

Document public

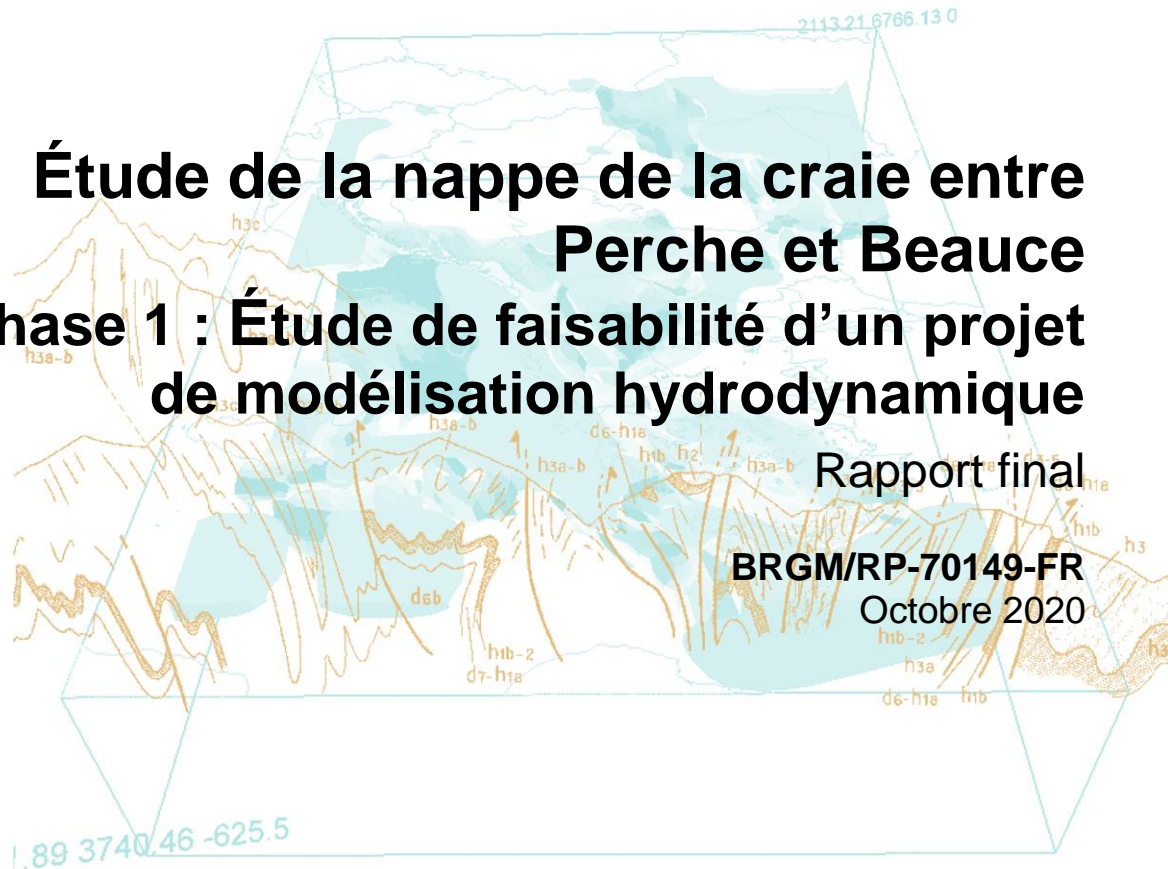


Étude de la nappe de la craie entre Perche et Beauce Phase 1 : Étude de faisabilité d'un projet de modélisation hydrodynamique

Rapport final

BRGM/RP-70149-FR

Octobre 2020



PRÉFET
DE LA RÉGION
CENTRE-VAL
DE LOIRE

Liberté
Égalité
Fraternité

Direction régionale de l'environnement,
de l'aménagement et du logement



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Étude de la nappe de la craie entre Perche et Beauce

Phase 1 : Étude de faisabilité d'un projet de modélisation hydrodynamique

Rapport final

BRGM/RP-70149-FR
Octobre 2020

Étude réalisée dans le cadre des opérations (projets)
de Service public du BRGM - AP18ORL020

L. Arnaud, J.-P. Vergnes

Vérificateur :

Nom : Nadia Amraoui
Fonction : Hydrogéologue
modélisatrice
Date : 23/10/2020

Signature :



Approbateur :

Nom : Alain Saada
Fonction : Directeur Régional
Date : 03/11/2020

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots-clés : alimentation en eau potable, aquifère crayeux, échanges nappe-rivière, gestion ressource en eau, irrigation, modèle géologique, modèle hydrodynamique, piézométrie, prélèvements, rejets, synthèse hydrogéologique, Beauce, Perche, Eure-et-Loir.

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

Arnaud L., Vergnes J.-P. (2020) – Étude de la nappe de la craie entre Perche et Beauce. Phase 1 : Étude de faisabilité d'un projet de modélisation hydrodynamique. Rapport BRGM/RP-70149-FR, 161 p., 86 ill., 6 ann.

Synthèse

Dans un contexte de forte tension quantitative, l'élaboration d'un modèle mathématique de gestion de la nappe de la craie entre Perche et Beauce s'est imposée pour les différents acteurs de l'eau. Dans un souci de cohérence, il a été convenu de décomposer le projet en trois phases :

- Phase 1 : Compilation des données et connaissances existantes visant à étudier la faisabilité d'un modèle hydrodynamique de la nappe de la craie et à identifier les lacunes de connaissance.
- Phase 2 : Finalisation du modèle conceptuel hydrogéologique et modélisation géologique 3D.
- Phase 3 : Modélisation hydrodynamique de l'aquifère crayeux (construction, calage et exploitation du modèle).

La première phase d'étude a été réalisée dans le cadre d'un conventionnement entre les Agences de l'Eau Loire Bretagne et Seine Normandie, la DREAL Centre Val de Loire, la DDT d'Eure-et-Loir et le BRGM. Le présent rapport rend compte des travaux effectués lors de cette première phase.

Une synthèse géologique et hydrogéologique préliminaire a tout d'abord permis de définir la structure d'un futur modèle hydrodynamique (discrétisation verticale et emprise du futur modèle).

Dans le même temps, les très nombreuses données nécessaires à la construction d'un modèle hydrodynamique (géologie, prélèvements et rejets, propriétés hydrogéologiques, données climatiques, observations piézométriques et hydrométriques, ...) ont été inventoriées et compilées sur l'emprise de la zone d'étude. Globalement, la disponibilité des données et des connaissances est apparue satisfaisante et autorise un projet de modélisation pour la nappe de la craie entre Perche et Beauce.

La première phase de l'étude a cependant mis en évidence plusieurs déficits de connaissances qu'il s'agira de lever lors de la deuxième phase de l'étude à partir d'investigations de terrain et de différents traitements de données afin d'aboutir à l'élaboration d'un outil de gestion le plus robuste possible. Les principaux verrous scientifiques identifiés sont les suivants :

- Nature des relations entre la nappe de la craie et le réseau hydrographique :

La revue bibliographique conduite en phase 1 apporte quelques éclairages sur cette question des échanges nappe-rivière, mais soit de façon très locale soit au contraire à l'échelle du cours d'eau, sur la base des cartes piézométriques réalisées par le passé. Aucune information précise n'est disponible à l'échelle de tronçons de rivières pluri-kilométriques. Or, l'amélioration de la connaissance relative à la nature de ces échanges, leur variabilité spatiale et temporelle est cruciale pour une bonne gestion des aquifères à nappe libre

C'est pourquoi, il est proposé d'acquérir des données de terrain inédites dans les fonds de vallées, ciblées sur les zones à enjeux quantitatifs (AEP, secteur où une surexploitation est supposée, etc.).

- Echanges entre l'aquifère crayeux et les calcaires de Beauce sus-jacents

L'aquifère crayeux devient captif lorsqu'il passe sous couverture des calcaires de Beauce. Les différentes études réalisées par le passé mettent en évidence une drainance verticale descendante.

Si le modèle hydrodynamique sera en mesure de calculer les flux d'eau échangés entre les deux aquifères, il est important de pouvoir contraindre ces derniers par des observations de terrain (données de référence pour le calage du modèle). A l'issue de la première phase d'étude, il est ainsi apparu important de mettre en place un suivi piézométrique continu dans le secteur où la nappe de la craie est sous couverture (moitié est de la zone d'étude). Les cartes piézométriques disponibles (craie + calcaires de Beauce) permettront, par ailleurs, de disposer de la vision spatiale.

- Estimation et spatialisation de la recharge

La recharge est l'un des paramètres clés du bilan hydrologique et, elle peut représenter un guide précieux dans l'estimation des ressources mobilisables, en particulier pour les aquifères à nappe libre.

Un travail en amont de la modélisation hydrogéologique est encore nécessaire pour contraindre et répondre à la nécessité de spatialiser le calcul de la recharge.

En complément de ces verrous scientifiques, certains éléments, indispensables à l'élaboration d'un modèle de gestion, restent à construire :

- Géométrie des différents aquifères et aquitards en présence

Plusieurs modèles géologiques recoupant (en partie) la zone d'étude ont été répertoriés. Cependant, après un examen de ces derniers, aucun ne s'avère totalement adapté au travail de modélisation hydrogéologique à venir. En revanche, la plupart de ces modèles ayant été construits à l'aide de la suite logicielle GDM MultiLayer, développée par le BRGM, les résultats pourront directement être valorisés et ainsi bénéficier à la construction du nouveau modèle géologique multi-couches.

- Connaissance des volumes prélevés

Plus la connaissance des données de prélèvements en eau de surface et en eau souterraine sera précise, plus la fiabilité du futur modèle de gestion et la pertinence des résultats des scénarios prospectifs sera importante. Il est donc primordial de tendre vers un inventaire exhaustif des volumes prélevés et des volumes restitués pour aboutir à une gestion fine des ressources en eau.

Or, suite à la compilation menée en phase 1, il s'avère que la connaissance reste trop partielle à ce stade : tous les points de captage ne sont pas géolocalisés, le croisement des différentes bases de données n'est pas toujours possible en l'absence d'identifiant commun pour les forages, l'aquifère capté n'est pas toujours renseigné (sujet important dans la zone où la craie est surmontée des calcaires tertiaires), la variation saisonnière des prélèvements est rarement connue (volumes annuels), etc. Un important travail de consolidation reste donc à produire en phase 2.

Afin de répondre à ces différents points, un cahier des charges techniques a été proposé par le BRGM à l'issue de cette première phase d'étude : il détaille l'ensemble des investigations à conduire dans la deuxième phase d'étude. Ses grandes lignes sont présentées dans le dernier chapitre du présent rapport.

Sommaire

1. Introduction	15
1.1. CONTEXTE GENERAL ET ENJEUX	15
1.2. ETAPES D'UN PROJET DE MODELISATION HYDRODYNAMIQUE.....	16
1.3. METHODOLOGIE MISE EN OEUVRE	18
1.4. OBJECTIFS SPECIFIQUES	18
2. Synthèse géologique et hydrogéologique.....	19
2.1. CADRE GEOLOGIQUE	19
2.1.1. Les formations géologiques sédimentaires du Crétacé	20
2.1.2. Les formations du Tertiaire	25
2.1.3. Les formations superficielles.....	27
2.1.4. Cadre structural	29
2.2. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE.....	33
2.2.1. Principales études régionales antérieures.....	33
2.2.2. Le référentiel BDLISA	35
2.2.3. Les nappes alluviales du Loir et de l'Eure	38
2.2.4. Grand domaine hydrogéologique du Mio-Pliocène (104).....	42
2.2.5. La nappe de Beauce (107).....	42
2.2.6. Système aquifère multicouche de l'Eocène (113)	44
2.2.7. Les argiles et sables de l'Yprésien inférieur du Bassin parisien (117AC)	45
2.2.8. La nappe de la Craie Séno-Turonienne (121)	45
2.2.9. Les sables du Cénomaniens du Bassin parisien (123AC).....	48
2.2.10. Les marnes et craies marneuses du Cénomaniens.....	49
2.3. STRUCTURE DU FUTUR MODELE HYDROGEOLOGIQUE	50
2.3.1. Discrétisation verticale	50
2.3.2. Extension horizontale.....	52
3. Analyse des modèles géologiques existants	55
3.1. HYDROGEOLOGIE DE L'AQUIFERE DE LA CRAIE EN EURE-ET-LOIR (CGG, 2001).....	55
3.2. MODELE GEOLOGIQUE DE L'AVRE (BRGM, 2015).....	57
3.3. MODELE GEOLOGIQUE DU SIGES (BRGM, 2018)	59
3.4. LE PROJET MODGEAU (BRGM, 2020)	62
3.5. MODELE DU SYSTEME AQUIFERE DE BEAUCE (BRGM, 1999).....	62

3.6. MODELE GEOLOGIQUE DU TERTIAIRE (BRGM, 2011)	64
3.7. ANALYSES COMPARATIVES	65
3.8. PERSPECTIVES	66
4. Prélèvements et rejets	69
4.1. SOURCES D'INFORMATIONS COMPILEES	69
4.2. DESCRIPTION DES PRELEVEMENTS AESN	69
4.2.1. Période 2008-2018	70
4.2.2. Période 1994-2007	71
4.2.3. Bilan des volumes prélevés	71
4.3. DESCRIPTION DES PRELEVEMENTS AELB	72
4.4. DESCRIPTION DES PRELEVEMENTS DDT28	74
4.5. DONNEES COMPLEMENTAIRES	75
4.5.1. Champ captant de Montreuil – Eau de Paris	75
4.5.2. Volumes AEP transmis par l'ARS	76
4.5.3. Répartition des volumes agricoles issus du SAGE Nappe de Beauce	76
4.6. VERS UNE BASE DE DONNEES DES PRELEVEMENTS	77
4.6.1. Localisation des ouvrages de prélèvements	78
4.6.2. Traitements réalisés	81
4.6.3. Conclusions	86
4.7. REJETS	87
4.7.1. Données DDT28	87
4.7.2. Données MTES	88
5. Compilation des données hydro-climatiques et hydrodynamiques	91
5.1. DONNEES CLIMATIQUES ET CALCUL DE LA RECHARGE	91
5.1.1. Principe de calcul sous MARTHE	91
5.1.2. Données climatiques	92
5.1.3. Zones de sol et paramètres associés	93
5.1.4. Conclusion	94
5.2. PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES	94
5.3. RESEAU HYDROGRAPHIQUE	100
5.3.1. Principe de calcul des échanges nappe-rivière dans MARTHE	100
5.3.2. Données compilées	101
5.4. DONNEES DE REFERENCE POUR LE CALAGE	103
5.4.1. Débits des cours d'eau	103

5.4.2. Piézométrie.....	107
5.4.3. Conclusions	111
5.5. QUALITE DES EAUX.....	112
6. Dimensionnement de la seconde phase de l'étude	115
6.1. PRINCIPAUX VERROUS SCIENTIFIQUES	115
6.1.1. Nature des relations entre la nappe de la craie et le réseau hydrographique	115
6.1.2. Echanges entre l'aquifère crayeux et les calcaires de Beauce sus-jacents	115
6.1.3. Estimation et spatialisation de la recharge	116
6.1.4. Géométrie des différents aquifères et aquitards en présence	116
6.1.5. Connaissance des volumes prélevés	116
6.2. PROPOSITION DE PROGRAMME TECHNIQUE DE LA PHASE 2.....	117
6.2.1. Caractérisation des échanges nappe-rivière	117
6.2.2. Etude de la recharge.....	118
6.2.3. Modélisation géologique 3D.....	119
6.2.4. Base de données des prélèvements	121
6.2.5. Renforcement de la surveillance piézométrique de la nappe de la craie	121
6.2.6. Schéma conceptuel hydrogéologique	121
7. Conclusions.....	125
8. Bibliographie	127

Liste des figures

<i>Illustration 1 – Zone d'étude approximative sur fond de carte géologique au 1 / 1 000 000 (BRGM©) (en jaune et orange : le domaine tertiaire, en vert : le domaine crayeux)</i>	<i>15</i>
<i>Illustration 2 – Principales données à collecter et mettre en forme pour la mise en œuvre d'un modèle hydrodynamique</i>	<i>17</i>
<i>Illustration 3 – Cadre géologique de la zone d'étude à l'échelle du Bassin de Paris. La zone d'étude est représentée par le rectangle noir, et la position simplifiée de la coupe par le tracé rouge (sources : carte géologique de la France au 1/1.000.000 (BRGM) et coupe géologique du Bassin Parisien et du Fossé Rhéan (AGBP, 2014)).....</i>	<i>20</i>
<i>Illustration 4 – Formations du Crétacé sous les formations superficielles et le Tertiaire (d'après Quesnel, 1997).....</i>	<i>21</i>
<i>Illustration 5 – Schéma du faciès du Cénomanién, d'après la sytnhèse géologique du Bassin de Paris (Mégnien, 1980).....</i>	<i>22</i>
<i>Illustration 6 – Répartition des faciès du Cénomanién supérieur (Craie de Rouen et Sables du Perche) (d'après Juignet 1974)</i>	<i>23</i>
<i>Illustration 7 – Deux hypothèses relatives à l'extension des Sables du Perche (extrait de David et al., 2015). (A) coupe de la notice de la carte géologique n°253 montrant une rupture de dépôt des Sables du Perche le long de la faille de Senonches. (B) coupe du rapport SAFEGE, 1993</i>	<i>24</i>

<i>Illustration 8 – Affleurements des formations du Crétacé sur la zone d'étude (cartes géologiques harmonisées au 1/50 000, BRGM©).....</i>	<i>25</i>
<i>Illustration 9 – Schéma litho-stratigraphique synthétique des formations de Beauce (Martin et al., 1999) 26</i>	
<i>Illustration 10 – Affleurements des formations du Tertiaire sur la zone d'étude (extraits des cartes géologiques harmonisées au 1/50 000, BRGM©).....</i>	<i>27</i>
<i>Illustration 11 – Répartition schématique des formations superficielles sur substratum crayeux de l'ouest du Bassin de Paris (Quesnel et al., 1996).....</i>	<i>28</i>
<i>Illustration 12 – Affleurements des formations superficielles sur la zone d'étude (cartes géologiques harmonisées au 1/50 000, BRGM©).....</i>	<i>29</i>
<i>Illustration 13 – Eléments structuraux sur la zone d'étude (extraits des cartes géologiques harmonisées au 1/50 000, BRGM© ; CGG).....</i>	<i>31</i>
<i>Illustration 14 – Représentation des failles de Senonches (encadré noir) et de l'Eure (encadré rouge) sur la coupe géologique (orientée SO-NE) annexée à la carte géologique au 1/50 000 n° 253 – La Loupe (modifiée par Meire et al., 2019 d'après Moguedet et al., 2000) (c₁P = Sables du Perche, c₁R = Craie de Rouen, c₂M = craie marneuse du Turonien).....</i>	<i>31</i>
<i>Illustration 15 – Schéma structural extrait de la notice de la carte géologique au 1/50 000 de Dreux (Ménillet et al., 1994).....</i>	<i>32</i>
<i>Illustration 16 – Contour des nappes exploitées sur le département d'Eure-et-Loir (source : rapport BRGM/RR-39518-FR et Conseil Général d'Eure-et-Loir, 1998).....</i>	<i>34</i>
<i>Illustration 17 – Perméabilité des formations affleurantes (source : rapport BRGM/RR-39518-FR et Conseil Général d'Eure-et-Loir, 1998).....</i>	<i>35</i>
<i>Illustration 18 – Tableau récapitulatif des entités BDLISA présentes sur la zone d'étude (niveaux 1, 2 et 3) et classification selon la perméabilité (unité aquifère en bleu).....</i>	<i>37</i>
<i>Illustration 19 – Cartographie des entités hydrogéologiques BDLISA présentes à l'affleurement.....</i>	<i>38</i>
<i>Illustration 20 – Délimitation des alluvions du Loir et repères géographiques.....</i>	<i>40</i>
<i>Illustration 21 – Epaisseurs des alluvions du Loir et piézométrie en mai-juin 1973 (extrait de Desprez, 1973).....</i>	<i>40</i>
<i>Illustration 22 – Délimitation des alluvions de l'Eure et repères géographiques.....</i>	<i>41</i>
<i>Illustration 23 – Carte piézométrique (en m NGF) de la nappe de Beauce en basses eaux 1994 (Maget, 1995).....</i>	<i>43</i>
<i>Illustration 24 – Carte piézométrique (en m NGF) des hautes eaux de la nappe de la Craie réalisée en 2002 au nord du département (DIREN Centre et Ile de France) et en 2005 au sud du département (CD28).....</i>	<i>47</i>
<i>Illustration 25 – Carte piézométrique (en m NGF) de la nappe des Sables du Cénomanien, basses eaux 1994 (BRGM).....</i>	<i>49</i>
<i>Illustration 26 – Discretisations verticales envisagées pour une modélisation hydrogéologique de la nappe de la craie en Eure-et-Loir.....</i>	<i>51</i>
<i>Illustration 27 – Extension des Marnes vertes et supragypseuses et des Marnes à Ostracées au droit de la zone d'étude.....</i>	<i>51</i>
<i>Illustration 28 – Analyse des logs géologiques (BSS) traduisant la quasi-absence des Marnes vertes et supragypseuses.....</i>	<i>52</i>
<i>Illustration 29 – Délimitation de la zone à modéliser après croisement des bassins versants hydrographiques et souterrains.....</i>	<i>53</i>
<i>Illustration 30 – Carte d'isohypses du toit de la craie (CGG, 2001).....</i>	<i>56</i>
<i>Illustration 31 – Coupes hydrogéologiques SO-NE dans le département d'Eure-et-Loir (CGG, 2001).....</i>	<i>57</i>

<i>Illustration 32 – Extension du modèle géologique de l’Avre</i>	58
<i>Illustration 33 – Pile litho-stratigraphique utilisée pour la modélisation géologique du bassin versant de l’Avre (extrait du rapport BRGM/RP-64817-FR, David et al., 2015)</i>	58
<i>Illustration 34 – Couches du modèle hydrogéologique du bassin versant de l’Avre (extrait du rapport BRGM/RP-64826-FR, David et al., 2017)</i>	59
<i>Illustration 35 – Extension du modèle géologique du SIGES</i>	60
<i>Illustration 36 – Pile litho-stratigraphique utilisée pour la modélisation géologique du SIGES Centre Val de Loire</i>	61
<i>Illustration 37 – Densités de forages utilisés pour le modèle géologique du SIGES Centre Val de Loire (forages atteignant la craie à gauche, forages de plus de 100 m de profondeur à droite)</i>	61
<i>Illustration 38 – Emprise du projet MODGEAU (polygone rouge sur la carte de gauche) et dossiers BSS et diagraphies compilées (carte de droite)</i>	62
<i>Illustration 39 – Emprise du modèle géologique du bassin de Beauce (Martin et al., 1999)</i>	63
<i>Illustration 40 – Pile lithologique du modèle du bassin de Beauce et correspondances envisagées pour le modèle de la craie d’Eure-et-Loir</i>	63
<i>Illustration 41 – Emprise du modèle géologique du Tertiaire réalisé par le BRGM en 2011 (limites départementales en bleu) (extrait du rapport BRGM/RP-60272-FR)</i>	64
<i>Illustration 42 – Pile litho-stratigraphique retenue pour la modélisation géologique des aquifères tertiaires et correspondances BDLISA (extrait du rapport BRGM/RP-60272-FR)</i>	65
<i>Illustration 43 – Exemple de différences constatées entre les modèles géologiques de l’Avre et du SIGES sur le toit de la craie</i>	66
<i>Illustration 44 – Logs géologiques exploités par les modèles de l’Avre et du SIGES et données complémentaires disponibles (BSS, MODGEAU)</i>	67
<i>Illustration 45 – Qualité du géoréférencement des points de captage AESN (période 2008-2018)</i>	70
<i>Illustration 46 – Total des volumes annuels prélevés pour les points de captage AESN en eau souterraine et eau de surface sur la période 2008-2018, et total des volume annuels prélevés sur la période 1994-2018, toutes origines confondues. La partition entre usage est donnée chaque année (AEP : eau potable, IND : industrie, IRR : irrigation). Les volumes prélevés pour les usages IRR et IND ne sont pas disponibles en 2018 dans la base de donnée AESN</i>	72
<i>Illustration 47 – Nombre de points AELB partageant les mêmes coordonnées géographiques. La colonne CENTROIDE indique si les coordonnées listées correspondent à un centroïde de commune ou non</i>	73
<i>Illustration 48 – Total des volumes annuels prélevés pour les points de captage AELB en eaux souterraines et eaux de surface. La partition entre usage est donnée chaque année (AEP : eau potable, IND : industrie, IRR : irrigation)</i>	74
<i>Illustration 49 – Prélèvements en volumes annuels (2005-2018) et en volumes mensuels (2009-2016) pour la totalité des prélèvements agricoles de la DDT28 sur la zone d’étude</i>	75
<i>Illustration 50 – Prélèvements du champ captant de Montreuil-sur-Eure et comparaison avec les volumes fournis par l’AESN</i>	76
<i>Illustration 51 – Répartition des prélèvements mensuels (irrigation) dans la nappe de Beauce sur le département 28 fourni par le SAGE de la Nappe de Beauce</i>	77
<i>Illustration 52 – Tableau récapitulatif des données de prélèvement compilées dans la zone d’étude</i>	77
<i>Illustration 53 – Localisation des ouvrages de prélèvements AELB et AESN à l’échelle de la zone d’étude</i>	79
<i>Illustration 54 – Localisation des ouvrages de prélèvements AEP (ARS, AELB, AESN)</i>	80

<i>Illustration 55 – Localisation des ouvrages de prélèvement DDT28 pour l’irrigation</i>	81
<i>Illustration 56 – Zoom sur les communes partageant des points de captage communs aux bases de données AESN (carrés) et AELB (ronds) (bleu = AEP, vert = irrigation)</i>	83
<i>Illustration 57 – Volumes annuels des prélèvements des 48 points communs aux bases de données DDT28 et AESN (correspondance par code BSS)</i>	84
<i>Illustration 58 – Test d’attribution de l’aquifère capté aux forages AELB en Beauce</i>	86
<i>Illustration 59 – Cartographie des stations d’épuration pour l’année 2019 (source : ROSEAU, DDT28 / http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr) (limites de département en gris, zone d’étude en noir)</i>	88
<i>Illustration 60 – Evolution des débits traités par les STEP présentes sur la zone d’étude (source : http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr)</i>	89
<i>Illustration 61 – Localisation des STEP et débits traités associés (source : http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr)</i>	89
<i>Illustration 62 – Schéma de fonctionnement du calcul de la recharge dans le module GARDENIA intégré à MARTHE (Thiéry, 2014).</i>	92
<i>Illustration 63 – Grille SAFRAN sur la zone d’étude et stations d’observations météorologiques disposant de données sur l’ETP et les précipitations. Les points bleus représentent les stations avec données de précipitations et les points verts les stations avec précipitations et ETP</i>	93
<i>Illustration 64 – IDPR sur la zone d’étude (BRGM©) (au pixel de 25m à gauche et agrégé à la zone hydrographique BDCarthage à droite)</i>	94
<i>Illustration 65 – Synthèse des résultats fournis par l’interprétation des pompages d’essai réalisés dans le cadre de l’étude sur la recherche de nouvelles sources d’eau potable commandée par Chartres Métropole</i>	95
<i>Illustration 66 – Ouvrages ayant plusieurs paramètres hydrodynamiques définis</i>	96
<i>Illustration 67 – Transmissivités compilées sur la zone d’étude (tout aquifère confondu)</i>	97
<i>Illustration 68 – Coefficients d’emmagasinement compilés sur la zone d’étude (tout aquifère confondu)</i>	98
<i>Illustration 69 – Localisation des pompages d’essai compilés classés par aquifère capté (sources : carrés = ARS, ronds = BSS, triangles = Chartres Métropole)</i>	99
<i>Illustration 70 – Bilan des débits dans un tronçon de rivière et différentes configurations d’échange modélisées par MARTHE (Thiéry, 2015) (QAM = débit provenant de la maille rivière amont, QECH = débit échangé avec la nappe, QRUIS = débit apporté par le ruissellement, QINJ = débit injecté ou prélevé à la rivière, dSTO/dt = stockage / déstockage dans la maille rivière pendant le pas de temps de calcul)</i>	100
<i>Illustration 71 – Localisation des profils en travers sur la Blaise et des ouvrages hydrauliques sur la Blaise et l’Eure entre Villiers-le-Morhier et Villemeux-sur-Eure (source : SBV4R)</i>	101
<i>Illustration 72 – Inventaire des obstacles à l’écoulement des rivières (https://geobs.brgm.fr)</i>	102
<i>Illustration 73 – Stations hydrologiques en service (source : Banque hydro)</i>	103
<i>Illustration 74 – Carte de localisation des stations hydrologiques en service et bassins versants associés (DREAL Centre Val de Loire, DREAL Pays de la Loire)</i>	104
<i>Illustration 75 – Carte des sections de rivière ponctuellement jaugées (DREAL Centre Val de Loire, CD28, DDT28)</i>	105
<i>Illustration 76 – Carte des stations d’observation des étiages présentes sur la zone d’étude et résultats de la campagne de juillet 2020 (https://onde.eaufrance.fr)</i>	106
<i>Illustration 77 – Liste des cartes piézométriques fournies par le CD28 pour la craie séno-turonienne en Eure-et-Loire</i>	107

<i>Illustration 78 – Localisation des piézomètres extraits d'ADES et aquifères suivis</i>	109
<i>Illustration 79 – Fiche de synthèse élaborée pour chaque chronique piézométrique de la zone d'étude (exemple pour la nappe de la craie)</i>	110
<i>Illustration 80 – Inventaire des sources sur la zone d'étude et aquifères d'origine. La provenance des données est indiquée entre parenthèses (BSS ou Conseil Départemental 28)</i>	111
<i>Illustration 81 – Stations de surveillance de la qualité des eaux de surface (http://www.naiades.eaufrance.fr)</i>	112
<i>Illustration 82 – Stations de surveillance de la qualité des eaux souterraines par producteurs de données (https://ades.eaufrance.fr)</i>	113
<i>Illustration 83 – Programme technique de la seconde phase de l'étude</i>	117
<i>Illustration 84 – Principe de modélisation géologique sous GDM Multilayer (BRGM©)</i>	120
<i>Illustration 85 – Exemple de coupe longitudinale associée à un bilan de flux sur la vallée de la Risle dans l'Eure (David et al., 2017b)</i>	123

Liste des annexes

Annexe 1 Liste des rapports d'hydrogéologues agréés fournis par l'ARS	131
Annexe 2 Liste des points de captage AEP fournie par l'ARS	135
Annexe 3 Paramètres hydrodynamiques recensés par forage et par aquifère dans la zone d'étude	141
Annexe 4 Carte piézométrique de la craie Séno-Turonienne	145
Annexe 5 Carte piézométrique de la nappe de Beauce	151
Annexe 6 Carte piézométrique des nappes libres du Cénomaniens (Sables du Perche), de la Craie et des calcaires de Beauce 1994	155
Annexe 7 Piézomètres disponibles sur la zone d'étude (ADES)	159

1. Introduction

1.1. CONTEXTE GENERAL ET ENJEUX

L'aquifère crayeux représente la principale ressource en eau du département d'Eure-et-Loir, très largement exploitée pour l'alimentation en eau potable (AEP) comme pour l'agriculture.

Située entre Perche et Beauce, la zone d'étude est particulièrement complexe puisqu'elle est le siège de divergences des écoulements au sein des aquifères et en surface (ligne de partage des eaux entre les bassins hydrographiques Seine Normandie et Loire Bretagne).

Dans cette zone de transition entre le domaine crayeux et la Beauce (Illustration 1), un grand nombre de forages captent la nappe de la craie. Il s'agit en grande partie de forages d'irrigation, ainsi que des forages AEP qui atteignent la nappe de la craie captive, sous les calcaires, dans la partie nord-ouest de la Beauce.

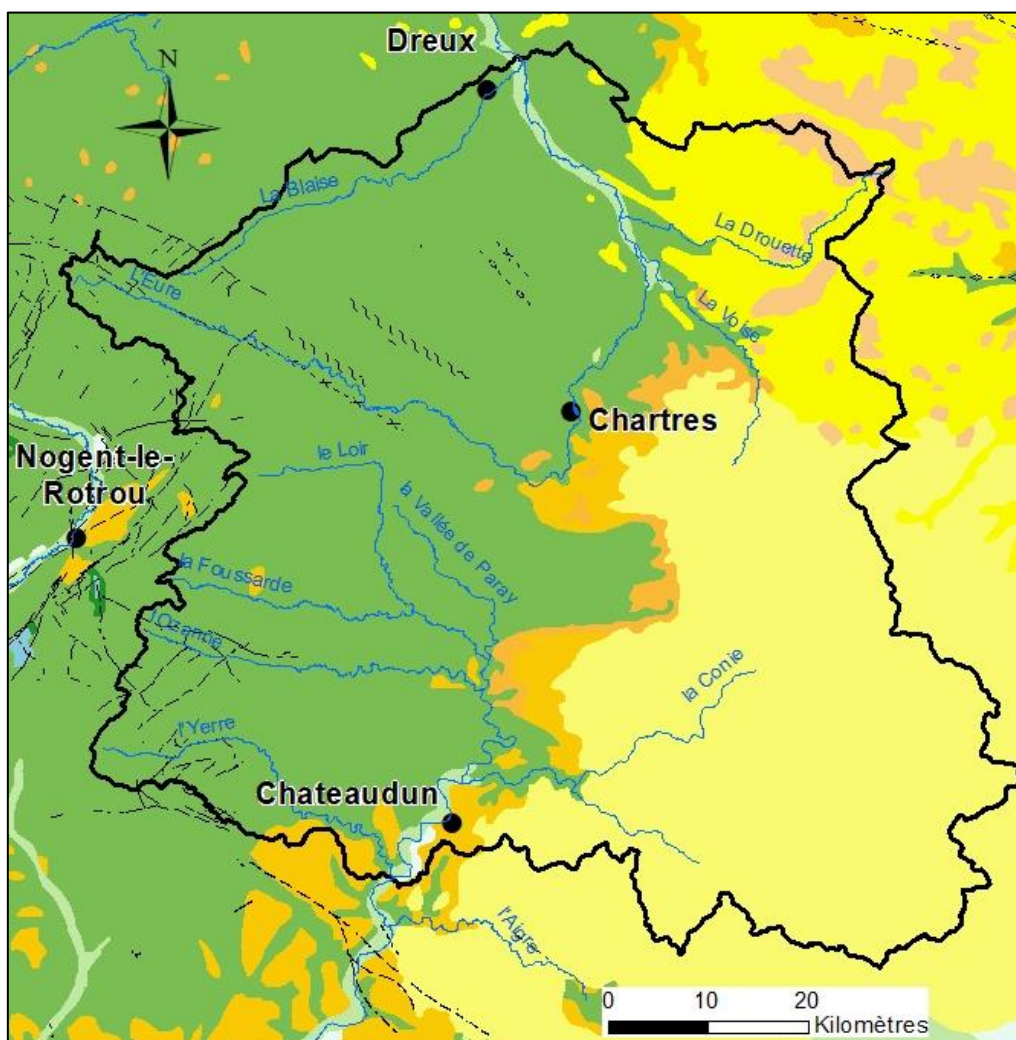


Illustration 1 – Zone d'étude approximative sur fond de carte géologique au 1 / 1 000 000 (BRGM©)
(en jaune et orange : le domaine tertiaire, en vert : le domaine crayeux)

Des baisses du niveau de la nappe de la craie ont été signalées au niveau de certains forages, en particulier entre Chartres et Bonneval, entraînant des limitations d'exploitation pour l'AEP. Ces dernières semblent survenir de plus en plus régulièrement depuis quelques années.

Les nouveaux forages de Chartres métropole situés à Francourville et Prunay-le-Gillon, ont par exemple dû être arrêtés durant l'été 2012 pour prévenir le risque de dénoyage des pompes. Parallèlement, une baisse de la production du forage B2 de Chartres Métropole sur Berchères Saint-Germain a également été constatée. Durant l'été 2019, malgré les baisses de production mises en œuvre sur le territoire de Chartres Métropole, des dénoyages de pompe n'ont pu être évités. Ces tensions quantitatives entraînent inévitablement des conflits d'usage.

C'est dans ce contexte que les différents acteurs impliqués dans la gestion et l'exploitation de la ressource en eau du département ont entamé des discussions dans le but de parvenir à une gestion intégrée et durable de la ressource. Elles ont débouché sur la construction d'un programme technique et scientifique relatif à l'étude hydrogéologique de la nappe de la craie dans le département de l'Eure-et-Loir dont la finalité est la construction d'un modèle mathématique de gestion de la ressource en eau.

1.2. ETAPES D'UN PROJET DE MODELISATION HYDRODYNAMIQUE

Quel que soit le type de modèle retenu, une modélisation hydrogéologique comporte toujours plusieurs phases distinctes. Le présent paragraphe fait appel au rapport BRGM sur la modélisation maillée des écoulements souterrains (Barthélémy et Seguin, 2016) :

- 1) Définition du cadre de la modélisation. L'objectif ici poursuivi est la gestion quantitative de la nappe de la craie, il s'agira donc de bien restituer le comportement hydrodynamique du système aquifère (incluant les échanges nappe-rivière), d'estimer la part renouvelable des ressources en eau souterraine, d'optimiser la gestion de la ressource en eau ou encore si besoin, d'estimer les volumes potentiellement exploitables.
- 2) Collecte, analyse et synthèse des données. Les données à acquérir et à traiter pour un modèle maillé sont nombreuses et variées (Illustration 2). Elles concernent la structure géologique du/des réservoir(s) et des encaissants, les propriétés hydrogéologiques (perméabilité, transmissivité, coefficient d'emmagasinement) de toutes ces formations, les mesures hydrauliques (niveaux piézométriques, débits des sources et des cours d'eau, les données climatiques (pluies et évapotranspiration « ETP » pour calculer la recharge), les paramètres caractérisant les sols, les volumes d'eau prélevés en nappe et dans les cours d'eau (localisation et chroniques des pompages pour l'eau potable, l'agriculture et l'industrie) et la caractérisation du réseau hydrographique pour estimer les échanges nappe-rivière.
- 3) Construction d'un modèle géologique 3D. Pour un modèle spatialisé complexe et d'étendue régionale, couvrant par exemple un système aquifère multicouche, il est fortement recommandé d'utiliser un modéleur géologique 3D pour valoriser toutes les données structurales disponibles et construire une structure géologique cohérente et actualisable, qui servira ensuite d'ossature au modèle d'écoulement.
- 4) Elaboration du schéma conceptuel hydrogéologique. Sur la base de la synthèse hydrogéologique et des données précédemment compilées, le schéma conceptuel d'écoulement définit l'extension horizontale et verticale du système aquifère à modéliser, la succession des ensembles à simuler, leur lithologie et leurs principales caractéristiques hydrogéologiques, les conditions hydrauliques aux limites du modèle, la nature des relations nappe-rivière, les ordres de grandeur des principaux débits d'entrée et de sortie, etc.

- 5) Construction d'un modèle d'écoulement : traduction numérique du schéma conceptuel. La construction d'un modèle maillé consiste à découper l'espace selon une grille plus ou moins régulière en 2 ou 3 dimensions, puis à renseigner chacune des mailles ainsi créées avec des données chiffrées décrivant la géométrie du système aquifère, les propriétés hydrogéologiques du milieu, les conditions aux limites et les entrées/sorties hydrauliques.
- 6) Calage du modèle. Durant cette phase, on recherche l'ensemble des valeurs des paramètres permettant la meilleure adéquation possible entre les observations disponibles et les valeurs calculées par le modèle, en charges hydrauliques et en débits pour un modèle d'écoulement souterrain. Sont principalement concernés par le calage, les champs de perméabilité et du coefficient d'emménagement qui ne sont pas connus *a priori*, les coefficients de partage ruissellement/infiltration et la conductance des lits des cours d'eau.
- 7) Validation du modèle. Elle consiste à simuler avec le modèle calé une période volontairement mise de côté pendant le calage. L'objectif est de vérifier que le modèle restitue correctement les évolutions du système aquifère lorsqu'il est soumis à des sollicitations (principalement des chroniques de recharge et de pompage) différentes de celles qui ont été utilisées pour le calage. La validation n'est pas toujours possible dans les faits, notamment quand les chroniques d'observations sont de relativement courtes durées.
- 8) Exploitation du modèle. Une fois calé, le modèle est en général utilisé pour simuler différents scénarios prévisionnels. Ceux-ci sont définis en fonction des objectifs assignés au départ à l'étude : prévision d'un état piézométrique résultant de nouvelles sollicitations de l'hydrosystème, recherche d'une configuration de pompage permettant de respecter un jeu de contraintes, détermination de « volumes exploitables ».

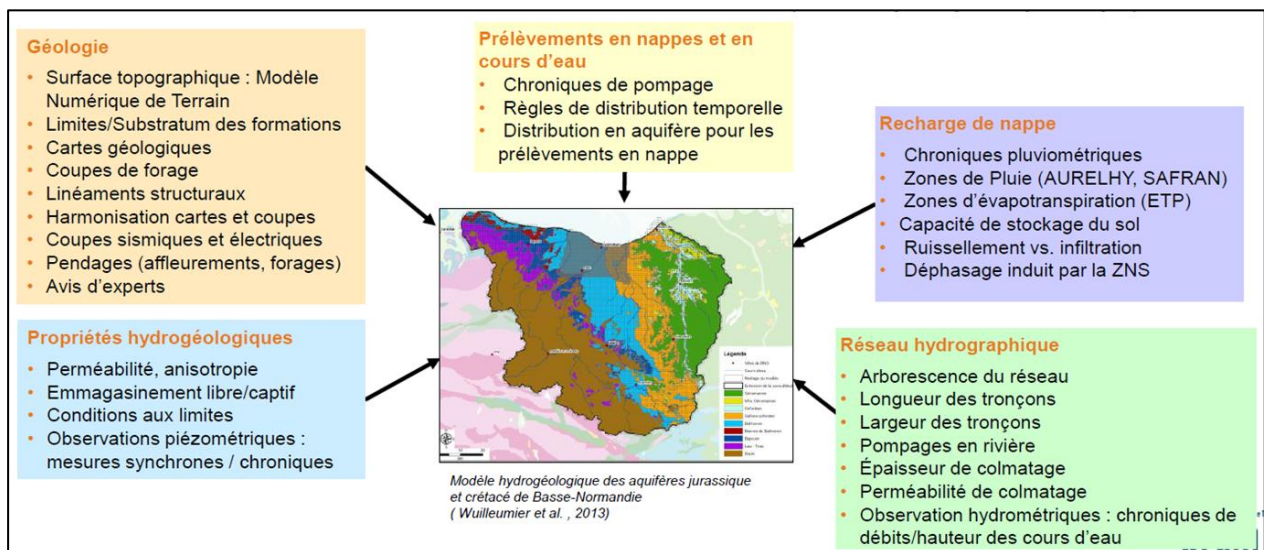


Illustration 2 – Principales données à collecter et mettre en forme pour la mise en œuvre d'un modèle hydrodynamique

1.3. METHODOLOGIE MISE EN OEUVRE

En cohérence avec les règles de l'art et les principales étapes précédemment décrites, le projet proposé a été décomposé en trois phases :

- **Phase 1** : Compilation des données et connaissances existantes visant à étudier la faisabilité d'un modèle hydrodynamique de la nappe de la craie et à identifier les lacunes de connaissance.
- **Phase 2** : Finalisation du schéma conceptuel hydrogéologique et modélisation géologique 3D.
- **Phase 3** : Modélisation hydrodynamique de l'aquifère crayeux (construction, calage et exploitation du modèle).

Ce phasage est justifié par le fait qu'une modélisation mathématique nécessite une réflexion préalable. S'il ne fait pas de doute qu'un modèle maillé est l'outil le plus à même de quantifier les termes du bilan hydrologique, d'évaluer la surexploitation éventuelle d'une nappe et de réfléchir sur des scénarios d'exploitation, sa fiabilité est dépendante de la quantité et de la qualité des informations disponibles à l'intérieur du domaine modélisé et sur ses frontières. Une analyse préliminaire est donc indispensable pour dimensionner le programme des actions à mettre en œuvre pour parvenir à un outil de gestion le plus robuste possible.

Le présent rapport rend compte des travaux réalisés dans le cadre de la première phase d'étude.

1.4. OBJECTIFS SPECIFIQUES

La première phase de l'étude peut se décomposer en quatre tâches principales, chacune répondant à des objectifs spécifiques :

- Synthèse géologique et hydrogéologique préliminaire (chapitre 2), socle du schéma conceptuel qui sera finalisé en phase 2. A ce stade, une première proposition pourra être faite quant à la structure du futur modèle (discrétisation verticale et extension horizontale).
- Analyse des modèles géologiques existants (chapitre 3) dans le but de vérifier leur adéquation avec les besoins d'un modèle hydrogéologique et la discrétisation verticale discutée au chapitre 2.
- Collecte et mise en forme des données de prélèvements et de rejets (chapitre 4) : analyse et croisement des différentes bases de données disponibles.
- Compilation des données hydro-climatiques (chapitre 5) qui doivent être renseignées dans un modèle, dans l'objectif d'identifier les besoins d'acquisition complémentaires et/ou les obstacles à un projet de modélisation.

2. Synthèse géologique et hydrogéologique

La présente synthèse géologique et hydrogéologique repose sur les rapports d'étude du BRGM et ceux mis à disposition par le Conseil Départemental d'Eure-et-Loir (CD28) et l'ARS (Agence Régionale de Santé). La revue bibliographique ne se veut pas exhaustive mais elle regroupe tous les travaux structurants réalisés à l'échelle du département.

En complément, l'ensemble des référentiels et bases de données (cartes géologiques au 1/50 000, BDLISA, BDTracage, BDCarthage, Banque du Sous-Sol) ont été valorisés.

Cette synthèse poursuit les principaux objectifs suivants :

- 1) dresser l'état des lieux des connaissances géologiques et hydrogéologiques avec l'idée d'identifier les principaux verrous scientifiques à lever ;
- 2) préciser la structure (discrétisation verticale) et l'extension du futur modèle hydrogéologique.

2.1. CADRE GEOLOGIQUE

A l'échelle de la géologie de la France, la zone d'étude se situe sur la bordure ouest du bassin de Paris qui correspond à une large cuvette sédimentaire centrée sur l'Île de France (Illustration 3).

L'Eure et le Loir séparent deux domaines géologiques (CGG, 2001) :

- à l'est, la série sédimentaire tertiaire constituée de calcaires lacustres (calcaires d'Etampes, de Beauce *sensu stricto*, de l'Orléanais et de Morancez), de marnes (marnes de Voise, de Blamont et de Villeau) et de sédiments détritiques fluviaux (grès ladères) ou marins (Sables de Fontainebleau),
- à l'ouest, se développent les couches crétacées disposées en auréoles et recouvertes d'argiles à silex. Ces couches sont essentiellement d'âge Crétacé supérieur et sont constituées de craies plus ou moins riches en silex, datées du Cénomaniens au Campanien (Ménillet et *al.*, 1994 ; Quesnel, 1997). Elles sont de plus en plus récentes du sud-ouest vers le nord-est et les épaisseurs de la série crayeuse, qui varient entre 150 et 300 m, augmentent dans cette même direction vers le centre du bassin parisien.

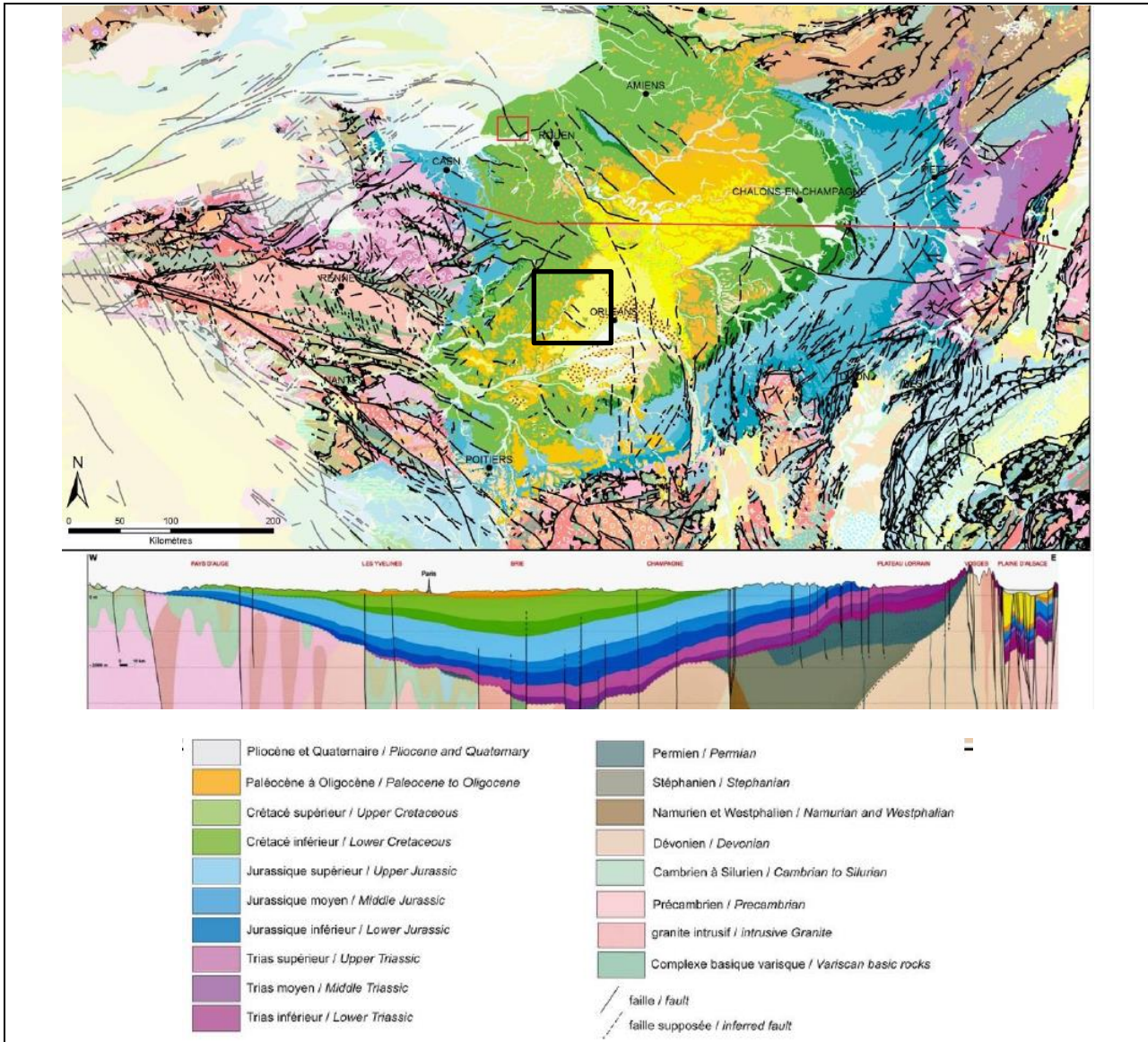


Illustration 3 – Cadre géologique de la zone d'étude à l'échelle du Bassin de Paris. La zone d'étude est représentée par le rectangle noir, et la position simplifiée de la coupe par le tracé rouge (sources : carte géologique de la France au 1/1.000.000 (BRGM) et coupe géologique du Bassin Parisien et du Fossé Rhénan (AGBP, 2014))

2.1.1. Les formations géologiques sédimentaires du Crétacé

L'illustration 4 présente la répartition des différentes formations sédimentaires du Crétacé, du Cénomaniens inférieur au Campanien, sous couverture des formations superficielles et du Tertiaire. Les affleurements sont rares, limités à certaines vallées encaissées (Eure et certains affluents) au nord de Chartres et le long du Loir au sud de Bonneval. Les formations crayeuses sont, en effet, largement masquées par les argiles à silex.

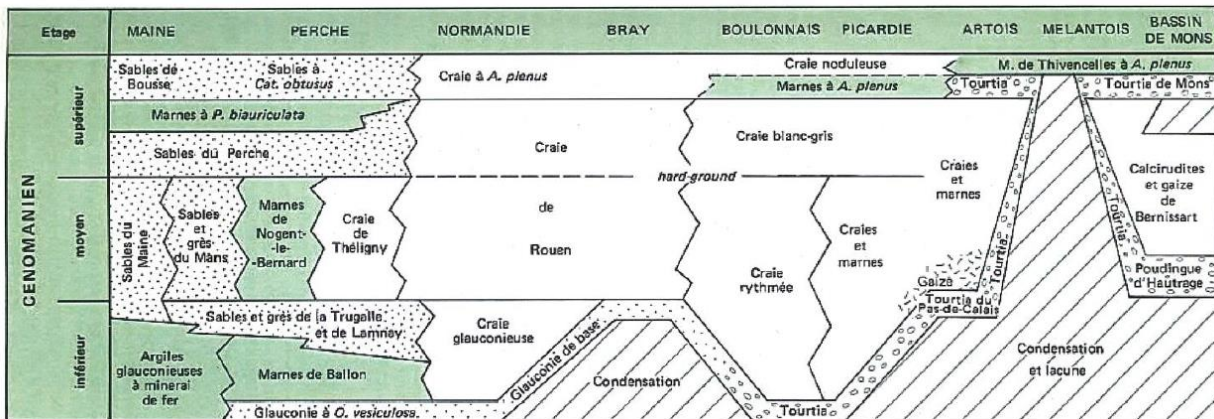


Illustration 5 – Schéma du faciès du Cénomanien, d'après la sytnhèse géologique du Bassin de Paris (Mégnien, 1980)

Lorsqu'il n'est pas recouvert par les altérites à silex, l'ensemble crayeux du Cénomanien se poursuit vers le haut par la formation de la **Craie marneuse attribuée au Turonien**. Il s'agit de craies argileuses ou marneuses, blanches à grises, à rares silex. Ces derniers, de couleur noire, deviennent plus fréquents en montant dans la série (Turonien moyen et supérieur), et la craie devient plus compacte. Les épaisseurs du Turonien varient de 30 à 60 mètres dans la zone étudiée (CGG, 2001).

D'après les cartes géologiques au 1 / 50 000 du département d'Eure-et-Loir, les affleurements sont très rares, uniquement cartographiés le long de certains ruisseaux (Petit Coisnon, Saint-Martin), à l'ouest de Chartres (Illustration 8).

Le **Coniacien** et le **Santonien** sont constitués de craies difficiles à différencier sur la base du faciès, souvent, seules les microfaunes permettent la distinction stratigraphique (Ménillet et al., 1994). Ce sont des craies blanches à jaunâtres, riches en silex et bryozoaires. L'épaisseur de l'ensemble varie de 80 à 130 mètres (CGG, 2001).

Enfin, le **Campanien** est caractérisé par une craie blanche, tendre, fine, à silex noirs à bruns. Il est présent à l'est du département d'Eure-et-Loir : en rive droite de l'Eure entre Dreux et Chartres et en rive gauche du Loir plus au sud (Illustration 4).

Les Sables du Perche du Cénomanien supérieur

Le Cénomanien supérieur présente un faciès sableux à l'ouest du département ; ce sont les Sables du Perche, fins à grossiers, de couleur blanche à ocre déposés dans un milieu de type « deltaïque » (Juignet, 1974). La zone d'étude est principalement concerné par un faciès de sable grossier (Illustration 6). Localement, ces sables peuvent contenir quelques lits argileux ou des niveaux indurés gréseux (Meire et al., 2019).

Ces sables sont caractéristiques du Perche où ils constituent de nombreuses buttes témoins typiques du paysage percheron.

Ils sont altérés en surface sur quelques mètres, pouvant être recouverts d'une faible épaisseur de formations superficielles de versant.

En Eure-et-Loir, leur épaisseur peut atteindre 50 mètres. Il s'agit d'un équivalent latéral du faciès carbonaté de la Craie de Théligny, intercalé entre les craies glauconieuses du Cénomanién inférieur et les craies du Turonien (Cf. Illustration 5).

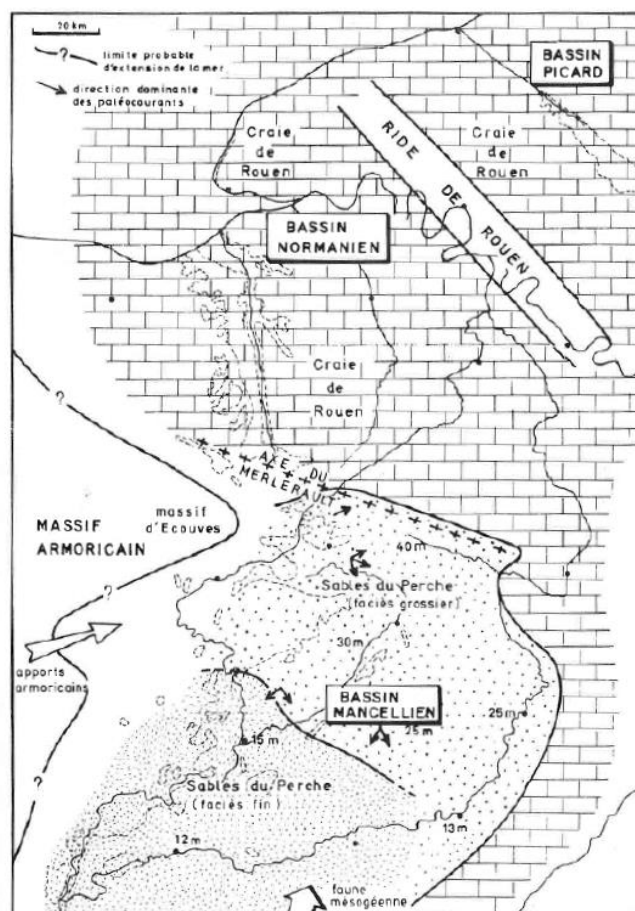


Illustration 6 – Répartition des faciès du Cénomanién supérieur (Craie de Rouen et Sables du Perche) (d'après Juignet 1974)

L'extension des Sables du Perche vers le nord reste mal connue, deux hypothèses sont proposées (Illustration 7) :

- Dans une étude de 1993 (investigations géophysiques), SAFEGE propose la présence des Sables du Perche au nord de la faille de Senonches, avec un approfondissement rapide vers le NNE, les plaçant à plus de 80 m de profondeur sous la craie marneuse (Cf. coupe B, Illustration 7).
- La formation s'étendrait seulement entre les failles de l'Eure (au sud) et de Senonches (au nord) selon les cartes géologiques au 1/50 000 (n° 214 et 215), Juignet (1974).

Des travaux récents du BRGM tendent à privilégier la seconde hypothèse. En effet, après analyse des coupes géologiques disponibles en Banque du Sous-Sol, aucun forage au nord de la faille de Senonches ne décrit les Sables. A noter que le faciès sableux de la base du Cénomanién peut rendre difficile les interprétations localement.

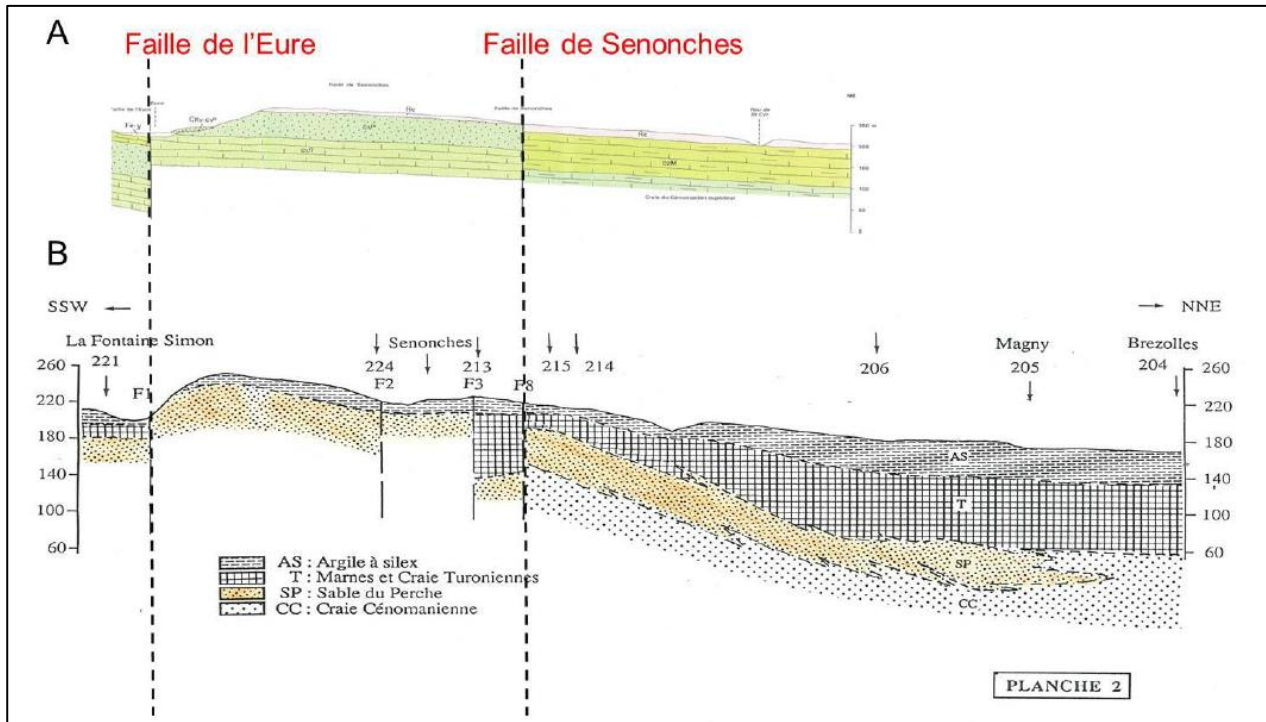


Illustration 7 – Deux hypothèses relatives à l’extension des Sables du Perche (extrait de David et al., 2015). (A) coupe de la notice de la carte géologique n°253 montrant une rupture de dépôt des Sables du Perche le long de la faille de Senonches. (B) coupe du rapport SAFEGE, 1993

La Glauconie de base de l’Albien

La Glauconie de base se présente sous la forme d’argiles ou de sables verdâtres à noirâtres, facilement reconnaissables par leur teneur toujours élevée en glauconie dont la présence traduit une transgression marine brutale (Meire et al., 2019). Riche en argiles, la Glauconie de base est classiquement considérée comme un niveau semi-perméable à imperméable. A l’échelle régionale, elle correspond à une condensation des faciès distincts des Sables Ferrugineux, des Argiles du Gault et de la Gaize de l’Albien (Juignet, 1974).

La Glauconie de base n’est présente à l’affleurement qu’à l’ouest de la zone d’étude, à l’extrémité ouest du département de l’Eure-et-Loir (Illustration 8). Elle est principalement représentée par des faciès de gaize, argile ou marne).

L’Illustration 8 présente une cartographie des rares affleurements de l’ensemble de ces formations sédimentaires du Crétacé.

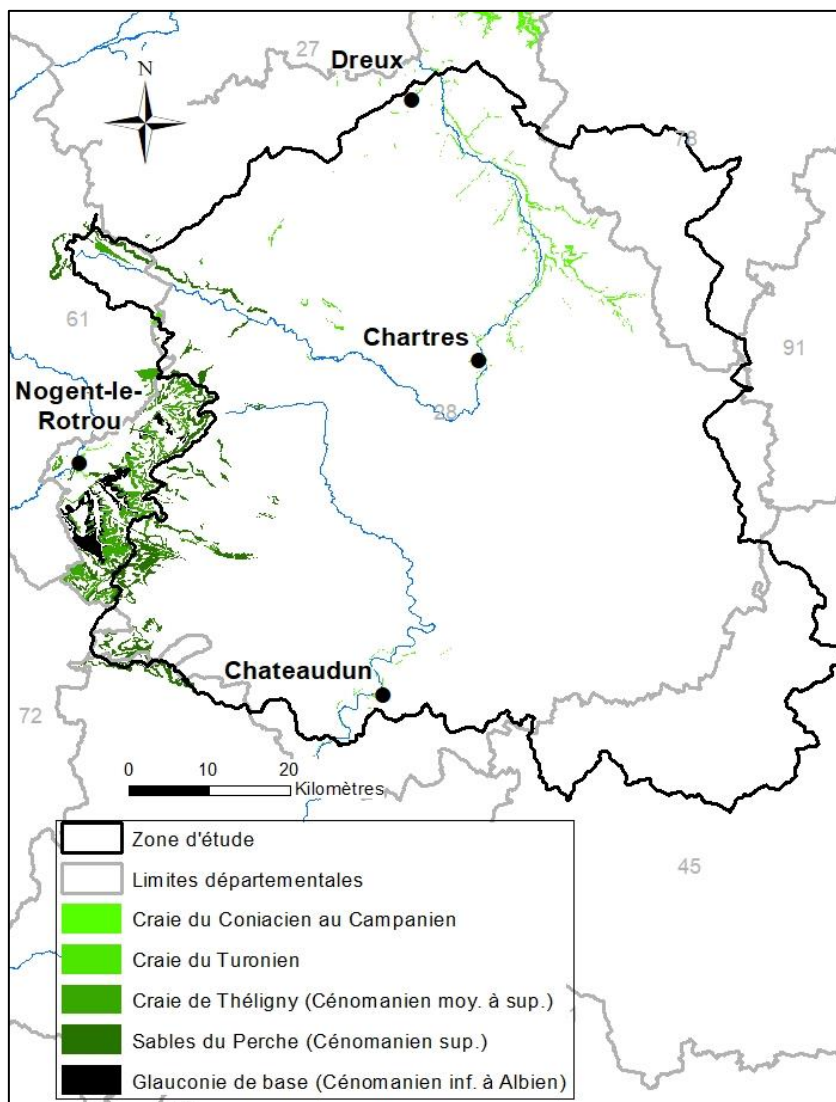


Illustration 8 – Affleurements des formations du Crétacé sur la zone d'étude (cartes géologiques harmonisées au 1/50 000, BRGM©)

2.1.2. Les formations du Tertiaire

La plupart des éléments rapportés dans ce paragraphe sont extraits de l'étude du BRGM, préalable à la réalisation d'un modèle de gestion de la nappe de Beauce, conduite à la fin des années 90 (Martin et *al.*, 1999).

A la fin du Crétacé et au Paléocène, l'émersion du sud du bassin de Paris est totale. Elle s'accompagne de l'érosion partielle de la craie et de la formation d'argiles à silex par altération.

Un bassin subsident se crée sur la Basse-Normandie, l'Île-de-France et l'ensemble Beauce-Sologne. En Beauce, le centre du bassin (maximum d'épaisseur) se situe au sud-est de Pithiviers (de l'ordre de 230 m de sédiments). La zone d'étude couvre ainsi la bordure occidentale du bassin de Beauce (Cf. limite du Tertiaire, Illustration 4).

Reposant en discordance au-dessus de la craie, les formations géologiques constitutives du bassin de Beauce sont d'âge éocène à miocène inférieur (Aquitanien). Les dépôts correspondent à une alternance de calcaires et de marnes intégrant des intercalaires sablo-argileux.

L'illustration 9 présente le schéma litho-stratigraphique des formations de Beauce, proposé par Martin et *al.* (1999), avec les formations suivantes, des plus anciennes aux plus récentes :

- calcaires éocènes,
- argiles vertes et marnes supra-gypseuses,
- calcaires de Brie,
- marnes à huîtres,
- sables et grès de Fontainebleau,
- calcaires d'Etampes,
- molasse du Gâtinais,
- calcaires de Pithiviers,
- marnes de Blamont,
- calcaires de l'Orléanais.

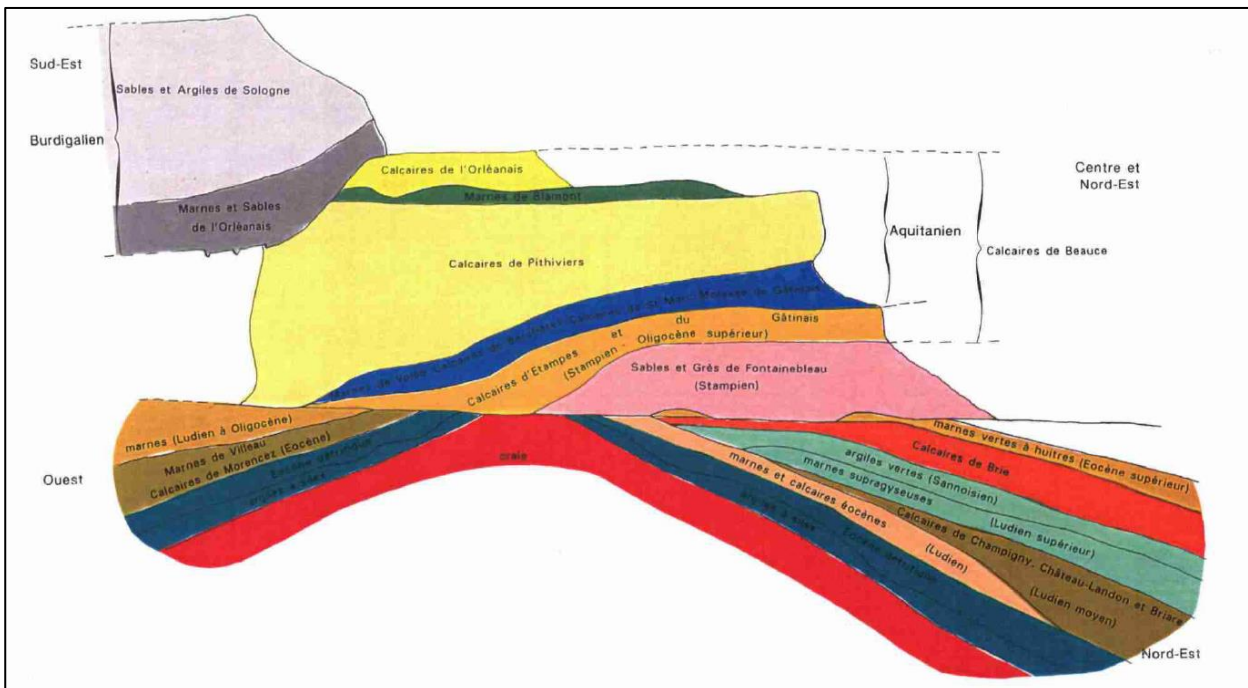


Illustration 9 – Schéma litho-stratigraphique synthétique des formations de Beauce (Martin et *al.*, 1999)

Les affleurements de chacune de ces formations géologiques sont présentés par l'illustration 10, ils sont extraits des cartes géologiques harmonisées au 1/50 000 de l'Eure-et-Loir, du Loiret et de l'Île-de-France.

Pour plus d'informations sur chacune de ces formations, le lecteur est invité à se reporter au rapport d'étude de Martin et *al.* (1999).

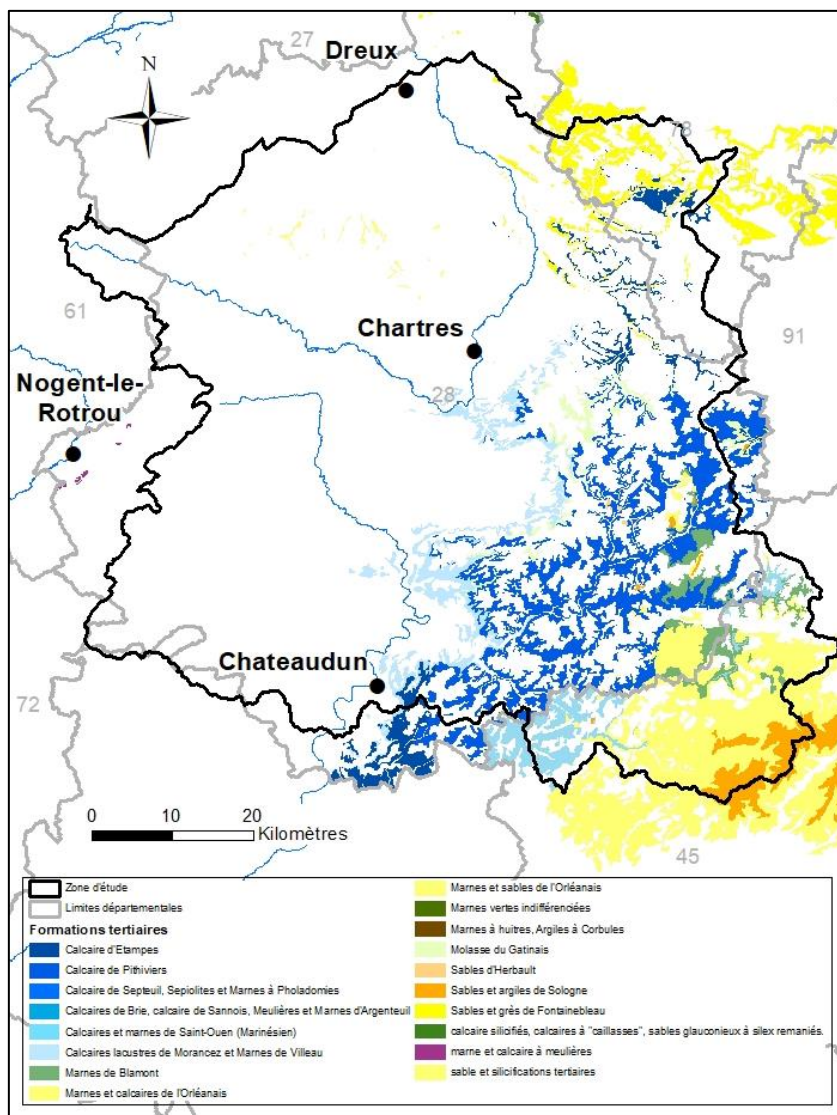


Illustration 10 – Affleurements des formations du Tertiaire sur la zone d'étude (extraits des cartes géologiques harmonisées au 1/50 000, BRGM©)

2.1.3. Les formations superficielles

Les formations superficielles sont très développées sur la zone d'étude. Les affleurements extraits des cartes géologiques harmonisées au 1/50 000 sont présentés par l'illustration 12.

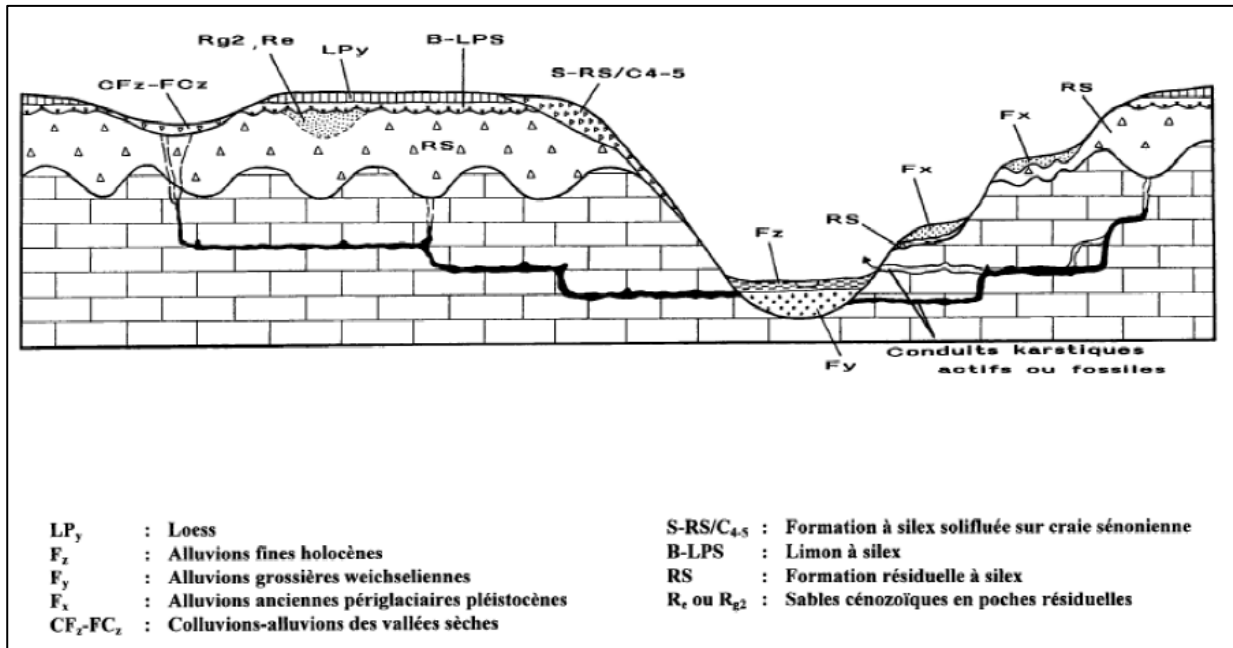


Illustration 11 – Répartition schématique des formations superficielles sur substratum crayeux de l'ouest du Bassin de Paris (Quesnel et al., 1996)

Selon l'illustration 11, les principales distinctions suivantes peuvent être faites :

- Les **formations résiduelles à silex (RS)** et les **biefs et limons à silex (B-LPS)** (notés Argiles à silex sur l'illustration 12). Ils recouvrent l'ensemble des plateaux crayeux de la zone d'étude. Ils résultent de l'altération météorique des différents niveaux crayeux du Crétacé supérieur et se sont formés après l'émersion de la fin du Crétacé, au cours du Cénozoïque. Ils sont parfois entrecoupés de poches de sables tertiaires. Les RS de plateau sont constituées de silex emballés dans une matrice argileuse, pouvant être sablo-argileuse à proximité des poches de sables ou silto-argileuse au sommet des profils recouverts de limons loessiques (LP). Leur épaisseur varie de quelques mètres à quelques décamètres.
- Les **limons des plateaux (LP)** et **loess** (notés Limons, loess sur l'illustration 12). Il s'agit d'une formation allochtone éolienne, déposée par les vents catabatiques en contexte périglaciaire lors des périodes froides du Quaternaire. Cette formation se caractérise par un faciès limoneux relativement homogène, pouvant devenir plus argileux en certains horizons (loess-lehms) ou sableux. La teneur en argile varie de 40 % dans les loess-lehms (limons anciens), à 20-30 % dans les autres horizons. La puissance de cette formation varie du bord des plateaux vers le centre, où elle peut atteindre plusieurs mètres.
- Les **colluvions et les formations de pente (C)** (notés Colluvions indifférenciés sur l'illustration 12). Ils sont constitués de matériaux remaniés par le ruissellement, la solifluxion et accumulés sur les versants ou dans les fonds de vallons durant le Quaternaire (Kuntz et al., 1974). Ces formations remanient les formations du tertiaire, les limons des plateaux, les limons à silex et les biefs à silex, les formations résiduelles à silex, les faciès crayeux du Crétacé et parfois d'anciennes terrasses alluviales. Ce remaniement induit des très grandes variations de faciès, aussi bien latérales que verticales.
- Le complexe alluvionnaire tapisse le fond des vallées. On distingue généralement :
 - o les **alluvions récentes (Fz, Holocène)**, que l'on retrouve à l'affleurement en fond de vallée, souvent constituées d'éléments fins, limono-argileux, avec parfois des

passages de lits tourbeux, correspondant aux formes subactuelles de dépôt. Leur extension maximale correspond grossièrement à l'extension des plus grandes crues. Leur épaisseur est faible ;

- les **graviers de fond** : alluvions grossières d'épaisseur significative, 18 mètres au maximum pour l'Eure à Courville et 10 mètres à Chartres (CGG, 2001) ;
- les **alluvions anciennes** (Fx, Fy) : elle s'agencent en terrasses emboîtées pour l'Eure et le Loir. Les alluvions anciennes des terrasses sont généralement grossières à galets de silex et passées sableuses, elles sont aussi plus ou moins empâtées d'argiles. Leur épaisseur est faible et dépasse rarement 5 mètres.

Ces formations superficielles, très largement présentes à l'affleurement, jouent un rôle prépondérant dans la recharge et la qualité des nappes sous-jacentes. En outre, elles peuvent localement héberger des nappes perchées.

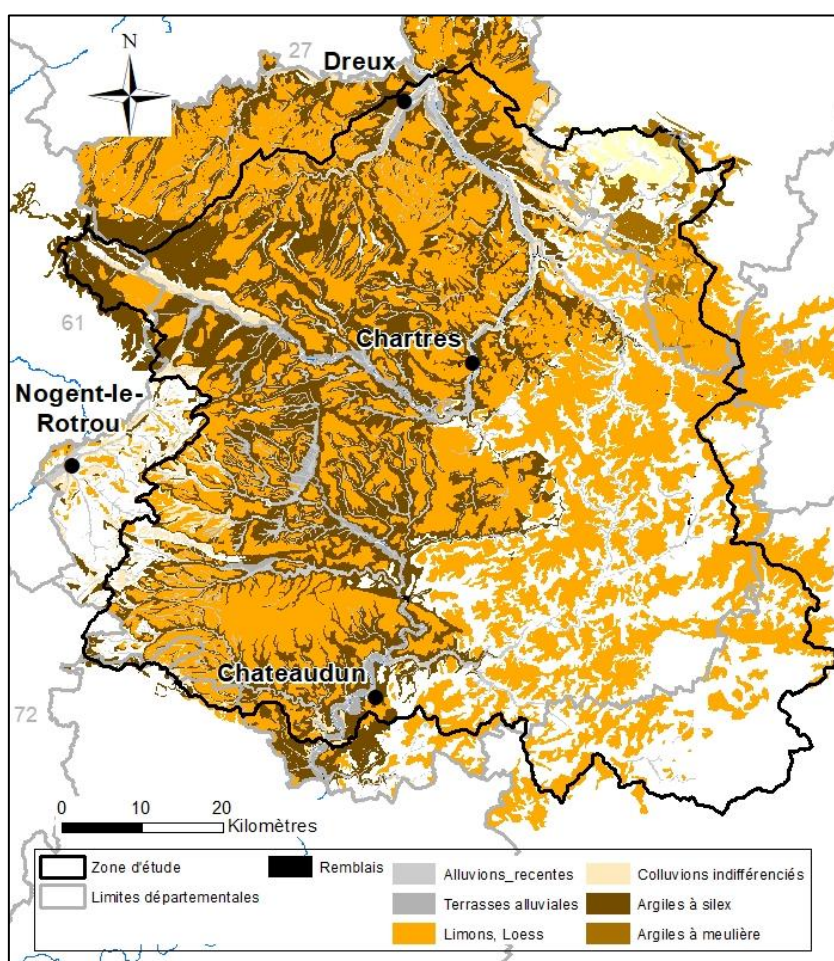


Illustration 12 – Affleurements des formations superficielles sur la zone d'étude (cartes géologiques harmonisées au 1/50 000, BRGM©)

2.1.4. Cadre structural

La zone étudiée a subi les contraintes des orogénèses tertiaires qui ont réactivées les failles profondes de direction armoricaine (ONO-ESE, N100-N120) et varisque (ENE-OSO, N30-N50), provoquant des cassures et des déformations souples dans la couverture sédimentaire crétacée et guidant le trajet des principaux cours d'eau.

L'illustration 13 répertorie les différents éléments structuraux identifiés par les cartes géologiques au 1/50 000 et par la CGG (2001).

Comme évoqué précédemment, les séries crayeuses plongent vers le centre du Bassin de Paris, en direction du nord-est (importante subsidence dans le centre du bassin). Les principaux accidents identifiés à ce stade sont :

- La **faille de l'Eure** : faille normale verticale, de direction N110°E, varisque, ayant rejoué à plusieurs reprises au Mésozoïque. Sous la vallée de l'Eure (dont le tracé actuel correspond au tracé de la faille), le rejet vertical de la structure porte à la même altitude les Sables du Perche (au sud) et la Craie de Rouen (ou Théligny) (au nord) (Cf. Illustration 14).

D'un point de vue hydrologique, la faille de l'Eure joue, avec la faille de Senonches, le rôle de ligne de partage des eaux entre les bassins de la Seine et celui de la Loire (Moguedet et al., 2000).

- La **faille de Senonches** : nommée axe de Senonches (ou axe de Merlerault), est une faille décalée par des failles N20E, elle est parallèle à la faille de l'Eure. Vers l'est, la faille de Senonches s'étend presque jusqu'à Chartres en conservant ce tracé en baïonnette caractéristique. Le compartiment nord-est est affaissé.

Elle semble limiter l'extension des sables du Perche vers le nord-est. Tout le long de la structure, il existe un contact anormal entre les faciès sableux et les faciès crayeux du Cénomaniens supérieur (Illustration 14). Comme évoqué précédemment, aucun élément ne permet de valider l'hypothèse d'une extension des sables au-delà de la faille de Senonches proposée par SAFEGE, 1993 (Cf. § 2.1.1). A noter que cette hypothèse n'a pas non plus été retenue par le modèle géologique du bassin de l'Avre (David et al., 2015).

- Le **faisceau de l'Huisne** (N40) : il délimite l'extension des Sables du Perche vers l'est. Cet accident passe entre la Loupe et Senonches et semble se prolonger dans la vallée de la Blaise et être relayé vers le nord-est par la **flexure de Dreux** (Illustration 13). L'accident de l'Huisne sépare un domaine nord-ouest constitué par un monoclinale incliné vers le nord-est, en direction du synclinal de l'Eure, et un domaine sud-est qui s'ordonne autour d'une structure appelée le demi-dôme du Thymerais (Ménillet et al., 1994, Illustration 15).
- Un faisceau de failles, orientées SO-NE, verticales ou fortement inclinées vers le nord-ouest. Ces cassures délimitent un **grabben orienté NE-SO dont la ville de Nogent-le-Rotrou** occupe la bordure occidentale. La bordure orientale (limite de notre zone d'étude) du fossé est marquée par un réseau de failles serrées.

Le plateau du Faux-Perche se situe à l'Est et les collines du Perche à l'Ouest. La séparation, très nette, est constituée par une "cuesta" qui domine le Perche à environ 280 mètres d'altitude entre Montlandon et Beaumont-les-Autels. Le Faux-Perche est drainé par le bassin versant du Loir à l'Est, le Perche voit ses eaux acheminées vers l'Huisne qui les évacue à l'Ouest.

- La **faille de Brou**, d'orientation O-E (Illustration 13). Cet anticlinal donne les points culminants de la feuille géologique de Châteaudun et fait affleurer les Sables du Perche (Cénomaniens) à la faveur d'un jeu de failles parallèles. L'argile à silex qui envahit toutes les formations crayeuses ne permet pas d'apercevoir le Turonien crayeux qui existe normalement au-dessus des Sables du Perche.

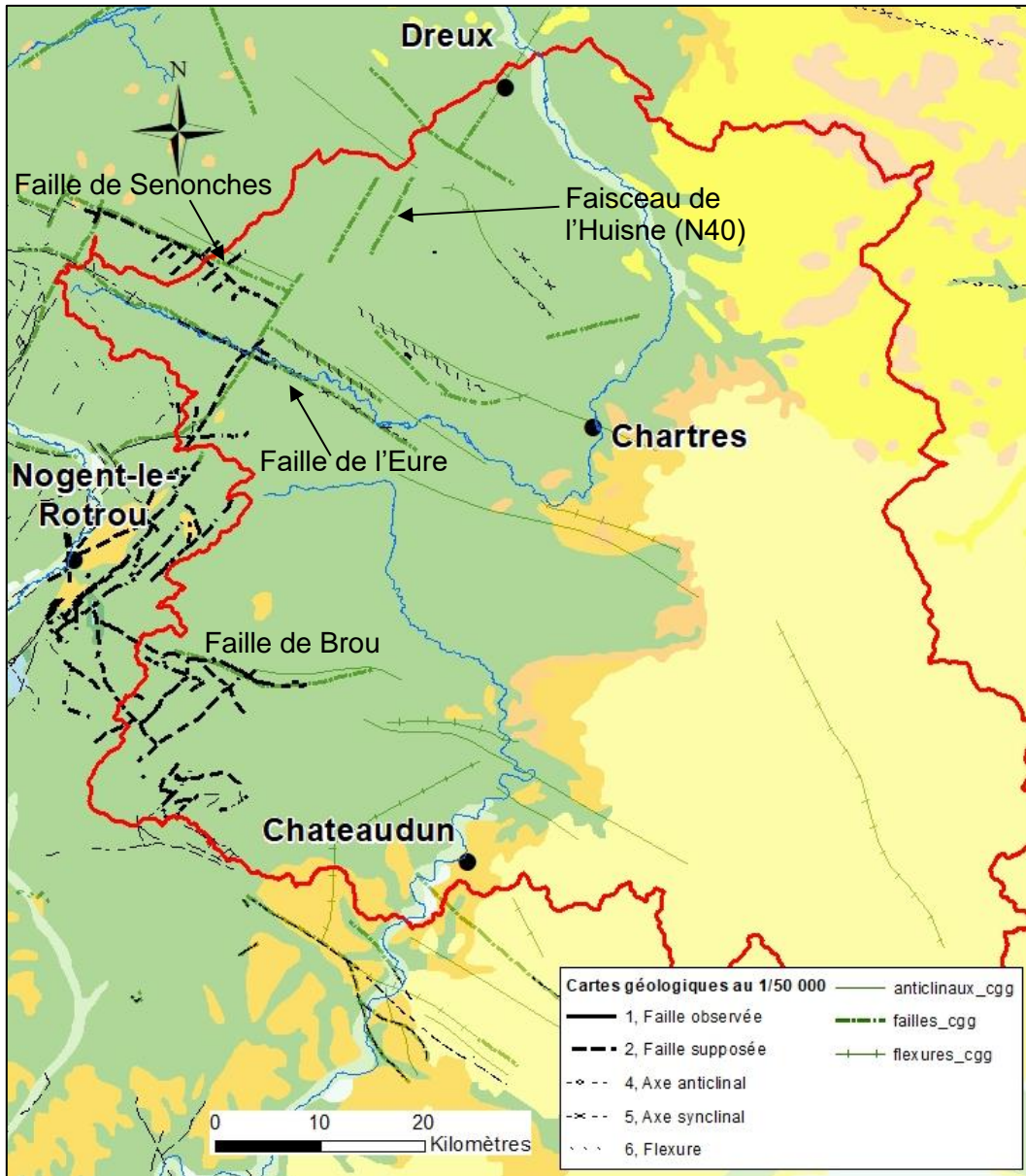


Illustration 13 – Eléments structuraux sur la zone d'étude (extraits des cartes géologiques harmonisées au 1/50 000, BRGM© ; CGG)

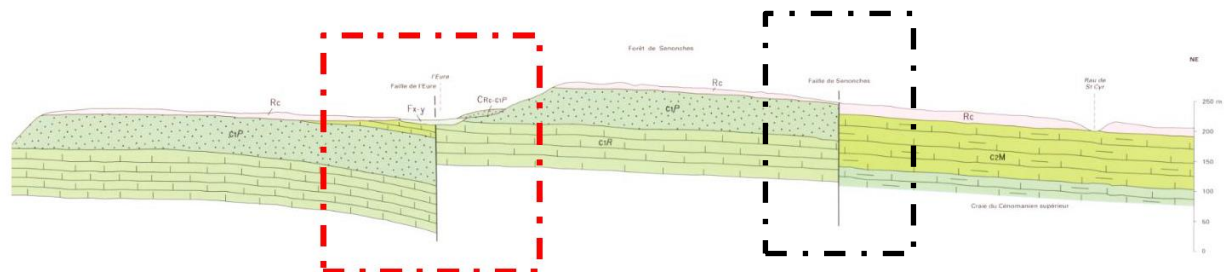


Illustration 14 – Représentation des failles de Senonches (encadré noir) et de l'Eure (encadré rouge) sur la coupe géologique (orientée SO-NE) annexée à la carte géologique au 1/50 000 n° 253 – La Loupe (modifiée par Meire et al., 2019 d'après Moguedet et al., 2000) (c_1P = Sables du Perche, c_1R = Craie de Rouen, c_2M = craie marneuse du Turonien)

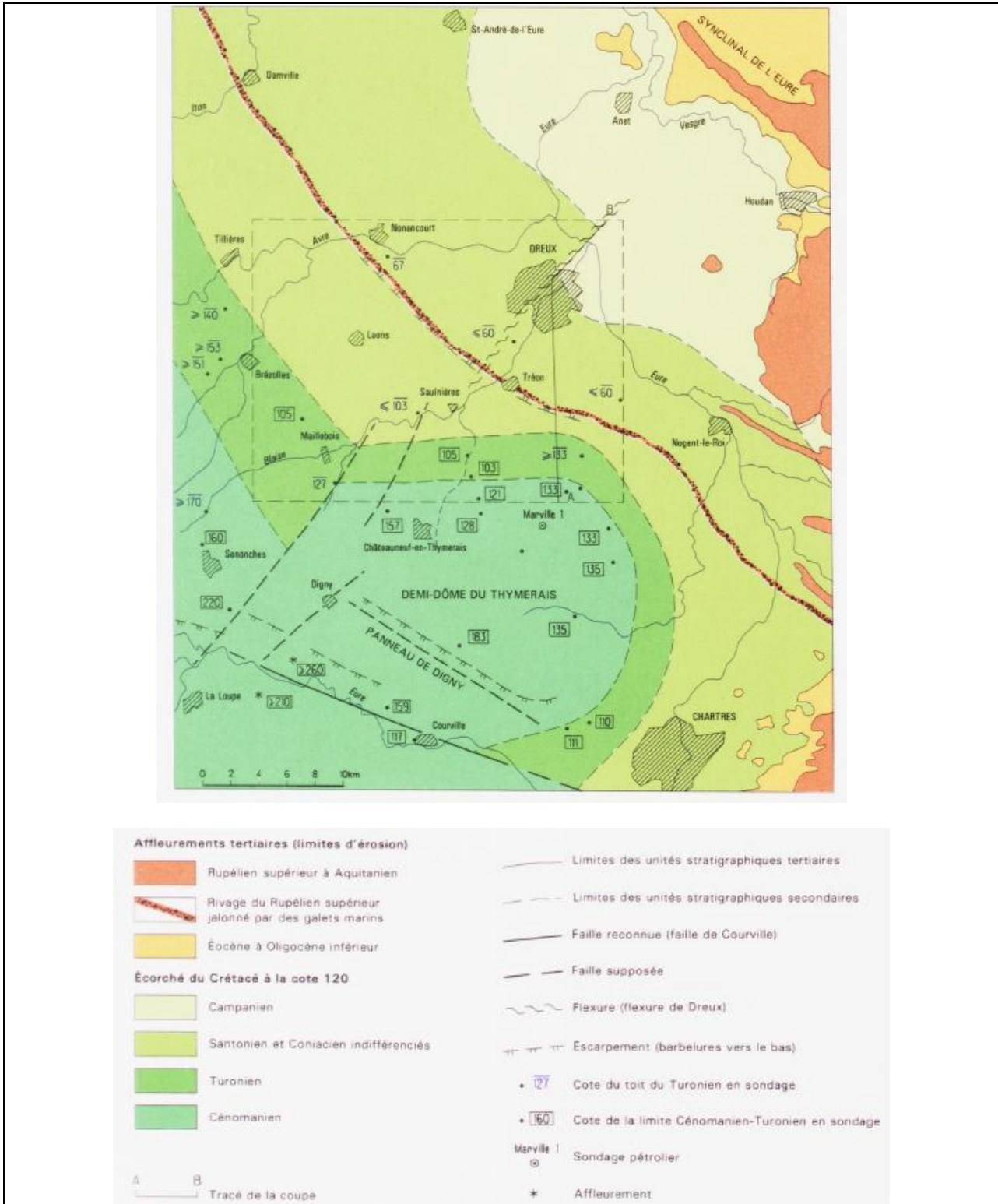


Illustration 15 – Schéma structural extrait de la notice de la carte géologique au 1/50 000 de Dreux (Ménillet et al., 1994)

2.2. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

2.2.1. Principales études régionales antérieures

Système aquifère des calcaires de Beauce

Un atlas hydrogéologique de la Beauce a été réalisé en 1975 par le BRGM (Desprez et Megnier, 1975). Il y figure la synthèse des travaux effectués à partir de 1965 sur la connaissance du fonctionnement du système aquifère des calcaires de Beauce. Il y est par ailleurs fait mention d'un premier modèle numérique de gestion de la nappe de Beauce.

En 1997, un programme d'études préalable à la réalisation d'un modèle de gestion de la nappe de Beauce a été initié par les conseils régionaux du Centre et de l'Île de France, ainsi que par les Agences de l'Eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie. Celui-ci a abouti à la création d'une base de données comprenant, entre autres, les altitudes des formations géologiques du système aquifère des Calcaires de Beauce (Martin, 1997), la caractérisation de sa géométrie (Martin et al., 1999), la synthèse de ses caractéristiques hydrodynamiques (Martin, 2000), et une étude de la qualité de ses eaux (Antea, 2000).

S'appuyant sur ces travaux, un modèle de gestion de la nappe de Beauce a été développé par le bureau d'étude Hydroexpert entre 2001 et 2004 suite à un deuxième programme d'études piloté par les mêmes acteurs (Bonnet et Floriat, 2004). Ce modèle a notamment servi pour évaluer la réponse du système à différentes situations de niveau initial de nappe, de recharge et de prélèvements (Verley et Billault, 2014).

Aquifère crayeux

Une synthèse hydrogéologique de l'aquifère de la Craie a été réalisée en 2001 par la Compagnie Générale de Géophysique à la demande du Conseil Général d'Eure-et-Loir (Compagnie Générale de Géophysique, 2001).

En 2012, la DREAL de Haute-Normandie et l'Agence de l'Eau Seine-Normandie ont demandé au BRGM de réaliser une étude visant à évaluer l'impact des prélèvements et à définir des règles de gestion volumiques de la ressource en eau sur le bassin de l'Avre (Eure). L'état de la connaissance sur ce secteur, la collecte et l'analyse des données sont présentés dans le rapport BRGM/RP-60458-FR (David, 2012). La construction et le calage du modèle hydrogéologique ont fait l'objet d'un deuxième rapport BRGM/RP-64826-FR (David et al., 2017). Ce modèle couvre l'extrémité nord de notre zone d'étude.

Le bureau d'étude Hydratec a réalisé un modèle numérique de l'aquifère de la craie sénonturonienne dans le secteur de Bonneval pour identifier le rôle du Loir dans l'apport en nitrates vers la nappe. Cette étude a été réalisée en 2016 pour le compte de la Communauté de Communes du Bonnevalais dans le cadre de l'étude de l'Aire d'Alimentation de Captage (AAC) du captage des Prés Nolleys (Hydratec, 2016).

Autres ressources en eau

Le rapport BRGM/RR-39518-FR sur la vulnérabilité des nappes d'eau souterraines en Eure-et-Loir (BRGM, 1998) fait l'inventaire des unités aquifères rencontrées.

Ce rapport fournit un contour des principaux aquifères (Illustration 16). Il est indiqué que la limite nappe de Beauce / nappe de la craie est en accord avec la campagne piézométrique de 1994 (Maget, 1995). A l'intérieur de l'aquifère cénomanien, la limite des aquifères « Sables du Perche » et « Craie cénomanienne » est indiquée comme approximative du fait de la complexité de ces aquifères.

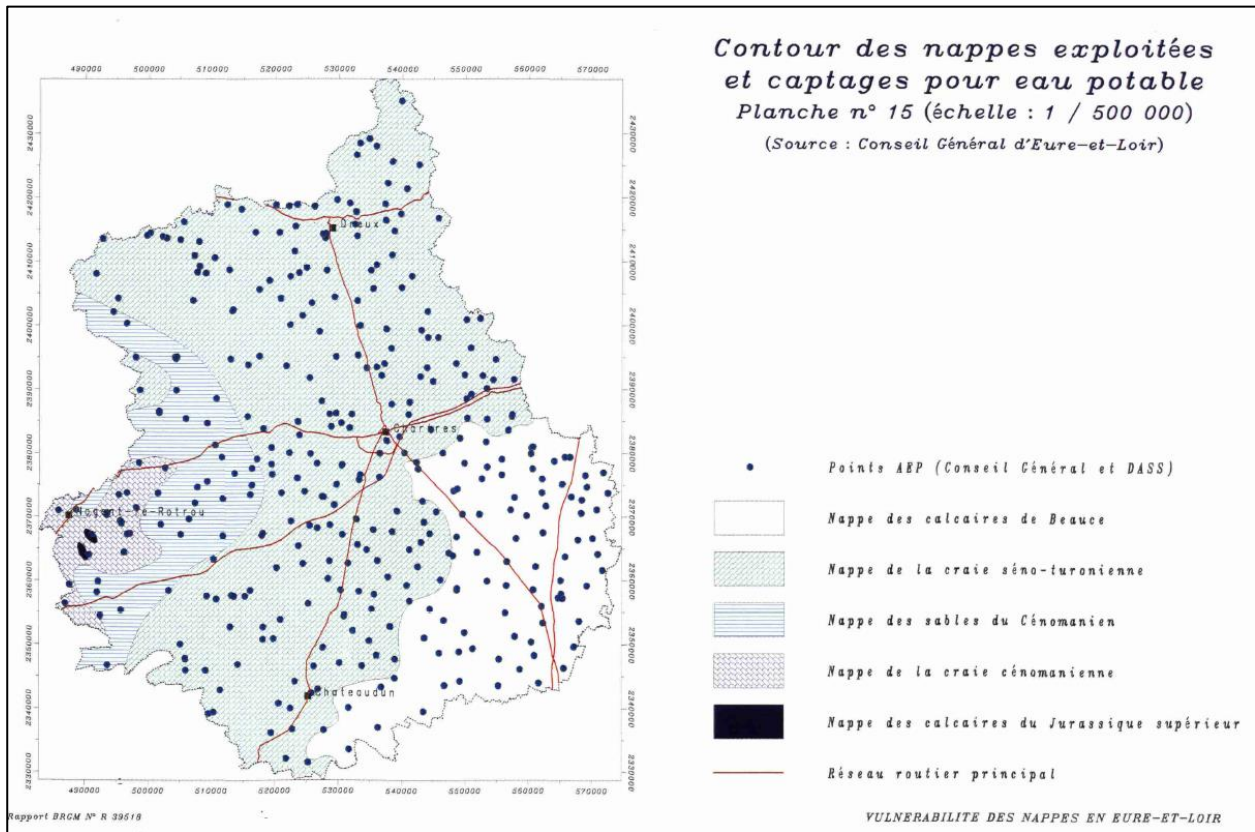


Illustration 16 – Contour des nappes exploitées sur le département d'Eure-et-Loir (source : rapport BRGM/RR-39518-FR et Conseil Général d'Eure-et-Loir, 1998)

Ce rapport fournit également une carte de perméabilité réalisée à partir de la géologie affleurante, classifiée à dire d'experts selon les catégories suivantes :

- Perméable en grand : $K > 10^{-3}$ m/s.
- Perméable filtrant : 10^{-3} m/s $< K < 10^{-6}$ m/s.
- Peu perméable : $10^{-6} < K < 10^{-9}$ m/s.
- Imperméable : $K < 10^{-9}$ m/s.

Cette carte est présentée sur l'illustration 17. Les formations affleurantes situées à l'ouest sont classifiées imperméables, tandis que l'est du département, correspondant aux calcaires de Beauce, est considéré comme très perméable.

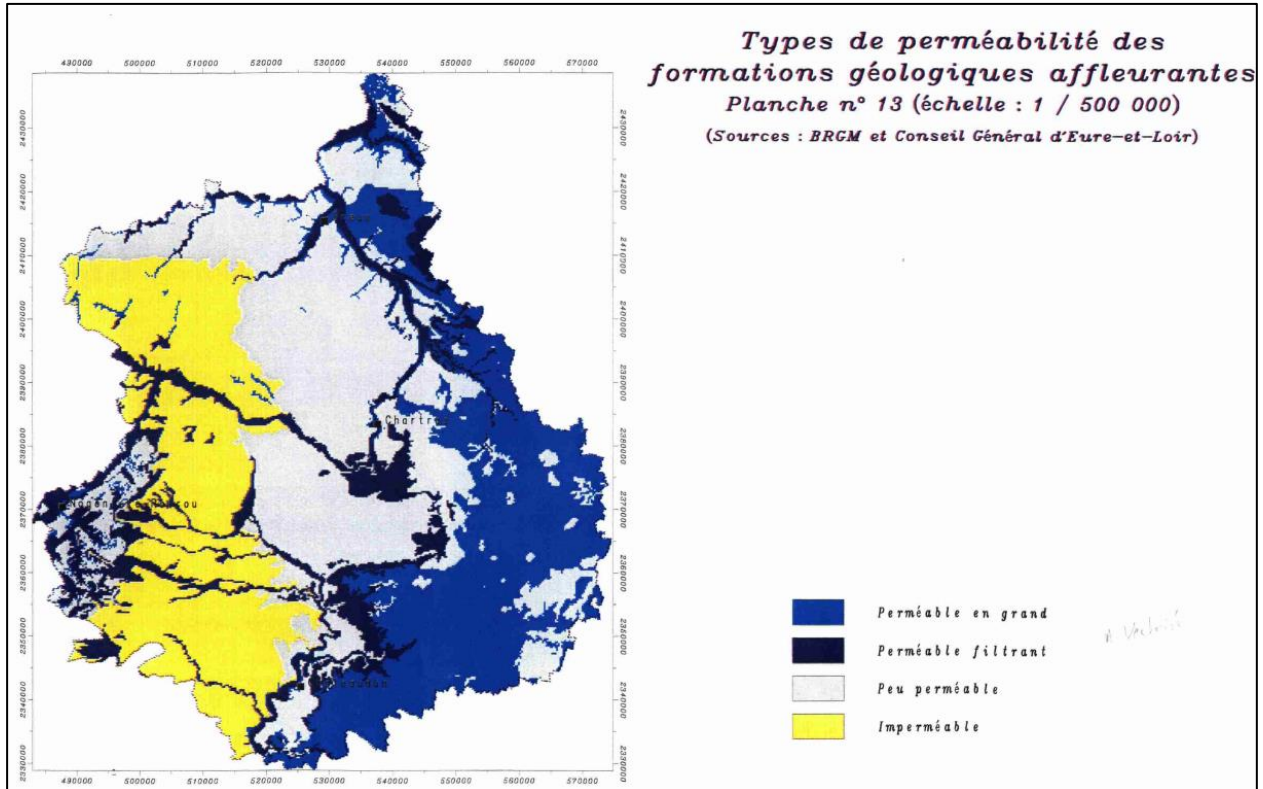


Illustration 17 – Perméabilité des formations affleurantes (source : rapport BRGM/RR-39518-FR et Conseil Général d'Eure-et-Loir, 1998)

En complément, l'ARS de la région Centre-Val de Loire dispose des rapports des hydrogéologues agréés portant sur la définition des périmètres de protection des champs captants pour l'eau potable dans le périmètre de la zone d'étude. Ces rapports fournissent une description du contexte géologique et hydrogéologique local, des caractéristiques hydrodynamiques des aquifères concernés, ainsi que des informations complémentaires sur l'origine, la qualité et la vulnérabilité des eaux captées.

La liste des 15 rapports fournis par l'ARS et consultés par le BRGM est reportée en Annexe 1. L'intégralité de ces rapports portent sur des captages d'eau potable dans la nappe de la craie sénio-turonienne.

2.2.2. Le référentiel BDLISA

La BDLISA (Base de Donnée des Limites des Systèmes Aquifères) est un référentiel cartographique du Système d'Information sur l'Eau (<https://bdlisa.eaufrance.fr>). Cette base de donnée classe le sous-sol en entités hydrogéologiques qui sont décrites selon différentes propriétés : aquifère, semi-perméable ou imperméable, écoulements libres ou captifs, milieu poreux, fracturé ou karstique.

Trois niveaux de représentation sont distingués : niveau 1 à l'échelle nationale (1/1 000 000), niveau 2 à l'échelle régionale (1/200 000) et niveau 3 à l'échelle dite locale (1/50 000). Les deux premiers niveaux sont obtenus par agrégation de l'information initialement élaborée au 1/50 000.

L'illustration 18 présente un tableau récapitulatif de toutes les entités BDLISA rencontrées au sein de la zone d'étude, avec une classification selon la perméabilité (unité aquifère, semi-perméable ou imperméable).

L'illustration 19 présente une cartographie des unités hydrogéologiques BDLISA présentes à l'affleurement sur la zone d'étude. En cohérence avec le contexte géologique décrit précédemment, les principaux systèmes aquifères rencontrés sont : les alluvions du Loir et de l'Eure, l'aquifère multicouche des calcaires de Beauce, le système multicouche de l'Eocène, la craie séno-turonienne ainsi que les marnes et craies marneuses du Cénomanién à l'Albien supérieur.

En se basant sur les informations issues de la bibliographie et des fiches synthétiques associées aux entités BDLISA (<https://bdlisa.eaufrance.fr>), les sous-parties suivantes proposent une description de ces différents systèmes aquifères, du plus récent au plus ancien. Les principales épontes sont également décrites : Marnes vertes et supra-gypseuses, Marnes à Ostracées, Argiles du Gault. A chaque fois, la codification BDLISA est conservée.

Etude de la nappe de la craie entre Perche et Beauce – Phase 1

BDLISA_NIV1	BDLISA_NIV2	BDLISA_NIV3	
924 Alluvions actuelles à anciennes de la vallée de la Seine aval	924AC Alluvions actuelles à anciennes des affluents de la Seine aval	924AC07 Alluvions actuelles à anciennes de l'Eure et de l'Iton	
937 Alluvions du Loir et de la Sarthe et de leurs affluents	937AF Alluvions du Loir	937AF01 Alluvions du Loir	
104 Grand domaine hydrogéologique du Mio-Pliocène du Bassin Parisien	104AA Sables et argiles du Mio-Pliocène du Bassin Parisien	104AA04 Sables et argiles du Mio-Pliocène du Bassin parisien (Bassin SN)	
	104AE Sables, argiles et marnes du Miocène au Pliocène inférieur de l'Orléanais et de Sologne	104AA05 Argiles à meulrières et meulrières de Montmorency du Mio-Pliocène du Bassin parisien (bassin LB) 104AE03 Sables et argiles de Sologne du Miocène au Pliocène inférieur du Bassin parisien (bassins SN et LB) 104AE05 Marnes, argiles et sables de l'Orléanais et du Blésois du Burdigalien (Miocène inférieur) du Bassin parisien (bassins SN et LB)	
107 Grand système multicouche de l'Oligo-Miocène du Bassin parisien (Nappe de Beauce)	107AA Calcaires de Pithiviers et de l'Orléanais de l'Aquitainien (Miocène inf.) du Bassin parisien	107AA01 Calcaires de Pithiviers et de l'Orléanais de l'Aquitainien (Miocène inf.) du Bassin parisien, bassin de la Seine (bassin SN) 107AA02 Calcaires de Pithiviers et de l'Orléanais de l'Aquitainien (Miocène inf.) du Bassin parisien, secteur de la Beauce et du Val d'Orléans (bassin LB)	
	107AC Sables et grès de Fontainebleau de l'Oligo-Miocène du Bassin parisien en Beauce (bassins SN et LB)	107AC03 Sables et grès de Fontainebleau de l'Oligo-Miocène du Bassin parisien de l'Hurepoix au Mantois (bassin SN) 107AC07 Sables et grès de Fontainebleau (faciès éolien) de l'Oligo-Miocène du Bassin parisien en Beauce (bassins SN et LB) 107AC09 Sables et grès de Fontainebleau (faciès marin) de l'Oligo-Miocène du Bassin parisien en Beauce (bassins SN et LB)	
	107AE Molasse du Gâtinais de l'Oligo-Miocène du Bassin parisien	107AE01 Molasse du Gâtinais de l'Oligo-Miocène (bassins SN et LB)	
	107AF Calcaires d'Etampes du Rupélien (Oligocène inf.) du Bassin Parisien	107AF01 Calcaires d'Etampes du Rupélien (Oligocène inférieur) du Bassin parisien (bassin SN) 107AF02 Calcaires d'Etampes du Rupélien (Oligocène inférieur) du Bassin parisien, secteur de la Beauce et du Val d'Orléans (bassin LB)	
	107AI Marnes à Huîtres du Stampien (Rupélien, Oligocène inf.) du Bassin parisien	107AI01 Marnes à Huîtres du Stampien (Rupélien, Oligocène inf.) du Bassin parisien	
	107AJ Marnes à Huîtres ou Molasse d'Etrecy du Stampien (Rupélien, Oligocène inf.) du Bassin parisien	107AJ01 Marnes à Huîtres ou Molasse d'Etrecy du Stampien (Rupélien, Oligocène inf.) du Bassin parisien	
	107AK Calcaires de Brie du Rupélien (Oligocène inf.) du Bassin parisien (bassins SN et LB)	107AK01 Calcaires de Brie du Rupélien (Oligocène inf.) du Bassin parisien (bassins SN et LB)	
	110 Grand domaine hydrogéologique de l'Oligocène inf. à l'Eocène sup. (Sannoisien au Ludien) du Bassin Parisien	110AA Marnes vertes et supra-gypseuses du Rupélien (Oligocène inf.) du Bassin parisien (bassin SN majoritairement et bassin LB)	110AA01 Marnes vertes et supra-gypseuses du Rupélien (Oligocène inf.) du Bassin parisien (bassin SN majoritairement et bassin LB)
		113 Grand système multicouche de l'Eocène du Bassin parisien (Nappe du Champigny)	113AA Calcaire Ludien de l'Eocène sup. du Bassin parisien
	113AI Marnes Infra-gypseuses de l'Eocène du Bassin parisien		113AI01 Marnes Infra-gypseuses de l'Eocène du Bassin parisien
113AC Calcaires de l'Eocène-Oligocène inf., majoritairement lacustres, du Bassin Parisien	113AC01 Calcaires lacustres de l'Eocène en région Centre (bassins SN et LB) 113AC03 Calcaires de Saint-Ouen du Bartonien inf. du Bassin parisien		
113AK Sables, calcaires et grès du Bartonien (Eocène) du Bassin Parisien	113AK05 Sables du Marinésien (sables de Mortefontaine, Calcaire de Ducy, Sables d'Ezanville) et de l'Auvervien (Sables de BeauChamps, d'Auvers) du Bassin parisien		
113AV Sables de Cuise et de Breuillet de l'Yprésien du Bassin Parisien (bassin Seine-Normandie et le sud du bassin Artois-Picardie)	113AV03 Sables de Cuise de l'Yprésien sup. du Bassin parisien (bassin SN) 113AV06 Sables et grès de Breuillet de l'Yprésien du Bassin parisien (bassin SN et sud du bassin Artois-Picardie)		
117 Grand domaine hydrogéologique des Argiles de l'Yprésien inf. du Bassin parisien	117AC Argiles et sables de l'Yprésien inférieur du Bassin Parisien (bassin Seine-Normandie et Sud du bassin Artois-Picardie)		117AC03 Argiles, sables et lignites de l'Yprésien inf. du Bassin parisien (bassin SN et sud du bassin Artois-Picardie) 117AC05 Argiles plastiques de l'Yprésien inf. du Bassin parisien (bassin SN)
	119 Grand système multicouche du Paléocène du Bassin Parisien	119AE Formations détritiques continentales, Sables et Argiles à silex post-Campanien du Bassin Parisien	119AE01 Formations détritiques continentales, sables, argiles à silex post-Campanien dans le bassin LB 119AE05 Formations résiduelles à silex de Normandie d'épaisseur supérieure à 5 m 119AE07 Formations résiduelles à silex de Normandie d'épaisseur comprise entre 15 et 2 m 119AE15 Formations résiduelles à silex, couverture Cénozoïque au centre du Bassin parisien
121 Grand système multicouche du Campanien au Turonien (Séno-Turonien) du Bassin parisien		121AA Craie du Séno-Turonien, bassin de la Maine	121AA01 Craie Craie du Sénonien, bassin de la Maine (bassin Loire-Bretagne) 121AA03 Craie du Turonien, bassin de la Maine (bassin LB) 121AA30 Craie marneuse et marnes du Turonien inférieur, bassin de la Maine (bassin LB)
		121AP Craie du Sénonien au Turonien inférieur, partie profonde au centre du Bassin Parisien (bassin Seine-Normandie et bassin Loire-Bretagne)	121AP01 Craie affleurante ou sous faible recouvrement à l'ouest de la région Ile-de-France (bassin SN) 121AP03 Craie du Sénonien au Turonien inférieur, partie sous recouvrement au centre du Bassin parisien (bassins SN et LB)
		121AS Craie du Sénonien au Turonien inférieur du Bassin Parisien du Neubourg au Saint-André - bassin versant de l'Eure, Iton, Avre (bassin Seine-Normandie)	121AS01 Craie du Séno-Turonien du Bassin parisien du Neubourg au Saint-André - bassin versant de l'Eure, Iton, Avre (bassin SN) 121AS30 Craie marneuse et marnes du Turonien inférieur du Bassin parisien du Neubourg au Saint-André - bassin versant de l'Eure, Iton, Avre (bassin SN)
		123 Grand système multicouche du Cénomaniens à l'Albien supérieur du Bassin parisien	123AA Marnes à Ostracées du Cénomaniens supérieur au Turonien inférieur (bassin LB)
	123BA Marnes et craie marneuse, sableuse et glauconieuse du Cénomaniens, bassin de la Maine (bassin LB)		123BA01 Marnes et craie marneuse, sableuse et glauconieuse du Cénomaniens, bassin de la Maine (bassin LB)
123BP Marnes et craie marneuse, sableuse et glauconieuse du Cénomaniens, partie profonde au centre du Bassin parisien (bassins SN et LB)	123BP01 Marnes et craie marneuse, sableuse et glauconieuse du Cénomaniens, partie profonde au centre du Bassin parisien (bassins SN et LB)		
123BS Marnes et craie marneuse, sableuse et glauconieuse du Cénomaniens du Bassin parisien du Neubourg au Saint-André - bassin versant de l'Eure, Iton, Avre (bassin SN)	123BS01 Marnes et craie marneuse, sableuse et glauconieuse du Cénomaniens du Bassin parisien du Neubourg au Saint-André - bassin versant de l'Eure, Iton, Avre (bassin SN)		
125 Grand domaine hydrogéologique des argiles, marnes et gaizes du Cénomaniens inf. et de l'Albien sup. du Bassin Parisien	125AA Argiles du Gault, Marnes et Gaizes du Cénomaniens inférieur à moyen et de l'Albien supérieur du Bassin parisien		125AA01 Argiles du Gault, Marnes et Gaizes du Cénomaniens inférieur à moyen et de l'Albien supérieur du Bassin parisien

Classification BDLISA :
 Unité aquifère
 Unité semi-perméable
 Unité imperméable

Illustration 18 – Tableau récapitulatif des entités BDLISA présentes sur la zone d'étude (niveaux 1, 2 et 3) et classification selon la perméabilité (unité aquifère en bleu)

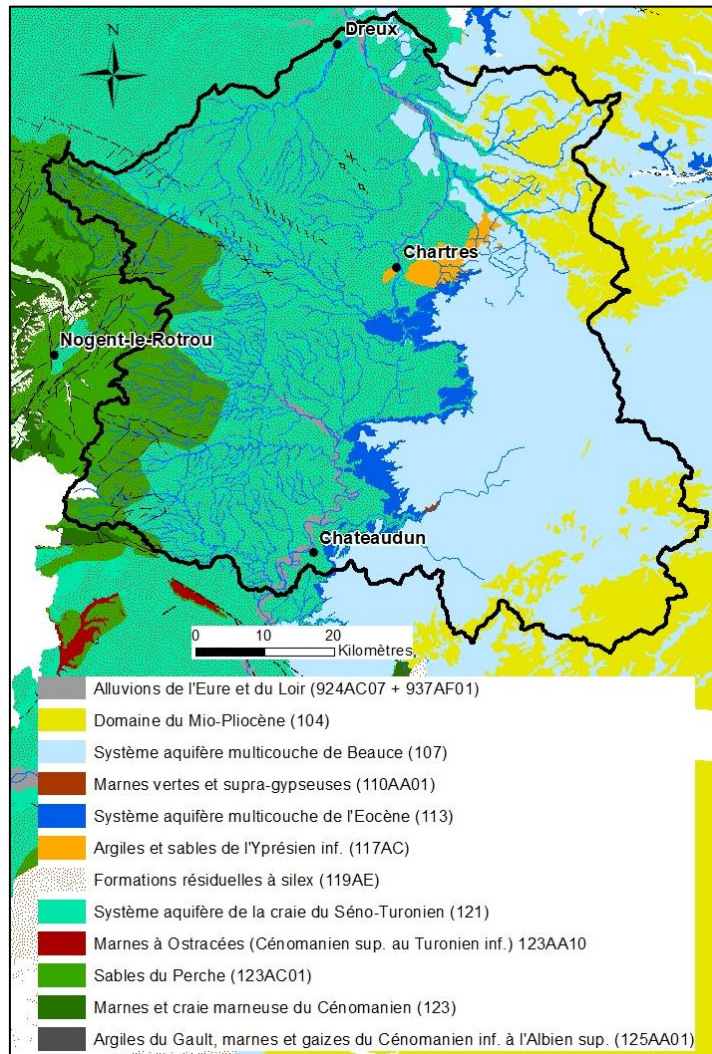


Illustration 19 – Cartographie des entités hydrogéologiques BDLISA présentes à l’affleurement

2.2.3. Les nappes alluviales du Loir et de l’Eure

Les alluvions du Loir (937AF01)

Les alluvions du Loir ne sont aquifères qu’en aval d’Illiers-Combray, à partir de la confluence avec la Foussarde (cf. entité BDLISA, Illustration 20). Les alluvions du Loir constituent alors un aquifère poreux. Elles ne constituent pas des réservoirs puissants (Illustration 21), d’autant plus que les faciès argileux dominent souvent. Lorsque les sables et graviers sont prépondérants, elles peuvent tout de même constituer un bon aquifère, dont la recharge est favorisée par leur relation hydraulique avec le cours d’eau.

En dehors des échanges nappe-rivière, la nappe alluviale est alimentée par les coteaux et/ou le substratum lorsqu’il est aquifère, et par les précipitations.

Les caractéristiques de la nappe alluviale sont globalement assez mal connues du fait du type d'ouvrages qui l'exploitent, c'est-à-dire principalement des puits traditionnels anciens. La nappe est, en effet, peu exploitée, en dehors de puits domestiques (arrosage de jardins), et sans doute de prélèvements pour l'irrigation des cultures. Les anciens puits captés pour l'AEP recourent généralement les deux réservoirs (alluvions et craie), comme à Saint-Denis-les-Ponts et Châteaudun par exemple, qui ne sont désormais plus exploités. Les débits d'exploitation s'échelonnent de 5 à 50 m³/h pour les rares ouvrages captant la nappe alluviale.

En amont d'Alluyes (confluence avec la vallée de Paray, Illustration 20), la nappe alluviale et la nappe de la craie sont séparées par les argiles à silex. La nappe alluviale est alors indépendante de la nappe de la craie, dans le lit majeur. En période de crue, son niveau s'équilibre et à une cote inférieure à celle de la rivière ce qui implique un colmatage des berges (Illustration 21 ; Desprez, 1973 ; Gigot, 1984). C'est la raison pour laquelle les ballastières, nombreuses en aval de Saumeray, ne communiquent pas avec le Loir (Cf. localisation, Illustration 20). Les sondages réalisés près du lit mineur montrent un fort recouvrement argileux qui maintient la nappe en charge.

En aval d'Alluyes, les alluvions reposent directement sur la craie, et la nappe de la craie est en connexion hydraulique avec la nappe alluviale la plupart du temps. La différence de perméabilité entre les deux aquifères (perméabilité interstitielle pour les alluvions, perméabilité de fissures pour la craie) provoque des émergences en bordure du lit majeur à Montboissier, Bonneval (vallée de l'Ozanne, Illustration 20), et en aval de Saint-Denis-les-Ponts. Les alluvions sont parfois dénoyées, comme ce pourrait être le cas à Saint-Maur-sur-le-Loir (Gigot et al., 1977).

La nappe alluviale du Loir est très vulnérable de par sa position affleurante. Une concentration significative en nitrates, localement supérieure à 50 mg/l, et la présence de pesticides sont en particulier à noter.

L'entité Alluvions du Loir 937AF01 de la BDLISA est en lien avec l'entité FRGG11 – Alluvions du Loir du référentiel des Masses d'Eau Souterraines (MESO).

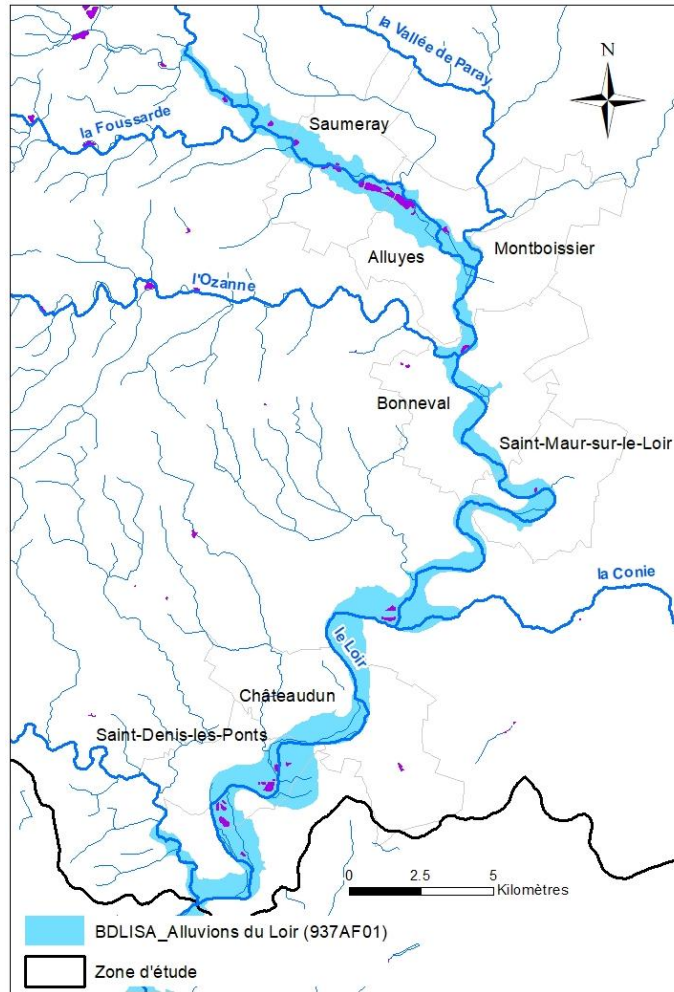


Illustration 20 – Délimitation des alluvions du Loir et repères géographiques

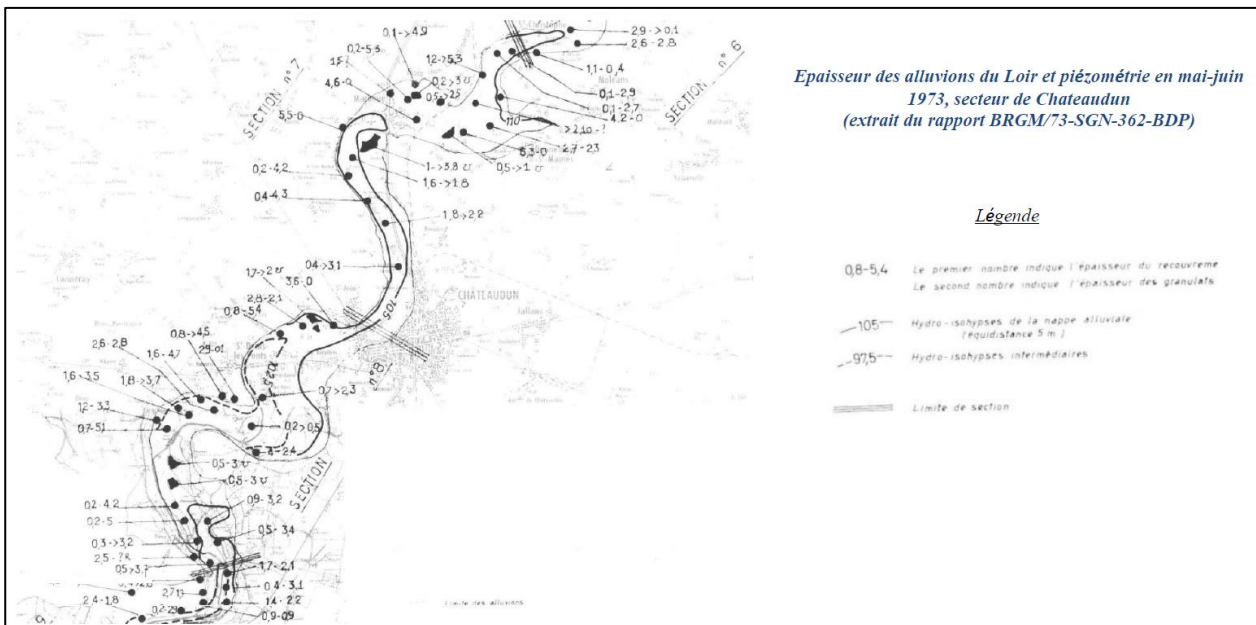


Illustration 21 – Epaisseurs des alluvions du Loir et piézométrie en mai-juin 1973
(extrait de Desprez, 1973)

Les alluvions actuelles à anciennes de l'Eure et de l'Iton (924AC07)

Les alluvions modernes occupent la totalité du fond de la vallée de l'Eure, en revanche, l'absence d'alluvions grossières sur le cours amont est à souligner (Gigot, 1990). L'entité hydrogéologique BDLISA correspondante (924AC07) est uniquement identifiée en aval de Chartres (Illustration 22). L'entité BDLISA est en lien avec la masse d'eau FRHG001 – Alluvions de la Seine moyenne et avale du référentiel MESO.

La partie inférieure des alluvions, formée d'éléments grossiers (graviers, galets), constitue un aquifère en liaison directe avec la craie sous-jacente. Son épaisseur réduite fait que les ouvrages d'exploitation pénètrent largement dans la craie (Ménillet et al., 1994). La nappe des alluvions de l'Eure n'est ainsi généralement pas individualisée de la nappe de la craie sous-alluviale (Chigot, 1986).

Des investigations réalisées en 1977 sur la commune de Saint-Prest (Desprez et Martins, 1977) ont mis en évidence des épaisseurs de l'ordre de 4 m avec localement une épaisseur de 9 m au droit d'un chenal alluvial (surcreusement de la craie). Ce dernier présente une largeur très réduite (< 50m).

Cette nappe est subaffleurante et les ballastières, fort nombreuses en aval de Saint-Georges, constituent une série de plans d'eau quasi continus sans exutoires sur la rivière, en règle générale. Les eaux sont en communication avec celles du substratum crayeux (Gigot, 1984).

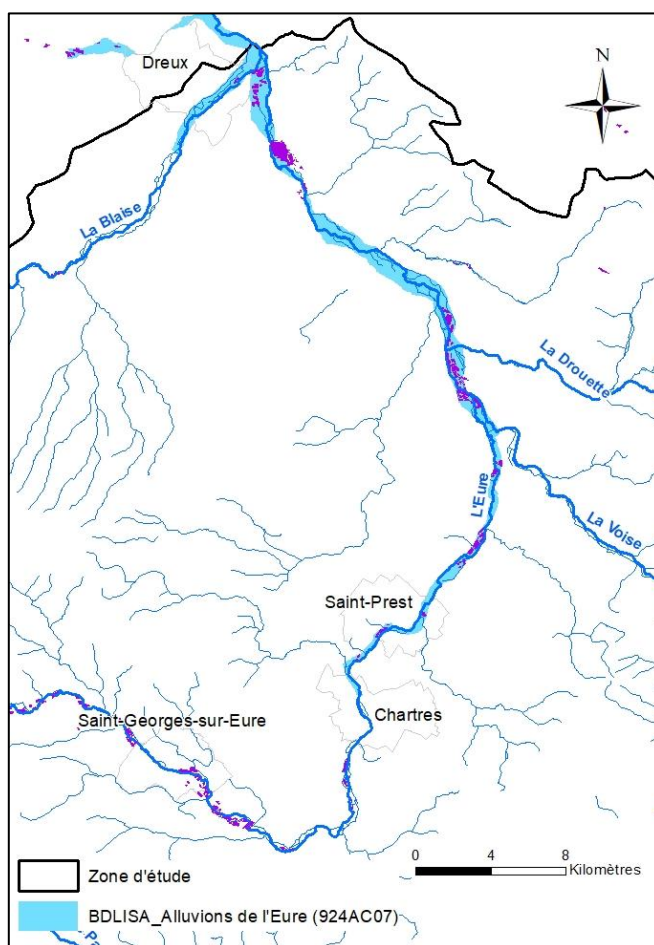


Illustration 22 – Délimitation des alluvions de l'Eure et repères géographiques

2.2.4. Grand domaine hydrogéologique du Mio-Pliocène (104)

Cet ensemble regroupe des formations semi-perméables qui affleurent localement aux extrémités nord-est et sud-est de la zone d'étude (Illustration 19).

Les Sables, argiles et Marnes du Miocène au Pliocène inférieur de l'Orléanais et de Sologne (104AE)

Les niveaux aquifères correspondent à des formations sableuses. La ressource est généralement faible, et la rencontre de chenaux sableux est le plus souvent aléatoire. La nappe est libre ou captive, selon que les niveaux sableux sont affleurants ou recouverts par des argiles. La nappe est captée par des puits domestiques principalement. Les débits d'exploitation varient entre 1 et 10 m³/h.

L'entité 104AE est en lien avec la masse d'eau FRGG094 « Sables et argiles miocènes de Sologne » du référentiel des MESO.

Les Sables et argiles du Mio-Pliocène du Bassin Parisien (104AA)

Les formations sont peu ou pas aquifères. On rencontre localement des nappes perchées. Quelques puits domestiques captent cette formation. Le lien avec le référentiel des MESO n'est pas établi.

2.2.5. La nappe de Beauce (107)

On appelle communément « nappe de Beauce » la nappe d'eau souterraine dans le complexe des calcaires de Pithiviers et des calcaires d'Etampes (y compris les Sables de Fontainebleau et les Calcaires de Brie dans la partie nord-est de la Beauce). Cependant, lorsque la Molasse du Gâtinais est présente et sépare les deux formations, l'entité aquifère des Calcaires de Pithiviers se distingue par son caractère libre et sa plus forte vulnérabilité.

La nappe de Beauce s'écoule vers le sud avec une faible composante vers l'Eure et le Loir en limite d'affleurement du fait que la nappe soit drainée par le cours aval de rivières telles que la Voise, l'Aigre ou la Conie. Vers le centre de la Beauce, la nappe est profonde et les vallées sont dénoyées. Les fluctuations saisonnières et interannuelles sont importantes, accentuées par une exploitation intensive de la nappe.

Les cartes piézométriques disponibles datent de 1994 (basses eaux, cf. Illustration 23) et de 2002. Une piézométrie a été réalisée en 2002 pour les aquifères captifs de la Beauce, sous la Molasse du Gâtinais (Calcaires d'Etampes, Sables de Fontainebleau, Calcaires de Brie).

Au nord de la Loire, la nappe de Beauce joue un rôle majeur dans l'alimentation des cours d'eau situés en bordure du plateau (La Conie, Aigre, Bionne, ...). La nappe y est intensément exploitée par plus de 4000 forages, à très forte majorité agricole. Les perméabilités varient de 10⁻⁴ à 10⁻³ m/s. La productivité est liée à l'épaisseur mouillée du réservoir. Elle est faible en bordure des affleurements et augmente considérablement vers l'est. La productivité varie de 50 à 200 m³/h. Les transmissivités calculées varient de 5.10⁻² à 3.10⁻² m²/s.

L'étude hydrologique réalisée par Hydratec en 2016 sur le secteur de Bonneval a montré que la Conie était essentiellement alimentée par la nappe de Beauce. De même, le soutien d'étiage de l'Ozanne par la nappe a bien été mis en évidence.

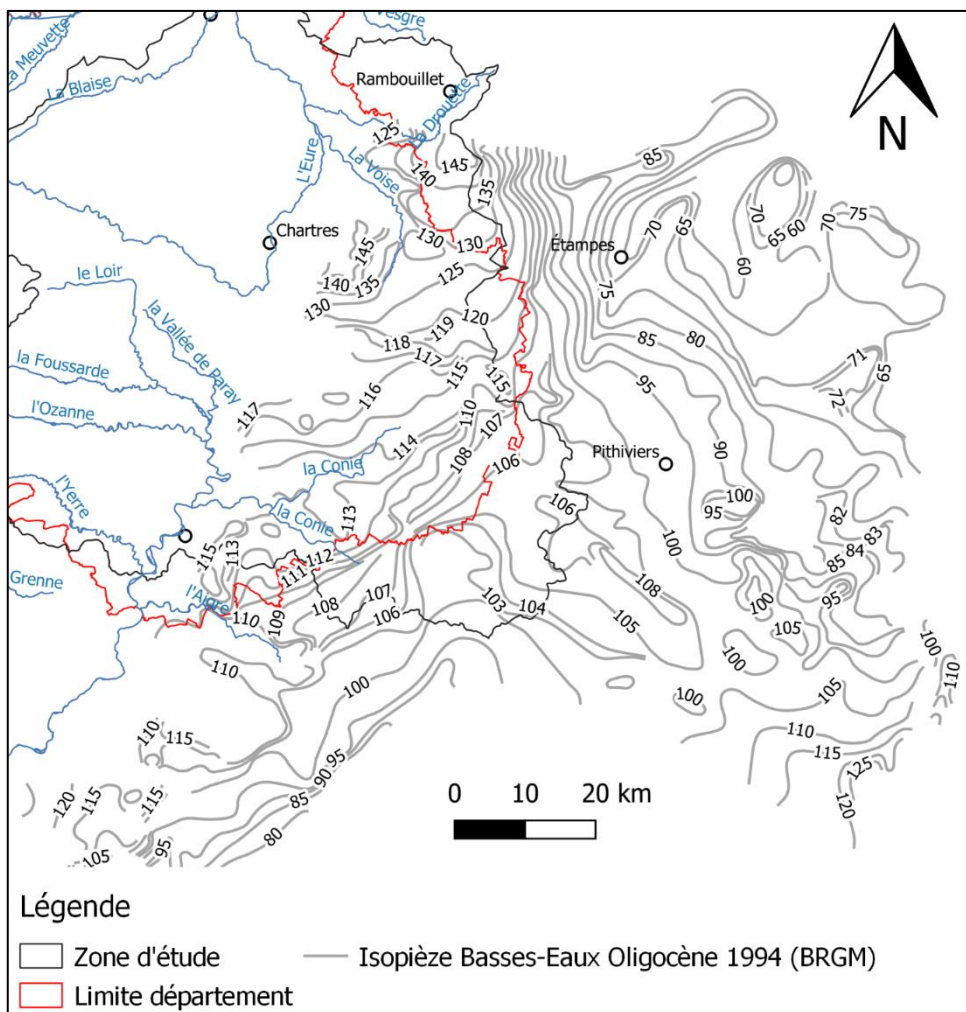


Illustration 23 – Carte piézométrique (en m NGF) de la nappe de Beauce en basses eaux 1994 (Maget, 1995)

La Beauce est un plateau disposant de peu de vallées pour drainer les eaux. Les eaux résiduelles et les divers rejets s'y infiltrent donc facilement. La presque totalité de la nappe libre est contaminée, avec des concentrations en nitrates élevées, en particulier vers l'ouest où l'épaisseur de l'aquifère est faible. La nappe de Beauce est très vulnérable, en particulier en Eure-et-Loir, où le ruissellement n'existe pas et où le calcaire, presque à nu, absorbe rapidement toutes les eaux de surface

Calcaires de Beauce (107AA, 107AF)

Les calcaires de Beauce occupent le quart sud-est de l'Eure-et-Loir. Ils surmontent la craie à l'est de l'Eure et du Loir et se développent vers l'est jusqu'à atteindre une cinquantaine de mètres d'épaisseur en limite du Loiret. Ce calcaire est intensément fracturé, parfois karstique. Il constitue un aquifère continu très transmissif caractérisé par des écoulements rapides.

Les entités hydrogéologiques BDLISA constitutives des calcaires de Beauce sont :

- Calcaires de Pithiviers et de l'Orléanais de l'Aquitainien (Miocène inf.) du Bassin parisien (107AA). La nappe des Calcaires de Pithiviers est libre.

- Calcaires d'Etampes du Rupélien (Oligocène inf.) du Bassin parisien (107AF). La nappe des Calcaires d'Etampe est captive sur une partie importante de la Beauce, au nord de la Loire, lorsque la Molasse du Gâtinais la sépare des Calcaires de Pithiviers sous-jacents. Les calcaires d'Etampes, sous la Molasse du Gâtinais, constituent le réservoir principal pour l'AEP.

Les forages agricoles captent la première nappe (Pithiviers) la plupart du temps, mais lorsque les débits s'avèrent insuffisants, ils descendent jusqu'au réservoir inférieur des Calcaires d'Etampes.

Les calcaires de Beauce sont en lien avec la masse d'eau FRGG092 « Calcaires tertiaires libres de Beauce » du référentiel des MESO.

La Molasse du Gâtinais de l'Oligo-Miocène du Bassin parisien (107AE)

Cette formation n'est pas aquifère. Elle constitue un écran semi-perméable entre les Calcaires de Pithiviers et ceux d'Etampes. Elle constitue une formation peu perméable à perméable selon sa composition locale. Les perméabilités varient de 10^{-6} à 10^{-4} m/s.

Sables et grès de Fontainebleau de l'Oligo-Miocène du Bassin Parisien (107AC)

Les Sables de Fontainebleau sont compris dans le système multicouche oligocène de Beauce. La nappe des Sables de Fontainebleau est donc généralement considérée comme partie intégrante de « la nappe de Beauce » dans son ensemble. La nappe est captive pour sa partie sous couverture, sous les Calcaires d'Etampes et la Molasse du Gâtinais. Le sens d'écoulement est orienté vers le nord-est, en direction de la Seine, pour la majeure partie de la nappe.

En Eure-et-Loir, les Sables de Fontainebleau se trouvent sous couverture, sous les calcaires d'Etampes. En l'absence d'écran entre ces deux formations, il y a souvent un mélange des eaux des deux aquifères. L'ordre de grandeur de la perméabilité est de $3 \cdot 10^{-5}$ m/s. La productivité varie de 10 à 50 m³/h. La nappe des Sables de Fontainebleau est exploitée pour l'AEP (Morainville, Le Puiset, Sainville).

Cette entité est associée à la masse d'eau FRGG092 « Calcaires tertiaires libres de Beauce » du référentiel des MESO.

Les marnes vertes et supra-gypseuses du Rupélien (Oligocène inf.) du Bassin parisien (110AA)

Cette formation n'est pas aquifère. Les Marnes vertes et supragypseuses forment un niveau imperméable à la base du Calcaire de Brie : elles constituent le mur de la nappe de Beauce.

Au droit de la zone d'étude, les marnes vertes sont très peu présentes : le système aquifère de Beauce repose ainsi directement sur le système multicouche de l'Eocène (code BDLISA = 113, cf. § 2.2.6).

2.2.6. Système aquifère multicouche de l'Eocène (113)

Au sein de la zone d'étude, cet aquifère multicouche est essentiellement représenté par les calcaires lacustres de l'Eocène (113). Ils affleurent en bordure ouest du domaine tertiaire (cf. Illustration 19). Le caractère aquifère de ces formations est lié à la fracturation des calcaires, voire à leur karstification.

La nappe est libre à l’affleurement et devient captive en Beauce. A l’affleurement, la recharge se fait directement par les précipitations. En Beauce, la nappe se trouve sous couverture, son fonctionnement est mal connu. De rares ouvrages captent la nappe profonde dans le secteur de la Beauce. La productivité varie entre 10 à 45 m³/h.

Les formations sableuses ne sont présentes que très localement, au droit de la commune d’Aunay-sous-Auneau : sables et grès de Breuillet de l’Yprésien (113AV06).

Cette entité est en lien avec la masse d’eau FRGG095 « Sables et calcaires lacustres des bassins tertiaires de Touraine » du référentiel des MESO.

2.2.7. Les argiles et sables de l’Yprésien inférieur du Bassin parisien (117AC)

Au droit de la zone d’étude, le domaine est représenté par les argiles, sables et lignites de l’Yprésien inférieur (117AC03) et les argiles plastiques de l’Yprésien inférieur (117AC05). Seule la première entité affleure localement, entre l’Eure et la Voise (Cf. Illustration 19).

Les argiles plastiques occupent tout le centre du Bassin de Paris où leur extension est quasi générale. Elles définissent ainsi le substratum imperméable des sables de l’Yprésien sus-jacents.

2.2.8. La nappe de la Craie Séno-Turonienne (121)

Formations résiduelles à silex (119AE)

Comme vu précédemment, ces formations recouvrent l’ensemble des plateaux crayeux de la zone d’étude. Les épaisseurs varient de quelques mètres à quelques décamètres ; les épaisseurs peuvent varier rapidement.

Bien que ces formations soient essentiellement argileuse, donc peu perméables, elles sont considérées globalement comme étant semi-perméables, avec localement des potentialités aquifères lorsque la matrice argileuse a été lessivée. Sur le bassin du Loir, les perméabilités varient de 10⁻⁶ m/s à 10⁻⁹ m/s.

Craie du Séno-turonien (121AA, 121AP, 121AS)

Le Crétacé supérieur, du Sénonien (Campanien, Santonien et Coniacien) au Turonien, est constitué de craie franche dans sa partie supérieure, de plus en plus marneuse à partir du Turonien, vers le bas. Bien que poreuse, la craie est généralement peu perméable intrinsèquement. Elle contient de l’eau mobilisable lorsqu’elle est fracturée, situation rencontrée le long des failles ou sur les bombements anticlinaux, ou bien lorsqu’elle est altérée, sous les plaines alluviales des grands cours d’eau. Cette altération de surface s’est développée par érosion chimique intense durant les périodes glaciaires, jusqu’à créer des fissures et des réseaux karstiques, procurant une perméabilité importante à une roche poreuse de perméabilité initialement faible (Compagnie Générale de Géophysique, 2001). La craie est altérée dans sa partie supérieure, principalement sur les 30 premiers mètres.

Plusieurs cartes piézométriques ont été réalisées pour la nappe de la Craie, notamment par le Conseil Départemental d’Eure-et-Loir en 1994, 2002 et 2005, et par le BRGM pour l’Agence de l’Eau Loire-Bretagne en 2008. L’Illustration 24 représente la piézométrie en hautes eaux réalisée au nord du département en 2002 et au sud en 2005 (collaboration CD28/DREAL).

Les bassins versants hydrogéologiques correspondent plus ou moins aux bassins topographiques. La nappe est profonde de 20 m à parfois plus de 40 m sous les plateaux. Les fluctuations saisonnières y sont importantes. En Eure-et-Loir, l'aquifère de la craie affleure ou n'est recouverte que par les formations superficielles entre les Sables du Perche à l'ouest et les premiers affleurements du tertiaire sédimentaire en limite est. Le toit imperméable constitué par les marnes et argiles à silex peut lui assurer un caractère captif. Sous les formations de Beauce, la nappe est captive et sa surface piézométrique se situe souvent en-dessous de celui de la nappe de Beauce, déterminant une drainage de la nappe de Beauce vers la nappe de la Craie (Maget, 1995).

La nappe de la craie est drainée par les cours d'eau du département et est donc en continuité hydraulique avec les nappes alluviales de l'Eure et du Loir où les argiles à silex ont été érodées quasiment en totalité. La nappe participe largement au soutien des débits en période d'étiage. L'étude réalisée par Hydratec en 2016 a permis de caractériser les relations entre le Loir, la Conie et l'Ozanne avec la nappe de la Craie sur le secteur de Bonneval, séparée du Cénomaniens par une épaisse couche très peu perméable datant du Turonien qui est le véritable substratum de la nappe (Hydratec, 2016). Dans ce rapport, un fort colmatage du lit du Loir est considéré compte-tenu de sa position majoritairement perchée (perméabilité de 10^{-7} à 10^{-6} m/s), un faible colmatage sur l'Ozanne (10^{-4} m/s), tandis que la Conie est fortement soutenue par les nappes de Beauce et de la Craie (10^{-3} m/s). Ces valeurs ont été assignées dans le modèle d'Hydratec à dire d'experts.

La nappe de la craie est vulnérable du fait de sa perméabilité (milieu discontinu) et de sa couverture d'argile à silex irrégulière. On y trouve de nombreux puits parfois très profonds qui étaient destinés aux usages domestiques. La nappe de la Craie est exploitée principalement pour l'agriculture. Elle est également captée par de nombreux captages d'eau potable, dont certains ont été abandonnés, en raison d'une teneur en nitrates trop élevée. Actuellement, les forages sont utilisés pour l'eau potable de la majorité des centres urbains (Chartres, Dreux, Châteaudun, etc.).

La nappe de la craie est discontinue, à perméabilité variable et donc à productivité variable. Sa partie sommitale constitue cependant la seule ressource aquifère régionale de grande importance (Lauverjat, 1995). Les plus forts débits sont obtenus à l'est du département dans la craie sénonienne du fait de son caractère karstique. Le rapport BRGM/RR-39518-FR indique des débits jusqu'à 600 m³/h à Dreux. Hors de ce contexte géologique, les débits sont faibles : moins de 5 m³/h en général. En s'éloignant vers l'ouest et le sud, la craie n'est plus productive, à de rares exceptions près.

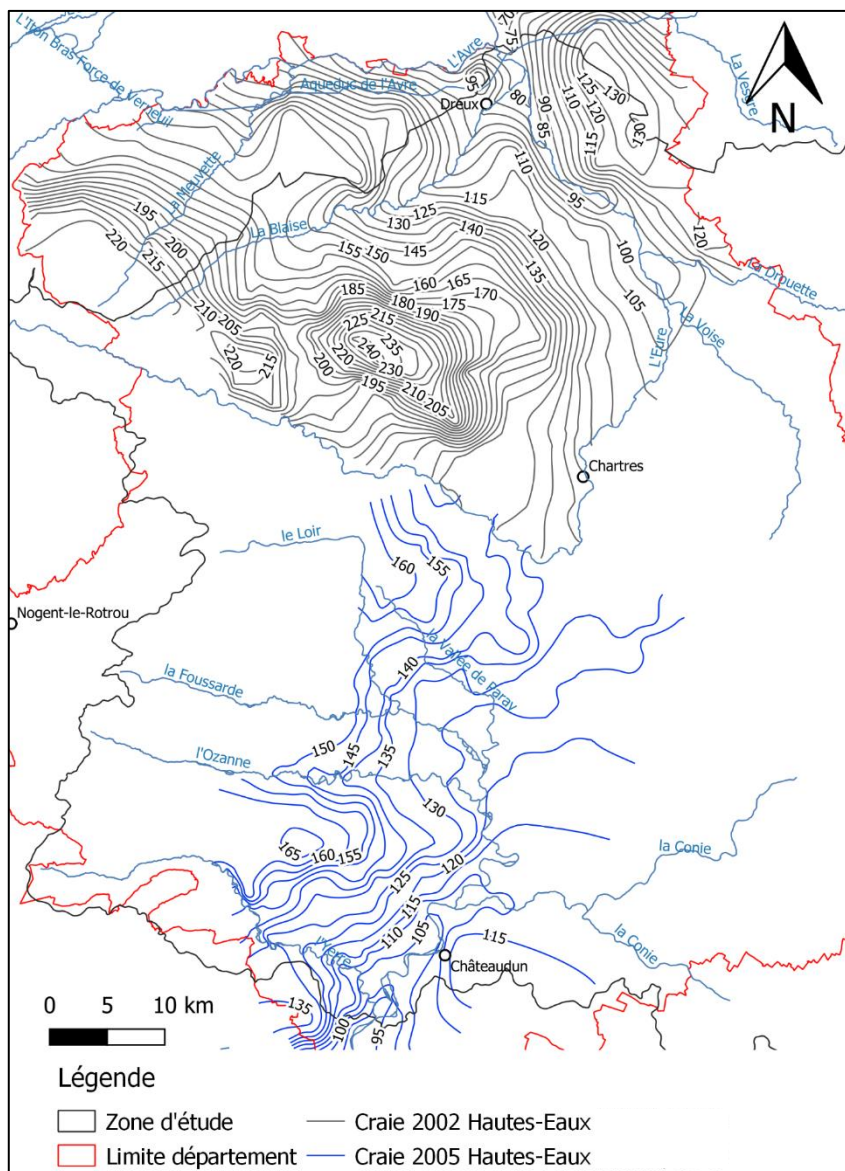


Illustration 24 – Carte piézométrique (en m NGF) des hautes eaux de la nappe de la Craie réalisée en 2002 au nord du département (DIREN Centre et Ile de France) et en 2005 au sud du département (CD28)

Dans la BDLISA, la nappe de la craie est représentée sur la zone d'étude par trois entités :

- Craie du Sénonien au Turonien inférieur du Bassin parisien du Neubourg au Saint-André – bassin versant de l'Eure, Iton, Avre (121AS). Sa productivité s'étale de 20 à 100 m³/h. Cette entité est en lien avec la masse d'eau FRHG211 « Craie altérée du Neubourg-Iton-plaine de Saint-André » du référentiel des MESO.
- Craie du Séno-Turonien, bassin de la Loire du cosson à la Maine (121AB). Sa productivité varie de 10 à 40 m³/h. Cette entité est en lien avec les masses d'eau FRGG085 et FRGG088 du référentiel des MESO.
- Craie du Séno-Turonien, bassin de la Maine (121AA). Sa productivité s'étale de 10 à 80 m³/h. Cette entité est en lien avec la masse d'eau FRGG090 « Craie du Séno-Turonien unité du Loir » du référentiel des MESO.

Les rapports ARS fournissent des informations complémentaires sur les **connexions entre la nappe de la craie et les eaux de surface**. Au niveau de la vallée de l'Eure, il y a continuité hydraulique entre la craie sous-alluviale et les alluvions car il n'existe pas d'horizon imperméable entre les deux formations. Il y a donc des possibilités d'échange entre réservoirs puisque l'on se trouve en présence d'un aquifère bicouche. En conditions normales d'écoulement, les eaux de la craie sont en charge et elles alimentent les alluvions ; le sens des échanges peut localement s'inverser sous l'influence des pompages dans la craie ou lors des crues de la rivière. La nappe de la craie est drainée par l'Eure et son sens général d'écoulement est nord-ouest.

- Au Bois de Ruffin, l'Eure apparaît relativement colmatée, d'après les résultats des essais de débit. La réalimentation induite de la nappe par la rivière du fait du rabattement créé par les captages n'est pas nulle, mais elle est faible par rapport au débit prélevé par les captages. La rivière ne joue donc pas le rôle d'écran hydraulique et la zone d'alimentation des captages s'étend de l'autre côté de l'Eure. Ce colmatage de la rivière peut être dû aux anciennes exploitations de carrières qui ont été effectuées autrefois plus en amont.
- A Saint-Lubin des Joncherets (champ captant des Caves), la nappe correspondante, de type libre, est alimentée par les précipitations efficaces et, au niveau de la vallée lorsqu'il y a continuité hydraulique avec les alluvions, par l'Avre mais seulement au moment des crues de la rivière. Le reste du temps, elle participe au soutien des écoulements superficiels.

Les captages de l'Abîme sont en partie alimentés par la rivière de la Blaise. Enfin, les captages des Près-Hauts, à Vert-en-Drouai, reçoivent une double alimentation par la rivière de l'Avre et la nappe alluviale, et par la nappe de la craie sous les plateaux.

2.2.9. Les sables du Cénomaniens du Bassin parisien (123AC)

Les Sables du Cénomaniens supérieur, dits du Perche, affleurent localement à l'extrême ouest du département dans les vallées et s'enfoncent sous les formations crayeuses et marneuses du Turonien inférieur vers l'est. Leur épaisseur est de plus de 30 m aux affleurements. Elle se réduit rapidement en profondeur et les sables disparaissent approximativement au niveau d'une ligne passant par Courville-sur-Eure/Bonneval. Elle a pour substratum les marnes et la craie marneuse, sableuse et glauconieuse du Cénomaniens.

Des cartes piézométriques ont été réalisées à l'échelle du bassin Loire-Bretagne en basses eaux 1994 (BRGM) (Illustration 25) et en hautes eaux 2003 (Sogreah). La nappe est généralement captive lorsqu'elle se trouve sous couverture de la Craie du Séno-Turonien. La nappe s'écoule vers l'est où elle devient rapidement captive. La nappe est alors artésienne et jaillissante sur quelques forages profonds. Du fait de la couverture marneuse très épaisse (craie turonienne), la nappe est peu productive.

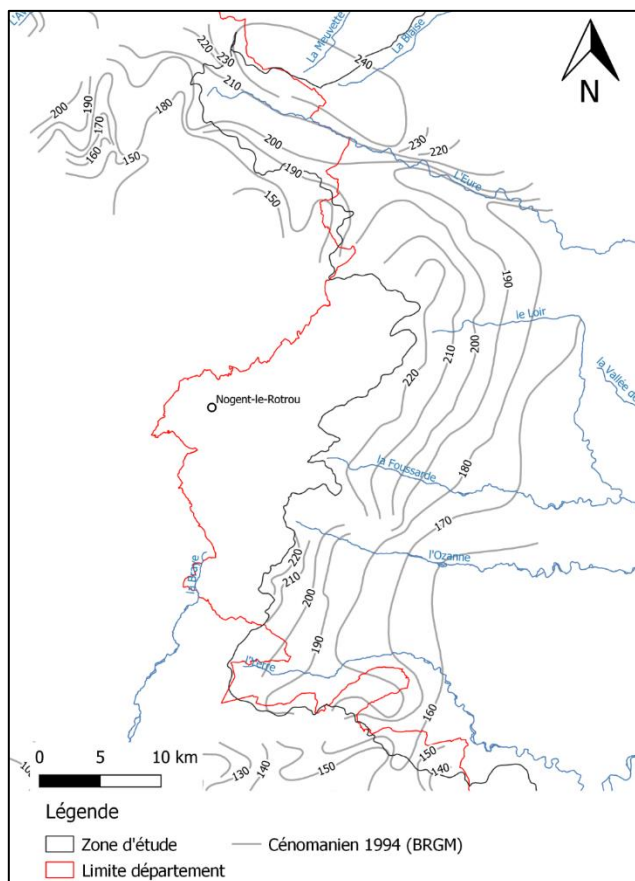


Illustration 25 – Carte piézométrique (en m NGF) de la nappe des Sables du Cénomanien, basses eaux 1994 (BRGM)

En domaine captif, le coût des captages est souvent trop élevé pour permettre une exploitation à des fins agricoles. La nappe des Sables du Perche est presque exclusivement captée pour l'alimentation humaine. En domaine captif profond, des débits d'exploitation relativement faibles (< 50 m³/h) et des coûts de captage élevés ne permettent pas une exploitation de la ressource.

L'ordre de grandeur des perméabilités est de 10⁻⁴ m/s et la productivité varie de 10 à 60 m³/h. Le rapport BRGM/RR-39518-FR indique une productivité variable : de 100 à 150 m³/h à Senonches-Pontguin, vers l'ouest, où la puissance est maximale. Elle se réduit rapidement vers l'est : 7 m³/h au Favril, 3 m³/h à Dangers.

Cette entité est en lien avec la masse d'eau FRGG080 « Sables et grès du Cénomanien unité du Loir » du référentiel des MESO.

2.2.10. Les marnes et craies marneuses du Cénomanien

Ces formations sont regroupées au sein des entités 123BA et 123BS de la BDLISA Niveau 2.

La craie marneuse du Cénomanien est considérée comme semi-perméable et sert de substratum à la craie séno-turonienne supérieure. Cette formation de base renferme de petits niveaux aquifères dans les minces bancs de craie, dont les principaux peuvent donner naissance à des sources à faible débit. L'entité 123BS peut être reliée à la masse d'eau « Craie altérée du Neubourg-Iton-plaine de Saint-André » du référentiel des MESO.

Enfin, les Argiles du Gault, Marnes et Gaizes du Céno-Albien constituent le substratum de notre zone d'étude.

2.3. STRUCTURE DU FUTUR MODELE HYDROGEOLOGIQUE

2.3.1. Discrétisation verticale

Les hydrosystèmes étant complexes, la modélisation cherche à offrir une représentation simplifiée du contexte naturel, sans dénaturer les phénomènes à représenter. D'un point de vue hydrogéologique, il s'agit de représenter le plus simplement possible la succession des formations de perméabilité contrastée qui constituent l'hydrosystème (Barthélémy et *al.*, 2016).

Au regard des aquifères en jeu, un maximum de 8 couches serait à modéliser (Illustration 26).

Les regroupements possibles seront validés en phase 2 de l'étude, notamment celui concernant les systèmes aquifères de Beauce et de l'Eocène. En effet, l'éponte séparant les deux systèmes, les Marnes vertes et supragypseuses, est très peu présente au sein de la zone d'étude (Illustration 27). L'analyse des logs géologiques disponibles en banque du Sous-Sol (BSS) a permis de confirmer la très faible emprise des Marnes vertes (Cf. Illustration 28). Une telle simplification apparaît d'autant plus justifiée que l'objet d'étude reste l'aquifère crayeux.

Par ailleurs, comme ce fut le cas pour le modèle hydrogéologique de l'Avre, il est proposé de subdiviser l'ensemble crayeux en deux couches : 1) la craie séno-turonienne, plus franche et plus productive et 2) la craie du Cénomaniens au Turonien inférieur, plus marneuse et moins productive.

Le Turonien inférieur est un niveau repère dans tous les forages qui le traversent. Il possède des caractéristiques bien particulières : une craie marneuse, de couleur blanche à blanche grisâtre, qui le distingue des craies du Cénomaniens sous-jacentes et une quasi absence de silex (David et *al.*, 2015). Pour un modèle à des fins hydrogéologiques, cet horizon est à associer aux craies du Cénomaniens inférieur et moyen.

Les Marnes à Ostracées (Cénomaniens sup. au Turonien inf.), également très peu présentes sur la zone d'étude (Illustration 27), ne seront pas individualisées, mais regroupées avec le système aquifère des marnes et craies marneuses.

Les Sables du Perche (Cénomaniens sup.) seront individualisés, depuis les affleurements du Perche jusqu'à leur limite d'extension (sous couverture crayeuse).

Enfin, les argiles du Gault, Marnes et Gaizes du Cénomaniens inférieur à moyen et de l'Albien supérieur constitueront le substratum du futur modèle hydrogéologique.

1	Alluvions	1	Alluvions
2	Multicouche Beauce (Oligo-Miocène)	2	Multicouche Beauce (Oligo-Miocène) + Eocène
3	Marnes vertes et supragypseuses (Rupélien)		
4	Multicouche Eocène	3	Argiles de l'Yprésien inf. + Formations détritiques éocène + Argiles à silex
5	Argiles de l'Yprésien inf. + Formations détritiques éocène + Argiles à silex	4	Craie séno-turonienne
6	Craie séno-turonienne	5	Sables du Perche (Cénomanien sup.)
7	Sables du Perche (Cénomanien sup.)	6	Marnes et craies marneuses du Cénomanien au Turonien inf.
8	Marnes et craies marneuses du Cénomanien au Turonien inf.	7	Argiles du Gault, Marnes et Gaizes (Céno-Albien)
9	Argiles du Gault, Marnes et Gaizes (Céno-Albien)		

Illustration 26 – Discretisations verticales envisagées pour une modélisation hydrogéologique de la nappe de la craie en Eure-et-Loir

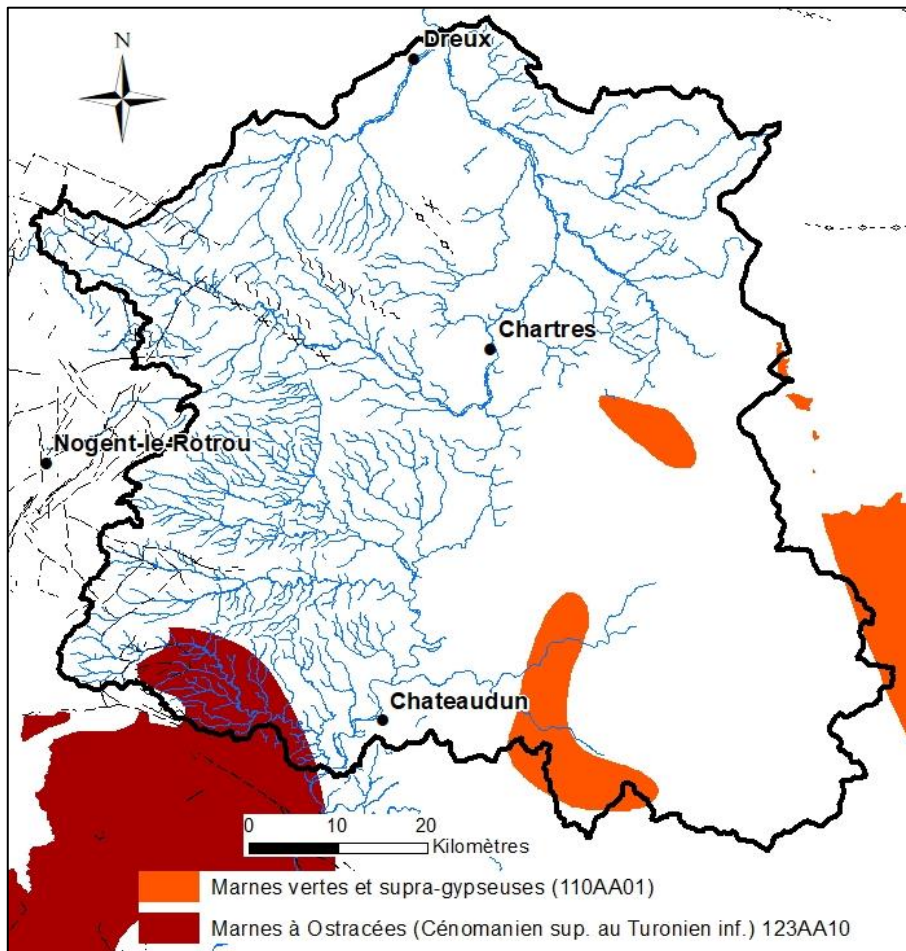


Illustration 27 – Extension des Marnes vertes et supragypseuses et des Marnes à Ostracées au droit de la zone d'étude

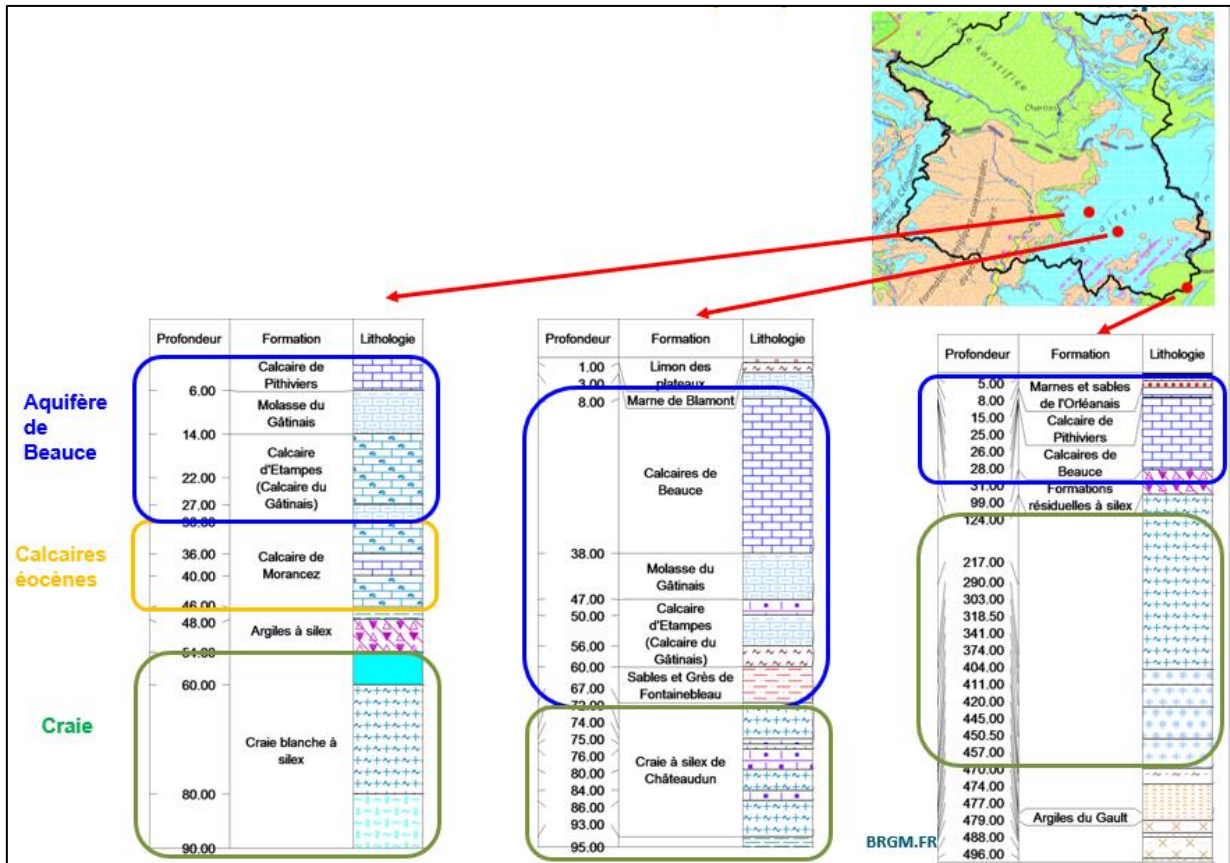


Illustration 28 – Analyse des logs géologiques (BSS) traduisant la quasi-absence des Marnes vertes et supragypseuses

2.3.2. Extension horizontale

Dans la mesure du possible, les limites du modèle hydrogéologique doivent coïncider avec celles du système aquifère pour ne pas biaiser les résultats de simulation par des limites artificielles trop proches ou mal calibrées.

Dans notre cas, les limites physiques de l'aquifère crayeux étant très éloignées, cette approche n'est pas envisageable. Les limites du modèle seront donc basées sur des considérations hydrauliques : les limites de bassins souterrains sont à rechercher (lignes de partage d'eau, limites à flux nul).

Par sécurité, le maximum d'extension des bassins versants hydrographiques et des bassins versants hydrogéologiques a été retenu. La délimitation de ces derniers s'est appuyée sur les cartes piézométriques disponibles ; la liste de ces dernières est détaillée au § 5.4.2. En complément, la piézométrie 2012 de l'aquifère crayeux simulée par le modèle hydrodynamique de l'Albien-Néocomien (Seguin et al., 2015) a également été utilisée afin de mieux appréhender la limite sud (Cf. carte B, Illustration 29).

A noter que la BD Traçages (<https://bdtracages.brgm.fr/>) ne répertorie aucun traçage positif dans notre zone d'étude, la craie apparaît donc peu karstifiée et le tracé des bassins souterrains à partir de cartes piézométriques à petite échelle apparaît acceptable.

Les crêtes piézométriques tracées à partir des cartes piézométriques ainsi que la délimitation de la zone d'étude sont présentées par l'illustration 29. Les crêtes piézométriques et topographiques sont globalement bien superposées, même si de petites différences sont observées.

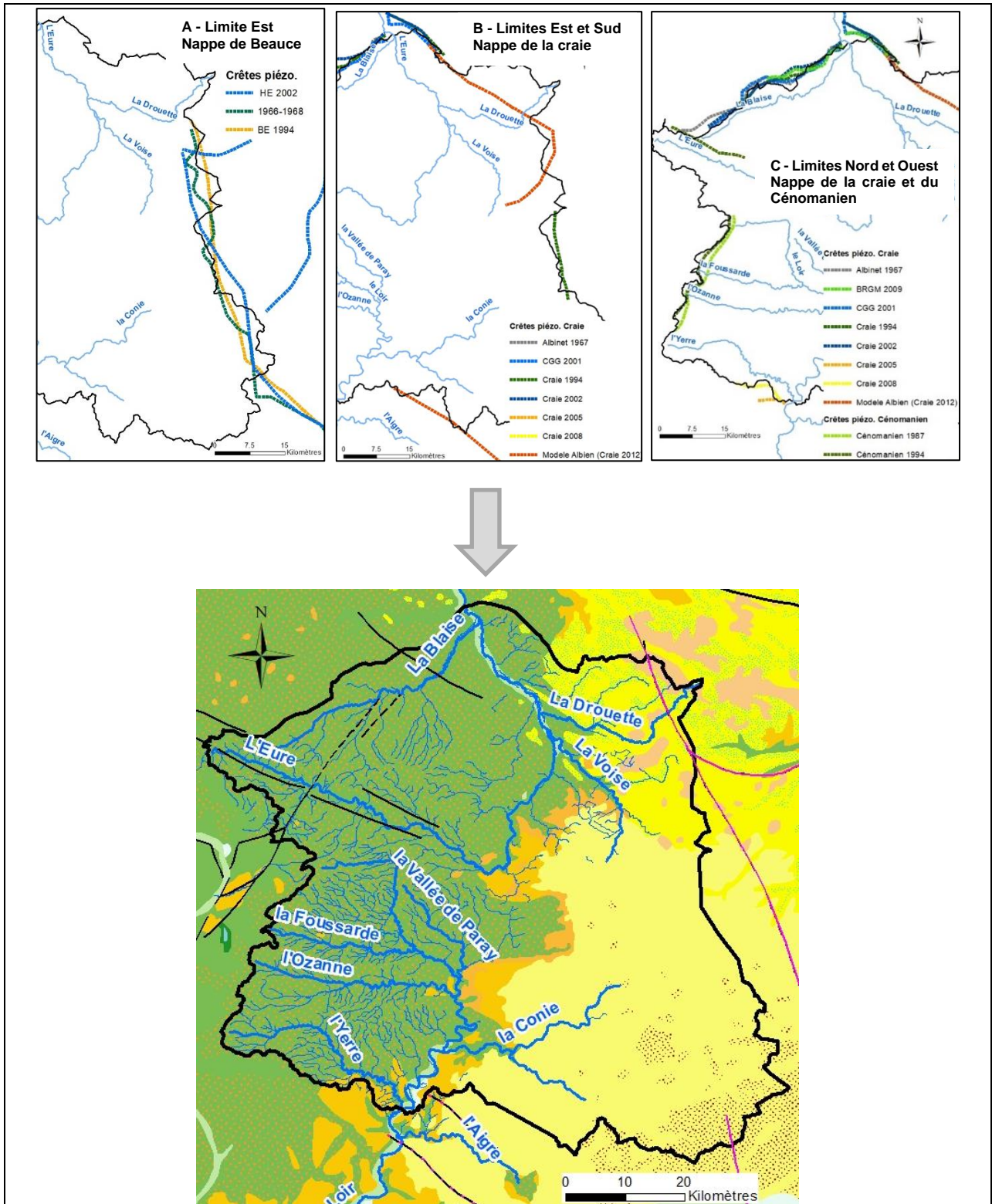


Illustration 29 – Délimitation de la zone à modéliser après croisement des bassins versants hydrographiques et souterrains

La zone ainsi délimitée présente une superficie de 5 918 km². Elle englobe la totalité des bassins versants des cours d'eau suivants : la Blaise, l'Eure en amont de Dreux, la Drouette, la Voise, le Loir en amont de sa confluence avec l'Yerre, la Foussarde, l'Ozanne ainsi que la Conie (Illustration 29). Le contrôle de la totalité des bassins versants permet d'éviter d'intégrer en entrée du modèle hydrogéologique des chroniques de débits approximatives.

Ces limites étant éloignées des secteurs à enjeux quantitatifs (vallées de l'Eure et du Loir, est de Chartres), les biais éventuellement introduits n'impacteront pas les simulations.

3. Analyse des modèles géologiques existants

Initialement, le modèle géologique réalisé pour le SIGES Centre Val de Loire (<http://sigescen.brgm.fr>) avait été identifié (Cf. § 3.2) pour répondre aux besoins d'une modélisation hydrogéologique de la nappe de la craie en Eure-et-Loir. La présente étude visait à vérifier son adéquation avec les caractéristiques hydrogéologiques de la zone à modéliser (couches géologiques modélisées, taille des mailles, etc.).

Comme plusieurs autres modèles géologiques couvrent partiellement la zone d'étude, il a été décidé d'étendre l'analyse à l'ensemble des modèles. Les principales caractéristiques de chacun d'entre eux sont présentés dans la suite du chapitre, avant de conclure quant aux perspectives de valorisation de ces modèles géologiques.

3.1. HYDROGEOLOGIE DE L'AQUIFERE DE LA CRAIE EN EURE-ET-LOIR (CGG, 2001)

Dans le cadre de l'étude hydrogéologique de l'aquifère crayeux commanditée par le Conseil Général d'Eure-et-Loir, la Compagnie Générale de Géophysique (CGG) a produit en 2001 différents documents cartographiques à l'échelle du 1/100 000 :

- Isopaques des formations de recouvrement : à l'est de la limite tertiaire, il a d'abord été calculé le toit de la craie à partir des données de forage, l'épaisseur des formations de recouvrement a été obtenue par différence entre la topographie et le toit de la craie. A l'ouest de la limite tertiaire, les épaisseurs ont directement été calculées à partir des données de forage. Les alluvions sont distinguées des autres formations superficielles dans le cours aval des principaux cours d'eau.
- Isohypses du toit de la craie : à l'est de la limite tertiaire, les altitudes sont calculées directement à partir des données ponctuelles de forage tandis qu'à l'ouest, les isohypses ont été construites par différence avec la topographie des épaisseurs d'alluvions et du recouvrement crayeux.
- Isohypses de la base du Cénomaniens, utilisées pour le calcul d'une carte des épaisseurs de la craie mouillée. Concernant cette carte, aucun autre détail n'est mentionné dans le rapport de la CGG.
- Carte structurale, qui s'est notamment appuyée sur l'interprétation d'anciennes campagnes sismiques (entre 1954 et 1965). Si ces dernières ont permis de prolonger certaines structures vers l'est, elles n'ont pu être valorisées pour cartographier la craie et la base du Cénomaniens, trop proches de la surface (caractère sismique disparaît complètement pour ces premiers horizons)

Il ne s'agit donc pas ici d'un modèle géologique 3D à proprement parler. Les couches S.I.G. ont été transmises par le CD28 (à l'exception des isohypses de la base du Cénomaniens).

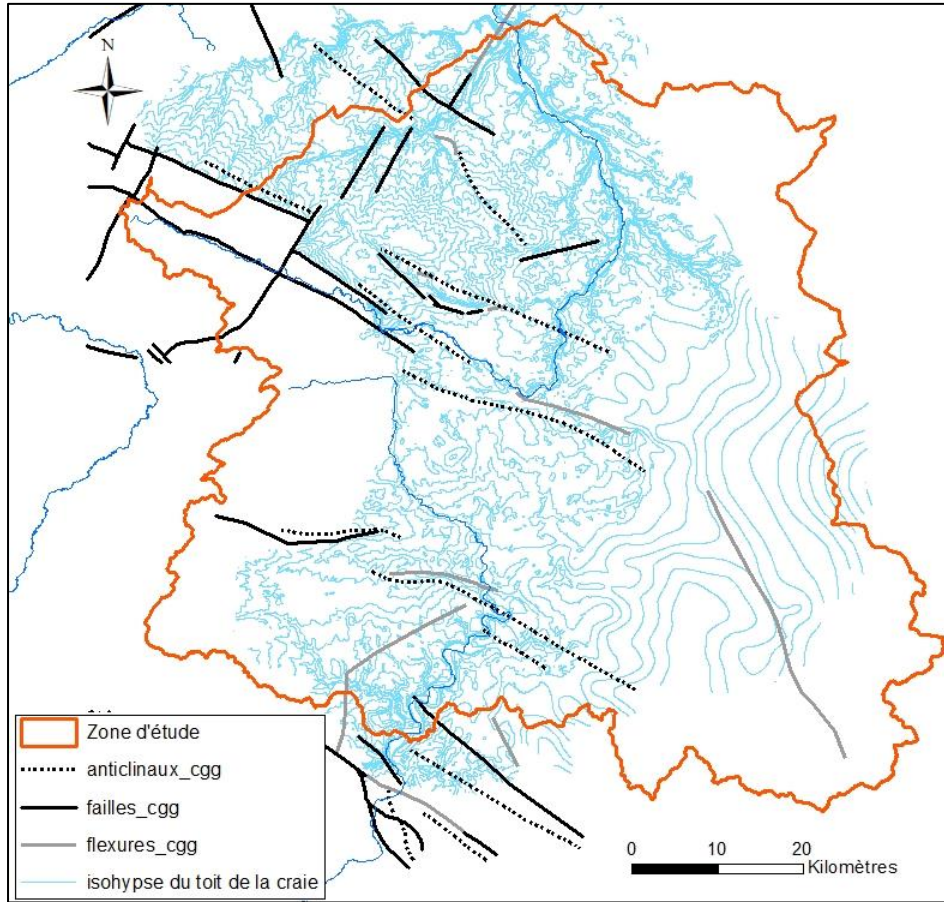


Illustration 30 – Carte d'isohypses du toit de la craie (CGG, 2001)

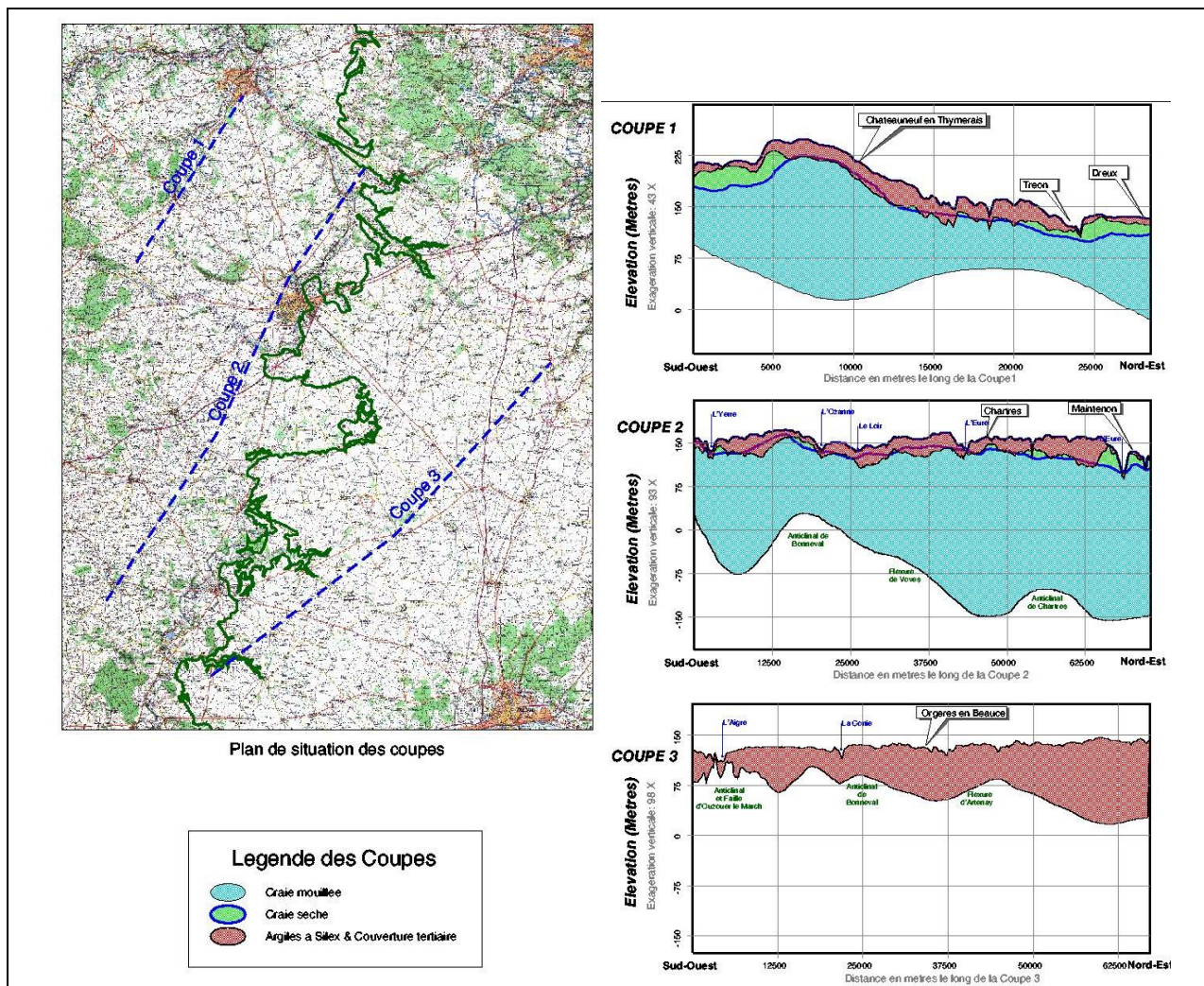


Illustration 31 – Coupes hydrogéologiques SO-NE dans le département d'Eure-et-Loir (CGG, 2001)

3.2. MODELE GEOLOGIQUE DE L'AVRE (BRGM, 2015)

Pour les besoins du modèle hydrodynamique de l'aquifère crayeux du bassin de l'Avre (Eure), un modèle géologique a été élaboré par le BRGM à l'aide du logiciel GDM (Geological Data Management) et de son composant Multilayer (Bourgine et al., 2008) (<https://www.brgm.fr/production-scientifique/logiciels-scientifiques/gdm-multilayer-modelisation-geologique>).

Les données utilisées et la méthodologie déployée sont détaillées dans le rapport BRGM/RP-64817-FR (David et al., 2015).

Ce modèle couvre uniquement l'extrémité nord-ouest de notre zone d'étude (Illustration 32).

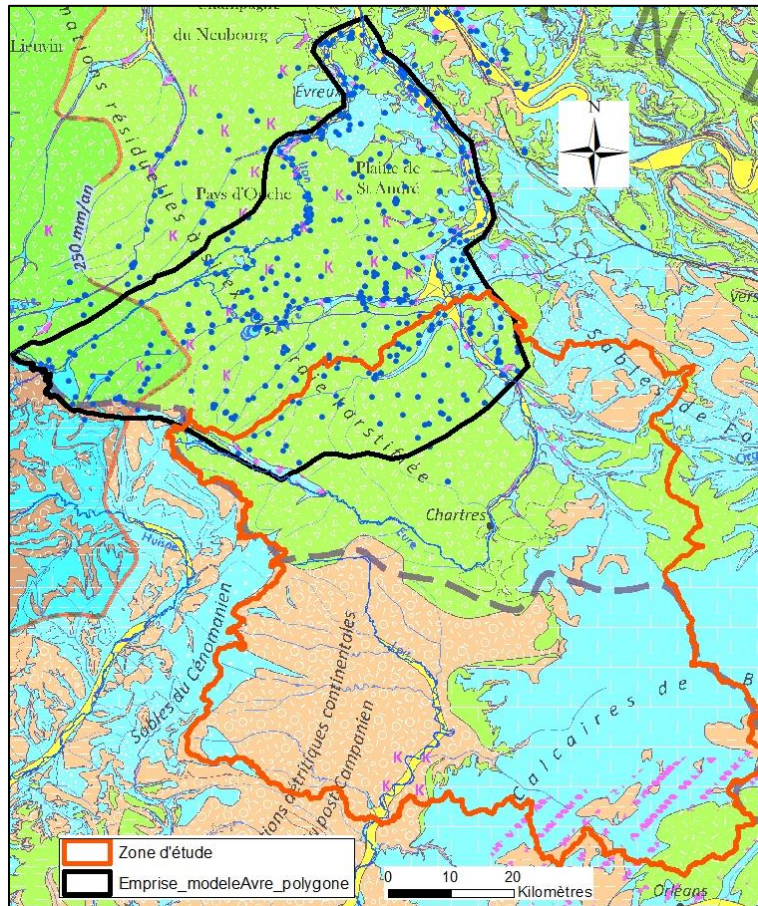


Illustration 32 – Extension du modèle géologique de l'Avre

Suite à une analyse géologique détaillée, la pile litho-stratigraphique des formations géologiques à modéliser a pu être définie, elle est constituée de neuf couches avec trois surfaces d'érosion (Cf. EROD, Illustration 33). Les argiles du Gault, les argiles à silex et les alluvions reposent en érosion sur les formations sous-jacentes tandis que les autres formations se sont déposées sur les précédentes.

Code Pile	Surface	Formations individualisées dans le modèle géologique	Formations géologiques incluses
ALLU		ALLUvions	Alluvions
ARGS	EROD	ARGiles à Silex	Argiles à silex
SENO	EROD	SENOnien	Craies du Sénonien et du Turonien Moyen et Supérieur
CENS		CENomanien Supérieur	Craies du Turonien inférieur et du Cénomanien Moyen et supérieur
PERC		Sable de PERChe	Sables du perche
CENI		CENomanien Inférieur	Craies sableuses, marneuses du Cénomanien inférieur
CENB		CENomanien Basal	Glauconie de base
GAUL		GAULT	Argiles de gault et sables de l'albien/aptien
BASE	EROD	BASE	Formations ante-cretacé

Illustration 33 – Pile litho-stratigraphique utilisée pour la modélisation géologique du bassin versant de l'Avre (extrait du rapport BRGM/RP-64817-FR, David et al., 2015)

La grille de calcul a été définie à la maille carrée de 250 m. Cette première grille, utilisée pour l'interpolation des interfaces, a ensuite été ré-interpolée selon une grille de 100 m.

La surface topographique a été générée à partir du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'IGN au pas de 25 m (BDALTI) ré-échantillonné à la maille de 100 m par la méthode d'interpolation moyenne mobile.

Lors de la construction du modèle hydrodynamique de l'Avre, plusieurs modifications ont été apportées (David et al., 2017) pour finalement réduire le nombre de couches à 5 (horizons hydrogéologiques structurants, cf. Illustration 34) :

- les formations des alluvions et des argiles à silex ont été regroupées ;
- les formations inférieures (à partir de la Glauconie de base), correspondant au substratum de la zone d'étude, n'ont pas été considérées dans le modèle hydrogéologique ;
- une couche correspondant à l'horizon de craie altérée a été ajoutée pour répondre au caractère karstique de l'aquifère crayeux dans le bassin de l'Avre : « afin de représenter au mieux le comportement différentiel de la craie selon si elle est majoritairement fissurée/karstique ou saine, il a donc été décidé d'introduire une couche dite de « craie altérée », étendue sur l'ensemble de la zone modélisée et recoupant la craie sous les formations à silex, alluvions et sables du Perche, au niveau de laquelle il a été appliquée des paramètres propres à un comportement altéré et/ou karstique, telle qu'une forte perméabilité dans les secteurs concernés. L'épaisseur de cette couche (craie altérée) a été établie, à dire d'expert, soit à une trentaine de mètres sous les vallées et une quinzaine de mètres sous les plateaux. » (David et al., 2017).

	Formations hydrogéologiques	Epaisseur
1	Alluvions et formations à silex	Aquifère
2	Sables du Perche	Aquifère
3	Craie altérée	Aquifère
4	Craie du Sénonien et Turonien supérieur et moyen	Aquifère
5	Craie du Turonien inférieur et Cénomaniens	Aquifère

Illustration 34 – Couches du modèle hydrogéologique du bassin versant de l'Avre (extrait du rapport BRGM/RP-64826-FR, David et al., 2017)

La distinction de deux couches au sein de la craie (Sénonien et Turonien supérieur et moyen / Turonien inférieur et Cénomaniens) avait été justifiée en raison d'une différence de perméabilité et pour anticiper une reconnaissance future de la craie profonde dans le but de capter une eau dépourvue de nitrates.

3.3. MODELE GEOLOGIQUE DU SIGES (BRGM, 2018)

Ce modèle, réalisé par le BRGM pour les besoins du SIGES Centre Val de Loire (Tourlière, 2018), a également été conçu à l'aide de la suite logicielle GDM-Multilayer. La grille de calcul a été définie à la maille carrée de 500 m.

Il englobe la quasi-totalité de notre zone d'étude, seules son extrémité nord-est et l'extrémité amont de l'Eure ne sont pas couvertes (Illustration 35).

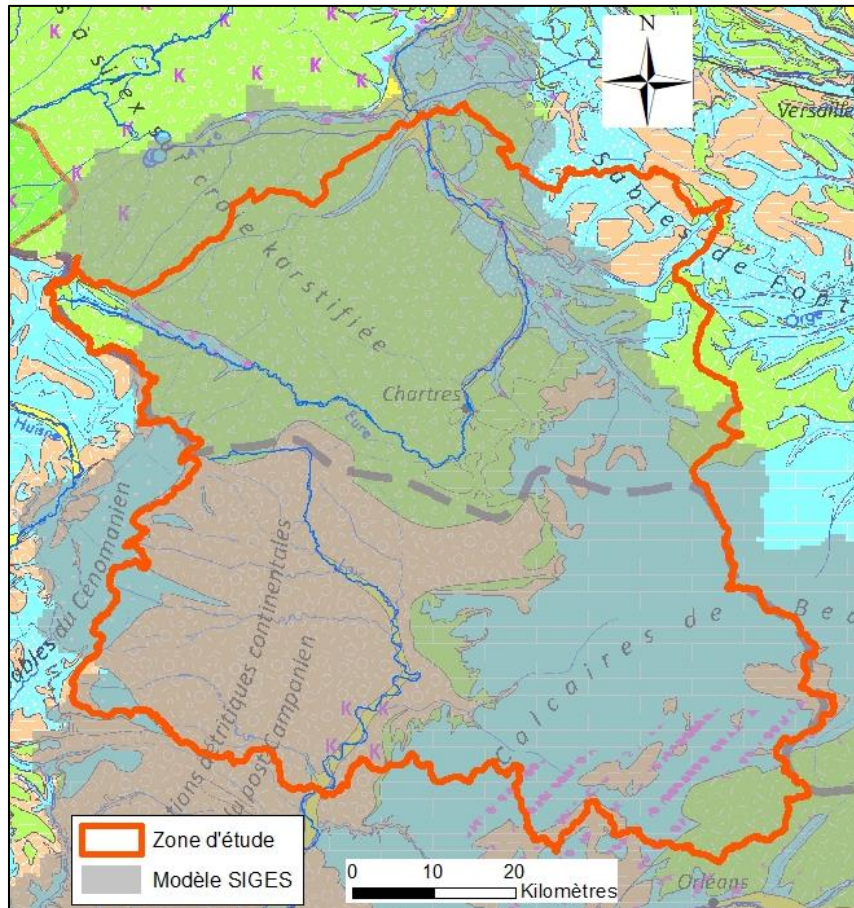


Illustration 35 – Extension du modèle géologique du SIGES

La pile litho-stratigraphique retenue est constituée de 20 horizons, des alluvions au socle antétriasique (Illustration 36) :

- La couche dite « Calcaire de Beauce » regroupe le grand système multicouche de l'Oligo-Miocène du Bassin parisien (nappe de Beauce, code BDLISA : 107) ainsi que la formation des Marnes vertes et supra-gypseuses (code BDLISA : 110AA01).
- La couche dite « Sables et argiles éocènes » regroupe le grand système multicouche de l'Eocène du Bassin parisien (nappe du Champigny, code BDLISA : 113) ainsi que les argiles de l'Yprésien inférieur (code BDLISA : 117) et les formations résiduelles à silex (code BDLISA : 119).
- La couche dite « Craie » correspond à l'ensemble du grand système crayeux, du Campanien au Turonien (code BDLISA : 121).
- La couche dite « Marnes infra-craie » regroupe les marnes du Cénomaniens au Turonien inférieur (Marnes à Ostracées notamment).
- Enfin, sont distingués les sables du Perche (couche dite « Sables cénomaniens »).

Formation	Type Surf.	Description
ALLU	EROD	Alluvions
RECO	EROD	Recouvrement Plio-Quaternaire
CABE	EROD	Calcaire de Beauce
IBEA	EROD	Sables et argiles éocènes
CRAI	EROD	Craie
ICRA	EROD	Marnes infra-craie
SCEN	EROD	Sables cénomaniens
ICEN	EROD	Marnes et argiles céno-abiens
SALB	EROD	Sables albiens
IALB	EROD	Aquitard Aptien-Tithorien
CJUR	EROD	Calcaire du Jur. sup.
MKIM	EROD	Marne du Kimméridgien
KIOX	EROD	Calcaire Kim-Oxfordien
MOXF	EROD	Marnes oxfordiennes
CDOG	EROD	Calcaire du Dogger
MTOA	EROD	Marnes toarciennes
CALI	EROD	Calcaire du Lias
MLIT	EROD	Marnes du Lias-Trias
GTRI	EROD	Gres du Trias
SOCL	EROD	Socle infra-triasique

Horizons intéressants l'étude

Illustration 36 – Pile litho-stratigraphique utilisée pour la modélisation géologique du SIGES Centre Val de Loire

La base de données de forages issus des logs validés comprend 15 234 forages dont 12 941 ont été retenus après contrôle de cohérence pour produire le modèle (Illustration 37).

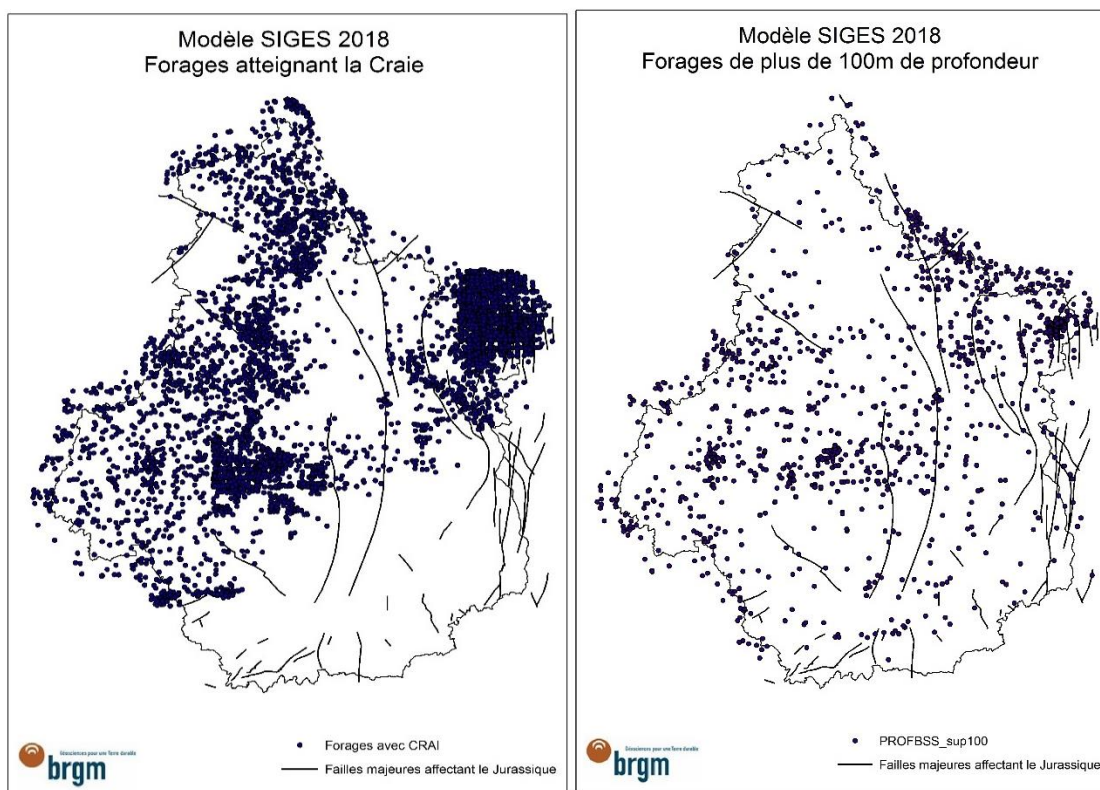


Illustration 37 – Densités de forages utilisés pour le modèle géologique du SIGES Centre Val de Loire (forages atteignant la craie à gauche, forages de plus de 100 m de profondeur à droite)

3.4. LE PROJET MODGEAU (BRGM, 2020)

Initié en toute fin d'année 2016, dans le cadre d'un partenariat entre l'Agence de l'Eau Loire Bretagne et le BRGM, le programme scientifique MODGEAU (MODèle Géologique pour la gestion des ressources en EAU) a pour vocation d'améliorer la connaissance géologique des formations sédimentaires de la bordure sud-ouest du bassin parisien, depuis l'amont de la Sarthe dans l'Orne au nord jusqu'à la Dive dans les Deux-Sèvres, depuis l'extrémité du Massif Armoricain à l'ouest, à la Touraine et au Vendômois à l'ouest (rapports BRGM à paraître). Initialement, le sud de l'Eure-et-Loir était couvert par le projet (Illustration 38).

Le projet MODGEAU vise à mieux comprendre la géométrie des grands ensembles aquifères et leurs interactions possibles en reprenant les données géologiques et hydrogéologiques, et en les interprétant selon des méthodes développées pour le domaine pétrolier (stratigraphie séquentielle, litho-stratigraphie, structurale, cartographie terrain, géophysique...).

Le modèle géologique devrait être livré fin 2020. Face au peu de données disponibles dans le département de l'Eure-et-Loir (Cf. Illustration 38), celui-ci ne couvrira finalement pas notre zone d'étude. En revanche, il sera possible de valoriser les diagraphies compilées dans le cadre du projet MODGEAU (Illustration 38).

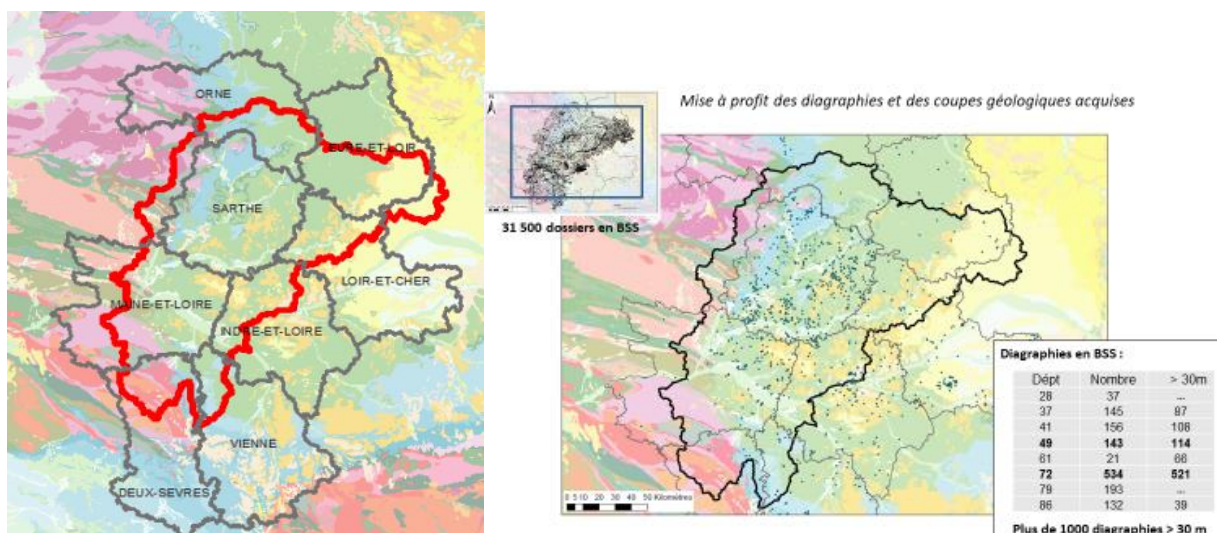


Illustration 38 – Emprise du projet MODGEAU (polygone rouge sur la carte de gauche) et dossiers BSS et diagraphies compilées (carte de droite)

3.5. MODELE DU SYSTEME AQUIFERE DE BEAUCE (BRGM, 1999)

Le modèle géologique élaboré par le BRGM est ici de résolution kilométrique. L'illustration 39 présente l'emprise totale du modèle ; en toute logique, celui-ci s'arrête à la limite du Tertiaire (moitié est de notre zone d'étude).

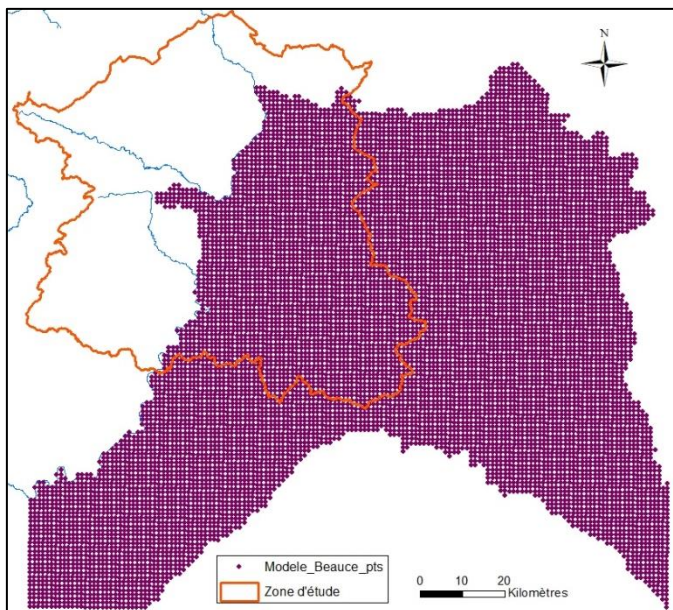


Illustration 39 – Emprise du modèle géologique du bassin de Beauce (Martin et al., 1999)

Le tableau suivant récapitule les différentes formations géologiques distinguées, des plus récentes aux plus anciennes (Illustration 40). Chaque formation géologique constitutive du grand système multicouche de la nappe de Beauce est ici individualisée.

Pile lithologique du modèle de Beauce	Pile litho-stratigraphique envisagée pour le modèle de la craie
Calcaire de l'Orléanais	Système aquifère multicouche de Beauce
Marnes de Blamont	
Calcaire de Pithiviers	
Molasse du Gâtinais	
Calcaire d'Etampes	
Sables et grès de Fontainebleau	
Marnes à huîtres	
Calcaires de Brie	Marnes vertes et supra-gypseuses du Rupélien
Argiles vertes et marnes supra-gypseuses	Système aquifère multicouche de l'Eocène
Calcaires éocènes	Formations superficielles peu perméables
Argiles à silex et formations détritiques éocènes	Toit de la craie
Toit de la craie	

Illustration 40 – Pile lithologique du modèle du bassin de Beauce et correspondances envisagées pour le modèle de la craie d'Eure-et-Loir

3.6. MODELE GEOLOGIQUE DU TERTIAIRE (BRGM, 2011)

Un modèle géologique 3D des aquifères tertiaires a été réalisé par le BRGM pour le compte de la DRIEE Ile-de-France (Bialkowski et al., 2011). Initialement centré sur le département de Seine-et-Marne (convention 2006), il a d’abord été étendu à la région Ile-de-France (convention 2007) puis à l’ensemble du bassin hydrographique de Seine Normandie, soit une superficie de 25 000 km² (convention 2009) (Illustration 41).

La modélisation a été réalisée à l’aide de la suite logicielle GDM-Multilayer (version 6.0), avec une maille de 250 m.

Ces travaux pourront également être valorisés pour la modélisation du domaine tertiaire recoupant la zone d’étude (Illustration 42).

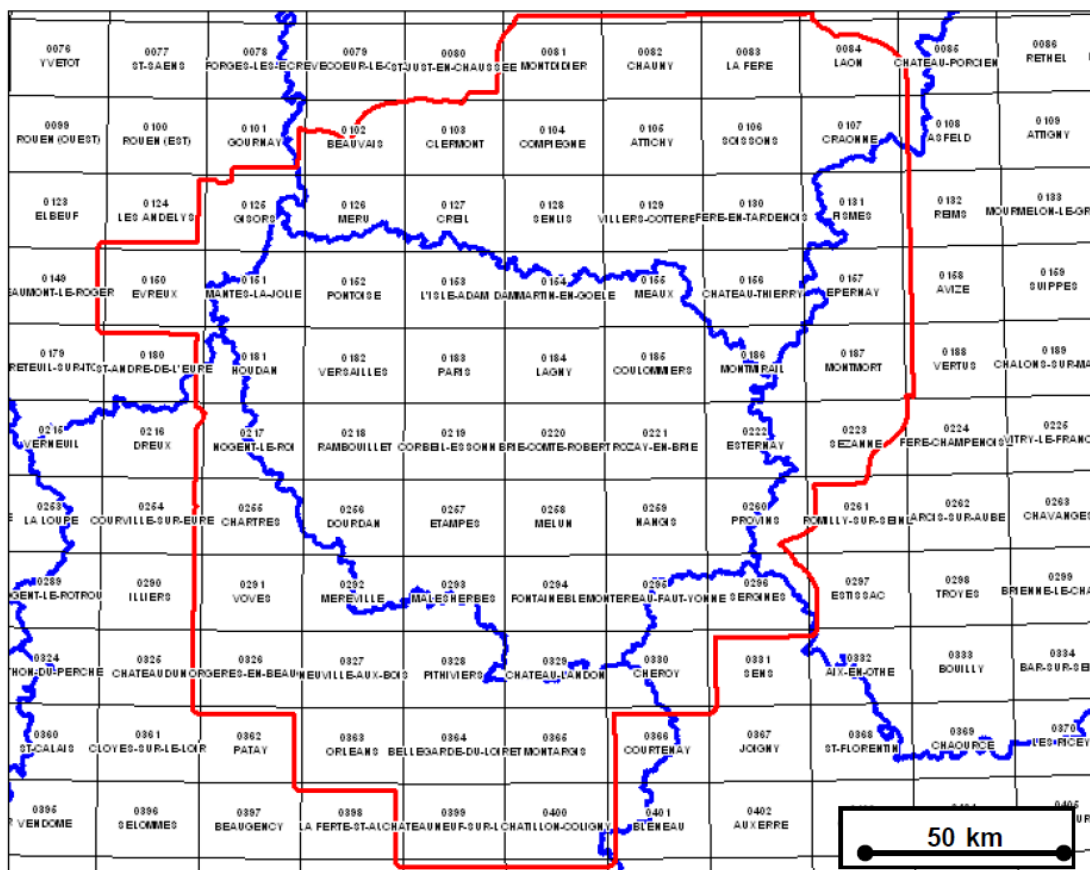


Illustration 41 – Emprise du modèle géologique du Tertiaire réalisé par le BRGM en 2011 (limites départementales en bleu) (extrait du rapport BRGM/RP-60272-FR)

Formation	Surf. type	Description	
ALLU		Alluvions	
QUAT	EROD	Quaternaire	
MIOC	EROD	Plio-Mio-Chartien	Multicouche Beauce (107)
FONT		Fontainebleau	
BRIE	EROD	Calcaire de Brie	
MAVE		Marnes Vertes	
MSUP		Marnes Supragypseuses	Marnes vertes et supra-gypseuses (110)
CHAM		Champigny	Multicouche Eocène (113)
MINF		Marnes Infragypseuses	
OUEN		Saint-Ouen	
AUVE		Auversien	
LUTE		Lutétien	
CUIS	EROD	Cuisien	
SPAR	EROD	Sparnacien	
DANE	EROD	Thanétien-Dano-Pal	
CRAI	EROD	Craie	

Illustration 42 – Pile litho-stratigraphique retenue pour la modélisation géologique des aquifères tertiaires et correspondances BDLISA (extrait du rapport BRGM/RP-60272-FR)

3.7. ANALYSES COMPARATIVES

Dans le but de tester la robustesse du modèle géologique du SIGES, ce dernier a été comparé aux résultats obtenus par le modèle géologique de l'Avre. Cette analyse a révélé plusieurs différences significatives et incohérences.

En préambule, il faut signaler que des écarts sont inévitables, principalement en raison des différences suivantes : mailles de restitution (100 m pour l'Avre contre 500 m pour le SIGES), les sondages utilisés pour l'interpolation varient d'un modèle à l'autre (Cf. Illustration 43) et les éléments structuraux considérés diffèrent (faille de Thymerais non considérée par le modèle du SIGES).

Un exemple est fourni ci-après pour le toit de la craie sur la zone commune aux deux modèles. Les différences peuvent localement dépasser 20 m, dans un sens comme dans l'autre. Dans certains secteurs, cela s'explique en partie par le fait que les sondages utilisés ne sont pas les mêmes (Cf. Illustration 43). En revanche, des écarts importants sont également constatés au droit de sondages communs aux deux modèles.

Après contrôle de certains logs géologiques (02167X0045, 02166X0004, 02168X0032, 02165X0004 ; cf. cercles noirs, Illustration 43), chacun des deux modèles semble présenter des incohérences entre la valeur interpolée et la cote du toit de la craie reportée sur la coupe géologique.

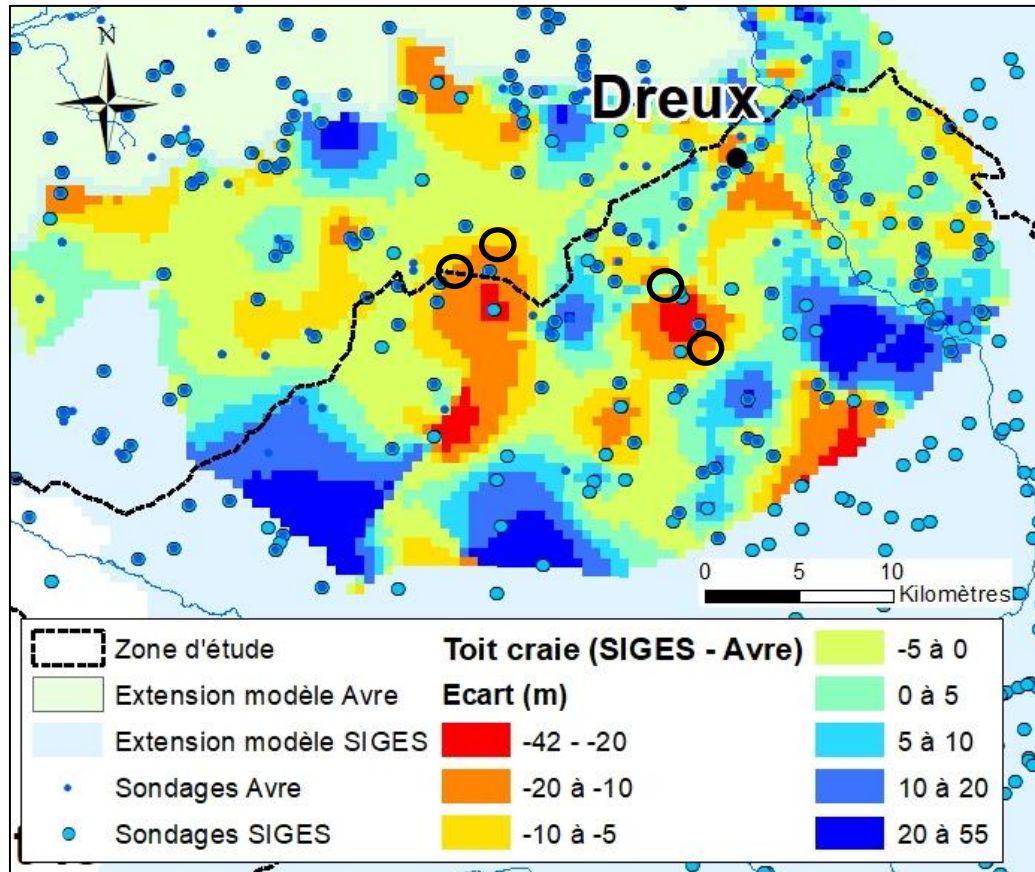


Illustration 43 – Exemple de différences constatées entre les modèles géologiques de l'Avre et du SIGES sur le toit de la craie

3.8. PERSPECTIVES

Tout d'abord, chacun des modèles géologiques étudiés ne couvrent que partiellement la zone à modéliser, même si le modèle du SIGES en couvre une très grande majorité.

Comme supposé initialement, ce dernier est le plus à même d'être valorisé, du point de vue de son extension mais également du point de vue de la pile litho-stratigraphique modélisée. En effet, une bonne adéquation est notée avec les aquifères et aquitards qu'il est envisagé de modéliser, à l'exception de la formation des argiles à silex qui n'est pas individualisée en domaine tertiaire cf. § 3.3).

Cependant, la grille de calcul (500 m) mériterait d'être affinée et plusieurs incohérences ont été mises en évidence après confrontation de ses résultats au modèle géologique de l'Avre et à certains logs géologiques (Cf. § 3.7).

En conclusion de cet inventaire des modèles géologiques disponibles, il s'avère qu'aucun ne permet de répondre totalement aux besoins d'un modèle hydrogéologique de la nappe de la craie entre Perche et Beauce. En revanche, le futur travail de modélisation géologique pourra s'appuyer sur tous ces modèles. En particulier pour les modèles de l'Avre, du SIGES, du système aquifère de Beauce et du Tertiaire dont le codage des logs géologiques pourra directement être récupéré ou valorisé par regroupement (Cf. exemples, Illustration 40 et Illustration 42).

Préalablement, l'interprétation des sondages portant des informations contradictoires d'un modèle à l'autre devra être reprise.

En complément des bases de données de sondages existantes, les logs géologiques disponibles en BSS et non valorisés par les modèles géologiques existants (Cf. points noirs, Illustration 44) seront examinés et codés le cas échéant afin d'intégrer le jeu de données. Il faut signaler qu'aucune investigation géophysique n'a été identifiée au cours de cette première phase d'étude.

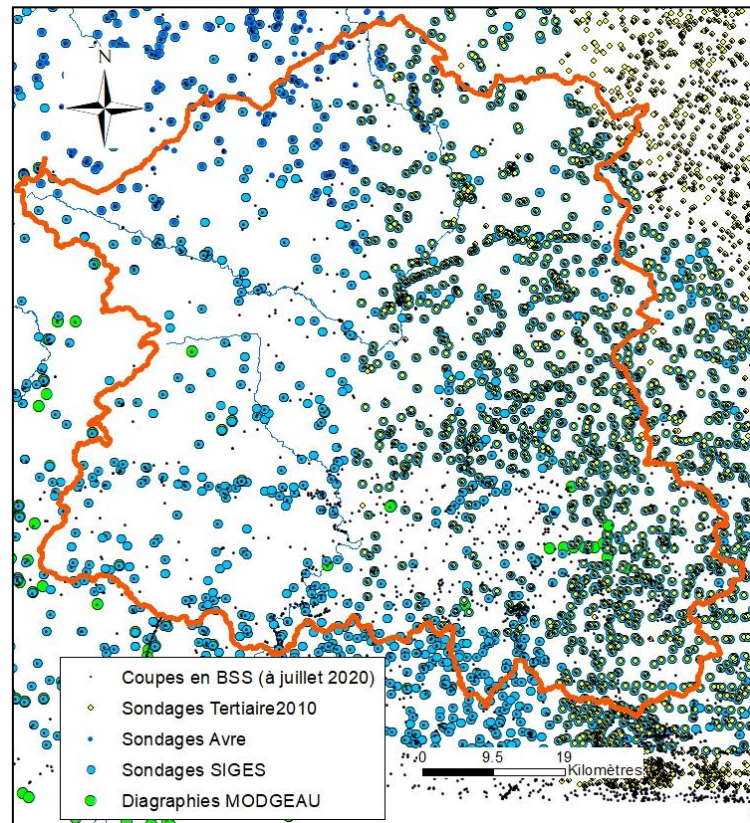


Illustration 44 – Logs géologiques exploités par les modèles de l'Avre et du SIGES et données complémentaires disponibles (BSS, MODGEAU)

4. Prélèvements et rejets

4.1. SOURCES D'INFORMATIONS COMPILÉES

Les données de prélèvement ont été collectées auprès de différents organismes :

- Les volumes annuels prélevés déclarés à titre de redevance pour l'irrigation, les industries et l'eau potable ont été transmis par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN) pour le bassin de l'Eure et par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne (AELB) pour le bassin du Loir.
- La Direction Départementale des Territoires d'Eure-et-Loir (DDT28) a également fourni une base de donnée de prélèvements déclarés pour l'usage irrigation à l'échelle du département.
- L'ARS dispose également de débits moyens d'exploitation sur des forages AEP à l'échelle du département.
- Eau de Paris pour le champ captant de Montreuil-sur-Eure.
- Enfin, le SAGE Nappe de Beauce possède des informations sur la répartition mensuelle des pompages dans la nappe de Beauce pour l'irrigation, issues d'enquêtes annuelles réalisées par les DDT des 6 départements concernés par la nappe de Beauce.

Dans un premier temps, chaque jeu de données sera décrit (§ 4.2 à § 4.5) ; les croisements entre bases de données et les traitements réalisés seront ensuite discutés (§ 4.6)

Les données de rejet ont été transmises par la DDT28 (§ 4.7).

4.2. DESCRIPTION DES PRELEVEMENTS AESN

Les volumes annuels transmis par l'AESN couvrent la période de 1994 à 2018.

Ces volumes annuels sont déclarés par numéro de compteur d'eau au titre de la redevance « prélèvements » perçue par l'AESN. Ces compteurs peuvent être reliés à plusieurs points de captage et, à l'inverse, un point de captage peut correspondre à plusieurs compteurs. Dans le fichier de l'AESN, tous les points de captage sont identifiés par un numéro de point de prélèvement entre 2008 et 2018. Pour les prélèvements souterrains, celui-ci correspond au code BSS lorsqu'il est connu.

Tous les compteurs et points de captage associés ayant des valeurs à partir de 2008 possèdent des informations sur le type de prélèvement (surface ou souterrain), la masse d'eau associée, et les coordonnées géographiques en Lambert 93. La qualité de la géolocalisation est déterminée selon la nomenclature suivante : d'après la carte IGN 1/25 000, avec ou sans avis d'expert, sur avis d'expert, selon le centroïde de la commune, ou par GPS.

Les volumes annuels antérieurs à 2008 ne disposent pas de coordonnées géographiques ni de numéro d'identification. Ils sont fournis par numéro de compteur sans lien avec un point de captage. Le propriétaire du compteur et la commune où ce dernier est situé sont néanmoins fournis.

Le fichier transmis comporte un total de 1344 compteurs. Parmi eux, 1087 disposent de volumes annuels non nuls sur la période 1994-2018 dans la zone d'étude.

De plus, compte-tenu d'un niveau d'information différent, nous distinguerons les volumes annuels sur la période 1994-2007 et les volumes annuels sur la période 2008-2018. En effet, il n'apparaît pas possible de trouver de correspondance directe entre les points de captage des deux périodes (Cf. § 4.6).

4.2.1. Période 2008-2018

Sur cette période, on dispose d'informations pour 480 points de captage géolocalisés, suivis par 490 compteurs. 451 de ces points de captage sont relatifs aux eaux souterraines, 29 aux eaux superficielles. Le tableau suivant récapitule la qualité du géoréférencement pour ces 480 points de captage :

Qualité du géoréférencement	Nombre de points de captage
Localisation d'après la carte IGN 1/25000 avec avis d'expert	290
Localisation d'après la carte IGN 1/25000	24
Localisation d'après la carte IGN 1/25000 (exploitation de la toponymie)	7
Localisation sur avis d'expert	41
Répartition aléatoire (ou pseudo aléatoire)	2
GPS	93
Localisation d'après fond de carte (photo aérienne, Corine Land Cover, etc.)	13
Centroïde de la commune (ou assimilé)	10

Illustration 45 – Qualité du géoréférencement des points de captage AESN (période 2008-2018)

Les points de captage d'eau souterraine géolocalisés peuvent être reliés à une masse d'eau souterraine via le code « Masse d'eau » fourni. Le nom de la masse d'eau souterraine a pu être déterminé en reliant cette ancienne version du code avec le référentiel Masse d'eau souterraine version 2010. On dénombre ainsi 194 points associés à la « Craie altérée du Neubourg – Iton - Plaine de Saint-André », 225 aux « Calcaires tertiaires libres de Beauce », 22 aux « Sables et grès du Cénomani sarthois », 1 au « Tertiaire du Mantois à l'Hurepoix », et 2 à « l'Albien-néocomien captif ». A noter que, contrairement au référentiel « Masse d'eau » plus récent, la version 2010, plus ancienne, fait la distinction entre la nappe de la craie et la nappe de Beauce. L'attribution proposée ici se base donc sur une version plus ancienne du référentiel.

7 points de captage n'ont pas de masses d'eau identifiées. Après analyse de la BSS, seul un point peut être associé à l'aquifère crayeux. Les points restants sont localisés au droit des calcaires de Beauce et leur affectation entre les nappes de la Craie et de Beauce reste incertaine.

Sur les 451 points de captage souterrain, 279 sont dédiés à l'irrigation seule, 139 à l'AEP, 28 à l'industrie, 4 à l'industrie et l'AEP, et 1 à l'industrie et l'irrigation.

Sur les 29 points de captage eaux de surface, 26 sont dédiés à l'irrigation, 2 à l'industrie et 1 à l'alimentation en eau potable.

Il faut noter que les volumes prélevés pour les usages irrigation et industrie ne sont pas disponibles en 2018 dans la base de donnée AESN.

4.2.2. Période 1994-2007

Les volumes annuels sur cette période sont transmis par compteur, avec comme seule information l'usage associé au compteur et l'adresse du site avec la commune où le compteur est situé.

1004 compteurs disposent de données (volumes non nuls) sur cette période. 693 sont dédiés à l'irrigation, 261 à l'AEP, 47 à l'industrie, et 3 à l'AEP et l'industrie.

4.2.3. Bilan des volumes prélevés

L'illustration 46 représente l'évolution annuelle des prélèvements en eau souterraine et en eau de surface sur la période 2008-2018, et le total des prélèvements sur la période 1994-2018 quel que soit l'origine. Quelle que soit la période envisagée, tous les volumes annuels transmis possèdent une information sur l'usage de l'eau (irrigation, industriel ou AEP).

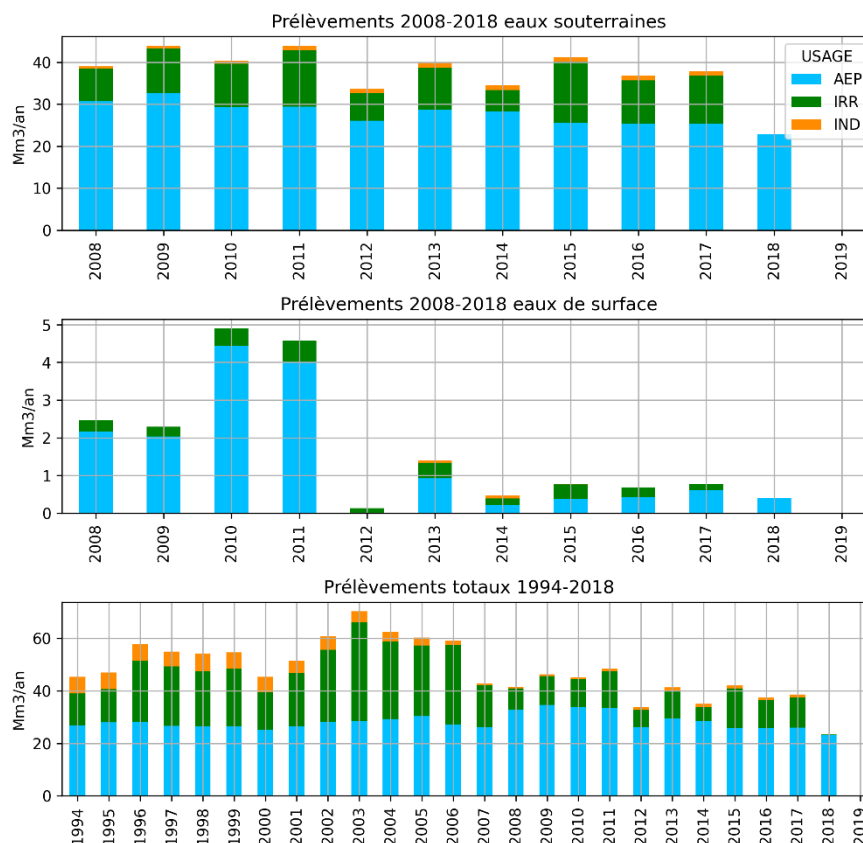


Illustration 46 – Total des volumes annuels prélevés pour les points de captage AESN en eau souterraine et eau de surface sur la période 2008-2018, et total des volume annuels prélevés sur la période 1994-2018, toutes origines confondues. La partition entre usage est donnée chaque année (AEP : eau potable, IND : industrie, IRR : irrigation). Les volumes prélevés pour les usages AEP et IND ne sont pas disponibles en 2018 dans la base de donnée AESN

4.3. DESCRIPTION DES PRELEVEMENTS AELB

Les volumes annuels prélevés transmis par l’AELB couvrent la période 1998-2017.

Le fichier fourni inclut la localisation des points de captage sous forme de coordonnées géographiques en Lambert 93, le nom de la commune, l’usage auquel est rattaché le point de captage (irrigation, industrie ou AEP) et la masse d’eau à laquelle est rattaché le captage. Aucun indice BSS n’est renseigné.

La nature du point de captage est également décrite selon la terminologie suivante : CA=canal; CN=cours d’eau; NA=nappe alluviale; NP=nappe profonde; RA=retenue alluviale; RC=retenue collinaire; RN=barrage; RO=retenue sur source; RP=retenue sur nappe profonde; RX=retenue alluviale hors alluvions; SO=source.

La base de données fournie contient au total 2351 points de captage. Seuls les points de captage ayant des volumes annuels non nuls sur la période 1998-2017 et inclus dans la zone d’étude ont été pris en compte. Au total, ce sont donc 1803 points de captage répondant à ces critères qui ont été sélectionnés.

Pour les eaux souterraines, on recense 1731 points captant des nappes profondes, 2 des nappes alluviales, 5 des sources, 10 des retenues sur nappe profonde, et 2 des retenues sur sources.

Pour les eaux de surface, 44 points de prélèvement concernent des cours d'eau, 2 des retenues alluviales, 1 retenue alluviale hors alluvions, 3 des barrages et 3 des retenues collinaires.

La qualité de géoréférencement des points de captage n'est pas précisée. Néanmoins, un croisement manuel entre les coordonnées des points de captage AELB et les centroïdes des communes (à 10 mètres près) a permis d'identifier au moins 330 points de captage dont la localisation correspond au centroïde de commune. Par ailleurs, de nombreux points partagent les mêmes coordonnées, parfois au centroïde de la commune. Le tableau suivant liste les coordonnées géographiques ayant plusieurs points référencés, le nombre de points partageant les mêmes coordonnées, et s'il s'agit d'un centroïde de commune ou non.

X	Y	NOMBRE DE POINTS	CENTROIDE	X	Y	NOMBRE DE POINTS	CENTROIDE
559775	6779963	2	FAUX	615531	6791018	7	VRAI
563618	6786886	2	FAUX	616440	6797881	11	VRAI
576419	6776744	2	FAUX	616599	6775670	2	VRAI
576449	6777058	2	FAUX	616633	6783740	11	VRAI
579111	6794266	2	FAUX	617282	6806666	9	VRAI
583667	6803610	2	FAUX	617505	6789493	8	VRAI
587193	6801491	2	VRAI	617687	6803450	12	VRAI
598932	6808201	5	FAUX	618246	6786687	8	VRAI
599808	6778125	2	FAUX	618501	6800886	9	VRAI
604172	6793723	2	FAUX	620102	6793302	18	VRAI
604434	6797820	2	FAUX	621069	6784758	12	VRAI
607204	6792999	2	FAUX	621374	6788895	2	FAUX
610720	6803540	2	VRAI	621455	6788855	2	FAUX
611064	6791920	15	VRAI	621574	6788873	8	VRAI
612019	6795980	25	VRAI	623796	6782025	8	VRAI
612647	6788648	19	VRAI	625184	6785175	12	VRAI
613144	6766305	3	VRAI	625561	6774921	2	FAUX
613254	6800825	13	VRAI	626344	6779505	24	VRAI
614301	6805302	9	VRAI	627374	6790894	35	VRAI
615474	6793654	12	VRAI	629462	6785086	25	VRAI
				630429	6779750	11	VRAI

Illustration 47 – Nombre de points AELB partageant les mêmes coordonnées géographiques. La colonne CENTROIDE indique si les coordonnées listées correspondent à un centroïde de commune ou non

On compte 1750 points de captage d'eaux souterraines. Le rattachement des points de captage aux aquifères est déterminé par la connaissance du code de la masse d'eau (version 2013). 1533 points sont affectés aux « Multicouches craie du Séno-turonien et calcaires de Beauce libres », 27 aux « Multicouches craie Séno-Turonienne et calcaires de Beauce sous forêt d'Orléans captifs », 156 à la « Craie du Séno-Turonien de l'unité du Loir libre », 18 aux « Sables et grès du Cénomaniens du bassin versant du Loir captifs et libres », 2 aux « Sables et grès du Cénomaniens du bassin versant de la Loire captifs au sud de la Loire », 3 à la « Craie du Séno-Turonien du bassin versant du Cher libre », 1 à « l'Albien-néocomien captif », 2 aux « Sables et grès du Cénomaniens sarthois libres et captifs », et 1 à la « Craie du gâtinais ».

En définitive, 7 points de captage ne sont pas rattachés à une masse d'eau.

La version 2013 du référentiel des masses d'eau souterraine ne fait pas de distinction entre la craie et les calcaires de Beauce. Par conséquent, pour 87 % des points, la répartition des volumes d'eau entre ces deux entités n'est pas connue. De plus, 7 points n'ont pas d'attribution à une masse d'eau : 5 points sont situés au droit des calcaires de Beauce et 2 points au droit de la nappe de la Craie. Seul 1 point peut être identifié à la nappe de la Craie grâce aux coupes disponibles en BSS.

1623 points de captage ont un usage pour l'irrigation, dont 1571 concernent la ressource en eau souterraine et 52 les eaux de surface. L'usage AEP concerne 160 points de captage souterrains.

Enfin, 20 points sont reliés à un usage industriel, dont 19 captant les eaux souterraines et 1 les eaux de surface.

L'illustration 48 présente l'évolution de ces volumes annuels de 1998 à 2017 pour les eaux souterraines et les eaux de surface, par usage, en millions de m³ par an. Les volumes prélevés pour l'irrigation en 1998 ne sont pas reportés car non disponibles.

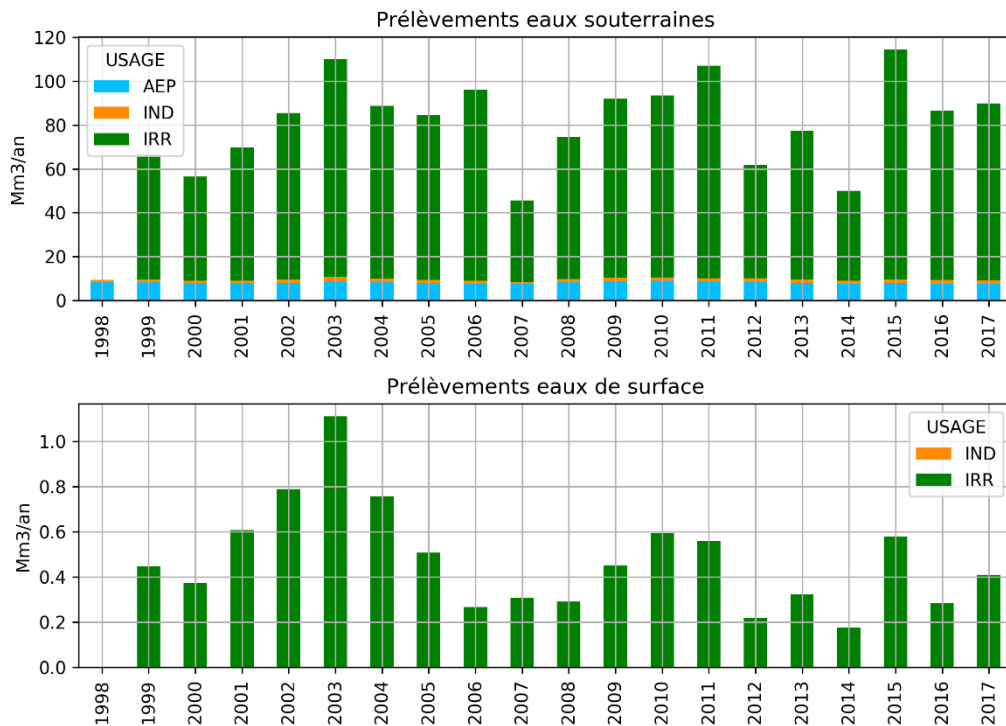


Illustration 48 – Total des volumes annuels prélevés pour les points de captage AELB en eaux souterraines et eaux de surface. La partition entre usage est donnée chaque année (AEP : eau potable, IND : industrie, IRR : irrigation)

4.4. DESCRIPTION DES PRELEVEMENTS DDT28

La Direction Départementale des Territoires d'Eure-et-Loir dispose de volumes de prélèvements collectés auprès des agriculteurs sur le département pour l'usage irrigation. Au total, 970 points de prélèvements sont situés dans la zone d'étude. Ils sont pour l'essentiel localisés au sud-est du département.

La commune de rattachement est indiquée pour chacun d'eux. 956 d'entre eux disposent de coordonnées géographiques permettant de les localiser. Il faut signaler que le système de projection n'est pas unique : Lambert 2 étendu ou Lambert 93.

Le rattachement des points de prélèvement à une couche aquifère n'est pas spécifié. En revanche, 761 points disposent d'un code BSS, ce qui pourrait permettre l'identification de la couche captée pour ces points (sous réserve de la disponibilité des coupes techniques et géologiques).

Les données sont fournies en volumes annuels de 2005 à 2008 et de 2017 à 2018, puis en volumes mensuels de 2009 à 2016. L'évolution temporelle pour la totalité des prélèvements est décrite par l'illustration 49.

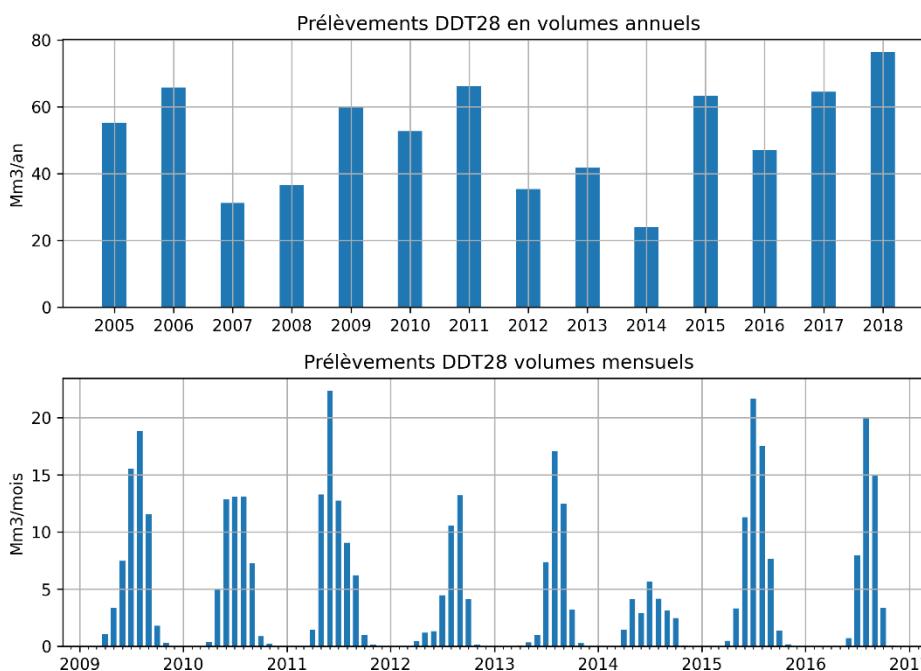


Illustration 49 – Prélèvements en volumes annuels (2005-2018) et en volumes mensuels (2009-2016) pour la totalité des prélèvements agricoles de la DDT28 sur la zone d'étude

4.5. DONNEES COMPLEMENTAIRES

4.5.1. Champ captant de Montreuil – Eau de Paris

Eau de Paris dispose des volumes mensuels prélevés de 1990 à 2019 pour l'ensemble des forages du champ captant AEP de Montreuil-sur-Eure, acheminés vers Paris via l'aqueduc de l'Avre. Ces forages captent la nappe de la Craie. Ce champ captant est constitué de 10 points de captage dont les codes BSS sont précisés.

Eau de Paris prévoit d'équiper chaque forage d'un compteur.

Ces forages sont également présents dans la base de données de l'AESN. On constate néanmoins des différences de volumes pompés selon les années (Illustration 50). Les volumes AESN sont plus importants sur certaines années.

Après vérification avec Eau de Paris, les volumes Agence de l'Eau ne sont pas expliqués : l'erreur provient probablement du fait que les données sont remontées au compteur pouvant regrouper plusieurs champs captant (Vert-en-Drouais, Verneuil-sur-Avre, Montreuil).

En conclusion, il faudra s'appuyer sur les volumes mensuels d'Eau de Paris, plus fiables. Au regard de ces différences, il est préconisé pour l'AEP de collecter les données directement auprès des gestionnaires et/ou exploitants.

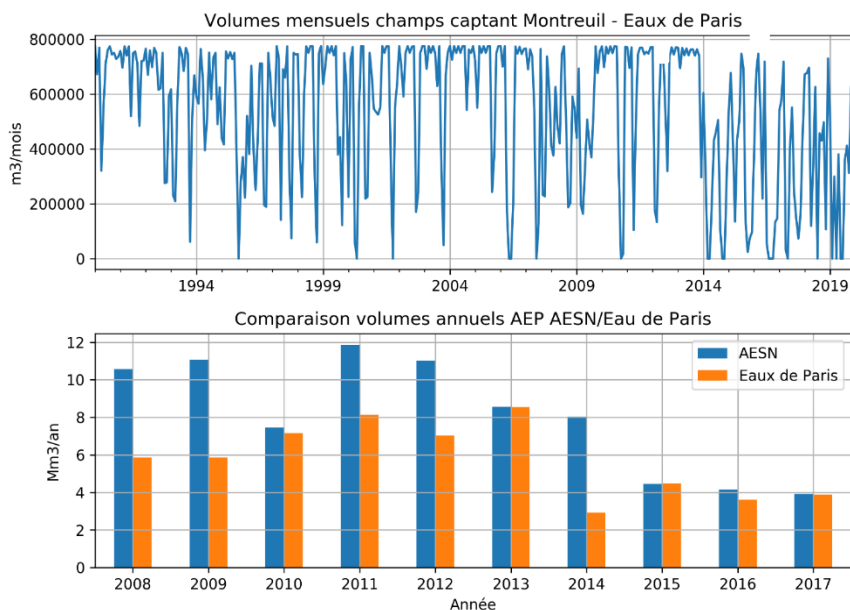


Illustration 50 – Prélèvements du champ captant de Montreuil-sur-Eure et comparaison avec les volumes fournis par l’AESN

4.5.2. Volumes AEP transmis par l’ARS

L’ARS dispose d’une liste de forages AEP avec codes BSS, coordonnées géographiques, et débits journaliers moyens. Le fichier transmis comporte en tout 418 points. 327 de ces points se trouvent dans la zone d’étude, dont 154 abandonnés, 169 actifs, et 4 en projet.

La liste des 169 forages actifs et des 4 forages en projet est reportée en Annexe 2 du présent rapport. La nappe captée n’est pas précisée.

4.5.3. Répartition des volumes agricoles issus du SAGE Nappe de Beauce

Des synthèses de volumes prélevés pour l’irrigation dans la nappe de Beauce sont disponibles auprès du SAGE Nappe de Beauce, depuis 2014. La répartition mensuelle de ces prélèvements dans la nappe de Beauce au niveau du département d’Eure-et-Loir est présentée sur l’Illustration 51. Ces données ont été collectées à partir de déclarations de prélèvements individuelles auprès des agriculteurs.

A noter que cette répartition mensuelle n’est plus disponible à partir de 2017, suite à la mise n place de OUGC.

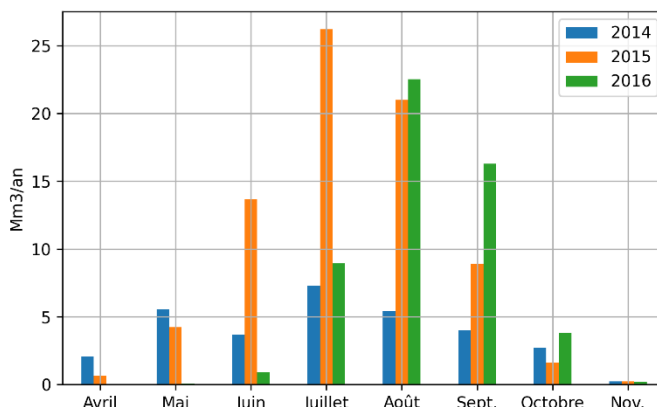


Illustration 51 – Répartition des prélèvements mensuels (irrigation) dans la nappe de Beauce sur le département 28 fourni par le SAGE de la Nappe de Beauce

4.6. VERS UNE BASE DE DONNEES DES PRELEVEMENTS

Pour les besoins du futur modèle de gestion, il est important de disposer d'une base de données la plus exhaustive possible des différents points de captage sur le territoire étudié. Celle-ci devra être en mesure d'identifier chaque point avec un numéro unique (idéalement l'indice BSS pour les eaux souterraines), de renseigner la source de la donnée, les coordonnées géographiques précises, l'aquifère et/ou le cours d'eau capté ainsi que l'historique des volumes prélevés.

Dans ce but, les différentes sources de données décrites précédemment ont été croisées et différents traitements ont été conduits pour préparer l'élaboration de cette base de données qui restera à consolider en phase 2.

Tout d'abord, afin d'illustrer la disparité des différents jeux de données, le tableau suivant propose une synthèse du nombre de points et des informations portées par ces derniers (Illustration 52).

En l'absence d'identifiant commun et de coordonnées géographiques précises, la principale difficulté est de croiser les bases de données entre elles afin d'identifier les doublons, potentiellement nombreux (Cf. § 4.6.1).

Source de données	Période	Volumes		Localisation		Nb points avec indice BSS	Nb points avec usage	Nb points avec nappe captée
		Nb points avec volumes non nuls	Nb points avec volumes mensuels	Nb points avec X, Y	Nb points au centroïde de commune			
AESN	1994-2007	1 004 (compteurs)	0	0	0	0	au compteur	au compteur
	2008-2018 [§]	490 (compteurs) 480 (captages)	0	470	10	436	480	474
AELB	1998-2017 [¶]	1 803	0	1 445	~358	0	1 803	237
DDT 28	2005-2016	970	970 ^{∗∗}	956	14	761	970	0
ARS	non concerné	327 ^{∗∗∗}	0	327	non concerné	327	327	0
Eau de Paris	1990-2019	10	10	10	non concerné	10	10	10

[§] Usages irrigation et industriel non disponible pour l'année 2018
[¶] Usage irrigation non renseigné pour l'année 1998
^{||} 1560 points rattachés aux calcaires de Beauce et à la craie
^{∗∗} Uniquement de 2009 à 2016 (volumes annuels à partir de 2017)
^{∗∗∗} Débits moyens journaliers (pas de chronique temporelle)

Illustration 52 – Tableau récapitulatif des données de prélèvement compilées dans la zone d'étude

4.6.1. Localisation des ouvrages de prélèvements

L'illustration 53 présente la localisation des ouvrages AELB et AESN sur la zone d'étude. L'usage inhérent à chaque forage est également précisé sur la carte. Les forages AEP sont répartis de manière homogène sur l'ensemble de la zone d'étude. A l'inverse, les volumes prélevés pour l'irrigation sont en majorité localisés au sud-est du département sur le domaine de la nappe de Beauce.

Pour les forages AESN, comme stipulé précédemment, la localisation exacte des points de captage entre 1994 et 2007 n'est pas connue. Les polygones des communes où des compteurs listés sur cette période sont indiqués en gris.

Au sud-est du département, pour certaines communes, plusieurs ouvrages AELB possèdent les mêmes coordonnées géographiques alors qu'il s'agit bien de points de captage différents. Ces coordonnées géographiques correspondent au centroïde de la commune (cf. Illustration 47). A titre d'exemple, sur la commune de Guilleville située au sud-est du département, 15 ouvrages partagent les mêmes coordonnées géographiques alors qu'il s'agit de 15 chroniques de prélèvements différentes.

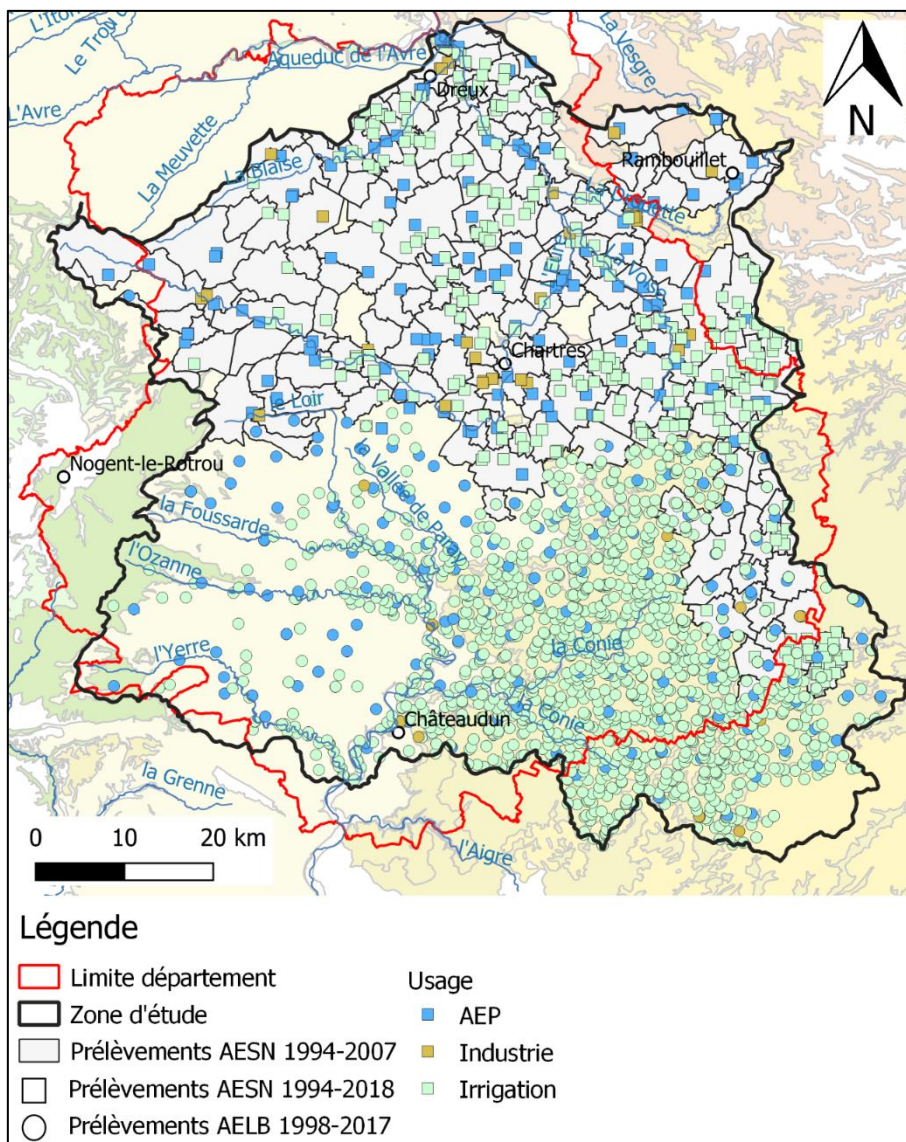


Illustration 53 – Localisation des ouvrages de prélèvements AELB et AESN à l'échelle de la zone d'étude

L'illustration 54 représente la répartition géographique des ouvrages ARS pour l'usage AEP. Les points AEP des Agences sont également indiqués en fond de carte, de manière à distinguer les points supplémentaires recensés par les Agences. Sur le département, on constate 13 points Agences qui ne sont pas inclus dans la liste des points ARS.

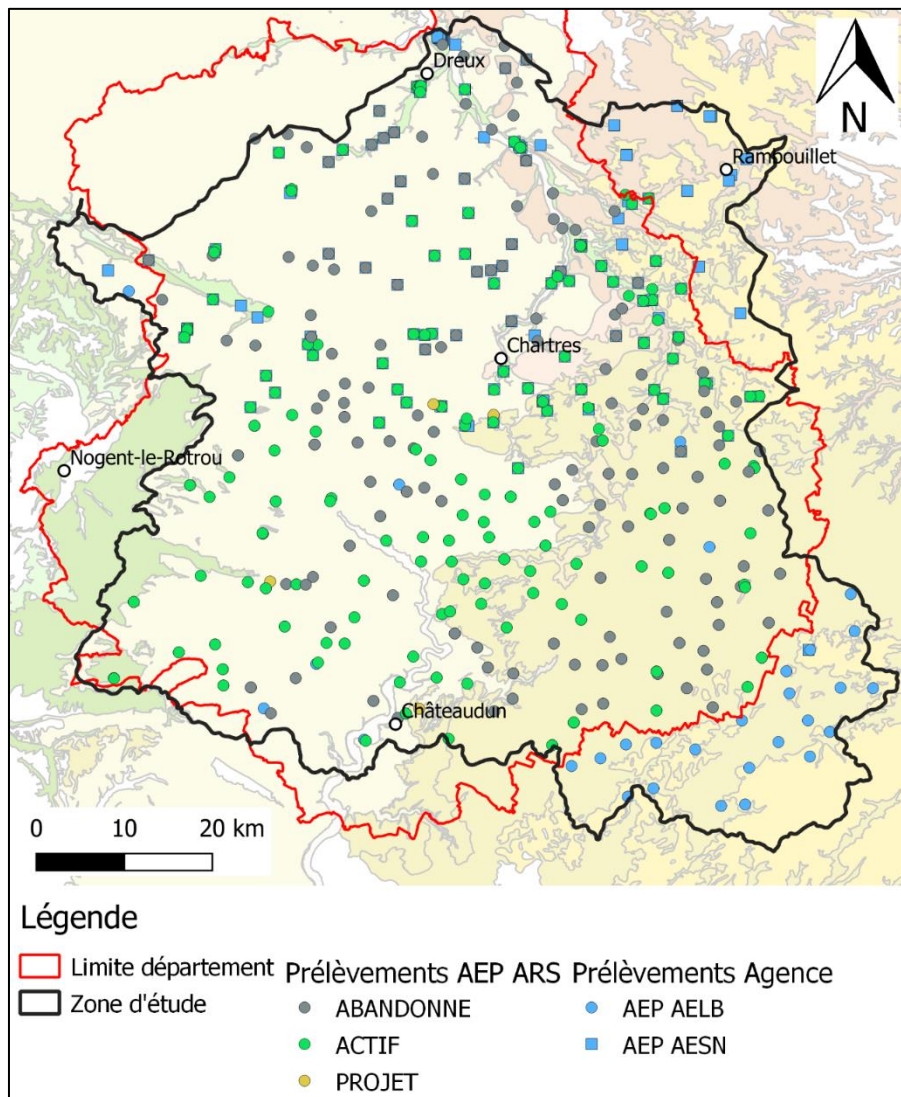


Illustration 54 – Localisation des ouvrages de prélèvements AEP (ARS, AELB, AESN)

Enfin, l'illustration 55 montre la répartition spatiale des points de captage fournis par la DDT28 pour l'usage d'irrigation.



Illustration 55 – Localisation des ouvrages de prélèvement DDT28 pour l'irrigation

4.6.2. Traitements réalisés

Les premiers tests de recoupement entre les différentes sources de données montrent qu'aucune n'est exhaustive. En termes de nombre de points, les bases de données les plus complètes proviennent des Agences de l'eau, mais des problèmes de localisation et d'incohérences de volumes pompés se posent.

L'analyse de l'ensemble des données présentées dans les paragraphes précédents fait ressortir plusieurs problématiques :

- 1) La méconnaissance des coordonnées géographiques des points de captage AESN entre 1994 et 2007.
- 2) La correspondance entre les points de captages AESN et AELB (doublons identifiés).
- 3) La correspondance entre les points de captages ARS et Agences de l'Eau (AESN et AELB) pour l'AEP.
- 4) La correspondance entre les points de captage DDT28 et Agence de l'Eau (AESN et AELB) pour l'irrigation.
- 5) L'attribution des points de prélèvements aux aquifères captés.
- 6) La méconnaissance des volumes mensuels.

Plusieurs pistes ont d'ores et déjà été explorées pour résoudre ces problèmes, elles sont exposées dans les paragraphes suivants.

Identification des points de captage AESN sur la période 1994-2007

Afin d'extrapoler une partie des informations des points de captage AESN connus entre 2008 et 2018 sur la période 1994-2007, on pourra considérer l'hypothèse suivante. Pour les compteurs comprenant des volumes annuels compris entre 1994 et 2007 et entre 2008 et 2019, on pourra faire l'hypothèse que les caractéristiques des points de captage associés à ce compteur connus à partir de 2008, c'est-à-dire leurs localisations, leurs usages, et leur coefficient de répartition du volume relevé au compteur, peuvent être extrapolées à la période 1994-2007. Ceci implique de faire l'hypothèse que la répartition des volumes entre points de captage et le nombre de captage associé au compteur soient les mêmes sur les périodes 1994-2007 et 2008-2018.

Les premiers tests réalisés ont ainsi permis de déduire la localisation des points de captage de 517 compteurs sur les 1004 compteurs que compte la période 1994-2007. En revanche, la localisation des points de captage associés aux compteurs n'ayant des données que sur la période 1994-2007 reste inconnue.

En définitive, il ne semble pas envisageable de localiser précisément tous les points de captage de la période 1994-2007. Aussi, s'il est décidé de modéliser une période antérieure à 2008, des incertitudes significatives sur la géolocalisation des points de prélèvements sont à attendre.

Le plus simple serait d'affecter les volumes aux centroïdes de communes pour la période 1994-2007, avec bien entendu une erreur de localisation non négligeable.

L'autre solution, beaucoup plus fastidieuse, consisterait à s'appuyer sur la BSS pour identifier précisément les points de captage, sur la base des informations sur la commune, le propriétaire et l'usage. Ces seules informations ne permettront pas de lever toutes les inconnues (487 compteurs concernés). Si plusieurs forages sont identifiés en BSS, le volume ne pourra être réparti que de façon uniforme.

Captages communs entre AELB et AESN

Plusieurs points de captage sont communs aux deux bases de données. Compte tenu des informations disponibles, l'identification des doublons ne peut reposer que sur les coordonnées géographiques, l'usage, et la commune. Les points de captage en commun sont répartis sur 12 communes dont les contours peuvent être visualisés sur l'illustration 56.

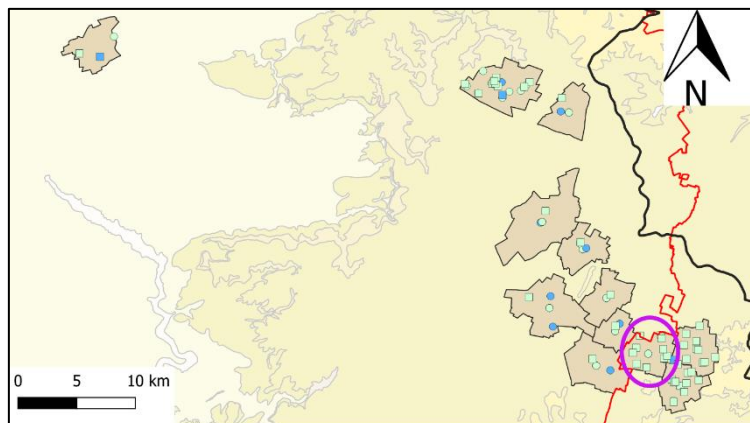


Illustration 56 – Zoom sur les communes partageant des points de captage communs aux bases de données AESN (carrés) et AELB (ronds) (bleu = AEP, vert = irrigation)

On dénombre au total 53 points AESN et 151 points AELB sur ces communes. Par identification géographique, une douzaine de points semblent correspondre, d'autant plus que les périodes de données ne se recouvrent pas. Par exemple, le forage de Chaussy possède des volumes annuels AELB de 1998 à 2007 et des volumes annuels AESN de 2009 à 2011.

A l'inverse, cette identification par coordonnées géographiques n'est pas possible pour les communes où les coordonnées des points AELB sont au centroïde de la commune. Le cercle violet sur l'illustration 56 prend l'exemple de la commune de Tivernon, où 12 points AELB sont localisés au centre de la commune et 11 points AESN distribués autour.

La correspondance entre les bases AELB et AESN semble donc faisable, moyennant un travail manuel d'identification des points entre les deux bases, à l'aide de la connaissance des volumes annuels, de la commune, de l'usage, et de la raison sociale du propriétaire.

Correspondance entre captages AEP ARS et Agences de l'Eau

Comme stipulé précédemment, 327 points ARS se trouvent dans la zone d'étude. La correspondance entre les points ARS et AESN peut s'effectuer via les codes BSS. La correspondance entre les points ARS et AELB peut s'effectuer via les coordonnées géographiques ou éventuellement le nom de la commune, et est donc moins fiable que la correspondance avec l'AESN.

D'après ces deux méthodes de correspondance, on dénombre 105 points ARS absents des points agences. Parmi ces 105 points ARS, 70 sont abandonnés, 31 sont actifs et 4 sont en projets. A l'inverse, en restreignant les points Agences au département, on dénombre 40 points Agence absents des 327 points ARS.

Ce travail sera approfondi en phase 2 de l'étude afin de tendre vers une identification précise de chaque captage AEP.

Correspondance entre les points de captage DDT28 et Agences de l'Eau

Le croisement entre les données de la DDT28 (usage irrigation) et les données des Agences de l'Eau s'avère également complexe, pour plusieurs raisons.

Faute d'autres indications, la correspondance entre les données DDT28 et les données AELB ne peut se faire que sur la base des coordonnées géographiques et la comparaison des volumes prélevés annuels. Cette correspondance pose plusieurs questions.

Tout d'abord, il existe une forte incertitude quant à la précision des coordonnées géographiques liée aux erreurs de mesures (GPS) ou à la méthodologie d'attribution. Certaines coordonnées AELB correspondent par exemple au centroïde de la commune du point de captage, alors que les points DDT28 correspondent aux coordonnées mesurées au point de captage. De plus, il est nécessaire de fixer un seuil de distance arbitraire en-dessous duquel on considère que deux points sont les mêmes. La comparaison des volumes annuels est un critère supplémentaire permettant d'associer les données AELB et DDT28. L'incertitude pèse ici sur la précision des volumes relevés au compteur.

Sur la zone de recouvrement entre points de captage AELB et DDT28, on compte 1084 points AELB. Un test de rapprochement entre les données AELB et les 956 points DDT28 se basant sur un seuil de distance entre points DDT28 et AELB inférieur à 500 m – seuil pris volontairement élevé pour éviter un critère trop discriminant – et sur la comparaison des volumes annuels (seuil à préciser) en 2009 et 2015 a permis le rapprochement d'environ 460 points.

De prime abord, la correspondance entre les données DDT28 et les données AESN semble *a priori* moins complexe à mettre en œuvre puisque les codes BSS des ouvrages sont le plus souvent fournis dans les deux cas. On constate que parmi les captages DDT28, 48 peuvent être mis en correspondance avec un captage AESN. L'illustration 57 montre la comparaison des volumes annuels totaux pour ces 48 points entre les deux bases de données. On constate des écarts importants sur certaines années, notamment en 2011.

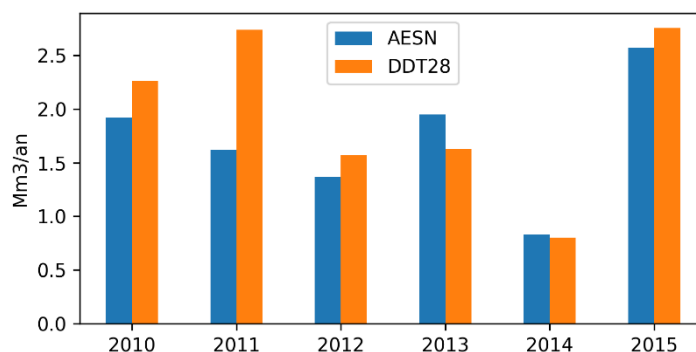


Illustration 57 – Volumes annuels des prélèvements des 48 points communs aux bases de données DDT28 et AESN (correspondance par code BSS)

Après vérification des données par la DDT28 pour ces 48 doublons, les différences peuvent avoir plusieurs origines :

- Pour certains forages, les volumes des années 2010 et/ou 2011 ne sont pas renseignés dans la base Agence alors que les volumes apparaissent ensuite identiques pour les deux bases de données (ex. : 02914X0013, 02914X0040, 02914X0055).
- Pour d'autres, la DDT répertorie plusieurs exploitants pour un même forage alors que l'Agence de l'Eau ne renseigne qu'un seul exploitant certaines années (ex. : 02556X0017).

En définitive, la base de données de la DDT28 apparaît plus précise ; il apparaît donc important de pouvoir identifier les doublons.

Avec les deux méthodes employées ci-dessus, ce sont environ 510 points DDT28 qui ont pu être mis en correspondance avec des données Agences. On voit ainsi que presque la moitié des points DDT28 n'ont pas pu être mis en correspondance avec les données Agence. De plus, les méthodes d'attribution par coordonnées géographiques et volumes annuels restent très incertaines et manquent de robustesse. Un travail plus approfondi est donc nécessaire s'il on veut rapprocher ces deux bases de données : cela semble passer par l'identification précise de chacun des captages (association d'un ouvrage BSS).

Attribution des points de prélèvements aux aquifères captés

Cette question concerne surtout l'attribution des points de prélèvement situés au droit des nappes de Beauce et de la Craie séno-turonienne. Les masses d'eau sont renseignées pour les points AELB et AESN. Pour la base AELB, le référentiel de masse d'eau version 2013 considère cependant la craie et les calcaires de Beauce comme étant une seule masse d'eau, rendant impossible l'attribution du point de captage à une couche. Il est ainsi possible que ces points de captage captent un seul de ces aquifères ou les deux.

De même, il n'est pas fait mention de l'aquifère capté dans les données DDT28, dont la grande majorité est située en Beauce.

Une possibilité de remédier à ce problème serait d'utiliser les coupes techniques et géologiques des forages de la Banque de données du Sous-Sol en utilisant directement le code BSS du point de captage lorsqu'il est fourni, où en l'identifiant avec un point BSS si les coordonnées géographiques coïncident.

Un test a été réalisé avec les données AELB sur 18 forages situés en Beauce. Il a d'abord été nécessaire de procéder à un croisement géographique avec les ouvrages BSS (jointure si distance inférieure à 50 m) : sur 1803 points, 694 ont ainsi été rattachés à un code BSS.

L'analyse des coupes géologiques et techniques a permis de préciser l'aquifère capté pour 10 des 18 forages. Les résultats du test sont présentés sur la figure suivante (Illustration 58). Dans le détail, sur les 18 ouvrages analysés en BSS : 1 seul dispose d'un code BDLISA, 9 d'une coupe technique (ou d'une simple indication de la localisation des crépines), 10 d'une coupe géologique établie par le foreur et 3 d'un log géologique validé par le BRGM.

En définitive, ce travail semble indispensable pour lever le maximum d'incertitudes quant à l'aquifère capté, mais, une nouvelle fois, certaines inconnues persisteront.

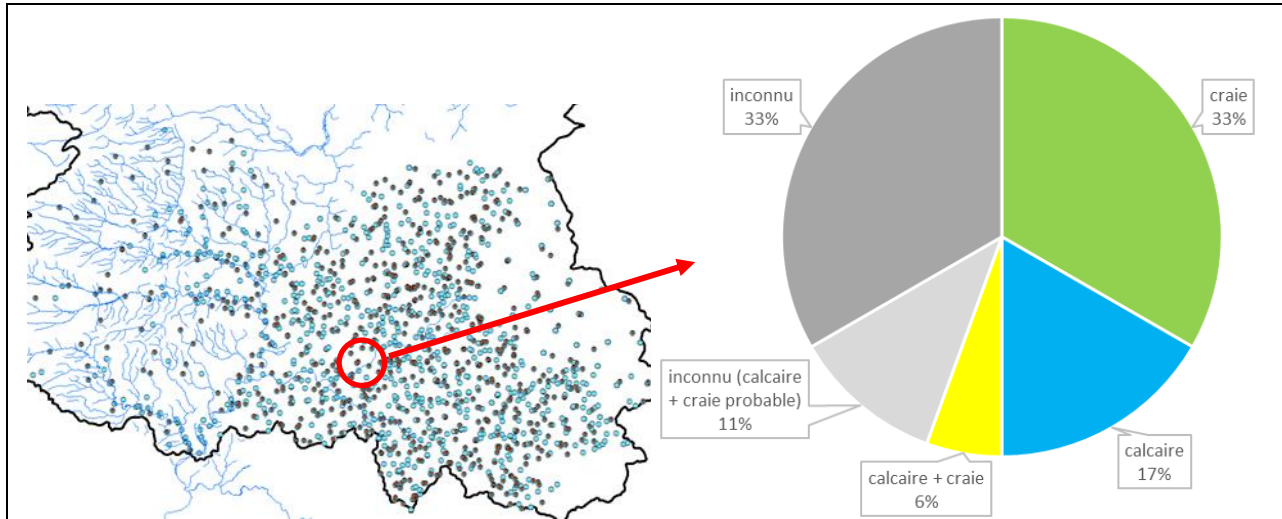


Illustration 58 – Test d'attribution de l'aquifère capté aux forages AELB en Beauce

Répartition mensuelle des volumes prélevés

Comme vu précédemment, la répartition mensuelle des volumes prélevés n'est que très rarement renseignée (base de données DDT28 pour certains forages agricoles, mais uniquement entre 2009 et 2016).

Pour l'alimentation en eau potable, des compléments pourraient éventuellement être apportés par les exploitants. De telles investigations seront menées en phase 2 avec l'appui des gestionnaires.

Pour l'irrigation, un appui de la Chambre d'Agriculture est prévu en phase 2 pour parvenir à une clé de répartition spatio-temporelle des volumes, année par année (Cf. § 4.6.3).

4.6.3. Conclusions

Au regard des premiers croisements et traitements réalisés, un important travail reste à conduire pour parvenir à la constitution d'une base de données des prélèvements la plus complète possible.

En premier lieu, dans la mesure du possible, il faudra associer chaque point de captage à un ouvrage en BSS. Seule cette approche permettra 1) de géolocaliser avec précision chaque point, 2) d'identifier les doublons entre jeux de données et 3) de remonter à la nappe captée à partir de l'analyse des coupes géologiques et techniques lorsqu'elles sont disponibles en BSS.

Ce travail d'association ne pouvant être automatisé pour la totalité des points, un contrôle manuel s'avère indispensable à partir des champs d'information disponibles (usage, propriétaire, commune, etc.).

En complément, les principaux chantiers identifiés pour la phase 2 de l'étude sont récapitulés ci-après :

- ✓ identifier les captages pour les 487 compteurs AESN recensés sur la période 1994-2007 mais pas sur la période 2008-2018. Si ce n'est pas possible, il faudra réfléchir à l'approximation à retenir (affectation des volumes aux centroïdes de communes),

- ✓ identifier les doublons entre les bases de données AESN et AELB (12 communes concernées), AELB et DDT28 (460 doublons potentiels), AESN et DDT28,
- ✓ identifier les doublons entre les bases de données Agence et DDT28, cette dernière apparaissant plus précise en termes de volumes prélevés,
- ✓ procéder à des enquêtes auprès des gestionnaires et/ou exploitants pour les captages AEP dans le but de collecter des volumes mensuels. Les différences constatées entre les volumes AESN et Eau de Paris renforcent ce besoin d'enquêtes. Ce travail a débuté avec Eau de Paris, l'Agglomération du pays de Dreux et Chartres Métropole,
- ✓ identifier l'aquifère capté pour tous les ouvrages situés au droit de l'aquifère des calcaires de Beauce et de l'aquifère crayeux sous-jacent. Il est reconnu que dans plusieurs secteurs, les deux nappes sont captées. La consultation systématique des dossiers BSS (coupes géologiques et techniques) sera nécessaire. Le test réalisé en phase 1 montre que les inconnues pourront être levées dans de nombreux cas,
- ✓ approcher la répartition mensuelle des volumes prélevés pour l'usage agricole. En complément des répartitions mensuelles fournies par la DDT28 (entre 2009 et 2016) et le SAGE Nappe de Beauce (de 2014 à 2016, en global), l'expertise de la Chambre d'Agriculture devra être mobilisée. Un travail de modélisation des besoins en eau par type de culture, type de sol et par zone météorologique sera conduit,
- ✓ Actualiser les données pour les années 2018 et 2019.

Le nombre total de points de prélèvement pourra être connu une fois ce travail de synthèse effectué. On peut néanmoins l'estimer à plus de 3000 sur la zone d'étude. Cette synthèse va donc représenter un important travail à réaliser lors de la phase 2 de l'étude.

L'ensemble des données sera stocké et structuré au sein d'une base de données ACCESS®.

4.7. REJETS

4.7.1. Données DDT28

Les données transmises par la DDT28 sont issues de deux bases de données :

- la base de données ROSEAU pour l'année 2019,
- la base de données AUTOSTEP pour la période 2012-2019. Celle-ci est réputée moins fiable que l'application ROSEAU (codes SANDRE et coordonnées possiblement erronées).

Les données issues de ROSEAU pour l'année 2019 totalisent 161 stations d'épuration (STEP) sur le département d'Eure-et-Loir, dont 1 est hors service (Crucey-Villages) (Illustration 59 *Illustration 59*). Parmi les 160 STEP en service, 144 correspondent à des rejets en rivière et 16 concernent des rejets en surface (sol).

Les coordonnées géographiques sont fausses pour la STEP de Mainvilliers et non précisées pour la STEP de la commune nouvelle d'Arrou. Ces dernières ont été positionnées à partir des cartes IGN au 1/25 000.

Le débit moyen journalier n'est renseigné que pour 125 STEP. Au total, les volumes rejetés représentent 71 285 m³/jour sur l'ensemble du département, soit 25.17 Mm³ pour l'année 2019 : 68 965 m³/jour rejetés en rivière et 2 320 m³/jour rejetés dans des bassins d'infiltration.

4.7.2. Données MTES

Le croisement avec les données issues d'AUTOSTEP n'apparaissant pas satisfaisant, il a finalement été décidé d'extraire les données mises à disposition sur le portail d'information sur l'assainissement communal (<http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr>). Les données de 2014 à 2018 ont été téléchargées (2019 non disponible en juin 2020).

Contrairement aux données précédentes, toutes les STEP présentes sur la zone d'étude ont ici été extraites (départements 27, 28, 45, 61 et 78). Au total, 171 stations d'épuration sont répertoriées : 145 correspondent à un rejet en rivière et 26 à un rejet en surface (bassin d'infiltration).

La carte de l'illustration 59 présente la localisation des stations d'épuration sur l'emprise de la zone d'étude (ROSEAU + portail national MTES). La correspondance entre les deux sources de données est relativement bonne ; sur le département, 4 STEP supplémentaires sont répertoriées dans le portail national du MTES.

Le graphique de l'illustration 60 présente l'évolution des débits traités entre 2014 et 2018 selon le milieu récepteur. Les faibles valeurs 2018 semblent montrer que la base de données n'est pas à jour pour cette année. De 2014 à 2017, le débit moyen sur la zone d'étude est de 66 036 m³/jour (63 018 m³/jour rejetés en rivière + 3 019 m³/jour rejetés en surface).

La distribution géographique des STEP ainsi que le débit de traitement moyen de l'année 2017 sont reportés sur l'illustration 61.

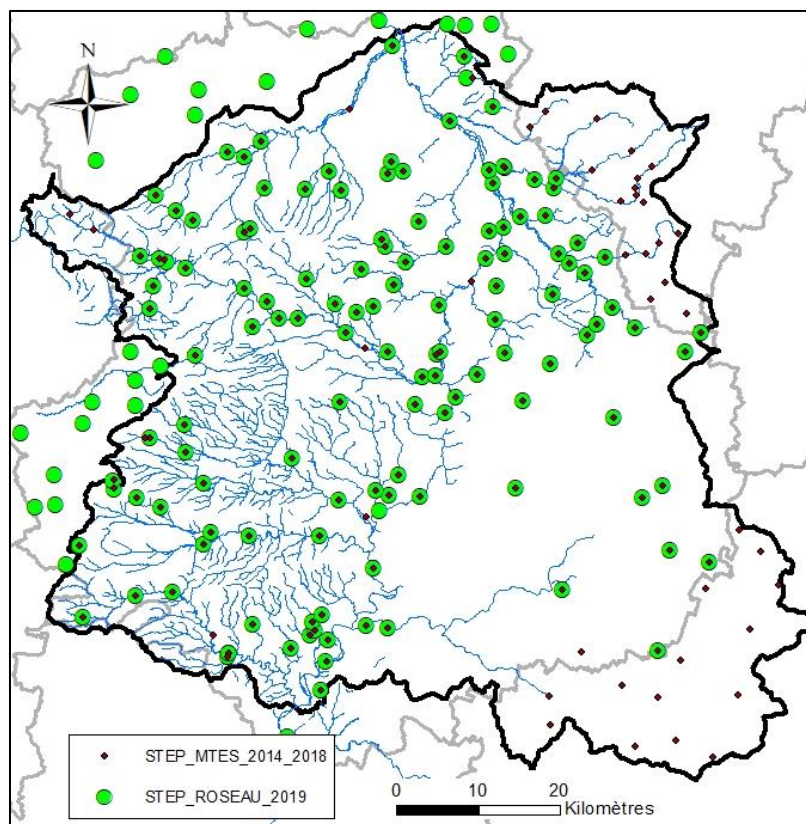


Illustration 59 – Cartographie des stations d'épuration pour l'année 2019
(source : ROSEAU, DDT28 / <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr>)
(limites de département en gris, zone d'étude en noir)

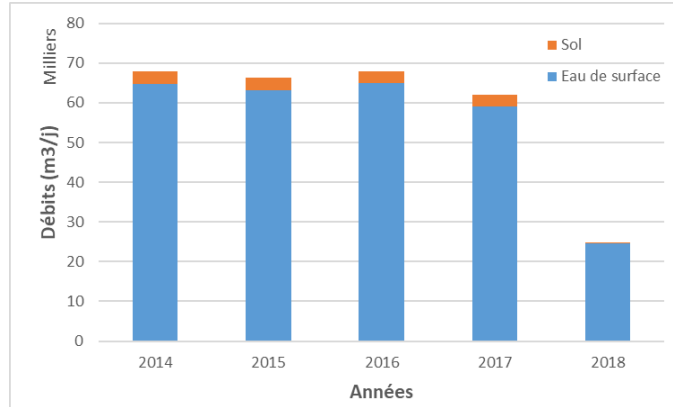


Illustration 60 – Evolution des débits traités par les STEP présentes sur la zone d'étude (source : <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr>)

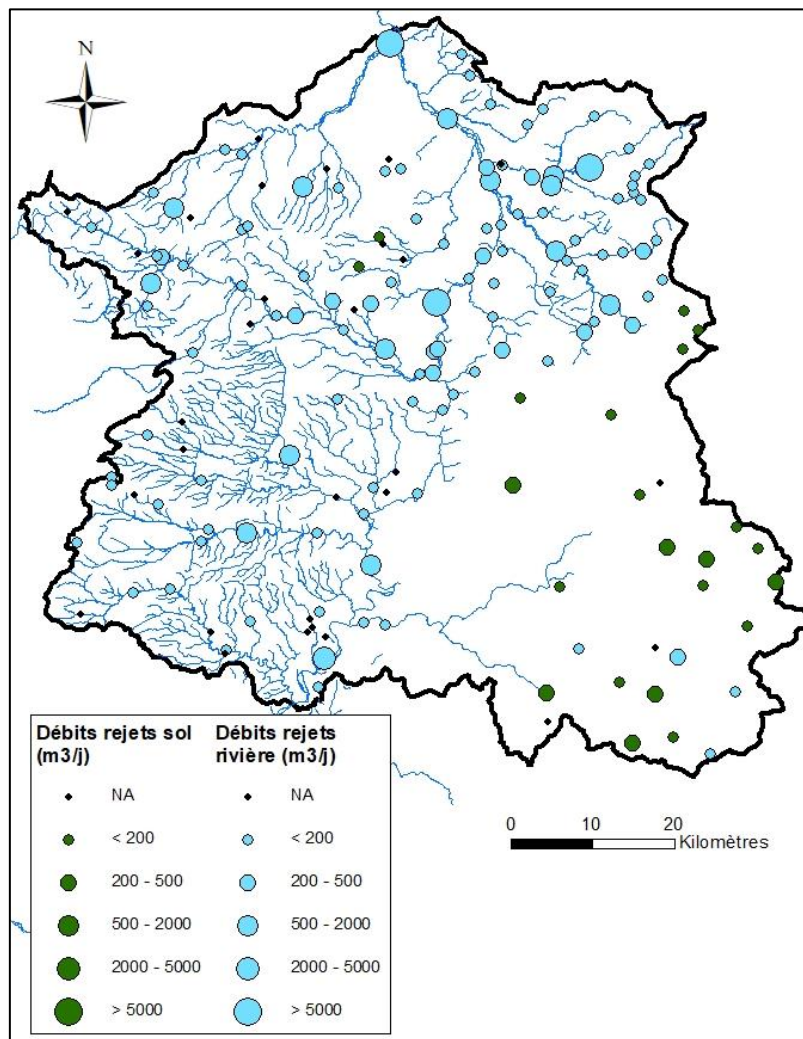


Illustration 61 – Localisation des STEP et débits traités associés (source : <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr>)

5. Compilation des données hydro-climatiques et hydrodynamiques

Dans le présent chapitre, les données compilées dans le cadre de cette première phase d'étude et qui sont indispensables pour l'élaboration du modèle hydrogéologique sont décrites. Sont distinguées :

- Les données d'entrée nécessaires au calcul de la recharge (§ 5.1) : précipitations, évapotranspiration, réserve disponible pour l'évaporation et moyens de spatialisation de chacun de ces paramètres.
- Les paramètres hydrodynamiques des aquifères (emmagasinement, perméabilité et anisotropie, transmissivité) (§ 5.2). Ces valeurs sont évaluées à partir de l'interprétation de mesures ponctuelles, leurs variabilités spatiales sont ajustées au cours de la phase de calage du modèle.
- Les caractéristiques du réseau hydrographique nécessaires au calcul des échanges nappe-rivière (§ 5.3) : géométrie, propriétés physiques, pompages et injections, etc.
- Les données de référence pour évaluer la robustesse du calage (§ 5.4) : jeux de mesures piézométriques et débitmétriques qu'il s'agira de reproduire au mieux au cours de la phase de calage.

5.1. DONNEES CLIMATIQUES ET CALCUL DE LA RECHARGE

5.1.1. Principe de calcul sous MARTHE

MARTHE permet d'intégrer le calcul des bilans hydroclimatiques à partir d'un module GARDÉNIA. Cette méthode, visant à calculer au sein du modèle les pluies efficaces et leur partition entre ruissellement et infiltration, et couplée à une modélisation explicite du réseau hydrographique, est en effet l'approche la plus complète pour modéliser les systèmes aquifères régionaux (Barthélémy et al., 2016).

Une telle approche nécessite d'intégrer au modèle :

- **des zones météorologiques** associées à des chroniques de pluie et d'ETP ;
- **des zones de sol** sur lesquelles sont définies la Réserve Disponible pour l'Évapotranspiration (RDE) pour les premiers mètres du sol (autrement appelé réserve utile) et de deux paramètres qui permettent la répartition des pluies efficaces entre écoulement rapide (ruissellement) et écoulement lent (infiltration) : la hauteur d'équi-répartition entre écoulement rapide et percolation (NRUIP, Illustration 62) et le temps de demi-percolation du réservoir représentant la zone non saturée (TPERC, Illustration 62).

Le module GARDÉNIA utilise le principe des modèles réservoirs (Illustration 62) :

- Un premier réservoir U (capacité de rétention du sol) modélise la partie supérieure du sol, sa hauteur maximale est fixée par la RDE. Il se vidange ou se remplit suivant la pluie et l'ETP. L'alimentation du réservoir H sous-jacent est possible lorsque la capacité de rétention en eau du sol est atteinte.

- Un second réservoir H modélise la zone non saturée au-dessus du niveau de nappe. Il est alimenté par le réservoir U et se vidange par percolation dans le réservoir souterrain (aquifère) suivant une loi exponentielle de constante de temps TPERC (ALIM aquifère = $H \cdot dt / TPERC$) et par ruissellement suivant le paramètre NRUIP. Ce dernier permet de rendre compte du déphasage entre la pluie et la recharge effective de la nappe, associé à la traversée de la zone non saturée.

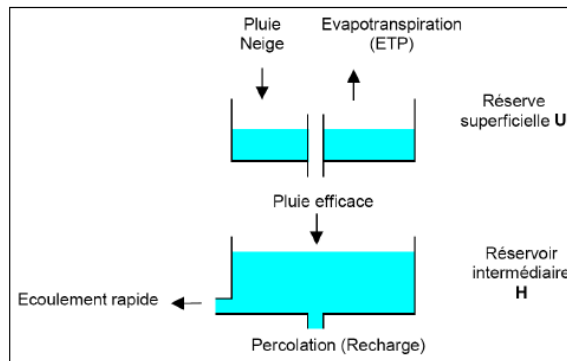


Illustration 62 – Schéma de fonctionnement du calcul de la recharge dans le module GARDENIA intégré à MARTHE (Thiéry, 2014).

Les trois paramètres (RDE, TPERC et NRUIP) devront donc être ajustés lors du calage du modèle maillé en régime transitoire. Un premier jeu de données sera cependant introduit à partir de modélisations globales pluie-niveau-débit et pluie-débit réalisées de façon préliminaire avec le code de calcul GARDÉNIA (phase 2 de l'étude).

5.1.2. Données climatiques

L'inventaire des stations météorologiques disponibles et encore ouvertes au 1^{er} janvier 2020 a tout d'abord été réalisé sur le site de la publitheque de Météo France (<https://publitheque.meteo.fr>). On dénombre au total 26 stations météorologiques avec données de précipitations, dont 13 ayant en plus des données d'Evapotranspiration Potentielle (ETP) quotidiennes. Leur distribution spatiale est représentée sur l'illustration 63.

En outre, l'analyse hydrométéorologique SAFRAN est un produit distribué par Météo France qui fournit, sur une grille de 8 km de résolution, les précipitations et l'ETP à l'échelle de la France au pas de temps journalier de 1958 jusqu'à aujourd'hui. SAFRAN utilise des observations de surface, combinées à des données d'analyse de modèles météorologiques pour produire les variables hydrométéorologiques nécessaires au calcul de l'ETP. Ces données présentent l'avantage d'être homogènes sur une grille régulière et disponibles au pas de temps journalier.

On compte 9892 zones SAFRAN (mailles carrées de 8 km de côté) sur la France entière. 117 zones sont répertoriées sur la zone d'étude (cf. Illustration 63).

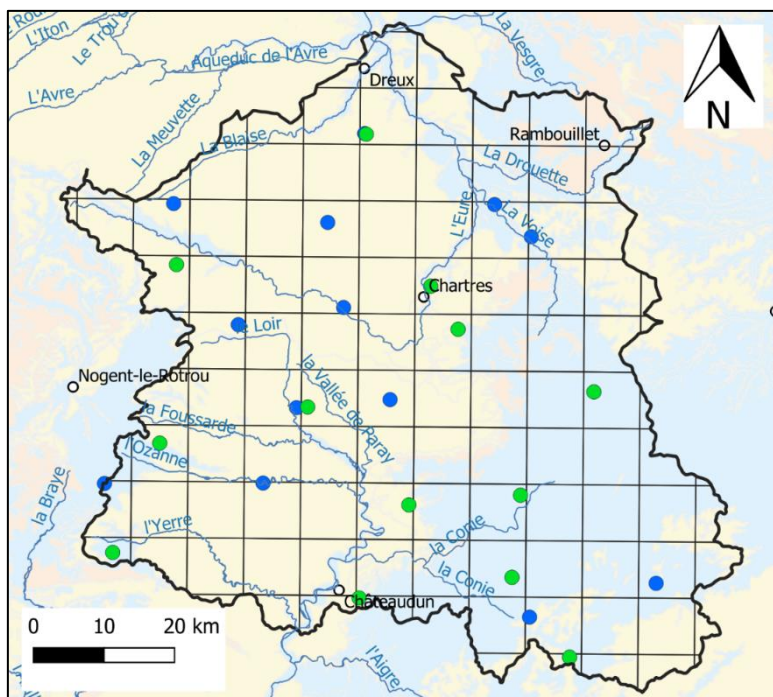


Illustration 63 – Grille SAFRAN sur la zone d'étude et stations d'observations météorologiques disposant de données sur l'ETP et les précipitations. Les points bleus représentent les stations avec données de précipitations et les points verts les stations avec précipitations et ETP

5.1.3. Zones de sol et paramètres associés

La méthode pressentie pour délimiter les zones de sol pourrait-être similaire à celle développée par le BRGM dans le cadre d'autres modèles régionaux (Poitou Charentes, MONA V4, etc.).

Les zones de sol sont obtenues après croisement de zones de réserve utile homogène et de zones d'IDPR homogène. D'un point de vue conceptuel, les premières visent à spatialiser le paramètre RDE tandis que les secondes permettent de spatialiser les paramètres TPER et NRUIP.

L'Indice de Développement et de Persistance des Réseaux (version 2017) est un indice développé par le BRGM pour qualifier le caractère plus ou moins infiltrant des formations géologiques affleurantes. L'illustration 64 présente la distribution spatiale de cet indice sur la zone d'étude. Une valeur faible (rouge sombre) correspond à une prédominance de l'infiltration, tandis qu'une valeur forte (vert bleu) indique un ruissellement prépondérant.

L'infiltration est largement prédominante sur le quart sud-est de la zone d'étude, là où les calcaires de Beauce affleurent. Sur ce plateau, le ruissellement est quasi-absent et le réseau hydrographique très peu développé. On retrouve également des zones d'infiltration au nord de la zone d'étude sur le bassin de l'Eure, entre Chartres et Dreux, à l'ouest de la rivière Eure.

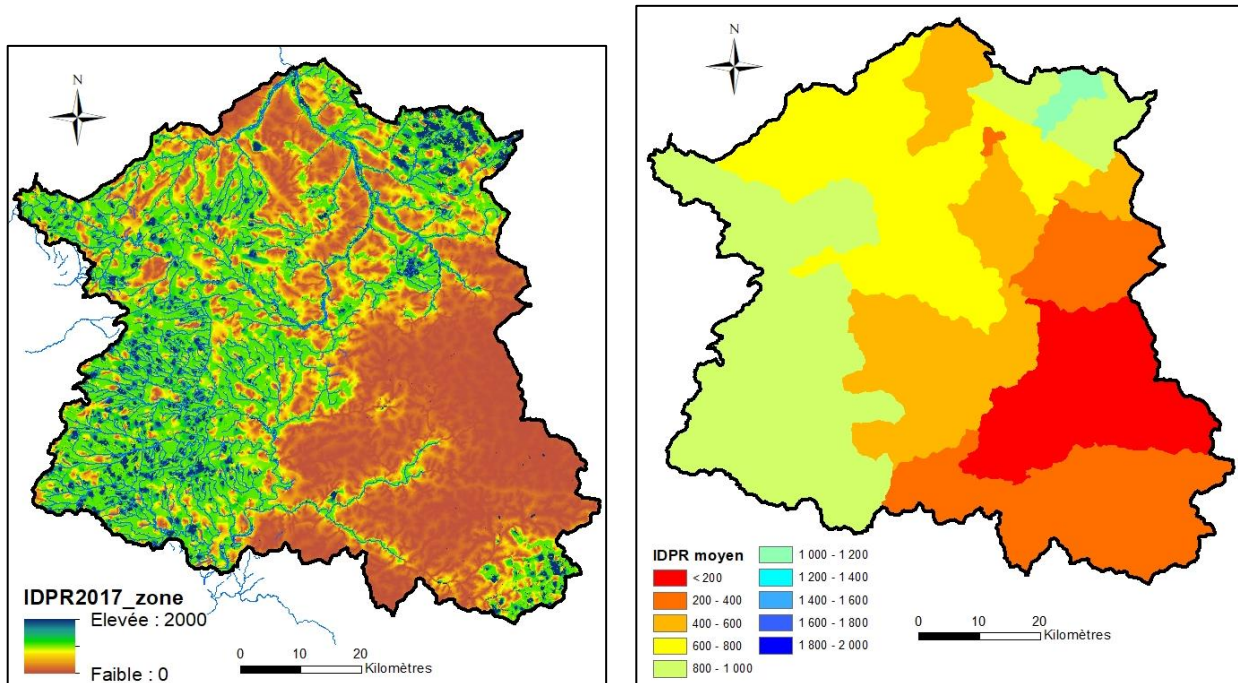


Illustration 64 – IDPR sur la zone d'étude (BRGM©) (au pixel de 25m à gauche et agrégé à la zone hydrographique BDCarthage à droite)

Le ruissellement joue un rôle plus important sur la partie crayeuse de la zone d'étude, à l'ouest, et en particulier sur la partie du bassin du Loir. Entre Nogent-le-Rotrou et Châteaudun, la topographie est plus marquée et le réseau hydrographique plus développé. Dans ce secteur, les argiles à silex d'épaisseurs variables (de 5 à 40 m) recouvrent la craie séno-turonienne et favorisent le ruissellement (même si l'infiltration reste *a priori* dominante).

Un exemple d'agrégation par zone hydrographique (BDCarthage) est donné par l'illustration 64 (carte de droite), d'autres pistes seront explorées en phase 2 (unités hydrogéologiques BDLISA affleurantes, etc.).

5.1.4. Conclusion

Toutes les données d'entrée nécessaires au calcul du bilan hydro-climatiques (pluies efficaces, partition ruissellement / infiltration) sont disponibles sur la zone d'étude. En revanche, un travail important reste nécessaire en amont de la modélisation pour mieux contraindre l'estimation de la recharge et surtout sa spatialisation. Celui-ci est détaillé au chapitre 6.

5.2. PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES

Pour exécuter les calculs, le logiciel de modélisation doit disposer d'une valeur de perméabilité et d'un coefficient d'emménagement dans chacune des mailles de la zone modélisée. Ces paramètres hydrodynamiques sont connus ponctuellement après interprétation de pompages d'essai de longue durée. A noter que pour les formations peu perméables, très rarement investiguées, il est habituel qu'aucun paramètre ne soit disponible.

Le passage d'informations ponctuelles à une distribution spatialisée repose en grande partie sur la perception subjective des faciès par les géologues, et sur la traduction quantitative qu'en font

les hydrogéologues. Si la zonation et les valeurs associées sont ajustées lors du calage du modèle, il est important de pouvoir s'appuyer sur des données de terrain.

Trois sources ont permis d'identifier les ouvrages de la zone d'étude disposant de données sur la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement issues de l'interprétation de pompages d'essai. La première a été fournie par **l'Agence Régionale de Santé (ARS)** avec les rapports des hydrogéologues agréés (forages AEP).

L'ARS a mis à notre disposition les rapports relatifs aux 15 principaux champs captants de la zone d'étude. 9 disposent de données sur les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères captés avec les coordonnées géographiques et les indices BSS des forages correspondants. Ces champs représentent 12 forages captant la nappe de la craie séno-turonienne.

Les ouvrages **BSS** localisés sur la zone d'étude et disposant de données sur les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères constituent la deuxième source de données. Parmi ce recensement, les ouvrages décrits dans les rapports fournis par l'ARS et déjà intégrés à la BSS ont été conservés uniquement si les caractéristiques hydrodynamiques issus de la BSS diffèrent de ceux décrits dans les rapports ARS.

De plus, 25 des forages disponibles en BSS ont fait l'objet d'une récente réinterprétation à partir des données de pompages d'essai disponibles. L'ensemble des ouvrages recensés avec leurs paramètres hydrodynamiques et leur localisation sont fournis en Annexe 3. Les essais disponibles en BSS et réinterprétés par le BRGM sont indiqués dans la colonne source (BSS (R)).

Enfin, la troisième source de données provient des rapports fournis par **Chartres Métropole** sur la réalisation de forages récents autour de l'agglomération de Chartres ayant pour objectif la recherche de nouvelles ressources en eau potable. La maîtrise d'œuvre de cette campagne a été réalisée par les entreprises Utilities Performance et Telosia. Les rapports finaux de ces forages sont au nombre de 4 :

- rapport de fin de travaux des forages définitifs de Ver-lès-Chartres (Mayer S., 2018),
- rapport de fin de travaux des forages définitifs de St-Georges-sur-Eure (Mayer S., 2018),
- rapport de fin de travaux du forage définitif de Nogent-sur-Eure (Mayer S., 2018),
- rapport de fin de travaux des forages définitifs de St-Prest Le Gorget et St-Prest La Forte Maison (Mayer S., 2018).

Ces rapports fournissent des interprétations de pompages d'essai pour 7 forages. Les résultats de ces interprétations sont résumés dans le tableau suivant (Illustration 65).

NOM	X	Y	Commune	Aquifère	T (m ² /s)	K (m/s)	S (-)
Forage de l'abbaye 2	587351	6810952	Ver-lès-Chartres	Craie	5.00E-03	1.61E-04	4.25E-04
Forage de l'abbaye 1	587356	6810945	Ver-lès-Chartres	Craie	3.22E-03	3.37E-04	9.50E-03
Andrevilliers 1	579887	6813908	Saint-Georges sur Eure	Argiles à silex	9.80E-03	6.53E-04	2.55E-01
Andrevilliers 2	579829	6813935	Saint-Georges sur Eure	Argiles à silex	9.85E-03	9.85E-04	1.64E-01
Forage de Launay	580526	6812149	Nogent sur Eure	Craie	2.08E-02	1.04E-03	8.28E-03
Forage du Gorget	589468	6821301	Saint-Prest	Craie	2.20E-02	9.17E-04	1.55E-06
Forage de la Forte Maison	590400	6821709	Saint-Prest	Craie	2.80E-02	1.40E-03	5.04E-02

Illustration 65 – Synthèse des résultats fournis par l'interprétation des pompages d'essai réalisés dans le cadre de l'étude sur la recherche de nouvelles sources d'eau potable commandée par Chartres Métropole

Au total, sur l'ensemble des trois sources de données (ARS, BSS, et Chartres Métropole), 104 ouvrages sont recensés. Tous possèdent des valeurs de transmissivité et 46 d'entre eux des valeurs d'emmagasinement. Les 7 ouvrages de Chartres métropole possèdent des valeurs de perméabilités (cf. Illustration 65). Parmi les autres ouvrages, seuls 2 présentent une valeur de perméabilité : l'ouvrage 03637X0145/FAEP avec une valeur à 0.005 m/s (source BSS) et l'ouvrage 02912X0053/F1AEP avec une valeur à 0.015 m/s (source ARS).

L'Illustration 67 représente la localisation de ces ouvrages sur la zone d'étude avec la provenance des données (ARS, BSS ou Chartres Métropole) et les valeurs de transmissivité associées. L'Illustration 68 représente la même chose mais pour les valeurs du coefficient d'emmagasinement.

Les ouvrages pour lesquels plusieurs valeurs de transmissivité et de coefficients d'emmagasinement sont recensées se trouvent dans le tableau suivant. Les transmissivités sont relativement cohérentes entre elles, excepté pour le forage 02548X0044/FAEP où la différence est d'un facteur 10. Les valeurs d'emmagasinement sont en revanche très dispersées pour un même ouvrage. La priorité est donnée aux valeurs issues d'une réinterprétation récente des pompages d'essai par le BRGM (Illustration 66).

Indice BSS	T (m ² /s)	S (-)	Source
02164X0074/F1AEP	0.066		ARS
02164X0074/F1AEP	0.070		BSS (BRGM)
02548X0044/FAEP	0.003		BSS
02548X0044/FAEP	0.024		BSS (BRGM)
02552X0067/FE-2	0.0082		BSS
02552X0067/FE-2	0.0034		BSS (BRGM)
02904X0058/FAEP	0.173	1e ⁻¹¹	ARS
02904X0058/FAEP	0.135	4.3e ⁻⁶	BSS (BRGM)
02904X0058/FAEP	0.130	0.05	BSS
02918X0088/F3	0.0014	0.00062	ARS
02918X0088/F3	0.0013	1.7e ⁻⁶	BSS (BRGM)
03636X0695/F4AEP		0.09	BSS (BRGM)
03636X0695/F4AEP		0.009	BSS

Illustration 66 – Ouvrages ayant plusieurs paramètres hydrodynamiques définis

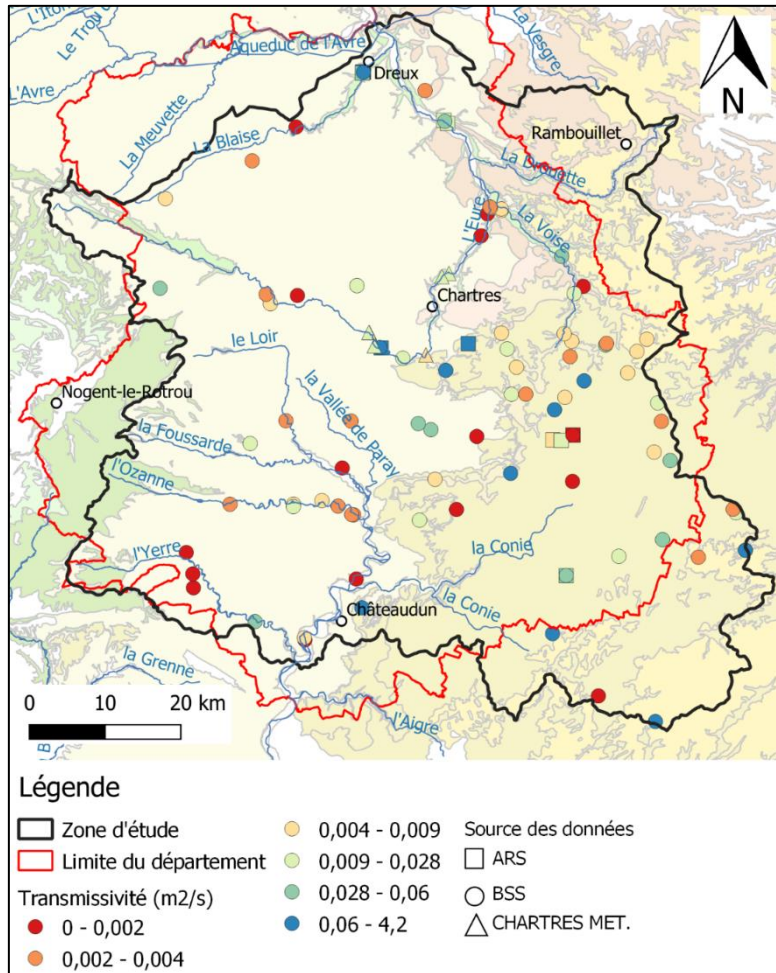


Illustration 67 – Transmissivités compilées sur la zone d'étude (tout aquifère confondu)

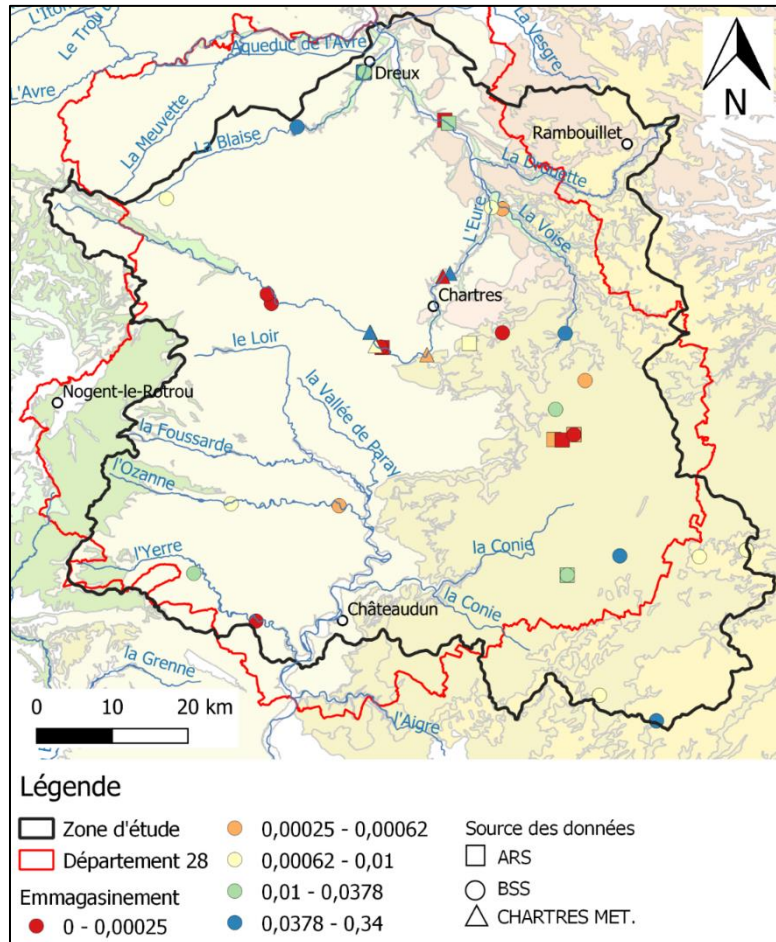


Illustration 68 – Coefficients d’emmagasinement compilés sur la zone d’étude (tout aquifère confondu)

L’identification des aquifères captés a été réalisée grâce aux informations de la bibliographie et de la BSS. Si aucune entité BDLISA n’est associée à l’ouvrage BSS, l’aquifère capté a été identifié en consultant les coupes géologiques et techniques des ouvrages dans la BSS. La méthode d’attribution des couches aquifères aux ouvrages BSS est indiquée dans la colonne « Attribution » du tableau de l’Annexe 3. Le résultat de cette identification est visible sur l’Illustration 69.

Au total, 16 forages captent les calcaires de Beauce, 73 la craie séno-turonienne, 5 les formations résiduelles à silex, 4 les Sables de Fontainebleau, 4 les Sables du Perche et 2 ouvrages captent à la fois les calcaires de Beauce et les sables de Fontainebleau. L’ensemble des ouvrages ARS est identifié comme captant la nappe de la craie, conformément aux informations disponibles dans les rapports ARS.

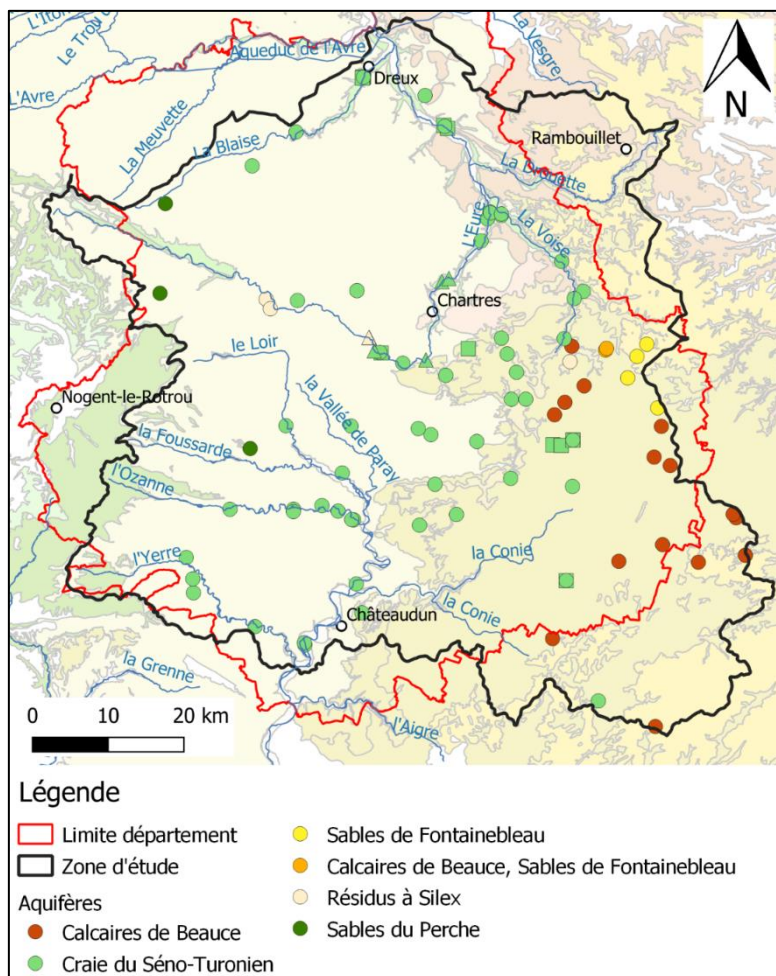


Illustration 69 – Localisation des pompages d'essai compilés classés par aquifère capté (sources : carrés = ARS, ronds = BSS, triangles = Chartres Métropole)

En définitive, la connaissance des paramètres hydrodynamiques pour chacun des principaux aquifères en jeu apparaît suffisante et ne justifie pas la mise en œuvre de pompages d'essai supplémentaires. La reprise des interprétations de plusieurs pompages d'essai permet par ailleurs de renforcer la fiabilité des valeurs calculées.

Ces valeurs de terrain, disponibles ponctuellement, permettront de guider les champs de perméabilité et d'emmagasinement qu'il s'agira d'intégrer dans le modèle maillé (champs ensuite ajustés lors de l'étape de calage).

5.3. RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Compte tenu du contexte hydrogéologique (nappe libre en connexion avec les cours d'eau), il est indispensable que le futur modèle intègre les eaux superficielles de façon explicite, c'est-à-dire qu'il calcule les écoulements dans les nappes souterraines et dans les cours d'eau et de ce fait estime les échanges nappe-rivière de chaque maille des couches affleurantes.

5.3.1. Principe de calcul des échanges nappe-rivière dans MARTHE

Le réseau hydrographique, qui se superpose alors au maillage de surface, est composé d'un système arborescent de tronçons de rivières organisés en affluents. Un tronçon constitue en fait une « maille rivière » en relation avec une maille du modèle d'écoulement souterrain.

Les données de rivière sont définies par tronçon. Un tronçon est décrit par sa géométrie (longueur, largeur, et altitude du lit), par ses propriétés physiques (épaisseur et perméabilité du lit et des berges), par ses termes sources (pompages ou injections) et par son état (hauteur d'eau dans la rivière). Toutes ces données doivent donc être renseignées dans chacune des mailles rivière du modèle. A l'instar des paramètres hydrodynamiques, les valeurs connues au mieux ponctuellement seront spatialisées et ajustées au cours de la phase du calage du modèle.

Selon la position relative de la ligne d'eau dans la rivière et de la surface libre dans l'aquifère, un débit peut être échangé depuis un tronçon de rivière vers l'aquifère, ou réciproquement depuis l'aquifère vers la rivière (Illustration 70). Le débit d'échange est contrôlé par le lit et les berges du cours d'eau en fonction de leur surface, épaisseur et perméabilité.

Pour plus de détail, le lecteur peut se référer au rapport BRGM/RP-64554-FR (Thiery 2015).

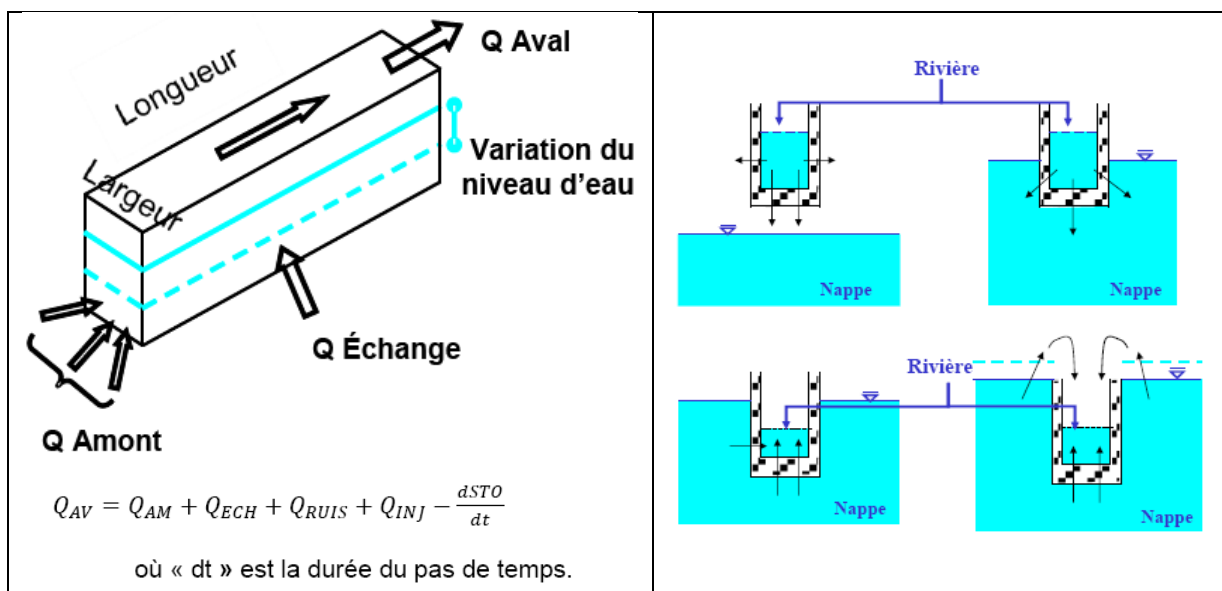


Illustration 70 – Bilan des débits dans un tronçon de rivière et différentes configurations d'échange modélisées par MARTHE (Thiery, 2015) (Q_{AM} = débit provenant de la maille rivière amont, Q_{ECH} = débit échangé avec la nappe, Q_{RUIS} = débit apporté par le ruissellement, Q_{INJ} = débit injecté ou prélevé à la rivière, $dSTO/dt$ = stockage / déstockage dans la maille rivière pendant le pas de temps de calcul)

5.3.2. Données compilées

L'implémentation du réseau hydrographique dans le modèle pourra s'appuyer sur le S.I.G. de la BD Carthage® (Base de Données sur la CARTographie Thématique des Agences de l'eau et du ministère chargé de l'environnement). Elle permettra notamment de définir l'arborescence du réseau.

Concernant la géométrie des cours d'eau, à ce stade, des informations ont pu être récupérées uniquement sur la Blaise, mais cela concerne essentiellement les largeurs du cours d'eau (cotes de la ligne d'eau et de fond rarement disponibles). Ces données ont été fournies par le Syndicat du Bassin Versant des 4 Rivières (SBV4R).

Le SBV4R nous a également transmis la localisation des principaux ouvrages hydrauliques présents sur la Blaise et sur un court tronçon de l'Eure, entre Villiers-le-Morhier et Villemeux-sur-Eure. La prise en compte de ces derniers est importante car ils viennent souvent impacter la ligne d'eau.

L'illustration 71 localise les profils en travers disponibles et les principaux ouvrages hydrauliques répertoriés (vannage, seuils, moulins).

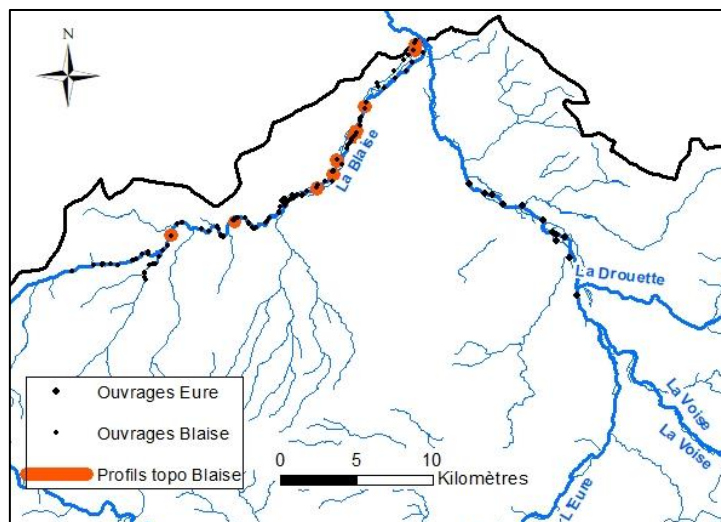


Illustration 71 – Localisation des profils en travers sur la Blaise et des ouvrages hydrauliques sur la Blaise et l'Eure entre Villiers-le-Morhier et Villemeux-sur-Eure (source : SBV4R)

En complément, l'ensemble des ouvrages hydrauliques a été exporté depuis le référentiel national des Obstacles à l'Écoulement et Informations sur la Continuité Ecologique (GEOBS - <https://geobs.brqm.fr>).

L'illustration 72 présente une carte de localisation de ces différents obstacles : un total de 983 ouvrages est répertorié. 359 présentent une haute de chute supérieure à 1 m.

En outre, les cotes d'eau du réseau hydrographique modélisé pourront être tirées des données Lidar. La DDT28 a fait savoir qu'elles seront disponibles gratuitement à partir de 2022 sur tout le département (IGN).

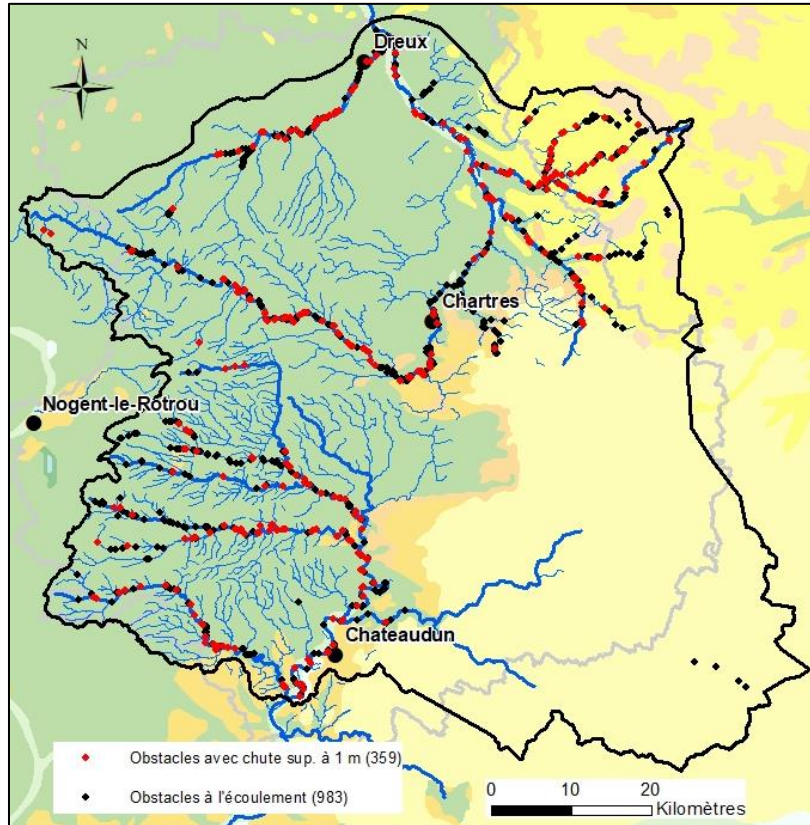


Illustration 72 – Inventaire des obstacles à l'écoulement des rivières (<https://geobs.brgm.fr>)

Par rapport aux informations qu'il est nécessaire de renseigner dans un modèle couplant eaux superficielles et eaux souterraines (§ 5.3.1), trop peu de données ont pu être compilées sur la zone d'étude. A minima, des mesures précises (GPS différentiel) relatives à la géométrie des principaux tronçons de rivière devront être mises en œuvre sur le terrain, en période d'étiage de préférence.

L'inventaire des ouvrages hydrauliques structurant permettra de guider l'implantation des profils en travers.

Aucune donnée concernant le colmatage (épaisseur et perméabilité du lit et berges) n'a été identifiée. Il faut souligner que ce type de donnée est rarement disponible et que les valeurs sont ajustées en cours de calage du modèle.

5.4. DONNEES DE REFERENCE POUR LE CALAGE

Dans le cas d'une modélisation de la nappe de la craie, comme vu précédemment, il est important que le calage porte à la fois sur les débits de rivière et les niveaux piézométriques.

5.4.1. Débits des cours d'eau

Banque hydro

Il a tout d'abord été procédé à un export de données à partir de la banque Hydro (<http://www.hydro.eaufrance.fr>) : au total 20 stations hydrologiques, suivies en débits, sont présentes sur la zone d'étude ou dans sa périphérie immédiate. Seules 10 sont actuellement en service, avec un suivi des débits.

Ces dernières se répartissent de la façon suivante : 3 sur l'Eure, 1 sur la Blaise, 1 sur la Drouette, l'Ozanne, le Loir, l'Yerre, la Conie et la Voise. Deux suivis sont particulièrement récents (mise en service à l'été 2017) : l'Eure à Lèves et la Voise à Ymeray. Pour cette dernière, les coordonnées géographiques reportées dans la Banque hydro sont erronées.

En complément, 4 stations en service sont uniquement suivies en hauteur d'eau ; aucune courbe de tarage, même expérimentale, n'existe pour ces stations qui ne sont pas jaugées : 3 stations sur le Loir et 1 sur l'Ozanne.

Toutes ces stations sont listées dans le tableau de l'illustration 73 et localisées sur la carte de l'illustration 74.

Pour les 10 stations abandonnées, les suivis ont été interrompus entre 1985 et 1994, bien avant la période de modélisation envisagée, à l'exception de la Blaise à Garnay, abandonnée en 2003. Cette dernière a été remplacée par la station d'Aunay-sous-Crécy, un peu en amont, mais uniquement à partir de fin 2013 (Illustration 73).

Code_station	Nom_station	Variable suivie	Superficie (km ²)	Date de mise en service	Altitude (m NGF)	XL2e (m)	YL2e (m)
H4180411	La Blaise à Aunay-sous-Crécy	Débit	374	22/11/2013	114	523 997	2 408 763
M1073020	La Conie à Conie-Molitar	Débit	1446	01/01/1965	112	534 150	2 347 250
H9113001	La Drouette à Saint-Martin-de-Nigelles	Débit	231	01/12/1987	100	544 999	2 402 125
H4068400	La Voise à Ymeray	Débit	285	18/08/2017	132	553 684	2 390 241
M1041610	Le Loir à Saint-Maur-sur-le-Loir	Débit	1166	01/01/1967	116	531 683	2 350 717
H9121010	L'Eure à Charpont	Débit	2030	09/10/1984	81	534 142	2 411 743
H4040211	L'Eure à Lèves	Débit	701	20/07/2017	122	536 924	2 385 726
H9021010	L'Eure à Saint-Luperce	Débit	319	17/12/1964	154	522 651	2 383 883
M1034020	L'Ozanne à Trizay-lès-Bonneval	Débit	271	01/04/1972	126	526 486	2 357 125
M1114011	L'Yerre à Saint-Hilaire-sur-Yerre	Débit	296	01/04/1993	97	519 559	2 337 390
M1011610	Le Loir à Saint-Avit-les-Guespières	Hauteur	240	01/01/2003	142	520 630	2 363 860
M1041620	Le Loir à bonneval	Hauteur	1042	01/01/2003	122	529 150	2 353 870
M1101610	Le Loir à Châteaudun	Hauteur	2749	01/01/2003	105	524 460	2 341 900
M1034010	L'Ozanne à Brou	Hauteur	171	01/01/2003	150	512 720	2 357 450

Illustration 73 – Stations hydrologiques en service (source : Banque hydro)

Il est intéressant de souligner que les sous-bassins ainsi jaugés couvrent la quasi-totalité de la zone d'étude (Cf. Illustration 74). Seules l'extrémité nord (Blaise et Eure) et l'extrémité sud (Loir) ne sont pas suivies en continu.

Sur la zone d'étude, le suivi apparaît un peu moins complet sur le Loir avec une seule station située à Saint-Maur-sur-le-Loir. Les stations de Saint-Avit-les-Guespières (en amont de la confluence avec la Foussarde) et de Châteaudun (aval de la zone d'étude) n'ont malheureusement pas de signification hydrologique et les enregistrements en hauteur d'eau ne pourront pas être traduits en débits. L'information sur la hauteur d'eau reste cependant très intéressante et peut aider à justifier ou non la considération d'une hauteur d'eau constante dans le cours d'eau.

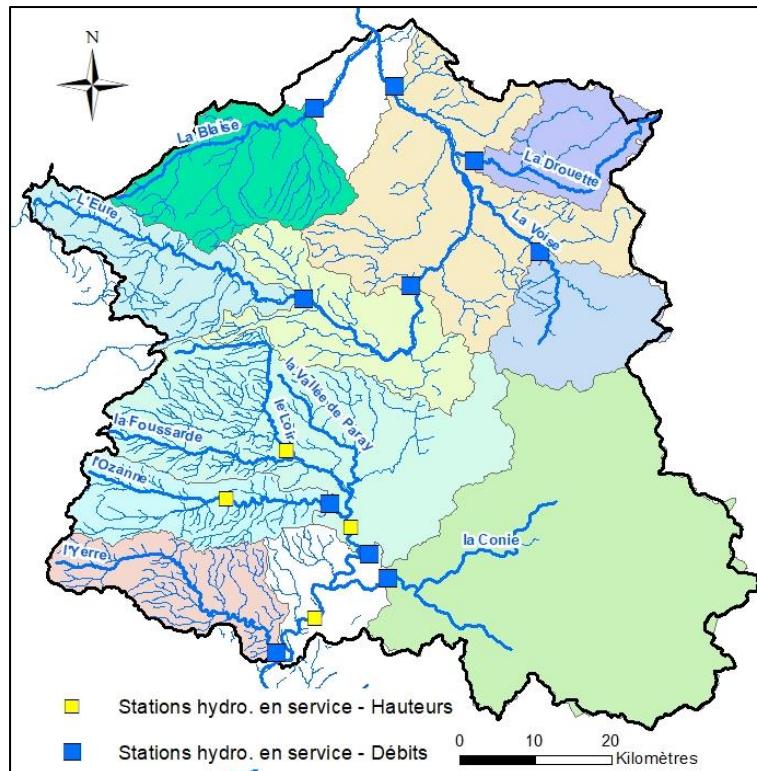


Illustration 74 – Carte de localisation des stations hydrologiques en service et bassins versants associés (DREAL Centre Val de Loire, DREAL Pays de la Loire)

Jaugeages ponctuels

En complément, des données de débits associées à des jaugeages ponctuels ont été fournies par la DREAL Centre Val de Loire, le CD28 et la DDT28 (Cf. localisation, Illustration 75).

Les données de jaugeage transmises par le **CD28** concernent 17 points sur la zone d'étude, avec des dates de mesure comprises entre 2001 et 2014. En complément des cours d'eau principaux (Eure, Loir, Ozanne, Yerre, Voise, Blaise), plusieurs rivières secondaires sont également suivies (Thironne, Foussarde, Sainte-Suzanne, Roguette, La Loupe, Aunay). Les périodes de suivi sont aléatoires et il faut noter qu'aucune donnée n'est disponible pour les années 2007 et 2011.

Pour les données **DREAL**, les plus anciennes mesures remontent aux années 60 tandis que les plus récentes datent de début 2007. Seules les stations présentant des mesures postérieures à 1997 sont ici présentées (Illustration 75). Il faut également noter des jaugeages réalisés sur le Loir amont.

La **DDT28** assure un suivi des cours d'eau en période d'étiage depuis 2005, cela concerne 10 points de mesure sur la zone d'étude (Illustration 75). Les mesures débutent en général au mois

d'avril pour se terminer aux mois d'octobre/novembre avec une fréquence bimensuelle depuis 2009. Il faut noter que deux points de mesure sont communs à ceux suivis par le CD28 jusqu'en 2014 : la Roguenette à Saint-Prest et le Loir à Alluyes.

Ce suivi précieux permettra d'apporter des informations complémentaires aux stations hydrologiques répertoriées dans la Banque hydro en période d'étiage, avec des points de calage supplémentaires :

- sur le réseau hydrographique secondaire : la Roguenette à Saint-Prest et le ruisseau des Vacheresses à Lormaye,
- sur des rivières non suivies par les DREAL : la Foussarde à Mézière-Saint-Avit, la Thironne à Illiers-Combray,
- sur d'autres portions de rivières suivies par la DREAL : l'Eure à Jouy (en aval de la station de Lèves), le Loir à La Ronce (en amont de la station de Saint-Maur), l'Ozanne à Brou (en amont de la station de Trizay-lès-Bonneval), l'Yerre à Arrou (en amont de la station de Saint-Hilaire) et la Voise avec deux section jaugées, une en aval de la station DREAL (Houx) et une en amont (Oinville-sous-Auneau).

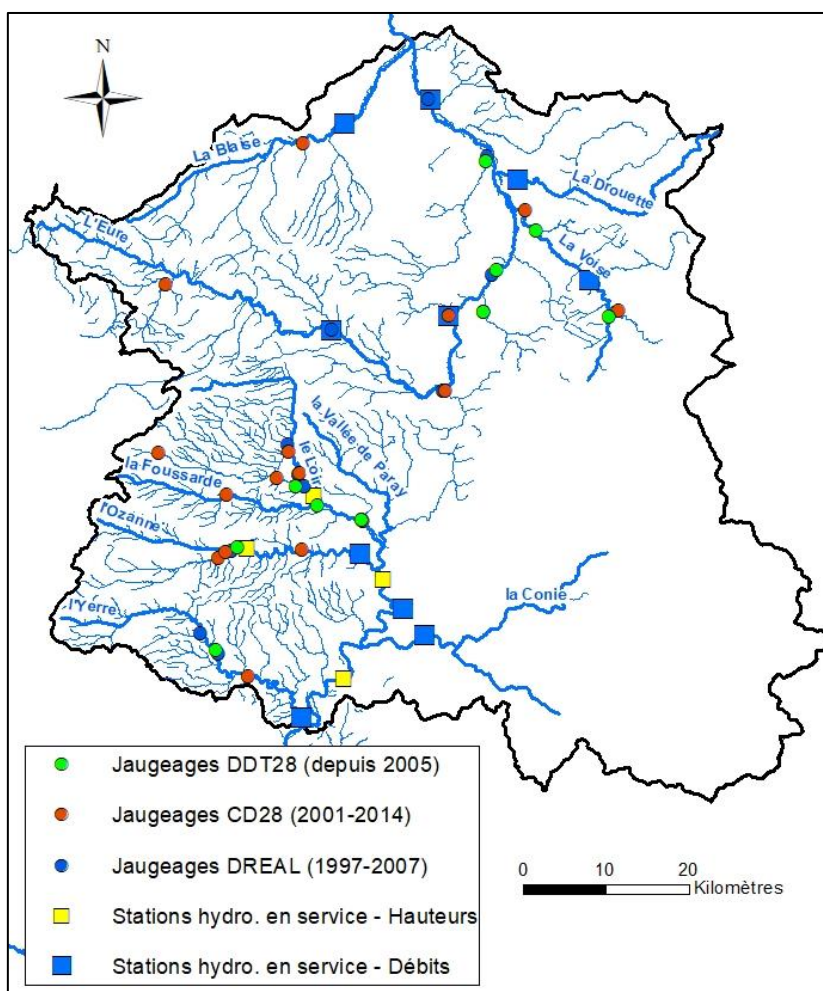


Illustration 75 – Carte des sections de rivière ponctuellement jaugées (DREAL Centre Val de Loire, CD28, DDT28)

Réseau ONDE

Le site ONDE met à disposition les données de l'observatoire national des étiages. Elles sont issues d'observations visuelles réalisées par les agents départementaux de l'OFB pendant la période estivale depuis 2012. Les relevés sont mensuels.

Les données ont été récupérées sur le portail internet dédié : <https://onde.eaufrance.fr>.

Un exemple des observations issues de la campagne de juillet 2020 est présenté par l'illustration 76. On peut constater que des assecs ont été observés sur la Conie à Notonville et Bazoche-en-Dunois, sur la Meuvette à Revercourt (station aval), l'Eure à Neuilly, le ruisseau de la Loupe ou encore sur l'Yerre à Saint-Hilaire-sur-Yerre (station aval).

Ces données pourront s'avérer précieuses pour valider la capacité du modèle à simuler certains assecs en tête de bassin. La densité de ces stations est importante et permet de couvrir les principaux sous-bassins versants (Illustration 76).

Il faut noter que le Syndicat Mixte d'Aménagement et de Restauration du bassin du Loir (SMAR Loir 28) procède également à une surveillance des assecs sur le Loir amont, selon une démarche similaire à celle du réseau ONDE.

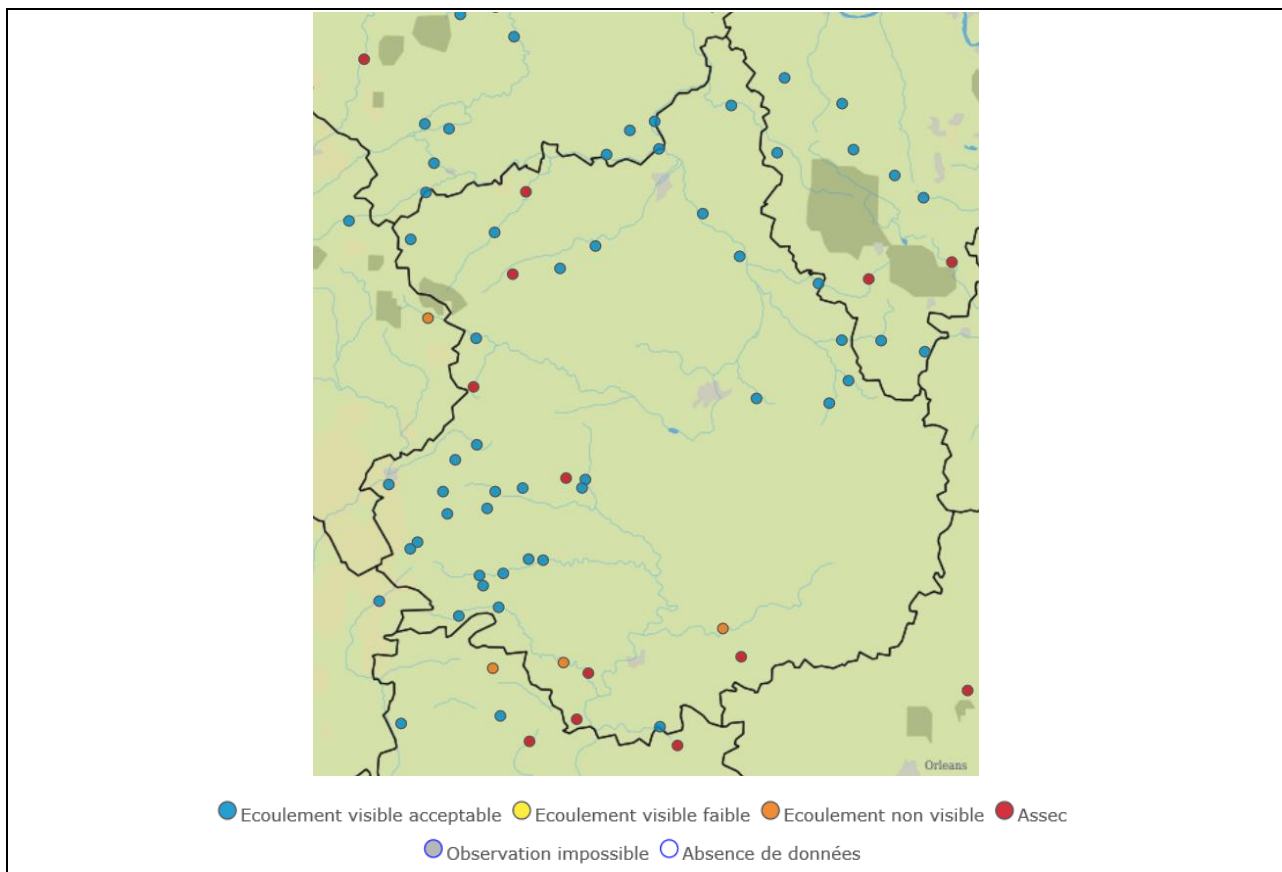


Illustration 76 – Carte des stations d'observation des étiages présentes sur la zone d'étude et résultats de la campagne de juillet 2020 (<https://onde.eaufrance.fr>)

5.4.2. Piézométrie

Cartes piézométriques

Le Conseil Départemental d'Eure-et-Loir (CD28) dispose de cartes piézométriques sur différents secteurs et différentes périodes de temps pour la nappe de la Craie, la nappe de Beauce et la nappe du Cénomaniens (Sables du Perche). Une carte moyennes eaux de 2001 est également issue du rapport sur l'étude hydrogéologique de la craie réalisée par la Compagnie Générale de Géophysique pour le compte du département. Pour la nappe de la Craie, un total de 20 cartes est disponible. L'illustration 76 en fournit la liste.

Secteur	Année	Période	Source
Mignières	2016	Juin	CD28
Nogent-le-Phaye	2016	Juin	CD28
St Georges sur Eure	2016	Juin	CD28
Sours	2014	Inconnue	CD28
Bailleau l'Evêque	2014	Inconnue	CD28
Berchères St Germain	2011	Hautes eaux	CD28
Bassins de l'Avre et de la Blaise	2009	Basses et hautes eaux	BRGM
Bonneval	2008	Août	CD28, TELOSIA
Sud du département	2008	Basses eaux	CD28, BRGM
Dammarie	2006	Août	CD28, DREAL
Sud du département	2005	Août	CD28, DREAL
Sud du département	2002	Hautes eaux	CD28, DREAL
Nord du département	2002	Hautes eaux juillet	CD28, DREAL
Département	2001	Moyennes eaux	CG28, Compagnie Générale de Géophysique
Voves	2001	Mai	CD28, BRGM
Voves	1998	Septembre	CD28, BRGM
Nord du département	1994	Basses eaux	CD28
Chartres	1992	Basses eaux	CD28, BRGM, J. Lauverjat (UPMC)
Nord du département	1980	Hautes eaux (juin-juillet)	CD28
Sud-Est Chartres	1974	Basses eaux	CD28, N. Desprez BRGM
Département	1967	Inconnue	CD28, M. Albinet (1967)

Illustration 77 – Liste des cartes piézométriques fournies par le CD28 pour la craie séno-turonienne en Eure-et-Loire

La carte de hautes eaux de juillet 2002 (DREAL), la carte de basses eaux de 2008 (BRGM) et la carte de moyenne eaux de 2001 de la craie Séno-Turonienne sont reportées en Annexe 4.

En outre, 4 cartes piézométriques de la nappe de Beauce sont disponibles :

- la piézométrie hautes eaux 2002 des calcaires de Pithiviers (formation Miocène/Aquitainien) (DREAL) ;
- la piézométrie hautes eaux 2002 des formations Oligocènes (DREAL) ;
- la piézométrie basses eaux 1994 de la nappe de Beauce (Agence de l'Eau, BRGM) ;
- la piézométrie des formations Oligocènes de 1966-1968 (BRGM).

La piézométrie hautes eaux 2002 des calcaires de Pithiviers est reportée en Annexe 5.

Enfin, la piézométrie des nappes des sables du Cénomani est disponible en 1987 (basses eaux) (Agence de l'Eau) et 1994 (BRGM et Agence de l'Eau). La carte piézométrique de 1994 est reportée en Annexe 6. On retrouve sur cette dernière carte la situation piézométrique des calcaires de Beauce et de la Craie en 1994, issues de la même campagne de mesures des nappes libres en Eure-et-Loir.

L'ensemble de ces cartes piézométriques est disponible au format numérique et directement exploitable par un S.I.G. (Shape files). On dispose ainsi d'une couverture satisfaisante de l'ensemble de la zone d'étude.

Chroniques piézométriques

61 piézomètres inclus dans la banque de données ADES (Accès aux Données sur les Eaux Souterraines) sont disponibles sur la zone d'étude. Ces données peuvent être récupérées sur le portail internet dédié : <https://ades.eaufrance.fr/>.

Leur répartition spatiale est visible sur l'illustration 78 et leurs caractéristiques (code BSS, coordonnées, aquifère suivi, nombre de mesures, années minimales et maximales des mesures) sont consignées en Annexe 7.

Les correspondances avec les aquifères suivis ont été établies à partir de la connaissance de l'entité BDLISA, des coupes géologiques et techniques (BSS) ainsi que du référentiel Masses d'eau souterraine 2010. On dénombre ainsi :

- 31 piézomètres pour les calcaires de Beauce, dont 13 sont en service. Les piézomètres abandonnés ont en général été suivis jusqu'au milieu des années 2000. Les stations en service disposent d'historiques importants, depuis 1965/1966 (pour 2 ouvrages), 1974 (6 ouvrages), 1993/1994 (6 ouvrages) et 1997 (1 ouvrage) ;
- 1 piézomètre pour les sables de Fontainebleau (suivi depuis 2013) ;
- 19 piézomètres pour la craie Séno-Turonienne, dont 17 sont en service. Les suivis ont démarré en 1974 (pour 1 ouvrage) et en 1993/1994 pour le reste ;
- 7 piézomètres pour les Sables du Perche, dont 4 en service (suivis démarrés en 1993/1994). Seul 1 des 3 piézomètres abandonnés présente un historique important (1974-2007) ;
- 1 piézomètre pour l'Albien, en service depuis 1994 ;
- 2 piézomètres n'ont pas pu être rattachés à une unité aquifère faute d'informations suffisantes (ils ne sont plus suivis depuis 2006/2007).

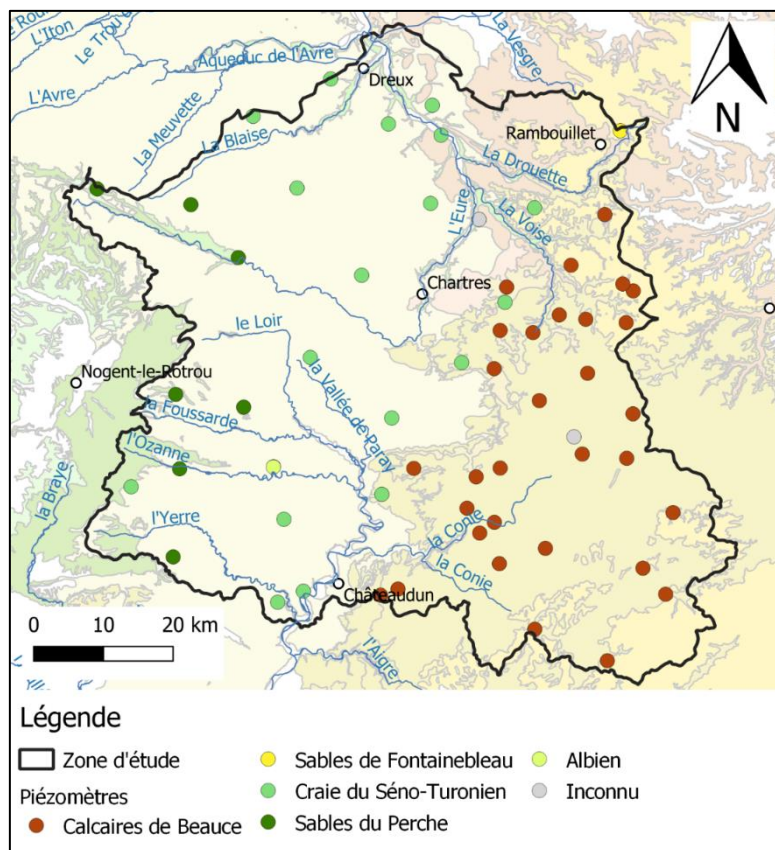


Illustration 78 – Localisation des piézomètres extraits d'ADES et aquifères suivis

La recherche d'autres piézomètres exploitables sur la zone d'étude dans la BSS-EAU s'est avérée infructueuse.

Après vérification, ni la DREAL ni les exploitants AEP de l'agglomération du Pays de Dreux ou de Chartres Métropole ne disposent de piézomètres supplémentaires sur la zone d'étude qui ne seraient pas référencés dans ADES. En revanche, des forages AEP exploités par Chartres Métropole Eau sont suivis en continu, les données sont en cours de récupération et seront intégrés en phase 2.

Il a été procédé à un premier traitement des chroniques piézométriques afin d'une part de disposer d'une vision synthétique des différents comportements hydrodynamiques et d'autre part de « nettoyer » les données. Sont indiqués pour chaque ouvrage sa localisation, la chronique brute initiale, la chronique éventuellement corrigée, la valeur du battement maximal, le périodogramme, la courbe de décharge et les résultats des tests de tendance (Mann-Kendall) et de rupture (Pettit) sur les minima annuels (Illustration 79).

Ces traitements ont été réalisés à l'aide du code R et s'appuient sur les développements réalisés par le BRGM dans le cadre de l'amélioration des indicateurs piézométriques de la région Grand Est (Manceau et al., 2020).

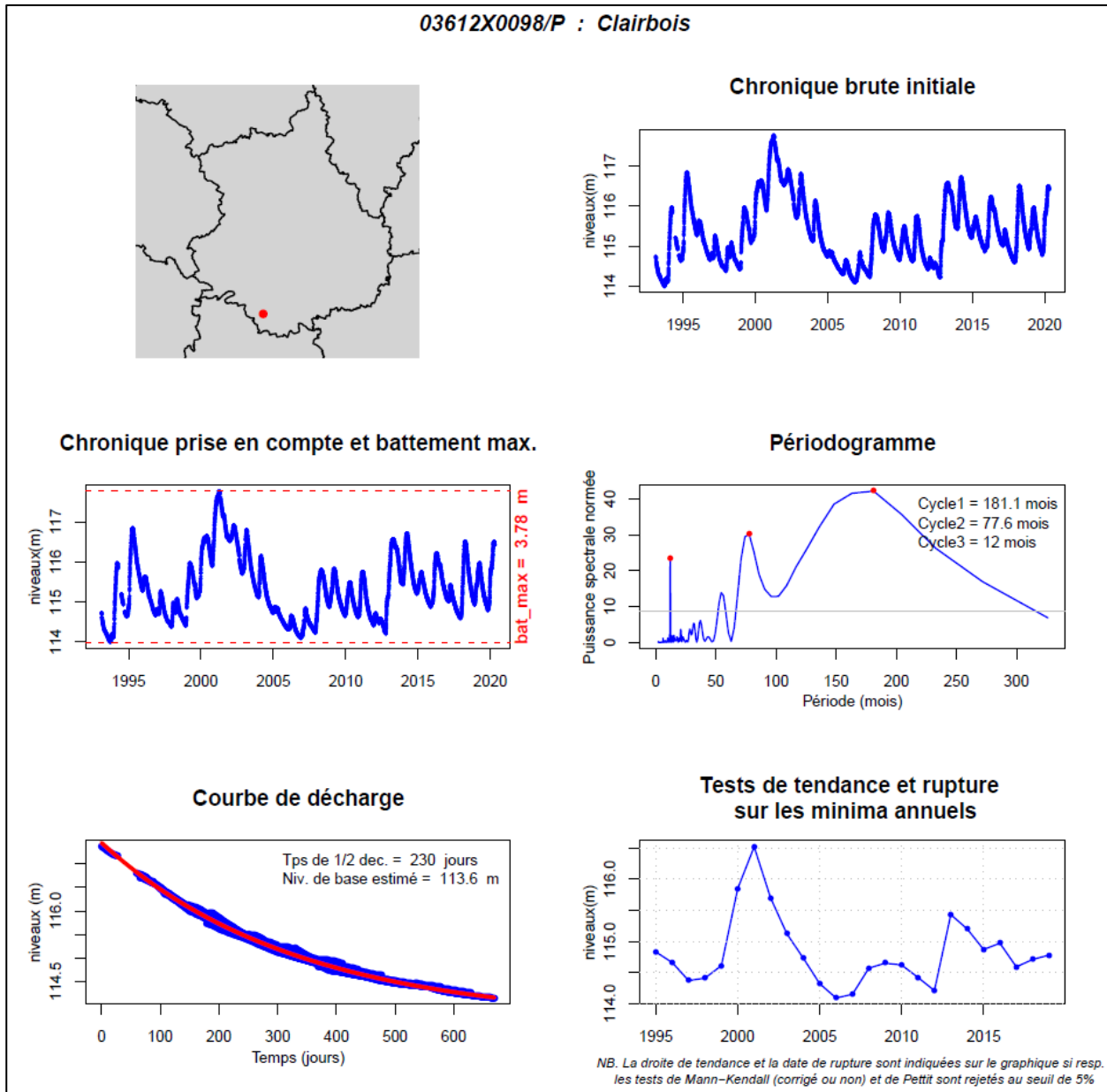


Illustration 79 – Fiche de synthèse élaborée pour chaque chronique piézométrique de la zone d'étude (exemple pour la nappe de la craie)

Sources

L'inventaire des sources sur la zone d'étude a été réalisé à partir de la Banque des données du Sous-Sol du BRGM et des données transmises par le Conseil Départemental 28. Le croisement de ces deux sources de données et l'identification des doublons a permis de recenser au total 169 sources.

Dans ce recensement, certains points de la base de données CD28, sans numéro BSS, et très proches de points de la base de données BSS, ont été conservés. En effet, il est difficile de savoir s'il s'agit de doublons ou non. Un point de la base de donnée CD28 sans numéro BSS se superposant à quelques mètres près avec un point de la base de donnée BSS est considéré comme un doublon. La localisation de ces sources est représentée sur l'illustration 80 : 67

proviennent de la nappe de la craie, 13 de la nappe de Beauce, 2 des Sables de Fontainebleau, 13 des Sables du Perche, et 74 sont d'origine inconnue.

L'identification des sources d'origine inconnue pourra être faite pour certains points selon les documents disponibles en BSS (coupes techniques, etc.).

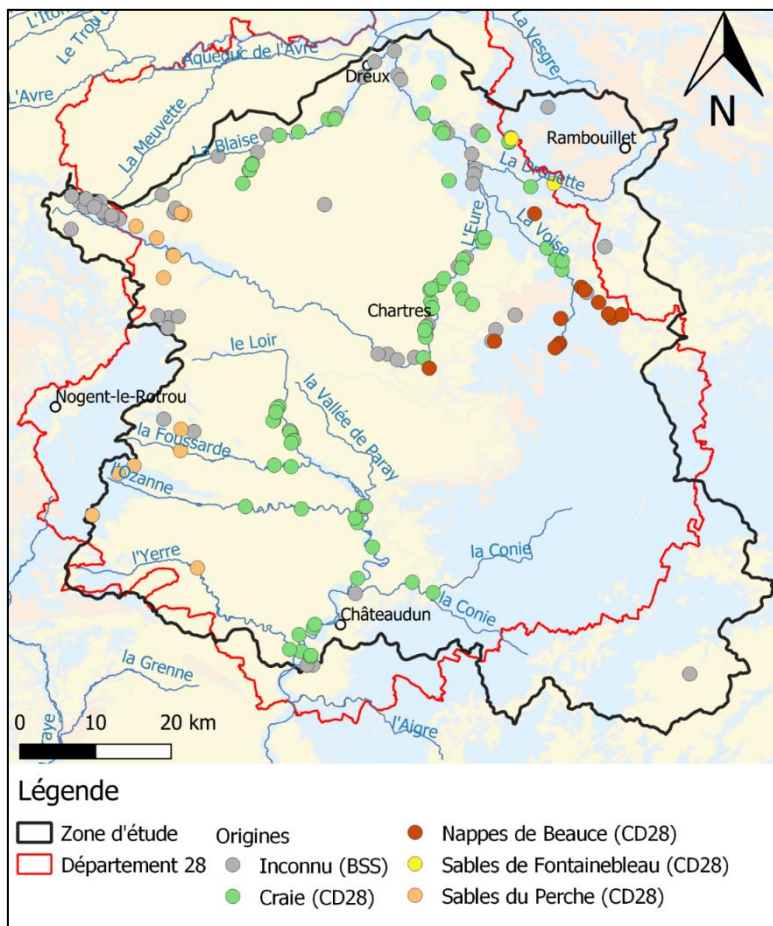


Illustration 80 – Inventaire des sources sur la zone d'étude et aquifères d'origine. La provenance des données est indiquée entre parenthèses (BSS ou Conseil Départemental 28)

Dans certains contextes, la présence de sources permettra de valider des zones de débordement simulées par le modèle. A noter que les débits ont ponctuellement été estimés par le CD28.

5.4.3. Conclusions

L'ensemble des données relatives au suivi des débits de rivière (stations hydrométriques, campagnes de jaugeages ponctuels, surveillance des assècs) apparaît tout à fait satisfaisant pour un projet de modélisation hydrogéologique, en termes de répartition des observations et de durée des historiques.

La poursuite des jaugeages en période d'étiage par la DDT28 est encouragée car elle apporte une vraie plus-value sur les têtes de bassins versants.

Concernant les niveaux de nappe, il n'apparaît pas nécessaire de dresser de nouvelles cartes piézométriques, celles-ci étant nombreuses sur la zone d'étude, à l'échelle locale comme départementale.

Si la densité de piézomètres ainsi que la longueur des chroniques s'avèrent globalement satisfaisantes, il est préconisé de renforcer la surveillance de la nappe de la craie en fond de vallée ou sous couverture des calcaires de Beauce. Dans ce dernier secteur, un suivi de la nappe de la craie permettra notamment de mieux contraindre les échanges avec l'aquifère des calcaires de Beauce.

5.5. QUALITE DES EAUX

Dans cette première phase d'étude, aucune analyse des données de qualité n'est prévue, il s'agissait seulement de faire l'inventaire des données existantes pour les eaux de surface et les eaux souterraines. Des analyses ultérieures seront à envisager en phase 2 (Cf. § 6.2)

Le portail national des données sur la qualité des eaux de surface, Naïades¹, répertorie 91 stations de surveillance : tous les cours d'eau principaux de la zone d'étude sont concernés (Cf. Illustration 81).

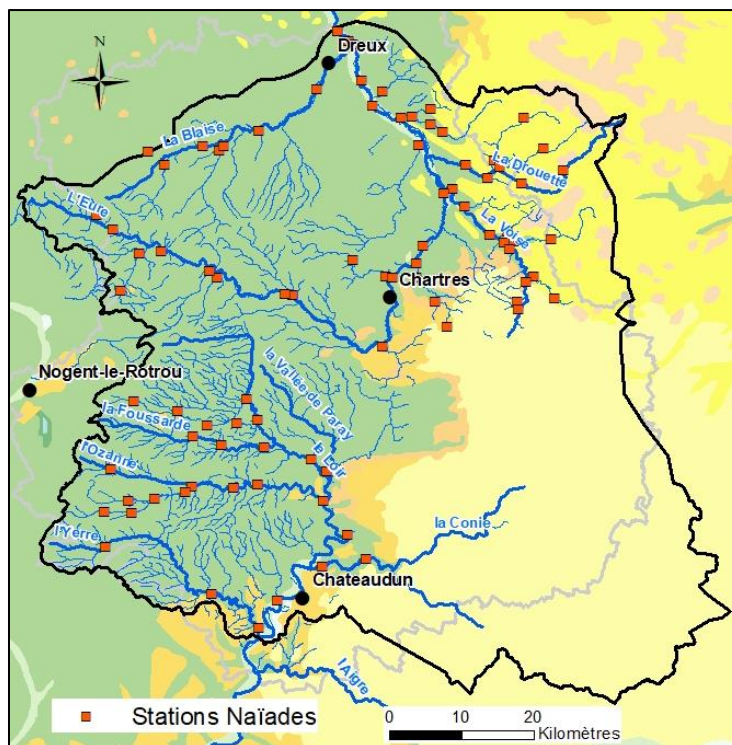


Illustration 81 – Stations de surveillance de la qualité des eaux de surface
(<http://www.naiades.eaufrance.fr>)

Le portail national des données sur la qualité des eaux souterraines, ADES, présente un total de 558 qualitomètres au droit de la zone d'étude : 5 appartiennent au réseau de surveillance patrimonial de l'AESN, 3 à celui de l'AELB, 205 au réseau de surveillance des Installations

¹ <http://www.naiades.eaufrance.fr>

Classées pour l'Environnement (ICPE) et 345 au réseau de contrôle sanitaire de l'eau potable géré par l'ARS (SISE-Eaux) (Cf. illustration 83).

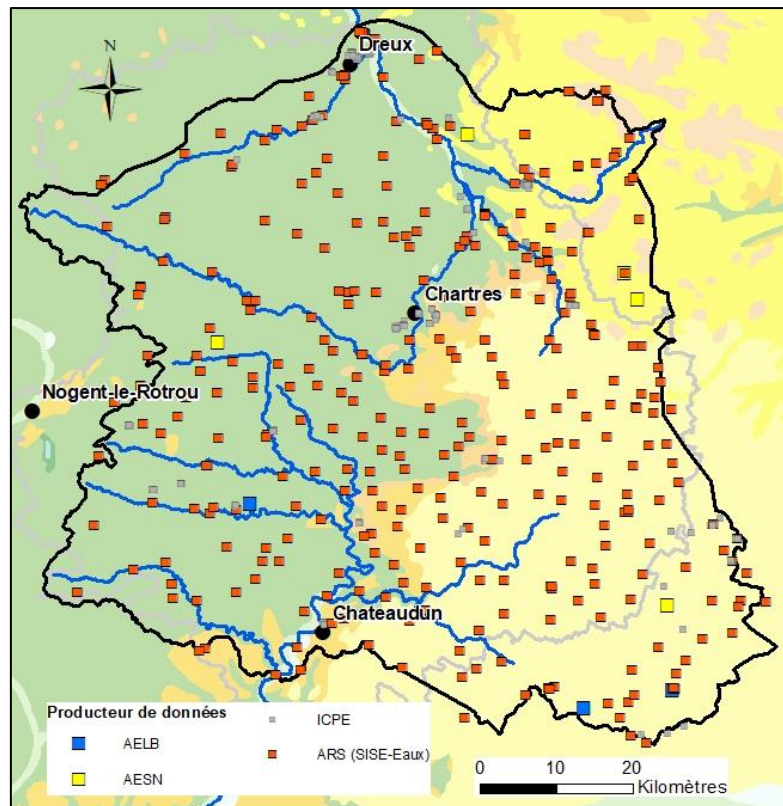


Illustration 82 – Stations de surveillance de la qualité des eaux souterraines par producteurs de données (<https://ades.eaufrance.fr>)

6. Dimensionnement de la seconde phase de l'étude

Suite à la compilation des données disponibles, plusieurs déficits de connaissances ont été mis en évidence. Le présent chapitre en dresse la liste (§ 6.1) et propose un programme technique pour la deuxième phase de l'étude devant permettre de lever les verrous scientifiques et obstacles actuels (§ 6.2).

6.1. PRINCIPAUX VERROUS SCIENTIFIQUES

6.1.1. Nature des relations entre la nappe de la craie et le réseau hydrographique

Si la drainance de la nappe de la craie par l'Eure est reconnue, le sens des échanges entre le cours d'eau, les alluvions et la craie peut localement s'inverser sous l'effet des pompages ou en période de crue.

A contrario, le Loir apparaît majoritairement en position perchée par rapport à la nappe de la craie, avec le plus souvent un fort colmatage de son lit (Hydratec, 2016).

La revue bibliographique conduite en phase 1 apporte quelques éclairages sur la question des échanges nappe-rivière, mais soit de façon très locale (à l'échelle d'un forage, champ captant) ou au contraire à l'échelle du cours d'eau, sur la base des cartes piézométriques réalisées par le passé.

Aucune information précise n'est ainsi disponible à l'échelle de tronçons de rivières pluri-kilométriques. Or, l'amélioration de la connaissance relative à la nature de ces échanges, leur variabilité spatiale et temporelle est cruciale pour une bonne gestion des aquifères à nappe libre (où l'estimation des volumes prélevables dépend directement du débit objectif à maintenir dans le cours d'eau). Dans le même ordre d'idée, il est important de parvenir à discriminer les assecs naturels des assecs d'origine anthropique.

C'est pourquoi, il est proposé en phase 2 de l'étude d'acquérir des données de terrain inédites dans les fonds de vallées, ciblées sur les zones à enjeux quantitatifs (AEP, secteur où une surexploitation est supposée, etc.).

6.1.2. Echanges entre l'aquifère crayeux et les calcaires de Beauce sus-jacents

L'aquifère crayeux devient captif lorsqu'il passe sous couverture des calcaires de Beauce. Les différentes études réalisées par le passé mettent en évidence une drainance verticale descendante (charge hydraulique de la craie inférieure à celle des calcaires) (BRGM, 1995).

Si le modèle hydrodynamique sera en mesure de calculer les flux d'eau échangés entre les deux aquifères, il est important de pouvoir contraindre ces derniers par des observations de terrain (données de référence pour le calage du modèle). A l'issue de la première phase de l'étude, il est ainsi apparu important de mettre en place un suivi piézométrique continu dans le secteur où la nappe de la craie est sous couverture (moitié est de la zone d'étude).

6.1.3. Estimation et spatialisation de la recharge

La recharge est l'un des paramètres clés du bilan hydrologique et, elle peut représenter un guide précieux dans l'estimation des ressources mobilisables, en particulier pour les aquifères à nappe libre.

L'estimation de la recharge est un problème complexe dépendant de nombreux facteurs : météorologie, pédologie, couverture végétale, géomorphologie (pente, rugosité, ...) et propriétés hydrodynamiques des formations géologiques en jeu.

Aussi, un travail en amont de la modélisation hydrogéologique est encore une fois nécessaire pour contraindre et répondre à la nécessité de spatialiser le calcul de la recharge.

6.1.4. Géométrie des différents aquifères et aquitards en présence

Plusieurs modèles géologiques recoupant (en partie) la zone d'étude ont été répertoriés. Cependant, après un examen de ces derniers, aucun ne s'avère totalement adapté au travail de modélisation hydrogéologique à venir.

En revanche, la plupart de ces modèles ayant été construits à l'aide de la suite logicielle GDM MultiLayer, développée par le BRGM, les résultats pourront directement être valorisés et ainsi bénéficier à la construction du nouveau modèle géologique multi-couches.

Sur la base des nombreux travaux menés sur le découpage lithostratigraphique des craies du Crétacé supérieur (de sa consolidation par Juignet (1974) à son actualisation par Lasseur (2008)) et des récents travaux de modélisation menés en Normandie (David et *al.*, 2015 ; Meire et *al.*, 2020), la distinction de deux horizons crayeux pourra notamment être proposée selon des critères de faciès et hydrogéologiques.

6.1.5. Connaissance des volumes prélevés

Plus la connaissance des données de prélèvements en eau de surface et en eau souterraine sera précise, plus la fiabilité du futur modèle de gestion et la pertinence des résultats des scénarios prospectifs sera importante. Il est donc primordial de tendre vers un inventaire exhaustif des volumes prélevés et des volumes restitués pour aboutir à une gestion fine des ressources en eau.

Or, suite à la compilation menée en phase 1, il s'avère que la connaissance reste trop partielle à ce stade : tous les points de captage ne sont pas géolocalisés, le croisement des différentes bases de données n'est pas toujours possible en l'absence d'identifiant commun pour les forages, l'aquifère capté n'est pas toujours renseigné (sujet important dans la zone où la craie est surmontée des calcaires tertiaires), la variation saisonnière des prélèvements est rarement connue (volumes annuels), etc.

Un important travail de consolidation reste donc à produire en phase 2.

6.2. PROPOSITION DE PROGRAMME TECHNIQUE DE LA PHASE 2

La deuxième phase de l'étude doit permettre de compléter les données et les connaissances actuellement disponibles dans le but de proposer un schéma conceptuel hydrogéologique du système aquifère, dont le modèle de gestion sera la traduction numérique.

Sur la base des enseignements de la phase 1, un programme technique a été construit pour la phase 2, il se décompose en six tâches principales, telles que présentées par le logigramme de l'illustration 83 :

Un cahier des charges technique détaillé a été délivré par le BRGM, le présent paragraphe en rapporte les grandes lignes.

En matière de **gouvernance**, il faut souligner la constitution d'un comité des usagers en amont de la phase 2, il lui appartiendra notamment de définir les secteurs à enjeu quantitatif. Ces orientations impacteront directement le dimensionnement du modèle hydrodynamique (maillage plus fin sur les secteurs concernés par exemple).

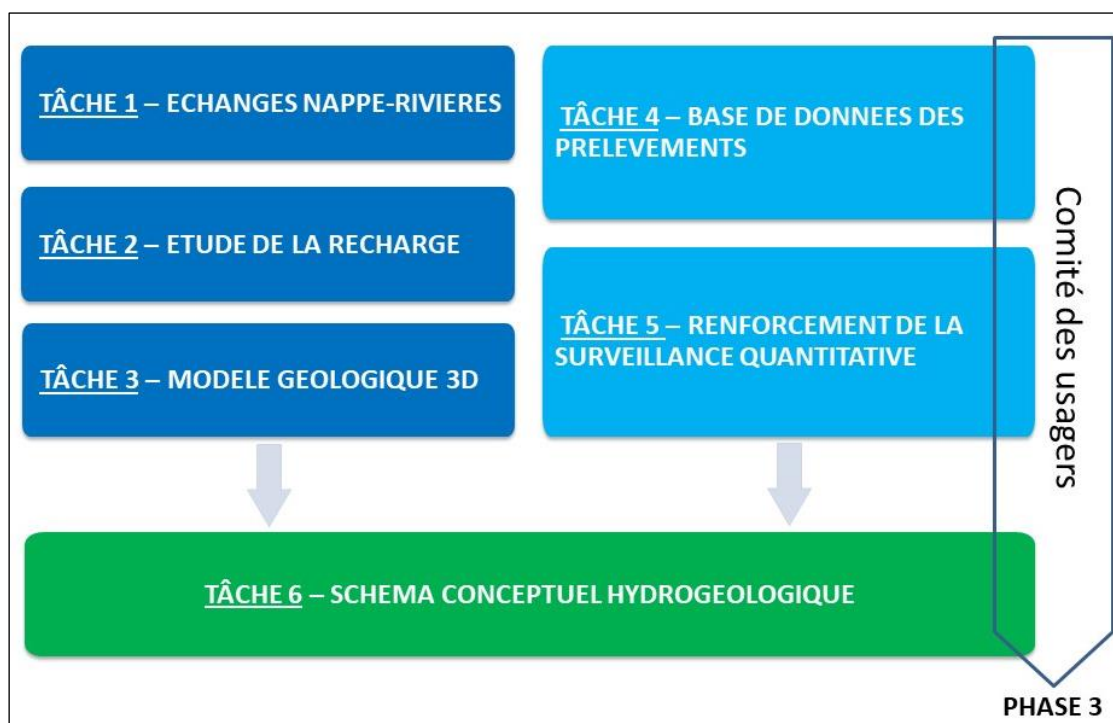


Illustration 83 – Programme technique de la seconde phase de l'étude

6.2.1. Caractérisation des échanges nappe-rivière

Afin de caractériser les échanges nappe-rivière plusieurs outils seront déployés, de l'acquisition de données sur le terrain à la mise en œuvre d'approches innovantes et exploratoires tels que :

- Mesure des profils longitudinaux nappe/rivière : elles consisteront en des mesures haute précision (GPS différentiel) des niveaux piézométriques de la nappe de la craie, des nappes d'accompagnement des cours d'eau, des lignes d'eau des rivières ainsi que des jaugeages différentiels.

Les secteurs de pertes des rivières et ceux de résurgences pourront ainsi clairement être mis en évidence, de même que leurs évolutions en fonction de la situation hydrologique (hautes et basses eaux).

Les jaugeages différentiels auront quant à eux pour objet de quantifier les échanges de flux entre la nappe et les rivières, confirmer leurs orientations (nappe vers la rivière ou le contraire), et préciser les zones sensibles dans lesquelles de fortes interactions ou des échanges rapides eaux de surface – eaux souterraines prennent place (zones de fracturation, ...).

- Analyse des données de qualité des eaux superficielles et souterraines, collectées en phase 1, principalement issues des bases de données ADES (<https://ades.eaufrance.fr/>) et NAIADES (<http://www.naiades.eaufrance.fr/>).

Une étude à partir de diagrammes binaires et de rapports ioniques utilisant les éléments majeurs, mineurs et traces dissous permettra d'évaluer la variabilité spatio-temporelle de ces paramètres. Selon la quantité et qualité des données disponibles, ces informations peuvent permettre de mettre en évidence des relations entre différents niveaux aquifères, des échanges nappes-rivières et l'influence de pressions anthropiques sur la qualité des eaux souterraines.

- Interprétation de pompage d'essai : de nombreuses solutions analytiques sont disponibles pour étudier l'impact de pompages en nappe sur les cours d'eau qui les drainent ou les alimentent. Et même si leurs conditions d'application sont souvent restrictives (hypothèses simplificatrices), elles peuvent permettre, en première approche, de dégager des ordres de grandeur des débits soustraits à la rivière.

Pour le compte de l'OFB, le BRGM a réalisé une revue bibliographique sur le sujet et adapté différentes solutions existantes, notamment dans le but de traiter des configurations plus complexes (aquifères multicouches, incision partielle du cours d'eau, aquitard et aquifère sous-jacent, prise en compte de limites étanches, etc.) avec différentes conditions aux limites (Dewandel, 2018 – rapport BRGM/RP-67566-FR).

- Imagerie thermique infrarouge : à titre exploratoire, une technique d'acquisition par drone, avec un balayage thermographique à faible altitude (50 m) pourrait être testée sur deux tronçons de rivière dans le but d'identifier les principales zones de décharge des eaux souterraines. Cette identification repose sur l'hypothèse d'un contraste de température entre eaux de surface et eaux souterraines.

Enfin, suite au dernier Comité de suivi de l'étude, l'impact des nombreux étangs présents dans les fonds des vallées de l'Eure et du Loir sur le bilan hydraulique devra être questionné, en particulier la part de l'évaporation. Pour ce faire, les études réalisées par le SAGE Loir sur le sujet seront consultées.

6.2.2. Etude de la recharge

Deux études récentes sur le sujet ont été réalisées par le BRGM, elles dressent notamment l'état l'art des méthodes d'évaluation de la recharge (Caballero et al., 2016 ; Seguin, 2016).

Une approche multi-méthodes sera proposée ; cela permet d'une part d'approcher une gamme de variation liée aux méthodes de calcul et d'autre part de mieux comprendre le fonctionnement

hydrogéologique du bassin versant étudié pour *in fine* préparer la configuration du module de calcul de la recharge qui sera intégré au modèle maillé. Les méthodes envisagées sont :

- Modélisations globales à réservoirs (logiciel GARDENIA).
- Méthode visant à calculer le débit de base d'un cours d'eau (concept de base flow index, BFI). Afin de spatialiser la recharge, cette méthode sera croisée à l'IDPR.
- Méthode WTF (Water Table Fluctuation) : elle repose sur l'exploitation des chroniques piézométriques journalières. Cette méthode suppose que les variations de niveau de la nappe sont provoquées essentiellement par la lame d'eau qui parvient à la surface libre de la nappe, toutes les autres composantes du bilan étant sans action (donc nulles) durant le laps de temps Δt .

En outre, pour les besoins de la modélisation maillée, il sera nécessaire de spatialiser le paramètre RDE (Réserve Disponible pour l'Evaporation, dite aussi Réserve Utile). Ce travail sera confié à la Chambre d'Agriculture d'Eure-et-Loir qui valorisera la carte des pédopaysages au 1 / 250 000 du département. Une cartographie de la réserve utile sera ainsi livrée.

6.2.3. Modélisation géologique 3D

Comme vu précédemment, suite à l'analyse des modèles géologiques couvrant la zone d'étude, il s'avère indispensable d'élaborer un modèle géologique multicouches dédié à la modélisation hydrodynamique de la nappe de la craie.

La construction du modèle géologique est fondée sur quatre étapes distinctes, mais étroitement liées : (1) définition d'une pile litho-stratigraphique décrivant la succession des formations et les relations entre deux formations successives, (2) interprétation des données et codage des différentes formations géologiques selon le cadre fourni par la pile préalablement définie, (3) intégration du schéma structural après sélection d'un jeu de failles et (4) interpolation des surfaces (interfaces entre couches).

L'ensemble des étapes de construction du modèle sont repris sur l'illustration 84 ci-dessous. Deux outils logiciels développés par le BRGM seront utilisés : **GDM** pour le calcul des surfaces et **Multilayer** pour le contrôle de données, la gestion des inégalités et l'élaboration du modèle multicouche compatibles avec le logiciel de modélisation des hydrosystèmes MARTHE

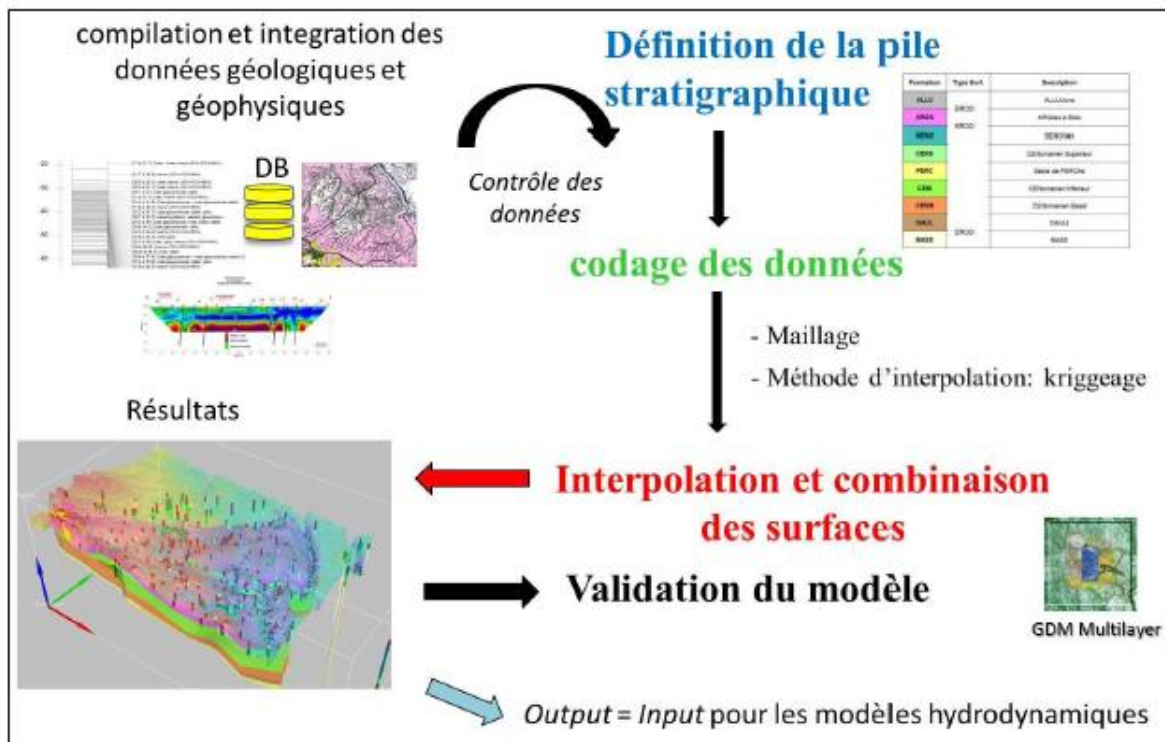


Illustration 84 – Principe de modélisation géologique sous GDM Multilayer (BRGM©)

La grille de calcul envisagée sera comprise entre 100 et 500 m (maille carrée), selon les enjeux et la densité des données disponibles. La surface topographique pourra être générée à partir du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'IGN au pas de 25 m (BDALTI), ré-échantillonné à la maille finalement retenue par la méthode d'interpolation.

Selon les premiers éléments récoltés lors de la première phase de l'étude, la structure prévisionnelle du modèle géologique pourrait reposer sur six couches : 1) alluvions, 2) formations superficielles (argile à silex + limons des plateaux + colluvions), 3) calcaires et marnes du Tertiaire, 4) craie du Sénonien et du Turonien moyen et supérieur, 5) craie marneuse du Turonien inférieur et du Cénomaniens, 6) Sables du Perche (substratum = Glauconie de base, argiles du Gault).

La concertation entre géologues et hydrogéologues, initiée dès cette première phase d'étude, sera bien entendu poursuivie de façon à ce que le modèle géologique soit en adéquation avec les besoins du modèle hydrodynamique.

6.2.4. Base de données des prélèvements

Suite à l'examen des différentes données compilées en phase 1, plusieurs chantiers ont été identifiés pour la seconde phase de l'étude :

- associer autant que possible chaque point de captage à un indice BSS dans le but de pouvoir identifier les doublons entre bases de données et de géolocaliser chaque ouvrage avec précision.
- Attribuer chaque captage à un (ou plusieurs) aquifère à partir de la consultation des coupes géologiques et techniques.
- Collecter les volumes mensuels relatifs à l'AEP directement auprès des gestionnaires et/ou exploitants.
- Proposer des clés de répartition mensuelle des prélèvements pour l'usage agricole. En complément des données transmises par la DDT28 et le SAGE Nappe de Beauce, l'expertise de la Chambre d'Agriculture sera mobilisée via une prestation. Un travail de modélisation des besoins en eau par type de culture, type de sol et par zone météorologique sera conduit.
- Actualiser les données de prélèvements sur la période 2018-2020.

L'ensemble des données sera stocké et structuré au sein d'une base de données ACCESS©.

6.2.5. Renforcement de la surveillance piézométrique de la nappe de la craie

La phase 1 de l'étude a mis en évidence un manque de suivi quantitatif de la nappe de la craie en fond de vallée et sous couverture des calcaires tertiaires.

Au-delà de la compréhension des dynamiques d'écoulement, la mise en place de suivis complémentaires permettra de densifier le réseau d'observation et donc de consolider le calage du modèle hydrodynamique dans les secteurs concernés (même si la durée de la chronique restera courte).

Le choix des zones à instrumenter n'est pas arrêté à ce stade, il dépendra notamment des zones à enjeu quantitatif retenues par le Comité des usagers et de l'existence de points de surveillance par les producteurs d'eau potable (enquêtes en cours).

L'instrumentation de 4 ouvrages serait à envisager.

6.2.6. Schéma conceptuel hydrogéologique

Enfin, l'ensemble des connaissances compilées en phase 1 et nouvellement acquises en phase 2 seront synthétisées en vue d'élaborer un schéma conceptuel d'écoulement de l'hydrosystème à modéliser: il s'agira ainsi d'identifier les principaux facteurs supposés impacter l'organisation des écoulements superficiels et souterrains. Celle-ci dépend du contexte climatique, du contexte géologique et structural, des conditions aux limites et des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère.

Le schéma conceptuel consiste donc à synthétiser ces différents paramètres de façon à représenter de manière schématique le fonctionnement de l'hydrosystème incluant le domaine souterrain et superficiel.

Il permettra de constituer la base du modèle numérique : extension et structure du domaine, caractéristiques hydrodynamiques, conditions aux limites, taille des mailles, période de modélisation, etc.

Des schémas seront proposés à titre d'illustration : des coupes longitudinales nappe-rivière seront par exemple présentées, y seront reportés des ordres de grandeur des différents flux échangés, leur orientation et dans la mesure du possible les zones à forte interaction entre les eaux de surface et les eaux souterraines (Cf. exemple, Illustration 85).

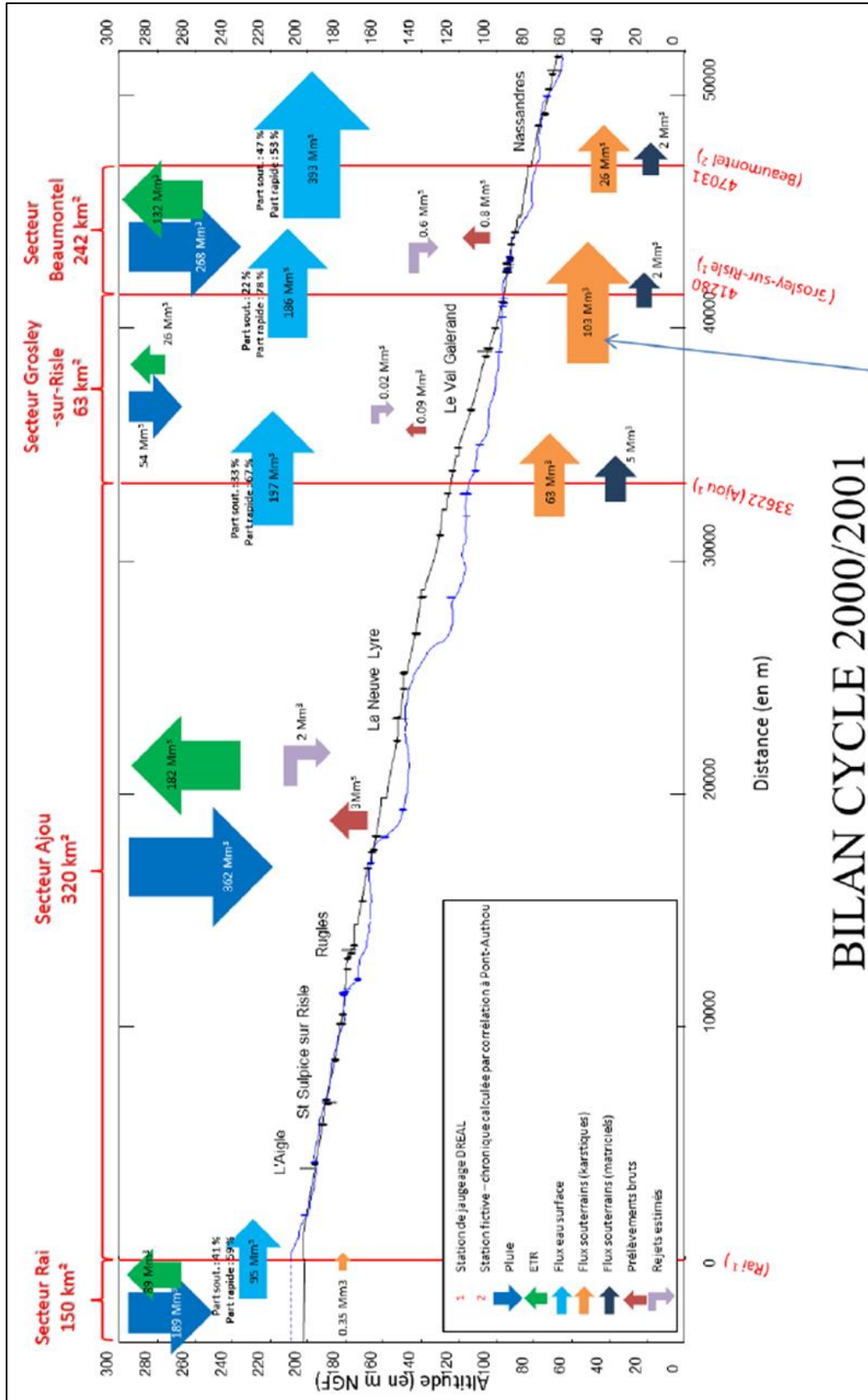


Illustration 85 – Exemple de coupe longitudinale associée à un bilan de flux sur la vallée de la Risle dans l'Eure (David et al., 2017b)

7. Conclusions

Tout d'abord, la disponibilité des différentes données nécessaires à la construction d'un modèle hydrodynamique (géologie, prélèvements et rejets, propriétés hydrogéologiques, données climatiques et calcul de la recharge, observations piézométriques et hydrométriques, ...) autorise une telle ambition pour la nappe de la craie entre Perche et Beauce.

Suite à un important travail de collecte et d'analyse des données, la première phase de l'étude a cependant mis en évidence plusieurs déficits de connaissances qu'il s'agira de lever lors de la deuxième phase de l'étude à partir d'investigations de terrain et de différents traitements de données afin d'aboutir à l'élaboration d'un outil de gestion de la ressource en eau le plus robuste possible.

La synthèse géologique et hydrogéologique préliminaire a permis de définir la structure du futur modèle hydrodynamique (discrétisation verticale et emprise à modéliser). Par ailleurs, la disponibilité des données peut permettre d'envisager une calibration du modèle sur une longue période, ce qui est important pour les aquifères de la craie et des calcaires de Beauce dont l'inertie est forte (cyclicité pluriannuelle). La période modélisée pourrait démarrer à partir de 1993/1994, années où la majorité des suivis a débuté. Il faudra cependant garder à l'esprit que les volumes prélevés sont eux moins bien connus avant 2008.

Les principaux verrous scientifiques identifiés sont les suivants :

- Nature des relations entre la nappe de la craie et le réseau hydrographique.
- Echanges entre l'aquifère crayeux et les calcaires de Beauce sus-jacents.
- Estimation et spatialisation de la recharge.

En complément de ces verrous scientifiques, les principaux obstacles actuels en termes de données disponibles concernent la géométrie des différents aquifères et aquitards en présence et la connaissance des volumes prélevés.

Afin de répondre à ces différents points, un cahier des charges techniques a été proposé par le BRGM en conclusion de cette première phase d'étude : il détaille l'ensemble des investigations à conduire dans la deuxième phase d'étude.

8. Bibliographie

AGBP (2014) – Coupe géologique du Bassin Parisien et du Fossé Rhénan.

Pour le livre : Gély Jean-Pierre et Hanot Franck (dir.), Amédéo Francis, Bergerat Françoise, Debeglia Nicole, Delmas Jocelyne, Deroin Jean-Paul, Doligez Brigitte, Dugué Olivier, Durand Marc, Edel Jean-Bernard, Gaudant Jean, Hanzo Micheline, Houel Pascal, Lorentz Jacqueline, Robaszynski Francis, Robelin Christian, Thierry Jacques, Vicelli Joséphine, Violette Sophie, Vrielynck Bruno, Wyns Robert et coll. (2014) – Le Bassin parisien, un nouveau regard sur la géologie. Bull. Inf. Géol. Bass. Paris, Mémoire hors-série n°9, 228 p., 1 pl.

Pour la planche : Gély Jean-Pierre et Hanot Franck (coord.), Bergerat Françoise, Debeglia Nicole, Durand Marc, Houel Pascal, Le Roux Jacques, Robelin Christian, Thierry Jacques, Vicelli Joséphine et Wyns Robert (2014) – Coupe géologique du Bassin parisien et du Fossé rhénan. Bull. Inf. Géol. Bass. Paris, Mémoire hors-série n°9, 1 pl.

ANTEA (2000) – Etudes préalables à la réalisation d'un modèle de gestion de la nappe de Beauce. Etat et tendance de la qualité des eaux souterraines.

Barthélemy Y., Seguin J.J. (2016) – Modélisation maillée des écoulements souterrains. Principes, démarche et recommandations. Rapport final - Version 1. Rapport BRGM/RP-62549-FR.

Bialkowski A., Badinier G., Bourguine B., Tourlière B. (2011) – Bilan sur la méthodologie de construction du modèle du Tertiaire du bassin de Paris sous GDM/Multilayer. Projet CONV_DIREN 2009. Rapport BRGM/RP-60272-FR.

Bonnet M., Floriat S. (2004) – Reprise du modèle de gestion de la nappe de Beauce. Phase 1 - Calage en régime permanent et transitoire, HYDROEXPERT, 2004.

Bourguine 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>

BRGM (1998) – Vulnérabilité des nappes d'eau souterraines en Eure-et-Loir, Orléans, BRGM/RR-39518-FR.

Caballero Y., Lanini S., Seguin J.-J., Charlier J.-B., Ollivier C. (2016) – Caractérisation de la recharge des aquifères et évolution future en contexte de changement climatique. Application au bassin RMC. Rapport de fin de 1^{ère} année. BRGM/RP-64779-FR.

CHIGOT D. (1986) – Inventaire des captages pour l'alimentation en eau potable des collectivités publiques de l'Eure-et-Loir, Orléans, BRGM/86-SGN-534-CEN

Compagnie Générale de Géophysique (2001) – Etude Hydrogéologique de l'aquifère de la Craie dans le département d'Eure-et-Loir.

David P.-Y. (2012) – Elaboration d'un outil de gestion des prélèvements d'eau sur le bassin de l'Avre - Phase 1 : Etat de la connaissance ; Phase 2 : Analyse des données ; Rapport final, Orléans, BRGM/RP-60458-FR.

David P.-Y. et al. (2015) – Modélisation hydrodynamique du bassin versant de l'Avre – Phase 3 : Acquisition de données complémentaires – Phase 4a : Construction du modèle géologique. Rapport BRGM/RP-64817-FR, 2015, 135 pages, 53 ill., 6 annexes.

DAVID P.-Y., PENNEQUIN D., SERVIERE M., AMRAOUI N., HUGOT V. (2017) – Elaboration d'un outil de gestion des prélèvements d'eau sur le bassin de l'Avre. Phase 4b : Construction et calage du modèle hydrogéologique - Phase 5 : Exploitation du modèle., Orléans, BRGM/RP-64826-FR.

David P.-Y., J.-B. Charlier, B. Ladouche, L. Cary, D. Pennequin, B. Meire, I. Schaefer, V. Hugot (2017b) – Observatoire de la Risle moyenne – Volets n°2, 3, 4 et 5 : Etude de l'hydro-système Risle-Nappe de la craie. Rapport final. BRGM/RP-67480-FR, 225 p., 111 ill., 10 tabl., 11 ann.

Desprez N. (1973) – Etude des alluvions en Eure-et-Loir, ressources en sables et graviers, hydrogéologie. Rapport BRGM 73-SGN-362-BDP.

Desprez N., Megnien C. (1975) – Beauce - Atlas hydrogéologique, BRGM.

Desprez N., Martins C. (1977) – Reconnaissance hydrogéologique des alluvions et de la craie sous-alluviale de l'Eure à Saint-Prest. Compte-rendu des travaux. Rapport BRGM 77 SGN 329 BDP.

Dewandel B. (2018) – Méthodes analytiques d'estimation de l'impact quantitatif d'un prélèvement en nappe sur un cours d'eau – Problématique et solutions mathématiques. Rapport final. BRGM/RP-67566-FR, 107 p., 45 fig., 2 tabl., 1 ann.

Gigot C., avec la collaboration de N. Desprez, A. Ferdière (1976) – Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille de Voves, n° 291, Orléans, BRGM. Notice explicative.

Gigot C., avec la collaboration de N. Desprez, A. Ferdière (1977) – Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille de Châteaudun, n° 325, Orléans, BRGM. Notice explicative.

Gigot C., avec la collaboration de B. Ligouis, N. Desprez, J.-F. Barratin (1978) – Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille de Neuville-aux-Bois, n° 327, Orléans, BRGM. Notice explicative.

Gigot C., avec la collaboration de N. Desprez, D. Lasserre (1984) – Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille d'Illiers-Combray, n° 290, Orléans, BRGM. Notice explicative.

Gigot C., avec la collaboration de J.Y. Scanvic, C. Monciardini, P. Maget, C. Vinchon (1990) - Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille de Courville-sur-Eure, n° 254, Orléans, BRGM. Notice explicative.

HYDRATEC (2016) – Modélisation des relations entre le Loir et la nappe de la craie sénonturonienne et des actions de réduction d'intrants en nitrates sur l'aire d'alimentation du captage des Près Nolleys, 01629746.

Isambert M., Coutelle A. (1989) – Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille de Nogent-le-Rotrou, n° 289, Orléans, BRGM. Notice explicative.

Juignet P. (1974) – La transgression crétacée sur la bordure orientale du Massif Armoricaire Aptien, Albien, Cénomaniens de Normandie et du Maine. Le stratotype du Cénomaniens. Thèse. 2 vol, 806 p.

Kuntz G., Medioni R., Verron G. (1974) – Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille n°77, Saint-Saëns. 1 feuille, notice 28 p. Ed. BRGM.

Lasseur E. (2008) – La Craie du Bassin de Paris (Cénomaniens-Campaniens, Crétacé supérieur). Sédimentologie de faciès, stratigraphie séquentielle et géométrie 3D. Thèse de l'université de Rennes 1. 410 p.

Maget P. (1995) – Piézométrie du système aquifère de Beauce. Basses eaux 1994. Rapport BRGM/RR-38572-FR, 33 p., 2 cartes.

Manceau J.-C., Allier D., Buscarlet E. (2020) – Analyse de la sécheresse hydrogéologique dans la région Grand Est. Phase 2 : amélioration des indicateurs de gestion. Rapport final. BRGM/RP-69867-FR, 336 p., 29 ill., 3 tabl, 5 ann, 1CD.

Martin J.-C. (1997) – Acquisition des données pour la gestion de la nappe de Beauce « Géométrie des formations tertiaires ». Création d'une base de données des altitudes des formations géologiques., Orléans, BRGM/RR-39598-FR.

Martin J.-C., Giot D., Le Nindre Y.-M. (1999) – Etudes préalables à la réalisation d'un modèle de gestion de la nappe de Beauce. Géométrie du réservoir et limites de la nappe de Beauce., Orléans, BRGM/RR-40571-FR.

Martin J.-C. (2000) – Etudes préalables à la réalisation d'un modèle de gestion de la nappe de la Beauce. Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère. Mesure de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement., Orléans, BRGM/RP-50348-FR.

Mayer S. (2018) – Rapport de fin de travaux des forages définitifs de Ver-lès-Chartres, Chartres Métropole.

Mayer S. (2018) – Rapport de fin de travaux des forages définitifs de St-Georges-sur-Eure, Chartres Métropole.

Mayer S. (2018) – Rapport de fin de travaux du forage définitif de Nogent-sur-Eure, Chartres Métropole.

Mayer S. (2018) – Rapport de fin de travaux des forages définitifs de St-Prest Le Gorget et St-Prest La Forte Maison, Chartres Métropole.

Meire B., Caritg S., Idée E. (2019) – Synthèse géologique et hydrogéologique du département de l'Orne. Volet géologique et structural. Rapport BRGM/RP-69292-FR, 169 p., 74 ill., 1 ann.

Mégnién C. (1980) – Synthèse géologique du bassin de Paris. Mémoires du BRGM, 466 pp., 3 vol.

Ménillet F., Havlicek P., Frobert L., Duguey E., Gigot C., Leuret P., Pierret A. et Monciardini C. (1994) – Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille de Dreux, n° 216, Orléans, BRGM.

Ménillet F., Vermeire R. (1971) – Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille de Chartres, n° 255, Orléans, BRGM. Notice explicative.

Moguedet G., avec la collaboration de Y. Marchand, V. Masson, H. Papin, S. Vauthier, F. Charnet et B. Lemoine (2000) – Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille de La Loupe, n° 253, Orléans, BRGM. Notice explicative.

Quesnel F., Laignel B., Lefebvre D., Meyer R., Lautridou J.-P. et Lebret P. (1996) – Les formations résiduelles à silex de Haute-Normandie. Evolution continentale cénozoïque du NW du Bassin de Paris et utilisation potentielle comme granulats. *In colloque Géomorphologie et Formations Superficielles*, Rouen, 19-21 mars 1996, *documents BRGM*, 248, p 65-99.

Quesnel F. (1997) – Cartographie numérique en géologie de surface : application aux altérites à silex de l'ouest du bassin de Paris. Thèse. 430 p.

SAFEGE (1993) – Reconnaissance géophysique des Sables du Perche dans la Région de Senonches, rapport d'études.

Seguin J.-J., Castillo C., Arnaud L. (2015) – Modélisation des nappes de l'Albien et du Néocomien. Rapport final. BRGM/RP-64873-FR, 271 p., 152 fig., 21 tabl., 8 ann.

Seguin J.-J. (2016) – Méthodes d'évaluation de la recharge des nappes. Complément d'étude pour la caractérisation des pressions et impacts sur les eaux souterraines. BRGM/RP-65635-FR.

Thiéry D., (2010) – "Groundwater Flow Modeling in Porous Media Using MARTHE", vol. 5: Modeling Software, Chapter 4, p. 45-60, Environmental Hydraulics Series, J.M. Tanguy (Ed.), Editions Wiley/ISTE London.

Thiéry D. (2014) – Logiciel GARDÉNIA, version 8.2. Guide d'utilisation. Rapport BRGM/RP-62797-FR, 128 p., 65 fig., 2 ann.

Thiéry D. (2015) – Code de calcul MARTHE - Modélisation 3D des écoulements dans les hydrosystèmes - Notice d'utilisation de la version 7.5. Rapport BRGM/RP-64554-FR, 320 p., 154 fig.

Tourlière B. (2018) – Note technique décrivant les travaux réalisés pour la modélisation géologique du SIGES.

Verley F., Billault P. (2014) – Synthèse des travaux de modélisation de la nappe de Beauce, DREAL Centre Val de Loire.

Annexe 1

Liste des rapports d'hydrogéologues agréés fournis par l'ARS

Nom des forages	Rapport	Commune	Gestionnaire
Berchères la Maingot	Lauverjat (1995)	Berchères St Germain	Syndicat Intercommunal de l'agglomération chartraine
Bois de Ruffin F1 F2	Alcayde (1995)	Bréchamps	Syndicat d'exploitation des pompages de Bois de Ruffin
Bois de Ruffin F3 F4	De Reyniès (2006)	Bréchamps	Syndicat d'exploitation des pompages de Bois de Ruffin
Beauvoir	Alcaydé (1976)	Châteaudun	Ville de Châteaudun
Le Moulin de Guervilliers	Alcaydé (2011)	Fontenay-sur-Eure	Chartres Métropole
Lièvreuille F2 et Vers le Ménil F3	Borrel (2008)	Francourville	Chartres Métropole
Chemin de Tanon et Les Fontaines	Alcaydé (2006)	Loigny-la-Bataille	Communauté de communes d'Orgères-en-Beauce
Le Boix Cagnard	Schnebelen (2013)	Moutiers-en-Beauce	Communauté de communes de la Beauce vovéenne
Moulin de Pierre F1 et F2	Roux (2018)	Prasville	Communauté de communes "Cœur de Beauce"
Les Christophes	Roux (2018)	Anet	Syndicat Mixte Intercommunal du Canton d'Anet
La Saussaye S1	Maget (2008)	Sours	Communauté d'agglomération de Chartres
Les Caves	Alcaydé (2007)	Saint-Lubin des Joncherets	Commune de Saint-Lubin des Joncherets
L'Abîme	Maget (2011)	Vernouillet	Communauté d'agglomération du drouais
Les Prés Hauts	Maget (2012)	Vert-en-Drouais	Dreux-Agglomération
Vert-en-Drouais	Gilbert (1983)	Vert-en-Drouais	Dérivations et Canaux de la Ville de Paris

Annexe 2

Liste des points de captage AEP fournie par l'ARS

BSS	INSEE	Nom	Etat	Débit moyen (m3/j)
02164X0017	28404	VOLHARD	ACTIF	1147
02164X0046	28404	LA COUTURE B2 (F5)	ACTIF	1147
02164X0070	28404	LA COUTURE B3 (F4)	ACTIF	2294
02164X0073	28251	LE BOURG MEZIERES	ACTIF	445
02164X0074	28404	L'ABIME F1	ACTIF	5590
02164X0075	28404	L'ABIME F2	ACTIF	2700
02164X0076	28404	L'ABIME F3	ACTIF	1900
02165X0020	28226	CHENNEVIERES	ACTIF	22
02165X0039	28226	ST MARTIN DE LEZEAU F1	ACTIF	597
02165X0047	28226	ST MARTIN DE LEZEAU F3	ACTIF	597
02166X0027	28155	LA HUTTE	ACTIF	5
02175X0043	28058	BOIS DE RUFFIN F1	ACTIF	795
02175X0048	28058	BOIS DE RUFFIN F2	ACTIF	795
02175X0052	28058	BOIS DE RUFFIN F3	ACTIF	796
02175X0054	28058	BOIS DE RUFFIN F4	ACTIF	796
02177X1002	28135	LA CHEVALERIE	ACTIF	1030
02177X1016	28140	RAIZEUX	ACTIF	60
02178X1004	28135	L'ABIME F5B	ACTIF	1240
02534X0005	28373	FORAGE F1	ACTIF	412
02534X0007	28373	FORAGE F2	ACTIF	569
02538X0001	28214	F2	ACTIF	454
02538X0003	28214	F3	ACTIF	454
02538X0007	28033	LES CHAMPS CHARDONS	ACTIF	290
02538X0063	28335	LES CHIPOTTERIES	ACTIF	454
02544X0002	28102	LE BOURG	ACTIF	80
02544X0009	28068	LE BOURG	ACTIF	31
02544X0031	28374	LE BOURG	ACTIF	77
02544X0036	28393	CHENE CHENU	ACTIF	781
02545X0003	28166	GLATIGNY	ACTIF	60
02546X0067	28099	LE BOIS DU MONIL	ACTIF	628
02546X0068	28203	LE BOIS DES FOURCHES	ACTIF	628
02546X0073	28203	LA VALLEE DE PLUVIGNON	ACTIF	1340
02547X0012	28350	LE BRAS DE LA CANELLE	ACTIF	163
02548X0005	28325	LE CHATEAU D'EAU	ACTIF	287
02548X0046	28022	LES BEGAUDES	ACTIF	285
02548X0049	28325	LA RIVIERE NEUVE F2	ACTIF	305
02551X0019	28034	B2 BERCHERES	ACTIF	5541
02552X0023	28201	LE BOUT D'ANGUY	ACTIF	312
02552X0038	28302	BOIZARD	ACTIF	406
02552X0038	28379	LA PETITE BUTTE	ACTIF	414
02552X0078	28357	LES MARTELS F2	ACTIF	520
02552X0079	28423	LA PRAIRIE F2	ACTIF	584
02552X0080	28423	LA PRAIRIE F5	ACTIF	292
02552X0081	28423	LA PRAIRIE F6	ACTIF	584
02553X0011	28023	BAILLEAU SOUS GALLARDON	ACTIF	103
02553X0046	28423	LE BUTTRA	ACTIF	262
02554X1015	28137	LE CALVAIRE	ACTIF	83
02554X1018	28168	MONTLOUET LA POIVRETTE	ACTIF	30
02554X1028	28015	LA VALLEE	ACTIF	103
02556X0068	28278	L'ETANG	ACTIF	80
02557X0033	28425	LA CROIX BLANCHE	ACTIF	47
02558X0011	28317	LE PETIT NOYER	ACTIF	88
02558X0026	28285	CHERVILLE	ACTIF	50
02558X0067	28188	ANGLES	ACTIF	255
02558X0073	28015	PENET	ACTIF	526
02558X0097	28425	MONTGRAND	ACTIF	1151
02565X1017	28013	LE POIRIER ROND F1	ACTIF	90
02565X1018	28013	LE POIRIER ROND F2	ACTIF	150
02898X0002	28387	GARDAIS (FORAGE)	ACTIF	261
02898X0006	28086	LES BOUILLONS	ACTIF	80
02898X0007	28105	LA MAZURE	ACTIF	209
02901X0001	28282	LA BERGERIE	ACTIF	98
02901X0012	28071	VILLEMAIGRE	ACTIF	137
02901X0015	28385	LE BUISSON	ACTIF	67
02901X0031	28109	LA COURGIBETERIE F3	ACTIF	77
02902X0016	28333	LA PIERRIERE	ACTIF	31
02902X0035	28234	LA HAIE	ACTIF	89

02903X0002	28286	LA FOSSE ROUGE	ACTIF	112
02903X0004	28337	MEROBERT	ACTIF	695
02903X0008	28095	FORMESLE	ACTIF	39
02904X0007	28141	LE CHEMIN DE LUCON	ACTIF	65
02904X0029	28253	SPOIR	ACTIF	163
02904X0052	28158	LE MOULIN DE GUERVILLIERS F1	ACTIF	230
02904X0058	28158	LE MOULIN DE GUERVILLIERS F2	ACTIF	629
02904X0059	28365	LA PIERRE DES MONTS	ACTIF	76
02905X0001	28161	LE BOULAY F1	ACTIF	68
02905X0014	28161	LE BOULAY F2	ACTIF	68
02905X0020	28261	LE BOULAY	ACTIF	145
02906X0002	28196	LE CHATEAU D'EAU	ACTIF	575
02906X0004	28196	LA POULINIÈRE	ACTIF	1721
02907X0058	28370	L'AUBEPINE	ACTIF	147
02908X0010	28419	BEAUVOIR	ACTIF	63
02908X0015	28048	LE TEMPLE	ACTIF	105
02908X0025	28057	BOIS DE FEUGERES	ACTIF	41
02908X0027	28057	LE BOURG	ACTIF	70
02911X0007	28388	GOINDREVILLE	ACTIF	197
02911X0029	28403	LOCHE	ACTIF	165
02911X0052	28122	VOVELLES	ACTIF	301
02911X0053	28024	LES LARRIS	ACTIF	638
02912X0002	28177	BONVILLE	ACTIF	93
02912X0024	28380	LE MOULIN F2	ACTIF	256
02912X0053	28380	S1 LA SAUSSAYE	ACTIF	3937
02912X0065	28035	LA ROSETTE	ACTIF	137
02912X0088	28380	LE MOULIN F4	ACTIF	257
02913X0063	28309	LE PRIEURE	ACTIF	309
02913X0080	28160	LIEVREVILLE F2	ACTIF	1256
02913X0081	28309	VERS LE MENIL F3	ACTIF	769
02914X0008	28344	LES ENCLAVES	ACTIF	55
02914X0062	28421	BOIS BICHOT	ACTIF	260
02915X0001	28049	LE BOURG	ACTIF	40
02915X0003	28246	LE MOULIN	ACTIF	89
02915X0015	28176	VARENNE	ACTIF	58
02915X0023	28162	LE MOULIN DES BORDES	ACTIF	69
02915X0028	28176	PLANCHEVILLE	ACTIF	109
02916X0001	28422	LES BALLETS	ACTIF	84
02916X0007	28422	MAROLLES	ACTIF	42
02916X0034	28422	LE GRAND CHAVERNAY	ACTIF	75
02918X0088	28274	LE BOIS CAGNARD F1	ACTIF	430
02918X0106	28274	LE BOIS CAGNARD F3	ACTIF	430
02921X0005	28184	LA COLLERETTE	ACTIF	105
02921X0060	28363	LES MARES	ACTIF	210
02921X0061	28363	SIAEPRAS-LE BOIS DES SAULES	ACTIF	150
02921X0069	28268	LE MOULIN A VENT	ACTIF	200
02921X0071	28092	BOIS DES CHATAIGNIERS	ACTIF	550
02921X0075	28092	FAVEROLLES F3	ACTIF	550
02925X0007	28276	LE GRAND MUID	ACTIF	49
03243X0001	28080	LE BOURG	ACTIF	173
03244X0012	28219	LA GRAINETIERE	ACTIF	223
03247X0004	28078	LA PECTIERE F1	ACTIF	32
03247X0019	28078	LA PECTIERE F2	ACTIF	32
03248X0001	28079	LA COCHELLERIE	ACTIF	156
03248X0012	28012	LA BARBOTIERE	ACTIF	337
03248X0018	28012	LA RIFAUDIERE F2	ACTIF	70
03248X0034	28027	FORAGE DES LINIERES	ACTIF	200
03251X0004	28123	LE BOURG	ACTIF	462
03251X0006	28424	MIGAUDIN	ACTIF	179
03251X0015	28061	POMEAN	ACTIF	658
03251X0033	28061	LES PRES DE LA LAITERIE F2	PROJET	
03252X0003	28061	MOULIN A VENT	ACTIF	500
03252X0009	28211	LES BRIERES	ACTIF	60
03253X0002	28127	SONVILLE-DANGEAU	ACTIF	180
03253X0008	28127	PIMPRENEAU-DANGEAU	ACTIF	64
03253X0010	28211	LE BOURG	ACTIF	66
03254X0002	28259	AUGONVILLE	ACTIF	71
03254X0104	28051	LES PRES NOLLETS	ACTIF	1200
03254X0107	28005	LA GARENNE	ACTIF	181

03254X0153	28051	MEROGER	ACTIF	600
03256X0035	28012	LES CORMIERS	ACTIF	140
03257X0017	28233	LE STADE	ACTIF	251
03258X0034	28329	LA GARILLERE	ACTIF	38
03258X0049	28132	ORSONVILLE	PROJET	1
03258X0059	28088	BEAUVOIR	ACTIF	3132
03258X0075	28256	LES BOIS	ACTIF	372
03261X0002	28305	LE BOULAY	ACTIF	58
03261X0003	28065	LE BOURG	ACTIF	24
03261X0045	28270	LES CARREAUX	ACTIF	49
03261X0046	28306	LE BOURG	ACTIF	43
03262X0002	28411	MENONVILLE	ACTIF	39
03262X0003	28364	LA PERRUCHE	ACTIF	317
03262X0004	28277	LA RUCHE	ACTIF	142
03262X0009	28406	TILLEAU	ACTIF	40
03263X0104	28406	LA VALLEE DE BAIGNEAUX	ACTIF	38
03264X0003	28406	LUTZ	ACTIF	60
03264X0014	28426	MEROUVILLIERS	ACTIF	48
03265X0105	28106	LE BOURG	ACTIF	83
03266X0119	28190	LES PERRIERES F1	ACTIF	500
03266X0120	28190	LES PERRIERES F2	ACTIF	500
03268X0088	28382	LA PERRIERE	ACTIF	654
03268X0135	28212	CHEMIN DE TANON SONDAGE F2	ACTIF	81
03268X0136	28212	CHEMIN DE TANON F1	ACTIF	27
03271X0089	28199	F2 (VOIE FERREE SUD) LE PUISET	ACTIF	458
03271X0098	28199	F3 (VOIE FERREE NORD) LE PUISET	ACTIF	633
03275X0037	28121	LE BOURG	ACTIF	32
03276X0006	28367	CHATEAU GAILLARD	ACTIF	88
03613X0105	28334	VILLEMORE	ACTIF	761
03614X0001	28330	LE BOURG LUTZ EN DUNOIS	ACTIF	133
03622X0090	28296	LES GROSSES BORNES	ACTIF	200
BSS003BLEO	28425	LE MONT FLUBE	ACTIF	
BSS003GTQG	28403	ABBAYE F1	PROJET	
BSS003GTSO	28281	LAUNEY	PROJET	
BSS003XKNM	28304	LE MOULIN DE PIERRE F1	ACTIF	370
BSS003XKOA	28304	LE MOULIN DE PIERRE F2	ACTIF	370
0	28085	RIVIERE EURE AUX TROIS PONTS	ACTIF	6850
02164X0017	28404	VOLHARD	ACTIF	1147
02164X0046	28404	LA COUTURE B2 (F5)	ACTIF	1147
02164X0070	28404	LA COUTURE B3 (F4)	ACTIF	2294
02164X0073	28251	LE BOURG MEZIERES	ACTIF	445
02164X0074	28404	L'ABIME F1	ACTIF	5590
02164X0075	28404	L'ABIME F2	ACTIF	2700
02164X0076	28404	L'ABIME F3	ACTIF	1900
02165X0020	28226	CHENNEVIERES	ACTIF	22
02165X0039	28226	ST MARTIN DE LEZEAU F1	ACTIF	597
02165X0047	28226	ST MARTIN DE LEZEAU F3	ACTIF	597
02166X0027	28155	LA HUTTE	ACTIF	5
02175X0043	28058	BOIS DE RUFFIN F1	ACTIF	795
02175X0048	28058	BOIS DE RUFFIN F2	ACTIF	795
02175X0052	28058	BOIS DE RUFFIN F3	ACTIF	796
02175X0054	28058	BOIS DE RUFFIN F4	ACTIF	796
02177X1002	28135	LA CHEVALERIE	ACTIF	1030
02177X1016	28140	RAIZEUX	ACTIF	60
02178X1004	28135	L'ABIME F5B	ACTIF	1240
02534X0005	28373	FORAGE F1	ACTIF	412
02534X0007	28373	FORAGE F2	ACTIF	569
02538X0001	28214	F2	ACTIF	454
02538X0003	28214	F3	ACTIF	454
02538X0007	28033	LES CHAMPS CHARDONS	ACTIF	290
02538X0063	28335	LES CHIPOTTERIES	ACTIF	454
02544X0002	28102	LE BOURG	ACTIF	80
02544X0009	28068	LE BOURG	ACTIF	31
02544X0031	28374	LE BOURG	ACTIF	77
02544X0036	28393	CHENE CHENU	ACTIF	781
02545X0003	28166	GLATIGNY	ACTIF	60
02546X0067	28099	LE BOIS DU MONIL	ACTIF	628
02546X0068	28203	LE BOIS DES FOURCHES	ACTIF	628

02546X0073	28203	LA VALLEE DE PLUVIGNON	ACTIF	1340
02547X0012	28350	LE BRAS DE LA CANELLE	ACTIF	163
02548X0005	28325	LE CHATEAU D'EAU	ACTIF	287
02548X0046	28022	LES BEGAUDES	ACTIF	285
02548X0049	28325	LA RIVIERE NEUVE F2	ACTIF	305
02551X0019	28034	B2 BERCHERES	ACTIF	5541
02552X0023	28201	LE BOUT D'ANGUY	ACTIF	312
02552X0038	28302	BOIZARD	ACTIF	406
02552X0038	28379	LA PETITE BUTTE	ACTIF	414
02552X0078	28357	LES MARTELS F2	ACTIF	520
02552X0079	28423	LA PRAIRIE F2	ACTIF	584
02552X0080	28423	LA PRAIRIE F5	ACTIF	292
02552X0081	28423	LA PRAIRIE F6	ACTIF	584
02553X0011	28023	BAILLEAU SOUS GALLARDON	ACTIF	103
02553X0046	28423	LE BUTTRA	ACTIF	262
02554X1015	28137	LE CALVAIRE	ACTIF	83

Annexe 3

Paramètres hydrodynamiques recensés par forage et par aquifère dans la zone d'étude

Code BSS	Commune	XL93	YL93	Source	Aquifère	T (m2/s)	S (-)	Attribution
02914X0008/FAEP	Saint-Léger-des-Aubées	606622	6812758	BSS (R)	Calcaires de Beauce	0.005		BDLISA
02914X0065/F	Réclainville	605714	6805349	BSS	Calcaires de Beauce	0.00537		COUPE BSS
02914X0071/F	Ouarville	608256	6807532	BSS	Calcaires de Beauce	0.28	0.0005	COUPE BSS
02918X0090/F	Boisville-la-Saint-Père	604342	6803711	BSS	Calcaires de Beauce	0.08	0.036	COUPE BSS
02926X0059/F	Mérouville	618457	6802172	BSS	Calcaires de Beauce	0.0017		COUPE BSS
02926X0063/F	Rouvray-Saint-Denis	619625	6796991	BSS	Calcaires de Beauce	0.038		COUPE BSS
02926X0064/F	Neuvy-en-Beauce	617500	6798117	BSS	Calcaires de Beauce	0.00453		COUPE BSS
03268X0134/F	Rouvray-Sainte-Croix	604087	6774137	BSS	Calcaires de Beauce	0.115		COUPE BSS
03271X0103/F	Bazoches-les-Hautes	612834	6784346	BSS	Calcaires de Beauce	0.0105	0.12	COUPE BSS
03272X0099/F	Poinville	618615	6786550	BSS	Calcaires de Beauce	0.0368		COUPE BSS
03272X0100/F2AEP	Chaussy	623338	6784221	BSS (R)	Calcaires de Beauce	0.002	0.001	BDLISA
03273X0069/F2	Outarville	627936	6790570	BSS (R)	Calcaires de Beauce	0.0025		BDLISA
03273X0085/F	Bazoches-les-Gallerandes	629557	6785152	BSS	Calcaires de Beauce	0.085	0.01	BDLISA
03273X0095/F	Outarville	628328	6790098	BSS	Calcaires de Beauce	0.02		COUPE BSS
03273X0096/F	Bazoches-les-Gallerandes	629556	6785122	BSS	Calcaires de Beauce	0.085	0.01	COUPE BSS
03636X0695/F4AEP	Saran	617665	6762521	BSS	Calcaires de Beauce	0.08	0.009	BDLISA
03636X0695/F4AEP	Saran	617665	6762521	BSS (R)	Calcaires de Beauce	0.08	0.09	BDLISA
02921X0063/F1	Denonville	611093	6812252	BSS	C. de Beauce , S. de Fontainebleau	0.03		COUPE BSS
02921X0064/F2	Denonville	611219	6812476	BSS	C. de Beauce / S. de Fontainebleau	0.0026		COUPE BSS
02548X0044/FAEP	Saint-Aubin-des-Bois	578254	6820110	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.003		BDLISA
02548X0044/FAEP	Saint-Aubin-des-Bois	578253	6820109	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.024		BDLISA
02552X0064/F1	Mévoisins	595882	6830379	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.0147	0.00394	BDLISA
02552X0066/F6AEP	Yermenonville	597319	6830042	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.00378		BDLISA
02552X0067/FE-2	Saint-Piat	595821	6830502	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.0082		BDLISA
02552X0067/FE-2	Saint-Piat	595820	6830501	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.00336		BDLISA
02552X0069/FE1	Saint-Piat	595470	6829599	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.000264		BDLISA
02558X0088/FE3	Ymeray	605288	6823982	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.0314		BDLISA
02904X0058/FAEP	Fontenay-sur-Eure	581436	6811883	ARS	Craie du Séno-Turonien	0.173	1E-10	BDLISA
02904X0058/FAEP	Fontenay-sur-Eure	581280	6811949	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.13	0.005	BDLISA
02904X0058/FAEP	Fontenay-sur-Eure	581280	6811949	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.135	4.3e-06	BDLISA
02908X0042/F2AEP	Épeautrolles	577483	6802209	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.0022		BDLISA
02911X0007/PFAEP	Thivars	584305	6810521	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.0095		BDLISA
02911X0059/FRAEP	Corancez	589981	6808912	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.4		BDLISA
02912X0053/F1AEP	Sours	592940	6812442	ARS	Craie du Séno-Turonien	0.077	0.0065	BDLISA
02912X0088/F2AEP	Sours	597327	6813844	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.00719	7e-06	BDLISA
02913X0071/FE2	Francourville	598089	6811742	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.0148		BDLISA
02914X0062/FAEP	Voise	605632	6813773	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.0083	0.1	BDLISA
02915X0023/FAEP	Fresnay-le-Comte	586346	6801889	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.0474		BDLISA
02915X0028/F2AEP	Le Gault-Saint-Denis	588567	6794530	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.005		BDLISA
02918X0088/F1	Moutiers	606773	6800368	ARS	Craie du Séno-Turonien	0.001	0.00037	BDLISA
02918X0088/F3	Moutiers	606771	6800348	ARS	Craie du Séno-Turonien	0.0014	0.00062	BDLISA
02918X0088/F3	Moutiers	606773	6800367	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.0013	1.7e-06	BDLISA
02918X0092/F1	Ymonville	606718	6794241	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.0015		BDLISA
03248X0001/P	Chapelle-Royale	555711	6784852	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.00042		BDLISA
03248X0012/F	Commune nouvelle d'Arrou	556656	6780188	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.00012		BDLISA
03248X0018/FAEP	Commune nouvelle d'Arrou	556571	6782032	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.000213	0.0335	BDLISA
03251X0015/F	Brou	561478	6791229	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.002	0.005	BDLISA
03258X0049/FAEP	Donnemain-Saint-Mamès	578905	6777542	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.5		BDLISA
03268X0135/F1AEP	Loigny-la-Bataille	605874	6781782	ARS	Craie du Séno-Turonien	0.06	0.021	BDLISA
03613X0149/FE-10	Saint-Denis-les-Ponts	571297	6773590	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.007		BDLISA
03624X0123/FAEP	Boulay-les-Barres	610139	6765905	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.00017	0.001	BDLISA
02164X0074/F1AEP	Vernouillet	579103	6848310	ARS	Craie du Séno-Turonien	0.066	0.09	BDLISA
02164X0074/F1AEP	Vernouillet	579102	6848311	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.07	0.03	BDLISA
02164X0074/F2AEP	Vernouillet	579023	6848331	ARS	Craie du Séno-Turonien	0.14	0.09	BDLISA
02164X0074/F3AEP	Vernouillet	578972	6848211	ARS	Craie du Séno-Turonien	0.038	0.09	BDLISA
02165X0047/FAEP	Maillebois	564406	6836591	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.0033		BDLISA

Etude de la nappe de la craie entre Perche et Beauce – Phase 1

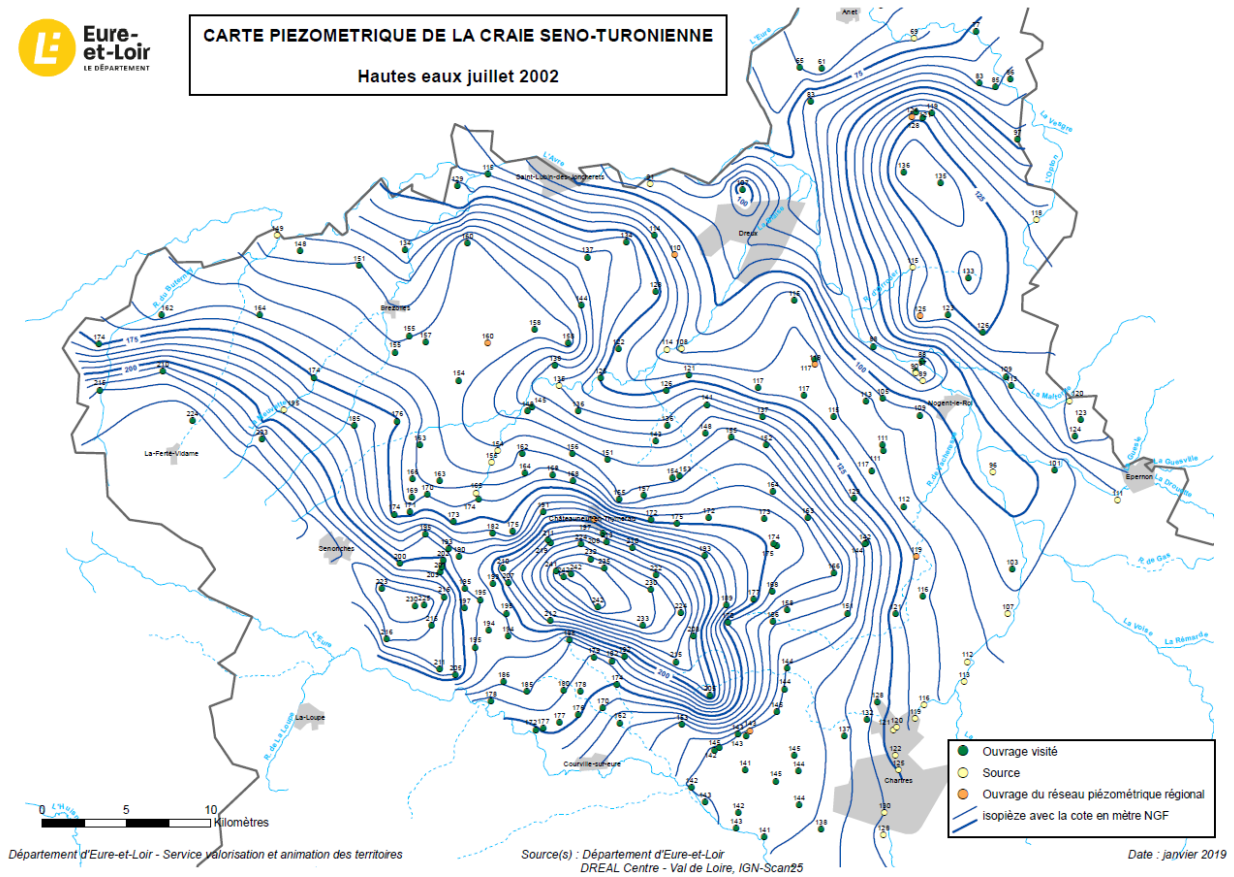
02166X0027/FAEP	Fontaine-les-Ribouts	570208	6841066	BSS (R)	Craie du Séno-Turonien	0.00148	0.0799	BDLISA
02171X0023/F	Ouerre	587243	6845887	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.00158		COUPE BSS
02175X0052/FE	Bréchamps	589719	6841959	ARS	Craie du Séno-Turonien	0.0178	3.3e-05	BDLISA
02175X0054/F4	Bréchamps	590218	6841549	ARS	Craie du Séno-Turonien	0.0138	0.0378	BDLISA
02175X0054/F2	Bréchamps	589857	6841819	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.04		BDLISA
02546X0066/F	Courville-sur-Eure	570386	6818796	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.00084		COUPE BSS
02552X0049/S1	Houx	597323	6830241	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.0055	0.0001	COUPE BSS
02552X0068/FE2	Saint-Piat	594641	6826691	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.000254		COUPE BSS
02558X0082/F	Auneau-Bleury-Saint-Symphorien	608141	6820008	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.000085		COUPE BSS
02558X0092/F1	Auneau-Bleury-Saint-Symphorien	606946	6819068	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.01		COUPE BSS
02906X0047/F	Illiers-Combray	568859	6802266	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.00173		COUPE BSS
02907X0068/F	Saumeray	576306	6796012	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.00015		COUPE BSS
02913X0068/F	Allonnes	600550	6805765	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.003		COUPE BSS
02913X0069/F	Allonnes	598655	6805752	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.0201		COUPE BSS
02913X0072/FE3	Prunay-le-Gillon	599320	6809333	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.00871		COUPE BSS
02915X0035/F	Fresnay-le-Comte	588015	6801077	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.0435		COUPE BSS
02916X0064/F	Les Villages Vovéens	594079	6800179	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.000203		COUPE BSS
02917X0102/F1	Les Villages Vovéens	598548	6795307	BSS	Craie du Séno-Turonien	4.2		COUPE BSS
03252X0028/S1	Dangeau	569873	6791239	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.00352		COUPE BSS
03252X0029/S2	Dangeau	569846	6790915	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.0259		COUPE BSS
03253X0024/F	Dangeau	573625	6791710	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.0038		COUPE BSS
03253X0049/F	Trizay-lès-Bonneval	575755	6790974	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.002	0.0005	COUPE BSS
03254X0116/F	Trizay-lès-Bonneval	577812	6789829	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.0027		COUPE BSS
03254X0155/F	Trizay-lès-Bonneval	577556	6789865	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.00195		COUPE BSS
03256X0023/F	Commune nouvelle d'Arrou	564782	6775719	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.044	0.0001	COUPE BSS
03258X0079/F	Saint-Christophe	578150	6781339	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.00148		COUPE BSS
03261X0082/F	Pré-Saint-Évroult	586506	6789116	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.017		COUPE BSS
03262X0093/F	Neuvy-en-Dunois	591389	6790531	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.000471		COUPE BSS
03268X0108/F	Loigny-la-Bataille	605883	6781808	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.06	0.02	COUPE BSS
03613X0151/FE-8	Saint-Denis-les-Ponts	571378	6773298	BSS	Craie du Séno-Turonien	0.00038		COUPE BSS
BSS003XKNM/X	Prasville	604144	6799730	ARS	Craie du Séno-Turonien	0.0081	0.00031	BDLISA
BSS003XKOA/X	Prasville	605235	6799661	ARS	Craie du Séno-Turonien	0.023	0.00025	BDLISA
02546X0067/FAEP	Chuisnes	566821	6817714	BSS	Résidus à Silex	0.0057	0.00018	BDLISA
02546X0068/FAEP	Landelles	566259	6818968	BSS	Résidus à Silex	0.0035	0.0001	BDLISA
02914X0059/F	Santeuil	606397	6810726	BSS	Résidus à Silex	0.002		COUPE BSS
02921X0061/FAEP	Sainville	616531	6813036	BSS	Sables de Fontainebleau	0.008		BDLISA
02921X0065/F2	Maisons	615241	6811409	BSS	Sables de Fontainebleau	0.00604		COUPE BSS
02921X0069/FE	Morainville	614003	6808576	BSS (R)	Sables de Fontainebleau	0.006		BDLISA
02922X0053/F	Baudreville	617978	6804620	BSS	Sables de Fontainebleau	0.00938		COUPE BSS
02534X0041/FE	Senonches	552949	6831610	BSS	Sables du Perche	0.0071	0.01	BDLISA
02538X0063/FAEP	Saint-Élip	552231	6819760	BSS	Sables du Perche	0.0476		BDLISA
02546X0062/FE1	Landelles	566258	6818958	BSS	Sables du Perche	0.00235	0.34	COUPE BSS
02906X0046/F	Montigny-le-Chartif	564148	6799244	BSS	Sables du Perche	0.023		COUPE BSS

Annexe 4

Carte piézométrique de la craie Séno-Turonienne

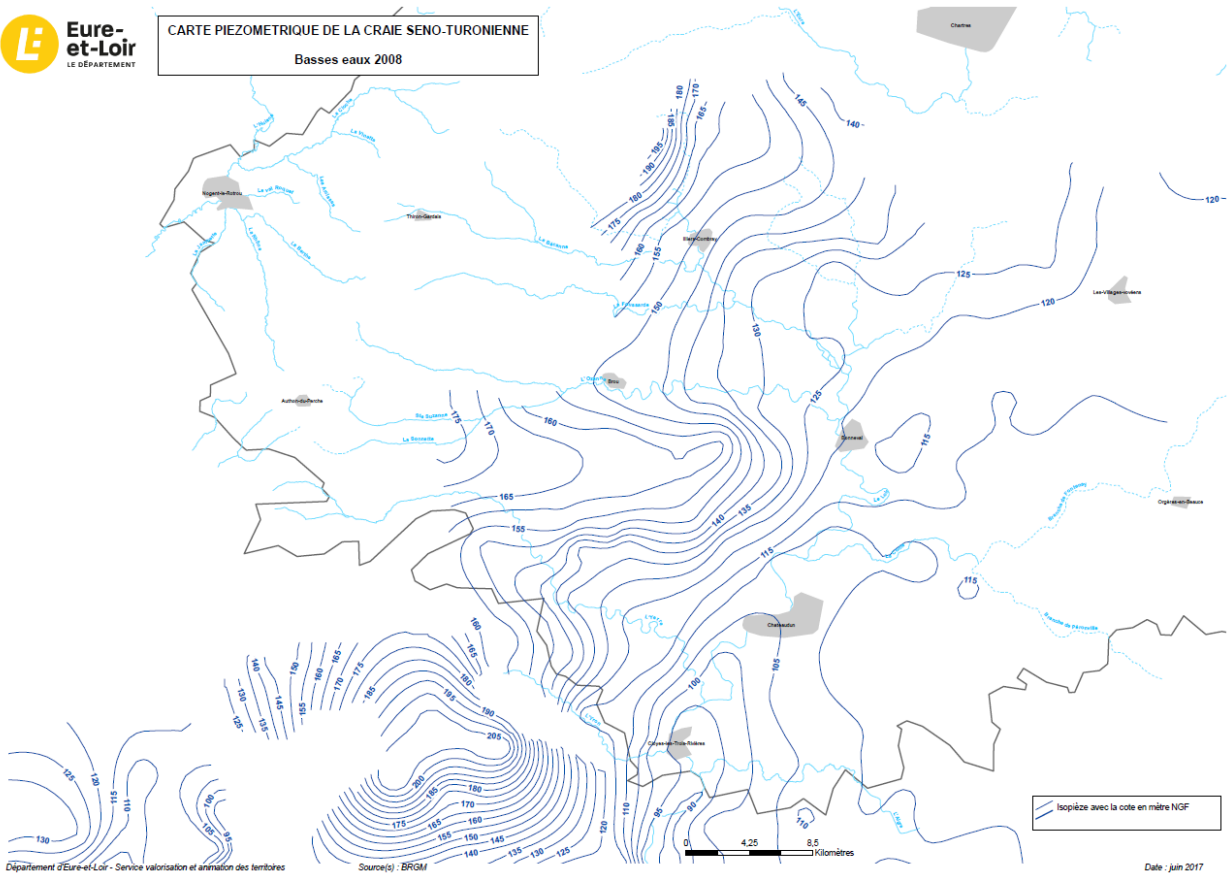


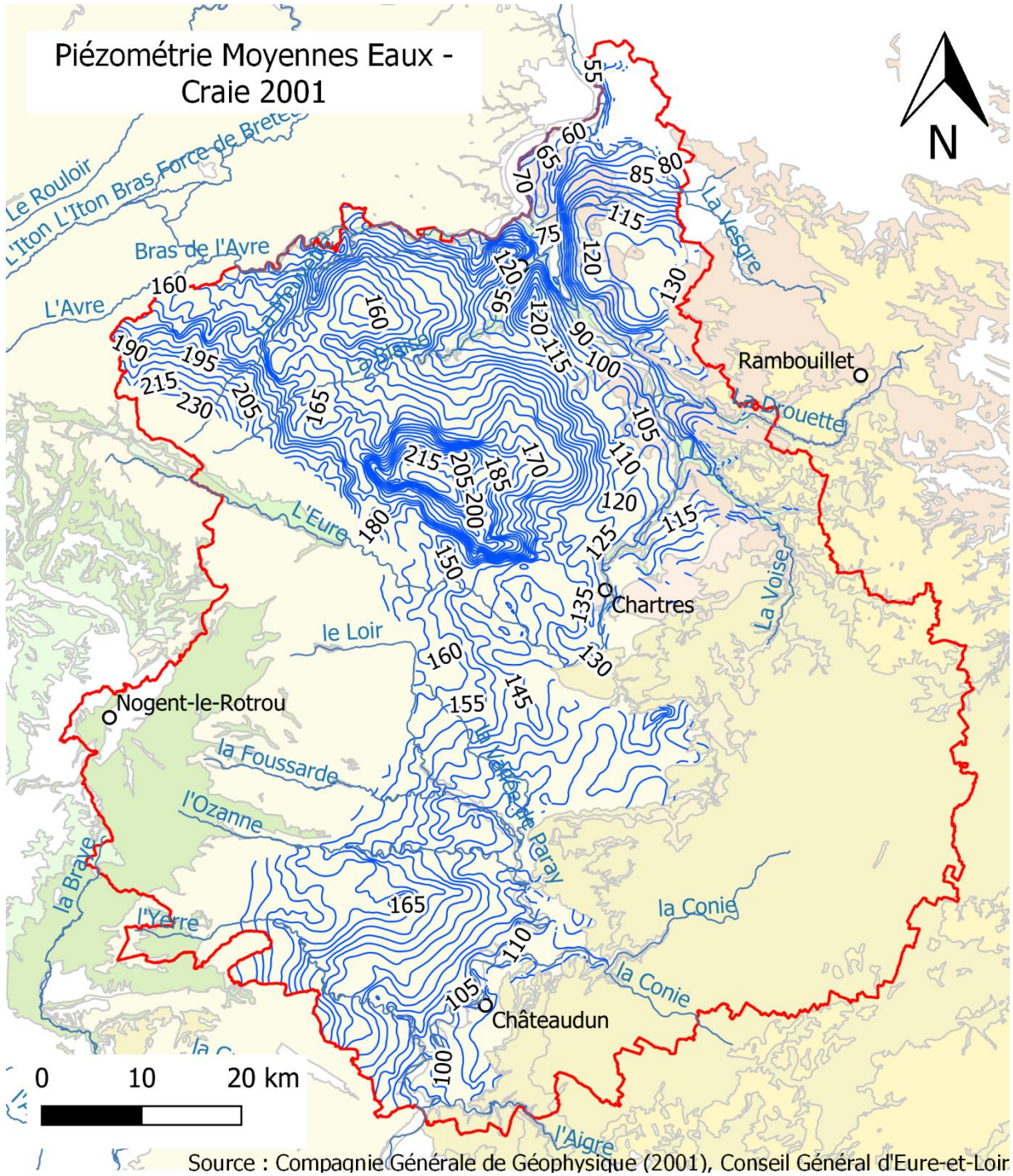
CARTE PIEZOMETRIQUE DE LA CRAIE SENO-TURONNIENNE
Hautes eaux juillet 2002





CARTE PIEZOMETRIQUE DE LA CRAIE SENO-TURONNIENNE
Basses eaux 2008





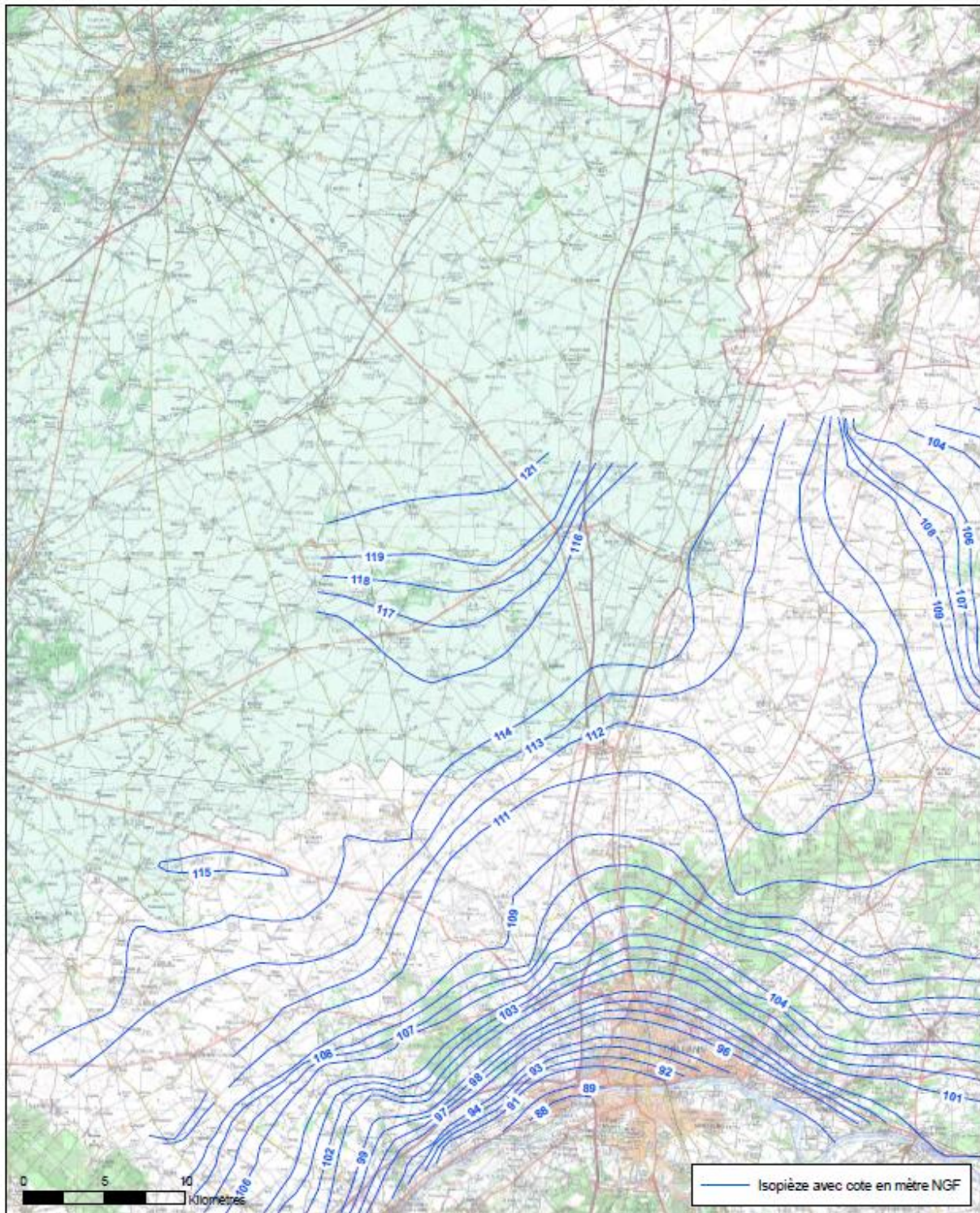
Annexe 5

Carte piézométrique de la nappe de Beauce



NAPPE DES CALCAIRES DE PITHIVIERS

Hautes eaux 2002



Département d'Eure-et-Loir - Service valorisation et animation des territoires

Source(s) : DREAL Centre et Île-de-France
IGN-SCAN 100®

Annexe 6

Carte piézométrique des nappes libres du Cénomaniens (Sables du Perche), de la Craie et des calcaires de Beauce 1994



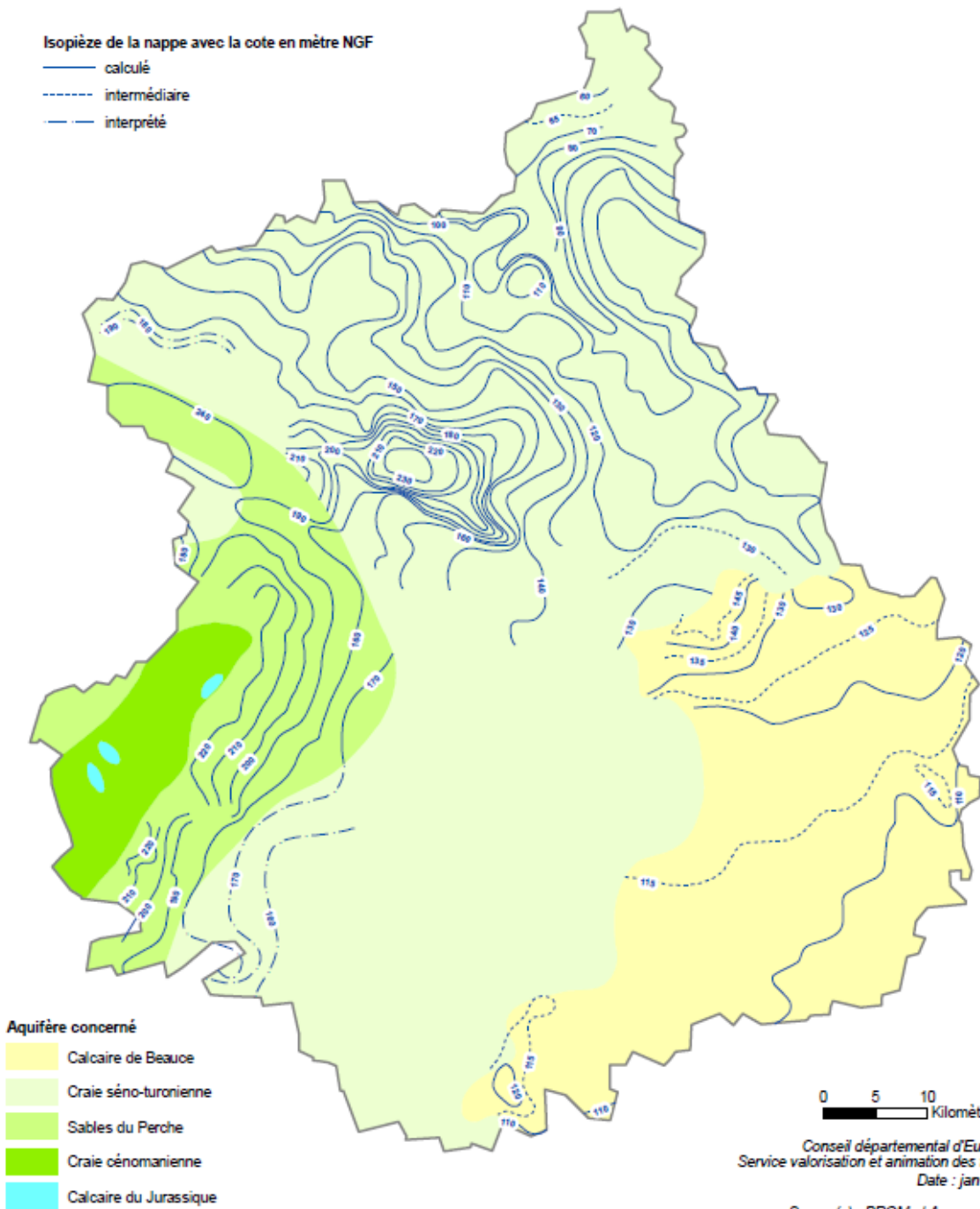
CARTE PIEZOMETRIQUE DES NAPPES LIBRES

Basses eaux de 1994



Isopièze de la nappe avec la cote en mètre NGF

- calculé
- - - - - intermédiaire
- · - · - · interprété



Annexe 7

Piézomètres disponibles sur la zone d'étude (ADES)

BSS	Libellé	Min	Max	Nombre mesures	XL93	YL93	Aquifère	Attribution
03252X0018/FAEP	GORNIÈRE	1994	2019	5773	566853	6792523	Albien	BDLISA
02557X0007/P	La Croix de Breez	1974	2004	1622	600321	6818331	Calcaires	ME 2010
02558X0018/P	Boigasson	1997	2007	546	609553	6821466	Calcaires	Coupe BSS
02558X0034/P	Goimpy	1974	2019	9327	607866	6814332	Calcaires	BDLISA
02561X0043/P	ablis	1997	2007	546	614400	6828745	Calcaires	ME 2010
02565X0019/P	Paray-Douaville	1974	2019	7369	616968	6818777	Calcaires	BDLISA
02566X0019/S1	Piézomètre du bourg d'Allainville (Allainville - 78)	1974	2019	11228	618480	6817785	Calcaires	BDLISA
02913X0021/P	Frainville	1974	2007	1785	598528	6806631	Calcaires	ME 2010
02913X0024/P	SÉNEUVILLE	1997	2019	6120	599382	6812121	Calcaires	BDLISA
02913X0030/P	Voise	1974	2007	1784	604097	6811804	Calcaires	Coupe BSS
02918X0027/P	L'ÉTOURVILLE	1974	2018	6565	605008	6802051	Calcaires	BDLISA
02921X0001/FAEP	Ancien Château d'eau	1994	2019	8293	617453	6813235	Calcaires	BDLISA
02921X0029/F	Auvilliers	1974	2007	1721	611926	6805973	Calcaires	Coupe BSS
02921X0030/P	AUNAINVILLE	1974	2019	7831	611669	6813712	Calcaires	BDLISA
02925X0015/P	St Germain	1974	2004	1609	611173	6794376	Calcaires	Coupe BSS
02926X0013/P	MÉROUVILLE	1974	2019	7570	618441	6800149	Calcaires	BDLISA
03261X0055/P	pré-st-martin	1997	2007	543	587006	6792315	Calcaires	ME 2010
03262X0027/P	Herbault (D353)	1974	2004	1443	595946	6791110	Calcaires	ME 2010
03262X0074/F	Boissay	1997	2007	547	594631	6786603	Calcaires	Coupe BSS
03263X0004/FAEP	Château d'eau	1993	2019	8935	599389	6792372	Calcaires	BDLISA
03263X0028/P	Ormoy	1974	2007	1680	598562	6784583	Calcaires	ME 2010
03265X0037/P	Moireville	1976	2004	1533	584732	6775013	Calcaires	ME 2010
03266X0009/P	PUITS COMMUNAL	1974	2019	7092	596451	6783050	Calcaires	BDLISA
03267X0013/P	guillonville	1997	2003	363	599273	6778649	Calcaires	ME 2010
03268X0003/P	Ecole	1974	2007	1776	605877	6780852	Calcaires	ME 2010
03272X0006/PZ	Le Muid de la Roue	1965	2019	10048	617546	6793764	Calcaires	BDLISA
03273X0026/P	chaussy	1966	2006	557	624187	6785985	Calcaires	ME 2010
03276X0009/P	Villechat	1966	2019	9933	619864	6778007	Calcaires	BDLISA
03276X0057/P	Les Bordes Givry	1974	2004	1624	623127	6774272	Calcaires	ME 2010
03614X0001/PAEP	Le Bourg	1993	2019	8723	582236	6774131	Calcaires	BDLISA
03624X0008/P	Roumilly	1997	2007	500	604351	6769243	Calcaires	Coupe BSS
03631X0099/F	Station TOTAL	1994	2019	8323	614766	6764729	Calcaires	BDLISA
02163X0015/P	Le Bourg	1994	2019	8486	575093	6848202	Craie	BDLISA
02165X0023/PFAEP	Château d'eau	1994	2019	8327	563954	6842839	Craie	BDLISA
02168X0001/PFAEP	Fonville	1994	2019	8302	583361	6841739	Craie	BDLISA
02171X0008/PF	LE BOURG	1974	2019	8904	589661	6844419	Craie	BDLISA
02175X0003/S		1994	2007	3822	590907	6840130	Craie	Coupe BSS
02542X0035/P	Ancien lavoir	1994	2019	8384	570252	6832546	Craie	BDLISA
02548X0005/PFAEP	Château d'eau	1994	2019	8661	579522	6820025	Craie	BDLISA
02551X0022/FAEP	Station de Pompage	1994	2019	8474	589410	6830339	Craie	Coupe BSS
02553X0020/PFAEP	Jonvilliers	1994	2019	8593	604321	6829715	Craie	BDLISA
02557X0001/FAEP	Château d'eau	1994	2019	8773	600084	6816154	Craie	BDLISA
02903X0029/P	Bienfol	1993	2019	8611	572164	6808237	Craie	BDLISA
02908X0010/PFAEP	Château d'eau	1994	2019	7699	583840	6799551	Craie	BDLISA
02912X0082/F	Bussay	1993	2019	9174	593863	6807502	Craie	BDLISA
03243X0001/F	Station de Pompage	1993	2019	9289	546463	6789683	Craie	Coupe BSS
03252X0009/F	Les Brières	1993	2019	9050	568363	6785021	Craie	Coupe BSS
03252X0011/S	Gornière	1993	2019	9246	566875	6792562	Craie	BDLISA
03254X0103/F	Mérogier	1993	2019	7573	582405	6788598	Craie	BDLISA
03257X0018/P	st-denis-les-ponts	1993	1994	329	571164	6774701	Craie	Coupe BSS
03612X0098/P	Clairbois	1993	2019	8314	567478	6773128	Craie	BDLISA
02552X4001/GT		1994	2007	3289	596350	6828040	Inconnu	
02918X0061/CN		2006	2006	47	609974	6796844	Inconnu	
02185X0159/P38	lieu-dit de la Guitonnerie (Rambouillet - 78)	2013	2019	2501	616626	6840777	Sables de Fontainebleau	BDLISA
02534X0008/TX		1974	2007	4648	555029	6830160	Sables du Perche	Coupe BSS
02545X0048/FAEP	Station de Pompage	1994	2019	8768	561829	6822571	Sables du Perche	BDLISA
02898X0002/FAEP	thiron-gardais	1993	1994	397	552853	6802938	Sables du Perche	BDLISA
02905X0020/FAEP	Château d'eau	1993	2019	8954	562606	6801113	Sables du Perche	BDLISA
03244X0020/F	La Maurinière	1993	2019	8813	553411	6792260	Sables du Perche	BDLISA
03248X0015/S	Les Mellerets	1993	2019	8763	552491	6779620	Sables du Perche	BDLISA
BSS002PTKW/SR1		2016	2018	950	541591	6832412	Sables du Perche	Coupe BSS



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

Direction DEPA

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France

Tel. 02 38 64 34 34

Direction Régionale Centre-Val-de-Loire

3, Avenue Claude Guillemin

BP 36009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France

Tél. : 02.38.64.31.92