



# Elaboration d'un outil de gestion des prélèvements d'eau sur le bassin de l'Avre

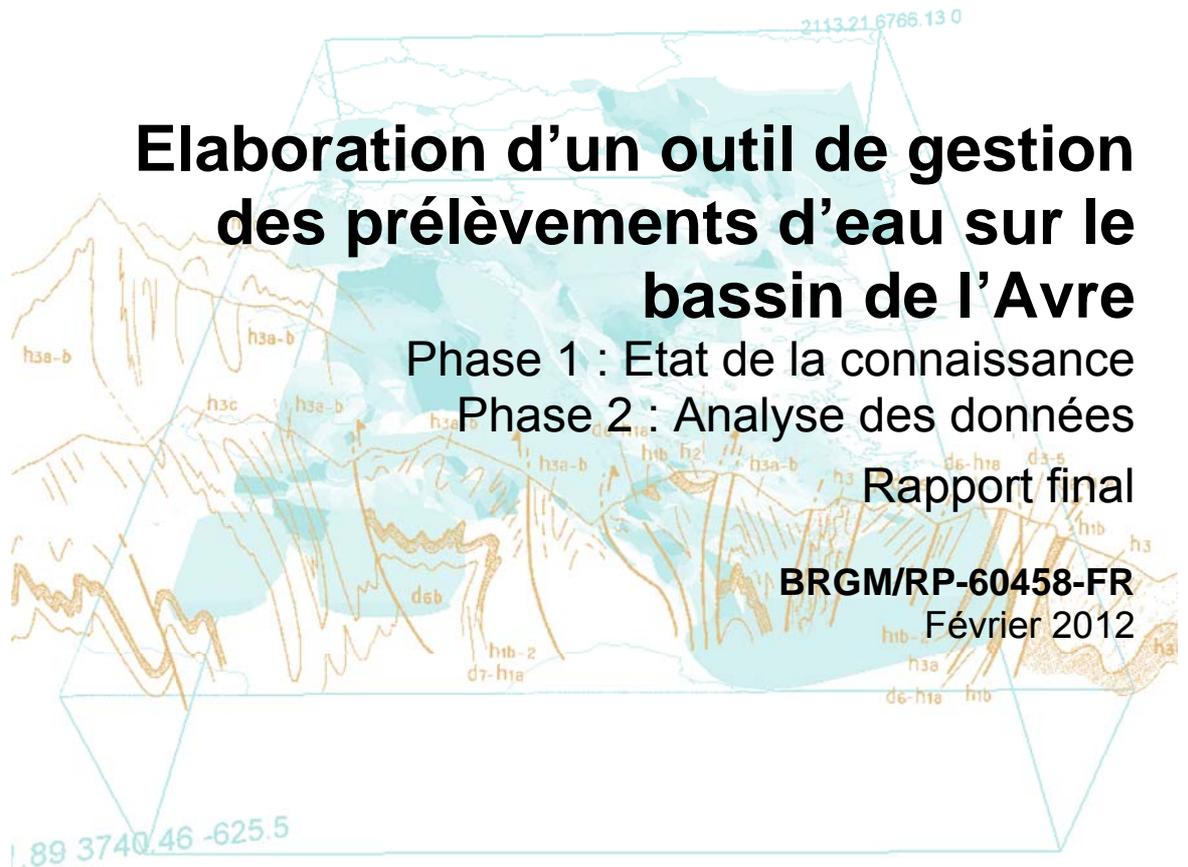
Phase 1 : Etat de la connaissance

Phase 2 : Analyse des données

Rapport final

BRGM/RP-60458-FR

Février 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

**BRGM/RP-60458-FR**

Janvier 2012

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM 11EAU13

**P.-Y. David**

Avec la collaboration de G. Orsini, P. Ladeveze, H. Bessière et P. Pannet



**Vérificateur :**

Nom : J.-J. SEGUIN

Date : février 2012

Signature :

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'J. Seguin'.

**Approbateur :**

Nom : E. GOMEZ

Date : mars 2012

Signature :

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'E. Gomez'.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

**Mots clés :** Bassin Avre, gestion de la ressource en eau, bilan quantitatif, karst, prélèvement, infiltration, SAGE, Eure, Eure-et-Loir, Orne, Haute-Normandie, Basse-Normandie, Centre.

Rapport final

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : David P-Y.– Elaboration d'un outil de gestion des prélèvements d'eau sur le bassin de l'Avre : phase 1 : Etat de la connaissance et phase 2 : Analyse des données – Rapport final. Rap. BRGM/RP-60458-FR, 204 p., 122 ill., 7 ann.

© BRGM, 2012, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

Un niveau de prélèvements élevé, conjugué aux problèmes de disponibilité de la ressource en eau souterraine et d'impact écologique sur les masses d'eau superficielles en aval de Verneuil-sur-Avre (27), rend nécessaire une gestion équilibrée et durable de la ressource qui prendrait à la fois en compte les besoins et les contraintes à respecter pour garantir la préservation et la protection de cette ressource et des milieux aquatiques associés.

Le bassin de l'Avre fait actuellement l'objet d'un SAGE qui vise, entre autre, à sécuriser la distribution en eau potable et à optimiser les prélèvements dans le bassin.

La mise en place d'une telle structure de gestion nécessite de disposer d'éléments d'appréciation utiles à la planification d'une politique de gestion durable des eaux souterraines dans le bassin.

La DREAL de Haute-Normandie et l'Agence de l'eau Seine-Normandie ont donc 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.

En réponse à cette attente, le BRGM (SGR Haute-Normandie) a conçu un programme d'étude en quatre étapes. Ce rapport présente les résultats des phases 1 et 2 (Etat de la connaissance, collecte et analyse des données).

### **Contexte géologique et hydrogéologique**

D'un point de vue géologique, le réservoir du bassin de l'Avre est constitué :

- dans la partie amont, par des sables du perche (au Sud de la faille de Senonches) et par la craie céno-turonienne,
- dans la partie aval par les craies du Coniacien et du Santonien.

Les craies cénomaniennes et turoniennes inférieures présenteraient des perméabilités médiocres tandis que la craie du Turonien supérieur constituerait l'essentiel du réservoir aquifère dans la partie amont du bassin.

L'organisation structurale est un monoclin à faible pendage orienté vers le Nord-est. Cependant ce réservoir est affecté par une succession d'axes anticlinaux et synclinaux ayant comme origine une tectonique syn-sédimentaire. Concernant la fracturation, 3 grandes directions sont à retenir dans le bassin de l'Avre :

- directions N110 à N120 (failles de l'Eure et de Senonches).
- directions N45 à N70 (failles du Merlerault et de Courtomer).
- directions N150 à N160 (failles supposées de Verneuil-sur-Avre)

**Des failles importantes sont à noter :** failles de Senonches (faille verticale qui mettrait en contact les Sables du Perche (Cénomaniens) avec la craie du Turonien), faille de Saint-Christophe-sur-Avre qui décalerait le toit du cénomaniens de près de 50 m. La faille supposée de Verneuil-sur-Avre serait à l'origine de la zone de résurgence (source Gonord, Vigne, Breuil...). Cette zone de failles supposées ferait écran aux écoulements, en faisant remonter en blocs la craie imperméable du cénomaniens inférieur contre la craie turonienne et justifierait la résurgence des eaux circulant dans les conduits karstiques.

En raison de ces accidents tectoniques et des altérations subies (développement de réseaux « karstiques »), la craie est ainsi un milieu mixte : poreux, fissuré, et karstique.

Une incertitude forte demeure concernant les sables du Perche :

- son extension latérale au Nord de la faille de Senonches,
- la connexion hydraulique entre le compartiment surélevé (dans lequel affleure les sables du perche) et le reste du bassin (substrat crayeux).

La particularité de ce bassin est la présence d'un karst très développé essentiellement dans le secteur amont du bassin qui le structure de la façon suivante :

- une zone de sources située au niveau des formations du Sables du Perche,
- une zone de pertes qui affecte les plateaux et les fonds des cours d'eau (Avre et ses affluents de la rive droite)
- une deuxième zone de sources (sources de la Vigne, du Breuil, Gonord) située au niveau de Verneuil-sur-Avre / Rueil, zone de résurgence du karst.

Une carte des réseaux karstiques supposés est disponible (dressée sur la base des résultats des traçages positifs et négatifs et d'après une analyse de la fracturation). Concernant les fluctuations piézométriques, il semble que l'aquifère des sables du perche ait un comportement saisonnier tandis que l'aquifère crayeux un comportement pluriannuel avec une composante saisonnière plus ou moins importante suivant les secteurs de la craie (fonction du degré de fracturation, d'épaisseur de ZNS,...).

Le bassin topographique et le bassin hydrogéologique de l'Avre semblent relativement bien superposés excepté en période de basses eaux où le bassin hydrogéologique de l'Itton amont serait inclus dans le bassin hydrogéologique de l'Avre. Il serait nécessaire de confirmer ce constat par des investigations de terrain.

Des investigations complémentaires de terrains ont par ailleurs été préconisées.

## **Données météorologiques et calcul de la pluie efficace**

Il existe une variabilité importante de la pluviométrie à l'échelle du bassin versant de l'Avre : la pluviométrie augmente en allant vers l'amont du bassin (800 mm au niveau de la crête topographique). L'aval du bassin est concerné par une faible pluviométrie puisqu'y est atteint la valeur moyenne minimale observée sur l'ensemble du bassin Seine-Normandie (580 mm).

Afin de réaliser le calcul le plus précis possible des apports en eau de l'aquifère, le bassin de l'Avre a été couvert par une grille de mailles carrées de 100 mètres de côtés. Le calcul de la pluie efficace et de l'infiltration a ainsi pu être réalisé en chaque maille et au pas de temps décadaire de janvier 1990 à décembre 2010. Ce calcul spatialisé de la pluie efficace et des infiltrations a nécessité préalablement de spatialiser les paramètres nécessaires au calcul, à savoir la pluie, l'évapo-transpiration-potentielle (ETP), la réserve utile des sols (RU) et le ruissellement.

Ainsi, en tout point de la grille ont été obtenues des chroniques de pluie efficace et d'infiltration vers la nappe (la recharge). Une carte des pluies efficaces moyennes a aussi été réalisée à l'échelle du bassin.

## **Données des cours d'eau**

La présence de karst en amont de l'Avre, crée un fonctionnement hydraulique différent suivant les secteurs. 3 tronçons hydrauliques distincts peuvent être identifiés pour ce cours d'eau :

- de la source à Randonnai : nappe et rivière sont connectées ;
- de Randonnai à Verneuil-sur-Avre : secteur karstique : le cours d'eau est perché par rapport à la nappe ;
- de Verneuil-sur-Avre à la confluence : connexion nappe/rievière : la rivière redevient drainante et se trouve alimentée par la nappe de la craie.

A la demande du BRGM et du Syndicat de l'Avre, le bureau hydrométrique de la DREAL SRE a réalisé une campagne de jaugeage les 22 et 23 septembre 2011. Cette campagne a permis de connaître :

- le débit apporté par le bras forcé de l'Iton. La campagne a mis en évidence des pertes importantes de débit (50%) entre l'amont et l'aval du bras forcé. L'origine de ces pertes serait à rechercher ;
- le débit perdu par l'Avre au niveau du secteur perché de l'Avre (débit qui retourne dans le réservoir souterrain). L'Avre perd ainsi 64% de son débit sur le secteur perché de son lit (entre Randonnai et Verneuil) ;
- le débit apporté par la zone de résurgence des sources de Breuil/Gonord/Vignes. Cet apport concentré (sources de Breuil/Gonord/Vigne) est considérable puisqu'il représente 62% du débit naturel reconstitué d'Acon et 55% de celui de Muzy.

Enfin, sur la base des résultats de cette campagne, une carte des apports d'eaux souterraines à l'Avre a pu être réalisée pour identifier les secteurs de la nappe les plus contributifs.

Concernant les assecs, une carte localisant les assecs historiques a été dressée. Une analyse des dépassements de seuils (vigilance, alerte, crise et crise renforcée) semble montrer que les périodes d'étiages sévères correspondent à des périodes de faibles pluies efficaces (données corrélées).

### **Inventaire des points de prélèvements**

Un inventaire des points de prélèvements et des volumes prélevés a été dressé en consultant et en confrontant diverses sources de données (AESN, DDT, DSV, DREAL, ARS, BSS, Etudes diverses...) sur les 3 départements et les 3 régions concernées. En complément, des enquêtes ont été menées par envoi de questionnaires à l'ensemble des communes et des syndicats d'eau de la zone d'étude. Ces prélèvements ont été classés en quatre types d'usage (AEP, Agricole, Industrie, Domestique).

Une base de données a été créée dans le cadre de cette étude afin de compiler ces données de prélèvements.

Les résultats de cet inventaire montrent qu'aucune base de données de prélèvements (DDT, AESN, BSS,...) n'est actuellement exhaustive. Il apparaît que certains ouvrages utilisés pour des prélèvements dans les eaux souterraines ne sont pas recensés en BSS. La confrontation des différentes bases de données et l'élimination des doublons a nécessité un long travail de géolocalisation de l'ensemble des points de prélèvements.

### **Inventaire des volumes prélevés**

Un inventaire des volumes prélevés au pas de temps mensuel a été réalisé.

Pour les prélèvements AEP, les données ont été récupérées auprès des syndicats. Dans de nombreux cas, les syndicats n'ont pas pu fournir de données au pas de temps mensuel. Les données ont alors été mensualisées par des courbes théoriques de mensualisation.

Concernant les prélèvements agricoles, la base AESN ne semblant pas exhaustive, l'estimation des volumes prélevés a été effectuée par comparaison des résultats de 2 méthodes :

- mensualisation des données de prélèvements agricoles recensées dans la base AESN ;
- estimation d'une fourchette haute des prélèvements agricoles en estimant les besoins en irrigation par la méthode de l'Evapo-Transpiration Maximale et les besoins en eau pour l'abreuvement des élevages.

Le recensement des prélèvements industriels s'est appuyé sur la base AESN, la base GEREP, diverses études environnement, la banque du sous-sol, un questionnaire envoyé par le BRGM à Center Parc, des questionnaires envoyés par le BRGM aux mairies.

#### Résultats :

- La première exploitation de la ressource en terme de volumes prélevés est constituée par les prélèvements pour l'alimentation en eau potable de la ville de Paris (**18,8 Mm<sup>3</sup>** par an en moyenne sur les années 2000 à 2009). Ils représentent **65 à 75% des prélèvements totaux** (suivant fourchette basse ou haute prise en compte pour les prélèvements agricoles) ;
- La seconde exploitation est constituée par les prélèvements pour l'alimentation en eau potable des habitants du bassin (**4,7 Mm<sup>3</sup>** par an en moyenne sur les années 2000 à 2009). Ils représentent **15 à 17% des prélèvements totaux** ;
- Le bassin a conservé un caractère rural prédominant (les parcelles agricoles représentant 64% de la surface de la zone d'étude). Les prélèvements pour l'agriculture seraient compris entre **1,1 et 4,9 Mm<sup>3</sup>** par an en moyenne sur les années 2000 à 2009. Ils représentent **4 à 17% des prélèvements totaux** ;
- Les prélèvements agricoles peuvent représenter une part importante des prélèvements pendant les mois d'été. Ainsi au mois de juin (pic des besoins pour l'irrigation), les prélèvements agricoles peuvent représenter (en moyenne sur la période 2000-2009), entre 16% (fourchette basse) et 45% (fourchette haute) des prélèvements totaux de ce mois.
- Enfin, les besoins industriels représentent **0,6 Mm<sup>3</sup>** par an en moyenne sur les années 2000 à 2009. Ils représentent environ **2% des prélèvements totaux** ;
- 

#### **Réalisation de bilans quantitatifs (entrées/sorties du système)**

##### Année moyenne (cycle 2003/2004)

En année moyenne, le bilan est équilibré à l'échelle de la zone d'étude. Les prélèvements bruts et nets représentent respectivement 18% et 16% des entrées du système. A l'intérieur de la zone d'étude, le bilan montre que le secteur Aval paraît être sous tension en année moyenne. Le bilan est déficitaire (-26%). Ces résultats sont à prendre avec précaution, car s'agissant de bilan annuel, il peut y avoir des variations de stock liées à des effets inertiels sans qu'il y ait véritablement déficit structurel. Dans ce secteur Aval, les prélèvements bruts et nets représentent respectivement 13% et 11% des entrées du système.

##### Année humide (cycle 2000/2001)

En année humide, le bilan est excédentaire à l'échelle de la zone d'étude (bilan excédentaire de 35%). En plus de l'incertitude sur les différentes étapes de calcul, cet excédent peut également être expliqué par une augmentation du volume d'eau stocké dans l'aquifère comme le montre la chronique piézométrique du piézomètre d'Allainville

sur cette période. Les prélèvements bruts et nets représentent respectivement 4,0% et 3,4% des entrées du système.

#### Année sèche (cycle 2008/2009)

En année sèche, le bilan est équilibré à l'échelle de la zone d'étude (bilan légèrement excédentaire de +7%, qui peut être lié à la marge d'erreur). Les prélèvements bruts et nets représentent respectivement 22% et 19% des entrées du système.

En revanche, l'analyse secteur par secteur montre que :

- le bilan est excédentaire sur le secteur Iton-amont (4)/Avre-amont(3) (excédent de +36%). Les prélèvements bruts et nets ne représentent respectivement que 1,4% et 0,7% des entrées du système ;
- le bilan est en revanche déficitaire sur le secteur Avre-central (2) (déficit de +3,6%, qui peut être lié à la marge d'erreur) ; les prélèvements bruts et nets ne représentent respectivement que 26,9% et 25,1% des entrées du système ;
- le bilan est également déficitaire sur le secteur Avre-aval (1) (déficit de +14,5%) ; les prélèvements bruts et nets ne représentent respectivement que 11,1% et 9,3% des entrées du système.

L'étude des variations de stock montrent un déstockage de l'aquifère (baisse des niveaux piézométriques entre le début et la fin de ce cycle hydrologique).

L'année 2009 est celle qui a connu le plus de dépassement des seuils de vigilance sur la période 2000-2010 pour les stations de l'Avre (St Christophe, Acon et Muzy). On s'aperçoit que dans le secteur où l'Avre connaît des assecs (secteur Avre-amont (3) ), le bilan est excédentaire et les prélèvements bruts et nets ne représentent respectivement que 1,4% et 0,7% des entrées du système. **Cela confirme que globalement les prélèvements ne semblent pas être à l'origine des assecs observés dans le secteur amont de l'Avre. Ce résultat global est cependant à prendre avec précaution car certains ouvrages de prélèvements, suivant leurs implantations, peuvent avoir localement de réels impacts sur les débits du cours d'eau.**

## Sommaire

<b>1. Introduction</b> .....	<b>19</b>
<b>2. Présentation Générale et détermination de la zone d'étude</b> .....	<b>21</b>
2.1. CADRE GEOGRAPHIQUE.....	21
2.2. DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	22
2.3. ALTITUDE TOPOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE.....	28
<b>3. Synthèse géologique et hydrogéologique</b> .....	<b>31</b>
3.1. CADRE GEOLOGIQUE .....	31
3.1.1. Formations affleurantes.....	31
3.1.2. Formations non affleurantes.....	32
3.1.3. Description des formations.....	34
3.1.4. Synthèse géodynamique.....	39
3.1.5. Tectonique et fracturation.....	40
3.1.6. Données gravimétriques.....	45
3.2. CADRE HYDROGEOLOGIQUE .....	46
3.2.1. Géométrie du réservoir aquifère.....	46
3.2.2. Fonctionnement hydrogéologique.....	49
3.2.3. Etude du contact entre la craie et les sables du Perche.....	53
3.2.4. Coupe synthétique du réservoir.....	59
3.2.5. Piézométrie.....	61
3.3. CONSTITUTION D'UN JEU DE DONNEES NUMERIQUES CONCERNANT LA GEOLOGIE ET L'HYDROGEOLOGIE.....	66
<b>4. Données météorologiques</b> .....	<b>67</b>
4.1. VARIABILITE DES PRECIPITATIONS.....	67
4.2. SPATIALISATION DE LA PLUIE EFFICACE ET DE L'INFILTRATION A L'ECHELLE DU BASSIN DE L'AVRE.....	68
4.2.1. Spatialisation de la pluie.....	68
4.2.2. Spatialisation de l'ETP.....	71
4.2.3. Spatialisation des réserves utiles des sols (RU) .....	72

4.2.4. Spatialisation des ruissellements .....	73
4.3. RESULTATS : CARTE SPATIALISEE DE LA PLUIE EFFICACE ET DE L'INFILTRATION .....	82
4.4. DETERMINATION DES ANNEES DE REFERENCE POUR LE CALCUL DES BILANS.....	83
<b>5. Débits des cours d'eau .....</b>	<b>89</b>
5.1. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN DE L'AVRE.....	89
5.1.1. Les principaux cours d'eaux.....	89
5.1.2. Affluents de l'Avre .....	90
5.2. RELATION NAPPE / RIVIERE.....	91
5.3. ELEMENTS QUANTITATIFS .....	92
5.3.1. Calcul de la lame d'eau aux stations de jaugeage.....	93
5.3.2. Calcul des débits naturels de l'Avre .....	95
5.3.3. Débits apportés à l'Avre par le bras forcé de l'Iton .....	99
5.4. SECHERESSES ET ASSEC.....	100
5.4.1. Seuils, limitation des prélèvements et restrictions des usages .....	100
5.4.2. Analyse des dépassements de seuils .....	102
5.4.3. Les assecs .....	104
5.5. RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE JAUGEAGE SYNCHRONE A L'ECHELLE DU BASSIN.....	107
<b>6. Les prélèvements en nappe et en rivière .....</b>	<b>113</b>
6.1. DEMARCHE SUIVIE POUR LE RECUEIL DES DONNEES DE PRELEVEMENTS .....	113
6.2. PRELEVEMENTS AGRICOLES .....	113
6.2.1. Inventaire des ouvrages de prélèvements - Méthodologie .....	113
6.2.2. Résultats de l'inventaire des prélèvements agricoles (irrigation et élevage) .....	114
6.2.3. Estimation des volumes prélevés pour les besoins agricoles .....	115
6.3. PRELEVEMENTS AEP .....	125
6.3.1. Méthodologie de l'inventaire .....	125
6.3.2. Résultat de l'inventaire.....	126
6.3.3. Estimation des volumes prélevés pour l'AEP.....	126

6.4. PRELEVEMENTS INDUSTRIELS .....	127
6.4.1. Inventaire des ouvrages de prélèvements – Méthodologie .....	127
6.4.2. Résultat de l'inventaire .....	128
6.4.3. Estimation des volumes prélevés pour les activités industrielles .....	130
6.5. PRELEVEMENTS DOMESTIQUES .....	130
6.6. LES REJETS .....	131
6.6.1. Rejets des stations d'épurations (STEP).....	131
<b>7. Constitution d'une base de données des prélèvements dans le bassin de l'Avre et synthèse .....</b>	<b>137</b>
7.1. CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNEES DES PRELEVEMENTS .....	137
7.2. SYNTHESE DES DONNEES DE PRELEVEMENT A L'ECHELLE DU BASSIN.....	137
<b>8. Bilans des flux dans le bassin de l'Avre .....</b>	<b>143</b>
8.1. ENTREES DU SYSTEME.....	144
8.2. SORTIES DU SYTEME .....	145
8.3. BILANS .....	147
8.3.1. Année moyenne (cycle 2003/2004).....	147
8.3.2. Année humide (cycle 2000/2001).....	149
8.3.3. Année sèche (cycle 2008/2009).....	151
<b>9. Premières corrélations pluie efficace / prélèvements et débits des cours d'eau .....</b>	<b>159</b>
<b>10. Conclusion .....</b>	<b>161</b>
<b>11. Bibliographie .....</b>	<b>167</b>

## Liste des illustrations

<i>Illustration 1 : Localisation de la zone d'étude, à l'échelle nationale à gauche et départementale à droite</i> .....	21
<i>Illustration 2 : Répartition de la population sur la zone d'étude</i> .....	22
<i>Illustration 3 : Liste des 11 cartes piézométriques disponibles</i> .....	23
<i>Illustration 4 : Délimitations des bassins versants hydrogéologiques obtenues avec les différentes cartes piézométriques disponibles dans le secteur</i> .....	23
<i>Illustration 5 : Cartes piézométriques de mars et octobre 2009 établies par le BRGM pour le compte d'Eau de Paris [32]</i> .....	25
<i>Illustration 6 : Coupe traversant le bassin de l'Avre et celui de l'Iton amont en passant par les piézomètres de Saint-Christophe-sur-Avre, Les barrils et Les Ressuintes. Le trait de coupe est situé sur la carte de l'illustration 37</i> .....	26
<i>Illustration 7 : Dernière délimitation du bassin versant hydrogéologique selon des données géologiques</i> .....	27
<i>Illustration 8 : Inventaire régional de Haute Normandie des traçages Hydrogéologiques (AESN, CR Haute-Normandie, CG Eure, CG Seine-Maritime, BRGM)</i> .....	28
<i>Illustration 9 : Modèle Numérique de Terrain du secteur d'étude</i> .....	29
<i>Illustration 10 : Pentés des terrains de la zone d'étude</i> .....	29
<i>Illustration 11 : Carte géologique du secteur d'étude (extrait de la carte géologique au 1/1 000 000ème du BRGM) (délimitation approximative de la zone d'étude en pointillés rouges)</i> .....	31
<i>Illustration 12 : Cartes géologiques harmonisées au 50 000<sup>e</sup> de la zone d'étude de l'Avre (Sources : Cartes géologiques harmonisées des départements 27, 28 et 61 ; BRGM)</i> .....	32
<i>Illustration 13 : Ecorché géologique du département de l'Eure, d'après Quesnel [12]</i> .....	33
<i>Illustration 14 : Epaisseur des argiles à silex (données : « Cartographie numérique en géologie de surface – application aux altérites à silex de l'ouest du bassin de Paris », F. Quesnel, 1997 ; Thèse présentée à l'Université de Rouen ; 430 p)</i> .....	36
<i>Illustration 15 : Synthèse des données lithologiques et typologie des RS de plateau (SiO<sub>2</sub> : teneur élevée en SiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> : teneur faible en SiO<sub>2</sub> ; Intertstratifiés 7/14sm : interstratifiés kaolinite/smectite) (extrait de la thèse de B. Laignel, 1997)</i> .....	38
<i>Illustration 16 : Répartition géographique des faciès de RS (extrait de la thèse de B. Laignel, 1997)</i> .....	39
<i>Illustration 17 : Modèle géométrique de la fracturation en fonction de l'orientation de la contrainte principale horizontale actuelle (<math>\sigma_{hmax}</math>). 1, 4 Fracture ouverte ; 2 Fracture fermée ; 3 Décrochement, fracture semi-ouverte/fermée (figure extraite de [31])</i> .....	43
<i>Illustration 18 : Répartition des accidents géologiques (la carte de gauche est le résultat de la compilation des données tandis que la carte de droite présente l'état initial de la connaissance : carte géologique harmonisée)</i> .....	43

<i>Illustration 19 : Localisation des 2 failles supposées de Saint-Christophe sur Avre et Rueil la gadelière (extrait du rapport Telosia 2009).....</i>	<i>44</i>
<i>Illustration 20 : Carte des anomalies de Bouguer extraite de la carte gravimétrique de la France à 1/250 000. Le Sud de Verneuil-sur-Avre est caractérisé par une anomalie circulaire négative (-23mgal).....</i>	<i>45</i>
<i>Illustration 21 : Epaisseur de la craie mouillée en période de basses eaux (données 2006), source : Atlas hydrogéologique régional Haute-Normandie.....</i>	<i>46</i>
<i>Illustration 22 : Epaisseur de la craie mouillée en période d'hautes eaux (données 2001), source : FR Atlas hydrogéologique régional Haute-Normandie.....</i>	<i>47</i>
<i>Illustration 23 : Répartition des sources et des bétoires à l'échelle de la zone d'étude (fond de carte : écorché géologique).....</i>	<i>49</i>
<i>Illustration 24 : Coupe schématique du contexte hydrogéologique des sources de la Vigne.....</i>	<i>50</i>
<i>Illustration 25 : Carte des conduits karstiques supposés (en jaune sur la carte) (Ah2D, Telosia 2009 [5]).....</i>	<i>51</i>
<i>Illustration 26 : Coupe transversale (dans l'axe de la vallée de l'Avre) réalisée à partir du MNT au pas de 50m et de la piézométrie de moyennes eaux de l'Atlas hydrogéologiques de Haute Normandie 2010.....</i>	<i>52</i>
<i>Illustration 27 : Coupe géologique schématique de la région du Perche Nord [13] (amont de la zone d'étude).....</i>	<i>53</i>
<i>Illustration 28 : Paléogéographie Normandie-Maine au Cénomanién supérieur (Juignet [6]).....</i>	<i>54</i>
<i>Illustration 29 : Formations recoupées par les forages dans le bassin de l'Avre (Banque du Sous-Sol).....</i>	<i>55</i>
<i>Illustration 30 : Niveaux piézométriques mesurés dans la nappe des Sables du Perche et de la Craie et délimitation de l'extension Nord de la nappe des Sables du Perche.....</i>	<i>56</i>
<i>Illustration 31 : Profils géoélectriques réalisés par la SAFEGE [14] dans le secteur de la faille de Senonches.....</i>	<i>57</i>
<i>Illustration 32 : Coupe géologique au niveau de la limite Sud-ouest du Bassin : compartiment surélevé entre la faille de l'Eure et la faille de Senonches (carte géologique n°0253 La Loupe).....</i>	<i>58</i>
<i>Illustration 33 : Coupe géologique et hydrogéologique simplifiée de la zone d'étude.....</i>	<i>60</i>
<i>Illustration 34 : Piézomètres existants dans la zone d'étude ou à proximité et périodes de suivi.....</i>	<i>61</i>
<i>Illustration 35 : Chroniques de quelques piézomètres de la zone d'étude [32].....</i>	<i>63</i>
<i>Illustration 36 : Variogramme des piézomètres du secteur du bassin de l'Avre.....</i>	<i>64</i>
<i>Illustration 37 : Coupes réalisées dans le Bassin de l'Avre pour situer le contexte géomorphologique de.....</i>	<i>65</i>
<i>Illustration 38 : Pluviométrie moyenne annuelle selon la grille AURELHY établie par Météo France.....</i>	<i>67</i>
<i>Illustration 39 : Détermination de 4 zones climatiques avec 1 station météorologique de référence affectée à chaque zone.....</i>	<i>69</i>

<i>Illustration 40 : coefficients correcteurs affectés en tout en point de la grille de la zone d'étude aux chroniques pluviométriques des 4 stations climatiques de référence pour prendre en compte la forte variabilité spatiale de la pluviométrie au sein de chacune des 4 zones climatiques définies.....</i>	<i>70</i>
<i>Illustration 41 : Moyenne, médiane et écart type des chroniques pluviométriques (mm) des stations de Marcilly, Rueil Beaulieu et Moussonvilliers (chroniques de 1990 à 2010 au pas de temps décadaire).....</i>	<i>71</i>
<i>Illustration 42 : Moyenne, médiane et écart type des chroniques d'ETP estimées aux stations de Marcilly, Rueil Beaulieu et Moussonvilliers (chroniques de 1990 à 2010 au pas de temps décadaire).....</i>	<i>71</i>
<i>Illustration 43 : Corrélation des chroniques d'ETP estimées aux stations de Marcilly, Rueil Beaulieu et Moussonvilliers (chroniques de 1990 à 2010 au pas de temps décadaire).....</i>	<i>72</i>
<i>Illustration 44 : Unités de sol (SMU) de la base de données des sols de France (1 / 1 000 000) avec en légende la valeur de RU données par l'INRA.....</i>	<i>72</i>
<i>Illustration 45 : Unités de sol (SMU) de la base de données des sols de France (1 / 1 000 000) avec en légende la valeur de RU donnée par la notice associée à la carte pédologique de la Haute-Normandie au 1 /250 000.....</i>	<i>73</i>
<i>Illustration 46 : Valeur d'infiltrabilité attribuée en fonction du type de terrain, de la classe de battance et du couvert végétal.....</i>	<i>75</i>
<i>Illustration 47 : Classes de couvert végétal attribuées aux secteurs non concernés par des parcelles agricoles.....</i>	<i>75</i>
<i>Illustration 48 : Classes de couvert végétal attribuées à chaque groupe de culture du RPG.....</i>	<i>76</i>
<i>Illustration 49 : Classes de couvert végétal attribuées à chaque groupe de culture du RPG en fonction du mois de l'année.....</i>	<i>77</i>
<i>Illustration 50 : Résultats des simulations réalisées avec le logiciel STREAM.....</i>	<i>77</i>
<i>Illustration 51 : Correspondance utilisée entre la valeur de l'IDPR et le coefficient de ruissellement retenu.....</i>	<i>79</i>
<i>Illustration 52 : Carte des coefficients de ruissellement pris en compte pour le calcul de l'infiltration (coefficient déterminé à partir de l'IDPR).....</i>	<i>80</i>
<i>Illustration 53 : Réseaux de drainage recensés dans le bassin de l'Avre (remarque : pour les secteurs de la rive droite de l'Avre allant du bassin versant de la Meuvette à l'embouchure de l'Avre, aucune information n'a pu être recueillie ; l'absence de réseau de drainage sur la carte dans ces secteurs, ne signifie pas qu'il n'en n'existe pas).....</i>	<i>81</i>
<i>Illustration 54 : Pluie efficace annuelle (mm) dans la zone d'étude (moyenne interannuelle réalisée sur la période 1990-2010).....</i>	<i>82</i>
<i>Illustration 55 : Corrélation entre les pluies efficaces et les pluies d'été (juin, juillet et aout) pour la zone 1 (aval).....</i>	<i>83</i>
<i>Illustration 56 : Corrélation entre les pluies efficaces et les pluies d'été (juin, juillet et aout) pour la zone 2 (centrale).....</i>	<i>84</i>
<i>Illustration 57 : Corrélation entre les pluies efficaces et les pluies d'été (juin, juillet et aout) pour la zone 3 (amont).....</i>	<i>84</i>

<i>Illustration 58 : Pluies efficaces moyennes de la zone 1 (aval) (en orange les plus faibles, en vert les pluies efficaces proches de la moyenne et en bleu les pluies efficaces très supérieures à la moyenne) .....</i>	<i>86</i>
<i>Illustration 59 : Pluies efficaces moyennes de la zone 2 (centrale) (en orange les plus faibles, en vert les pluies efficaces proches de la moyenne et en bleu les pluies efficaces très supérieures à la moyenne) .....</i>	<i>86</i>
<i>Illustration 60 : Pluies efficaces moyennes de la zone 3 (amont) (en orange les plus faibles, en vert les pluies efficaces proches de la moyenne et en bleu les pluies efficaces très supérieures à la moyenne) .....</i>	<i>87</i>
<i>Illustration 61 : Localisation des principaux cours d'eau : L'Avre et l'Iton.....</i>	<i>89</i>
<i>Illustration 62 : Localisation des bras forcés de Breteuil et de Verneuil, de l'Iton, de l'Avre, du Trou de Corne et du Trou de Botte .....</i>	<i>90</i>
<i>Illustration 63 : 3 tronçons hydrauliques de l'Avre .....</i>	<i>92</i>
<i>Illustration 64 : Débit moyen mensuel de l'Avre aux stations hydrométriques de Acon et Muzy (source : Banque HYDRO).....</i>	<i>92</i>
<i>Illustration 65 : Débits caractéristiques des stations de mesures (source : DREAL SRE Haute-Normandie).....</i>	<i>93</i>
<i>Illustration 66 : Variations annuelles des lames d'eau calculées pour chaque station de la zone d'étude.....</i>	<i>94</i>
<i>Illustration 67 : Lames d'eau mensuelles interannuelles calculées pour les trois stations de mesure de l'Avre sur la période (2004-2010).....</i>	<i>95</i>
<i>Illustration 68 : Situation des prélèvements Eau de Paris et des stations de jaugeage de la zone d'étude.....</i>	<i>96</i>
<i>Illustration 69 : Volume annuels prélevés par les ouvrages de prélèvement situés à proximité du lit de l'Avre .....</i>	<i>97</i>
<i>Illustration 70 : Ecart entre les débits annuels reconstitués et les débits mesurés aux trois stations de suivi de l'Avre.....</i>	<i>98</i>
<i>Illustration 71 : Lames d'eau mensuelles calculées à partir des débits mesurés et des débits naturels reconstitués pour les trois stations de mesure de l'Avre sur la période 2000-2010 .....</i>	<i>98</i>
<i>Illustration 72 : Données de jaugeage volants sur le bras forcé de l'Iton (source : DREAL SRE HN) .....</i>	<i>99</i>
<i>Illustration 73 : Corrélation débits bras forcé / débits de l'Iton à Bourth .....</i>	<i>99</i>
<i>Illustration 74 :Volumes estimés apportés par le bras forcé de l'Iton en amont de Verneuil-sur-Avre .....</i>	<i>100</i>
<i>Illustration 75 : Valeur des seuils de débits de l'Avre à Saint-Christophe, Acon et Muzy (article 6 de l'arrêté n°2010-256).....</i>	<i>101</i>
<i>Illustration 76 : Mesures prises en cas de franchissement des seuils (article 7 et 9 de l'arrêté n°2010-256) .....</i>	<i>101</i>
<i>Illustration 77 : Nombre de jours par an de dépassement des seuils de débits (seuils actuellement établis par arrêté préfectoral) .....</i>	<i>102</i>

<i>Illustration 78 : Corrélation entre les volumes annuels de pluie efficace dans le bassin versant hydrogéologique de la station de Muzy et le nombre de jours de dépassement du seuil de vigilance aux stations d'Acon et de Musy</i> .....	103
<i>Illustration 79 : Corrélation entre la moyenne mobile sur 3 ans des volumes annuels de pluie efficace dans le bassin versant hydrogéologique de la station de Muzy et le nombre de jours de dépassement du seuil de vigilance aux stations d'Acon et de Musy</i> .....	104
<i>Illustration 80 : Section connue de l'Avre subissant des assecs</i> .....	106
<i>Illustration 81 : Observation de l'assec de la source du Poelai à Verneuil-sur-Avre (photo du 27/07/2011)</i> .....	107
<i>Illustration 82 : Débit journalier de l'Avre à la station d'Acon (année 2011) et situation de la campagne de jaugeage</i> .....	108
<i>Illustration 83 : Précipitations journalières du mois de septembre pour les station Météo France de Marcilly la Campagne et Breteuil</i> .....	108
<i>Illustration 84 : Points de jaugeage réalisés par le bureau hydrométrique de la DREAL SRE les 22 et 23 septembre 2011</i> .....	109
<i>Illustration 85 : Apport d'eau souterraine à l'Avre en septembre 2011 (en m<sup>3</sup>/km/h)</i> .....	111
<i>Illustration 86 : Groupes de culture pratiqués dans la zone d'étude ainsi que leur surface respectives (données RPG 2009, ASP)</i> .....	117
<i>Illustration 87 : Cartographie des groupes de culture pratiqués dans la zone d'étude (données RPG 2009, ASP)</i> .....	117
<i>Illustration 88 : Extraction des parcelles potentiellement irriguées par recoupement SIG de la position des ouvrages de prélèvement agricoles (tampon de 100m autour de chaque ouvrage de prélèvement) et des ilots du RPG sur lesquels sont cultivés des cultures nécessitant de l'irrigation (blé, orge, pois et maïs)</i> .....	118
<i>Illustration 89 : Estimation de la fourchette haute des prélèvements liés à l'irrigation</i> .....	119
<i>Illustration 90 : Estimation de la consommation moyenne de l'eau prélevée dans le réseau souterrain selon le type d'élevage</i> .....	120
<i>Illustration 91 : Besoins en eau estimés pour les élevages des secteurs de l'Eure et de l'Eure-et-Loir de la zone d'étude</i> .....	121
<i>Illustration 92 : Coefficients de répartition des données annuelles calculés par normalisation des doses nécessaires à l'irrigation déterminées à l'issue des bilans hydriques (Pluie, ETM, RU). La somme des coefficients par an est égale à 12 et la moyenne égale à 1</i> .....	122
<i>Illustration 93 : Estimation de la fourchette basse des prélèvements liés aux besoins agricoles</i> .....	123
<i>Illustration 94 : Comparaison des fourchettes haute et basse des prélèvements agricoles</i> .....	124
<i>Illustration 95 : Coefficients de répartition utilisés pour la mensualisation des données de production des captages ne disposant pas d'information au pas mensuel (la moyenne des coefficients est égale à 1 et la somme est égale à 12)</i> .....	125
<i>Illustration 96 : Volumes prélevés dans la zone d'études pour l'AEP</i> .....	127

<i>Illustration 97 : Coefficients de répartition mensuelle calculés à partir des chroniques mensuelles de Center Parc sur la période 1994-200. La somme des coefficients est égale à 12 et la moyenne égale à 1 .....</i>	<i>129</i>
<i>Illustration 98 : Volumes prélevés pour les activités industrielles – période 2000-2009 .....</i>	<i>130</i>
<i>Illustration 99 : Corrélation entre capacité (Eh) et débit moyen des stations d'épuration de la zone d'étude .....</i>	<i>132</i>
<i>Illustration 100 : Données de débits des eaux traitées aux stations d'épuration recensées dans la zone d'étude .....</i>	<i>133</i>
<i>Illustration 101 : Calcul du coefficient de restitution au milieu des prélèvements faits pour le réseau d'adduction en eau potable de la zone d'étude .....</i>	<i>135</i>
<i>Illustration 102 : Répartition des prélèvements en fonction des usages (moyenne en m3/an réalisée sur la période 2000-2009) .....</i>	<i>138</i>
<i>Illustration 103 : Répartition mensuelle moyenne estimée des prélèvements agricoles (moyennes réalisées sur la période 2000-2009) .....</i>	<i>139</i>
<i>Illustration 104 : Localisation des ouvrages de prélèvements recensés par type d'usage .....</i>	<i>139</i>
<i>Illustration 105 : Localisation des prélèvements recensés pour l'année 2004 (d'après enquête auprès des syndicats pour l'AEP, la base AESN pour les prélèvements agricoles et industriels) .....</i>	<i>140</i>
<i>Illustration 106 : Bilan des prélèvements (fourchette basse) par usage au pas mensuel pour la période 2000-2009 .....</i>	<i>141</i>
<i>Illustration 107 : Bilan des prélèvements (fourchette haute) par usage au pas mensuel pour la période 2000-2009 .....</i>	<i>142</i>
<i>Illustration 108 : Définition des 4 secteurs sur lesquels seront effectués des bilans .....</i>	<i>143</i>
<i>Illustration 109 : Pluie efficace annuelle par secteur .....</i>	<i>144</i>
<i>Illustration 110 : Bilan des flux dans les différents secteurs de la zone d'étude en année moyenne (cycle hydrologique 2003/2004) .....</i>	<i>147</i>
<i>Illustration 111 : Part des prélèvements sur les entrées du système en année moyenne .....</i>	<i>148</i>
<i>Illustration 112 : Variation de stock de l'Aquifère lors du cycle hydrologique 2003/2004 .....</i>	<i>148</i>
<i>Illustration 113 : Bilan des flux dans les différents secteurs de la zone d'étude en période de hautes eaux / année humide (cycle hydrologique 2000/2001) .....</i>	<i>149</i>
<i>Illustration 114 : Part des prélèvements sur les entrées du système en année humide .....</i>	<i>150</i>
<i>Illustration 115 : Variation de stock de l'Aquifère lors du cycle hydrologique 2000/2001 – Piézomètre d'Alainville (secteur aval) .....</i>	<i>150</i>
<i>Illustration 116 : Bilan des flux dans les différents secteurs de la zone d'étude en période de basses eaux / année sèche (cycle hydrologique 2008/2009) .....</i>	<i>151</i>
<i>Illustration 117 : Part des prélèvements sur les entrées du système en année sèche .....</i>	<i>152</i>
<i>Illustration 118 : Variation de stock de l'Aquifère lors du cycle hydrologique 2008/2009 .....</i>	<i>153</i>
<i>Illustration 119 : Bilans réalisés à l'échelle de la zone d'étude pour 3 années : moyenne (cycle 2003/2004), humide (cycle 2000/2001) et sèche (cycle 2008/2009) .....</i>	<i>155</i>
<i>Illustration 120 : Bilans réalisés à l'échelle du secteur Aval (1) pour 3 années : moyenne (cycle 2003/2004), humide (cycle 2000/2001) et sèche (cycle 2008/2009) .....</i>	<i>155</i>

<i>Illustration 121 : Bilan des flux dans les différents secteurs de la zone d'étude en période de basses eaux / année sèche (cycle hydrologique 2008/2009) .....</i>	<i>157</i>
<i>Illustration 122 : Données utilisées pour réaliser les tests de corrélations pour rechercher l'origine des étiages de l'Avre.....</i>	<i>159</i>
<i>Illustration 123 : L'avre à l'aval de la zone de résurgence Gonord/Vigne/Breuil (BRGM, 17/07/2011).....</i>	<i>165</i>

## **Liste des annexes**

<i>Annexe 1 - Sédimentation crétacée de la bordure Est du massif armoricain .....</i>	<i>171</i>
<i>Annexe 2 - Analyse de l'intensité des pluies journalières suivant les mois de l'année sur les stations de Rueil et Beaulieu .....</i>	<i>175</i>
<i>Annexe 3 - Pluies efficaces mensuelles sommées à l'échelle de la zone d'étude (de janvier 1990 à décembre 2010).....</i>	<i>181</i>
<i>Annexe 4 - Bilan de la collecte auprès des producteurs d'eau des données de prélèvement AEP au pas de temps menseuls .....</i>	<i>187</i>
<i>Annexe 5 - Résultat des doses d'irrigation nécessaires calculées pour la période 2000-2010.....</i>	<i>191</i>
<i>Annexe 6 - Résultat de la campagne de jaugeage du 22 et 23 septembre 2011 .....</i>	<i>195</i>
<i>Annexe 7 - Méthodologie de construction de la coupe hydrogéologique synthétique .....</i>	<i>199</i>

# 1. Introduction

Un niveau de prélèvements élevé, conjugué aux problèmes de disponibilité de la ressource en eau souterraine et d'impact écologique sur les masses d'eau superficielles en aval de Verneuil-sur-Avre (27), rend nécessaire une gestion équilibrée et durable de la ressource qui prendrait à la fois en compte les besoins et les contraintes à respecter pour garantir la préservation et la protection de cette ressource et des milieux aquatiques associés.

Le bassin de l'Avre fait actuellement l'objet d'un SAGE qui vise, entre autre, à sécuriser la distribution en eau potable et à optimiser les prélèvements dans le bassin.

La mise en place d'une telle structure de gestion nécessite de disposer d'éléments d'appréciation utiles à la planification d'une politique de gestion durable des eaux souterraines dans le bassin.

La DREAL de Haute-Normandie et l'Agence de l'eau Seine-Normandie ont donc 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.

En réponse à cette attente, le BRGM (SGR Haute-Normandie) a conçu un programme d'étude en quatre étapes :

- Phase 1 : Etat de la connaissance : collecte des documents et données disponibles ;
- Phase 2 : Analyse des données : traitement des données et interprétation – bilan hydrologique et besoin éventuel d'acquisition complémentaire de connaissances ;
- Phase 3 : Modélisation hydrodynamique des écoulements sur le bassin de l'Avre ;
- Phase 4 : Elaboration de règles de gestion volumiques de la ressource en eau prenant en compte l'analyse des usages et l'impact sur les milieux naturels.

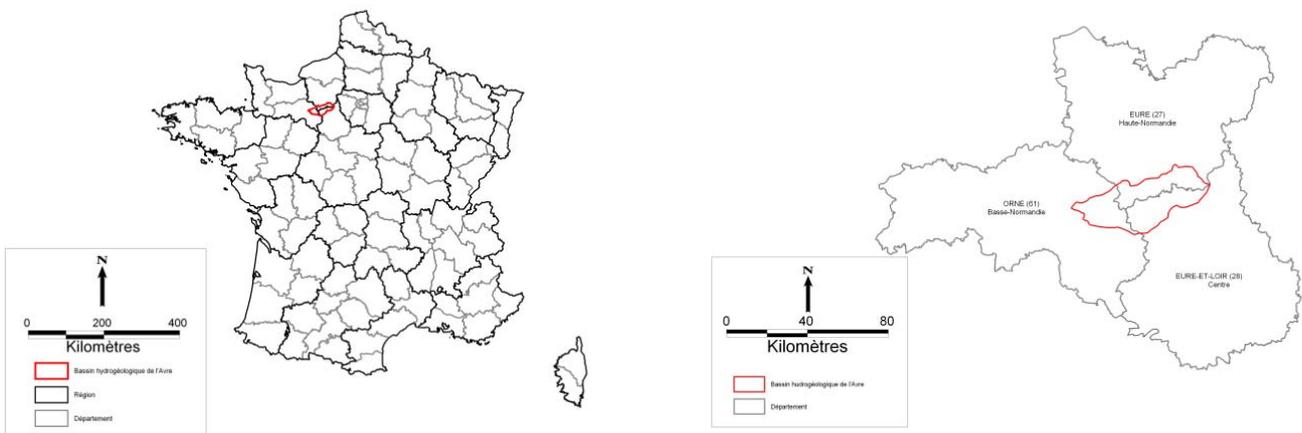
Ce rapport présente les résultats des phases 1 et 2.



## 2. Présentation Générale et détermination de la zone d'étude

### 2.1. CADRE GEOGRAPHIQUE

Située dans le bassin Seine-Normandie, la zone d'étude, d'une superficie de 1224km<sup>2</sup>, s'étend sur trois départements : l'Orne (350km<sup>2</sup> soit 28,5%), l'Eure (425km<sup>2</sup> soit 35%), et l'Eure-et-Loir (451km<sup>2</sup> soit 36,5%) appartenant à trois régions différentes : la Basse-Normandie, la Haute-Normandie et la région Centre.



*Illustration 1 : Localisation de la zone d'étude, à l'échelle nationale à gauche et départementale à droite*

La zone étudiée comprend 125 communes pour une population d'environ 120 000 habitants. Cependant, la population à l'intérieur du bassin versant de l'Avre est inférieure, estimée à 90 000 habitants. La zone étudiée est en effet plus vaste que le bassin topographique de l'Avre (cf. § 2.2).

La population au sein de la zone d'étude est très inégalement répartie, sa densité étant beaucoup plus forte sur la partie aval du bassin, avec notamment les villes de Dreux (31 800 habitants), et Vernouillet (11 500 habitants). L'amont est quant à lui beaucoup plus rural : aucune ville ne possède plus de 10 000 habitants (Illustration 2).

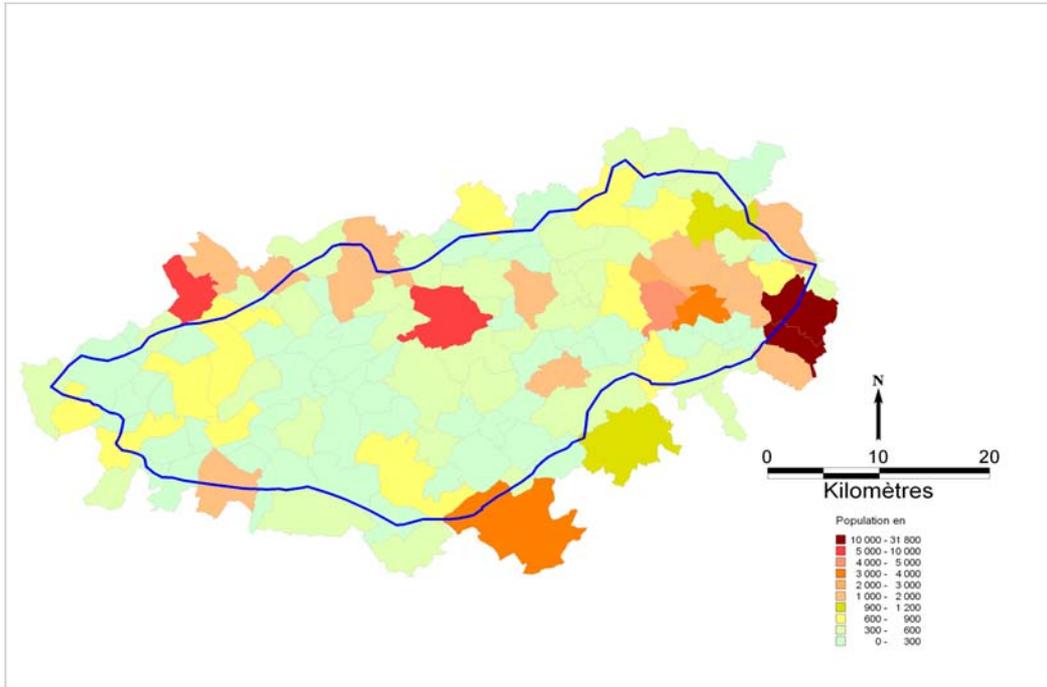


Illustration 2 : Répartition de la population sur la zone d'étude

## 2.2. DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est constituée par le maximum d'extension du bassin versant hydrographique (topographique) et du bassin versant hydrogéologique. D'autres critères de délimitation tels que ceux fournis par la géologie structurale et la nature karstique des formations (connexion hydrogéologique inter-bassins) ont été pris en compte.

La délimitation du bassin hydrogéologique s'est appuyée sur l'ensemble des cartes piézométriques existantes : hautes, moyennes et basses eaux.

Ont été recensés 11 cartes piézométriques couvrant au moins une partie du secteur d'étude :

N°	Source bibliographique	Secteur Concerné	Situation hydrologique	Date des campagnes piézométriques
1 2 3	Carte Hydrogéologique de Haute Normandie, BRGM, 2010	Haute-Normandie + totalité du bassin de l'Avre	HE	Campagne de mesures Juin 2001
	ME		Moyenne HE/BE	
	BE		Campagne de mesures 2006	
4 5 6	Atlas hydrogéologique numérique de l'Eure, BRGM 2004	27 (rive gauche de l'Avre seulement)	HE	Campagne de mesures Juin 2001
			ME	Niveaux statiques BSS
			BE	Traitement des battements de nappe
7	Atlas hydrogéologique de l'Eure, BRGM, 1989	27 (rive gauche de l'Avre seulement)	ME	Niveaux statiques indiqués en BSS
8	Etude hydrogéologique de l'aquifère de la Craie en Eure-et-Loir, CGG, 2001 pas de 5m et pas de 10m	28 (rive droite de l'Avre seulement)	ME	Moyenne niveau piézométrique mesuré sur plusieurs années
9	Carte hydrogéologique Bassin de Paris au 1/500 000, Albinet, BRGM, 1967	Bassin de Paris	-	?
10	Carte piézométrique, BRGM, 2009	27, 28 (secteur Avre Aval / Blaise Aval et Vallée Eure)	HE	Campagne de mesure de mars 2009
11	Carte piézométrique, BRGM, 2009	27, 28 (secteur Avre Aval / Blaise Aval et Vallée Eure)	BE	Campagne de mesure d'octobre 2009

Illustration 3 : Liste des 11 cartes piézométriques disponibles

Les bassins versants hydrogéologiques ont été tracés pour l'ensemble des cartes piézométriques listées ci-dessus. Les différents bassins hydrogéologiques obtenus sont présentés par l'illustration 4.

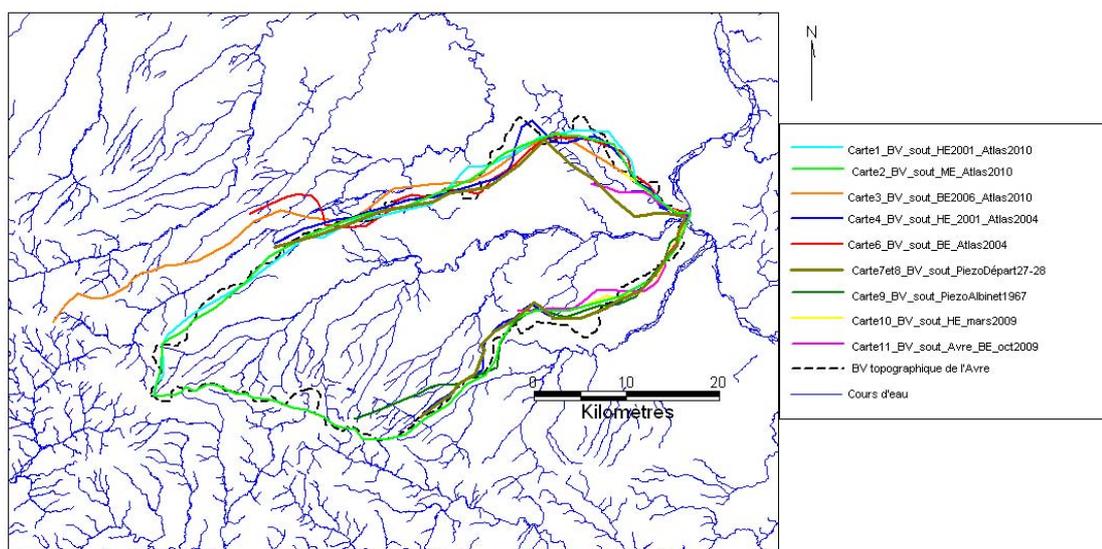


Illustration 4 : Délimitations des bassins versants hydrogéologiques obtenues avec les différentes cartes piézométriques disponibles dans le secteur

L'extension maximale de tous ces tracés a été retenue.

Concernant la limite Sud-Est du bassin (limite Avre/Blaise) :

Les cartes n°1, 2 et 3 ne donnent pas une limite très fiable car il s'agit de la limite d'interpolation par krigeage de cette carte.

La limite Sud-Est a été tracée à partir de la carte piézométrique départementale de l'Eure-et-Loir (carte n°8) puis confirmée par les 2 cartes piézométriques locales réalisées en mars et octobre 2009 par le BRGM sur la partie aval de l'Avre et de la Blaise (cartes n°10 et 11).

La réalisation de cartes piézométriques de 2009 visait :

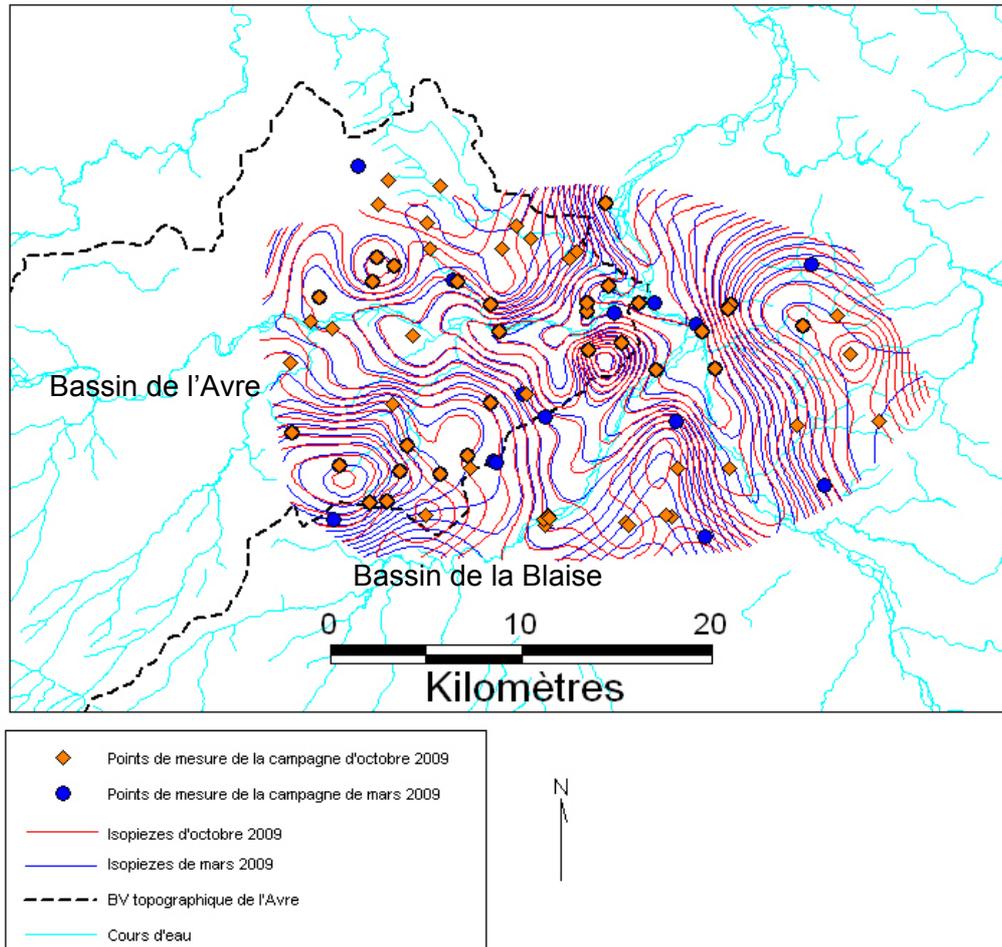
- à confirmer le comportement de la nappe de la craie dans le département de l'Eure-et-Loir dans deux situations piézométriques différentes de celle prise en compte pour la cartographie disponible. Il s'agissait notamment de vérifier les limites des bassins versants hydrogéologiques ;
- à confirmer le caractère drainant des principaux cours d'eau (Avre, Blaise, Eure), en établissant une cartographie de la nappe sur les deux départements concernés ;
- à préciser la piézométrie en rive gauche de l'Avre, au voisinage du champ captant de Vert-en-Drouais ;
- à disposer de points de mesure du niveau de la nappe en fond de vallée et à proximité immédiate des champs captants.

La première campagne a été réalisée en mars 2009, et correspond à des niveaux de hautes eaux saisonnières mais de basses eaux interannuelles.

La seconde campagne, réalisée en octobre 2009, correspond à des niveaux de basses eaux saisonnières mais aussi interannuelles.

L'illustration 5 présente les cartes piézométriques d'octobre et mars 2009 ainsi que les points de mesure ayant permis l'établissement de cette carte.

Ces cartes confirment nettement le drainage de la nappe par les cours d'eau, à commencer par l'Avre, ainsi que l'existence d'un dôme piézométrique à l'emplacement de la ville de Dreux. Les limites du bassin versant hydrogéologique sont stables entre mars et octobre 2009. Des crêtes piézométriques bien marquées semblent séparer les Bassin de l'Avre et de la Blaise, au moins dans la partie couverte par cette carte.



*Illustration 5 : Cartes piézométriques de mars et octobre 2009 établies par le BRGM pour le compte d'Eau de Paris [32]*

Concernant la limite Nord-Ouest du bassin (limite Avre/Iton amont) :

Cette limite a pu être établie grâce au nouvel atlas piézométrique de la région Haute-Normandie (2010) qui a inclus dans sa limite d'interpolation par krigeage la totalité du bassin de l'Avre.

Les piézométries Hautes Eaux (campagne terrain de 2001– carte n°1-), Basses Eaux (campagne terrain de 2006 – carte n°3-) et Moyennes Eaux (moyenne des Hautes et Basses eaux – carte n°2-) montrent que la crête piézométrique séparant les bassins de l'Avre et de l'Iton Amont est présente sur les cartes de Moyennes et Hautes Eaux mais semble s'effacer sur la carte de Basses Eaux.

Les mêmes observations ont été faites sur les limites du bassin obtenues à partir des cartes de Moyennes, Hautes et Basses eaux disponibles dans l'Atlas de l'Eure de 2004 (carte n°4, 5 et 6).

Ainsi, le bassin versant amont de l'Iton serait inclus dans le bassin hydrogéologique de l'Avre en période de Basses Eaux.

Ce constat est illustré par la coupe de l'illustration 6 qui montre que l'altitude du lit de l'Iton amont est bien supérieure à l'altitude du lit de l'Avre et que, en période de basses eaux, le bassin de l'Iton amont est drainé par le bassin de l'Avre.

Cette coupe a été réalisée à partir des cartes piézométriques de l'Atlas de Haute-Normandie 2010 et des données des trois piézomètres des Barrils (suivi sur 2 ans en 1982 et 1983 en période de hautes eaux interannuelles), de St-Christophe-sur-Avre (suivi depuis 2007, période de basses eaux interannuelles) et des Ressuintes.

Le dôme de la carte Hautes Eaux (2001) qui apparaît entre l'Iton et L'Avre (en pointillé bleu sur la coupe) vient du fait que le cours d'eau temporaire « La Vallée des Noës » situé entre l'Avre et l'Iton a été pris comme point de contrainte pour la piézométrie de Hautes eaux. Mais, d'après le piézomètre des Barils suivi entre 1982 et 1983 (période de Hautes Eaux interannuelles), cette hypothèse semble peu probable.

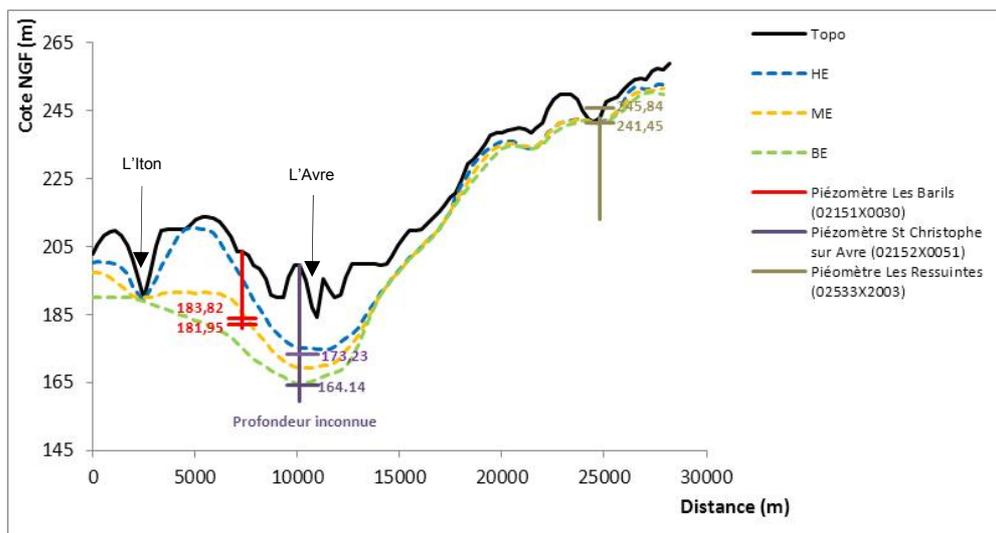


Illustration 6 : Coupe traversant le bassin de l'Avre et celui de l'Iton amont en passant par les piézomètres de Saint-Christophe-sur-Avre, Les barrils et Les Ressuintes. Le trait de coupe est situé sur la carte de l'

Coupe n°7

Illustration 37.

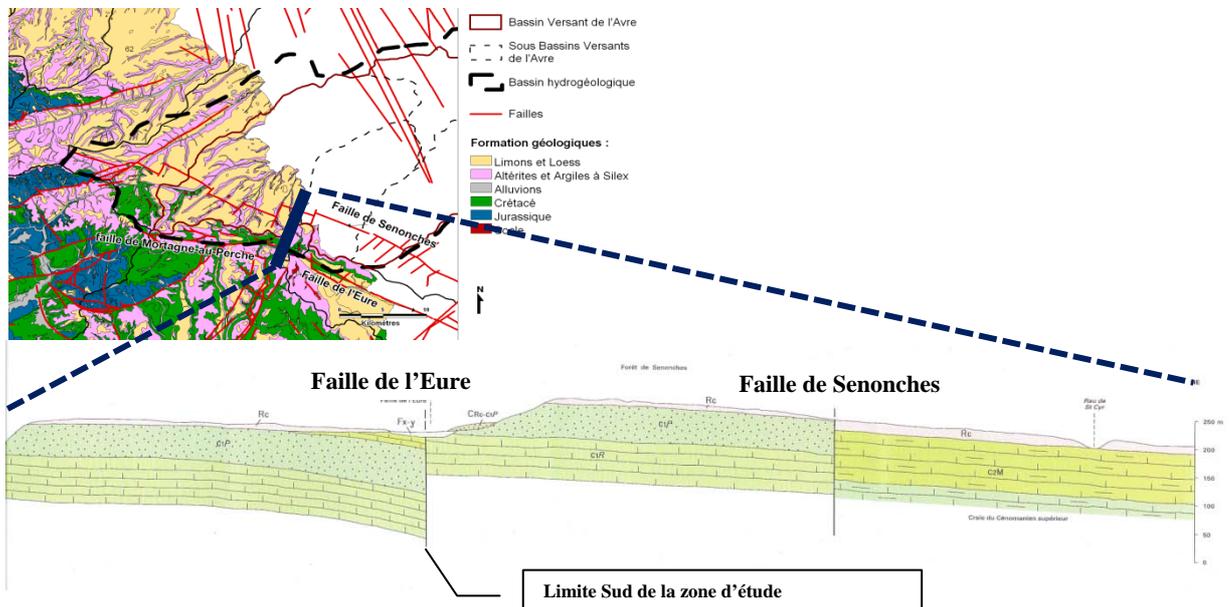
Etant donné que les isopièzes utilisées sont des isopièzes de cartes départementales réalisées au 1/100 000ème, il serait nécessaire de confirmer ce constat par la réalisation d'une carte piézométrique locale avec une densité de points de mesures suffisante pour vérifier l'effacement de la crête en période de Basses Eaux. Une autre possibilité serait d'implanter un piézomètre au niveau de la crête piézométrique et de

réaliser un suivi en continu des niveaux (si l'attitude piézométrique est inférieure à celle du lit de l'Iton cela indiquerait alors que l'Iton amont est drainé vers le bassin de l'Avre).

A noter qu'une carte piézométrique locale a été dressée en 1990/1991 sur ce secteur : le Burgeap a réalisé 2 levés piézométriques de la nappe en novembre 1990 (étiage) et mars-avril 1991 (hautes eaux saisonnières et basses eaux inter-annuelles) afin, de déterminer le bassin d'alimentation des sources captées par Eau de Paris. Ces levés ont été réalisés avec une densité de points relativement importante (257 et 285 mesures sur puits pour une surface d'environ 300 km<sup>2</sup>). Pour la carte de hautes eaux, la zone de mesures a été étendue vers l'Iton afin d'appréhender l'éventuelle existence d'un court-circuit de cette rivière vers le bassin de l'Avre. Le Burgeap précise dans son rapport que la crête piézométrique séparant l'Avre de l'Iton n'est pas bien marquée.

Concernant la limite Sud-Ouest du bassin :

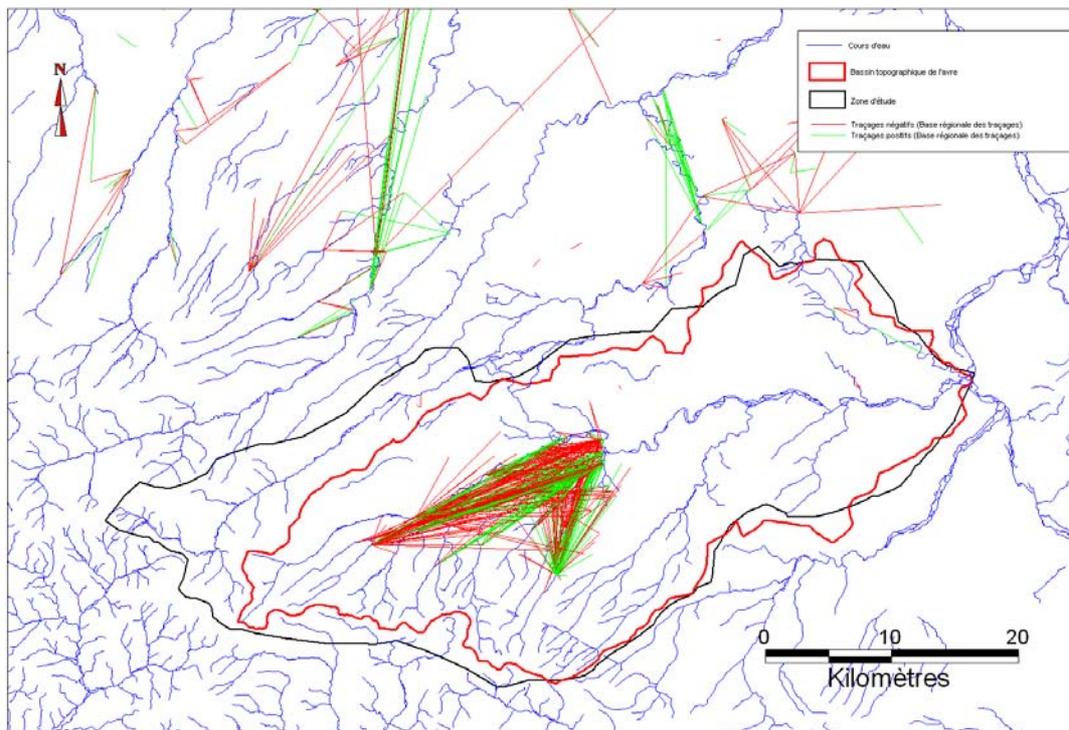
La zone d'étude a été étendue au niveau de sa limite Sud-Ouest afin d'intégrer la totalité du bloc surélevé compris entre la faille de l'Eure et la faille de Senonches (cf. Illustration 7). Il a en effet été décidé de ne pas s'arrêter à la crête piézométrique et d'inclure la totalité de ce compartiment surélevé dans l'éventualité d'un fonctionnement hydraulique indépendant du reste de l'aquifère crayeux du bassin de l'Avre. Il existe une incertitude concernant la connexion hydraulique de ce compartiment avec le reste du réservoir crayeux. Ce point sera étudié dans le cadre de cette synthèse bibliographique.



*Illustration 7 : Dernière délimitation du bassin versant hydrogéologique selon des données géologiques*

### Etude des connections karstiques interbassins

La base régionale de Haute-Normandie des traçages a été complétée pour les besoins de l'étude par les résultats de traçages des départements de l'Eure-et-Loir et de l'Orne (collecte des données réalisée dans les Conseils Généraux). La synthèse des traçages existants montre que les éventuelles relations karstiques interbassins (Iton/Avre, Avre/Blaise,...) n'ont pas été testées (cf. Illustration 8).



*Illustration 8 : Inventaire régional de Haute Normandie des traçages Hydrogéologiques (AESN, CR Haute-Normandie, CG Eure, CG Seine-Maritime, BRGM)*

### **2.3. ALTITUDE TOPOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE**

L'illustration 9 présente la topographie du secteur d'étude (modèle numérique de terrain avec une maille de 50 m par 50 m). Cette carte fait apparaître un gradient d'altitude de l'amont du bassin vers l'aval ainsi que l'existence de vallées assez fortement encaissées à l'aval. Les vallées à l'aval sont entourées de fortes pentes pouvant aller jusqu'à 24° (Illustration 10). Ces vallées s'insèrent dans un paysage de plateaux.

Les pentes des terrains sur le bassin de l'Avre sont relativement faibles. La pente moyenne est en effet de 1,2°. Les valeurs de pentes s'échelonnent de 0° sur les plateaux jusque 23,9° sur les coteaux de la vallée en partie aval de l'Avre.

Ce système de plateaux et de vallées assez encaissées (pour un bassin sédimentaire) génère un contexte favorable à l'infiltration des pluies efficaces, sous réserve que les terrains affleurant le permettent (en fonction du degré de perméabilité).

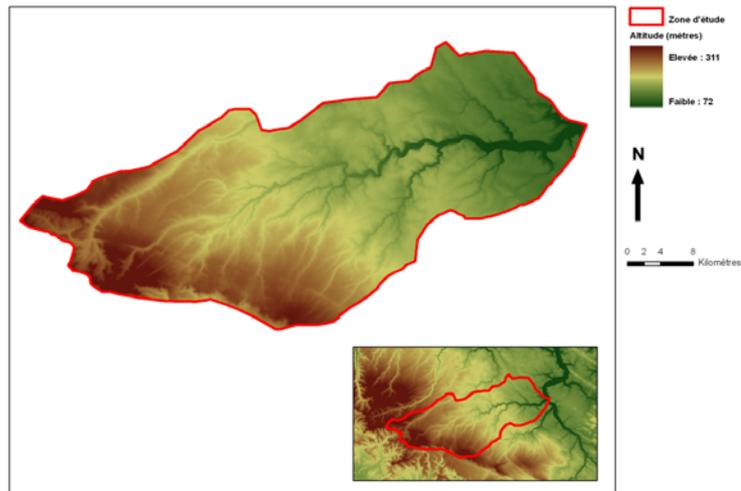


Illustration 9 : Modèle Numérique de Terrain du secteur d'étude

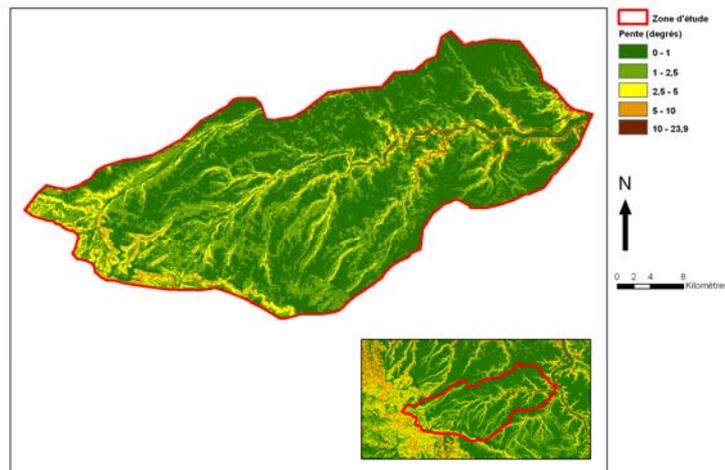


Illustration 10 : Pentés des terrains de la zone d'étude



## 3. Synthèse géologique et hydrogéologique

### 3.1. CADRE GEOLOGIQUE

Un extrait de la carte géologique au 1 / 1 000 000ème du BRGM est présenté à l'illustration 11. Les bassins versants de l'Avre, de l'Iton, de la Blaise et de l'Eure se sont très majoritairement développés dans la craie du Sénonien (formation en vert sur la carte), bien que l'Avre et l'Iton prennent par exemple leurs sources dans les sables du Perche du Cénomaniens supérieur.

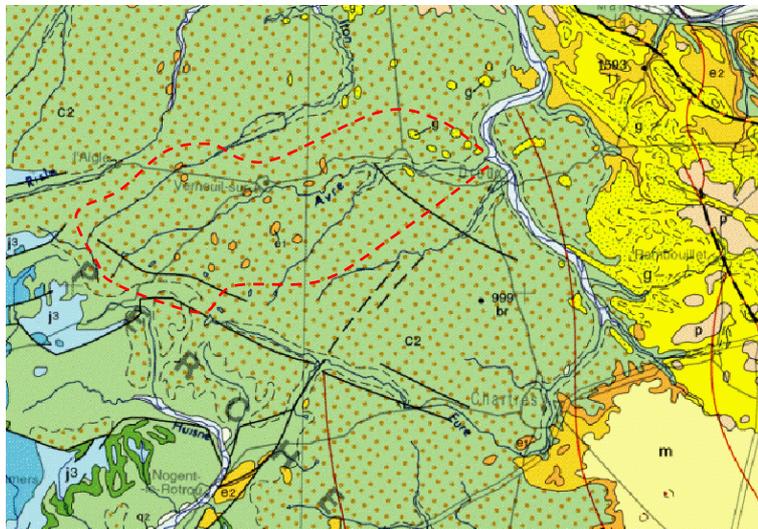


Illustration 11 : Carte géologique du secteur d'étude (extrait de la carte géologique au 1/ 1 000 000ème du BRGM) (délimitation approximative de la zone d'étude en pointillés rouges)

Des buttes résiduelles de formations du Tertiaire sont par ailleurs présentes au nord de l'Avre et dans la partie amont de son bassin versant (formations en orange, jaune et rose sur la carte).

#### 3.1.1. Formations affleurantes

Les cartes géologiques numériques n'étant pas harmonisées entre les 3 départements, il a été réalisé une analyse thématique sous SIG pour visualiser la répartition simplifiée des formations affleurantes sur le bassin de l'Avre (Illustration 12).

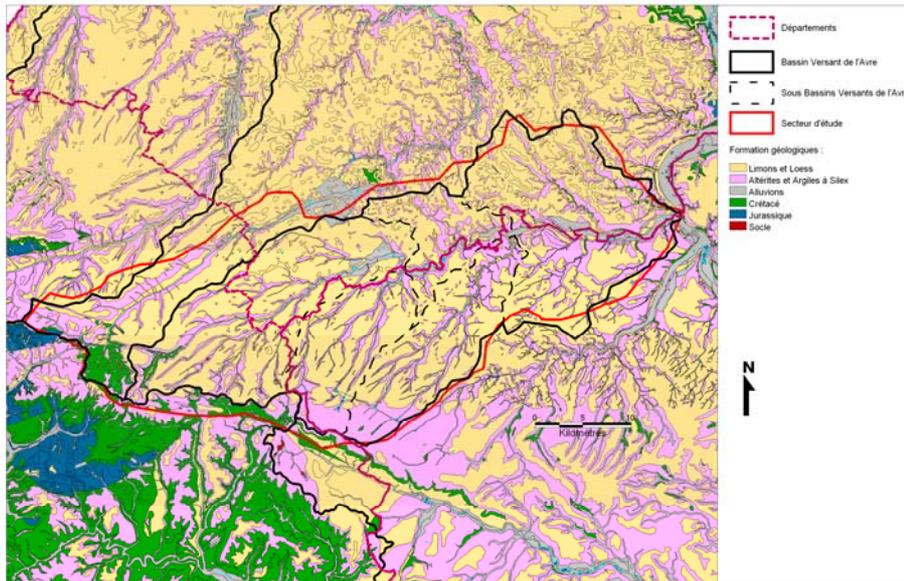


Illustration 12 : Cartes géologiques harmonisées au 50 000<sup>e</sup> de la zone d'étude de l'Avre (Sources : Cartes géologiques harmonisées des départements 27, 28 et 61 ; BRGM)

Dans le bassin de l'Avre les terrains affleurant sont :

- La formation du Cénomanién supérieur des Sables du Perche (amont de la zone d'étude, essentiellement dans le bloc surélevé compris entre la faille de l'Eure et la Faille de Senonches) ;
- Les Altérites et Argiles à Silex ;
- Les Limons et Loess.

Les affleurements de craie sont très rares au sein de la zone d'étude, en raison du fort recouvrement de la craie par une couche épaisse d'argiles à silex et de limons et loess (les argiles à silex résultant de l'altération des niveaux crayeux). Les craies sénoniennes affleurent au Nord-Est au gré des vallées.

### 3.1.2. Formations non affleurantes

La zone d'étude est implantée essentiellement dans la craie du Crétacé supérieur, les étages allant du Cénomanién au Campanien.

Ce substrat crayeux repose sur un étage d'Albien divisé en deux faciès : un faciès des « sables verts » glauconieux au début de l'étage et un faciès constitué d'argiles sombres du Gault au sommet.

En partie sud-ouest du secteur étudié, ce sont les sables du Cénomaniens supérieur (Sables du Perche) qui sont affleurants.

Différents travaux (Laignel, 1997, 2003 ; Costa et al., 2001) ont permis une synthèse des caractéristiques lithologiques de la craie ainsi qu'une cartographie de l'écorché géologique du département de l'Eure (Illustration 13).

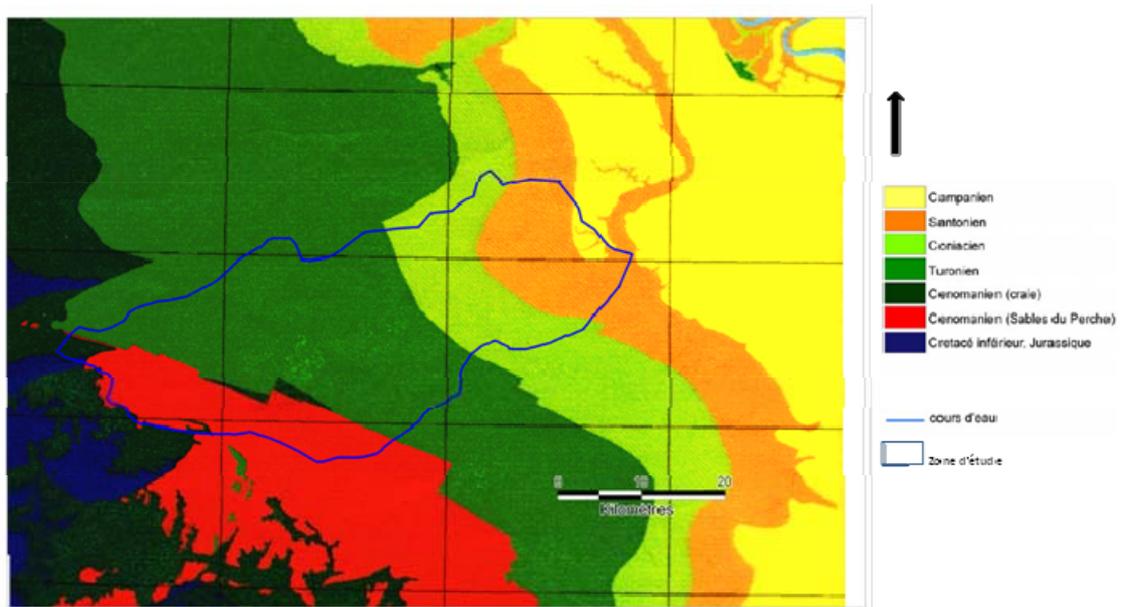


Illustration 13 : Ecorché géologique du département de l'Eure, d'après Quesnel [12]

Cette carte a été obtenue par un assemblage de plusieurs cartes : au nord, la carte géologique à 1/250 000 Rouen (NEAU, 1979 ; CAVELIER et MEDIONI, 1980) qui a été corrigée par Wazi [8] ; la synthèse cartographique des feuilles 1/50 000, 1/80 000 et levés de F. Menillet (Feuilles l'Aigle, Livarot) et G. Moguedet (feuilles Mortagne et La Loupe) pour la partie sud.

La zone d'étude présente l'écorché géologique suivant : les sables du Perche du Cénomaniens moyen-supérieur à l'extrême ouest, des craies du Cénomaniens à l'Ouest, un substratum crayeux du Turonien au centre, du Coniacien et du Santonien à l'est, et du Campanien à l'extrême Est de la zone d'étude. Cette carte montre un passage des craies les plus anciennes vers les plus récentes selon une direction Sud-Ouest - Nord-Est.

Limite d'utilisation de la carte : Quesnel F. précise que les contours de ces différentes cartes se raccordent plus ou moins bien entre cartes voisines et que des « discordances de bordure de cartes » séparent des cartes de générations ou d'auteurs différents. Elle signale de plus, les étages du Coniacien, Santonien et Campanien ne sont pas distingués sur les cartes à 1/50 000 des années 1960-70. Enfin, au Sud, le substrat crayeux est masqué par des argiles à silex épais, ce qui a rendu difficile la délimitation des étages de craies.

### **3.1.3. Description des formations**

#### ***La craie du Cénomanién***

##### **Craie du Cénomanién inférieur et moyen [7]**

Ce niveau regroupe la craie de Rouen (en partie inférieure) et la craie glauconieuse (en partie supérieure). Ces deux couches lithologiques sont constituées de craies, de silts et de gaizes (spongolites : pierres formées par des éponges fossilisées), leur épaisseur est estimée à une cinquantaine de mètres et leur teinte varie en fonction des faciès : blanchâtre à blanc jaunâtre si la phase carbonatée est prédominante, grise pour les gaizes, verte d'autant plus foncée que la glauconie est plus abondante, gris verdâtre à ocre pour les silts sablonnés.

La craie de Rouen contient des nodules gris clair ou verdâtres à opale tandis que la craie glauconieuse est composée de silex gris à noirs, à cortex épais.

La craie cénomaniénne dont les perméabilités sont médiocres constitue le mur de l'aquifère de la craie.

##### **Sables du Perche du Cénomanién moyen-supérieur**

Les sables du Perche du Cénomanién moyen-supérieur sont des formations marines détritiques intercalées entre les craies glauconiennes du Cénomanién inférieur et les craies du Turonien.

A l'affleurement, ce sont des sables moyens à grossiers, plus ou moins argileux, blancs à ocre clair, avec une organisation décimétrique tabulaire avec parfois des stratifications obliques [4]. D'une épaisseur de 15 à 30 m, ils sont altérés en surface sur quelques mètres, montrant un sol brun et pouvant être recouverts d'une faible épaisseur de formations superficielles de versant [5].

Les travaux de P. Juignet ([6] ; Juignet et Breton, 1992 ; Juignet et Louil, 1986) effectués à l'aide d'analyses granulométriques et morphoscopiques précisent que ces sables étaient soumis à l'action de courants de marée assez rapides qui affectaient le bassin durant le Cénomanién [4].

#### ***La craie du Turonien***

La craie du Turonien inférieur est une craie argileuse, parfois micacée, blanche à grise avec pas ou peu de silex noirs [8]. Le Turonien moyen et supérieur constitue l'aquifère principal du bassin de l'Avre amont. Certains rapports [3][5] précisent que la craie du Turonien supérieur est plus franche et moins marneuse que le reste de l'étage. Un faciès sableux dolomitique existe vraisemblablement à la source du Breuil.

L'épaisseur de l'ensemble varie du Nord vers le Sud : elle est estimée à 40 mètres dans le secteur de Rueil, 30 mètres à Boissy-lès-Perche et s'amenuise vers le Sud où elle est de 10 à 20 mètres.

Sur la zone d'étude, cet étage est toujours recouvert par les formations superficielles.

### ***La craie du Coniacien et du Santonien***

D'une épaisseur d'environ 40 m, les craies du Coniacien et du Santonien sont des craies blanches à jaunâtres riches en silex et en bryozoaires (animaux marins coloniaux et constructeurs formant des colonies encroûtantes ou buissonnantes fixées). Les craies du Santonien sont plutôt tendres, et se présentent en bancs réguliers et horizontaux limités par des bancs de silex en rognon de taille décimétrique [4]. Ménillet (Ménillet et al., 1994b) précise que ces craies présentent une proportion faible en dolomite (<4%).

Les silex présents sont noirs à gris clair, avec un centre plus brun, et présentent des cavités à remplissage pulvérulent) et des cristallisations de quartz ou de calcédonite sur leurs parois [4].

### ***La craie du Campanien***

La craie du Campanien est une craie blanche, tendre, fine, à silex noirs à brun résineux en rognons de formes très irrégulières, et possédant un grain fin [8].

### ***Formations superficielles du Tertiaire et du Quaternaire***

Les principales formations superficielles qui couvrent le substrat crayeux sont les loess et les Argiles à silex.

#### **Loess :**

Ce sont des dépôts sédimentaires meubles continentaux, d'origine éolienne et dominés par une fraction granulométrique silteuses.

#### **Argiles à silex :**

Les argiles à silex font partie d'un ensemble désigné sous l'appellation « formation résiduelle à silex ». Celle-ci désigne une formation d'altération située en recouvrement de la craie et qui, selon la notice de la carte géologique de Dreux, « *renferme de nombreuses poches de sable (Sables du Thymerais, d'âge éocène possible et Sables*

de Fontainebleau, d'âge rupélien en Drouais). En surface, principalement en Thymerais, elle est parsemée de blocs de grès et de conglomérats correspondant à une ancienne carapace siliceuse (silcrête) démantelée. ». Cette formation, hétérogène dans sa composition (silex, argiles, silts, sables) et son épaisseur, présente des faciès différents selon les secteurs.

La thèse de Florence Quesnel – avec celle de Benoît Laignel (document BRGM n°264, 1997) – a permis d'améliorer sensiblement la connaissance de la formation résiduelle à silex (notée RS) dans l'ouest du bassin de Paris. Les travaux effectués ont permis de cartographier l'épaisseur des altérites à silex (hors limons des plateaux). Cette épaisseur est très variable au sein de la zone d'étude : au centre, la couche d'argile à silex est épaisse (de 22 à 34m), tandis que cette épaisseur décroît en allant vers l'Est et l'Ouest (de 0 à 6m à l'Est et de 8 à 14m à l'Ouest) (Illustration 14).

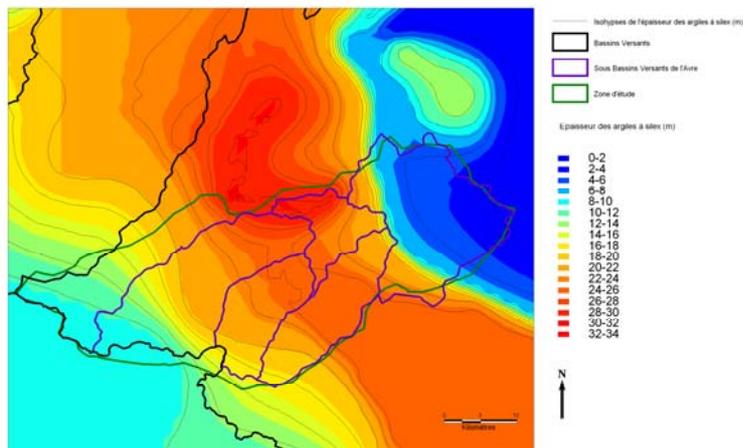


Illustration 14 : Epaisseur des argiles à silex (données : « Cartographie numérique en géologie de surface – application aux altérites à silex de l'ouest du bassin de Paris », F. Quesnel, 1997 ; Thèse présentée à l'Université de Rouen ; 430 p)

### Typologie des RS

Selon Laignel (Laignel, 1997, Laignel et al., 1998b, 2002b et 2003), les argiles à silex de l'Ouest du Bassin de Paris peuvent être divisées en deux catégories en fonction de la position morphologique des sites :

- (1) les argiles à silex situées sur les plateaux (ou altérites à silex) qui s'organisent en six familles géographiques aux caractéristiques lithologiques bien distinctes.
- (2) les argiles à silex localisées sur les versants (ou biefs à silex) qui ne s'organisent pas de manière régionale mais en fonction de la nature et de la pente du versant.

### Les argiles à silex de plateaux ou altérites à silex :

Il en existe deux formes géométriques différentes.

La première se présente sous forme d'un manteau d'altération continu au-dessus de la craie, tandis que la seconde se présente comme des poches ou des entonnoirs de dissolution plus ou moins profonds au sein de la craie. Selon Laignel, 2000 et Costa et al., 2001, 75% de ces entonnoirs sont remplis uniquement par des argiles à silex et seulement 25% sont remplis d'argiles et de loess.

L'étude réalisée par Laignel (Laignel, 1997) sur 21 sites de RS en plateau indique, que quel que soit le secteur, on retrouve toujours la coupe schématique suivante :

- Limons de plateau, plus ou moins épais (0 à 5m),
- RS limoneux à limono-argileux, sur une épaisseur de 0,5 à 2m,
- RS argileux à argilo-limoneux, composé d'une matrice de teinte variable suivant le secteur,
- Liseré argileux brun foncé, noir ou gris-vert à silex, d'une épaisseur variable jusqu'à 2m.

#### Caractéristiques des argiles à silex dans la zone d'étude :

Les travaux de B. Laignel (Laignel, 1997) ont permis d'aboutir à une typologie des RS de plateau ainsi qu'à leur répartition géographique (Illustration 15 et Illustration 16).

La zone d'étude présente donc 3 types de faciès de RS différents, le faciès RS de plateau « Eure », le faciès « Eure et Loir » et le faciès du « Drouais ».

Selon la notice de la carte géologique, les poches de sables de Fontainebleau inclus dans les RS présentent généralement « *un diamètre de quelques dizaines de mètres, les plus vastes dépassant la centaine de mètres pour une profondeur excédant rarement 5 mètres. Celle de la Sablonnière, au Nord de Dreux, a 500 m de long et plus de 10 m de profondeur.* »

Cet aspect fortement hétérogène de la formation a été repris dans le cadre de l'étude relative à la recherche de sites pour l'implantation d'un centre de stockage de déchets ultimes stabilisés (Albouy et al., 1994). Concernant cette formation, l'auteur rappelle sa formation composite (argile, sable et silex), sa variabilité verticale et horizontale importante et conclut à une caractérisation géologique « très délicate à cause de l'hétérogénéité des matériaux ». En page 33, la description de la formation dans le département de l'Eure-et-Loir indique : « C'est dans cette partie que la lithologie est la plus complexe, mais c'est là aussi que les épaisseurs maximales sont atteintes (<= 40 m). [NDLR : secteur du Thymerais]. Cette complexité est liée à la superposition de plusieurs époques d'altération et à l'incorporation de sédiments plus récents d'âge tertiaire et quaternaire que l'on retrouve sous forme de sables quartzeux, de galets siliceux, de meulières, de grès silicifiés et d'argile. Ces matériaux sont mélangés à l'argile à silex et constituent alors un matériau complexe hétérogène au sein duquel s'individualiseraient aussi bien des zones à argile dominante que des « poches » sableuses propres [32].

L'incorporation de matériaux sableux est notée plus fréquemment, sur les cartes à 1/50 000 Saint-André-sur-Eure (180), Verneuil (215), Nogent-le-Roi (217) et surtout Dreux (216) et Courville (254). Les poches argileuses sont rarement signalées car plus difficiles à détecter [32].

Faciès RS de plateau		Teinte matrice	Granulométrie matrice (< 2 mm)	Minéralogie (< 2 µm)	Chimie matrice (< 2 mm)	% silex (> 20 mm)	Observations macro silex
RS limoneux à argilo-limoneux		variable	limoneuse à limono-argileuse	hétérogène	hétérogène	peu	/
RS sableux		variable	sableuse à sablo-argileuse	kaolinite	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MnO	variable	/
liseré argileux de la base des coupes		brun foncé, noir ou gris vert	argileuse	smectite interstratifiés 7/14sm	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MgO, CaO, K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O MnO	/	/
RS argileux à argilo-limoneux (faciès dominant)	Est Pays de Caux, Talou 1	brun (ocre)	limono-argileuse	smectite interstratifiés 7/14sm	SiO <sub>2</sub> TiO <sub>2</sub>	42 à 45	- gris, noirs - rugueux - fragmentation < 15% - non oxydés
	Pays de Caux (excepté l'Est) 2	rouge à brun-rouge	argilo-limoneuse	kaolinite dominante	SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MgO, CaO K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O TiO <sub>2</sub>	44 à 47	- gris, qq bruns - rugueux - fragmentation = 20% - peu oxydés
	Eure 3	- rouge - beige, rose, blanc	argileuse à argilo-limoneuse	variable (kaolinite dominante)	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MnO	0-10 m : 42 à 54 10-15 m : 60 à 70 > 15 m : 70 à 80	- bruns, gris - rugueux, irréguliers - fragmentation 15-30% - oxydés nombreux
	Perche 4	- bigarré rouge, blanc - blanc	argileuse à argilo-limoneuse	kaolinite	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MgO, CaO K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O	= 50	- gris - irréguliers - fragmentation < 10% - peu oxydés
Eure et Loir 4	- rouge - beige, rose, blanc	argileuse à argilo-limoneuse	kaolinite	MgO, CaO K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O	0-10 m : 39 à 51 10-15 m : 60 à 70 > 15 m : 70 à 80	- bruns, gris - rugueux, irréguliers - fragmentation = 30% - oxydés assez nombreux	

Illustration 15 : Synthèse des données lithologiques et typologie des RS de plateau (SiO<sub>2</sub> : teneur élevée en SiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> : teneur faible en SiO<sub>2</sub> ; Intertstratifiés 7/14sm : interstratifiés kaolinite/smectite) (extrait de la thèse de B. Laignel, 1997)

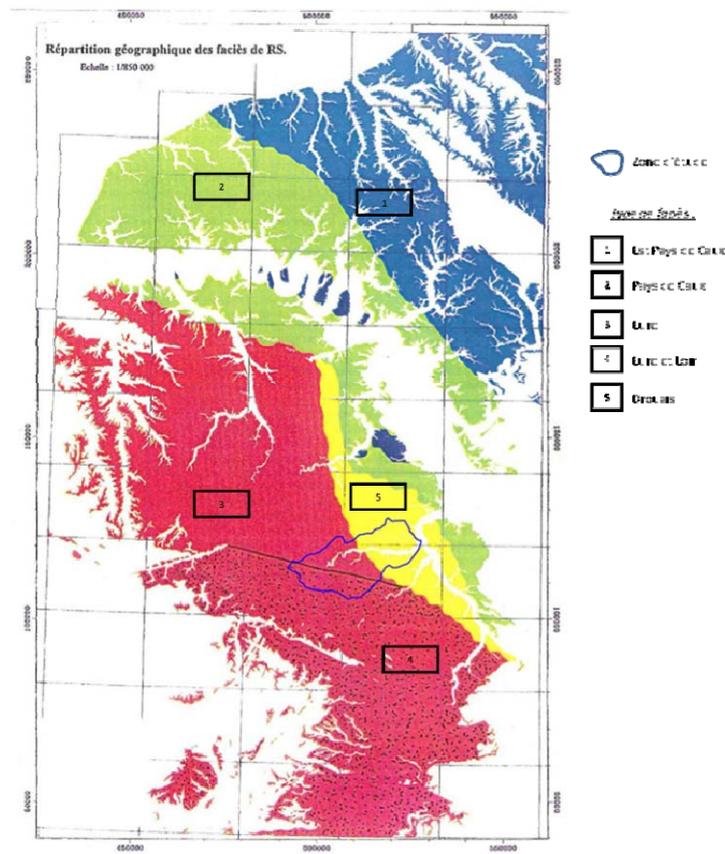


Illustration 16 : Répartition géographique des faciès de RS (extrait de la thèse de B. Laignel, 1997)

### 3.1.4. Synthèse géodynamique

Ce paragraphe présente succinctement les conditions générales de dépôt des formations du bassin de l'Avre et renvoie à l'Annexe 1 pour le détail de la sédimentation crétacée de la bordure Est du massif armoricain.

Du jurassique supérieur à la fin du crétacé inférieur, la région reste émergée. Ce n'est qu'au cours de l'Albien qu'une subsidence se met en place.

De manière générale, les dépôts du crétacé supérieur sont donc transgressifs et reposent en discordance sur les formations jurassiques, qui reposent elles-mêmes sur les terrains paléozoïques et précambriens du massif armoricain [6].

A la fin du crétacé, la région émerge, la sédimentation est donc stoppée. Pendant le Cénozoïque et le Quaternaire, les formations crayeuses seront altérées en argiles à silex qui seront aussi progressivement recouvertes d'une couche d'épaisseur variable de formations quaternaires (Loess principalement).

### 3.1.5. Tectonique et fracturation

#### ***Contexte tectonique et structural***

La géométrie de l'aquifère peut se détailler à trois échelles :

##### 1/ A l'échelle de la bordure Est du bassin parisien

L'organisation structurale est un monoclin à faible pendage orienté vers le Nord-Est. Il y a donc un passage progressif des formations cénomaniennes à l'Ouest aux formations du campanien à l'Est. Cette organisation a été parfaitement illustrée par la carte de l'écorché géologique de l'Eure dans les travaux de Quesnel [12] (Illustration 13).

L'augmentation de l'épaisseur des formations crayeuses en allant vers l'Est dans la zone d'étude s'explique par une importante subsidence dans le centre du bassin parisien selon un axe NW-SE [10].

Cette structuration serait clairement liée à l'ouverture du golfe de Gascogne jusqu'au Turonien moyen. Cette ouverture s'inscrit dans le cadre global de l'ouverture de l'Atlantique Nord.

##### 2/ A l'échelle pluri-kilométrique

La variation de l'épaisseur de la craie dans la zone d'étude permet de délimiter divers axes anticlinaux et synclinaux de direction NW-SE.

Cette succession d'axes anticlinaux et synclinaux s'explique par une tectonique syn-sédimentaire. Une variation de la subsidence pendant la transgression crétacée est à l'origine des variations de profondeur du mur de la craie [10].

De plus, ces mêmes variations peuvent également être dues à des épirogénèses locales, notamment pendant le plio-quadernaire [1]. Cependant, ces épirogénèses n'ont que très peu affectées la craie dans le bassin de l'Avre. En effet, puisque ces mouvements sont post-sédimentaires, ils peuvent expliquer les variations de l'altitude du mur de la craie, mais en aucun cas la variation de l'épaisseur de la formation.

Les plissements de direction NW-SE ont affecté la craie sur tout le département de l'Eure. Ces plissements structuraux remontent les niveaux crayeux peu perméables du cénomaniens et du turonien inférieur dans les antifformes et conservent les niveaux perméables du Sénonien dans les synformes [16].

**Les antifformes peu perméables favorisent l'émergence de sources (cas de la vallée de l'Iton et de la Risle). Les synformes favorisent les phénomènes de pertes et circulations importantes dues à l'épaisseur importante de terrains perméables [16].**

### 3/ A l'échelle du kilomètre :

Concernant les formations crayeuses, à partir du Coniacien moyen-supérieur, une structure de type mega-rides géantes, dont les crêtes sont orientées de direction NW-SE, a été mise en évidence par Lasseur [10]. Cette géométrie en ondulation de la craie a des conséquences en termes de circulation des fluides. En effet, il s'agirait de structures érosives mises en place par des courants profonds. Les surfaces d'érosions constitueraient des surfaces durcies qui contraindraient les écoulements dans les massifs crayeux.

### ***Fracturation***

En lien avec ce contexte tectonique, un important réseau de failles s'est développé sur le secteur du bassin de l'Avre. Des failles majeures sont présentes en partie Sud-Est du bassin. Il s'agit des failles de Senonches (N110), de l'Eure (N110 à N120) et du Merlerault (N45 à N60) [1].

Ensuite, d'autres réseaux de fractures plus discrètes sont présents, notamment les failles N150 à N160 qui affectent la région de Breteuil sur Iton et qui se prolongeraient vers Verneuil sur Avre et au-delà [3].

Ce système de fracturation peut être considéré comme étant en relation directe ou indirecte avec celui du massif armoricain et de sa frange ouest du bassin de Paris [1]. Les principales déformations du socle armoricain (déformations cadomiennes et hercyniennes) ont donc affecté la couverture primaire et secondaire du bassin parisien [1].

Toutes ces failles ont joué à plusieurs reprises au Mésozoïque et Cénozoïque [9]; en particulier lors de l'ouverture de l'Atlantique puis, plus tard, par contrecoup, au moment du soulèvement pyrénéen et alpin ; déformant ainsi les formations du mésozoïque. Les mouvements récents au Quaternaire auraient également eu une influence sur l'organisation structurale des formations [1].

Sykioti et al. [31], ont étudié la fracturation du secteur amont de l'Avre (analyse des données thermiques HCMM, image radar ERS-1 SAR, image Landsat TM, anomalies du réseau hydrographique, MNT) et concluent à l'existence de 4 familles principales de morphostructures et des traits structurant le relief dans la région de Verneuil-sur-Avre.

En définitive, on peut retenir ces grandes directions de fracturations pour le secteur d'études :

- **Les directions N°0 (+-20°) ;**

- **Les directions N110 à N120** sont liées directement aux plissements cadomiens du massif armoricain (Cisaillement Nord et Sud armoricain). C'est le cas des failles de l'Eure et de Senonches.
- **Les failles de directions N45 à N70** sont des rejeux de failles issues des plissements varisques. Dans le secteur du bassin de l'Avre se sont les failles du Merlerault et de Courtomer qui sont de directions N70.
- **Les directions N150 à N160** sont transverses aux accidents armoricains et varisques.

Pour mieux préciser les effets de la fracturation sur le comportement hydraulique des formations affectées, il peut être intéressant d'étudier le régime des contraintes de la zone d'étude. Sykioti et al. [31], indiquent qu'aux environs de Verneuil-sur-Avre, la contrainte principale ( $\sigma_{hmax}$ ) est orientée N 140°E  $\pm$ 10° (obtenue à partir des axes P et T des mécanismes au foyer des trois séismes les plus proches). La connaissance de la contrainte principale actuelle permet de considérer théoriquement l'état d'ouverture de chaque famille de fractures en fonction de son orientation par rapport à  $\sigma_{hmax}$ . Les fractures parallèles à  $\sigma_{hmax}$  (N140°E) se comporteraient comme des fractures ouvertes favorisant les transferts de fluides. Celles parallèles à N50°E, se comporteraient comme des fractures fermées où les fluides circulent plus difficilement (Illustration 17).

Cependant, s'agissant d'un système karstique, il faudrait aussi prendre en considération les différentes directions de contraintes  $\sigma_{hmax}$  qui se sont succédées depuis le dépôt des terrains crétacés (paléo-contraintes). En effet, la dissolution préférentielle liée aux drains antérieurs ouverts par les différentes contraintes  $\sigma_{hmax}$  peut faciliter aujourd'hui le transit des fluides lorsque ces drains ne sont pas colmatés. Sur la zone d'étude, il n'existe pas de données sur les paléo-contraintes.

**En raison de ces accidents tectoniques et des altérations subies (développement de réseaux « karstiques »), la craie est ainsi un milieu mixte : poreux, fissuré, et karstique.**

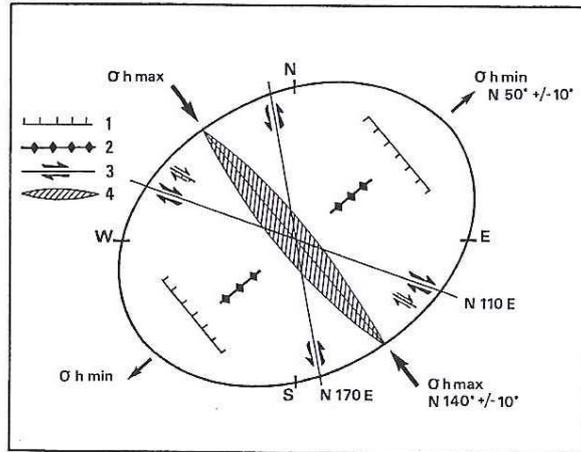


Illustration 17 : Modèle géométrique de la fracturation en fonction de l'orientation de la contrainte principale horizontale actuelle ( $\sigma_{hmax}$ ). 1, 4 Fracture ouverte ; 2 Fracture fermée ; 3 Décrochement, fracture semi-ouverte/fermée (figure extraite de [31])

Une compilation sous SIG des réseaux failles et linéaments recensés dans les différentes études du secteur a été réalisée et est présentée à l'illustration 18.

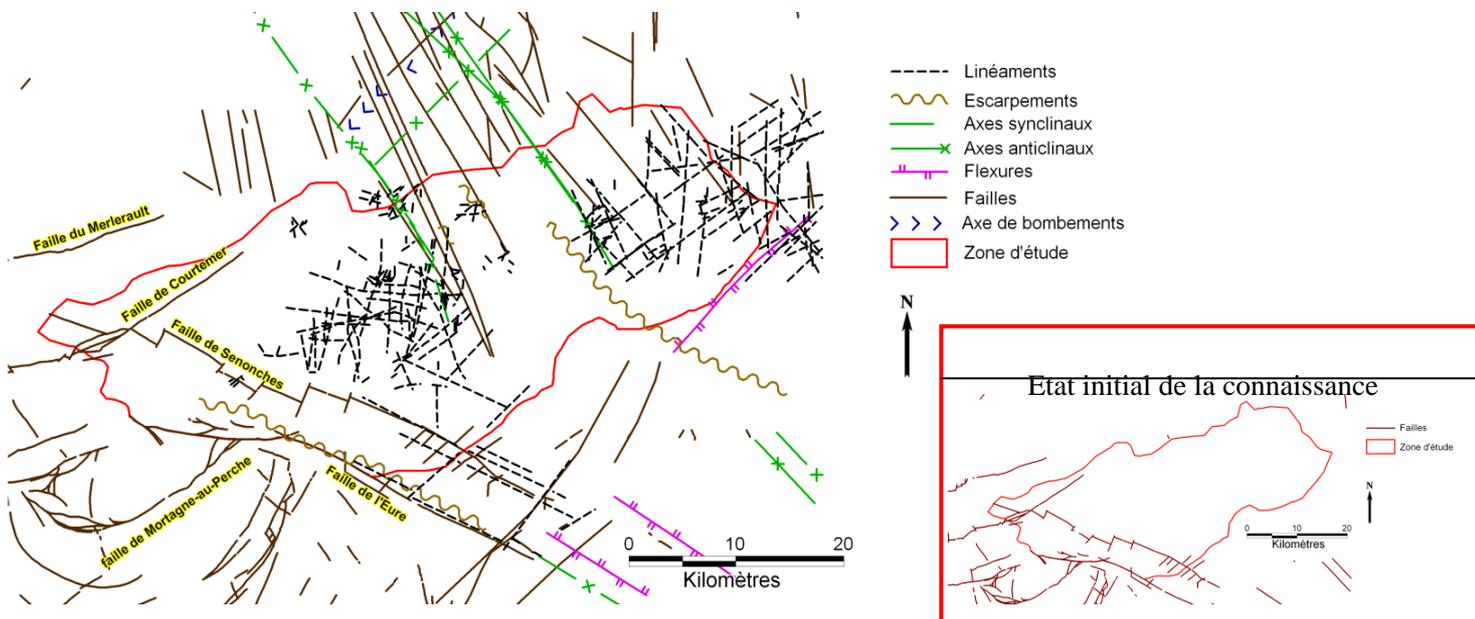
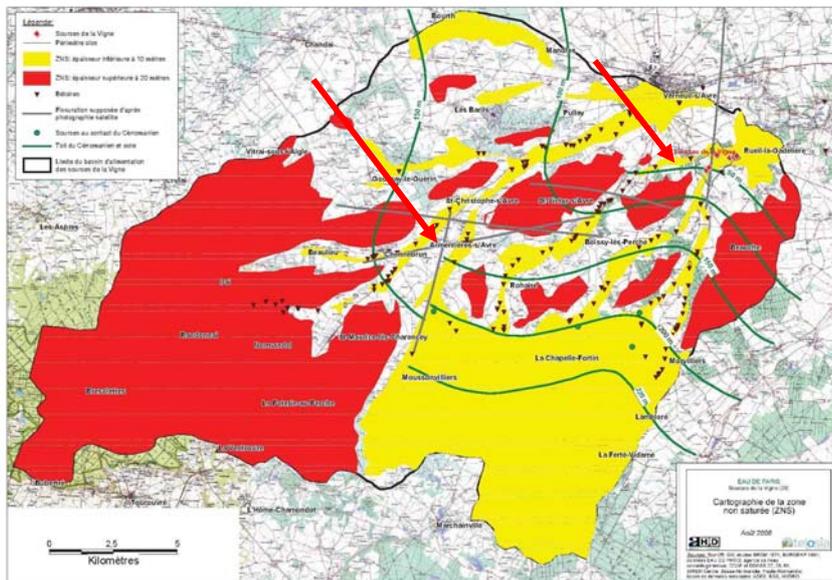


Illustration 18 : Répartition des accidents géologiques (la carte de gauche est le résultat de la compilation des données tandis que la carte de droite présente l'état initial de la connaissance : carte géologique harmonisée).

**Concernant la faille de Senonches** : elle est interprétée comme une faille verticale qui mettrait en contact les Sables du Perche (Cénomaniens) avec la craie du Turonien (Onfray, 1939 ; [9]).

**Concernant la faille supposée de Verneuil-sur-Avre** : bien que ne l'ayant pas observée nettement sur les photographies aériennes et satellites, le Burgeap dans son rapport de 1990 [3] a supposé que les failles de directions 150-160°E qui affectent la craie dans la région de Breteuil-sur-Iton se prolongent vers le Sud-Est jusque dans le secteur de Verneuil-sur-Avre / Rueil-la-gadelière (secteur des émergences situées au centre du bassin). Il n'existe pas suffisamment de forages profonds ayant atteint le Cénomaniens pour déterminer la géométrie précise de cette zone de failles supposées. Il semble d'après les éléments analysés par le Burgeap, que du jeu de failles et des mouvements verticaux associés a résulté un compartiment Est surélevé par rapport au compartiment Ouest. D'après le Burgeap, ces mouvements ont pu provoquer des décrochements en gradins entre les différentes failles (Illustration 24 p. 50).

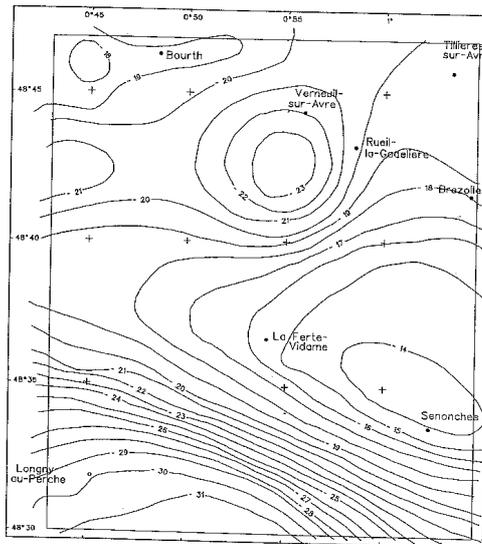
**Concernant la faille supposée de Saint-Christophe-sur-Avre** : à noter qu'une faille d'orientation N10° environ est supposée sur un axe passant par Saint-Christophe-sur-Avre et St Maurice-les-Charencey (rapport Telosia, 2009). Cette faille décalerait le toit du cénomaniens de près de 50m (Illustration 19).



*Illustration 19 : Localisation des 2 failles supposées de Saint-Christophe sur Avre et Rueil la gadelière (extrait du rapport Telosia 2009)*

### 3.1.6. Données gravimétriques

Sur la carte des anomalies gravimétriques du bassin de Paris [BRGM, 1987], la région de Verneuil-sur-Avre se situe au nord de l'anomalie négative de Mortagne qui correspond probablement à une intrusion granitique. A l'échelle locale (Illustration 20), la valeur négative la plus faible (-14 mgal) dans la zone d'étude se localise au nord-Est de l'anticlinal de Senonches et n'est pas expliquée [31]. Une autre anomalie, de forte valeur négative (-23mgal), d'origine également inconnue, se situe entre Verneuil-sur-Avre et Rueil-la-Gadelière [31] (Illustration 20).



*Illustration 20 : Carte des anomalies de Bouguer extraite de la carte gravimétrique de la France à 1/250 000. Le Sud de Verneuil-sur-Avre est caractérisé par une anomalie circulaire négative (-23mgal)*

## 3.2. CADRE HYDROGEOLOGIQUE

### 3.2.1. Géométrie du réservoir aquifère

La géométrie de l'aquifère peut être appréhendée en réalisant la carte de l'épaisseur de la craie mouillée (épaisseur entre le toit de la nappe et le mur de la craie). Ces données sont en partie disponibles dans l'Atlas hydrogéologique de 2011. Les cartes d'épaisseur de craie mouillée ont été réalisées pour les piézométries de hautes (2001) et basses (2006) eaux (Illustration 21 et Illustration 22).

Ces cartes mettent en évidence les axes des anticlinaux d'orientation NW-SE ainsi que l'axe anticlinal d'orientation WSW - ESE

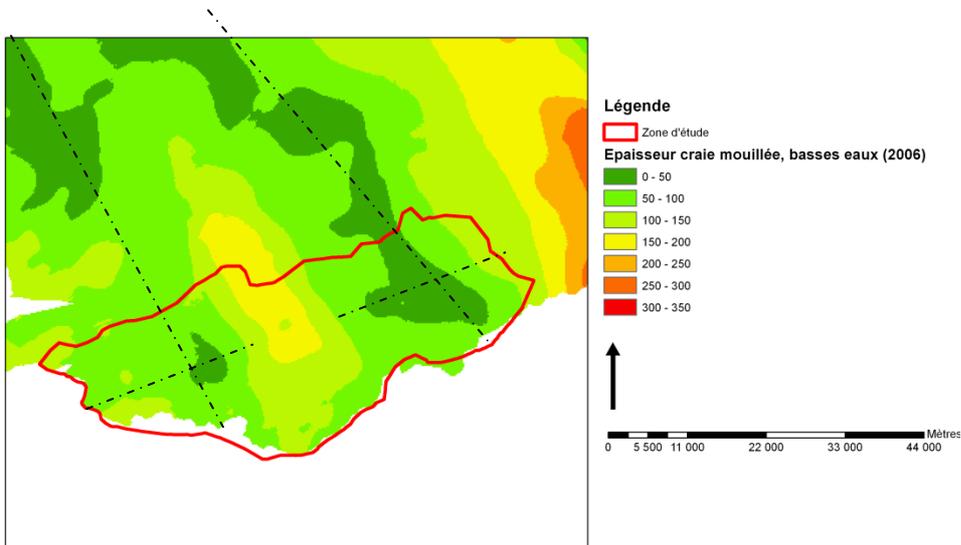


Illustration 21 : Épaisseur de la craie mouillée en période de basses eaux (données 2006), source : Atlas hydrogéologique régional Haute-Normandie.

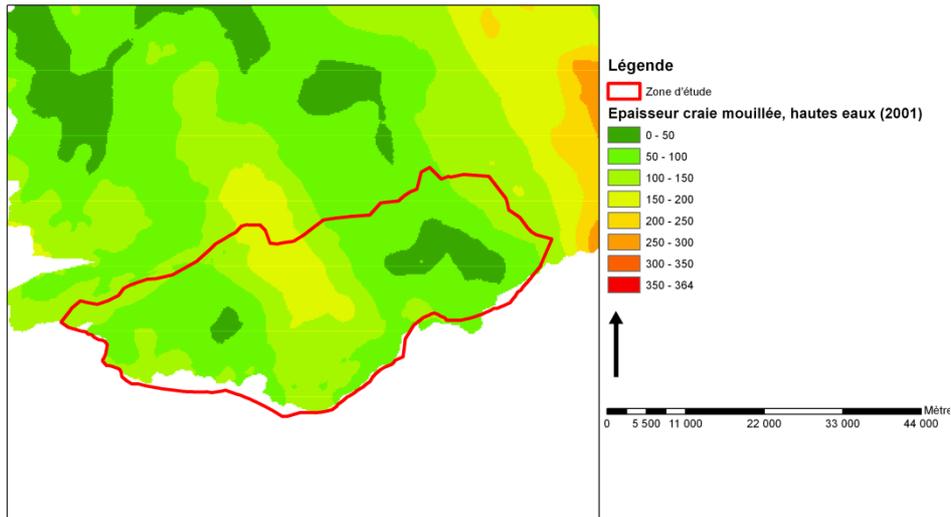
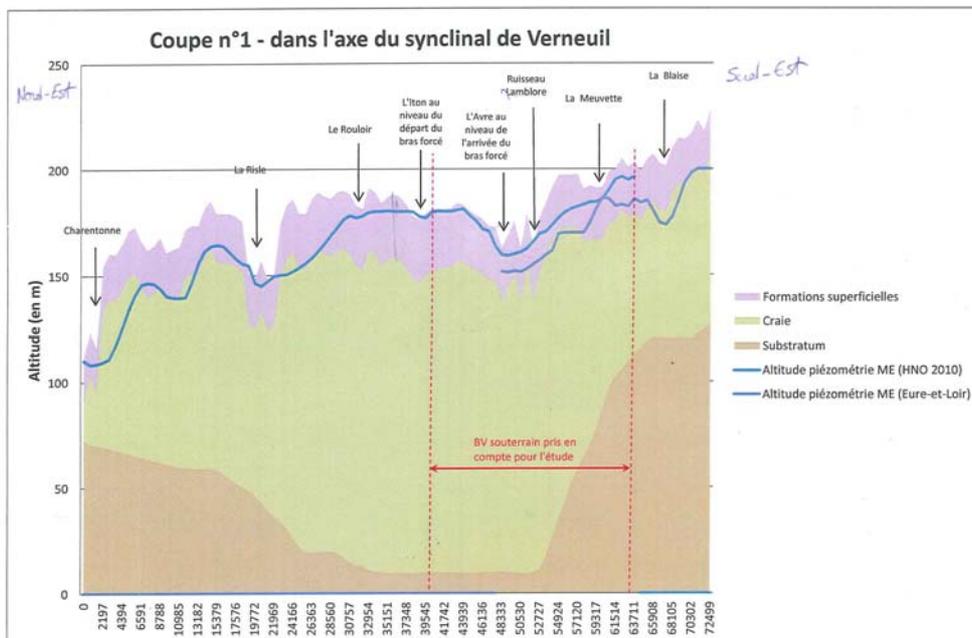
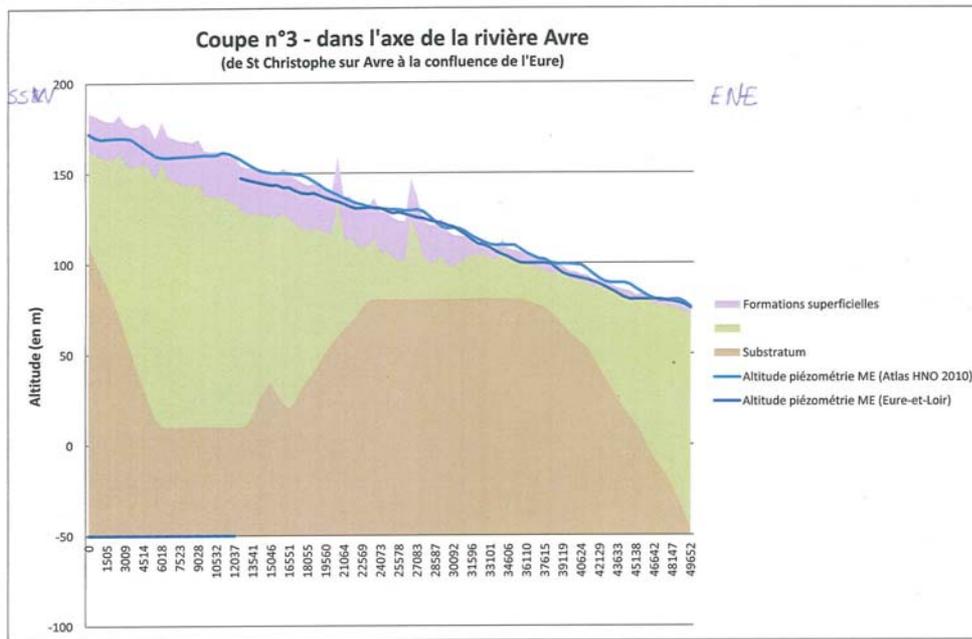
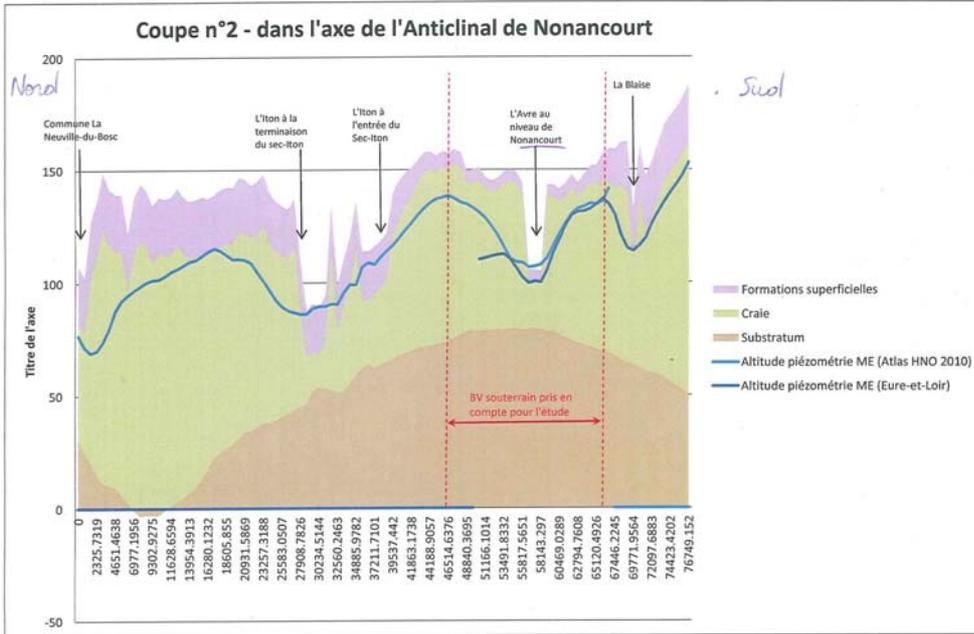


Illustration 22 : Épaisseur de la craie mouillée en période d'hautes eaux (données 2001), source : FR Atlas hydrogéologique régional Haute-Normandie.

Cette géométrie est résumée par les 3 coupes qui ont été réalisées à partir des isohypses du mur de la craie (atlas hydrogéologique de Haute-Normandie), du MNT au pas de 50m, des isopièzes de moyennes eaux et de la grille des épaisseurs des formations superficielles (Quesnel F.).





### 3.2.2. Fonctionnement hydrogéologique

La particularité de ce bassin est la présence d'un karst très développé, essentiellement dans le secteur amont du bassin. L'inventaire régional de Haute-Normandie des bétoires et des traçages a été complété dans la partie de l'Eure-et-loir pour les besoins de l'étude.

L'illustration 23 présente les sources, bétoires et traçages positifs et négatifs recensés dans cet inventaire. On peut observer, de l'amont vers l'aval :

- une zone de sources située au niveau des formations du sables du perche,
- une zone de perte qui affecte les plateaux et les fonds des cours d'eau (Avre et ses affluents de la rive droite),
- une deuxième zone de sources (sources de la Vigne, du Breuil, Gonord) située au niveau de Verneuil-sur-Avre / Rueil.

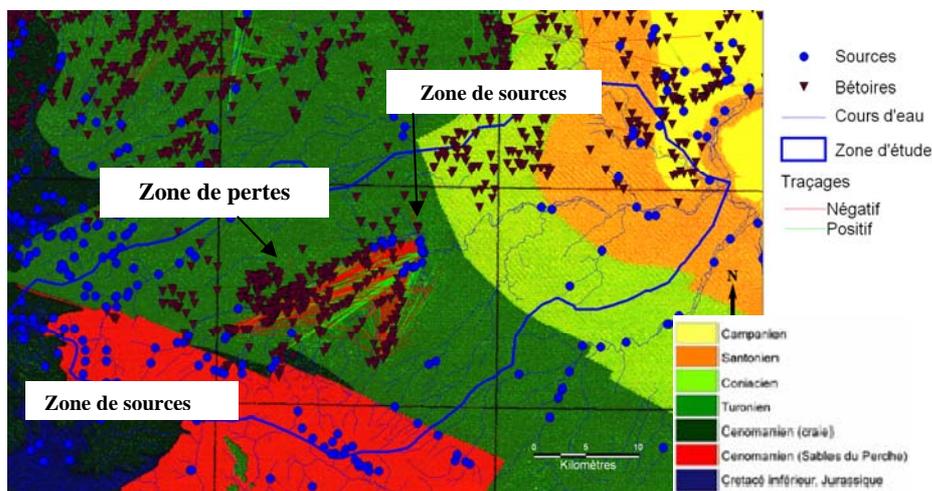


Illustration 23 : Répartition des sources et des bétoires à l'échelle de la zone d'étude (fond de carte : écorché géologique)

La zone des sources de la Vigne, du Breuil, Gonord s'expliquerait par une série de failles supposées (prolongation de la faille de Breteuil) (Burgeap 1990 et Telosia 2009). De direction NNO/SSE, elles relèveraient le bloc Est, les marnes du Turonien feraient barrage à l'écoulement des eaux de la craie plus perméable (Burgeap 1990 et Telosia

2009). L'illustration 24 présente la coupe géologique schématique de l'ensemble du bassin de la Vigne.

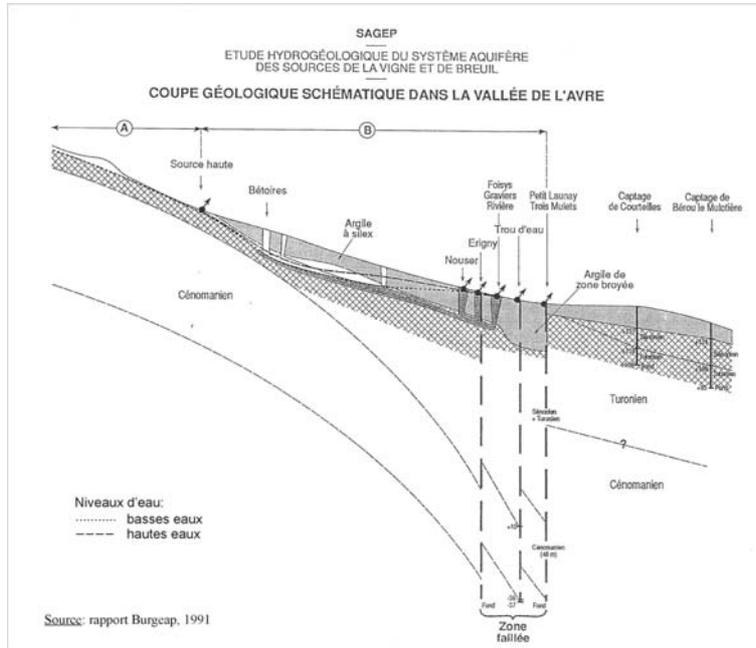


Illustration 24 : Coupe schématique du contexte hydrogéologique des sources de la Vigne

Les expériences de traçages réalisées dans le passé (données généralement très anciennes) montrent que les eaux de surface qui s'engouffrent dans ces pertes, résurgent au niveau des sources de la Vigne, du Breuil, Gonord.

Différentes études (BRGM 1970, Burgeap 1990 et Telosia 2004) ont présenté les résultats de ces expériences de traçage. Une carte des réseaux karstiques supposés a été dressée sur la base des résultats des traçages positifs et négatifs et d'une analyse de la fracturation (Illustration 25). Il apparaît que :

- certains axes de drainage (Lamblore, Pipe-Souris, Buternay et Meuvette) sont alignés sur des fractures ;
- une partie des bétoires semble en relation directe avec les fractures ouvertes et fermées (soit alignées, colinéaires sur ou à proximité des grands axes structuraux, ex : Avre, Buternay, Meuvette). Ceci suggère que ces fractures facilitent le transit rapide des eaux de surface vers la nappe ;
- certaines fractures théoriquement fermées sont en réalité des axes de drainage. Il s'agit là soit de fractures anciennes élargies par dissolution et non colmatées, résultant de l'action de paléo-contraintes, soit de fentes d'extrados liées à des plis tel que l'anticlinal de Senonches [31].

Les directions de traçages obliques par rapport au gradient général de la surface piézométrique correspondent généralement à des directions structurales mises en évidence par diverses méthodes (analyse du MNT, réseau hydrographique, imagerie,...) [31].

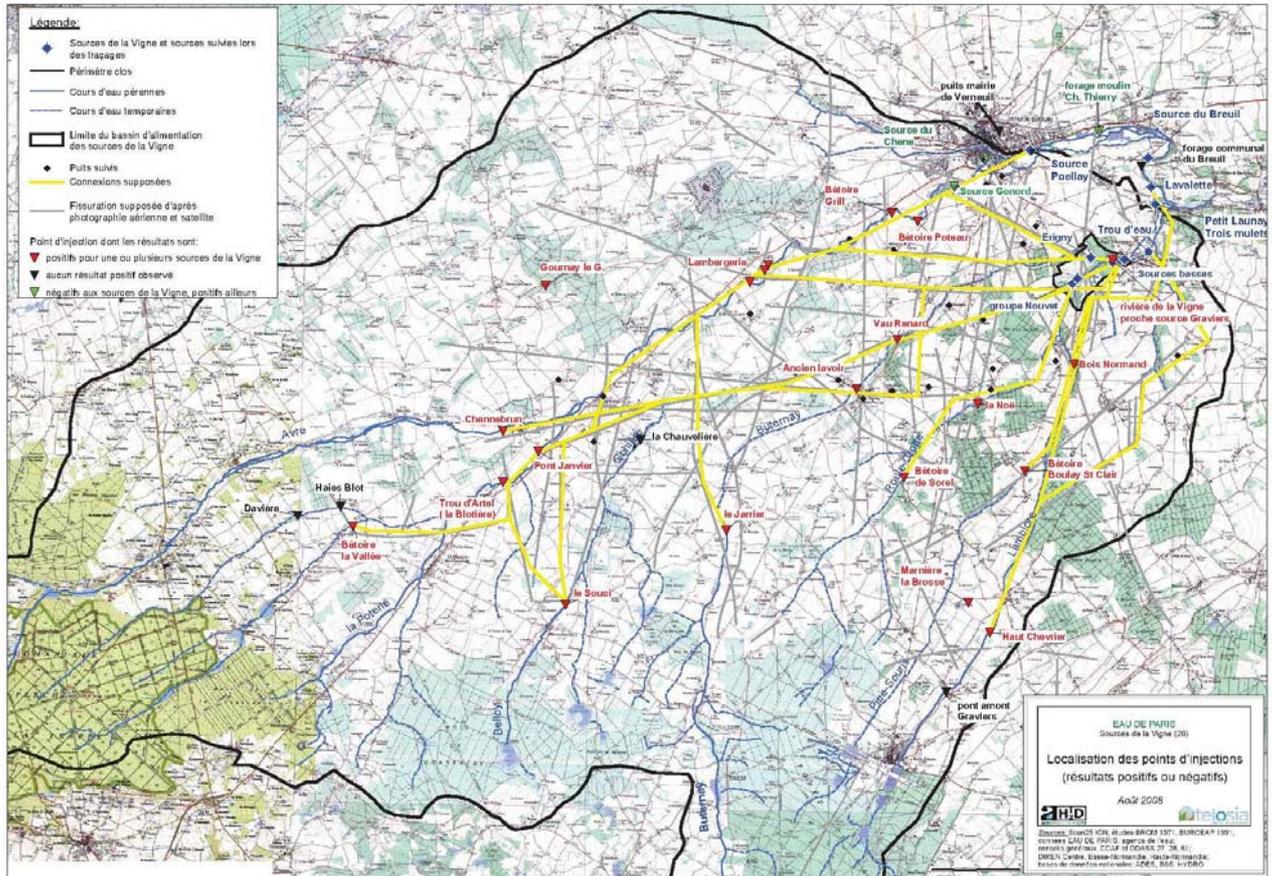


Illustration 25 : Carte des conduits karstiques supposés (en jaune sur la carte) (Ah2D, Telosia 2009 [5])

Dans la zone de perte, la nappe est "décrochée" des cours d'eau. Ailleurs, les cours d'eau la drainent (cf. 5.2 p 91). Une coupe transversale (dans l'axe de la vallée de l'Avre) a été réalisée (Illustration 26). D'après l'atlas hydrogéologique de Haute-Normandie de 2010, l'Avre serait perchée de 7 m en hautes eaux (2001) et de 16m en basses eaux (2006).

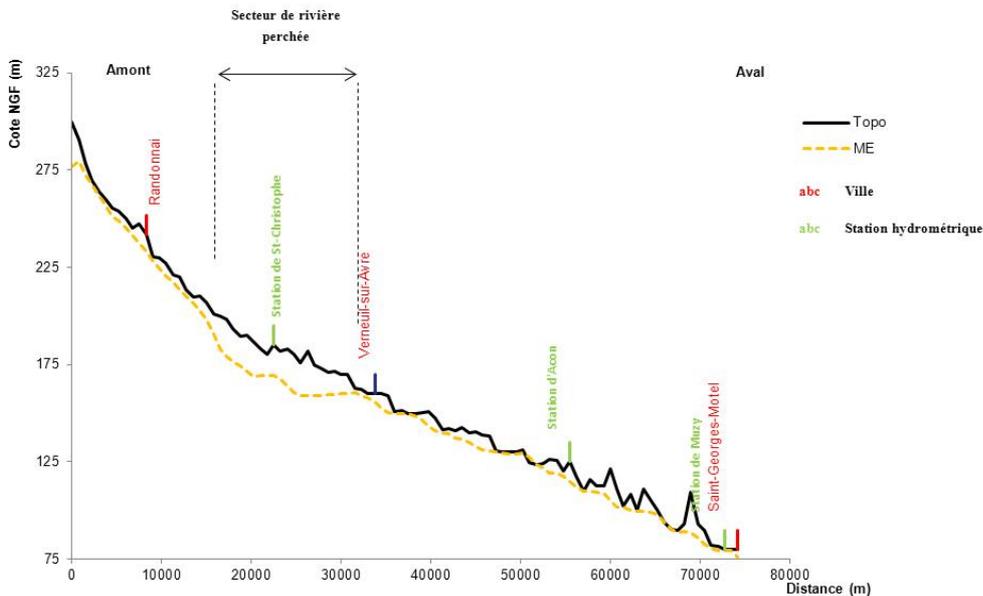


Illustration 26 : Coupe transversale (dans l'axe de la vallée de l'Avre) réalisée à partir du MNT au pas de 50m et de la piézométrie de moyennes eaux de l'Atlas hydrogéologiques de Haute Normandie 2010

Le mur de l'aquifère karstique est constitué par le Cénomaniens de perméabilité médiocre. Dans la partie amont du bassin, le dôme du Cénomaniens limite l'épaisseur de l'aquifère du Turonien qui se biseaute et donne lieu à des sources « hautes ». Celles-ci se ré-infiltrent en aval où le Turonien devient plus épais. La zone en dépression située sous la vallée de l'Avre draine les écoulements souterrains qui y convergent.

Le karst est peu profond dans la craie. Il se situe vers 30 à 40 mètres de profondeur sous les plateaux et 20 mètres sous les vallées comme dans le secteur des sources Gonord/Vigne/Breuil. Dans ce secteur, il se positionne à environ 1 mètre sous le contact argile à silex / craie [5].

A noter que dans le secteur aval du bassin, le karst est également présent sur les plateaux et en vallée. En vallée, le karst est noyé et ne provoque de ce fait pas de perte dans le lit du cours d'eau. Il a été rencontré par les forages réalisés pour le compte du syndicat de la Paquetterie.

Par ailleurs, au niveau du champ captant de Vert-en-Drouais (extrême aval du bassin), le rapport de l'hydrogéologue agréé fait état de « circulations de type karstique » dans la vallée sèche débouchant au niveau du champ captant, en rive droite de l'Avre. Des traçages à la fluorescéine ont confirmé « qu'il existait une relation hydrogéologique entre la craie fissurée de la partie haute de la Vallée Saillard et les puits du champ captant de Vert ». Malheureusement, il n'a pas été possible de retrouver le rapport

consignant la réalisation de ces tracés et donc de préciser la localisation des connexions identifiées [32].

### 3.2.3. Etude du contact entre la craie et les sables du Perche

Peu d'études portent sur la géométrie du réservoir aquifère dans la région amont du bassin de l'Avre. Une étude hydrogéologique de la région du Perche Nord a cependant été réalisée par SAFEGE en 1993 pour le compte du CG 28 [13, 14 et 15].

#### Origine et mise en place de la formation des Sables du Perche

Les Sables du Perche sont des formations d'origine détritique, issues de l'altération du massif armoricain (thèse de P. Juignet [6] et Moguedet G. [21]). Elles se sont mises en place sous l'action de courants de marées pendant le Cénomaniens supérieur.

Une variation latérale de faciès est observable au sein du Cénomaniens depuis l'amont du bassin de l'Avre vers son aval : passage du faciès Sables du Perche au faciès crayeux du cénomaniens supérieur [13].

Une flexure, par ses rejeux successifs, a conditionné l'ensemble de la sédimentation de la bordure Sud-Ouest du bassin parisien, et notamment, le dépôt de faciès détritique de bordure. Cette flexure s'accompagne de nombreux accidents structuraux qui correspondent aux failles N110 à N120 (failles de l'Eure et de Senonches), ainsi qu'aux failles N40 recoupant les précédents accidents.

Ainsi, les divers accidents structuraux ont décalé différentes unités au sein des Sables du Perche. La campagne géophysique réalisée par la SAFEGE en 1993 permet de proposer une coupe schématique dans la partie amont du bassin de l'Avre :

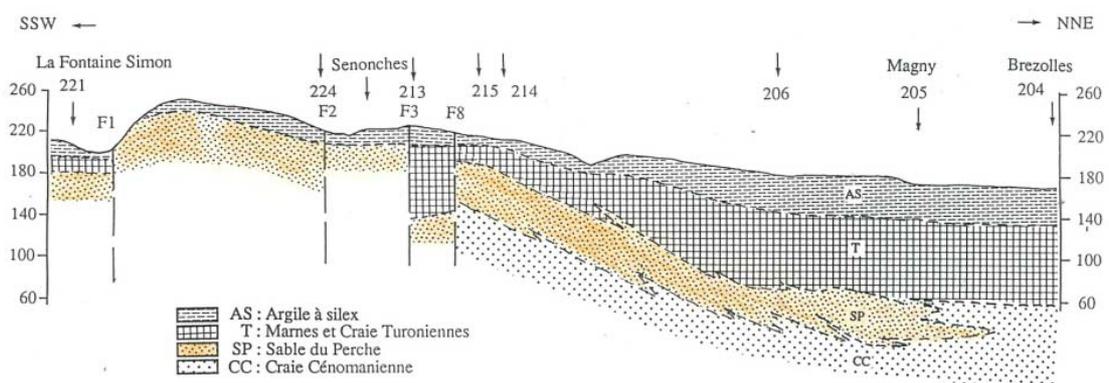


Illustration 27 : Coupe géologique schématique de la région du Perche Nord [13] (amont de la zone d'étude)

L'aquifère des sables du Perche paraît donc relevé entre la vallée de l'Eure et la faille de Senonches. Il est recouvert par l'altération de la craie turonienne en argiles à silex. Au nord de la faille de Senonches, les sables du Perche s'enfoncent et le faciès sableux disparaît. [13]

Cependant, la transition au sein du Cénomaniens entre le faciès Sableux des Sables du Perche et le faciès crayeux dans la partie Est du bassin reste encore sujette à discussions.

### Extension latérale de la formation des sables du Perche

- **Juignet [6]** place la **limite d'affleurement des Sables du Perche** au niveau de l'axe du Merlerault. Cette direction privilégiée de fracturation correspond dans notre secteur d'étude à la **faille de Senonches** (Illustration 28).

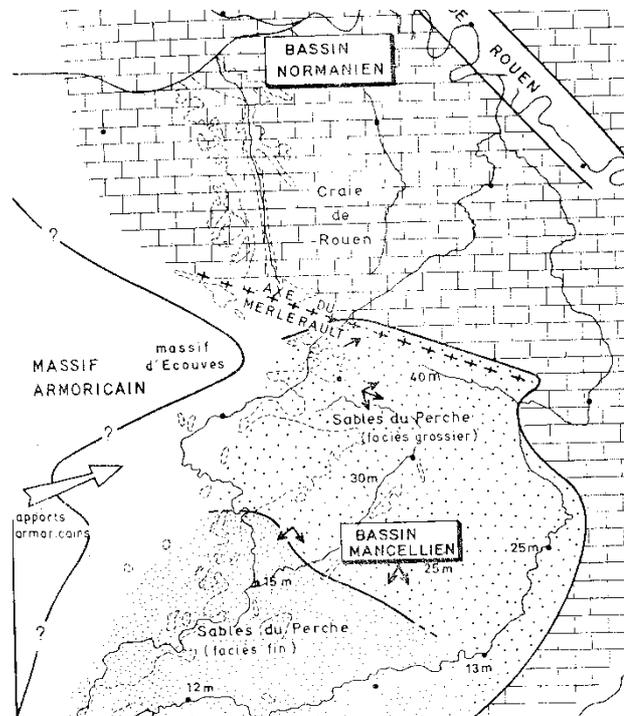


Illustration 28 : Paléogéographie Normandie-Maine au Cénomaniens supérieur (Juignet [6])

- L'étude des **coupes géologiques et des Logs validés** de la Banque de données du Sous-Sol du BRGM, montre **qu'aucun forage au Nord de la faille de Senonches ne recoupe la formation des Sables du Perche** (Illustration 29).

Au Sud de la faille, les Sables du Perche reposent sur la Craie de Rouen. Au nord de la faille de Senonches, la craie marneuse du Turonien repose directement sur la craie

de Rouen. Selon ces premières données, la formation des sables du Perche s'arrêterait donc directement au niveau de la faille de Senonches.

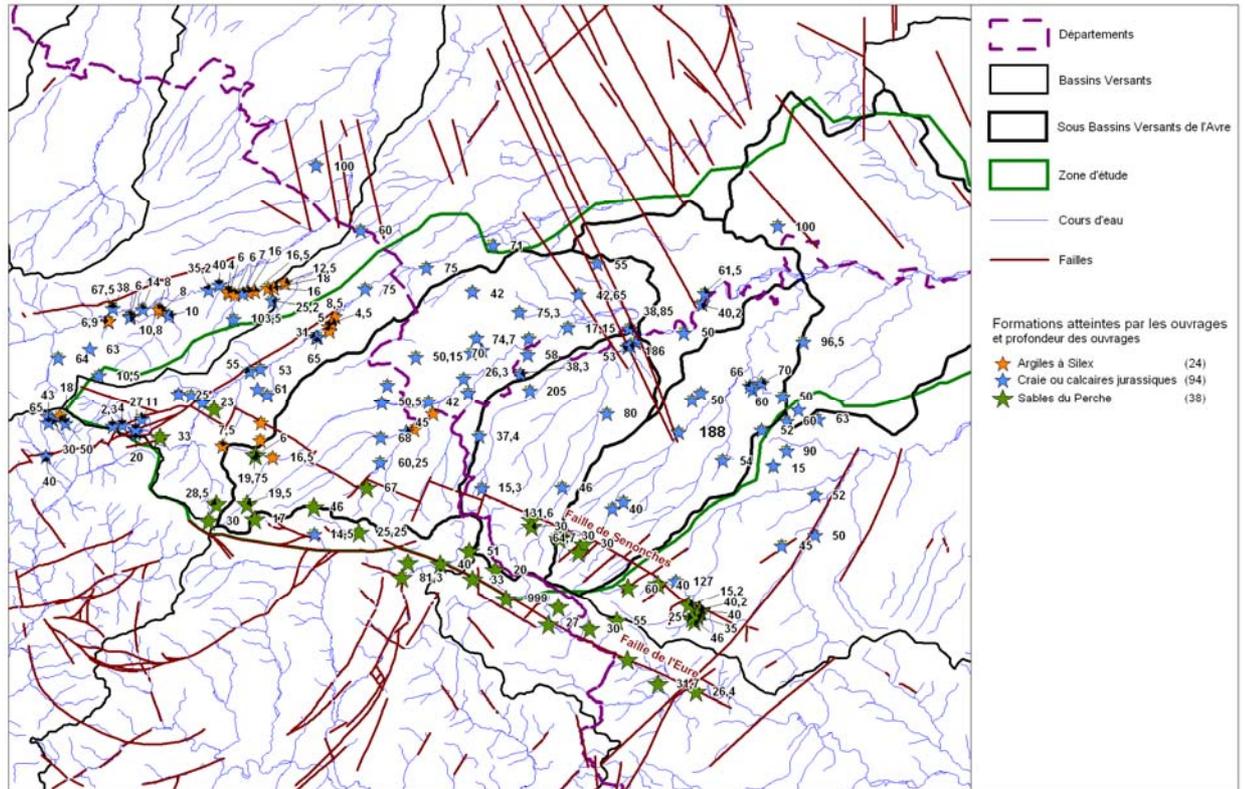


Illustration 29 : Formations recoupées par les forages dans le bassin de l'Avre (Banque du Sous-Sol)

Ces premières conclusions sont à prendre avec précaution. En effet, les forages présents en BSS ne sont pas toujours suffisamment profonds pour atteindre le toit de la craie de Rouen (ainsi si la formation des sables du Perche est toujours présente, elle est assez profonde et n'est donc pas recoupée par les forages actuellement existants).

A l'inverse, sur des **forages profonds**, des **faciès sableux** sont présents (base du Cénomanién) et sont parfois **interprétés comme appartenant à la formation de sables du Perche**. Ces mauvaises interprétations de logs de forages peuvent donc entraîner des surestimations de l'extension latérale de la formation. Sur deux forages (**02156X0001** et **02158X0004**), des épaisseurs de formations sableuses de 56 et 41 m sont observées. Ces niveaux sableux correspondent probablement à des lentilles sableuses intercalées au sein des formations du cénomanién. Ceci peut également correspondre aux formations de la base du cénomanién, ces mêmes formations sont des sables qui font la transition avec les faciès sableux de l'Albien.

- Dans l'étude de la **SAFEGE** [13], une **rupture de gradient hydraulique**, au Nord de la faille de Senonches, est notée suite à une campagne piézométrique (Mars 1992) dans la partie Sud-Est du bassin de l'Avre (Illustration 30).

Cette rupture est interprétée par la SAFEGE comme étant due à la présence de deux aquifères : l'aquifère des Sables du Perche et l'aquifère de la craie : dans les sables du perche la profondeur du niveau statique varierait entre 15 et 30 m ; dans la zone de l'aquifère de la Craie, la piézométrie serait plus profonde : entre 20 à 40 m. Ce changement de profondeur peut selon la SAFEGE amener à étendre la limite d'extension maximale de la formation des Sables du Perche au nord de la faille de Senonches.

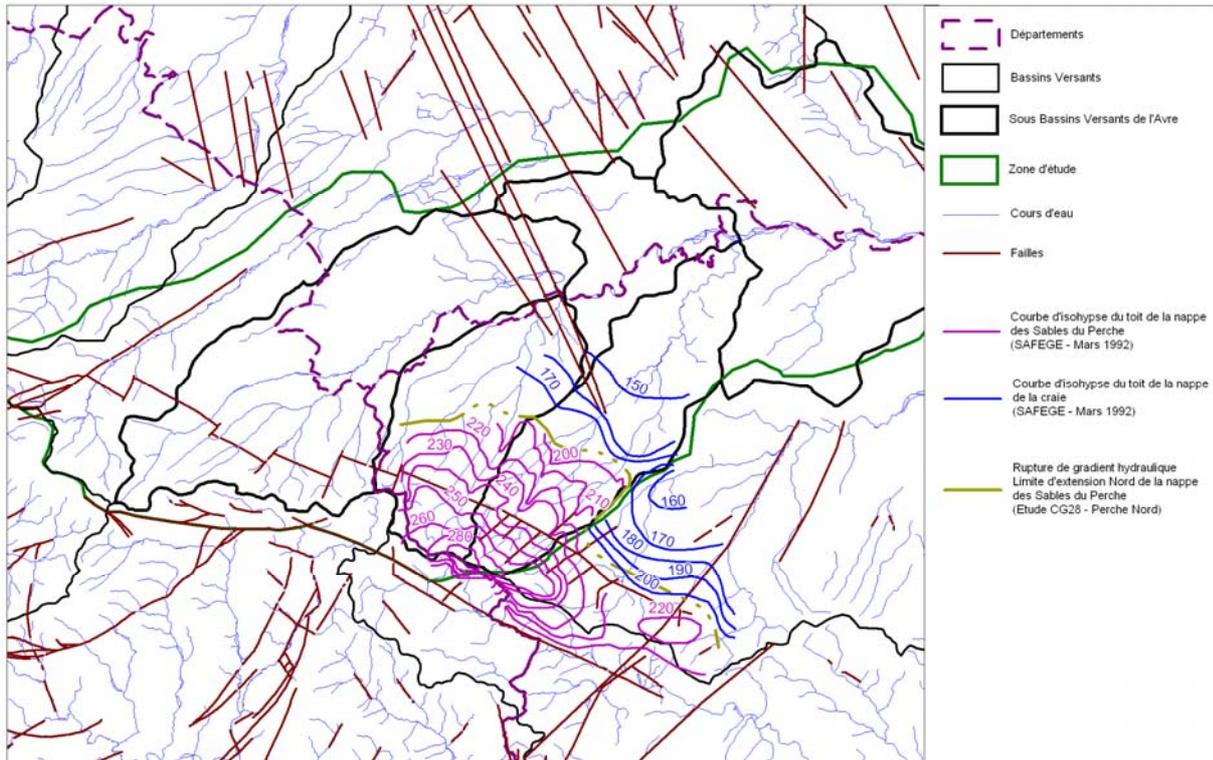


Illustration 30 : Niveaux piézométriques mesurés dans la nappe des Sables du Perche et de la Craie et délimitation de l'extension Nord de la nappe des Sables du Perche

Dans l'étude de la SAFEGE [14], divers **profils géophysiques** ont été réalisés en bordure de la faille de Senonches afin de préciser cette limite d'extension des Sables du Perche. Selon ces résultats (Illustration 31), **un faciès sableux de type Sables du Perche** reposerait sur les faciès marneux de la craie de Rouen (Cénomaniens) et **pourrait se prolonger quelques kilomètres au Nord de la faille de Senonches**. Son épaisseur diminuerait progressivement vers le Nord. Cependant, il n'a été réalisé aucun sondage de reconnaissance au Nord de la faille de Senonches pour vérifier les résultats de cette campagne géophysique et les forages en BSS, peu nombreux dans cette région, ne mentionnent pas la présence de ce faciès Sableux au Nord de la faille de Senonches.

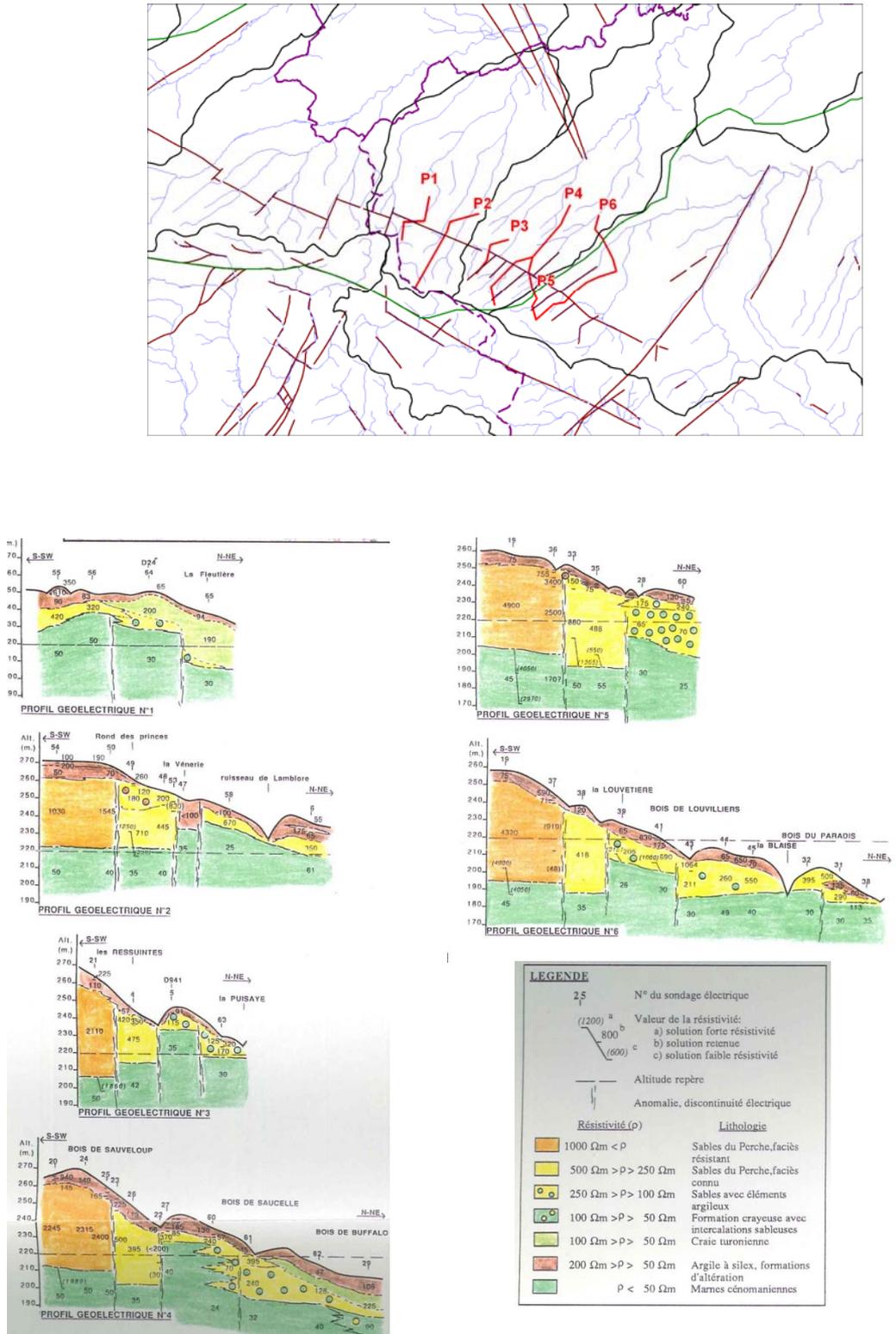


Illustration 31 : Profils géoélectriques réalisés par la SAFEGE [14] dans le secteur de la faille de Senonches

- **Compartimentation de l'aquifère en partie amont du bassin de l'Avre**

D'après la SAFEGE, les variations du gradient piézométrique permettent d'émettre l'hypothèse de la présence de deux aquifères : l'aquifère des Sables du Perche et l'aquifère de la craie. « La superposition de la limite d'extension du faciès sableux et la rupture du gradient hydraulique délimitent des zones où l'existence des deux aquifères est possible, mais non traduit dans la piézométrie, car soit le faciès sableux n'est pas atteint, soit il y a un équilibre de pression entre les deux aquifères » [13].

D'autres références bibliographiques interprètent le fort gradient piézométrique de l'extrême amont du bassin comme étant dû à la perméabilité médiocre de la craie du cénomanien.

Quoiqu'il en soit, même en présence de Sables du Perche au nord de la faille de Senonches, ces deux aquifères seraient probablement en liaison hydraulique compte-tenu de la variation continue des faciès dans le Cénomanien aux abords de la limite d'extension maximale des Sables du Perche.

Enfin, concernant la connexion hydraulique entre le compartiment surélevé (dans lequel affleurent les Sables du Perche) et le reste du bassin, certaines coupes (comme celle de la carte géologique n°0253, Illustration 32) indiquent une mise en contact entre des Sables du Perche avec une craie cénomanienne et turonienne marneuse. L'écoulement de la nappe des Sables du Perche ne serait ainsi pas facilité par un tel contact.

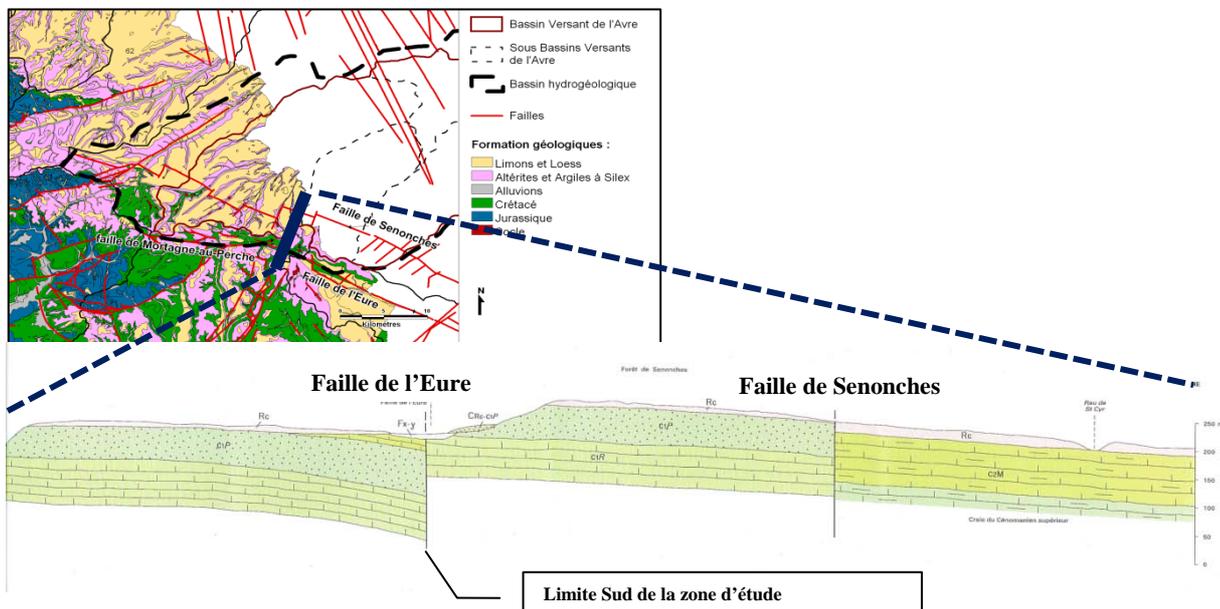


Illustration 32 : Coupe géologique au niveau de la limite Sud-ouest du Bassin : compartiment surélevé entre la faille de l'Eure et la faille de Senonches (carte géologique n°0253 La Loupe).

### **Incertitudes restantes et préconisation**

Des lacunes persistent dans la connaissance de la géologie et de l'hydrogéologie du secteur amont du bassin de l'Avre. Particulièrement concernant :

- la localisation précise de l'extension maximale des Sables du Perche : du fait de la faible densité de forages profonds et du caractère continu de cette transition, la limite d'extension maximale des Sables du Perche reste encore à préciser. Des forages profonds au Nord de la faille de Senonches pourraient être réalisés afin de vérifier la limite d'extension des Sables du Perche ;
- les liens hydrauliques entre les Sables du Perche et la craie céno-turonienne. Des traçages pourraient être préconisés depuis la formation de Sables du Perche. Une carte piézométrique précise de part et d'autre de la faille de Senonches serait à réaliser afin de mieux comprendre le fonctionnement hydrogéologique dans ce secteur.

#### **3.2.4. Coupe synthétique du réservoir**

Afin de synthétiser les différents éléments de contexte recueillis dans la bibliographie, une coupe synthétique a été réalisée. Le tracé de cette coupe est situé en plateau avec une direction parallèle à celle du cours de l'Avre (Illustration 33).

#### **Données utilisées pour la réalisation de la coupe :**

- Couches SIG (grilles) :

- Topographie : MNT au 1/50 000ème.

- Epaisseur des Argiles à Silex, Toit du céno-manien, Toit du Turonien, Mur de la Craie (Atlas Hydrogéologique Haute Normandie 2010).

- Coupes géologiques déjà existantes :

- Dans la partie amont (Sables du Perche) :

« Coupe géologique schématique », Etude hydrogéologique du Perche Nord (1<sup>ère</sup> phase), SAFEGE, Avril 1992, Etude réalisée pour la DDA de l'Eure-et-Loir.

« Coupe synthétique dans la formation des Sables du Perche », Feuille 253 : Carte géologique de la Loupe, BRGM, 1999.

- Dans le secteur des sources exploitées par Eau de Paris :

« Coupe géologique schématique dans la vallée de l'Avre », Etude hydrogéologique du système aquifère des sources de la Vigne et du Breuil, BURGEAP, 1991.

• Autres données :

- « Carte géologique au millionième du substrat mésozoïque », Cartographie numérique en géologie de surface – Application aux altérites à silex de l'Ouest du Bassin de Paris, Thèse de l'Université de Rouen, F. Quesnel, 1997.

- Logs stratigraphiques des forages du bassin de l'Avre issus de la Banque de données du Sous-Sol du BRGM.

- Données sur les bétoires-traçages-exutoires présents dans le projet de banque de données du BRGM.

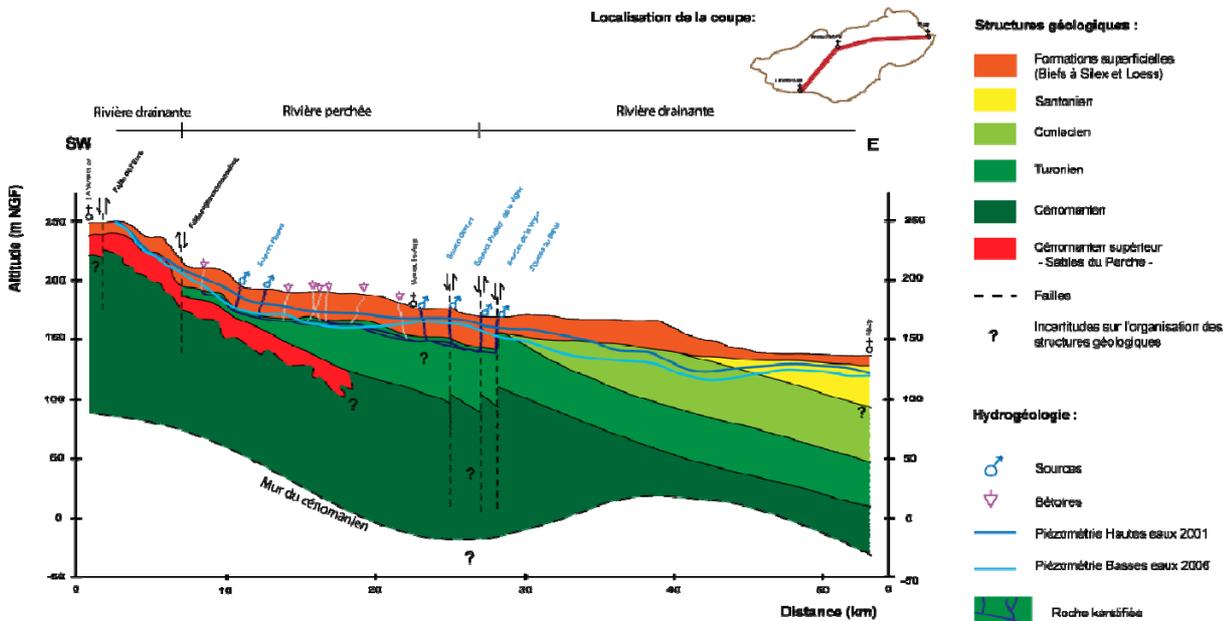


Illustration 33 : Coupe géologique et hydrogéologique simplifiée de la zone d'étude

Le bassin est constitué de formations sédimentaires crétacées. Elles sont couvertes d'une dizaine de mètres d'argiles à silex et loess ([11] et [12]).

L'organisation structurale est un monoclin à faible pendage orienté vers le Nord-est. Il y a un passage progressif des formations cénomaniennes à l'ouest aux formations du campanien à l'Est. ([11], [4], [7] et [28])

Dans ces formations crétacées, deux faciès sont à distinguer : les Sables du Perche (SP) et la craie. Les SP affleurent au Sud de la Faille de Senonches ([6]), la craie est au nord de cette dernière. L'extension latérale maximum des SP dans la craie est

inconnue. Une hypothèse est la présence de lentilles de sableuses, correspondant à un faciès de transition entre les Sables du Perche.

Il existe deux principaux secteurs avec des sources exploitées. Le premier est en amont du bassin : c'est le lieu-dit des « sources hautes ». A ce niveau, le fait que les formations du turonien se resserrent en biseau contre les argiles à silex permettrait la présence de ces sources ([3]). Le second secteur de sources est rencontré au milieu du bassin (sources Gonord, de la Vigne et du Breuil). La présence de failles qui feraient écran aux écoulements, en faisant remonter en blocs la craie imperméable du Cénomaniens inférieur contre la craie turonienne, justifierait la résurgence des eaux circulant dans les conduits karstiques ([3], [5] et [23]).

### 3.2.5. Piézométrie

Plusieurs piézomètres suivent les fluctuations de la nappe de la craie dans les bassins versants de l'Avre et de l'Iton (cf Illustration 34 : les piézomètres sont identifiés par leur indice national).

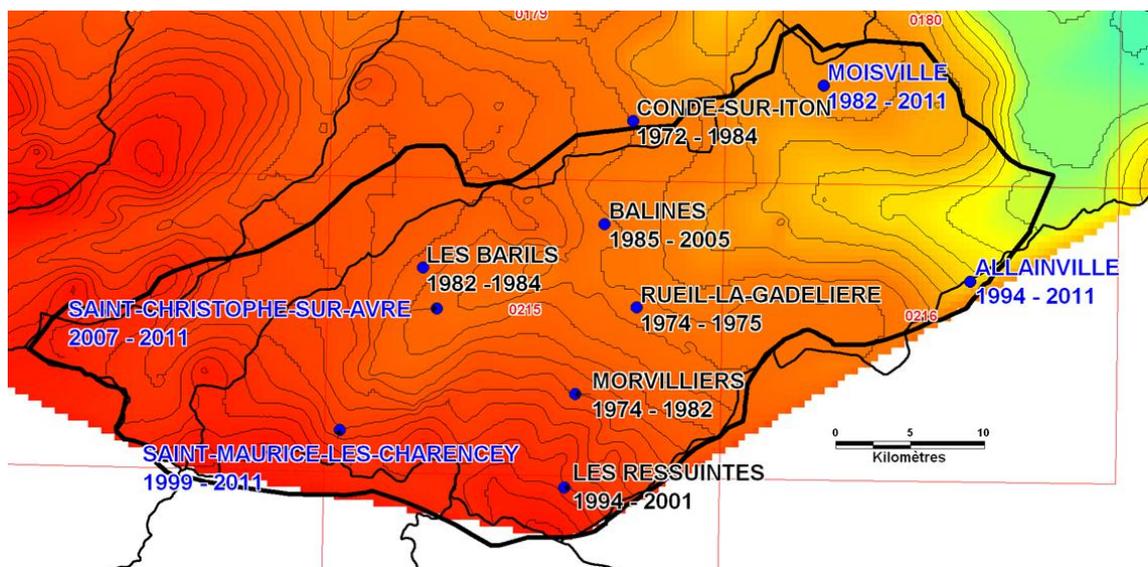


Illustration 34 : Piézomètres existants dans la zone d'étude ou à proximité et périodes de suivi

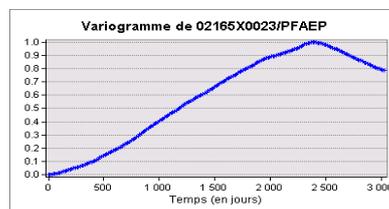
Les chroniques de ces piézomètres (Illustration 35) font apparaître une composante interannuelle très importante, particulièrement visible sur les ouvrages d'Allainville et de Crucey-village mais que l'on retrouve aussi à Moisville et à Marcilly-sur-Eure : tendance à la hausse du niveau d'étiage entre 1997 et 2001, suivi d'une tendance à la baisse de 2001 à 2007.

La composante saisonnière des fluctuations piézométriques est présente à Moisville et Marcilly-sur-Eure mais presque absente à Allainville et Crucey-village. Ceci peut s'expliquer notamment par la proximité des piézomètres d'un axe drainant, qu'il s'agisse d'une vallée humide (Marcilly-sur-Eure) ou d'un thalweg (Moisville).

Une caractérisation de chroniques piézométriques à l'aide de variogrammes temporels a été réalisée dans le cadre d'une étude nationale sur les risques d'inondation par remontées de nappes (D. Allier, 2011). Les variogrammes des piézomètres de la zone d'étude ont été récupérés et sont présentés par l'illustration 36.

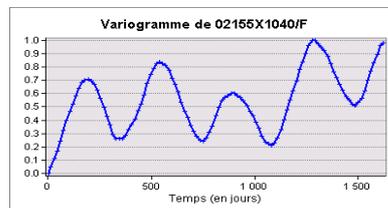
Ces variogrammes montrent qu'il existe des comportements très variés au sein de la zone d'étude :

- **pluriannuels purs** : la composante saisonnière est faible ou inexistante : les hautes eaux et basses eaux saisonnières ne se distinguent pas et la nappe a un comportement "amorti" sur plusieurs années. Dans la région, les cycles pluriannuels sont en moyenne de 7 ans comme le montrent les différents variogrammes.



(Exemple de "pluriannuel pur" dans la craie ; variogramme : portée à 2500 jours)

- **saisonniers purs** : caractéristique d'une nappe où les variations saisonnières sont très marquées avec une très faible variabilité suivant les années



(Exemple d'un "saisonnier pur" situé dans les sables du Perche -compartiment situé entre la faille de Senonche et la faille de l'Eure- ; variogramme : portée à 180 jours)

On observe enfin des piézomètres où les niveaux sont caractérisés par un mixte de ces deux types de comportement (pluriannuels avec composante saisonnière ou saisonniers avec une composante pluriannuelle).

D'après cette analyse variographique, l'aquifère des Sables du Perche aurait donc un comportement plutôt saisonnier tandis que l'aquifère crayeux aurait un comportement pluriannuel avec une composante saisonnière plus ou moins importante suivant les secteurs de la craie (fonction du degré de fracturation, d'épaisseur de ZNS,...).

Des coupes ont été réalisées autour des différents piézomètres du secteur et sont présentées par l'illustration 37, Coupe n°7.

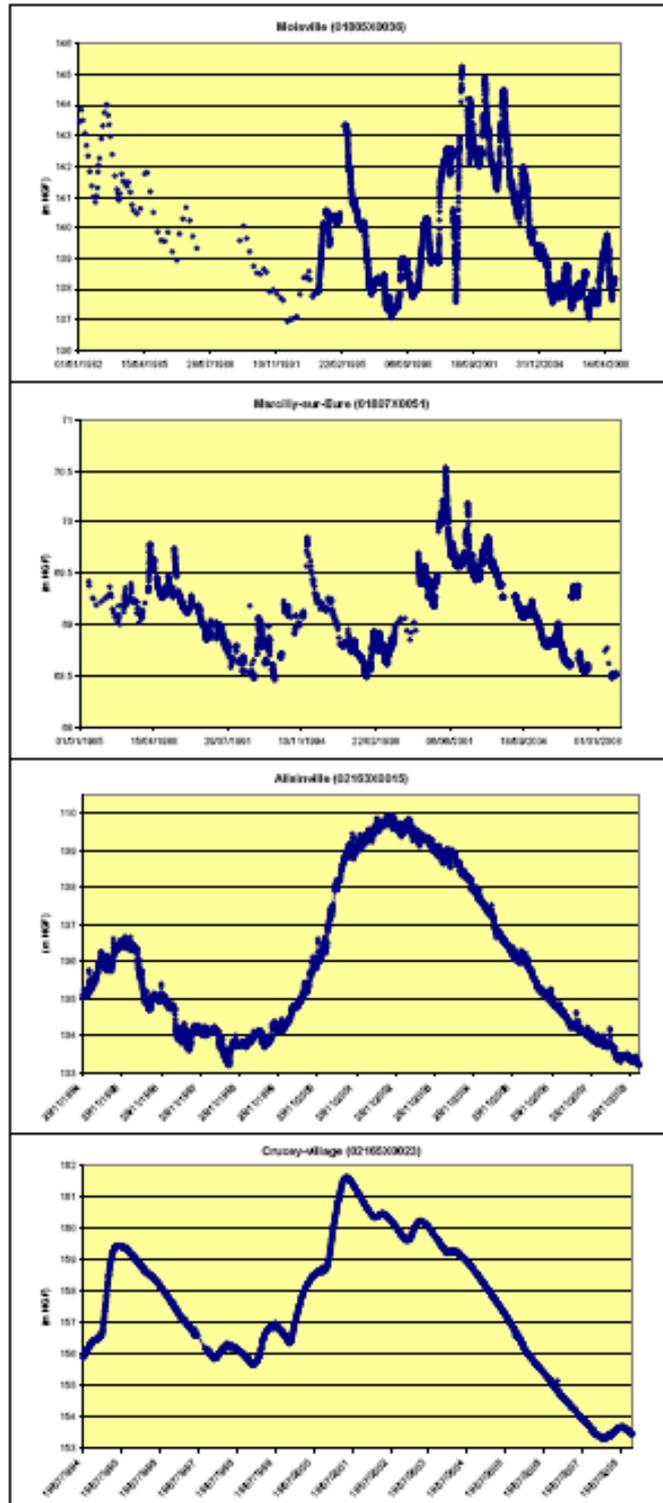


Illustration 35 : Chroniques de quelques piézomètres de la zone d'étude [32]

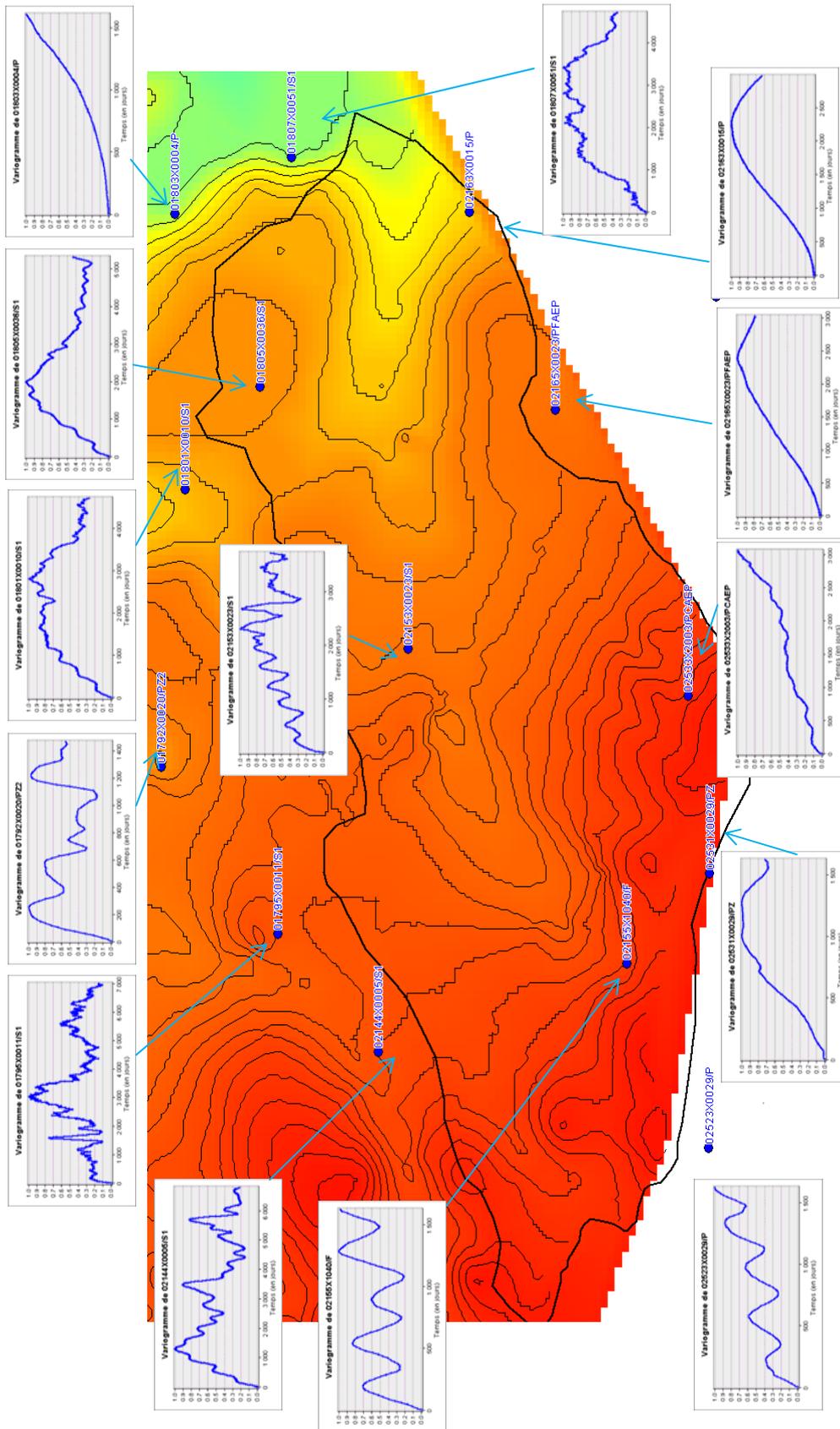
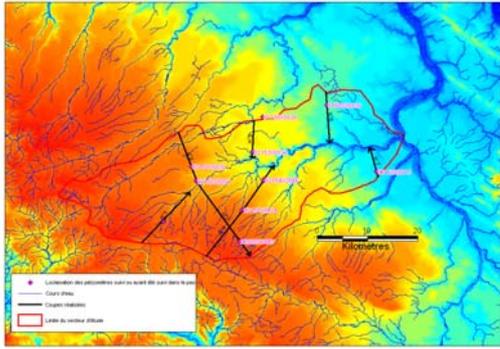
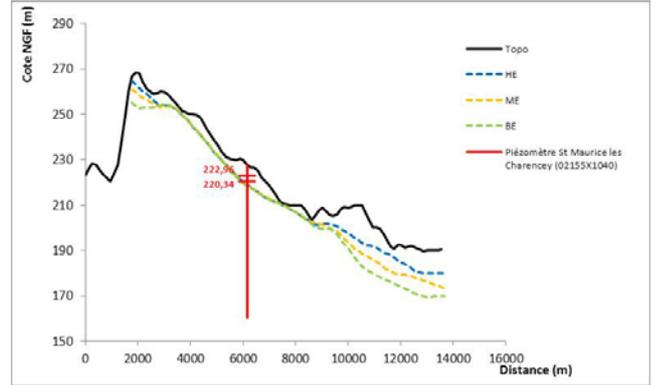


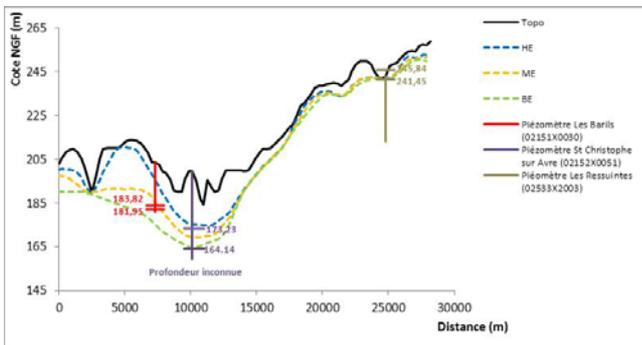
Illustration 36 : Variogramme des piézomètres du secteur du bassin de l'Avre



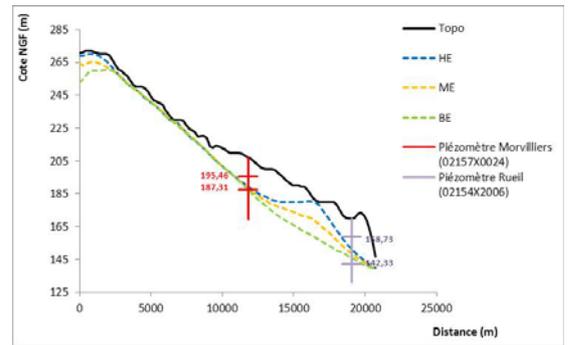
Carte de situation des différentes coupes (fond de carte MNT au pas de 50m)



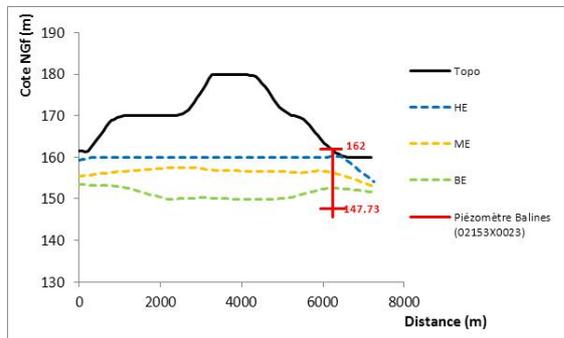
Coupe n°1



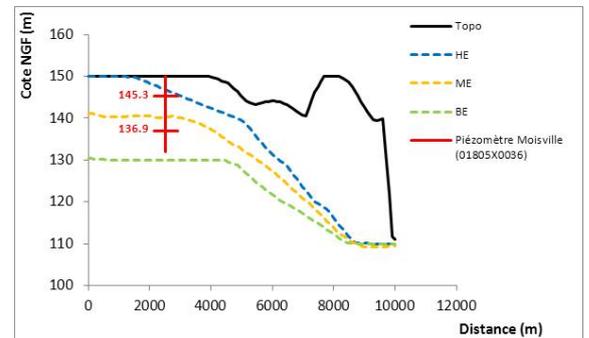
Coupe n°2 et 3



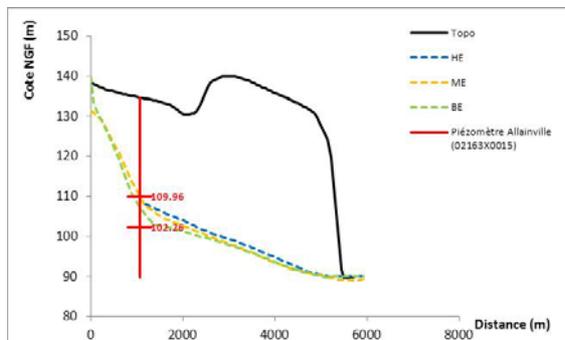
Coupe n°4



Coupe n°5



Coupe n°6



Coupe n°7

Illustration 37 : Coupes réalisées dans le Bassin de l'Avre pour situer le contexte géomorphologique de chaque piézomètre du bassin

### **3.3. CONSTITUTION D'UN JEU DE DONNEES NUMERIQUES CONCERNANT LA GEOLOGIE ET L'HYDROGEOLOGIE**

Dans le cadre de cette synthèse bibliographique géologique et hydrogéologique, des compilations de données sous SIG ont été réalisées pour :

- les données de productivité,
- la structurale (fracturation),
- le karst : les données du karst du bassin de l'Avre (secteur Orne et Eure-et-Loir y compris) ont été intégrées dans l'inventaire régional du karst de Haute Normandie. Ces données sont donc téléchargeables au format SIG via le SIGES SN.

## 4. Données météorologiques

### 4.1. VARIABILITE DES PRECIPITATIONS

L'« Analyse Utilisant le Relief pour l'HYdrométéorologie » (AURELHY) est une méthode commercialisée par Météo-France et élaborée dans les années 1980 (Benichou et Le Breton, 1987). Le calcul de la valeur climatique est effectué à partir des postes de mesures du réseau de Météo-France et de techniques statistiques qui utilisent des données topographiques permettant de caractériser les paysages environnant chaque point de calcul. Il en résulte une grille de maille 1 km fournissant en chaque point, des moyennes trentenaires (de données essentiellement pluviométriques et thermiques (températures moyennes, maximales et minimales). Le modèle AURELHY, s'il ne permet pas la caractérisation d'événements à un pas de temps fin (annuel, décadaire ou journalier), est un bon indicateur du mésoclimat régional.

Cette grille (pluviométrie moyenne annuelle 1972-2000) fait apparaître une variabilité importante de la pluviométrie à l'échelle du bassin versant de l'Avre : la pluviométrie augmente en allant vers l'ouest (la partie amont) du bassin versant, pour atteindre un peu plus de 800 mm au niveau de la crête topographique. Cette grille met en évidence une faible pluviométrie à l'aval du bassin où l'on atteint la valeur moyenne minimale observée sur l'ensemble du bassin Seine-Normandie (580 mm).

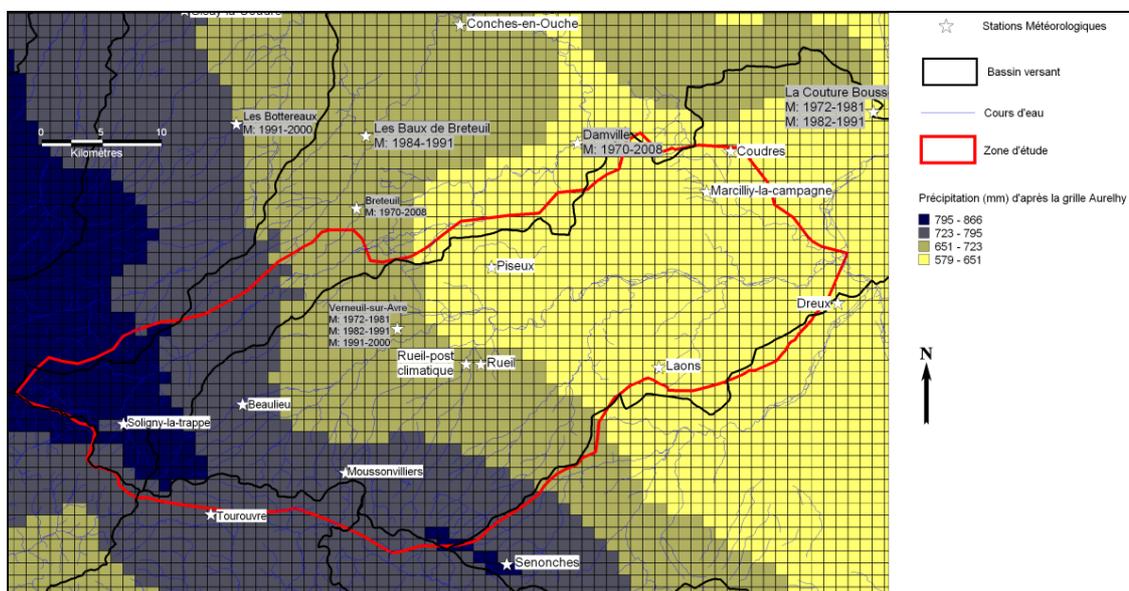


Illustration 38 : Pluviométrie moyenne annuelle selon la grille AURELHY établie par Météo France

## **4.2. SPATIALISATION DE LA PLUIE EFFICACE ET DE L'INFILTRATION A L'ECHELLE DU BASSIN DE L'AVRE**

Afin de réaliser le calcul le plus précis possible de la recharge de l'aquifère, le bassin de l'Avre a été couvert par une grille de mailles carrées de 100 mètres de côtés. Le calcul de la pluie efficace et de l'infiltration ont ainsi pu être réalisés en chaque maille et au pas de temps décadaire de janvier 1990 à décembre 2010. La pluie efficace est calculée par un bilan hydrique classique faisant intervenir la pluie, l'ETP et la capacité de rétention en eau du sol (appelée aussi "réserve utile"). L'infiltration vers la nappe (la recharge) est la part de la pluie efficace déduction faite du ruissellement.

Ce calcul spatialisé de la pluie efficace et des infiltrations a nécessité préalablement de spatialiser les paramètres nécessaires au calcul, à savoir :

- La pluie,
- L'évapo-transpiration-potentielle (ETP),
- La réserve utile des sols (RU),
- Le ruissellement

La méthode retenue pour la spatialisation de ces 4 paramètres est décrite dans les paragraphes suivants.

Les résultats en termes d'infiltration et de pluie efficace sont présentés au paragraphe 4.3.

### **4.2.1. Spatialisation de la pluie**

Même si le réseau Météo-France couvre d'une façon satisfaisante la majorité du territoire national, il ne permet pas d'appréhender la variabilité spatiale des conditions climatiques à l'échelle locale et encore moins de la cartographier. Dans la majorité des études, les données météorologiques proviennent des postes de mesure les plus proches du site d'étude, et sont transposées sans aucune transformation. Ainsi, la variabilité locale liée à la topographie ou à la latitude est rarement prise en compte.

L'utilisation des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), parfois couplée à des outils statistiques ou géostatistiques, permet le calcul de données climatiques spatialisées, qui ont pour avantage de fournir une information en tout point du territoire étudié. Les données climatiques obtenues se présentent généralement sous la forme d'un maillage régulier, chaque cellule possédant une valeur caractérisant la variable.

Pour les besoins de cette étude nous avons utilisé les données de la grille AURELHY.

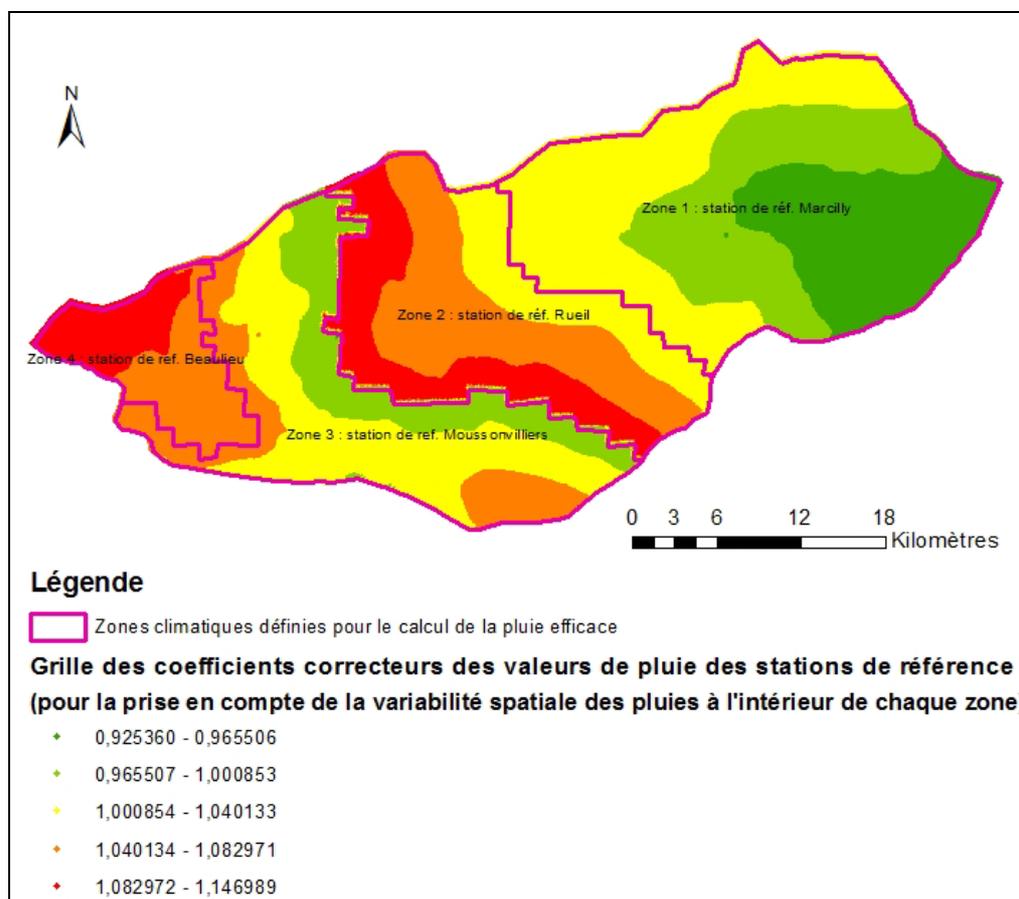
Méthodologie retenue :

La variabilité spatiale des pluies au sein du bassin de l'Avre a été étudiée à partir de la grille des moyennes trentenaire de la grille AURELHY. 4 zones climatiques ont été déterminées (cf. tableau et carte des Illustration 39 et Illustration 38). Pour chacune de ces 4 zones, une station météorologique représentative a été retenue : Marcilly, Rueil, Beaulieu et Moussonvilliers. Les chroniques pluviométriques de ces 4 stations ont été achetées auprès de Météo France.

Zones climatiques	Moyenne trentenaire (1970-2000) des précipitations	Station météorologie retenue	Code Météo-France de la station
ZONE 1	579-651 mm	Marcilly-la campagne	27390001
ZONE 2	651-723 mm	Rueil	28322003
ZONE 3	723-795 mm	Moussonvilliers	61299002
ZONE 4	795-866 mm	Beaulieu	61034001

*Illustration 39 : Détermination de 4 zones climatiques avec 1 station météorologique de référence affectée à chaque zone*

Afin de prendre en compte la forte variabilité spatiale des précipitations (entre l'amont et l'aval du bassin), un coefficient correctif a été affecté à chaque maille pour corriger le fort gradient de précipitation existant à l'intérieur de chacune de ces 4 zones (Illustration 40).



*Illustration 40 : coefficients correcteurs affectés en tout en point de la grille de la zone d'étude aux chroniques pluviométriques des 4 stations climatiques de référence pour prendre en compte la forte variabilité spatiale de la pluviométrie au sein de chacune des 4 zones climatiques définies*

Comme le montraient les moyennes trentenaires du fichier Aurelhy, des disparités sont observables en termes de répartition des pluies entre l'amont du bassin très arrosé (moyenne décadaire de 22,5 mm à Beaulieu) et l'aval plus sec (moyenne décadaire de 16,4 mm à Marcilly) (Illustration 41).

	P_BEaulieu	P_MARCILLY	P_MOUSSONVILLE	P_RUEIL-LA-GADELIERE
NBVAL	768	768	768	768
MIN	0,0	0,0	0,0	0,0
MAX	175,1	104,5	142,9	119,6
MOYENNE	22,5	16,4	21,2	17,9
MEDIANE	17,3	12,4	16,3	13,9
ECART TYPE	21,1	14,9	19,4	16,2

*Illustration 41 : Moyenne, médiane et écart type des chroniques pluviométriques (mm) des stations de Marcilly, Rueil Beaulieu et Moussonvilliers (chroniques de 1990 à 2010 au pas de temps décadaire)*

#### 4.2.2. Spatialisation de l'ETP

Météo France ne possède aucune station à l'intérieur du bassin de l'Avre suivant les paramètres nécessaires au calcul de l'Evapo-Transpiration-Potentielle (ETP). Il dispose néanmoins d'un modèle spatialisé permettant de sortir en tout point de la grille une chronique d'ETP estimée.

Pour les besoins de l'étude, les chroniques d'ETP aux points de la grille les plus proches des 4 stations de Beaulieu, Rueil, Marcilly et Moussonvillier ont été commandées au pas de temps décadaire sur la période 1990 à 2010.

Ces 4 chroniques d'ETP sont très proches de celles calculées sur la station d'Evreux. Elles sont très fortement corrélées entre elles (Illustration 43). L'ETP semble peu varier à l'échelle du bassin (Illustration 43).

**Ainsi pour la spatialisation de l'ETP, les chroniques d'ETP de chaque station seront utilisées sans coefficient correctif affecté à chaque maille de la zone climatique correspondante.**

	ETP Marcilly	ETP Rueil	ETP Beaulieu	ETP Moussonvilliers
NBVAL	7821	7821	7821	7821
MIN	0,0	0,0	0,0	0,0
MAX	9,0	8,5	8,2	8,2
MOYENNE	2,0	1,9	1,8	1,9
MEDIANE	1,7	1,5	1,4	1,5
ECART TYPE	1,6	1,5	1,5	1,5

*Illustration 42 : Moyenne, médiane et écart type des chroniques d'ETP estimées aux stations de Marcilly, Rueil Beaulieu et Moussonvilliers (chroniques de 1990 à 2010 au pas de temps décadaire)*

	ETP_Marcilly	ETP_Rueil	ETP_Beaulieu	ETP_Moussonvilliers
ETP_Marcilly	1	0,98	0,97	0,98
ETP_Rueil		1	0,98	0,99
ETP_Beaulieu			1	0,99
ETP_Moussonvilliers				1

Illustration 43 : Corrélation des chroniques d'ETP estimées aux stations de Marcilly, Rueil Beaulieu et Moussonvilliers (chroniques de 1990 à 2010 au pas de temps décadaire)

#### 4.2.3. Spatialisation des réserves utiles des sols (RU)

Concernant la spatialisation des réserves utiles à l'échelle du bassin de l'Avre, le BRGM a commandé auprès de l'unité INFOSOL de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) d'Orléans, la base de données géographique des sols de France à l'échelle du 1/1 000 000 version 1.1 du 21/12/1998.

Cette base de données géographique des sols définit des unités de sol (SMU = Sol mapping units). Chaque SMU regroupe différents types de sol (STU = Soil Typological Units) avec pour chaque STU la surface (en %) qu'il occupe au sein de la SMU.

L'unité INFOSOL a fourni au BRGM les valeurs de réserve utile en eau (en mm) pour chaque type de STU (résultats d'un de leur modèle). Les RU par SMU ont ensuite été calculées au prorata de la surface occupée par chaque STU.

Les résultats obtenus sont présentés par l'illustration 44. Les valeurs de RU varient entre 73 et 193mm.

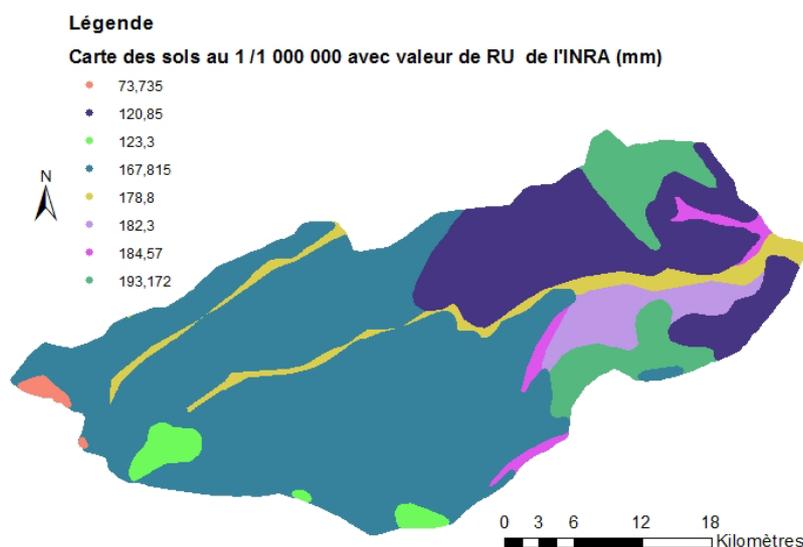
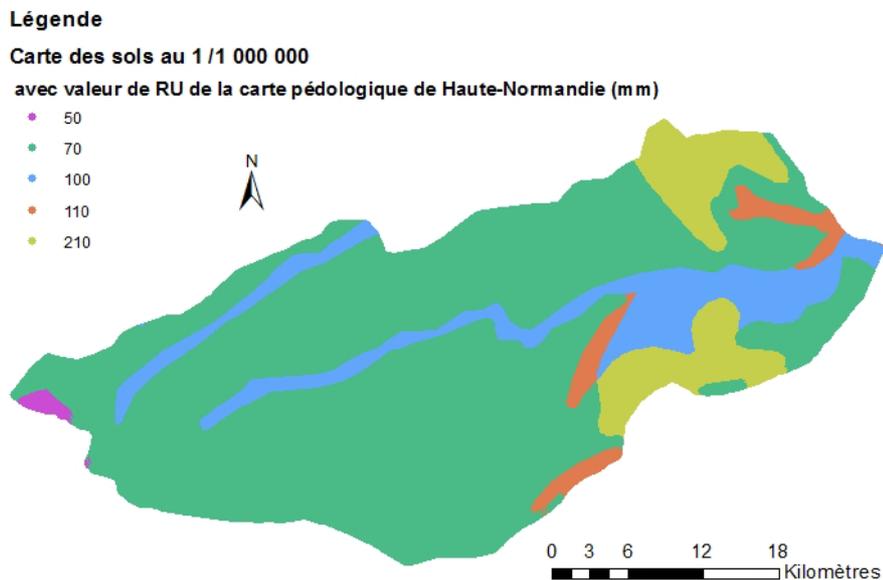


Illustration 44 : Unités de sol (SMU) de la base de données des sols de France (1 / 1 000 000) avec en légende la valeur de RU données par l'INRA

Après concertation avec la chambre d'agriculture de l'Eure, il a été décidé de ne pas retenir ces valeurs de réserve utile considérées trop importantes par rapport aux valeurs généralement admises par les experts régionaux.

Les délimitations des unités de sols de la base de données des sols de France de l'INRA ont été conservées mais à chacune de ces unités ont été affectées les valeurs de RU mentionnées dans la carte pédologique de Haute-Normandie au 1/250 000ème.

La carte des RU retenue pour le calcul de la pluie efficace est présentée à l'illustration 45. Les valeurs de RU varient entre 50 et 210 mm.



*Illustration 45 : Unités de sol (SMU) de la base de données des sols de France (1 / 1 000 000) avec en légende la valeur de RU donnée par la notice associée à la carte pédologique de la Haute-Normandie au 1 / 250 000*

#### 4.2.4. Spatialisation des ruissellements

2 méthodes ont été testées pour spatialiser les ruissellements :

- 1 méthode nécessitant la modélisation du bassin avec le logiciel STREM,
- 1 méthode utilisant l'IDPR

Ces deux méthodes sont détaillées ci-après.

### **Modélisation du bassin sous STREAM**

Dans la zone d'étude, les parcelles agricoles occupent 65% de la surface totale.

Afin de réaliser des cartes spatialisées des ruissellements à l'échelle du bassin de l'Avre, une modélisation du bassin a été réalisée avec le logiciel STREAM (Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management = imperméabilisation et transfert par le ruissellement et l'érosion en relation avec la gestion agricole). STREAM est un modèle spatialisé simulant le ruissellement et l'érosion en contexte agricole. Il calcule le flux total pour un évènement pluvieux donné.

Pour les besoins de l'étude, une licence a été demandée auprès de l'unité de Science du Sol de l'INRA d'Orléans.

Plusieurs paramètres ont du être déterminés pour l'utilisation de STREAM sur le territoire de l'étude :

- La battance,
- Le couvert végétal,
- L'infiltrabilité

L'infiltrabilité a été déterminée en fonction du type de terrain, de sa classe de battance et du couvert végétal (Illustration 46).

Pour déterminer le critère de battance, les terrains ont été regroupés par classe selon un critère géologique. Les cartes géologiques harmonisées au 50 000ième ont été utilisées. 5 grandes classes ont été réalisées (cf. tableau ci-dessous) (classe -1, 1, 2, 3 et 4). Une 6ième classe de battance (classe n°5) a été ajoutée pour prendre en compte les zones d'infiltration rapide (bétoires).

Les bétoires ont été extraites de l'inventaire régional du karst de Haute-Normandie complété sur les départements de l'Orne et de l'Eure-et-Loir pour les besoins de l'étude. Chaque bétoire a été matérialisée par un disque de 10 m de diamètre.

Afin de renseigner la couverture végétale, 2 sources de données ont été croisées : le RPG (registre parcellaire graphique = données anonymisées des déclarations PAC) et la base de données Corine Land Cover.

Pour les territoires du bassin versant de l'Avre non concernés par des parcelles agricoles, la couverture végétale a été déterminée à partir des données d'occupation du sol de Corine Land Cover (Illustration 47).

Géologie	Battance	Couvert végétal (classe)	Classe de sensibilité	Infiltrabilité (mm/h)	
				V1 (def)	V2 (fav)
Alluvions + blocs résiduels + placages sableux + galets	1	1	1	30	40
		2	2	40	50
		3	3	60	60
Craie	2	1	4	15	60
		2	5	30	60
		3	6	50	60
Colluvions/limons et Loess	4	1	7	2	40
		2	8	5	50
		3	9	10	60
Argiles à silex + Remblais	3	1	10	2	10
		2	11	10	20
		3	12	30	40
Zones urbanisées	-1	-1	13	2	2
Bétoires	5	-1	14	600	600

Illustration 46 : Valeur d'infiltrabilité attribuée en fonction du type de terrain, de la classe de battance et du couvert végétal

Code de l'occupation du sol	Libellé de l'occupation du sol	Couverture végétale attribuée
112	Tissu urbain discontinu	2
121	Zones industrielles et commerciales	1
122	Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés	1
131	Extraction de matériaux	1
142	Equipements sportifs et de loisirs	2
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	2
231	Prairies	3
242	Systèmes cultureux et parcellaires complexes	2
243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	3
311	Forêts de feuillus	3
312	Forêts de conifères	3
313	Forêts mélangées	3
324	Forêt et végétation arbustive en mutation	3
512	Plans d'eau	-1

Illustration 47 : Classes de couvert végétal attribuées aux secteurs non concernés par des parcelles agricoles

Pour les secteurs agricoles du bassin, le RPG a permis de renseigner le type de culture associé à chaque ilot PAC. Les données du RPG 2009 ont été utilisées pour la présente étude. Chaque ilot pouvant présenter plusieurs types de culture, la culture principale a été retenue pour chaque ilot.

Le couvert végétal des parcelles agricoles varie suivant le mois de l'année (période de labour, croissance de la plante, etc...). Un couvert végétal a été attribué à chaque type de culture suivant 6 scénarii (correspondant chacun à une période de l'année). Les classes de couvert végétal attribuées sont :

- 1 : couvert végétal de 0 à 20%
- 2 : couvert végétal de 21 à 60%
- 3 : couvert végétal de 61 à 100%
- -1 : non relevé

Code RPG du groupe de culture	Libellé du groupe de culture	Couverture végétale attribuée
1	Ble tendre	Selon scénario (ill. suivante)
2	Mais grain et ensilage	Selon scénario (ill. suivante)
3	orge	Selon scénario (ill. suivante)
4	autres cereales	Selon scénario (ill. suivante)
5	colza	Selon scénario (ill. suivante)
8	proteagineux	Selon scénario (ill. suivante)
9	plantes à fibres	Selon scénario (ill. suivante)
10	semences	Selon scénario (ill. suivante)
11	gel (surfaces geles sans production)	3
12	gel industriel	Selon scénario (ill. suivante)
13	autres gels	3
16	fouillage	Selon scénario (ill. suivante)
17	estives landes	3
18	prairies permanentes	3
19	prairies temporaires	3
20	vergers	3
24	autres cultures industrielles	Selon scénario (ill. suivante)
25	legumes-fleurs	Selon scénario (ill. suivante)
28	divers	Selon scénario (ill. suivante)

*Illustration 48 : Classes de couvert végétal attribuées à chaque groupe de culture du RPG*

Libellé du groupe de culture	Code RPG du groupe de culture	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6
		Novembre Décembre Janvier	Février Mars	Avril	Mai Juin Juillet	Aout Septembre	Octobre
Ble tendre	1	2	2	2	3	1	1
Mais grain et ensilage	2	1	1	1	2	3	3
orge d'hiver	3	2	2	2	3	1	1
autres cereales (Céréale printemps (orge de printemps)	4	3	1	2	3	1	2
colza	5	2	2	3	3	1	2
proteagineux (Pois printemps)	8	3	1	2	3	1	2
plantes à fibres (lin)	9	3	1	2	3	1	2
semences	10	1	1	2	3	1	3
gel (surfaces geles sans production)	11	3	3	3	3	3	3
gel industriel (tournesol)	12	1	1	1	2	3	2
autres gels	13	3	3	3	3	3	3
fourrage	16	3	3	3	3	3	3
estives landes	17	3	3	3	3	3	3
prairies permanentes	18	3	3	3	3	3	3
prairies temporaires	19	3	3	3	3	3	3
vergers	20	3	3	3	3	3	3
autres cultures industrielles (pomme de terre)	24	3	1	1	2	3	1
legumes-fleurs	25	1	1	2	3	1	2
divers	28	2	2	2	3	1	1

Illustration 49 : Classes de couvert végétal attribuées à chaque groupe de culture du RPG en fonction du mois de l'année

**Des simulations itératives ont été lancées sous STREAM pour déterminer pour chacun des scénarii, le seuil de pluie déclenchant les premiers ruissellements ainsi que le seuil de pluie déclenchant un ruissellement généralisé. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :**

	Seuil de pluie (en mm / h) déclenchant les premiers ruissellements	Seuil de pluie (en mm / h) déclenchant un ruissellement généralisé
Scénario 1	12	15.5
Scénario 2	12	15
Scénario 3	11	16
Scénario 4	20	24
Scénario 5	18	21
Scénario 6	16	23

Illustration 50 : Résultats des simulations réalisées avec le logiciel STREAM

A chacun de ces scénarii, des cartes de ruissellement ont pu être générées pour tout le bassin de l'Avre.

Afin de prendre en compte l'ensemble des cas possibles, 18 cartes de ruissellement ont été générées.

**Or si on analyse les chroniques de pluies journalières dont on dispose pour les stations de Rueil et Beaulieu, il apparait que dans 70 à 79% des cas, la pluie journalière ne provoque pas de ruissellement (cumul de pluie inférieur au seuil déclenchant le ruissellement). Entre 7% et 10% des pluies journalières provoqueraient des ruissellements faibles. Enfin 13 à 19% des pluies journalières provoqueraient des ruissellements généralisés.**

D'après ces chiffres, on pourrait conclure que les pluies provoquant des ruissellements sont minoritaires. Cependant, l'étude de l'intensité des pluies sur les stations de Rueil et Beaulieu (cf. Annexe 2) montre que :

- A la station de Rueil, en moyenne sur les 12 mois de l'année et sur les 40 ans de données, les 90% plus faibles pluies journalières n'apportent que 56% de la hauteur d'eau totale tombée à la station ;
- A la station de Beaulieu, en moyenne sur les 12 mois de l'année et sur les 21 ans de données, les 90% plus faibles événements pluvieux n'apportent que 62% de la hauteur d'eau totale tombée à la station.

Ainsi, les pluies journalières les plus intenses (celles provoquant des ruissellements) représentent une part importante de la hauteur d'eau tombée à la station.

Ces résultats sont cependant à prendre avec précaution pour plusieurs raisons :

- Les intensités instantanées des événements pluvieux n'ont pas été pris en compte : seules les données de pluie journalière étaient disponibles et non l'intensité (pluie horaire) ;
- la précision du MNT utilisé pour le modèle (mailles de 25 m) ne permet de reproduire précisément les chemins d'écoulements des parcelles agricoles empruntés par les eaux de ruissellement.

Cette méthode n'a en définitive pas pu être utilisée pour le calcul de l'infiltration car elle aboutit à un nombre trop important de cartes de ruissellement complexifiant le programme de calcul.

### Utilisation de l'IDPR

Développé par le BRGM, l'Indice de développement et de persistance des réseaux hydrographique (IDPR) vise à qualifier le caractère plus ou moins infiltrant des formations géologiques présentes à l'affleurement. Une cartographie nationale a été réalisée avec des classes de valeurs représentées par une gamme de couleurs : une valeur faible (rouge sombre) correspond à une prédominance de l'infiltration tandis qu'une valeur forte (vert foncé) indique que le ruissellement prédomine (Illustration 51).

Sur la zone d'étude, cet indice fait apparaître la prévalence de l'infiltration sur les plateaux au centre et à l'aval du bassin. Les parties amont des bassins versants de l'Avre et de l'Iton sont quant à elles plus ruisselantes. On peut expliquer cette différence par l'hétérogénéité de la formation d'Argile à Silex présente sur l'ensemble du secteur mais vraisemblablement plus perméable dans la partie aval que dans la partie amont des bassins.

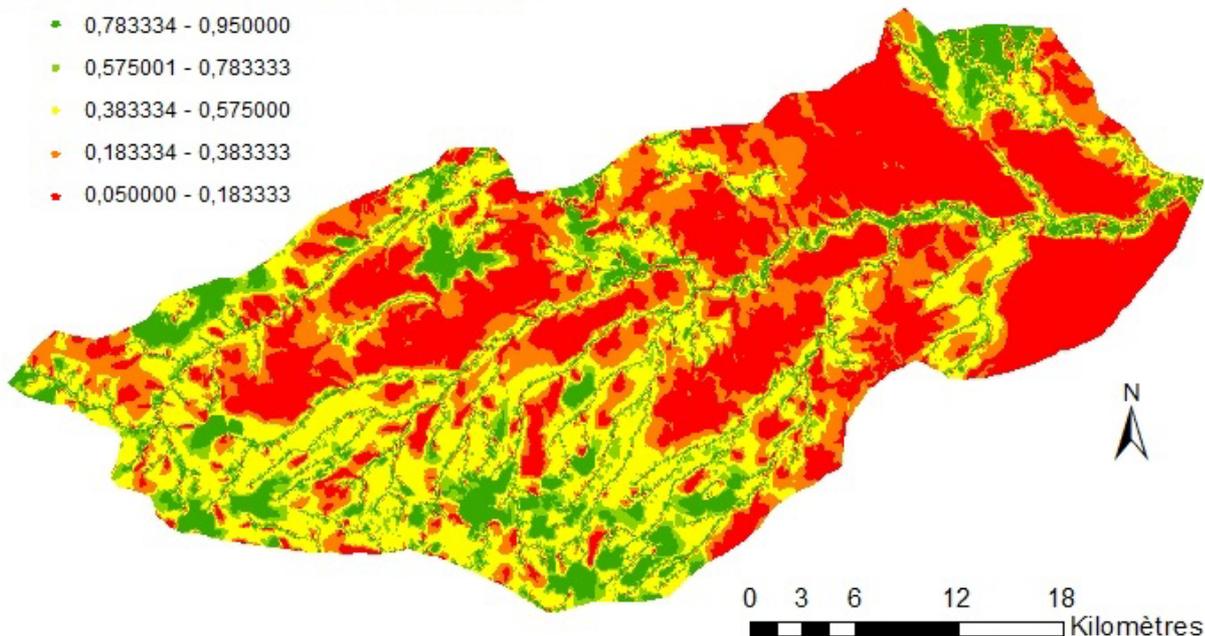
Une carte des coefficients de ruissellement a été établie en utilisant la grille d'IDPR et en établissant une correspondance entre la valeur de l'IDPR et la proportion de la pluie efficace prise en compte pour l'estimation du ruissellement (cf Illustration 52).

Valeur de l'IDPR	Signification	Proportion de la pluie efficace prise en compte pour l'estimation de l'infiltration	Proportion de la pluie efficace prise en compte pour l'estimation du ruissellement
0 – 200	Infiltration très majoritaire	95 %	5 %
200 - 400		85 %	15 %
400 - 600	Infiltration Moyenne	75 %	25 %
600 -800		65 %	35%
800 -1000		55 %	45 %
1000 – 1200		45 %	55 %
1200 - 1400		35 %	65 %
1400 - 1600	Ruissellement moyen	25 %	75 %
1600- 1800		15 %	85 %
1800 -2000	Ruissellement majoritaire	5 %	95

Illustration 51 : Correspondance utilisée entre la valeur de l'IDPR et le coefficient de ruissellement retenu

## Légende

### Carte des coefficients de ruissellement pris en compte pour le calcul de l'infiltration (coefficient déterminé à partir de l'IDPR)



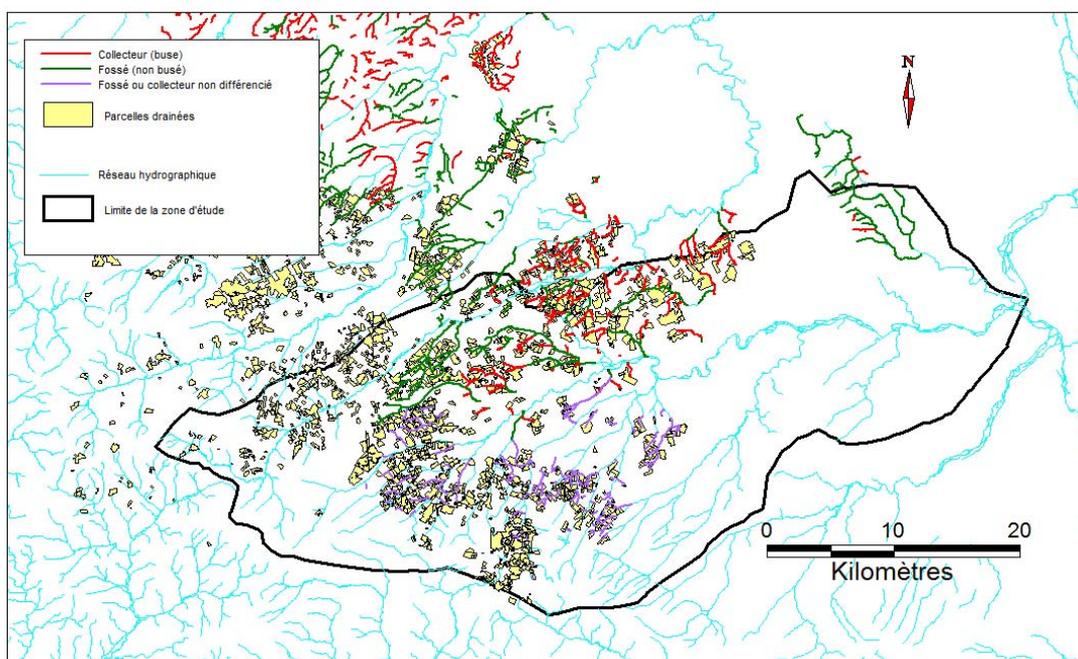
*Illustration 52 : Carte des coefficients de ruissellement pris en compte pour le calcul de l'infiltration (coefficient déterminé à partir de l'IDPR)*

Remarque : le secteur d'étude a fait l'objet dans les années 1970 de la mise en place de réseaux de drainage denses afin d'améliorer les rendements agricoles de certaines cultures. Ces drains agricoles peuvent jouer un rôle non négligeable sur le fractionnement de la pluie efficace entre ruissellement et infiltration.

Une compilation des données sur le drainage agricole a été réalisée dans le cadre de cette étude (compilation des données de l'étude Ah2D de 2008 sur le bassin versant de sources Eaux de Paris, des données du SIVA et du SAGE Iton). La compilation de ces données est présentée par Illustration 53.

L'impact de ces réseaux de drainage n'a finalement pas été pris en compte pour le calcul de l'infiltration pour plusieurs raisons :

- de nombreux drains collecteurs ont pour exutoire une béttoire ; les flux d'eau soustraits à l'infiltration par ces drains sont donc finalement réinjectés dans l'aquifère via les béttoires ;
- l'arrêt progressif de l'entretien de ces réseaux de drainage du fait de l'abandon des structures syndicales qui avaient été mises en place à cet effet, engendre un colmatage à terme de ces drains. Si ces drains ont pu avoir un impact non négligeable par le passé, leur impact futur est plus incertain.



*Illustration 53 : Réseaux de drainage recensés dans le bassin de l'Avre (remarque : pour les secteurs de la rive droite de l'Avre allant du bassin versant de la Meuvette à l'embouchure de l'Avre, aucune information n'a pu être recueillie ; l'absence de réseau de drainage sur la carte dans ces secteurs, ne signifie pas qu'il n'en n'existe pas)*

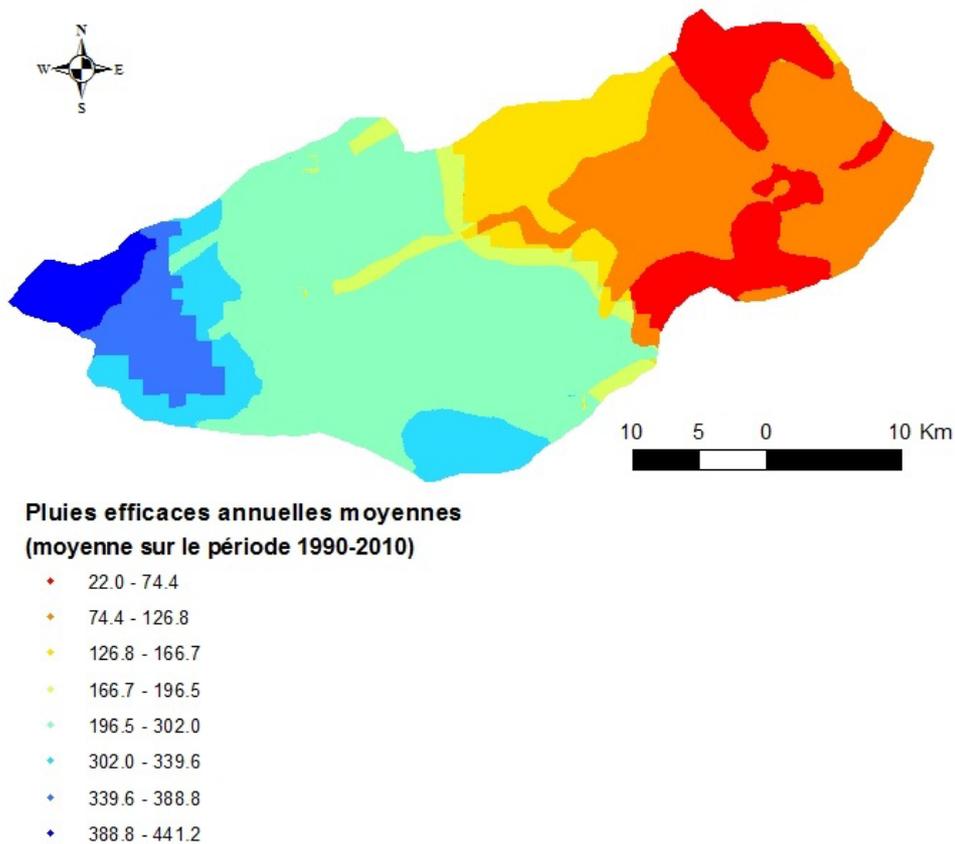
### 4.3. RESULTATS : CARTE SPATIALISEE DE LA PLUIE EFFICACE ET DE L'INFILTRATION

Comme expliqué au paragraphe précédent, la pluie efficace a été calculée en chaque maille (100m X 100m) au pas de temps décadaire de janvier 1990 à décembre 2010.

Les pluies efficaces obtenues en chaque maille ont ensuite été cumulées au pas de temps mensuel.

Les pluies efficaces mensuelles de la zone d'étude (somme de l'ensemble des mailles) sont présentées en Annexe 3 pour la période allant de janvier 1990 à 2010.

La carte de l'illustration 54 présente les moyennes interannuelles des pluies efficaces annuelles de la zone d'étude.



*Illustration 54 : Pluie efficace annuelle (mm) dans la zone d'étude (moyenne interannuelle réalisée sur la période 1990-2010)*

#### 4.4. DETERMINATION DES ANNEES DE REFERENCE POUR LE CALCUL DES BILANS

Afin de réaliser des bilans quantitatifs sur des années caractéristiques, la méthode utilisée a consisté à classer les années selon que l'hiver et l'été ont été humides ou secs.

On différencie les pluies efficaces d'hiver, qui rechargent les nappes et donnent lieu aux crues dans les rivières, des pluies d'été (juin, juillet et août) qui ne participent pas à la recharge des nappes mais constituent la part principale des eaux consommées par les végétaux.

On arrive ainsi à classer les années selon que l'hiver a été humide ou sec (supérieur ou non à la moyenne) et que l'été a été humide ou sec (supérieur ou non à la moyenne). Les Illustration 55 à 57 montrent les résultats de ce classement pour les trois zones du secteur d'étude (aval, zone centrale et amont).

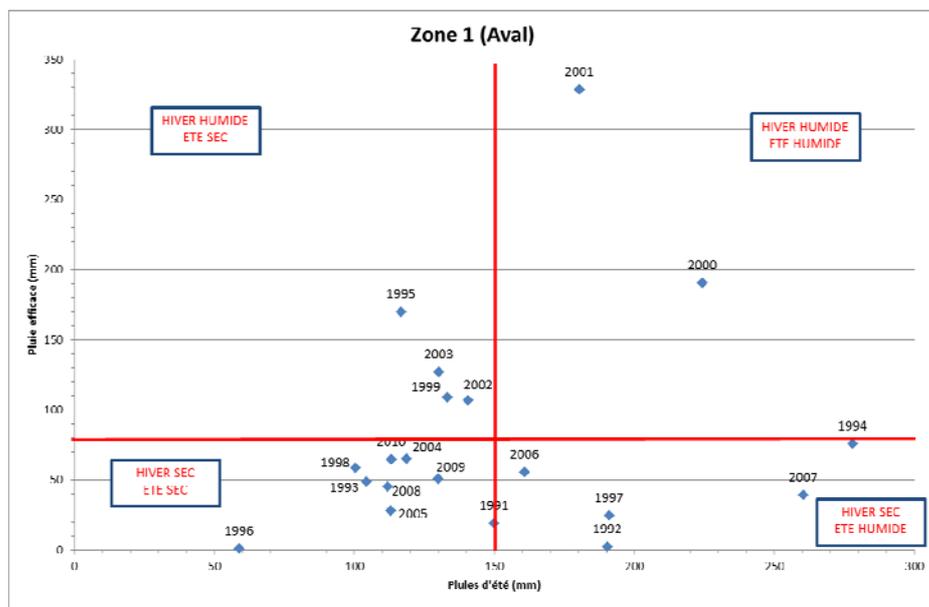


Illustration 55 : Corrélation entre les pluies efficaces et les pluies d'été (juin, juillet et août) pour la zone 1 (aval)

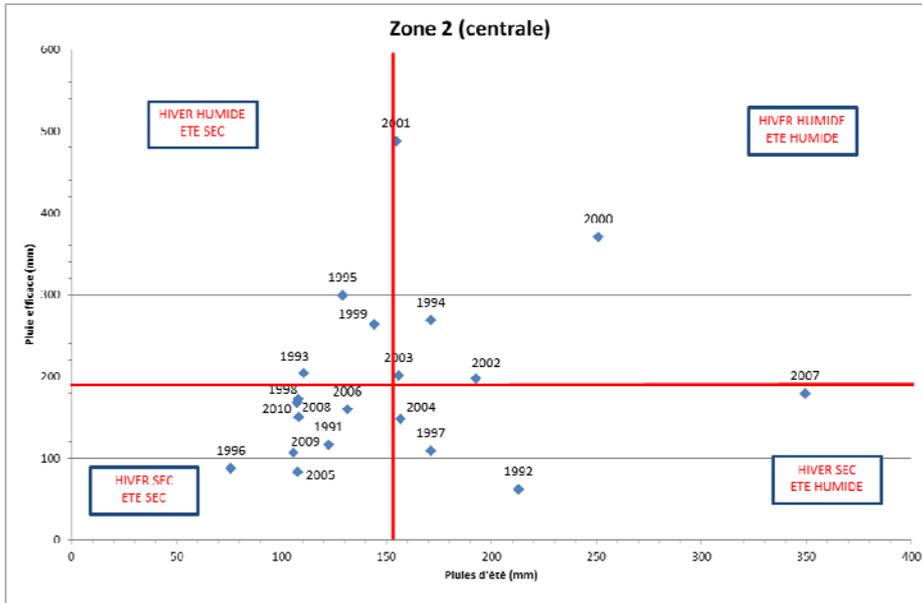


Illustration 56 : Corrélation entre les pluies efficaces et les pluies d'été (juin, juillet et aout) pour la zone 2 (centrale)

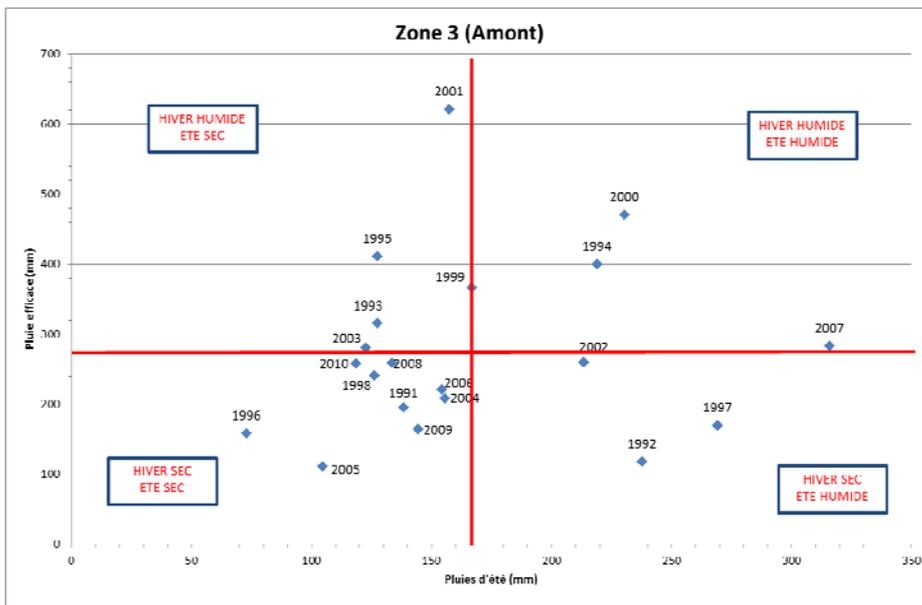


Illustration 57 : Corrélation entre les pluies efficaces et les pluies d'été (juin, juillet et aout) pour la zone 3 (amont)

Le résultat de ce classement est présenté dans le tableau ci-dessous :

	Année moyenne	Année humide (hiver + été)	Année sèche (hiver + été)
Zone 1 (Aval)	2006 (ou 1999 ou 2002 ou 2009)	2000 ou 2001	1996 (ou 2005 ou 2008)
Zone 2 (Centrale)	2003 (ou 2004 ou 2006)	2000	1996 (ou 2005 ou 2009)
Zone 3 (Amont)	2006 ou 2004	2000	1996 (ou 2005)

Cependant, étant donné le caractère pluri-annuel des fluctuations de l'aquifère de la craie (cf § 3.2.5) cette analyse n'est pas suffisante pour faire le choix des années de référence sur lesquelles seront établis les bilans.

Nous avons cherché à retenir une situation moyenne à la fois concernant la pluviométrie et le niveau des nappes (même raisonnement pour les années sèches et humides). Ainsi afin de prendre en compte l'inertie de l'aquifère, a été recherché une année moyenne qui intervenait après plusieurs autres années moyennes ) (même raisonnement pour les années sèches et humides) afin que la nappe soit en équilibre et représentative de cet état (cf. le rôle que peut jouer la nappe dans le soutien des débits des cours d'eau à l'étiage).

Les Illustration 58 à 60 montrent que :

- **le cycle hydrologique 2000/2001** est le cycle le plus représentatif d'une **situation humide** : enchaînement de trois cycles hydrologiques dont les pluies efficaces sont très largement supérieures à la moyenne. Les pluies de l'été 2001 sont proches voir supérieures aux moyennes selon les secteurs ;
- **le cycle 2003/2004** est le cycle le plus représentatif d'une **situation moyenne** : les 2 cycles précédents ont enregistré des pluies efficaces proches de la moyenne. Les pluies d'été 2004 sont également proches de la moyenne ;
- **le cycle 2008/2009** est un cycle acceptable pour représenter une **situation sèche** : les 2 cycles précédents ont enregistré des pluies efficaces très faibles au moins pour la zone avale. Les pluies d'été 2009 sont inférieures à la moyenne (même si elles ne le sont que faiblement).

Remarque : concernant le choix de l'année sèche : il aurait été préférable de retenir l'année 1996/1997 ; cependant peu de données de prélèvements antérieures à 2000 ont été recueillies. La réalisation de bilans antérieurs à 2000 semble donc difficile.

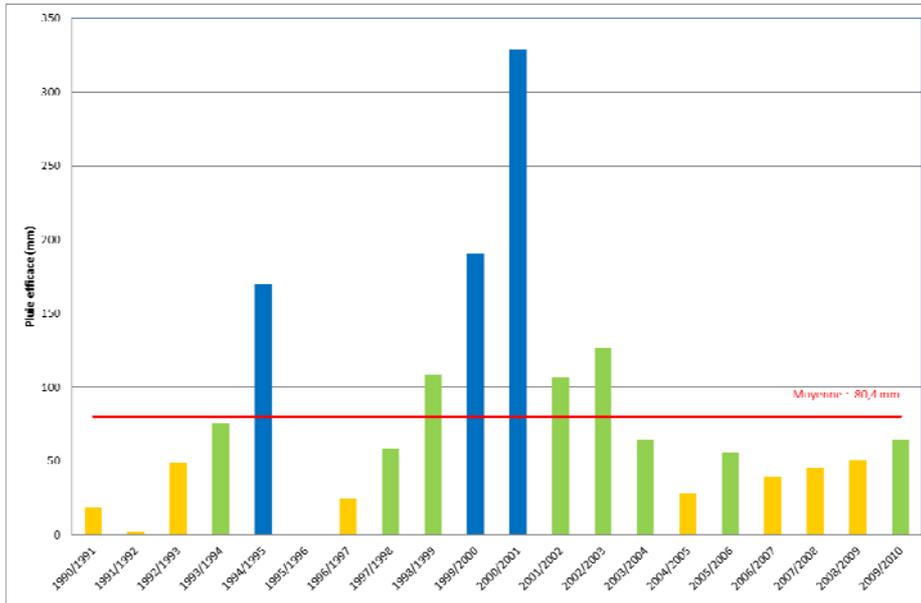


Illustration 58 : Pluies efficaces moyennes de la zone 1 (aval) (en orange les plus faibles, en vert les pluies efficaces proches de la moyenne et en bleu les pluies efficaces très supérieures à la moyenne)

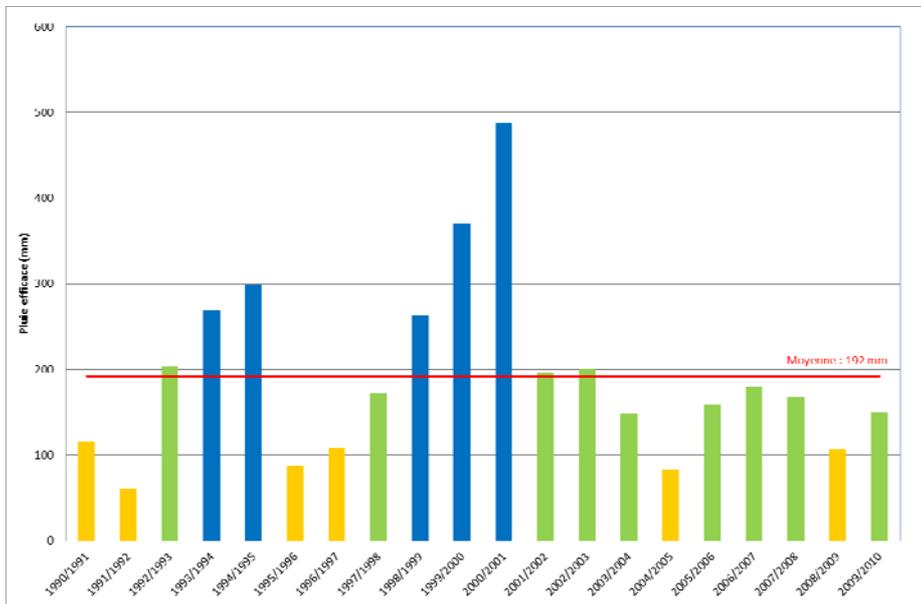
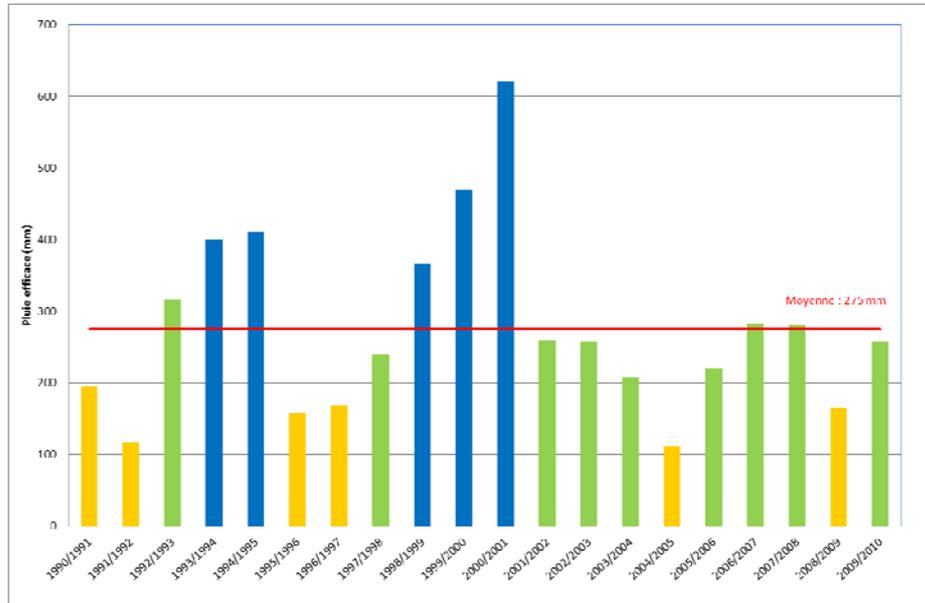


Illustration 59 : Pluies efficaces moyennes de la zone 2 (centrale) (en orange les plus faibles, en vert les pluies efficaces proches de la moyenne et en bleu les pluies efficaces très supérieures à la moyenne)



*Illustration 60 : Pluies efficaces moyennes de la zone 3 (amont) (en orange les plus faibles, en vert les pluies efficaces proches de la moyenne et en bleu les pluies efficaces très supérieures à la moyenne)*



## 5. Débits des cours d'eau

### 5.1. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN DE L'AVRE

#### 5.1.1. Les principaux cours d'eaux

Deux cours d'eau principaux drainent la zone d'étude : l'Avre et l'Iton amont. La rivière Avre prend sa source à 210 m d'altitude dans les forêts du Perche et rejoint l'Eure au nord de Dreux à une altitude de 70 m, après un parcours d'environ 80 km. Son réseau hydrographique (bras, biefs et cours d'eau principal) représente un linéaire de 191 km (données SAGE, état des lieux, p23).

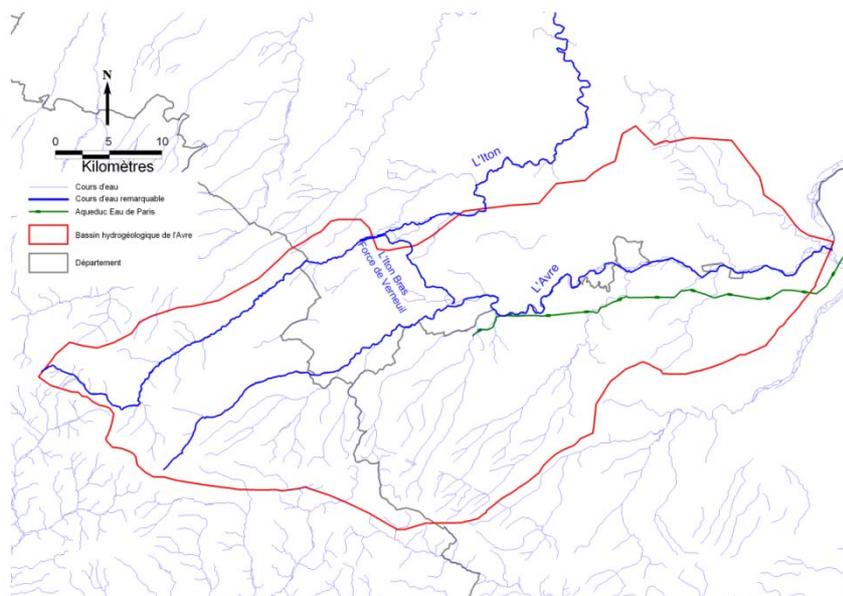


Illustration 61 : Localisation des principaux cours d'eau : L'Avre et l'Iton.

L'Avre est classé en première catégorie piscicole dans le département de l'Eure ; le tronçon entre Montigny-sur-Avre et la confluence est retenu au titre de la directive piscicole comme section à vocation salmonicole. L'Avre est aussi classé en zone sensible par arrêté du 23 octobre 1994 (Directive ERU) et en zone vulnérable nitrates (Directive n°91/676/CEE) par arrêté préfectoral du 28 février 2003.

A mi-parcours, l'Avre est rejoint par l'Iton grâce au bras forcé de Verneuil, construit par Henri 1<sup>er</sup> Beauclerc (fils de Guillaume le Conquérant) en 1120 afin d'alimenter en eau les fossés de la ville de Verneuil (Illustration 61). Par la suite, les paysans creusèrent deux dérivations (le Trou de Corne et le Trou de Botte) pour reprendre une partie de ces eaux (Illustration 62).

L'ouvrage du Becquet conditionne la répartition des débits du bras forcé de Verneuil et de Breteuil. Le bras forcé de Breteuil rejoint par deux fois l'Iton : à deux kilomètres à l'aval du Becquet, le bras forcé de Breteuil restitue une partie de ses eaux dans le thalweg de l'Iton : l'Iton naturel renaît (Vieille rivière) et à l'aval de Breteuil (point 4 sur le synoptique) après avoir reçu le Trou de Corne.

Il est à noter que le bras forcé de Verneuil a été réalisé dans un secteur où la crête topographique séparant l'Avre de l'Iton est effacée. Ce secteur correspond au synclinal de Verneuil de direction NW-SE présenté au §3.1.5.

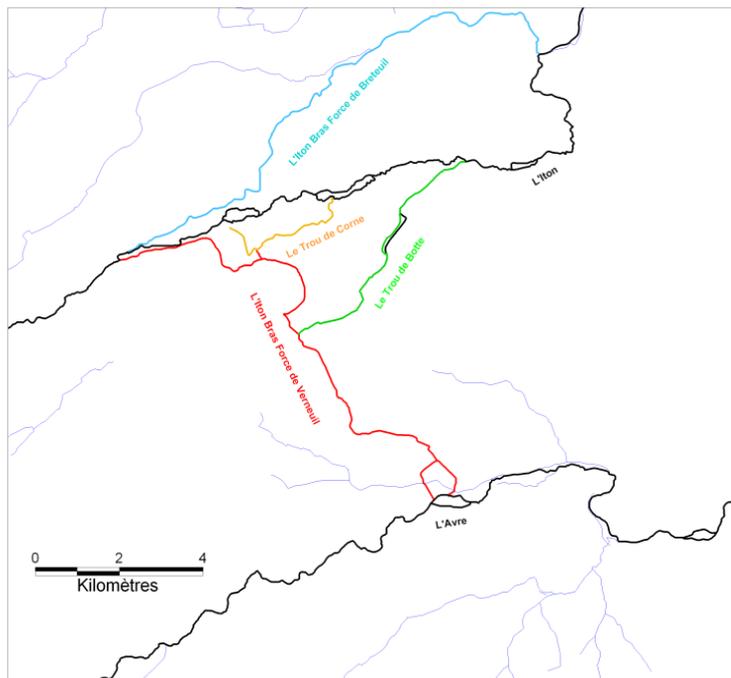


Illustration 62 : Localisation des bras forcés de Breteuil et de Verneuil, de l'Iton, de l'Avre, du Trou de Corne et du Trou de Botte

### 5.1.2. Affluents de l'Avre

Le réseau hydrographique du bassin de l'Avre est dissymétrique : en rive droite, l'Avre reçoit de nombreux affluents (la Meuvette, le Pipe Souris, le Lamblore, le Roule Crotte, la Poterie, le Charencey, et le Buterney), tandis qu'en rive gauche, l'Avre ne reçoit que très peu d'affluents (le Ruet et la Coudanne à l'aval) (Illustration 61).

Le Buternay, le Roule-Crotte, le Lamblore et son affluent Pipe-Souris sont des ruisseaux temporaires qui confluent pour donner le Ru des Vignes [30]. La Meuvette est en revanche un ruisseau pérenne [30].

Tous ces cours d'eau ont été recalibrés et redressés ainsi que leurs effluents et fossés associés dans le cadre des activités du Syndicat intercommunal du secteur rural de Senonches et du Plan d'action régional du Perche [3].

Le Ruet et la Coudanne (en rive gauche) sont aujourd'hui des cours d'eau temporaires. La Coudanne fait l'objet d'intenses sollicitations par le biais d'une dizaine de forages exploitant la nappe le long de son linéaire.

## **5.2. RELATION NAPPE / RIVIERE**

Dans des systèmes de ce type (bassin sédimentaire entaillé par des vallées) et lorsque les formations géologiques constituant les plateaux sont également présentes en fond de vallées (ce qui est le cas dans ce secteur), ceux-ci constituent généralement le lieu de l'exutoire de la nappe. Le cours d'eau et la nappe alluviale sont alimentés par la nappe.

L'Avre ne répond cependant pas à ce schéma de fonctionnement sur la totalité de son linéaire. D'après les données de bétouilles recensées dans le lit de l'Avre et les données de sources, trois tronçons hydrauliques distincts peuvent être identifiés pour ce cours d'eau (Illustration 63) :

- des sources de l'Avre à Randonnai : l'Avre naît des sources situées dans les sables du Perche puis s'écoule en direction du nord-est. Son cours traverse plusieurs étangs qui atténuent fortement sa pente naturelle (biefs artificialisés) ;
- de Randonnai/Beaulieu à Verneuil-sur-Avre : « le cours d'eau est perché par rapport à la nappe. Le substrat crayeux sous-jacent est karstifié et responsable de pertes limitant le débit jusqu'au niveau de Verneuil-sur-Avre [...]. Les étiages conduisent assez fréquemment à un assèchement de la rivière en amont de Verneuil-sur-Avre durant l'été. » (extrait de l'état des lieux du SAGE de l'Avre) ;
- de Verneuil-sur-Avre à la confluence : la rivière redevient drainante et se trouve alimentée par la nappe de la craie.

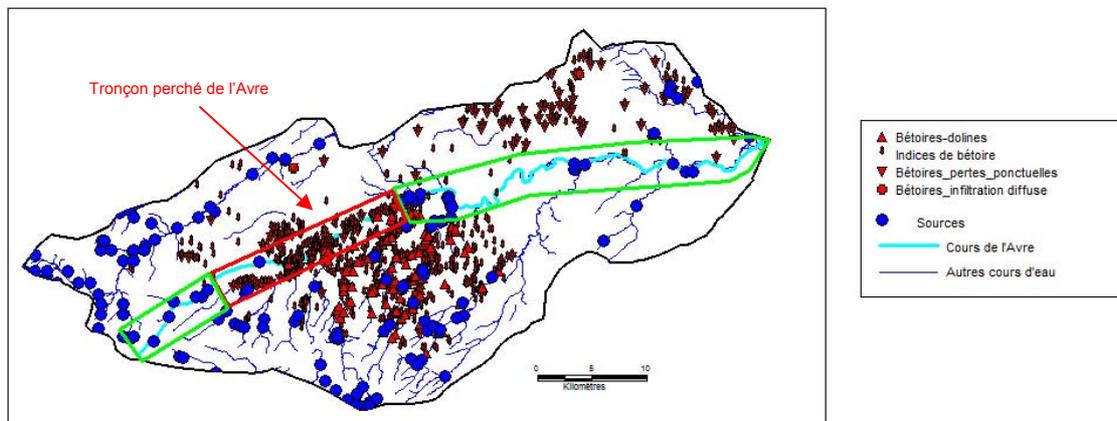


Illustration 63 : 3 tronçons hydrauliques de l'Avre

### 5.3. ELEMENTS QUANTITATIFS

Le réseau de surveillance des débits du bassin de l'Avre comprend trois stations hydrométriques (listées de l'amont vers l'aval) :

- Saint-Christophe-sur-Avre (code HYDRO : H9202020), avec un bassin versant de 109 km<sup>2</sup> et une acquisition de données ayant démarré en 2004 ; il est à noter que cette station se situe sur le secteur de l'Avre perché.
- Acon (code HYDRO : H9202010), avec un bassin versant de 495 km<sup>2</sup> et des données disponibles à partir de 1972 ;
- Muzy (code HYDRO : H9222010), avec un bassin versant de 880 km<sup>2</sup> et des données disponibles à partir de 1971.

Une carte de localisation de ces trois stations est présentée par l'illustration 68 p.96.

A Acon comme à Muzy, les basses eaux sont rencontrées en août-septembre et les hautes eaux en février (Illustration 64). Cette illustration fait apparaître l'existence d'un soutien important en période d'étiage.

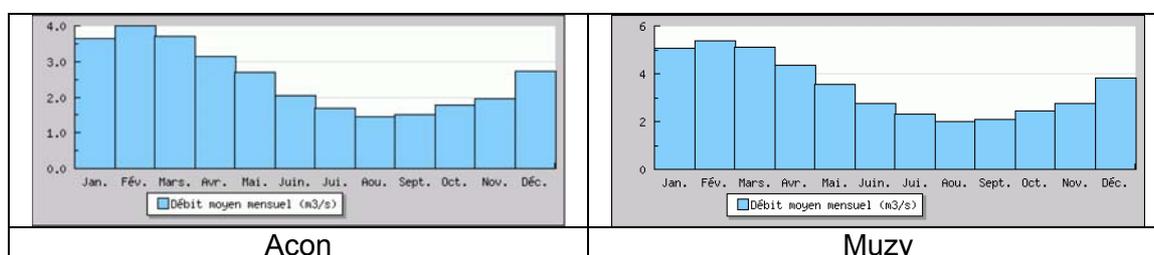


Illustration 64 : Débit moyen mensuel de l'Avre aux stations hydrométriques de Acon et Muzy (source : Banque HYDRO)

### 5.3.1. Calcul de la lame d'eau aux stations de jaugeage

L'illustration 65 ci-dessous présente les valeurs des débits caractéristiques de l'Avre aux trois stations de mesures Saint-Christophe, Acon et Muzy ainsi qu'à la station de Bourth pour l'Iton amont.

Cours d'eau	Commune	QMNA5 (m3/s)	VCN3 quinquennal (m3/s)	Surface du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Module interannuel (m3/s)	Module interannuel spécifique (L/s/km <sup>2</sup> )	Lame d'eau (moyenne 2005-2010) (mm)	Lame d'eau (moyenne tt période dispo.) (mm)	Début suivi
AVRE	St-Christophe	-	-	109	0.27	2.4	78	78	2004
AVRE	Acon	0.93	0.77	490	2.49	5.1	143	160	1972
AVRE	Muzy	1.30	1.10	880	3.42	3.9	100	122	1971
ITON	Bourth	0.30	0.26	159	1.25	7.9	191	250	1999

*Illustration 65 : Débits caractéristiques des stations de mesures (source : DREAL SRE Haute-Normandie)*

Malgré l'augmentation du débit moyen de l'amont vers l'aval (module interannuel), le débit spécifique (module inter-annuel spécifique) est plus élevé à Acon (5,1 l/s/km<sup>2</sup>) qu'à Muzy (3,9 l/s/km<sup>2</sup>). En termes de lame d'eau moyenne interannuelle cela correspond à 122 mm pour Muzy et 160 mm pour Acon. On constate donc une diminution de la part des écoulements de surface entre la partie centrale et l'aval du bassin versant de l'Avre. Ceci pourrait s'expliquer par la diminution du gradient de précipitations de l'amont vers l'aval de 30% (pluviométrie décroissante de l'ouest vers l'est, cf. §4).

Les valeurs très faibles de lame d'eau ou de modules inter-annuels calculés à Saint Christophe, s'expliquent quant à elles par le fait que cette station hydrométrique est située dans le secteur perché de l'Avre ; une partie des débits du cours d'eau est perdue au profit du compartiment souterrain au gré de la présence des bêtouilles dans le fond du lit de l'Avre. La deuxième explication de ces faibles chiffres est que la donnée pour cette station n'existe que depuis 2004 ; les moyennes sur cette période sont plus faibles que celles de la période 1972-2010, comme le montrent les lames d'eau de Muzy et Acon calculées sur les 2 périodes 2004-2010 et 1972-2010 (Illustration 65).

L'impact du karst est notable, comme le montre notamment la comparaison entre les stations de Bourth (Iton amont) et Saint-Christophe-sur-Avre (Avre amont) toutes deux situées dans le même secteur climatique. La lame d'eau à Saint-Christophe est 2,5 fois plus faible que celle de Bourth.

Les variations annuelles des lames d'eau calculées pour chaque station sont présentées par l'illustration 66.

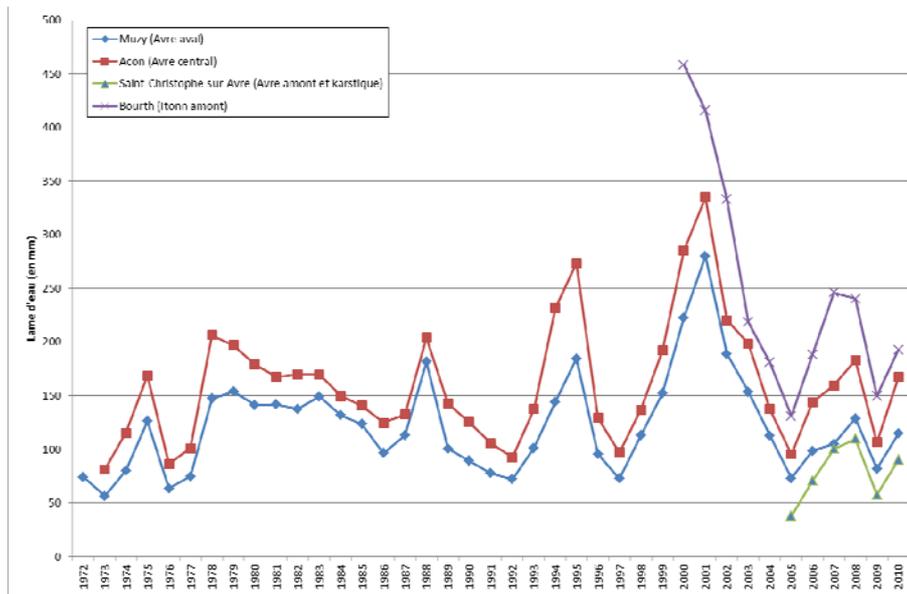


Illustration 66 : Variations annuelles des lames d'eau calculées pour chaque station de la zone d'étude

L'illustration 67 ci-dessous représente les lames d'eaux mensuelles interannuelles des trois stations de suivi de l'Avre calculées sur la période 2005-2010 (afin d'avoir une période de calcul homogène pour les trois stations). Il apparaît que l'étiage est plus prononcé à Saint Christophe qu'à Acon et Muzy du fait des pertes karstiques (la nappe n'intervient pas en soutien du débit pendant la période estivale contrairement aux deux autres stations). Par ailleurs, on note que la courbe de Saint Christophe présente un profil particulier :

- pendant les mois d'hiver (de décembre à mars) : la lame d'eau est importante et même supérieure à celle de Muzy ;
- à partir du mois d'avril, la lame d'eau chute brutalement et demeure très faible pendant tous les mois d'été.

Ce comportement pourrait être expliqué par le caractère karstique de ce secteur. En effet pendant l'hiver, ce secteur amont de l'Avre est très arrosé, les ruissellements sont probablement très supérieurs aux capacités d'engouffrement des pertes karstiques, ce qui expliquerait une lame d'eau importante pendant les mois d'hiver. Durant les mois d'été, en revanche la pluviométrie est plus faible et la nappe n'intervient pas en soutien des débits dans ce secteur : la lame d'eau chute alors fortement. Ce fonctionnement hydrologique expliquerait la courbe d'évolution mensuelle très étirée à Saint-Christophe-sur-Avre.

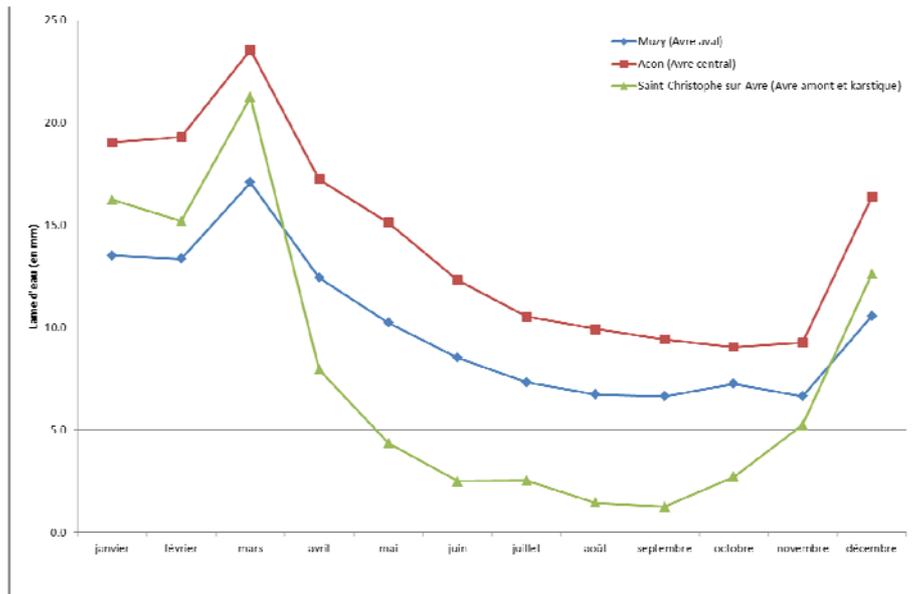


Illustration 67 : Lames d'eau mensuelles interannuelles calculées pour les trois stations de mesure de l'Avre sur la période (2004-2010)

### 5.3.2. Calcul des débits naturels de l'Avre

Entre les stations de Saint-Christophe-sur-Avre et d'Acon, se situe, le long de l'Avre, une importante zone de résurgence : les sources du Breuil, de la Vigne, Gonord...

Certaines de ces sources (sources du Breuil et source de la Vigne) font l'objet de prélèvements importants (11,6 Mm<sup>3</sup> par an en moyenne) pour l'alimentation en eau potable de la ville de Paris (cf. §6 et Illustration 68). La source Gonord est exploitée par la ville de Verneuil-sur-Avre. S'agissant de prélèvements de source, leurs impacts s'observent sur la portion du cours d'eau située à l'aval (les portions de l'Avre situées à l'amont ne sont pas impactées par ces prélèvements).

Par ailleurs, la ville de Paris possède également un champ captant sur la commune de Vert-en-Drouais à l'aval de la station d'Acon et à l'amont de la station de Muzy (carte de localisation à l'illustration 68). Ces prélèvements sont en revanche réalisés par forages dans la nappe phréatique. Leur impact se manifeste sur le secteur compris entre la portion de nappe située dans le bassin hydrogéologique de ce captage et la rivière. Le rapport d'études de la délimitation du BAC de ce captage (BRGM/RP-58587-FR) estime que le débit issu de la rivière représente entre 8% et 30% du débit exploité (selon le degré de colmatage du lit de la rivière).

Ces 2 zones de prélèvements représentent ainsi en moyenne 10% et 13% des volumes annuels enregistrés respectivement aux stations de Muzy et d'Acon. Pour cette raison nous avons reconstitué par calcul les débits naturels de l'Avre à ces stations en prenant en compte tous les prélèvements d'eau de surface et d'eaux souterraines (sources et forages) réalisés autour du cours de l'Avre (zone tampon d'1 km) (exploitation par les syndicats d'eau de la Paquetterie, Dreux agglomération, St Remy-sur-Avre, Mairie de Dampierre sur Avre, SAEP Verneuil Est, SEPIA, Mairie de Randonnai, et les quelques industriels et producteurs agricoles).

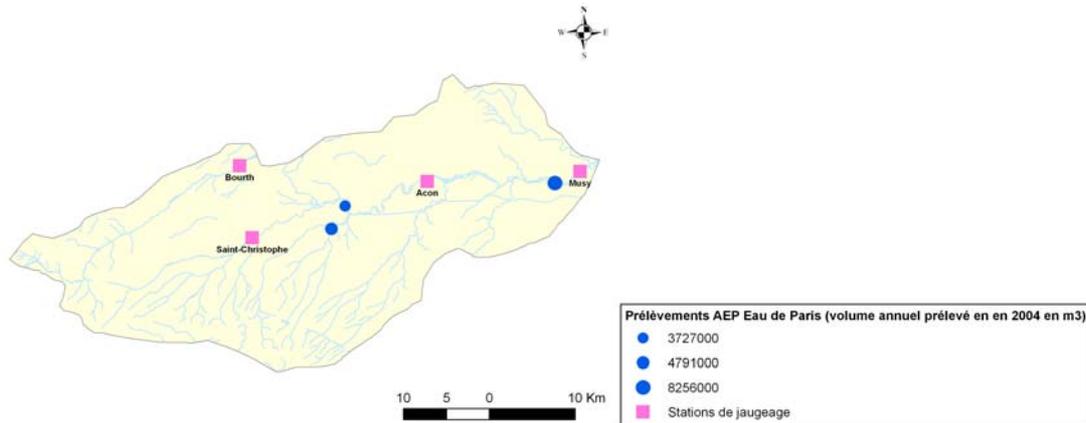


Illustration 68 : Situation des prélèvements Eau de Paris et des stations de jaugeage de la zone d'étude

Le bilan des prélèvements situés à proximité de l'Avre ont été sommés par secteur (secteur 3 = amont de Saint-Christophe-sur-Avre, d'Acon et de Muzy ; secteur 2 = amont d'Acon et de Muzy ; secteur 1 = amont de Muzy) et sont présentés par l'illustration 69. La totalité des prélèvements réalisés sur des sources ou en eau de surface et 10% (en première approximation) des prélèvements réalisés sur forages seront rajoutés aux débits mesurés aux stations.

Volume annuel prélevé (m3)								
	Prélèvements par forage				Prélèvement eau de surface ou Source			
	Secteur 1 (Prélèvement usage Bassin)	Secteur 1 Prélèvement usage EDP)	Secteur 2 (Prélèvement usage Bassin)	Secteur 3 (Prélèvement usage Bassin)	Secteur 1 (Prélèvement usage Bassin)	Secteur 2 (Prélèvement EDP)	Secteur 1 (Prélèvement usage Bassin)	Secteur 3 (Prélèvement usage Bassin)
<b>2000</b>	1 196 130	7 553 000	173 533	46 803	3 610	7 981 000	94 670	59 052
<b>2001</b>	2 291 825	7 666 000	651 496	67 089	3 940	10 663 000	712 134	56 375
<b>2002</b>	2 052 794	8 154 000	729 965	96 225	39 030	7 700 000	735 226	56 596
<b>2003</b>	4 050 135	8 249 000	718 084	74 133	38 040	10 991 000	687 372	55 718
<b>2004</b>	2 873 069	8 959 000	728 692	76 778	28 560	18 203 000	706 326	57 935
<b>2005</b>	2 636 847	8 156 000	691 352	83 305	28 620	12 542 000	656 345	57 248
<b>2006</b>	2 656 927	6 462 000	577 889	76 124	6 270	3 878 000	624 041	60 375
<b>2007</b>	2 392 097	7 913 000	744 614	52 128	1 460	10 737 000	630 760	64 562
<b>2008</b>	1 933 071	7 508 000	513 987	68 891	2 650	13 137 000	338 119	67 452
<b>2009</b>	1 716 886	6 475 000	598 160	64 546	0	15 472 000	50 587	60 861
<b>2010</b>	1 653 086	7 313 000	596 972	43 317	0	4 158 000	224 167	53 902
<b>Moyenne</b>	<b>2 313 897</b>	<b>7 673 455</b>	<b>611 340</b>	<b>68 122</b>	<b>13 835</b>	<b>10 496 545</b>	<b>496 341</b>	<b>59 098</b>

*Illustration 69 : Volume annuels prélevés par les ouvrages de prélèvement situés à proximité du lit de l'Avre*

Les débits naturels ainsi reconstitués sont supérieurs aux débits mesurés de 13,9% pour Muzy, 15,9% pour Acon et de 0,9% pour Saint-Christophe-sur-Avre (moyenne 2005-2010) (Illustration 70 et Illustration 71). **Les débits mesurés à la station de Saint-Christophe-sur-Avre semblent donc être des débits naturels.**

	Muzy	Acon	St Christophe
<b>2000</b>	4.6%	5.7%	
<b>2001</b>	5.1%	6.5%	
<b>2002</b>	5.8%	7.2%	
<b>2003</b>	9.7%	11.3%	
<b>2004</b>	20.4%	27.0%	
<b>2005</b>	22.5%	26.9%	1.6%
<b>2006</b>	6.4%	5.6%	0.9%
<b>2007</b>	13.6%	13.8%	0.6%
<b>2008</b>	12.8%	14.6%	0.6%
<b>2009</b>	22.9%	29.6%	1.1%
<b>2010</b>	5.3%	5.2%	0.6%
<b>moyenne (2005-2010)</b>	13.9	15.9	0.9

Illustration 70 : Ecart entre les débits annuels reconstitués et les débits mesurés aux trois stations de suivi de l'Avre

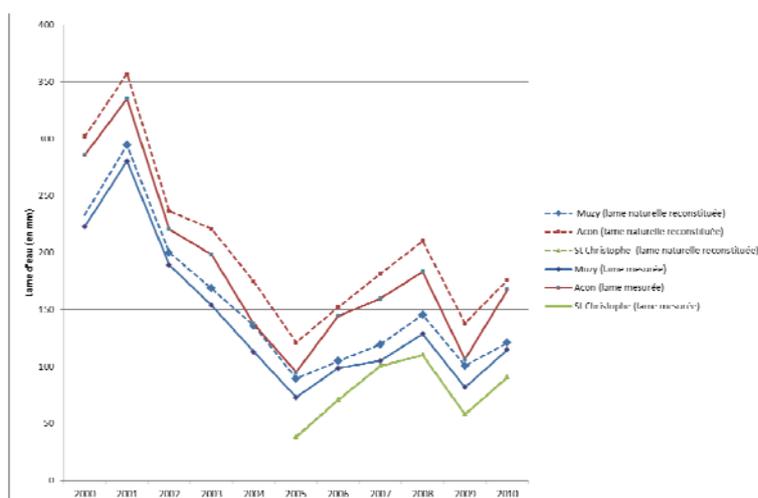


Illustration 71 : Lames d'eau mensuelles calculées à partir des débits mesurés et des débits naturels reconstitués pour les trois stations de mesure de l'Avre sur la période 2000-2010

### 5.3.3. Débits apportés à l'Avre par le bras forcé de l'Iton

Le bras forcé de l'Iton ne fait l'objet d'aucun suivi de débit en continu. Le bras forcé, étant une entrée de notre système, ses débits doivent être estimés.

Les données de jaugeages volants existants pour le bras forcé de l'Iton ont été récupérées auprès de la DREAL Haute-Normandie (Illustration 72).

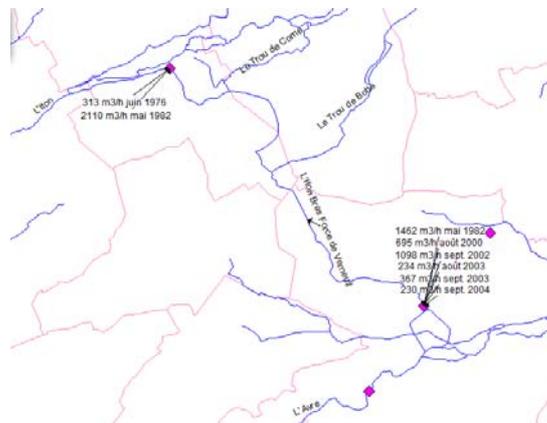


Illustration 72 : Données de jaugeage volants sur le bras forcé de l'Iton (source : DREAL SRE HN)

Un point de jaugeage situé sur le bras forcé en amont de la ville de Verneuil-sur-Avre possède 6 mesures débits répartis de 1982 et 2004. La corrélation de ces débits avec ceux de la station de jaugeage de l'Iton à Bourth semblant satisfaisante (Illustration 73), la chronique de débit journalière a été reconstituée pour ce point de jaugeage du bras forcé.

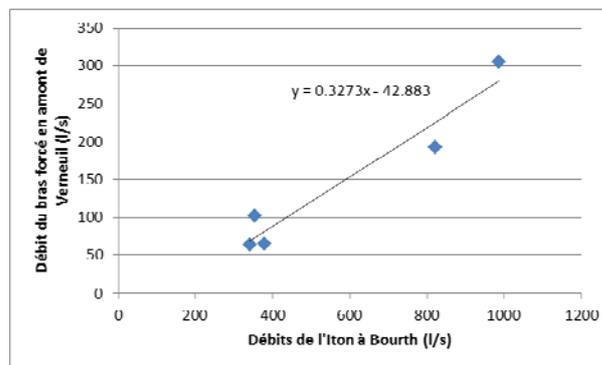


Illustration 73 : Corrélation débits bras forcé / débits de l'Iton à Bourth

Un bilan des volumes mensuels et annuels apportés à l'Avre par le bras forcé de l'Iton a ainsi pu être établi pour les années 2000 à 2010 (Illustration 74). Sur la période 2000-2010, les volumes annuels qui seraient apportés par l'Iton varieraient entre 5,5Mm<sup>3</sup> (en 2005) et 22,5Mm<sup>3</sup> (en 2000) pour une moyenne de 11,7Mm<sup>3</sup>.

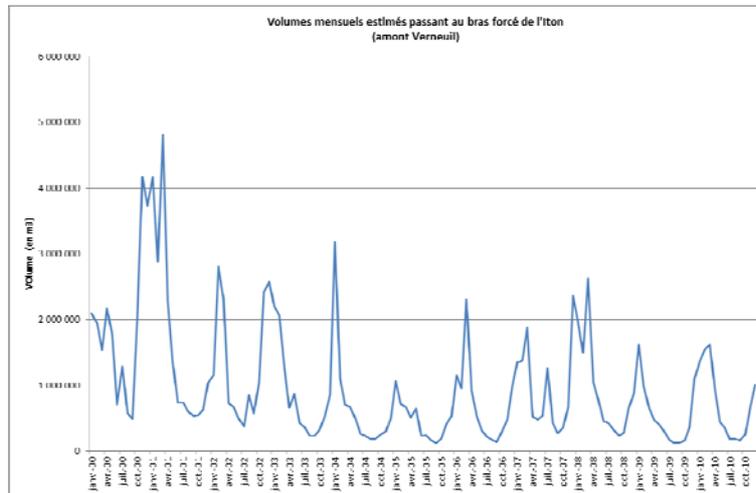


Illustration 74 : Volumens estimés apportés par le bras forcé de l'Iton en amont de Verneuil-sur-Avre

## 5.4. SECHERESSES ET ASSEC

### 5.4.1. Seuils, limitation des prélèvements et restrictions des usages

Dans le cadre des observatoires sécheresse, des seuils de vigilance, d'alerte, de crise et de crise renforcée ont été définis pour les 3 stations de mesures des débits de l'Avre. L'arrêté cadre de bassin n°2010-256 du 19 mars 2010 définit les mesures communes de gestion de l'eau du bassin hydrographique de Seine-Normandie pour limiter les effets de la sécheresse. Il comprend, entre autres, la définition des seuils et la définition de mesures de restriction des usages de l'eau.

Les seuils d'alerte, crise et crise renforcée sont définis par rapport au VCN3 (débit moyen minimum sur 3 jours consécutifs) de périodes de retour respectivement de 2, 5, 10 ans. La station de St-Christophe étant très récente, ces seuils s'appuient sur une corrélation avec la station de Crulai (Iton). Le seuil de vigilance est quant à lui défini par rapport au QMNA2. L'illustration 75 présente ces valeurs de seuils pour chaque station.

Station de mesure	Seuil de vigilance (m3/s)	Seuil d'alerte (m3/s)	Seuil de crise (m3/s)	Seuil de crise renforcée (m3/s)
Saint Christophe	-	0,062	0,054	0,046
Acon	1,20	1,00	0,76	0,56
Muzy	1,70	1,50	1,10	0,92

*Illustration 75 : Valeur des seuils de débits de l'Avre à Saint-Christophe, Acon et Muzy (article 6 de l'arrêté n°2010-256)*

Le franchissement des seuils est constaté par arrêté préfectoral et des mesures de sensibilisation, de surveillance et de restriction des usages sont prises de manière progressive à chaque franchissement de seuil (Illustration 76). Elles concernent tous les utilisateurs (particuliers, entreprises, irrigants, collectivités, services publics). Les prélèvements pour l'alimentation en eau potable sont prioritaires.

Seuil	Mesures
<b>Vigilance</b>	Sensibilisation. Le suivi des débits passe de mensuel à bimensuel.
<b>Alerte</b>	Restriction des usages non productifs : -30 % des prélèvements (hors AEP) AEP Paris : restitution à la rivière de 10 % du débit disponible des captages des sources de la Vigne et du Breuil
<b>Crise</b>	Restriction renforcée : -50 % des prélèvements (hors AEP) AEP Paris : restitution à la rivière de 30 % du débit disponible des captages des sources de la Vigne et du Breuil
<b>Crise renforcée</b>	AEP et respect de la vie biologique prioritaires, prélèvements restreints au minimum

*Illustration 76 : Mesures prises en cas de franchissement des seuils (article 7 et 9 de l'arrêté n°2010-256)*

Hormis les prélèvements AEP réalisés pour l'alimentation en eau de la ville de Paris, les prélèvements AEP des communes du bassin de l'Avre ne sont pas concernés par ces mesures de restriction. L'arrêté n°2010-256 du 19 mars 2010, prévoit que Eau de Paris restitue à la rivière 10% du débit disponible des captages des sources de la Vigne et du Breuil en cas de dépassement du seuil d'Alerte et 30% en cas de dépassement du seuil de crise.

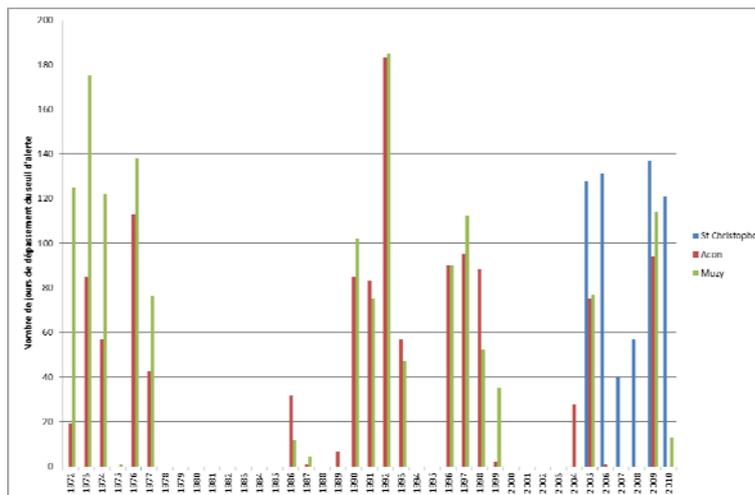
Pour mémoire, les sources de la Vigne et du Breuil exploitées par Eau de Paris font l'objet de la loi du 5 juillet 1890 qui limite leur exploitation à 1280 l/s (110 000 m3/j au total pour les deux sites).

Concernant les usages agricoles, il n'y a pas de quotas volumétriques annuels pour les prélèvements pour l'irrigation. Néanmoins, l'arrêté n°DDT/SEBF/10-114 du 19 mai 2010 de la Préfecture de l'Eure prévoit un certain nombre de restrictions et d'interdictions pour les besoins agricoles. Les prélèvements dans les eaux superficielles peuvent être totalement interdits en cas de franchissement des seuils de crise renforcée. Les prélèvements dans la nappe restent autorisés la nuit.

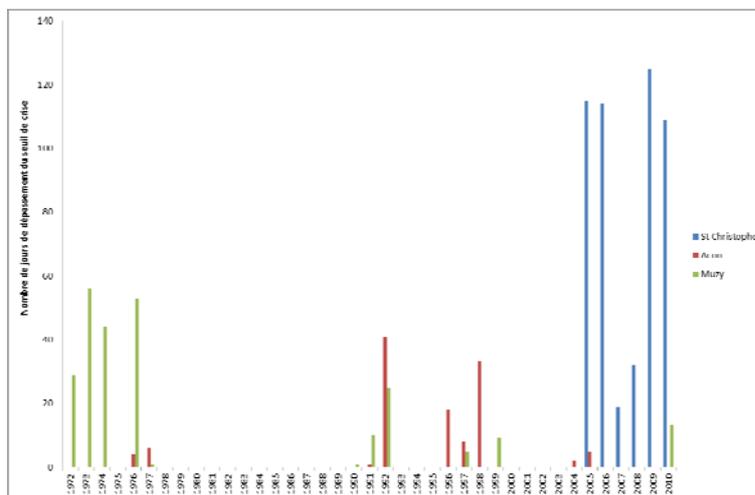
Les seuils de crise sont régulièrement atteints, en particulier pour l'Avre à Saint Christophe, qui se situe dans la partie perchée de l'Avre.

### 5.4.2. Analyse des dépassements de seuils

L'illustration 77 présente pour les 3 stations le nombre de jours par an où les débits journaliers étaient sous les seuils d'alerte et de crise définis actuellement par arrêté préfectoral (remarque : pour mémoire, la station de St Christophe-sur-Avre n'est suivie que depuis 2005).



a- dépassement du seuil d'alerte



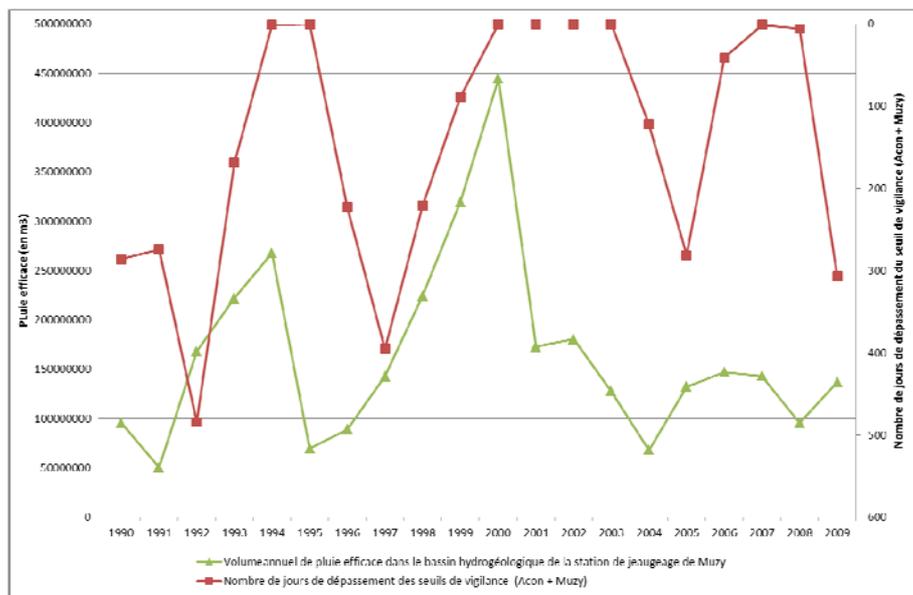
b – dépassement du seuil de crise

Illustration 77 : Nombre de jours par an de dépassement des seuils de débits (seuils actuellement établis par arrêté préfectoral)

En s'intéressant aux stations de Muzy et d'Acon (suivies depuis 1972), cette illustration montre que l'Avre a connu par le passé des étiages beaucoup plus sévères que ceux enregistrés de 2004 à 2010 :

- Etiages de 1972 à 1977
- Etiages de 1991 à 1993
- Etiages de 1996 à 1999

En comparant sur un même graphique le nombre de jours de dépassement des seuils de vigilance aux stations d'Acon et de Muzy et les volumes annuels de pluie efficace dans le bassin versant hydrogéologique de la station de Muzy (Illustration 78), on s'aperçoit que les périodes d'étiages sévères correspondent à des périodes de faibles pluies efficaces. La corrélation semble être décalée de 2 à 3 ans ; effet probable du caractère pluriannuel de l'aquifère crayeux (aquifère qui intervient en soutien du débit du cours d'eau).



*Illustration 78 : Corrélation entre les volumes annuels de pluie efficace dans le bassin versant hydrogéologique de la station de Muzy et le nombre de jours de dépassement du seuil de vigilance aux stations d'Acon et de Muzy*

Pour prendre en compte le moyennage du signal d'entrée (la recharge) par l'aquifère à comportement pluriannuel, nous avons réalisé une moyenne mobile sur 3 ans de la pluie efficace, puis avons réalisé à nouveau ce graphique (Illustration 79). La corrélation semble cette fois parfaitement synchrone.

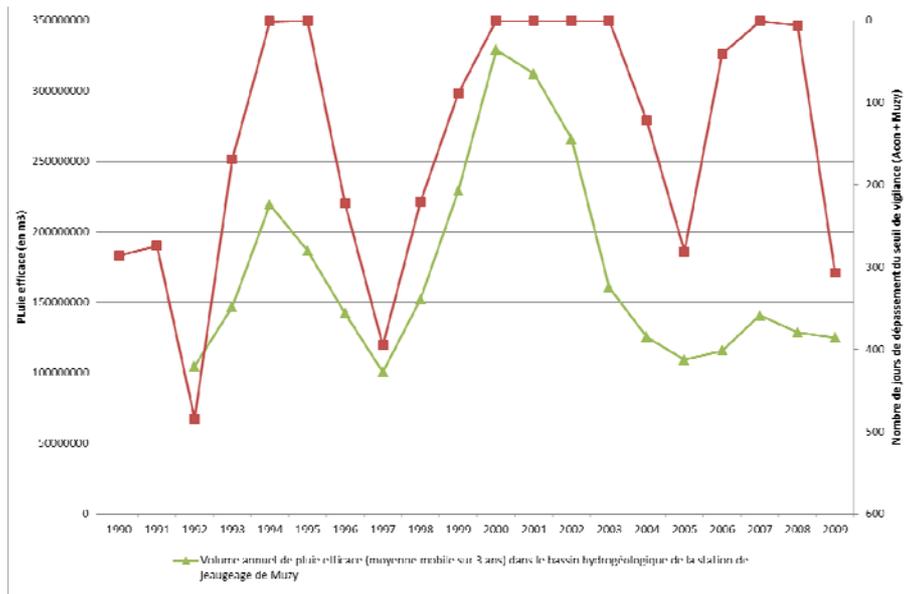


Illustration 79 : Corrélation entre la moyenne mobile sur 3 ans des volumes annuels de pluie efficace dans le bassin versant hydrogéologique de la station de Muzy et le nombre de jours de dépassement du seuil de vigilance aux stations d'Acon et de Muzy

### 5.4.3. Les assecs

#### Historique des observations d'assecs

Les assecs observés ne concernent que la portion perchée de l'Avre, à l'amont de Verneuil-sur-Avre. Ces assecs semblent avoir toujours été observés et semblent être plutôt fonction de la pluviométrie estivale.

Des annales des services techniques de la ville de Paris de 1930 indiquent :

- « en août l'Avre se perd entièrement en face Chalvigny et en septembre tous les ruisseaux secondaire sont à sec »

Le rapport de Pierre Mazuer de 1990 (L'avre et ses affluents – Qualité hydrobiologique) fait état pour l'été 1990 :

- d'un« assèchement du lit de l'amont de Verneuil, à plus de 30 km des sources » ;
- « en août 1990, la rivière était complètement asséchée avant Verneuil (à 1,5 km en amont), séparant ainsi 2 tronçons successifs de l'Avre » ;

- « en aout 1990, le débit de l'Avre à Verneuil n'était que celui apporté par le bras forcé de l'Iton ».

Lors d'une visite sur le terrain le 27/07/2011, le Syndicat de l'Avre et l'ONEMA ont indiqué sur le terrain l'extension la plus amont connue des assecs : elle se situe en amont du lieu-dit « La lambergerie » sur la commune de Saint-Victor-sur-Avre. L'extension amont de l'assec de 2009 a notamment atteint ce secteur. Une visite de la source du Poelai (02153X0030) autrefois captée par la Ville de Verneuil, observée assec depuis juin 2011 (Illustration 81).

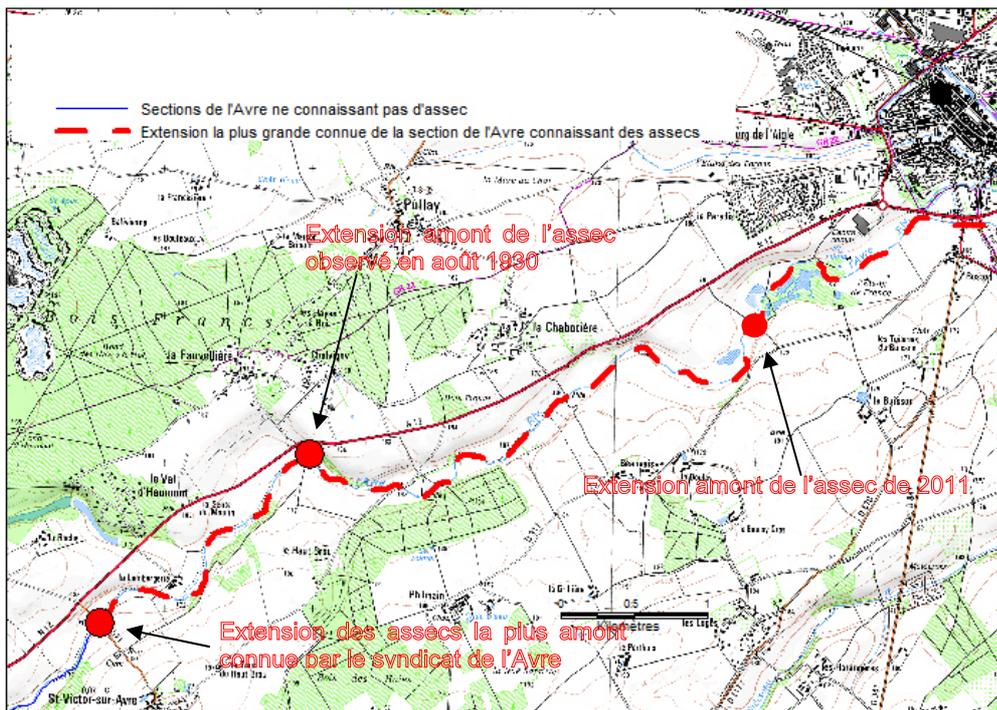
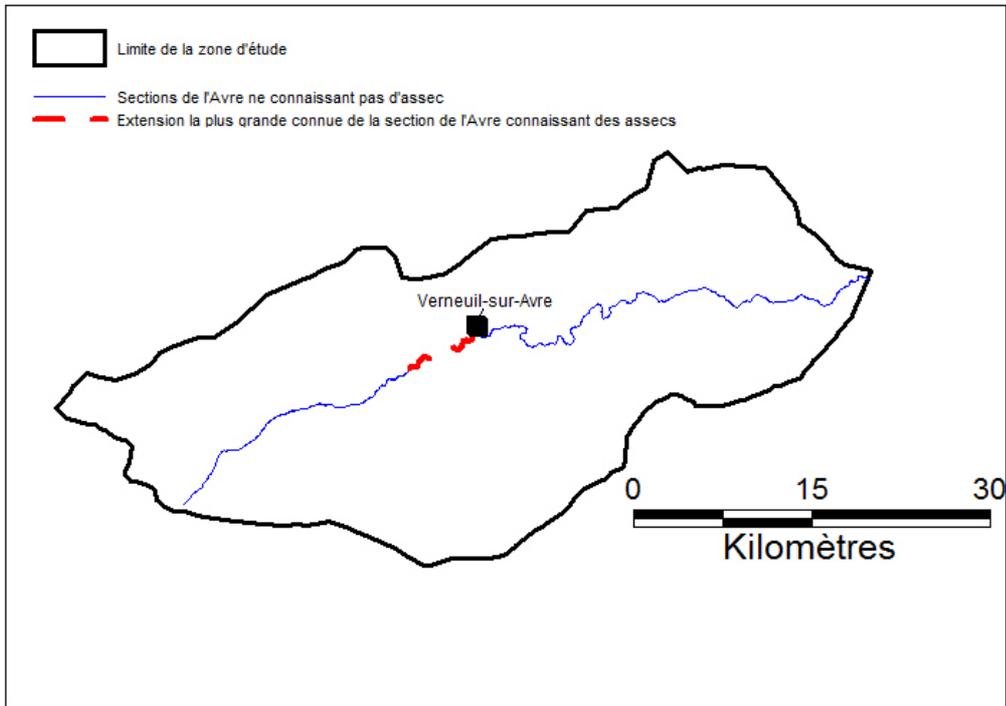


Illustration 80 : Section connue de l'Avre subissant des assecs



*Illustration 81 : Observation de l'assec de la source du Poelai à Verneuil-sur-Avre (photo du 27/07/2011)*

### **5.5. RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE JAUGEAGE SYNCHRONES A L'ECHELLE DU BASSIN**

A la demande du BRGM et du Syndicat de l'Avre, le bureau hydrométrique de la DREAL SRE a réalisé une campagne de jaugeage les 22 et 23 septembre 2011.

L'objectif de cette campagne était de mesurer tous les apports de débits que reçoit l'Avre par ses différents affluents et par le bras forcé de l'Iton, de réaliser des mesures de débits en amont et en aval immédiat de la zone de perte et en aval immédiat de la zone de résurgence (sources Gonord, Breuil, Vigne).

Le but étant d'estimer dans la mesure du possible :

- le débit perdu par l'Avre au niveau de la zone de bétoires (débits qui retournent dans le réservoir souterrain),
- le débit apporté par la zone de résurgences du secteur central (zone de Verneuil à Rueil),
- le débit éventuellement perdu dans le bras forcé du fait de la présence de pertes.

Cette campagne de jaugeages a été réalisée à l'étiage. Le mois de septembre a été peu pluvieux excepté 2 épisodes de faible intensité (10 mm environ) les 17 et 18 septembre (Illustration 83). La période était en voie de stabilisation (le débit de l'Avre

était encore légèrement affecté par la pluviométrie) (Illustration 82). Une situation stabilisée permet en effet d'éviter les situations transitoires consécutives aux événements pluviométriques et le mélange d'eau de ruissellement à celle issue de la vidange de l'aquifère.



Illustration 82 : Débit journalier de l'Avre à la station d'Acon (année 2011) et situation de la campagne de jaugeage

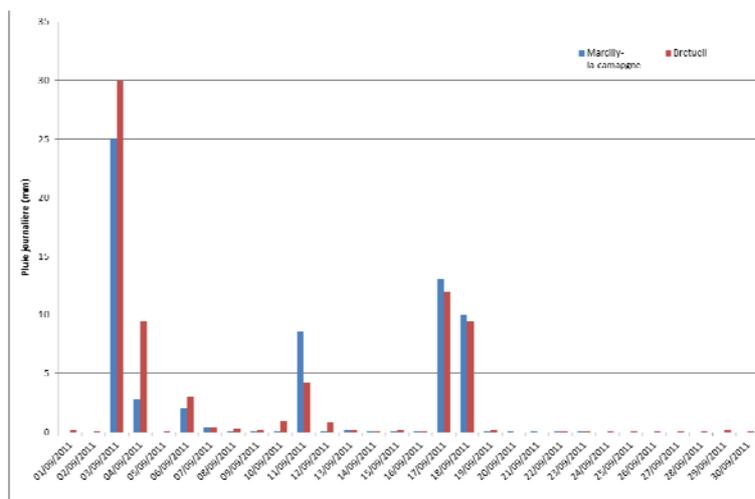
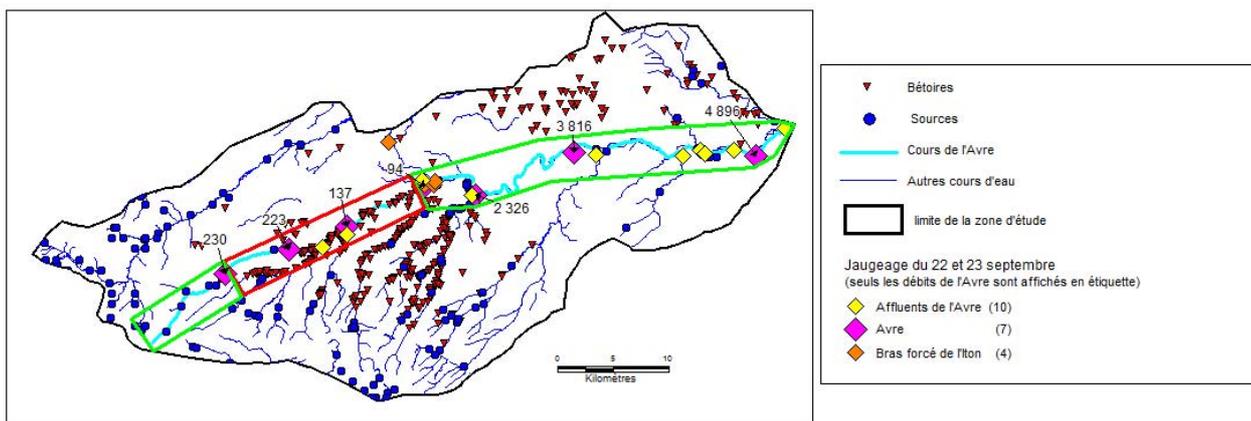


Illustration 83 : Précipitations journalières du mois de septembre pour les station Météo France de Marcilly la Campagne et Breteuil

Les points de jaugeages réalisés sont présentés sur l'illustration 84.

Les résultats des débits jaugés sur l'Avre (Illustration 84 et Annexe 6) mettent nettement en évidence les pertes de débits occasionnées par le secteur perché de l'Avre.



*Illustration 84 : Points de jaugeage réalisés par le bureau hydrométrique de la DREAL SRE les 22 et 23 septembre 2011*

Une fois la prise en compte des débits apportés par les affluents et les débits exportés sur cette période par Eau de Paris via l'aqueduc, on peut estimer les débits suivants :

1. **Débit apporté à l'Avre par le bras forcé de l'Iton** : la somme des trois points de raccordement du bras forcé à l'Avre est de  $212 \text{ m}^3/\text{h}$
2. **Pertes de débit dans le bras forcé entre l'amont et l'aval** :  
Les jaugeages réalisés sur le bras forcé de l'Iton mettent en évidence une perte importante de débit entre l'amont ( $461 \text{ m}^3/\text{h}$  au lieu-dit le Tremblay à Francheville) et la somme des trois points de raccordement du bras forcé à l'Avre ( $212 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Les pertes calculées pour ce 22 septembre sont de  $249 \text{ m}^3/\text{h}$  (soit plus de la moitié du débit amont). L'origine de ces pertes (pertes karstiques, prélèvements réalisés dans les canaux de Verneuil) n'est pas connue et serait à rechercher.

3. **Débit perdu par l'Avre au niveau du secteur perché de l'Avre (débit qui retourne dans le réservoir souterrain)** :  $148 \text{ m}^3/\text{h}$ .

**4. Débits apportés par la zone de résurgence des sources de la zone centrale (zone de Verneuil à Rueil) (en incluant dans ce chiffre les débits exportés par EDP le jour du jaugeage) : 3184 m<sup>3</sup>/h**

**5. Débits apportés par les affluents de l'Avre entre Acon et Muzy : 7 m<sup>3</sup>/h.**

**Interprétations de ces résultats (les valeurs citées sont valables pour la date du jaugeage) :**

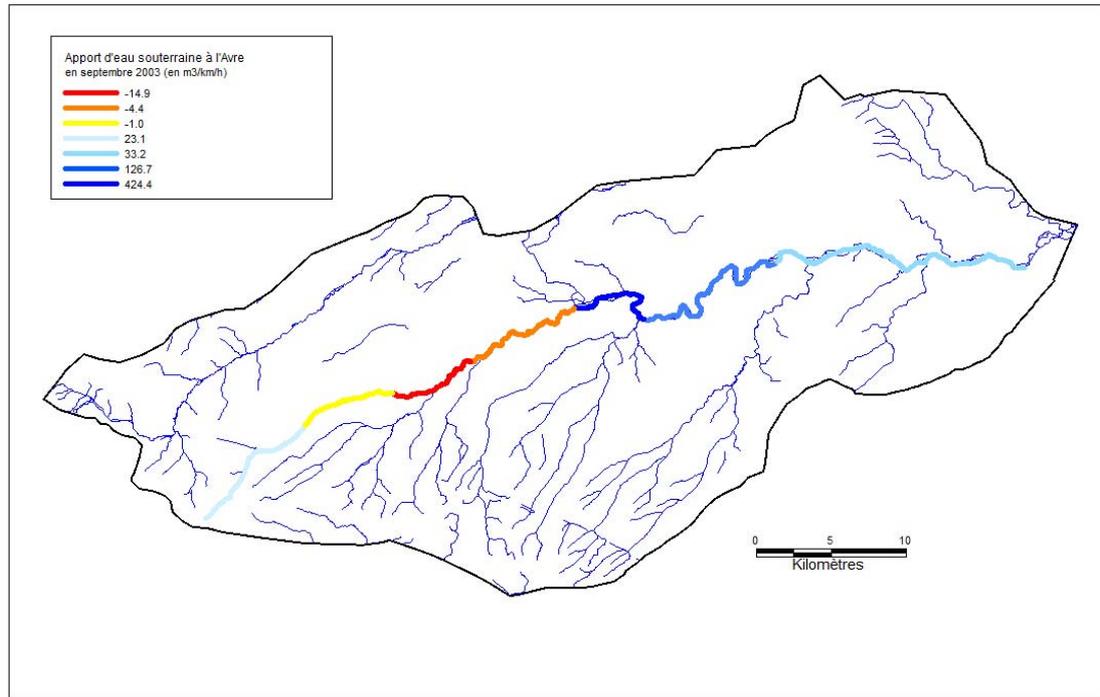
Dans la partie amont du bassin (de Randonnai à Verneuil), le soutien de la nappe ne se fait pas de façon linéaire comme dans le bassin aval mais est concentré au niveau des résurgences de la zone centrale (zone de Verneuil à Rueil).

Dans le secteur amont (amont des résurgences de la zone de Verneuil à Rueil), l'Avre et ses affluents sont touchés par des pertes dans le lit de leurs cours. Les écoulements superficiels sont très limités et l'essentiel des écoulements se fait dans le compartiment souterrain. L'Avre perd ainsi 64% de son débit sur le secteur perché de son lit (entre Randonnai et Verneuil).

Les données de traçages recueillies dans la bibliographie montrent que les eaux perdues au gré de ces pertes karstiques résurgent au niveau des sources de la zone de Verneuil à Rueil. Une grande partie des écoulements souterrains du bassin amont de l'Avre résurge au niveau de ces sources. Cet apport concentré (sources de Verneuil à Rueil) du compartiment amont souterrain est considérable puisqu'il représente 62% du débit naturel reconstitué d'Acon et 55% de celui de Muzy.

En corrigeant les débits mesurés sur le terrain par les apports des affluents et par les débits prélevés au niveau de la zone de résurgence, les apports d'eaux souterraines à l'Avre ont pu être calculés par tronçons. Les résultats de ce calcul sont présentés par l'illustration 85. Les apports maximum (425 m<sup>3</sup>/h/km) sont rencontrés au niveau des résurgences de la zone de Verneuil à Rueil. Les apports à l'aval de cette zone de résurgence décroissent vers l'aval : ils sont de 125 m<sup>3</sup>/h/km entre les sources de Verneuil à Rueil et la station d'Acon et de 33 m<sup>3</sup>/h/km entre la station d'Acon et de Muzy (Illustration 85).

Dans le secteur situé à l'amont des résurgences de Verneuil à Rueil, la situation s'inverse : c'est la rivière qui alimente les eaux souterraines. Les pertes atteignent un maximum de 15 m<sup>3</sup>/h/m entre Beaulieu et Saint-Christophe-sur-Avre (Illustration 85).



*Illustration 85 : Apport d'eau souterraine à l'Avre en septembre 2011 (en m<sup>3</sup>/km/h)*



## **6. Les prélèvements en nappe et en rivière**

### **6.1. DEMARCHE SUIVIE POUR LE RECUEIL DES DONNEES DE PRELEVEMENTS**

Un inventaire des points de prélèvements et des volumes prélevés a été dressé en consultant et en confrontant diverses sources de données (AESN, DDT, DSV, DREAL, BSS, Etudes diverses...).

En complément, des enquêtes ont été menées par envoi de questionnaires à l'ensemble des communes et des syndicats d'eau de la zone d'étude.

Ces prélèvements ont été classés en quatre types d'usage : les besoins en alimentation en eau potable (AEP), les utilisations pour l'agriculture et l'élevage, les utilisations pour l'industrie et les prélèvements domestiques.

En fonction des données de base, la distinction entre prélèvements en nappe et dans les eaux superficielles a été réalisée.

### **6.2. PRELEVEMENTS AGRICOLES**

#### **6.2.1. Inventaire des ouvrages de prélèvements - Méthodologie**

Un travail de recoupement et de compilation des sources de données suivantes a été réalisé :

- prélèvements pour l'irrigation et les élevages recensés dans la base de données de l'AESN (identification par la commune, le lieu-dit, l'exploitant et la profondeur du forage) ;
- déclarations de prélèvements récupérés auprès de la DDT 27 pour la période 2000-2010 (identification par la commune, le propriétaire et la parcelle cadastrale) ; les données de déclarations récupérées auprès des DDT de l'Eure-et-Loir et de l'Orne ont été plus ponctuelles ;
- forages déclarés en BSS à usages d'abreuvement et d'irrigation ;
- forages agricoles mentionnés par les mairies (réponse au questionnaire BRGM) ;
- prélèvements recensés dans divers études d'environnement, études préalables,...

Le travail d'élimination des doublons de ces 5 sources d'information a été long dans la mesure où :

- il a consisté à géoréférencer l'ensemble des ouvrages de prélèvement et à les rattacher à un ouvrage de la BSS :
  - pour les forages déclarés en DDT, la géolocalisation a été réalisée au centroïde de la parcelle en utilisant le site [cadastre.gouv.fr](http://cadastre.gouv.fr) ; il a ensuite été recherché les forages présents en BSS à proximité ;
  - pour les prélèvements de la BASE AESN, le recoupement avec la BSS a été réalisé avec 3 critères : recherche des forages de la BSS présents sur le lieu-dit et ayant la même profondeur que celle indiquée dans la base AESN ; comparaison éventuelle des noms des propriétaires ; lorsqu'aucun forage n'était présent en BSS à ce lieu-dit, le prélèvement a été géolocalisé au centroïde du lieu-dit et il a été indiqué que le forage n'était pas déclaré en BSS ;
- pour un même ouvrage de prélèvement, les noms de l'exploitant diffèrent d'une base à l'autre (nom du gaec, nom du gérant), rendant difficile le recoupement des différentes bases de données.

### **6.2.2. Résultats de l'inventaire des prélèvements agricoles (irrigation et élevage)**

178 ouvrages de prélèvements sont recensés dans la zone d'étude :

- 19 ouvrages de prélèvement en eau de surface ;
- 159 ouvrages de prélèvement en eau souterraine.

Parmi les 159 ouvrages de prélèvements en eau souterraine :

- 60 sont recensés dans la base AESN ;
  - dont 28 déclarés aux DDT au titre des rubriques de la loi sur l'eau (forages et prélèvements) ;
  - dont 38 déclarés en BSS ;

- parmi les 99 ouvrages non recensés dans la base AESN :
  - 19 sont des ouvrages de prélèvement déclarés en DDT au titre de la loi sur l'eau (dont 13 non déclarés en BSS) ;
  - 14 sont des ouvrages de prélèvement signalés uniquement par les mairies lors du questionnaire envoyé par le BRGM ; les mairies ont signalé que ces ouvrages étaient toujours en activité (dont 2 non déclarés en BSS) ;
  - 5 sont des ouvrages de prélèvement signalés uniquement par les mairies lors du questionnaire envoyé par le BRGM ; mais les mairies ont signalé que ces ouvrages n'étaient plus en activité (tous déclarés en BSS) ;
  - 4 sont des ouvrages de prélèvements agricoles recensés uniquement dans des études d'environnement, études préalables à la mise en place des périmètres de protection, (dont 1 non déclaré en BSS) ;
  - les 57 ouvrages restant sont des forages agricoles recensés en BSS mais non recensés en DDT, à l'AESN ou par les mairies (forages anciens abandonnés ?) ;

Les résultats de cet inventaire montrent qu'aucune des bases de données de prélèvements agricoles ne semble exhaustive.

### **6.2.3. Estimation des volumes prélevés pour les besoins agricoles**

La seule base de données existante concernant les volumes prélevés est celle de l'AESN (volumes annuels). Les données recueillies auprès des DDT ou des études d'environnement sont des données de débit horaire principalement (respectivement des débits autorisés et des débits d'équipement de pompes).

La base AESN ne semblant pas exhaustive concernant les prélèvements agricoles, l'estimation des volumes prélevés a été effectuée par comparaison des résultats de 2 méthodes :

- mensualisation des données de prélèvements agricoles recensées dans la base AESN ;
- estimation d'une fourchette haute des prélèvements agricoles en estimant les besoins en irrigation par la méthode de l'Evapo-Transpiration Maximale (cf. § suivant) et les besoins en eau pour l'abreuvement des élevages.

## ***Estimation de la fourchette haute des prélèvements pour l'irrigation***

### Principe de la méthode

La méthode retenue consiste à estimer la dose d'irrigation nécessaire en fonction de la pluie et de l'Evapo-Transpiration Maximale (ETM<sup>1</sup>) de façon décadaire pour la période 2000-2010 (méthode utilisée par la Chambre d'Agriculture de l'Eure pour calculer la dose d'irrigation préconisée dans leurs bulletins envoyés aux agriculteurs).

Cette dose est ensuite appliquée à chaque parcelle (prise en compte de sa surface) ayant une culture nécessitant de l'irrigation et se situant à moins de 100 m d'un ouvrage d'irrigation recensé (cf. § 6.2.1).

### Données utilisées

- inventaire des points de prélèvement réalisé dans le cadre de cette étude (cf. §6.2.1);
- données SIG du registre parcellaire graphique de 2009 (îlots PAC et groupe de cultures associées en 2009) ;
- données de pluie et d'ETP de la station de Rueil pour le calcul de l'ETM ;
- données des coefficients culturaux Kc pour le blé, l'orge, les pois et le Maïs (cf. valeurs en Annexe 5) ;

### Groupes de cultures présentes dans le bassin de l'Avre

Les différents groupes de cultures pratiquées dans la zone d'étude ainsi que leurs surfaces respectives sont présentées par les Illustration 86 et Illustration 87.

Les 5 groupes de cultures Blé tendre, Colza, Orge, Prairies permanentes et Mais représentent en superficie 90% du total des cultures pratiquées dans la zone d'étude. Les cultures dominantes étant le blé tendre (37%), le colza (22%) et l'orge (18%).

Il est à noter que les prairies permanentes sont plutôt situées à l'amont du bassin alors que les cultures de blé, d'orge et de colza plutôt dans les parties centrales et aval (Illustration 87).

---

<sup>1</sup> L'ETM est l'évapotranspiration tenant compte de l'espèce considérée et de son stade végétatif. L'ETM corrige l'ETP à l'aide d'un coefficient Kc calculé expérimentalement pour chaque espèce en fonction de son stade végétatif.

Groupe de cultures	Surface (hectare)	% en surface
Blé tendre	29206,39	<b>36,92%</b>
Colza	17290,57	<b>21,86%</b>
Orge	14292,96	<b>18,07%</b>
prairies permanentes	7767,8	<b>9,82%</b>
Mais grain et ensilage	2275,05	<b>2,88%</b>
gel (surfaces gelées sans production)	2030,34	<b>2,57%</b>
prairies temporaires	1784,5	<b>2,26%</b>
autres céréales	1046,36	<b>1,32%</b>
Protéagineux	728,14	<b>0,92%</b>
plantes à fibres	678,93	<b>0,86%</b>
gel industriel	536,92	<b>0,68%</b>
Divers	498,62	<b>0,63%</b>
Semences	411,17	<b>0,52%</b>
légumes-fleurs	207,71	<b>0,26%</b>
Fourrage	112,16	<b>0,14%</b>
autres gels	75,58	<b>0,10%</b>
autres cultures industrielles	72,53	<b>0,09%</b>
Vergers	63,13	<b>0,08%</b>
estives landes	19,74	<b>0,02%</b>
autres oléagineux	10,92	<b>0,01%</b>
Tournesol	0,63	<b>0,00%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>79110,15</b>	<b>100,00%</b>

Illustration 86 : Groupes de culture pratiqués dans la zone d'étude ainsi que leur surface respectives (données RPG 2009, ASP)

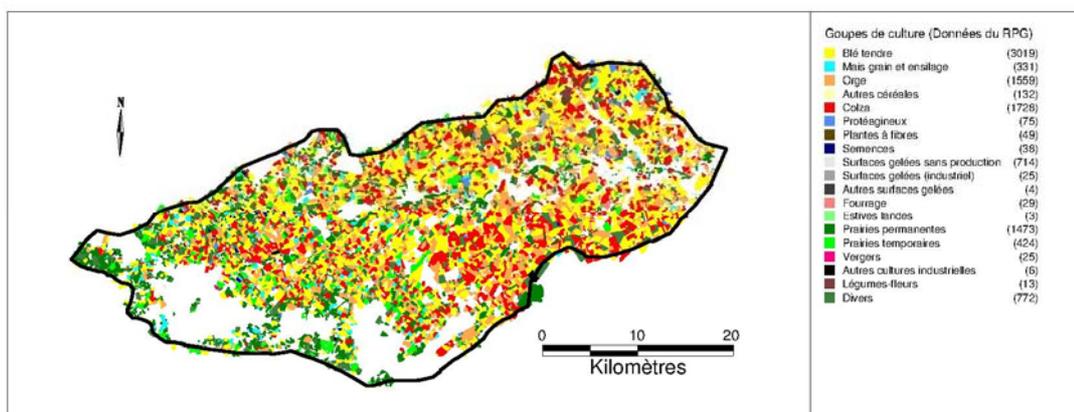


Illustration 87 : Cartographie des groupes de culture pratiqués dans la zone d'étude (données RPG 2009, ASP)

D'après la chambre d'agriculture de l'Eure, les cultures pouvant nécessiter une irrigation sont le blé, l'orge, le pois et le maïs.

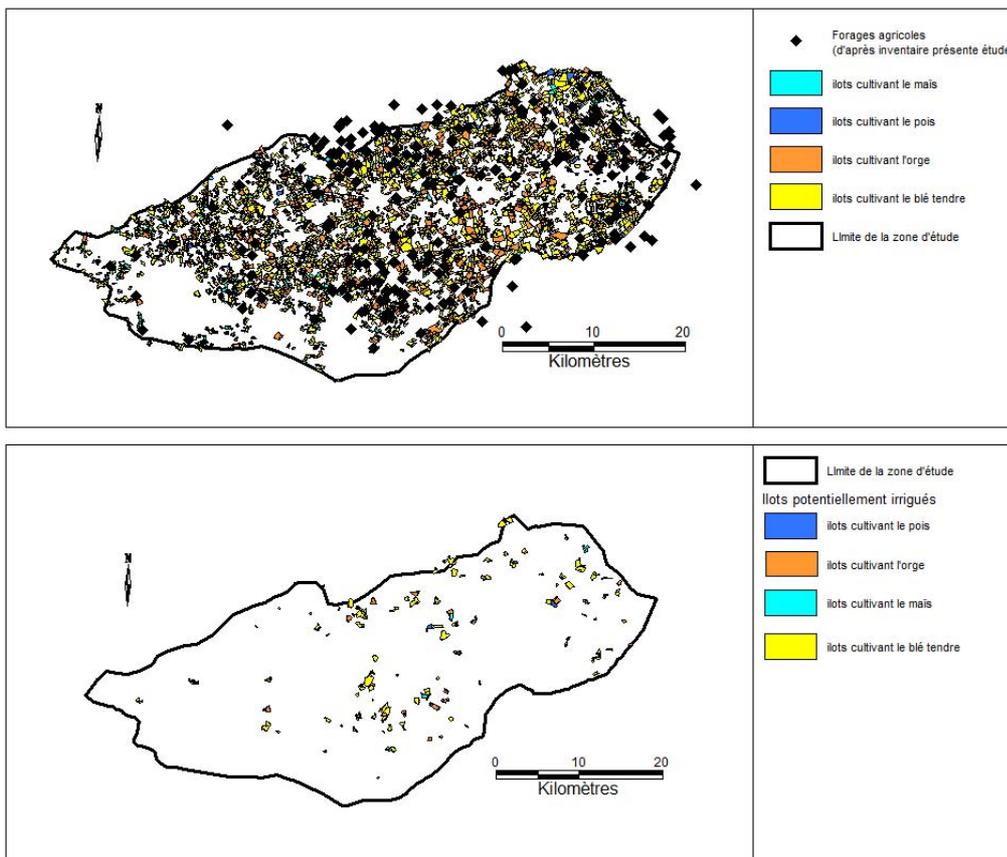
### Calcul décadaire de la dose d'irrigation nécessaire par groupe de culture

Un bilan hydrique a ensuite été réalisé pour chaque groupe de culture (blé, orge, maïs et pois) en prenant en compte l'ETM (pluie et ETP de la station de Rueil, coefficients Kc de l'Annexe 4, RU de 70 mm) afin de calculer la dose d'irrigation nécessaire pour assurer les besoins en eau des cultures.

Les doses ainsi calculées au pas décadaire pour la période 2000-2010 ont été sommées au pas de temps mensuel et sont présentées en Annexe 5.

### Calcul des volumes prélevés pour l'irrigation

Une sélection des îlots de blé, d'orge, de maïs et de pois situés à moins de 100 mètres des ouvrages d'irrigation a été réalisée par SIG (Illustration 88).

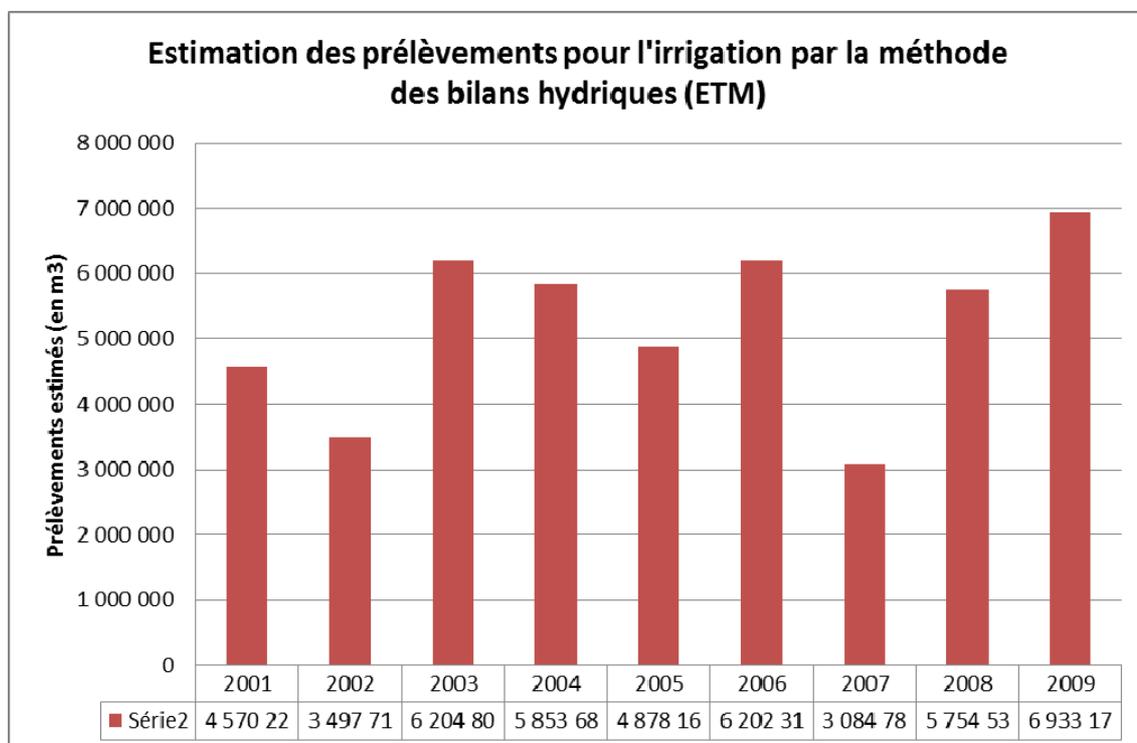


*Illustration 88 : Extraction des parcelles potentiellement irriguées par recouplement SIG de la position des ouvrages de prélèvement agricoles (tampon de 100m autour de chaque ouvrage de prélèvement) et des îlots du RPG sur lesquels sont cultivés des cultures nécessitant de l'irrigation (blé, orge, pois et maïs)*

Pour chacune de ces parcelles, les volumes prélevés pour l'irrigation ont été calculés mensuellement sur la période 2000-2010 (surface de la parcelle x dose).

Les volumes de chaque parcelle ont ensuite été rattachés au forage de prélèvement (1 forage pouvant servir à l'irrigation de plusieurs parcelles).

Le résultat est un fichier compilant les chroniques de prélèvements estimées au pas de temps mensuel pour 105 forages. Les sommes annuelles obtenues sont présentées par l'illustration 89. L'estimation « plafond » des prélèvements liés à l'irrigation varie ainsi autour d'une moyenne de 5 millions de m<sup>3</sup>/an environ.



*Illustration 89 : Estimation de la fourchette haute des prélèvements liés à l'irrigation*

### ***Estimation de la fourchette haute des prélèvements pour l'abreuvement***

Les éleveurs utilisant des forages et puits ne possèdent généralement pas de compteur. C'est pourquoi il a été difficile d'obtenir directement le débit pompé pour chaque ouvrage.

Une enquête a été menée auprès des Directions départementales de la cohésion sociale et de la protection des populations (ex Services Vétérinaires DDSV) pour obtenir les données concernant les élevages d'animaux relevant des Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

Les DDSV possèdent parfois une base de données interne de gestion de ces ICPE.

La qualité des données fournies a été très variable suivant les départements :

- DSV 27 et 28 : ont fourni une extraction de leur base sur le secteur d'étude avec chaque exploitation avec l'adresse, le type d'élevage, les effectifs. La DDSV 27 a même fourni l'origine de l'approvisionnement en eau potable (réseau AEP ou forage) ;
- DSV 61 : aucune donnée n'a été mise à disposition du BRGM.

Dans les secteurs des départements 27 et 28 de la zone d'étude, les besoins en eau pour les élevages ont été estimés à partir des consommations admises pour les différents types d'élevages (Illustration 90).

<b>Consommation moyenne</b>	<b>l/j</b>	<b>M3/an</b>
<b>Vache</b>	80	29.2
<b>Veaux</b>	20	7.3
<b>Génisse ou taurion</b>	40	14.6
<b>Autre bovin</b>	40	14.6
<b>Truie mère</b>	20	7.3
<b>Porc engraissement</b>	10	3.65
<b>Porcelet</b>	5	1.83
<b>Poulet</b>	0.15	0.05
<b>Dinde</b>	0.45	0.16
<b>Canard</b>	0.3	0.11
<b>Poule</b>	0.2	0.07
<b>Lavage porcherie</b>	1025	374.4
<b>Lavage étable</b>	499	182.5
<b>Lavage clapiers</b>	131.5	48
<b>Lavages poulaillers</b>	137	50

(source : schéma régional d'alimentation en eau potable de Bretagne)

*Illustration 90 : Estimation de la consommation moyenne de l'eau prélevée dans le réseau souterrain selon le type d'élevage*

Les résultats obtenus sont présentés par l'illustration 91. Les besoins en eau sont estimés à environ 210 000 m<sup>3</sup>/an. D'après le listing transmis par la DDSV de l'Eure, environ 30% des éleveurs utilisent un forage pour ces besoins en eau. En appliquant aussi ce ratio à l'Eure-et-Loir, on obtient une estimation de 63 000 m<sup>3</sup>/an pour les prélèvements destinés à l'élevage.

Pour prendre en compte le département de l'Orne, nous considérons des besoins équivalents à ceux de l'Eure ou de l'Eure-et-Loir, soit un besoin total pour les trois départements de **95 000 m<sup>3</sup>/an**. Ces besoins pour l'abreuvement sont minimes en comparaison des estimations de prélèvements pour l'irrigation (5 millions de m<sup>3</sup>/an).

	Nombre d'exploitation	Nombre de têtes	Besoin en eau estimé (m <sup>3</sup> /an)
viande bovine	9	1650	25 733
vache laitière	36	2610	82 782
lapin	2	5330	363
porc	20	10547	45 985
volaille	63	1050572	55 679
chien	12	555	1 110
<b>TOTAL</b>			<b>211 650</b>

*Illustration 91 : Besoins en eau estimés pour les élevages des secteurs de l'Eure et de l'Eure-et-Loir de la zone d'étude*

***Estimation de la fourchette basse des prélèvements agricoles : mensualisation des données de prélèvements agricoles recensées dans la base AESN***

Les données annuelles de la base AESN ont été mensualisées en utilisant des coefficients de pointe mensuels calculés en fonction des besoins en eau des cultures (bilan hydrique prenant en compte la pluie et l'ETM). Les coefficients de mensualisation calculés sont présentés par l'illustration 92.

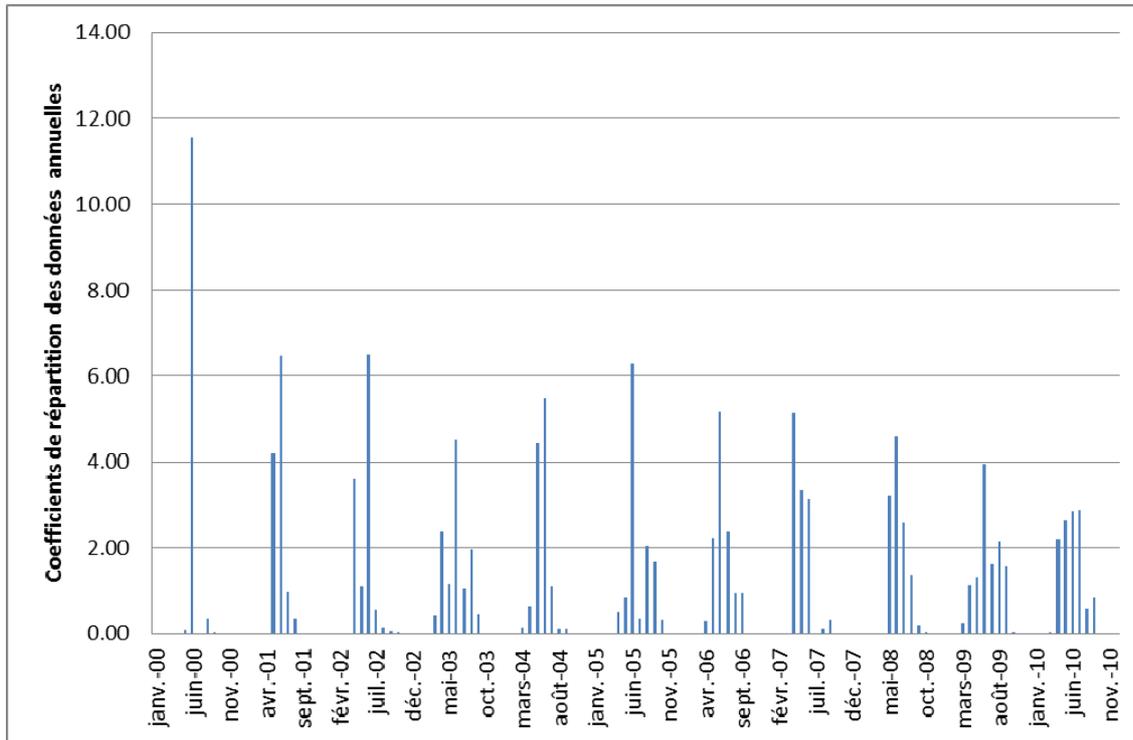
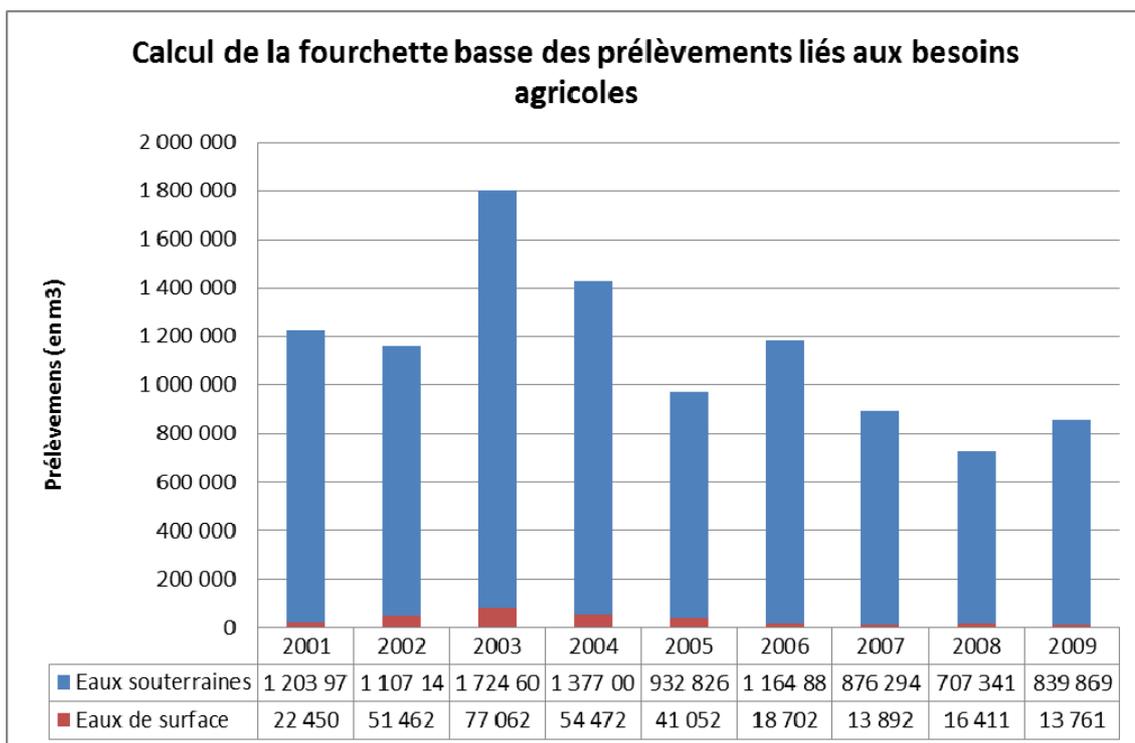


Illustration 92 : Coefficients de répartition des données annuelles calculés par normalisation des doses nécessaires à l'irrigation déterminées à l'issue des bilans hydriques (Pluie, ETM, RU). La somme des coefficients par an est égale à 12 et la moyenne égale à 1

Le résultat est un fichier compilant les chroniques de prélèvements estimées au pas de temps mensuel pour 65 ouvrages de prélèvement.

Les prélèvements agricoles oscillent autour d'une moyenne de 1,1 millions de m<sup>3</sup> /an. Les fortes disparités qui existent d'une année sur l'autre sont liées aux différences de pluviométrie notamment.

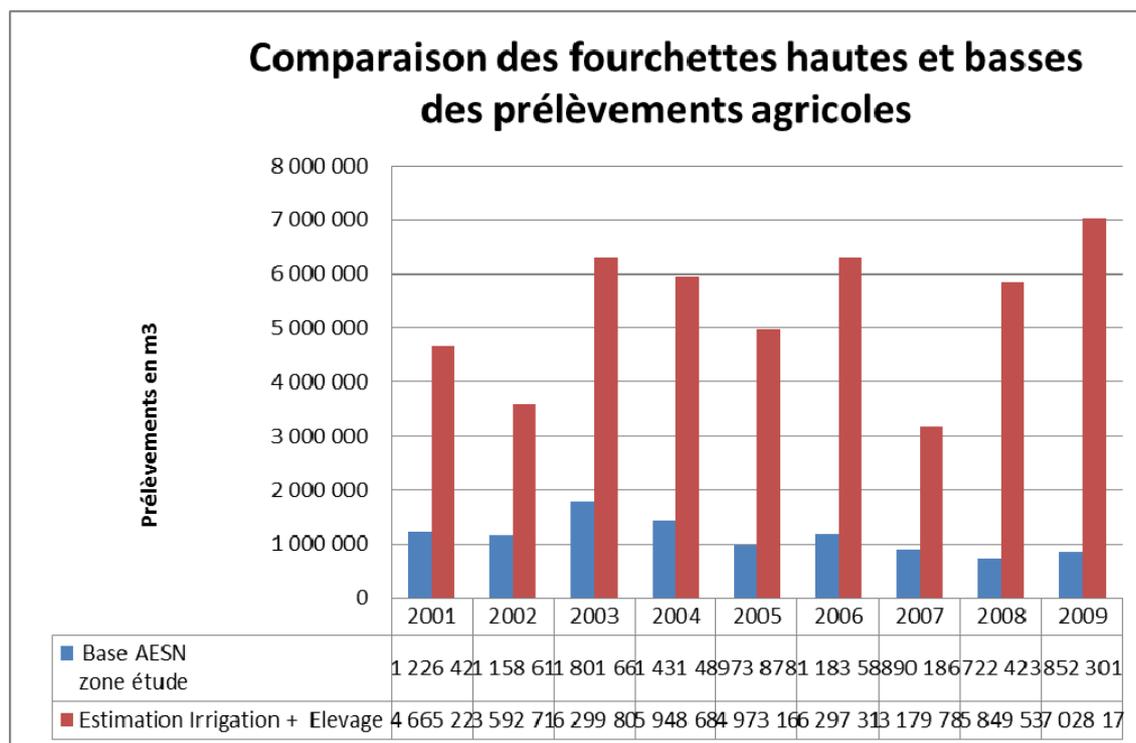
Les prélèvements en eau de surface sont très limités puisqu'ils ne représentent que 1,6 à 4,5% des prélèvements totaux.



*Illustration 93 : Estimation de la fourchette basse des prélèvements liés aux besoins agricoles*

### **Comparaison des volumes obtenus par ces 2 méthodes**

La comparaison des fourchettes haute et basse des prélèvements agricoles est présentée par l'illustration 94. Le facteur d'écart est compris entre 3 et 5 pour les années 2001 à 2007. Il est en revanche de 8 pour les années 2008 et 2009.



	Fouchette Basse	Fouchette Haute	Facteur d'écart
2001	1 226 425	4 665 223	3.8
2002	1 158 610	3 592 712	3.1
2003	1 801 662	6 299 804	3.5
2004	1 431 481	5 948 684	4.2
2005	973 878	4 973 161	5.1
2006	1 183 588	6 297 311	5.3
2007	890 186	3 179 785	3.6
2008	722 423	5 849 535	8.1
2009	852 301	7 028 179	8.2
MOYENNE	1 137 840	5 314 933	4.7

Illustration 94 : Comparaison des fourchettes haute et basse des prélèvements agricoles

### 6.3. PRELEVEMENTS AEP

#### 6.3.1. Méthodologie de l'inventaire

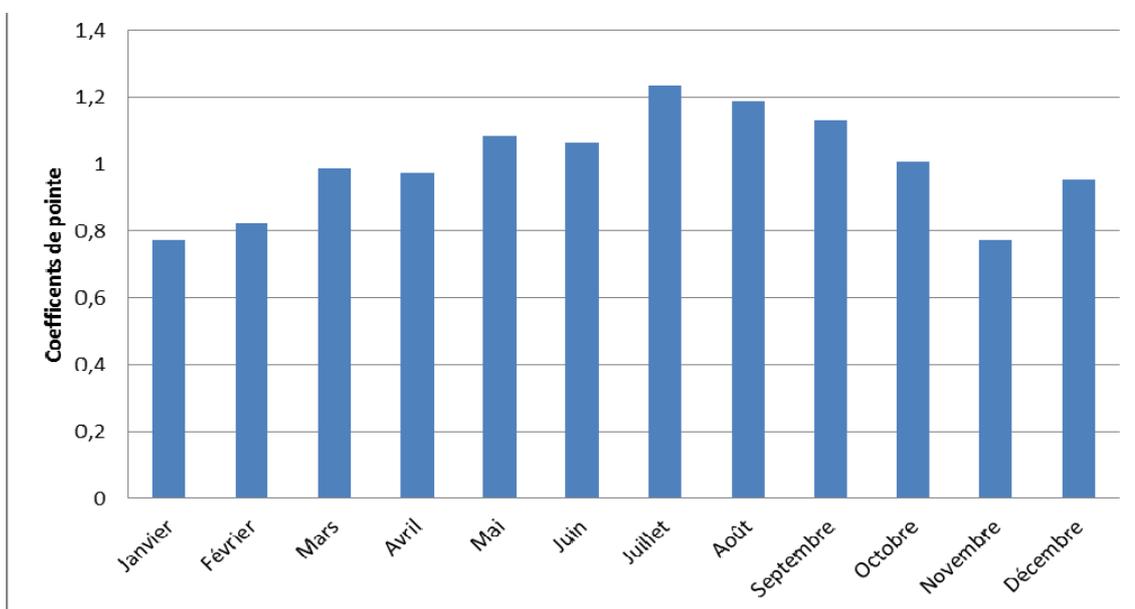
L'inventaire des prélèvements réalisés pour l'alimentation collective en eau potable s'est appuyé principalement sur le référentiel AEP qui a été finalisé pour les besoins de l'étude (croisement des bases de données SISEAU de l'ARS et de la BSS du BRGM).

Une enquête a ensuite été réalisée par le BRGM par envoi de questionnaires à tous les producteurs d'eau de la zone d'études (syndicats d'eau et communes). Il a leur a été demandé de fournir :

- les données de prélèvements pour chaque puits/forage/source au pas mensuel ;
- les projets de création de nouveaux ouvrages de prélèvement ;
- les projets d'abandon d'ouvrages de prélèvements.

Les résultats de la fourniture des données de production au pas de temps mensuel sont présentés en Annexe 4.

Lorsque les données mensuelles n'étaient pas disponibles, les données de production annuelles ont été mensualisées selon des coefficients de répartition mensuelle calculés sur des forages du secteur d'études (Illustration 95).



*Illustration 95 : Coefficients de répartition utilisés pour la mensualisation des données de production des captages ne disposant pas d'information au pas mensuel (la moyenne des coefficients est égale à 1 et la somme est égale à 12)*

Pour compléter les lacunes des données fournies par les producteurs d'eau, la base de données AESN a été utilisée (déclaration dans le cadre des redevances des volumes annuels prélevés).

### **6.3.2. Résultat de l'inventaire**

88 ouvrages de prélèvements AEP sont recensés dans la zone d'étude. Tous captent les eaux souterraines. Parmi ces 88 ouvrages :

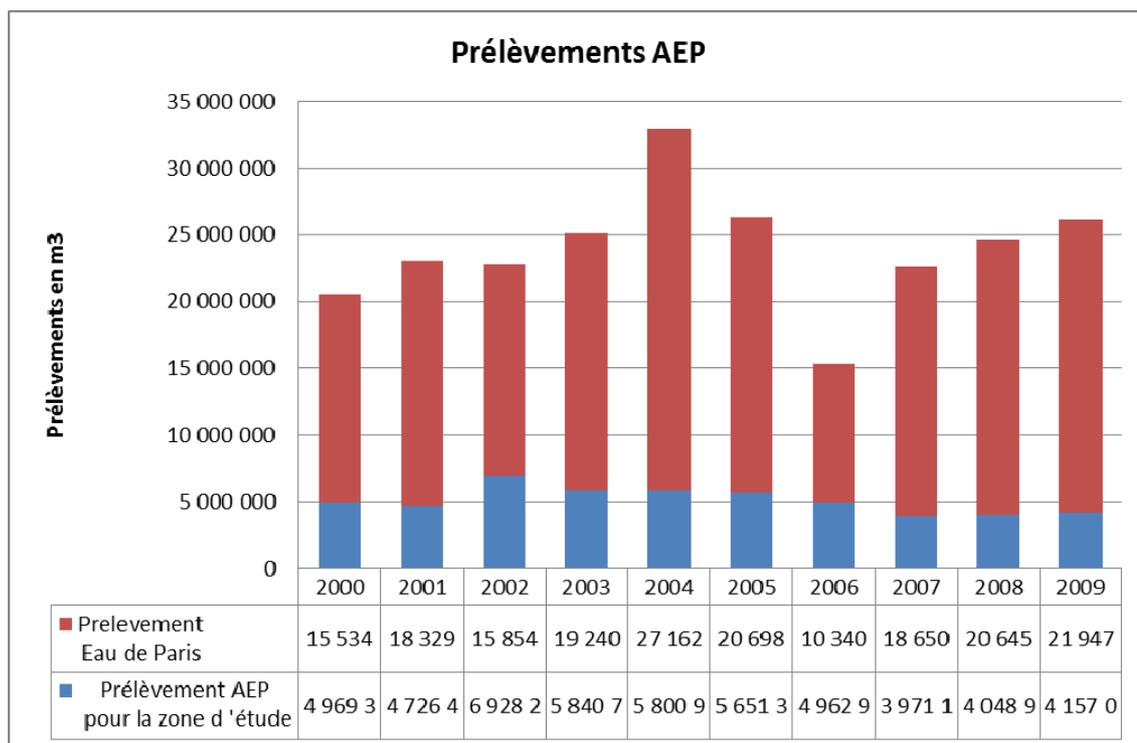
- 15 sont des sources et 73 des puits ou forages ;
- 25 sont actuellement abandonnés, 8 seront prochainement mis en service et 55 sont actuellement en service

### **6.3.3. Estimation des volumes prélevés pour l'AEP**

Les prélèvements AEP de la zone d'études fluctuent autour d'une moyenne d'environ 24 millions de m<sup>3</sup>/an (Illustration 96).

Les prélèvements réalisés par Eau de Paris au niveau des sources de la vigne, sources du Breuil et des forages de Vert-en-Drouais (19 millions de m<sup>3</sup>/an en moyenne) représentent une part majeure (entre 68 et 84% selon les années) de la totalité des prélèvements AEP du secteur d'étude.

Les prélèvements Eau de Paris sont plus variables que ceux réalisés par l'ensemble des autres collectivités (5 millions de m<sup>3</sup>/an en moyenne). Les prélèvements Eau de Paris ont représenté 27 millions de m<sup>3</sup> en 2004 contre 10 millions en 2006.



*Illustration 96 : Volumes prélevés dans la zone d'études pour l'AEP*

## 6.4. PRELEVEMENTS INDUSTRIELS

Hors élevage, le bassin de l'Avre compte une vingtaine d'entreprises industrielles soumises au régime d'autorisation des ICPE. L'activité industrielle est donc relativement limitée à l'échelle du bassin versant. Elle se concentre essentiellement le long de l'Avre dans la région de Verneuil et à l'aval du bassin versant (Saint-Lubin-des-Joncherets et la région drouaise). Seule une partie de ces sites prélèvent ou rejettent des eaux pour leur activité. Ces prélèvements peuvent être effectués directement dans le milieu naturel mais le plus souvent, les industries utilisent l'eau distribuée par les réseaux d'eau potable des collectivités.

### 6.4.1. Inventaire des ouvrages de prélèvements – Méthodologie

5 sources de données ont été croisées :

- La base AESN : les établissements industriels sont des redevables de l'AESN et à ce titre, ils remplissent annuellement des déclarations d'activité polluantes et de volumes prélevés dans le milieu naturel ;

- La base GEREP (base de déclaration annuelle des rejets) de la DREAL : cette déclaration comporte notamment des champs concernant les prélèvements en eaux de surface et souterraines. Une extraction de cette base a pu être récupérée pour les 3 régions concernées par le secteur d'étude : Haute-Normandie, Centre et Basse-Normandie ;
- Les prélèvements industriels mentionnés dans des études d'environnements ; études préalables, ... ;
- La banque du sous-sol (BSS) ;
- un questionnaire envoyé par le BRGM à Center Parcs ;
- des questionnaires envoyés par le BRGM aux mairies.

#### **6.4.2. Résultat de l'inventaire**

##### Base Gerep

Les bases GEREP recensent dans le secteur d'étude :

- 4 industries dans le secteur de l'Eure-et-Loir, dont seulement 2 prélevant dans le milieu naturel (PHILIPS ELECTRONIQUE GP et BEAUFOUR IPSEN INDUSTRIE) ; après géolocalisation de leurs points de prélèvement, ils s'avèrent être hors du secteur d'étude ;
- 5 industries dans le secteur de l'Eure, aucun ne déclare de prélèvement dans le milieu naturel ;
- Aucune industrie dans le secteur Ornaïs.

##### Base AESN et questionnaire Center Parcs

Sur la période 2000-2010, la base AESN recense dans le secteur d'étude 12 points de prélèvements appartenant à 6 entreprises (REMY KAPS, PORTAFEU, MAUREL FRERES SA, FIRMIN DIDOT SA, SAIMAP VIENNOT et CENTER PARCS).

A noter que les prélèvements de Center Parcs représentent, selon les années, entre 45 et 70% du volume total des prélèvements industriels du bassin.

Des enquêtes ont été menées auprès de ces industriels pour obtenir des données de prélèvements au pas mensuel. Des résultats ont été obtenus seulement auprès de Center Parcs (données mensuelles de 1994 à 2000 seulement). Les données annuelles de Center Parcs de la période 2001-2010, ont donc été mensualisées sur la base de coefficient de répartition mensuelle déterminés sur la période 1994 -2000 (cf. Illustration 97).

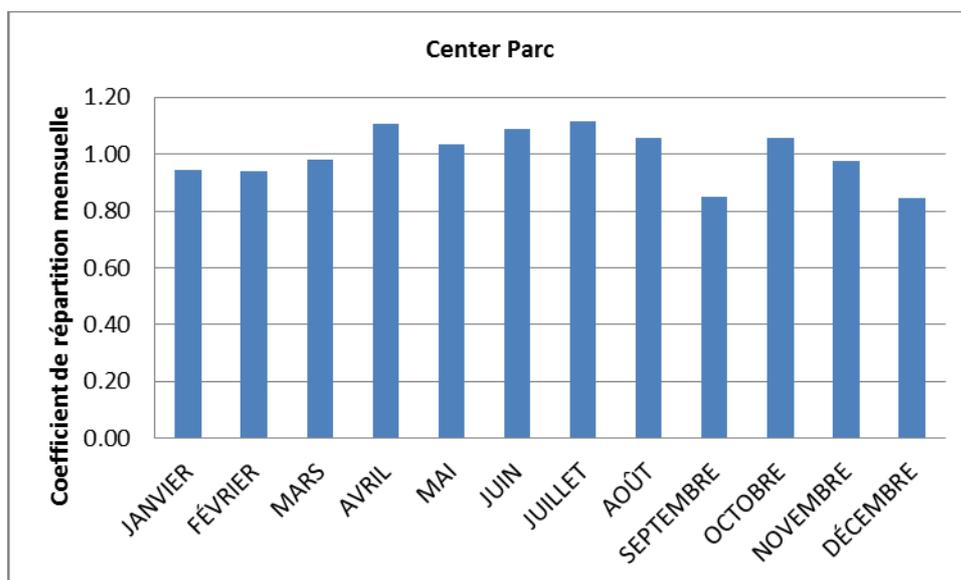


Illustration 97 : Coefficients de répartition mensuelle calculés à partir des chroniques mensuelles de Center Parc sur la période 1994-200. La somme des coefficients est égale à 12 et la moyenne égale à 1

### Etudes diverses

Le rapport d'Hydroexpert de janvier 1999 concernant des recherches d'eau en vallées de l'Avre et de l'Iton mentionne 2 captages industriels :

- Les forages des forges de Bourth à Bourth (débit autorisé de 12 000 m<sup>3</sup>/an en 1999),
- Le forage de SOVILO à Bourth (55 m<sup>3</sup>/h autorisés en 1999).

### Banque du sous-sol

La BSS recense 9 forages industriels supplémentaires. Les mairies concernées, sollicitées par le BRGM ont indiqué que :

- 3 étaient abandonnés en 2011 (date d'abandon inconnue)
- 2 étaient toujours en activité : 2 forages des abattoirs de volaille SARB à Marcilly-la-Campagne (débit d'utilisation de 3 m<sup>3</sup>/h d'après la BSS)

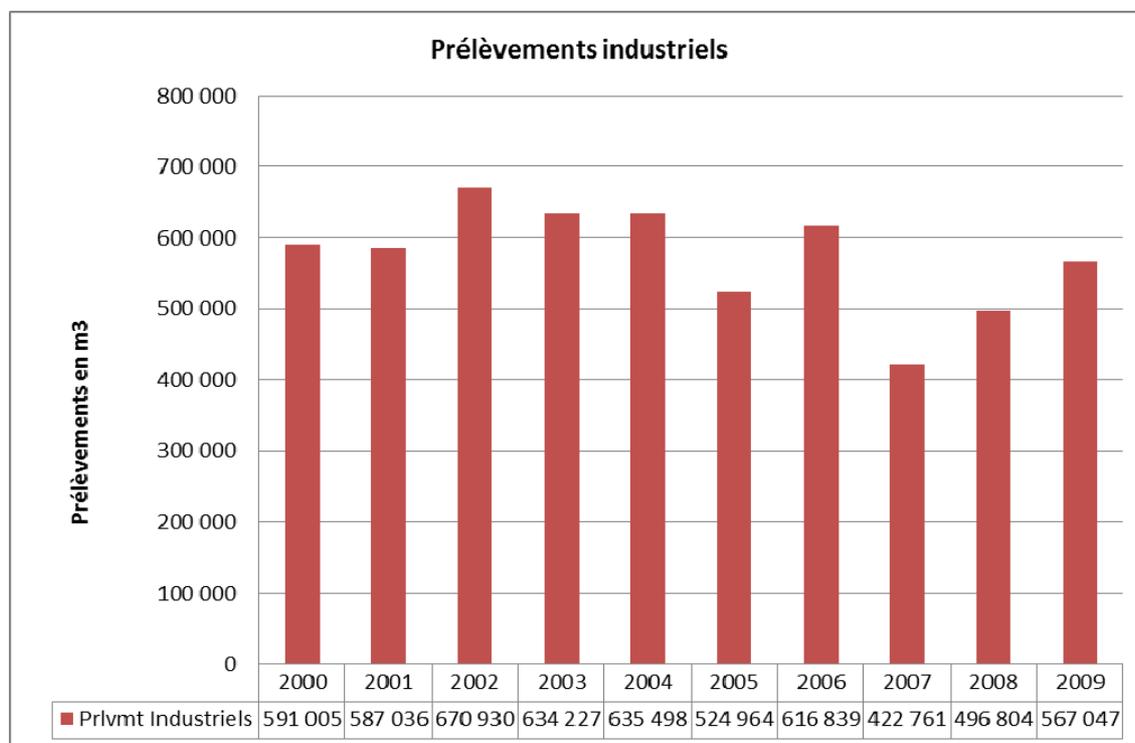
Parmi les 4 restants : 3 sont des forages anciens (1925 à 1968) probablement abandonnés et 1 et un forage récent (2003) appartenant au SRRHU (SOCIETE DE

RAMASSAGE POUR LA REGENERATION DES HUILES USAGEES) à Crucey-Villages.

### 6.4.3. Estimation des volumes prélevés pour les activités industrielles

L'illustration 98 montre que les prélèvements industriels sont relativement stables et fluctuent autour d'une moyenne 557 000 m<sup>3</sup> / an.

A noter que les prélèvements de Center Parcs représentent, selon les années, entre 45 et 70% du volume total des prélèvements industriels du bassin. Cette eau sert à la fois au fonctionnement du parc (piscines) mais aussi à l'alimentation en eau potable des résidents et du personnel.



*Illustration 98 : Volumes prélevés pour les activités industrielles – période 2000-2009*

### 6.5. PRELEVEMENTS DOMESTIQUES

248 forages ou puits à usage domestiques ont été inventoriés dans la zone d'étude :

- 12 ont été signalés dans des avis d'hydrogéologues agréés, études préalables...

- 10 ont été récupérés auprès des mairies dans le cadre de la déclaration en mairie des forages domestiques entrée en vigueur en 2008,
- Tous les autres forages n'étaient recensés que dans la BSS.

Parmi ces 248 forages , 39 ont fait l'objet d'une réponse des mairies concernant leur utilisation actuelle :

- 25 sont abandonnés,
- 14 toujours en service.

Sur ce faible échantillon, les forages abandonnés représentent 65% environ. En appliquant ce ratio aux 248 forages recensés, seulement 85 forages domestiques seraient encore en activité.

Concernant les données de prélèvements de ces ouvrages, l'information est quasi-inexistante. En effet, jusqu'en 2008, les forages domestiques ne donnaient lieu à aucune déclaration concernant leurs prélèvements. Depuis 2008, les forages et les prélèvements domestiques doivent être déclarés en mairies.

Quelques données de débits ont pu néanmoins être récupérées (questionnaire mairie, diverses études environnement) :

- Parmi les 13 données de débits horaires récupérées, la moyenne est **de 3 m<sup>3</sup>/h**,
- Parmi les 6 données de volumes annuels récupérées, la moyenne est **de 115 m<sup>3</sup>/an**,

Pour fixer l'ordre de grandeur des prélèvements domestiques, le calcul suivant peut être réalisé : 85 forages x 115 m<sup>3</sup>/an = 9775 m<sup>3</sup> /an

Les prélèvements domestiques sont donc bien négligeables à l'échelle de la zone d'étude.

## **6.6. LES REJETS**

### **6.6.1. Rejets des stations d'épurations (STEP)**

Sur les 97 communes du bassin versant de l'Avre :

- 67 ne sont pas reliées à une station d'épuration. Les effluents sont alors traités par un système d'assainissement non collectif ;

- 30 communes sont reliées à un système d'assainissement collectif ; d'après les estimations de l'état des lieux du SAGE, cela concernerait 55% de la population du bassin.

Concernant l'assainissement collectif, ces 30 communes sont regroupées en 28 zones de collecte qui amènent les effluents à traiter vers 30 stations d'épurations publiques.

Parmi ces 30 stations :

- 18 ont un exutoire situé à l'intérieur du bassin versant de l'Avre pour une capacité totale de 44 230 Eh
- 12 ont un exutoire situé à l'extérieur du bassin versant de l'Avre (3200 Eh vers le secteur de l'Iton intégré dans la zone d'étude et 86370 Eh exporté de la zone d'étude).

Les données de débits des STEP ont été récupérées auprès des DDT 27, 28 et 61 et ont été compilées avec les données présentes dans l'état des lieux du SAGE. Ces données sont présentées dans le tableau de l'illustration 100.

Pour les stations pour lesquelles aucune donnée de débit n'était disponible, des estimations ont été réalisées par corrélation à la capacité (équivalent habitant) de la station (Illustration 99).

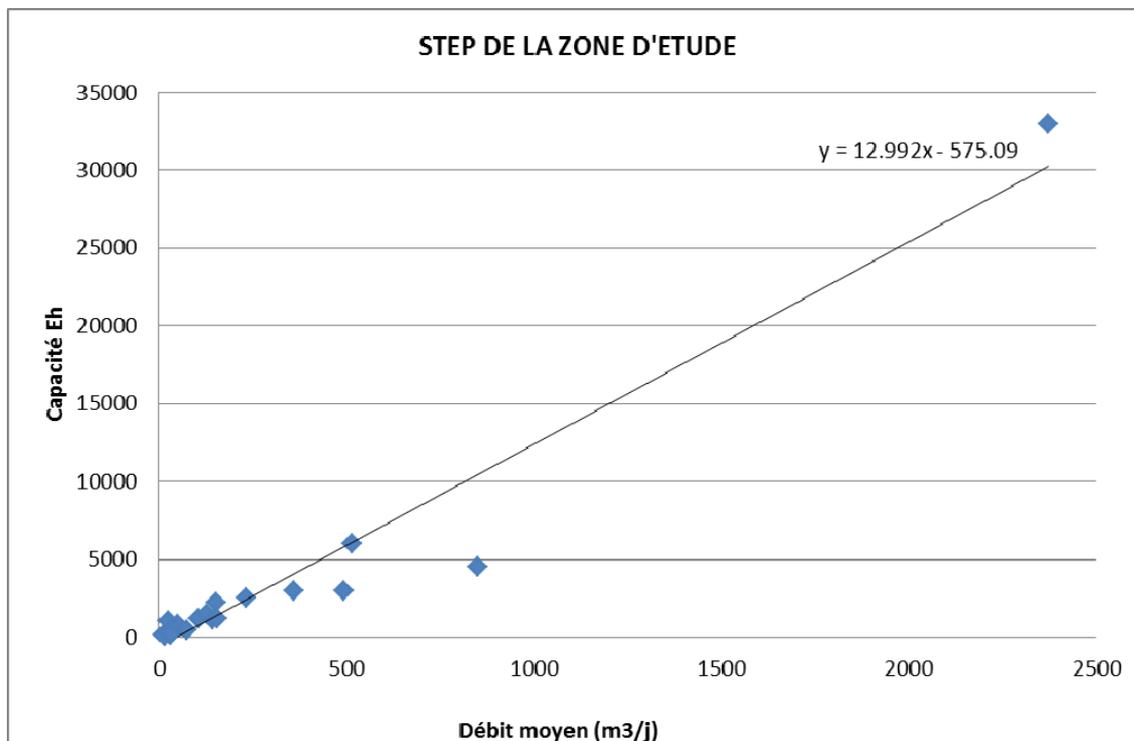


Illustration 99 : Corrélation entre capacité (Eh) et débit moyen des stations d'épuration de la zone d'étude

	Bassin versant topographique	Données de 2004, SATESE 28, 27, 61 et AESN dans l'état de lieux du SAGE			Données fournies par les DDT 27, 28 et 61 en 2011		COMPILATION et ESTIMATION		Exutoire		
		taux de collecte (en %) (4)	Débit moyen (m3/j)	Capacité en équivalent habitant (Eh)	Débit moyen en 2009 (m3/j)	Capacité en équivalent habitant (Eh)	Débit moyen retenu (m3/j)	Capacité en équivalent habitant retenue (Eh)	Cours d'eau	Bassin versant topographique de l'Avre	ZONE D'ETUDE
Les Barils	BV Avre	63	11	180			11	180	Fossé pluvial	OUI	OUI
Beauches	BV Avre	63	23	180	26	225	26	225	le lamblore	OUI	OUI
Brezolles	BV Avre	98	185	2500	233	2500	233	2500	la Meuvette	OUI	OUI
Crucey-Villages	BV Avre	60	?	400	25	360	25	360	la Gervaise / la meuvette	OUI	OUI
La Ferté Vidame	BV Avre	62	150 à 1000	1200	103	1200	103	1200	le lamblore	OUI	OUI
Irai	BV Avre	34	16	250		250	16	250	Avre	OUI	OUI
Laons	BV Avre	54	?	800	50	800	50	800	Ruisseau des fontaines	OUI	OUI
Mesnil-sur-l'Estree	BV Avre	44	27	1000	25	1000	25	1000	Avre	OUI	OUI
Montigny / Avre	BV Avre	36	?	100	14.4 (2)	100	14	100	Avre	OUI	OUI
Nonancourt	BV Avre	90	621	3000	360	3000	360	3000	Avre	OUI	OUI
Piseux	BV Avre	52	34	500			34	500	Fossé pluvial	OUI	OUI
Randonnai	BV Avre	86	141	1100		1100	141	1100	Avre	OUI	OUI
Saint-Germain-sur-Avre	BV Avre	89	104	1500	125	1500	125	1500	Avre	OUI	OUI
St Lubin des Joncherets	BV Avre	83	344	3000	493	3000	493	3000	Avre	OUI	OUI
St Maurice les Charencey	BV Avre	68	72	450		450	72	450	Rau de la Poterie	OUI	OUI
St Rémy sur Avre	BV Avre	80	295	6000	513	6000	513	6000	Avre	OUI	OUI
Tillières-sur-Avre	BV Avre	83	139	2000	150	2200	150	2200	Avre	OUI	OUI
Verneuil-sur-Avre	BV Avre	95	1416	20000	2371	33000	2371	33000	Avre	OUI	OUI
Baline	BV Avre	20	?	92			51 (2)	92	Avre	OUI	OUI
Bourth	BV Iton amont			1300			144 (2)	1300	Iton	NON	OUI
Breteuil sur Iton	BV Iton amont			4000			352 (2)	4000	Iton	NON	OUI
Francheville	BV Iton amont			800			106 (2)	800	Iton	NON	NON
Chandai	BV Iton amont			700		700	98 (2)	700	Iton	NON	OUI
Crulay	BV Iton amont			500		500	83 (2)	500	Iton	NON	OUI
Les aspres	BV Iton amont			700		700	98 (2)	700	Iton	NON	OUI
Tourouvre	BV Iton amont					2000	198 (2)	2000	Iton	NON	OUI
Marchainville	BV Iton amont					120	53 (2)	120	Iton	NON	OUI
Dreux	BV Avre / BV Blaise			80000			6202 (2) 992 (3)	80000	Blaise	NON	NON
L'homme Chamondot	BV Avre / BV Eure			100			52 (2)	100	Huisne	NON	NON
L'homme Chamondot Mt Huchet	BV Avre / BV Eure			50			48 (2)	50	Huisne	NON	NON
Marchainville	BV Avre / BV Eure			120			53 (2)	120	Huisne	NON	NON
Montreuil	BV Avre/ BV Eure			300			67 (2)	300	Eure	NON	NON
Senonche	BV Avre/ BV Eure			450			79 (2)	450	Rau St Cyr	NON	NON
Center parc les barils (1)	BV Avre	?	645	4500	850	4500	850	4500	Avre	OUI	OUI
Center parc Pullay (1)	BV Avre				153	1200	153	1200		OUI	OUI
Home Charlotte (1)	BV Avre	?	30	150			30	150	Coudanne	OUI	OUI

(1) Station d'épuration privée

(2) Données estimées par corrélation (débit moyen / capacité Eh ; cf. Illustration 99)

(3) Le Drouais est alimenté en AEP par les captages de Vert en drouais (Bassin de l'Avre) (31% de la capacité de production AEP de l'agglomération) et de Vernouillet (Bassin de la blaise) (69% de la capacité de production AEP de l'agglomération) (données du Schéma départemental d'alimentation en eau potable). Concernant les volumes traités à la station de Dreux ce même ratio a été appliqué pour estimer la part de volumes traités provenant du BV de l'Avre

(4) Taux de collecte = rapport entre la pollution, raccordée au réseau, et la pollution produite par les agglomérations. La pollution est exprimée en tonnes de matières oxydables par jour, selon la formule suivante : MO = 1 DCO + 2 DBO

Illustration 100 : Données de débits des eaux traitées aux stations d'épuration recensées dans la zone d'étude



Il apparaît que la somme des débits moyens traités à l'échelle de la zone d'étude ne représente que 23% des prélèvements AEP annuels moyens (le fait que seulement 55% de la population soit raccordée à ces STEP a été pris en compte dans de pourcentage) (Illustration 101). Ce chiffre paraît anormalement faible au vu des taux de restitution de 65% généralement admis pour les usages AEP. Il est à relativiser car il est basé sur des débits moyens journaliers transformés en volumes annuels, certains débits moyens ayant eux même été estimés par corrélation. Par ailleurs, il est à noter que certains industriels alimentés par le réseau AEP rejettent leurs eaux usées directement dans le milieu naturel ; ces volumes rejetés ne sont donc pas comptabilisés dans les débits des STEP. L'AESN recense 12 industriels soumis à la redevance au regard des rejets et dont l'exutoire et le milieu naturel.

Somme des débits moyens des STEP public du secteur d'étude (représentant 55% de la population totale du bassin) (m <sup>3</sup> /j)	8 169
Volume annuel correspondant (m <sup>3</sup> /an)	2 981 733
Prélèvement AEP moyen de la zone d'étude sur la période 2000/2009 (m <sup>3</sup> /an)	23 945 605
55% du prélèvement AEP moyen de la zone d'étude sur la période 2000/2009 (m <sup>3</sup> /an)	13 170 083
Coefficient de restitution	23%

*Illustration 101 : Calcul du coefficient de restitution au milieu des prélèvements faits pour le réseau d'adduction en eau potable de la zone d'étude*

Il faut par ailleurs prendre en compte que sur les 8 169 m<sup>3</sup>/j traités dans les STEP du bassin seulement 2329 m<sup>3</sup>/j sont rejetés à l'extérieur de la zone d'étude (soit 30%). En effet certaines stations, dont celles de Dreux, rejettent dans des cours d'eau situés en dehors de la zone d'étude. Il peut donc être considéré qu'environ 85 000 m<sup>3</sup>/an (30%) d'eaux traitées par les STEP sont rejetées hors de la zone d'étude.



## **7. Constitution d'une base de données des prélèvements dans le bassin de l'Avre et synthèse**

### **7.1. CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNEES DES PRELEVEMENTS**

Une base de données a été créée dans le cadre de cette étude afin de compiler les données de prélèvements présentées au §6. Elle est constituée d'un fichier principal au format Excel comportant les données descriptives des points de captages, les données de localisation, les volumes annuels de prélèvements et les informations concernant les propriétaires. La 80aine de champs de ce fichier ont été formalisés autant que possible selon le schéma de la future BNPE (Banque Nationale des Prélèvement en Eau).

La correspondance entre les numéros BSS, codes SISEAU et numéros de points de captage AESN apparaissent notamment dans ce fichier.

Ce fichier principal est complété par 4 fichiers regroupant les chroniques de prélèvement au pas de temps mensuel des différents points de captages pour les 3 types d'usage :

- AEP,
- Irrigation (fourchette haute),
- Irrigation (fourchette basse, données mensualisées de la base AESN),
- Industriels

### **7.2. SYNTHÈSE DES DONNEES DE PRELEVEMENT A L'ECHELLE DU BASSIN**

Les bilans des prélèvements au pas de temps mensuel sont présentés par les Illustration 106 et Illustration 107 (respectivement pour la fourchette basse et la fourchette haute) pour la période 2000-2010.

*Remarque : les sommes présentées pour chaque usage dans ce § 7.2 peuvent être légèrement différentes de celles présentées au § 6. En effet au paragraphe 6, les prélèvements pris en compte sont ceux de la totalité de la zone d'étude alors que ceux pris en compte dans ce paragraphe sont uniquement ceux se situant à l'intérieur des 4*

zones au sein desquelles vont être réalisés les bilans (cf. Illustration 108 du §8, zones 1 à 4) ; la différence reste minime.

La première exploitation de la ressource en terme de volumes prélevés est constituée par les prélèvements pour l'alimentation en eau potable de la ville de Paris (**18,8 Mm<sup>3</sup>** par an en moyenne sur les années 2000 à 2009) (Illustration 102). Ils représentent **65 à 67% des prélèvements totaux** (suivant fourchette basse ou haute prise en compte pour les prélèvements agricoles).

La seconde exploitation est constituée par les prélèvements pour l'alimentation eau potable des habitants du bassin (**4,7 Mm<sup>3</sup>** par an en moyenne sur les années 2000 à 2009). Ils représentent **15 à 17% des prélèvements totaux**.

Le bassin a conservé un caractère rural prédominant (les parcelles agricoles représentant 64% de la surface de la zone d'étude). Les prélèvements pour l'agriculture seraient compris entre **1,1 et 4,9 Mm<sup>3</sup>** par an en moyenne sur les années 2000 à 2009. Ils représentent **4 à 17% des prélèvements totaux**.

Enfin, les besoins industriels représentent cependant **0,6 Mm<sup>3</sup>** par an en moyenne sur les années 2000 à 2009. Ils représentent environ **2% des prélèvements totaux**.

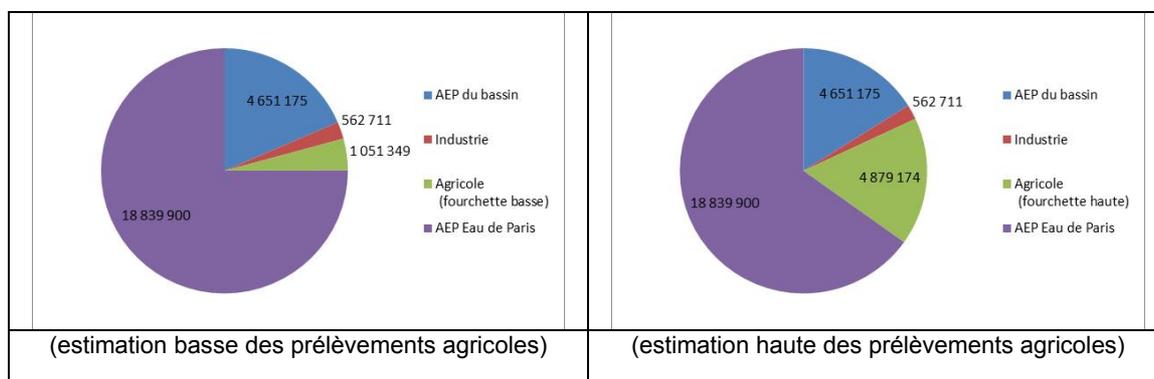


Illustration 102 : Répartition des prélèvements en fonction des usages (moyenne en m<sup>3</sup>/an réalisée sur la période 2000-2009)

Les Illustration 106 et Illustration 107 montrent que les prélèvements agricoles peuvent représenter une part importante des prélèvements pendant les mois d'été. L'illustration 103 présente la répartition moyenne mensuelle estimée des prélèvements agricoles. Les prélèvements sont concentrés essentiellement sur la période avril – août avec des pics observables pour les mois de mai et juin (Illustration 103).

Ainsi au mois de juin, les prélèvements agricoles peuvent représenter (en moyenne sur la période 2000-2009), entre 16% (fourchette basse) et 45% (fourchette haute) des prélèvements totaux de ce mois.

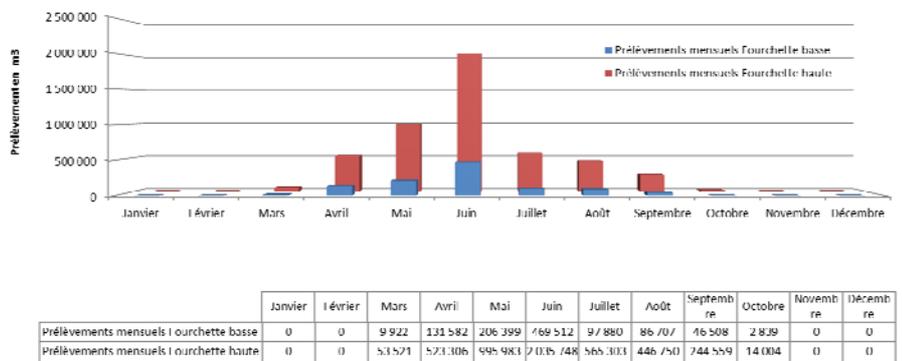


Illustration 103 : Répartition mensuelle moyenne estimée des prélèvements agricoles (moyennes réalisées sur la période 2000-2009)

La localisation de tous les ouvrages de prélèvements par usage est présentée par l'illustration 104. Une carte des volumes prélevés a également été réalisée pour l'année 2005 à titre d'exemple et est présentée par l'illustration 105.

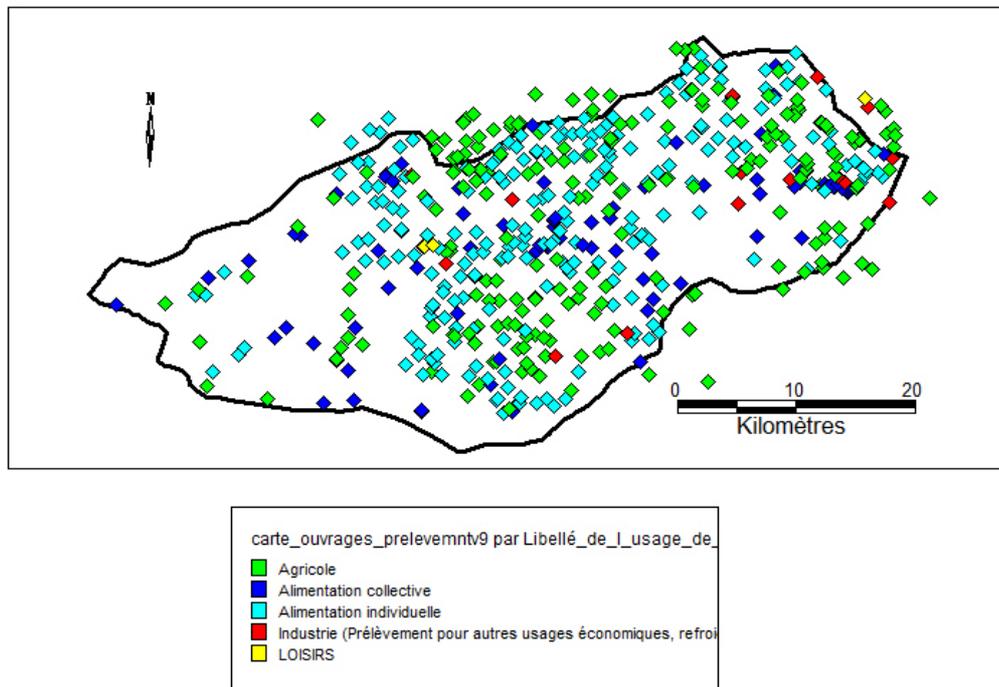


Illustration 104 : Localisation des ouvrages de prélèvements recensés par type d'usage

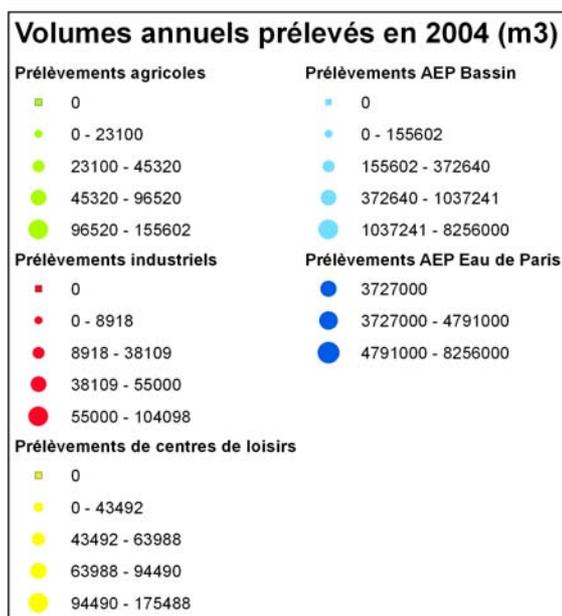
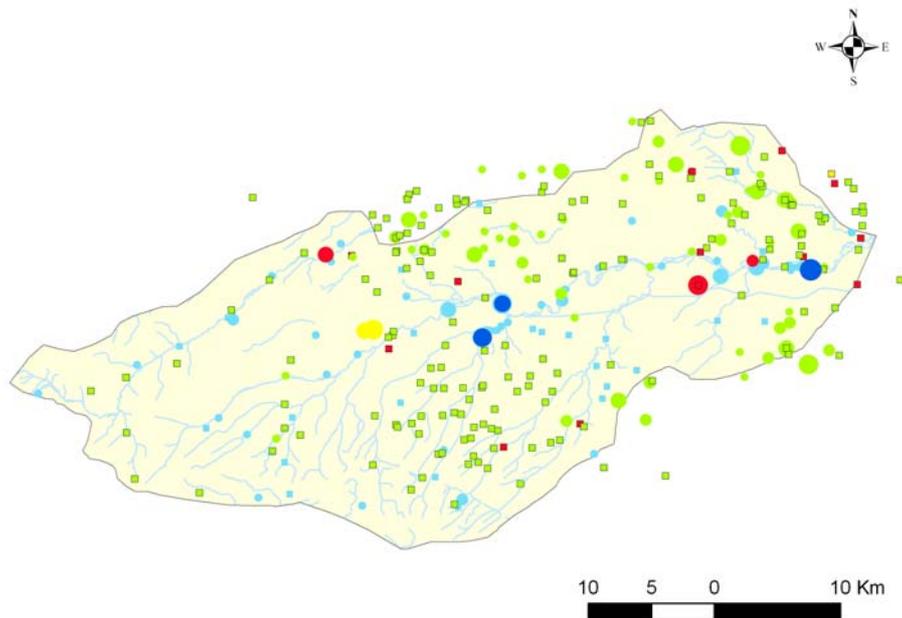
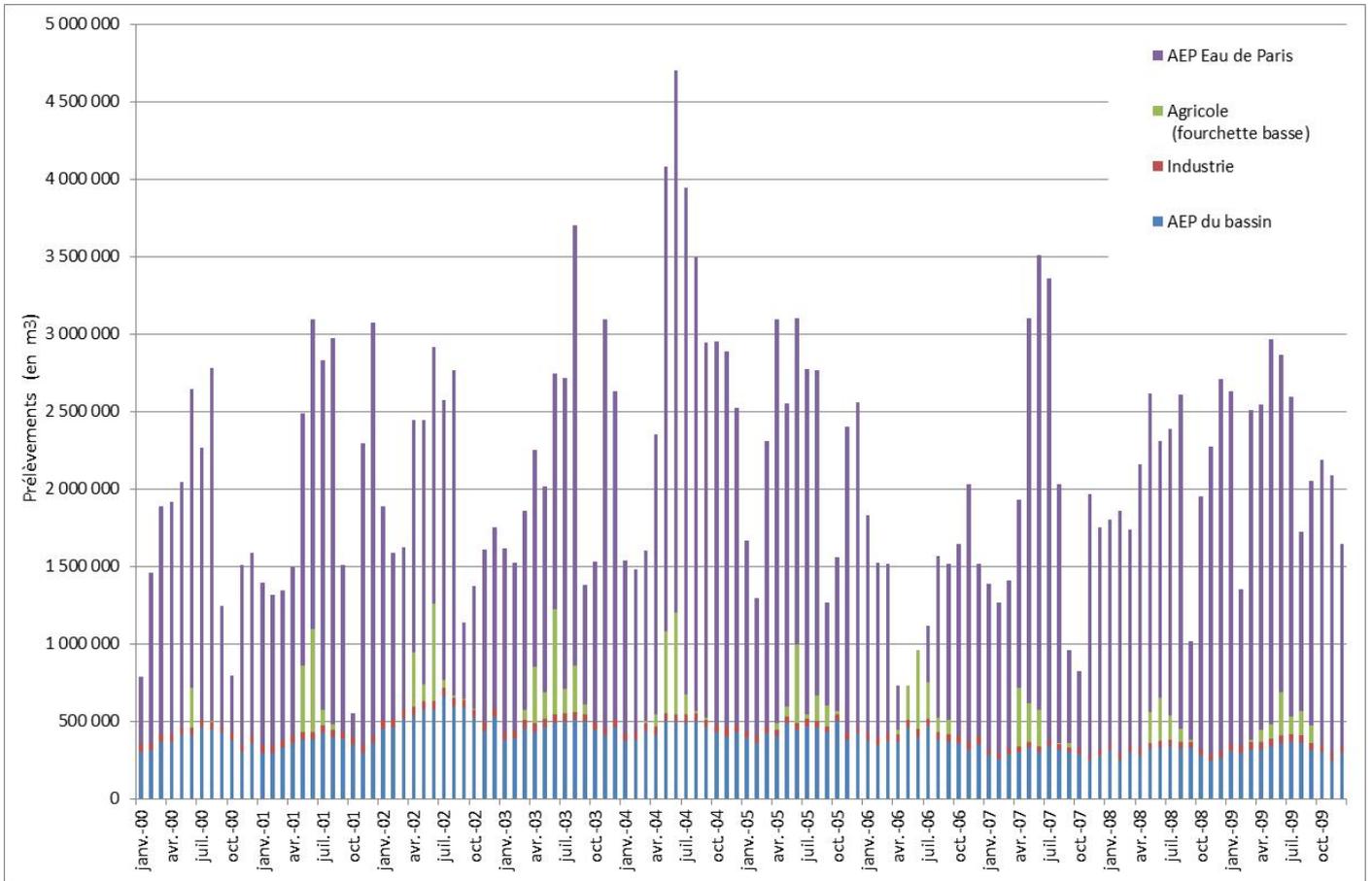


Illustration 105 : Localisation des prélèvements recensés pour l'année 2004 (d'après enquête auprès des syndicats pour l'AEP, la base AESN pour les prélèvements agricoles et industriels)



*Illustration 106 : Bilan des prélèvements (fourchette basse) par usage au pas mensuel pour la période 2000-2009*

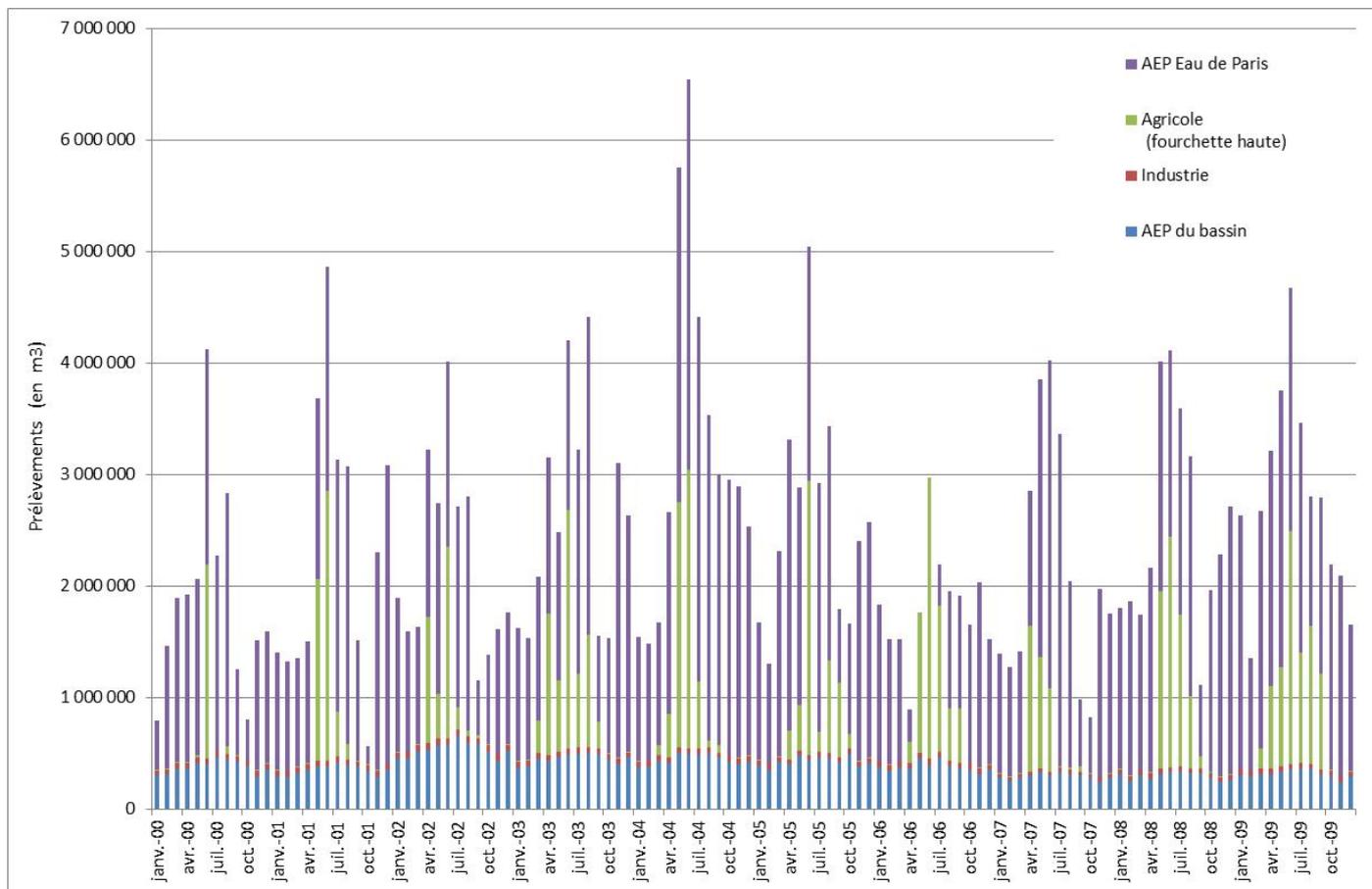


Illustration 107 : Bilan des prélèvements (fourchette haute) par usage au pas mensuel pour la période 2000-2009

## 8. Bilans des flux dans le bassin de l'Avre

Les données rassemblées dans cette phase de l'étude permettent d'établir un premier bilan des flux d'eau dans la zone d'étude. Ce bilan se base sur les flux d'eau calculés, de façon indépendante dans les chapitres précédents et récapitulés ci-après.

Les bilans sont réalisés pour trois cycles hydrologiques, comme déterminés au §4.4 :

- Cycle hydrologique 2000/2001 : année humide et de hautes eaux et consécutif à deux autres années humides ;
- Cycle hydrologique 2003/2004 : année moyennes eaux et consécutif à deux autres années moyennes ;
- Cycle hydrologique 2008/2009 : année sèche et de basses eaux et consécutif à 1 à 2 autres années sèches suivant les secteurs.

4 secteurs ont été définis en s'appuyant sur les 4 stations hydrométriques existantes dans la zone d'étude (Illustration 108).

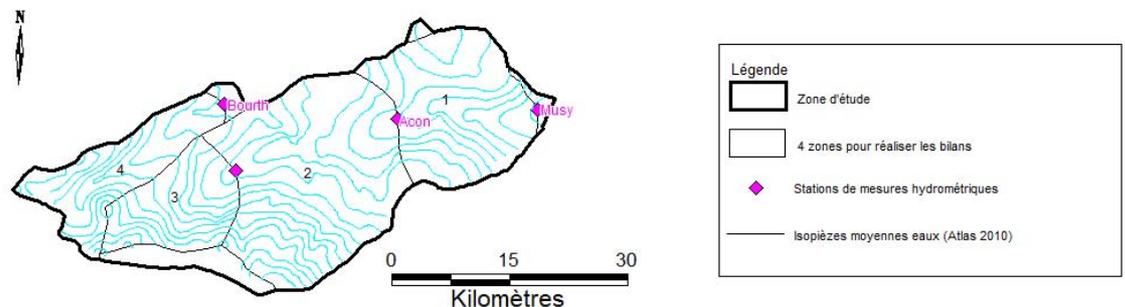


Illustration 108 : Définition des 4 secteurs sur lesquels seront effectués des bilans

Les bilans sont réalisés à l'échelle de la zone d'étude (secteurs 1+2+3+4), pour avoir une vision d'ensemble de l'état de sollicitation de l'hydrosystème ; le bilan s'appuie alors sur la station hydrométrique de Muzy. Des bilans ont également été établis pour chacun des secteurs. En effet les sorties (prélèvements) et les entrées (pluies efficaces) du système étant très inégalement réparties à l'échelle du bassin, cette analyse permet d'analyser plus finement les secteurs sous tension.

## 8.1. ENTREES DU SYSTEME

Les entrées du système sont la part de la pluie qui ruisselle et s'infiltré (la pluie efficace) ainsi que tout apport extérieur d'eaux superficielles ou souterraines.

**La pluie efficace** a été calculée au §4.2 de façon spatialisée et au pas de temps décadaire. Le calcul spatialisé (discrétisation de la zone d'étude en mailles carrées de 100 mètres de côtés) permet la détermination au plus juste de la pluie efficace pour les différents secteurs souhaités. Les pluies efficaces des 4 secteurs sur lesquels seront réalisés les bilans ont été sommées et sont disponibles au pas de temps mensuels. Un tableau récapitulatif au pas de temps annuel est présenté par l'illustration 109 pour les trois cycles hydrologiques qui vont être étudiés :

		Cycle hydrologique			MOYENNE de 1990 à 2010
		2000/2001	2003/2004	2008/2009	
Secteur 1	(en Mm <sup>3</sup> /an )	101,41	20,07	15,65	<b>24,83</b>
	(en mm /an )	329	65	51	<b>80</b>
Secteur 2	(en Mm <sup>3</sup> /an )	240,02	73,00	52,41	<b>94,36</b>
	(en mm /an )	488	148	106	<b>192</b>
Secteur 3	(en Mm <sup>3</sup> /an )	102,86	34,42	27,21	<b>45,64</b>
	(en mm /an )	621	208	164	<b>275</b>
Secteur 4	(en Mm <sup>3</sup> /an )	128,10	48,58	39,31	<b>61,39</b>
	(en mm /an )	679	258	208	<b>326</b>
Zone étude	(en Mm <sup>3</sup> /an )	572,39	176,07	134,59	<b>226,22</b>
	(en mm /an )	495	152	116	<b>196</b>

Illustration 109 : Pluie efficace annuelle par secteur

**Les apports extérieurs en eaux souterraines** : pour le bilan réalisé à l'échelle du bassin, les contours extérieurs des secteurs (secteur 1 + secteur 2 + secteur 3+ secteur 4) s'appuyant sur des crêtes piézométriques, il n'y a donc pas d'apport extérieur d'eau souterraine à considérer (*hypothèse d'une absence de connexion karstique interbassin à vérifier lors de phase 3 et 4 de l'étude*).

Pour rappel, le secteur 4 (secteur de l'Iton amont) a été intégré dans la zone d'étude car en période de basses eaux, il n'est pas exclu que les écoulements souterrains de ce secteur soient drainés par l'Avre. Les écoulements de l'Iton à la station de Bourth seront en contrepartie considérés comme une sortie du système.

**Les apports extérieurs en eau de surface** : les débits apportés par le bras forcé de l'Iton seront considérés comme des entrées du système. Une chronique de débits a été reconstituée au §5.3.3.

## 8.2. SORTIES DU SYTEME

### Les prélèvements

Les prélèvements calculés ou estimés pour chaque usage au §6 ont été pris en compte pour les bilans. La géolocalisation de chaque prélèvement a permis de les attribuer à chacun des 4 secteurs considérés.

Concernant les prélèvements agricoles, une moyenne de la fourchette haute et de la fourchette basse a été prise en compte en première approche.

Pour les besoins du bilan ce sont les prélèvements nets qui doivent être pris en compte (prélèvements – rejets). Le § 6.6 a montré que ces rejets ne sont que rarement connus (environ 45% de la population du bassin n'est pas raccordée au réseau d'assainissement collectif) et que pour les secteurs raccordés, le taux de restitution était particulièrement faible (23%) (Chiffre à prendre avec précaution car basé sur des estimations et faussé par le fait que certains industriels alimentés par le réseau AEP collectif rejettent dans le milieu naturel ; pour cette raison ce chiffre ne sera pas retenu).

Les taux de restitution rencontrés dans la bibliographie sont les suivants :

	Domestique/ AEP	Agricole (irrigation/Elevage)	Industrie	Non renseigné	Collectivité
<b>Diren Bretagne</b>	65%	20%	87%	40%	35%
<b>Rapport atlas hydrogéologique de l'Eure 2004</b>	65%	30%	93%		
<b>IFEN (2004)</b>	75%	0%	90%		

Pour l'établissement de notre bilan, nous retenons :

- Un taux de restitution de 0% pour les prélèvements Eau de Paris exporté du bassin par l'acqueduc,
- Un taux de restitution de 65% pour les prélèvements AEP du bassin,

- Un taux de restitution de 10% pour les prélèvements liés à l'irrigation,
- Un taux de restitution de 90% pour les prélèvements liés à l'industrie.

### Les flux d'eaux de surface

Les secteurs sur lesquels sont réalisés les bilans s'appuyant à l'aval sur une station hydrométrique, les flux d'eaux de surface sortant seront ceux mesurés à chaque station.

### Les flux d'eau souterraine

Pour l'estimation des flux d'eau souterraine, un calcul est réalisé à partir des cartes piézométriques et des données de transmissivité existantes à proximité de chaque station de jaugeage.

$$Q \text{ écoulement souterrain} = T \times i \times L$$

Avec T = Transmissivité ; i = gradient hydraulique de la nappe et L = largeur du front d'écoulement estimée à partir des isopièzes

Les volumes calculés sont présentés dans le tableau suivant :

	Delta h (m)	Delta X (m)	i	L (m)	T (m <sup>2</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Volume annuel (m <sup>3</sup> )
Muzy	10	4000	0.0025	1000	0.02	0.05	1 576 800
Acon	10	4400	0.00227273	500	0.01	0.01136364	358 364
St Christophe	10	4300	0.00232558	500	0.3	0.34883721	11 000 930
Bourth	10	6300	0.0015873	200	0.023	0.00730159	230 263

Une incertitude forte demeure sur ces chiffres, notamment pour les débits souterrains écoulés sous la station hydrométrique de Saint-Christophe-sur-Avre. En effet, sur ce secteur, la nappe est décrochée. Les perméabilités sont mal connues dans ce secteur et la présence du karst crée des écoulements très rapides et des volumes de transit importants. Les volumes de fuites liés à l'écoulement souterrain sont très probablement sous-estimés. Il faudra tenir compte de cette incertitude dans la lecture des bilans.

### 8.3. BILANS

#### 8.3.1. Année moyenne (cycle 2003/2004)

Le bilan réalisé en année moyenne est présenté ci-dessous :

2003/2004					
Secteur		Amont (3) + Central (2)	Aval (1)	Iton (4)	Zone d'étude
Superficie (km <sup>2</sup> )		655	307	188	1 150
Entrées	Pluie efficace	107 425 781	20 066 674	48 575 983	176 068 438
	Flux souterrains (estimés)	0	358 364	0	0
	Flux eau surface (bras forcé)	8 752 957	0	0	8 752 957
	Flux eau surface (secteur amont)	0	75 308 659	0	0
	<b>TOTAUX</b>	<b>116 178 738</b>	<b>95 733 697</b>	<b>48 575 983</b>	<b>184 821 395</b>
Sorties	Prélèvements bruts	20 514 955	12 834 847	755 236	34 105 038
	Rejets estimés	1 768 975	2 195 254	467 593	4 431 822
	Prélèvements nets	18 745 980	10 639 593	287 644	29 673 216
	Flux eau surface (stations jaugeage)	75 308 659	109 829 952	30 886 099	140 716 051
	Flux souterrains (estimés)	358 364	1 576 800	230 263	1 807 063
	<b>TOTAUX</b>	<b>94 413 003</b>	<b>122 046 345</b>	<b>31 404 006</b>	<b>172 196 330</b>
<b>BILAN</b>		21 765 735	-26 312 648	17 171 977	12 625 065

*Les secteurs amont et aval n'ont pas pu être différenciés en 2003/2004 car la station de St Christophe sur avre n'existait pas*

*Illustration 110 : Bilan des flux dans les différents secteurs de la zone d'étude en année moyenne (cycle hydrologique 2003/2004)*

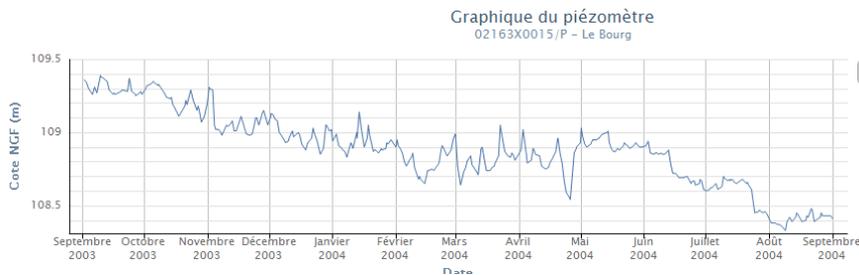
En année moyenne, le bilan est à peu près équilibré à l'échelle de la zone d'étude (bilan excédentaire de 6,8%, qui peut être lié à la marge d'erreur). Les prélèvements bruts et nets représentent respectivement 18% et 16% des entrées du système.

A l'intérieur de la zone d'étude, le bilan montre que le secteur Aval paraît être sous tension en année moyenne. Le bilan est déficitaire (-26%). Ce déficit est important et ne semble donc pas uniquement lié à l'incertitude du calcul. Les variations de stock de l'Aquifère sur ce cycle 2003/2004 sont négatifs sur les piézomètres d'Allainville et de Moisville situés tous deux dans le secteur aval. Une vidange est observable sur ces 2 piézomètres sur ce cycle hydrologique (Illustration 112). Par ailleurs, ces résultats sont à prendre avec précaution, car s'agissant de bilans annuels, il peut y avoir des variations de stock liées à des effets inertiels sans qu'il y ait véritablement déficit structurel.

Dans ce secteur Aval, les prélèvements bruts et nets représentent respectivement 13% et 11% des entrées du système.

Secteurs	Amont (3) + Central (2)	Aval (1)	Iton (4)	Zone d'étude
Part prélèvement brut sur les entrées du système	17.7%	13.4%	1.6%	18.5%
Part prélèvement net sur les entrées du système	16.1%	11.1%	0.6%	16.1%

Illustration 111 : Part des prélèvements sur les entrées du système en année moyenne



a – Piézomètre d'Allainville (secteur aval)



b – Piézomètre de Moisville (secteur aval)

Illustration 112 : Variation de stock de l'Aquifère lors du cycle hydrologique 2003/2004

### 8.3.2. Année humide (cycle 2000/2001)

Le bilan réalisé en année humide/hautes eaux est présenté ci-dessous :

2000/2001					
Secteur		Amont (3) + Central (2)	Aval (1)	Iton (4)	Zone d'étude
Superficie (km <sup>2</sup> )		655	307	188	1 150
Entrées	Pluie efficace	342 883 644	101 408 148	128 096 927	572 388 720
	Flux souterrains	0	358 364	0	0
	Flux eau surface (bras forcé)	27 978 471	0	0	27 978 471
	Flux eau surface (secteur amont)	0	188 104 032	0	0
	<b>TOTAUX</b>	<b>370 862 115</b>	<b>289 870 544</b>	<b>128 096 927</b>	<b>600 367 191</b>
Sorties	Prélèvements bruts	11 858 832	11 272 745	615 894	23 747 471
	Rejets estimés	1 501 542	1 730 230	383 742	3 615 514
	Prélèvements nets	10 357 290	9 542 515	232 151	20 131 956
	Flux eau surface (stations jaugeage)	188 104 032	277 338 816	89 614 512	366 953 328
	Flux souterrains (estimés)	358 364	1 576 800	230 263	1 807 063
	<b>TOTAUX</b>	<b>198 819 686</b>	<b>288 458 131</b>	<b>90 076 926</b>	<b>388 892 347</b>
<b>BILAN</b>		172 042 430	1 412 413	38 020 001	211 474 844

*Les secteurs amont et aval n'ont pas pu être différenciés en 2000/2001 car la station de St Christophe sur avre n'existait pas*

*Illustration 113 : Bilan des flux dans les différents secteurs de la zone d'étude en période de hautes eaux / année humide (cycle hydrologique 2000/2001)*

En année humide, le bilan est excédentaire à l'échelle de la zone d'étude (bilan excédentaire de 35%). En plus de l'incertitude sur les différentes étapes de calcul, cet excédent peut également être expliqué par une augmentation du volume d'eau stocké dans l'aquifère comme le montre la chronique piézométrique du piézomètre d'Allainville sur cette période (Illustration 115). Ces variations de stocks peuvent être liées à des effets inertiels et non nécessairement structurels. Les prélèvements bruts et nets représentent respectivement 4,0% et 3,4% des entrées du système.

L'analyse secteur par secteur montre que le bilan est excédentaire sur chacun des secteurs (excédent de +46% pour le secteur Amont(3) / Central(2), +30% sur le

secteur de l'Itton-amont(4), et + 0,5% sur le secteur Aval (1)). Les prélèvements bruts ne représentent au maximum que 3,9% des entrées du système (secteur aval) (cf. Illustration 114).

Secteurs	Amont (3) + Central (2)	Aval (1)	Itton (4)	Zone d'étude
Part prélèvement brut sur les entrées du système	3.2%	3.9%	0.5%	4.0%
Part prélèvement net sur les entrées du système	2.8%	3.3%	0.2%	3.4%

Illustration 114 : Part des prélèvements sur les entrées du système en année humide



Illustration 115 : Variation de stock de l'Aquifère lors du cycle hydrologique 2000/2001 – Piézomètre d'Alainville (secteur aval)

### 8.3.3. Année sèche (cycle 2008/2009)

Le bilan réalisé en année sèche/basses eaux est présenté ci-dessous (Illustration 116 et Illustration 121) :

2008/2009					
Secteur		Iton (4) + Amont (3)	Central (2)	Aval (1)	Zone d'étude
Superficie (km <sup>2</sup> )		353	490	307	1 150
Entrées	Pluie efficace	66 525 397	52 413 937	15 653 607	134 592 940
	Flux souterrains (estimés)	0	11 000 930	358 364	0
	Flux eau surface (bras forcé)	0	6 739 145	0	6 739 145
	Flux eau surface (secteur amont)	0	6 178 315	59 587 402	0
	<b>TOTAUX</b>	<b>66 525 397</b>	<b>76 332 327</b>	<b>75 599 372</b>	<b>141 332 085</b>
Sorties	Prélèvements bruts	930 000	20 505 526	8 418 736	29 854 262
	Rejets estimés	494 838	1 370 656	1 414 774	3 280 269
	Prélèvements nets	435 162	19 134 870	7 003 962	26 573 994
	Flux eau surface (stations jaugeage)	30 900 292	59 587 402	77 954 400	102 676 378
	Flux souterrains (estimés)	11 231 193	358 364	1 576 800	1 807 063
	<b>TOTAUX</b>	<b>42 566 647</b>	<b>79 080 635</b>	<b>86 535 162</b>	<b>131 057 434</b>
<b>BILAN</b>		23 958 750	-2 748 308	-10 935 789	10 274 651

*Les secteurs Iton et Amont ont été fusionnés en 2008/2009 pour prendre en compte dans le bilan la probable capture du bassin de l'Iton amont par l'Avre (apport de flux souterrains)*

*Illustration 116 : Bilan des flux dans les différents secteurs de la zone d'étude en période de basses eaux / année sèche (cycle hydrologique 2008/2009)*

En année sèche, le bilan est équilibré à l'échelle de la zone d'étude (bilan légèrement excédentaire de +7%, qui peut être lié à la marge d'erreur). Les prélèvements bruts et nets représentent respectivement 22% et 19% des entrées du système (Illustration 117).

L'analyse secteur par secteur montre que :

- le bilan est excédentaire sur le secteur Iton-amont (4)/Avre-amont(3) (excédent de +36%). Les prélèvements bruts et nets ne représentent respectivement que 1,4% et 0,7% des entrées du système (Illustration 117),
- le bilan est en revanche déficitaire sur le secteur Avre-central (2) (déficit de 3,6%, qui peut être lié à la marge d'erreur). Les prélèvements bruts et nets

représentent respectivement 26.9% et 25.1% des entrées du système (Illustration 117),

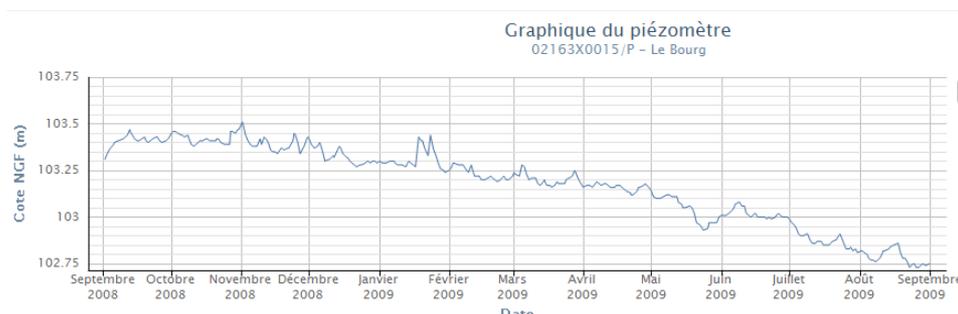
- le bilan est également déficitaire sur le secteur Avre-aval (1) (déficit de +14,5%) ; les prélèvements bruts et nets représentent respectivement 11,1% et 9,3% des entrées du système (Illustration 117).

L'étude des variations de stock montrent un déstockage de l'aquifère (baisse des niveaux piézométrique entre le début et la fin de ce cycle hydrologique) (Illustration 118).

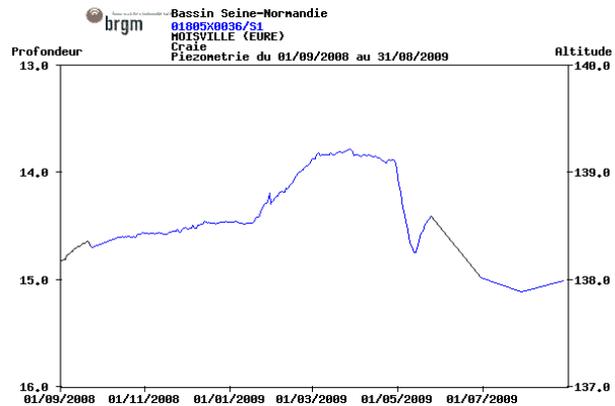
L'année 2009 est celle qui a connu le plus de dépassement des seuils de vigilance sur la période 2000-2010 pour les stations de l'Avre (St Christophe, Acon et Muzy). Dans le secteur où l'Avre connaît des assecs (secteur Avre-amont (3)), le bilan est excédentaire et les prélèvements bruts et nets ne représentent respectivement que 1,4% et 0,7% des entrées du système. Cela confirme que les résultats présentés dans les § précédents indiquant que les assecs s'expliquent par la conjonction du caractère karstique et de la faiblesse des pluies d'été. Les prélèvements ne seraient donc pas en jeu.

Secteurs	Iton (4) + Amont (3)	Central (2)	Aval (1)	Zone d'étude
Part prélèvement brut sur les entrées du système	1.4%	26.9%	11.1%	21.1%
Part prélèvement net sur les entrées du système	0.7%	25.1%	9.3%	18.8%

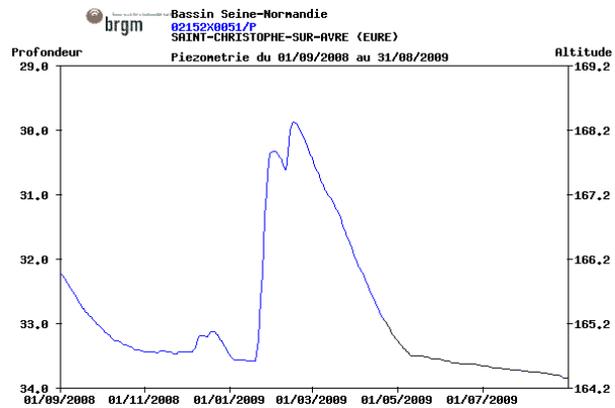
Illustration 117 : Part des prélèvements sur les entrées du système en année sèche



a – Piézomètre d'Alainville (secteur aval)



b – Piézomètre de Moisville (secteur aval)



c – Piézomètre de Saint-christophe-sur-Avre (secteur Avre-amont, secteur karstique)

Illustration 118 : Variation de stock de l'Aquifère lors du cycle hydrologique 2008/2009

Des graphiques ont été établis pour visualiser les bilans à l'échelle de la zone d'étude pour les 3 années (humide, moyenne et sèche) (Illustration 119). Les mêmes graphiques ont également été réalisés pour le secteur aval (1) qui semble être le secteur le plus sous tension (Illustration 120).



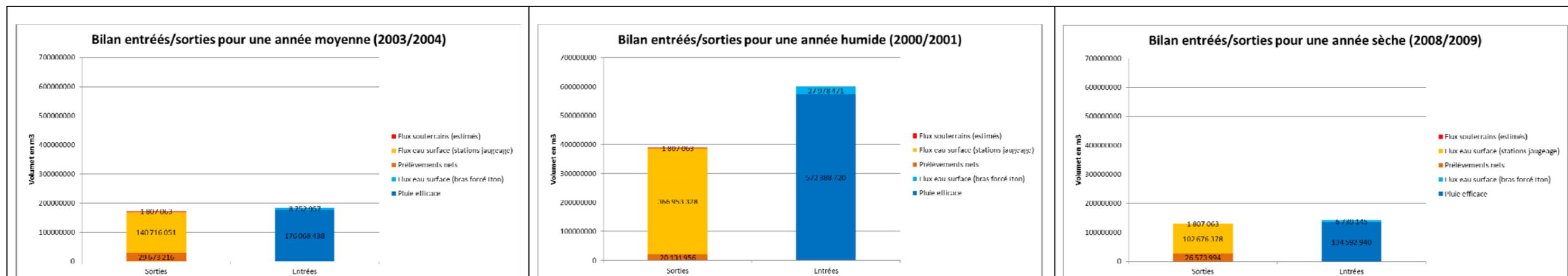


Illustration 119 : Bilans réalisés à l'échelle de la zone d'étude pour 3 années : moyenne (cycle 2003/2004), humide (cycle 2000/2001) et sèche (cycle 2008/2009)

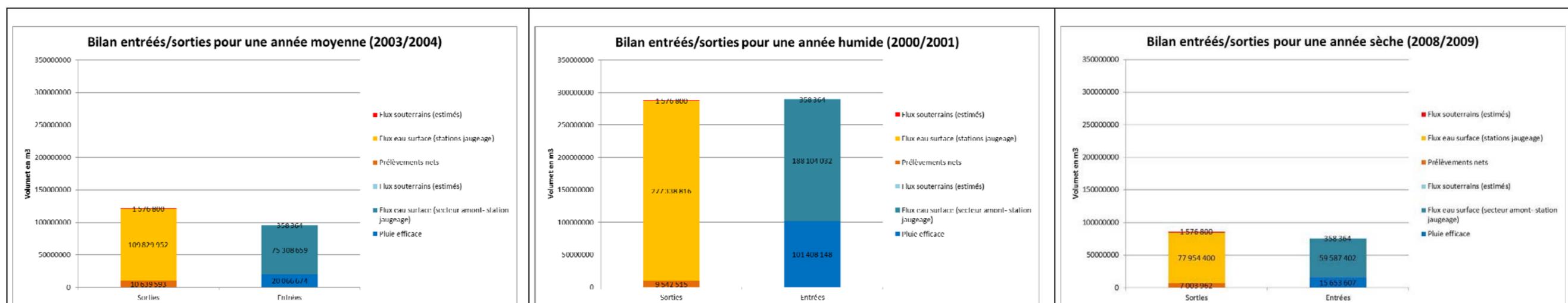


Illustration 120 : Bilans réalisés à l'échelle du secteur Aval (1) pour 3 années : moyenne (cycle 2003/2004), humide (cycle 2000/2001) et sèche (cycle 2008/2009)



Le synoptique suivant illustre les bilans réalisés pour l'année sèche (cycle 2008/2009) :

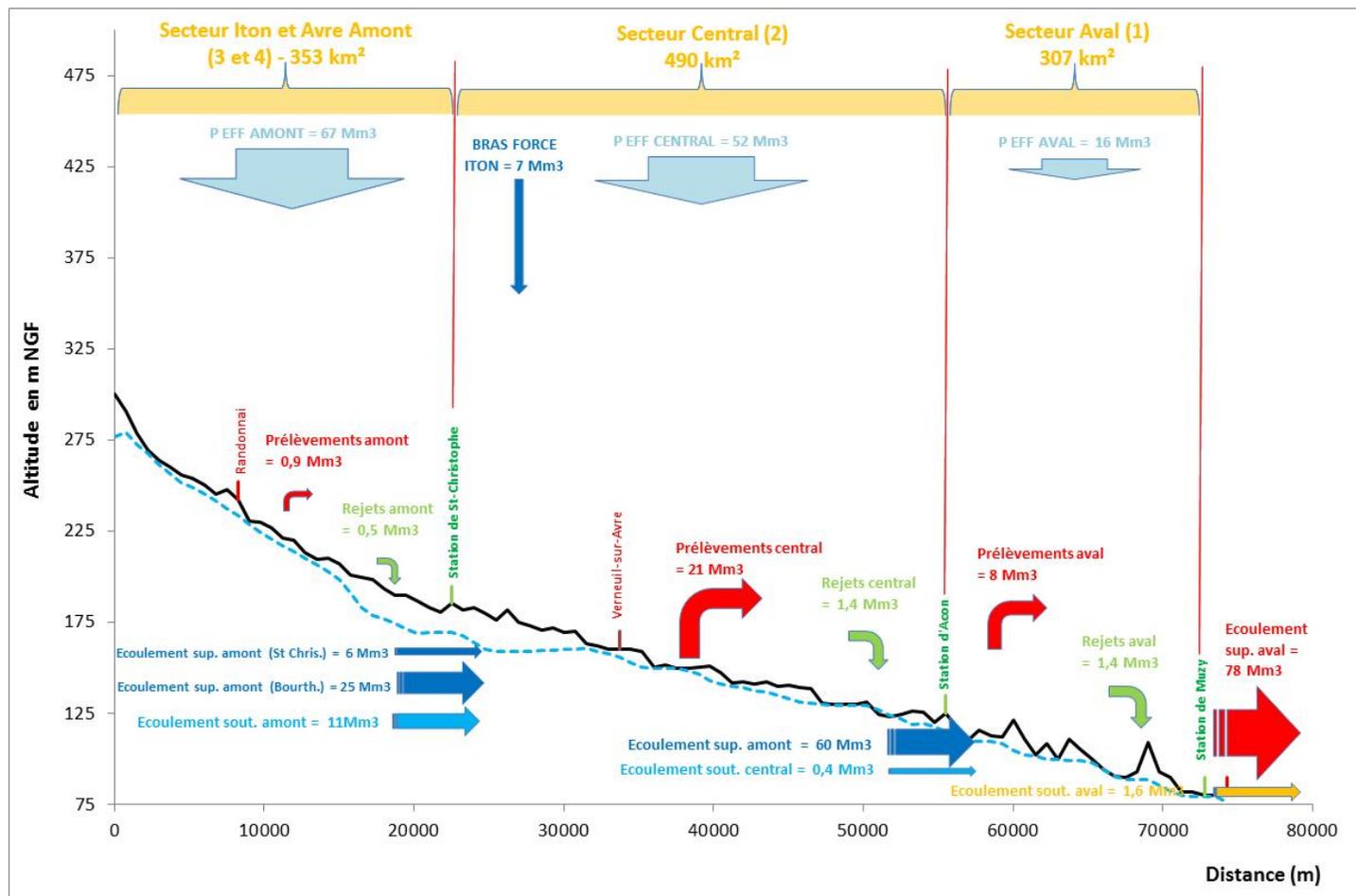


Illustration 121 : Bilan des flux dans les différents secteurs de la zone d'étude en période de basses eaux / année sèche (cycle hydrologique 2008/2009)



## 9. Premières corrélations pluie efficace / prélèvements et débits des cours d'eau

On présente dans ce paragraphe les premiers résultats de l'analyse des corrélations réalisées pour rechercher l'origine des étiages de l'Avre.

Les données utilisées pour réaliser les tests de corrélations sont présentées à l'illustration 122.

Année	Pluie efficace de l'hiver précédant (zone étude) (Mm3)	Moyenne mobile sur 3 ans de la pluie efficace zone étude (Mm3)	Pluie d'été (juin, juillet et août) (en mm)	Prélèvement EDP du mois d'août	Prélèvements annuels effectués dans un rayon d'1 km autour de l'avre (m3)	Volume mensuel minimum de l'Avre transitant à Muzy (m3)	Nombre de dépassement du seuil de vigilance à la station de Muzy
2001	<b>372.5</b>	<b>397.2</b>	163.432744	1794500	12 503 091	11 801 376	0
2002	<b>315.9</b>	<b>370.4</b>	179.64106	1418900	9 634 150	8 749 728	0
2003	<b>154.5</b>	<b>281.0</b>	141.268919	2153500	1 3081 265	6 258 816	0
2004	<b>134.9</b>	<b>201.8</b>	144.435447	2231500	20 259 575	4 895 424	22
2005	<b>111.5</b>	<b>133.6</b>	108.912994	1399500	14 440 964	3 499 200	133
2006	<b>190.6</b>	<b>145.7</b>	144.827235	350200	5 545 980	5 067 360	28
2007	<b>219.5</b>	<b>173.9</b>	315.302807	969500	12 543 966	6 339 168	0
2008	<b>192.9</b>	<b>201.0</b>	111.579314	1464100	14 547 616	5 691 168	0
2009	<b>161.6</b>	<b>191.3</b>	120.04158	1161000	16 468 907	3 910 464	154

*Illustration 122 : Données utilisées pour réaliser les tests de corrélations pour rechercher l'origine des étiages de l'Avre*

Deux séries de corrélations ont été testées :

- La première a consisté à analyser la corrélation du volume mensuel minimum de l'Avre à Muzy avec les pluies efficaces de l'hiver précédant l'étiage, les pluies d'été, les prélèvements Eau de Paris du mois d'août, la somme des prélèvements annuels réalisés dans un rayon de 1km autour de l'Avre. Les résultats de ces tests de corrélations sont présentés ci-après :

<b>Test de corrélation</b>	<b>Coefficient de corrélation</b>
Pluie efficace de l'hiver précédant / Débit mensuel minimum à Muzy	0.95
Moyenne mobile 3ans de la pluie efficace de l'hiver précédant / Débit mensuel minimum à Muzy	0.90
Pluies d'été / Débit mensuel minimum à Muzy	0.29
Prélèvements annuels effectués dans un rayon d'1km autour de l'Avre / Débits mensuel minimum à Muzy	-0.29
Prélèvement EDP du mois d'août / Débit mensuel minimum à Muzy	0.23

- La seconde a consisté à analyser la corrélation du nombre annuel de dépassements du seuil de vigilance à Muzy avec les pluies efficaces de l'hiver précédant l'étiage, les pluies d'été, les prélèvements Eau de Paris du mois d'août, la somme des prélèvements annuels réalisés dans un rayon de 1km autour de l'Avre.

Les résultats de ces tests de corrélations sont présentés ci-dessous :

<b>Test de corrélation</b>	<b>Coefficient de corrélation</b>
Pluie efficace de l'hiver précédant / Nombre de dépassements du seuil de vigilance à Muzy	-0.51
Moyenne mobile 3ans de la pluie efficace de l'hiver précédant / Nombre de dépassements du seuil de vigilance à Muzy	-0.49
Pluies d'été / Nombre de dépassements du seuil de vigilance à Muzy	-0.43
Prélèvements annuels effectués dans un rayon d'1km autour de l'Avre / Nombre de dépassements du seuil de vigilance à Muzy	0.30
Prélèvements EDP du mois d'août / Nombre de dépassements du seuil de vigilance à Muzy	-0.21

Ces corrélations mettent en évidence les relations directes entre les débits des rivières et les pluies efficaces. Les débits d'étiages et les quantités de volumes prélevés semblent en revanche peu corrélés.

## 10. Conclusion

La présence de karst en amont de l'Avre, crée un fonctionnement hydraulique différenciable en 3 tronçons distincts : la rivière est drainante et se trouve alimentée par la nappe de la craie (de sa source à Randonnai et de Verneuil-sur-Avre à la confluence), la rivière est en revanche perchée au-dessus de la nappe de Randonnai à Verneuil-sur-Avre (secteur karstique). Ainsi la particularité de ce bassin est la présence d'un karst très développé essentiellement dans le secteur amont du bassin qui le structure de la façon suivante d'amont en aval :

- une zone de sources située au niveau des formations du Sables du Perche,
- une zone de pertes qui affecte les plateaux et les fonds des cours d'eau (Avre et ses affluents de la rive droite)
- une deuxième zone de sources (sources de la Breuil/Gonord/Vignes) située au niveau de Verneuil-sur-Avre / Rueil, qui constitue l'exutoire des conduits karstiques de l'amont du bassin. La synthèse bibliographique a montré qu'une carte des réseaux karstiques supposés est disponible.

A la demande du BRGM et du Syndicat de l'Avre, le bureau hydrométrique de la DREAL SRE a réalisé une campagne de jaugeage les 22 et 23 septembre 2011. Cette campagne a permis de connaître :

- le débit apporté par le bras forcé de l'Iton. La campagne a mis en évidence des pertes importantes de débit (50%) entre l'amont et l'aval du bras forcé. L'origine de ces pertes serait à rechercher ;
- le débit perdu par l'Avre au niveau du secteur perché de l'Avre (débit qui retourne dans le réservoir souterrain). L'Avre perd ainsi 64% de son débit sur le secteur perché de son lit (entre Randonnai et Verneuil) ;
- le débit apporté par la zone de résurgence des sources de Breuil/Gonord/Vignes. Cet apport concentré (sources de Breuil/Gonord/Vigne) est considérable puisqu'il représentait (le jour de la campagne de jaugeage) 62% du débit naturel reconstitué d'Acon et 55% de celui de Muzy. Environ 1/4 de ce volume résurgent était exporté par Eau de Paris le jour de la campagne de jaugeage.

**Le volume d'eau de la zone de résurgence du système karstique amont représente ainsi une part majoritaire du débit de l'Avre aval.**

Enfin, sur la base des résultats de cette campagne, une carte des apports d'eaux souterraines à l'Avre a pu être réalisée pour identifier les secteurs de la nappe les plus contributifs.

**L'impact des prélèvements sur les débits de l'Avre a été étudié en calculant le débit naturel de l'Avre** (prise en compte de tous les prélèvements (eaux de surface et eaux souterraine) réalisés dans un rayon de 1 km autour du cours d'eau de l'Avre). Les débits naturels ainsi reconstitués sont supérieurs aux débits mesurés d'environ 14% pour Muzy, 16% pour Acon et de 1% pour Saint-Christophe-sur-Avre (moyenne 2005-2010). On en déduit que :

- **Sur la portion aval, les prélèvements jouent un rôle non négligeable sur le débit du cours d'eau ;**
- **Sur la portion amont, les débits mesurés (à la station de Saint-Christophe-sur-Avre) semblent très proches des débits naturels.** C'est pourtant sur ce secteur que sont constatés les assecs. Ainsi les assecs trouveraient plutôt leur origine dans le caractère karstique de ce secteur (cours de l'Avre perchée au-dessus de la nappe). L'Avre dans le secteur amont est ainsi plus dépendant des pluies d'été car il ne bénéficie pas des débits de soutien de la nappe.

Concernant les assecs, une carte localisant les assecs historiques a été dressée. Une analyse des dépassements de seuils (vigilance, alerte, crise et crise renforcée) semble montrer que les périodes d'étiages sévères correspondent à des périodes de faibles pluies efficaces (données corrélées). Des tests de corrélations entre les débits d'étiages de l'Avre à Muzy d'une part, et la pluie efficace, les pluies d'été, les prélèvements d'été d'autre part, semblent mettre en évidence une forte corrélation entre les débits d'étiage et les pluies efficaces. Les débits d'étiages et les volumes prélevés semblent en revanche peu corrélés. Les pluies efficaces seraient ainsi le facteur prépondérant plus ou moins aggravé par le facteur prélèvement suivant la situation hydrologique. En d'autres termes, l'impact des prélèvements serait ainsi tamponné en période humide, mais constituerait un facteur aggravant en période sèche.

**En terme de prélèvements, l'étude a montré que :**

- la première exploitation de la ressource en terme de volumes prélevés est constituée par les prélèvements pour l'alimentation en eau potable de la ville de Paris (**18,8 Mm<sup>3</sup>** par an en moyenne sur les années 2000 à 2009). Ils représentent **65 à 75% des prélèvements totaux ;**
- la seconde exploitation est constituée par les prélèvements pour l'alimentation eau potable des habitants du bassin (**4,7 Mm<sup>3</sup>** par an en moyenne sur les années 2000 à 2009). Ils représentent **15 à 17% des prélèvements totaux ;**
- Le bassin a conservé un caractère rural prédominant (les parcelles agricoles représentant 64% de la surface de la zone d'étude). Les prélèvements pour l'agriculture seraient compris entre **1,1 et 4,9 Mm<sup>3</sup>** par an en moyenne sur les années 2000 à 2009. Ils représentent **4 à 17% des prélèvements totaux.** Les prélèvements agricoles peuvent représenter une part importante des prélèvements

pendant les mois d'été. Ainsi au mois de juin (pic des besoins pour l'irrigation), les prélèvements agricoles peuvent représenter (en moyenne sur la période 2000-2009), entre 16% (fourchette basse) et 45% (fourchette haute) des prélèvements totaux de ce mois.

Il est à noter qu'une forte incertitude demeure concernant les volumes des prélèvements agricoles.

- Enfin, les besoins industriels représentent **0,6 Mm<sup>3</sup>** par an en moyenne sur les années 2000 à 2009. Ils représentent environ **2% des prélèvements totaux**.

**Concernant les bilans quantitatifs réalisés**, les entrées du système varient dans un rapport de 1 à 4 (de 140 Mm<sup>3</sup> à 600 Mm<sup>3</sup>) suivant la situation hydrologique (sèche ou humide).

Le taux de sollicitation du système vis-à-vis des prélèvements varie suivant la situation hydrologique (sèche, moyenne ou humide) et suivant les secteurs du bassin (amont, central ou aval). Il apparaît que les prélèvements bruts représentent :

- 18% des entrées du système en année moyenne,
- 4% des entrées du système en année humide,
- 21% des entrées du système en année sèche.

A l'intérieur de la zone d'étude, l'état de sollicitation du système est également très inégal. Ainsi, en année sèche, le secteur amont est peu sollicité (prélèvements bruts = 1,4% des entrées), les secteurs central et aval le sont beaucoup plus : les prélèvements représentent respectivement 27% et 11% des entrées du système.

Toutes ces conclusions ont été réalisées sur la base des données disponibles. L'étude a par ailleurs mis en évidence certaines lacunes ou incertitudes dans ces données. Ainsi, tous ces résultats devront être confirmés par les investigations complémentaires et par la réalisation d'un modèle maillé. Aussi nous préconisons :

- **Concernant l'hypothèse d'un drainage du bassin de l'Iton amont par l'Avre en période de basses eaux** : il serait nécessaire de confirmer ce constat par la réalisation d'une carte piézométrique locale avec une densité de points de mesures suffisante pour vérifier l'effacement de la crête en période de Basses Eaux. Une autre possibilité serait d'implanter un piézomètre au niveau de la crête piézométrique et de réaliser un suivi en continu des niveaux (si l'altitude piézométrique est inférieure à celle du lit de l'Iton alors cela indiquerait que l'Iton amont est drainé vers le bassin de l'Avre) ;
- **Concernant l'hypothèse de la faille de Verneuil qui ferait écran aux écoulements souterrains**. Une prospection géophysique serait nécessaire pour vérifier cette hypothèse. ;

- **Concernant la connexion karstique interbassins** : réaliser des traçages pour vérifier l'absence de drain karstique le long de la faille supposée de Breteuil à Verneuil ; tester d'éventuelles connexions karstiques entre les bassins hydrogéologiques de l'Avre et la Blaise amont ;
- **Concernant l'extension des sables du perche au Nord de la faille de Senonches** : vérifier l'extension des sables du perche en réalisant des sondages suffisamment profonds ;
- **Concernant les pertes de débits du bras forcé de l'Iton** : une enquête serait à mener pour voir s'il agit de pertes régulières le long de son cours (karst) ou de prélèvements ;
- **Il conviendrait de réaliser une deuxième campagne de jaugeages** pour valider les résultats de la première campagne ;
- **La mise en place d'un doublet de stations de jaugeage (1 en amont de Verneuil-sur-Avre et 1 à l'aval de la zone de résurgence)** permettrait de mettre en place un suivi quantitatif par bassin amont/aval selon la cohérence du fonctionnement hydrogéologique du bassin ;
- **Concernant la connexion hydraulique entre les sables du Perche** (blocs surélevés entre la faille de l'Eure et la faille de Senonches) **et l'aquifère de la Craie** : réalisation d'une carte piézométrique précise de part et d'autre de la faille de Senonches afin de mieux comprendre le fonctionnement hydrogéologique dans ce secteur ; réalisation de datation des eaux souterraines ;
- **Concernant la connaissance des prélèvements** :
  - mise en place systématique de compteurs pour les forages de prélèvements (quelque soit l'usage, forages agricoles y compris),
  - un suivi mensuel des prélèvements (et non annuel) par les différents acteurs de l'eau du bassin est indispensable à une gestion équilibrée de la ressource.

**A l'issue de ces investigations ou compléments d'information, la réalisation d'une modélisation hydrodynamique des écoulements permettrait d'élaborer des règles de gestion volumiques de la ressource en eau.**



*Illustration 123 : L'avre à l'aval de la zone de résurgence Gonord/Vigne/Breuil (BRGM, 17/07/2011)*



## 11. Bibliographie

- 1 Wazi N. 1988 Le Crétacé du Roumois (Vallée de l'Oison) et le Tertiaire-Quaternaire des régions voisines de la basse vallée de la Seine (Haute Normandie). Stratigraphie et tectonique.
- 2 Valdès D. 2005 Variabilité spatiale du fonctionnement hydrologique de l'aquifère karstique de la craie (département de l'Eure, France)
- 3 BURGEAP 1991 Etude hydrogéologique du système aquifère des sources de la Vigne et du Breuil
- 4 P. Lebret, F. Ménéillet, P. Béguin 1996 Carte géologique de la France à 1/50000, Verneuil (215)
- 5 aH2D 2008 Sources de la Vigne, Etude préalable à la DUP des périmètres de protection des sources de la Vigne (28) - Etude d'environnement et de vulnérabilité du bassin d'alimentation des captages.
- 6 Juignet P. 1974 Transgression crétacée sur la bordure du Massif Armoricaïn
- 7 F. Ménéillet, P. Lebret, P. Béguin 1998 Carte géologique de la France à 1/50000, L'Aigle (214)
- 8 F. Ménéillet 1994 Carte géologique de la France à 1/50000, Dreux (216)
- 10 E. Lasseur 2007 La craie du bassin de Paris (Cenomanien-Campanien, Crétacé supérieur). Sédimentologie de faciès, stratigraphie séquentielle et géométrie 3D),
- 11 Laignel B. 1997 Les altérites à silex de l'Ouest du bassin de Paris - Caractérisation lithologique, génèse et utilisation potentielle comme granulats
- 12 Quesnel F. 1997 Cartographie numérique en géologie de surface ; Application aux altérites à silex de l'Ouest du bassin de Paris
- 13 SAFEGE avr-92 Etude hydrogéologique de la région du Perche Nord (1ère phase)
- 14 SAFEGE juin-93 reconnaissance géophysique des Sables du Perche dans la Région de Senonches, rapport d'études
- 15 SAFEGE mai-94 Aquifère des sables du Perche, Forages d'essai, rapport final

- 16 OYO RGS déc-08 Recherche en eau en vallées de l'Avre et de l'Eure. Syndicat d'étude de Nonancourt. 1ère phase : synthèse bibliographique. Etude hydrogéologique et environnementales préalables. Proposition de sites favorables à la recherche en eau.
- 17 HYDROEXPERT oct-96 Expériences de multitraces sur le plateau de St André de l'Eure. Protection de la ressource en eau.
- 18 O. Griere juil-09 Détermination des périmètres de protection de la source du Breuil à Verneuil sur Avre (27)
- 19 GAUDRIOT oct-00 Etude hydrogéologique de la région de Brezolles
- 20 G. Moguedet 2000 Carte géologique de la France à 1/50000, La loupe (253)
- 21 G. Moguedet 1998 Carte géologique de la France à 1/50000, Mortagne-au-Perche
- 22 CE3E 2009 Etude PPRE de l'Iton - Phase 2 - Synoptique de répartition des débits en situation d'étiage
- 23 G. Souchet 1994 recherche de l'origine de l'eau de la source du Breuil
- 24 J-C. Martin, E. Rouxel-David, D. Batowski 2004 Elaboration d'une règle de gestion volumique de la ressource en eau du bassin de la Barbuise, rapport final
- 25 J-C. Martin 2008 Elaboration d'une règle de gestion volumique en eau de la nappe de Bièvre-Valloire, phase 1 - Acquisition, mise en forme et analyse des données disponibles
- 26 J-C. Martin 2008 Elaboration d'une règle de gestion volumique en eau de la nappe de Bièvre-Valloire, phase 2-modélisation globale des écoulements souterrains, phase 3 - élaboration de règles de gestion volumique
- 27 Syndicat Intercommunal de la Vallée d'Avre 2006 Etat des lieux
- 28 Compagnie générale de géophysique 2001 Etude hydrogéologique de l'aquifère de la craie
- 29 A. Noulin, A. Rimbaud, A. Rodde 2011 Gestion de l'étiage sur le bassin de l'Avre : bilan besoins-ressources et retour d'expérience
- 30 Desprez N. et Martins Cl. 1972 Protection des captages de la ville de Paris dans la région de la Ferté Vidame (Eure-et-loir). Rap. BRGM/72SGN323BDP
- 31 Sykioti O., Deffontaines B., Chrowicz J., Obert D., De Marsily G., Lauerjat J. et Carvalho J., 1996 Imagerie numérique multisource de la surface topographique. Application à la géométrie d'un milieu karstique : Verneuil-sur-Avre. Bulletin de la Société géologique de France 1996 ; t167, n°2, pp. 269-284

32 JF. Vernoux, E. Buscarlet, L. Gourcy, A. Wuilleumier (2010) - Champs captant de Montreuil-sur-Eure et Vert-en-Drouais (28) : délimitation des bassins d'alimentation de captages et des zones vulnérables, rapport final – rapport BRGM/RP-58587-FR, 139 pages, 81 figures, 10 tableaux, 2 annexes



## **Annexe 1**

-

### **Sédimentation crétacée de la bordure Est du massif armoricain**



### **La sédimentation crétacée de la bordure Est du massif armoricain**

1/ Cycles de transgressions-régressions au jurassique. Puis lacune de sédimentation entre le Jurassique supérieur (Kimméridgien) et la fin du crétacé inférieur. Jusque le début de l'Albien, le secteur du bassin de l'Avre reste émergé.

2/ Ensuite une transgression débute au cours de **l'Albien** du fait d'une subsidence générale. Elle se traduit par le dépôt de **sables verts** (glauconieux) qui reposent directement en discordance sur le Kimméridgien marin [6].

Des **sables ou des marnes et craies glauconieuses** se déposent ensuite au **Cénomaniens**, dans un environnement marin légèrement plus profond. [9]

Dans le bassin de l'Avre, au Cénomaniens, la sédimentation va **passer latéralement aux faciès crayeux vers le centre du bassin. Alors qu'à l'extérieur de ce dernier, elle va rester détritique :**

- Au Sud, de l'axe de Senonches la sédimentation marneuse est interrompue, au Cénomaniens moyen-supérieur, par le **dépôt des Sables du Perche**. Ces dépôts de faciès détritiques de bordure forment un cône déritique alimenté par l'érosion des marges armoricaines vraisemblablement émergées au cours du **Cénomaniens**. Ces dépôts furent limités vers le Nord Est par l'existence d'un haut fond constitué par les marnes et argiles cénomaniennes [14].
- Au Nord de cet axe, la **sédimentation crayeuse** se poursuit au **Cénomaniens supérieur**. [9]

Après une petite lacune de sédimentation à la limite Cénomaniens/Turonien, la sédimentation crayeuse s'étend et recouvre les épandages détritiques au Sud de l'axe de Senonches, tandis qu'elle se poursuit au Nord. Les **craies** sont d'abord **marneuses au Turonien inférieur**, puis évoluent vers les faciès de **craie à bryozoaires** qui caractérisent le **Sénonien** de cette partie du bassin. [9]

Dans ce contexte global transgressif, quelques petites phases de régressions ont été identifiées. Notamment à l'intervalle Turonien/Coniacien [10].

Ainsi, dans la partie Ouest du bassin, la sédimentation aurait eu lieu jusque qu'au Turonien. L'absence de craie turonienne dans la partie à l'ouest de l'axe de Senonches s'expliquerait par une altération des formations turoniennes en argiles à silex pendant le Cénozoïque [6]. C'est pour cela que dans ce secteur, les argiles à silex reposent directement sur les sables du Perche (Cénomaniens).

Dans la partie est du bassin, la sédimentation s'est poursuivie jusqu'au Campanien.

3/ Pendant le Campanien, la région émerge progressivement, une importante phase de régression se met en place. La sédimentation s'arrête au campanien dans le bassin de l'Avre, seule la partie la plus à l'est du Bassin est touchée par cette sédimentation.

Ainsi, durant le Cénozoïque et le Quaternaire, les formations crayeuses sont progressivement altérées. Il se forme une couche d'argiles à silex (plusieurs types selon la roche mère altérée) qui est elle-même recouverte par des apports éoliens et fluviaux de limons.

4/ Les variations climatiques importantes du Quaternaire (périodes glaciaires), vraisemblablement accompagnées de réajustements néotectoniques, ont contribué à modeler le paysage actuel en englant les versants avec des matériaux soliflués et accompagnés d'un saupoudrage de loess [9].

## **Annexe 2**

-

### **Analyse de l'intensité des pluies journalières suivant les mois de l'année sur les stations de Rueil et Beaulieu**



**RUEIL (analyse des données journalière de 1971 à 2011)**

hauteur de pluie en mm

	SC1	SC2	SC2	SC3	SC4	SC4	SC4	SC5	SC5	SC6	SC1	SC1	
	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	MOYENNE
NB_VAL	1260	1271	1271	1271	1271	1271	1271	1271	1271	1271	1271	1271	
MIN	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
MAX	39.8	26	36.6	28	34.6	40.4	53.4	42.6	62	34.8	33.9	27.4	38.3
MEDIANE	1.6	1.5	1.4	1.3	1.6	1.6	1.8	1.4	1.1	1.2	1.4	1.6	1.5
MOYENNE	3.0	2.9	2.6	2.7	3.4	3.5	4.2	3.0	3.5	3.1	2.9	3.3	3.2
5ieme décile (MEDIANE)	1.6	1.5	1.4	1.3	1.6	1.6	1.8	1.4	1.1	1.2	1.4	1.6	1.5
6ieme decile	2.2	2.2	2	2.06	2.5	2.5	2.92	2	2	2	2.04	2.6	2.3
7ieme decile	3.4	3.1	3	3.02	3.68	3.67	4.4	2.9	3	3.12	3.2	3.7	3.3
8ieme décile	5.2	4.7	4.2	4.88	6	5.58	6.72	4.5	5.3	5.2	4.8	5.3	5.2
9ieme decile	7.73	7.5	6.4	7.14	9.16	8.89	11.56	8.05	9.7	8.4	7.6	8.3	8.4
<b>Somme des valeurs &lt; ou = 9ieme decile</b>	1435.2	1148.5	1149.5	1069.8	1388.9	1072.1	1241.2	818.1	1003.9	1256.3	1319.3	1430.9	1194.5
<b>Somme de toutes les valeurs</b>	2457.0	1924.7	2016.0	1803.4	2456.9	1921.7	2262.1	1526.7	2099.6	2348.2	2313.8	2521.6	2137.7
<b>% que représentent les pluies du 9ieme décile sur les pluies totales</b>	<b>58%</b>	<b>60%</b>	<b>57%</b>	<b>59%</b>	<b>57%</b>	<b>56%</b>	<b>55%</b>	<b>54%</b>	<b>48%</b>	<b>54%</b>	<b>57%</b>	<b>57%</b>	<b>56%</b>



**BEAULIEU (analyse des données journalière de 1990 à 2011)**

hauteur de pluie en mm

	SC1	SC2	SC2	SC3	SC4	SC4	SC4	SC5	SC5	SC6	SC1	SC1	
	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	MOYENNE
NB_VAL	682	682	682	682	682	682	682	682	682	682	682	682	
MIN	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	
MAX	50.2	36.1	33	19	33.3	48	40	36.4	48	36	40.5	29.6	37.5
MEDIANE	3	3	2.6	2.5	2.4	2.8	2.9	2.2	2.4	2.85	2.7	3.5	2.7
MOYENNE	5.2	4.9	4.3	3.9	4.6	5.0	4.9	4.1	4.7	5.1	4.7	5.5	4.7
5ieme décile (MEDIANE)	3	3	2.6	2.5	2.4	2.8	2.9	2.2	2.4	2.85	2.7	3.5	2.7
6ieme decile	4	4.2	3.6	3.7	3.8	3.4	3.84	3.2	3.7	4.2	3.72	5.2	3.9
7ieme decile	5.3	5.6	4.8	5.1	5.07	5	5.5	4.52	5	5.2	5.09	6.7	5.2
8ieme décile	8.3	8.2	6	6.4	7.48	7.9	7.68	6.9	7.4	7.88	7.04	9.1	7.5
9ieme decile	12.96	10.55	10.2	10.1	11.66	12.3	11.58	9.1	12.2	14.54	11.5	12.8	11.6
<b>Somme des valeurs &lt; ou = 9ieme decile</b>	1133.5	1123.6	786.7	800.4	797.8	707.6	735.3	594.6	676.5	1027.5	1036.0	1269.4	890.7
<b>Somme de toutes les valeurs</b>	1874.6	1555.9	1303.6	1185.4	1293.4	1225.0	1207.0	1009.8	1231.9	1699.9	1723.8	1978.6	1440.7
<b>% que représentent les pluies du 9ieme décile sur les pluies totales</b>	<b>60%</b>	<b>72%</b>	<b>60%</b>	<b>68%</b>	<b>62%</b>	<b>58%</b>	<b>61%</b>	<b>59%</b>	<b>55%</b>	<b>60%</b>	<b>60%</b>	<b>64%</b>	<b>62%</b>



## **Annexe 3**

-

### **Pluies efficaces mensuelles sommées à l'échelle de la zone d'étude (de janvier 1990 à décembre 2010)**



Pluie efficace (en m3)													
Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	TOTAL Peff
1990	40873454	95458918	0	0	0	0	0	0	0	132119	5773823	37361894	179600208
1991	70322892	4938809	16807605	4317624	0	0	0	0	0	975648	40915187	16496230	154773995
1992	2117309	9635977	11747676	20326	0	0	0	20326	945159	25717132	75867264	53231494	179302663
1993	58995825	3807720	0	1279795	11293432	10206686	0	0	3241997	28411151	2883161	86284404	206404171
1994	66174477	68399661	12763543	40587039	254075	2002111	0	1950440	132119	5991848	26652465	54754899	279662677
1995	141635125	84507061	49414836	1375578	10163	0	0	0	3287983	5692657	1751482	28764027	316438912
1996	24511551	37589761	3256968	0	0	0	0	0	0	0	17697070	28710143	111765493
1997	2956834	72714007	133310	0	0	6536221	0	0	0	0	1510206	72582540	156433118
1998	88428322	0	0	31361143	0	0	0	0	570192	67598210	23923963	78384133	290265963
1999	51955266	41829031	22500900	13742289	0	0	0	0	9424185	29452147	36220570	191161374	396285762
2000	14140482	55812158	3394567	57317929	4375426	3535490	11479138	0	0	53641144	103616418	115539927	422852679
2001	90965814	54399799	130911199	22824084	505070	0	0	0	0	2989971	35192818	34728593	372517348
2002	22778984	84929771	47047770	0	0	0	0	0	3079389	13050088	78292675	66765517	315944194
2003	48498005	27134878	3208553	0	0	0	0	0	0	0	20168416	55491584	154501436
2004	99634524	0	0	782551	0	0	0	0	0	10163	975140	33482711	134885089
2005	48218306	6924100	853438	264238	2096087	0	0	0	0	1189071	29196697	22801370	111543307
2006	34625103	37683346	54910436	0	0	0	0	0	0	40652	19121471	44187580	190568588
2007	34773453	68589412	23447437	0	0	6772286	10816680	1966186	0	0	7009794	66097375	219472623
2008	45289884	25149964	55697560	8214812	0	0	0	0	0	10163	26789404	31795552	192947339
2009	51987625	19415179	4561536	0	0	0	0	0	0	0	23961848	61695700	161621888
2010	58199186	49663339	4753569	152445	0	0	0	0	0	528476	35515878	40137696	188950589
Minimum	2117309	0	0	0	0	0	0	0	0	0	975140	16496230	111543307
Maximum	141635125	95458918	130911199	57317929	11293432	10206686	11479138	1966186	9424185	67598210	103616418	191161374	422852679
Moyenne	52242020	40408709	21210043	8678088	882583	1383466	1061706	187474	984811	11210983	29192179	58116893	225558954

Pluie efficace de la zone d'étude ( en m3) (somme des pluies efficaces calculées en chaque maille de la grille de discrétisation de la zone d'étude). Pour rappel la zone d'étude inclus l'amont du bassin versant de l'iton



Pluie efficace moyenne (en mm)													
Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	TOTAL
1990	35.5	82.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	5.0	32.4	155.8
1991	61.0	4.3	14.6	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	35.5	14.3	134.2
1992	1.8	8.4	10.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	22.3	65.8	46.2	155.5
1993	51.2	3.3	0.0	1.1	9.8	8.9	0.0	0.0	2.8	24.6	2.5	74.8	179.0
1994	57.4	59.3	11.1	35.2	0.2	1.7	0.0	1.7	0.1	5.2	23.1	47.5	242.6
1995	122.8	73.3	42.9	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	4.9	1.5	24.9	274.5
1996	21.3	32.6	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3	24.9	96.9
1997	2.6	63.1	0.1	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	63.0	135.7
1998	76.7	0.0	0.0	27.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	58.6	20.8	68.0	251.8
1999	45.1	36.3	19.5	11.9	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	25.5	31.4	165.8	343.7
2000	12.3	48.4	2.9	49.7	3.8	3.1	10.0	0.0	0.0	46.5	89.9	100.2	366.8
2001	78.9	47.2	113.5	19.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	30.5	30.1	323.1
2002	19.8	73.7	40.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	11.3	67.9	57.9	274.0
2003	42.1	23.5	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	48.1	134.0
2004	86.4	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	29.0	117.0
2005	41.8	6.0	0.7	0.2	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	25.3	19.8	96.7
2006	30.0	32.7	47.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.6	38.3	165.3
2007	30.2	59.5	20.3	0.0	0.0	5.9	9.4	1.7	0.0	0.0	6.1	57.3	190.4
2008	39.3	21.8	48.3	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.2	27.6	167.3
2009	45.1	16.8	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.8	53.5	140.2
2010	50.5	43.1	4.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	30.8	34.8	163.9
Minimum	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	14.3	96.7
Maximum	122.8	82.8	113.5	49.7	9.8	8.9	10.0	1.7	8.2	58.6	89.9	165.8	366.8
Moyenne	45.3	35.0	18.4	7.5	0.8	1.2	0.9	0.2	0.9	9.7	25.3	50.4	195.6

Pluie efficace moyenne de la zone d'étude (en mm) (moyenne des pluies efficaces calculées en chaque maille de la grille de discrétisation de la zone d'étude). Pour rappel la zone d'étude inclus l'amont du bassin versant de l'Iton



## **Annexe 4**

-

### **Bilan de la collecte auprès des producteurs d'eau des données de prélèvement AEP au pas de temps mensuel**



NUM BSS	Libellé captage	Nom syndicat	Pourcentage des données fournies au pas de temps annuel	Pourcentage des données fournies au pas de temps mensuel
02153X2003	BAS EGLISE	SIEAP BREZOLLE	0.0	100.0
02154X2001	LA COTE A GIROUX (Les Varennes)	SIEAP BREZOLLE	0.0	100.0
02153X2027	LA VARENNE	SIEAP BREZOLLE	0.0	100.0
02161X0001	LES FONTAINES	Mairie de Dampierre sur Avre	0.0	100.0
02153X2030				
02153X2028				
02153X2026				
02153X2032				
02153X2029				
02153X2031				
02153X2033	Sources de la vigne	EAUX DE PARIS	0.0	100.0
02153X0045				
02153X0028				
02153X0044	Sources du BREUIL	EAUX DE PARIS	0.0	100.0
02163X0003				
02163X0042				
02163X0043				
02163X0044				
02163X0045	Forages de VERT EN DROUAIS	EAUX DE PARIS	0.0	100.0
02163X0046				
02531X0019	BOURG (La rangée bourdon) aussi appelé par erreur La Motte	Mairie de L'Homme-Chamondot	0.0	100.0
02532X0002				
02532X0034	HARDELLIERE	SIAEP Marchainville	0.0	100.0
02151X1018	HAMEL	SMPEP PERCHER	0.0	100.0
02144X0046	PERCHER (remplace ROLLIN)	SMPEP PERCHER	0.0	100.0
02144X0006	ROLLIN S1	SMPEP PERCHER	0.0	100.0
02148X0010	MAROYERE	MAIRIE DE RANDONNAI	9.1	90.9
02162X0004	LES DIX ARPENTS	Mairie ST Remy sur Avre	9.1	90.9
02146X0003	RONXOU	SIAEP MOULINS LA MARCHE -	9.1	90.9
02533X2033	BOIS DE SAUVELOUP (RESSUINTES)	SIDEP	18.2	81.8
02533X2003	LA HAIE DE CAREME PRENANT (RESSUINTES)	SIDEP	9.1	90.9
02158X0023	LE CLOS RUBILLON (LOUVILLIERS)	SIDEP	18.2	81.8
02148X0030	CHAMPVILLON (source de Rudelande)	La Poterie Normandel	18.2	81.8
02163X0037	LA PRAIRIE DES GUERRES N°1	Dreux agglomération	54.5	45.5
02163X0057	LA PRAIRIE DES GUERRES N°2	Dreux agglomération	54.5	45.5
02163X0035	LES PRES HAUTS N°1	Dreux agglomération	45.5	54.5
02163X0038	LES PRES HAUTS N°2	Dreux agglomération	45.5	54.5
02147X0006	BOURDINIÈRES	Commune d'Aspres	63.6	36.4
01805X0001	PANLATTE (DROISY)	SEPIA	45.5	54.5
02161X2001	LE HAUT BRIGAUT (BREUX-Anc. Route du Mans)	SEPIA	90.9	9.1
02154X0001	LES LONGS PRES ( Les grands prés)	SEPIA	72.7	27.3
01808X2003	Source MOTEL (ABA)	Mairie MARCILLY SUR EURE	81.8	18.2
02162X2001	FUMECON (FUMECON-BASSELINE)	ST GERMAIN SUR AVRE	81.8	18.2
02162X2005	LE FOUR A CHAUX LES CAVES			
01806X0023	LES HARENGENRIES (=Les Petits buis)	SAEP PAQUETERIE	81.8	18.2
02151X0002	Bourth Crapotel Gerier	SIPERB	90.9	9.1
02151X0004	CRAPEAUTEL (Bourth Crapotel Souchet)	SIPERB	90.9	9.1
02151X0001	LE SOUCHET (Bourth Souchet)	SIPERB	90.9	9.1
02154X0004	JARRIER	SAEP VERNEUIL EST	100.0	0.0
02152X0002	LA FERTE VIDAME (Le Chatillon)	SIAEP SW Canton Verneuil	100.0	0.0
02152X0001	LA PANNETIERE	SIAEP SW Canton Verneuil	100.0	0.0
02155X2002	LE CALVAIRE	SIAEP SW Canton Verneuil	100.0	0.0
02151X0003	LE GUERIN	SIAEP SW Canton Verneuil	100.0	0.0
02153X0026	GONORD	Mairie de Verneuil sur Avre	100.0	0.0
02157X0003	LE PLESSIS	Mairie de Lamblore	100.0	0.0



## **Annexe 5**

-

### **Résultat des doses d'irrigation nécessaires calculées pour la période 2000-2010**



Dose irrigation (mm)	Blé	Orge	Pois	Maïs
janv.-00	0.0	0.0	0.0	0.0
févr.-00	0.0	0.0	0.0	0.0
mars-00	0.0	0.0	0.0	0.0
avr.-00	0.0	0.0	0.0	0.0
mai-00	0.8	0.0	0.0	0.0
juin-00	71.4	63.6	46.4	28.7
juil.-00	0.0	0.0	0.0	0.0
août-00	0.0	0.0	0.0	47.0
sept.-00	0.0	0.0	0.0	2.1
oct.-00	0.0	0.0	0.0	0.0
nov.-00	0.0	0.0	0.0	0.0
déc.-00	0.0	0.0	0.0	0.0
janv.-01	0.0	0.0	0.0	0.0
févr.-01	0.0	0.0	0.0	0.0
mars-01	0.0	0.0	0.0	0.0
avr.-01	0.0	0.0	0.0	0.0
mai-01	69.8	52.8	52.8	8.0
juin-01	96.5	96.5	72.4	47.3
juil.-01	15.0	6.5	7.2	62.1
août-01	2.1	2.1	2.1	66.4
sept.-01	0.0	0.0	0.0	0.0
oct.-01	0.0	0.0	0.0	0.0
nov.-01	0.0	0.0	0.0	0.0
déc.-01	0.0	0.0	0.0	0.0
janv.-02	0.0	0.0	0.0	0.0
févr.-02	0.0	0.0	0.0	0.0
mars-02	0.0	0.0	0.0	0.0
avr.-02	53.8	21.9	3.6	3.6
mai-02	21.5	0.2	1.9	0.0
juin-02	69.2	68.8	49.9	20.1
juil.-02	5.9	0.0	0.0	65.6
août-02	0.0	0.0	0.0	36.2
sept.-02	0.0	0.0	0.0	15.4
oct.-02	0.0	0.0	0.0	3.7
nov.-02	0.0	0.0	0.0	0.0
déc.-02	0.0	0.0	0.0	0.0
janv.-03	0.0	0.0	0.0	0.0
févr.-03	0.0	0.0	0.0	0.0
mars-03	15.1	0.0	0.0	0.0
avr.-03	57.1	31.4	16.2	16.2
mai-03	30.4	12.1	12.1	0.0
juin-03	85.9	85.9	62.5	29.8
juil.-03	29.6	0.0	16.8	82.3
août-03	35.9	29.5	32.1	122.3
sept.-03	7.0	7.0	7.0	51.0
oct.-03	0.0	0.0	0.0	0.0
nov.-03	0.0	0.0	0.0	0.0
déc.-03	0.0	0.0	0.0	0.0
janv.-04	0.0	0.0	0.0	0.0
févr.-04	0.0	0.0	0.0	0.0
mars-04	4.5	0.0	0.0	0.0
avr.-04	20.8	0.0	0.0	0.0
mai-04	98.1	58.7	58.7	19.3
juin-04	99.4	99.4	78.9	46.8
juil.-04	24.1	6.6	9.6	83.2
août-04	0.0	0.0	0.0	39.7
sept.-04	0.0	0.0	0.0	45.5
oct.-04	0.0	0.0	0.0	0.0
nov.-04	0.0	0.0	0.0	0.0
déc.-04	0.0	0.0	0.0	0.0

Dose irrigation (mm)	Blé	Orge	Pois	Maïs
janv.-05	0.0	0.0	0.0	0.0
févr.-05	0.0	0.0	0.0	0.0
mars-05	0.0	0.0	0.0	0.0
avr.-05	13.4	0.0	0.0	0.0
mai-05	21.0	1.0	0.0	0.0
juin-05	99.5	94.2	72.2	36.3
juil.-05	5.3	0.8	0.8	55.9
août-05	29.9	26.5	26.5	92.9
sept.-05	24.0	24.0	24.0	52.9
oct.-05	4.7	4.7	4.7	11.2
nov.-05	0.0	0.0	0.0	0.0
déc.-05	0.0	0.0	0.0	0.0
janv.-06	0.0	0.0	0.0	0.0
févr.-06	0.0	0.0	0.0	0.0
mars-06	0.0	0.0	0.0	0.0
avr.-06	10.0	0.0	0.0	0.0
mai-06	60.3	22.0	22.0	0.0
juin-06	100.7	100.7	100.7	33.9
juil.-06	53.0	27.6	26.2	124.9
août-06	15.8	15.8	15.8	61.9
sept.-06	16.2	16.2	16.2	64.6
oct.-06	0.0	0.0	0.0	0.0
nov.-06	0.0	0.0	0.0	0.0
déc.-06	0.0	0.0	0.0	0.0
janv.-07	0.0	0.0	0.0	0.0
févr.-07	0.0	0.0	0.0	0.0
mars-07	0.0	0.0	0.0	0.0
avr.-07	58.3	34.8	12.3	12.3
mai-07	49.6	9.6	22.1	7.8
juin-07	31.5	25.8	31.5	0.0
juil.-07	0.0	0.0	0.0	0.0
août-07	0.0	0.0	0.0	10.8
sept.-07	0.0	0.0	0.0	34.8
oct.-07	0.0	0.0	0.0	0.0
nov.-07	0.0	0.0	0.0	0.0
déc.-07	0.0	0.0	0.0	0.0
janv.-08	0.0	0.0	0.0	0.0
févr.-08	0.0	0.0	0.0	0.0
mars-08	0.0	0.0	0.0	0.0
avr.-08	0.0	0.0	0.0	0.0
mai-08	72.8	38.3	26.0	7.7
juin-08	84.9	77.5	62.6	27.4
juil.-08	57.3	20.5	39.6	127.5
août-08	22.0	22.0	22.0	77.6
sept.-08	2.1	2.1	2.1	43.1
oct.-08	0.0	0.0	0.0	5.4
nov.-08	0.0	0.0	0.0	0.0
déc.-08	0.0	0.0	0.0	0.0
janv.-09	0.0	0.0	0.0	0.0
févr.-09	0.0	0.0	0.0	0.0
mars-09	9.4	0.0	0.0	0.0
avr.-09	37.9	7.2	0.0	0.0
mai-09	45.1	7.6	14.8	0.0
juin-09	84.0	84.0	62.1	23.0
juil.-09	39.7	19.4	26.2	101.2
août-09	45.7	35.1	41.1	130.5
sept.-09	31.0	31.0	31.0	66.3
oct.-09	0.0	0.0	0.0	0.1
nov.-09	0.0	0.0	0.0	0.0
déc.-09	0.0	0.0	0.0	0.0

Dose irrigation (mm)	Blé	Orge	Pois	Maïs
janv.-10	0.0	0.0	0.0	0.0
févr.-10	0.0	0.0	0.0	0.0
mars-10	1.7	0.0	0.0	0.0
avr.-10	74.5	31.0	10.1	10.1
mai-10	83.3	41.0	61.0	22.8
juin-10	70.6	70.6	49.1	22.3
juil.-10	80.6	45.0	60.8	158.3
août-10	11.4	11.4	11.4	71.0
sept.-10	18.9	18.9	18.9	43.0
oct.-10	0.0	0.0	0.0	0.0
nov.-10	0.0	0.0	0.0	0.0
déc.-10	0.0	0.0	0.0	0.0



## **Annexe 6**

-

### **Résultat de la campagne de jaugeage du 22 et 23 septembre 2011**



Commune	Commune	Débit en l/s	Débit m3/h	Date	Commentaires
FRANCHEVILLE	BRAS FORCE DE L'ITON	128	460.8	22/09/2011	
VERNEUIL-SUR-AVRE	PREMIERE ARRIVEE DU BRAS FORCE DE L'ITON DANS L'AVRE	12	43.2	22/09/2011	
VERNEUIL-SUR-AVRE	DEUXIEME ARRIVEE DU BRAS FORCE DE L'ITON DANS L'AVRE	20	72	22/09/2011	
VERNEUIL-SUR-AVRE	LA TROISIEME ARRIVEE DU BRAS FORCE DE L'ITON DANS L'AVRE	27	97.2	22/09/2011	
BEAULIEU	AVRE DANS LE SECTEUR PERCHE	62	223.2	22/09/2011	
ARMENTIERES-SUR-AVRE	RIVIERE DE ST MAURICE	3	10.8	22/09/2011	
VERNEUIL-SUR-AVRE	AVRE A LA FIN DE LA ZONE DE PERTE	26	93.6	22/09/2011	
RUEIL-LA-GADELIERE	Ruisseau du Buternay + rejet du canal de Foisys	61	219.6	22/09/2011	En amont des pompages de Eau de Paris, ce cours d'eau est complètement à sec. A priori, le débit mesuré correspond aux rejets de Eau de Paris (inclut le rejet canal de Foisys (225m3/h) mais pas le rejet canal de Launay (411m3/h) qui lui est pris en compte dans le point n°7)
COURTEILLES	AVRE APRES LA ZONE DE RESURGENCE	646	2325.6	22/09/2011	(inclut le rejet partie canal de Foisys)
DAMPIERRE-SUR-AVRE	La Meuvette	2	7.2	23/09/2011	Jaugeage effectué à 26 m en amont du pont. En amont des sources, le débit est nul.
SAINT-REMY-SUR-AVRE	La Pluche	0	0	23/09/2011	
	Coudanne	18	64.8	23/09/2011	
St-Christophe	Avre	38	136.8	22/09/2011	
Randonnai	Avre	64	230.4	22/09/2011	
Acon	Avre	1060	3816	23/09/2011	
Muzy	Avre	1360	4896	23/09/2011	
SAINT-VICTOR-SUR-AVRE	La Gohière	0	0	22/09/2011	Vallée sèche à St-Victor sur Avre
ST GERMAIN SUR AVRE	Le Ruet	0	0	23/09/2011	Cours d'eau temporaire à St-Germain sur avre



## **Annexe 7**

### **Méthodologie de construction de la coupe hydrogéologique synthétique**



### **Méthodologie de construction de la coupe :**

#### **1- Première esquisse de l'organisation des structures géologiques :**

Il a été réalisé sous SIG à partir des grilles disponibles une première coupe à l'aide du module Vertical Mapper de MapInfo. Les données d'altitudes des toits et mur des différentes formations ont été exportées depuis Vertical Mapper vers Excel pour pouvoir être corrigées.

#### **2 – Des données plus ponctuelles ont été traitées afin de préciser la succession des formations dans le bassin et prendre en compte la tectonique :**

- Ecorché géologique : extension en surface des formations

- Coupes géologiques déjà existantes en amont et au niveau des sources d'Eau de Paris : organisation structurale des formations au niveau de la transition Sables du Perche / Craie et organisation du réseau de failles responsables de la présence des sources de la Vigne et du Breuil.

- Croisement des données avec les logs issus de la BSS pour affiner l'extension verticale des formations (notamment au niveau des sources de la Vigne et du Breuil et de la partie aval du bassin, secteur dont les formations profondes ont été peu étudiées).

#### **3- Listing des incertitudes restantes concernant la géologie du bassin.**

### **Réalisation de la coupe :**

#### **1- Première esquisse de l'organisation des structures géologiques :**

- Grilles utilisées : Topographie, épaisseur de la Craie et mur de la Craie.

- La couche du toit de la craie du cénomanien et du turonien n'ont pas été prises en compte car trop imprécises à l'échelle de l'étude : elles recourent localement la topographie et du fait de l'important réseau de failles dans la zone d'études n'apportent pas d'informations fiables. Le mur de la craie a été utilisé mais pour les mêmes raisons que précédemment, il figurera en pointillés pour donner l'allure du mur et non pas indiquer sa localisation précise. Cette dernière couche paraît très imprécise sur le bassin de l'Avre (limite de Krigeage et quasiment aucun forage ne recoupe le mur dans le bassin).

- Le toit de la craie reste approximatif et a été calculé de la façon suivante : Toit de la craie = Topo – Epaisseur Argiles à Silex.

2 – Prise en compte de données ponctuelles : précisions concernant certains paramètres :

*- Epaisseur de la formation des sables du Perche :*

Estimée à partir de forages BSS situées entre la faille de l'Eure et de Senonches et également à partir des profils géophysiques réalisées dans le cadre de l'Etude de SAFEGE sur les Sables du perche. L'épaisseur varie de 15 à 30 mètres.

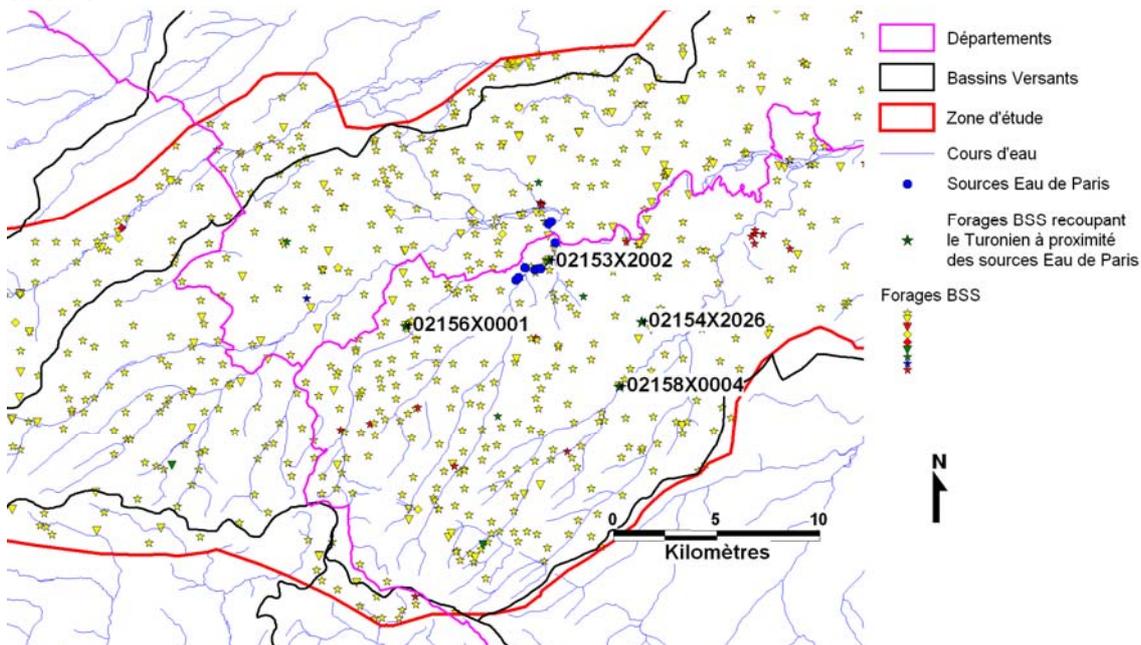
*- Altitude des murs du Santonien et du Coniacien*

Données inexistantes dans les logs BSS dans la partie aval du bassin. L'épaisseur des couches a été estimée grâce à l'écorché géologique et au pendage estimé des couches.

*- Altitude du mur du Turonien*

Logs de forages utilisés pour le secteur amont et aval : 01806X0003 ; 01805X0001 ; 02152X0001 ; 02152X0004 ; 02533X2033 ; 02533X2011

Pour le secteur proche des sources de la Vigne et du Breuil, il existe quatre forages profonds qui recoupent le mur du turonien :



02153X2002 (187 m de profondeur) : Turonien jusque 145m, cénonanien sableux en dessous

02158X0004 (188 m de profondeur) : Turonien jusque 134m, cénonanien sableux en dessous

02154X2026 (202 m de profondeur) : Mur du Turonien entre 73 et 150 m (transition précise non localisée)

02156X0001 (205 m de profondeur) Turonien jusque 92m, cénomanien sableux en dessous

*- Les niveaux piézométriques :*

Les niveaux piézométriques (niveaux statiques) et le mur des argiles à silex indiqués dans les documents joints aux forages de la BSS ont été analysés. Ceci a montré que la nappe n'était pas toujours sous les argiles à silex. Elle se situe parfois dans ces derniers. Ceci a notamment été mis en évidence dans la région de Brezolles : [19] : forages 02158X0001, 02158X0004, 02153X0003, 02154X2001 et 02165X0004.

Il est donc important de noter que la nappe de la craie dans le bassin de l'Avre est parfois semi-captive.





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

**Service géologique régional Haute-Normandie**  
Parc de la Vatine  
10 rue A. Sakharov  
76130 – Mont Saint Aignan - France  
Tél. : 02 35 60 12 00