefficient d'emmagasinement retardé S'	/	9,6.10 ⁻³	9,6.10 ⁻³
Facteur d'égouttement B' (m)	/	1 027,50	747
Temps au bout duquel l'effet retardé cesse d'influencer les rabattements (h)	/	250	337

Tableau 10 : Valeurs des paramètres hydrodynamiques pour le champ captant de Prairie 1 (issues du rapport Lithologic, 2009)

On peut noter la distribution spatiale irrégulière des valeurs de transmissivité dans les différents aquifères. Les Illustration 31 et Illustration 32 présentent ainsi respectivement la distribution de ces valeurs pour le Bathonien et le Bajocien. Cette hétérogénéité spatiale est globalement en relation avec la variabilité spatiale des usages et des demandes dans la zone d'étude.

Ces questions sont discutées dans le chapitre relatif aux perméabilités initiales prises en compte dans le modèle (cf. rapport de phase 2).

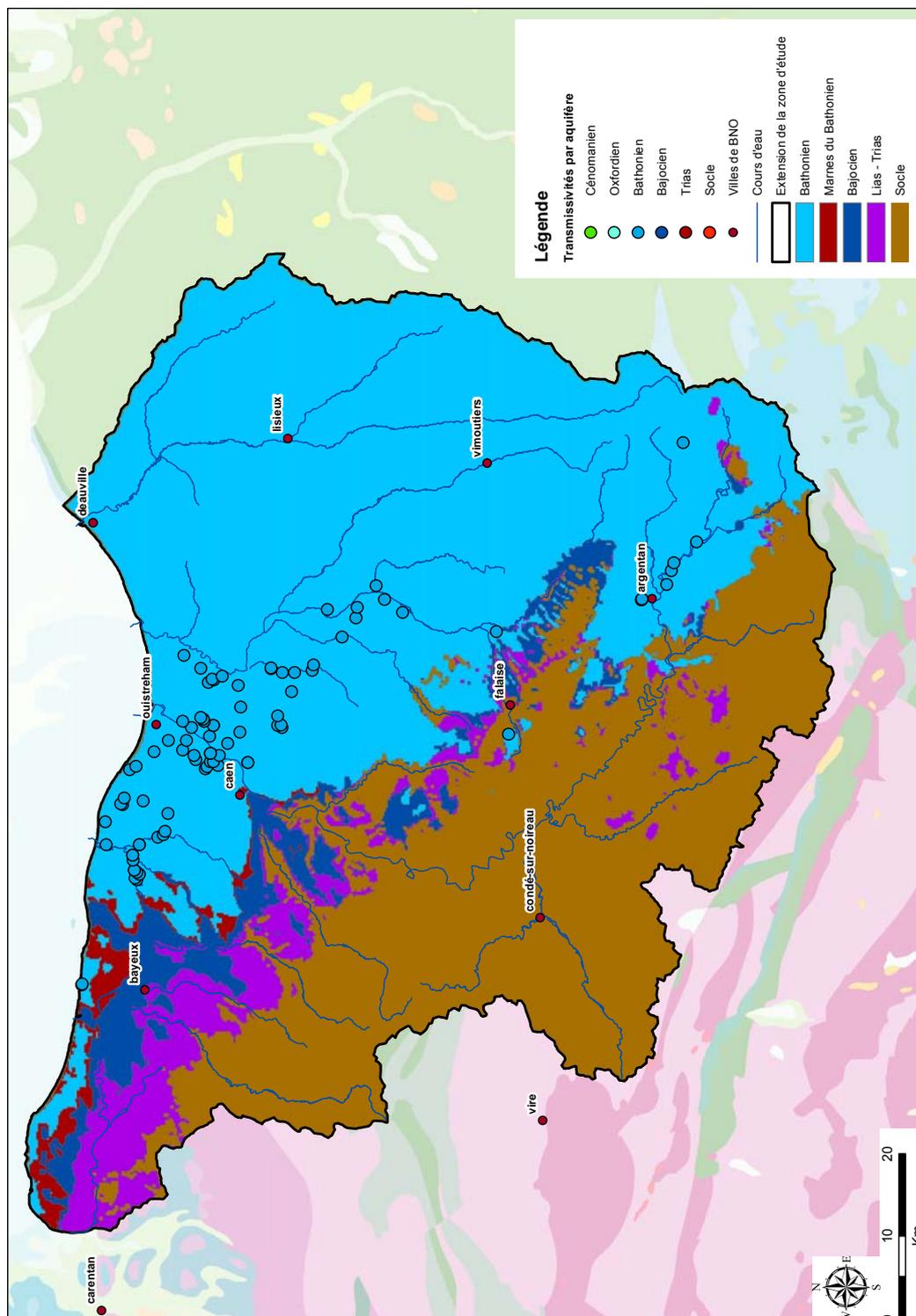


Illustration 31 : Répartition spatiale des valeurs de transmissivité pour le Bathonien

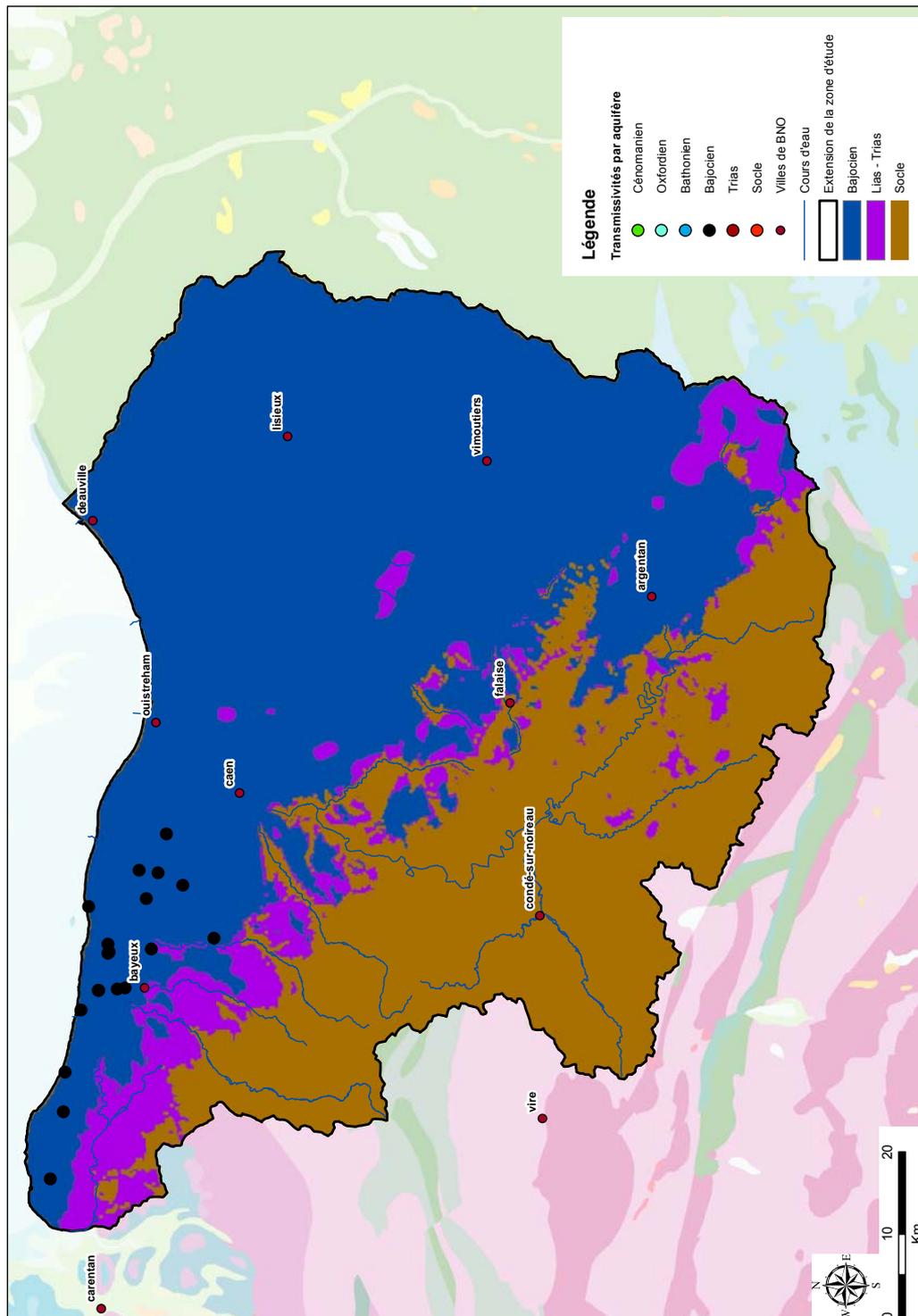


Illustration 32 : Répartition spatiale des valeurs de transmissivité pour le Bajocien

3.5.3. Temps de demi-décroissance¹²

Par analogie avec la loi exponentielle de tarissement d'une source, on simule parfois la baisse des niveaux d'une nappe en l'absence de toute réalimentation par une loi exponentielle du type :

$$H(t) = H_b + H_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$$

$H(t)$ = charge hydraulique en un point donné et à un instant t (en m), mesurée par rapport à un plan de référence (0 NGF) ;

H_b = charge hydraulique (en m) correspondant au niveau de base ;

H_0 = charge hydraulique au-dessus du niveau de base à la date t_0 correspondant au début de la baisse des niveaux (en m) ;

α = constante de décroissance, inverse d'un temps (en s^{-1}).

On peut relier la constante α au temps de demi-décroissance T_{demi} qui est le temps nécessaire pour qu'il y ait diminution de moitié de la charge hydraulique au-dessus du niveau de base :

$$T_{\text{demi}} = \frac{\text{Ln}2}{\alpha}$$

Dans le cas d'un aquifère de géométrie simple drainé par un exutoire, si l'on compare la solution analytique correspondante avec la loi exponentielle obtenue en représentant cet aquifère à l'aide d'un réservoir qui se vidange, on peut montrer (Thiéry, 1985 « Pourquoi un modèle à réservoir permet-il de simuler correctement le tarissement d'une nappe ou d'une source ? » – Note technique BRGM 85/23) que :

$$\alpha = \frac{\pi^2}{4} \frac{T}{S} \cdot \frac{1}{L^2} \quad (2) \text{ où } L \text{ représente l'extension du réservoir}^{13}$$

La constante de décroissance α (ou bien le temps de demi-décroissance) apparaît donc comme un critère susceptible de rendre globalement compte de la dynamique de décroissance d'une nappe. Elle intègre à la fois les deux paramètres hydrodynamiques des aquifères (T et S) et un facteur (L) rendant compte de l'effet de taille de l'aquifère.

¹² La partie théorique de ce chapitre est extraite du rapport BRGM/RP-55188-FR relatif à l'exploitabilité des ressources en eau souterraine en France et à la résistance à la sécheresse des principaux aquifères à nappe libre (Seguin, 2006)

¹³ T et S représentant respectivement la transmissivité (m^2/s) et le coefficient d'emmagasinement (sans unité) de l'aquifère

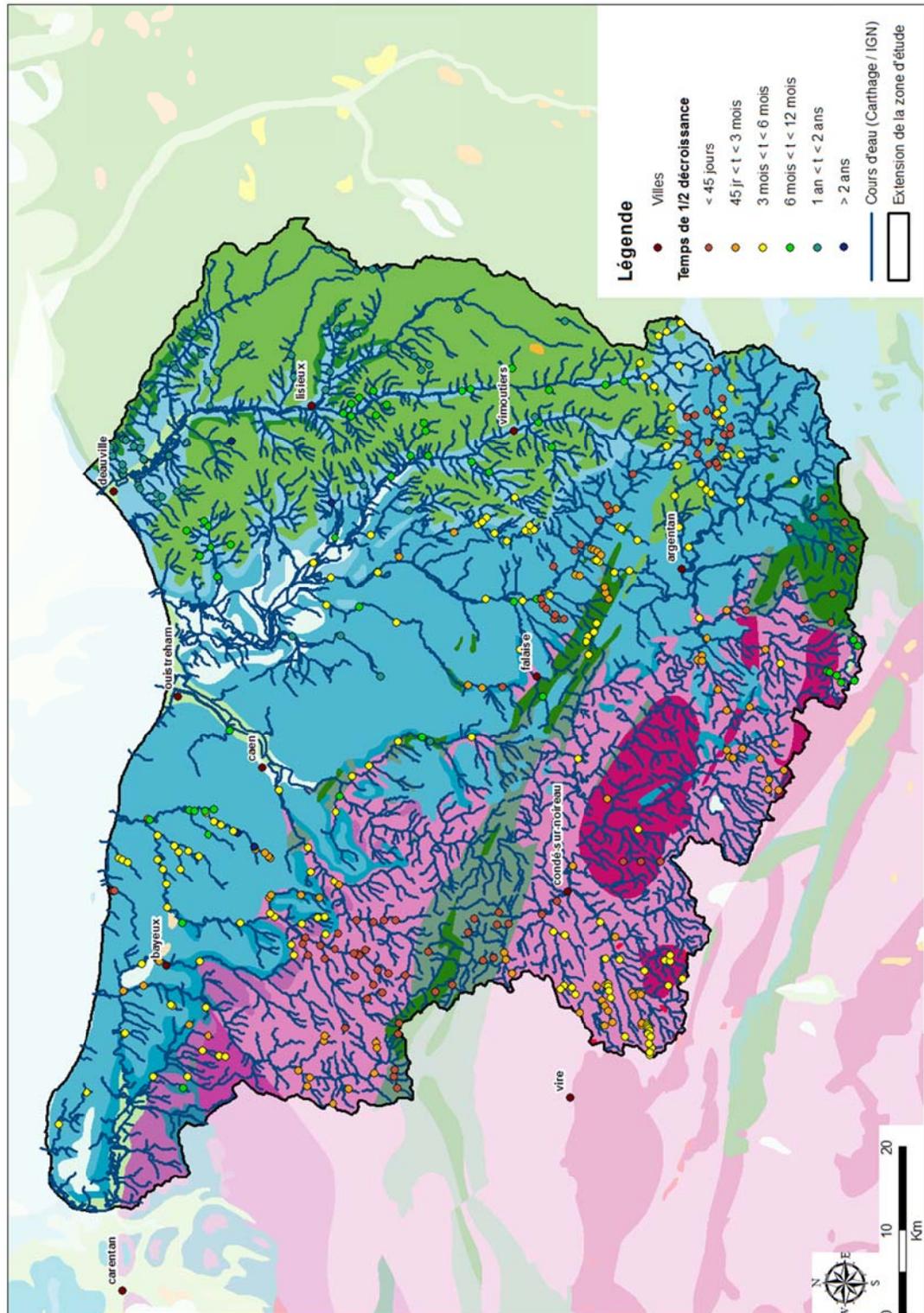


Illustration 33 : Temps de demi-décroissance calculés par la DREAL à partir des « jaugeages volants »

Le temps de demi-décroissance est donc un paramètre caractéristique d'un aquifère. Si son utilisation directe est délicate, il peut être envisagé, pour un aquifère donné, de travailler de façon relative sur la variation de sa diffusivité (le ratio T/S).

En ce sens, les temps de demi-décroissance calculés par la DREAL sur la base des « jaugeages volants » (cf. 3.3.4) sont présentés en Illustration 33. La gamme des valeurs obtenues s'étend de 25 jours à plus de 2 ans, ce qui est cohérent avec l'hétérogénéité des formations dans la zone d'étude. Les parties amont de la Touques et de la Dives, ainsi que la majeure partie du socle présentent des temps de demi-décroissance faibles, ce qui est là encore cohérent avec la prédominance du ruissellement et la faible inertie des terrains (marnes du Callovien, socle¹⁴). On observe, à l'inverse, une inertie plus forte dans les cours d'eau situés dans le bassin versant de la Touques et dans les petits bassins versants émergents des contreforts occidentaux du Cénomaniens, ainsi que sur la Mue, la Muance et la partie avale du Laizon.

3.5.4. Coefficient d'emmagasinement

78 valeurs de coefficient d'emmagasinement¹⁵ ont pu être recensées dans la zone d'étude : elles concernent tous les aquifères, sous des conditions libres ou captives (cf. 2.2). Pour mémoire, les gammes de valeur de ce paramètre sont très différentes selon le contexte libre ou captif de la nappe (cf. 2.3.1).

La répartition des valeurs par aquifère est présentée en Illustration 34, la liste des valeurs figure en Annexe 11 et des statistiques sommaires sont présentées dans le Tableau 11 (hormis le Cénomaniens et le socle où le nombre de valeurs est nettement insuffisant).

Emmagasinement	Cénomaniens	Oxfordien	Bathonien	Bajociens	Trias	Socle
Nb. d'observations	2	10	39	9	16	2
Minimum	2.0E-03	3.5E-05	1.0E-05	7.4E-08	1.0E-05	6.5E-02
Maximum	4.0E-03	5.0E-03	1.0E-01	3.0E-02	5.2E-02	1.0E-01
1er Quartile		8.1E-05	1.8E-04	2.0E-04	3.5E-05	
Médiane		1.6E-04	1.0E-03	8.0E-04	1.1E-03	
3ème Quartile		3.9E-03	8.5E-03	2.0E-03	1.5E-02	

Tableau 11 : Statistiques sommaires des valeurs de coefficient d'emmagasinement recensées dans la zone d'étude

¹⁴ La légende de la carte géologique au 1M figure en Annexe 1.

¹⁵ Le coefficient d'emmagasinement peut être déduit d'un pompage d'essai si les rabattements ont été mesurés dans un piézomètre voisin du puits de pompage

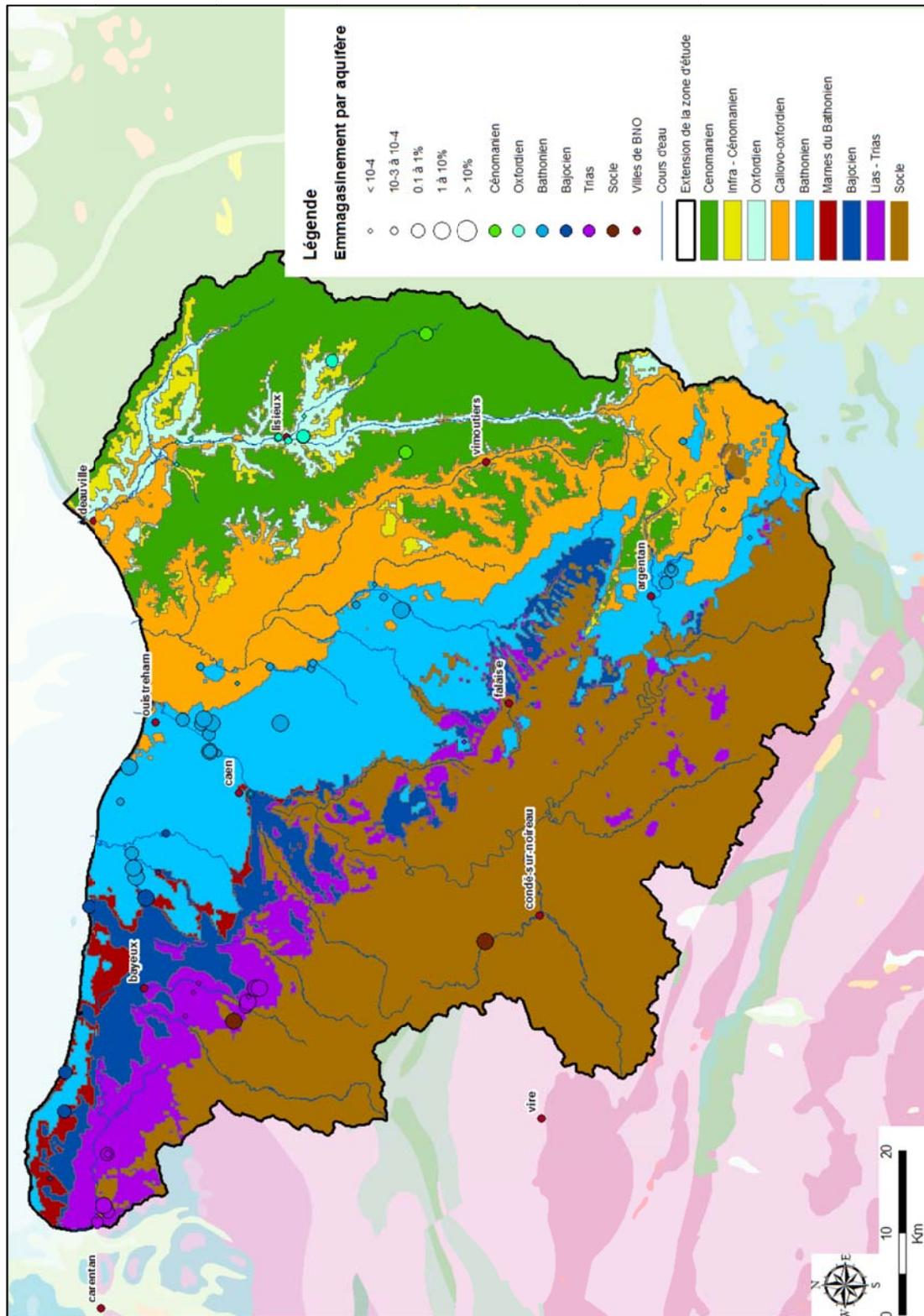


Illustration 34 : Répartition spatiale des valeurs d'emmagasinement par aquifère

Ces statistiques montrent que la majorité des valeurs concernent des domaines captifs à semi-captifs (valeurs médianes inférieures ou égales à 10^{-3}). Notons que la valeur minimum du Bajocien est douteuse ($7.4 \cdot 10^{-8}$, valeur fournie pour le forage d'indice BSS 00955X0046).

Trois valeurs de coefficient d'emmagasinement sont mentionnées pour le Bathonien dans le rapport de modélisation concernant la zone d'Argentan – Sées. Il s'agit de valeurs relevées par le Syndicat Départemental de l'Eau sur les sites « La Genterie » et « Le Pré Clos », donnant respectivement des valeurs de $1.5 \cdot 10^{-3}$ et $2.1 \cdot 10^{-3}$, et sur le site de la gare de Surdon donnant une valeur de 10^{-5} représentative d'un aquifère captif.

Ne disposant pas de valeur de coefficient d'emmagasinement pour la partie libre de la nappe du Bathonien, le bureau d'études a retenu des valeurs comprises entre 1% et 3% dans la phase de construction du modèle. Après calage en transitoire, les valeurs suivantes ont été adoptées pour le Bathonien (Cf. page 14 du rapport) :

- 3% en situation de nappe libre ;
- $5 \cdot 10^{-5}$ en situation de nappe captive ;
- 1.5% en situation de nappe libre sous recouvrement Callovien.

3.6. VOLUMES PRÉLEVÉS

Les volumes annuels prélevés par les collectivités, les industries et les irrigants ont été transmis par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie pour la période allant de 1994 à 2010. L'AESN dispose en effet des volumes annuels déclarés par point de comptage (appelé compteur dans la suite), au titre de la redevance « prélèvements » due à l'Agence de l'Eau.

Ces points de comptage peuvent concerner plusieurs captages (voir l'exemple des prélèvements de Saint-Pierre-Azif en Annexe 13) ou, à l'inverse, un captage peut être suivi par plusieurs compteurs. Le fichier fourni par l'AESN dispose d'un onglet qui présente les liens connus entre point de comptage et point de captage, sans exhaustivité. Des attributs sont associés au point de comptage :

- commune d'implantation du point de prélèvement ;
- commune, industriel ou agriculteur maître d'ouvrage du prélèvement.

Les coordonnées de l'ouvrage sont fournies au droit du point de captage.

1482 compteurs sont répertoriés en Basse-Normandie :

- 803 concernent les collectivités ;
- 311 les industriels ;
- 368 les activités agricoles.

Dans la zone d'étude, on identifie 767 compteurs, dont 427 concernent les collectivités (404 dans les eaux souterraines et 23 dans les eaux de surface), 170 les industriels (112 dans la nappe et 58 dans les eaux de surface) et 170 les usages agricoles (98 dans la nappe et 72 dans les eaux de surface). Cette identification a été faite, soit

directement à partir des coordonnées des points, soit à l'aide de la connaissance de la commune de prélèvement.

Les coordonnées de 516 compteurs ont pu être retrouvées à partir des fichiers fournis par l'AESN (lien entre point de comptage et point de captage). Celles-ci ont été déterminées par l'AESN selon diverses méthodes :

- centroïde de la commune ;
- localisation au point le plus près sur le cours d'eau ;
- localisation d'après la carte IGN 1/25 000, avec ou sans avis d'expert ;
- localisation sur avis d'expert.

251 points n'avaient pas de coordonnées. Dans un premier temps, une localisation approximative a été obtenue à partir de l'identification de la commune dans laquelle le prélèvement est implanté. Cette localisation a ensuite été affinée selon le milieu de prélèvement (eaux souterraines ou eaux de surface) et les informations disponibles (cours d'eau capté, indice BSS, raison sociale du préleveur,...).

Deux points de comptage pouvant correspondre à un même captage, des regroupements ont été effectués. Un cas fréquent rencontré est celui d'une comptabilisation des prélèvements sur un premier point durant n années, puis sur un autre point pour les années suivantes. Par ailleurs, certains points de comptage correspondent à des prélèvements nuls sur l'ensemble de la période pour laquelle les données sont disponibles.

Le nombre de prélèvements identifiés au final diffère donc du nombre de points de comptage.

3.6.1. Prélèvements en eaux de surface

L'illustration 35 présente la localisation des prélèvements en eau de surface dans la zone d'étude (hors prélèvements destinés aux gabions). On en dénombre 127 au total, dont 21 pour l'AEP, 48 pour l'industrie et 58 pour un usage agricole. En termes de volumes exploités, la majeure partie de ces prélèvements est destinée à l'alimentation en eau potable (Illustration 36) ; en pratique, l'essentiel du volume destiné à l'eau potable est constitué par le prélèvement de l'usine de Louvigny sur l'Orne (SYMPERC).

Les prélèvements d'eau par les collectivités dans les eaux de surface (Illustration 37) sont relativement stables entre 1994 et 2010 (entre $8,1 \text{ Mm}^3$ et $10,1 \text{ Mm}^3$), sans présenter une tendance nette sur la période, mais avec une tendance à la hausse durant la période 2005-2010. Cette évolution serait à confirmer sur les années 2011-2012.

On peut noter :

- deux périodes de prélèvements moins importants, l'une de 1998 à 2000 et l'autre de 2004 à 2006 ;
- un maximum de prélèvements en 1996, 2001 et 2010 ($>10 \text{ Mm}^3$).

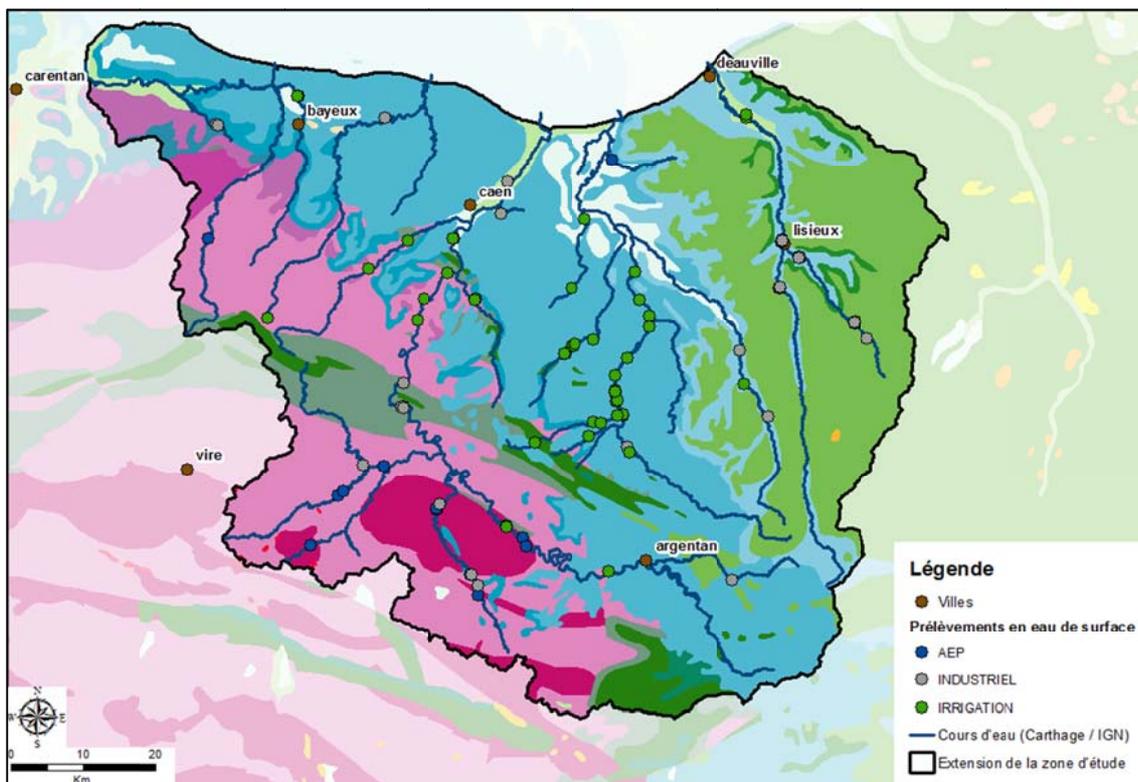


Illustration 35 : Localisation des prélèvements d'eau de surface

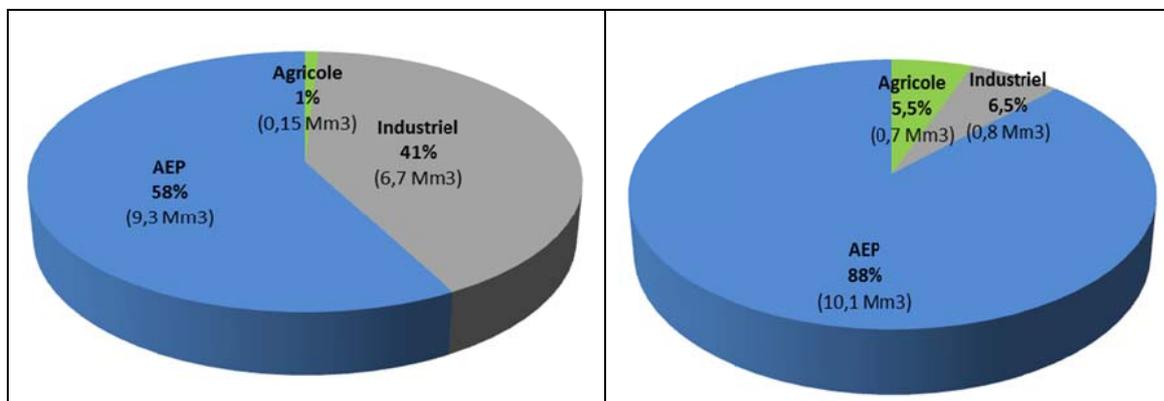


Illustration 36 : Répartition des prélèvements dans les eaux de surface en 1994 (à gauche) et en 2010 (à droite)

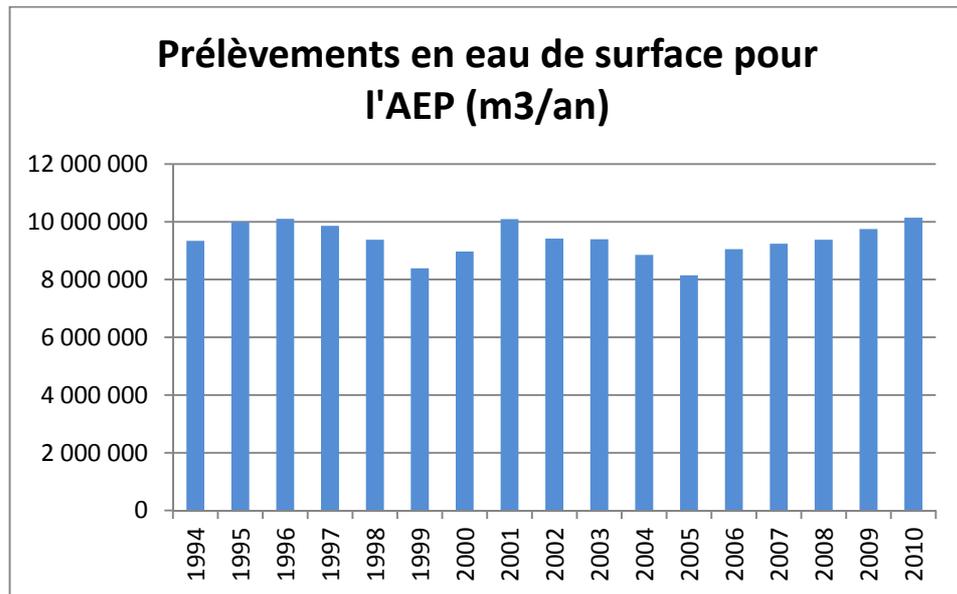


Illustration 37 : Volume annuel prélevé par les collectivités dans les eaux de surface, de 1994 à 2010

Le volume prélevé par les industriels dans les eaux de surface (Illustration 38) a nettement diminué entre 1994 et 2010. On remarque que cette diminution s'est faite sur 2 périodes :

- la première baisse a eu lieu de 1995 à 2000. Le volume prélevé était de 7,8 Mm³ en 1995 et se stabilise autour de 2,7 Mm³ en 2000 ;
- la deuxième baisse a lieu entre 2004 et 2007. Le volume prélevé atteignait 2,8 Mm³ en 2004 et se stabilise à 0,6 Mm³ en 2007.

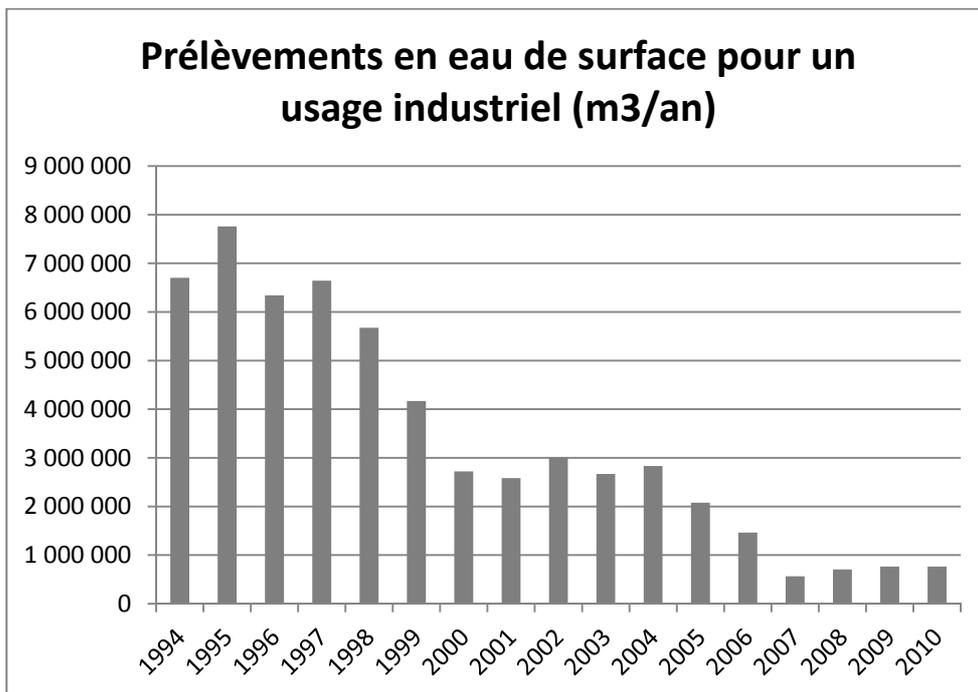


Illustration 38 : Volume annuel prélevé pour un usage industriel dans les eaux de surface, de 1994 à 2010

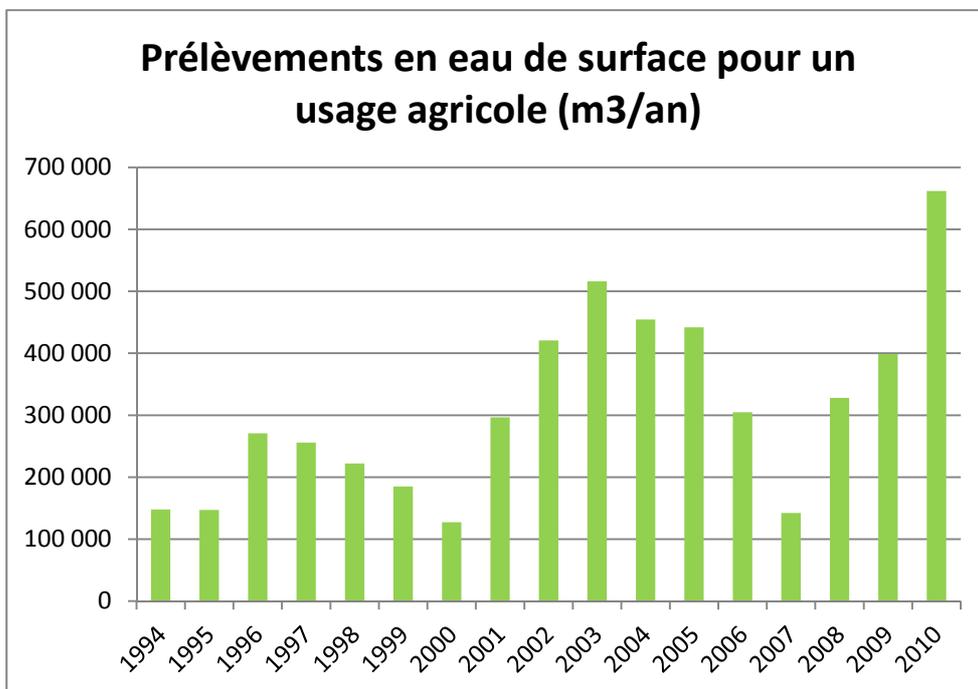


Illustration 39 : Volume annuel prélevé pour un usage agricole dans les eaux de surface, de 1994 à 2010

Le volume annuel prélevé dans les eaux de surface pour un usage agricole (cf. Illustration 39) augmente d'un facteur 4 entre 1994 (0,15 Mm³) et 2010 (0,65 Mm³). Cette augmentation n'est pas linéaire, 3 pics de prélèvements apparaissant sur la chronique :

- le premier en 1996/1997 avec un volume prélevé de 0,28 Mm³ (1996) ;
- le deuxième en 2003 avec un volume prélevé de 0,5 Mm³ ;
- le troisième pic en 2010 avec un volume prélevé supérieur à 0,65 Mm³.

L'évolution à la hausse des prélèvements pour usage agricole à partir de l'année 2008 provient au moins pour partie de l'application de la Loi sur l'eau 2006 et d'un effort d'identification des préleveurs conduit par les services de l'Etat. Il est donc très vraisemblable que les prélèvements pour usage agricole antérieurs à cette date soient sous-estimés.

Par ailleurs, ces prélèvements ne prennent pas en compte les volumes prélevés pour l'élevage (cf. 3.6.3).

Pour leur intégration dans le modèle, les prélèvements en eau de surface ont été rattachés au cours d'eau le plus proche pris en compte dans le modèle hydrogéologique (cf. chapitre 3.3.1 et rapport de phase 2).

3.6.2. Eaux souterraines

L'illustration 40 présente la localisation des prélèvements en eau souterraine dans la zone d'étude. On en dénombre 598 au total, dont 407 pour l'AEP¹⁶, 102 pour l'industrie et 89 pour un usage agricole. En termes de volumes exploités, la majeure partie de ces prélèvements est destinée à l'alimentation en eau potable.

Les prélèvements totaux s'élèvent à 59,1 Mm³ en 1994, contre 49,8 Mm³ en 2010 (cf. Illustration 42). La baisse est essentiellement observée durant trois périodes : 1996-1997, puis de façon régulière de 1998 à 2002 et la troisième de 2005 à 2007. Ces baisses des prélèvements correspondent à une diminution des usages industriels et d'eau potable (cf. Illustration 43 et Illustration 44).

90% des prélèvements dans les eaux souterraines sont destinés à l'alimentation en eau potable (cf. Illustration 41). Cette proportion demeure inchangée entre 1994 et 2010.

Le volume prélevé par les collectivités dans les eaux souterraines entre 1994 et 2010 (Illustration 43) est en légère baisse sur cette période, notamment depuis 2005. Le volume prélevé est ainsi respectivement de 53 Mm³ en 1994 et de 45 Mm³ en 2010.

¹⁶ Ce nombre sous-estime le nombre réel de points de captage dans la mesure, par exemple, où les prélèvements de Moulines-Tournebu sont comptabilisés au travers de quatre points de comptage (cf. chapitre 3.6.4) alors qu'une trentaine d'ouvrages est en service (cf. Annexe 15).

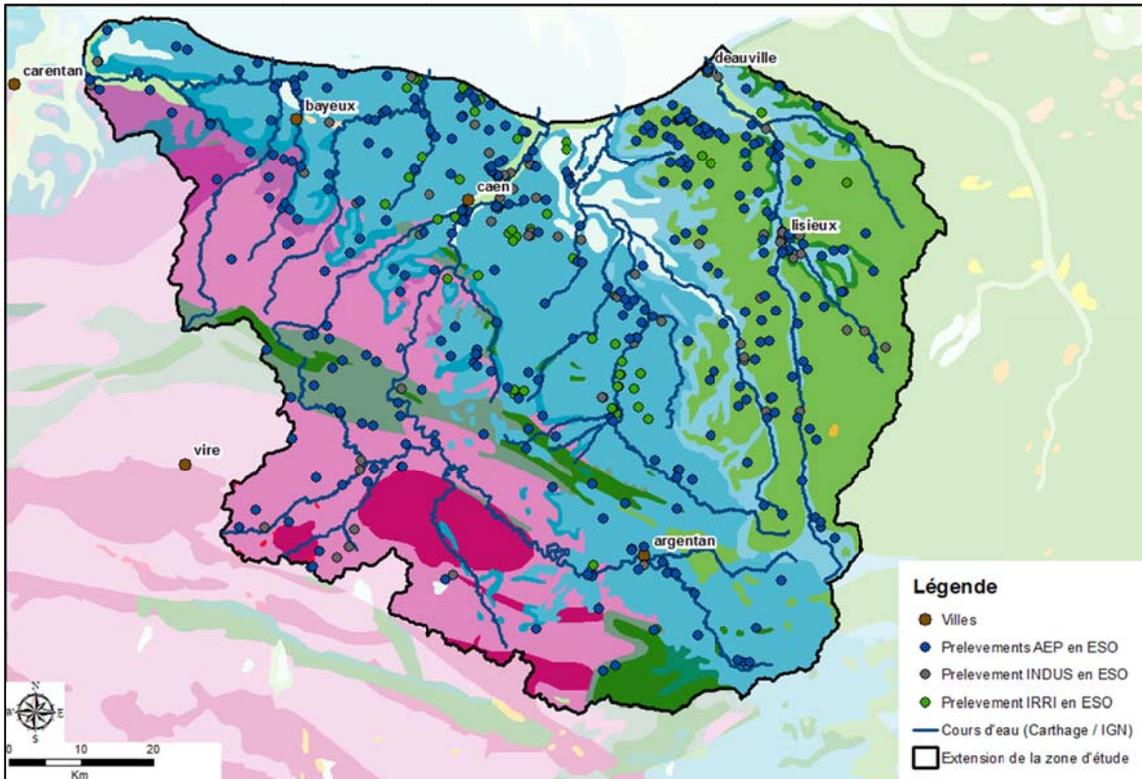


Illustration 40 : Localisation des prélèvements en eau souterraine dans la zone d'étude

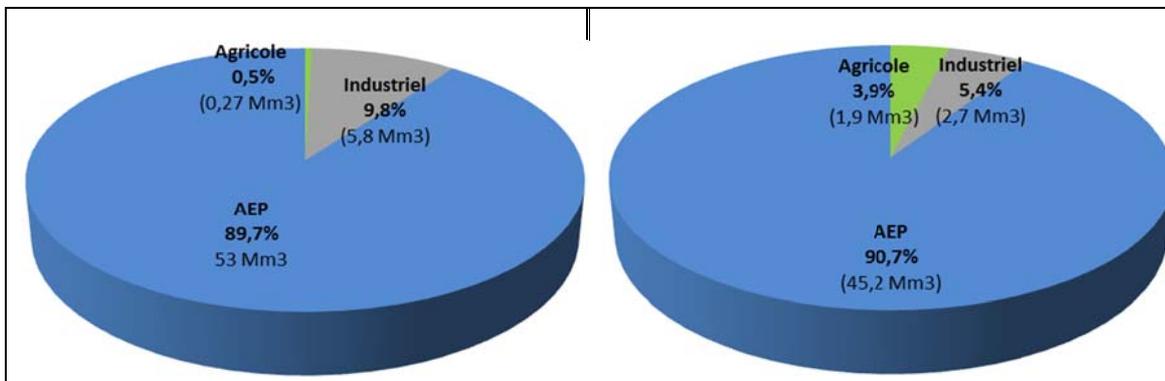


Illustration 41 : Prélèvements en eau souterraine par type d'usage, en 1994 (à gauche) et en 2010 (à droite)

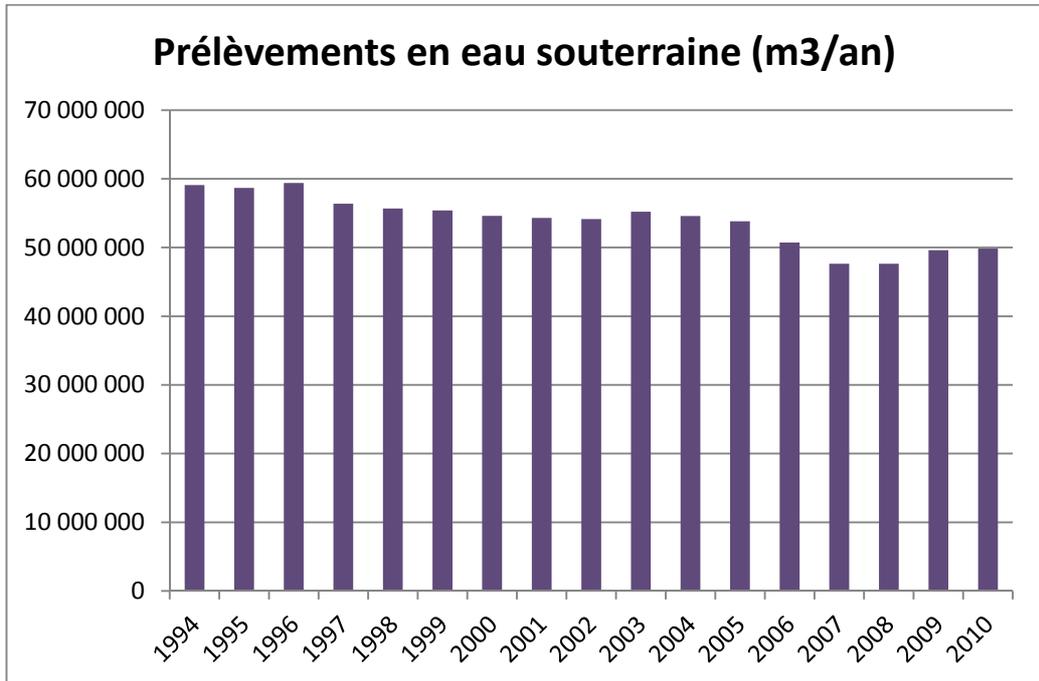


Illustration 42 : Volume annuel prélevé dans les eaux souterraines de 1994 à 2010

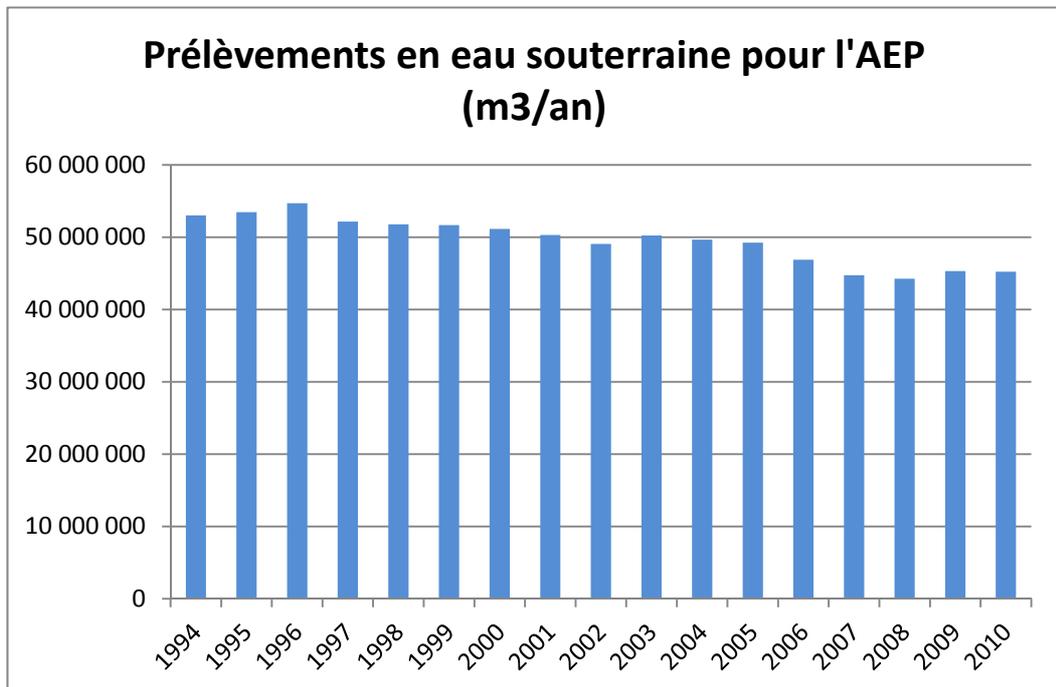


Illustration 43 : Volume annuel prélevé par les collectivités dans les eaux souterraines, de 1994 à 2010

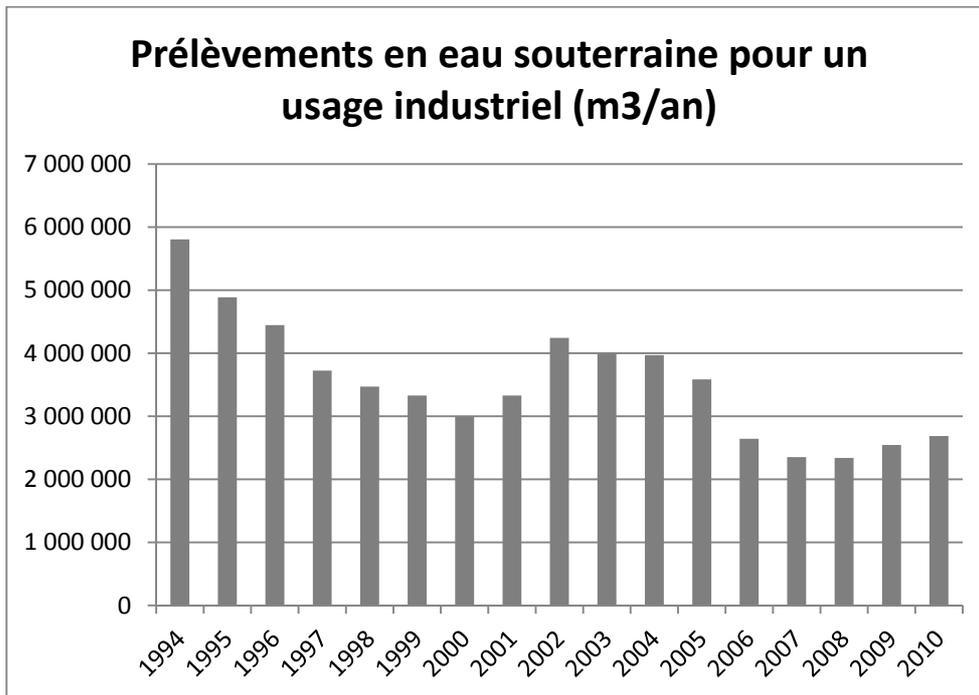


Illustration 44 : Volume annuel prélevé par les industriels dans les eaux souterraines, de 1994 à 2010

Le volume prélevé pour un usage industriel dans les eaux souterraines (Illustration 44) est en baisse de 1994 à 2010. Le volume prélevé passe ainsi de 5,8 Mm³ à 2,8 Mm³ de 1994 à 2000, puis suit une légère augmentation jusqu'à un peu plus de 4 Mm³ entre 2002 et 2004, avant une nouvelle baisse jusqu'à 2,6 Mm³, en 2010.

Le volume prélevé par les irrigants dans la nappe (Illustration 45) est en forte hausse de 1994 à 2010 : il augmente ainsi de 600 % sur cette période, passant de 0,3 Mm³ en 1994 à 1,9 Mm³ en 2010. La chute du volume prélevé en 2007 est sans doute à mettre en relation avec une pluviométrie importante durant le printemps et l'été.

De même que pour les prélèvements en eau de surface, la forte évolution à la hausse des prélèvements pour usage agricole à partir de l'année 2008 provient au moins pour partie de l'application de la Loi sur l'eau de 2006 et d'un fort effort d'identification des préleveurs. Il est donc très vraisemblable que les prélèvements antérieurs à cette date soient sous-estimés.

Pour mémoire, ces prélèvements ne prennent pas en compte les volumes prélevés pour l'élevage (cf. 3.6.3).

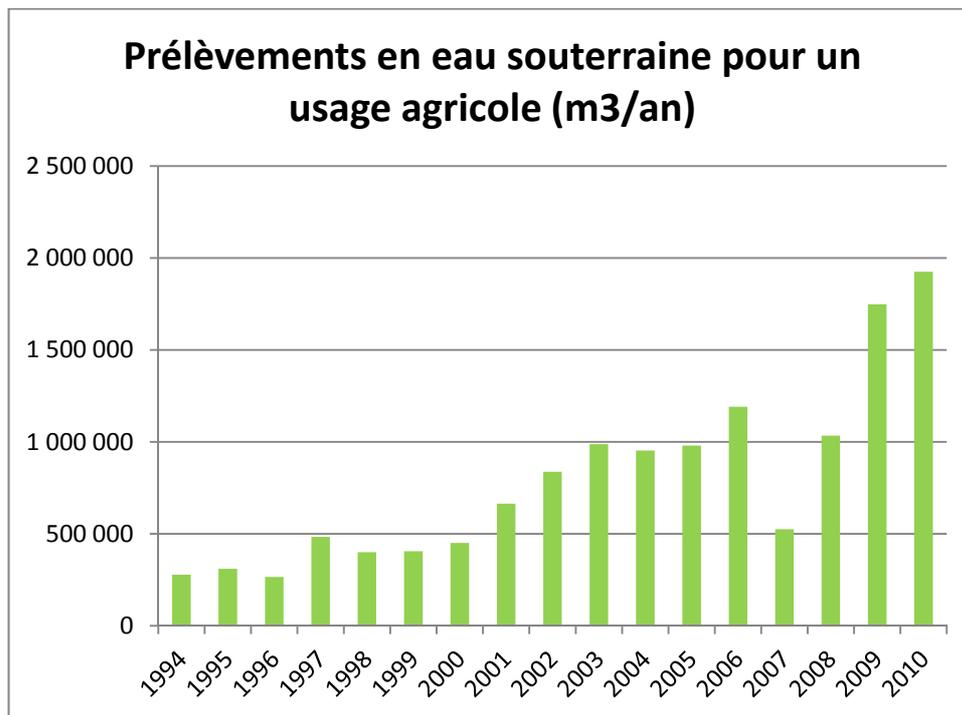


Illustration 45 : Volume annuel prélevé pour un usage agricole dans les eaux souterraines de 1994 à 2010

3.6.3. Prélèvements pour l'élevage

Le fichier des prélèvements fourni par l'AESN ne recense pas les volumes prélevés pour l'élevage (seule une « station porcherie » est mentionnée dans le fichier des prélèvements : aucun volume prélevé ne lui est associé).

Un fichier recensant les déclarations et les autorisations de prélèvement a été transmis par la DDTM du Calvados. Ce fichier identifie 37 maîtres d'ouvrage ayant déclaré un prélèvement en eaux souterraines pour un usage de type « bovins », « équins », « équins+bovins » ou « lait ». Les volumes prélevés ne sont pas connus mais un débit de pompe est indiqué (entre 2 et 6 m³/h), ainsi que le débit réglementaire (entre 850 et 5 200 m³/an). Des coordonnées sont fournies pour 36 d'entre eux dans différents systèmes de projection mais seule une trentaine est localisable (existence de quelques valeurs aberrantes sans doute dues à des coquilles lors de la saisie des coordonnées).

Dans le département de l'Orne, 35 prélèvements pour l'élevage (bovins, porcins et équidés) sont identifiés ; 30 d'entre eux sont géoréférencés. Les volumes prélevés ne sont pas connus mais un débit de pompe est indiqué (entre 0,75 et 8 m³/h), ainsi qu'un volume annuel moyen (entre 900 et 9 000 m³/an).

En tout état de cause, le nombre de prélèvements pour l'élevage identifiés par ce biais demeure très faible au regard du nombre total d'installations et leur quantification n'est pas disponible.

Une estimation des volumes prélevés concernés a donc été effectuée en concertation avec les membres du comité de pilotage sur la base du nombre de bovins par installation (chiffres issus de la Base de Données Nationale d'Identification, données 2011) et de leur typologie (vaches allaitantes, veaux...). Seuls les bovins ont été intégrés compte tenu, d'une part de la plus faible population des autres animaux d'élevage dans la zone d'étude¹⁷ et, d'autre part, des plus faibles volumes consommés. Les règles d'utilisation de la BDNI interdisant son exploitation quand le nombre d'installations par commune est inférieur à 3, seules les communes pour lesquelles ce nombre est supérieur ou égal à 3 sont retenues dans la suite.

La prise en compte de ces prélèvements a nécessité d'élaborer plusieurs hypothèses :

- la localisation du point de prélèvement n'étant pas connue, il est positionné au centroïde de la commune concernée ;
- la nature (forage, source, prélèvement en rivière, prise en réseau d'AEP) du point de prélèvement n'étant pas non plus connue, il est retenu de façon générale que tous les prélèvements se font en eau souterraine (ce qui est cohérent avec les informations figurant dans le fichier de la DDTM du Calvados), bien que des exceptions soient connues, en Pays d'Auge par exemple (existence de pics de demande en eau sur les réseaux d'eau potable) et hormis les zones dans lesquelles cette hypothèse est manifestement peu plausible, notamment eu égard aux faibles volumes concernés (absence d'aquifère important à moins de 50 m de profondeur).
- une partie de l'eau consommée par les animaux est rejetée en cours d'eau ou de façon diffuse (le cas échéant par épandage) dans les champs. Ne connaissant pas le milieu de rejet, le prélèvement pris en compte correspond à un prélèvement net.

Ward (2007) propose des valeurs pour la consommation d'eau moyenne par catégorie de bovins (cf. Illustration 46). Ces valeurs de référence ont servi de base à l'estimation du prélèvement net : celui-ci est ainsi calculé pour une vache laitière de la façon suivante :

- Consommation totale : 130 l/jr. Cette valeur supérieure à la moyenne indiquée par Ward correspond à la consommation en eau de vaches de race « Normande » et « Holstein » ;
- Production de lait : 40 l/jr ;
- Consommation du métabolisme : 30% de la consommation totale moins la production de lait, soit 30 litres/jr environ.

La valeur du prélèvement qui sera considérée pour une vache laitière dans le modèle est donc de $40 \text{ l} + 30 \text{ l} = 70 \text{ l/jr}$.

¹⁷ La population de bovins est de 1,6 million de têtes en Basse-Normandie, pour 0,6 million de porcins (essentiellement dans la Manche) et 0,1 million d'équidés (ânes et mulets inclus).

Type de bovin laitier	Production de lait (kg/jour)	Quantité d'eau requise ^a (L/jour)	Consommation d'eau moyenne ^b (L/jour)
Veau laitier (1-4 mois)	—	4,9-13,2	9
Génisse laitière (5-24 mois)	—	14,4-36,3	25
Vache en lactation ^c	13,6 22,7 36,3 45,5	68-83 87-102 114-136 132-155	115
Vache tarie ^d	—	34-49	41

^a Selon l'environnement et les pratiques d'élevage.
^b Consommation quotidienne habituelle (évaluée sur une base annuelle) dans les conditions d'exploitation courantes en Ontario.
^c En 2006, la production moyenne de lait d'une vache laitière de race Holstein en Ontario était de 33 kg/jour.
^d Environ 15 % des vaches laitières en âge de produire du lait dans des fermes laitières peuvent être considérées comme étant taries.

Illustration 46 : Consommation journalière d'eau par les bovins laitiers (Ward, 2007)

À partir des valeurs fournies par l'illustration 46, une valeur de prélèvement a été attribuée pour les autres catégories de bovins figurant dans la BDNI :

- Mâles et femelles de plus de 24 mois hors Vaches allaitantes : 28,7 l/j (consommation 41 l/j) ;
- Mâles et femelles de 6 à 24 mois : 17,5 l/j (consommation 25 l/j) ;
- Mâles et femelles < 6 mois : 6,3 l/j (consommation 9 l/j).

L'illustration 47 présente la localisation des prélèvements pour l'élevage et les volumes associés, tels qu'estimés selon la méthode décrite précédemment.

681 prélèvements sont identifiés, pour un volume annuel cumulé de 4,3 Mm³ sur l'ensemble de la zone d'étude (2,6 Mm³ dans le Calvados et 1,7 Mm³ dans l'Orne). Le prélèvement le plus important est de l'ordre de 5,5 m³/h, tandis que 78 % des volumes estimés demeurent inférieurs à 1 m³/h. On note que l'ordre de grandeur des prélèvements est cohérent avec les valeurs figurant dans les fichiers de la DDTM du Calvados et de la DDT de l'Orne.

37 de ces prélèvements se font en eau de surface dans le modèle (absence d'aquifère), ce qui représente un volume de 250 000 m³/an environ (6 % du volume total des prélèvements pour l'élevage). Ils sont localisés :

- dans la partie amont de la vallée de la Touques ;
- dans les vallées de la Dives, de l'Oudon, du Laizon et de la Vie ;
- dans les vallées de l'Orne amont et de l'Ure.

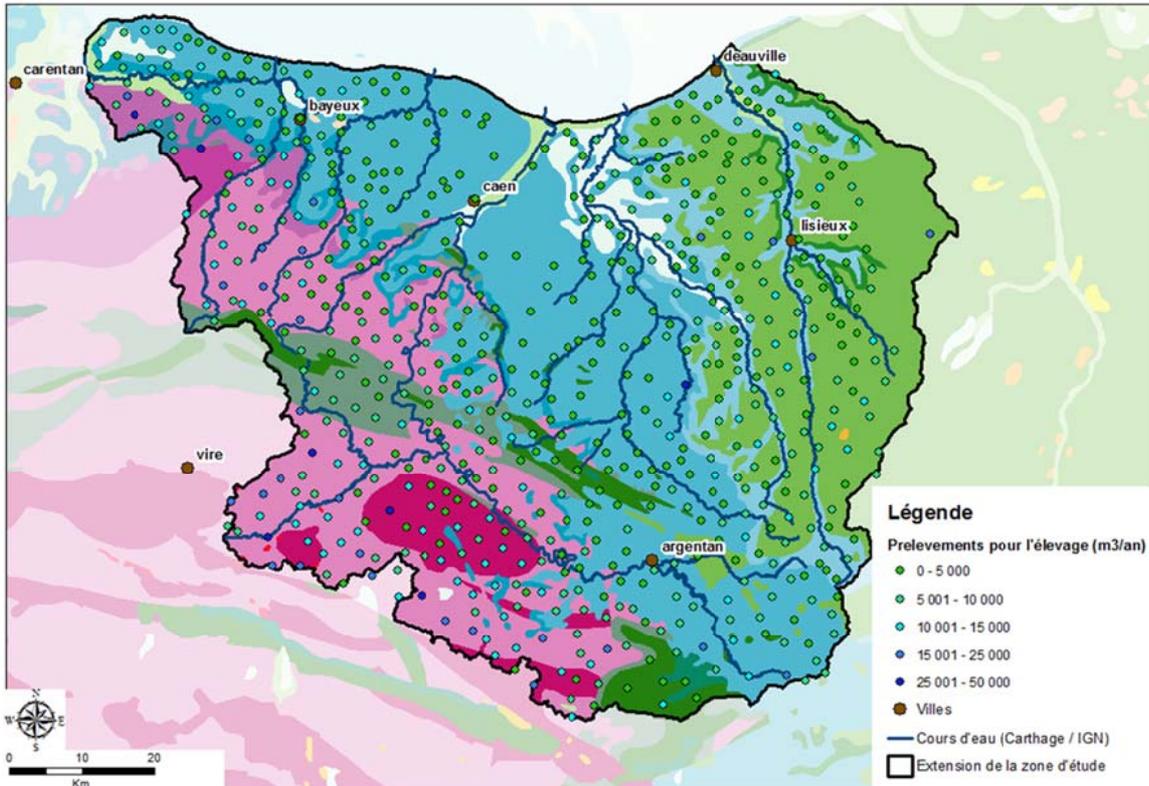


Illustration 47 : Estimation du volume annuel moyen prélevé pour l'élevage

En définitive, ces prélèvements nombreux présentent une forte dispersion sur le territoire et un volume unitaire faible. On note en particulier la plus faible concentration de ces prélèvements dans la plaine de Caen, ce qui est cohérent avec la prédominance de l'agriculture dans cette zone.

3.6.4. Prélèvements pour l'alimentation en eau potable de la Ville de Caen

L'approvisionnement en eau de la Ville de Caen se fait au travers de l'exploitation directe ou indirecte (ex : achat d'eau de la station de production d'eau potable de Louvigny exploitée par le SYMPERC) de différentes ressources. Les principaux sites de production exploités par la Ville de Caen sont les suivants (Lithologic, 2008, 2009) :

- champ captant de Moulines-Tournebu ;
- forages du bassin versant de la Mue ;
- champ captant de Prairie I ;
- champ captant de Prairie II (en arrêt en 2010).

Les volumes annuels produits et importés par ressources entre 1998 et 2008 figurent dans le Tableau 12. Ces volumes sont en baisse d'environ 20% sur l'ensemble de cette période. Ceci est dû à différents facteurs :

- la baisse de la consommation en eau d'un industriel connecté au réseau : Philips Composants : 549 283 m³ consommés en 2002, contre 745 920 m³ en 2000 et 1 718 002 m³ en 1997 (Ville de Caen, 2002) ;
- une augmentation du rendement du réseau : 81,6% en 2008 contre 76,3% en 1998 (avec un pic à 85,2% en 2005) ;
- une légère baisse de la consommation journalière par habitant : 160 l/jr/hab. en 2008 (Ville de Caen, 2002) pour 167 l/jr/hab. en 1998 (Lithologic, 2009) ;
- la baisse de la population : 113 249 habitants en 2008 contre 117 241 habitants en 1998.

Les volumes produits indiqués dans le rapport d'activité de la ville de Caen (2002) et dans les deux rapports Lithologic à notre disposition (2008, 2009) ont été comparés aux chiffres figurant dans le fichier des prélèvements de l'AESN (cf. Tableau 13). Les écarts globaux demeurent faibles, les ordres de grandeur étant tout-à-fait cohérents : les écarts les plus importants demeurent ainsi inférieurs à 3% pour les 11 années disponibles (2,8% en 1999, 2% en 1998, 2,2% en 2003, 2% en 2007).

Cependant, les chiffres observés par sites de production prennent ponctuellement une ampleur plus importante :

- pour les forages de Prairie 1 : un écart de 10,7% est constaté en 1999, de 8,7% en 1998, 6% en 2006 et 4,7% en 2001. Pour les années 1998 et 1999, les écarts constatés correspondent à $\pm 158\,011\text{ m}^3$, comptabilisés dans le fichier AESN en 1998 et dans le fichier du distributeur d'eau en 1999. La correction est faite sur la base des données du distributeur d'eau ;
- pour le champ captant de Moulines-Tournebu en 2003 (9,4%) ;
- pour les prélèvements du bassin de la Mue en 2007 (3,5%).

Les autres écarts constatés demeurent inférieurs à 1%.

Production (m3)	Vol. 2008	Vol. 2007	Vol. 2006	Vol. 2005	Vol. 2004	Vol. 2003	Vol. 2002	Vol. 2001	Vol. 2000	Vol. 1999	Vol. 1998
Prairie 1	1 864 160	2 039 550	1 603 172	2 218 590	2 621 005	2 236 448	2 381 099	2 488 983	1 767 391	1 558 751	1 744 670
Prairie 2	616	227	563	988	1 692	1 727	2 383	3 042	4 662	107 267	1 005 222
Promenade du Fort	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Huet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mondeville	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bassin de la Mue	4 036 231	3 735 618	4 297 209	3 863 824	4 037 655	3 926 660	3 823 122	3 516 788	4 116 991	4 406 423	4 784 399
Moulines	827 605	848 148	978 878	1 341 461	1 132 765	1 732 446	1 615 414	1 681 838	2 204 307	1 990 784	1 304 160
SOUS-TOTAL Production (m3)	6 728 612	6 623 543	6 879 822	7 424 863	7 793 117	7 897 281	7 822 018	7 690 651	8 093 351	8 063 225	8 838 451
Volumes d'eau importés (m3)											
Secours Fleury-sur-Orne	0	0	0	0	0	0	0	28 500	0	0	0
Exhaure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Syndicat sud plaine de Caen	151 170	249 400	211 168	367 364	339 135	477 913	427 239	459 555	362 615	340 736	241 318
Syndicat de production d'Eau de l'Orne	3 178 152	3 133 354	2 696 737	2 175 791	2 632 938	2 977 041	2 755 205	3 517 586	2 935 522	2 991 278	3 025 959
SOUS-TOTAL Importation (m3)	3 329 322	3 382 754	2 907 905	2 543 155	2 972 073	3 454 954	3 182 444	4 005 641	3 298 137	3 332 014	3 267 277
TOTAL Production et Importation (m3)	10 057 934	10 006 297	9 787 727	9 968 018	10 765 190	11 352 235	11 004 462	11 696 292	11 391 488	11 395 239	12 105 728

Tableau 12 : Volumes annuels produits et importés par la ville de Caen (Ville de Caen, 2002 ; Lithologic, 2008 et 2009)

Ville de Caen : données rapport activité 2002 et rapports Lithologic 2008/2009											
Production (m3)	Vol. 2008	Vol. 2007	Vol. 2006	Vol. 2005	Vol. 2004	Vol. 2003	Vol. 2002	Vol. 2001	Vol. 2000	Vol. 1999	Vol. 1998
Prairie 1	1 864 160	2 039 550	1 603 172	2 218 590	2 621 005	2 236 448	2 381 099	2 488 983	1 767 391	1 558 751	1 744 670
Prairie 2	616	227	563	988	1 692	1 727	2 383	3 042	4 662	107 267	1 005 222
Bassin de la Mue	4 036 231	3 735 618	4 297 209	3 863 824	4 037 655	3 926 660	3 823 122	3 516 788	4 116 991	4 406 423	4 784 399
Moulines	827 605	848 148	978 878	1 341 461	1 132 765	1 732 446	1 615 414	1 681 838	2 204 307	1 990 784	1 304 160
SOUS-TOTAL	6 728 612	6 623 543	6 879 822	7 424 863	7 793 117	7 897 281	7 822 018	7 690 651	8 093 351	8 063 225	8 838 451
VALEURS ISSUES DU FICHIER AESN											
	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998
Prairie 1	1 864 160	2 039 550	1 703 172	2 218 590	2 621 005	2 236 448	2 381 099	2 374 760	1 767 468	1 400 740	1 902 681
Prairie 2	616	324	0	1 148	1 692	1 727	2 494	2 931	2 256	44 698	1 067 691
Bassin de la Mue	4 036 231	3 606 166	4 297 209	3 873 766	4 037 655	3 914 302	3 823 122	3 552 140	4 116 991	4 406 423	4 745 957
Moulines	827 605	848 148	978 878	1 341 461	1 124 516	1 576 334	1 615 414	1 681 838	2 190 327	1 990 784	1 304 160
SOUS-TOTAL 1	6 728 612	6 494 188	6 979 259	7 434 965	7 784 868	7 728 811	7 822 129	7 611 669	8 077 042	7 842 645	9 020 489
ECARTS CONSTATES											
	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998
Prairie 1	0.0%	0.0%	6.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-4.7%	0.0%	-10.7%	8.7%
Bassin de la Mue	0.0%	-3.5%	0.0%	0.3%	0.0%	-0.3%	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%	-0.8%
Moulines	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-0.7%	-9.4%	0.0%	0.0%	-0.6%	0.0%	0.0%
SOUS-TOTAL 1	0.0%	-2.0%	1.4%	0.1%	-0.1%	-2.2%	0.0%	-1.0%	-0.2%	-2.8%	2.0%

Tableau 13 : Volumes annuels produits par la ville de Caen. Comparaison de deux sources d'information différentes

Le distributeur délégataire de la ville de Caen a été sollicité afin de connaître les volumes prélevés mensuellement pour les différents sites de production. Ces prélèvements mensuels ont pu être reconstitués pour la période 2001-2010 (cf. page suivante pour les forages du bassin versant de la Mue), les prélèvements antérieurs n'étant pas disponibles sur support informatique. Les graphiques des prélèvements mensuels figurent en Annexe 14.

L'acquisition de ces données a permis de fait de lever le doute sur les quelques écarts de volumes constatés (cf. Tableau 13).

Elle a permis par ailleurs de confirmer toute la difficulté de reconstituer des prélèvements mensuels à partir de prélèvements annuels lorsqu'une collectivité dispose de plusieurs sources d'approvisionnement pour son alimentation en eau potable. Les graphiques des prélèvements moyens mensuels sur la période 2001-2010 font, par exemple, apparaître une tendance à de plus faibles exploitations du forage F6 de la Mue en août (cf. Illustration 48) ou du champ captant de Moulines-Tournebu en février. Ce constat est somme toute assez cohérent : l'exploitation des différentes ressources à disposition du maître d'ouvrage intègre aussi bien des problématiques de gestion des différentes ressources (entretien des sites de production, qualité de l'eau, coût de la production,...) que celles liées à la consommation.

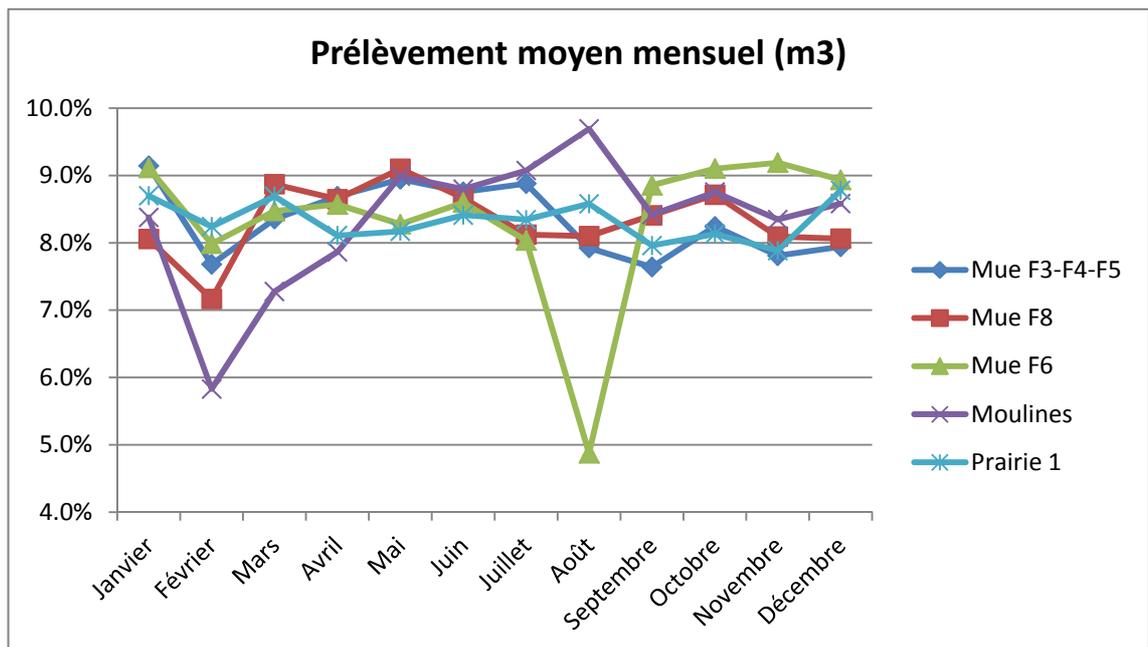


Illustration 48 : Prélèvements moyens mensuels pour différents sites de production de la ville de Caen (période 2001-2010)

Une analyse non moyennée des prélèvements mensuels (cf. Annexe 14) fait apparaître des variations plus importantes encore, comme par exemple :

- le pic de débit constaté sur le site de Moulines-Tournebu en juin 2008, correspondant à un essai de production selon les informations fournies par le délégataire ;
- la forte variabilité mensuelle des prélèvements effectués entre 2001 et 2003 sur différents sites de production (Moulines-Tournebu, Prairie 1,...).

Les informations fournies par le délégataire permettent de connaître les prélèvements mensuels des sites suivants pour la période 2001-2010 :

- champ captant de Moulines-Tournebu ;
- forages de Prairie 1 ;
- forages F6 (indice BSS : 01193X0170) et F8 (indice BSS : 01193X0172) du bassin de la Mue, individuellement ;
- forages F3 (01194X0140), F4 (01194X0145) et F5 (01194X0142) du bassin de la Mue, sauf pour 2004 et 2005, années pour lesquelles les volumes mensuels ne sont pas connus par forage mais cumulés sur les 3 forages.

Pour les forages F3, F4 et F5, les volumes mensuels 2004 et 2005 ont été reconstitués à partir du prélèvement cumulé sur les trois forages : la règle de répartition adoptée se base sur les répartitions observées fin 2003 (d'octobre à décembre) et début 2006 (de janvier à avril). Ces répartitions sont très voisines :

- forage F3 : 17,3 % du prélèvement total fin 2003, 19,5% début 2006 ;
- forage F4 : 52,1 % du prélèvement total fin 2003, 50,6% début 2006 ;
- forage F5 : 30,6 % du prélèvement total fin 2003, 29,9% début 2006.

Les répartitions adoptées pour la reconstitution des volumes mensuels 2003 et 2004 sont les suivantes :

- forage F3 : 20 % du prélèvement total ;
- forage F4 : 50 % du prélèvement total ;
- forage F5 : 30 % du prélèvement total.

Les graphiques des prélèvements mensuels sont présentés en Illustration 49.

Une description sommaire des champs captants de Moulines-Tournebu et de Prairie 1 figure par ailleurs respectivement en Annexe 15 et en Annexe 16, ainsi qu'une carte de localisation des forages du bassin versant de la Mue en Annexe 17.

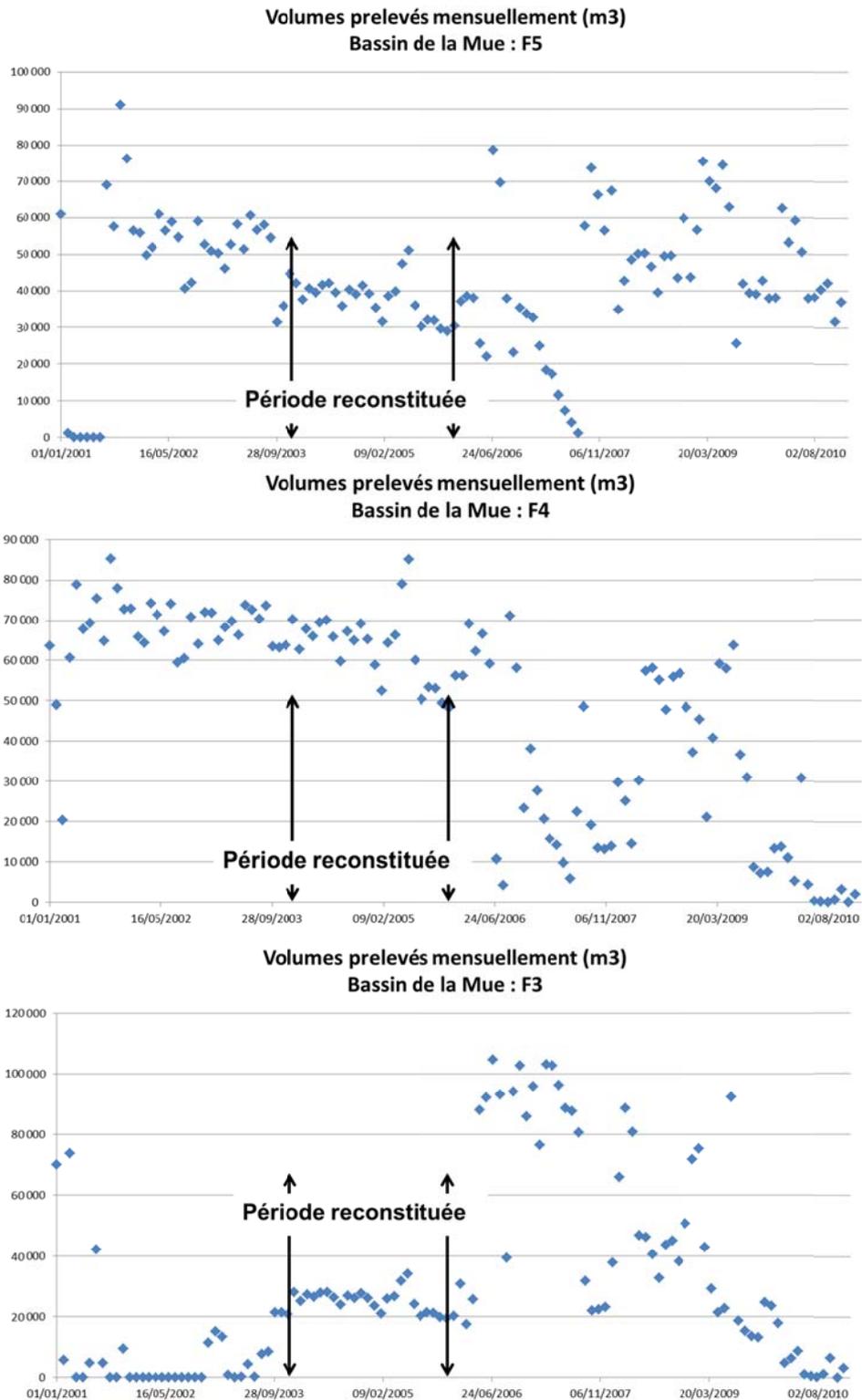


Illustration 49 : Prélèvements mensuels dans les forages F3, F4 et F5 du bassin de la Mue (période 2001-2010)

3.6.5. Répartition mensuelle des prélèvements pour l'AEP

Les volumes prélevés étant connus annuellement dans les fichiers de l'AESN et la modélisation étant prévue à un pas de temps mensuel, une règle de répartition des prélèvements annuels au cours des douze mois de l'année a été recherchée afin de représenter les fluctuations saisonnières des nappes.

Dans le cadre de l'élaboration du SDAEP (Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable) du Calvados, les débits mensuels prélevés par unité de gestion de l'eau ont été collectés pour l'année 2002. Ces prélèvements mensuels ont été extraits des comptes rendus d'activité annuelle des distributeurs d'eau.

Ce suivi mensuel des prélèvements pour l'alimentation en eau potable montre qu'ils ne sont pas répartis de manière uniforme sur l'année. Une variabilité saisonnière existe, notamment dans la zone littorale où la population augmente de façon importante pendant la période estivale (cf. Illustration 50) : un pic de production d'eau potable est donc observé durant l'été.

À partir de ces données de distributions mensuelles dans différents syndicats de la zone, on peut identifier deux secteurs géographiques présentant des répartitions mensuelles différentes :

- un secteur littoral avec une variation saisonnière importante des prélèvements, la variation étant due à l'afflux touristique pendant les mois d'été ;
- le reste de la zone d'étude avec une variabilité beaucoup plus faible.

Pour chacune de ces zones, la moyenne du pourcentage de prélèvement mensuel sur l'ensemble des syndicats concernés a été calculée : les résultats sont présentés dans le Tableau 14. On observe que près d'un quart du prélèvement annuel s'effectue durant 2 mois, soit pendant le sixième de l'année.

La DDTM du Calvados dispose par ailleurs de données journalières des prélèvements pour quelques syndicats d'eau potable du Calvados et pour les années 2010 et 2011 (de mai à septembre) et 2009 (août à septembre). Compte tenu de leur caractère partiel sur les années concernées, ces données n'ont pas été utilisées dans le cadre de cette étude.

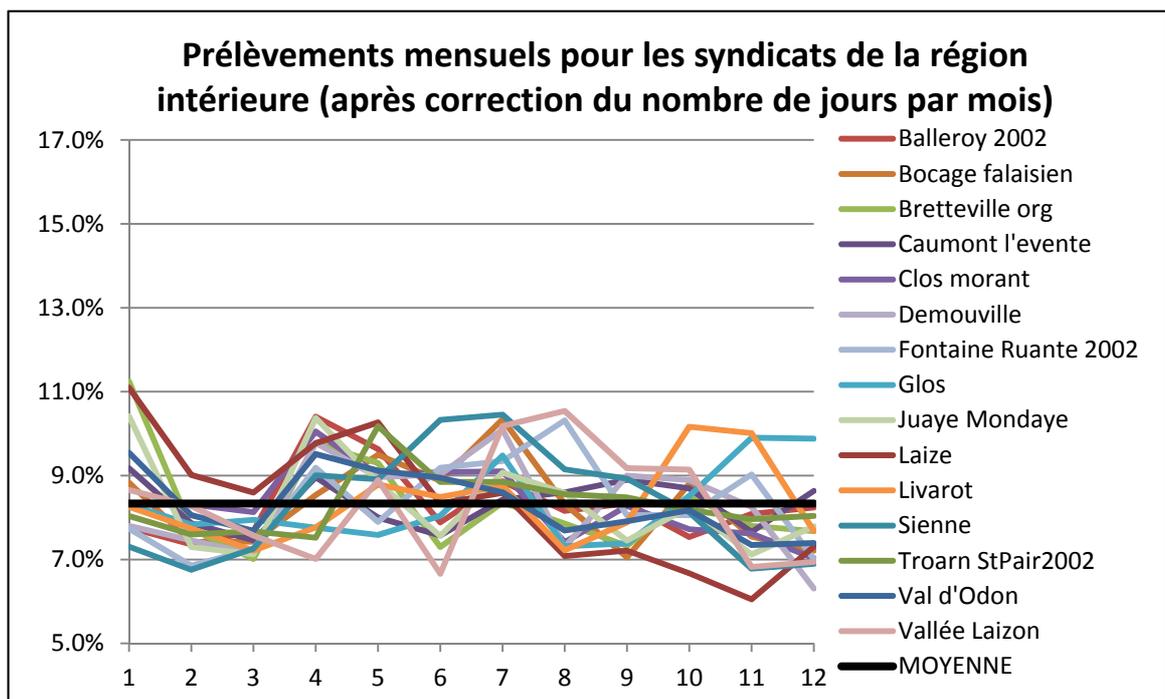
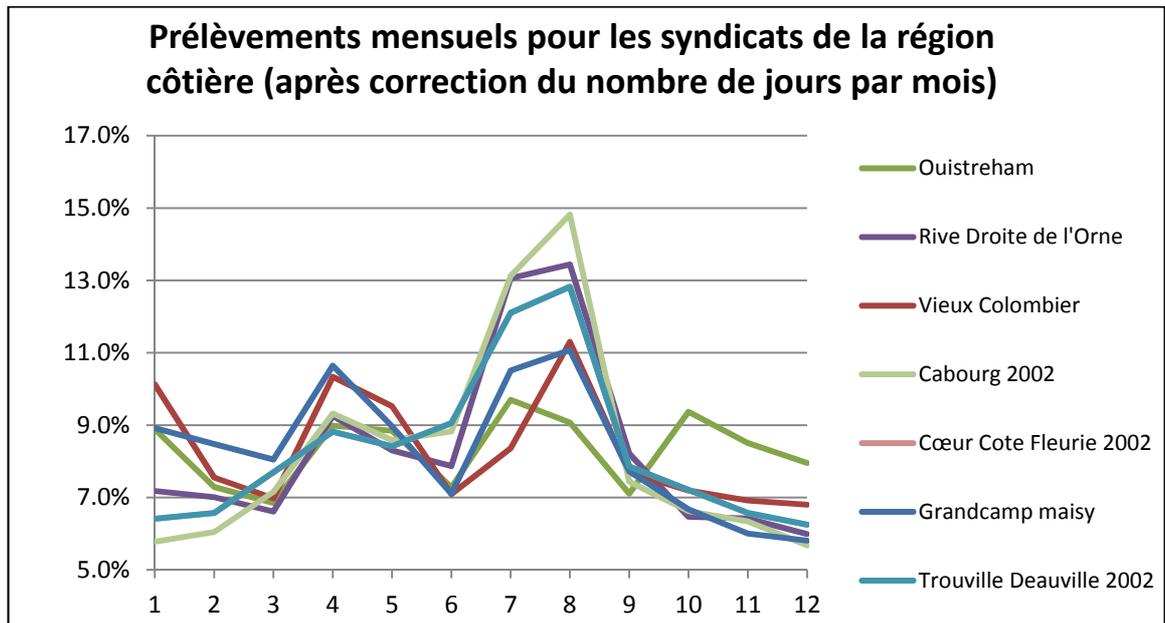


Illustration 50 : Prélèvements mensuels (exprimés en % du total annuel) pour des syndicats de la zone côtière (en haut) et de l'intérieur des terres (en bas) – année 2002

	Côte	Intérieur
janvier	7.1%	8.7%
février	6.8%	7.8%
mars	7.3%	7.4%
avril	9.2%	9.2%
mai	8.6%	9.0%
juin	8.5%	8.5%
juillet	11.8%	9.2%
août	12.7%	8.4%
septembre	7.8%	8.2%
octobre	7.1%	8.2%
novembre	6.7%	7.9%
décembre	6.3%	7.6%

Tableau 14 : Prélèvements mensuels moyens (exprimés en % du total annuel) selon deux secteurs de la zone d'étude

3.6.6. Répartition mensuelle des prélèvements pour usage agricole

De même que pour l'eau potable et *a fortiori* compte tenu du caractère éminemment saisonnier des prélèvements agricoles, une règle de répartition mensuelle des prélèvements annuels a été recherchée.

En l'absence de données mensuelles disponibles, au moins pour les années les plus anciennes des périodes de modélisation, des règles de répartition ont été adoptées à partir de l'expérience acquise pour d'autres modèles régionaux. Le Tableau 15 recense ainsi quelques exemples de répartition mensuelle de prélèvements pour l'irrigation. Les prélèvements effectués en février pour les départements de la Vienne et des Deux-Sèvres traduisent une spécificité associée au remplissage de retenues collinaires durant la période hivernale.

	Février	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Deux-Sèvres	6%	0%	15%	40%	35%	4%	0%
Vienne	8%	1%	26%	37%	27%	3%	1%
Aisne	0%	10%	30%	40%	15%	5%	0%

Tableau 15 : Règles de répartition mensuelle de prélèvements annuels pour usage agricole utilisées dans des modèles régionaux

En tout état de cause, si l'on observe une certaine cohérence des répartitions mensuelles adoptées (juillet, septembre), cette répartition est variable d'une année sur l'autre, en fonction des facteurs climatiques mais aussi des cultures mises en exploitation.

Pour la Basse-Normandie, la DDTM du Calvados a proposé de se baser sur le type de culture pratiqué. Elle fournit par ailleurs un tableau (cf. Tableau 16) proposant une répartition des prélèvements selon cette typologie : « céréales et légumes de plein champ », « maraîchage sur de grosses surfaces », « céréales et cultures diverses en moyenne structure » et « grandes cultures ».

Répartition des volumes utilisés pour l'irrigation sur l'année									
Type culture	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	
céréales et légumes plein champ	non irrigué	si printemps sec 75% volume					10.00%	5.00%	
			10.00%	mois habituellement les + irrigués 75% volume					
maraîchage sur de grosses surfaces	5.00%	5.00%	23.00%	23.00%	23.00%	10.00%	10.00%	non irrigué	
céréales et cultures divers en moyenne structure				27.00%	45.00%	27.00%			
Grandes cultures	2010								
	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre			
	8%	21%	11%	29%	17%	14%			
	2011								
	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre			
	4%	19%	27%	19%	16%	14%			

Tableau 16 : Proposition de répartition mensuelle des prélèvements à usage agricole (DDTM du Calvados)

Le type de culture pratiquée n'est cependant pas connu au travers des fichiers de l'AESN recensant les prélèvements annuels. Ils ne figurent pas non plus dans le fichier des débits autorisés du département du Calvados (cf. 3.7.1).

L'association d'une répartition mensuelle à un volume annuel prélevé n'est donc pas directe. Celle-ci a été effectuée par le biais du Recensement Général Agricole de 2010 (cf. Illustration 51) qui définit à l'échelle communale l'activité agricole dominante. Ce rapprochement sera décrit dans le rapport de modélisation.

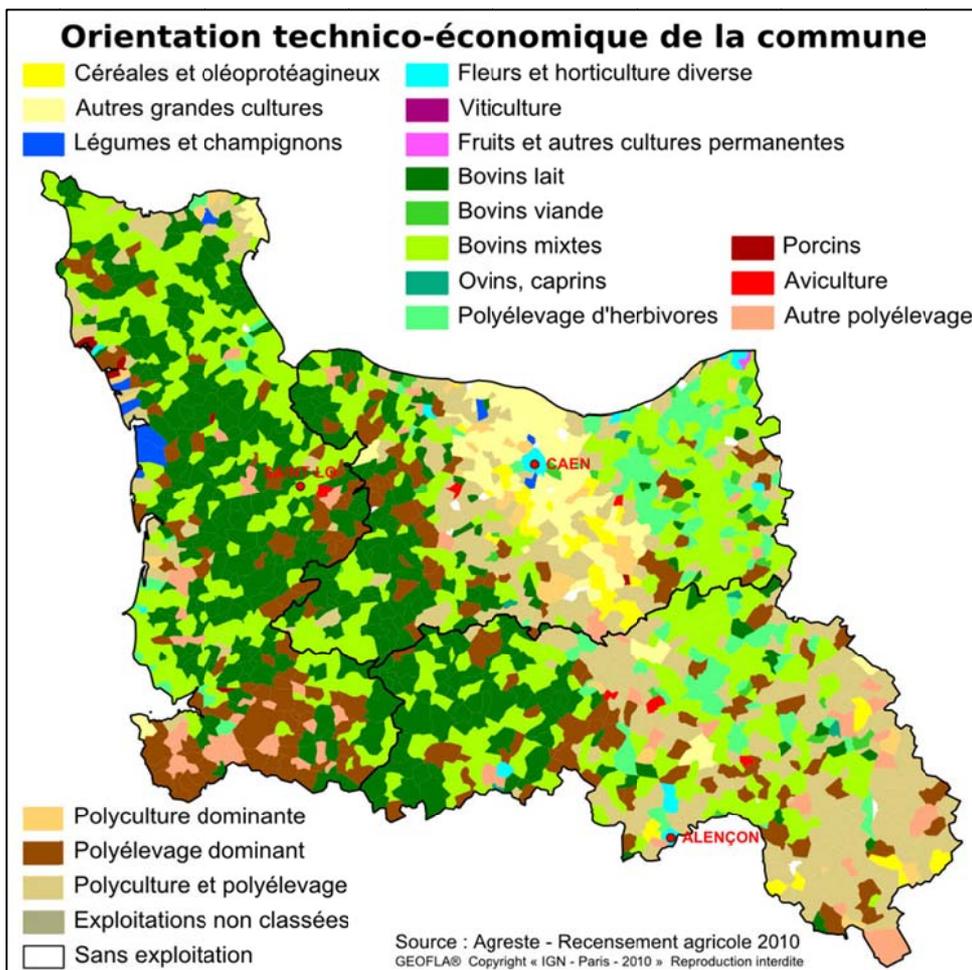


Illustration 51 : Orientation technico-économique de la commune selon le Recensement Général Agricole (Agreste, 2010)

3.7. DÉBITS DE PRÉLÈVEMENT AUTORISÉS

3.7.1. Département du Calvados

La DDTM du Calvados a transmis le fichier des débits autorisés. 806 points de prélèvements en eau de surface ou en eau souterraine sont identifiés, dont 365 pour l'AEP, 140 pour l'irrigation et 301 pour d'autres usages (géothermie, élevage bovin, équin, industrie agroalimentaire, lavage de véhicule, etc.). Quelques points (19) ont fait l'objet d'un abandon ou ne disposent pas d'une autorisation de prélèvement. Parmi les autres forages, 721 disposent de coordonnées géographiques, dans divers systèmes de projection (Lambert 2 étendu, Lambert 1993, Lambert 1 carto, WGS84). Pour les autres, les coordonnées du centroïde de la commune d'implantation sont utilisées. Les points disposant d'une autorisation de prélèvement sont localisés en Illustration 52. Les débits autorisés sont exprimés en m³/an ou en m³/j.

Les indices BSS des points de prélèvement en eau souterraine ne figurant pas dans le fichier, la correspondance entre les points de prélèvement identifiés par l'AESN et ceux de la DDTM du Calvados ne peut se faire qu'à partir de la localisation, de la raison sociale et, en dernier recours, de l'ordre de grandeur des débits prélevés. Au final, 409 points indiquant un débit autorisé ont pu être associés à un point de prélèvement identifié à partir du fichier fourni par l'AESN et intégré dans le modèle maillé. À l'inverse, à un point de prélèvement intégré dans le modèle maillé peut correspondre plusieurs points indiquant un débit autorisé : c'est par exemple le cas pour le champ captant de Moulines-Tournebu. Les 409 points d'autorisation correspondent ainsi à 328 points de prélèvement intégrés au modèle.

À ce chiffre, s'ajoutent 287 points indiquant un débit autorisé pour lesquels aucune correspondance n'a pu être trouvée. Il s'agit principalement d'usages de type « géothermie », « irrigation », « bovins », « équidés », « lavage de véhicule » ou de type indéterminé.

Le cumul des volumes autorisés en pompage s'élève à 127 Mm³/an sur la partie du Calvados située dans la zone modélisée. Pour près de 95% de ce volume, une correspondance avec un point de prélèvement figurant dans le fichier AESN a été obtenue.

3.7.2. Département de l'Orne

La DDT de l'Orne a transmis deux fichiers des débits autorisés, l'un portant sur l'usage eau potable, l'autre portant sur les autres usages. 126 prélèvements sont situés dans la zone d'étude (cf. Illustration 53), dont :

- 53 correspondent à des prélèvements pour l'eau potable. La correspondance avec un prélèvement dans le modèle a pu être effectuée pour 48 d'entre eux ;
- 73 à un usage autre, à savoir : 21 pour l'irrigation, 11 pour des cultures agricoles non irriguées, 29 pour l'élevage (bovins, porcins et équidés), 12 pour d'autres usages (domestique, lavage de voitures, indéterminé). La plupart de

ces prélèvements correspondent à des prélèvements de faibles débits (moins de 8 m³/h) et ne correspondent pas à des prélèvements comptabilisés par ailleurs.

Les débits autorisés sont exprimés en m³/an ou en m³/h. Le cumul des volumes autorisés en pompage s'élève à 9,7 Mm³/an sur la partie de l'Orne située dans la zone modélisée. Pour près de 80% de ce volume, une correspondance avec un point de prélèvement figurant dans le fichier AESN a été obtenue.

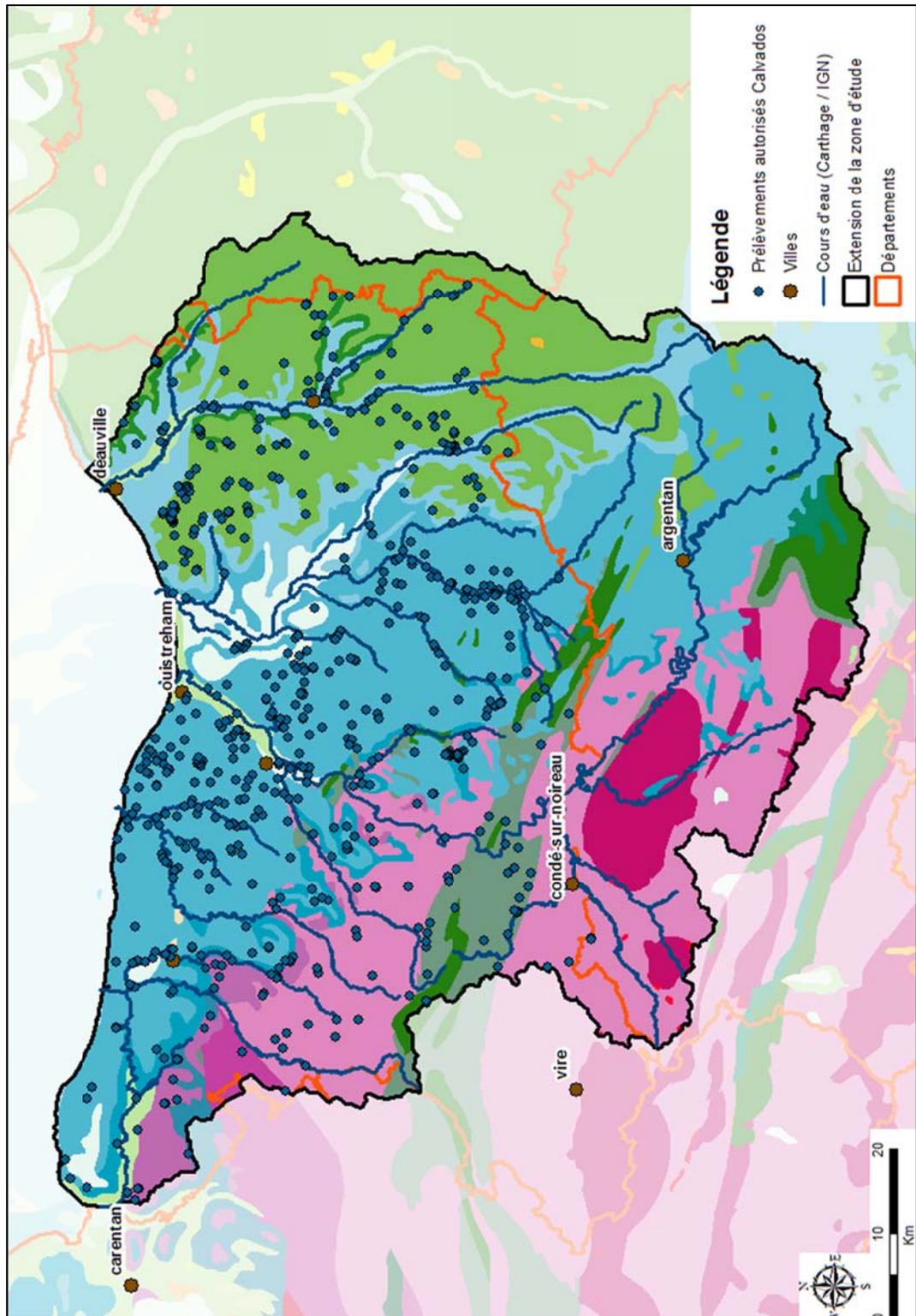


Illustration 52 : Prélèvements autorisés dans le département du Calvados et situés dans la zone d'étude

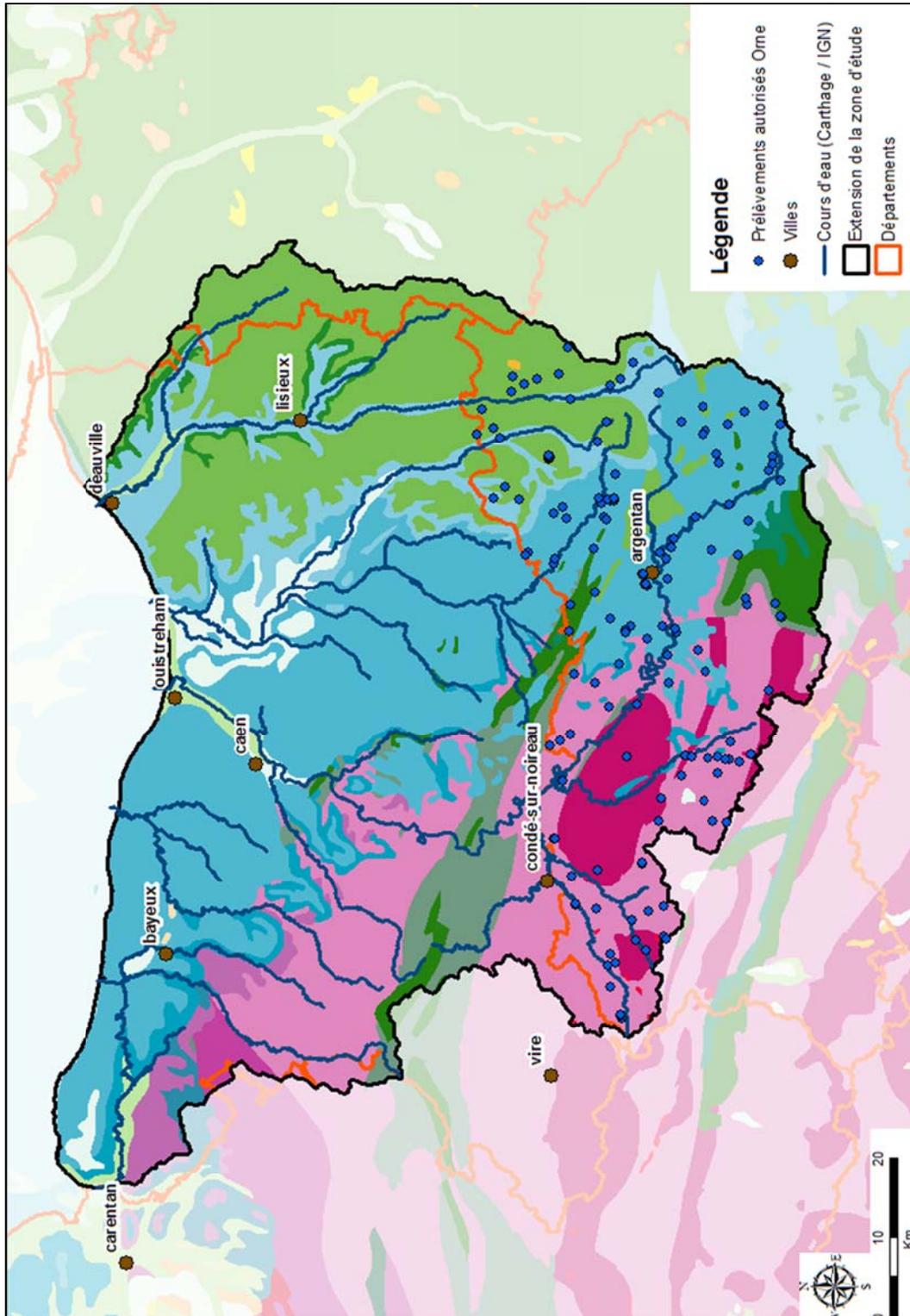


Illustration 53 : Prélèvements autorisés dans le département de l'Orne et situés dans la zone d'étude

3.8. STATIONS D'ÉPURATION

La localisation des stations d'épuration et leurs volumes moyens journaliers de 2008 à 2010 ont été transmis par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie et la Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Calvados.

184 stations d'épuration sont répertoriées sur la zone d'étude (cf. Illustration 54), avec un rejet moyen annuel connu au moins pour une année, entre 2008 et 2010. Le nombre de stations concernées varie d'une année à l'autre : il est de 103 en 2008, 157 en 2009 et 142 en 2010 (Annexe 18, page 257).

En faisant la moyenne des débits moyens entre 2008 et 2010, on remarque que la majorité des stations (80 %) rejettent moins de 500 m³/jour, soit moins de 6 l/s. 10 % des stations rejettent entre 6 et 12 l/s, et 10 % rejettent plus de 12 l/s (cf. Tableau 17).

Volume moyen entre 2008 et 2010		Nombre de stations	Pourcentage
en m ³ par jour	en litre par seconde		
< 500	< 5.8	147	80%
500 - 1000	5.8 - 11.6	18	10%
1000 - 2500	11.6 - 29	5	3%
2500-5000	29 - 57.9	8	4%
> 5000	> 57.9	6	3%

Tableau 17 : Volume rejeté en moyenne par les stations d'épuration dans la zone d'étude (2008-2010)

Les rejets les plus importants concernent l'Orne aval (Mondeville – environ 400 l/s – et Mutrecy en sortie de la zone de socle – environ 85 l/s), la Dives aval en bordure littorale (Cabourg : deux stations rejetant en moyenne 75 et 60 l/s) et la Touques en bordure littorale également (Deauville : deux stations, l'une remplaçant l'autre à partir de 2010, pour un rejet moyen de 115 à 125 l/s). Ces rejets demeurent faibles au regard des débits écoulés dans ces cours d'eau, y compris en période d'étiage.

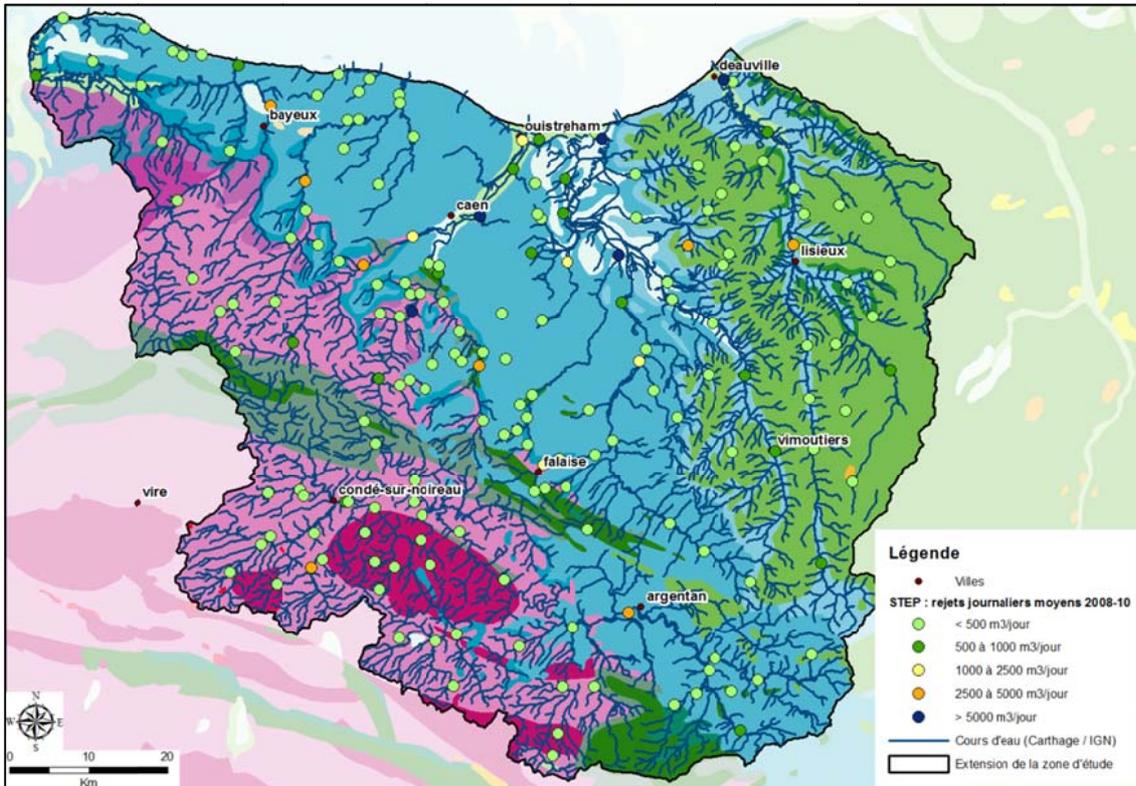


Illustration 54 : Localisation et débits moyens journaliers des stations d'épuration situées dans la zone d'étude (données AESN, période 2008-2010)

3.9. GABIONS

Les gabions sont des plans d'eau entretenus pour la chasse au gibier d'eau.

La localisation des gabions est connue au travers des fichiers des DDTM et de l'AESN. Des polygones géoréférencés permettent d'en connaître l'extension dans le département du Calvados. Dans le département de l'Orne, la localisation des gabions est connue au centre des communes d'implantation ; dans ce cas, les superficies ne sont pas connues.

3.9.1. Gabions du département du Calvados

On dénombre 543 gabions dans la partie de la zone d'étude située dans le département du Calvados. Ils sont répartis principalement le long du littoral (Illustration 55 et Tableau 18) : au Nord de la Dives, de la Touques et de la Seulles, et au Nord-Ouest de l'Aure. On note l'inégale répartition de ces aménagements : ils se concentrent essentiellement à l'aval de la Dives, de la Touques et de l'Aure.

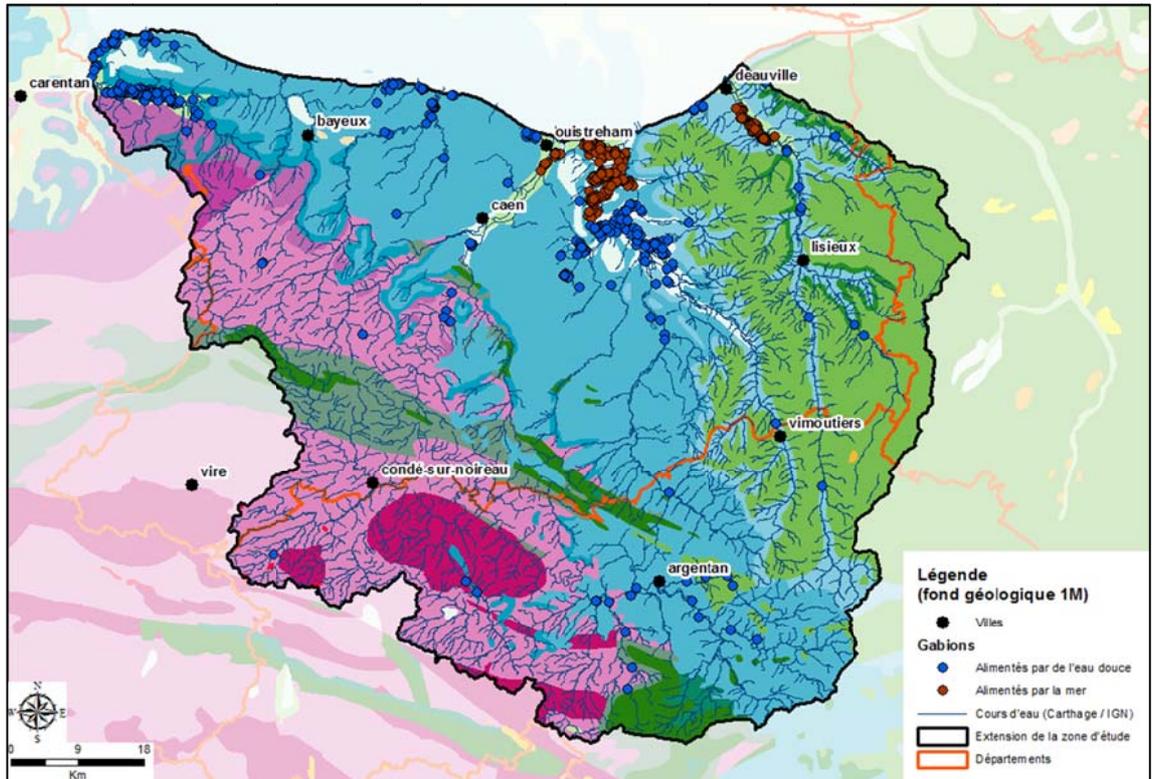


Illustration 55 : Localisation des gabions situés dans la zone d'étude (sur fond géologique à l'échelle 1M)

Bassins hydrographiques	Nombre	Surface (km ²)
Ensemble de la zone d'étude	543	14.68
Touques	74	2.26
Dives	249	8.32
Orne	29	0.56
Seulles	19	0.31
Aure	92	1.77
Vire et bassins côtiers situés à l'Est jusqu'à la Seulles exclus	53	0.98
Autres bassins côtiers	27	0.47

Tableau 18 : Répartition par bassin versant des gabions du Calvados situés dans la zone d'étude

Pour 216 des 543 gabions recensés dans le Calvados, la DDTM du Calvados indique que le remplissage se fait lors de la remontée de la marée : 137 dans le bassin versant de la Dives, 16 dans celui de l'Orne et 63 dans celui de la Touques. Ce remplissage n'induit donc pas de prélèvement sur les ressources en eau douce.

Pour les autres gabions, le comité de pilotage de l'étude a évalué leur remplissage à un volume correspondant à une lame d'eau de 50 cm sur l'ensemble de leur superficie. Ce remplissage se fait entre mi-août et début septembre. Il a été considéré dans la suite qu'il n'y avait pas de remplissage ultérieur de ces gabions, ce qui revient à faire l'hypothèse que les pertes par évaporation et fuites des digues sont compensées par la pluviométrie.

La taille des gabions recensés est très variable : elle s'étend de 1 000 m² environ à 0,25 km².

3.9.2. Gabions du département de l'Orne

La liste des gabions situés dans le département de l'Orne a été transmise par la DDT de l'Orne : 47 gabions sont recensés dans ce département, dont 30 se situent dans la zone d'étude (Tableau 19). Comme indiqué précédemment, la superficie et la localisation exacte des gabions ne sont pas connues, cette dernière étant connue au travers de leur désignation cadastrale (Section et numéro de parcelle), sauf pour trois d'entre eux.

La localisation des prélèvements associés aux gabions a été effectuée à partir de la connaissance des centroïdes des communes : le cours d'eau le plus proche a été recherché et le prélèvement correspondant lui a été affecté (cf. rapport de modélisation).

N°	Lieu-dit	Commune	Code INSEE	section	N°
1	Marais d'Ecouché	Ecouche	61153	D	156
2	Marais d'Ecouché	Ecouche	61153	D	156
3	Marais du Grand Hazé	Briouze	61063	F	43 - 44
4	Marais du Grand Hazé	Briouze	61063	F	33 - 34
5	"Le Petit Moulin"	Ranes	61344	Z	20
6	"Le Moulin de la Blaire"	Chanu	61093	A	300
7	Le Hazé	Boissei-la-Lande	61049	A	217
8		Marmouille	61253	F	40
9	Guérard	Fontaine-les-Bassets	61171	A	74 - 76
10	La Foreterie	Bellou-en-Houlme	61040	ZI	15
11	Brèveaux	Commeaux	61114	B	64
12	Sassy	Vrigny	61511	E	30
13	Les Roseaux	Ecouche	61153	D	158
14	La Joignière	Sainte-Marguerite-de-Carrouges	61419	ZA	55c
15	Moulin de Chandon	Sainte-Marguerite-de-Carrouges	61419	ZI	57b
16	Les Roseaux	Ecouche	61153	D	123
17	La Genterie	Sai	61358	C	51
18	Le Moulin	Le Bourg-Saint-Leonard	61057	E	528
19	Le Petit Breuil	Aunou-le-Faucon	61014	ZD D	9 58
20	L'Isle	Fontenai-sur-Orne	61173	A	112
21		Neuville-sur-Touques	61307	G	86
22		Almeneches	61002	AT	55
23	Les Prairies	Almeneches	61002	AS	39
24		Silly-en-Gouffern	61474	C	483
25		Briouze	61063	D	398
26	Le Grand Hazé	Briouze	61063	F	39
27		Francheville	61176		
28		Francheville	61176		
29		Francheville	61176		
30	Chagny	Le Pin-au-Haras	61328	A	113 - 114 - 115

Tableau 19 : Liste des gabions du département de l'Orne situés dans la zone d'étude

La répartition des gabions par bassins versants du département de l'Orne est présentée dans le Tableau 20. L'estimation des prélèvements a été effectuée de façon similaire à la méthode employée pour le département du Calvados. Les surfaces des gabions n'étant pas disponibles, elles ont été estimées à 16 000 m², ce qui correspond à la valeur médiane de la superficie des gabions considérés comme étant alimentés par de l'eau douce dans le département du Calvados. Le prélèvement correspondant à un gabion est donc de 8 000 m³/an (cf. Tableau 20).

	Nombre de gabions	Volume estimé (m3)
Noireau	1	8000
Dives	1	8000
Touques	1	8000
Hure	4	32000
Cance	9	72000
Orne	6	48000
Rouvre	5	40000
Don	3	24000
TOTAL	30	240000

Tableau 20 : Répartition des gabions de l'Orne par bassin versant et estimation du prélèvement annuel associé

3.10. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE RELATIVE À LA PRÉSENCE DE KARSTS

Ce chapitre recense les occurrences de descriptions relatives aux karsts qui ont été identifiées à l'occasion de l'étude. Si l'utilisation directe de l'information est difficile compte tenu de la méconnaissance des dimensions et de la localisation précises des karsts, elle permet d'identifier les secteurs dans lesquels des perméabilités plus fortes sont attendues.

3.10.1. Éléments généraux

L'atlas hydrogéologique du Calvados (Arnaud et al., 2007) rappelle le caractère karstique de certaines des formations rencontrées dans la zone d'étude. On note en particulier :

- que les calcaires du Bajocien sont connus pour être karstiques avec comme exemple, au sud de Port-en-Bessin, l'engouffrement de l'Aure dans le réseau karstique développé dans les calcaires à spongiaires (cf. 3.10.2) ;
- que les calcaires bathoniens sont localement le siège d'importantes circulations souterraines à travers un réseau karstique et qu'ils ont fait l'objet d'intenses exploitations de pierre à bâtir (cas de la célèbre « Pierre de Caen ») ;
- le caractère karstique de la craie du Cénomaniens dans la partie orientale de la zone modélisée.

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., recense dans la zone d'étude 344 cavités naturelles (dolines, bétoires, pertes, etc.) et 1322 cavités d'origine anthropique (carrières souterraines) (cf. Illustration 56). On note la concentration des cavités d'origine naturelle dans les secteurs du Cénomaniens (bassin versant de la Touques) et du Bajocien (Aure, Seullès médiane et Mue amont).

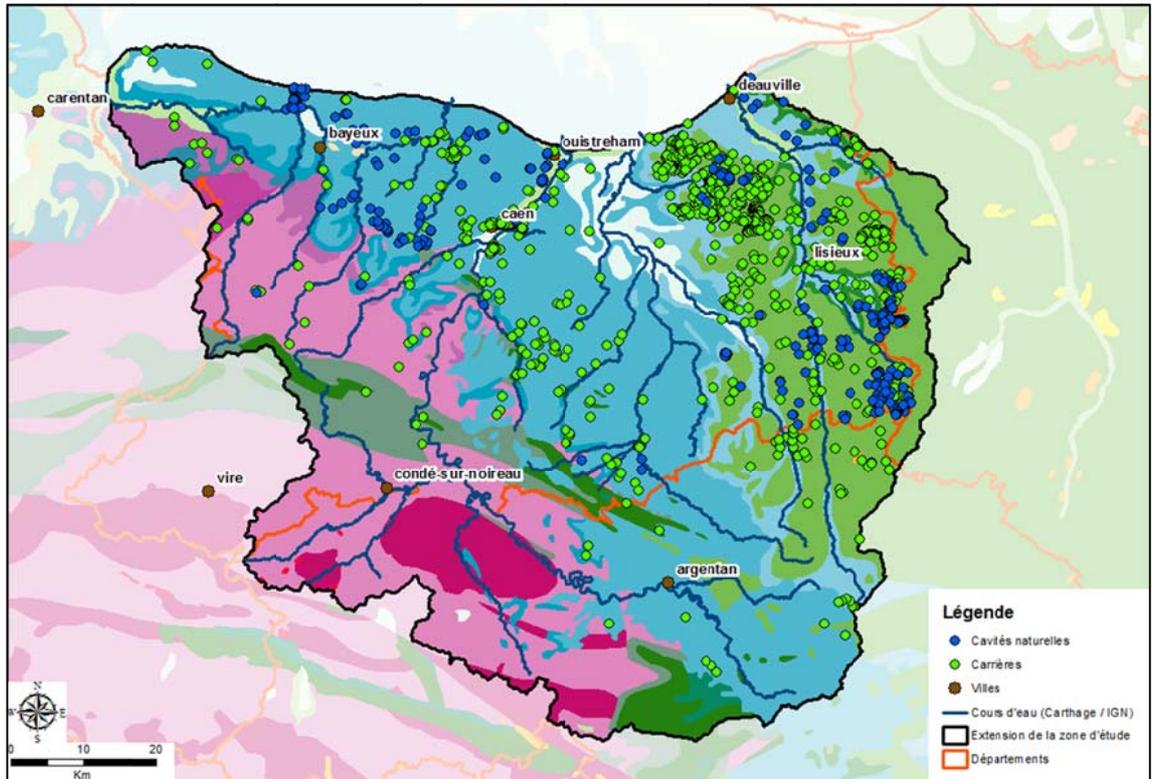


Illustration 56 : Localisation des cavités souterraines issues de l'inventaire départemental du Calvados (sur fond de carte géologique simplifiée au 1/1 000 000^e)

La notice de la carte géologique à l'échelle 1/50 000^{ème} de Caen (carte n° 120) indique :

- sous le site de Prairie (au sud de Caen), des conduits karstiques traversant la formation du Calcaire à spongiaires, partiellement comblés par des alluvions anciennes soutirées ;
- les failles affectant les calcaires bathoniens de la campagne de Caen ont donné naissance à « des entonnoirs reliés à des conduits profonds d'un karst ancien, qui ont souvent soutiré les formations superficielles. Ces phénomènes d'érosion ont plus spécialement été reconnus le long de la basse-vallée de l'Orne, en suivant l'évolution de la découverte et des fronts de taille dans les grandes carrières de Ranville, Amfréville, le Maresquet de Bénouville ou dans divers sondages près de Ouistreham (Pareyn et Pellerin, 1971). Ce karst existe évidemment sur le reste du plateau calcaire, de part et d'autre de cette vallée, masqué par les formations résiduelles et superficielles. Mais ici et là, des affaissements localisés du sous-sol trahissent l'effondrement d'une voûte de cavité karstique, comme au Nord de Périers-sur-le-Dan (Bigot, 1939) ; de même, plusieurs cours d'eau se perdent dans ce karst et disparaissent à la surface du plateau pour resurgir ailleurs. Ce karst affecte préférentiellement les niveaux calcaires au contact avec les bancs argileux des « caillasses »

bathonniennes, c'est-à-dire la base du Calcaire de Blainville, du Calcaire de Ranville et du Calcaire de Langrune. »

L'article « Hydrogéologie des calcaires du Jurassique inférieur et moyen en Basse-Normandie » (Dassibat et al., 1980) indique l'existence de phénomènes karstiques au niveau de la Chironne, en amont de Thaon, à 11 km au nord-ouest de Caen. Des pertes dans ce cours d'eau sont aussi signalées dans l'atlas hydrogéologique du Calvados (Arnaud, 2007, rapport BRGM RP-55672-FR).

Enfin, le rapport relatif au bassin de la Guiel indique l'existence d'une connexion possible entre le réseau karstique de la Guiel et l'émergence de l'Orbiquet selon un traçage réalisé dans les années 1970 (Stollsteiner, 2007 et Leblanc, 1998).

3.10.2. Les pertes de l'Aure aux « fosses du Soucy »

Le texte de ce chapitre figurant en italiques ci-après est intégralement repris de l'ouvrage collectif « Aquifères et eaux souterraines de France », chapitre III.11 : « Plaine de Caen et ses bordures ».

« L'Aure, fleuve côtier de Basse-Normandie et du Bessin coule vers la Manche selon une direction Sud - Sud-Ouest - Nord - Nord-Est, puis, à moins de 3 km de la côte, au Sud de Port-en-Bessin, change brutalement de direction à 90° pour se diriger vers l'Ouest et aller se jeter dans la Manche, à Isigny, soit 25 km plus à l'Ouest. Cette déviation est vraisemblablement due à un accident tectonique qui a engendré une capture souterraine du cours d'eau.

En effet, à cet endroit le lit de la rivière est creusé dans les calcaires à spongiaires du Bajocien, immédiatement surmontés par les Marnes de Port-en-Bessin. Au lieu-dit « les Fosses du Soucy », à la faveur de trois entonnoirs ou « fosses », l'Aure s'engouffre dans un réseau karstique développé au sein des calcaires. La capacité d'absorption est de l'ordre de 9 m³/s ; ce n'est qu'au-delà de ce débit que le fleuve peut poursuivre son écoulement de surface vers l'aval.

Plusieurs expériences de traçage à la fluorescéine ont démontré que les pertes rejoignent directement le littoral de la Manche à Port-en-Bessin, à 3 km plus au Nord. Les vitesses de circulation atteignent 500 m/h. Les résurgences sont situées dans le bassin de l'arrière-port et dans la rade à proximité de la jetée, mais les plus spectaculaires apparaissent sur l'estran sur les deux kilomètres de côte à l'Est de la localité. En période de crue l'eau jaillit à travers les fissures du platier formant ainsi une série de véritables champignons pouvant mesurer parfois 60 à 80 cm de haut.

En outre, les traçages ont montré, que lorsque la totalité du débit s'infiltré dans les pertes, le cours de l'Aure inférieure n'est plus du tout alimenté par l'amont, et, en étiage, il existe bien une Aure supérieure rejoignant la Manche à Port-en-Bessin et une Aure inférieure, alimentée par ses propres sources, se jetant dans la mer à Isigny.

L'expérience de traçage la plus spectaculaire eut lieu le 14 juillet 1967, vers cinq heures du matin avec 10 kg de fluorescéine. Le colorant réapparut dans le port en

plein midi, lors de la marée haute de fort coefficient, colorant violemment les bassins d'un vert lumineux, puis toute la rade au grand étonnement des marins et des badauds, certains croyant même qu'il s'agissait d'une surprise offerte par la municipalité en ce jour de Fête nationale. »

Parmi les études réalisées sur ce secteur, on peut citer, de façon non exhaustive :

- **Reconnaissance par géophysique d'un réseau karstique à Port-en-Bessin (Mathieu, 1997, rapport BRGM RR-39821-FR).** Ce rapport présente les résultats d'une campagne géophysique réalisée sur le réseau karstique : panneau électrique et micro-gravimétrie ;
- **Nouvelles données sur le système karstique littoral des pertes de l'Aure. Bilan des campagnes 1981-1985. (rapport CRSN).** Les investigations spéléologiques décrites dans ce rapport sont la conséquence de la définition d'un plan d'action établi en 1981, élaboré suite à la survenue de nombreux effondrements. Elles ont eu pour objectif d'explorer et de comprendre l'évolution du système karstique des pertes de l'Aure. Ce document comprend :
 - o La description morphologique du réseau hydrographique, des pertes et résurgences y sont également détaillées une à une. ;
 - o Une description du conduit karstique à partir des pertes de l'Aure, complétée par des schémas et une coupe (cf. Annexe 19). Une synthèse des données endokarstiques et une description de l'aquifère complètent ce document. Le conduit qui a été exploré est décrit en de nombreux secteurs comme étant de dimension « confortable » : 3 à 4 mètres de large pour 1,50 à 1,80 m de haut. Une véritable rivière (« la grande rivière ») s'écoule à une cote voisine de 5 m NGF du sud vers le nord, suivant les directions principales de fracturation. À noter qu'un débit d'environ 1 m³/s a été jaugé par des équipes de spéléologues, pour un débit total entrant dans les pertes estimé à 600 l/s.

3.11. ÉVALUATION DU RETOUR À LA NAPPE PAR PERTES DES RÉSEAUX D'EAU POTABLE ET EN SORTIE DE DISPOSITIFS D'ASSAINISSEMENT NON COLLECTIF

3.11.1. Impact des dispositifs d'Assainissement Non Collectif (ANC)

L'évaluation de l'impact de ces dispositifs a été effectuée avec l'appui du Conseil Général du Calvados (SATESE) qui a fourni l'essentiel des informations figurant ci-après.

On recensait, début avril 2012, 63 000 installations d'assainissement non collectif (ANC) sur le département du Calvados, dont la très grande majorité est située en zone rurale. La consommation d'eau moyenne en milieu rural est évaluée en moyenne à 80 m³/installation/an. Ceci permet donc d'évaluer l'ordre de grandeur maximal du retour à la nappe (5 millions de m³ pour l'ensemble du département du Calvados),

sachant qu'une part seulement de cette eau contribuera effectivement à la recharge des nappes. En effet, i) tous les dispositifs d'ANC n'infiltreront pas les eaux après traitement et ii) les dispositifs étant très proches de la surface du sol, une reprise partielle par évaporation est possible.

Ramené à la superficie du département, le volume global en sortie de dispositifs d'ANC correspond à une lame d'eau de 0,9 mm/an.

Cette lame d'eau est à comparer à la pluie efficace, c'est-à-dire à la part de la pluie qui génère effectivement un écoulement, qu'il soit souterrain (infiltration) ou superficiel (ruissellement). En première approche, la pluie efficace peut être appréhendée au travers des lames d'eau écoulées dans les cours d'eau (cf. 3.2.3). Celle-ci varie entre 112 et 640 mm/an selon les stations pour lesquelles le calcul a été effectué.

Sur la base de ces différents éléments, les volumes d'eau en sortie de dispositifs d'ANC dans le département du Calvados représentent entre 0,15 et 0,8 % des pluies efficaces.

Pour mémoire, à la date de consultation du SATESE (avril 2012), les diagnostics qui permettent de localiser les ANC et de distinguer les filières qui traitent puis infiltreront directement (épandage souterrain, tertres, filtres à sable) de celles qui sont drainées (lits filtrants, ouvrages compacts type micro-stations) et rejettent en surface, sont en cours de réalisation par les SPANC du département. Il n'est donc pas possible d'évaluer, à cette date et par secteurs, le nombre d'installations infiltrant des eaux.

3.11.2. Impact des pertes des réseaux d'eau potable

L'évaluation des pertes des réseaux d'eau potable nécessite de connaître :

- la localisation des pertes ;
- les volumes de pertes concernés par localisation et leur éventuelle variation dans le temps.

Une première approche consiste à évaluer de façon globale les pertes des réseaux d'eau potable. Cette évaluation s'est basée sur le Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable du Calvados (2003). Celui-ci indique que :

- 40 % des unités de gestion de l'eau (UGE) ont un rendement supérieur à 85 % ;
- 50 % des unités de gestion de l'eau ont un rendement compris entre 70 et 85 % ;
- 10 % des unités de gestion de l'eau ont un rendement inférieur à 70 %.

Ces chiffres ne prennent pas en compte 20 % des UGE pour lesquelles le rendement n'est pas connu. La carte des rendements par UGE est présentée en Illustration 57.

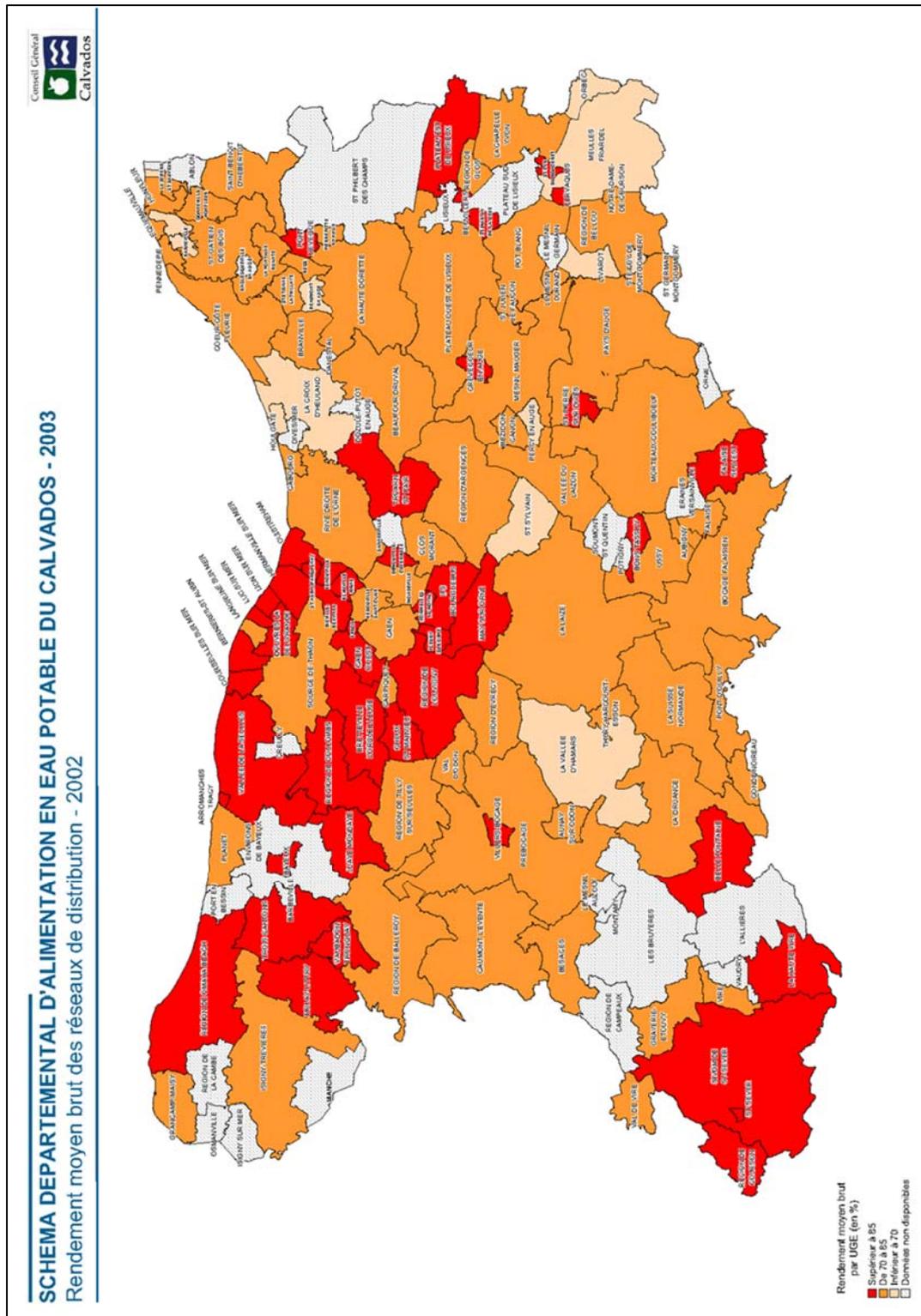


Illustration 57 : Rendement des réseaux d'eau potable par Unité de Gestion de l'Eau (SDAEP Calvados, 2003)

D'autre part, le SDAEP fixait des objectifs de rendement :

« Afin de tenir compte de la dimension des UGE et par conséquent de la différence de moyens humains et techniques disponibles, il nous semble judicieux de fixer des objectifs minimums de rendement selon la taille des unités de gestion :

- 70 % pour les unités de moins de 1 000 habitants ;*
- 75 % pour les unités de 1 000 à 5 000 habitants ;*
- 80 % pour les unités de 5 000 à 10 000 habitants ;*
- 85 % pour les unités de plus de 10 000 habitants. »*

Sur la base de ces objectifs fixés en 2003 et des rendements constatés en 2002, on considère un rendement moyen de 80 %. Partant d'un volume prélevé pour l'eau potable de 59 Mm³ (valeur 2010), cela revient à un volume de pertes de 11,8 Mm³, soit une lame d'eau de 1,6 mm/an à l'échelle du département.

Cette lame d'eau représente entre 0,25 et 1,4 % des pluies efficaces (cf. 3.11.1).

4. Synthèse hydrogéologique

Dans cette partie, la description des formations est effectuée par « feuilles géologiques ». Ces feuilles géologiques couvrent l'ensemble du territoire national selon un découpage en rectangles de dimensions égales. Leur dénomination se fait selon le nom de la ville principale présente sur la feuille (d'ouest en est et du nord au sud : Grandcamp-Maisy, Balleroy, Torigny-sur-Vire, Bayeux / Courseulles-sur-Mer, Villers-Bocage, Condé-sur-Noireau, Caen, Mézidon, Falaise, Argentan, Le Havre, Lisieux, Livarot, Vimoutiers, Sées) et un nombre (120 pour celle de Caen, 119 pour Bayeux, 176 pour Falaise...). Les différentes feuilles recoupées par la zone d'étude sont présentées en Illustration 58.

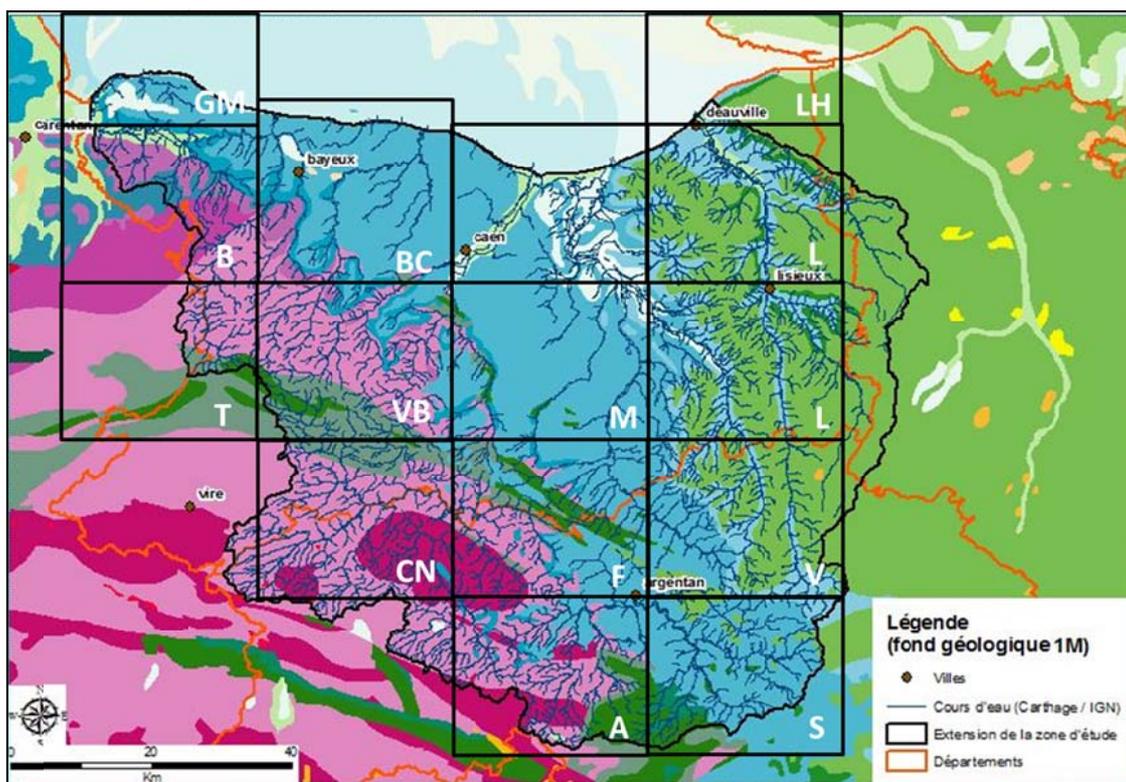


Illustration 58 : Emprise des feuilles géologiques au 1/50 000^{ème} sur le secteur d'étude

Le lecteur pourra se reporter à l'Annexe 20 qui regroupe des extraits des cartes géologiques servant de support aux descriptions de ce chapitre.

Les éléments statistiques relatifs aux paramètres hydrodynamiques sont par ailleurs présentés dans le chapitre « collecte des données », partie 3.5.

4.1. HISTOIRE GÉOLOGIQUE DU SECTEUR D'ÉTUDE

Vers -540 Ma, les séries briovériennes plissées de la chaîne cadomienne ont commencé à se disloquer au début du Cambrien, permettant ensuite la transgression marine paléozoïque.

Vers -475 Ma (Ordovicien), la mer dépose des sables sur toute la partie nord-est de l'actuel Massif armoricain, qui, après cimentation, deviendront le Grès armoricain, puis le Grès de May.

Au Carbonifère (-350 à -290 Ma), vers la fin du Paléozoïque, l'orogénèse varisque plisse intensément les sédiments déposés au Paléozoïque en une succession d'anticlinaux et de synclinaux, ayant pour conséquence l'émergence du Massif Armoricain.

Après le paroxysme de l'orogénèse varisque, la région reste émergée de la fin du Paléozoïque jusqu'à la fin du Trias (de -290 à -200 Ma). Les terres émergées déformées par la chaîne varisque subissent une intense érosion qui aboutit à sa pénéplation, et certaines dépressions se sont alors remplies de sables et graviers d'origine continentale. À cette époque, ne subsistent alors au-dessus de cette pénéplaine que de longues crêtes rocheuses formant des paléo-reliefs constitués des couches les plus dures des synclinaux paléozoïques (Grès armoricains et Grès de May, conglomérats du Cambrien inférieur).

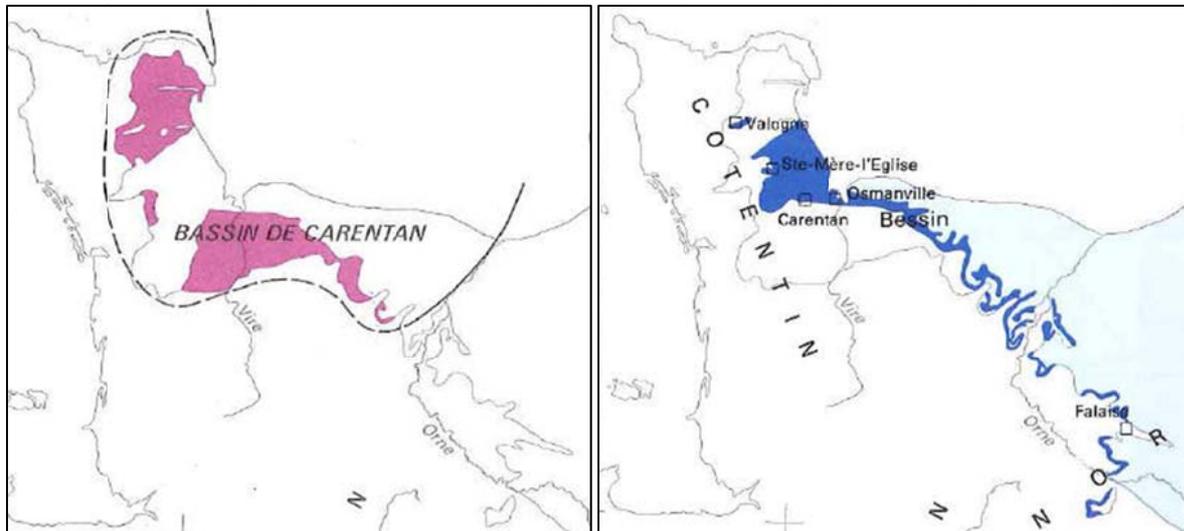


Illustration 59 : Extension des terrains du Trias (à gauche) et du Lias (à droite)
Extraits de la Synthèse géologique du Bassin de Paris (1980)

À partir du Lias (-200 à -175 Ma), au début du Jurassique, l'Atlantique Nord commence à s'ouvrir, la mer revient et s'avance en transgression sur le socle hercynien. Lors des différentes phases de transgression marine qui suivront au Jurassique, les paléo-reliefs des barres gréseuses constitueront des zones de rivage et des écueils, qui seront envoyés progressivement du Lias au Jurassique moyen (Callovien).

À la fin du Jurassique, le retrait de la mer sera suivi d'une phase d'érosion, avant le retour de la mer au Crétacé.

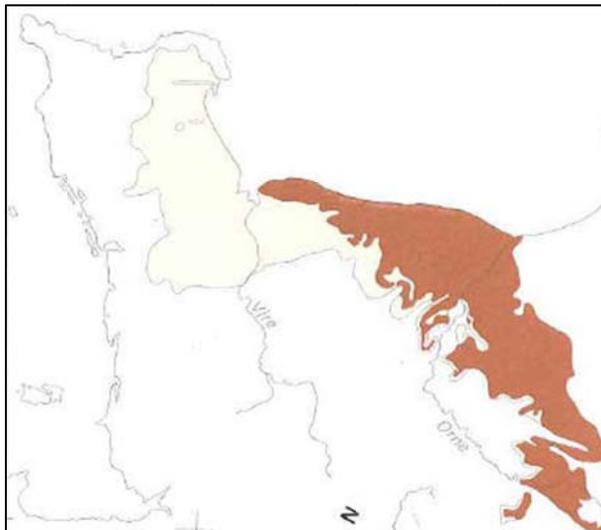


Illustration 60 : Extension du Jurassique Moyen (Synthèse géologique du Bassin de Paris, 1980)

4.1.1. Les zones d'écueils

Les paléo-reliefs constitués par les barres gréseuses des synclinaux paléozoïques jouent un rôle dans la circulation des eaux souterraines : d'une part ils font office de barrage et dévient le flux des aquifères mais aussi à leur voisinage les séries calcaires sont très condensées (Bajo-Bathonien du secteur de Falaise).

Du Nord au Sud, les synclinaux paléozoïques reconnus sont ceux de May-sur Orne (au sud de Caen), d'Urville (secteur de Villers-Bocage), de la Zone Bocaine (au nord d'Argentan), de la Coudraie et de Sées. L'érosion différentielle des synclinaux a préservé des paléo-écueils dont les plus nombreux sont situés dans l'Orne (Perche).

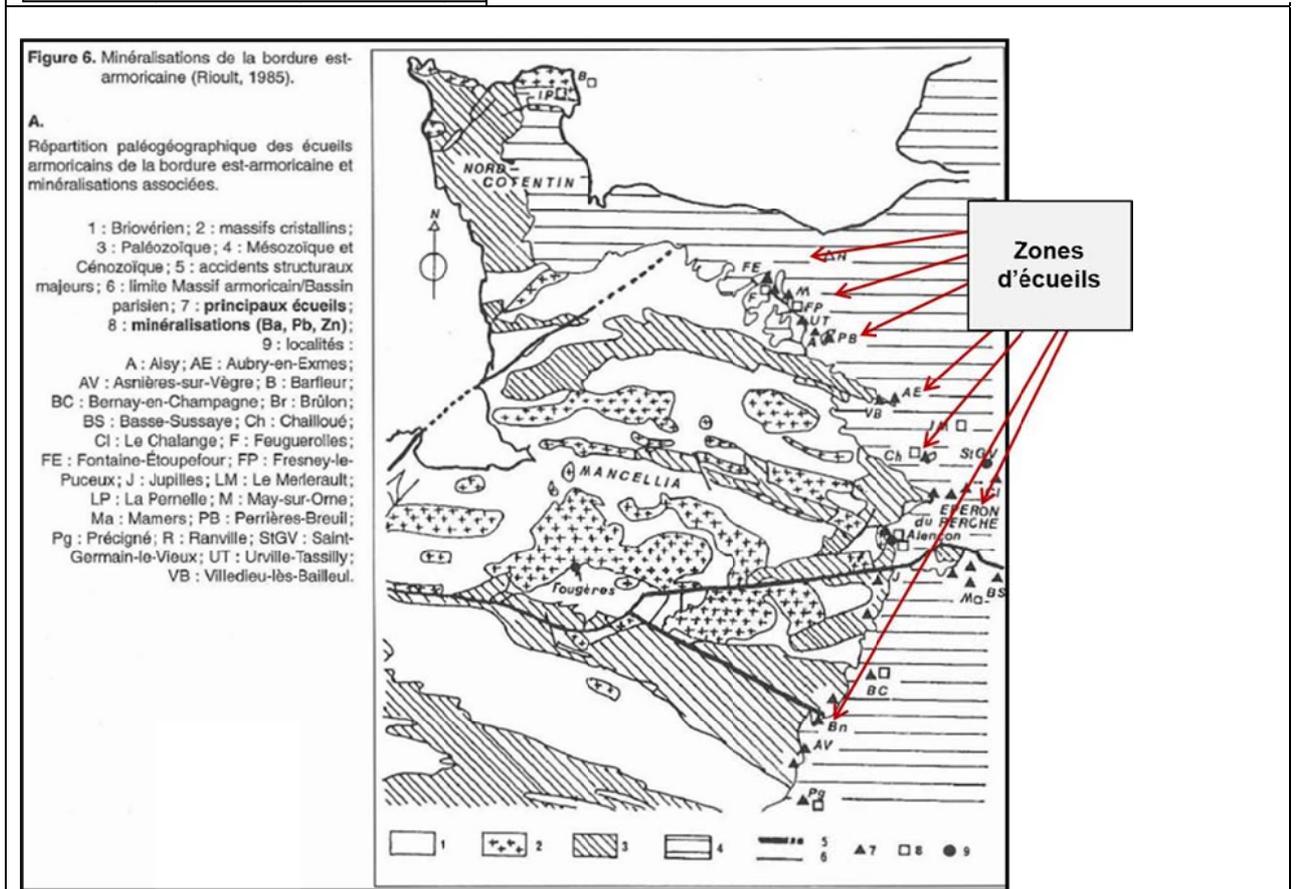
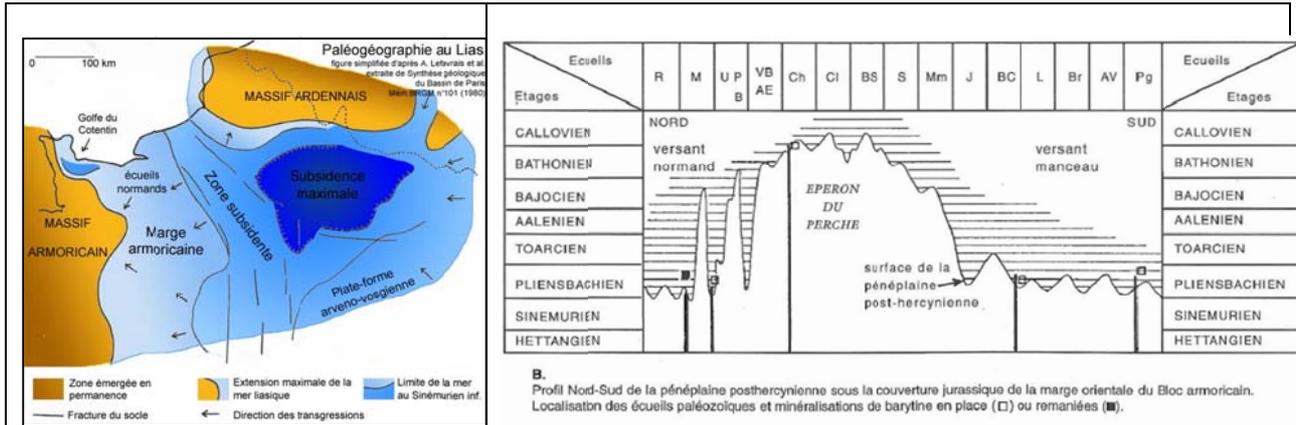


Illustration 61 : les synclinaux paléozoïques et les zones d'écueils (Riout, 1985)

Ces paléo-reliefs seront généralement recouverts à partir du Lias, et au plus tard par les apports terrigènes importants du Callovien. Ces secteurs correspondent donc à des lacunes de sédimentation ou à une sédimentation condensée. Le Toarcien en particulier, qui sert de substratum à l'aquifère du Dogger, y est souvent absent ou réduit.

À l'Est de la zone d'étude (secteur de la feuille de Livarot), des synclinaux paléozoïques ont été parfois reconnus par géophysique mais restent enfouis sous les calcaires marneux du Callovien.

4.2. FORMATIONS AQUIFÈRES DU BRIOVÉRIEN

Le Briovérien (-650 à -550 Ma) est défini comme l'ensemble des terrains azoïques sous-jacents aux formations cambro-ordoviciennes. Il forme le substratum des terrains sédimentaires, depuis le Paléozoïque jusqu'aux terrains crétacés. Les eaux souterraines y sont cantonnées dans des fractures ou dans les altérites. La productivité de ces aquifères est très variable en fonction de la lithologie. Cet aquifère a un rôle de soutien d'étiage pour les cours d'eau qui prennent leur source en son sein.

Les affleurements des terrains briovériens correspondent souvent à l'amont de rivières et de fleuves qui circulent plus en aval sur les terrains sédimentaires jurassiques.

Il est particulièrement présent sur les secteurs des six feuilles géologiques à 1/50 000^{ème} suivantes :

- Balleroy (bassins de l'Elle, de l'Esque, de la Tortonne, de la Drôme, affluents de l'Aure) ;
- Torigny-sur-Vire (bassin amont de la Drôme) ;
- Villers-Bocage (bassin amont de la Seulles et de l'Odon, bassin moyen de l'Orne) ;
- Condé-sur-Noireau (Orne moyenne et ses affluents) ;
- Falaise (bassin amont d'affluents de la Dives) ;
- Argentan (Orne, Udon, Maire, Cance et Rouvre) ;
- Mézidon (où il sert de substratum à l'aquifère du Cinglais).

Sur la feuille de Balleroy, la limite stricte entre le Briovérien et le Trias est parfois difficile à cerner en raison du colluvionnement des argiles et galets du Trias sur les terrains briovériens, ce qui peut expliquer que la tentative de piézométrie du Trias qui a été faite sur certaines études du secteur de Saon empiète parfois sur le Briovérien.

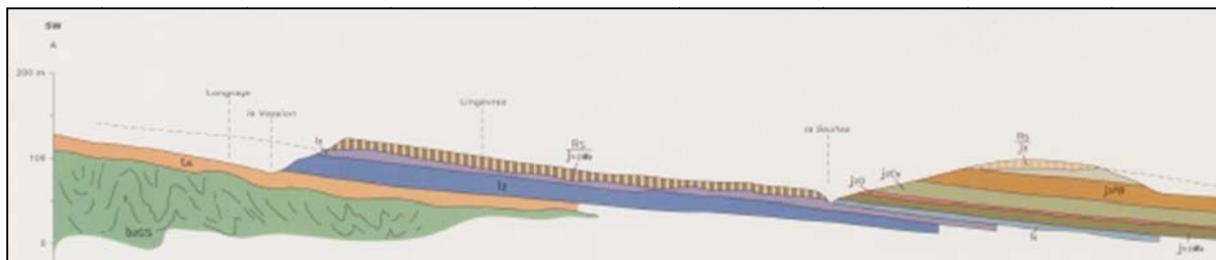


Illustration 62 : Jurassique transgressif sur le Trias en ocre et le Briovérien en vert (Feuille de Bayeux - Coupe SW-NE)

Dans le secteur d'Argentan, les schistes briovériens ne fourniraient pas plus de 5 m³/h, sauf exceptions (forage de la société normande d'application du caoutchouc à Rânes, cf. notice de la carte géologique d'Argentan).

D'un point de vue structural, le Briovérien est en contact du Paléozoïque sur la feuille de Balleroy par la faille du Bassin houiller du Bassin de Littry de direction N70 qui couvre presque toute la feuille. Cette faille pourrait favoriser un certain drainage de la zone briovérienne vers le secteur du Molay-Littry et de la Tortonne. L'accident dit « de la Drôme » seconde faille majeure de direction N60 présente sur le secteur de la même feuille pourrait servir de drain des terrains briovériens vers la vallée de la Drôme puis de l'Aure.

4.3. FORMATIONS AQUIFÈRES DU TRIAS

Après l'émergence à la fin du Paléozoïque du massif armoricain, les dépressions de la pénéplaine post-varisque ont été comblées par des formations continentales (cailloutis, sables, conglomérats, argiles) attribuées au Trias supérieur. Elles sont connues généralement en forages, sous la couverture liasique, mais affleurent aussi :

- dans les bassins de la Tortonne, de l'Esque, et de la Drôme (t6), sur la feuille de Balleroy ;
- dans les bassins de l'Aure et de la Seulles, au sud de la feuille de Bayeux-Courseulles ;
- dans le haut bassin de la Seulles, de l'Odon et de l'Orne (Cinglais,) sur la feuille de Villers-Bocage ;
- dans le haut bassin de la Laize (Cinglais), sur la feuille de Mézidon (sources de Moulines et de Tournebu) ;
- dans le haut bassin de la Laize, du Laizon et de la Dives, sur la feuille de Falaise.

Partout où il existe, l'aquifère du Trias correspond à des niveaux de sables, galets ou de sables grésifiés, la plupart du temps sous forme de chenaux emballés dans des terrains détritiques plus argileux.

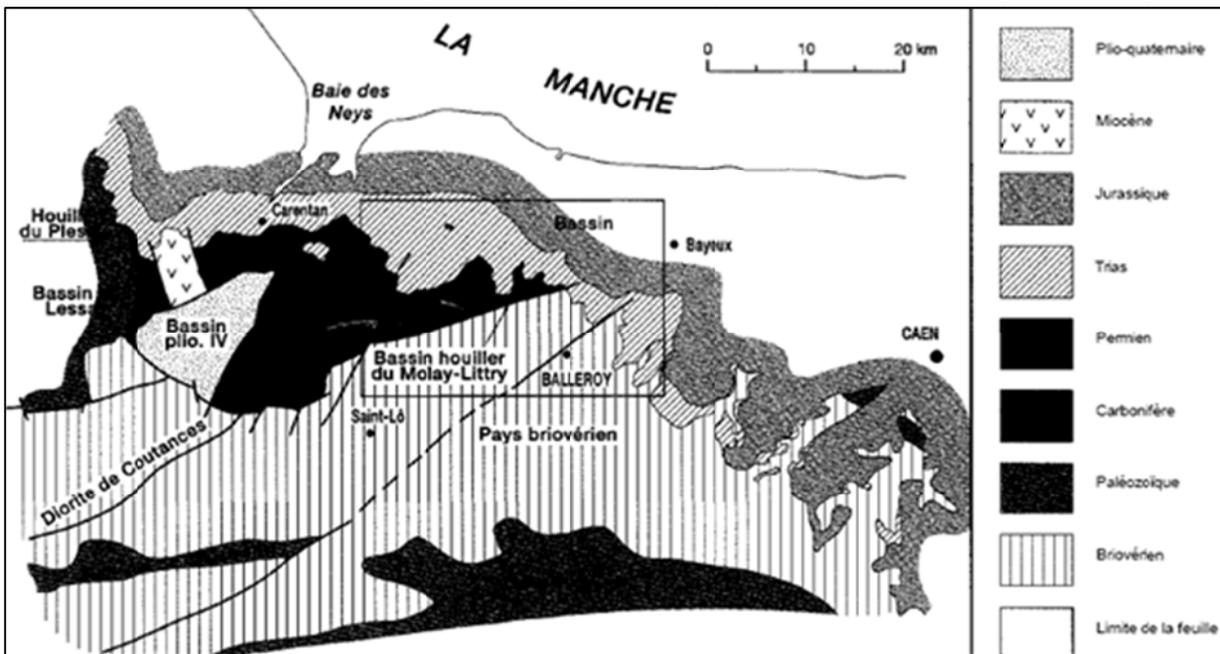


Illustration 63 : Affleurements du Briovérien - hachuré vertical - et du Trias - hachuré oblique (figure extraite de la notice de la carte géologique de Balleroy)

Sur la feuille de Balleroy, le Trias (t6) atteint des épaisseurs maximales (30 à 40 m) à Trévières (sondage de Mandeville), sous couverture du Lias, et au Breuil (sud de Saon) où il affleure, alors qu'il n'existe que par une fine couche superficielle de galets, surmontant les formations du Briovérien à Sainte-Marguerite-d'Elle, au sud-ouest de la feuille.

Sur la feuille de Villers-Bocage, le Trias (t6) est présent au Nord et au centre de la feuille, en rive gauche de l'Orne. Là aussi les circulations aquifères sont principalement localisées dans des chenaux sablo-graveleux. Mais ici, le faciès argileux prédomine cependant, limitant la productivité du Trias dans ce secteur. Plus à l'Est (feuilles Balleroy et Carentan), des niveaux

de galets et gros graviers existent (Formation de Neuilly-la-Forêt), mais ce sont essentiellement des sables fins à grossiers souvent cimentés dans une matrice argileuse ou de calcite.

Sur la feuille Villers-Bocage, on note trois ouvrages captant le Trias : à Monts-en-Bessin, Noyers-Bocage et Evrecy.

Sur la feuille de Bayeux-Courseulles, le Trias à l'affleurement se cantonne à l'Ouest de la vallée de la Seulles : vers l'Est, il vient se biseauter sous le Lias calcaire à Fontenay-le-Pesnel. Les épandages triasiques continentaux sont sans doute limités dans cette direction par le paléo-relief des grès cambriens de Caumont. Le Trias n'a été retrouvé, vers l'Est, dans aucun sondage au-delà d'une ligne passant par Le Mesnil-Patry et Martragny.

À la Haye (sondage 01195X0204), à l'Ouest de Lingèvres, entre le Lias calcaire et les schistes briovériens, il représente encore une épaisseur totale de 28 mètres. À Juaye-Mondaye (sondage 01195X0210), il a été recoupé sur 30 mètres. Sa puissance est d'au moins 30 mètres à Martragny (sondage 01192X0222), de 22 mètres au Mesnil-Patry (sondage 01196X0218) et de 20 mètres au niveau de Ducy-Sainte-Marguerite (sondage 01196X0004). Quelques sondages (dont le 01191X0178), effectués dans les sables de Saint-Vigor du Pléistocène (près de Bayeux), ont pénétré en fin de forage dans la formation du Trias.

4.3.1. Caractéristiques de production de l'aquifère

Sur la feuille de Grandcamp-Maisy, le Trias n'affleure pas mais il est rencontré en sondage : il existe une nappe captive des sables et graviers du Trias qui repose sur les argiles du Permien.

Cependant, immédiatement au Sud, en rive gauche de l'Aure (feuille de Balleroy), l'aquifère du Trias, qui affleure largement, produit des débits de l'ordre de 25 m³/h, avec des rabattements de l'ordre de 5 m (débit spécifique de 5 m³/h/m).

À l'Est de la feuille précédente (feuille de Bayeux-Courseulles), l'aquifère du Trias présente également un faciès sableux à graveleux et une géométrie lenticulaire, où les débits exploitables sont compris entre 20 et 80 m³/h. La transmissivité rencontrée dans les niveaux aquifères est relativement homogène et varie entre 1 et 8 10⁻³ m²/s, le coefficient d'emmagasinement étant de l'ordre de 10⁻⁵ lorsque la nappe est captive.

Les caractéristiques de certains de ces forages sont reprises dans les Tableau 21 à Tableau 23.

Localisation	Lieu-dit	Type	Géol	Prof	N° BSS	Débit	AEP
Bernesq		Source	Sables et cailloutis		01182X0010		
Colombières	Feuillet	Forage		26 m	01182X0040	60 m ³ /h	Isigny-Trévières
Agy		Source			01184X0040		Trois Cantons
Arganchy	Ribel	Forage			01184X0051	25 m ³ /h	
Arganchy	Abbaye	Forage		19 m	01188X0012		Trois Cantons
Berné	Château	Source			01183X0011	1000 m ³ /j	Mollay-Littry
Berné	Château	Forage		20 m	01183X0075	35 m ³ /h	
Torteval-Quesnay		Forage		14 m			Longraye
Mollay Littry		Forage			01183X0059	Faible	Industrie
Mollay-Littry		Forage			01183X0060	Faible	Industrie

Tableau 21 : Caractéristiques de forages au Trias sur le secteur de la feuille de Balleroy¹⁸

N° BSS	Épaisseur mouillée (m)	Débit max. exploitable (m ³ /h)	T (m ² /s)	S (%)
01195X0198	7	25	7.0 x 10 ⁻³	
01195X0210	10.5	50	1.5 x 10 ⁻³	2.0 x 10 ⁻⁵
01195X0214	11	30	1.6 x 10 ⁻³	1.0 x 10 ⁻⁶
01195X0217	7.2	50	1.6 x 10 ⁻³	

Tableau 22 : Caractéristiques de forages sur le secteur de la feuille de Bayeux-Courseulles

La notice de la feuille de Villers-Bocage indique dans le Trias, l'ouvrage suivant :

N° BSS	Localité	Lieu-dit	Aquifère	Débit	AEP
01452X0018	Noyers-Bocage	Belle Jambe	Trias	250 m ³ /j	Val d'Odon

Tableau 23 : Caractéristiques de forages sur le secteur de la feuille de Villers-Bocage

Sur les feuilles de Villers-Bocage et de Mézidon, en Suisse normande, entre la Laize et l'Orne, les terrains perméables du Trias, toujours constitués de quelques dépôts discontinus de graviers et de galets, contribuent à alimenter l'aquifère du Cinglais qui est constitué par un ensemble de formations allant des calcaires du Bajocien au Lias-Trias mais aussi surmonté par des altérites à silex d'âge tertiaire et des « heads » (dépôts de pente) du Quaternaire. Un rôle joué par la fissuration du socle est envisagé par certains auteurs (rapport Lithologic, 2008) mais cette hypothèse n'est pas partagée.

Dans ce secteur, de nombreuses sources de déversement apparaissent au contact entre les terrains perméables et les terrains peu perméables du socle briovérien. Ces sources sont captées pour l'alimentation en eau potable (Moulines et Tournebu) de Caen. Des forages ont également été réalisés dans ce secteur pour l'alimentation des communes de Cesny-Bois-Halbout, Bretteville-sur-Laize et Saint-Sylvain. La transmissivité observée est de l'ordre de 2.7.10⁻³ m²/s.

Sur la feuille de Falaise, l'épaisseur du Trias oscille en moyenne entre 0 et 15 m, mais varie très rapidement en fonction des irrégularités de la surface d'érosion post-varisque, si bien qu'elle

¹⁸ D'après la notice de la carte géologique à 1/50 000^{ème} de Balleroy.

atteint localement 28 m dans un sondage près de Bons-Tassily, au nord de la feuille (N° BSS 01762X0047).

Lorsque les faciès sableux et graveleux sont bien développés, le Trias contient des petits aquifères de productivité moyenne à faible (moins de $720 \text{ m}^3/\text{j} = 30 \text{ m}^3/\text{h}$) que la proximité de la surface rend vulnérables aux pollutions diffuses. De nombreuses petites sources se localisent au niveau du Trias, autour de Villers-Canivet ou Eraines. Le Trias alimente en eau potable la région d'Ussy (forage de Villers-Canivet, n° BSS : 01762X0045) et de Bons-Tassily (forage n° : 01762X0047). Il est également exploité pour l'irrigation par les pépiniéristes de la région d'Ussy. Sa piézométrie est suivie par le réseau national à Villers-Canivet (forage 01762X0024).

Sur le territoire de la feuille d'Argentan, le Trias est absent à l'affleurement, le Mésozoïque n'étant représenté qu'à partir du Lias, qui repose directement sur le socle briovérien : on voit sur cette feuille les avancées les plus méridionales du Lias entre le Gué de Rouvre et la localité de Rânes, juste au nord du granite de la Ferté-Macé. La limite méridionale connue du Trias est marquée par les formations notées Rj sur la feuille (Cailloutis résiduels de la base du Jurassique transgressif).

4.4. FORMATIONS AQUIFERES DU LIAS

De la base au sommet, le Lias est formé :

① de calcaires gréseux de l'Hettangien, et d'alternances de calcaire marneux et d'argiles grises à *Gryphea arcuata* du Sinémurien, dont la puissance est d'au moins 20 mètres mais qui se biseaute vers le Sud-Est : ces terrains sont absents à Caen ;

② du Pliensbachien, comprenant au sommet le calcaire très dur du Banc de Roc, et à la base une alternance de petits bancs de calcaire marneux et d'argiles bleues à bélemnites et ammonites pyriteuses dont la puissance est de l'ordre de 6 mètres ;

③ du Toarcien, qui comprend à sa base les Argiles à poissons (ou « schistes cartons ») considérées comme le substratum (plus ou moins) imperméable du système aquifère Bajo-Bathonien et à son sommet des calcaires marneux connus sous le nom de Calcaires à ammonites. Variable, la puissance du Toarcien ne dépasse guère 5 à 7 mètres.

Une coupe synthétique du Lias dans la région du Bessin et de la campagne de Caen est présentée en Illustration 65.

Régionalement, les alternances de marnes et de calcaires argileux du Toarcien supérieur sont assez uniformément présentes entre et en dehors des écueils paléozoïques, alors que les niveaux argileux du Toarcien inférieur ont tendance à s'amincir, voire à disparaître.

En dehors des secteurs d'écueils, la coupe-type du Lias se trouve dans le Bessin et la campagne de Caen. Dans la partie nord-ouest du secteur d'étude, sur le territoire de la feuille de Grandcamp-Maisy, il existe un petit aquifère du Lias, avec des caractéristiques karstiques¹⁹, formé d'alternances de marnes et calcaires du Sinémurien et du Pliensbachien, à pendage général dirigé vers le NNE, et reposant sur les argiles du Trias supérieur. L'épaisseur de la série atteint environ 40 à 50 mètres de puissance, et se termine avec le Toarcien.

¹⁹ Cf. Notice de la carte géologique 1/50 000^{ème} de Grandcamp-Maisy

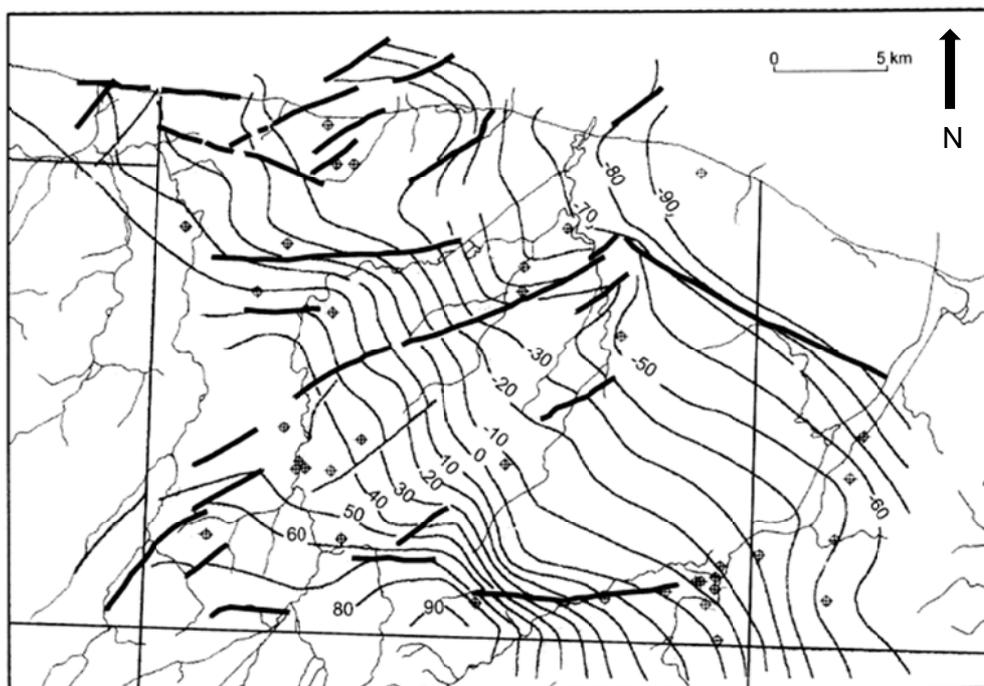


Illustration 64 : Isobathes de la base du Toarcien
(notice de la carte géologique de Bayeux-Courseulles)

La notice de la carte géologique de Grandcamp-Maisy fait état pour ce secteur d'une pluie efficace²⁰ de l'ordre de 30% de la pluie moyenne annuelle (771 mm), soit 243 mm, ce qui correspond dans les bassins versants à un écoulement moyen de 7.7 l/s/km², en automne et en hiver.

Une source est indiquée dans le Lias, au Nord de Mosles, à la faveur d'une faille, probablement au contact du Toarcien et du Bajocien inférieur (Malière), au lieu-dit le Lavoir de Bellefontaine, sur la commune de Russy (N° 00957X0029) et sur la rive droite de l'Aure. Des ouvrages produisent des débits (aquifère de fracture) de l'ordre de 5 m³/h dans les communes d'Osmanville et de La Cambe.

Les débits courants semblent beaucoup plus importants dans la vallée que sur les plateaux, d'après les informations figurant dans la notice de la feuille géologique de Grandcamp-Maisy :

Aquifère	Lieu-dit	Débit	Rabattement	Débit spécifique
Lias	Vallée	25 m ³ /h	2.5 m	10 m ³ /h/m
Lias	Plateau	4.5 m ³ /h	50 m	0.01 m ³ /h/m

Tableau 24 : Exemple de débits de l'aquifère du Lias

²⁰ La notice fait état d'une infiltration de 243 mm mais il est plus vraisemblable qu'il s'agisse d'une pluie efficace (cf. chapitre 2), notamment compte tenu de la variabilité lithologique des formations présentes à l'affleurement et donc de la variabilité de leur capacité d'infiltration.

4.4.1. Feuille de Bayeux-Courseulles

Dans sa partie sud-ouest, le Lias est affleurant au niveau de la cuesta jurassique qui se développe au-dessus du Trias, dans la vallée de l'Aure et de ses affluents amont de rive droite, et sur le cours amont de la Seulles. Ces affleurements importants existent également sur la feuille de Villers-Bocage située immédiatement plus au sud.

Il existe dans le secteur sud-ouest de la feuille de Bayeux-Courseulles de nombreuses sources, mais celles-ci correspondraient plutôt au contact de l'aquifère bajocien de la Malière et parfois du Calcaire à spongiaires, sur le Lias sous-jacent moins perméable (secteur de Monceaux-en-Bessin au sud de Bayeux, à Juaye-Mondaye et plateau de Lingèvres).

Sur des secteurs proches de ces derniers, il existe d'autres sources qui peuvent être attribuées au Lias : Hottot-les Bagues (N° 01195X0078 – Les Petites Vallettes), et Tilly-sur-Seulles (01196X0006 – La Fontaine).

Au sud de la feuille de Bayeux-Courseulles, au sud-est de la feuille de Villers-Bocage (et au sud-ouest de la feuille de Mézidon située à l'est de celle de Villers-Bocage), l'aquifère principal est celui du « Cinglais », composé comme il a été noté plus haut, de niveaux discontinus de Trias mais aussi du Lias et du Bajocien (j1-2), en particulier dans le secteur des sources de Moulines, Tournebu et de Fontaine-Halbout, qui participent à l'alimentation en eau potable de Caen.

L'ensemble est recouvert par les argiles à silex (notées RAS) résultant de l'altération des calcaires sous-jacents, et reposant sur le Briovérien ou les terrains paléozoïques. Dans ce secteur, l'aquifère du Cinglais donne lieu à de nombreuses sources de déversement au niveau de la discordance du Jurassique sur le socle armoricain.

Plus au nord sur la feuille de Villers-Bocage, entre Seulles et Odon, les affleurements du Lias au-dessus du Trias peuvent donner lieu à des sources. Pourtant, dans ce secteur, les quelques forages existant ne captent que le Trias sous-jacent, et non le Lias. Les courbes piézométriques y indiquent un écoulement du Lias vers le NE, mais il semble que la

piézométrie du Lias soit confondue avec celle du Bajocien (données de piézométries provenant de l'Atlas du Calvados).

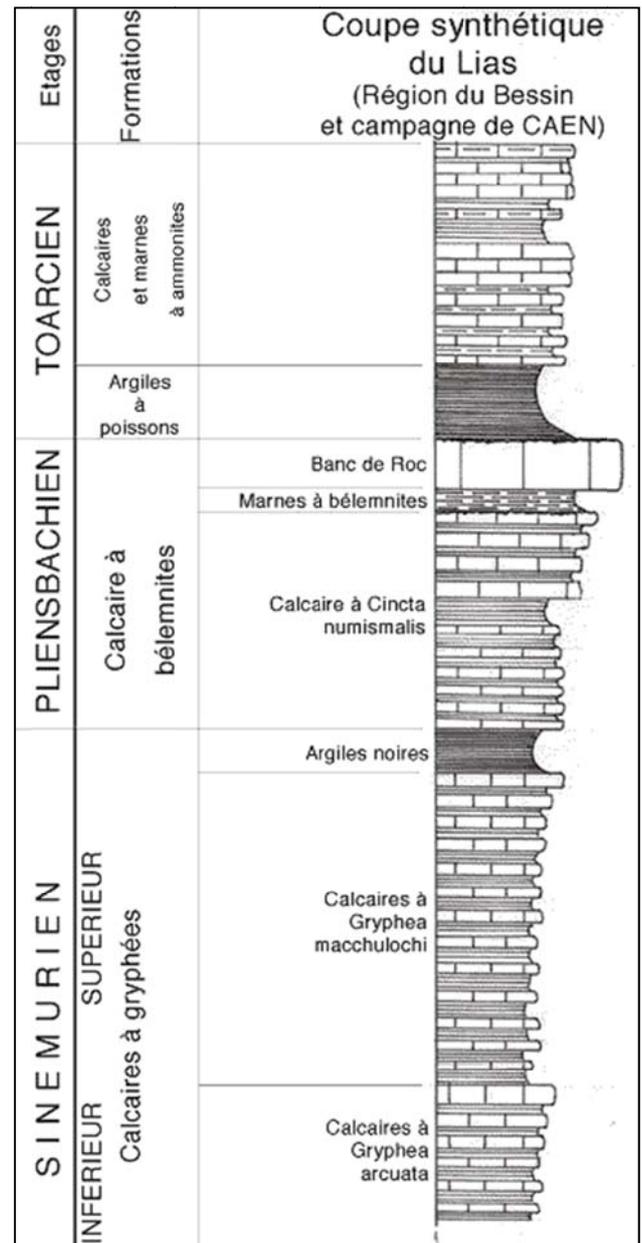


Illustration 65 : Coupe type du Lias (d'après Dugué et al., 1998)

4.4.2. Feuille de Balleroy

Sur ce secteur, le Lias n'a pas non plus un grand intérêt comme aquifère. Il faut cependant signaler les sources de Creveil (01183X0002 et 01183X0003, reposant sur les marnes du Sinémurien) qui participent à l'alimentation publique de Trévières, la source de Barbeville (01184X0027) qui participe à l'alimentation de Bayeux, et celles de Mandeville-en-Bessin (N° 01183X0002), en rive gauche de l'Aure.

4.4.3. Feuille de Mézidon

À l'exception de l'aquifère du Cinglais (environs de Moulines et Fontaine-Halbout), le Lias affleure par endroits à la base des terrains mésozoïques de la plaine de Caen, par exemple dans la vallée de la Laize (environs de Bretteville-sur-Laize à Fontenay-le Marmion) et du Laizon (à l'est de Potigny). Mais le Lias se trouve ailleurs profondément enfoui sous les assises du Bajocien et du Bathonien, lorsqu'il est présent sous le Bajocien transgressif.

4.4.4. Feuille de Falaise

La partie du Lias qui intéresse le domaine de l'étude se situe au nord du synclinal de la Zone bocaine. En effet, le Lias situé au Sud correspond à la partie de l'aquifère Jurassique qui est drainé dans le secteur d'Argentan et qui paraît jouer un rôle indépendant de la plus grosse masse de l'aquifère.

Au nord-Ouest de la feuille de Falaise, le Lias sert d'assise à l'aquifère du Dogger, au-dessus du Trias des vallées du Laizon et des affluents de rive gauche de la Dives (vallée de l'Ante et du Ruisseau de Traine-Feuilles). Dans ce secteur où Bajocien (Calcaire de Fresné-la-Mère) et Bathonien (Calcaire de Caen) forment un seul aquifère, le Lias est surtout constitué du Calcaire à Bélemnites (I3), le Toarcien sus-jacent (I4) étant très discret, parfois absent ou condensé dans ce secteur d'écueils.

4.4.5. Feuille de Vimoutiers

À l'est de la feuille de Falaise, le Lias est absent à l'affleurement dans la terminaison du synclinal de la Zone bocaine, où le Bajocien est également absent : le Bathonien (faciès d'écueil - jE) surmonte directement les grès ordoviciens. Le Lias existe probablement en profondeur, mais n'a probablement que peu voire aucun intérêt hydrogéologique.

4.4.6. Feuille d'Argentan

Sur cette feuille, située au sud de celle de Falaise, le Mésozoïque commence à être représenté en plusieurs endroits au centre-sud de la feuille par du Lias (sans Trias visible), notamment près de Pointel, Faverolles, Rânes, puis en remontant plus au nord sur Saint-Hilaire de Briouze et Saint Brice, et enfin dans la moitié Nord de la feuille. Le Lias y est essentiellement couvert par des formations du Bajocien supérieur (J1-c) avec des calcaires bioclastiques, transgressifs vers le Sud et s'amincissant en direction d'Alençon. Le Lias disparaît ensuite des affleurements de la feuille à peu près à l'Est du méridien d'Ecouché. Il pourrait être parfois directement couvert par des formations bathoniennes.

L'équivalent des Argiles à poissons (Toarcien inférieur) du secteur du Bessin et du Sud-Ouest de Caen est représenté par des argiles grises à cordons de miches calcaires (IA7 sur la feuille d'Argentan où un lit noir contient 15% de matière organique). Le Toarcien est de nouveau lacunaire, sous le Bajocien, et ce dernier repose le plus souvent directement sur des sables et grès pliensbachiens (Lias), équivalents latéraux des Grès de Sainte-Opportune.

Sauf exception (forage 02121X0005 au nord-ouest de Saint-Hilaire-de-Briouze), l'épaisseur du Toarcien ne dépasserait pas 6 à 10 m dans ce secteur.

Le secteur jurassique de la feuille d'Argentan, comme celui du sud de la feuille de Falaise, limité au nord par les terrains paléozoïques de la Zone bocaine, est probablement déconnecté du vaste aquifère du Dogger des campagnes de Caen-Falaise-Trun.

Le secteur Est de la feuille d'Argentan correspondrait à un autre secteur de l'aquifère, indépendant de l'aquifère du Dogger des campagnes de Caen-Falaise, et qui trouverait son exutoire dans le cours de l'Orne, vers Ecouché.

Sur la feuille de Caen, le Lias n'affleure pas.

4.5. FORMATIONS AQUIFÈRES DU DOGGER (AALÉNIEN, BAJOCIEN ET BATHONIEN)

4.5.1. Le Bajocien

Dans le Bessin, le Bajocien inférieur (qui repose sur l'Aalénien) débute par ce qu'on appelle généralement le calcaire de la Malière, reposant sur un niveau d'oolithes ferrugineuses à la base de la série aalénienne. La malière est constituée de bancs de calcaires très durs à silex dans sa partie médiane, puis d'un niveau conglomératique à enduit glauconieux au sommet (Couche verte). La puissance de la Malière est variable : elle atteint en moyenne de 4 à 7 m dans le secteur d'étude. À l'ouest de Bayeux, dans le Bessin, sa puissance augmente, mais la formation n'a pas été décrite dans tous les forages.

Le Bajocien moyen et une partie du Bajocien supérieur sont ensuite caractérisés par une sédimentation ferrugineuse très condensée (formation de l'Oolithe ferrugineuse de Bayeux, d'une épaisseur maximale de 0,5 m), débutant par le « Conglomérat de Bayeux », à oncolithes ferrugineux et surmonté par un niveau à stromatolithes (couche a), puis intégrant trois couches (b à d) constituées par des calcaires micritiques bioclastiques à oolithes ferrugineuses.

Le sommet du Bajocien supérieur correspond à l'essentiel de l'aquifère bajocien dans le Bessin et la plaine de Caen : il est formé du Calcaire à spongiaires (j2b), autrefois dénommé « oolithe blanche », qui constitue un très bon niveau aquifère d'environ 15 m de puissance. Il est karstifié dans la vallée de l'Aure (secteur de Maisons par exemple).

L'aquifère calcaire du Bajocien est de type fissuré, et comprend généralement d'importants réseaux karstiques. Dans le domaine d'étude, on trouve les formations du Bajocien à l'affleurement depuis le nord de la zone d'étude dans le Bessin, jusque plus à l'Est dans le secteur de la feuille de Bayeux-Courseulles, et plus au sud dans le secteur des feuilles géologiques de Falaise et Vimoutiers.

Cet aquifère se comporte en nappe libre vers Bayeux et au sud-ouest de Caen, alors que le réseau de failles est dense. Au nord, la nappe devient captive sous les Marnes de Port-en-Bessin (formation du Bathonien moyen) et l'aquifère devient localement très karstique. Bien que peu productif quand il est captif (quelques dizaines de m³/h seulement), la productivité des forages peut atteindre 70 m³/h.

L'écoulement dans l'aquifère bajocien est séparé en deux secteurs, par une ligne allant de Mathieu-Périers à St-Aubin-d'Arquenay : ❶ au nord de cette ligne, la nappe s'écoule vers la mer, ❷ au sud, elle est drainée par l'Orne. La nappe est également drainée par la Dives.

La nappe est captive dans sa majeure partie à l'Est des affleurements des Marnes de Port-en-Bessin, dans le secteur de Ver-sur-Mer, à Villiers-le-Sec, puis à l'Est de la Seulles de Creully à Martragny, Sainte-Marguerite, Brouay, Audrieu, le Mesnil-Patry et Bretteville-sur-Odon, où les terrains du Bajocien sont recouverts par les Marnes de Port-en-Bessin et les calcaires du Bathonien. Dans sa partie libre, l'aquifère du Bajocien présente généralement une productivité inférieure à celle des calcaires du Bathonien. Cet aquifère est exploité en même temps que le Bathonien par des ouvrages anciens plus profonds qui captent les deux aquifères.

Le niveau piézométrique moyen de cet aquifère varie de 120 m NGF à l'Ouest et au Sud à 20 m NGF à l'Est et au Nord. Lorsque le Bajocien affleure sur le littoral et que son substratum est inférieur au niveau marin, le niveau piézométrique est en équilibre avec ce dernier. Son écoulement général se fait en direction du Nord-Est. La Seulles joue localement le rôle de drain pour cet aquifère.

Dans le Bajocien, les gradients hydrauliques sont généralement faibles dans les vallées (4 à 6.10⁻³) et plus fort sous les plateaux (10 à 20.10⁻³).

Dans la partie Sud du secteur d'étude (Falaise – Argentan), le Bajocien et le Bathonien constituent un aquifère unique.

4.5.2. Le Bathonien

L'aquifère du Bathonien est un aquifère calcaire de type fissuré et discontinu dont l'épaisseur, très variable, est comprise entre une dizaine de mètres sur la bordure Ouest (les terrains ayant été en partie érodés) à près de 90 m au Sud-Est de Caen.

Même s'il ne s'agit pas d'une masse homogène mais de plusieurs niveaux aquifères séparés verticalement par des intervalles plus marneux²¹, l'aquifère bathonien est de type libre depuis ses affleurements les plus occidentaux jusqu'aux environs de la Dives. À l'Est d'une ligne Argences-Mézidon – St-Pierre-sur-Dives, il devient captif sous les formations argilo-marneuses du Callovo-Oxfordien, dont l'épaisseur avoisine les 100 mètres et pourrait atteindre localement plus de 200 mètres²².

Sur une partie du territoire, l'aquifère du Bathonien repose sur les Marnes de Port-en-Bessin qui constituent une barrière généralement peu perméable entre les deux formations calcaires du Bajocien et du Bathonien. Ailleurs, il peut être directement en contact avec l'aquifère bajocien.

Ainsi, sur la partie Nord-Ouest du Calvados, les Marnes de Port-en-Bessin peuvent atteindre localement une puissance de 50 m, voire davantage. Mais leur épaisseur diminue vers l'Est et leur faciès marneux s'enrichit en carbonates dans l'agglomération de Caen :

- les marnes passent d'abord à un calcaire de moins en moins marneux entre la Seules et la Thue, dans le secteur d'Amblie à Bretteville l'Orgueilleuse. D'ailleurs, d'après Bigot (1892), le passage latéral de la partie supérieure des Marnes de Port-en-Bessin au Calcaire de Caen se ferait par diminution de l'épaisseur des interlits argileux, aux environs de Sainte-Croix-Grand-Tonne, entre Bayeux et Caen, dans la partie amont de la vallée de la Thue ;
- puis les alternances marno-calcaires du sommet des Marnes de Port-en-Bessin passent à un calcaire fin, tendre et friable à l'est de la Thue : ce calcaire constitue la Pierre de Caen (soit le sommet du Calcaire de Caen).

Au voisinage de Caen, les couches de passage à la base des Marnes de Port-en-Bessin ont évolué latéralement en calcaires argileux très peu perméables (« Bancs bleus » des anciens carriers) ; l'épaisseur des bancs bleus au sens large est de 5 à 10 m (0,6 à 1,2 m pour l'équivalent latéral des couches de passage, à savoir les bancs bleus au sens strict). Le faciès marneux disparaît progressivement vers le Sud, entre Caen et Bretteville-sur-Laize²³ : au SE de Caen, au niveau de Tilly-la-Campagne (au

²¹ Niveaux appelés « caillasses ».

²² Modélisation hydrogéologique des aquifères du Bajocien - Bathonien dans le secteur des Bocages Normands – Septembre 2007 – Charlotte Thieron – Mémoire de Master 2 – Agence de l'Eau Seine-Normandie – p.14.

²³ Notice géologique de Bayeux-Courseulles.

sud de Bourguébus, feuille géologique de Mézidon) ; le faciès marneux du Bathonien inférieur a déjà disparu. Les bancs bleus sont rencontrés dans les forages de la sucrerie de Cagny (feuille géologique de Caen).

D'après le rapport de Pareyn et Roux (1966), dans la région de Bellengreville (feuille de Mézidon), le Calcaire de Caen (qui inclut à sa base les bancs bleus) est en contact direct avec le Calcaire à Spongiaires du Bajocien²⁴.

→ En définitive les Marnes de Port-en-Bessin se cantonnent approximativement au nord d'une ligne reliant Bretteville-sur-Odon, Cheux – le Haut d'Audrieu (au nord de Tilly-sur-Seulles). Sur la feuille de Villers-Bocage, leur équivalent latéral est représenté par le faciès des « Bancs-Bleus », très restreint au nord-est de la feuille, dans le secteur de Saint-Martin-de-Fontenay et de May-sur-Orne. La feuille de Mézidon ne les décrit pas. Le secteur de l'aquifère du Cinglais ne cite que le Calcaire de Caen (J3C sur la feuille de Villers-Bocage et J3Ca sur la feuille de Mézidon), cette formation incluant à sa base les bancs bleus.

Situé majoritairement dans les départements du Calvados et de l'Orne, l'aquifère bathonien est l'un des plus productifs de Basse-Normandie. Il offre des débits de 300 m³/h au nord, pour les captages de Thaon à Mézidon. Vers le sud, dans l'Orne, cette productivité est plus modeste mais elle peut encore atteindre 100 m³/h.

Son écoulement général est orienté vers le nord-est et le nord, sauf à proximité de la vallée de l'Orne qui oriente les écoulements de la nappe en la drainant selon les multiples orientations de son cours.

Il comporte plusieurs niveaux calcaires (Calcaire de Caen, Calcaire de Creully, Calcaire de Blainville, Calcaire de Ranville et Calcaire de Langrune), séparés par des niveaux moins perméables et plus marneux appelés « caillasses ».

Ces discontinuités lithologiques entraînent des variations verticales de perméabilité, laquelle varie également latéralement en raison de la présence de zones très fracturées. Des circulations karstiques peuvent s'être développées dans les calcaires bathoniens (à la faveur des nombreuses fissures qui le parcourent) et des indices de karstification sont localement observés à la surface du sol (pertes de cours d'eau, des zones d'effondrement, et des gouffres)²⁵.

Les valeurs de transmissivité de cet aquifère varient de 10⁻¹ à 10⁻² m²/s pour les zones les plus productives alors que celles du coefficient d'emmagasinement fluctuent entre 10⁻¹ et 10⁻³ en domaine libre. Les gradients hydrauliques varient généralement de 6 à 40.10⁻³ dans le Bathonien.

²⁴ Etude hydrogéologique de la Plaine de Caen – Rapport n° DGSR 66 A 76 – BRGM/Université de Caen

²⁵ La fiche caractéristique du Bathonien ME 3308 indique ainsi : « Les circulations karstiques étant bien développées dans le calcaire massif du Bathonien [...], il y a à la surface du sol des pertes des cours d'eau fréquentes, des zones d'effondrement, des gouffres... »

Le suivi piézométrique de l'aquifère du Bathonien fait apparaître des cycles saisonniers : la recharge débute généralement en novembre-décembre, les niveaux les plus hauts se maintiennent de janvier à avril et la vidange s'amorce dès le mois de mai pour atteindre les niveaux les plus bas en septembre-octobre.

Sur les hauts plateaux et dans sa partie libre, la nappe se recharge plus ou moins rapidement sous l'effet des précipitations efficaces et la vidange est ensuite étalée dans le temps²⁶. La période de remontée du niveau piézométrique débute généralement vers novembre-décembre, les niveaux les plus hauts sont maintenus de janvier à avril, la phase de vidange s'amorçant en règle générale dès le mois de mai pour atteindre les niveaux les plus bas en septembre-octobre.

Dans d'autres secteurs où la nappe a une plus grande inertie, les tendances à la hausse ou à la baisse se maintiennent sur plusieurs années : on peut alors observer un retard de 6 mois de la piézométrie sur les pluies efficaces, ce qui pourrait correspondre à des apports diffus, étalés dans le temps. En revanche dans ces mêmes secteurs les recharges importantes peuvent se faire ressentir rapidement (par exemple à Cintheaux : 3 m en 1988, 10 m en 2001, et à Saint-Contest 14 m en 1988, 12 m en 2001).

On observe ainsi des dynamiques piézométriques variables selon les contextes : d'un comportement principalement saisonnier à Vieux-Fumé (Illustration 66), on évolue vers des comportements plus inertiels à Garcelles-Secqueville (Illustration 67) et surtout à Cintheaux (Illustration 68).

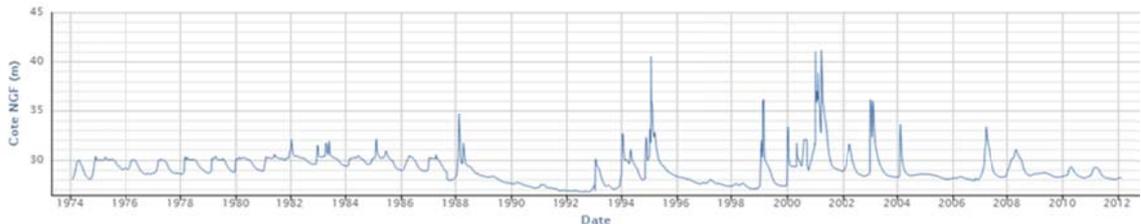


Illustration 66 : Fluctuations saisonnières à Vieux-Fumé (indice BSS : 01463X0103/S1 – aquifère du Bathonien – les données antérieures à 1988 sont sujettes à caution)

²⁶ Fiche de caractérisation initiale de la Masse d'Eau 3308 – Janvier 2005

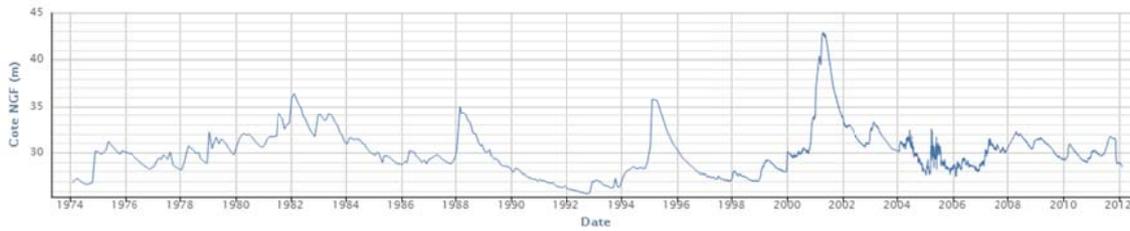


Illustration 67 : Fluctuations saisonnières et pluriannuelles à Garcelles-Secqueville (indice BSS : 01462X0072/S1 – aquifère du Bathonien)

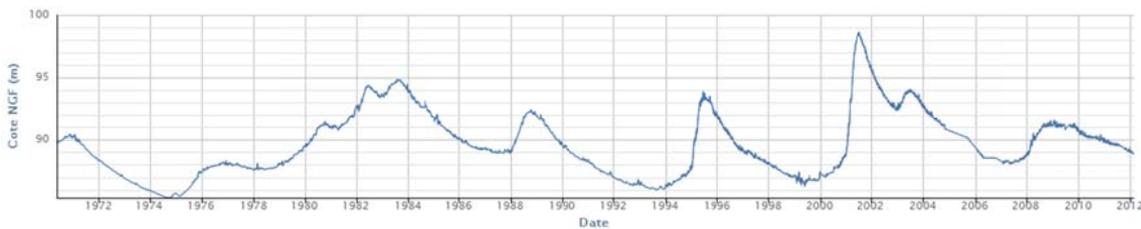


Illustration 68 : Fluctuations pluriannuelles à Cintheaux (indice BSS : 01461X0012/S1 – aquifère du Bathonien)

Les périodes d'alimentation de la nappe sont les suivantes :

- dans le secteur du bassin versant de la Seulles, la pluie efficace représente 38% des précipitations (23% des précipitations alimentant la nappe, calculés à la station de Tierceville) et plus de 80% des précipitations efficaces calculées se répartissent entre les mois d'octobre et mars (bilan réalisé sur la période 1972-2003 dans le cadre de l'atlas hydrogéologique du Calvados en 2007).
- Dans le bassin de la Mue, environ 80% de la pluie efficace se répartit entre Octobre et Avril, et la pluie efficace correspond environ à 25% des précipitations, dont les deux tiers vont à la nappe (64 % calculés à la station de Reviers). Le bilan a été réalisé sur la période 1971-2005 dans le cadre de l'atlas hydrogéologique du Calvados (Arnaud, 2007).
- Dans le bassin hydrologique de la Dives (station de débit de Mesnil-Mauger), à la station de Mesnil-Mauger, la pluie efficace calculée représente près de 28% des précipitations annuelles, et l'alimentation de la nappe représenterait environ 15% des précipitations annuelles. Dans ce secteur 80% de la pluie efficace se répartit entre les mois de Novembre et Avril (bilan réalisé sur la période 1993-2005 dans le cadre de l'atlas hydrogéologique du Calvados).

D'une façon générale les pluies efficaces les plus importantes sont en général enregistrées en décembre et janvier (entre 25 et 35 % de la pluie efficace annuelle pour l'ensemble de ces deux mois)²⁷.

Pendant les mois où la recharge de la nappe ❶ n'existe pas ❷ ou est limitée à des épisodes pluvieux exceptionnels (en général de début Mai à fin Septembre), la vidange progressive des nappes du Bajocien et du Bathonien permet de soutenir les étiages des cours d'eaux.

4.5.3. Description par secteurs

a) Feuille de Grandcamp-Maisy

C'est le secteur situé le plus au Nord-Ouest de la zone d'étude. Au-dessus du Toarcien et de l'Aalénien, le Bajocien est formé par le calcaire à silex de la Malière (I9-j1a), de l'Oolithe ferrugineuse de Bayeux (j1b) et du Calcaire à Spongiaires sus-jacent (j1c).

L'aquifère bajocien est présent à la fois ❶ sous les plateaux littoraux où il est généralement captif sous les Marnes de Port-en-Bessin²⁸, de Port-en-Bessin à Grandcamp-Maisy, et ❷ le long de la vallée de l'Aure et des falaises littorales où il constitue un aquifère libre. Dans ce secteur, la piézométrie du Bajocien indique un drainage à la fois vers le Sud et la vallée de l'Aure, et vers le nord en direction de la mer.

Dans le secteur de Port-en-Bessin, en bord de mer, apparaissent de nombreuses sources et résurgences provenant du Bajocien, et surgissant sous le niveau des Marnes de Port-en-Bessin (j2a). Le Calcaire à Spongiaires est en effet un aquifère karstique.

Ces résurgences représentent l'exutoire de conduits karstiques en relation avec les directions de fracturation N30° qui affectent la région, et avec les pertes de l'Aure au niveau de Bayeux et de Maisons. Les eaux de l'Aure inférieure se perdent à Fosse-Soucy et ressurgissent sur la cale du port de Port-en-Bessin ou sur l'estran à l'Est de l'agglomération, après un trajet souterrain de 3 kilomètres.

Les Argiles à poissons (Toarcien) forment le substratum de la nappe bajocienne. L'ensemble des calcaires du Toarcien, de l'Aalénien et du Bajocien représente une épaisseur d'environ 30 mètres.

Les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère Bajocien sont généralement meilleures dans les vallées ou les flancs des vallées, que sur les plateaux, en raison d'une plus

²⁷ Atlas hydrogéologique numérique du Calvados – volet quantitatif – Octobre 2007 – Rapport RP 55672-FR, p. 40

²⁸ Sauf dans certains secteurs, comme celui d'Englesqueville à Seicqueville-en-Bessin, où un horst rehausse les terrains du Bajocien jusqu'à l'affleurement.

forte densité de fractures en bordure de plateau et dans les vallées (cf. Tableau 25). L'intensification de la fracturation dans les premiers mètres du sol, due aux phénomènes de cryoturbation notamment au Quaternaire, améliore également très sensiblement l'efficacité de la recharge.

Aquifère	Lieu-dit	Débit (m ³ /h)
Bajocien	Vallée	100
Bajocien	Plateau	30

Tableau 25 : Productivité de l'aquifère bajocien en fonction de la localisation (d'après les informations figurant dans la notice de la feuille géologique de Grandcamp-Maisy)

L'aquifère bathonien dans ce secteur est représenté par le Calcaire de Saint-Pierre-du-Mont (Bathonien moyen), situé au-dessus des Marnes de Port-en-Bessin (j2a - Bathonien moyen). L'épaisseur du Calcaire de Saint-Pierre-du-Mont qui forme le plateau s'étendant depuis la pointe du Hoc jusqu'à Port-en-Bessin, atteint 45 m au maximum.

Les Marnes de Port-en-Bessin, d'une épaisseur d'environ 35 m dans ce secteur, forment une éponte semi-perméable, en raison de nombreuses failles et diaclases qui les parcourent. Le débit d'échange qu'elles permettraient entre les nappes du Bathonien et du Bajocien serait de l'ordre de 5 l/s/km² (évaluation C. Dassibat, C. Pareyn, P. Pascaud, 1976).

Dans ce secteur, l'aquifère bathonien est isolé du reste de l'aquifère bathonien (feuille de Bayeux-Courseulles) par la cluse de Port-en-Bessin, où n'affleurent que le Calcaire à Spongiaires du Bajocien et les Marnes de Port-en Bessin du Bathonien inférieur et moyen.

Le sud de la feuille de Grandcamp-Maisy correspond au cours EW de l'Aure, selon une des directions structurales qui longe la côte, dans ce secteur. Le plateau qui s'étend de Port-en-Bessin (Est de la carte) à Grandcamp-Maisy (ouest de la carte) comprend donc deux aquifères : ❶ l'aquifère inférieur (et principal dans ce secteur) formé de la partie calcaire du Toarcien, de l'Aalénien et du Bajocien (épaisseur : 30 m), captif sous les marnes bathoniennes et ❷ l'aquifère supérieur bathonien, libre et perché, d'environ 45 m d'épaisseur, au-dessus des Marnes de Port-en-Bessin (30 à 35 m d'épaisseur dans cette zone).

La zone reçoit en moyenne 771 mm de précipitations annuelles à Englesqueville²⁹, dont environ 243 mm s'infilte.

b) Feuille de Balleroy

Sur cette feuille, située au sud de la précédente, la nappe du Dogger se limite à l'aquifère bajocien (Malière et Calcaire à Spongiaires), puisque les terrains bathoniens

²⁹ Notice de la feuille géologique au 1/50 000 Grandcamp-Maisy (p.35)

ont été érodés. Dans ce secteur, les forages de Maisons captent le Bajocien et l'Aalénien (Malière) et produisent environ 50 m³/h pour le syndicat d'AEP de Maisons-Port-en-Bessin (cf. Tableau 26).

Localisation	Type	Géol	Profondeur	N° BSS	Débit	AEP
Maisons	Forage	Aalénien-	15 m	01184X0006	50 m ³ /h	Maisons-Port
Maisons	Forage	Bajocien	15 m	01184X0007	50 m ³ /h	Maisons-Port

Tableau 26 : Productivité de l'Aalénien et du Bajocien dans le secteur de Maisons

La forme du graphique des chroniques piézométriques est typique d'une nappe sous influence karstique, avec de très hautes et très rapides montées du niveau d'eau, suivies de tarissements également rapides vers un niveau de base très régulier.



Illustration 69 : Piézomètre de Maisons dans la nappe bajocienne (indice BSS : 01184X0021/S1)

c) Feuille de Bayeux-Courseulles

Dans ce secteur, le Bajocien est libre jusqu'au Nord-Est de Bayeux, en rive droite de l'Aure, suivant la limite des Marnes de Port-en-Bessin le long d'un accident qui remonte les couches du Bajocien le long d'une ligne allant approximativement de Saint-Vigor à Villiers-le-Sec. Au nord de cette ligne, le Bajocien devient captif (secteur de Ryes). Au sud de ce secteur, il est libre sur toute la rive gauche de la Seulles (secteur de Saint-Martin-des-Entrées).

En rive droite de la Seulles, l'aquifère bajocien est libre au sud de Tilly-sur-Seulles selon une ligne brisée reliant Bretteville-sur-Odon (au sud-ouest de Caen), Cheux, le nord de Fontenay-le-Pesnel, puis Audrieu, Carcagny, Martragny et Saint-Gabriel le long du plateau bathonien.

Par endroits, en rive droite de la Seulles, l'aquifère bajocien redevient libre en raison de rejets de failles (secteurs de Vaux-sur-Seulles à Saint-Gabriel, secteur d'Audrieu).

Dans sa partie captive, la productivité du Bajocien est extrêmement hétérogène comme le montre l'étude réalisée pour la « Gestion des ressources en eau de l'aquifère captif du Bajocien » (BRGM, 1989, 1994) et dont les principales données sont synthétisées dans le Tableau 27.

N° BSS	Profondeur (m)	Profondeur du toit du Bajocien (m)	Débit (m ³ /h)	T (m ² /s)	S (%)	Débit spécifique m ³ /h/m
01193X0189	70	40.5	52	1.0×10^{-3}	2.5×10^{-4}	5
01193X0196	73	40.5	faible			
01193X0197	73	42.5	faible			
01193X0198	73	38.3	faible			
01194X0166	79	50.5	20	9.0×10^{-5}	1.0×10^{-4}	0.6
01197X0129	73	41.5	12.5	1.0×10^{-4}	5.0×10^{-4}	1.15

Tableau 27 : Caractéristiques de forages du Bajocien sur la feuille de Bayeux-Courseulles

À l'inverse, dans cette formation, certains ouvrages sont déclarés avec des débits spécifiques dépassant les 100 m³/h/m. Dans sa partie libre, le niveau piézométrique varie entre les cotes altimétriques 100 m et 20 m à proximité de la zone de captivité. La Seules joue un rôle de drain.

Les amplitudes de fluctuations interannuelles peuvent dépasser la quinzaine de mètres comme le montre l'illustration 70, représentant l'historique de l'enregistrement du piézomètre de Martragny (N° 01192X0043).

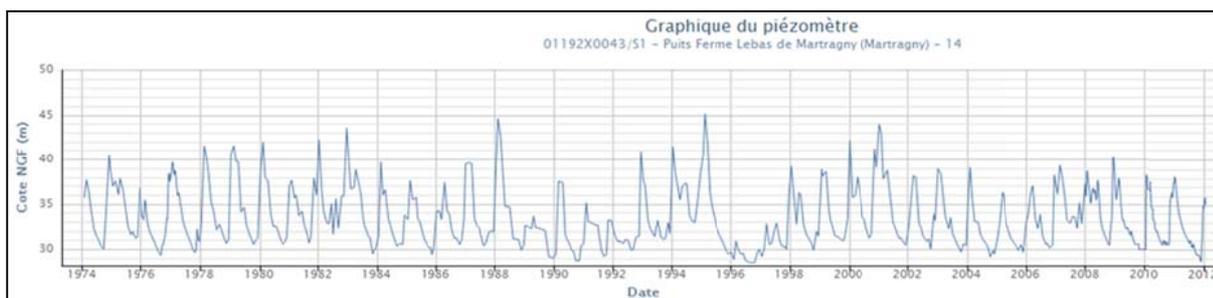


Illustration 70 : La nappe bajocienne au piézomètre de Martragny (indice BSS : 01192X0043/S1)

Le piézomètre de Saint-Martin-des-Entrées (au sud de Saint-Vigor sur la feuille de Bayeux-Courseulles), au centre la zone bajocienne concernée par le projet, enregistre les variations les plus marquées du département caractérisant un milieu karstique (à l'exception du piézomètre de Saint-Pierre-de-Mailloc dans l'aquifère cénomaniens).

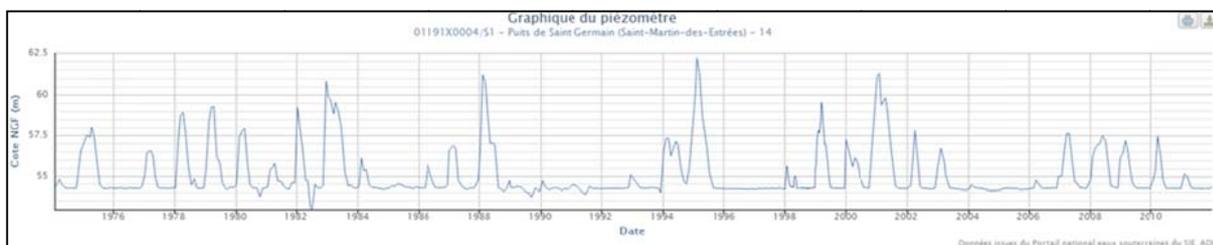


Illustration 71 : Piézomètre de Saint-Martin-des-Entrées (près de Bayeux) dans le Bajocien (indice BSS : 01191X0004/S1)

Les cycles annuels de recharge - décharge sont plus prononcés que dans l'aquifère du Bathonien.

On y constate par ailleurs la présence systématique de fluor dont la concentration peut dépasser les concentrations maximales admissibles pour de l'eau destinée à l'alimentation humaine. On note aussi des concentrations en fer non négligeables lorsque la nappe est captive.

Dans le secteur de Bayeux, les Sables de Saint-Vigor (Pléistocène) exploités dans plusieurs fossés (Sables de Bayeux) reposent directement sur les calcaires bajociens ; il y a donc communication entre les deux formations. De plus, les formations notées Fv-H sur les plateaux du secteur sont généralement perméables et permettent donc une bonne infiltration de la pluie efficace.

Le **Bathonien** sur la feuille de Bayeux-Courseulles est un aquifère libre dont le mur est constitué par les Marnes de Port-en-Bessin. C'est un aquifère calcaire et fracturé. On y distingue plusieurs niveaux séparés par des niveaux de caillasses, ce qui entraîne une anisotropie des caractéristiques hydrodynamiques (Calcaire de Caen, Calcaire de Creully, Calcaire de Blainville, Calcaire de Ranville, Calcaire de Langrune). Les valeurs de transmissivité de cet aquifère varient de 10^{-1} à 10^{-2} m²/s pour les ouvrages les plus productifs (cf. Tableau 28), alors que celles des coefficients d'emmagasinement fluctuent entre 10^{-1} et 10^{-3} . Les débits d'exploitation des ouvrages destinés à l'AEP sont compris entre 50 et 350 m³/h. Ces différences de productivités sont en relation avec les zones très fracturées, comme c'est le cas dans les basses vallées de la Mue et de la Seulles.

Au centre de la feuille de Bayeux-Courseulles, de nombreux indices karstiques ou liés à la fissuration affectent le relief du Bathonien : dolines indiquées sur la carte géologique par le symbole Y (Sommervieu, Pouligny, Cheux), vallées sèches et sources (Coulombs) ou résurgences.

Le niveau piézométrique général de la nappe du Bathonien varie de 50 m d'altitude, au Sud, jusqu'au niveau de la mer, au Nord, avec un gradient moyen de 1 % (en dehors des vallées) dirigé vers le Nord-Est. Les cours d'eau comme la Seulles et la Mue drainent la nappe. Son niveau piézométrique fluctue en fonction des variations annuelles et interannuelles de la recharge, et l'amplitude de ces fluctuations peut atteindre environ 20 m.

Le tableau suivant résume les principales caractéristiques de quelques ouvrages AEP :

N° BSS	Profondeur (m)	Débit (m ³ /h)	T (m ² /s)	S (%)	Débit spécifique
01193X0170	40	96	2.0×10^{-2}		47 m ³ /h/m
01193X0172	37	350	1.0×10^{-1}	1×10^{-2}	201 m ³ /h/m
01194X0140	44	324	4.0×10^{-3}	1.5×10^{-2}	81 m ³ /h/m
01194X0142	32	144	7.0×10^{-2}	5.0×10^{-3}	70 m ³ /h/m
01194X0145	41	171	4.0×10^{-2}	4.0×10^{-3}	184 m ³ /h/m

Tableau 28 : Caractéristiques du Bathonien sur la feuille de Bayeux-Courseulles

d) Feuille de Caen

Le Bajocien, séparé du Bathonien calcaire par des calcaires marneux qui sont l'équivalent latéral des Marnes de Port-en-Bessin, contient donc une nappe captive sur tout le territoire de la feuille. Il n'affleure qu'en amont de Caen, sous les alluvions de l'Orne. Le mur de la nappe du Bajocien est constitué par les Argiles à poissons du Toarcien, épaisses de 3 à 4 mètres.

Partout ailleurs, sur tout le territoire de la feuille de Caen, il est captif sous le Bathonien. D'ordinaire, les deux aquifères sont séparés par les « Bancs Bleus ».

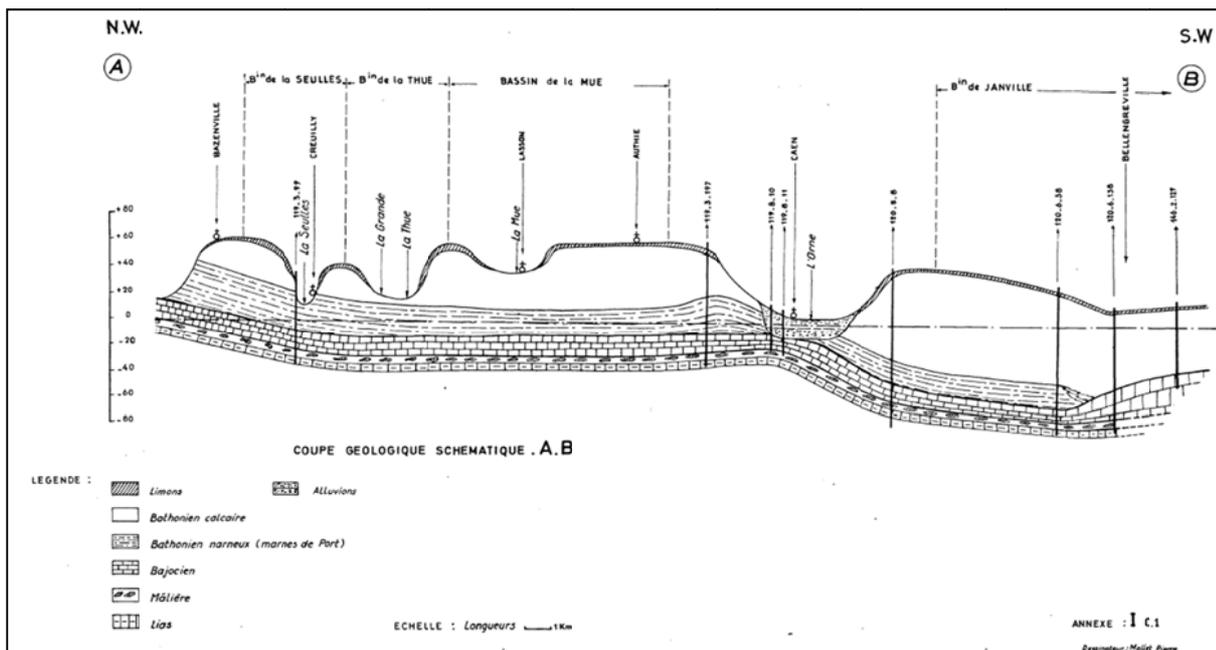


Illustration 72 : Incision du Bajocien par la vallée de l'Orne dans le secteur de Caen (d'après Journaux, Pareyn et Roux, 1966)

À l'est, les courbes piézométriques du Bajocien, tracées dans le cadre de l'Atlas du Calvados (Arnaud, 2007), s'interrompent selon un méridien approximatif Amfréville-Hérouvillette-Escoville-Sannerville – Frénoville. Cette interruption traduit seulement que les forages n'atteignent plus le Bajocien, trop profond dans ce secteur.

Au nord-est de ce secteur, le Bajocien est reconnu par sondages dans l'estuaire de la Seine, sous le même faciès. L'écoulement de la nappe du Bajocien se ferait donc plutôt vers le Nord-Est.

Le substratum dans le secteur des marais de la basse vallée de la Dives correspond à d'épais dépôts marneux du Callovien. Même si ces marnes sont plus sableuses dans le secteur des marais de la Dives, il n'existe aucun indice sérieux d'une alimentation de l'aquifère du Dogger par les marais de la Dives.

4.5.4. Limites des Marnes de Port-en-Bessin et de leurs équivalents latéraux

Dans le Bessin, le Bathonien débute par les Marnes de Port-en-Bessin, marnes gris foncé à bleuté avec intercalations de bancs calcaires très marneux, dont plusieurs bancs calcaires cohérents à la base (Couches de passage). La série atteint 30 à 40 m dans la région de Port-en-Bessin. En progressant du Bessin vers Caen, les faciès des Marnes de Port-en-Bessin passent à des calcaires marneux entre la Seulles et la Thue, puis à un calcaire tendre et friable à l'Est de la Thue, la Pierre de Caen³⁰. Dans la région de Caen, le Bathonien inférieur comprend : ❶ à la base un horizon de marnes et de calcaires marneux avec prédominance de marnes (équivalent des Marnes de Port-en-Bessin) ; ❷ au milieu un complexe de bancs de calcaires marneux bleutés et de lits plus argileux (bancs bleus de la Pierre de Caen) ; ❸ au sommet un calcaire jaune, renfermant des lits irréguliers de silex et, à sa partie supérieure, des silex gris clair (Calcaire de Rouvres). Une coupe synthétique du Calcaire de Caen est présentée en Annexe 21.

Au SE de Caen, au niveau de Tilly-la-Campagne, le faciès marneux du Bathonien inférieur disparaît.

En revanche, dans la région de Bellengreville, le Calcaire de Caen est bien en contact direct avec le Calcaire à Spongiaires du Bajocien, mais la base du Calcaire de Caen, plus marneuse, traduit bien encore une séparation entre l'aquifère du Bajocien et celui du Bathonien³¹.

Une discussion complémentaire concernant l'extension des marnes de Port-en-Bessin figure en page 133.

4.5.5. Piézométrie de la nappe du Dogger

La notice de la carte géologique au 1/50000^{ème} de Caen spécifie que l'aquifère du **Bathonien** devient captif à l'Est d'une ligne Amfréville – Sannerville, secteur à partir duquel il est recouvert par les argiles du Callovien.

D'après la notice géologique, la piézométrie du Bathonien montre les caractéristiques d'écoulement suivantes : ❶ en rive gauche de l'Orne, la nappe culmine entre Périers (feuille de Caen) et Mathieu (feuille de Bayeux) à une altitude d'environ +30 m NGF ; ❷ au Nord, de la ligne Mathieu-Périers-Saint-Aubin-d'Arquenay, elle s'écoule vers la mer ; ❸ au Sud, elle est drainée par l'Orne.

En rive droite de l'Orne, la partie libre de la nappe, ainsi que la partie captive située à l'Ouest d'une ligne Sallenelles –Ouest de Troarn est drainée par l'Orne. À l'Est de cette ligne d'une part, et d'une ligne Démouville-Cagny d'autre part, la vallée de la Dives

³⁰ Équivalent latéral de la partie supérieure des Marnes de Port-en-Bessin

³¹ O. Dugué, communication orale.

drainerait la nappe soit directement, soit par l'intermédiaire du bassin du Cours de Janville.

La piézométrie du Bathonien (d'après l'Atlas hydrogéologique du Calvados) indique un écoulement de la nappe bathonienne vers l'Est, en direction des marais de l'embouchure de la Dives, avec un gradient important et un dôme piézométrique présent entre la Dives et l'Orne. Il se pourrait que ce gradient plus fort soit l'indice d'un changement de faciès du Bathonien qui deviendrait plus marneux et donc moins perméable (ceci correspond à l'évolution connue du Bathonien en direction du sillon marneux situé à l'Est de la zone d'étude).

Les écoulements de la nappe à proximité des limites à niveau constant (mer, cours d'eau) donnent souvent lieu à des émergences (en général des sources de déversement ou de débordement) à débit particulièrement élevé quand elles correspondent à des zones fissurées. On peut noter entre autres la Fontaine Bouillon à Beuville (N°01201X0042 – 83 l/s en janvier 1967), la source de Ranville (N°01202X0086), la source du Service de Santé à Mondeville (N°01205X0174 à 100 l/s), la source des Frères d'Hérouville (N° 01205X0202 avec 58 l/s en janvier 1967), le lavoir de Giberville (N°01205X0210 avec 55 l/s en janvier 1967). Certaines d'entre elles sont plus probablement le résultat du recoupement de la surface de la nappe par la surface topographique.

On peut approximativement estimer les capacités de production de la vallée de l'Orne et de ses abords à plusieurs centaines de mètres-cubes par heure, celles des vallons secs, des petites vallées et de la vallée de la Dives (l'aquifère étant captif) à plus de 100 m³/h, celles des plateaux qui couronnent la rive occidentale de l'Orne, ainsi que celles des différents cours d'eau à une vingtaine de m³/h. La productivité du Bajocien et des assises calcaires inférieures n'est pas connue, car il n'est jamais exploité isolément du Bathonien.

a) Feuille de Villers-Bocage

Sur cette feuille, au sud de la feuille de Bayeux-Courseulles, seul le Bajocien est présent (en ce qui concerne le Dogger) en particulier dans les environs de Sainte-Honorine jusqu'au secteur d'Esquay-Notre-Dame. L'aquifère bajocien est alors drainé par la Guigne et par l'Odon, jusqu'à son embouchure dans l'Orne, en amont de Caen. Le Bajocien du secteur de Sainte-Honorine est isolé du reste de l'aquifère au Nord-Est par les formations paléozoïques du synclinal de May-sur-Orne.

Sur ce secteur, le Bajocien est représenté dans la vallée de l'Orne en amont de Caen, où le Calcaire à Spongiaires bajocien (J2S) affleure dans les versants des plateaux, par exemple dans la carrière de Feuguerolles.

Le secteur de l'aquifère Lias-Bajocien de Noyers-Bocage et Monts-en-Bessin - situé au Nord de la feuille - communique vers le nord avec celui de la feuille de Bayeux, ainsi que le secteur de Fontaine-Etoupefour et Louvigny par l'intermédiaire de la vallée de l'Orne. En dehors de ces deux secteurs, le Paléozoïque du synclinal de May-sur-Orne et le Briovérien compartimentent l'aquifère.

Dans ce secteur, seul un affleurement limité de Bathonien est présent dans la zone de la Croix des Filandriers (Esquay-Notre-Dame). Cet affleurement correspond au faciès des Bancs Bleus du secteur de Caen, que l'on aperçoit également en rive droite de l'Orne (May-sur-Orne). C'est aussi la zone du synclinal paléozoïque de May-sur-Orne.

Au Sud-Est de la feuille de Villers-Bocage, l'aquifère du Dogger de la zone du Cinglais correspond à la Malière et au Calcaire à Spongiaires bajocien (secteur de Bois-Halbout).

Le Tableau 29 présente la productivité de différents forages dans le secteur de Villers-Bocage.

N° BSS	Localité	Lieu-dit	Aquifère	Débit	AEP
01452X0003	Monts-en-Bessin	Chemin de Sallen	Trias – Jurassique sup et Briovérien	350 m ³ /j	Pré- Bocage
01453X0056	Evrecy	Les Longues Acres	Trias – Jurassique sup et Briovérien	250 m ³ /j	Evrecy
01454X0093	Amayé-sur-Orne	Les Douets	Jurassique	100 m ³ /j	Evrecy
01454X0070	Fontaine Etopefour		Jurassique	800 m ³ /j	Louvigny
01454X0071	Fontaine Etopefour		Jurassique		Louvigny

Tableau 29 : Productivité des forage dans le secteur de Villers-Bocage

b) Feuille de Mézidon

Sur la feuille de Mézidon, l'aquifère bajocien semble former un seul système, libre, avec celui du Bathonien, les formations de l'Aalénien au Bajocien (j1-2) étant directement surmontées par le Calcaire de Caen (j3ca) d'âge bathonien.

Au voisinage des formations paléozoïques, des « formations d'écueils » (JEC) existent au sein du Dogger, depuis l'ouest de Bernières-d'Ailly (Le Brueil, Olendon, Sassy) jusqu'à Potigny (Mont Joly). La présence des écueils paléozoïques a en effet généré des conditions de dépôts spécifiques induisant des variations lithologiques latérales.

La limite d'extension vers le Sud du faciès des Marnes de Port-en-Bessin sur cette feuille géologique a fait l'objet de discussions mais les travaux les plus récents (Dugué - 2006, reprenant les observations de Rioult - 1985) considèrent l'emplacement de la route nationale (RN 13) comme en constituant la limite approximative.

On notera qu'aux environs de May-sur-Orne, les « Bancs Bleus » sont cartographiés (j3B), alors que les mêmes affleurements de la feuille de Mézidon portent le libellé (j3Ca – Calcaire de Caen). Dans ce secteur, la base du Calcaire de Caen est plus argileuse et les « Bancs Bleus » sont encore présents, comme dans le secteur de la ville de Caen.

L'examen de la piézométrie montre que sur la feuille de Mézidon les charges des aquifères du Bajocien et du Bathonien sont quasiment identiques là où la piézométrie du Bajocien est disponible (l'Atlas hydrogéologique du Calvados ne fournit pas la piézométrie du Bajocien au-delà du méridien passant par les sources de la Muance - secteur de Saint-Sylvain). Plus à l'Est, le système aquifère du Dogger s'enfouit sous les Marnes d'Escoville (Callovien inférieur).

c) Feuille de Falaise

Dans ce secteur, au sud de la feuille de Mézidon, l'aquifère du Dogger est constitué par le Bajocien et le Bathonien qui sont en continuité au Nord-Est du synclinal de la Zone bocaine. Le système aquifère est alors drainé vers le Nord par le Laizon, et à l'Est par les vallées de la Dives et de ses affluents de rive gauche (Filaine, Meillon, Traine-Feuilles et Ante).

L'examen de la piézométrie du Dogger à la limite des feuilles de Falaise et de Vimoutiers montre que, si globalement l'aquifère s'écoule vers le Nord-Nord-Est, localement il est surtout drainé par la Dives. D'après la piézométrie tracée pour l'atlas hydrogéologique du Calvados, il existerait dans ce secteur un dôme piézométrique situé sous les marnes calloviennes, qui traduirait une alimentation de la nappe du Dogger libre par sa partie captive sous le Callovien. Des phénomènes de drainance sur de très longues périodes peuvent expliquer la présence de dômes piézométriques sous le Callovien.

Dans ce secteur, les formations calcaires bioclastiques jaunâtres du Bajocien supérieur de Fresné-la-Mère (j²) et les formations bathoniennes du Calcaire de Caen (10 m d'épaisseur), toutes deux remplacées sur les zones d'écueils par des formations bioclastiques grossières (jEc), ainsi que les formations calcaires bathoniennes de Rouvres (j3Ro) et de Bon-Mesnil (j3M) forment un bon aquifère, doté d'une bonne porosité et d'une fracturation bien développée au droit des vallées sèches et en particulier dans la vallée de la Dives.

Le Calcaire de Fresné-la-Mère est l'équivalent latéral du Calcaire à spongiaires (ou Oolithe blanche des anciens auteurs), que l'on trouve dans le Bessin.

Sur le secteur des écueils de la Zone bocaine, le Calcaire de Fresné-la-Mère passe latéralement aux calcaires à faciès de récifs (jEc) au voisinage des paléo-reliefs de la Zone bocaine. Ceci est également vrai du Calcaire de Caen situé stratigraphiquement au-dessus. Le Calcaire de Rouvres (j3Ro-Bathonien moyen) est l'équivalent latéral du Calcaire de Creully. D'une épaisseur maximale de 5 m, il se biseaute vers le Sud. Le Calcaire de Bon-Mesnil (j3M), calcaire blanc oolithique plus ou moins consolidé, pouvant passer à des sables oolithiques, possède une épaisseur de 30 m. C'est l'équivalent latéral du Calcaire de Blainville dans le secteur de Caen et du Calcaire de Sarceaux dans le secteur d'Argentan.

Contrairement à ce qui est observé sur la majeure partie de la zone d'étude, le Calcaire de Ranville (j3Ra – Bathonien sup) de 12 m d'épaisseur maximum et le Calcaire de Langrune (j3La), équivalent latéral du Calcaire de Fel dans le secteur de

Vimoutiers, présentent peu d'intérêt hydrogéologique sur la feuille de Falaise. D'autre part, les formations de caillasses sont peu développées sur la feuille de Falaise, leur épaisseur diminuant vers le sud.

Le tableau suivant donne les caractéristiques des principaux ouvrages de l'aquifère Bajo-bathonien sur la carte de Falaise :

Localité	N° BSS	Nature	Débit	AEP
Noron-l'Abbaye	01762X0044	Source	350 m ³ /j	Bocage Falaisien
Bernières-d'Ailly	01764X0001 1764X0002	Forages	1000 m ³ /j	Morteaux-Couliboef
Morteaux-Couliboef	01764X0012	Forage de Blocqueville	2000 m ³ /j	Falaise
Beumais	01764X0009	Forage de Cantepie	2000 m ³ /j	Falaise
Beumais	01764X0013	Source de Japigny	1000 m ³ /j	Falaise SE
Nécý	01767X0013	Source de la Bergerie	150 m ³ /j	Nécý-Brioux
Commeaux	01767X0014	Source du Bois de Commeaux	2000 m ³ /j	Commeaux

Tableau 30 : Productivité de forages captant l'aquifère du Dogger dans le secteur de Falaise

d) Feuille de Vimoutiers

Le sud-ouest de la feuille de Vimoutiers correspond à de vastes affleurements des terrains du Bajocien et du Bathonien basal difficiles à différencier (comme sur la feuille voisine de Falaise), qui constituent un aquifère libre et fissuré à proximité de zones d'écueils. Dans ce secteur, le Trias et le Lias (Toarcien) sont absents ou non décrits, mais pourraient exister dans des forages.

Les couches gréseuses du synclinal paléozoïque redressé ont formé une barre d'écueils de direction ESE-WNW, séparant l'aquifère Bajo-Bathonien en deux secteurs parallèles. À l'extrême sud-ouest de la feuille, des accidents, tels que ceux de la Faille Nord de Grande Gouffern, dirigés dans la même direction (ESE-WNW) compartimentent également l'aquifère Bajo-Bathonien, avec le compartiment Sud effondré.

Il n'est pas certain que cette faille permette aux flux souterrains de l'aquifère du Dogger de la traverser, depuis le secteur de Sées et de Falaise, du Sud vers le Nord.

Aucune donnée de piézométrie fiable n'existe pour ce secteur, mais il est probable que l'écoulement de la nappe se fasse selon la direction de la structure, c'est-à-dire vers le N-NW, la nappe étant drainée par la Dives. Elle est exploitée par des captages de sources ou par des puits de faible profondeur dans la vallée et par des forages profonds de 40 à 50 m environ en plateau.

Les captages AEP principaux sont : ❶ le captage de source à Aubry-en-Exmes (01775X0012) ; ❷ le captage du syndicat de la Fontaine-les-Bassets (01775X0013) ; ❸ le puits de Tournai-sur-Dive pour l'alimentation en eau de la commune de Villedieu-lès-Bailleul ; ❹ le puits de la commune de Trun (01775X0015) ; ❺ le forage de la commune de Chambois (01776X0010) ; ❻ et le forage de la commune de Neauphe-sur-Dive (01775X0001).

e) Feuille de Sées

Sur ce secteur situé au Sud de la feuille de Vimoutiers, la limite sud du domaine d'étude est atteinte. Le Bajocien y est très réduit sinon absent. Dans ce secteur, il est envisagé comme un seul système aquifère avec le Bathonien. Les calcaires bajo-bathoniens possèdent une puissance de 60 m dans la boutonnière du Merlerault (Est de la feuille), d'environ 30 m au sud vers Sées, et de moins de 30 m vers Courtomer (extrême sud-est de la feuille), pour devenir quasiment nulle sur le paléo-écueil et les grès paléozoïques de Chailloué. Il est d'ailleurs possible que l'aquifère, dans le secteur du « panneau de Chailloué », suive un fonctionnement relativement indépendant, isolé entre la faille du Merlerault au Nord et celle de Sées au sud, et d'autre part par la flexure de direction SW-NE de Nonant (cette hypothèse reste à confirmer).

D'après une étude³² effectuée pour le Conseil Général de l'Orne, une partie de la nappe se dirigerait depuis le secteur de Sées vers le Nord-Ouest et le secteur d'Argentan, où elle serait fortement déprimée en raison de son utilisation, d'après la piézométrie. Il est difficile de savoir avec les données bibliographiques disponibles si la boutonnière du Merlerault fonctionne comme une zone d'alimentation (dôme piézométrique), ou comme un exutoire local de la nappe bajo-bathonienne sous-pression, sous le Callovien, et qui donnerait lieu à des sources alimentant la zone amont de la rivière Ure.

Il est possible que la partie de l'aquifère située au Sud de la boutonnière du Merlerault jusqu'aux sources de l'Orne (le plus souvent sous couverture du Callovien) s'écoule selon une direction SE-NW (ou même de l'Est vers l'Ouest) et soit drainée le long de l'Orne en direction d'Argentan. La situation de ce secteur est d'ailleurs encore plus complexe, car la faille de Sées, également appelée « faille du Moulin de la Marche » n'est pas étanche et permet le passage du flux de l'aquifère bathonien vers les trois captages de Sées, sous couverture du Callovien, selon une direction Nord vers Sud. Plus au Sud l'aquifère est drainé de l'Est vers l'Ouest par l'Orne.

³² *AQUIFERE BATHONIEN DE LA REGION D'ARGENTAN-SEES MODELISATION MATHEMATIQUE POUR LA GESTION DE LA RESSOURCE – Tome 1 Rapport de Synthèse - BAUMANN CONSULTING S.A.R.L. 249/98/Ra.130B – Janvier 2001*

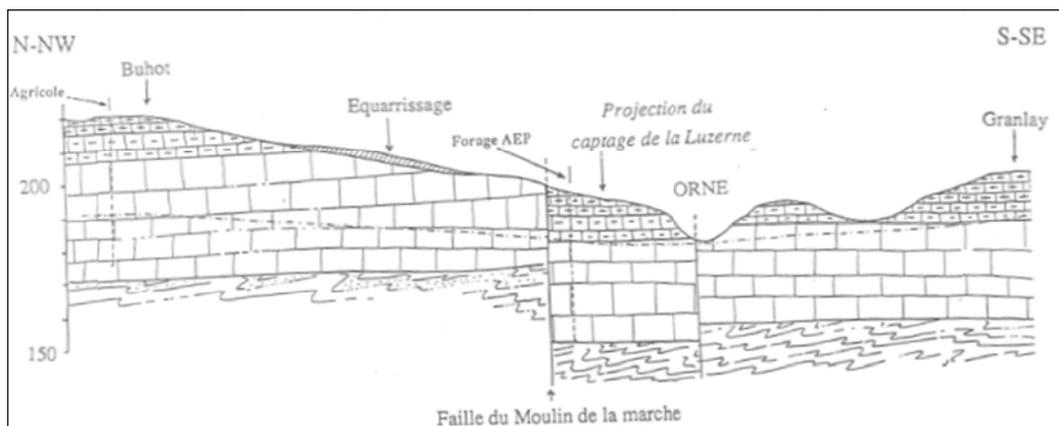


Illustration 73 : Aquifère du Bathonien, compartimenté par la faille (E-W, puis N-S) du Moulin de la Marche (rapport Geotherma, 1993)

Une autre partie de l'aquifère, située au Nord d'une ligne Merlerault-Sai qui pourrait correspondre à une ligne de flexure SSE-NNW, connaîtrait des écoulements dirigés vers le Nord-Ouest : l'écoulement de la nappe pourrait donc s'effectuer sous les affleurements créacés du secteur de Silly-en-Gouffern, au travers de la faille de Grande Gouffern.

L'étude du Conseil Général de l'Orne indique en effet que les quelques niveaux piézométriques relevés au sud de la faille de Grande Gouffern (secteur de Crennes et de Villers) sont plus élevées que celles relevées immédiatement au nord de la faille (secteur de Miguillaume, et de Vorché sur la feuille de Falaise). On remarquera cependant que le secteur de Vorché et surtout de Villers se situe vers l'extrémité occidentale de la faille de Grande Gouffern et à proximité immédiate des formations paléozoïques du synclinal de la Zone bocaine. Il n'est pas certain que des débits significatifs (pour l'étude) passent à travers la faille dans ce secteur, très à l'écart de la plus grande masse de l'aquifère. Rappelons en effet que le constat d'un écart de charge ne signifie pas pour autant qu'il existe un écoulement, l'écart constaté pouvant signifier au contraire l'existence d'une limite étanche ou de très faible perméabilité.

Dans le secteur de Mortrée (sud-ouest de la carte), les calcaires du Bathonien moyen et supérieur buttent sur la formation argilo-calcaire du Callovien, provoquant des sources de débordement au droit du château d'O (N°02135X0009) au débit de 100 m³/h (débit spécifique de 120 m³/h/m en cas de pompage). Dans le secteur de Sées (Sud de la carte), les calcaires bathoniens sont moins productifs car le bassin d'alimentation est peu important du fait d'un fractionnement EW qui isole des compartiments ; trois ouvrages principaux sont bien connus : « Route de Rouen » (N° 02136X0001 à 50 m³/h), « Route de Macé » (N° 02136X0004 avec 40 m³/h) et « La Luzerne » (N° 02137X0011 avec 50 m³/h). Il est très vraisemblable que la source de l'Orne soit une source de débordement, liée à la fracturation EW.

Dans le Secteur de Nonant-le-Pin – Le Merlerault (au centre-est de la carte), la nappe calcaire est libre en raison d'une faille qui a remonté les terrains du compartiment Nord qui ont par ailleurs une bonne productivité (SIAEP du Merlerault avec les forages

N° 02133X0005 et 02133X0007 à 100 m³/h, et celui de La Frestinière à Saint-Germain de-Clairefeuilles - N° 02133X0010) en bordure de nappe captive sous le Callovien (capacité de production de 100 m³/h).

Les niveaux calcaires du Jurassique sont parfois le siège de réseaux karstiques donnant lieu à des pertes et des résurgences. Des pertes sont connues dans les calcaires du Bathonien au Nord-Ouest de Montmerrei (secteur de la Villette), dont la résurgence se situe à environ 1.5 km au NW de la perte, renforçant le cours de la Tricoire. Des pertes sont identifiées sur la Sennevière, entre Bonain et son embouchure dans l'Orne. L'Ure alimenterait la nappe légèrement en amont de Sai.

D'après la transmissivité des ouvrages du Bathonien dans le secteur de Sées³³ et l'épaisseur mouillée de l'aquifère, les perméabilités du Bathonien ont été évaluées comme indiqué dans le Tableau 31.

Secteur	Lieu-dit	N° BSS	Perméabilité (m/s)	S (%)
Vallée de l'Orne autour d'Argentan	Le Prieuré	02124X0035	8×10^{-4}	$1.5 \text{ à } 3 \times 10^{-2}$
	Vingt Acres	02124X0014	7×10^{-4}	
	Le Pré Clos	02124X0021	6.5×10^{-4}	2.1×10^{-3}
	La Genterie			1.6×10^{-3}
Est de Mortrée	La Petite Mortrée	02135X0007	7.5×10^{-4}	
Autour et à proximité de ces 2 zones			$1 \text{ à } 2.5 \times 10^{-4}$	
Bordure sud de l'aquifère	Le Buot	02135X0023	5×10^{-5}	
Sous couverture du Callovien	Gare de Surdon		7×10^{-6}	1×10^{-5}
	St-Hippolyte		3.5×10^{-5}	

Tableau 31 : Caractéristiques du Bathonien dans le secteur de Sées

f) Feuille d'Argentan

Le secteur d'Argentan correspond essentiellement à une zone d'exutoire de la nappe du Dogger en provenance du secteur de Sées. L'Orne draine la nappe vers son débouché sur le domaine Briovérien, donnant à la nappe du Dogger une allure déprimée au voisinage d'Argentan (cf. Illustration 74).

Les calcaires jurassiques peuvent être très productifs : 180 m³/h pour 2.40 m de rabattement à l'AEP d'Ecouché (02123X0001), 100 m³/h pour 5.85 m de rabattement et 109 m³/h pour 1.40 m de rabattement aux forages F6 et F7 (N° 02123X0018 et 20) du syndicat de Rânes-Ecouché ; 205 m³/h à Argentan (Motta-France, N° 02124X0003), et 130 m³/h à Sarceaux (F3, N° 02124X0014). Mais, la fissuration du calcaire étant très variable, il est possible d'obtenir des productions moindres (75 à 80 m³/h à l'AEP d'Argentan et 30 à 55 m³/h pour d'autres forages d'Argentan).

³³ AQUIFERE BATHONIEN DE LA REGION D'ARGENTAN-SEES MODELISATION MATHEMATIQUE POUR LA GESTION DE LA RESSOURCE – Tome 1 Rapport de Synthèse - BAUMANN CONSULTING S.A.R.L. 249/98/Ra.130B – Janvier 2001

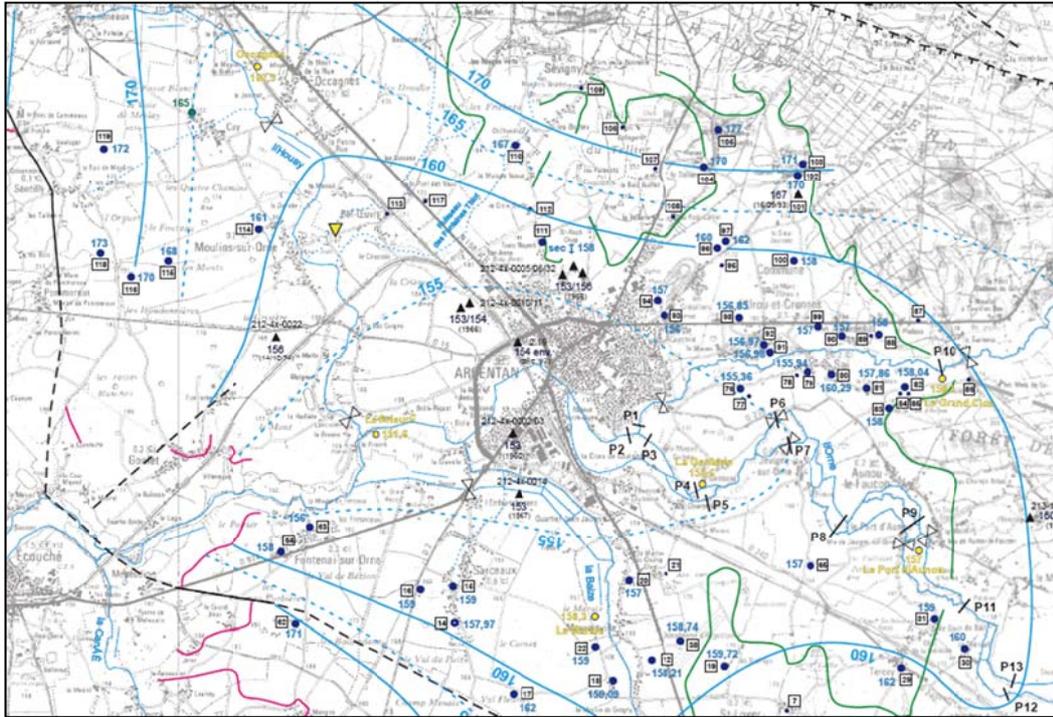


Illustration 74 : Piézométrie du Dogger dans le secteur d'Argentan (rapport Conseil Général de l'Orne, Pivette Consultant et al., 2001)

g) Feuille de Livarot

C'est à proximité de la limite occidentale de la feuille de Livarot (feuille de Mézidon) que l'aquifère du Dogger (Bathonien) est rendu captif par des épaisseurs importantes de formations argilo-marneuses du Callovo-Oxfordien.

L'aquifère captif du Bathonien n'est que très modestement sollicité sur la partie ouest de cette feuille.

4.6. FORMATIONS AQUIFÈRES DU CALLOVO-OXFORDIEN

Les terrains du Callovo-Oxfordien (Jurassique moyen et supérieur) n'intéressent que les feuilles géologiques à 1/50 000^{ème} situées les plus à l'Est du secteur d'étude : celles de Caen et Lisieux au Nord-est, Mézidon et Livarot au centre-est, et Vimoutiers et Sées au Sud-est.

a) Feuille de Caen

Sur la feuille de Caen, au-dessus des Argiles de Lion-sur-Mer (Bathonien terminal) qui débutent la grande séquence terrigène développée à partir du Callovien, se déposent les marnes calloviennes : Marnes d'Escoville et Marnes d'Argences, Marnes à *Belemnopsis latesulcata*, Marnes sableuses et Calcaires de Crèvecœur, puis les

Marnes de Dives (dont les Couches du Mauvais Pas) du Callovien supérieur. À l'Oxfordien, se déposent les Marnes de Villers (J4), un ensemble (J5) constitué de l'Oolithe ferrugineuse de Villers, des Argiles à *Lopha gregarea* et du Calcaire d'Auberville (Dugué, 1987), et enfin un ensemble (J6) formé de l'Oolithe de Trouville et du Calcaire corallien de Trouville (Coral rag), ces deux derniers ensembles étant limités au secteur Nord-Est de la feuille, entre Houlgate et Villers-sur-Mer (secteur des Vaches noires). Aucun de ces niveaux ne constitue un aquifère.

b) Feuille de Lisieux

Sur l'ensemble de la feuille géologique de **Lisieux** (à l'Est de celle de Caen et au Nord de celle de Livarot), le soubassement quasi imperméable de l'aquifère du Jurassique supérieur est constitué par l'Oxfordien argileux des Argiles de Villers (J⁴) (correspondant au niveau J^{4d-5v} de la feuille de Livarot).

Pour ce qui concerne le Jurassique supérieur, un seul aquifère caractérise ce secteur : **l'aquifère de l'Oxfordien moyen coralligène** (J⁶). Il forme de nombreuses sources de déversement au contact des Marnes de Villers, en particulier au sud et en amont de la faille Villers-Reux.

Elles sont captées pour les agglomérations de Trouville-Deauville et de Dives-sur-Mer. Certaines (ou certains groupes de sources) produisent de très forts débits : 10 000 m³/j (415 m³/h). Cette couche se biseaute cependant vers le centre de la feuille (érosion post-jurassique) pour disparaître complètement entre les localités de Branville et Druval, puis réapparaître en amont de Villers (au NW de Saint-Pierre-Azif).

Sur cette feuille, deux failles majeures de direction globale WNW-ESE découpent la stratigraphie : celle de Villers-Reux au nord et d'Hermival-les-Vaux au Sud, formant ainsi trois compartiments dont chaque élément septentrional est relevé par rapport au compartiment méridional adjacent.

Les rejets sont de l'ordre de 55 m à Reux et 40 m à Hermival. Ces rejets peuvent localement modifier l'écoulement des aquifères.

Ces calcaires sont surmontés par les Sables de Glos (J^{5G}) de l'Oxfordien supérieur, qui atteignent en moyenne 25 m d'épaisseur. Ces sables présentent une évolution latérale de faciès connue sous le nom d'argiles de Villerville qui peuvent atteindre une dizaine de mètres d'épaisseur.

Sur la majeure partie de la feuille géologique, les Sables de Glos sont en contact direct avec les sables albiens sus-jacents. Dans le quart NE de la feuille, ils sont surmontés – lorsque leur faciès est présent – par les marnes du Kimméridgien qui les séparent des sables aptiens (n⁵) dans la vallée de la Calonne. En allant vers le SW, le Kimméridgien s'amenuise progressivement et finit par disparaître à l'Ouest de Coudray-Rabut et au sud de la faille de Blangy.

c) Feuille de Mézidon

Sur la feuille de **Mézidon** (cf. Annexe 20, cartes 10 et 11), le Jurassique supérieur n'est présent que sur sa bordure orientale dans le secteur de la vallée de la Dives, et uniquement par des faciès marneux. Aucun aquifère du Jurassique supérieur n'y est donc présent.

On y trouve à la base les Marnes d'Escoville (J4E) du Callovien inférieur, épaisses de 12 à 15 mètres, qui reposent sur le Calcaire de Langrune, avec parfois des restes des Argiles de Lion-sur-Mer (au nord d'Argences à la limite nord de la carte). Elles sont surmontées par les Marnes et calcaires marneux pyriteux bleutés très fossilifères d'Argences (J4A) qui terminent le Callovien inférieur, peu épaisses (2,5 à 3,5 m). Elles sont elles-mêmes surmontées des Marnes à *Belemnopsis latesulcatus* (J4B), qui sont des marnes bleues pyriteuses peu fossilifères, puis jaunes, riches en gypse, plus riches en bélemnites, ammonites et nautilus. Leur épaisseur est de l'ordre de 10 à 15 mètres. Au-dessus d'elles, se trouve la formation des Marnes sableuses et calcaires de Crèvecœur-en-Auge (J4Cr), qui sont des marnes silteuses et pyriteuses, et des alternances marno-calcaires silteuses à brachiopodes appartenant au Callovien moyen.

d) Feuille de Livarot

Dans le secteur occidental de la **feuille de Livarot** (située à l'Est de celle de Mézidon et au Nord de celle de Vimoutiers), c'est-à-dire dans les secteurs des vallées de l'Oudon et de la Vie, le Callovo-Oxfordien (J⁴) argilo-marneux est épais d'environ 100 à 150 mètres (sauf au sud-est de Mittois où il n'est que de 65 m) et n'est pas aquifère. C'est en particulier le secteur des marnes de Dives et de Villers (J^{4d-5v}), du Groupe des Marnes des Vaches Noires, surmontant les Marnes et calcaires de Crèvecœur-en-Auge (J^{4Cr}). Ce secteur correspond à la vallée d'Auge.

Le Bathonien captif est présent sous le Callovo-Oxfordien mais il est très peu productif du fait de son caractère plus marneux vers l'Est de la zone d'étude. Il peut être absent ou très réduit dans les secteurs d'écueils paléozoïques (secteur de Mittois et Boissey).

L'aquifère du Jurassique supérieur est représenté par les calcaires de l'Oxfordien **moyen** (J^{5L}), affleurant dans les parties aval des vallées de la Touques et de l'Orbiquet, ainsi que dans la partie amont de la vallée de l'Algot où il fournit d'importants débits : ce sont les Calcaires oolithiques de Saint-Aubin-sur-Algot, le Calcaire oolithique de Lisieux, le Calcaire corallien de Lisieux et le Calcaire de Blangy. Leur épaisseur dépasse 40 m à Lisieux, mais s'amenuise pour se biseauter selon une ligne approximative Lécaude - Le Mesnil Simon – Le Mesnil Germain – Sainte-Foy-de-Montgommery vers le sud-ouest.

Ces calcaires n'existent pas en aval de cette dernière localité dans la vallée de la Vie, où on trouve les termes argilo-marneux du Callovien. En revanche, les calcaires de l'Oxfordien moyen constituent un aquifère important sur la feuille de Lisieux, au nord.

N° BSS	Localisation	Profondeur	Débit (m3/h)	Transmissivité
01473X0104	Beuvillers	33 m	130	4.16 x 10 ⁻² m ² /s
01473X0015	Beuvillers		220	
01473X0024	(Sopad/Nestlé)		50	
01473X0102	Saint-Désir		100	
01473X0003-0004-0111	Lisieux		20 à 35	1 x 10 ⁻² m ² /s
01473X0012-0013-0113	Lisieux		45 à 50	2.9 x 10 ⁻² m ² /s

Tableau 32 : Caractéristiques de l'aquifère des calcaires Oxfordiens

Dans la partie aval de la Touques, de l'Orbiquet et de la Courtonne, la nappe de l'Oxfordien moyen s'équilibre avec le niveau de ces rivières.

Ces calcaires sont surmontés par les sables de Glos (J^{5G}) de l'Oxfordien supérieur, qui peuvent atteindre 30 m d'épaisseur et sont localement cimentés en grès. Ils affleurent dans la partie nord-est de la feuille (vallée de la Courtonne et de l'Orbiquet) et se biseautent vers le sud-ouest par une limite d'érosion anté-albienne, le long d'une ligne approximative La Houblonnière - Saint-Cyr-du-Ronceray, passant latéralement aux Calcaires à Astarte vers le Sud-Est. Ils sont aquifères mais non exploités en raison de la finesse de la taille des grains.

Les Sables de Glos sont eux-mêmes surmontés dans le nord-est de la feuille par les sables aptiens (n⁵) de la vallée de la Courtonne, sur le cours inférieur de la vallée de l'Orbiquet et de la Touques. Leur épaisseur est de 4 à 10 m. Ils peuvent localement être surmontés d'argiles (Argiles de Gault).

e) Feuille de Vimoutiers

Sur la feuille de **Vimoutiers**, au Nord de celle de Sées, la forte puissance du Callovien marno-argileux (J³⁻⁴) recouvre d'abord l'aquifère du Dogger (essentiellement représenté dans ce secteur par le Calcaire de Blanc-Mesnil, noté J^{2b2}).

L'aquifère du Jurassique supérieur, quoique peu utilisé dans ce secteur, est formé par les calcaires de l'Oxfordien : ❶ à la base, le calcaire gréseux bioclastique du Roussier de Gacé (J^{4R}) de l'Oxfordien inférieur ; ❷ puis le calcaire du Grouais (J⁵) de l'Oxfordien moyen.

Ils sont tous deux captés dans les vallées de la Touques et de la Vie. Cet aquifère est capté en deux points par des sources : dans le bassin de la Vie à Vimoutiers (01773X0015), en complément des sources du Cénomaniens, et dans le bassin de la Touques sur la commune de Gacé (01778X0002), pour le syndicat de la région de Gacé.

Ces niveaux se biseautent vers l'Ouest de la feuille, le Calcaire de Grouais ne dépassant guère la rive droite de la Vie, tandis que le Roussier de Gacé se prolonge un peu plus vers l'Ouest et atteint la rive droite de la rivière Monne.

L'Oxfordien supérieur (J⁶), représenté par le Calcaire à Astarte, est très discret dans ce secteur.

Le troisième aquifère du secteur, et le plus exploité, est celui de la craie cénomaniennne (c1-2), dont le substratum est formé des niveaux argileux de la glauconie de base.

f) Feuille de Sées

Sur la feuille de **Sées**, le Callovien moyen (J3b), quand il est calcaire, peut se révéler aquifère, mais il produit généralement de très faibles débits.

En revanche, les niveaux calcaires de l'Oxfordien inférieur et moyen constituent de véritables aquifères productifs ; ils demeurent cantonnés à la partie nord-est de la feuille : ce sont les aquifères de Roussier de Gacé de l'Oxfordien inférieur (J4R) et celui de Grouais de l'Oxfordien moyen (J5).

Le calcaire du Roussier de Gacé joue le rôle de drain des formations supérieures (calcaire de Grouais notamment), en fonction de sa fracturation. Ce rôle a été mis en évidence dans la vallée de la Touques à l'aval de Gacé à partir de la commune de Mardilly (cf. notice de la feuille géologique de Sées). Il n'est exploité que par captage de sources (source de Cisai-Saint Aubin avec 40 m³/h).

Il est possible qu'il existe des conduits karstiques dans les calcaires de l'Oxfordien aux alentours d'Orgères, des circulations souterraines existant dans ces calcaires un peu plus à l'est (feuille de l'Aigle).

4.7. FORMATIONS AQUIFERES DU CRETACE

Dans le secteur de l'étude, les aquifères du Crétacé sont constitués principalement par l'aquifère de la craie cénomaniennne, et de façon secondaire par le niveau sableux de l'Albien sous-jacent.

L'aquifère de la Craie à strictement parler contient une nappe libre qui peut devenir localement semi-captive là où le niveau piézométrique dépasse la cote de la base des argiles à silex, formation issue de l'altération et recouvrant la craie sur les plateaux³⁴.

L'écoulement de la nappe de la craie est tout à la fois celui d'un milieu poreux, de fissures et karstique. L'infiltration des eaux superficielles a lieu principalement par

³⁴ La formation des argiles à silex présente en pratique une lithologie très hétérogène : contrairement à ce que le terme « argiles » peut laisser supposer, cette formation ne joue pas systématiquement un rôle « imperméable » en recouvrement de la craie. Les nombreuses sources émergeant en bordure de la craie cénomaniennne témoignent par exemple d'une recharge importante de la craie.

l'infiltration des eaux de pluie à travers le recouvrement des argiles à silex et la zone non saturée (ZNS). Elle a lieu également par des cavités karstiques affleurantes (bétoires), ce qui génère une vulnérabilité importante de cet aquifère³⁵.

4.7.1. Description par secteurs

a) Feuille de Caen

Sur la feuille de **Caen**, au-dessus des marnes du Callovo-Oxfordien et sur les hauteurs de Dives-sur-Mer et de Villers-sur-Mer, l'aquifère fissuré et perché de la craie cénomanienne (c2) est séparé du Callovo-Oxfordien par le niveau de la glauconie de base (n7-c1), pas toujours facilement observable. Cet aquifère donne lieu à de nombreuses sources qui sont captées pour l'AEP. On notera les sources de Martine et Bonet à Grangues pour l'alimentation de Cabourg, et les captages des Mioques à Gonnevillle pour l'AEP de Houlgate (respectivement 150 000 et 350 000 m³/an).

b) Feuille de Lisieux

La feuille géologique à 1/50 000^{ème} de Mézidon (au Sud de celle de Caen) ne comprend pas de terrains crétacés. Mais sur la feuille de **Lisieux** située à l'Est de celle de Caen, les sables albiens (c¹), discordants sur les différentes auréoles du Jurassique supérieur, forment un petit aquifère secondaire, situé soit ❶ au-dessus de la formation des sables de Glos, dans le secteur de la vallée de la Touques et de la Paquine, soit ❷ au-dessus du Kimméridgien³⁶ argilo-marneux dans le quart nord-est de la feuille.

L'épaisseur de ces sables albiens se réduit vers le sud, passant de 30 à 40 mètres en Seine-Maritime, à 20 mètres au Nord de la feuille (Calonne), puis à 16 mètres dans le secteur de Lisieux et à 12 mètres au Sud-Ouest de Pont-l'Évêque (vallée de l'Yvie).

Dans ce secteur, l'aquifère crétacé principal reste la nappe du Cénomaniens (c²), épaisse d'environ 35 à 40 m, dont le substratum est formé par la glauconie de base et par l'Albien.

c) Feuille de Livarot

Plus en amont, dans le secteur de la feuille géologique de **Livarot**, les aquifères crétacés sont constitués :

- ❶ dans le nord-est de la feuille par les sables aptiens (n⁵) de la vallée de la Courtonne, mais que l'on distingue aussi à l'affleurement dans les vallées du cours inférieur de l'Orbiquet et de la Touques. Leur épaisseur est de 4 à 10 m. Ils

³⁵ (AESN, 2005).

³⁶ Le Kimméridgien (J⁸), uniquement présent dans la partie nord-est de la feuille, est essentiellement argileux et marneux et ne constitue pas un aquifère. Il sert de substratum au petit aquifère des sables albiens qui le surmontent.

peuvent localement être surmontés d'argiles (Argiles de Gault), mais celles-ci sont souvent masquées par la solifluxion de la glauconie de base (n⁶).

- ② et dans la plus grande partie de la feuille, de l'aquifère de la **craie cénomanienn**e (c¹). C'est un aquifère de fissures, libre et perché, séparé de l'aquifère du Jurassique supérieur (Oxfordien) par la glauconie de base (n⁶), qui forme ainsi le substratum argileux (2 à 10 m d'épaisseur) de l'aquifère de la craie.

L'épaisseur de la craie décroît d'Est en Ouest (de 70 m à Meulles, jusqu'à 20 m sous les plateaux du centre).

De nombreuses sources naissent le long des pentes dans les versants des vallées, au-dessus de la glauconie, et donnent naissance à de petits ruisseaux : ceci est vrai pour toute la rive droite de la Vie et pour son cours supérieur en rive gauche. Pour la Touques, cela est vrai de tout son cours supérieur jusqu'à Prêtréville où la Touques devient localement en équilibre avec la nappe du cénomanien.

d) Feuille de Vimoutiers

Sur cette feuille, l'aquifère principal (à part l'aquifère du Dogger au sud-ouest de la feuille) est celui de la craie cénomanienne (c¹⁻²), libre et perché au-dessus des niveaux argileux de la glauconie de base épaisse de 5 à 10 mètres. Souvent profonde sous les plateaux, cette nappe est essentiellement captée par des sources, qui sont souvent importantes, tout le long des vallées de la Vie et de la Touques.

C'est un aquifère possédant à la fois une porosité d'interstices et de fissures, où la productivité des ouvrages de captage est liée à l'importance de la fissuration, celle-ci se développant surtout dans les vallées.

e) Feuille de Sées

D'après la notice de la carte géologique au 1/50 000^{ème} de Sées, l'aquifère de la craie cénomanienne ne revêt pas d'importance dans ce secteur.

En effet, les formations crétacées ont été fortement morcelées par l'érosion et ne subsistent plus qu'à l'état de buttes-témoins, ou dans des secteurs surbaissés par faille et flexure. Le secteur de la forêt de Petite Gouffern représente une de ses extensions majeures.

L'épaisseur de la craie cénomanienne, en général fortement altérée, ne dépasse généralement pas 20 mètres. À la maison forestière de la route Madame, son épaisseur est cependant d'environ 40 mètres, la Glauconie de base ayant été reconnue à 50 m de profondeur.

4.8. MODÈLE CONCEPTUEL

La collecte des données et l'analyse détaillée conduite lors de la synthèse hydrogéologique permettent de proposer un modèle conceptuel qui servira de base à l'élaboration du modèle hydrogéologique. Les points principaux sont exposés ci-après :

- l'aquifère dit du « Bajocien » dépasse le simple cadre de l'étage géologique du Bajocien. Il intègre en effet les formations calcaires de l'Aalénien sous-jacent et du Toarcien, dont la base constituée par les Argiles à poissons constitue le substratum de l'aquifère ;
- l'aquifère dit du « Bathonien » ne regroupe qu'une partie des formations présentes dans le Bathonien. Les Argiles de Lion (*Cornbash*) à son sommet sont en effet rattachées aux marnes callovo-oxfordiennes sus-jacentes, tandis que les marnes du Bathonien moyen et inférieur (dont notamment les Marnes de Port-en-Bessin) sont à individualiser dans un ensemble distinct afin de bien marquer la séparation observée entre les aquifères du Bajocien et du Bathonien ;
- l'aquifère du Bathonien regroupe une alternance de bancs calcaires (Calcaire de Creully, Calcaire de Langrune, Calcaire de Blainville,...) et de niveaux de caillasses (Caillasse de la Basse-Ecarde, Caillasse de Fontaine-Henry,...) : cette alternance est susceptible de générer une certaine compartimentation verticale de l'aquifère du fait de la moindre perméabilité des caillasses. La description des logs géologiques des forages existants et la connaissance des niveaux effectivement crépinés par les ouvrages de production demeurent cependant globalement insuffisantes pour permettre leur intégration dans le modèle hydrogéologique. Cette opération est de plus difficilement envisageable pour la construction et le calage d'un modèle *ex nihilo* compte tenu du nombre de couches supplémentaires qui seraient à prendre en compte.
- le modèle hydrogéologique ayant parmi ses objectifs une bonne représentation des échanges entre les nappes et les cours d'eau, la représentation des débits en cours d'eau est un aspect essentiel du modèle (en sus de son importance en tant qu'élément de contrôle des bilans d'eau, au travers des lames d'eau écoulées par bassin versant). Les bassins versants de surface des principaux fleuves et rivières de la zone d'intérêt seront donc intégrés dans le modèle (Dives, Orne, Seulles, Aure).
- Afin de prévenir tout risque d'effets de bordure lors de la simulation de prélèvements dans le bassin de la Dives notamment, et malgré la décroissance attendue de la perméabilité vers l'Est dans le Bathonien (présence du sillon marneux), le bassin versant de la Touques doit être intégré dans le modèle hydrogéologique.

La prise en compte des bassins versants des fleuves décrits ci-avant conduit à rencontrer des formations géologiques allant du socle (Briovérien, Cambrien...) jusqu'au Crétacé (Cénomanién), sans compter les formations tertiaires et quaternaires présentes localement (Sables de Saint-Vigor) ou sur des extensions plus importantes (limons, argiles à silex, alluvions des fonds de vallée,...). La

diversité des formations rencontrées conduit donc à considérer une dizaine de couches dans le modèle géologique afin de distinguer les aquifères principaux.

5. Construction du modèle géologique

Le modèle géologique élaboré dans le cadre de cette étude s'est appuyé sur une modélisation antérieure conduite en 2006. Celle-ci ne couvrant qu'une partie de la zone à modéliser, une mise à jour a été nécessaire. En pratique, les données de base utilisées lors du premier modèle ont été réutilisées et complétées par de nouvelles données (logs³⁷, schéma structural) qui, ensemble, ont permis d'élaborer de nouvelles interpolations des toits et murs des différentes formations. La pile stratigraphique a par ailleurs été adaptée afin de mieux correspondre aux besoins de la modélisation hydrogéologique.

Le travail de construction du modèle géologique, ainsi que les éléments antérieurs disponibles pour sa réalisation, sont décrits dans la suite de ce chapitre.

5.1. TRAVAUX ANTÉRIEURS : MODÈLE GÉOLOGIQUE DU CALVADOS (2006)

5.1.1. « Pile » stratigraphique

Dans le cadre de la réalisation de l'atlas hydrogéologique numérique du Calvados, une modélisation géologique a été effectuée en 2006 à l'échelle départementale (Arnaud et al., 2007). Cette modélisation, réalisée à la maille de 200 m, a porté sur 14 couches (cf. pile litho-stratigraphique présentée en Tableau 33) déterminées de façon à constituer des ensembles relativement homogènes d'un point de vue hydrogéologique.

Pour mémoire, la « pile stratigraphique » décrit :

- l'ordre chronologique des formations à modéliser ;
- les relations entre les dépôts successifs qui peuvent être de deux types : (1) ONLAP : dépôt d'une formation sur la précédente et (2) EROD : il y a une surface d'érosion entre deux formations.

³⁷ On entend par « log » une coupe lithologique ou géologique établie au niveau d'un forage.

Formation	Surf. type	Description	Surf. name	n° FORM
F	EROD	Alluvions	M14	F14
CNZQ		Cénozoïque		F13
CENO	EROD	Cénomanién	M13	F12
GLAU	EROD	Glauconie	T11	F11
APAL		Crétacé inférieur	T10	F10
JURS		Jurassique supérieur	M10	F09
OXFO		Oxfordien	T08	F08
CALO		Marnes Callovo-oxfordiennes	T07	F07
BATH		Bathonien	T06	F06
MAPO		Marnes de Port	T05	F05
BAJO		Bajocien-Aalénien-Toarcién	T04	F04
LIAS		Lias	T03	F03
TRIA		Trias	M03	F02
SOCL		Paléozoïque-Néoprotérozoïque	M02	F01

Tableau 33 : Pile litho-stratigraphique utilisée pour la modélisation géologique réalisée en 2006

Parmi ces 14 couches, 11 composent la série mésozoïque du Calvados (formations de socle, formations superficielles et alluvions exclues). Il s'agit des formations suivantes, des plus anciennes aux plus récentes :

- le Trias (code GDM TRIA) : cet ensemble, localement aquifère, est composé par les formations argilo-sableuses et conglomératiques du Trias stratigraphique mais également, pour certains secteurs (Ouest du département) et en l'absence de marqueurs stratigraphiques, par les termes permien sommitaux de mêmes propriétés lithologiques (Autunien rouge). Les descriptions lithologiques disponibles n'ont pas permis de distinguer les différents faciès et finalement d'exclure le Permien non aquifère ;
- le Lias (code GDM LIAS) : cet aquifère multicouche regroupe les marno-calcaires coquilliers hettangiens (Calcaires et Argiles d'Huberville / de Valognes), les alternances marno-calcaires à Gryphées sinémuriennes, les marno-calcaires fossilifères (Marnes et Calcaires à Bélemnites) et les calcaires ferrugineux (Banc de Roc) du Pliensbachien ;
- le Toarcién - Aalénien - Bajocien (code GDM BAJO) : cette couche regroupe les Argiles à Poissons, les Marnes et Calcaires à Ammonites du Toarcién, la

Malière aalénienne et bajocienne, les oolithes ferrugineuses aalénienne et bajocienne et les calcaires à Spongiaires du Bajocien supérieur. D'un point de vue hydrogéologique, il aurait été intéressant de pouvoir individualiser la formation des Argiles à Poissons, mur de l'aquifère bajocien mais compte tenu de la faible épaisseur de cette formation et du peu de logs la décrivant, celle-ci n'a pu être modélisée ;

- les Marnes du Bathonien inférieur (code GDM MAPO) : cet ensemble comprend les Marnes de Port-en-Bessin, les couches de passage dans le Bessin et les Bancs bleus dans la Plaine de Caen. Elles constituent la couche « imperméable » séparant les aquifères bajocien et bathonien ;
- l'aquifère bathonien (code GDM BATH) : composé par les formations calcaires et marno-calcaires du Bathonien moyen et supérieur : Calcaire de Caen, Calcaire de Creully, Calcaire de Rouvres, Calcaire de St-Pierre-du-Mont, Calcaire de Blainville, Calcaire de Bon-Mesnil, Calcaire de Ranville, Calcaire de Langrune, Caillasse de Fontaine-Henry, Caillasse de Blainville et Caillasse de la Basse-Ecarde ;
- les marnes callovo-oxfordiennes (code GDM CALO) : elles regroupent les alternances marno-calcaires du Bathonien terminal (Argiles de Lion, faciès du Cornbash), les formations marneuses du Callovien (Marnes d'Escoville, Marnes d'Argences, Marnes à *B. latesulcatus*, Marnes et Calcaires de Crèvecœur-en-Auge, Marnes de Dives) et de l'Oxfordien inférieur (Marnes de Villers, Oolithe ferrugineuse de Villers, Argiles à *L. gregarea*). Cette couche de très faible perméabilité sépare les aquifères oxfordien et bathonien ;
- les calcaires oxfordiens (code GDM OXFO) : cet ensemble aquifère est composé des formations carbonatées oolithiques ou coralligènes (Calcaire d'Auberville, Calcaire oolithique de Trouville / de Lisieux, Coral Rag, Calcaire de Blangy, Calcaire à Astartes) et des formations grésos-carbonatées (Roussier de Gacé, Sables de Glos, Calcaire gréseux d'Hennequeville) de l'Oxfordien moyen à supérieur ;
- le Jurassique supérieur (code GDM JUR) : il regroupe les marnes de Villerville / de Criquebœuf (Oxfordien supérieur) et les marno-calcaires du Kimméridgien ;
- l'Apto-Albien (code GDM APAL) : cet aquifère est composé essentiellement de terrains sablo-glaucוניeux, marquant dans le Pays d'Auge la transition entre les formations marno-calcaires jurassiques et les terrains crayeux crétacés ;
- les argiles glauconieuses albo-cénomaniennes (code GDM GLAU) : cet ensemble représente le plancher de l'aquifère cénomaniens et correspond aux Argiles du Gault (Albien) et à la Glauconie de base albo-cénomaniens ;
- le Céno-Turonien (code GDM CENO) : cet aquifère est composé des formations crayeuses composant le substrat des plateaux orientaux du département.

La composition des différentes formations est rappelée dans le Tableau 34.

AGE		FORMATIONS	POTENTIEL AQUIFERE	Code GDM
Quaternaire		Alluvions		F
Tertiaire				CNZQ
Cénomanien	Cénomanien supérieur	Craie à <i>I. labiatus</i> Craie à <i>A. plenus</i>	Aquifère du Cénomanien	CENO
	Cénomanien moyen	Craie de Rouen		
	Cénomanien inférieur	Craie glauconieuse		
Albien		Glauconie de base	GLAU	APAL
		Argiles de Gault Sables glauconieux		
Aptien	Aptien supérieur	Sables siliceux et glauconieux, argiles silteuses noires à violacées		
Kimméridgien				JURS
Oxfordien	Oxfordien supérieur	Marnes de Villerville et de Criqueboeuf Sables de Glos / Calcaire gréseux de Hennequeville / Calcaires à Astarte Calcaire de Blangy	Aquifère des calcaires de l'Oxfordien	OXFO
	Oxfordien moyen	"Coral rag" Calcaire oolithique de Trouville / de Lisieux Calcaire d'Auberville Roussier de Gacé		
	Oxfordien inférieur	Argiles à <i>Loph. pregarea</i> Oolite ferrugineuse de Villers Marnes de Villers		
Callovien	Callovien supérieur	Marnes de Dives	CALO	
	Callovien moyen	Marnes et calcaires de Crèvecœur-en-Auge Marnes à <i>Belemnopsis telesulcalus</i>		
	Callovien inférieur	Marnes d'Argences Marnes d'Escoville Argiles de Lion / Faciès du Combrash		
Bathonien	Bathonien supérieur	Calcaire de Langrune Caillasse de la Basse-Ecarde Calcaire de Ranville Caillasse de Blainville	Aquifère du Bathonien	BATH
	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	BAJO
	Bajocien inférieur	La "Malière"		
Aalénien	Aalénien	Oolite ferrugineuse		
	Aalénien	Oolite ferrugineuse		
Toarcien	Toarcien sup./moy.	Marnes et calcaires à ammonites		
	Toarcien inférieur	Argiles à poissons		
Pliénobachien		Banc de Roc Marnes et calcaires à bélemnites Calcaires à <i>Cincta numismalis</i>	Aquifère multi-couche du Lias	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	Formation résiduelle : galets du Trias	TRIA	
		Sables, argiles panachées, cailloutis et calcrètes		
Permien	Aubunien	Schistes, grès, conglomérats, pélites		SOCL

Sources : Cartes géologiques au 1 / 50 000 (BRGM) / Dugué et al., 1998 / Julinet, 1974

Formations à potentiel aquifère

Formations non aquifère

Tableau 34 : Description litho-stratigraphique des formations mésozoïques du Calvados et couches associées du modèle géologique (Arnaud, 2007)

Chacune des couches de ce premier modèle géologique s'étend sur une extension géographique propre. Cette extension correspond aux zones dans lesquelles des données ont été identifiées, sans élaboration d'hypothèses permettant d'étendre l'extension de chacune d'entre elles sur l'ensemble du département (dans les limites des zones de dépôts spécifiques à chacune d'entre elles).

5.1.2. « Logs » identifiés et codés

Dans une première phase de la synthèse hydrogéologique du Calvados (Arnaud, 2006), les logs géologiques disponibles en BSS ont été réinterprétés par les géologues du BRGM selon la méthodologie du Référentiel Géologique de la France (RGF). À chaque passe exécutée par le foreur, ont ainsi été attribués un code formation, un code lithologie et un code stratigraphie issus des lexiques du RGF. Pour le Calvados, le lexique des formations géologiques repose sur le découpage litho-stratigraphique classique de la série mésozoïque publié dans la synthèse de Dugué *et al.* (1997) et utilisé pour la plupart des cartes géologiques à 1/50 000^{ème} du département (Balleroy, Bayeux Courseulles-sur-Mer, Caen, Falaise, Grandcamp-Maisy, Mézidon, Villers-Bocage, ...).

À titre méthodologique, le BRGM a procédé à la sélection de 45 logs de référence qui ont par la suite constitué une base de référence pour l'interprétation de l'ensemble des ouvrages (cf. Illustration 79). Cette sélection a été effectuée sur la base de 3 critères principaux :

- les logs disposent d'une description suffisamment précise pour permettre une interprétation non équivoque ;
- les logs pénètrent jusqu'à une profondeur suffisamment importante pour traverser plusieurs formations ;
- les logs sont répartis de façon relativement homogène à l'échelle de la couverture sédimentaire du Calvados.

L'interprétation initiale du BRGM a été proposée à l'expertise d'Olivier Dugué (géologue, Université de Caen). Seuls 33 logs ont pu être validés par ce dernier : pour le reste, les descriptions disponibles se sont avérées trop imprécises.

Ces 33 logs de référence ont servi de base à l'interprétation des autres données consultées lors de cette étude, issues de la Banque du Sous-Sol et des cartes géologiques harmonisées.

À partir de ces logs de références, ce sont 2 408 logs qui avaient pu être exploités pour la codification du modèle. Ils avaient été complétés par 16 542 points de passages issus du traitement des cartes géologiques (contact entre deux formations affleurantes, générant un point tous les 1 000 mètres).

5.1.3. Schéma structural

La modélisation géologique a intégré un schéma structural simplifié. Un jeu de failles (cf. Illustration 75) a été sélectionné à partir de la carte géologique harmonisée du Calvados selon les critères suivants :

- des rejets d'accidents mentionnés dans les publications et les notices de cartes géologiques à 1/50 000 ;
- des extensions des accidents compatibles avec une échelle de travail départementale ;
- un minimum de logs géologiques disponibles de part et d'autre des failles.

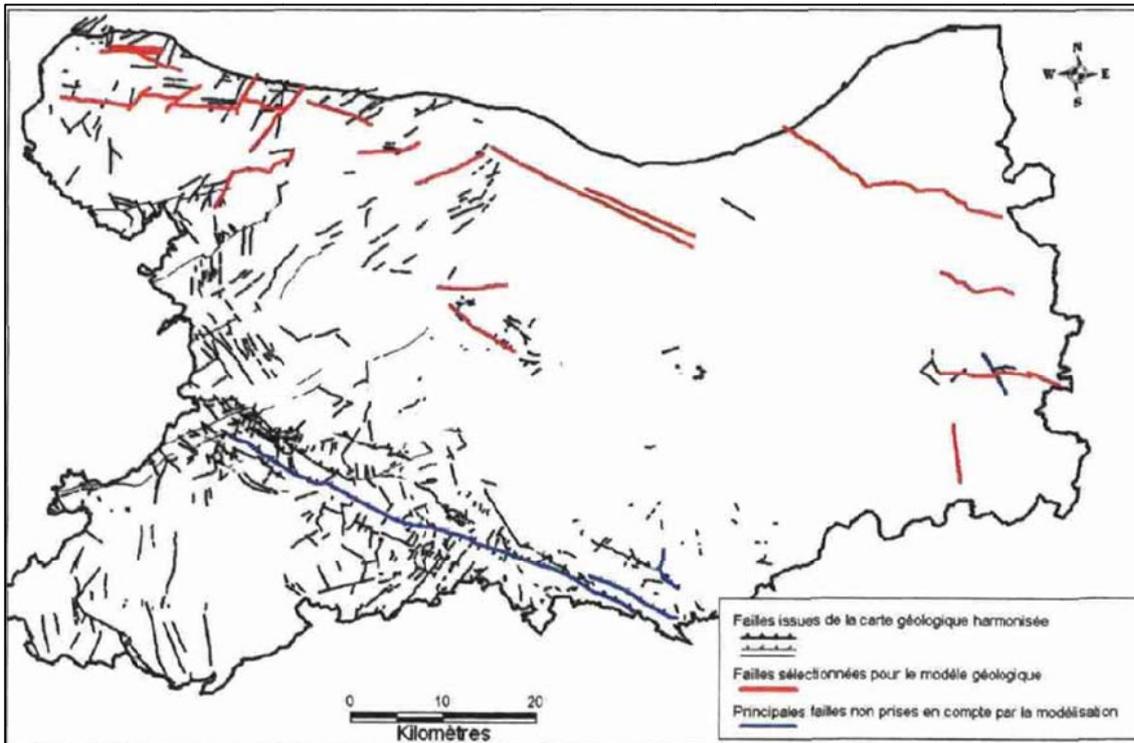


Illustration 75 : Schéma structural simplifié du modèle géologique élaboré en 2006 (Arnaud, 2006)

5.2. MISE À JOUR DES DONNÉES NÉCESSAIRES AU MODÈLE

5.2.1. « Pile » litho-stratigraphique

Comme indiqué précédemment, la pile litho-stratigraphique utilisée pour le premier modèle a été adaptée afin de mieux correspondre aux besoins de la modélisation hydrogéologique. Cela s'est traduit par le regroupement des formations :

- du Trias et du Lias de l'Infra-Toarcien. Ce regroupement constitue un ensemble de formations localement aquifères (formations argilo-sableuses et conglomératiques du Trias, alternances marno-calcaires du Lias), dont les perméabilités varient latéralement (Trias notamment) et verticalement (Lias). Cet ensemble sera représenté dans le modèle hydrogéologique par une couche dont les perméabilités horizontales et verticales pourront être différentes ;
- du Jurassique supérieur, de l'Apto-Albien et des argiles glauconieuses albo-cénomaniennes. Ce regroupement conduit à constituer un ensemble globalement très peu perméable verticalement (il comprend à sa base les marnes de l'Oxfordien supérieur et du Kimméridgien et à son toit les argiles glauconieuses albo-cénomaniennes) renfermant un niveau plus perméable (sables de l'Apto-Albien) : le modèle hydrogéologique prend en compte cette

spécificité en considérant une perméabilité verticale différente de la perméabilité horizontale pour cette couche.

Ces regroupements permettent de passer de 14 à 11 couches (cf. Tableau 35) dans le modèle géologique, ceci allégeant notablement le nombre de mailles.

Formation	Type Surf.	Description
F	EROD	Alluvions
CNZQ		Cénozoïque
CENO	EROD	Craie du Cénomanién
ICEN		Formations du Crétacé Infra-Cénomanién et Kimméridgien
OXFO		Calcaires et sables de l'Oxfordien moyen et supérieur
CALO		Marnes du Callovo-Oxfordien
BATH		Calcaires du Bathonien moyen et supérieur
MAPO		Formations marneuses du Bathonien inférieur et moyen
BAJO	EROD	Calcaires du Bajocién - Aalénien - Toarcién
MINF		Formations du Lias Infra-Toarcién et du Trias
SOCL		Socle

Tableau 35 : Pile litho-stratigraphique du modèle géologique réalisé en 2012

Dans un souci de cohérence des données servant à la modélisation, les logs géologiques complémentaires identifiés en 2012 ont été codés selon la pile litho-stratigraphique utilisée en 2006 : les regroupements de formations décrits précédemment sont effectués dans une phase ultérieure au codage.

5.2.2. Identification et codage de « logs » complémentaires

Malgré la quantité de données traitée lors de l'étude de 2006, trois constats nous ont amenés à compléter ce travail :

- le faible nombre de forages profonds permettant de recouper la série géologique. À titre d'exemple, seuls 288 forages atteignent une profondeur de 50 m et traversent plusieurs entités géologiques (cf. Illustration 76) ;
- un manque de données permettant de caractériser précisément l'extension des marnes du Bathonien moyen et inférieur (dont notamment les marnes de Port-

- en-Bessin) au nord-ouest de la zone, et notamment leur changement latéral progressif de faciès vers le sud-est ;
- une faible densité de points de calage du modèle sur la partie la plus au sud de la zone d'étude, à savoir principalement le département de l'Orne qui – de fait – n'était pas l'objet de la première modélisation (certains logs avaient été utilisés lors du premier modèle afin de mieux contraindre la modélisation en limites).

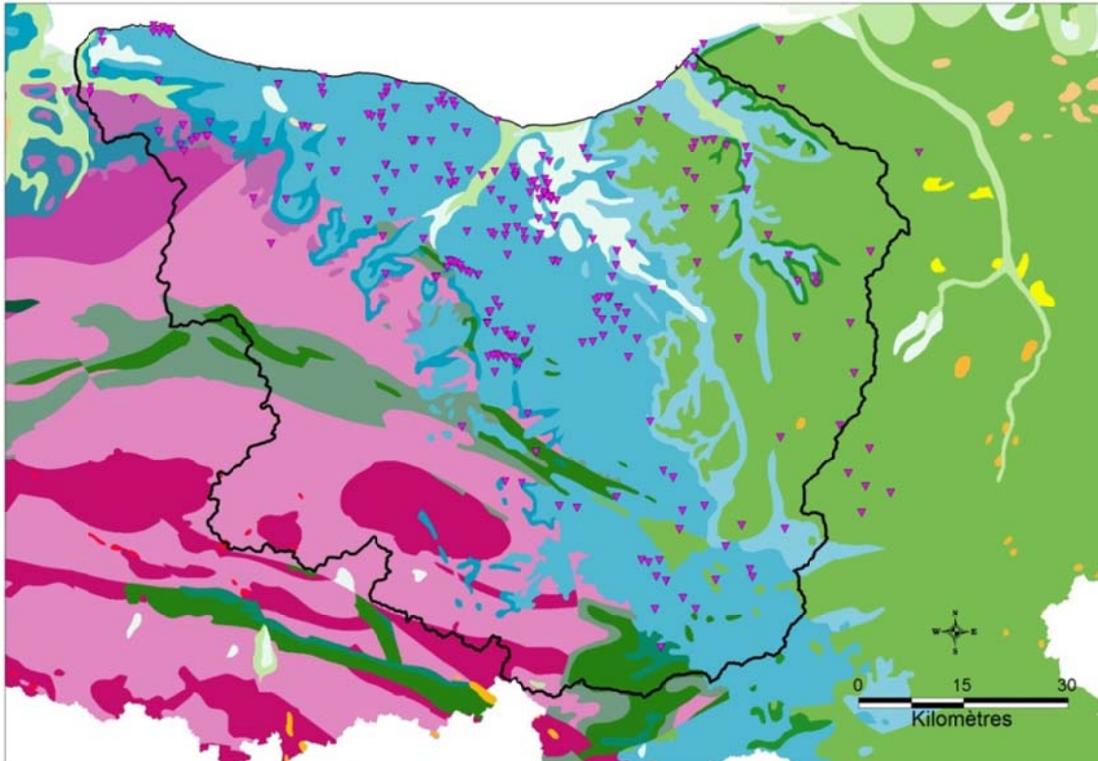


Illustration 76 : Coupes de plus de 50 m de profondeur utilisées lors du modèle géologique 2006 (Arnaud, 2006)

Des données complémentaires ont donc été recherchées afin de combler ces manques. Ces recherches ont été ciblées sur les deux zones précédemment citées. Elles se sont effectuées essentiellement en Banque du Sous-sol, en prenant en compte les coupes saisies depuis 2006 et celles entrées précédemment dans la base ne possédant pas de coupe géologique précise mais un dossier de forage avec des descriptions. Des recherches bibliographiques peu fructueuses ont été menées en parallèle.

Des 1 000 dossiers de forage consultés, il n'en a été extrait que les coupes jugées utiles permettant de combler les manques identifiés, c'est-à-dire celles définissant le mur et/ou le toit des Marnes de Port-en-Bessin ainsi que celles définissant le mur et/ou le toit du Bathonien ou permettant de définir l'absence de sédimentation du Bathonien sur la partie sud de la zone d'étude.

Réalisation de deux forages d'essai - Vallée de la Dives 2008

TRAVAUX DE FORATION

L'entreprise SADE-CGTH de Tours est intervenue du 17 novembre au 17 décembre 2008.

F2« Les pâtures »

Le chantier a débuté sur le site du F2 « Les pâtures » sur la commune du Mesnil-Mauger.

Foration et coupe technique :

0 à 21 m	Creusement au rotary à boue Ø375 mm Pose d'un tube acier Ø 273 mm intérieur, épaisseur 5 mm Cimentation extrados par coulis de ciment
21 à 60,5 m	Creusement au marteau fond de trou Ø254 mm
60,5 à 102 m	Creusement au marteau fond de trou Ø165 mm Pose d'un capot cadenassé.

Coupe géologique

0 à 4 m	Argile beige à passées orangées
4 à 19,5 m	Marne grise à quelques bancs décimétriques de calcaires gris
19,5 à 29 m	Calcaire beige
29 à 30 m	Calcaire gris beige
30 à 31 m	Calcaire marneux gris
31 à 32 m	Calcaire marneux beige
32 à 33 m	Marne grise
33 à 50 m	Calcaire marneux gris beige
50 à 61 m	Marne grise
61 à 72 m	Calcaire marneux gris foncé
72 à 74 m	Calcaire beige massif
74 à 96 m	Calcaire beige. Passée dure à 92 m
96 à 98 m	Calcaire gris
98 à 99 m	Calcaire et éléments schisteux noirs
99 à 102 m	Schiste noir

Le débit au soufflage en fin de foration donnait 22,5 m³/h.

0146LX004+1F2L13

Illustration 77 : Exemple de coupe foreur détaillée

0146-4X-0047								
X (L2+)								
Y		Prof forage (m)	528,5		14	LE MESNIL-MAUGER		
Z (NGF)	26							
Interprétation PP								Codification_r
Épaisseur (m)	Profondeur fin (m)	Données foreur	Lithologie	Notation	Description / interprétation	Etage strati	Période	
4	4	Argile beige à passées orangées			Marnes d'Escoville, marnes d'Argences et marnes à Belemnopsis latesulcatus	Callovien	Jurassique moyen	CALO
15,5	19,5	Marne grise à qqes bancs décimétriques de calcaire gris		j4E-A-B	indifférenciées??? Les argiles à passées orange pourraient correspondre aux marnes à Belemnopsis	Callovien		CALO
9,5	29	Calcaire beige		j3La	Calcaire de Langrune	Bathonien		BATH
1	30	Calcaire marneux beige		j3B	Caillasse de la basse ecarde?	Bathonien		BATH
1	31	Calcaire marneux gris						BATH
1	32	Calcaire marneux gris beige						BATH
1	33	Marne grise						BATH
17	50	Calcaire marneux gris beige		j3	Calcaire de Ranville + caillasse de Blainville?	Bathonien		BATH
11	61	Marne grise			???	Bathonien		BATH
11	72	Calcaire marneux gris foncé			Calcaire de bon-Mesnil? (la couleur de correspond pas...)	Bathonien		BATH
2	74	Calcaire beige massif			???	Bathonien		BATH
22	96	Calcaire beige. Passée dure à 92 m			Calcaire de Caen?	Bathonien		BATH
2	98	Calcaire gris			Bajocien indifférencié?	Bajocien		BAJO
1	99	Calcaire et éléments schisteux noirs						BAJO
3	102	Schistes noirs			Schistes d'Urville ou argiles à Poissons??		SOCL ou BAJO	

Illustration 78 : Exemple de tableau d'interprétation et de codification

Les données étudiées sont très hétérogènes, avec parfois des coupes très précises et très bien décrites (rares, cf. Illustration 77) et parfois au contraire des coupes peu précises nécessitant un lourd travail d'interprétation du géologue. La validation a été réalisée à l'aide des notices géologiques et de la bibliographie existante (thèses de Rioult, Garlan, Dugué ...).

Au total, 119 forages ont été extraits de la BSS et interprétés (cf. exemple en Illustration 78). Parmi ces forages, 84 ont été jugés utiles pour le modèle et validés par O. Dugué (Université de Caen). Ils ont été codifiés selon les regroupements de

formation définies précédemment et intégrés à la base de données utilisée dans le modèle géologique.

Ce sont donc 84 nouvelles coupes géologiques de référence (cf. Illustration 79) qui ont permis d'affiner le modèle dans des zones manquant de précision. Ils ont permis d'affiner la connaissance de :

- l'extension des Marnes de Port-en-Bessin ;
- la limite d'extension de la sédimentation du Jurassique moyen ;
- d'éventuelles lacunes de sédimentation du Bathonien.

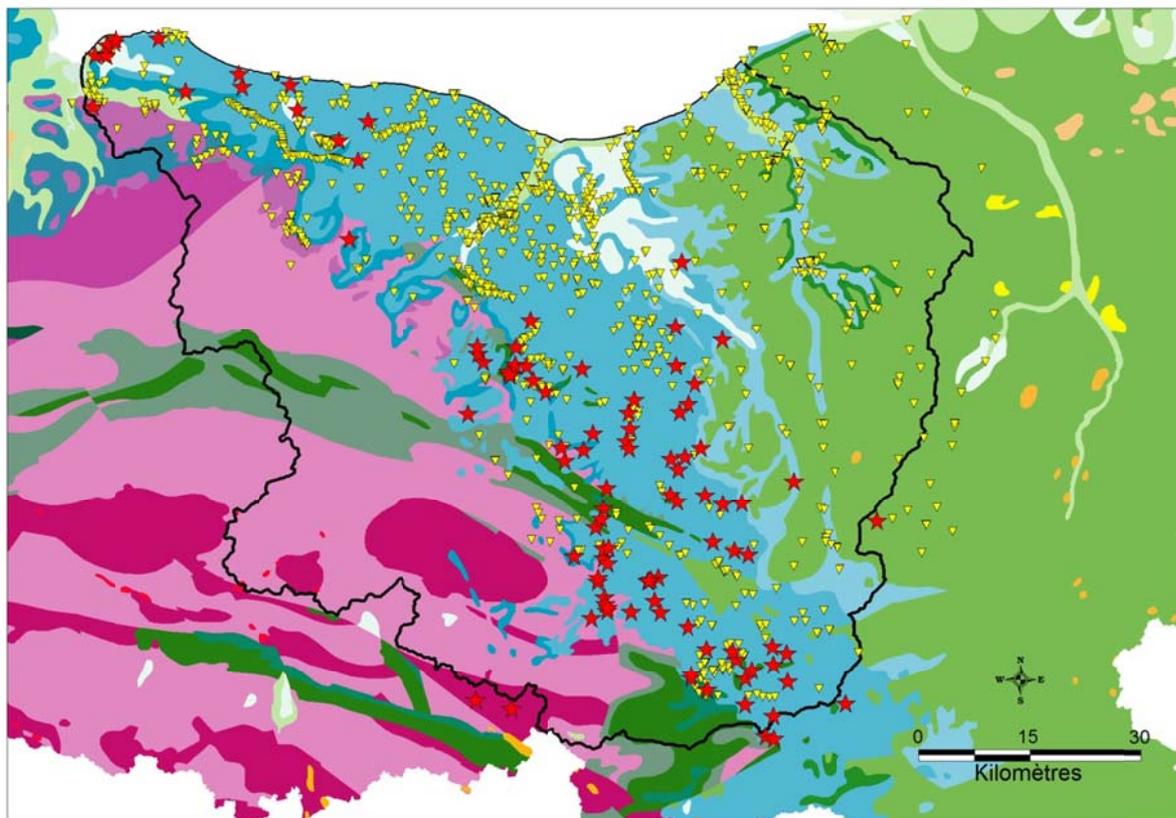


Illustration 79 : Localisation des coupes géologiques de référence validées lors de cette étude (en rouge) et des coupes géologiques utilisées lors de la première modélisation (en jaune)

Eléments géologiques remarquables constatés

L'analyse de ces données de sondage a été l'occasion de relever certains éléments géologiques intéressants :

- le forage 01192X0235 sur la commune de Bazenville (1, Illustration 80) nous permet de constater une forte épaisseur de Bathonien, mais surtout une forte épaisseur de Marnes de Port-en-Bessin qui atteignent ici 50 m. Cela montre la

puissance potentielle de ces marnes mais aussi les changements rapides de faciès du Bathonien, puisque quelques km au sud-est la puissance de ces marnes a fortement diminué, celles-ci se biseautant dans le secteur de la route nationale Caen-Bayeux ;

- plusieurs forages profonds à l'est de la zone d'étude nous ont permis de préciser la géométrie du toit du Bathonien sous plusieurs dizaines de mètres de dépôts callovo-oxfordiens (2, Illustration 80) ;
- plusieurs forages (3, en vert sur l'illustration 80) montrent à plusieurs endroits de la zone d'étude des lacunes de sédimentation du Bajocien, imputables soit à la limite d'extension de la transgression bajocienne, soit à la présence d'écueils en profondeur ;
- 3 forages (4, en rouge sur l'illustration 80) montrent quant à eux une lacune de sédimentation du Bajocien et du Bathonien, soulignant ici l'importance de la présence des écueils dans la dynamique de sédimentation locale au Jurassique moyen, le recouvrement des écueils se terminant au Callovien ;
- enfin, le forage 01196X0229, commune de Juvigny-sur-Seulles (5, Illustration 80) nous permet d'interpréter la présence d'une vingtaine de mètres d'altérites issues des formations du Briovérien piégées sous la couverture jurassique. Cet élément remarquable est très intéressant car bien que connus, ces phénomènes d'altération des roches de socle sous des roches sédimentaires plus récentes sont très peu observés et surtout n'atteignent habituellement pas ces épaisseurs. Ces altérites soulignent aussi la présence d'un front d'altération (hérité ou actif ?) et donc d'un très probable horizon fissuré sous-jacent permettant la circulation et le stockage d'eau.

Enfin, il est à noter qu'une meilleure précision de certaines coupes, notamment dans la plaine de Caen, permettrait de caractériser le Bathonien calcaire, sur une partie du territoire étudié (c'est le cas par exemple du forage 01464X0047 au Mesnil-Mauger), en distinguant les différents niveaux de calcaires et de caillasses qui le caractérisent.

Toutefois, cette constatation n'est valable que localement, la faisabilité d'un sous-découpage litho-stratigraphique du Bathonien calcaire demeurant à démontrer à l'échelle de la zone modélisée.

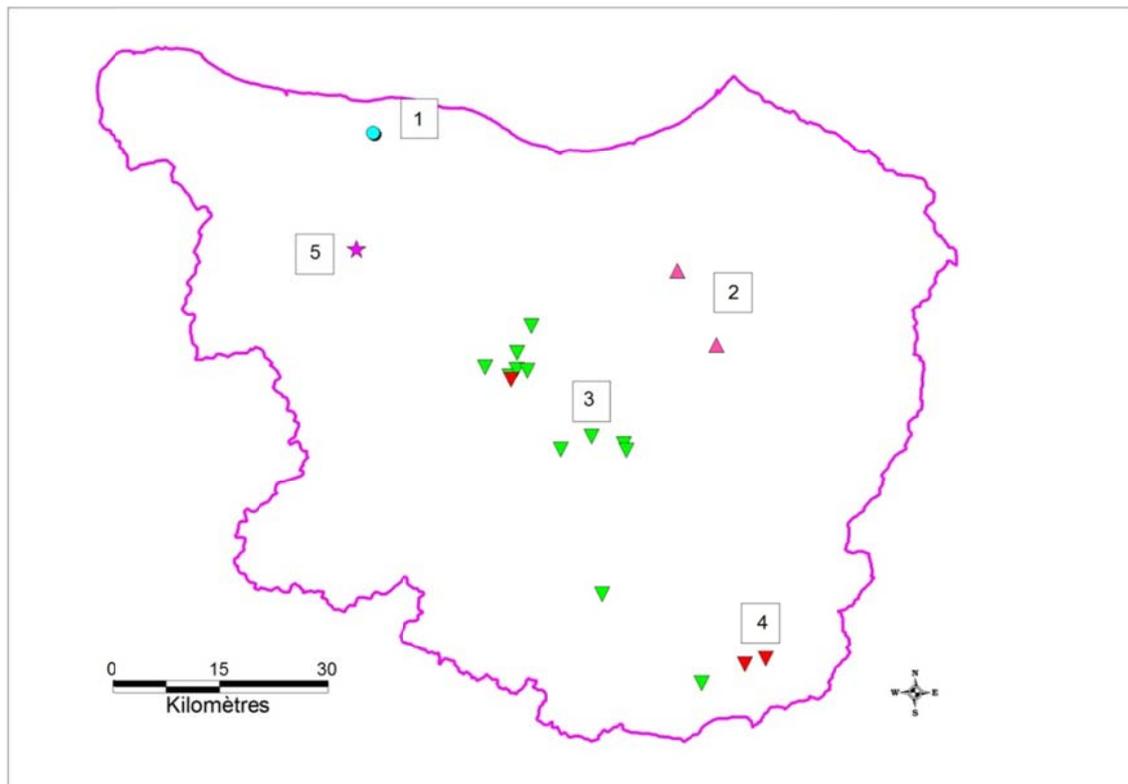


Illustration 80 : Localisation d'éléments géologiques remarquables identifiés à l'occasion du codage de logs complémentaires courant 2012

5.2.3. Schéma structural

Le schéma structural élaboré pour le premier modèle (cf. 5.1.3) a été complété, essentiellement dans le département de l'Orne.

Les compléments se sont faits à partir des différentes cartes géologiques de la zone d'étude, ainsi que du schéma structural présenté dans le cadre du schéma départemental ornaïis d'alimentation en eau potable (Lemoine, 2010, cf. Annexe 22).

Les failles recoupant le socle dans la partie sud-ouest de la zone d'étude ne sont pas prises en compte dans le modèle géologique dans la mesure où le socle demeure un ensemble indifférencié dans le cadre de cette étude. Enfin, une faille ne peut être intégrée au modèle que si le jeu vertical de part et d'autre est quantifié.

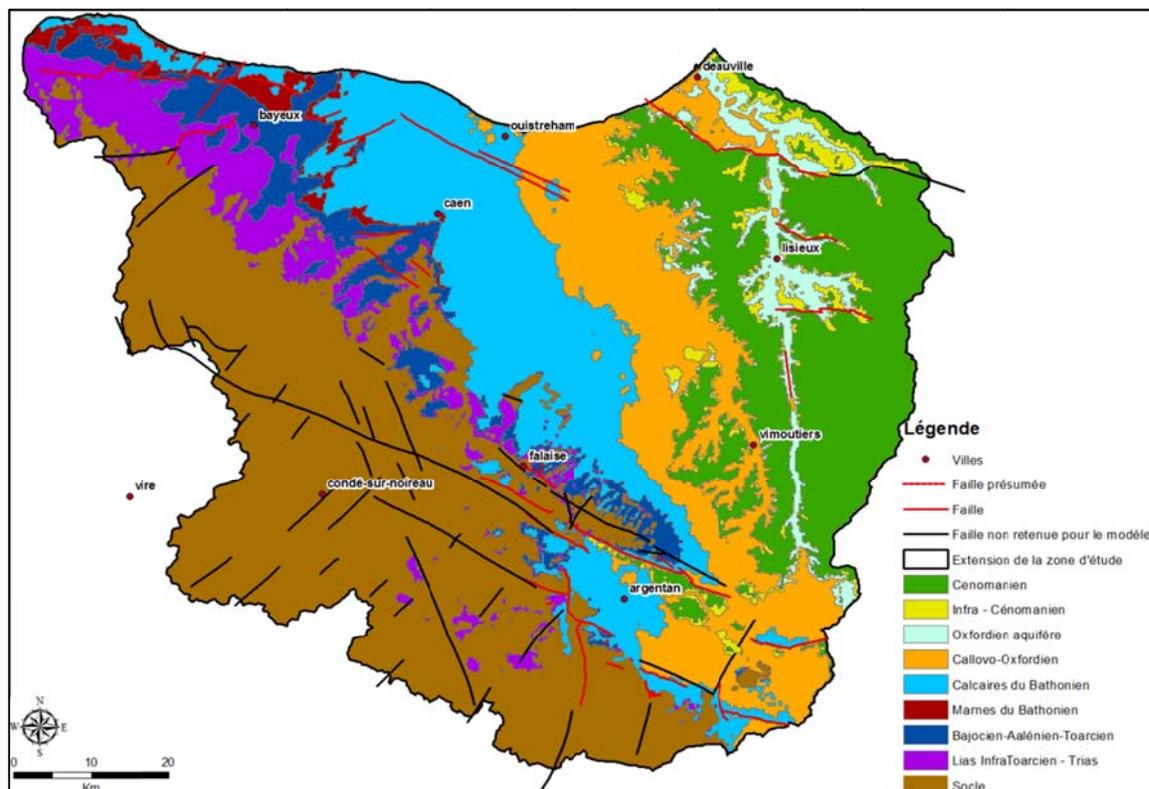


Illustration 81 : Schéma structural retenu pour le modèle géologique 2012

5.2.4. Carte géologique synthétique

Dans le cadre du modèle géologique de 2006, une carte géologique synthétique départementale avait été dressée, sur la base des 14 formations identifiées.

Cette carte a été revue compte tenu du passage à 11 couches du modèle géologique et étendue notamment au département de l'Orne. La nouvelle carte synthétique est présentée en Illustration 82.

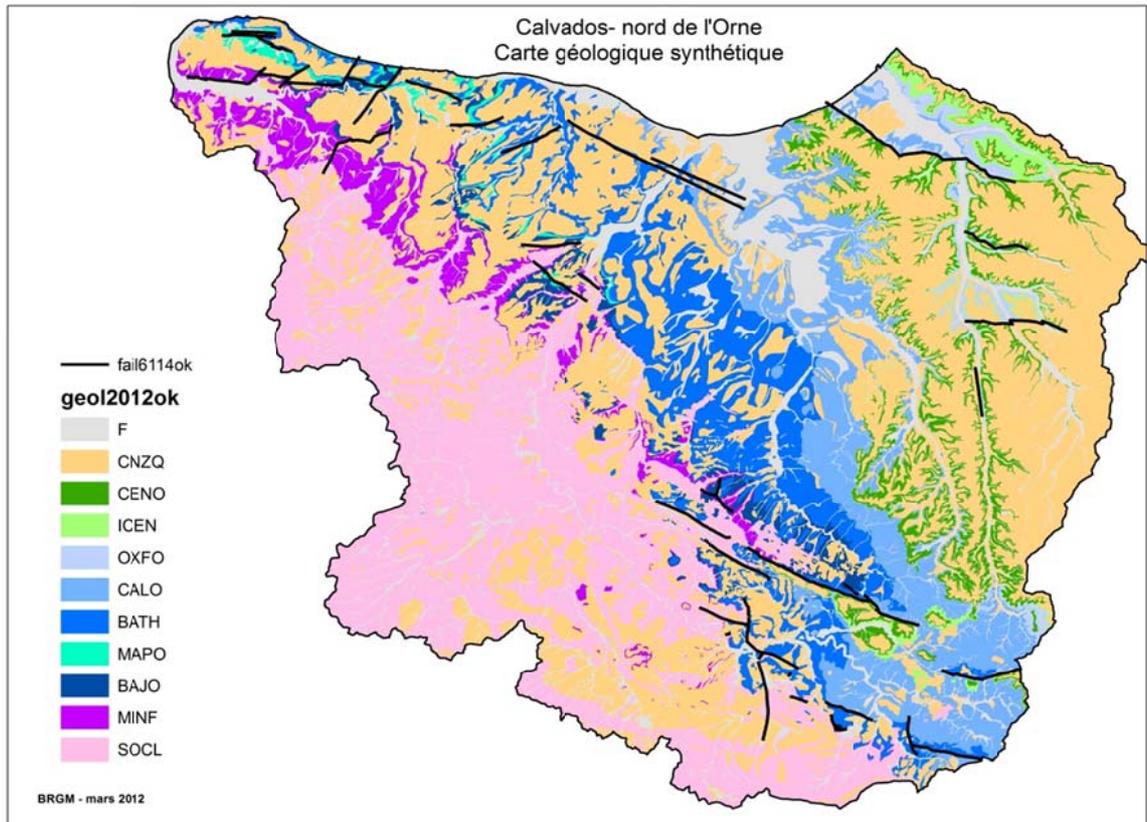


Illustration 82 : Carte géologique synthétique de la zone d'étude
(les codes géologiques sont présentés en Tableau 35)

5.3. CONSTRUCTION DU MODÈLE GÉOLOGIQUE

5.3.1. Outil de modélisation géologique

Le modèle géologique a été réalisé en utilisant le logiciel **GDM (Geological Data Management)** et son composant **Multilayer** (Bourgine, 2006 ; Bourgine et al, 2008), développés tous deux par le BRGM. Ces outils permettent d'interpoler les toits et les murs des formations considérées puis de combiner ces surfaces en contrôlant la cohérence par rapport aux données d'entrée (log de forages, contacts géologiques à l'affleurement,...).

Les formations modélisées sont décrites par une « pile stratigraphique » qui spécifie la logique de dépôt et la présence ou non de surfaces d'érosion.

Les données pouvant être prises en compte sont une ou plusieurs des suivantes :

- forages avec codage stratigraphique des formations traversées ;
- modèle numérique de terrain (MNT) ;

- carte géologique vectorisée ;
- coupes géologiques interprétées ;
- observations ponctuelles (présence d'un contact Formation A / Formation B en un point donné, valeur de la cote du toit, du mur ou de l'épaisseur d'une formation en un certain point) ;
- limites d'extension maximale des formations géologiques ;
- failles ;
- points ou forages de contrainte permettant de contraindre le modèle.

L'outil permet de vérifier en amont la cohérence des données entre elles :

- cohérence entre code de départ des sondages et MNT,
- cohérence entre sondages et carte géologique ainsi qu'entre sondages et limites d'extension maximales des formations géologiques,
- cohérence de la carte géologique vis-à-vis des limites maximales d'extension,
- cohérences générale des données proches (comparaison des formations recoupées, des épaisseurs, des cotes des interfaces).

L'outil permet de réaliser une analyse statistique et géostatistique des épaisseurs, cote du toit et cote de la base de chacune des formations en présence afin d'en optimiser la compréhension puis l'interpolation.

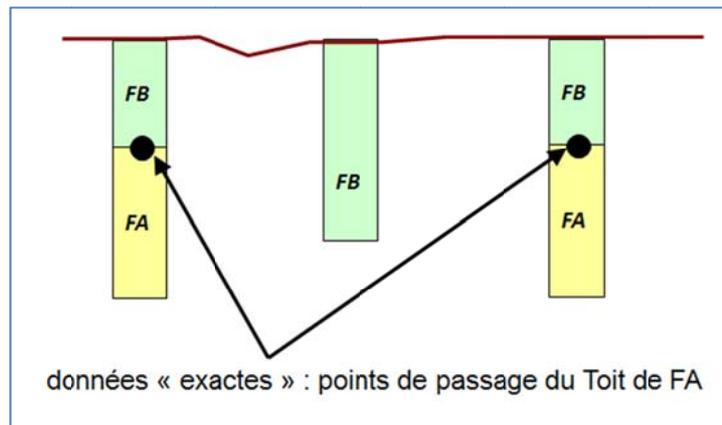
Principe général de modélisation

La construction du modèle géologique est basée sur trois principes :

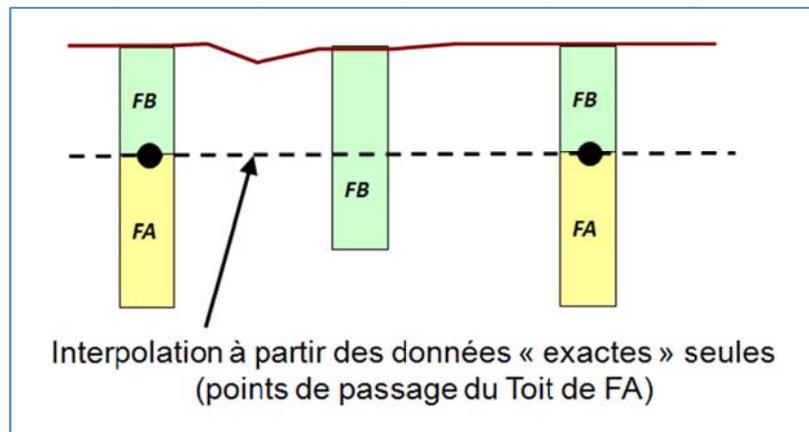
- la définition d'une pile stratigraphique décrivant la succession des formations et les relations entre deux formations successives,
- l'interprétation des données (leur « codage ») selon le cadre fourni par cette pile,
- l'interpolation des surfaces (les interfaces entre formations) et leur combinaison en fonction des données et de la logique induite par la pile stratigraphique.

Le modèle est construit selon le processus itératif suivant :

- on utilise initialement les données « exactes » où le toit et/ou le mur d'une formation ont été reconnus (forages, contacts géologiques, coupes interprétées, ...). Par exemple ci-dessous, avec une pile stratigraphique comprenant 2 formations FA et FB s'étant déposées l'une sur l'autre (d'abord FA, puis FB, sans érosion entre les deux) :

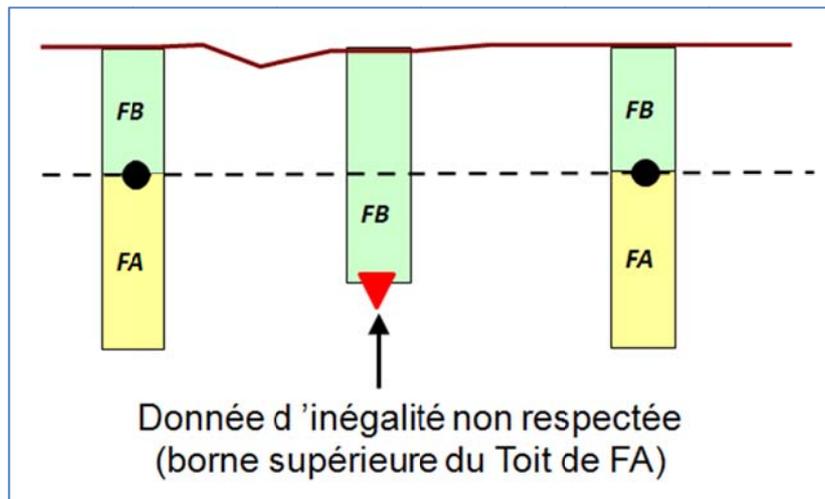


- à partir de ces données exactes, une interpolation est réalisée au droit de chaque point et/ou sur une grille :

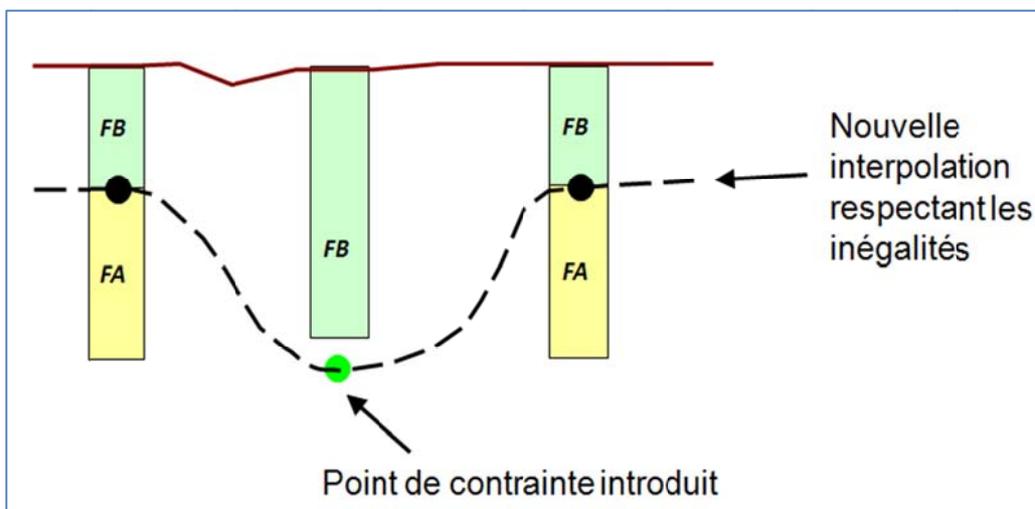


- cette première interpolation est comparée aux données d'inégalités³⁸ pour vérifier si les contraintes d'inégalité sont respectées. Dans l'exemple ci-dessus, le forage central se terminant dans la formation FB indique que la formation FA doit être rencontrée plus bas que la fin de forage, sous hypothèse qu'il n'y ait pas d'érosion entre le dépôt de FA et celui de FB. Dans notre exemple, FB s'est déposé sur FA sans érosion. La base du forage central est une donnée d'inégalité pour le toit de FA : Toit FA \leq Z fin de forage :

³⁸ Pour prendre un exemple, si un forage n'a pas atteint la base d'une formation, on ne connaît pas la cote du substratum de cette formation ; par contre, on sait que cette cote est inférieure à la cote de la base du forage : on dispose ainsi d'une « contrainte d'inégalité ».



- lorsque qu'une inégalité n'est pas respectée, il convient de vérifier si cela peut être imputable à une erreur dans les données (erreur de localisation, de saisie, d'interprétation...), ou s'il convient d'introduire des points de contrainte de façon à respecter les structures géologiques et les variations connues des épaisseurs des formations. Ce travail se fait à partir de l'expertise des géologues et de visualisations en plan et en coupe sur lesquelles sont reportés les éléments connus : logs des forages, épaisseurs et cote des formations, coupes interpolées. Le travail se fait ainsi pas à pas, interface par interface. Ci-dessous exemple de point de contrainte qui pourrait être introduit si les informations du forage central s'avéraient exactes. Ce point permettrait de respecter la contrainte d'inégalité fournie par le forage central.



- Une fois toutes les contraintes d'inégalités respectées, les différentes surfaces modélisées sont combinées (découpées) automatiquement entre elles en fonction de leur caractère « érosif » ou « déposant ». Cette combinaison permet

d'obtenir un modèle multicouche cohérent. La topographie intervient comme une surface d'érosion venant découper toutes les formations présentes.

- L'ensemble du modèle est ensuite contrôlé par l'intermédiaire de cartes d'isohypses et d'isopaques et par le tracé de coupes sériées, ce qui permet de corriger les éventuelles anomalies résiduelles.
- À noter que les paramètres d'interpolation de chaque surface sont ajustés initialement en fonction du jeu de données correspondant.

5.3.2. Hypothèses complémentaires de construction

L'illustration 83 présente la localisation des différents logs codés pour la modélisation, ainsi qu'un code couleur présentant la dernière formation rencontrée par le forage. Cette carte montre par exemple que les formations sous-jacentes au Callovien (soit en particulier les formations du Dogger : calcaires du Bathonien, marnes du Bathonien moyen et inférieur et aquifère du Bajocien) ne sont pas traversées par des forages dans le bassin versant de la Touques : il y a donc nécessité d'extrapoler les informations géométriques disponibles pour les formations les plus profondes, en particulier dans l'Est de la zone de modélisation.

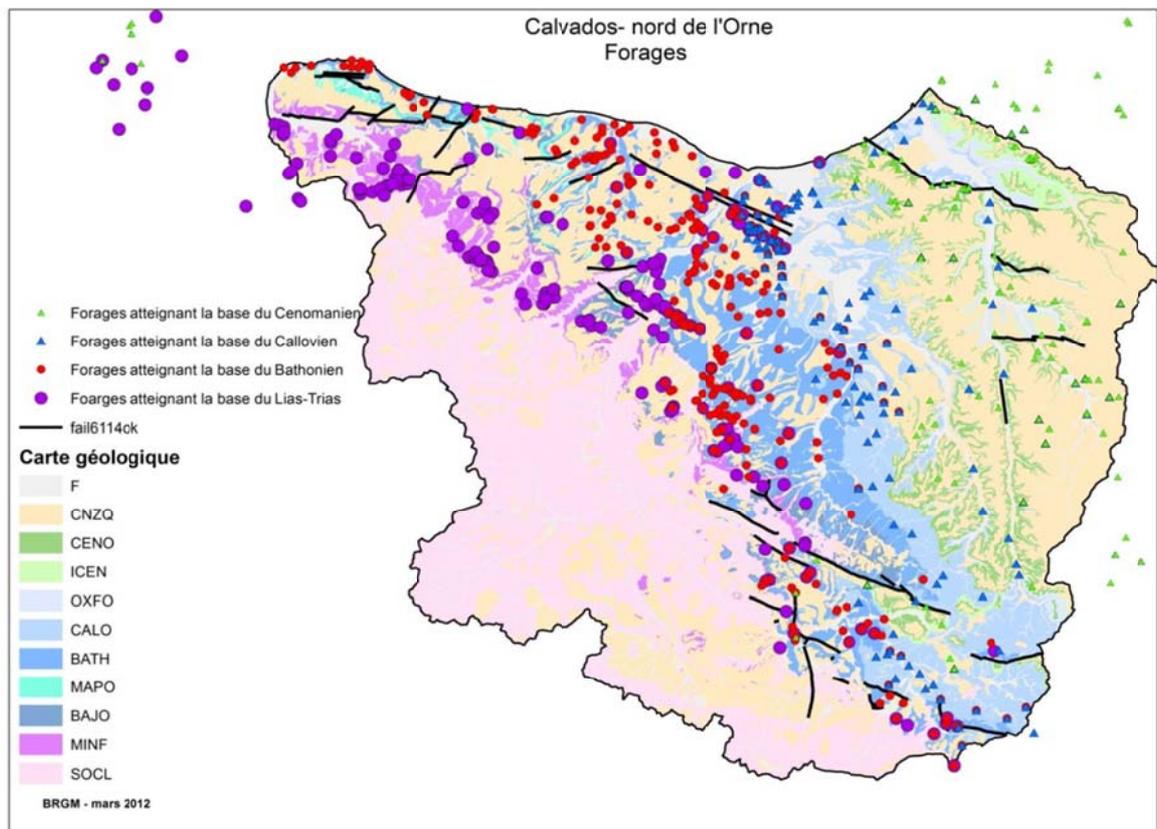


Illustration 83 : Dernières formations rencontrées en forage

Dans cette optique, des hypothèses de construction ont été élaborées en accord avec le comité de pilotage de l'étude :

- la présence de la couche des marnes du Bathonien moyen et inférieur dans la zone de Lisieux – Vimoutiers est confirmée à dire d'expert (Université de Caen et DREAL). Cette vision s'appuie notamment sur la présence du sillon marneux du Bathonien, ainsi que sur l'observation de la formation des marnes de Port-en-Bessin jusqu'au nord de la Seine, au niveau des forages de Villequier (cf. Illustration 84, Dugué – 2006). Les marnes du Bathonien moyen et inférieur ont donc été cartographiées parallèlement au sillon marneux dans la partie orientale de la zone modélisée ;
- l'extrapolation des couches des marnes du Callovo-Oxfordien et des couches sous-jacentes jusqu'à l'aquifère du Bajocien a été effectuée en considérant un pendage régulier des formations vers le nord-est (en direction du sillon marneux du Bathonien) qui est corrélé à une épaisseur constante : environ 100 m pour les marnes du Callovo-Oxfordien, 50 m pour les calcaires du Bathonien, 15 à 20 m pour les marnes du Bathonien moyen et inférieur et 30 m pour l'aquifère des calcaires du Bajocien. Le pendage pris en compte est de l'ordre de 0,5%.

Ces hypothèses se sont traduites dans le modèle géologique par l'intégration de points de contrainte supplémentaires (ajout de forages fictifs) ou par l'ajout de passes profondes complémentaires sur des forages existants (passes fictives).

Par ailleurs, l'intégration des formations de socle dans le modèle géologique a été effectuée de façon simplifiée, sous la forme d'une couche unique, dont l'épaisseur varie entre 5 à 15 m selon la morphologie et l'existence d'un recouvrement :

- 5 m sous recouvrement ;
- 10 m à l'affleurement si les pentes sont moyennes à fortes ;
- 15 m à l'affleurement si les pentes sont faibles.

Dans le contexte spécifique de la Laize (aquifère du Cinglais), une épaisseur de 20 m a été prise en compte.

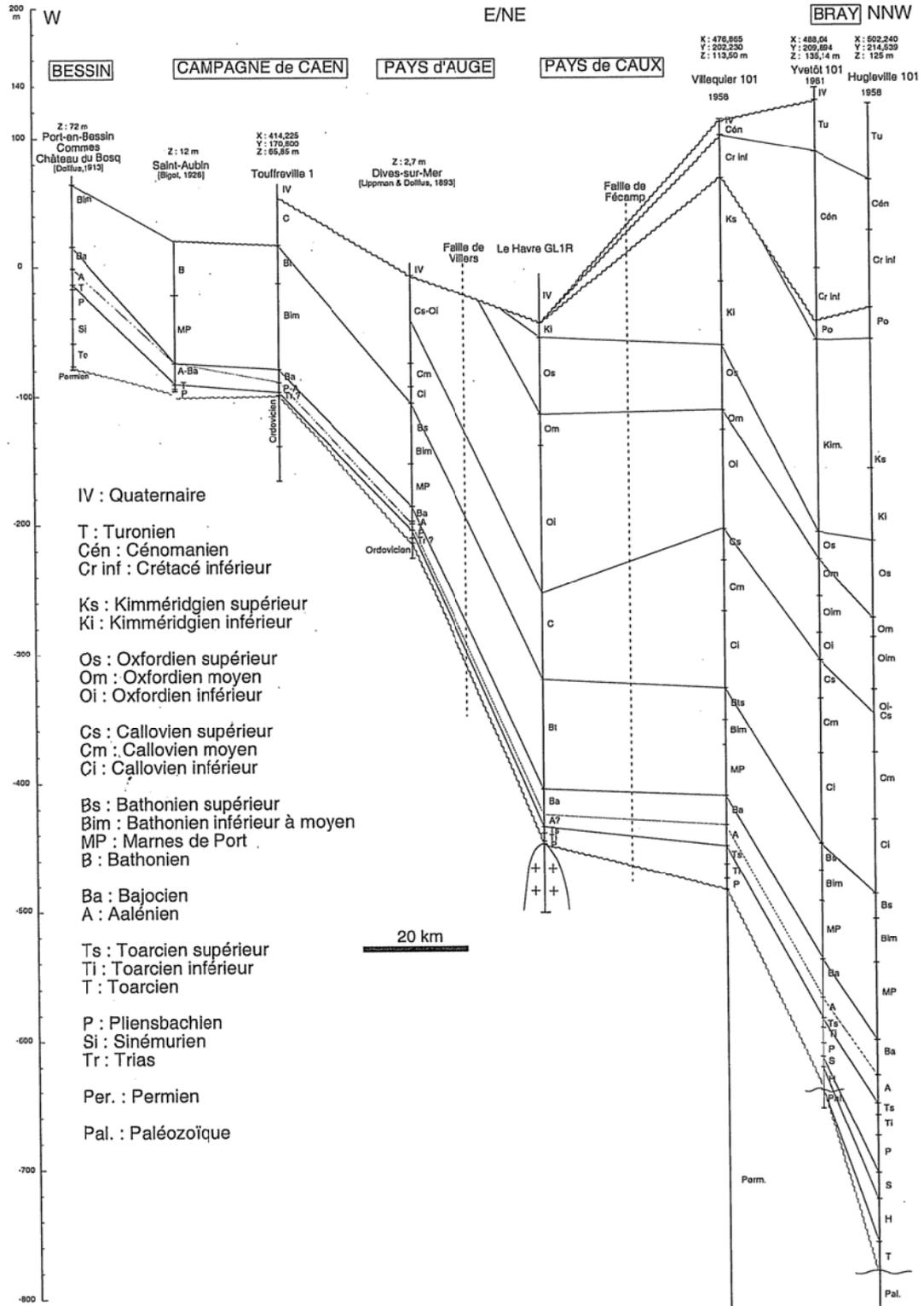


Illustration 84 : Corrélation des principaux forages profonds de Normandie (Bessin, Pays d'Auge, Vallée de la Seine, Pays de Caux, Bray ; Dugué, 2006)

5.3.3. Géométrie des formations

La géométrie des différentes couches a été générée au travers du calcul des interfaces suivantes : mur des alluvions modernes, toit et murs des différentes formations identifiées dans la pile stratigraphique jusqu'au Mésozoïque inférieur, puis calcul du toit du socle. Le calcul a été effectué par krigeage linéaire sans dérive. Cette méthode permet de prendre en compte les informations disponibles spatialement selon une approche géostatistique qui se base sur le voisinage des différents ouvrages pour lesquels des informations sont disponibles.

Le modèle géologique a été élaboré avec une taille de maille de 200 m de côté. Ceci représente environ 750 000 mailles sur l'ensemble de la zone d'étude.

Les cartes d'épaisseur des formations figurent en Annexe 23, ainsi que la carte d'altitude des formations de socle. Les figurés présents sur les cartes indiquent les secteurs dans lesquels la cartographie a été extrapolée sur la base des hypothèses décrites au 5.3.2, en l'absence de données disponibles.

Des coupes verticales, ainsi qu'une carte de localisation, figurent en Annexe 24.

6. Conclusion

Afin de faciliter la lisibilité de la description des travaux effectués, le projet de modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives a été artificiellement découpé en trois phases.

Le présent rapport restitue la première phase du projet qui a permis :

- de réunir les données disponibles nécessaires à la réalisation du modèle hydrogéologique ;
- d'élaborer une synthèse hydrogéologique de la zone d'étude en se basant sur la bibliographie existante ;
- de fixer les grandes orientations du modèle hydrogéologique au travers d'un modèle conceptuel ;
- de construire le modèle géologique à partir duquel on pourra construire la géométrie du modèle hydrogéologique.

Le rapport de deuxième phase du projet décrira les étapes :

- de construction du modèle hydrogéologique ;
- de calage du modèle hydrogéologique ;

Un rapport de troisième phase décrira l'exploitation du modèle au travers des scénarios prédictifs et le calcul de bilans hydrauliques par zones.

La zone d'étude couvre les bassins versants de la Touques, de la Dives, de l'Orne, de la Seulles et de l'Aure, ainsi que de petits bassins versants côtiers. Elle comporte quatre aquifères principaux, qui sont :

- les calcaires du Bajocien et des formations sous-jacentes (Aalénien et Toarcien) ;
- les calcaires du Bathonien moyen et supérieur ;
- les calcaires et sables de l'Oxfordien moyen et supérieur ;
- la craie du Cénomanién.

D'autres aquifères de moindre importance régionale sont également présents (formations de socle, sables et grès du Trias, calcaires du Lias, sables du Gault).

Les aquifères sont alimentés à partir de pluies efficaces dont l'ordre de grandeur peut être évaluée comme étant comprise entre 100 à 600 mm/an selon les secteurs. Cette forte variabilité découle d'écarts de pluviométrie importants sur la zone d'étude : 580 mm/an dans le secteur de la Dives aval contre 1150 mm/an au niveau de la crête topographique du bassin versant du Noireau.

De très bonnes productivités sont rencontrées dans les aquifères du Dogger (Bathonien et Bajocien), qui constituent les principales ressources en eaux souterraines de la plaine de Caen et du bassin de la Dives. Les calcaires du Bajocien (ainsi que la craie du Cénomanién) constituent un aquifère localement karstifié : les pertes de l'Aure aux fosses du Soucy (capacité d'engouffrement de 9 m³/s) en sont une conséquence immédiate.

Les prélèvements en eau douce sont estimés en 2010 à 69.8 Mm³/an sur la zone d'étude, tous usages et origines de l'eau confondus. Ils se répartissent de la façon suivante :

- 55,4 Mm³/an pour l'alimentation des populations en eau potable ;
- 3.4 Mm³/an pour un usage industriel ;
- 2.6 Mm³/an pour un usage agricole ;
- 4.3 Mm³/an pour l'élevage ;
- 4.1 Mm³/an pour le remplissage des gabions non alimentés par des eaux marines.

Près de 75% de ces prélèvements se font dans les eaux souterraines. Ce sont alors principalement les calcaires du Bathonien (37%), la craie du Cénomanién (19%) et les calcaires du Bajocien qui sont sollicités (13%).

L'identification et la codification de coupes de forage supplémentaires ont permis de compléter et d'étendre le premier modèle géologique réalisé dans le cadre de l'atlas hydrogéologique du Calvados en 2007. Ce modèle géologique, dont les différentes couches ont été définies selon une finalité hydrogéologique, fournit le cadre géométrique dans lequel le modèle hydrogéologique sera construit et, par la suite, calé. Ce travail sera décrit dans le rapport de phase 2.

Les travaux réalisés lors de cette première phase ont notamment fait apparaître l'existence de données de forages nombreuses mais dont la description demeure trop fréquemment insuffisamment précise pour pouvoir être pleinement valorisée. Une amélioration de la qualité des informations restituées à l'issue de la réalisation de forages permettrait indubitablement une amélioration de la connaissance géologique et hydrogéologique en Basse-Normandie.

Parmi les sujets qui pourraient en bénéficier, on peut citer par exemple la question du comportement hydrogéologique du Bathonien moyen et supérieur – avec son alternance de bancs calcaires et de caillasses plus ou moins fissurées.

7. Bibliographie

Agence Régionale de Santé Normandie, (2010-11) - Evolution de la qualité des eaux de captages utilisés pour la consommation humaine en Basse-Normandie. Rapport de stage - Adèle Kamtchouing - Ecole des métiers de l'environnement de Rennes.

Arnaud L., Coueffé R., Regnier D., (2006) - Atlas hydrogéologique numérique du Calvados - Année 1 : collecte de données et faisabilité. Rapport BRGM/RP-54791-FR

Arnaud L., Mardhel V., Coueffé R., Tourlière B. (2007) - Atlas hydrogéologique numérique du Calvados. Volet cartographique. Rapport BRGM/RP-55670-FR, 150 p, 83 illustrations, 1 annexe.

Arnaud L. (2007) - Atlas hydrogéologique numérique du Calvados. Volet quantitatif. Rapport BRGM/RP-55672-FR, 110 p, 64 illustrations, 3 annexes.

Bourgine B. (2006). Modélisation géologique 3D à l'aide du programme MultiLayer - Version 3 - BRGM/RP-53111-FR. Rapport technique, BRGM

Bourgine *et al.* (2008). Tools and methods for constructing 3D geological models in the urban environment. The Paris case., Proceeding of the Eighth international Geostatistics congress, J.M. Ortiz and X. Emery Editors, Vol 2, pp. 951-960, <http://www.geostats2008.com/2008/cierre2008/?pag=download2&leng=in&IDSESSION=155>

Cardin C., Matheron JP., Paranthoine L., Pascaud P., (1990) – Gestion de la ressource en eau de l'aquifère captif du Bajocien. Première phase. Rapport BRGM/RR-30243-FR

Conseil Général de l'Orne (Mai 2010). Schéma départemental ornaïis d'alimentation en eau potable. Diagnostic.

CRSN. Nouvelles données sur le système karstique littoral des pertes de l'Aure (Bessin, Calvados, France) – Bilan des campagnes 1981-1985. Actes du XIIème congrès régional de spéléologie de Normandie – Evreux, les 12 et 13 avril 1986. Bulletin du comité régional de spéléologie de Normandie, 2^{ème} trimestre 1987 – ISSN 0224 1749, pp 75-97.

Dassibat C., Pareyn C., Pascaud P., (1976) – Renforcement de l'AEP du syndicat d'Omaha Beach. Rapport BRGM 76SGN404PNO.

Dassibat C., Pascaud P., Roux JC (1980) – Hydrogéologie des calcaires jurassiques inférieur et moyen en Basse-Normandie. Bull. BRGM section III n°1, pp. 63-79.

Dugué O., (2006) – Le Massif armoricain dans l'évolution mésozoïque et cénozoïque du nord-ouest de l'Europe. Contrôles tectonique, eustatique et climatique d'un bassin intracratonique (Normandie, mer de la Manche, France). Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. 346 pages

Dugué O., Fily G., Rioult M., (1998) – Le Jurassique des côtes du Calvados. Biostratigraphie, Sédimentologie, Paléoécologie, Paléogéographie et stratigraphie séquentielle. - Bull. trim. Soc. géol. Normandie et Amis Muséum du Havre, 85, 2, 132 p.

Equilbey E., (2000) - Analyse hydrogéologique d'un dossier de demande d'autorisation relative à une augmentation d'un cheptel vaches laitières. Commune de Saint-Gabriel Brécly Calvados - Avis du BRGM. Rapport BRGM RP-50368-FR.

Equilbey E., Lebret P., Barrière J., Choutier J.P., Ellili S., Jacquot P., Lancon W., Lambert J., (2003) - Inventaire préliminaire des cavités souterraines de l'Orne (61) - Basse-Normandie : Rapport final. Rapport BRGM RP-52374-FR.

Fédération Française de Spéléologie. La plaine karstique de Port-en-Bessin. Travaux spéléologiques FFS / CRSN, 1981.

GEOTHERMA - Conseil Général de l'Orne, (Mai 1993) - Etude de vulnérabilité et d'évaluation des risques de pollution – Commune de SEES – Captage de la Luzerne

Institution interdépartementale du bassin de l'Orne : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux Orne Aval – Seulles. Gestion Quantitative des Eaux – Etat des Lieux – SAGE Orne aval-Seulles - Version définitive (mars 2005)

Journaux A., Pareyn C., Roux J.-C., (1964). Proposition d'étude des Ressources Hydrauliques de la Région De Caen – Moyens à mettre en œuvre – Répartition des Tâches – Planning et coût de l'Etude. Rapport DSGR.64.A12.

Journaux A., Pareyn C., Roux J.-C., (1965) - Étude hydrogéologique de la plaine de Caen (Calvados) – Données acquises à la date du 30 Octobre 1965 – Rapport BRGM DSGR.65.A51.

Journaux A., Pareyn C., Roux J.-C., (1966) - Étude hydrogéologique de la plaine de Caen. Rapport final sur les données acquises au cours des années 1964 - 1965 et 1966. Rapport DSGR.66.A76.

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

Lithologic (2009) - Dossier technique préparatoire à la définition des périmètres de protection des forages de Prairie I. Rapport R/OC/09.078a

Lithologic (2008) - Dossier technique préparatoire à la définition des périmètres de protection des captages d'eau potable de Moulines. Demande d'autorisation. Secteur de Moulines et Tournebu. Rapport R/OC/08.082b

Mathieu F., Miehé J.M., (1997) - Reconnaissance par géophysique d'un réseau karstique à Port-en-Bessin (Calvados). Rapport BRGM RR-39821-FR.

Mazenc B., (1994) - Gestion de la ressource en eau de l'aquifère captif du Bajocien - Phase 2 – Rapport BRGM/RR-37952-FR.

Mazenc B., (1994) - Gestion de la ressource en eau de l'aquifère captif du Bajocien - Phase 3 – Rapport BRGM/RR-37999-FR.

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (septembre 2004) - Guide d'application de l'arrêté interministériel du 11 septembre 2003 relatif à la rubrique 1.1.0 de la nomenclature eau.

ONEMA, (janvier 2012) - Note technique relative au dimensionnement et au fonctionnement de « Onde »

Pivette Consultant et Baumann ingeniering SARL, (2001) : Aquifère Bathonien de la région d'Argentan-Sées. Modélisation mathématique pour la gestion de la ressource. Maîtrise d'Ouvrage : Conseil Général de l'Orne.

Riout M. [1985]. - Écueils paléozoïques armoricains dans les mers jurassiques sur la bordure occidentale du Bassin parisien. Sédimentation et peuplements d'écueils. - Com. Trav. Hist. & Scientif., Poitiers. - Bull. Section des Sciences, IX, pp. 177-183.

SCE Aménagement et Environnement : Schéma départemental d'alimentation en eau potable (SDAEP) du Calvados :

- Phase 1 : Diagnostic de la situation actuelle (2003) ;
- Phase 2 : Enjeux, sectorisation et propositions (2004) ;
- Phase 3 : Estimation des coûts (2005).

Sogreah (2008) – Etude préalable à l'instauration des périmètres de protection. Secteur de la Gronde. Rapport d'étude. Rapport Juillet 2008. Révision B. N° 0-83-5510

Stollsteiner P., (2007) - Etat de la connaissance sur le réseau karstique du bassin versant du Guiel (Orne). Rapport BRGM RP-55398-FR

Thierion C., (2007) – Mémoire de master 2 de modélisation hydrogéologique des aquifères du Bajocien - Bathonien dans le secteur des Bocages Normands

Ville de CAEN, Rapport d'activité 2002 - Eau potable et Assainissement

Ward D., McKague K., (2007) – Les exigences en eau du bétail. Fiche technique de l'Ontario. Commande N° 07-024.

Notices des cartes géologiques à 1/50 000^{ème} suivantes :

FILY G., COUTARD J-P., RIOULT M., AUFFRET J-P., LARSONNEUR C, LA QUÉRIÈRE de P. (1989) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille GRANDCAMP-MAISY (95) - Orléans : Bureau de recherches géologiques et minières, 55 p. Carte géologique par FILY G., COUTARD J-P., PAREYN C, RIOULT M., AUFFRET J-P., LARSONNEUR C. (1987).

VERNHET Y., BAIZE S., COUTARD J-P., LANGEVIN C. (1999) – Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Balleroy (118). Orléans : BRGM, 129 p. Carte géologique par Vernhet Y. et al. (1999).

VERNHET Y, LEROUGE G., HERVY V, BESOMBES J-C, LANGEVIN C. (2000) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Torigni-sur-Vire (144). Orléans : BRGM, 126 p. Carte géologique par Y. Vernhet et al. (2000).

MAURIZOT P., AUFFRET J-P, BAIZE S., DEROIN J-P, DUGUÉ O., FILY G., LE GALL J., LELIEPAULT F., MAZENC B., PELLERIN J. (2000) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Bayeux - Courseulles-sur-Mer (119). Orléans : BRGM, 151 p. Carte géologique par MAURIZOT P. et al (2000).

VERNHET Y., MAURIZOT P., LE GALL J., GIGOT P., DUPRET L., LEROUGE G., BESOMBES J-C., BARBIER G., PAY T., avec la collaboration de PELLERIN J., DUGUÉ O., FILY G. (2002) – Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Villers-Bocage (145). Orléans : BRGM, 229 p. Carte géologique par Y. VERNHET et al. (2002).

DORÉ F., DUPRET L., avec la collaboration de PELLERIN J., RIOULT M., LECOINTE A., VERRON G. (1993) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50000), feuille Condé-sur-Noireau (175). Orléans: BRGM, 74 p. Carte géologique par F. Doré, L. Dupret, F. Dumesnil, J. Pellerin et coll. (1993).

RIOULT M., COUTARD J-P., LA QUÉRIÈRE de P., HELLUIN M., LARSONNEUR C., PELLERIN J., PROVOST M. (1989) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille CAEN (120) - Orléans: Bureau de recherches géologiques et minières, 104 p. Carte géologique par RIOULT M., COUTARD J.P., HELLUIN M., PELLERIN J., QUINEJURE-HELLUIN E., LARSONNEUR C., ALAIN Y. (1986).

DEROIN J.P., LEROUGE G., BARBIER G., VERNHET Y., COUTARD J-P., OZOUF J-C., LANGEVIN C. (1999) – Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Mézidon (146). Orléans : BRGM, 150 p. Carte géologique par J.P. Deroin et al. (1999).

GIGOT P., DUPRET L., LE GALL J. avec la collaboration de COUTARD J-P., OZOUF J-C., PAY T., LECOINTE A., DESLOGES J., DEROIN J-P. (1999) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Falaise (176). Orléans : BRGM, 154 p. Carte géologique par P. Gigot, L. Dupret, J. Le Gall (1999).

KUNTZ G., MÉNILLET F., LE GALL J., RIOULT M., CALLIER L., PELLERIN J., LA QUÉRIÈRE de P., VAUTRELLE C., VERRON G. (1989) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50000), feuille ARGENTAN (212) - Orléans : Bureau de recherches géologiques et minières, 99 p. Carte géologique par MÉNILLET F., GÉRARD J., LE GALL J., DORÉ F., CALLIER L., KUNTZ G., RIOULT M., PELLERIN J., VERRON G. (1987).

GUYADER J., PAREYN C. et VIALLEFOND L., avec le concours de P. JUIGNET (1970) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille LE HAVRE, - Orléans: Bureau de recherches géologiques et minières, 18 p

PAREYN C., (1970) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille LISIEUX (121) - Orléans: Bureau de recherches géologiques et minières, 15 p.

MÉNILLET F., avec la collaboration de BOURDILLON C., FAUCONNIER D., HOUARIA., LANGEVIN C., HÉRARD B., BÉGUIN P. (1999) – Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Livarot (147). Orléans : BRGM, 98 p. Carte géologique par Ménillet F. et al. (1999).

MÉNILLET F., RIOULT M., avec la collaboration de HAVLICEK P., LECOINTE A., MONCIARDINI C., PASCAUD P, (1994) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50000), feuille Vimoutiers (177). Orléans BRGM, 91 p. Carte géologique par F. Ménillet et al. (1994).

MÉNILLET F., GÉRARD J., avec la collaboration de HÉRARD B., LANGEVIN C., LEMOINE B., LETURCQ T., PELLERIN J., QUESNEL F. (1997) – Notice explicative, Carte géol. France (1/50000), feuille Sées (213). Orléans; BRGM, 103 p. Carte géologique par F. Ménillet, J. Gérard, G. Kuntz, T. Leturcq, J. Pellerin, F. Quesnel (1997).

Fiche Caractéristique de la Masse d'Eau 3308 – Bathonien-Bajocien de la Plaine de Caen et du Bessin

Synthèse géologique du Bassin de Paris (BRGM, 1980)

FILY G. & RIOULT M. [1980]. - Normandie et Maine. In : THIERRY J. (Coord.), Chapitre Jurassique moyen, Synthèse géologique du Bassin de Paris. - Mém. Bur. Rech. Géol. Min., 101, pp. 145-150.

RIOULT M. [1980]. - Maine, Perche, Normandie. In : DEBRAND-PASSARD S., ENAY R. & RIOULT M. (Coord.) Chapitre Jurassique supérieur, Synthèse géologique du Bassin de Paris. - Mém. B.R.G.M, 101, pp. 214-216.

RIOULT M. [1980]. - Jurassique moyen-supérieur. In : MEGNIEN Ed. Synthèse géologique du Bassin de Paris, vol. III, Lexique de noms de formations. - Mém.

B.R.G.M., 103, pp. 106-108, 118-119, 124, 126, 129, 130-131, 132-133, 146-147, 151, 155-156, 157, 160-161, 171, 173-175, 176, 178-179, 184-185, 186-187, 189-190, 194-195, 200-201, 204-205, 206, 209-210, 213, 214, 227-228, 230-231, 233, 239-241, 243-246,

Annexe 1

Légende de la carte géologique à l'échelle 1 / 1 000 000 (BRGM)

	q3, sables, limons
	q2, argiles, sables, graviers, galets
	q2-3, sables, argiles, graviers
	q2-3, sables, cailloutis, vases
	pq1, cailloutis, argiles, sables, galets
	e1, argiles, marnes, calcaires, sables
	c2, argiles à silex
	c1, non documenté
	j3, non documenté
	j3, calcaires, grès, argiles
	j2, non documenté
	j2, calcaires, marnes, argiles
	j1, non documenté
	t, non documenté
	r, non documenté
	h3, grès, conglomérats, charbons, schistes
	s, volcanites acides, tuffites acides
	o, grès, conglomérats, schistes
	k, grès, conglomérats, schistes
	b2, schistes, grès, wackes
	3, gabbros, diorites
	b1, basaltes, schistes verts, spilites

Annexe 2

Liste des chroniques de débits disponibles dans la zone d'étude

Identifiant	Réseau hydrographique	XL93	YL93	Mois_début	Année_début	Mois_fin	Année_fin	Longueur des chroniques (années)
I5321510	Aure	427472.5	6919980	9	1981	12	2011	30
I5401520	Aure	424217.5	6919952.5	9	1981	8	1986	5
I5352010	Aure	428157.5	6917547.5	9	1981	12	2011	30
I2213610	Dives	476995	6908740	9	1969	12	2011	42
I2023410	Dives	468350	6872495	6	1993	5	2004	11
I3463610	Dives	431015	6854870	7	1975	12	2005	30
I2001010	Dives	485212.5	6861185	7	1978	1	2012	34
I2021010	Dives	474465	6870767.5	9	1969	12	2011	42
I2051030	Dives	477105	6895190	12	1972	9	1993	21
I2051040	Dives	477602.5	6889750	5	1993	11	2011	18
I2211010	Dives	473720	6900880	5	1971	9	1976	5
I2211030	Dives	473542.5	6910842.5	11	1979	2	1980	1
I2201010	Dives	476427.5	6898685	2	1992	1	1998	6
I2051010	Dives	476332.5	6893207.5	10	1970	12	1972	2
I2203110	Dives	480037.5	6900200	10	1970	1	1982	12
I2203810	Dives	473725	6895742.5	10	1970	1	1982	12
I2213110	Dives	469150	6898840	2	1970	12	1980	10
I2102010	Dives	495685	6870742.5	2	1998	12	2011	13
I2162010	Dives	478820	6897445	10	1970	12	1975	5

I4053010	Seulles	448067.5	6916992.5	8	1970	12	2011	41
I4053020	Seulles	448817.5	6910087.5	12	1979	1	2001	22
I4022010	Seulles	436362.5	6901867.5	9	1981	11	2011	30
I4032010	Seulles	443225	6915942.5	9	1971	11	2011	40
I4013010	Seulles	431897.5	6892132.5	7	1981	2	1991	10
I1203010	Touques	502575	6914260	8	1970	12	2011	41
I1203020	Touques	506410	6911667.5	10	2009	5	2011	2
I1143020	Touques	497775	6909657.5	12	1972	1	1999	27
I1143040	Touques	503710	6906102.5	11	1985	6	1987	2
I1213410	Touques	494825	6916662.5	6	1993	9	1996	3
I1103010	Touques	499552.5	6895972.5	8	1982	12	2011	29
I1011010	Touques	500200	6862495	12	1997	11	2011	14
I1021010	Touques	499732.5	6878515	10	2010	11	2011	1
I1031010	Touques	496860	6893670	10	1980	10	2011	31
I1111010	Touques	497362.5	6897157.5	8	1982	7	2010	28
I1111010	Touques	497362.5	6897157.5	8	1982	10	2011	29
I1213110	Touques	494170	6910975	8	1970	12	2010	40

I3442310	Orne	435715	6873832.5	1	1968	12	2011	43
I3452310	Orne	438065	6868452.5	6	1993	2	2000	7
I3103010	Orne	473080	6848020	2	1997	8	2011	14
I3612010	Orne	457412.5	6883400	6	1973	1	2002	29
I3612060	Orne	454935	6889427.5	10	2005	10	2010	5
I3343010	Orne	447107.5	6862157.5	12	1975	10	1986	11
I3123210	Orne	467532.5	6851307.5	3	1997	5	2004	7
I3422010	Orne	432995	6861820	7	1998	12	2011	13
I3462010	Orne	447805	6868445	2	1997	1	2012	15
I3712010	Orne	435947.5	6892072.5	1	1991	12	2011	20
I3121010	Orne	465880	6854455	2	1997	12	2011	14
I3131010	Orne	457545	6859027.5	1	1960	12	2005	45
I3361010	Orne	451340	6866332.5	2	1997	1	2012	15
I3521010	Orne	446587.5	6887025	1	1965	12	1980	15
I3521020	Orne	445227.5	6882240	10	1985	1	2012	27
I3531010	Orne	448035	6890572.5	12	2004	1	2012	8
I3621010	Orne	452855	6895287.5	10	1983	1	2012	29
I3302020	Orne	455500	6847757.5	5	1997	5	2004	7
I3352010	Orne	450530	6862245	2	1997	1	2012	15
I3113010	Orne	469907.5	6850627.5	1	1997	12	2011	14
I3033010	Orne	486855	6854325	2	1991	12	2011	20
I3463010	Orne	442407.5	6866597.5	7	1975	12	2011	36
I3463510	Orne	430932.5	6855500	7	1975	12	2005	30

Annexe 3

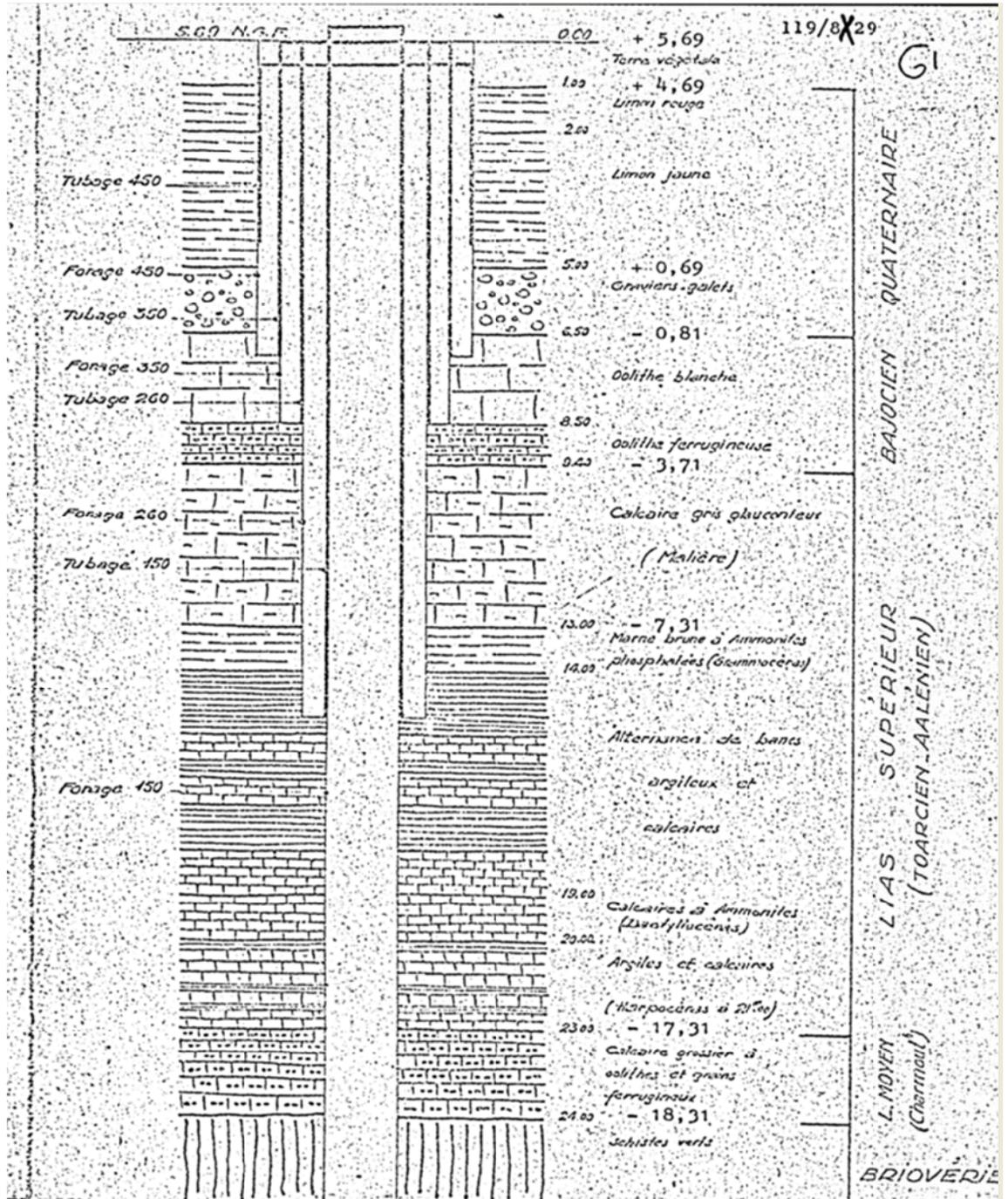
Liste des chroniques piézométriques disponibles dans la zone d'étude, hors piézomètres de la ville de Caen

Les piézomètres situés dans le département de l'Orne apparaissent en orange dans le tableau de la page suivante.

Commune	Département	Indice BSS	Aquifère capté	XL93	YL93	Date début	Date fin
ASNIERES-EN-BESSIN	14	00956X0055	BAJOCIEN	414625	6923685	23/09/1976	-
AUQUAINVILLE	14	01473X0087	CENOMANIEN	498255	6887726	31/01/1974	-
AUVILLARS	14	01216X0086	CENOMANIEN	489605	6902650	04/02/1974	-
BEAUMONT-EN-AUGE	14	01212X0089	CENOMANIEN	489422	6911443	05/02/1974	26/02/2004
BELLENGREVILLE	14	01462X0032	BATHONIEN	465016	6897148	26/08/1976	05/06/2000
BENY-SUR-MER	14	01194X0069	BATHONIEN	450262	6915850	16/12/1968	-
CAIRON	14	01194X0149	BATHONIEN	449361	6909666	17/07/1971	-
CINTHEAUX	14	01461X0012	BATHONIEN	459530	6888935	18/05/1970	-
CULLY	14	01193X0177	BAJOCIEN	444163	6912313	22/06/1972	19/07/1998
DANESTAL	14	01211X0037	CENOMANIEN	482798	6910387	05/02/1974	-
ESTREES-LA-CAMPAGNE	14	01466X0045	BATHONIEN	463619	6884376	30/01/1974	11/01/2000
FRESNE-CAMILLY	14	01193X0044	BATHONIEN	446402	6911358	29/01/1974	-
GARCELLES-SECQUEVILLE	14	01462X0072	BATHONIEN	461233	6893985	30/01/1974	-
IFS	14	01205X0229	BATHONIEN	455855	6900836	10/04/1967	-
LONGRAYE	14	01195X0200	TRIAS	429186	6901994	29/06/2006	-
LOUVIGNY	14	01198X0029	BAJOCIEN	453078	6901077	24/04/1973	-
MAISONS	14	01184X0021	BAJOCIEN	426183	6918976	28/01/1974	-
MARTRAGNY	14	01192X0043	BAJOCIEN	437777	6911791	28/01/1974	-
MATHIEU	14	01201X0108	BATHONIEN	456355	6911718	29/01/1974	-
MAY-SUR-ORNE	14	01454X0065	BAJOCIEN	453640	6893585	30/01/1974	23/05/2000
MORTEAUX-COULIBOEUF	14	01764X0012	BATHONIEN	473774	6873252	27/04/2007	-
OSMANVILLE	14	00955X0023	LIAS	403381	6921992		
POUSSY-LA-CAMPAGNE	14	01462X0079	BATHONIEN	464236	6891354	30/01/1974	-
SAINT-CONTEST	14	01198X0002	BATHONIEN	453792	6906840	10/01/1966	-
SAINT-MARTIN-DES-ENTREES	14	01191X0004	BAJOCIEN	433708	6913224	28/01/1974	-
SANNERVILLE	14	01206X0009	BATHONIEN	463472	6902064	04/02/1974	-
ST-CYR-DU-RONCERAY	14	01474X0048	CENOMANIEN	502504	6886750	30/06/2005	-
SURVILLE	14	01213X0166	OXFORDIEN	498349	6914989	05/02/1974	-
TIERCEVILLE	14	01193X0174	BAJOCIEN	443525	6915649	01/06/1972	27/11/1999
TOURNEBU	14	01465X0067	TRIAS-LIAS	455542	6879641	09/04/2008	-
VIERVILLE-SUR-MER	14	00957X0005	BATHONIEN	416839	6926290	23/09/1976	-
VIEUX-FUME	14	01463X0103	BATHONIEN	470956	6888409	30/01/1974	-
ALMENECHES	61	02131X0032	BATHONIEN	485165	6848190	08/04/2004	-
BRIOUZE	61	02114X0008	SOCLE	450599	6850455	17/08/1999	10/10/2004
MARDILLY	61	01778X0015	OXFORDIEN	499687	6863913	05/02/1999	29/02/2008
MORTREE	61	02135X0016	BATHONIEN	485204	6842088	05/11/1999	-
OCCAGNES	61	01768X0022	BATHONIEN	473796	6857865	29/12/1995	-
OMMEEL	61	01776X0023	BATHONIEN	490343	6859775	01/03/2006	-
SAI	61	02131X0019	BATHONIEN	482993	6853110	06/04/1995	-
SAINT-GERMAIN-DE-CLAIREFEUILLE	61	02133X0008	BATHONIEN	497529	6848690	27/04/1995	-
SAINT-LOYER-DES-CHAMPS	61	02131X0018	BATHONIEN	483289	6848400	27/04/1995	-
SAINT-PIERRE-DU-REGARD	61	01756X0008	SOCLE	439863	6863615	22/06/1995	29/02/2008
SARCEAUX	61	02124X0037	BATHONIEN	477745	6849986	06/10/1999	-

Annexe 4

Coupe technique du puits de Louvigny (indice BSS 01198X0029/S8)



Annexe 5

Liste des piézomètres de la ville de Caen équipés d'enregistreurs de niveau de nappe

Inventaire du parc de piézomètres équipé d'enregistreurs de niveau de nappe - CAEN

Page 2 : Capitaine Boualam

- Premier enregistrement Paratronic 01/07/2006

Page 3 : Eglise St Etienne

- Historique OTT 28/08/1997 – 25/11/2001
- Premier enregistrement Paratronic 30/06/2006

Page 4 : Stade Hélicas

- Historique OTT 26/08/1998 – 21/10/1999
- Premier enregistrement Paratronic 30/06/2006

Page 5 : Rue de Maltot

- Historique OTT 05/08/1998 – 13/09/2005

Page 6 : Esplanade Zenith

- Historique OTT 09/09/1997 – 07/08/2001
- Premier enregistrement Paratronic 30/06/2006

Page 7 : Camping Louvigny vers Caen

- Historique OTT 09/09/1997 – 14/12/1999
- Premier enregistrement Paratronic 30/06/2006

Page 8 : Camping Louvigny vers Louvigny

- Historique OTT 09/09/1997 – 07/08/2001 // 17/03/2004 – 09/12/2004
- Premier enregistrement Paratronic 26/07/2006

Page 9 : Rue de Falaise

- Premier enregistrement Paratronic 30/06/2006

Page 10 : Hotel des finances

- Historique OTT 29/08/1997 – 05/11/2000
- Premier enregistrement Paratronic 30/06/2006

Page 11 : Rue de Géôle

- Historique OTT 25/08/1998 – 23/03/2001
- Premier enregistrement Paratronic 30/06/2006

Page 12 : Rue Singer

- Historique OTT 10/04/2001 – 08/08/2001
- Premier enregistrement Paratronic 30/06/2006

Page 13 : Rue des Carmes

- Historique OTT 08/09/1997 – 16/03/2000
- Premier enregistrement Paratronic 30/06/2006

Page 14 : Rond point de l'Orne

- Historique OTT 09/09/1997 – 07/08/2001 // 02/04/2004 – 04/06/2005
- Premier enregistrement Paratronic 30/06/2006

Page 15 : Rue de Suède et de Norvège

- Historique OTT 26/08/1998 – 23/10/1998 // 29/05/1999 – 14/10/1999
- Premier enregistrement Paratronic 18/09/2006

Page 16 : Rue Basse

- Historique OTT 26/08/1998 – 23/02/2000 // 12/08/2000 – 21/09/2000 // 18/08/2002 – 23/06/2004
- Premier enregistrement Paratronic 30/06/2006

Page 17 : Gardin 1 (parking de la patinoire, terre-plein localisé par des potelets)

- Premier enregistrement Paratronic 06/05/2008

Page 18 : Gardin 2 (avenue piétonne chemin de l'Hippodrome au droit des Véol')

- Premier enregistrement Paratronic 06/05/2008

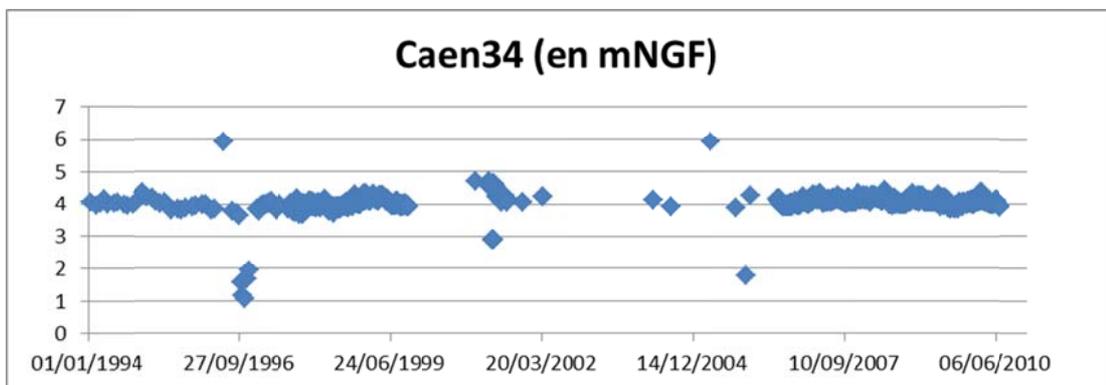
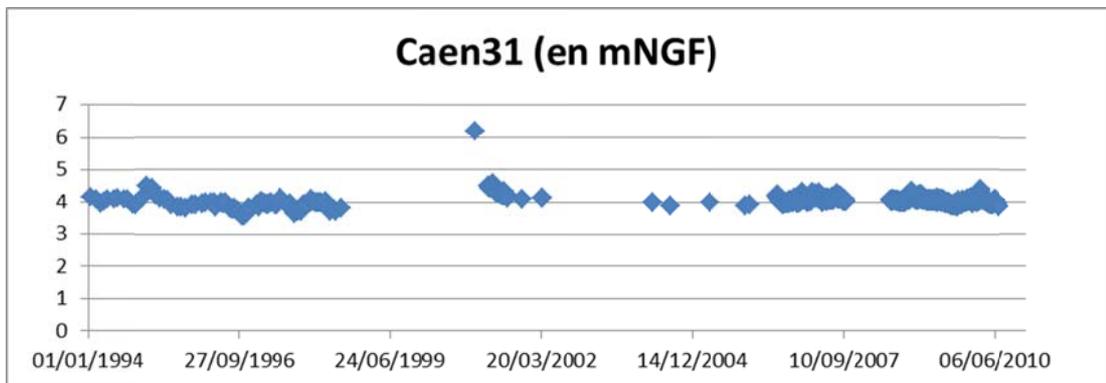
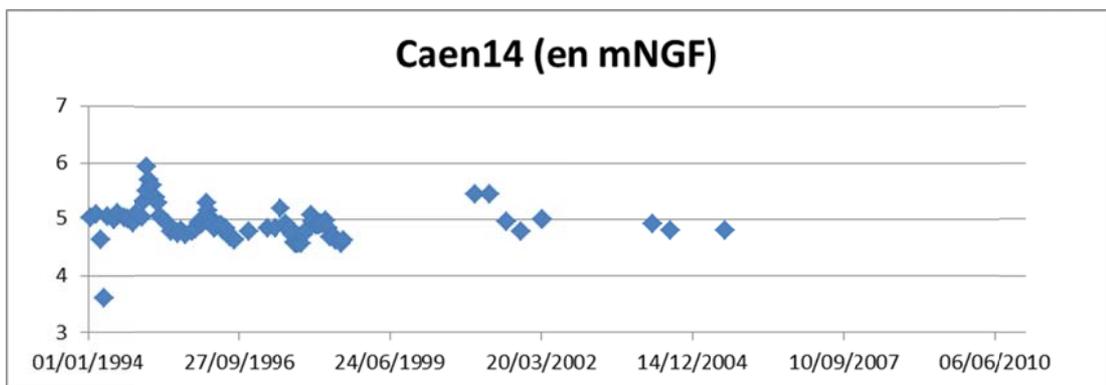
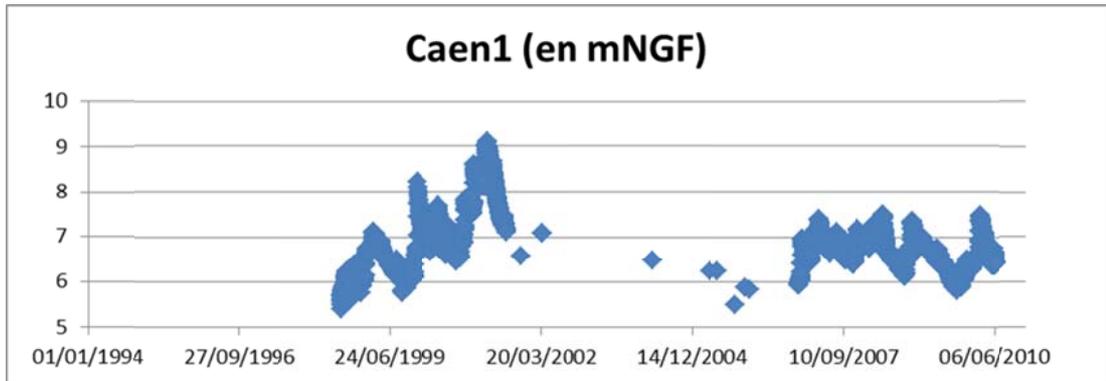
Page 19 : Gardin 3 (avenue de l'hippodrome devant l'agence immobilière fnaim)

- Premier enregistrement Paratronic 06/05/2008

EC/GR DEA
09/07/2009

Annexe 6

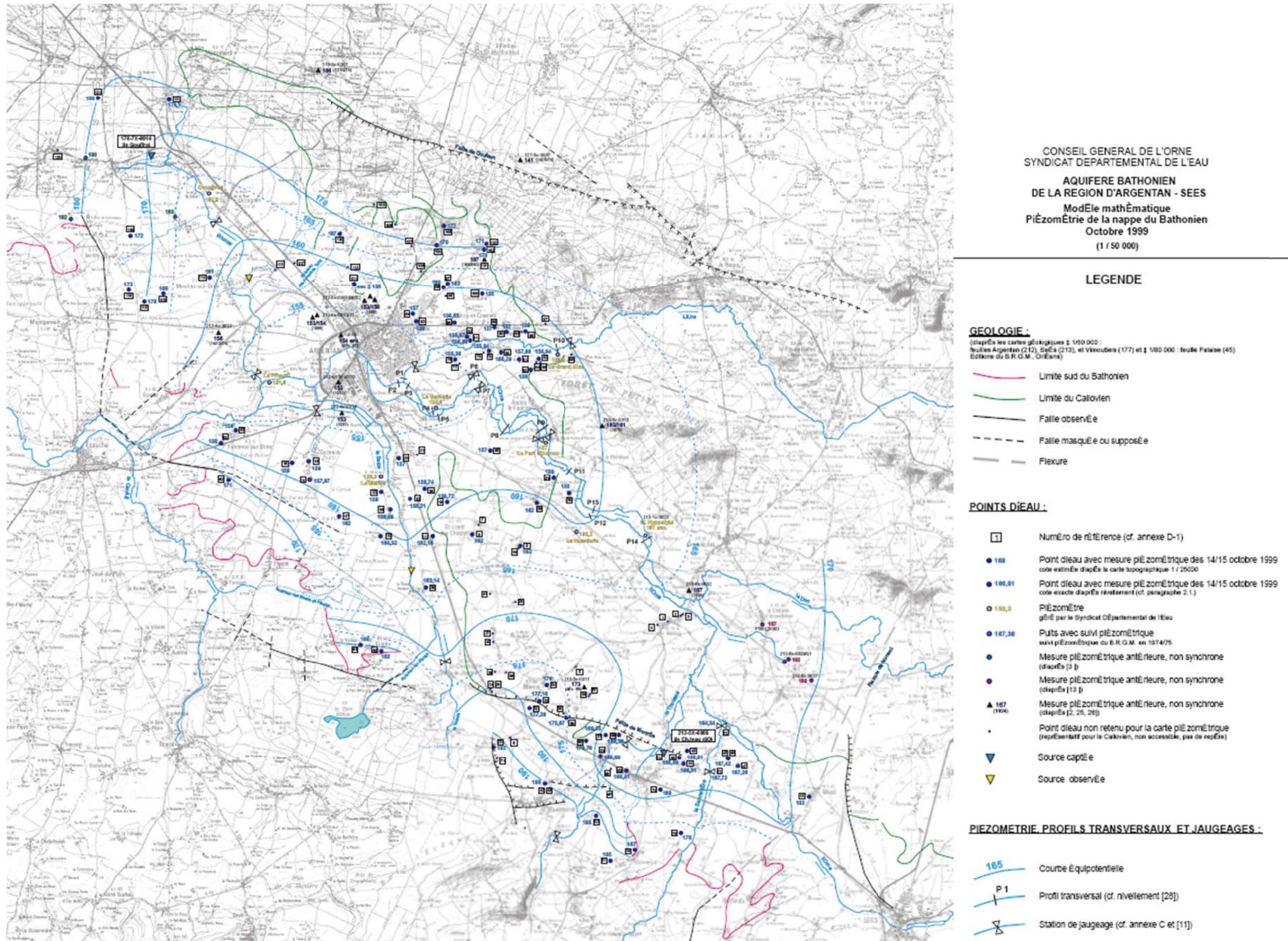
Exemples de chroniques piézométriques fournies par la ville de Caen



Annexe 7

Carte piézométrique de l'aquifère du Bathonien de la région d'Argentan – Sées

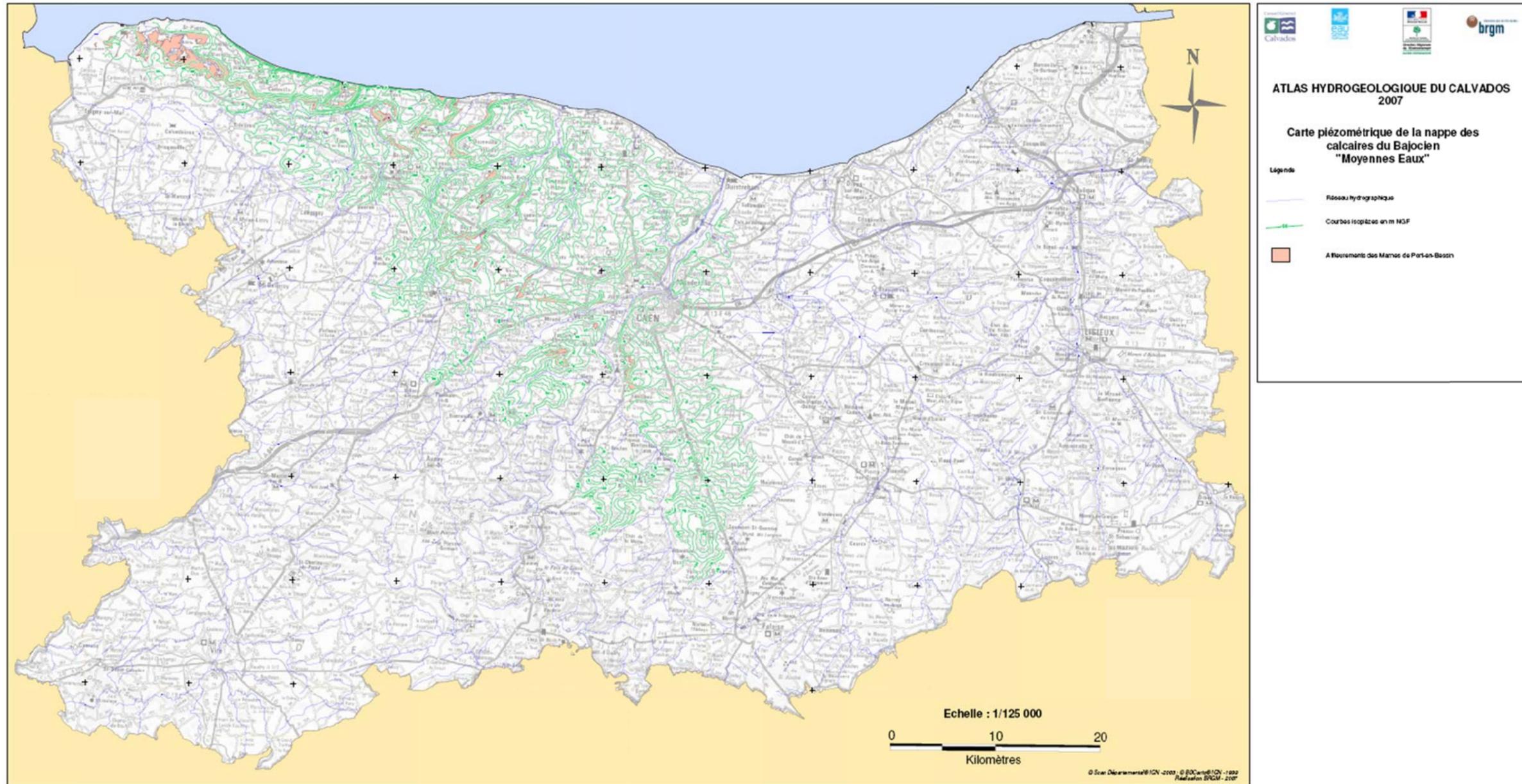
Octobre 1999



Annexe 8

Carte piézométrique de la nappe du Bajocien en situation de moyennes eaux (Atlas hydrogéologique numérique du Calvados)

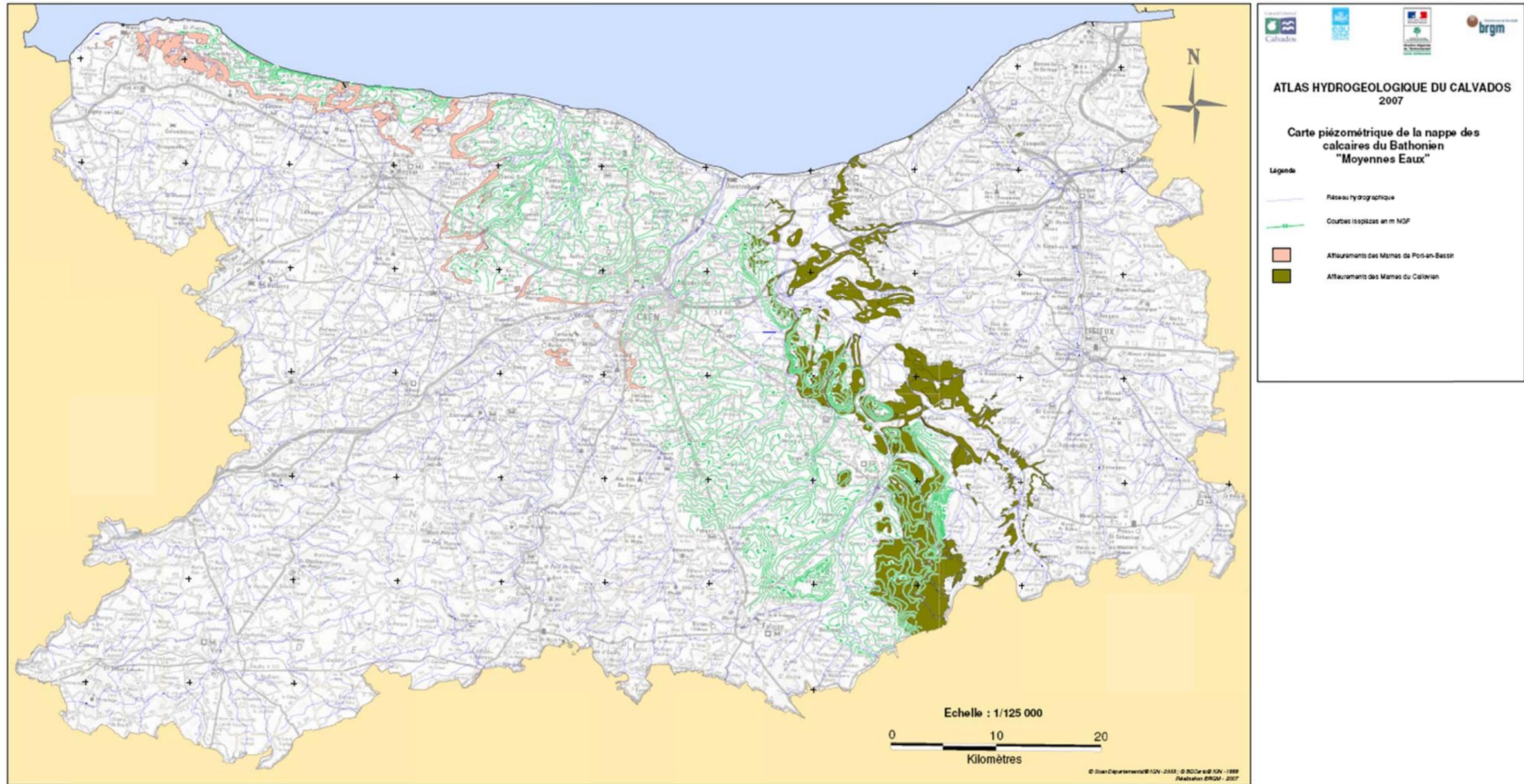
Octobre 2007



Annexe 9

Carte piézométrique de la nappe du Bathonien en situation de moyennes eaux (Atlas hydrogéologique numérique du Calvados)

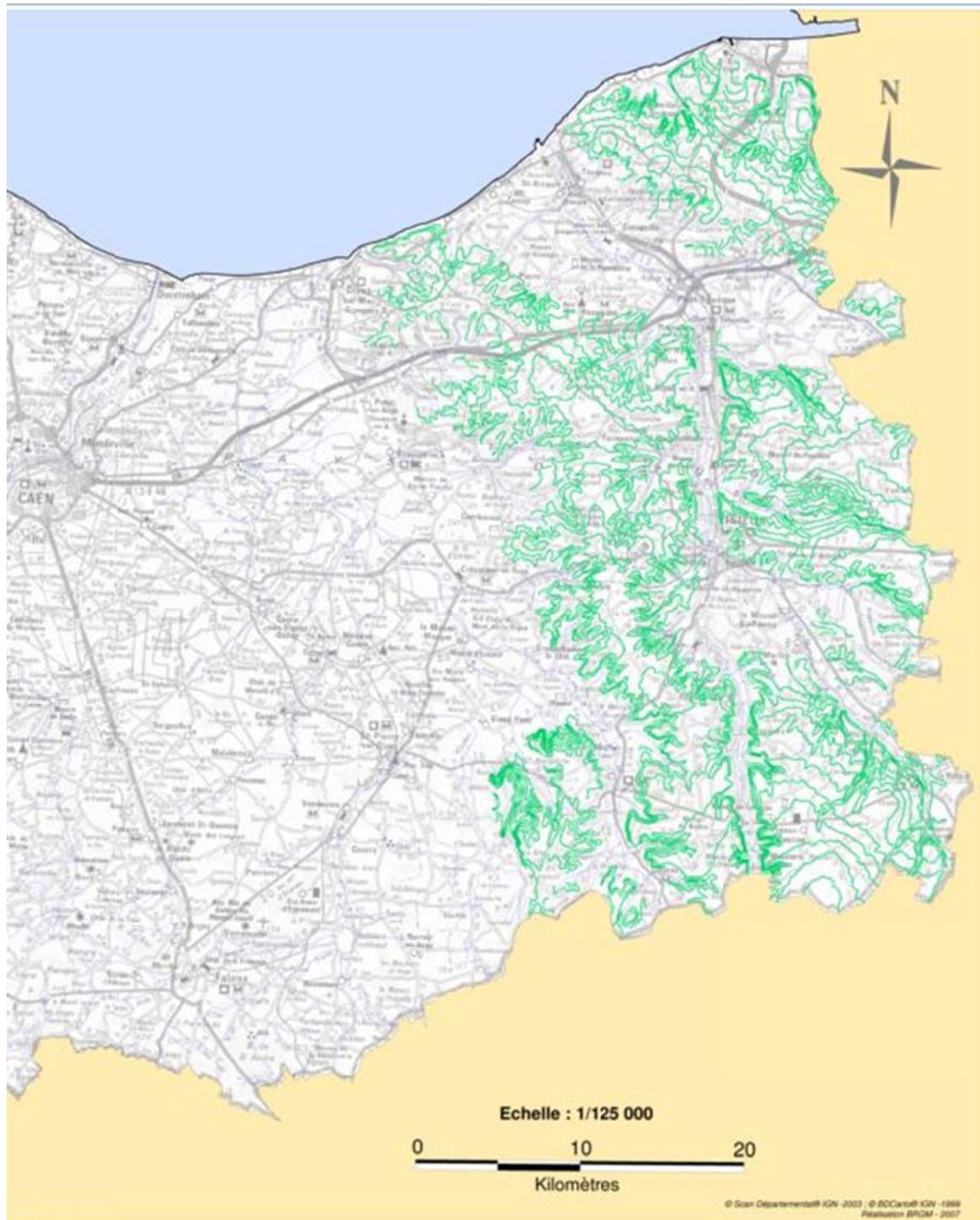
Octobre 2007



Annexe 10

Carte piézométrique de la nappe du Cénomanienn en situation de moyennes eaux (Atlas hydrogéologique numérique du Calvados)

Octobre 2007



Annexe 11

Paramètres hydrodynamiques recensés par forage et par aquifère dans la zone d'étude

Modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives : rapport de phase 1

INDICE	DESIGNATION	DPT	COMMUNE	XL2E	YL2E	Aquifère	Transmissivité (m ² /s)	Emmagasinement (-)
00955X0046	S2	14	GRANDCAMP-MAISY	355265	2490901	Bajocien	2.4E-04	7.4E-08
00956X0077	F1	14	LOUVIERES	363452	2489364	Bajocien	1.4E-02	1.5E-03
00957X0075	F3	14	COLLEVILLE-SUR-MER	368296	2489207	Bajocien	1.0E-01	2.0E-03
00958X0057		14	port en bessin	375872	2487323	Bajocien	2.7E-03	
00965X0001		14	longues sur mer	379185	2487289	Bathonien	2.8E-04	
00965X0002		14	longues sur mer	379275	2487249	Bathonien	5.6E-04	
00965X0006		14	manvieux	382879	2486517	Bajocien	2.8E-05	
00965X0065	F4	14	LONGUES-SUR-MER	378277	2485293	Bajocien	1.0E-03	
00965X0066	F3	14	LONGUES-SUR-MER	378259	2485240	Bajocien	1.6E-03	
00966X0059	FE1	14	MEUVAINES	388486	2486513	Bajocien	5.0E-02	3.0E-03
00967X0058	F2	14	COURSEULLES-SUR-MER	396310	2484501	Bathonien	7.6E-02	
00968X0019		14	Bernières-sur-Mer	399079	2484641	Bathonien	8.3E-06	
01174X0024	F3B	14	ISIGNY-SUR-MER	350023	2485223	Trias	1.1E-02	3.0E-03
01174X0028	F7-95	14	ISIGNY-SUR-MER	350705	2485157	Trias	5.5E-03	4.0E-05
01181X0021	F2	14	ISIGNY-SUR-MER	351234	2483846	Trias	2.1E-02	1.0E-02
01181X0022	F3	14	ISIGNY-SUR-MER	351954	2484348	Trias	8.0E-03	5.0E-02
01181X0030	F3	14	ISIGNY-SUR-MER	351226	2483793	Trias	3.0E-02	
01182X0033	F5	14	COLOMBIERES	358321	2483939	Trias	1.2E-02	1.2E-03
01182X0040	F5B	14	COLOMBIERES	358322	2483898	Trias	1.0E-02	1.0E-03
01184X0049		14		375273	2474670	Trias	6.0E-03	
01184X0051	F2	14	ARGANCHY	375303	2474707	Trias	7.6E-03	1.3E-05
01188X0005		111111	TORTEVAL-QUESNAY	376506	2467326	Trias	2.1E-03	1.8E-03
01188X0016	F2	14	TORTEVAL-QUESNAY	376606	2467426	Trias	2.0E-03	2.3E-04
01188X0018	F2	14	SAINT-PAUL-DU-VERNAY	374705	2468740	Sode	3.8E-03	6.5E-02
01191X0046		14	RYES	382954	2483992	Bajocien	8.1E-03	
01191X0234		14	esquay sur seullies	383343	2478888	Bajocien	2.2E-02	
01191X0237		14	vaux sur aure	378613	2482033	Bajocien	2.8E-05	
01191X0239	F	14	TRACY-SUR-MER	382804	2484119	Bajocien	1.9E-03	
01191X0250		14	vaux sur aure	378443	2482974	Bajocien	1.0E-02	3.0E-02
01191X0251		14	saint vigor	379621	2481719	Bajocien	2.6E-02	
01191X0263	S2-F1	14	RYES	383910	2484154	Bajocien	1.4E-02	
01192X0210		14	esquay sur seullies	383707	2479029	Bajocien	1.1E-02	
01192X0213		14	saint gabriel brécy	389511	2479543	Bajocien	2.0E-01	2.0E-04
01193X0168		14	COLOMBIERS-SUR-SEULLES	394410	2481238	Bathonien	1.6E-01	3.0E-03
01193X0169		14	Fontaine-Henry	396313	2480510	Bathonien	6.4E-03	
01193X0170	F6	14	Fontaine-Henry	396320	2480505	Bathonien	2.4E-02	1.0E-02
01193X0171		14	AMBLIE	395040	2481279	Bathonien	4.5E-02	7.0E-03
01193X0172	F8	14	AMBLIE	395029	2481280	Bathonien	8.0E-02	1.0E-02
01193X0173		14	COLOMBIERS-SUR-SEULLES	393199	2481049	Bathonien	3.9E-02	
01193X0173		14	COLOMBIERS-SUR-SEULLES	393199	2481049	Bathonien	2.4E-01	4.0E-04
01193X0175	FEA13	14	LANTHEUIL	392703	2478172	Bajocien	2.7E-01	1.0E-05
01193X0179	SA-16	14	AMBLIE	392048	2480763	Bathonien	8.0E-03	5.0E-02
01193X0180	SA-17	14	AMBLIE	392258	2480964	Bathonien	3.0E-02	
01193X0181	SA-19	14	AMBLIE	392699	2480439	Bathonien	1.5E-01	
01193X0182	SA-20	14	COLOMBIERS-SUR-SEULLES	392969	2480765	Bathonien	1.5E-01	
01193X0187		14		391185	2475145	Bajocien	2.0E-02	
01193X0189	S2	14	AMBLIE	392980	2480445	Bajocien	1.0E-03	2.5E-04
01194X0005	F	14	Anguerny	400184	2477044	Bathonien	4.2E-05	
01194X0140	F3	14	THAON	397553	2477583	Bathonien	2.2E-02	3.0E-03
01194X0142	F5	14	Fontaine-Henry	397258	2478251	Bathonien	4.0E-02	1.5E-02
01194X0145	F4	14	Thaon barbières	397950	2477411	Bathonien	1.7E-02	1.0E-02
01194X0151		14	doures	401663	2480069	Bathonien	2.4E-02	
01194X0157	F2	14	LANGRUNE-SUR-MER	401202	2482577	Bathonien	1.6E-03	
01194X0166	S6-94	14	THAON	397434	2477193	Bajocien	1.2E-04	8.0E-04
01194X0167	F1	14	LANGRUNE-SUR-MER	402005	2482380	Bathonien	3.7E-03	
01194X0168	FD-1	14	LANGRUNE-SUR-MER	401282	2482757	Bathonien	2.1E-02	1.0E-03
01195X0187	F8	14	TORTEVAL-QUESNAY	377007	2467137	Trias	4.8E-04	2.8E-02
01195X0205	F1	14	JUAYE-MONDAYE	379269	2473206	Trias	1.0E-03	
01195X0208		14		378670	2465939	Trias	1.3E-03	
01195X0209	F3B	14	JUAYE-MONDAYE	378075	2473810	Trias	3.3E-03	1.0E-05
01195X0210	F1B	14	JUAYE-MONDAYE	379257	2473166	Trias	1.5E-03	2.0E-05
01195X0211	F2-2	14	LONGRAYE	378715	2465720	Trias	9.5E-04	3.8E-02
01195X0212	F2	14	LONGRAYE	377703	2467010	Trias	1.8E-03	2.0E-05
01195X0213	F2	14	LONGRAYE	378678	2466155	Trias	7.2E-04	5.2E-02
01195X0214	FE1	14	JUAYE-MONDAYE	378680	2472547	Trias	1.6E-03	
01196X0105		14	audrieu	384727	2471343	Bajocien	1.4E-04	
01197X0127	F2	14	CHEUX	391031	2465538	Sode	1.0E-04	
01197X0135	F2B	14	CHEUX	391021	2465528	Sode	1.8E-04	
01197X0138	FD2	14	CHEUX	391017	2465660	Sode	2.5E-04	
01198X0034		14	CAEN	402377	2466930	Bathonien	3.4E-02	2.2E-04
01198X0035	PR1-B	14	CAEN	402384	2466932	Bathonien	1.0E-02	
01198X0037	PR1-D	14	CAEN	402370	2466933	Bathonien	1.3E-02	5.0E-05
01198X0068	F	14	Saint Contest	399998	2472114	Bathonien	2.5E-04	
01201X0002	F1	14	BLAINVILLE-SUR-ORNE	407272	2473993	Bathonien	2.7E-03	
01201X0011	F1	14	LION-SUR-MER	405465	2481733	Bathonien	1.0E-02	3.3E-02
01201X0012	F1	14	COLLEVILLE-MONTGOMERY	407681	2478802	Bathonien	7.0E-01	
01201X0080	F	14	Saint aubin d'arquenay	409039	2477063	Bathonien	4.2E-04	

Modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives : rapport de phase 1

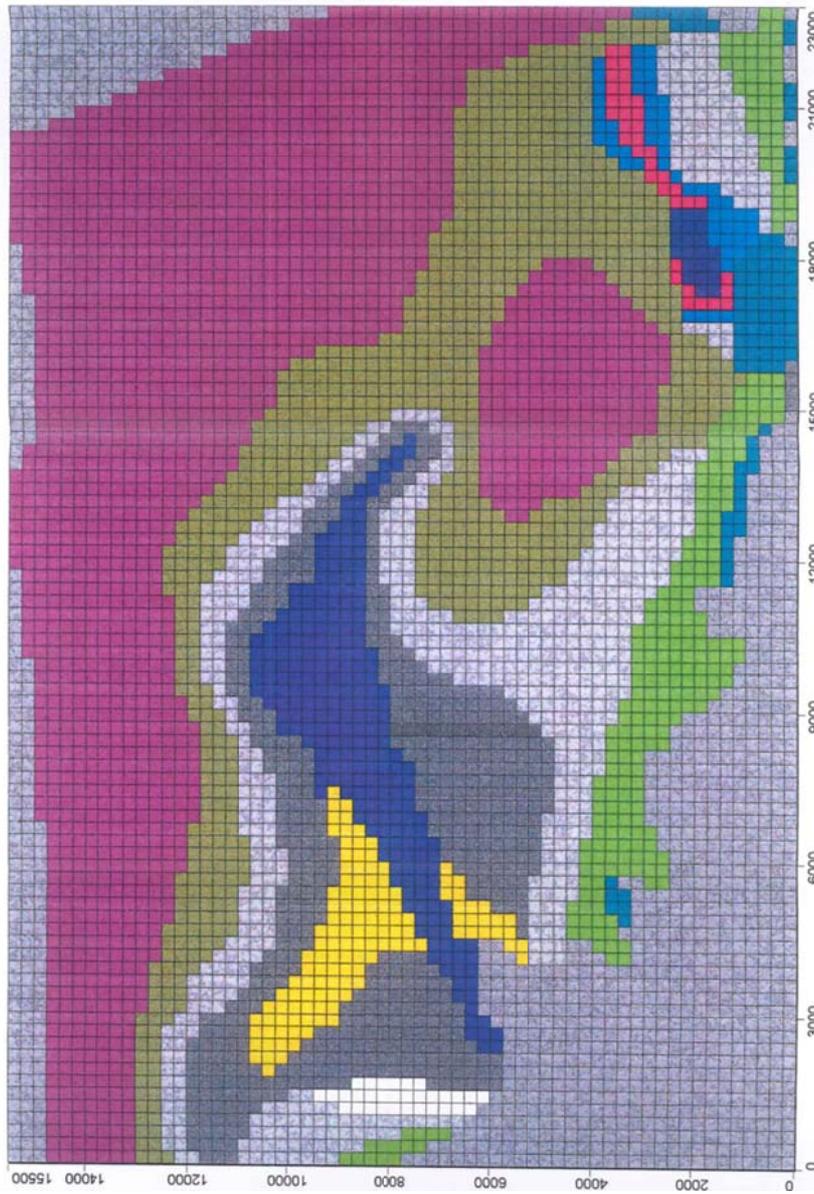
INDICE	DESIGNATION	DPT	COMMUNE	XL2E	YL2E	Aquifère	Transmissivité (m ² /s)	Emmagasinement (-)
01201X0083	F	14	Bérouville	409057	2474881	Bathonien	1.4E-03	
01201X0156	F2	14	BLAINVILLE-SUR-ORNE	406736	2473764	Bathonien	1.0E-02	
01201X0168	S	14	Bérouville	408001	2475452	Bathonien	5.0E-05	
01201X0169	S	14	Bérouville	407911	2475352	Bathonien	1.0E-05	
01201X0175	NS1	14	LION-SUR-MER	405881	2480985	Bathonien	2.1E-04	
01202X0095	F	14	Amfreville	411412	2475357	Bathonien	2.5E-02	7.0E-03
01203X0041	FE1	14	VARAVILLE	419452	2475278	Bathonien	6.5E-04	
01203X0044	F1-94	14	ROBEHOMME	417863	2473264	Bathonien	1.7E-02	1.0E-03
01205X0001	F5	14	Hérouville saintclair	406514	2471602	Bathonien	8.3E-03	
01205X0005	F4	14	Hérouville saintclair	406509	2471958	Bathonien	9.7E-03	
01205X0006		14	Hérouville	406049	2471054	Bathonien	1.4E-02	
01205X0109	F6	14	Hérouville saintclair	405894	2472371	Bathonien	1.3E-02	
01205X0110	F7	14	Hérouville saintclair	405617	2472572	Bathonien	5.0E-02	
01205X0116	F M1	14	mondeville	406447	2467458	Bathonien	2.5E-02	
01205X0117	F M2	14	mondeville	406451	2467478	Bathonien	2.2E-02	
01205X0384	F1 RVI	14	BLAINVILLE-SUR-ORNE	407506	2471979	Bathonien	7.8E-03	1.0E-01
01205X0384	F	14	BLAINVILLE-SUR-ORNE	407506	2471979	Bathonien	7.8E-03	1.0E-02
01205X0387		14	colombelles	408750	2469929	Bathonien	1.9E-03	
01205X0427		14	RANVILLE	409628	2472092	Bathonien	1.1E-04	1.0E-04
01205X0441	F2EXPL	14	BLAINVILLE-SUR-ORNE	407287	2470907	Bathonien	6.9E-03	1.5E-04
01206X0007		14	RANVILLE	411288	2473015	Multiple (Bajoc)	3.6E-04	
01206X0012	F1	14	DEMOUVILLE	410171	2468457	Bathonien	4.7E-04	
01206X0038	F1	14	CAGNY	411061	2463476	Bathonien	3.3E-03	2.0E-02
01206X0040	F3	14	CAGNY	411020	2463907	Bathonien	4.0E-03	1.4E-04
01206X0100	F1	14	SANNERVILLE	413196	2468394	Bathonien	1.5E-03	
01206X0146	Fb1	14	frénouville	412165	2463883	Bathonien	4.4E-03	
01206X0154	F6	14	Bavent	416166	2472303	Bathonien	2.2E-04	
01206X0174	F2	14	CAGNY	410771	2463386	Bathonien	5.0E-03	
01206X0175		14	RANVILLE	410847	2473044	Bathonien	3.1E-04	1.0E-04
01206X0177		14	RANVILLE	411448	2472775	Bathonien	4.2E-04	2.0E-04
01206X0179		14	HEROUVILLE	410939	2471683	Bathonien	1.1E-04	8.0E-04
01206X0201	FE1	14	HEROUVILLE	411708	2472905	Bathonien	5.5E-05	
01206X0214	F1	14	RANVILLE	411885	2473180	Bathonien	3.5E-04	
01206X0215	FE1	14	TROARN	415818	2468677	Bathonien	1.0E-04	1.0E-04
01207X0012	F4	14	Bavent	416588	2471881	Bathonien	2.3E-03	
01207X0061	F5	14	Bavent	416458	2471635	Bathonien	7.5E-04	
01207X0091		14	Janville	417989	2464750	Bathonien	1.1E-02	
01207X0092	FD2	14	JANVILLE	417925	2464777	Bathonien	2.1E-02	4.0E-04
01207X0096	F1	14	ARGENCES	417466	2463375	Bathonien	6.3E-03	
01207X0097	S9	14	BURES-SUR-DIVES	416936	2470631	Bathonien	6.0E-03	
01211X0041		14	annebault	434038	2475231	Cénomannien	5.3E-04	
01212X0184	F2-2	14	SAINT-HYMER	442508	2476340	Oxfordien	1.0E-02	1.0E-04
01213X0245	FE1	14	PIERREFITTE-EN-AUGE	445255	2476182	Oxfordien	2.1E-02	7.5E-05
01213X0246	F-3	14	FIERVILLE-LES-PARCS	445657	2474681	Oxfordien	2.2E-02	5.0E-05
01215X0048		14	beaufour	431608	2471574	Cénomannien	3.6E-04	
01216X0150	F1	14	MANERBE	440717	2467260	Cénomannien	4.2E-03	
01217X0327	FE1	14	LISIEUX	445939	2463922	Oxfordien	1.6E-02	1.6E-04
01217X0328	FE2	14	LISIEUX	445929	2464052	Oxfordien	1.5E-02	1.6E-04
01217X0330		14		445611	2462770	Oxfordien	1.3E-02	6.0E-04
01443X0011	S2-92	14	CAUMONT-L'EVENTE	369462	2460358	Sode	4.3E-04	
01443X0012	S18-93	14	CAUMONT-L'EVENTE	369488	2459758	Sode	2.0E-04	
01448X0023	F1	14	JURQUES	375322	2451662	Sode	2.1E-04	
01452X0024	F2	14	NOYERS-BOCAGE	387288	2463011	Trias	4.2E-04	
01453X0058	F2	14	EVRECY	392065	2458702	Trias	8.0E-03	
01455X0030	F2	14	AUNAY-SUR-ODON	380981	2449506	Sode	1.4E-04	
01456X0015	F	14	AUNAY-SUR-ODON	383194	2448930	Sode	9.0E-04	
01456X0017	F1	14	SAINT-MARTIN-DE-SALLEN	388969	2447081	Sode	3.0E-05	
01462X0128		14	vimont	415146	2462251	Bathonien	5.6E-04	
01463X0097		14	ARGENCES	417489	2461927	Bathonien	2.5E-03	
01463X0131	F2	14	CESNY-AUX-VIGNES-OUEZY	421845	2456185	Bathonien	4.0E-03	
01463X0142	F2B	14	MOULT	417735	2459786	Bathonien	1.5E-02	1.0E-03
01463X0143	FD-1	14	MOULT	418382	2459613	Bathonien	3.7E-03	8.5E-04
01464X0002		14	quetteville	425160	2458009	Bathonien	3.8E-03	
01464X0021	F1	14	PERCY-EN-AUGE	424184	2454557	Bathonien	4.5E-03	
01464X0040	FE8	14	PERCY-EN-AUGE	425472	2454375	Bathonien	4.0E-03	1.0E-03
01468X0041	F4	14	SAINT-PIERRE-SUR-DIVES	424902	2448914	Bathonien	5.9E-03	1.1E-02
01468X0042	F5	14	THIEVILLE	426470	2451098	Bathonien	1.4E-02	1.0E-03
01468X0061	FE2	14	BRETTEVILLE-SUR-DIVES	428109	2452124	Bathonien	1.0E-04	1.0E-04
01473X0104	F2	14	BEUVILLERS	448528	2460894	Oxfordien	4.2E-02	3.5E-05
01473X0112	FE3-94	14	LISIEUX	446063	2460999	Oxfordien	2.9E-03	5.0E-03
01473X0113	F34S94	14	LISIEUX	446051	2461010	Oxfordien	2.9E-03	5.0E-03
01474X0061	F	14	SAINT-PIERRE-DE-MAILLOC	451753	2453495	Cénomannien	3.2E-03	
01474X0069	S2	14	COURTONNE-LES-DEUX-EGLISES	455284	2457547	Oxfordien	3.8E-03	5.0E-03
01474X0070	F1	14	COURTONNE-LA-MEURDRAC	451428	2460525	Oxfordien	1.4E-02	
01476X0015		14	montpinçon	435793	2443228	Cénomannien	4.7E-04	
01477X0036	F1-91	14	SAINTE-MARGUERITE-DES-LOGES	444183	2448588	Cénomannien	1.7E-02	4.0E-03
01485X1004	F2	14	FRIARDEL	458918	2446863	Cénomannien	4.0E-03	

INDICE	DESIGNATION	DPT	COMMUNE	XL2E	YL2E	Aquifère	Transmissivité (m ² /s)	Emmagasinement (-)
01485X1008	S1	14	FRIARDEL	458679	2446292	Cénomanién	1.6E-02	
01485X1009	F1	14	FRIARDEL	458667	2446287	Cénomanién	2.0E-02	2.0E-03
01752X0011	F1	14	PONTECOULANT	384560	2438498	Sode	1.2E-03	1.0E-01
01752X0017	FE-1	14	PERIGNY	384612	2438515	Sode	2.0E-03	
01752X0018	FE-2	14	PERIGNY	384742	2438880	Sode	7.0E-04	
01752X0019	FE3	14	PERIGNY	383456	2439213	Sode	4.4E-03	
01754X0005	F1	14	DONNAY	399035	2442354	Sode	2.9E-04	
01754X0012	F1	14	SAINT-OMER	397554	2440770	Sode	2.4E-03	
01754X0014	F1	14	COMBRAY	395989	2441809	Sode	7.0E-03	
01761X0032	S4FE1	14	PIERREPONT	404606	2435747	Sode	8.9E-04	
01761X0033		14		404642	2435728	Sode	2.0E-03	
01762X0048	S2	14	NORON-L'ABBAYE	410159	2435985	Bathonien	1.5E-03	
01762X0052	F2-93	14	VILLERS-CANIVET	408846	2441182	Trias	2.2E-03	4.0E-05
01764X0009		14	Beaumais	422635	2437517	Bathonien	2.3E-02	
-	F2 et Fe1?	61	MORTREE	434000	2407300	Bathonien	6.4E-03	
01756X0021	F1	61	CALIGNY	384866	2428421	Sode	4.0E-04	
01756X0022	F2	61	CALIGNY	384863	2428417	Sode	4.0E-04	
01778X0015	F	61	MARDILLY	448261	2429300	Oxfordien	3.7E-03	
02113X0014	F1	61	SELLE-LA-FORGE(LA)	389996	2419985	Sode	5.0E-04	
02113X0015	F2	61	SELLE-LA-FORGE(LA)	390146	2419985	Sode	5.0E-04	
02124X0002		61	ARGENTAN	425783	2417817	Bathonien	2.9E-03	
02124X0003		61	ARGENTAN	425803	2417936	Bathonien	4.7E-03	
02124X0004	F3	61	ARGENTAN	426711	2419919	Bathonien	8.0E-04	
02124X0004	F3	61	ARGENTAN	426711	2419919	Bathonien	3.3E-04	
02124X0005	F2	61	ARGENTAN	426660	2420049	Bathonien	3.4E-03	
02124X0005	F2	61	ARGENTAN	426660	2420049	Bathonien	1.3E-02	
02124X0006	F1	61	ARGENTAN	426771	2419969	Bathonien	5.5E-03	
02124X0006	F1	61	ARGENTAN	426771	2419969	Bathonien	4.6E-03	
02124X0008		61	SARCEAUX	424715	2415814	Bathonien	2.0E-03	
02124X0010	F1	61	ARGENTAN	425220	2419577	Bathonien	1.2E-02	
02124X0011	F2	61	ARGENTAN	425130	2419466	Bathonien	3.9E-03	
02124X0011	F2	61	ARGENTAN	425130	2419466	Bathonien	3.5E-03	
02124X0014		61	SARCEAUX	426014	2416816	Bathonien	2.7E-02	
02124X0014		61	SARCEAUX	426014	2416816	Bathonien	2.4E-02	
02124X0014		61	SARCEAUX	426014	2416816	Bathonien	3.1E-02	
02124X0015		61	ARGENTAN	427751	2419619	Bathonien	5.5E-03	
02124X0035		61	SARCEAUX	423972	2417934	Bathonien	1.1E-02	
02124X0037		61	SARCEAUX	426361	2415176	Bathonien	3.3E-03	
02131X0013		61	AUNOU-LE-FAUCON	432798	2416415	Bathonien	1.1E-03	
02131X0017	F1	61	JUVIGNY-SUR-ORNE	429425	2417811	Bajocien	2.5E-02	
02131X0017	F1	61	JUVIGNY-SUR-ORNE	429425	2417811	Bathonien	3.2E-03	
02131X0021	F2	61	JUVIGNY-SUR-ORNE	430057	2416371	Bathonien	1.3E-02	2.1E-03
02131X0021	F2	61	JUVIGNY-SUR-ORNE	430057	2416371	Bathonien	3.5E-02	
02131X0022	F3-92	61	AUNOU-LE-FAUCON	431243	2416148	Bathonien	8.0E-03	
02131X0022		61	AUNOU-LE-FAUCON	431243	2416148	Bathonien	1.1E-02	
02131X0022		61	AUNOU-LE-FAUCON	431243	2416148	Bathonien	1.9E-02	
02131X0023		61	ALMENECHES	433801	2413445	Bathonien	1.1E-03	
02131X0023		61	ALMENECHES	433801	2413445	Bathonien	1.7E-03	
02131X0023		61	ALMENECHES	433801	2413445	Bathonien	1.5E-03	
02131X0025		61	AUNOU-LE-FAUCON	432631	2414184	Bathonien	9.3E-03	
02131X0028	FE2-92	61	JUVIGNY-SUR-ORNE	430267	2416431	Bathonien	2.8E-02	2.0E-04
02131X0029	F4B.5	61	SAI	428565	2417020	Bathonien	2.2E-02	1.5E-03
02131X0032	F5	61	ALMENECHES	433800	2413444	Bathonien	1.4E-03	
02133X0012	F-AEP9	61	SAINT-GERMAIN-DE-CLAIRFEUILL	445891	2415175	Bathonien	1.7E-03	1.0E-03
02135X0007		61	MORTREE	432328	2407930	Bathonien	1.1E-02	
02135X0023		61	MORTREE	433112	2405580	Bathonien	6.5E-04	
02136X0003		61	Sées	439767	2404221	Bathonien	7.8E-04	
02136X0026		61	MORTREE	434150	2406922	Bathonien	1.5E-02	
02136X0027		61	SURDON	438103	2409453	Bathonien	4.7E-04	1.0E-05
02136X0029		61	SURDON	434150	2406922	Bathonien	3.0E-04	1.0E-05
02136X0031		61	SURDON	437548	2410073	Bathonien	2.5E-04	1.0E-05

Annexe 12

Carte de perméabilité du modèle Argentan-Sées après calage (rapport Conseil Général de l'Orne, 2001)

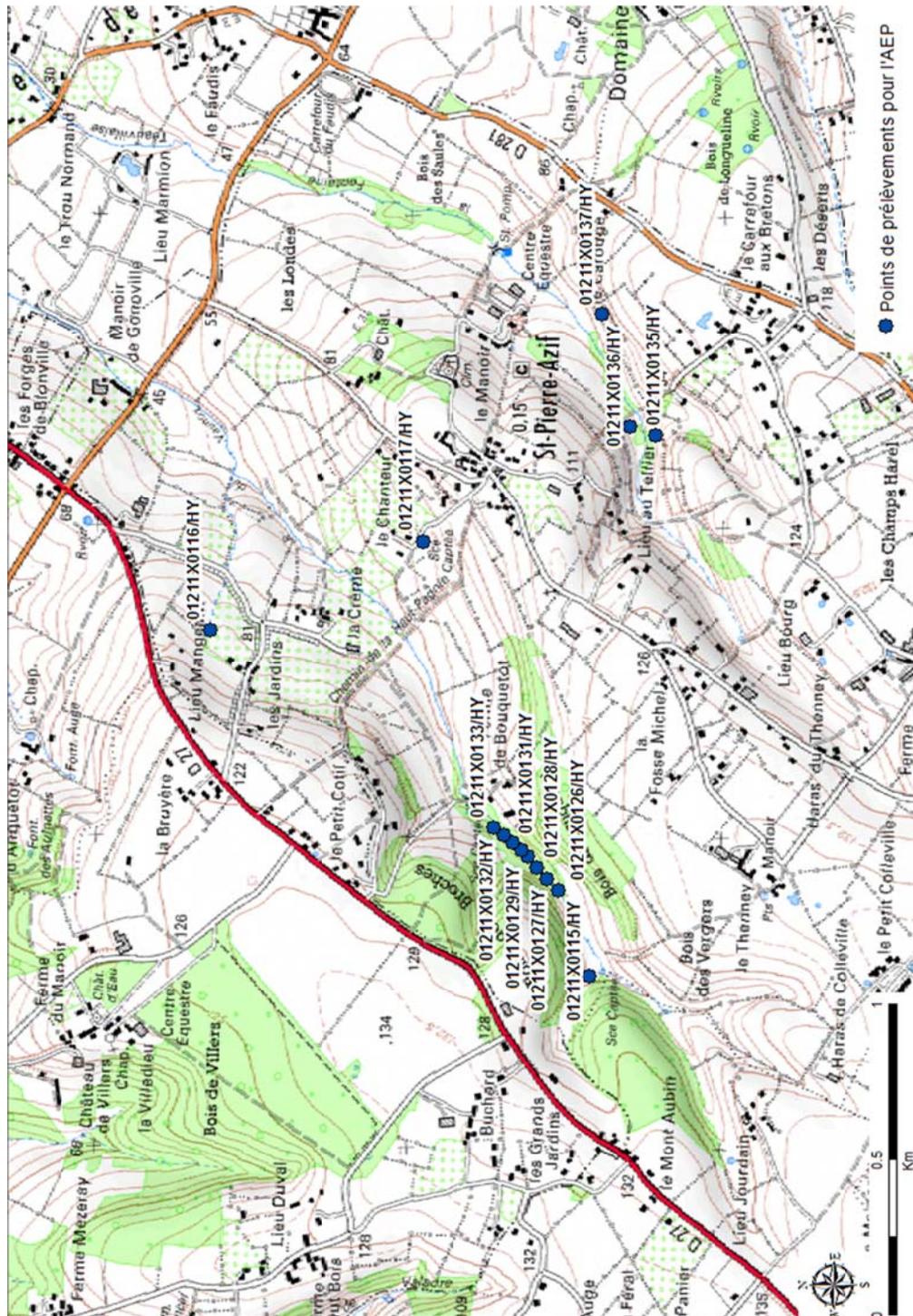
<p>CONSEIL GENERAL DE L'ORNE SYNDICAT DEPARTEMENTAL DE L'EAU AQUIFERE BATHONIEN DE LA REGION D'ARGENTAN - SEES Modèle mathématique Carte des perméabilités</p> <p>(1 / 80 000)</p>		<p>LEGENDE</p> <p>Perméabilités en m/s :</p> <table border="1"> <tr><td>■</td><td>7,5 10⁻⁴</td></tr> <tr><td>■</td><td>5,0 10⁻⁴</td></tr> <tr><td>■</td><td>3,0 10⁻⁴</td></tr> <tr><td>■</td><td>2,5 10⁻⁴</td></tr> <tr><td>■</td><td>2,0 10⁻⁴</td></tr> <tr><td>■</td><td>7,5 10⁻⁵</td></tr> <tr><td>■</td><td>7,5 10⁻⁵</td></tr> <tr><td>■</td><td>5,0 10⁻⁵</td></tr> <tr><td>■</td><td>2,5 10⁻⁵</td></tr> <tr><td>■</td><td>2,0 10⁻⁵</td></tr> <tr><td>■</td><td>1,5 10⁻⁵</td></tr> <tr><td>■</td><td>Maille hors modèle</td></tr> </table>		■	7,5 10 ⁻⁴	■	5,0 10 ⁻⁴	■	3,0 10 ⁻⁴	■	2,5 10 ⁻⁴	■	2,0 10 ⁻⁴	■	7,5 10 ⁻⁵	■	7,5 10 ⁻⁵	■	5,0 10 ⁻⁵	■	2,5 10 ⁻⁵	■	2,0 10 ⁻⁵	■	1,5 10 ⁻⁵	■	Maille hors modèle	<p>fond cartographique : assemblage des cartes topographiques de l'IGN à 1/50 000 : feuilles Argentan (1615), Sées (1715), Falaise (1614) et Vimouffiers (1714)</p>	
■	7,5 10 ⁻⁴																												
■	5,0 10 ⁻⁴																												
■	3,0 10 ⁻⁴																												
■	2,5 10 ⁻⁴																												
■	2,0 10 ⁻⁴																												
■	7,5 10 ⁻⁵																												
■	7,5 10 ⁻⁵																												
■	5,0 10 ⁻⁵																												
■	2,5 10 ⁻⁵																												
■	2,0 10 ⁻⁵																												
■	1,5 10 ⁻⁵																												
■	Maille hors modèle																												
<p>PIVETTE, Ingénieur consultant EAU - SOL - SOUS-SOL 249/86Ra.130B BAUMANN CONSULTING S.A.R.L. Hydrogéologie agricole Hydraulique, Modélisation hydraulique</p>		<p>ANNEXE 14 Janvier 2001</p>																											



Annexe 13

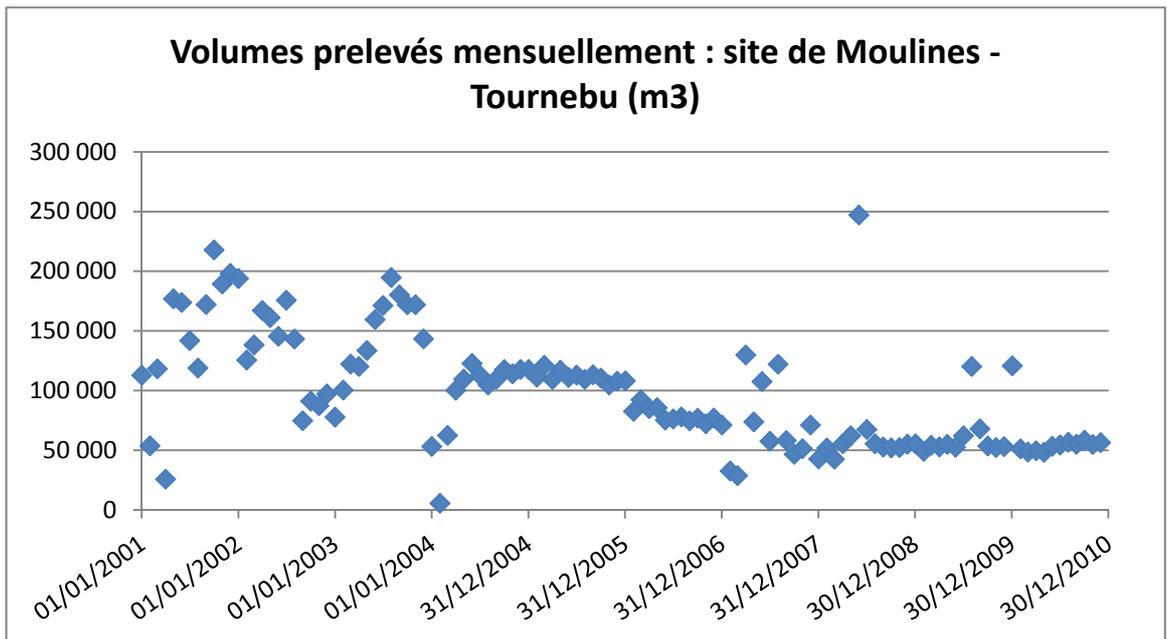
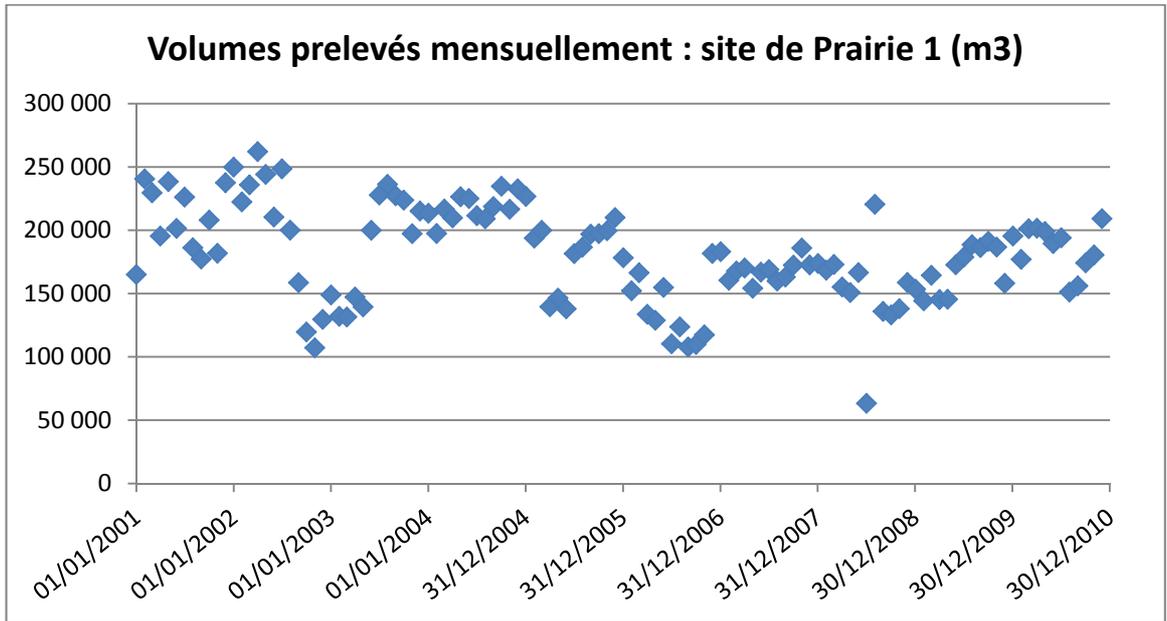
Localisation des prélèvements pour l'eau potable situés sur la commune de Saint-Pierre-Azif

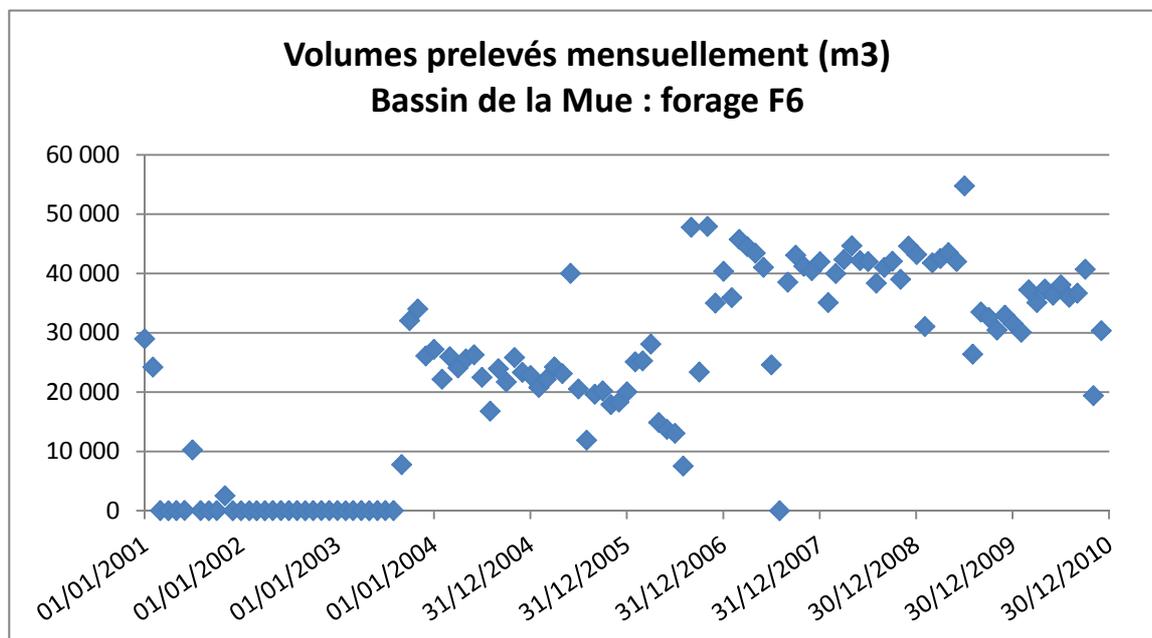
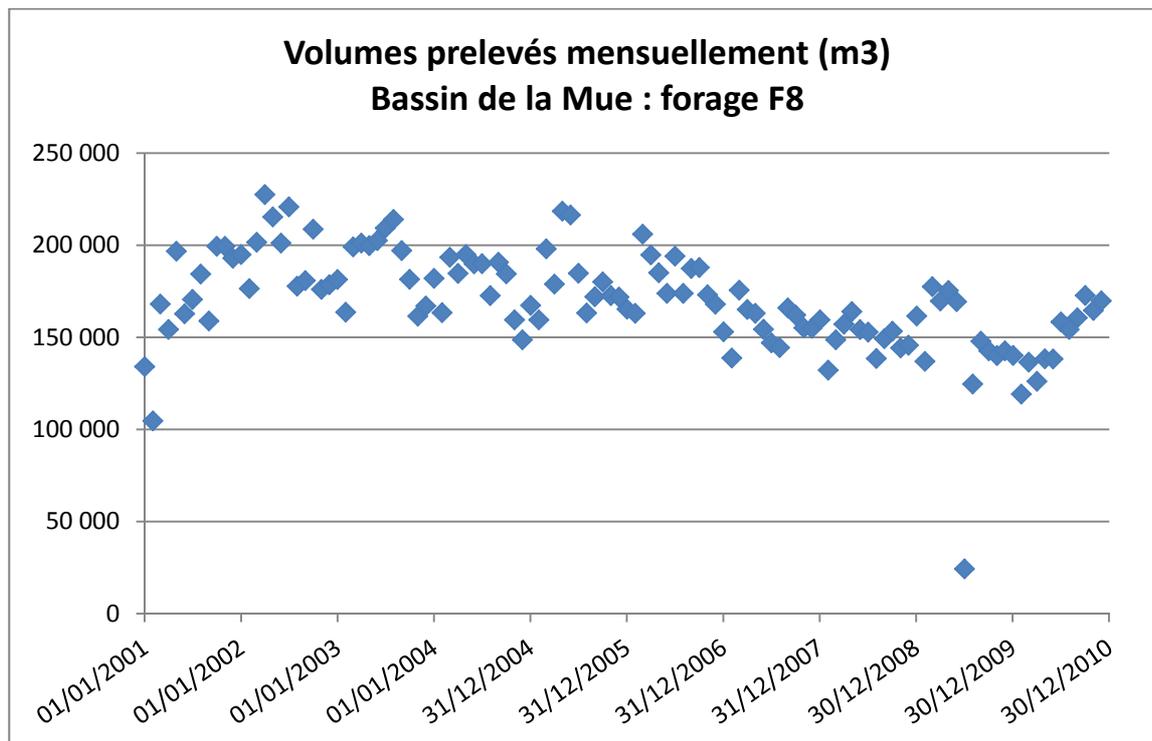
Un compteur comptabilise les prélèvements pour l'eau potable effectués sur la commune de Saint-Pierre-Azif (Calvados). Ces prélèvements se répartissent en pratique sur 14 forages différents (cf. carte ci-après, fond IGN à l'échelle 1/25 000^{ème}).

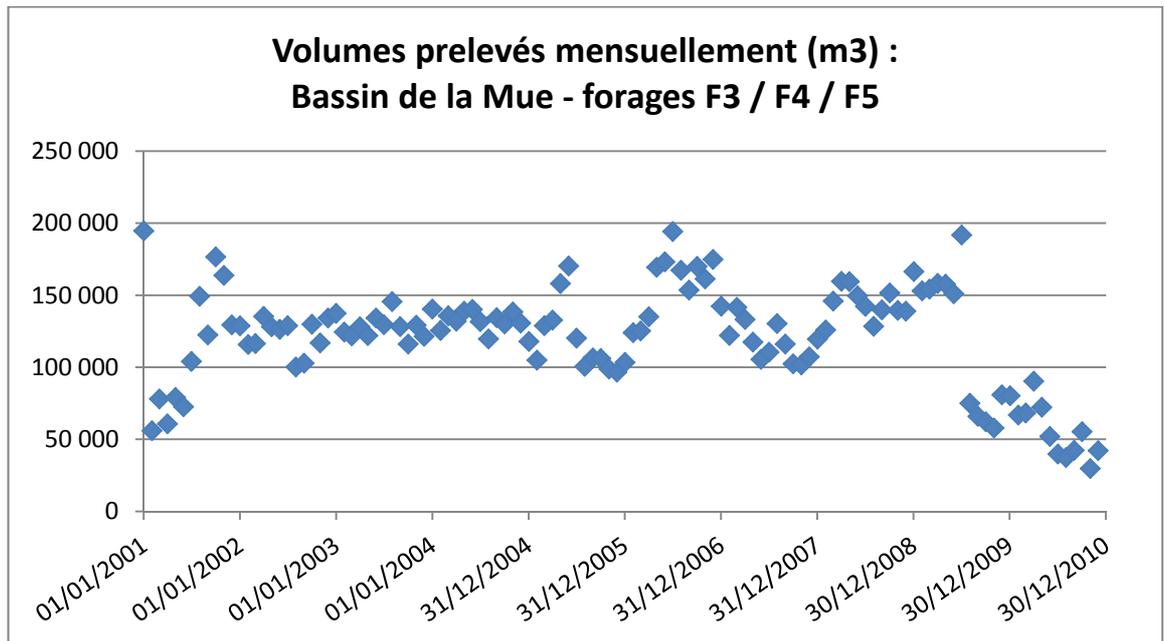


Annexe 14

Prélèvements mensuels effectués sur les sites de production de la ville de Caen (2001-2010)







Annexe 15

Champ captant de Moulines-Tournebu

86 ouvrages sont comptabilisés (puits, drains, chambres de réunion) dans le champ captant de Moulines-Tournebu, dont 44 ont été abandonnés (cf. rapport Lithologic R/OC/08.082b, septembre 2008, « dossier technique préparatoire à la définition des périmètres de protection des captages d'eau potable de Moulines »). L'annexe 1 du rapport Lithologic présente l'état d'usage de chacun d'entre eux et le tableau 3 du rapport en présente la synthèse (cf. tableau A12-1). Ce sont donc 30 ouvrages qui sont en service selon les informations figurant dans le rapport de 2008.

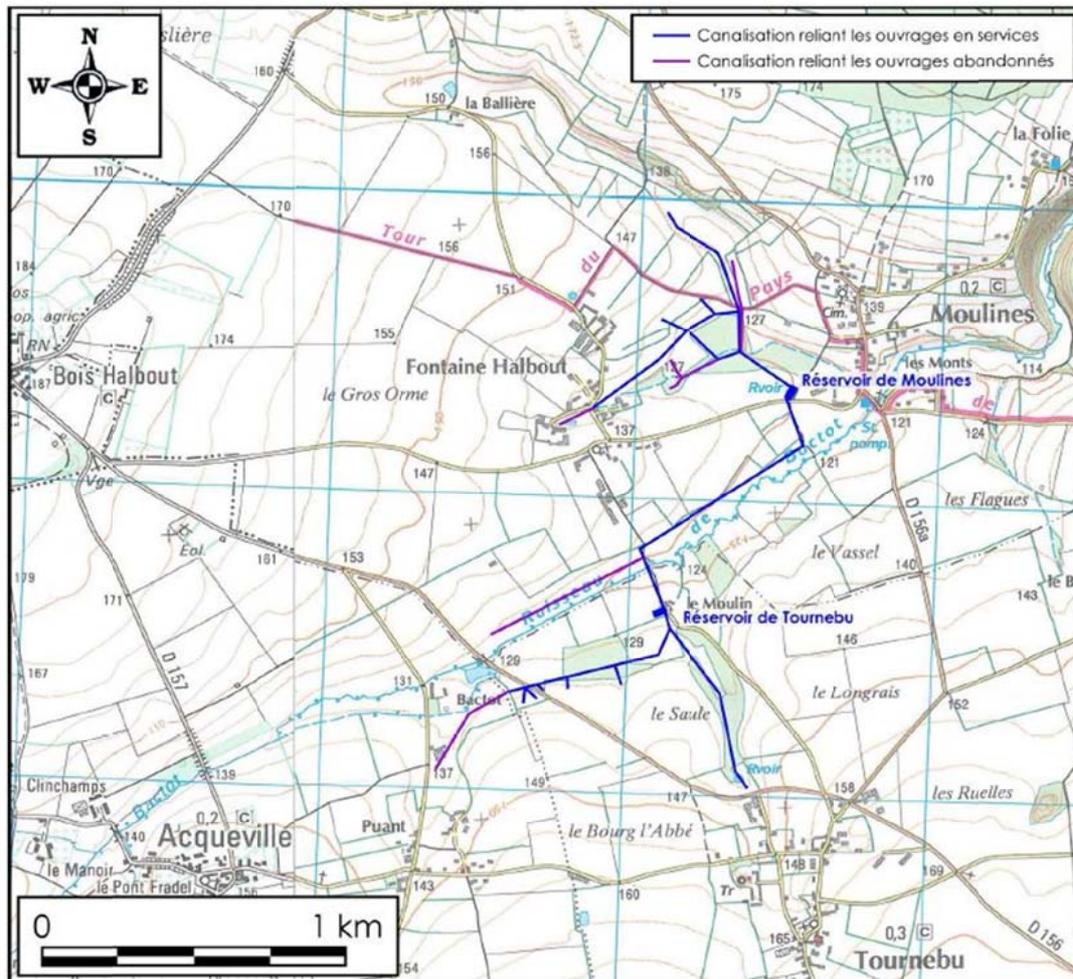
Type d'ouvrage	Nombre d'ouvrage	Etat de l'ouvrage
Puits	40	Abandonné : 18
		A l'arrêt : 7
		En service : 15
Drains	29	Abandonné : 21
		A l'arrêt : 1
		En service : 7
Chambre de réunion	17	Abandonné : 5
		A l'arrêt : 4
		En service : 8
Les ouvrages abandonnés ne sont plus utilisés pour alimenter la collectivité. Les ouvrages à l'arrêt ne sont plus utilisés pour l'instant mais ils peuvent à tout moment être mis en service. Les ouvrages en service sont utilisés quotidiennement pour alimenter la collectivité.		

Tableau A12-1 : Etat des lieux des ouvrages de Moulines (in rapport Lithologic, 2008)

D'après le rapport Lithologic, la profondeur des puits varie de 0,45 m à 6,5 m avec un grand nombre de puits dont la profondeur est comprise entre 2 et 3 m. Leur diamètre est généralement de 2 m quand il s'agit de puits maçonnés, et de 1,20 m quand ils sont équipés d'un tube acier perforé.

La nature des drains (grès ou terre cuite) reste méconnue, tandis que certains d'entre eux ne figurent sur aucun plan. Leurs diamètres varient de 80 mm à 200 mm et leurs longueurs de 1 à 70 mètres. On notera l'existence de trois galeries drainantes reliant les puits 43 à 43 bis, 45 à 46 et 47 à 48 (d'après rapport Lithologic).

Les chambres de réunion ont une profondeur comprise entre 1 m et 3,25 m et un diamètre de 0,75 à 1,66 m. Certains de ces ouvrages drainent la nappe.



*Illustration A12-1 : Localisation du champ captant de Moulines-Tournebu
(in rapport Lithologic)*

Les illustrations A12-1 et A12-2 (issue du rapport Lithologic) présentent la localisation des différents ouvrages.

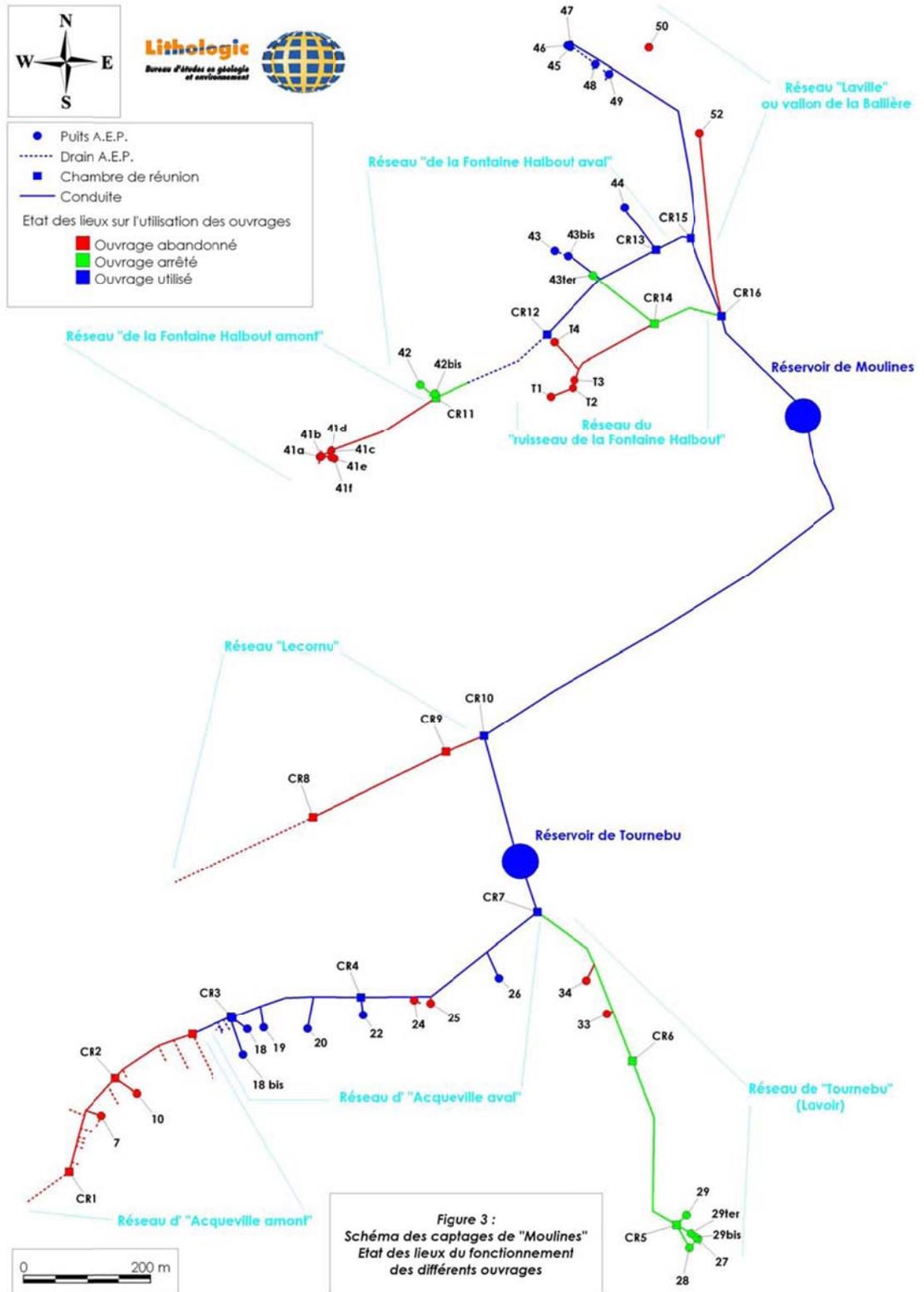


Illustration A12-2 : Carte du champ captant de Moulines-Tournebu (rapport Lithologic)

Le Grenelle de l'Environnement recense par ailleurs 35 ouvrages en production pour le champ captant de Moulines-Tournebu qui ont été classés comme prioritaires :

- Moulines : 14 forages ;
- Tournebu : 21 forages (en incluant les 5 forages de la commune d'Acqueville).

On note globalement une bonne cohérence entre les deux sources d'information, à savoir d'une part les ouvrages en service ou temporairement à l'arrêt selon le rapport Lithologic et les ouvrages classés comme prioritaires vis-à-vis du Grenelle de l'Environnement d'autre part. Les écarts constatés concernent :

- ⊖ Les drains numérotés 14 à 17 (indices BSS 01465X0190 à 01465X0193) et considérés comme « en service » dans le rapport Lithologic. Ces drains ne sont pas référencés parmi les ouvrages prioritaires du Grenelle. Il en va de même des drains n°21 (01465X0194 - dont la localisation demeure inconnue) et 42d (n° BSS non précisé et dont la longueur n'est pas connue). De façon générale, on ne dénombre aucun drain dans les ouvrages identifiés comme prioritaires pour le Grenelle ;
- ⊖ Les puits n°24, 25 (01465X0200 et 01465X0201), 33 et 34 (01465X0133 et 01465X0134) sont réputés abandonnés dans le rapport Lithologic alors qu'ils figurent dans la liste des captages prioritaires.

Le champ captant capte l'aquifère du Cinglais qui regroupe un ensemble de formations allant des calcaires du Bajocien au Lias-Trias mais aussi des altérites à silex d'âge tertiaire. Un rôle joué par la fissuration du socle est envisagé par certains auteurs (rapport Lithologic, 2008).

Le rapport Lithologic présente en page 20 (jaugeages effectués en 1980) la contribution de chacune des antennes du champ captant au débit total :

	Réseau	Antenne	Part dans la production actuelle
Captages de Moulines	Tournebu	d'Acqueville Amont	0%
		Acqueville	10%
		Tournebu	16%
		Lecornu-Mulois	0%
		Total Tournebu	26%
	Moulines	Fontaine Halbout Amont	0%
		Ruisseau de la Fontaine Halbout	0%
		Fontaine Halbout	41%
		Ballière ou Laville	33%
		Total Moulines	74%
	Total captages de Moulines		100%

Tableau A12-2 : Contribution de chacune des antennes à la production totale (jaugeages 1980)

Des jaugages effectués les 2 et 3 juin 2008 par le cabinet Lithologic ont confirmé les résultats obtenus en 1980 en obtenant des contributions voisines :

- 12 l/s pour le réseau "d'Acqueville aval", soit 12,9% des volumes pouvant être produits par l'ensemble des ouvrages ;
- 17 l/s pour le réseau de "Tournebu", soit 18,3% des volumes pouvant être produits par l'ensemble des ouvrages ;
- 36 l/s pour le réseau "de la Fontaine-Halbout aval", soit 38,7% des volumes pouvant être produits par l'ensemble des ouvrages ;
- 28 l/s pour le réseau de "Laville", soit 30,1% des volumes pouvant être produits par l'ensemble des ouvrages.

La productivité des différentes antennes (en service ou non) est fournie par le bureau d'études Lithologic dans son rapport préalable à l'établissement des périmètres de protection. L'estimation est effectuée à partir des débits de jaugages mesurés en 1980 par le BRGM, puis par Lithologic en 2007.

La productivité de chaque antenne est reportée dans le **tableau 5**. Ces productivités correspondent, en fait, au débit mesuré par jaugeage en 1980 par le BRGM et en 2007 par nos soins.

	Réseau	Antenne	Débits (jaugeage 1980)
Captages de Moulines	Tournebu	d'Acqueville Amont	≈ 15 m ³ /h
		Acqueville	≈ 35 m ³ /h
		Tournebu	≈ 56 m ³ /h
		Lecornu-Mulois	≈ 6 m ³ /h
		Total Tournebu	≈ 110 m ³ /h
	Moulines	Fontaine Halbout Amont	≈ 23 m ³ /h
		Ruisseau de la Fontaine Halbout	≈ 13 m ³ /h
		Fontaine Halbout	≈ 145 m ³ /h
		Ballière ou Laville	≈ 118 m ³ /h
		Total Moulines	≈ 300 m ³ /h
Total captages de Moulines		410 m ³ /h	

Tableau 5 : production des différentes antennes.

Tableau A12-3 : Production des différentes antennes (jaugeages 1980)

Annexe 16

Forages de Prairie 1

Le site de captages de Prairie 1 (cf. Illustration A13-1) correspond à trois points de pompage, d'indice BSS :

- 01198X0034/PR1-A ;
- 01198X0035/PR1-B ;
- 01198X0037/PR1-D.

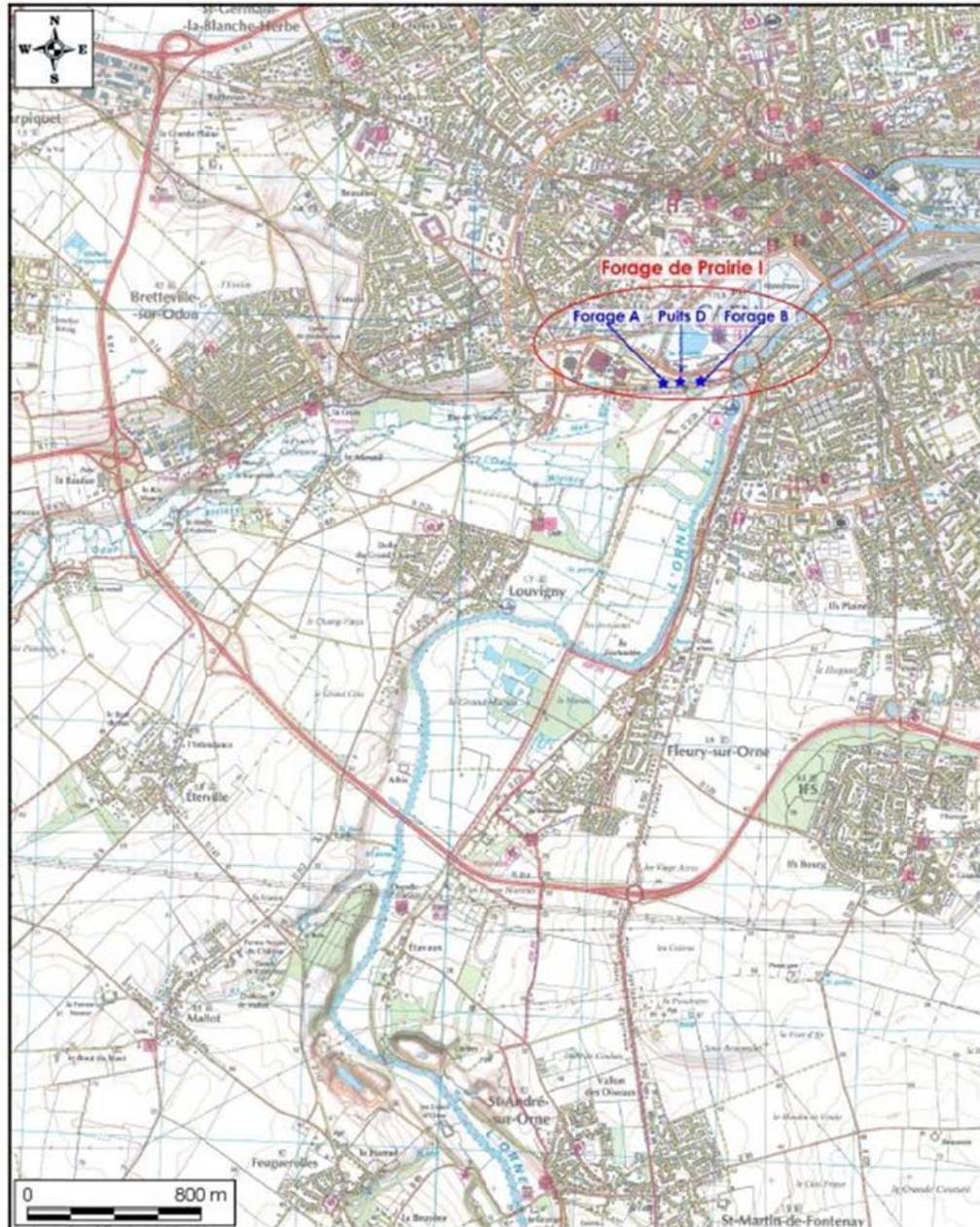


Illustration A13-1 : Localisation des forages de "Prairie I" (in rapport Lihologic, 2009)

En pratique, le pompage se fait dans le puits D qui est alimenté par siphon par les forages A et B. Il paraît donc difficile de distinguer l'apport de chacun des ouvrages. Le siphon du forage A peut néanmoins être déconnecté par une vanne.

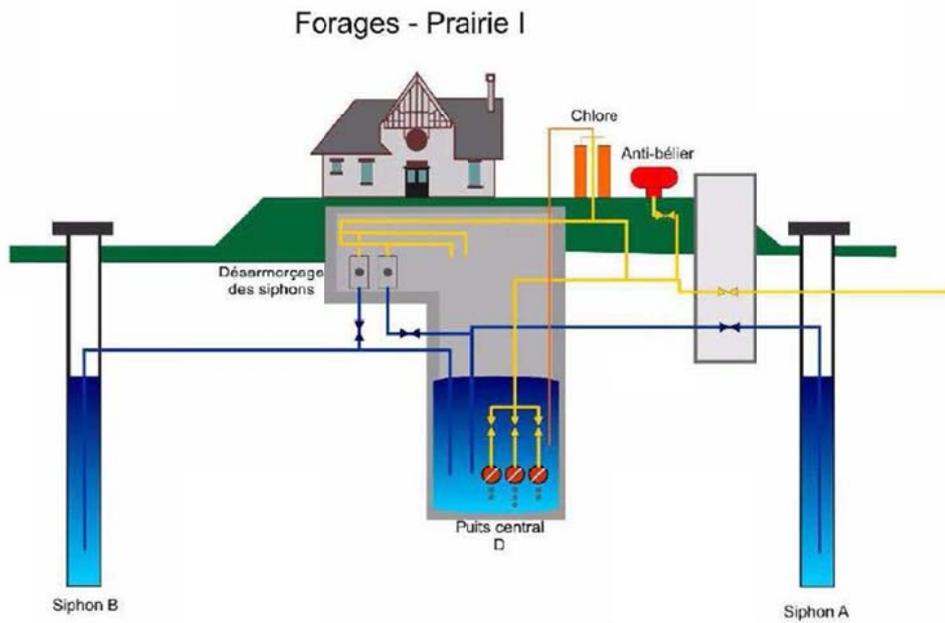


Illustration A13-2 : Schéma de principe du fonctionnement de la station "Prairie I" (in rapport Lithologic, 2009)

Les forages captent les calcaires bajociens sous recouvrement alluvial. Leurs coupes techniques et géologiques, disponibles en Banque du Sous-Sol, ont été assemblées par le bureau d'études Lithologic (Illustration A13-3).

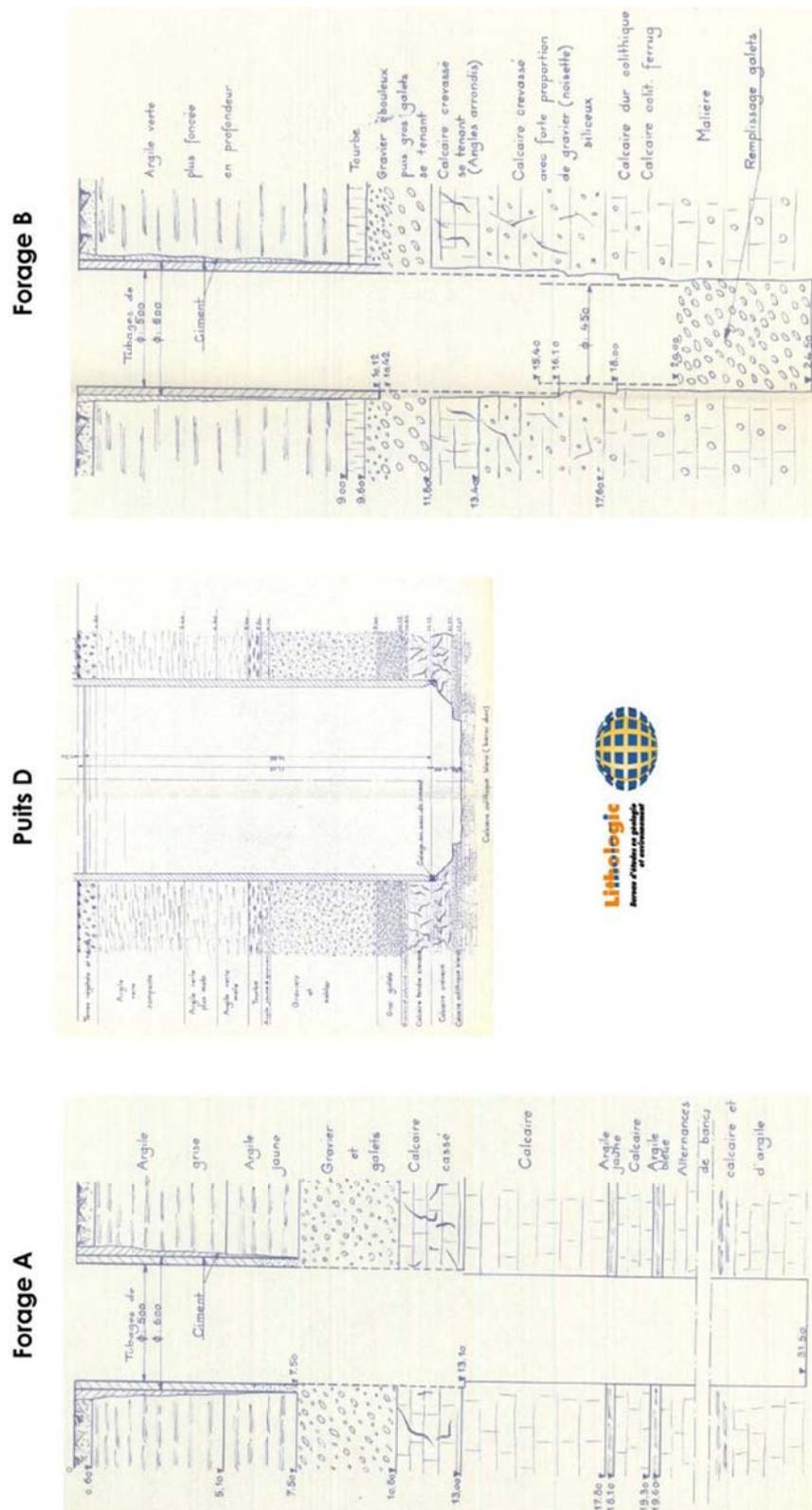
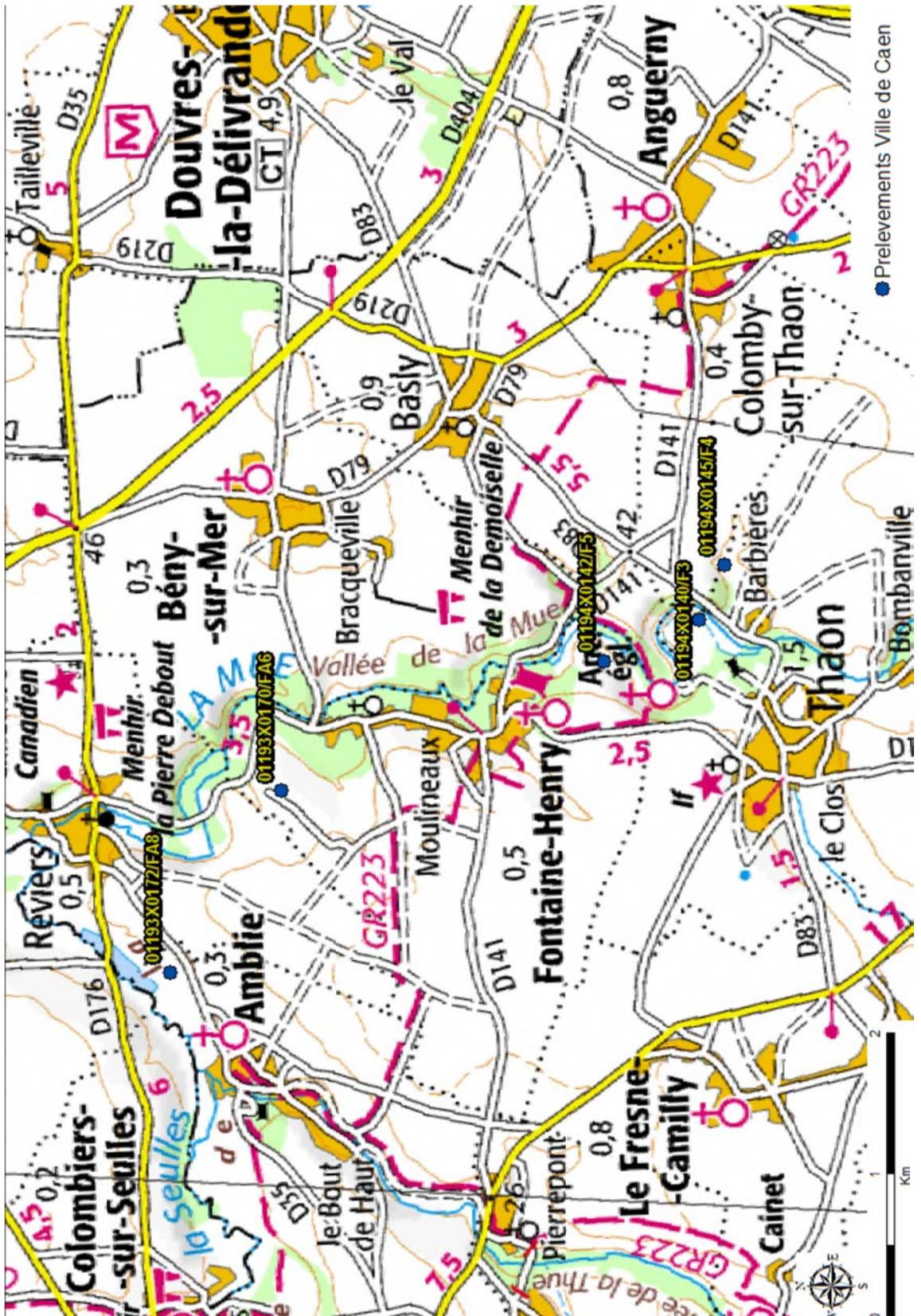


Illustration A13-3 : Coupes géologiques des forages de Prairie 1 (in rapport Lihologic, 2009)

Annexe 17

Localisation des forages de la ville de Caen dans le bassin versant de la Mue (fond IGN)



Annexe 18

Tableau des volumes journaliers moyens de 2008 à 2010 pour les STEP localisées dans la zone d'étude

Modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives : rapport de phase 1

CODE OUVRAGE	XL93	YL93	Localisation	Volume moyen journalier en 2008	Volume moyen journalier en 2009	Volume moyen journalier en 2010
31400601000	449111	6893400	AMAYE SUR ORNE	130.366	127.471	125.793
31401601000	485423	6909820	ANNEBAULT		21.3	
31402001000	469023	6897456	ARGENCES	1392.41	1201.52	1246
31402201000	440046	6921355	ASNELLES/Lagunage		302.789	366.19
31402601000	435878	6907771	AUDRIEU		4313.92	4294.15
31402701000	434334	6887198	AUNAY-SUR-ODON	697.984	610.159	630.562
31403501000	419769	6905271	BALLEROY	170.9	81.2	59.6
31403801000	447664	6918780	BANVILLE		50.5	75
31403901000	454834	6885801	BARBERY/Bourg	83.655	114.285	72.75
31403902000	455692.81	6884812.63	BARBERY/Hameau du Mesnil Touffray		14.8	
31404401000	449452	6913473	BASLY	320.142	283.8	303.615
31404602000	468776	6908080	BAVENT	470.648	365.364	524.524
31405501000	490158	6912277	BEAUMONT-EN-AUGE	29.4	35.3	
31407001000	477685	6903067	BEUVRON-EN-AUGE	41.4431	60.1467	80.6962
31408301000	488489.41	6906156.6	BONNEBOSQ		71	
31408302000	486632	6904070	BONNEBOSQ/Nouvelle			82.5777
31408801000	463915	6877719	BONS-TASSILLY	3.09	7.63	21.19
31409801000	445140	6907430	BRETTEVILLE L'ORGUEILLEUSE		478.232	417.066
31410001000	455420	6888616	BRETTEVILLE-SUR-LAIZE		150.562	202.384
31410201000	497547	6906784	LE BREUIL-EN-AUGE	76	185	150.5
31410601000	464899	6907490	BREVILLE		1	
31411701000	472658.69	6913974.97	CABOURG (HS)	5765.8	5188.33	
31411702000	473438	6913204	CABOURG (Biosep)			6495.94
31411901000	464485	6898608	CAGNY/Frenouville	548.612	509.575	700.162
31412001000	425121	6891178	CAHAGNES/Bourg	85.8	69.3	43
31412002000	426720	6892157	CAHAGNES/Camping		1.98	
31412401000	409038	6923053	LA CAMBE		304.6	27.8
31412601000	484190	6899542	CAMBREMER		93	4910.77
31414301000	421697	6895393	CAUMONT-L'EVENTE	144.5	96.7	146.45
31415001000	451041	6881334	CESNY-BOIS-HALBOUT		129	31.6
31416201000	444743	6874301	CLECY	199.5	115	102
31416401000	450387	6893465	CLINCHAMPS-SUR-ORNE	109.1	96.35	52.69
31416501000	420419	6923742	COLLEVILLE-SUR-MER	53.8836	79.4779	61.8086
31417401000	440914	6866912	CONDE-SUR-NOIREAU	1107.82	841.893	790.636
31418601000	440723	6911941	COULOMBS		28	
31419301000	504210	6894865	COURTONNE-LA-MEURDRAC	2.46	12	
31419401000	507603	6890496	COURTONNE-LES-DEUX- EGLISES		40	
31419601000	442608	6919244	CREPON		61	40
31420001000	442591	6915638	CREULLY	283.339	295.774	331.105
31420701000	447786	6881813	CROISILLES/Station du bourg		13.89	
31421601000	472512	6872911	DAMBLAINVILLE/Station communal		15.73	
31422902000	477573	6908599	DOZULE 2	323.647	295.656	360.658
31424801000	449057	6882468	ESPINS/Station communale		24	
31425701000	444908	6894588	EVRECY	326.197	334.178	327.206
31425801000	465986	6871718	FALAISE	2526.27	2264.09	2229.93
31426501000	499192	6886786	FERVAQUES	39	69	34
31426601000	451468	6897314	FEUGUEROLLES-BULLY	278	131	149.75
31427701000	453395	6892355	FONTENAY-LE-MARMION	357.022	361.614	380.876
31429101000	451989	6884485	FRESNEY-LE-VIEUX/Station communale		25.38	
31429701000	443180	6897080	GAVRUS		39.5	2699.57
31431001000	461179	6885068	GRAINVILLE-LANGANNERIE	38.5	45.1	42.7
31431201000	405302	6928571	GRANDCAMP-MAISY	432.623	452.843	471.648
31433201000	468808	6868828	LA HOGUETTE/Le Bourg	4.37	3.56	1.4
31433202000	466113	6868597	LA HOGUETTE/Hameau de Saint Clair		2.44	
31433401000	509780	6897628	L'HOTELLERIE	61.5		12
31433601000	434060	6900539	HOTTOT-LES-BAGUES	75.5		270
31434201000	401823	6921221	ISIGNY-SUR-MER	534.602	618.963	595.447
31434701000	427010	6886074	JURQUES		16	41.2
31436601000	497481	6899691	LISIEUX	4863.47	4479.78	4616.98
31437001000	417846	6912850	LE-MOLAY-LITTRY		276	458.327
31437101000	491366	6882982	LIVAROT	708.033	648.561	701.06
31440301000	508395	6895691	MAROLLES	19.42		14.43
31440901000	465397	6913064	MERVILLE-FRANCEVILLE	654.781	624.614	736.795
31441001000	475532	6898394	MERY-CORBON		4018.21	5115.57
31442201000	482191	6892682	LE-MESNIL-MAUGER		45	36
31442901000	504097	6878519	MEULLES	14.9	14.8	
31443102000	475839	6892302	MEZIDON	761.121	680.386	814.8
31443702000	458006	6903313	MONDEVILLE/Caen Nouveau Monde	37394.89	35422.9	35268.49
31445201000	474705	6874700	MORTEAUX-COULIBOEUF	49.78	62.6	21.9
31446001000	506939	6903084	MOYAUX	95.6667	69.25	65.25
31446101000	449257	6891218	MUTRECY/Bouillon		6550.36	8334.5
31446601000	498866	6903623	NOROLLES	9.3		8.2
31447101000	499448	6880033	NOTRE-DAME-DE-COURSON	9.33	9.4	

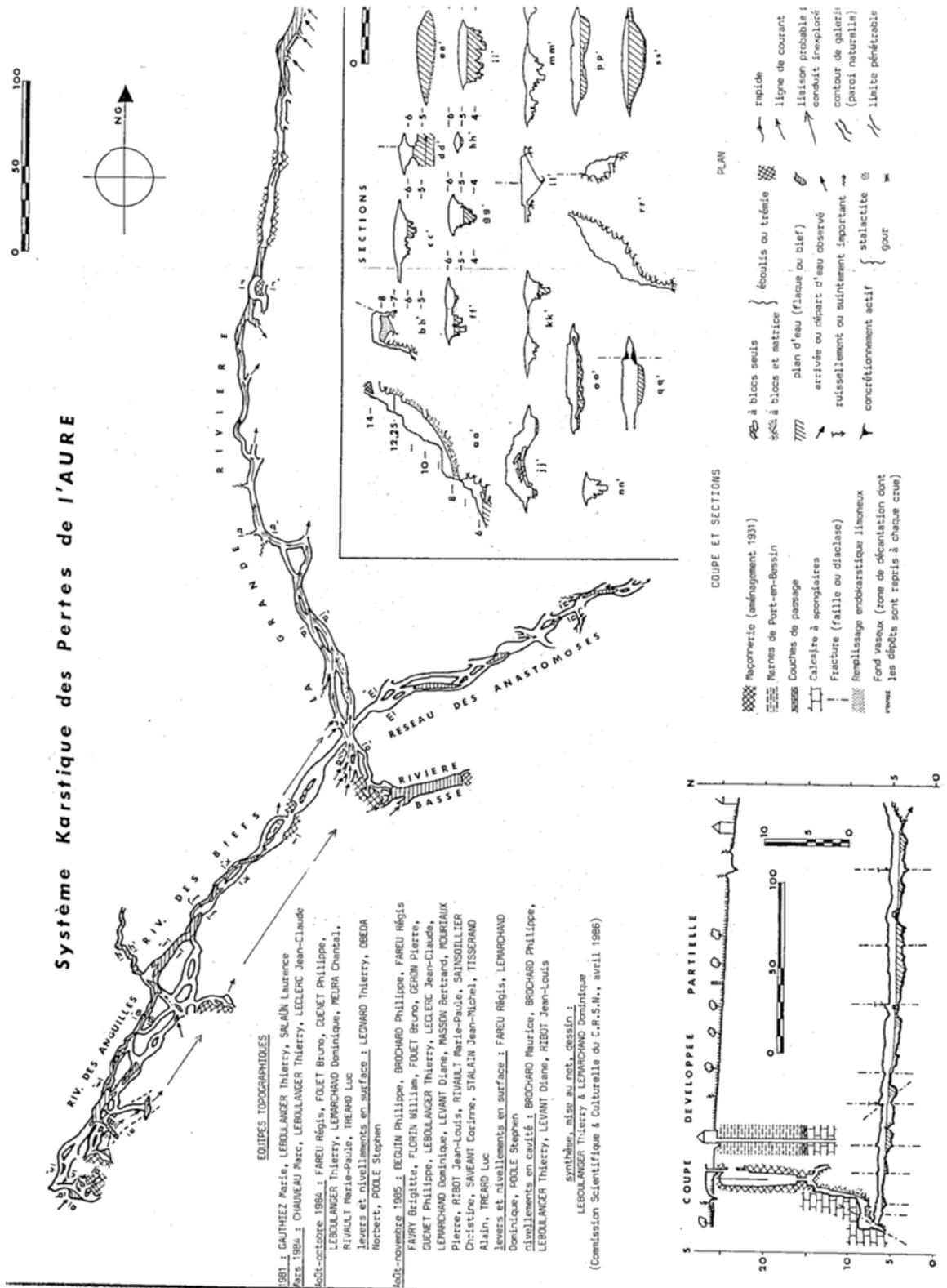
Modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives : rapport de phase 1

CODE OUVRAGE	XL93	YL93	Localisation	Volume moyen journalier en 2008	Volume moyen journalier en 2009	Volume moyen journalier en 2010
31447501000	440118	6897571	NOYERS-BOCAGE	128.2	137.45	144.05
31447801000	509773	6883652	ORBEC	714.781	719.447	795.63
31448601000	464554	6880571	OUILLY-LE-TESSON		58.95	70.915
31448801000	463348	6913003	OUISTREHAM	2108.59	1940.1	2184.49
31449701000	471784	6878608	PERRIERES/Epaney		25.925	32.83
31451401000	494271	6914034	PONT-L'EVEQUE	1041.49	807.093	898.836
31451502000	427388	6922583	PORT-EN-BESSIN	812.32	800.2	922.663
31451602000	463055	6879308	POTIGNY	308.558	278.466	301.027
31452001000	488621	6897061	LE PRE-D'AUGE/La Boissière	38	31	11
31452901000	426343	6911684	RANCHY		73.1425	114.205
31453003000	462112	6909299	RANVILLE/Nouvelle		536.708	703.111
31453401000	493651	6910331	REUX		16	8
31453501000	447781	6917812	REVIERS		127	180
31455201000	437365	6918706	RYES	466.939	210.354	188.773
31455401000	460719	6890925	SAINT-AIGNAN-DE-CRAMESNIL		22.85	97.58
31455601000	452695	6896086	SAINT-ANDRE-SUR-ORNE	702.519	651.599	721.355
31455602000	452825.43	6897050.13	SAINT-ANDRE-SUR-ORNE/Hameau d'Etavaux		16.3	
31457001000	502806	6887051	SAINT-CYR-DU-RONCERAY	40.5	44	47
31457201000	441309.79	6866910	SAINT-DENIS-DE-MERE		39.35	25.72
31458501000	435177	6868485	SAINT-GERMAIN-DU-CRIOULT	33.09	30.845	40.33
31458502000	435721.83	6867723.28	SAINT-GERMAIN-DU-CRIOULT/Les Isles	7.79		1.25
31458901000	457887	6884289	SAINT-GERMAIN-LE-VASSON		2842.57	3719.93
31459101000	422815	6923904	SAINTE-HONORINE-DES-PERTES	58.6533	76.3823	92.4621
31459201000	447744	6890500	SAINTE-HONORINE-DU-FAY (HS)	320	79.2	
31459202000	445281.43	6890885.8	SAINTE-HONORINE-DU-FAY/Station communale			142.333
31460001000	487266	6889680	SAINT-JULIEN-LE-FAUCON		78	89
31460501000	419190	6924377	SAINT LAURENT SUR MER	136.611	74.4664	73.8079
31460801000	481553	6894879	SAINT-LOUP-DE-FRIBOIS/Crèvecœur-en-Auge		70	65
31461601000	486749	6883137	SAINTE-MARGUERITE-DE-VIETTE	24.1		28.2
31463901000	489369	6898534	SAINT-OUEN-LE-PIN/Bourg		12.34	14.9
31464401000	503349	6904705	SAINT-PHILBERT-DES-CHAMPS	33.7		27.7
31464601000	463936	6874219	SAINT-PIERRE-CANIVET		30.54	18.55
31464901000	464835	6868294	SAINT-PIERRE-DU-BÜ		23.96	67.6
31465402000	478074	6884804	SAINT-PIERRE-SUR-DIVES	970.077	908.315	1000.46
31465601000	443313	6877171	SAINT-REMY-SUR-ORNE		172.95	169.6
31465902000	465767	6890033	SAINT-SYLVAIN	127.347	129.252	140.23
31466301000	431434	6917386	BAYEUX 2	3326.21	3212.96	3370.07
31466602000	465706	6903010	SANNERVILLE	165.134	156.577	173.731
31466801000	478968	6886308	BRETTEVILLE-SUR-DIVES/Thiéville	62.11	63.01	61.2
31468901000	445084	6882656	THURY-HARCOURT	532	513.675	520.675
31469202000	435970	6904104	TILLY-SUR-SEULLES	364.21	343.975	384.317
31469701000	482839.89	6877721.88	L'OUDON/Montpinçon Le Billot	5.8		3.37
31469702000	479872	6881140	L'OUDON/Lieury	65	73	121
31469801000	465244	6903579	TOUFFREVILLE		5	20
31469901000	489864.97	6920481.21	TOUQUES/Deauville-Trouville (HS)	11399.57	9984.76	
31469902000	488693	6920775	TOUQUES/Deauville Biosep			9732.51
31471101000	415209	6920012	TREVIERS		82.4	235.45
31471201000	468430	6903676	TROARN	661.579	629.668	689.818
31471901000	458368	6885930	URVILLE	226.563	198.241	215.682
31472001000	458385	6877279	USSY		85	182
31472601000	431141	6868015	VASSY	258.05	233.336	265.87
31473401000	437498.54	6899661.8	VENDES/Bourg		10.8	
31473402000	437498.54	6899661.8	VENDES/Les Landes		1.26	
31473701000	467946	6872414	VERSAINVILLE		84.955	64.11
31473802000	449381	6900740	VERSON	1768.05	1561.96	1719.99
31473902000	443941.46	6920786.7	VER-SUR-MER/Nouvelle			423.798
31474501000	415688	6927230	VIERVILLE-SUR-MER	42.4357	89.9443	139.418
31474701000	448427	6894837	VIEUX/La Jonquette		88	94.35
31475201000	431932	6892463	VILLERS-BOCAGE	550.098	410.63	453.345
31475301000	462660	6876033	VILLERS-CANIVET/Bourg	42.92		30.2
31475302000	461010.87	6875535.35	VILLERS-CANIVET/Village de Torp		3.72	
31475701000	441210	6915604	VILLIERS-LE-SEC		50	18
31476401000	449643	6869714	PONT-D'OUILLY		104.885	59.65
36100202000	487608.67	6846985	ALMENECHES	73	74	
36100603000	476710.35	6852776	ARGENTAN/Grand Beaulieu	3053.21	2689.71	2514.96
36100702000	443399.48	6863018	ATHIS DE L'ORNE	317.585	276.055	277.684
36104401000	444642.92	6866126.87	BERJOU		24	
36105501000	472466.57	6843397	BOUCE	71	10	
36105701000	486184.6	6860659	LE BOURG-SAINT-LÉONARD	42	32	
36106301000	452394.77	6849163	BRIOUZE	194.689	184.573	192.337
36106901000	447856.06	6868316	CAHAN		2	
36107002000	436623.94	6858576	CALIGNY/Fiers - Le Landis	4697.53	4643.62	4813.02
36107301000	447069.39	6858668	LA CARNEILLE		43	

CODE OUVRAGE	XL93	YL93	Localisation	Volume moyen journalier en 2008	Volume moyen journalier en 2009	Volume moyen journalier en 2010
36108101000	493027.88	6844277	CHAILLOUE		114	86
36110101000	489657.5	6842782.73	MACE-SURDON			27.1
36113901000	489803.49	6873339	CROUTTES	8.4		9
36115301000	469709.5	6850930	ECOUCHE	315.847	277.384	267.907
36115701000	492056.79	6856767	EXMES		10	18
36118101000	501052.47	6859093	GACE	978.964	869.537	898.268
36119501000	454654.79	6843449	LE GRAIS	7.4		
36122101000	445215.47	6855746	LANDIGOU/La Ferronière		18.6667	
36122201000	432266.2	6856446	LANDISACQ		29	
36123701000	462913.69	6848496	LOUGE-SUR-MAIRE			18.4
36124002000	486852.66	6845475	MACE/Bourg		14.3	
36126701000	455387.18	6863062	MENIL-HERMEI	9.7		
36126901000	449581.46	6866875	MENIL-HUBERT-SUR-ORNE	10		
36127501000	499809.3	6847499	LE MERLEAULT	95	104	67
36128701000	437053.24	6862884	MONTILLY-SUR-NOIREAU/Beaumanoir		48	
36128801000	482486.95	6841111	MONTMERREI		10	
36129201000	430219.73	6861464	MONTSECRET/Frênes	78		79
36129401000	485197.17	6842508	MORTREE		21	
36130301000	471553.25	6863438	NECY	2.9		3.9
36133301000	500054.86	6873678	PONTCHARDON (projet)			12
36133902000	460987.2	6857019	PUTANGES-PONT-ECREPIN	185.787	147.252	159.986
36134401000	468344.45	6843430	RANES	111	98	99
36135301000	444622.28	6859321	RONFEUGERAI			11.2
36139102000	438086.4	6859577	SAINT-GEORGES-DES-GROSEILLERS/La Poterie		40.2222	
36140201000	455042.71	6850092	SAINT-HILAIRE-DE-BRIOUZE	15.9	7	9.6
36140801000	451703.01	6858951	SAINTE-HONORINE-LA-GUILLAUME	18		12.7
36144501000	431351.78	6862527	SAINTE-PIERRE-D'ENTREMONT	43.2277	72.1215	49.6654
36146001000	504927.07	6869480	LE SAP		123.241	93.6315
36146402000	490821.46	6837892	SEES 2006	766.082	592.685	686.821
36146501000	450588.4	6865244	SEGRIE-FONTAINE/Bourg		32	
36146502000	450462.37	6862075	SEGRIE-FONTAINE/La Bagotiere		3.8	
36148603000	426357.12	6857940	TINCHEBRAY/La Plurière	353.53	338.244	221.729
36149401000	481873.82	6864114	TRUN	377.73	322.085	312.299
36150801000	495250.45	6873426.84	VIMOUTIERS/Ribaudière	583.764	673.838	695.359
0461040S0001	447648.59	6849578.19	BELLOU-EN-HOULME/Le Hamel (=>SN)		52	22.7
0461074S0001	467136.26	6834750.8	CARROUGES (=>SN)		150	68
0461419S0001	467737.47	6837487.1	SAINTE-MARGUERITE-DE-CARROUGES (=>SN)			4.1

Annexe 19

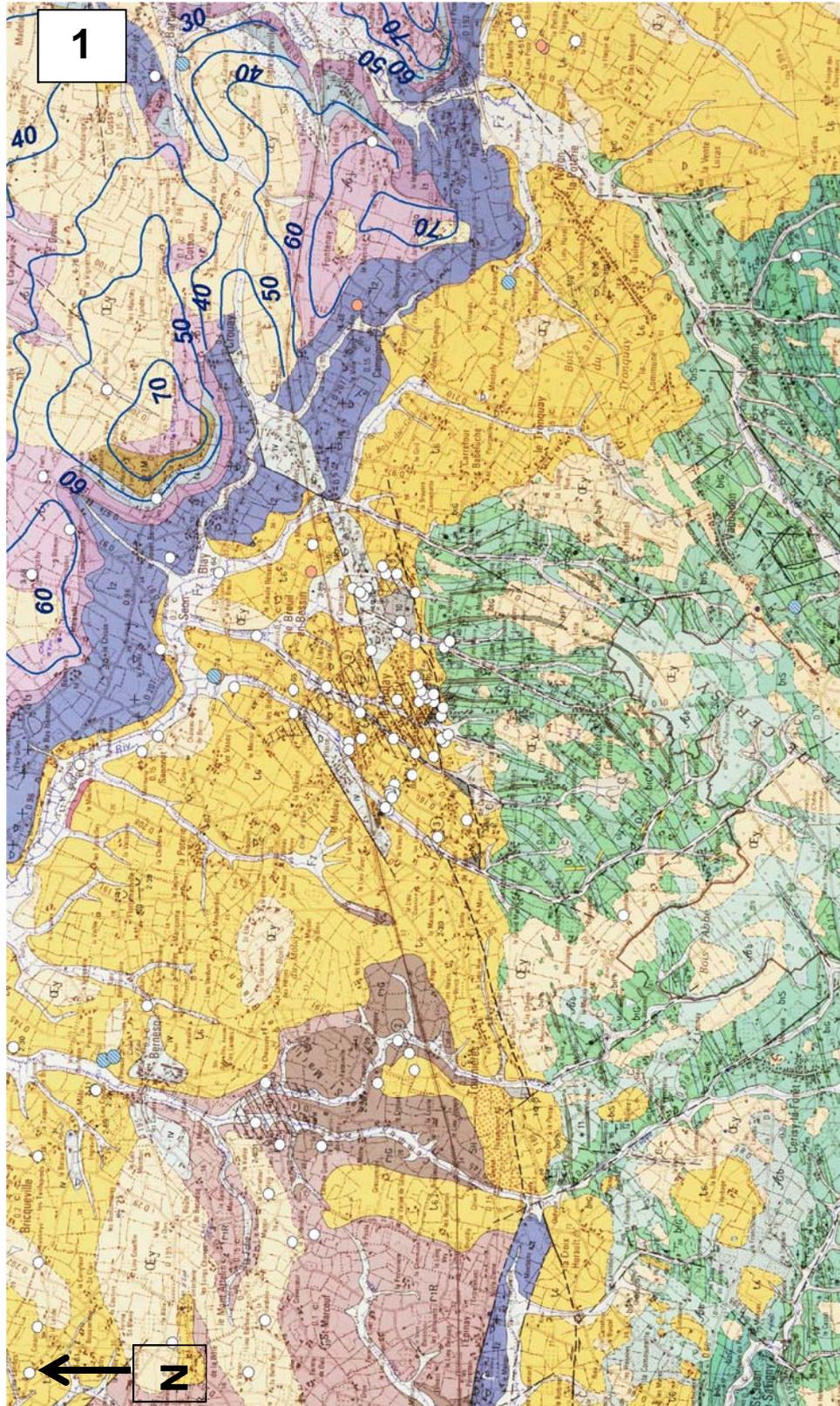
Système karstique des pertes de l'Aure (in CRSN, bilan des campagnes 1981-1985)

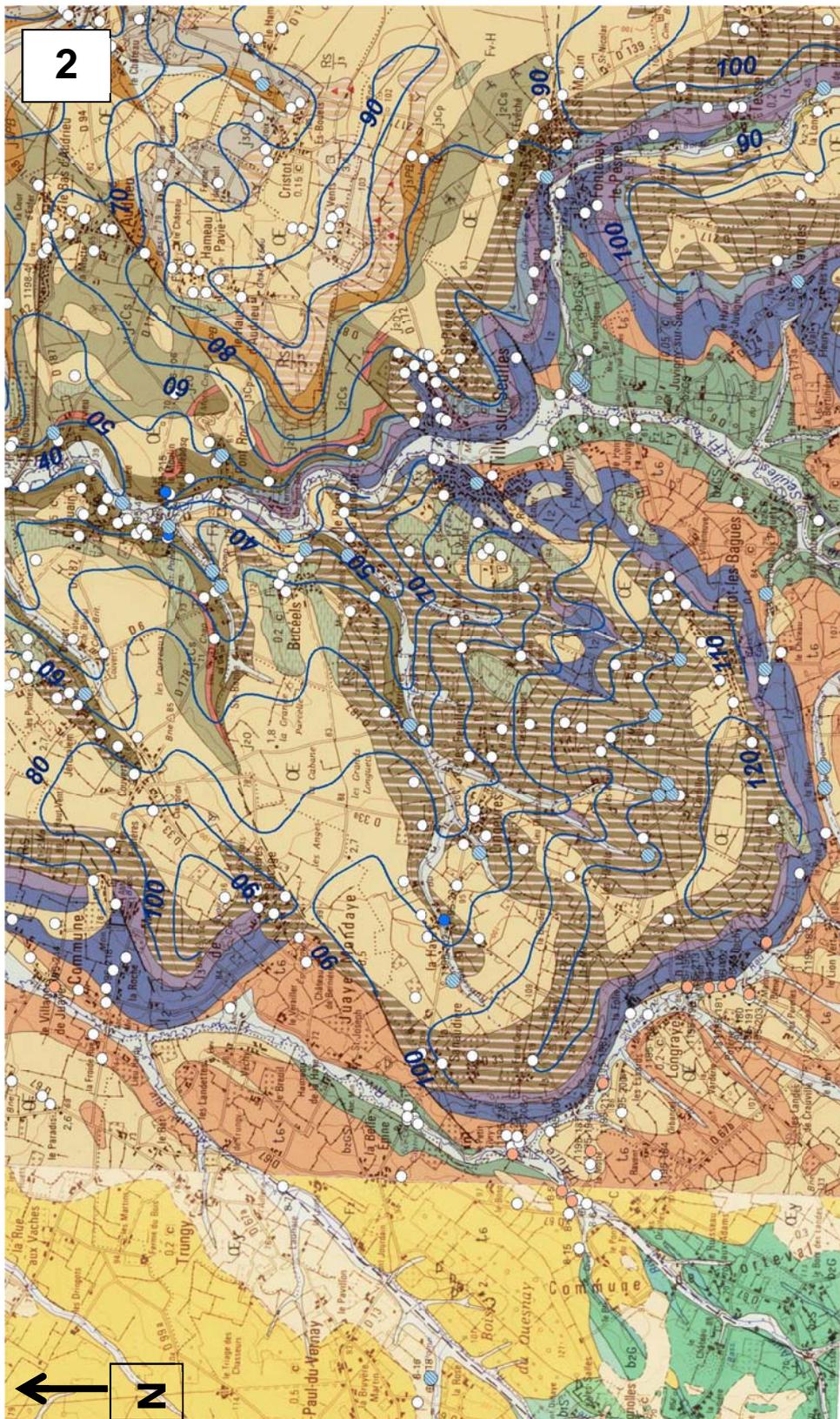


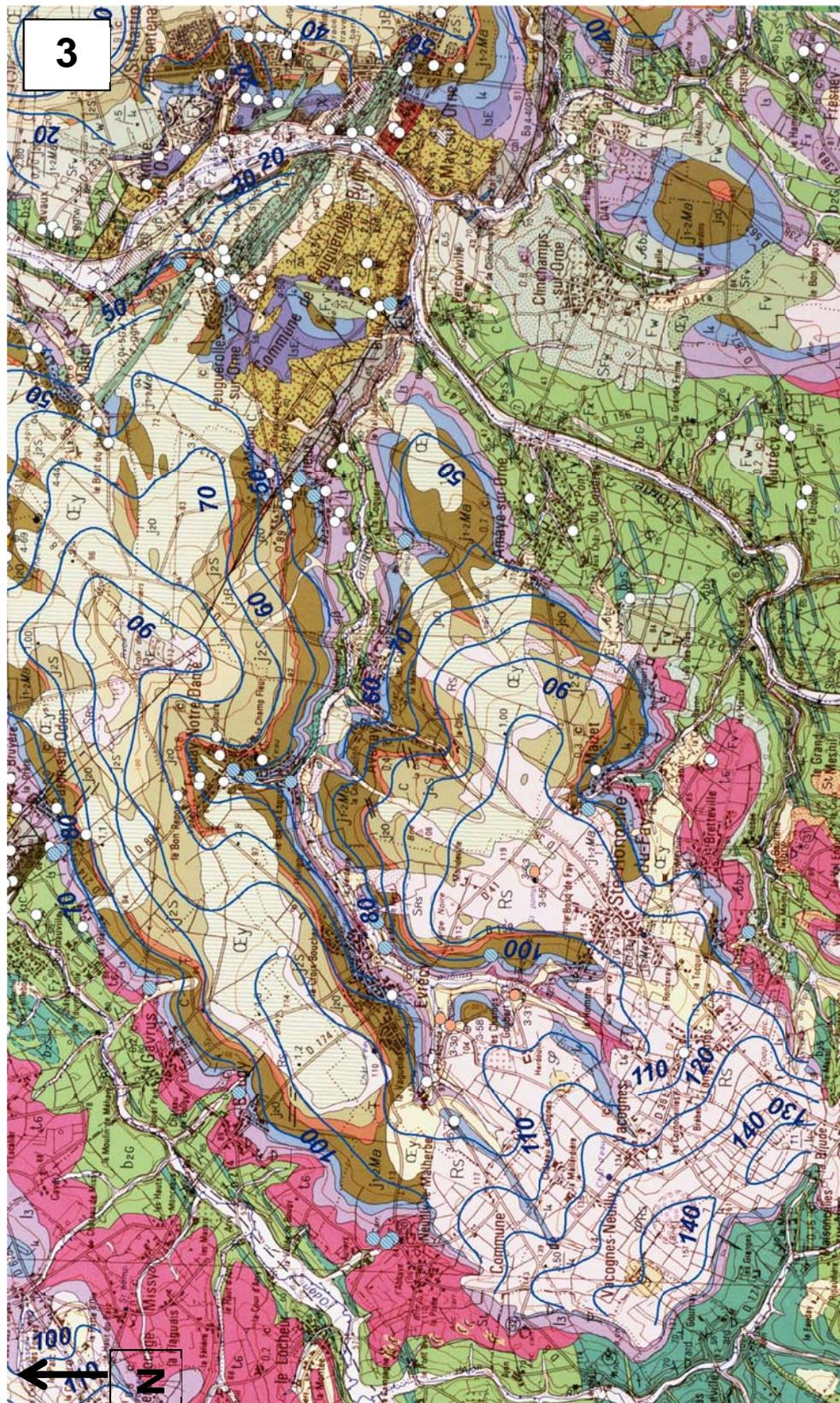
Annexe 20

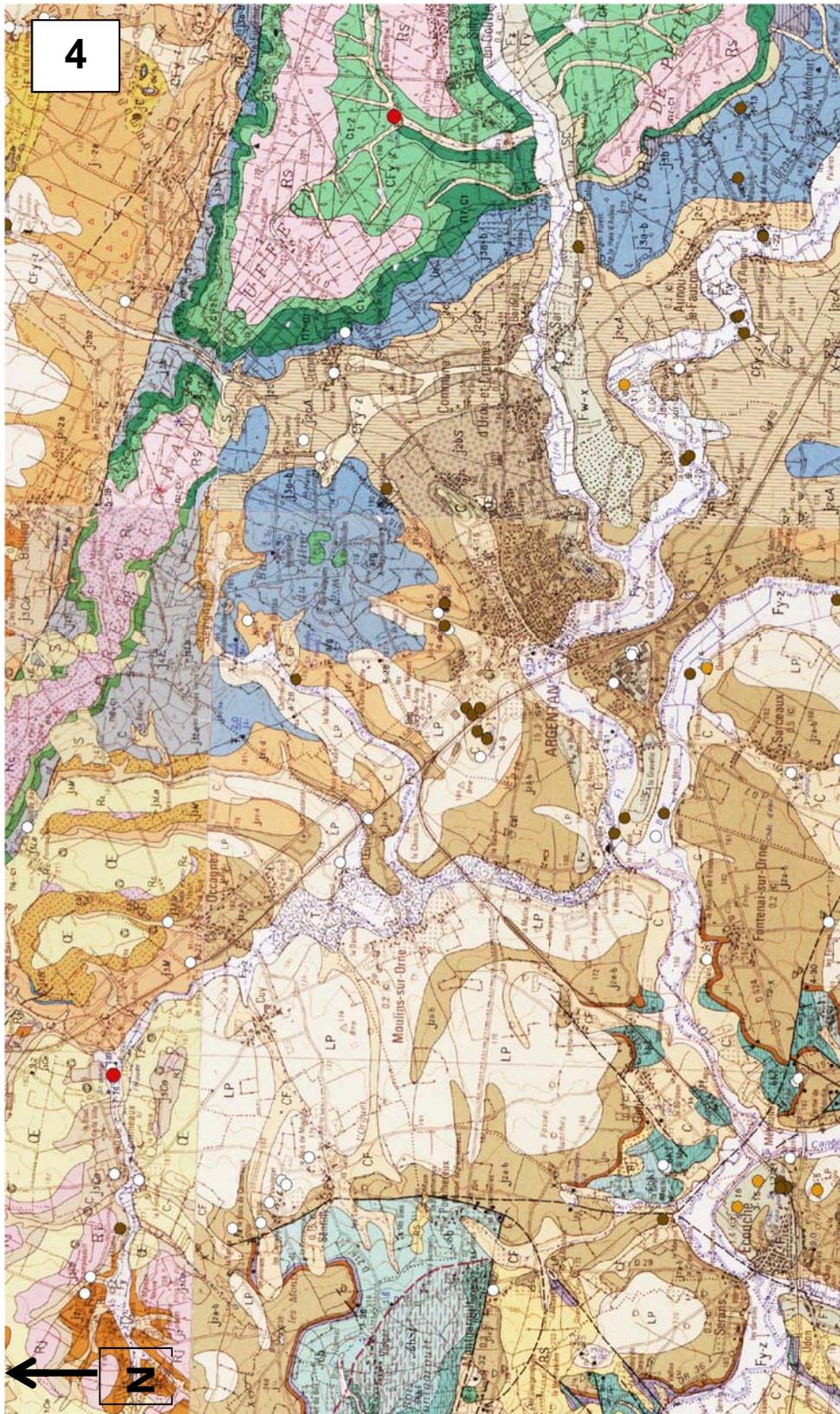
Extraits des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000^{ème} de la zone d'étude

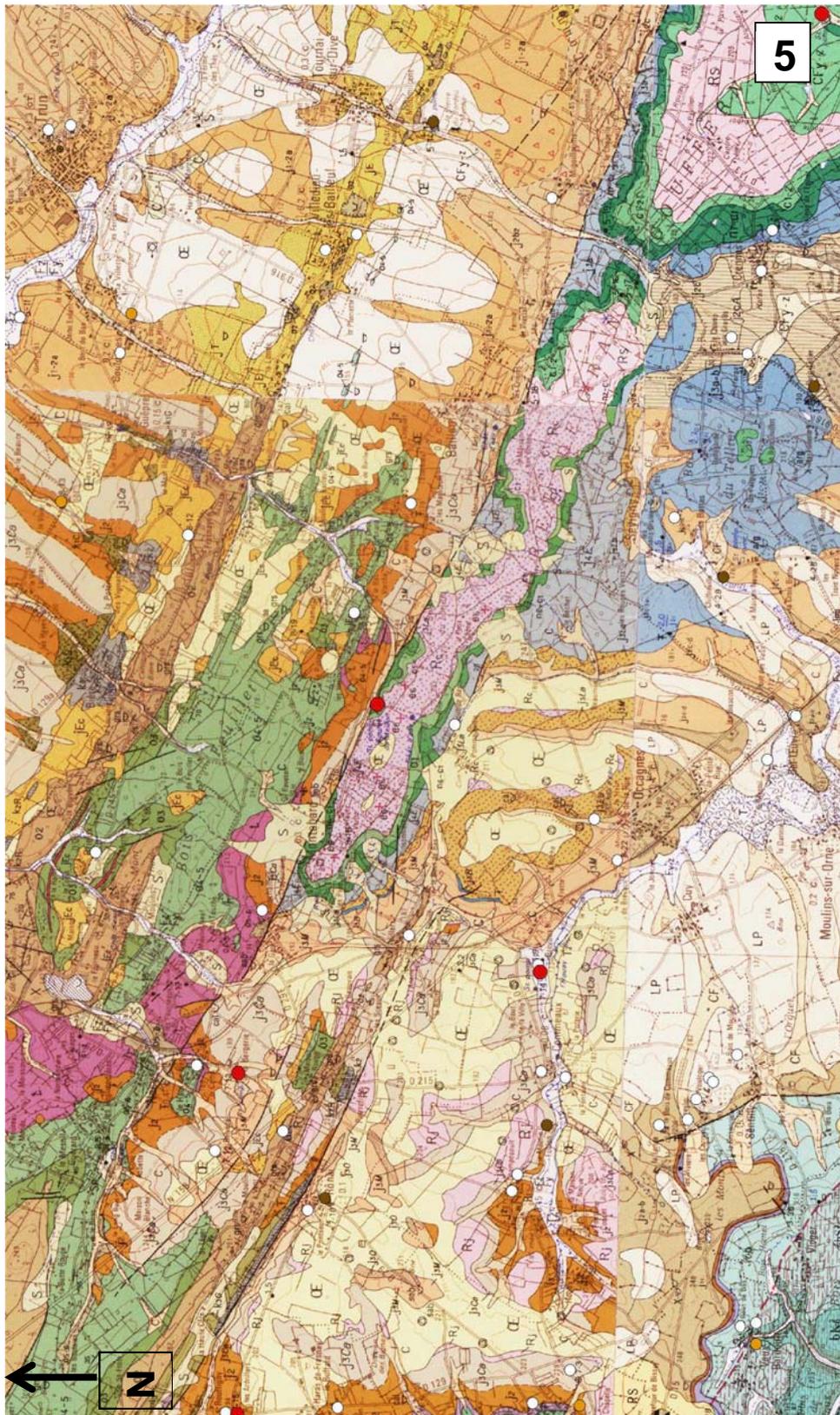
1. Affleurements de Trias au contact du Briovérien et cuesta du Lias (fond : carte géologique au 1/50 000^{ème}, BRGM ; en bleu, courbes piézométriques de la nappe du Bajocien ; les points correspondent à des ouvrages identifiés en Banque du Sous-Sol)
2. Cuesta jurassique (Lias) au sud-ouest de la feuille de Bayeux-Courseulles
3. Le Lias et le Bajocien dans le secteur du synclinal de May-sur-Orne – piézométrie du Bajocien
4. Secteur d'Argentan, compris entre la zone Bocaine et le synclinal de la Coudraie à l'Est du granite d'Athis
5. Faille de Grande Gouffern limitant les échanges possibles entre le Dogger du secteur d'Argentan et celui du Sud-Ouest de la feuille de Vimoutiers
6. Piézométrie du Bajocien sur la côte nord du Bessin – La piézométrie du Lias est confondue avec celle du Bajocien
7. Piézométrie du Bajocien sur la feuille de Bayeux – vallée de l'Aure et de la Seulles
8. Butte de Bajocien sur la feuille de Villers-Bocage (secteur de Feuguerolles), et les secteurs voisins de Bayeux, Caen et Mézidon
9. Piézométrie du Bathonien dans le secteur de Caen et l'embouchure de l'Orne
10. À la limite des feuilles de Caen et de Lisieux, la piézométrie du Bathonien (selon l'Atlas hydrogéologique du Calvados, 2007)
11. Feuille de Mézidon – piézométries quasi équivalentes du Bajocien et du Bathonien, centrées sur Saint-Sylvain.
12. Feuilles de Falaise et de Vimoutiers – la piézométrie du Bajo-Bathonien montre un drainage par la Dives et une recharge à travers le Callovien
13. Nord de la feuille de Sées : Flux potentiels du Dogger vers le NW et Argentan. Possibilité d'alimentation par le Merlerault (au SE).

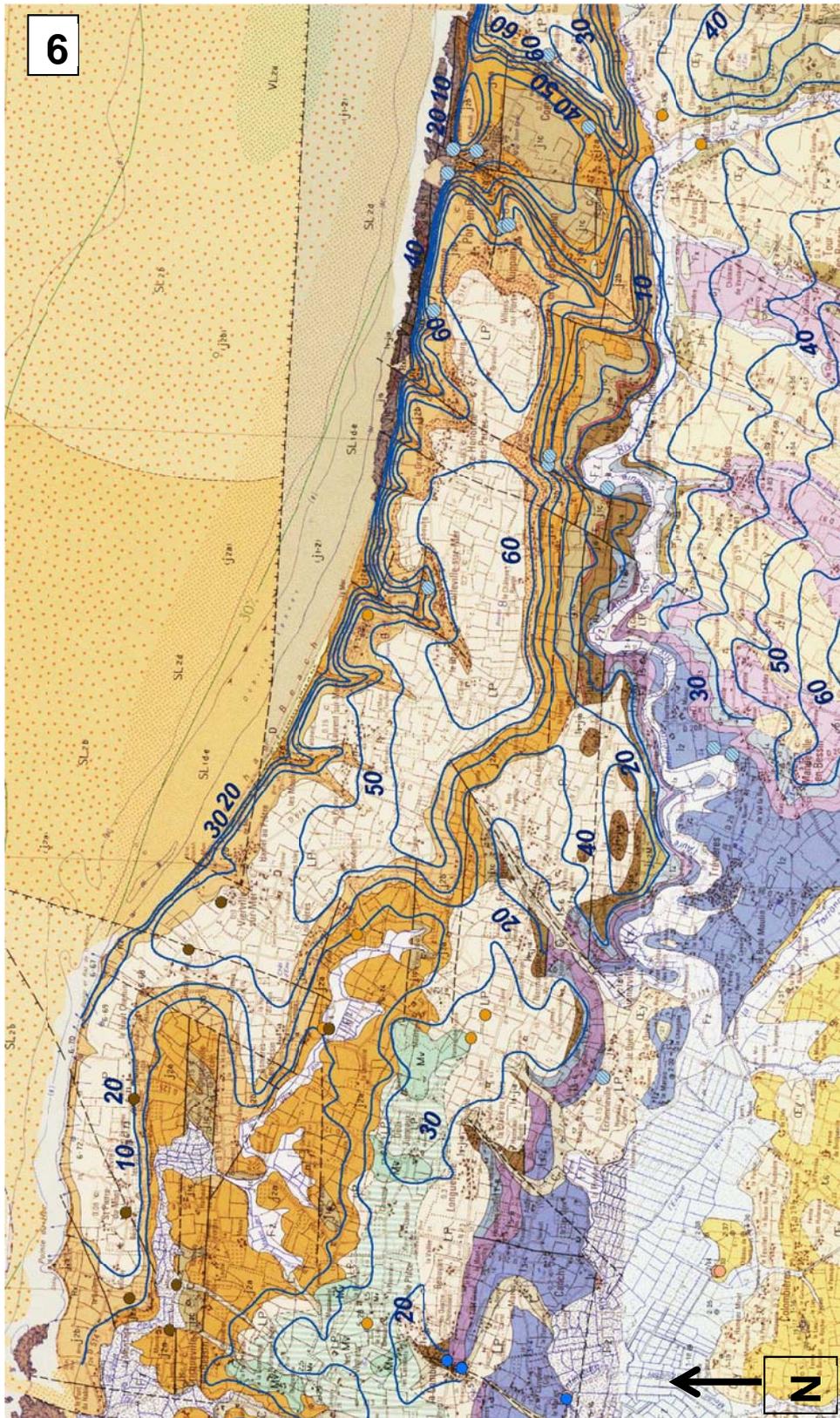


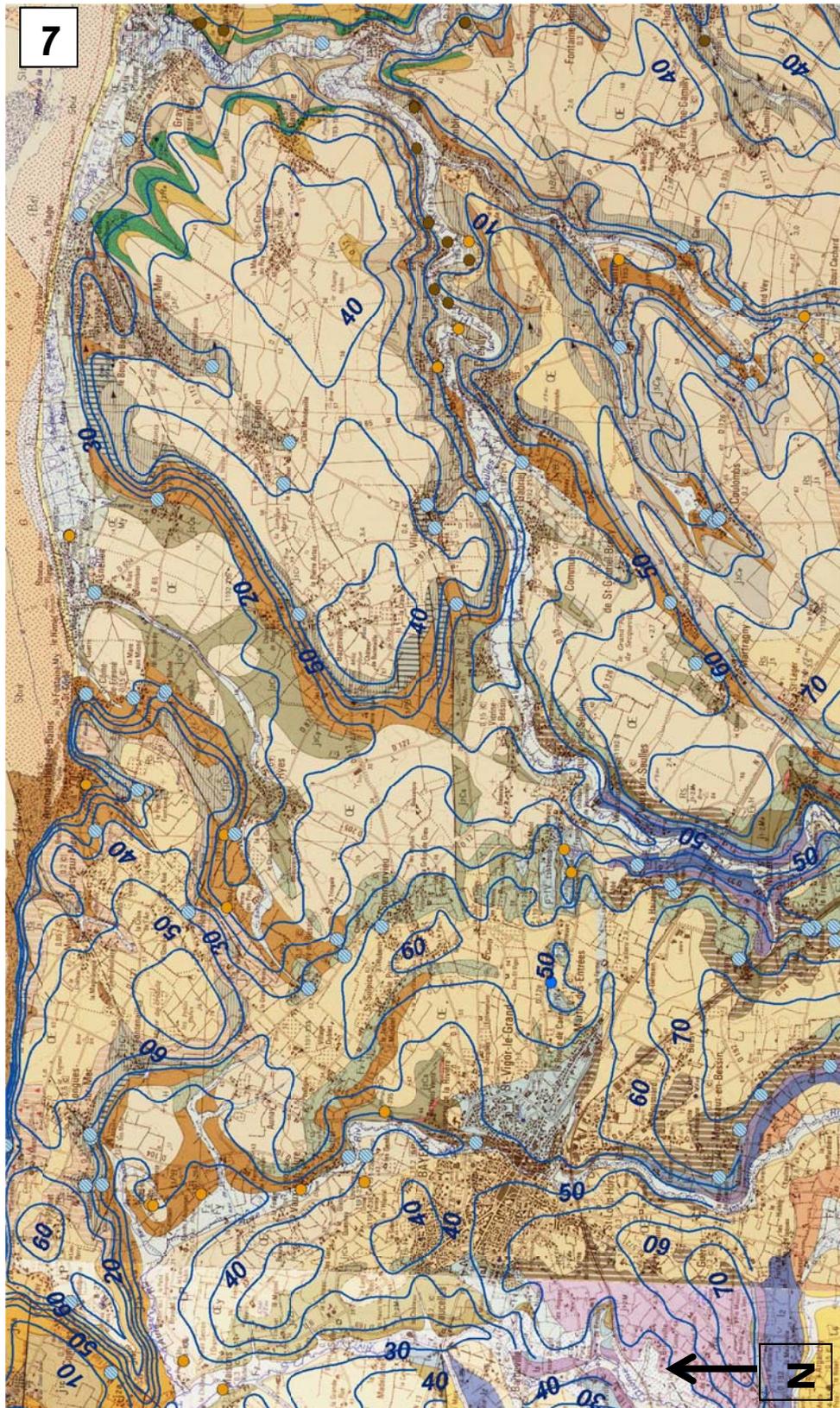


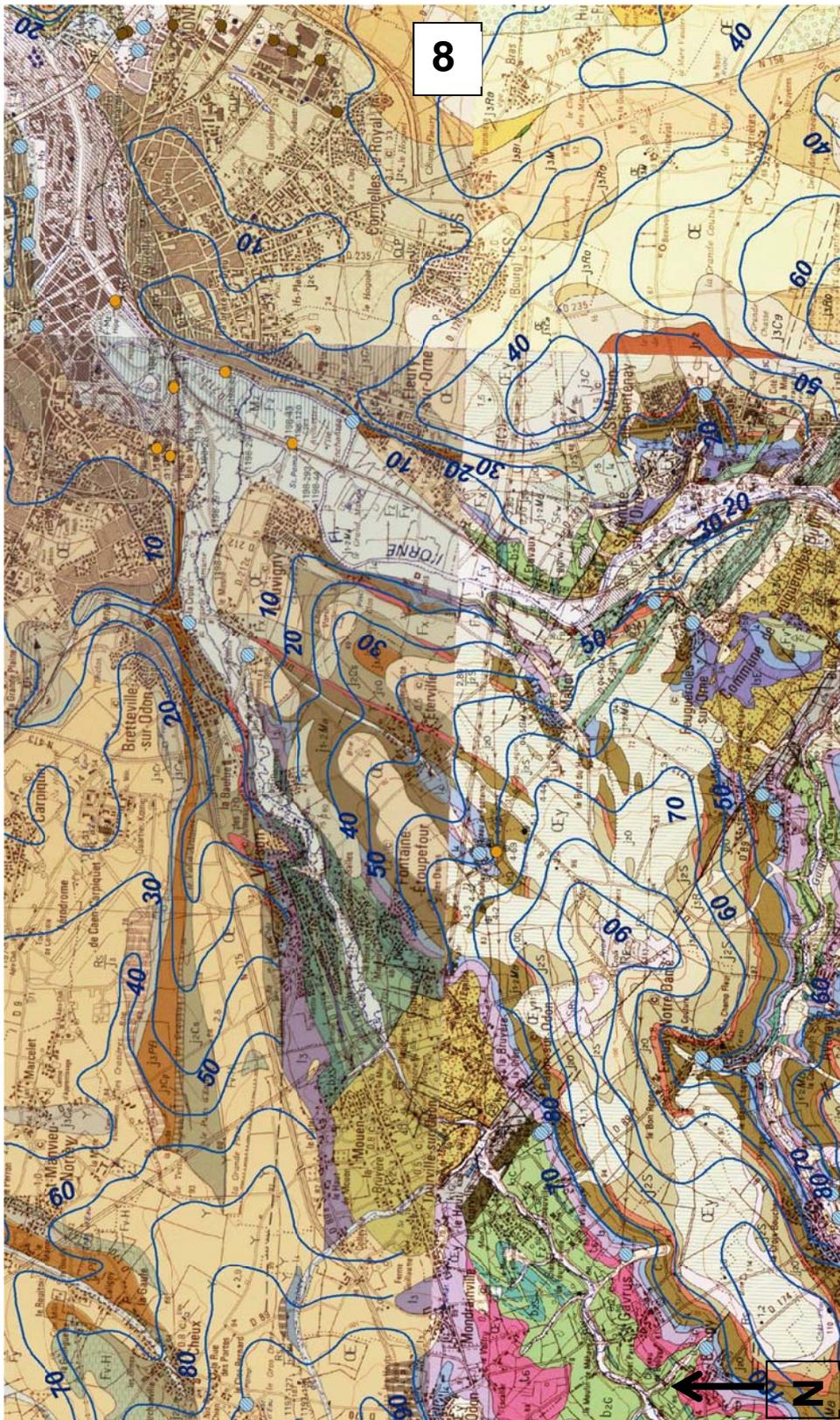






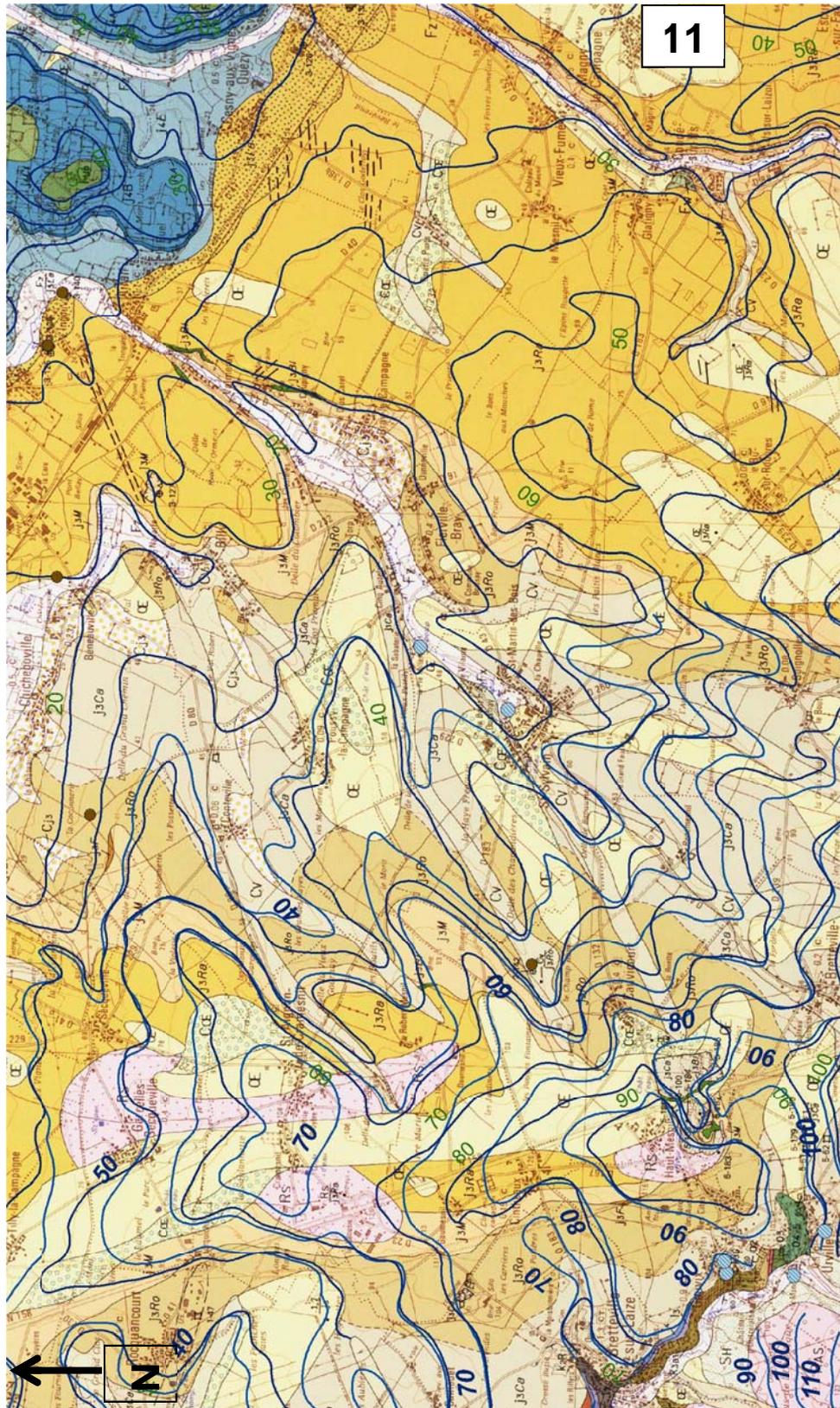




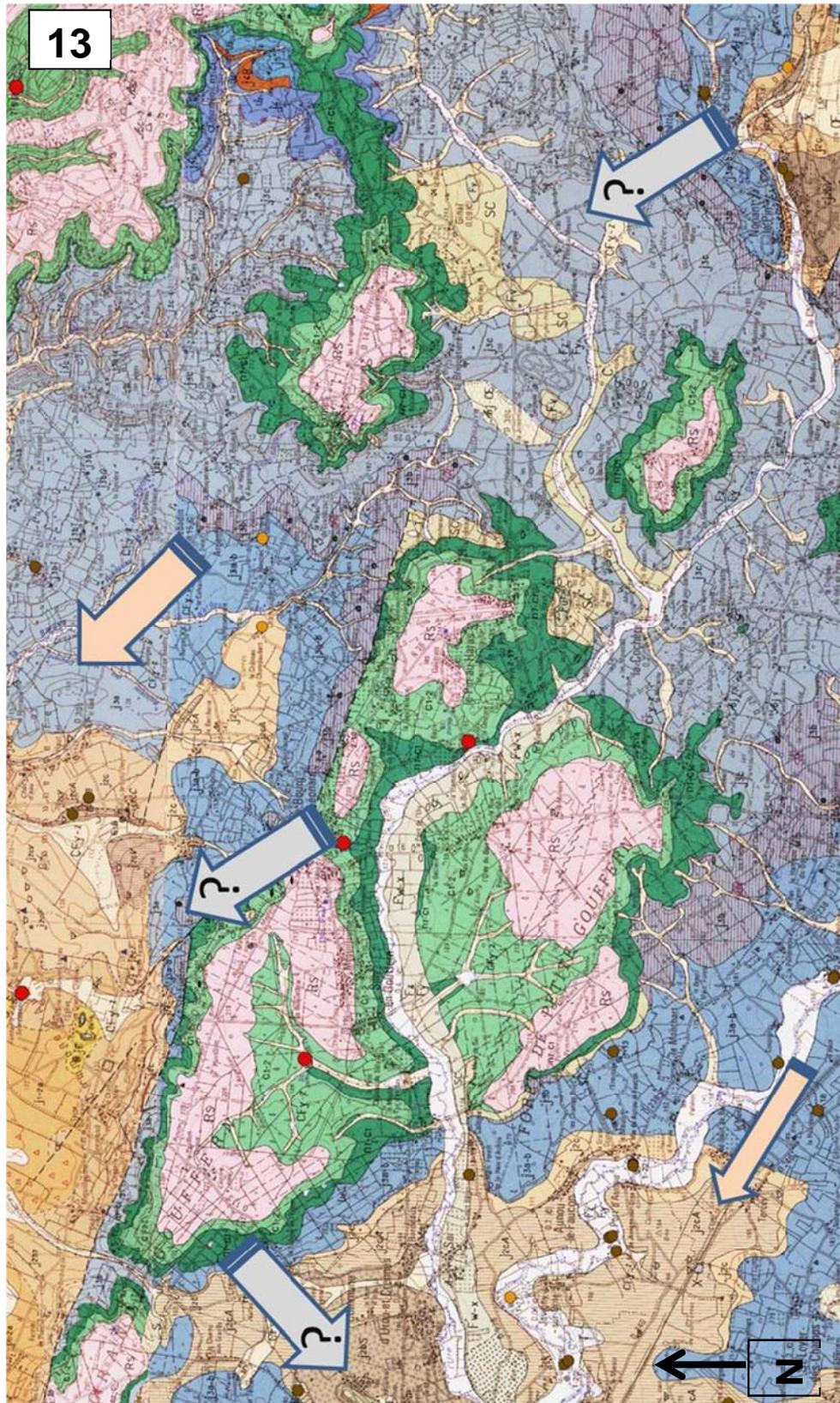






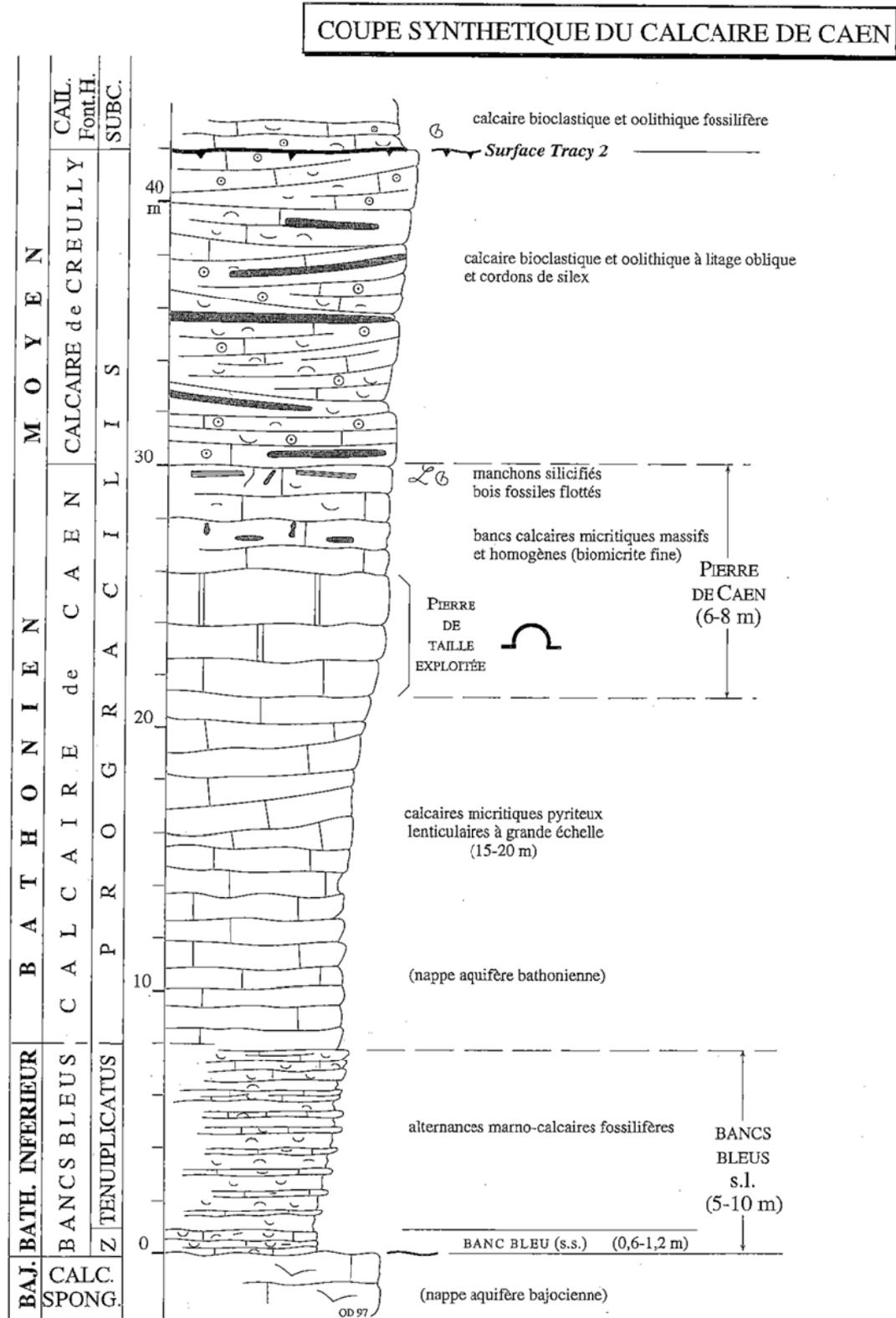






Annexe 21

Coupe synthétique du Calcaire de Caen (Dugué, 1997)



Coupe synthétique de la série du Bathonien inférieur et moyen, dans la région de Caen (d'après Rioult *et al.*, 1989 ; Fily, 1980)

Annexe 22

Schéma structural proposé dans le cadre du SDAEP de l'Orne (Lemoine, 2010)

DIFFERENTS AQUIFERES EXPLOITES OU EXPLOITABLES

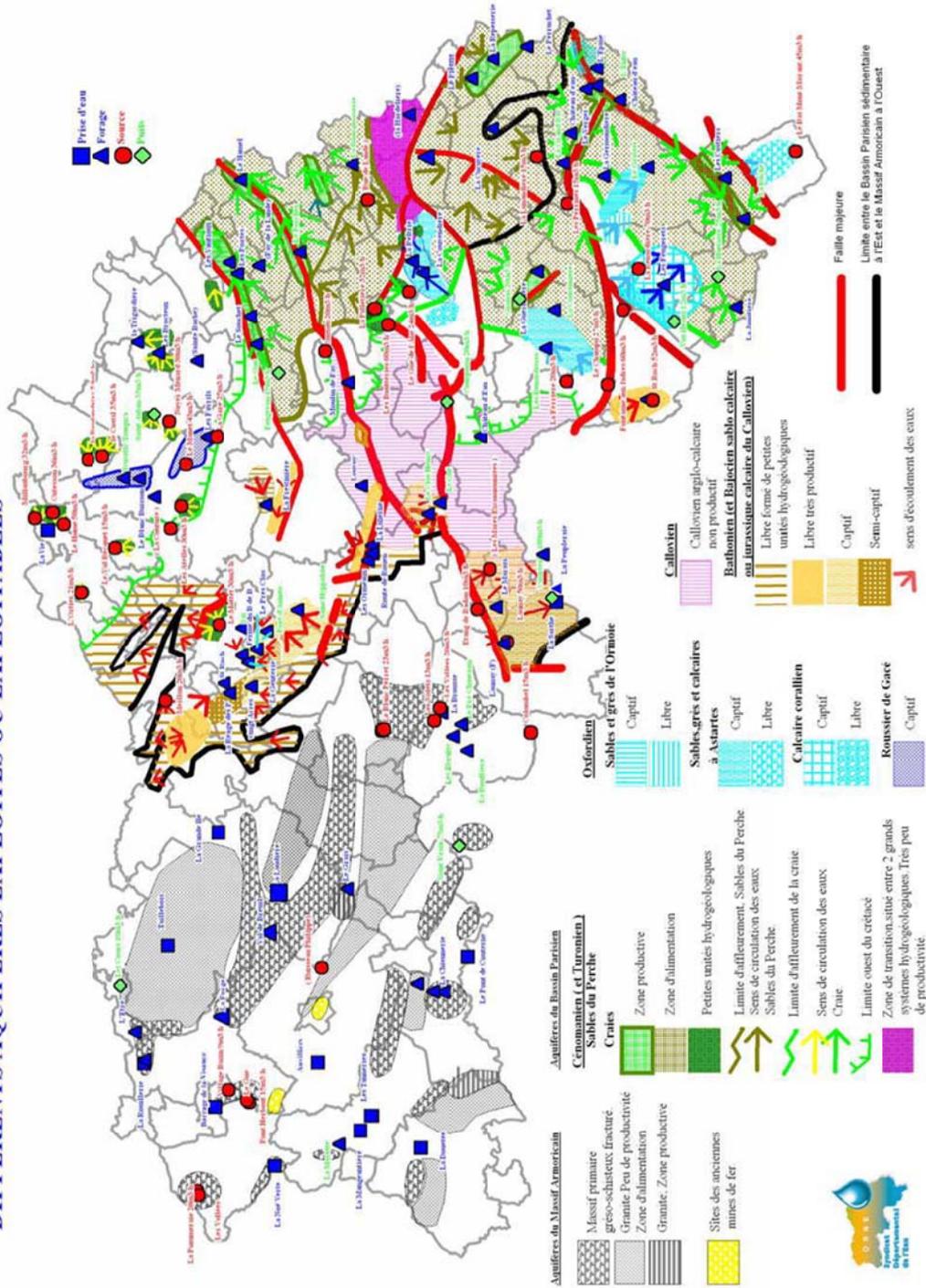
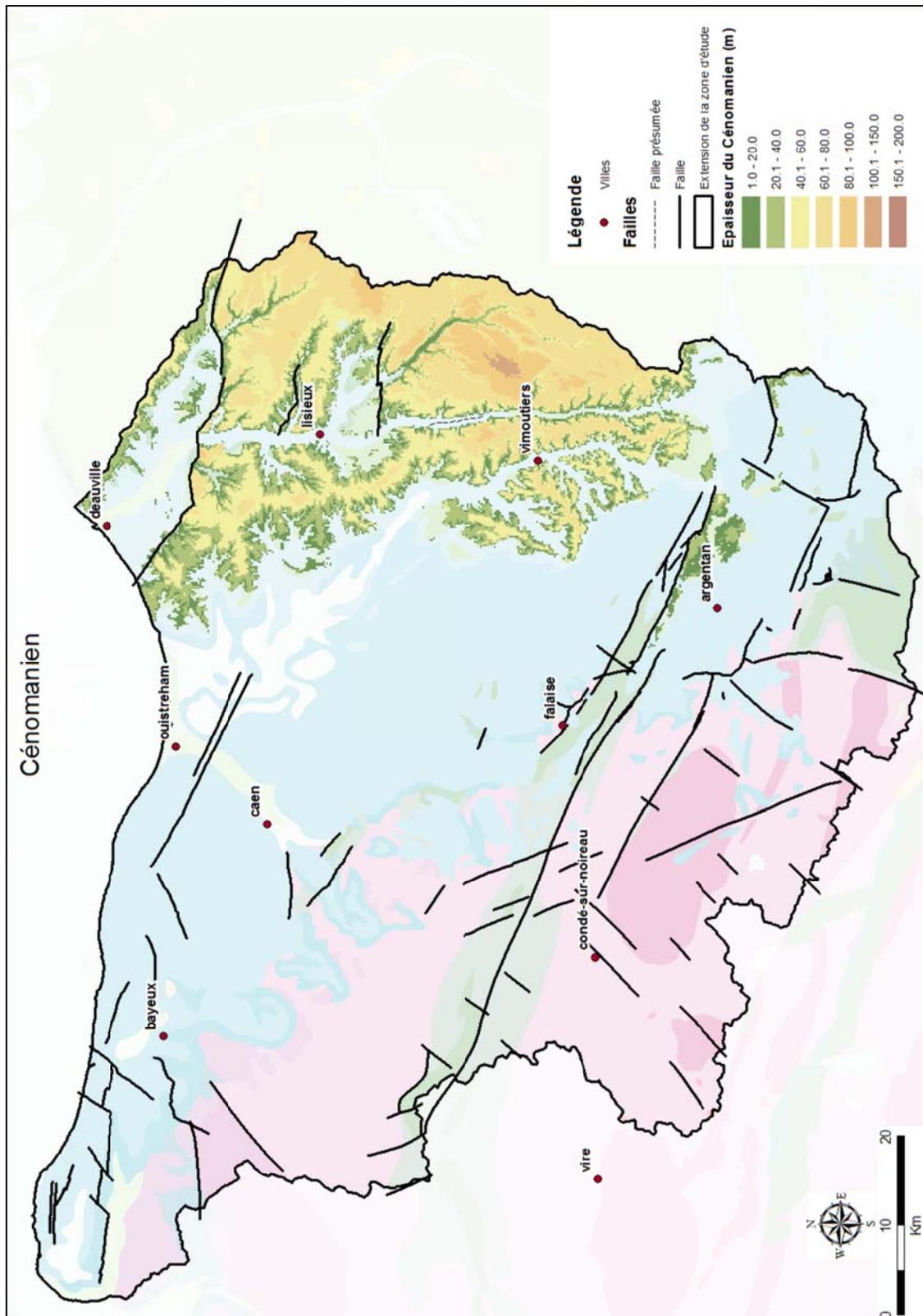


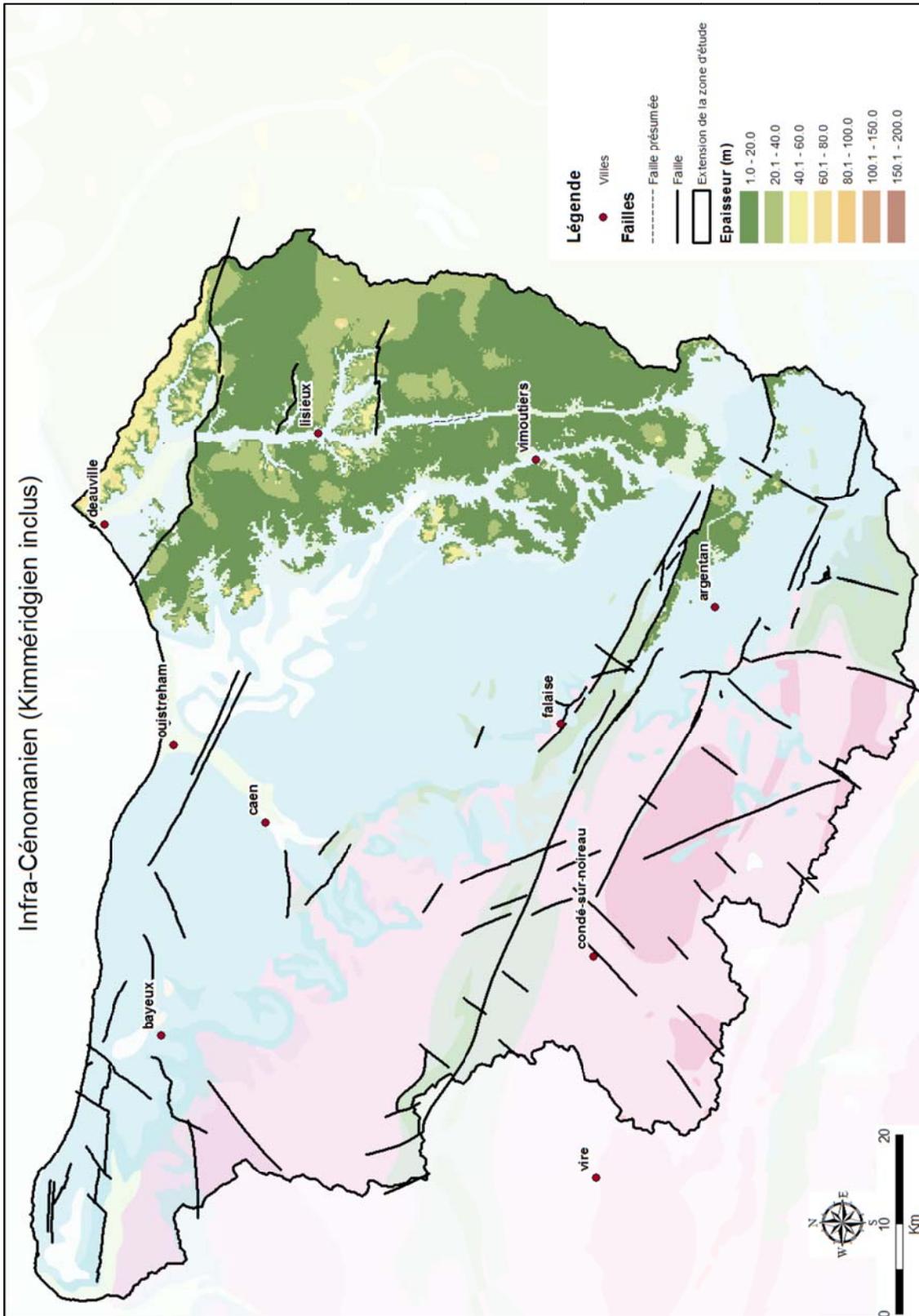
Schéma départemental omnis d'alimentation en eau potable

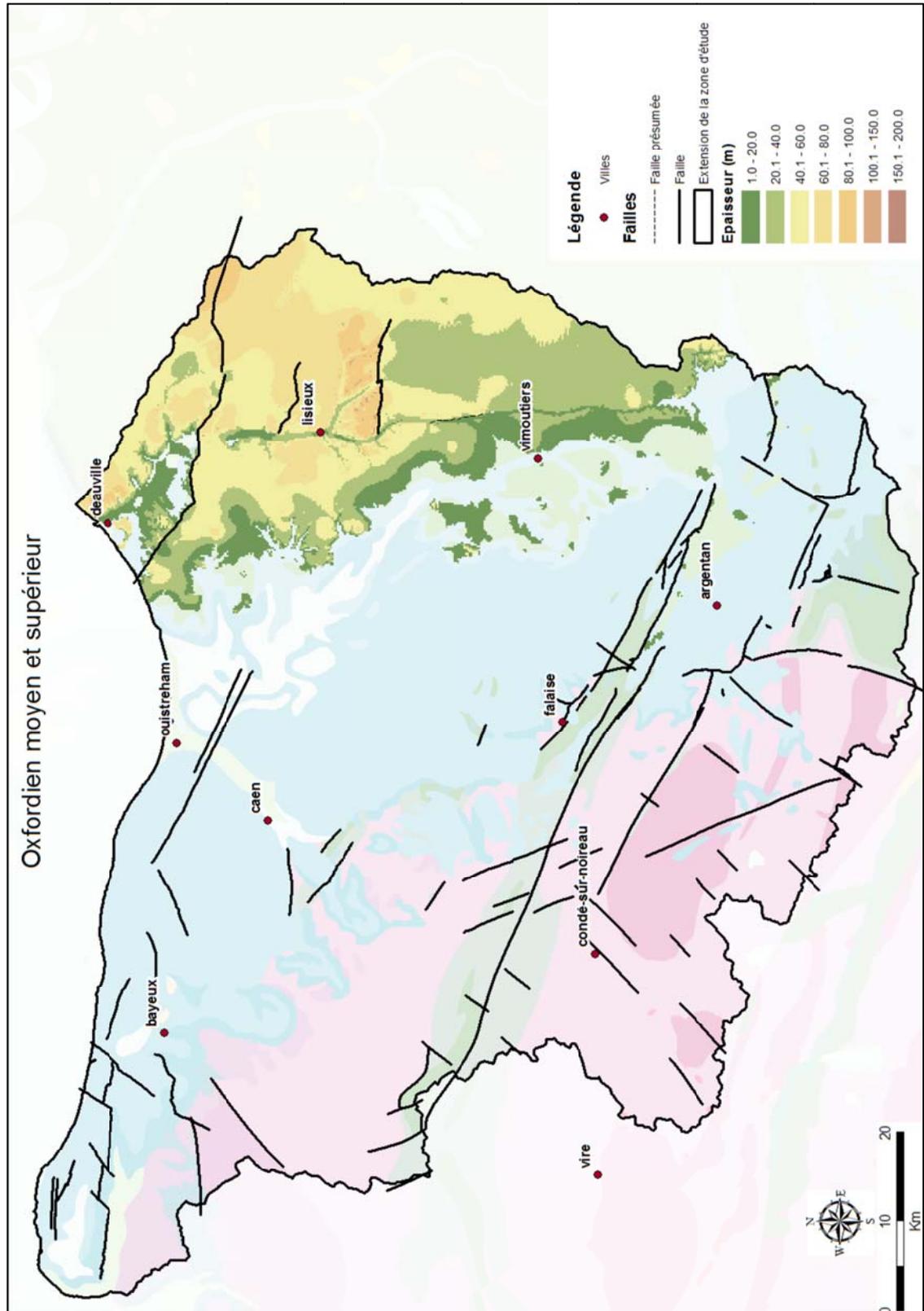
Annexe 23

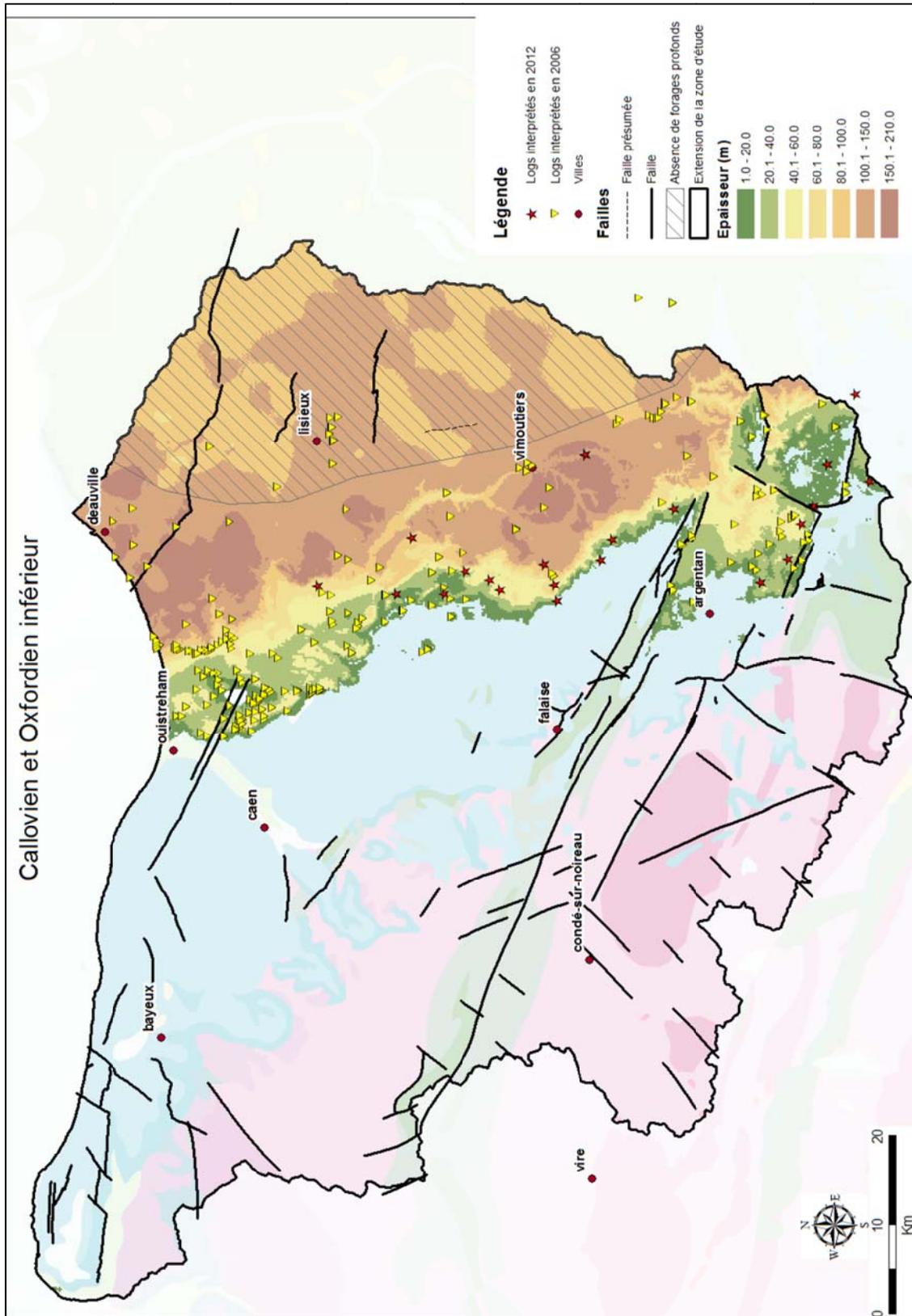
Cartographie de la géométrie des formations géologiques modélisées

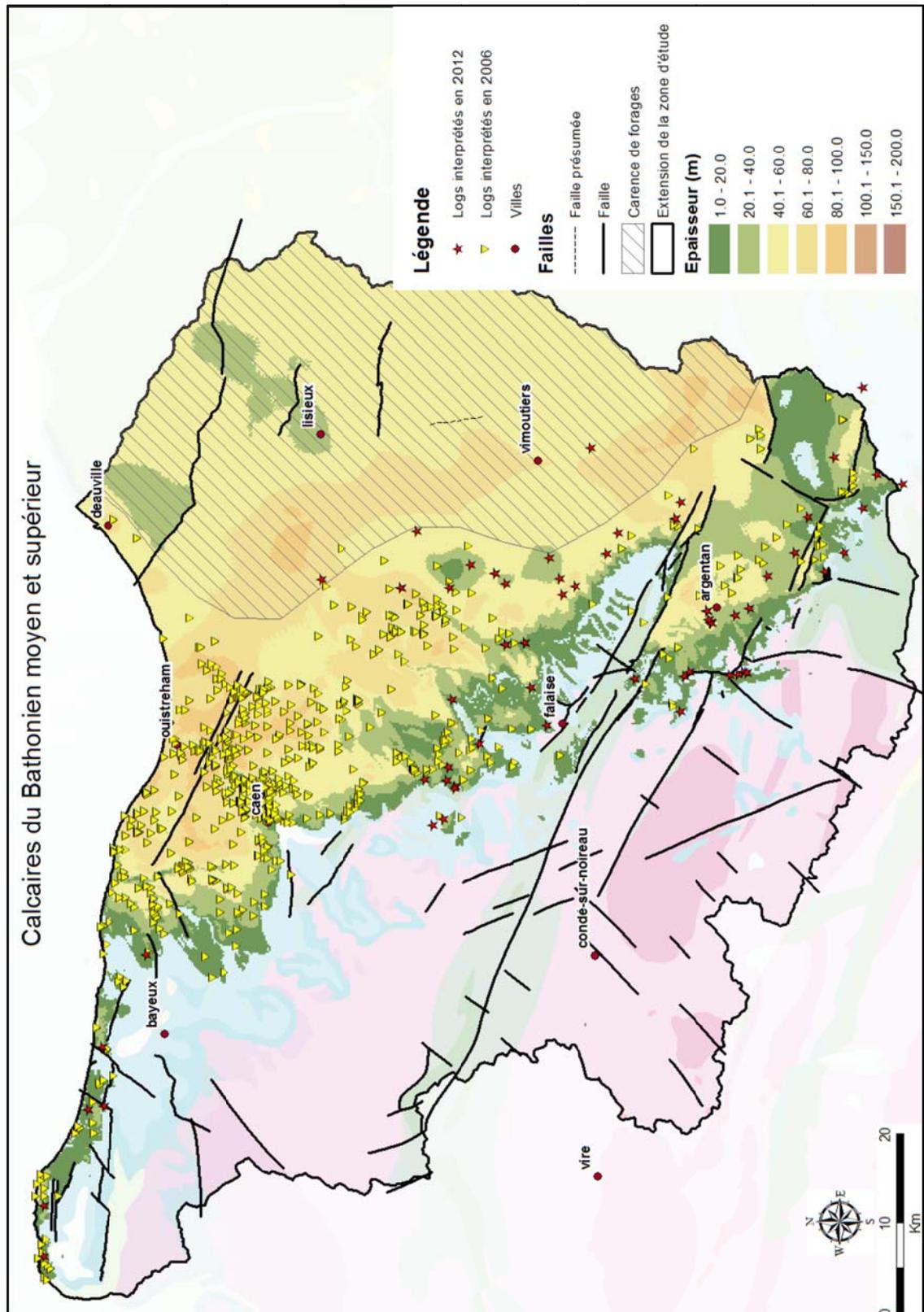
- Épaisseurs des formations géologiques (9 cartes)
- Altitude du toit du socle

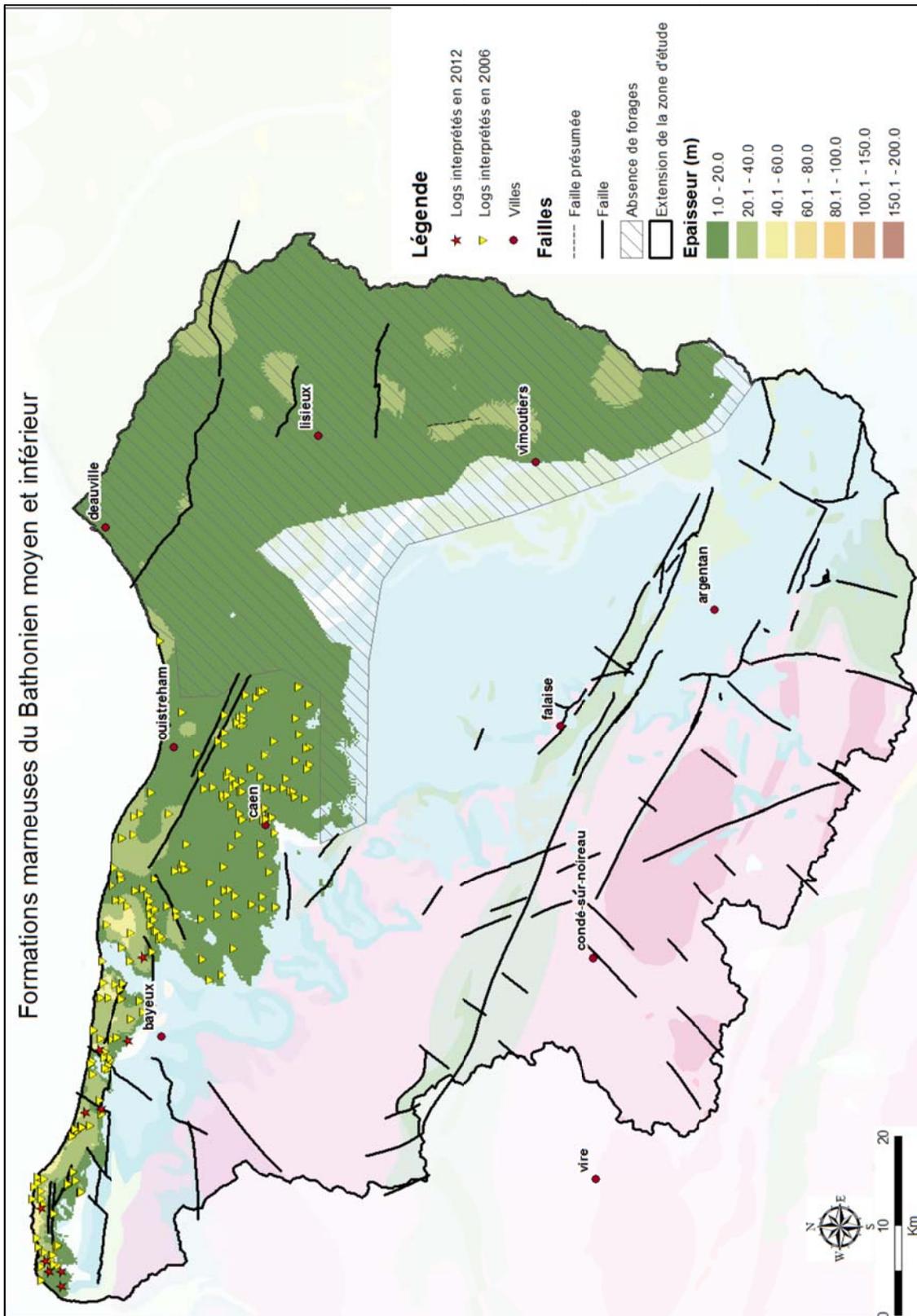


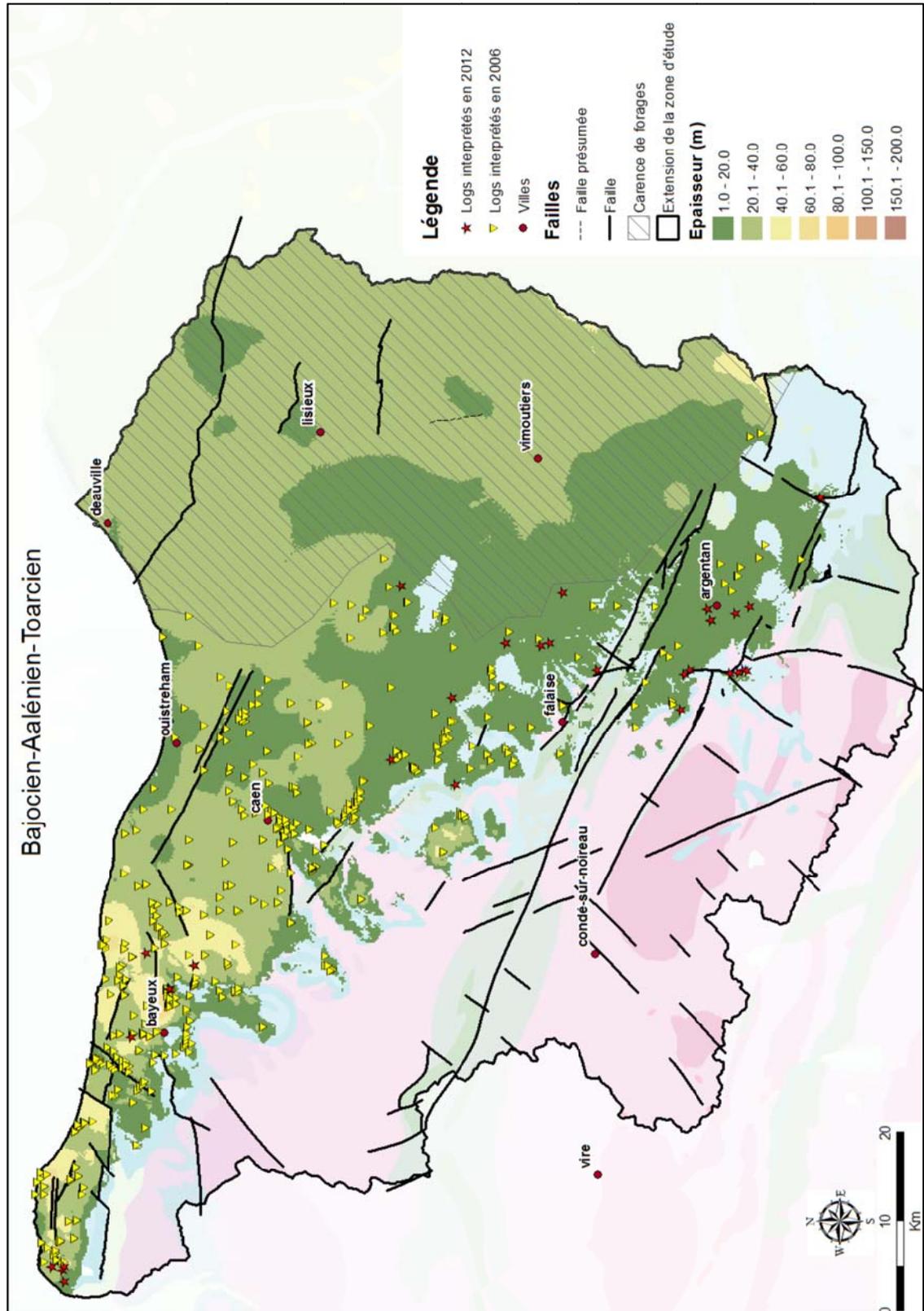


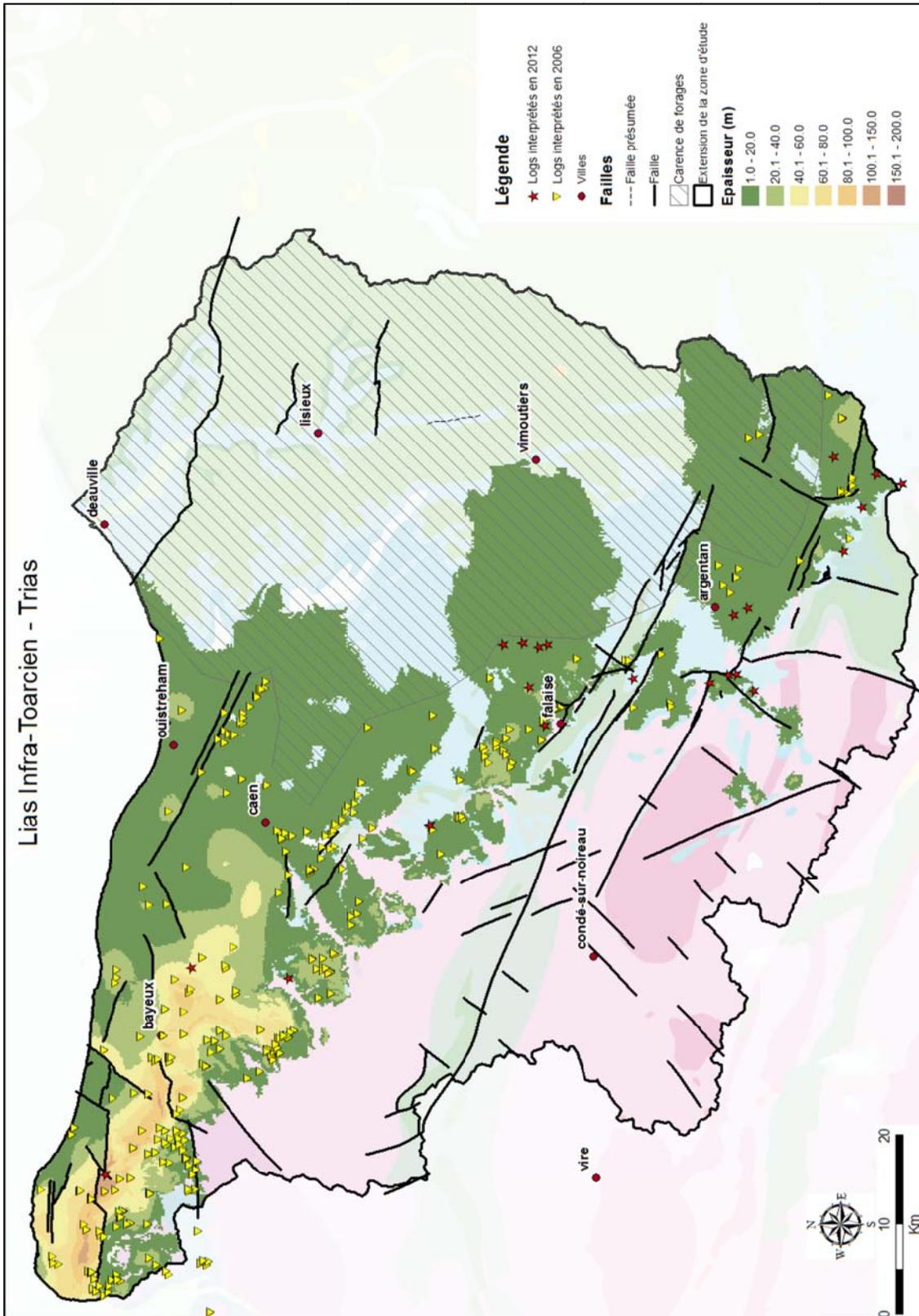


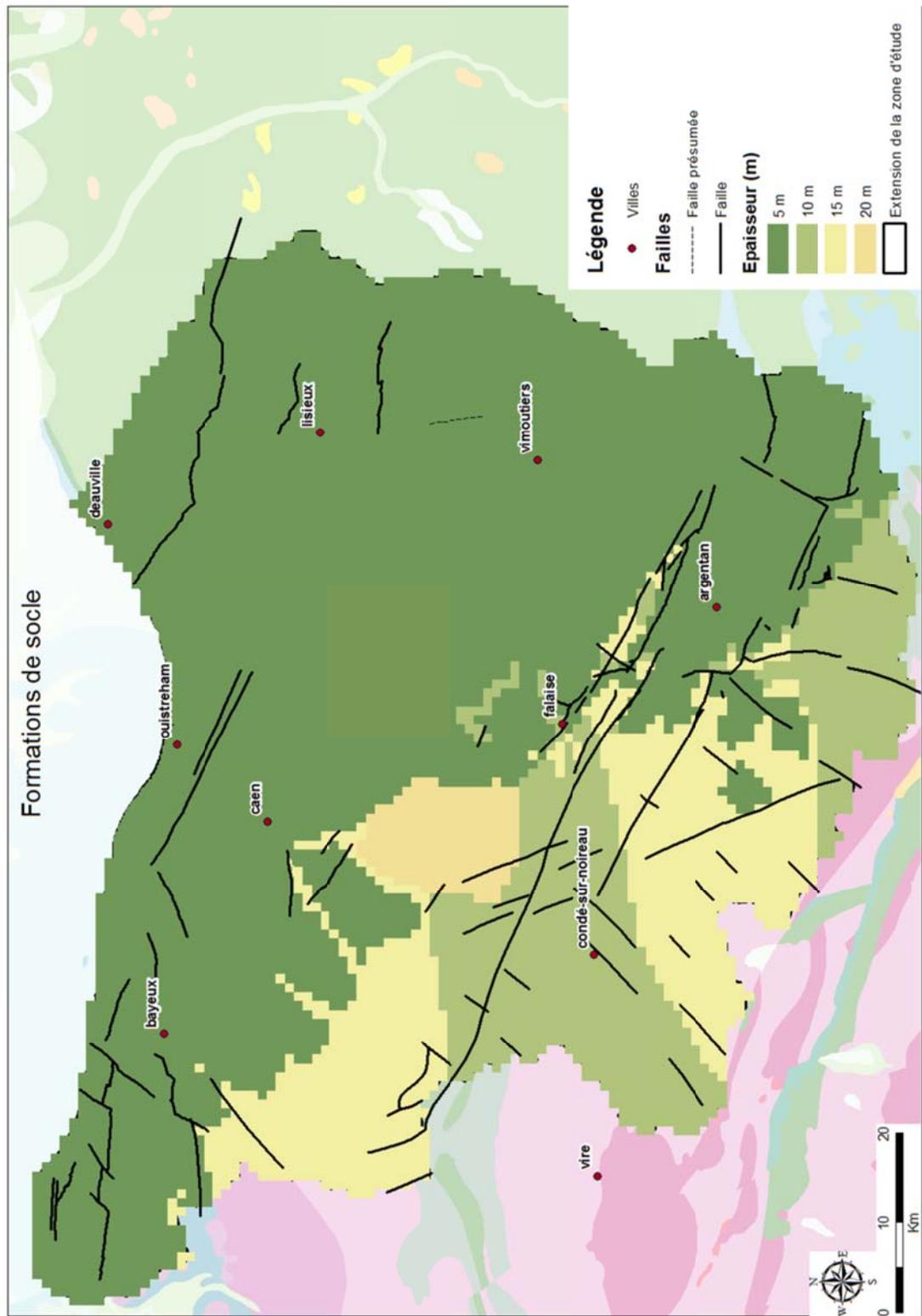


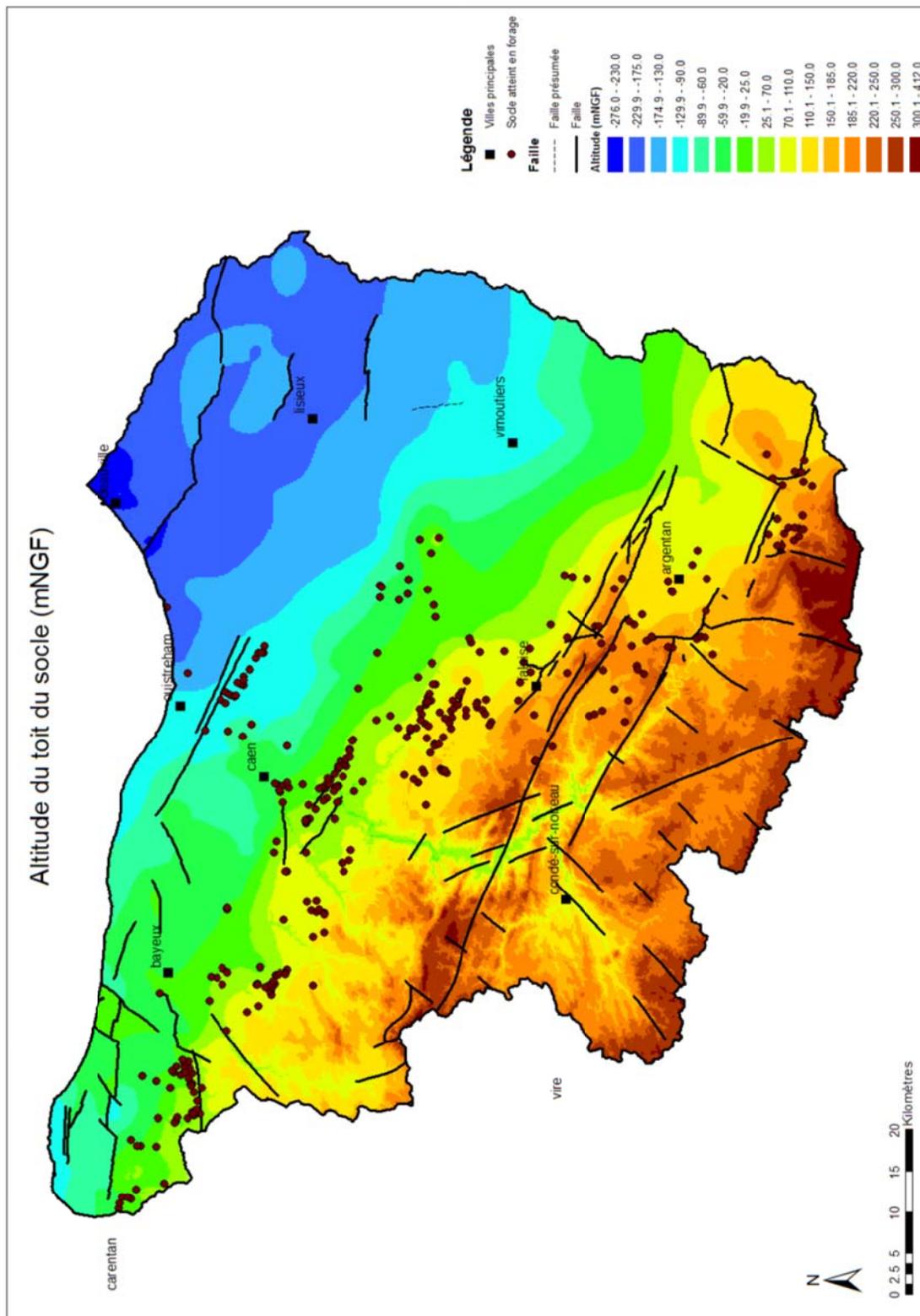








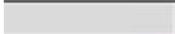




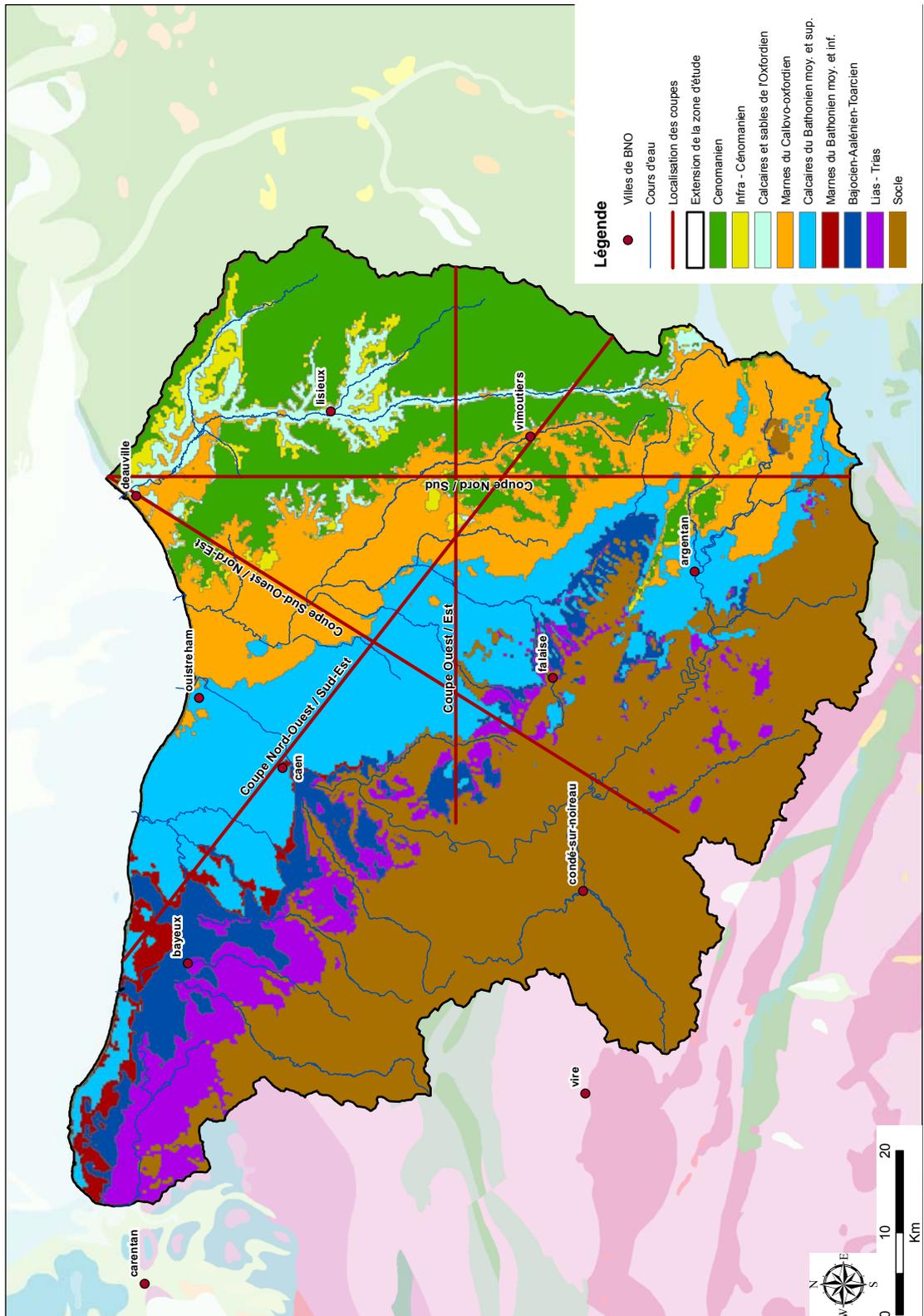
Annexe 24

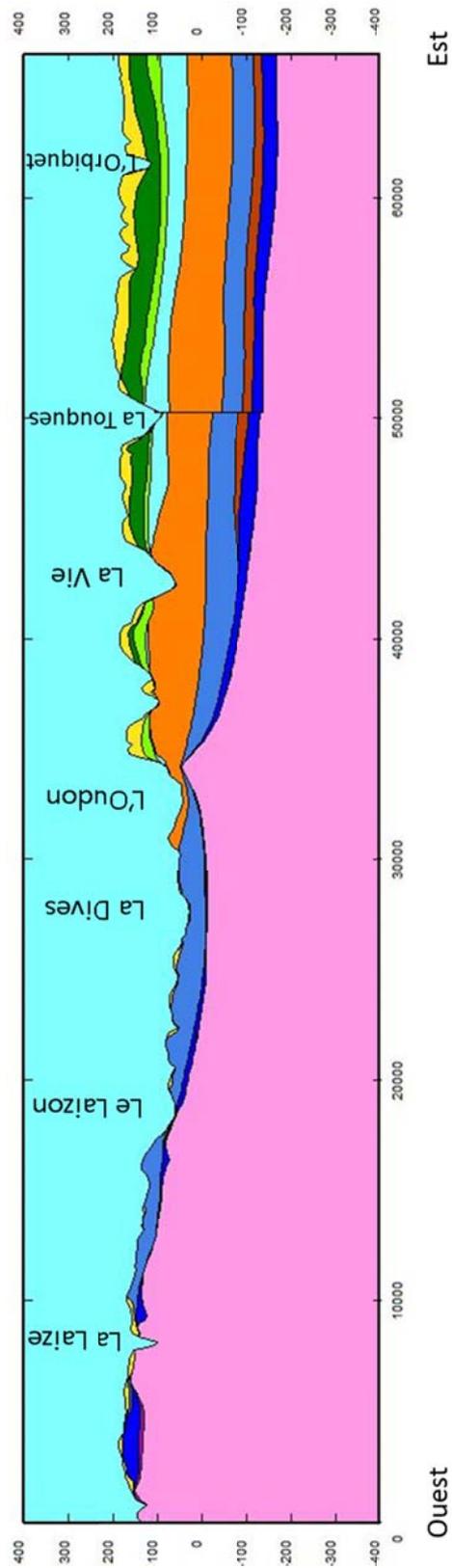
Coupes verticales dans le modèle géologique et carte de localisation des coupes

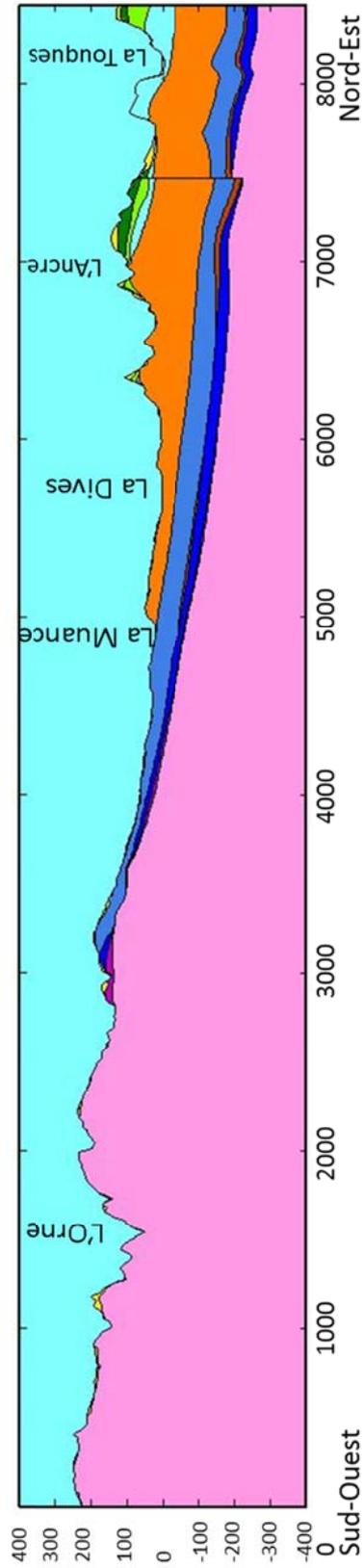
Les codes couleurs adoptés pour les coupes verticales sont les suivants :

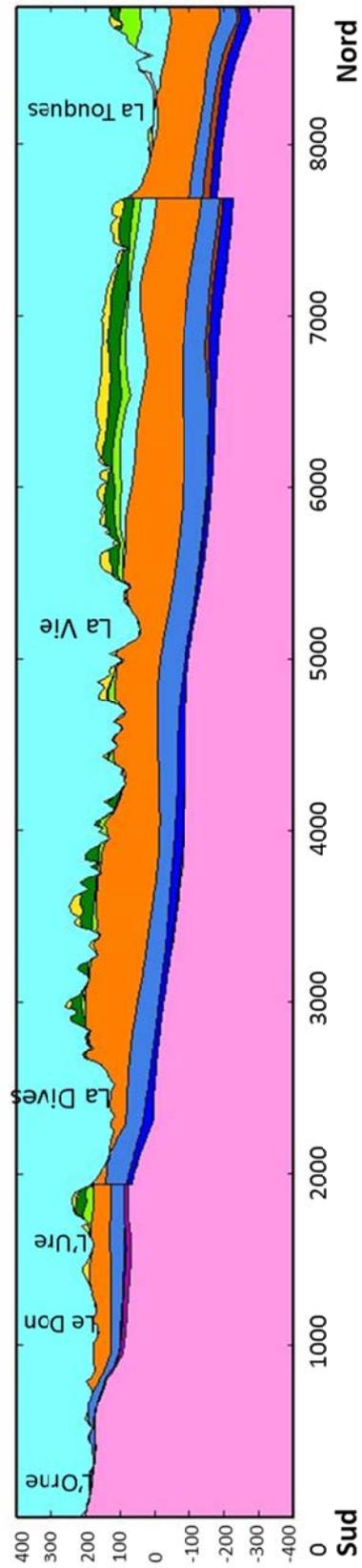
	TOPOGRAPHIE
	ALLUVIONS
	FORMATIONS DU CENOZOIQUE
	CRAIE DU CENOMANIEN
	CRETACE INFRA CENOMANIEN ET KIMMERIDGIEN
	CALCAIRES ET SABLES DE L'OXFORDIEN
	MARNES DU CALLOVO-OXFORDIEN
	CALCAIRES DU BATHONIEN MOYEN ET SUPERIEUR
	MARNES DU BATHONIEN MOYEN ET INFERIEUR
	BAJOCIEN-AALENIEN-TOARCIEN
	MESOZOIQUE INFERIEUR

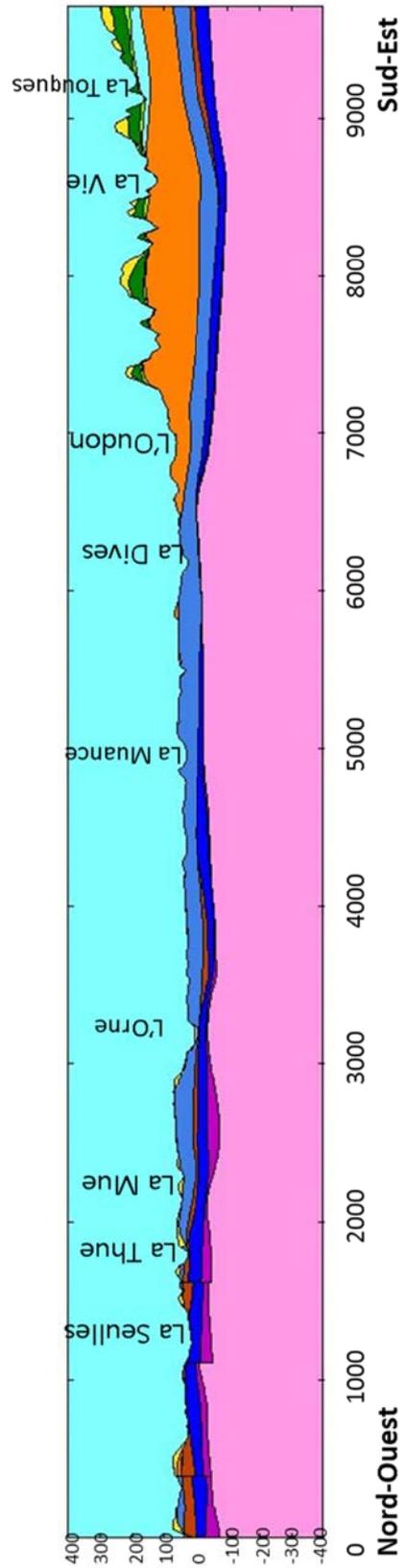
Le socle sous-jacent est représenté en rose.













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

Direction régionale Basse-Normandie
CITIS "Odyssée", Bât. B, 1^{er} étage
4, Avenue de Cambridge
14209 Hérouville-Saint-Clair cedex
Tél. : 02 31 06 66 40