

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

Phase 3 : Utilisation du modèle hydrogéologique  
pour la mise à jour de la ZRE et le calcul des  
volumes prélevables

**BRGM/RP-62863-FR**  
Janvier 2014



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

Phase 3 : Utilisation du modèle hydrogéologique pour  
la mise à jour de la ZRE et le calcul des volumes  
prélevables

**BRGM/RP-62863-FR**

Janvier 2014

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM 12EAUUK17

**Wuilleumier A., Croiset N., Seguin J.-J.**

**Vérificateur :**

Nom : Y. Barthelemy

Date : 05/11/2013

Signature :



**Approbateur :**

Nom : B. Vittecoq

Date : 22/01/2014

Signature :



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

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

**Mots clés** : Jurassique, Dogger, Bathonien, Bajocien, Dives, Orne, Calvados, Hydrogéologie, Modèle hydrodynamique, Zone de Répartition des Eaux, Volumes Prélevables

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

Wuilleumier A., Croiset N., Seguin J.-J. (2014) - Modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives. Phase 3 : Utilisation du modèle hydrogéologique pour la mise à jour de la ZRE et le calcul des volumes prélevables. Rapport BRGM/RP-62863-FR. 53 pages, 22 ill., 11 tab., 9 annexes.

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

## Synthèse

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

- de revoir la délimitation de la Zone de Répartition des Eaux (ZRE) de l'aquifère du Bajo-Bathonien (plaine de Caen-Argentan, bassin de la Dives et Bessin)
- d'évaluer la ressource en eau souterraine exploitable tout en respectant un rabattement piézométrique acceptable, ainsi qu'un débit d'étiage acceptable.

En co-maîtrise d'ouvrage entre l'AESN et le BRGM, et avec un co-financement AESN-BRGM, l'étude a été suivie par un Comité de pilotage constitué par l'AESN, la DREAL, l'ARS, la DDTM du Calvados, la DDT de l'Orne et l'Université de Caen.

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

- Phase 1 :
  - o collecte des données et synthèse hydrogéologique ;
  - o construction du modèle géologique ;
- Phase 2 :
  - o construction et calage du modèle hydrogéologique ;
- Phase 3 :
  - o exploitation du modèle hydrogéologique ;
  - o formations à la modélisation en hydrogéologie et à l'utilisation du modèle hydrogéologique (AESN, Etat, collectivité).

Un rapport a été rédigé pour chacune des phases d'étude ; le présent rapport décrit la phase 3 qui correspond à l'utilisation du modèle hydrogéologique pour la mise à jour de la ZRE et le calcul des volumes prélevables.

Cinq critères ont été élaborés à l'échelle de 67 unités hydrologiques composant le territoire. Il s'agit :

- du ratio entre les prélèvements en eaux souterraines et le renouvellement des eaux souterraines ;
- du ratio entre les prélèvements totaux et le QMNA5<sup>1</sup> ;
- du pourcentage de baisse des apports en eau souterraine aux eaux de surface entre le régime naturel et un état influencé par les prélèvements ;
- du pourcentage de baisse constaté sur le QMNA5 simulé entre le régime naturel et un état influencé par les prélèvements ;
- de l'identification de pertes de saturation totale simulées entre le régime naturel et un état influencé par les prélèvements.

Ces différents critères, présentés sous forme de cartes et de tableaux, font apparaître des secteurs où les prélèvements affectent significativement les ressources en eau souterraine et/ou les écoulements de surface.

---

<sup>1</sup> QMNA 5 : QMNA - débit (Q) mensuel (M) minimal (N) de chaque année civile (A) - de fréquence de retour 5 ans sec, soit débit mensuel minimal de l'année civile ayant une probabilité d'être dépassé 4 années sur 5.

La délimitation de la ZRE et l'identification des communes concernées seront effectuées par les Services de l'État et officialisées au travers d'un Arrêté Préfectoral, sur la base des zones en « forte tension quantitative » identifiées dans le cadre de cette étude.

L'évaluation des volumes prélevables repose sur une approche portant sur deux échelles distinctes :

- Approche sectorielle, pour chacune des 67 unités hydrologiques, consistant à évaluer celles pour lesquelles l'impact des prélèvements se traduit par une baisse de plus de 30% du QMNA5 simulé en régime naturel (évalué en l'absence de tous pompages). Dix zones hydrologiques sensibles ont ainsi été identifiées et un volume prélevable maximal a été déterminé pour chacune d'elles. Ce volume maximal prélevable correspond au volume de prélèvements annuels permettant de ne pas dépasser un impact de 30% sur le QMNA5 (l'année 2010 constituant la configuration spatiale et temporelle de référence pour ces prélèvements). Le calcul de ces volumes conduit à recommander une baisse de 3.5 Mm<sup>3</sup> des prélèvements annuels par rapport aux prélèvements effectués en 2010 pour l'ensemble de ces dix zones ; une forte disparité est cependant observée d'une unité à une autre ;
- Approche globale, menée à l'exutoire des 11 bassins versants composant le domaine d'étude, bassin versant de la Touques exclue. Cette approche conduit à estimer pour ce secteur une ressource en eau exploitable huit années sur dix de l'ordre de 14.7 Mm<sup>3</sup> sur deux mois consécutifs durant la période d'étiage (22.1 Mm<sup>3</sup> sur trois mois consécutifs). À titre de comparaison, le volume prélevé en 2010 a été de 14.3 Mm<sup>3</sup> durant deux mois consécutifs à l'étiage, et de 19 Mm<sup>3</sup> pour trois mois consécutifs.



## Sommaire

<b>1. Introduction</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Critères de délimitation de la Zone de Répartition des Eaux (ZRE)</b> .....	<b>11</b>
2.1. CADRE DU CALCUL DES BILANS.....	11
2.1.1. Subdivision de la zone modélisée en unités de calcul .....	11
2.1.2. Période retenue.....	17
2.2. CALCUL DES CRITÈRES PROPOSÉS.....	20
2.2.1. Ratio entre les prélèvements en eau souterraine et le renouvellement des eaux souterraines.....	20
2.2.2. Baisse des apports souterrains aux eaux de surface entre le régime naturel et le régime de pompage.....	22
2.2.3. Ratio entre les prélèvements totaux (eau de surface + eau souterraine) et le QMNA5.....	23
2.2.4. Impact des prélèvements sur le QMNA5 simulé .....	24
2.2.5. Identification des secteurs subissant une perte de saturation due aux prélèvements.....	27
2.3. PROPOSITION DE CROISEMENT DE CRITÈRES.....	30
2.3.1. Quantification des trois critères combinés.....	30
2.3.2. Cartographie du croisement des critères.....	31
2.4. SYNTHÈSE .....	33
<b>3. Calcul des volumes prélevables</b> .....	<b>35</b>
3.1. RAPPEL DU CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE .....	35
3.2. APPROCHES MÉTHODOLOGIQUES .....	36
3.2.1. Volumes prélevables : une question spatiale et temporelle .....	36
3.2.2. Utilisation d'un modèle hydrogéologique spatialisé en domaine alluvial .....	37
3.2.3. Utilisation des débits minimums biologiques .....	40
3.2.4. Autres approches méthodologiques.....	40
3.3. APPROCHE GLOBALE.....	41
3.3.1. QMNA5 des 11 bassins versants situées aux exutoires du domaine d'étude, Touques exclue .....	41
3.3.2. Renouvellement de la ressource en eau souterraine .....	44
3.4. APPROCHE PAR UNITÉS HYDROLOGIQUES .....	44
<b>4. Conclusions</b> .....	<b>51</b>
<b>5. Bibliographie</b> .....	<b>53</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 : Zones de Répartition des Eaux en Basse-Normandie à la date du 30/07/2008.....	10
Illustration 2 : Unités géologiques modélisées affleurant le long de la Mue, de la Seulles, de la Drôme et de l'Aure.....	12
Illustration 3 : Charges simulées dans le Bathonien et limites des bassins versants de surface .....	13
Illustration 4 : Charges simulées dans le Bajocien et limites des bassins versants de surface.....	13
Illustration 5 : Délimitation des unités retenues pour le calcul des bilans hydrauliques et bassins versants des principales masses d'eau de surface (fond : carte géologique au 1 000 000 <sup>ème</sup> – légende en annexe 1).....	15
Illustration 6 : Exemples de chroniques piézométriques avec niveaux initiaux et finaux similaires sur la période mai-1996 / mai-2006 (1/2) .....	18
Illustration 7 : Exemples de chroniques piézométriques avec niveaux initiaux et finaux similaires sur la période mai-1996 / mai-2006 (2/2) .....	19
Illustration 8 : Exemples de chroniques piézométriques avec niveaux initiaux et finaux différents sur la période mai-1996 / mai-2006.....	19
Illustration 9 : Ratio entre prélèvements en eaux souterraines et renouvellement de la ressource en eaux souterraines (période mai-1996 / mai-2006) .....	21
Illustration 10 : Baisse des apports d'eau souterraine aux eaux de surface entre le régime naturel et le régime de pompage (période mai-1996 / mai-2006) .....	23
Illustration 11 : Ratio entre somme des prélèvements totaux (ESU + ESO) et le QMNA5 rapporté à l'année .....	24
Illustration 12 : Pourcentage de réduction du QMNA5 induit par les pompages (ESU + ESO).....	26
Illustration 13 : Pertes de saturation dans le Bathonien à l'échelle des unités hydrologiques (prélèvements de juillet 2010) .....	28
Illustration 14 : Pertes de saturation dans le Bathonien à l'échelle des unités hydrologiques (prélèvements autorisés) .....	28
Illustration 15 : Pertes de saturation dans le Bajocien à l'échelle des unités hydrologiques (prélèvements de juillet 2010) .....	29
Illustration 16 : Pertes de saturation dans le Bajocien à l'échelle des unités hydrologiques (prélèvements autorisés) .....	29
Illustration 17 : Cartographie des critères pondérés.....	32
Illustration 18 : Zones en tension quantitative .....	33
Illustration 19 : Unités de gestion dans le bassin versant de l'Ariège .....	38
Illustration 20 : Calcul du volume prélevable sur la base d'un état piézométrique de référence .....	39
Illustration 21 : Unités hydrologiques situées aux exutoires de la zone modélisée, bassin versant de la Touques exclu.....	41
Illustration 22 : Localisation des prélèvements situés dans et au voisinage des unités hydrologiques en tension quantitative .....	49

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Bornes utilisées pour le calcul de la note par critère.....	31
Tableau 2 : QMNA5 simulés aux exutoires des 11 bassins versants de la zone d'étude, Touques exclue (NB : les bassins versants de la Provence et de la Gronde – littoral – sont regroupés au sein de la même unité hydrologique) .....	42
Tableau 3 : Prélèvements annuels par type d'usage pour les années 1994, 2001 et 2010, prélèvements en étiage (estimés) et volumes prélevables calculés pour 2 et 3 mois consécutifs .....	43
Tableau 4 : Ratio entre prélèvements à l'étiage et 30% du QMNA5 naturel global des 11 bassins versants situés aux exutoires de la zone d'étude, Touques exclue.....	43
Tableau 5 : Renouvellement des eaux souterraines sur l'extension des deux anciennes ZRE .....	44
Tableau 6 : Volume prélevé et pourcentage correspondant du renouvellement des eaux souterraines dans les deux anciennes ZRE.....	44
Tableau 7 : Impact des prélèvements 2010 sur le QMNA5 des unités hydrologiques (partie 1/2).....	46
Tableau 8 : Impact des prélèvements 2010 sur le QMNA5 des unités hydrologiques (partie 2/2).....	47
Tableau 9 : Baisse des prélèvements (en%) permettant de ne pas dépasser un impact des pompages supérieur à 30% du QMNA5 naturel .....	48
Tableau 10 : Usage des prélèvements en pourcentages du prélèvement total dans les unités hydrologiques critiques.....	48
Tableau 11 : Volumes disponibles (en 1000 m <sup>3</sup> ) pour les prélèvements permettant de ne pas dépasser un impact des pompages supérieur à 30% du QMNA5 naturel .....	48

## Liste des annexes

Annexe 1 Légende de la carte géologique à l'échelle 1M (BRGM) .....	55
Annexe 2 Valeurs par unité hydrologique des trois premiers critères proposés pour la mise à jour de la ZRE.....	59
Annexe 3 Occurrence de pertes de saturation totale par unité hydrologique .....	63
Annexe 4 Baisse engendrée par unité hydrologique et par les prélèvements sur le QMNA5 simulé...67	
Annexe 5 Base de détermination des QMNA5 par zone hydrologique.....	71
Annexe 6 Cartographie des pertes de saturation simulées dans le Bathonien (prélèvements juillet 2010).....	75
Annexe 7 Cartographie des pertes de saturation simulées dans le Bajocien (prélèvements juillet 2010).....	79
Annexe 8 Recherche d'un volume prélevable par bassin versant à partir des débits minimums biologiques .....	83
Annexe 9 Liste des prélèvements identifiés dans les zones en tension quantitative.....	109



# 1. Introduction

Le présent rapport décrit les bilans et simulations effectués dans le cadre de la mise à jour de la délimitation de la zone de répartition des eaux (ZRE) de la plaine de Caen et du bassin de la Dives. Il fait suite à deux rapports décrivant les phases précédentes de l'étude de modélisation :

- Collecte des données, synthèse hydrogéologique et construction du modèle géologique (rapport BRGM RP-62002-FR) ;
- Construction et calage du modèle hydrogéologique (rapport BRGM RP-62648-FR).

Il est recommandé de se reporter à ces rapports pour disposer des informations permettant de replacer dans leur contexte les cartes et tableaux présentés dans le présent document. En particulier, une analyse critique du calage selon les secteurs du domaine d'étude est présentée dans le rapport de phase 2.

Cette troisième et dernière phase d'étude vise à fournir à l'administration les éléments nécessaires à la mise à jour de la Zone de Répartition des Eaux (ZRE) et à la détermination des volumes prélevables associés. Pour mémoire, une ZRE « est caractérisée par une insuffisance quantitative chronique des ressources en eau par rapport aux besoins. L'inscription d'une ressource (bassin hydrographique ou système aquifère) en ZRE constitue le moyen pour l'État d'assurer une gestion plus fine des demandes de prélèvements dans cette ressource, grâce à un abaissement des seuils de déclaration et d'autorisation de prélèvements. »<sup>2</sup>

L'illustration 1 présente l'extension des ZRE en Basse-Normandie à la date du 30/07/2008.

---

<sup>2</sup> Source : <http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/zones-de-repartition-des-eaux-zre-r439.html>

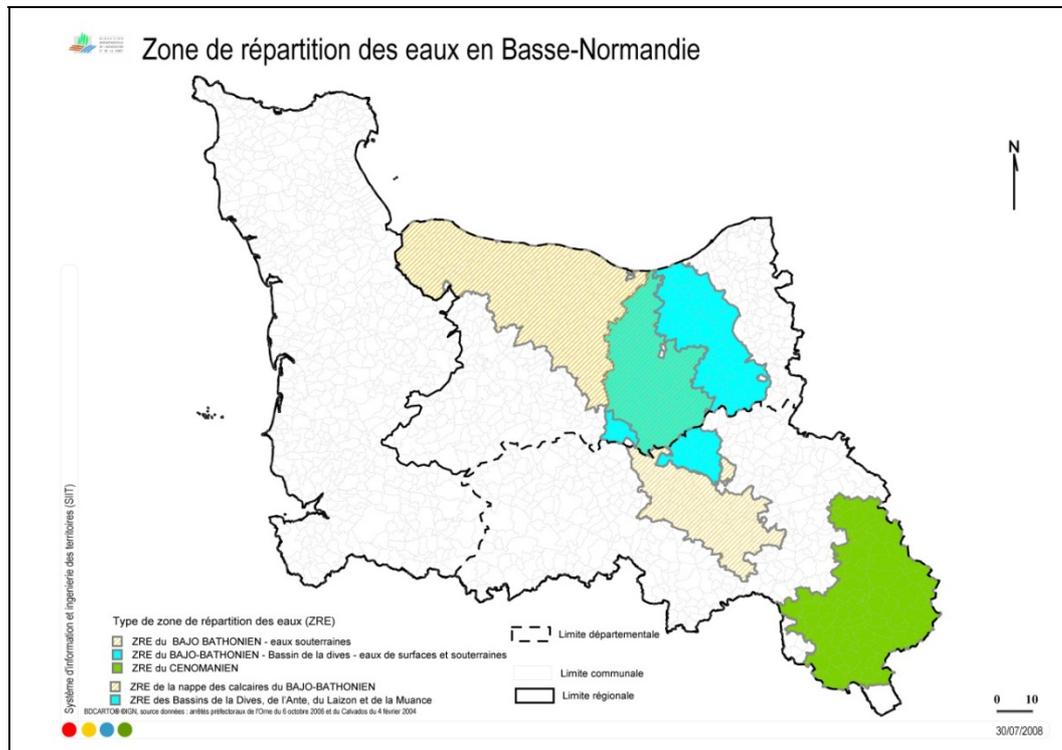


Illustration 1 : Zones de Répartition des Eaux en Basse-Normandie à la date du 30/07/2008

## 2. Critères de délimitation de la Zone de Répartition des Eaux (ZRE)

### 2.1. CADRE DU CALCUL DES BILANS

#### 2.1.1. Subdivision de la zone modélisée en unités de calcul

Le calcul des bilans hydrogéologiques peut se faire à différentes échelles, et en particulier :

- sur l'ensemble du domaine modélisé, pour avoir une vue d'ensemble des volumes d'eau globaux transitant dans la zone d'étude ;
- par secteurs plus petits, pour préciser la distribution spatiale des bilans et porter une attention particulière à des zones d'un intérêt particulier. Les bilans sectoriels peuvent porter sur la totalité ou une partie seulement du domaine modélisé.

Pour mémoire, un bilan global du premier type est présenté dans le rapport de phase 2.

Pour les bilans sectoriels, ce sont les contours des bassins versants de surface qui ont été utilisés plutôt que les contours des bassins versants hydrogéologiques, comme expliqué ci-après.

Le choix des bassins versants de surface comme unité géographique des bilans hydrauliques sectoriels s'appuie sur les considérations suivantes : i) la problématique de l'étude concerne en premier lieu le maintien d'un débit d'écoulement réservé dans les cours d'eau, ii) pour bon nombre de cours d'eau de la zone d'étude, plusieurs aquifères (et non pas un seul) sont en relation hydraulique avec le cours d'eau, iii) les aquifères qui n'affleurent que dans la partie aval d'un bassin versant de surface ne couvrent pas la partie amont de son extension géographique, et iv) les crêtes piézométriques simulées par le modèle au sein des différents aquifères coïncident en général assez bien avec les crêtes topographiques qui délimitent les bassins versants de surface.

Ces différentes problématiques peuvent être illustrées au travers de deux exemples concrets.

Tout d'abord, pour illustrer le point ii), on peut constater que dans le domaine d'étude un bon nombre de cours d'eau présente une orientation Sud-Nord ou SW-NE, tandis que le pendage des couches sédimentaires est orienté schématiquement SW-NE. Un même cours d'eau recoupe donc sur son parcours plusieurs formations géologiques dont les extensions ne couvrent pas la totalité du bassin versant de surface.

Si l'on prend l'exemple des cours d'eau du Bessin (cf. Illustration 2), ils traversent successivement les affleurements du socle, du Trias, du Lias, l'aquifère du Bajocien, les marnes de Port-en-Bessin et les calcaires du Bathonien. Cette succession de formations rend donc difficile l'adoption d'une approche purement hydrogéologique pour le découpage des zones de bilan hydraulique souterrain parce que plusieurs aquifères sont impliqués.

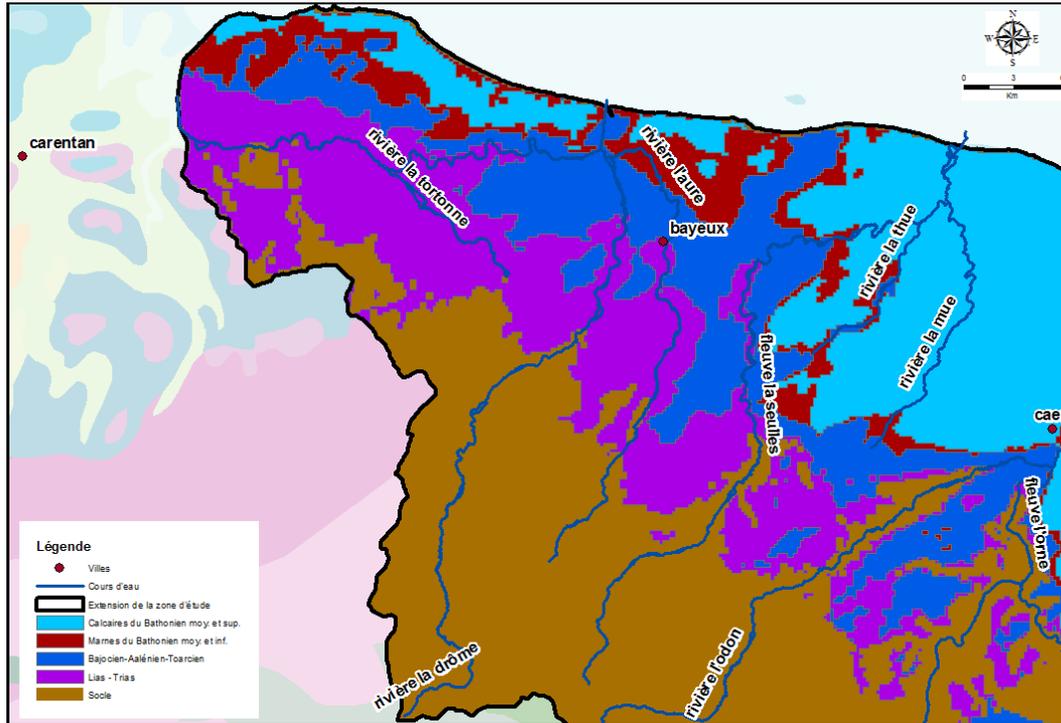


Illustration 2 : Unités géologiques modélisées affleurant le long de la Mue, de la Seules, de la Drôme et de l'Aure

Pour illustrer le point iv), les Illustration 3 pour le Bathonien et Illustration 4 pour le Bajocien montrent que les limites des bassins versants souterrains sont souvent proches de celles des bassins versants de surface. Il apparaît en effet sur ces cartes que les contours des bassins versants de surface (en orange) coïncident bien avec les crêtes piézométriques séparant les bassins hydrogéologiques. Cette analyse est cohérente avec le constat classique en hydrogéologie qu'en l'absence d'anisotropie marquée des aquifères, qu'elle soit d'origine naturelle (réseaux karstiques, failles, structuration de l'aquifère) ou anthropique (pompages modifiant les écoulements), les crêtes piézométriques en nappe libre sont en général assez proches des crêtes topographiques.

Par conséquent, établir un bilan hydraulique pour chacun des bassins versants de surface apparaît comme la démarche la plus appropriée pour concilier à la fois les objectifs de prévision de débit dans le réseau hydrographique et la cohérence des bilans hydrauliques (par la prise en compte de tous les aquifères affleurant dans le bassin, en relation avec le cours d'eau associé).

Le découpage basé sur les bassins versants de surface a été mis en œuvre au travers des limites des principales masses d'eau de surface (cf. Illustration 5), sauf sur quelques secteurs où une subdivision a été effectuée. Il s'agit en particulier des secteurs de la Thue, de la Chironne, de la Mue, du Dan, de la Gronde, de la Laize, du plateau interbassin Dives et Orne au nord de la Muance (canal Oursin), du Trainefeuilles et de l'Ure. Les subdivisions ont été effectuées à la demande du comité de pilotage lorsque les bassins versants initiaux étaient particulièrement grands (Orne amont et Orne aval par exemple) ou dans des secteurs présentant un enjeu particulier (Mue, Dan, Aure inférieure,...). Au total, la zone modélisée est subdivisée en 67 unités de bilan hydraulique.

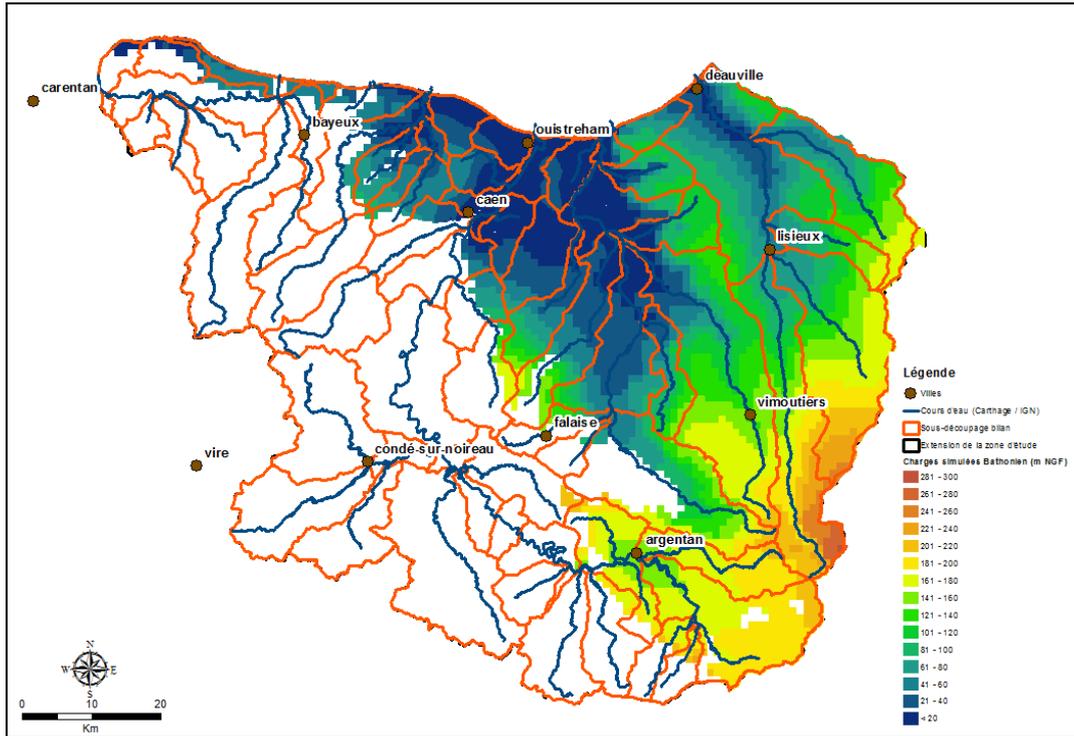


Illustration 3 : Charges simulées dans le Bathonien et limites des bassins versants de surface

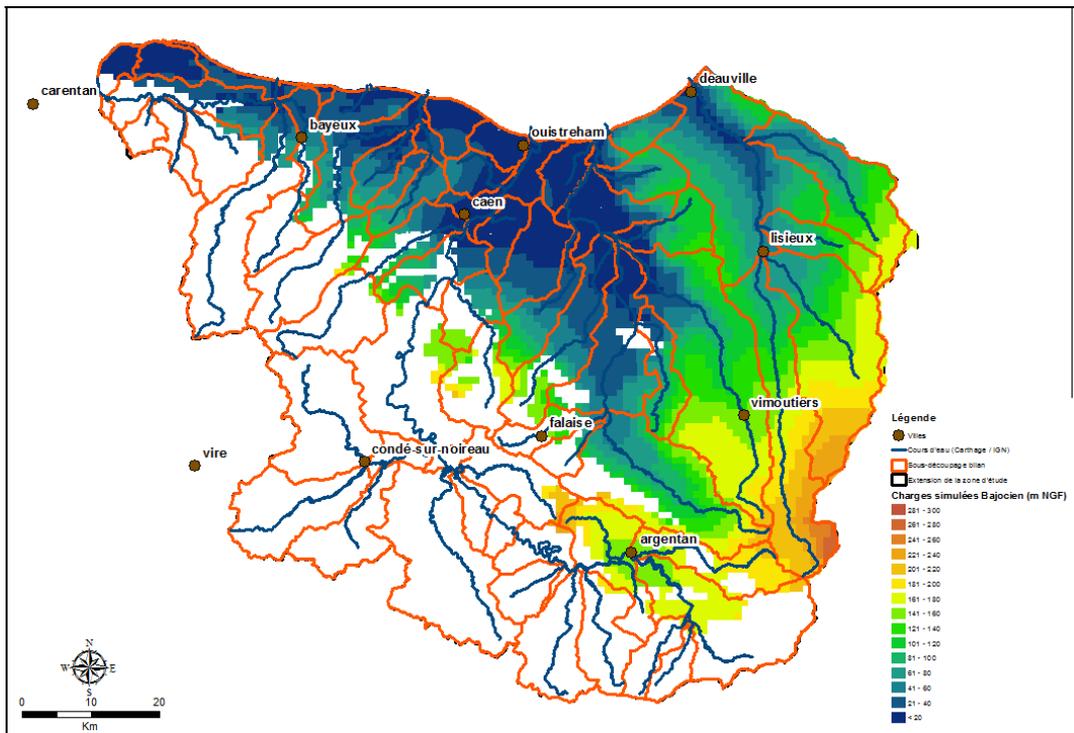


Illustration 4 : Charges simulées dans le Bajocien et limites des bassins versants de surface



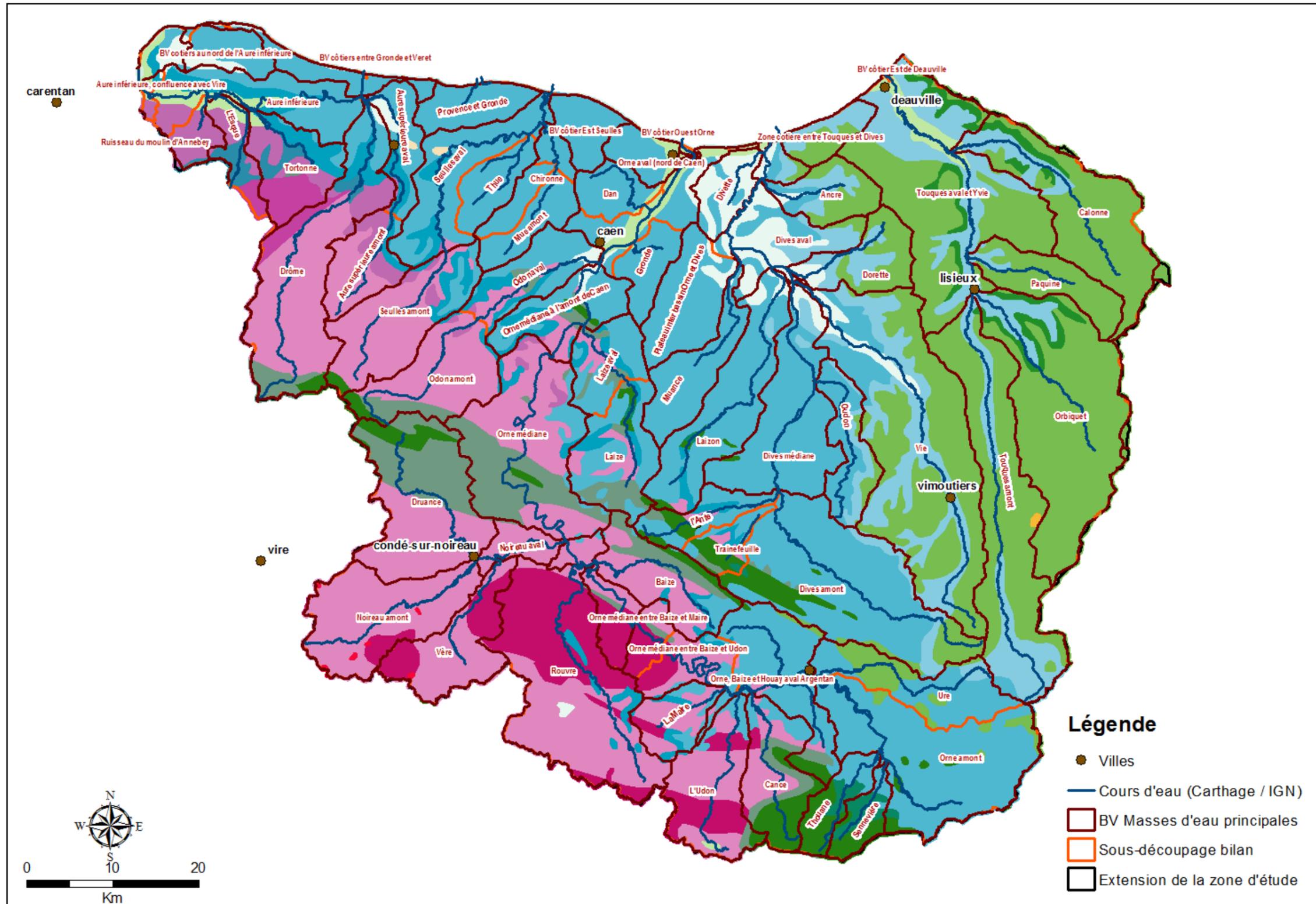


Illustration 5 : Délimitation des unités retenues pour le calcul des bilans hydrauliques et bassins versants des principales masses d'eau de surface (fond : carte géologique au 1 000 000<sup>ème</sup> – légende en annexe 1)



### 2.1.2. Période retenue

La modélisation couvre une période s'étendant de janvier 1994 à décembre 2010. Le choix de cette période repose avant tout sur la disponibilité des données, notamment en termes de prélèvements.

Le choix de la période retenue pour le calcul des bilans repose sur différents critères :

- être suffisamment longue pour fournir une bonne représentativité des conditions climatiques prédominantes sur le secteur. Cette condition intègre aussi l'intérêt de prendre en compte des années sèches comme des années humides ;
- ne pas présenter de variation significative du stock d'eau emmagasiné par rapport aux volumes échangés sur l'ensemble de la période de calcul des bilans. Idéalement, on recherche une période pendant laquelle le stock d'eau emmagasiné est quasi invariant ;
- éviter les premières années de la période de calage du modèle qui peuvent être biaisées par des conditions initiales approximatives, avec un calage de moindre qualité que celui qui est obtenu par la suite.

La période adoptée pour le calcul des bilans s'étend de mai-1996 à mai-2006. Cette période intègre des épisodes pluviométriques extrêmes, aussi bien en termes excédentaires (2001) que déficitaires (1997, 2005). Elle commence deux ans et demi après le début de la période de calage et s'affranchit donc des éventuels défauts d'initialisation du modèle. Enfin, la variation de stock d'eau sur cette période est très faible, comme le démontrent en première approche nombre de chroniques piézométriques relevées dans la zone d'étude (cf. Illustration 6 et Illustration 7).

L'illustration 8 montre cependant que ce constat n'est pas généralisé, des écarts piézométriques significatifs étant observés sur plusieurs ouvrages entre mai 1996 et mai 2006. Cette situation s'explique par les variations spatiales liées à l'inertie des aquifères, aussi bien d'un aquifère à l'autre (Trias, Bajocien, Bathonien, Oxfordien, Cénomaniens), qu'au sein d'un même aquifère (Bathonien notamment). Les évolutions piézométriques constatées se traduisent en termes de hausse (Bény-sur-Mer, indice BSS : 01198X0002) ou de baisse (Saint-Contest, indice BSS : 01194X0069) du niveau piézométrique sur la période de référence adoptée.

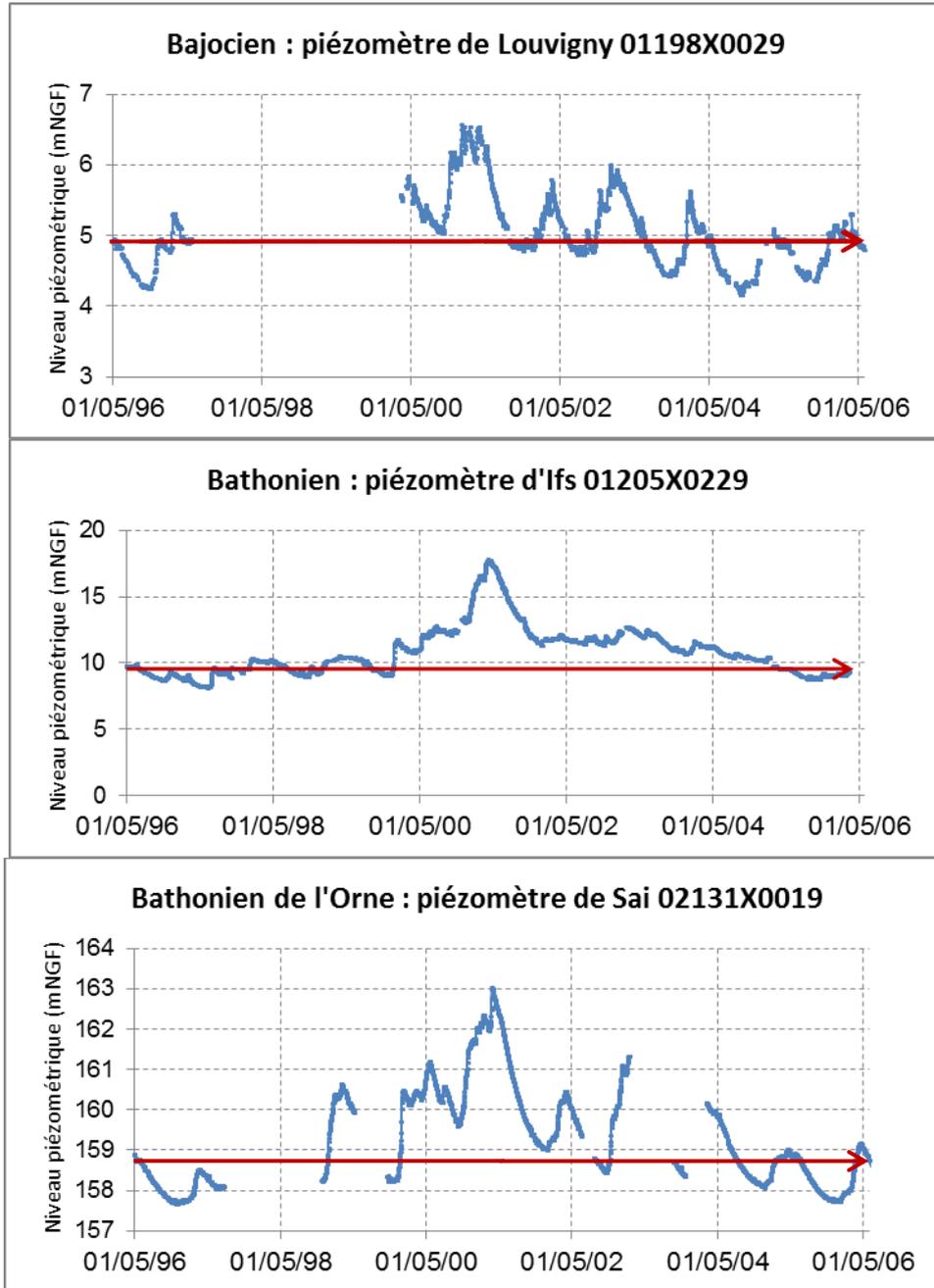


Illustration 6 : Exemples de chroniques piézométriques avec niveaux initiaux et finaux similaires sur la période mai-1996 / mai-2006 (1/2)

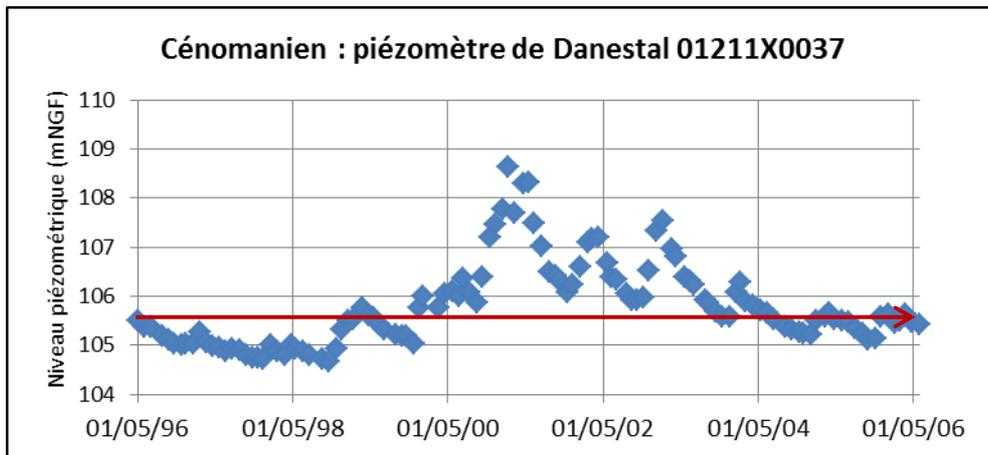


Illustration 7 : Exemples de chroniques piézométriques avec niveaux initiaux et finaux similaires sur la période mai-1996 / mai-2006 (2/2)

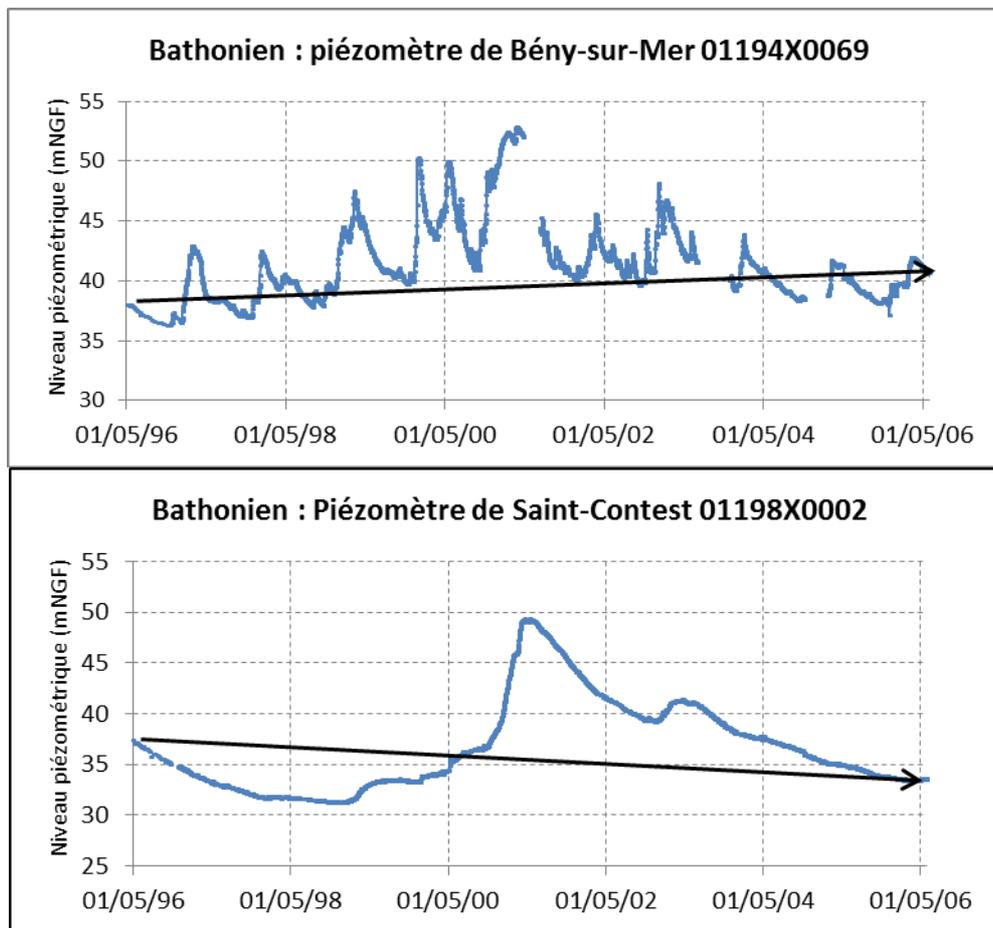


Illustration 8 : Exemples de chroniques piézométriques avec niveaux initiaux et finaux différents sur la période mai-1996 / mai-2006

Il s'agit donc de vérifier de façon plus détaillée que la différence de stock demeure faible sur la période retenue. Cette différence de stock fait partie des résultats de calcul fournis par le modèle pour chacune des 67 unités définies au chapitre 2.1.1. On note en particulier les éléments suivants :

- à l'échelle du modèle, pour l'ensemble des couches, la différence de stock est inférieure à 0.5% des flux simulés pour la période considérée ;
- à l'échelle des unités, pour l'ensemble des couches, la situation la plus défavorable (bassin versant de la Dorette) présente une différence de stock correspondant à 4.7% des volumes échangés aux limites de l'unité pendant la période considérée ;
- à l'échelle du modèle, pour les deux couches du Bajocien-Aalénien-Toarcien et des calcaires du Bathonien, la différence de stock est inférieure à 0.05% des volumes échangés pendant la période considérée ;
- à l'échelle des unités, pour les deux couches du Bajocien-Aalénien-Toarcien et des calcaires du Bathonien, la situation la plus défavorable (bassin versant de la Laize aval) présente une différence de stock correspondant à 1.1% des volumes échangés aux limites de l'unité pendant la période considérée.

Les différences de stock sur la période mai-1996 / mai-2006 demeurent donc faibles au regard des volumes échangés pour chacune des unités.

## **2.2. CALCUL DES CRITÈRES PROPOSÉS**

Comme suite à la validation du calage du modèle hydrogéologique par le Comité de Pilotage, plusieurs critères ont été proposés pour la mise à jour de la délimitation de la Zone de Répartition des Eaux (ZRE). Ils sont décrits dans les sections suivantes.

Les valeurs calculées pour chacun de ces critères et pour chaque unité figurent en Annexe 2 (critères 1 à 3), Annexe 3 (critère 4) et Annexe 4 (critère 5).

### **2.2.1. Ratio entre les prélèvements en eau souterraine et le renouvellement des eaux souterraines**

L'alimentation en eau des aquifères s'effectue par différents biais :

- infiltration d'eaux pluviales ;
- alimentation par les cours d'eau ;
- alimentation par drainance d'un aquifère sous- ou sus-jacent ;
- alimentation latérale au sein même de l'aquifère par un apport en eau depuis l'amont hydraulique.

D'autres modes d'alimentation existent (fuites de réseaux d'eau, infiltration en sortie de dispositifs d'assainissement non collectif) mais les volumes associés sont faibles à l'échelle de la zone modélisée (cf. rapport de phase 1).

Ces différents modes d'alimentation assurent le renouvellement interannuel des eaux souterraines. Le débit d'eau correspondant ne peut en aucun cas être capté en totalité car il est indispensable de i) maintenir un écoulement dans les cours d'eau à l'étiage, ii) d'alimenter les zones humides, iii) d'alimenter les aquifères situés à l'aval, et iv) d'empêcher l'avancée du

biseau salé en zone littorale. Ce renouvellement contribue par ailleurs à la pérennité des conditions hydrogéologiques permettant l'existence de phénomènes de dénitrification naturelle.

Il n'existe pas de seuil réglementaire pour le ratio entre débit de prélèvement et débit de renouvellement des eaux souterraines.

L'alimentation des aquifères présents dans les unités délimitées à l'illustration 5 a été calculée pour la période mai-1996 / mai-2006 (cf. paragraphe 1.1.1). Le ratio entre prélèvement en eaux souterraines et débit souterrain global d'alimentation de chaque unité est représenté cartographiquement sur l'illustration 9.

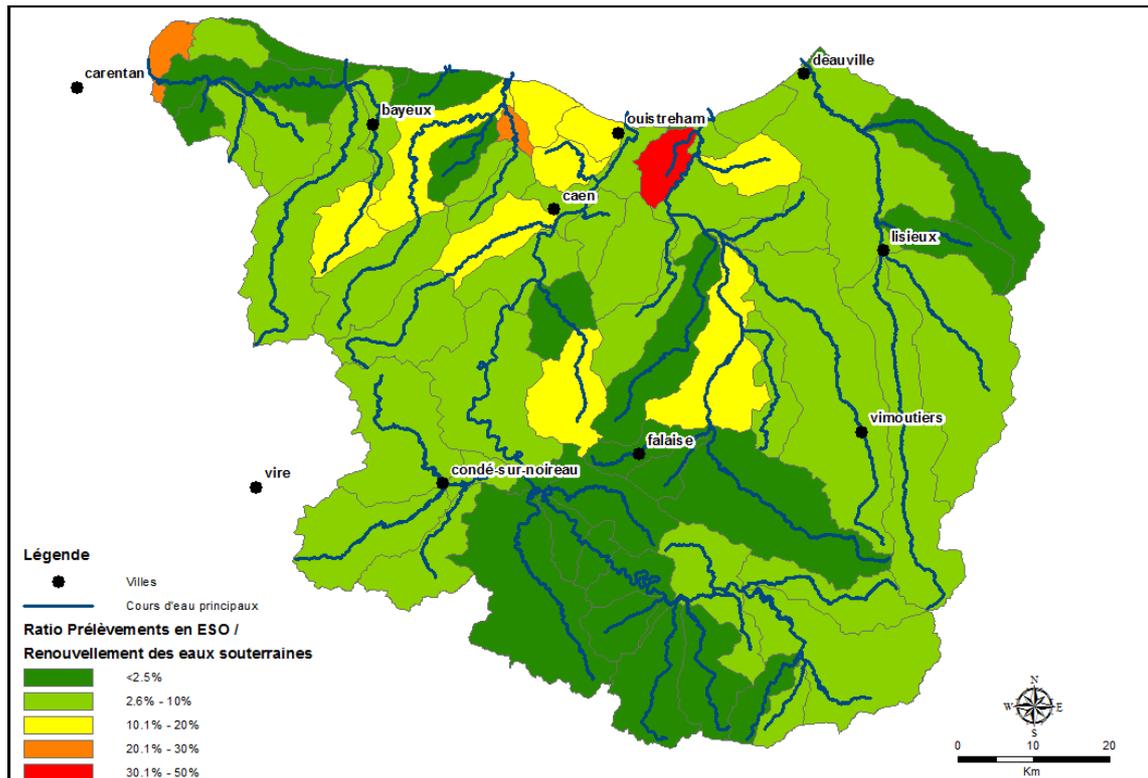


Illustration 9 : Ratio entre prélèvements en eaux souterraines et renouvellement de la ressource en eaux souterraines (période mai-1996 / mai-2006)

Les ratios les plus élevés sont rencontrés dans les bassins versants suivants :

- Divette (35%) ;
- Mue aval (27%<sup>3</sup>) ;
- extrémité aval de l'Aure inférieure (25%) ;
- Dives médiane (18%) ;
- Seulles aval (17%) ;

<sup>3</sup> Sur la base de ses coordonnées géographiques, les prélèvements associés au forage d'indice BSS 01194X0140/F3 (20 l/s en moyenne sur la période 1996-2006) sont associés à l'unité hydrographique de la Chironne. Sa situation à l'amont de la Mue aval amènera à le prendre en compte dans le cadre du calcul des volumes prélevables (cf. § 0)

- Odon aval (16%) ;
- Dan (16%).

### **2.2.2. Baisse des apports souterrains aux eaux de surface entre le régime naturel et le régime de pompage**

Il est possible de calculer la différence des apports d'eau souterraine aux eaux de surface entre un régime en pompage et un régime naturel (sans pompages). Ce calcul permet d'estimer l'impact des prélèvements sur les écoulements superficiels. Cet impact est constaté sur l'ensemble de l'écoulement annuel, sans présumer de l'impact spécifique à la période d'étiage (cf. § 2.2.4).

L'illustration 10 présente les résultats obtenus. La baisse constatée s'échelonne entre 0 et 44% des apports d'eau souterraine aux eaux de surface en régime naturel. Les valeurs les plus fortes se situent dans les bassins versants :

- de la Divette (baisse simulée : 44%) ;
- de l'extrémité aval de l'Aure inférieure (27%) ;
- du Dan (baisse simulée : 26%) ;
- des bassins côtiers situés entre l'Orne et la Seulles, directement à l'Est de la Seulles (24%).
- des bassins côtiers situés entre l'Orne et la Seulles, directement à l'ouest de l'Orne (23%) ;
- de la Mue aval (22%).

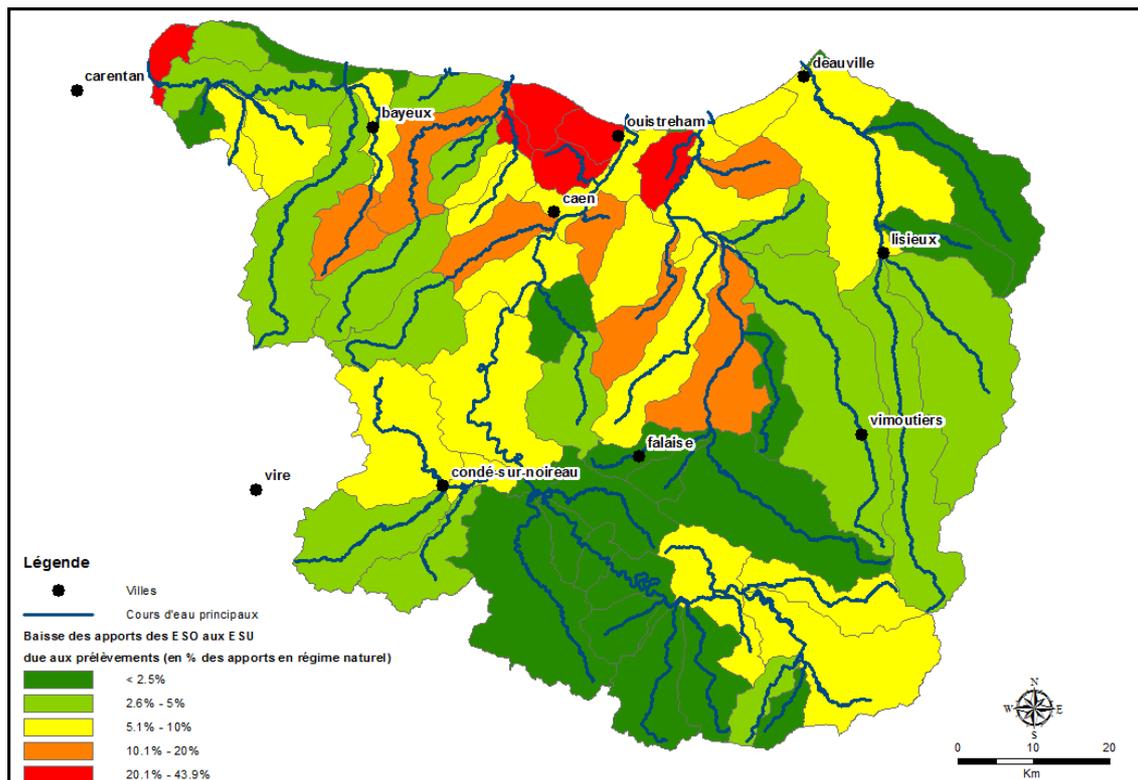


Illustration 10 : Baisse des apports d'eau souterraine aux eaux de surface entre le régime naturel et le régime de pompage (période mai-1996 / mai-2006)

### 2.2.3. Ratio entre les prélèvements totaux (eau de surface + eau souterraine) et le QMNA5

Ce ratio est calculé en identifiant pour chaque unité un QMNA5 de référence. Cette identification a été effectuée avec l'appui de la DREAL de Basse-Normandie, en particulier pour les unités dans lesquelles aucune station hydrométrique ne disposait d'un QMNA5<sup>4</sup> dans la Banque HYDRO. La méthode de détermination du QMNA5 (station(s) de référence ou estimation par la DREAL) est indiquée en Annexe 5.

Le QMNA5 (exprimé en m<sup>3</sup>/s) est rapporté à l'année, ce qui permet de le comparer au prélèvement annuel moyen pendant la période de référence (cf. § 1.1.1).

Il convient de garder à l'esprit que les QMNA5 utilisés ont été déterminés à partir des données mesurées sur le terrain ; ils intègrent donc déjà l'impact des prélèvements. Autrement dit, on compare un débit global de pompage à un état d'écoulement déjà affecté par ces pompages. Cet état de fait explique que des ratios supérieurs à 100% puissent être rencontrés dans la zone modélisée (cas de l'Aure inférieure et du Dan notamment).

<sup>4</sup> QMNA 5 : QMNA - débit (Q) mensuel (M) minimal (N) de chaque année civile (A) - de fréquence de retour 5 ans sec, soit débit mensuel minimal de l'année civile ayant une probabilité d'être dépassé 4 années sur 5.

On peut noter la forte hétérogénéité spatiale de la distribution du ratio sur la zone modélisée, avec de fortes valeurs rencontrées surtout au nord et au nord-ouest du domaine d'étude. Dans certains cas (L'Oudon – affluent de la Dives – ou la Sennevières – affluent de l'Orne au SE d'Argentan par exemple), la forte valeur obtenue pour le ratio s'explique par un faible QMNA5 (respectivement 9 et 10 l/s pour les deux bassins ci-dessus).

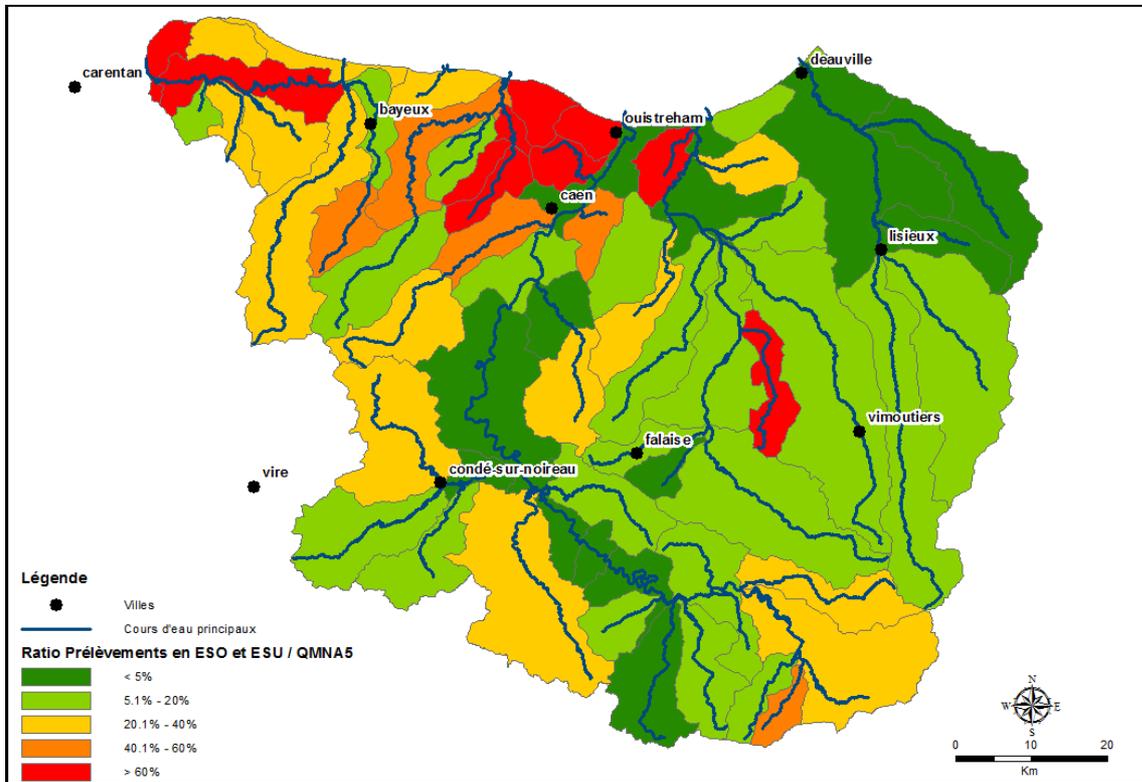


Illustration 11 : Ratio entre somme des prélèvements totaux (ESU + ESO) et le QMNA5 rapporté à l'année

#### 2.2.4. Impact des prélèvements sur le QMNA5 simulé

L'impact des prélèvements sur le QMNA5 simulé est calculé en comparant les débits des cours d'eau simulés à l'étiage en l'absence de pompages à ceux de ces mêmes cours d'eau en présence de pompages. La baisse de QMNA5 est constatée en utilisant le régime de pompages (eaux de surface et eaux souterraines) de la période 1994-2010, c'est-à-dire que ce sont les chroniques de débits des cours d'eau simulées lors du calage qui sont utilisées.

Dans le détail, la méthodologie mise en œuvre suit les étapes suivantes :

- simulation d'un scénario de référence sans pompage sur la période 1994-2010 et calcul des QMNA5 à partir des chroniques de débit simulées. Ce scénario permet de calculer un QMNA5 naturel simulé pour chaque unité ;
- calcul des QMNA5 des cours d'eau correspondant à la période 1994-2010 ;
- pour chaque zone, le ratio suivant est calculé :

$$(\text{QMNA5}_{\text{sans pompages}} - \text{QMNA5}_{\text{prelev1994-2010}}) / \text{QMNA5}_{\text{sans pompages}}$$

L'illustration 12 présente les résultats obtenus.

Dans certaines unités hydrologiques (bassins versants côtiers situés entre la Seulles et l'Orne, sous-bassin versant de l'Orne amont,...), le cours d'eau n'est pas pris explicitement en compte dans le modèle (cf. rapport de phase 2). Dans ce cas, ce sont les apports des eaux souterraines aux eaux de surface qui ont été considérés. Ces zones sont hachurées sur l'illustration 12. Les résultats par unité hydrologique figurent en Annexe 4.

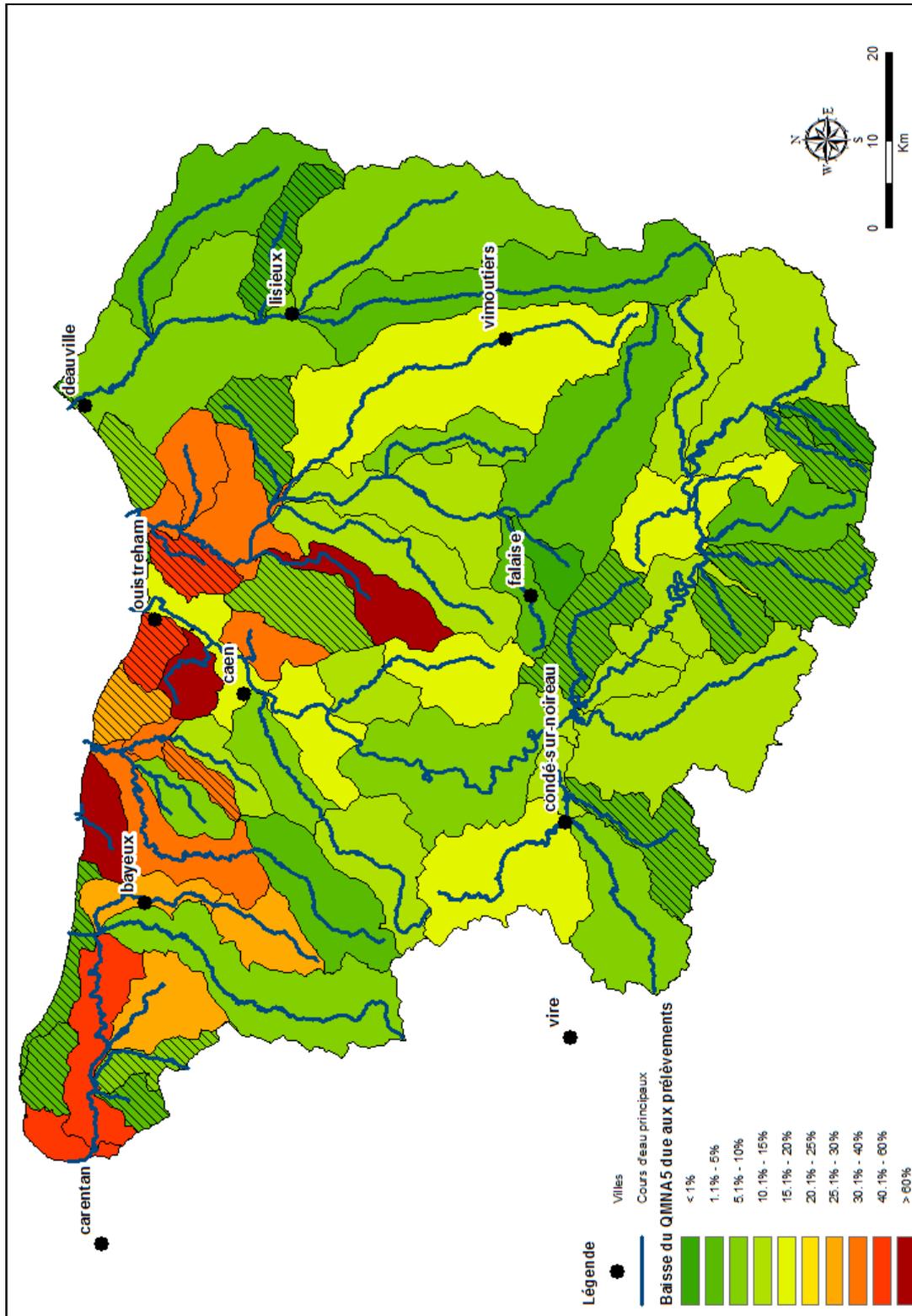


Illustration 12 : Pourcentage de réduction du QMNA5 induit par les pompages (ESU + ESO)

### **2.2.5. Identification des secteurs subissant une perte de saturation due aux prélèvements**

Il s'agit au travers de cet indicateur d'identifier les zones hydrologiques pour lesquelles une perte de saturation totale de l'aquifère résulte de la mise en œuvre des prélèvements. On entend par perte de saturation totale le passage d'un état totalement saturé d'une maille de modèle en régime naturel (la nappe est présente sur toute la hauteur de l'aquifère au droit de la maille) à un état partiellement, voire totalement désaturé (le niveau piézométrique dans la maille se situe sous le toit de l'aquifère).

Ce critère est déterminé pour les aquifères du Bajocien et du Bathonien, ainsi que pour deux états de prélèvements différents :

- prélèvements de juillet 2010 ;
- prélèvements autorisés – pour ces derniers, voir le rapport de phase 1 décrivant les difficultés associées à leur identification. Le projet de prélèvements dans le bassin versant de la Gronde a été intégré à ce scénario de pompages.

La démarche de calcul adoptée est la suivante :

- identification des mailles totalement saturées (nappe captive ou en débordement) pour un état piézométrique simulé en régime hydraulique permanent sans pompage ;
- pour chacune de ces mailles, on regarde si la saturation totale est conservée pour une simulation en régime permanent avec les deux scénarios de pompage successivement (cf. à titre d'exemple les Annexe 6 et Annexe 7 correspondant aux situations de prélèvements de juillet 2010) ;
- dans le cas où la saturation totale est perdue, on représente la perte de saturation si elle est supérieure à 1 % (si la maille est saturée à x % dans le modèle en régime permanent avec pompages, la perte de saturation est de 100-x %).

Les Illustration 13 à Illustration 16 présentent les cartographies obtenues pour le Bathonien et le Bajocien. Les occurrences sont décrites par unité hydrologique en Annexe 3. Il est rappelé que, compte tenu des hypothèses prises pour la représentation du Bathonien (cf. rapport de phase 1), il n'est pas possible de représenter d'éventuelles pertes de saturation « intra-Bathonien » dans l'alternance des calcaires et des caillasses.

Trois classes sont définies pour ce critère :

- vert foncé : aucune maille de l'unité hydrologique n'est concernée par une désaturation ;
- vert clair : au moins une maille de l'unité hydrologique présente une perte de saturation totale supérieure ou égale à 1 % ;
- orange : au moins une maille présente une perte de saturation totale supérieure ou égale 20 %.

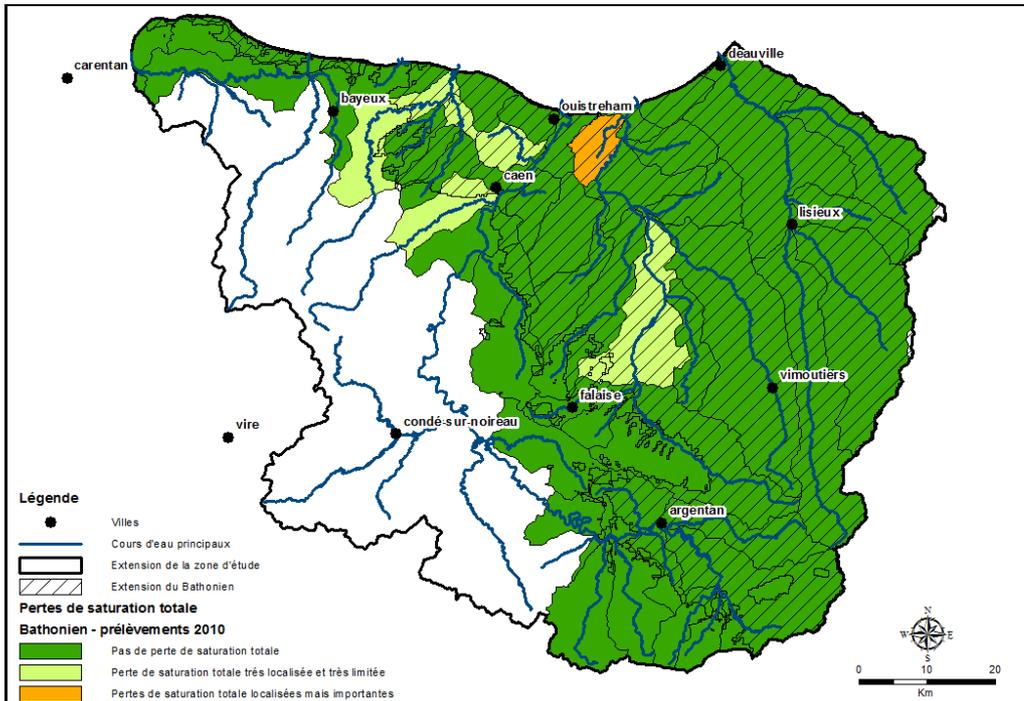


Illustration 13 : Pertes de saturation dans le Bathonien à l'échelle des unités hydrologiques (prélèvements de juillet 2010)

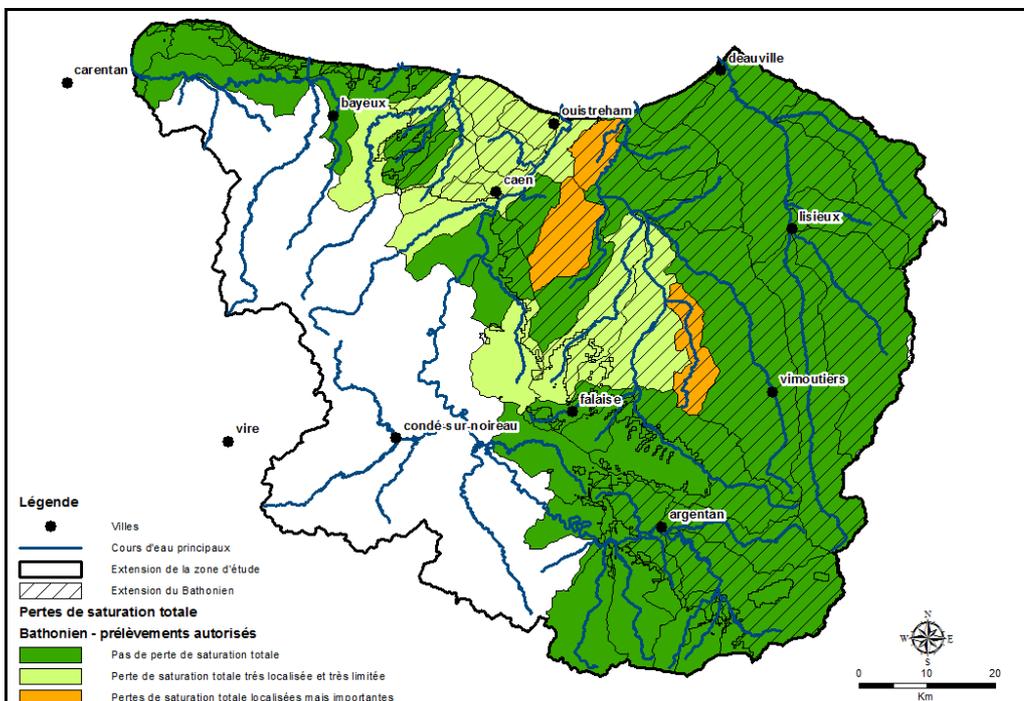


Illustration 14 : Pertes de saturation dans le Bathonien à l'échelle des unités hydrologiques (prélèvements autorisés)

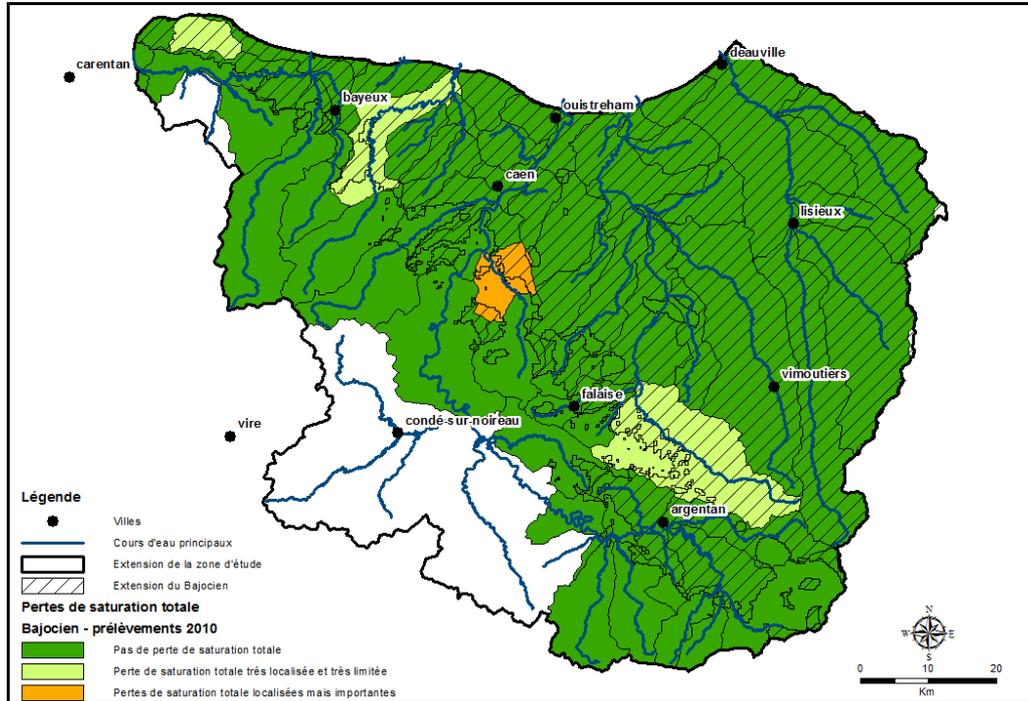


Illustration 15 : Pertes de saturation dans le Bajocien à l'échelle des unités hydrologiques (prélèvements de juillet 2010)

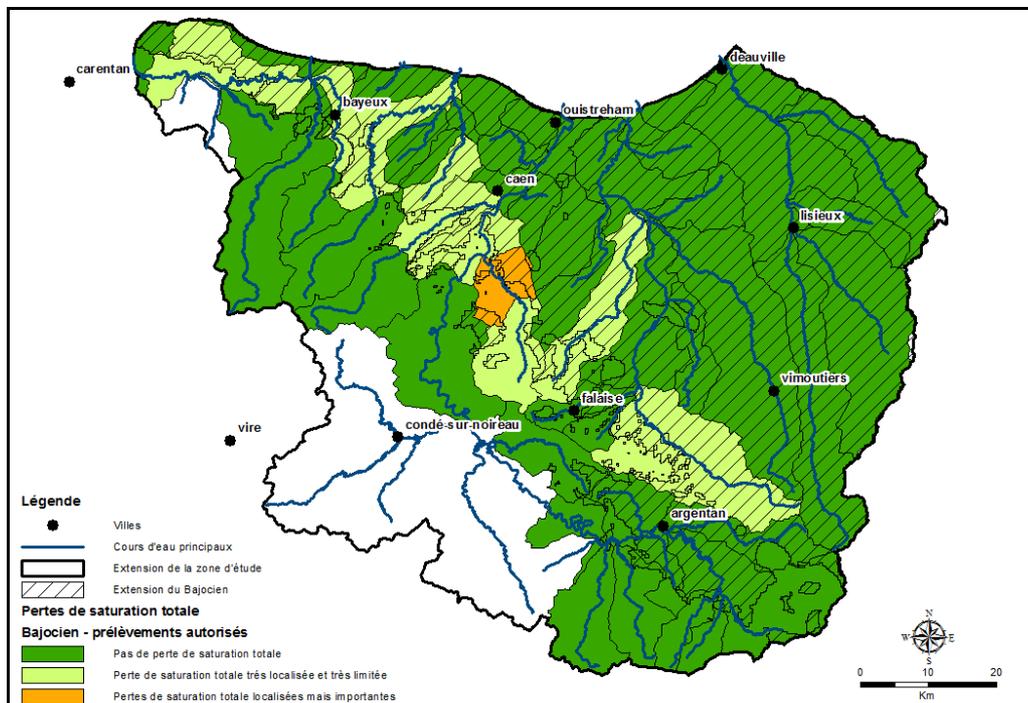


Illustration 16 : Pertes de saturation dans le Bajocien à l'échelle des unités hydrologiques (prélèvements autorisés)

L'identification des zones présentant une perte de saturation totale demeure contrainte par les hypothèses de construction du modèle hydrodynamique, à savoir notamment :

- sa taille de maille en dehors de la zone aval des fleuves Orne et Dives (1km de côté) ;
- la représentation en une couche unique du Bathonien calcaire : ceci ne permet pas d'identifier d'éventuelles pertes de saturation totale qui se feraient au sein d'une des formations calcaires du Bathonien et qui seraient liées à la présence d'un niveau de caillasse moins perméable. Le modèle fournit une information globale, à l'échelle de l'ensemble de l'alternance des formations calcaires et des niveaux de caillasses.

### **2.3. PROPOSITION DE CROISEMENT DE CRITÈRES**

Cinq critères ont été élaborés pour qualifier l'état de pression quantitative s'exerçant sur les unités hydrologiques de la zone modélisée. Ces critères ont été présentés au § 2.2.

Quatre de ces critères sont purement quantitatifs tandis que le dernier (les pertes de saturation) est plus qualitatif (il n'est pas représenté par une valeur issue d'un bilan et de la comparaison entre différents volumes ou débits). Ce dernier critère est donc difficilement comparable numériquement aux quatre autres. Par ailleurs, il fournit un regard spécifique sur la problématique de la préservation de la qualité de l'eau souterraine en fonction du développement des prélèvements dans les eaux souterraines, qu'il peut être intéressant de conserver indépendamment des autres critères.

Enfin, il a été choisi de conserver tel quel le critère relatif à l'impact des prélèvements sur le QMNA5 : le croisement a donc été effectué sur les trois premiers critères uniquement (cf. 2.2.1, 2.2.2 et 2.2.3).

Il est par ailleurs utile d'avoir à l'esprit que cette combinaison des critères ne permet pas d'expliquer un phénomène (en l'occurrence la tension quantitative des ressources en eau dans certains secteurs) dont on suppose qu'il s'explique par une combinaison de critères intervenant chacun avec un certain poids dans le phénomène physique, comme c'est le cas pour la vulnérabilité, mais qu'elle vise à conforter l'identification des zones en tension quantitative, chacun des trois critères fournissant une information redondante par certains aspects et par ailleurs incomplète : la combinaison des critères ne permet pas d'explicitier mieux le phénomène mais de conforter l'identification des secteurs les plus impactés.

En d'autres termes, les critères sont à considérer comme des indicateurs, non indépendants les uns des autres, dont la convergence conforte l'évaluation du risque de surexploitation des ressources renouvelables.

#### **2.3.1. Quantification des trois critères combinés**

Une combinaison des différents critères peut être proposée, en modulant le poids accordé à chaque critère. Chaque critère – dont l'évaluation peut se faire selon une unité spécifique (% ,  $m^3$  ,  $m^3/s$  , nombre/ $m^2$ ...) – nécessite préalablement d'être normé selon une règle commune. Dans le cadre de l'étude, il a été choisi de noter chaque critère de façon continue entre 0 et 10, selon l'évolution linéaire suivante :

- note 10 à la valeur maximale  $i_{max}$  du critère ;
- note 0 à la valeur minimale  $i_{min}$  du critère ;

- note Ni pour une valeur i du critère, calculée de la façon suivante :

$$N_i = (i - i_{\min}) / (i_{\max} - i_{\min}) * 10$$

Cette approche permet d'adopter une notation continue des critères entre les valeurs minimales et maximales rencontrées. Ces valeurs minimales et maximales sont présentées dans le Tableau 1.

Calcul de la note par critère		
Prélèvements en ESO / Renouvellement des ESO		Note
	x = 0%	0
	x = 34.9%	10
Prélèvements totaux / QMNA5		Note
	x = 0%	0
	x = 136%	10
Baisse des apports des ESO aux ESU		Note
	x = 0%	0
	x = 43.78%	10

Tableau 1 : Bornes utilisées pour le calcul de la note par critère

Les notes calculées pour chacun des critères et chacune des unités hydrologiques sont données en Annexe 2.

### 2.3.2. Cartographie du croisement des critères

La cartographie a été effectuée en considérant une pondération identique pour chacun des trois critères. Elle figure en Illustration 17.

Pour mémoire, les trois critères pris en compte sont :

- le ratio entre les prélèvements en eau souterraine et le renouvellement des eaux souterraines ;
- la baisse des apports souterrains aux eaux de surface entre le régime naturel et le régime de pompage ;
- l'impact des prélèvements sur le QMNA5 simulé.

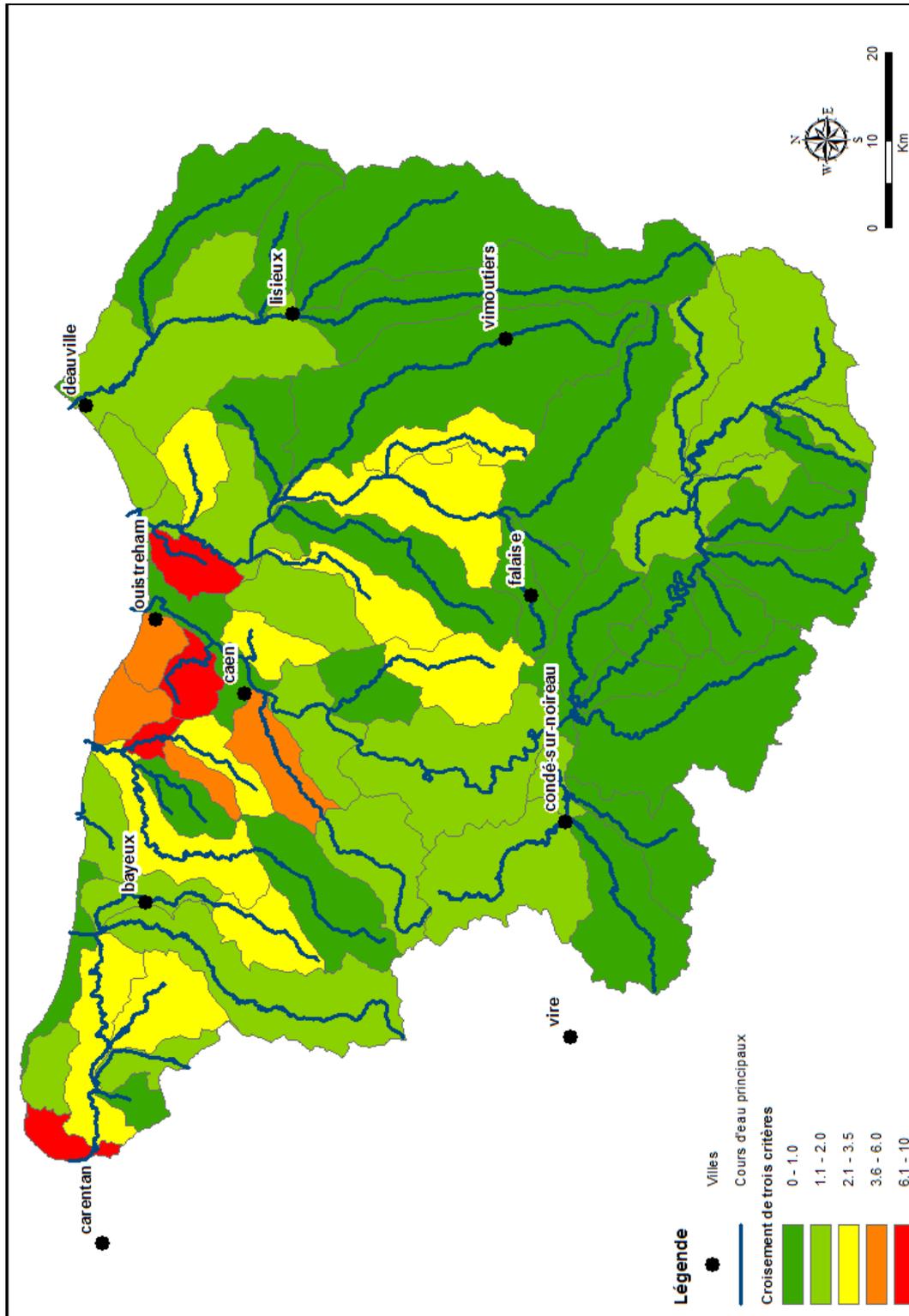


Illustration 17 : Cartographie des critères pondérés

## 2.4. SYNTHÈSE

Il est proposé de bâtir la délimitation de la Zone de Répartition des Eaux (ZRE) en s'appuyant sur les cinq critères présentés dans le chapitre 2.2. La constitution de ces différents critères vise essentiellement à établir un « faisceau de présomptions », par redondance des informations fournies par chacun d'entre eux.

Le critère relatif à la perte de saturation totale de l'aquifère apporte néanmoins un regard un peu spécifique : cette situation de désaturation se traduit par un apport d'oxygène dans l'aquifère, apport qui est susceptible de freiner, voire de stopper un processus naturel de dénitrification.

Les conditions d'équilibre quantitatif des unités hydrologiques situées à l'aval dépendent des apports en provenance des unités hydrologiques amont. Il est donc suggéré d'intégrer cette problématique amont-aval lors de la phase de délimitation de la ZRE.

Enfin, les zones en « forte tension quantitative » sont définies comme étant celles pour lesquelles le QMNA5 simulé avec pompage est inférieur de plus de 30% au QMNA5 simulé sans pompes (données climatiques de 1971-2010, configuration de prélèvements de 2010 - cf. § 3.4).

Dix unités hydrologiques dépassent ce seuil de 30%. Elles figurent en Illustration 18.

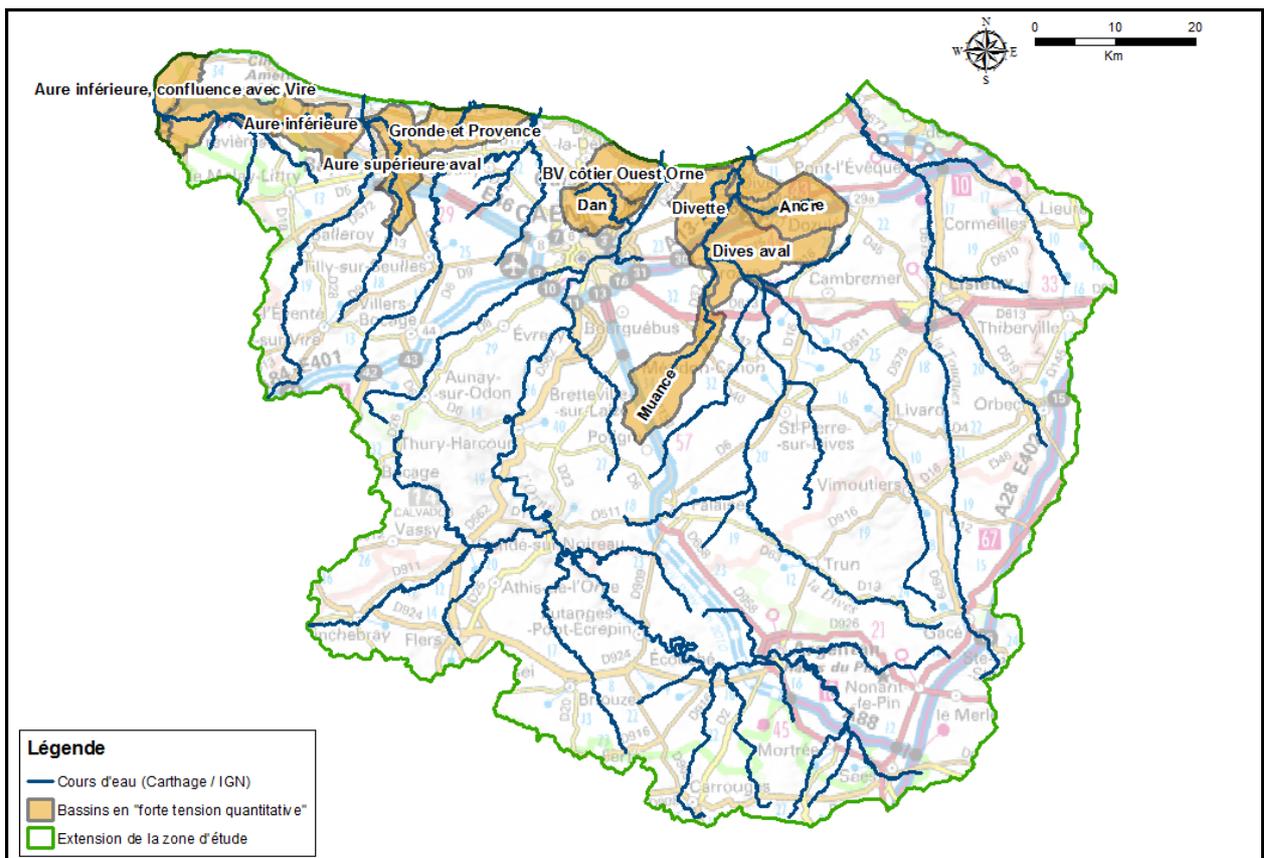


Illustration 18 : Zones en « forte tension quantitative »



## 3. Calcul des volumes prélevables

### 3.1. RAPPEL DU CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

La circulaire du 30 juin 2008 précisant les conditions d'application de la LEMA<sup>5</sup> (promulguée le 30 décembre 2006) relativement à la « résorption des déficits quantitatifs en matière de prélèvements d'eau et de gestion collective des prélèvements d'irrigation » fixe le cadre de la définition d'une gestion quantitative équilibrée des ressources en eaux souterraines :

*« Dans le cas général, une ressource en eau fait l'objet d'une gestion quantitative équilibrée lorsque, statistiquement, huit années sur dix en moyenne, les volumes et débits maximums autorisés ou déclarés dans cette ressource, quels qu'en soit leurs usages (irrigation, alimentation en eau potable, ...), peuvent en totalité être prélevés dans celle-ci tout en garantissant le bon fonctionnement des milieux aquatiques correspondants.*

*La garantie de bon fonctionnement peut, lorsqu'ils existent, s'observer par le respect des débits ou niveaux piézométriques d'objectifs, le cas échéant inscrits sous forme de Débit d'Objectif d'Étiage (DOE) ou de Piézométrie d'Objectif d'Étiage (POE) dans les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) ou les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) »*

En pratique, la définition du DOE pour un bassin versant peut s'appuyer sur une approche purement quantitative (utilisation par exemple du QMNA<sup>6</sup>) ou intégrer des aspects relatifs au maintien de la vie piscicole (calcul d'un Débit Minimum Biologique – DMB - dont le mode de calcul est précisé par la circulaire du 5 juillet 2011).

Le SDAGE du bassin Seine-Normandie reprend les prescriptions de la LEMA, au travers notamment de son orientation 23 et des dispositions 109 et 110 associées :

**Orientation 23 - Anticiper et prévenir les surexploitations globales ou locales des ressources en eau souterraine.**

*« L'état quantitatif d'une eau souterraine est considéré comme bon lorsque les prélèvements ne dépassent pas la capacité de renouvellement de la ressource disponible, et lorsque l'alimentation en eau des écosystèmes aquatiques de surface et des zones humides directement dépendantes est assurée. Une part importante des zones humides est également directement liée au niveau des nappes. »*

- Disposition 109 - **Mettre en œuvre une gestion collective pour les masses d'eau ou partie de masses d'eau souterraines en mauvais état quantitatif**

*« Lorsqu'elle n'existe pas déjà, une structure de concertation réunissant l'ensemble des usagers sur le périmètre pertinent peut être mise en place à l'initiative du préfet ou d'un porteur*

---

<sup>5</sup> Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques

<sup>6</sup> QMNA : débit (Q) mensuel (M) minimal (N) de chaque année civile (A)

QMNA 5 : QMNA de fréquence de retour 5 ans secs, soit débit mensuel minimal de l'année civile ayant une probabilité d'être dépassé 4 années sur 5.

*de projet (SAGE, contrat de nappe...). Cette structure vise à promouvoir et favoriser une gestion collective économe et partagée entre les activités légalement exercées. »*

- Disposition 110 - **Définir des volumes maximaux prélevables pour les masses d'eau ou parties de masses d'eau souterraines en mauvais état quantitatif**

*« Lorsque la structure de concertation prévue par la disposition 109 est mise en place, les masses d'eau, ou parties de masses d'eau identifiées dans le tableau de l'annexe 4 font l'objet d'un bilan détaillé en vue de déterminer les limites maximales de prélèvements.*

*L'impact spécifique des prélèvements pour les productions d'eau potable, industrielles et pour l'irrigation devra être mis en évidence, que ces prélèvements soient permanents ou temporaires. Ces limites sont fixées de manière à ne pas engendrer de baisse inter-annuelle de la piézométrie susceptible de nuire à la production d'eau potable. Elles garantissent par ailleurs le bon état des eaux de surface et des écosystèmes aquatiques qui leur sont associés. En zone littorale, elles visent aussi à éviter l'intrusion d'eaux saumâtres. Ces valeurs tiennent compte des prélèvements actuels et futurs. Une ré-alimentation de nappe peut y être étudiée afin de prévenir les déficits lors de la période d'étiage. ».*

## **3.2. APPROCHES MÉTHODOLOGIQUES**

Avant de présenter les calculs effectués dans le cadre de cette étude, il paraît opportun de :

- préciser la question méthodologique posée par le calcul d'un volume prélevable (cf. § 3.2.1) ;
- présenter une méthode adaptée à des configurations de relations nappe-rivière simples afin d'évaluer son applicabilité aux cours d'eau de Basse-Normandie. L'exemple d'approche méthodologique qui est présenté a été mis en œuvre dans le bassin versant de l'Ariège (cf. § 3.2.2).

Enfin, des tests méthodologiques ont été conduits à partir des Débits Minimum Biologiques définis par l'ONEMA (cf. § 3.2.3).

### **3.2.1. Volumes prélevables : une question spatiale et temporelle**

Un pompage en eau souterraine induit un rabattement du niveau de la nappe sur une hauteur et une extension qui dépendent du débit et de la durée de pompage, ainsi que des paramètres intrinsèques de l'aquifère. Sauf enjeu local important (zones humides notamment), l'impact d'un forage isolé demeure faible : c'est en règle générale le cumul des impacts qui est susceptible de générer un déséquilibre dans la gestion des ressources en eaux.

Ce déséquilibre est le plus souvent mesuré à l'aune du respect d'un débit minimum à l'étiage dans le cours d'eau (cf. § 3.1). Ce critère fait apparaître une temporalité qui lui est sous-jacente : la finalité consiste à maintenir un débit minimum dans le cours d'eau à l'étiage, sans questionnement concernant les débits écoulés durant les autres mois de l'année. En particulier, il ne s'agit donc pas de vérifier que les prélèvements demeurent bien inférieurs au renouvellement moyen interannuel de la ressource en eau souterraine – condition qui est d'ailleurs le plus souvent respectée (constat de l'absence d'une baisse tendancielle).

Cet aspect temporel ou conjoncturel de la question suppose de connaître la localisation et l'évolution des volumes prélevés au fil du temps, en particulier en période d'étiage. En effet, à volumes prélevés équivalents, on peut observer un impact faible à fort sur le débit écoulé à

l'étiage selon les configurations spatiale et temporelle de pompage (ouvrages plus ou moins éloignés du cours d'eau, fluctuations saisonnières des débits pompés).

Pour forcer le trait, à débits pompés équivalents, il est bien entendu que deux forages implantés à 10 m d'une rivière et fonctionnant pendant 15 jours par an au moment de l'étiage auront un impact bien plus important que 10 forages prélevant en continu un volume annuel équivalent et répartis sur l'ensemble du bassin versant hydrogéologique associé au cours d'eau. Par ailleurs, l'impact d'un prélèvement qui se déclenche au moment de l'étiage peut ne se faire ressentir qu'après l'étiage si l'ouvrage de pompage est implanté à une distance importante du cours d'eau.

**La question du volume prélevable dans un bassin versant est donc indissociable des considérations temporelles – conjoncturelles – et spatiales associées. Un volume prélevable doit ainsi être associé à une configuration de prélèvement donnée (cette configuration se répétant le cas échéant d'une année à l'autre).**

En pratique, calculer un volume prélevable suppose de cerner l'impact global d'une configuration de pompage donnée sur les débits écoulés. Dans un modèle spatialisé, la prise en compte de chaque point de pompage, avec sa temporalité, son éloignement au cours d'eau et son contexte hydrogéologique propre permet de restituer cet impact global, au plus près de la réalité physique des phénomènes en jeu.

**On mesure à la lumière de ces remarques toute l'importance d'une connaissance fine de la localisation des prélèvements et de la distribution des volumes prélevés tout au long de l'année.**

On gardera néanmoins à l'esprit que, malgré une bonne connaissance de ces informations, on se heurte parfois à des difficultés liées à des fonctionnements hydrodynamiques complexes, susceptibles d'être différents d'un bassin à l'autre, ce qui rend difficile l'application d'une méthodologie unique.

### **3.2.2. Utilisation d'un modèle hydrogéologique spatialisé en domaine alluvial**

#### ***Exemple du bassin versant de l'Ariège***

Le bassin versant de l'Ariège est un exemple intéressant de calcul de volumes prélevables durant la période d'irrigation (mai à septembre) en domaine alluvial. La démarche de calcul est décrite dans le rapport BRGM RP-58139-FR (Seguin, 2009) ; quelques extraits en sont présentés ci-après.

Le calcul de volumes prélevables est effectué par unités de gestion (cf. Illustration 19), chacune étant associée à une chronique de débit d'écoulement dans un cours d'eau associé.

Pour chaque unité, la démarche de calcul comporte plusieurs étapes :

- définition du débit de référence (Débit d'Objectif d'Étiage, DOE) ;
- identification d'un état piézométrique de référence correspondant à ce débit de référence : pour le bassin versant de l'Ariège, cet état correspond à la situation piézométrique simulée en septembre à partir d'un état piézométrique moyen au mois d'octobre précédent et après une simulation sur 12 mois en utilisant un scénario climatique décennal sec ;

- simulation de 6 scénarios climatiques croisant automne et hiver moyens ou secs, générant six états piézométriques différents en avril ;
- les volumes prélevables durant la période d'irrigation sont calculés pour chaque scénario climatique en soustrayant les états piézométriques simulés à l'état de référence (cf. Illustration 20).

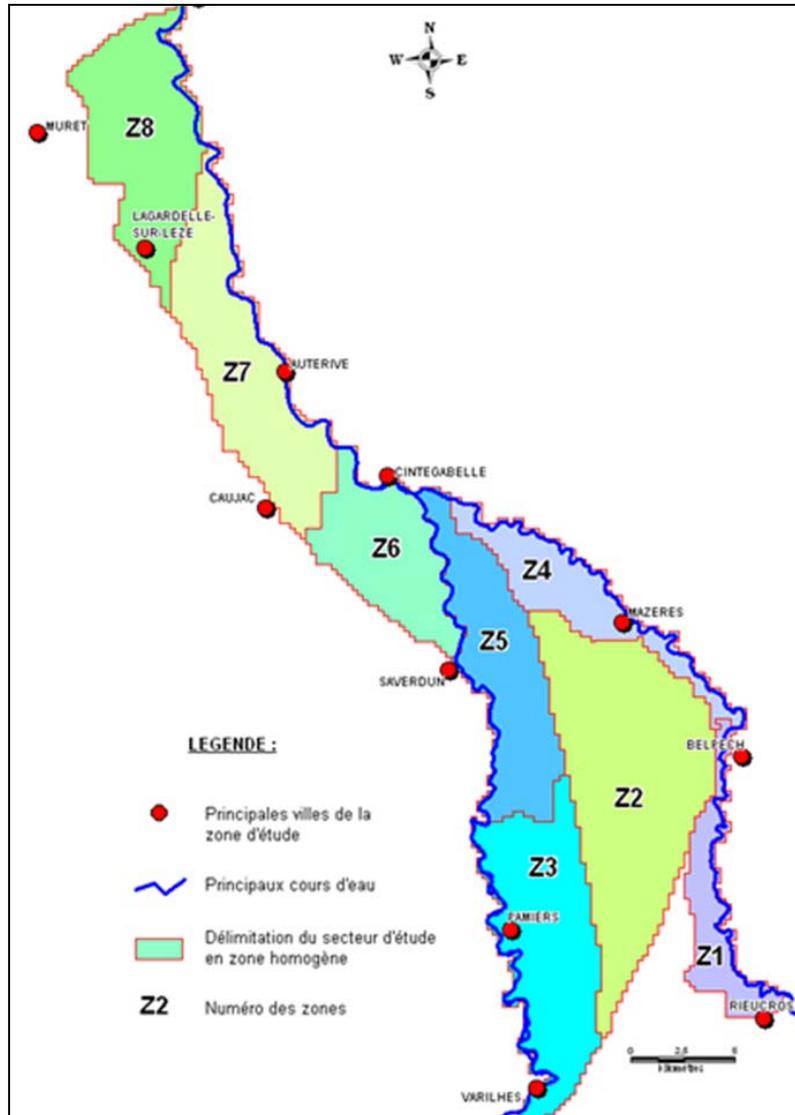


Illustration 19 : Unités de gestion dans le bassin versant de l'Ariège

- **Détermination d'un état piézométrique de référence** : Etat piézométrique dont le dépassement serait dommageable pour la ressource, **état piézométrique modélisé associé au maintien du débit biologique d'été du cours d'eau.**
- **Pour un scénario climatique donné et dans une unité de gestion donnée, le volume exploitable est calculé comme suit :**

$$V_{exp} = \sum_i (H_{Sc}^i - H_{Ref}^i) S_i \cdot A_i$$

$H_{Sc}^i$  : le niveau de la nappe dans la maille  $i$  pour le scénario climatique simulé,  
 $H_{Ref}^i$  : le niveau de la nappe dans la maille  $i$  pour l'état piézométrique de référence  
 $S_i$  est le coefficient d'emménagement dans la maille  $i$ ,  
 $A_i$  est la superficie de la maille  $i$ .  
 La sommation se fait sur l'ensemble des mailles couvrant l'unité de gestion.

Illustration 20 : Calcul du volume prélevable sur la base d'un état piézométrique de référence

### **Applicabilité en Basse-Normandie**

La démarche adoptée pour le bassin versant de l'Ariège repose sur l'existence d'une bijection entre un débit à l'été et un état piézométrique correspondant un an plus tôt (soit au démarrage du cycle hydrologique aboutissant à l'été). Cette hypothèse appelle deux remarques :

- la plupart des cours d'eau de Basse-Normandie ne sont pas en équilibre hydrodynamique avec une seule nappe mais avec plusieurs nappes, chacune d'entre elles ayant sa propre dynamique de fonctionnement. Un débit donné dans le cours d'eau peut donc résulter de différentes combinaisons de niveaux piézométriques initiaux au sein de ces nappes ;
- en faisant l'hypothèse que l'on puisse associer un état de nappe donné à un débit de cours d'eau en un point donné, existe-t-il une bijection entre le débit d'été fixé et le niveau de cette nappe un an plus tôt ? Dans le cas d'une nappe alluviale qui ne présente que peu de fluctuations interannuelles, le niveau de la nappe au début de la période de recharge est sensiblement le même d'une année sur l'autre. Ce n'est pas le cas pour une nappe au fonctionnement plus inertiel et il n'est donc pas sûr qu'il existe un unique état piézométrique initial conduisant au Débit d'Objectif d'Été.

Ces remarques portant sur l'hypothèse fondatrice de la méthode de calcul utilisée pour la nappe de l'Ariège excluent de pouvoir la transposer aux aquifères de Basse-Normandie.

### **3.2.3. Utilisation des débits minimums biologiques**

Des calculs de volume prélevable ont été effectués pour les quatre cours d'eau pour lesquels des débits minimum biologiques (DMB) ont été déterminés par l'ONEMA. La description complète des approches qui ont été conduites figure en Annexe 8. Pour deux des bassins versants, il n'a pas été possible de déterminer un volume prélevable, le DMB ne pouvant être comparé à une chronique de débit pour l'Aure ou étant franchi près de 8 années sur 10 dans le bassin versant de l'Odon, y compris en l'absence de pompages.

Pour la Mue, la configuration des pompages génère sur les débits écoulés un impact fort, relativement rapide et ne se prolongeant pas dans le temps. La bonne adéquation entre QMNA faible et prélèvements forts permet de calculer un volume prélevable sur trois mois consécutifs à l'étiage permettant de respecter un débit de référence dans le cours d'eau près de 8 années sur 10.

La même approche méthodologique conduite pour la Seulles ne fournit pas un résultat cohérent. Parmi les facteurs explicatifs possibles, on peut citer i) l'absence de corrélation entre cumul sur trois mois des prélèvements mensuels et QMNA constaté dans le cours d'eau, ii) une faible corrélation entre le pic de pompage estival et son impact sur le débit du cours d'eau. Ce dernier aspect pourrait s'expliquer par l'existence de prélèvements dans le Bajocien sous couverture des marnes de Port-en-Bessin. Notons, en tout état de cause, que les simulations effectuées pour ce bassin versant font intervenir des chroniques de pompage mensuel, construites sur la base d'une ventilation mensuelle des prélèvements annuels. Une répartition différente des pompages dans l'année pourrait modifier sensiblement le résultat obtenu.

En conclusion, les calculs effectués ne sont pas généralisables à l'ensemble des bassins versants car ils supposent de connaître à la fois les débits de rivière, un débit de référence à l'étiage (en l'occurrence le débit minimum biologique - DMB) et les débits pompés, puis d'en faire une analyse détaillée.

Deux autres approches méthodologiques complémentaires ont donc été mises en œuvre : la première est globale et mise en œuvre sur l'ensemble de la zone d'intérêt (cf. § 3.2.4), tandis que la seconde est déclinée par unité hydrologique pour cerner les secteurs qui présentent un déficit avéré des écoulements en étiage (cf. § 3.4).

### **3.2.4. Autres approches méthodologiques**

D'autres approches méthodologiques existent (voir par exemple le guide relatif à la détermination des indicateurs piézométriques en vue d'une gestion quantitative de la ressource en eau - rapport BRGM RP-61374-FR, Stollsteiner, 2011), dont plusieurs ont été utilisées dans le cadre de cette étude. Certaines sont mises en œuvre à l'échelle d'un bassin versant (cf. § 3.4), sur la base de l'impact simulé des prélèvements sur une chronique de débit, d'autres fournissent un regard plus global (cf. § 3.3) sur un ensemble de bassins versants en comparant par exemple les prélèvements à la ressource renouvelable en eaux souterraines.

Ces différentes approches sont décrites dans les chapitres suivants.

### 3.3. APPROCHE GLOBALE

#### 3.3.1. QMNA5 des 11 bassins versants situés aux exutoires du domaine d'étude, Touques exclu

Onze des 67 unités hydrologiques sont situées aux exutoires du domaine modélisé, bassin versant de la Touques exclu. Ces onze unités hydrologiques figurent en Illustration 21.

La somme des QMNA5 aux exutoires de ces 11 unités hydrologiques fournit un indicateur global des débits écoulés en étiage dans le réseau hydrographique. Il est intéressant de comparer les valeurs simulées pour cet indicateur en situation de pompage (prélèvements 1994-2010) et en l'absence de pompage.

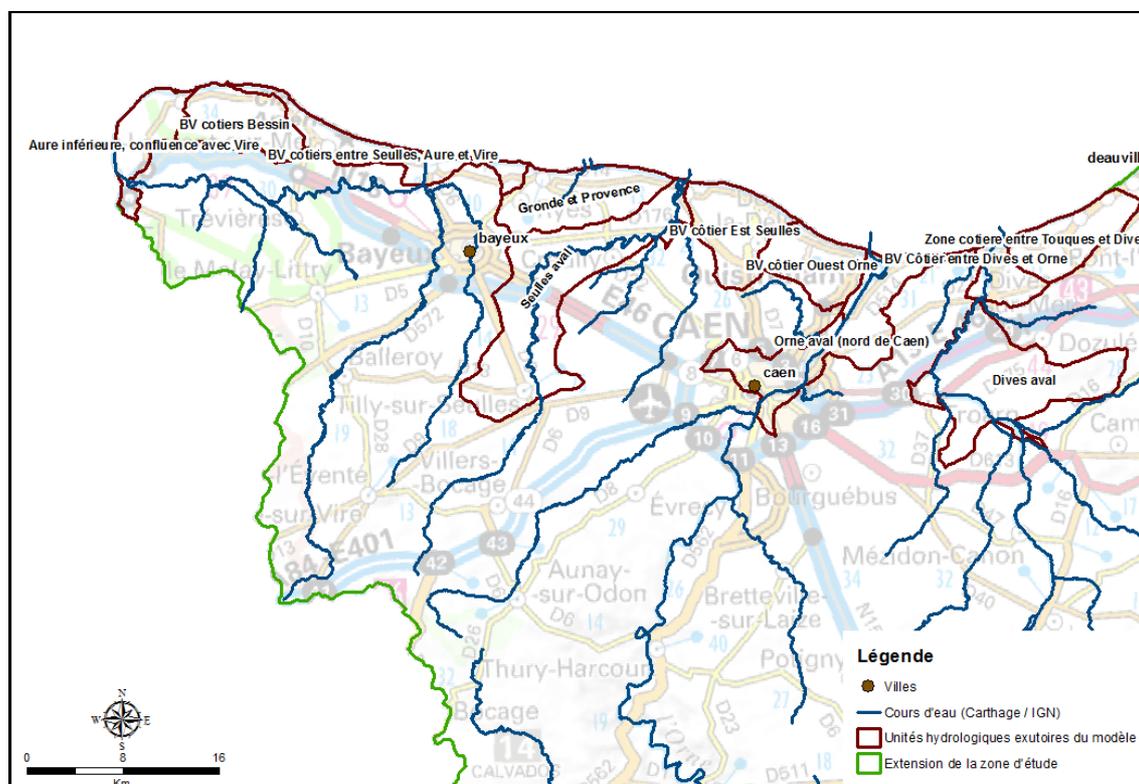


Illustration 21 : Unités hydrologiques situées aux exutoires de la zone modélisée, bassin versant de la Touques exclu

Le Tableau 2 récapitule les QMNA5 simulés pour les 11 bassins versants et leur cumul provenant de la totalité du domaine d'étude, Touques exclu. On constate que l'essentiel du débit calculé est constitué par les débits de la Dives, de l'Orne, de la Seulles et de l'Aure inférieure, le reste étant apporté par les petits cours d'eau littoraux (Grande littorale, Provence, etc.).

L'impact global des pompages 1994-2010 sur le débit d'étiage des cours d'eau est évalué à 28%, ce qui correspond à une réduction du débit d'étiage de 2.59 m<sup>3</sup>/s.

Intitulé	QMNA5 simulé hors pompages (m3/s)	QMNA5 simulé avec pompages (m3/s)	Impact des prélèvements sur le QMNA5 (en %)
BV cotiers au nord de l'Aure inférieure	0.48	0.47	2.3%
Dives aval	2.58	1.73	33.1%
Zone cotiere entre Touques et Dives	0.25	0.23	7.7%
Seulles aval	0.91	0.59	34.9%
BV côtier Ouest Orne	0.026	0.011	58.5%
Gronde littoral	0.030	0.000	100.0%
Provence	0.008	0.000	100.0%
FRHC13 - BV côtier Est Seulles	0.049	0.034	29.7%
FRHC11 - BV côtiers entre Gronde et Vire	0.17	0.16	1.3%
Aure inférieure, confluence avec Vire	1.10	0.49	55.0%
Orne aval	3.67	2.96	19.4%
<b>TOTAL</b>	<b>9.27</b>	<b>6.68</b>	<b>27.9%</b>

Tableau 2 : QMNA5 simulés aux exutoires des 11 bassins versants de la zone d'étude, Touques exclue (NB : les bassins versants de la Provence et de la Gronde – littoral – sont regroupés au sein de la même unité hydrologique)

Le Comité de Pilotage du projet a retenu une valeur de 70% du QMNA5 simulé sans pompage comme seuil de référence à ne pas franchir (soit une baisse maximale de 30%).

Si l'on applique cette baisse de 30% à la somme des QMNA5 de la zone considérée, on obtient une valeur de 2.78 m<sup>3</sup>/s. Rapportée à l'année, celle-ci correspond à un volume de 87.7 Mm<sup>3</sup>/an. Ce volume est bien plus élevé que le volume annuel actuellement prélevé sur la zone considérée (volume qui varie approximativement entre 55 et 65 Mm<sup>3</sup>/an sur la période 1994-2010). Or, on constate que le volume actuel de prélèvements annuels génère déjà un impact de l'ordre de 28% du QMNA5 en régime naturel. Le volume des prélèvements annuels ne constitue donc pas le seul critère à prendre en compte pour maintenir un débit minimum à l'étiage ; il faut également s'attacher à la distribution saisonnière des prélèvements, notamment en période d'étiage. Cette conclusion confirme d'ailleurs les principes généraux énoncés au § 3.2.1 et les enseignements tirés des analyses corrélatoires menées sur les bassins versants de la Mue et de la Seulles (cf. Annexe 8).

Avec cette approche globale, le débit prélevable défini pour ne pas induire une baisse de plus de 30% du QMNA5 naturel doit donc être spécifiquement déterminé pour les mois d'étiage. Sur la base des analyses corrélatoires effectuées, il est proposé d'ajuster ce débit sur deux, voire trois mois consécutifs de la période d'étiage. Les volumes ainsi calculés s'établissent respectivement à 14.7 et 22.1 Mm<sup>3</sup>.

Si l'on compare ces volumes prélevables aux prélèvements totaux effectués dans l'ensemble du domaine d'étude durant les deux ou trois mois d'étiage (cf. Tableau 3), on note une bonne cohérence entre volumes prélevés, volumes prélevables calculés, et impact global moyen simulé sur les débits écoulés (28% du QMNA5 naturel ou encore 93% du débit prélevable).

	Prélèvements 1994 (Mm3)	Prélèvements 2001 (Mm3)	Prélèvements 2010 (Mm3)
AEP	53.0	50.9	45.0
industriels	5.5	3.4	1.9
agricoles	0.4	0.9	2.6
elevage	3.6	3.6	3.6
gabions	3.4	3.4	3.4
TOTAL annuel	65.9	62.2	56.4
TOTAL 2 mois etiage	15.5	14.9	14.3
TOTAL 3 mois etiage	20.8	19.9	19.0
PRELEV / 30%QMNA5global_2mois	106%	102%	98%
PRELEV / 30%QMNA5global_3mois	94%	90%	86%

Tableau 3 : Prélèvements annuels par type d'usage pour les années 1994, 2001 et 2010, prélèvements en étiage (estimés) et volumes prélevables calculés pour 2 et 3 mois consécutifs

La condition de respect d'un volume prélevable de 22.1 Mm<sup>3</sup> sur trois mois consécutifs de la période d'étiage étant systématiquement vérifiée pour la période 1994-2010 (cf. Tableau 4 – le ratio est inférieur à 100%), il pourrait être envisagé de lui adosser celle du respect d'un prélèvement maximal de 14.7 Mm<sup>3</sup> durant deux mois consécutifs. Cette dernière condition est respectée de 2005 à 2010 et en 2000.

	Prélèvements / 30%QMNA5global 2 mois	Prélèvements / 30%QMNA5global 3 mois
1994	106%	94%
1995	107%	96%
1996	108%	96%
1997	104%	93%
1998	103%	91%
1999	101%	89%
2000	100%	89%
2001	102%	90%
2002	102%	91%
2003	104%	92%
2004	103%	91%
2005	100%	88%
2006	98%	86%
2007	92%	80%
2008	92%	81%
2009	96%	84%
2010	98%	86%

Tableau 4 : Ratio entre prélèvements à l'étiage et 30% du QMNA5 naturel global des 11 bassins versants situés aux exutoires de la zone d'étude, Touques exclue

### 3.3.2. Renouvellement de la ressource en eau souterraine

Dans certaines études, les volumes prélevables sont déterminés sur la base d'un pourcentage maximum du débit de renouvellement annuel moyen des eaux souterraines. Le Tableau 5 fournit, à titre indicatif, le débit de renouvellement des eaux souterraines pour les deux anciennes ZRE (cf. Illustration 1), ainsi que le volume annuel associé à trois pourcentages-types (9, 10 et 11%). On note que le renouvellement des eaux souterraines sur la période 2003-2010 (14.99 m<sup>3</sup>/s) est bien inférieur à celui qui a été constaté sur la période 1994-2010 (16.95 m<sup>3</sup>/s).

	Base 1994-2010	Base 2003-2010
Renouvellement des eaux souterraines (m <sup>3</sup> /s)	16.95	14.99
9% renouvellement (Mm <sup>3</sup> /an)	48.11	42.55
10% renouvellement (Mm <sup>3</sup> /an)	53.45	47.27
11% renouvellement (Mm <sup>3</sup> /an)	58.80	52.00

Tableau 5 : Renouvellement des eaux souterraines sur l'extension des deux anciennes ZRE

À titre de comparaison, les volumes prélevés (eaux souterraines et eaux de surface) pour trois années (1994, 2000 et 2010) sur l'extension des deux anciennes ZRE sont indiqués dans le Tableau 6. Les prélèvements en eaux souterraines représentent environ 75 à 80% de ces prélèvements totaux.

	Volume (Mm <sup>3</sup> /an)	Part du renouvellement 1994-2010	Part du renouvellement 2003-2010
Prel totaux 2010	49.8	9.3%	10.5%
Prel totaux 2000	53.9	10.1%	11.4%
Prel totaux 1994	58.8	11.0%	12.4%

Tableau 6 : Volume prélevé et pourcentage correspondant du renouvellement des eaux souterraines dans les deux anciennes ZRE

### 3.4. APPROCHE PAR UNITÉS HYDROLOGIQUES

En complément de l'approche globale présentée au § 3.2.4 pour les 11 bassins versants constituant les exutoires du domaine d'étude (cf. Tableau 2), une approche similaire a été réalisée pour les 67 unités hydrologiques (cf. Illustration 5) déjà mentionnées. La démarche consiste à évaluer l'impact des prélèvements 2010 sur les QMNA5 écoulés à l'exutoire des différentes unités, puis, le cas échéant, à chiffrer la diminution de prélèvement nécessaire pour ne pas dépasser un impact maximal de 30% sur le QMNA5 simulé en régime naturel.

Le choix de l'année 2010 comme année de référence pour les prélèvements s'appuie sur trois critères :

- 2010 est l'année où les prélèvements sont les mieux connus, notamment en matière de prélèvements agricoles, des efforts certains ayant été effectués dans ce domaine à partir de 2008 ;
- il s'agit de l'année la plus récente ayant des données disponibles et donc potentiellement la plus représentative des prélèvements actuels ;

- l'évolution notable des prélèvements sur la période 1994-2010 (forte baisse des prélèvements industriels, hausse des prélèvements agricoles, et légère baisse des prélèvements pour les collectivités) incite à utiliser les données les plus récentes parce qu'elles sont les plus représentatives des conditions actuelles d'exploitation.

Dans le détail, la méthodologie mise en œuvre se décline en quatre étapes (approche similaire à celle décrite au § 2.2.4) :

- simulation d'un scénario de référence sans pompage sur la période 1971-2010 et calcul des QMNA5 à partir des chroniques de débit de rivière simulées. Ce scénario permet de calculer un QMNA5 naturel simulé pour chaque zone ;
- simulation d'un scénario de pompage correspondant à l'année 2010, répétée pour les 40 années de la simulation 1971-2010. Ce scénario permet de calculer pour chacune des zones un QMNA5 intégrant l'impact des prélèvements 2010 ;
- pour chaque zone, calcul du ratio  $QMNA5_{\text{prelev2010}}/QMNA5_{\text{sans pompages}}$  ;
- lorsque ce ratio est inférieur à 70 %, simulation de plusieurs scénarios en ajustant progressivement le coefficient de réduction à appliquer aux pompages de 2010. Pour chaque scénario, les QMNA5 des zones concernées par les réductions de prélèvements sont calculés et, par essai-erreur, on détermine le volume de prélèvements permettant d'atteindre le seuil de 70%. Dans cette phase, notons que les réductions de pompage portent sur l'ensemble des prélèvements annuels et pas uniquement sur les prélèvements à l'étiage.

Les impacts simulés sur le QMNA5 pour les 67 unités hydrologiques sont indiqués aux Tableau 7 et Tableau 8. Pour les unités figurant en orange, il n'existe pas de cours d'eau simulé explicitement (cf. rapport de phase 2). Ce sont alors les apports des eaux souterraines aux eaux de surface qui sont considérés.

ZONES	Intitulé	QMNA5 simulé hors pompages	QMNA5 simulé avec pompages	Impact des prélèvements 2010 sur le QMNA5
1	Orne amont	0.613	0.537	12.4%
2	FRHR_C10-I4005000	0.459	0.447	2.8%
3	Odon aval	0.275	0.259	5.8%
4	Dives aval	2.484	1.550	37.6%
5	Aure amont	0.119	0.086	27.9%
6	Aure inférieure Isigny	0.956	0.456	52.3%
7	Esque (L')	0.145	0.131	9.5%
8	FRHR_C15-I0505000	0.254	0.232	8.3%
9	Seulles aval	0.827	0.602	27.2%
10	ruisseau du moulin d'annebey	0.102	0.100	2.5%
11	Drome (La)	0.344	0.314	8.7%
12	Tortonne (La)	0.165	0.120	27.2%
13	Calonne (La)	1.146	1.110	3.1%
14	Mue amont	0.151	0.141	6.7%
15	Thue (La)	0.127	0.115	9.7%
16	Divette (La)	0.037	0.022	39.9%
17	Touques aval	4.853	4.414	9.0%
18	Ancre (L')	0.174	0.112	35.5%
19	Chironne (La)	0.036	0.031	15.2%
20	Dorette (La)	0.424	0.416	1.8%
21	INTERBASSIN DIVES / ORNE	0.473	0.451	4.6%
22	Paquine	0.654	0.647	1.1%
23	Dives médiane	1.037	0.828	20.2%
24	Seulles amont	0.141	0.137	3.1%
25	Muance (La)	0.266	0.089	66.7%
26	Laizon (Le)	0.248	0.205	17.1%
27	Orbiquet (L')	1.350	1.252	7.3%
28	Touques amont	1.200	1.120	6.7%
29	Odon amont	0.135	0.121	10.3%
30	Laize amont	0.277	0.246	11.2%
31	Orne_Louvigny	2.827	2.269	19.7%
32	Oudon (L')	0.069	0.065	5.8%
33	Orne médiane	2.349	2.126	9.5%
34	Ante (L')	0.117	0.115	2.2%

Tableau 7 : Impact des prélèvements 2010 sur le QMNA5 des unités hydrologiques (partie 1/2)

ZONES	Intitulé	QMNA5 simulé hors pompages	QMNA5 simulé avec pompages	Impact des prélèvements 2010 sur le QMNA5
35	Dives amont	0.363	0.356	1.8%
36	Druance (La)	0.109	0.089	18.1%
37	Traine-feuilles	0.036	0.035	4.0%
38	Vie (La)	0.603	0.476	20.9%
39	Baize (La)	0.595	0.589	1.1%
40	Noireau aval	0.362	0.320	11.7%
41	Orne_FRHR299B	1.703	1.552	8.9%
42	Thouanne (La)	0.150	0.149	0.8%
43	Vère (La)	0.338	0.329	2.8%
44	Noireau amont	0.227	0.208	8.3%
45	Orne_FRHR299A	1.234	1.111	10.0%
46	Orne Argentan	0.808	0.692	14.4%
47	Ure (L')	0.031	0.027	12.8%
48	Rouvre (La)	0.365	0.329	10.1%
49	Maire (La)	0.147	0.145	1.1%
50	Udon (L')	0.343	0.336	1.9%
51	Sennevière (La)	0.100	0.100	0.2%
52	Orne_FRHL71	1.181	1.056	10.6%
53	FRHC15 au nord de la Divette	0.027	0.027	0.0%
54	BV côtier Ouest Orne	0.025	0.017	32.7%
55	Gronde_littoral	0.028	0.000	100.0%
55	Provence	0.028	0.000	100.0%
56	FRHC13 - BV côtier Est Seulles	0.051	0.039	22.8%
57	FRHC11 - BV côtiers entre Gronde et Vire	0.168	0.166	1.4%
58	Aure inf. confluence Vire (L')	0.984	0.412	58.1%
59	Orne aval	3.631	2.895	20.3%
60	Cance (La)	0.194	0.184	4.8%
61	Aure_aval	0.187	0.126	32.3%
62	Mue aval	0.227	0.186	18.1%
63	Laize aval	0.354	0.322	9.1%
64	FRHC15 au NE de Deauville	-	-	-
65	Dan (Le)	0.091	0.036	60.4%
66	Orne_FRHR295aval	1.141	1.014	11.1%
67	Gronde	0.058	0.046	20.4%

Tableau 8 : Impact des prélèvements 2010 sur le QMNA5 des unités hydrologiques (partie 2/2)

Pour dix unités hydrologiques, l'impact des pompages dépasse 30% du QMNA5 naturel : un abattement a donc été appliqué aux volumes prélevés. Le Tableau 9 montre les baisses de prélèvement ajustées à chacune de ces unités hydrologiques, tandis que le Tableau 10 détaille les usages de l'eau en termes de pourcentage du volume total prélevé en 2010.

On note que l'unité hydrologique de la Dives aval, qui apparaissait dans le Tableau 8 comme présentant un impact relativement fort (37%), ne nécessite pas une baisse des prélèvements : les réductions de pompage effectuées à l'amont sur la Muance et l'Ancre, voire la Divette, suffisent à rétablir un écoulement à l'étiage supérieur au débit de référence retenu. Ce résultat montre bien la nécessité de prendre en compte les relations amont-aval entre les différentes unités hydrologiques dans le cadre de la gestion des zones en tension quantitative.

Le Tableau 11 présente les volumes disponibles pour les prélèvements une fois déduites les baisses identifiées.

Zones	Nom Bassin versant	Prélèvements 2010 (1000m3)	Baisse appliquée sur prélèvements 2010	Baisse de prélèvements (1000m3)	Impact initial	Impact après baisse de prélèvements
Zone_25	Muance (La)	1 115	47%	524	67%	29%
Zone_16	Divette (La)	718	23%	167	40%	30%
Zone_18	Ancre (L')	1 136	10%	114	36%	30%
Zone_4	Dives aval (La)	1 613	0%	-	38%	27%
Zone_54	FRHC14 - BV côtier Ouest Orne	657	8%	49	33%	30%
Zone_65	Dan (Le)	1 707	62%	1 058	60%	30%
Zone_55	Gronde littoral (La)	407	82%	334	100%	23%
Zone_55	Provence (La)	407	82%		100%	30%
Zone_61	Aure aval (L')	761	15%	114	32%	30%
Zone_6	Aure inférieure (L')	1 523	44%	670	52%	30%
Zone_58	Aure inf. confluence Vire (L')	789	66%	517	58%	30%

Tableau 9 : Baisse des prélèvements (en%) permettant de ne pas dépasser un impact des pompages supérieur à 30% du QMNA5 naturel

Zones	Nom Bassin versant	Prélèvements 2010 (en 1000m3)	AEP	Agricole	Industrie	Elevage	Gabions
Zone_25	Muance (La)	1 115	60.6%	4.5%	0.0%	1.3%	33.6%
Zone_16	Divette (La)	718	97.9%	0.0%	0.0%	2.1%	0.0%
Zone_18	Ancre (L')	1 136	90.9%	0.0%	0.0%	2.4%	6.7%
Zone_4	Dives aval (La)	1 613	33.9%	0.0%	0.0%	4.3%	61.8%
Zone_54	FRHC14 - BV côtier Ouest Orne	657	93.8%	0.0%	5.8%	0.4%	0.0%
Zone_65	Dan (Le)	1 707	93.7%	0.0%	5.7%	0.1%	0.5%
Zone_55	Gronde littoral et Provence	407	36.9%	4.7%	0.0%	9.0%	49.5%
Zone_61	Aure aval (L')	761	92.6%	0.0%	0.0%	7.4%	0.0%
Zone_6	Aure inférieure (L')	1 523	33.4%	0.0%	0.0%	7.9%	58.7%
Zone_58	Aure inf. confluence Vire (L')	789	23.0%	0.0%	71.0%	5.9%	0.0%

Tableau 10 : Usage des prélèvements en pourcentages du prélèvement total dans les unités hydrologiques critiques

Zones	Nom Bassin versant	Volume disponible
Zone_25	Muance (La)	591
Zone_16	Divette (La)	551
Zone_18	Ancre (L')	1 023
Zone_4	Dives aval (La)	1 613
Zone_54	FRHC14 - BV côtier Ouest Orne	607
Zone_65	Dan (Le)	649
Zone_55	Gronde littoral (La)	73
Zone_55	Provence (La)	407
Zone_61	Aure aval (L')	647
Zone_6	Aure inférieure (L')	853
Zone_58	Aure inf. confluence Vire (L')	272

Tableau 11 : Volumes disponibles (en 1000 m<sup>3</sup>) pour les prélèvements permettant de ne pas dépasser un impact des pompages supérieur à 30% du QMNA5 naturel

En conclusion, le respect d'un impact maximal de 30% du QMNA5 en régime naturel conduit à envisager une réduction des prélèvements sur 9 unités hydrologiques. Cette réduction est chiffrée à 3.5 Mm<sup>3</sup> par rapport aux prélèvements effectués en 2010 pour l'ensemble de ces unités ; une forte disparité est cependant observée d'une unité à une autre.

Les prélèvements présents dans ces unités hydrologiques sont listés en Annexe 9. Leur répartition géographique figure en Illustration 22.

La mise en œuvre concrète de cette réduction peut cependant s'avérer particulièrement délicate à court terme, compte tenu notamment de la part prédominante de l'alimentation en eau des populations dans certains des secteurs concernés.

Notons que cette approche vise à s'assurer que le seuil de 30% d'un QMNA5 naturel est bien respecté pour chacune des 67 unités hydrologiques identifiées, ce que ne permet pas l'approche globale. Cette dernière repose en effet sur le respect d'un impact inférieur à 30% d'un QMNA5 « global » à l'échelle des bassins versants des fleuves côtiers du Calvados (hors Touques).

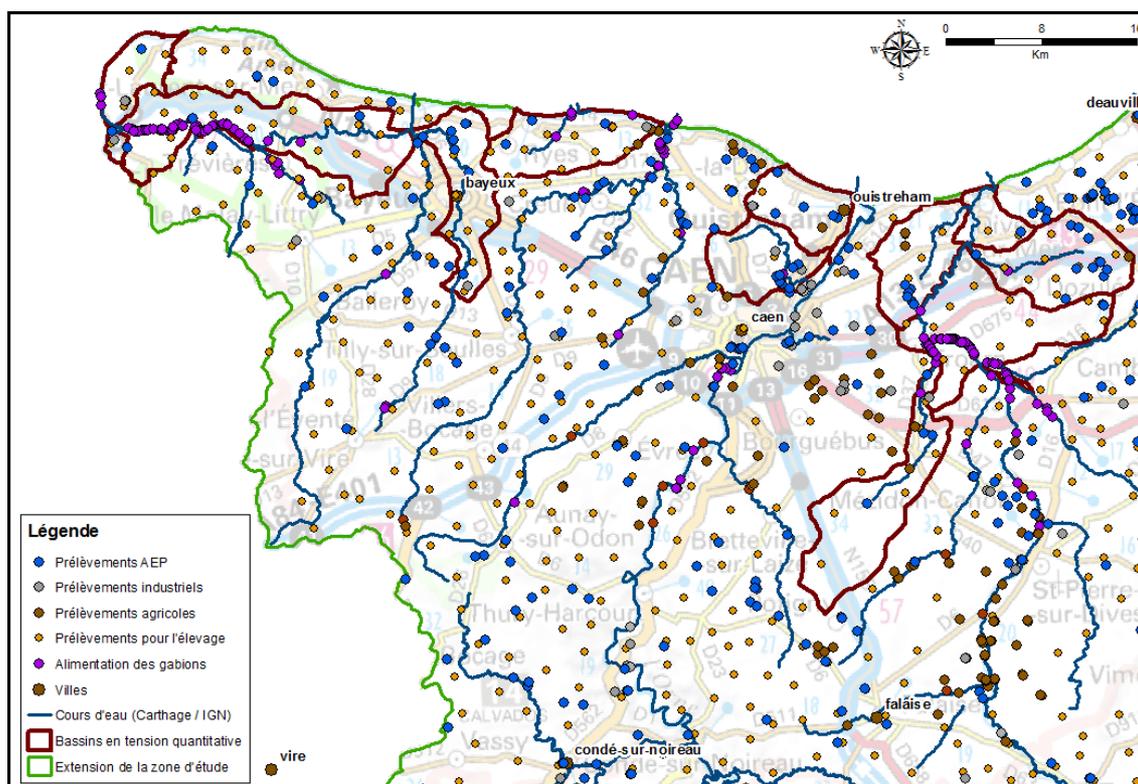


Illustration 22 : Localisation des prélèvements situés dans et au voisinage des unités hydrologiques en « forte tension quantitative »



## 4. Conclusions

Cette troisième et dernière phase de l'étude de modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives a permis d'établir les arguments scientifiques et techniques permettant d'une part de définir les zones en tension quantitative et de mettre à jour l'extension de la Zone de Répartition des Eaux, et d'autre part de caractériser les volumes prélevables associés.

Concernant la délimitation de la ZRE, cinq critères ont été élaborés à l'échelle de 67 unités hydrologiques découpant le territoire. Il s'agit :

- du ratio entre les prélèvements en eaux souterraines et le renouvellement des eaux souterraines ;
- du ratio entre les prélèvements totaux et le QMNA5 ;
- du pourcentage de baisse des apports en eau souterraine aux eaux de surface entre le régime naturel et un état influencé par les prélèvements ;
- du pourcentage de baisse constatée sur le QMNA5 simulé entre le régime naturel et un état influencé par les prélèvements ;
- de l'identification de pertes de saturation totale simulées entre le régime naturel et un état influencé par les prélèvements.

Ces différents critères, présentés sous forme de cartes et de tableaux, font apparaître des secteurs où les prélèvements affectent significativement les ressources en eau souterraine et/ou les écoulements de surface. Les zones en « forte tension quantitative » - définies par le Comité de Pilotage comme étant celles pour lesquelles le QMNA5 simulé avec pompage est inférieur de plus de 30% au QMNA5 simulé sans pompages (données climatiques de 1971-2010, configuration de prélèvements de 2010) - correspondent à 10 unités hydrologiques situées majoritairement au voisinage du littoral.

Une évaluation des volumes prélevables est proposée au travers d'une double approche, l'une proposant un volume prélevable global pour la zone modélisée hors bassin versant de la Touques, l'autre fournissant une évaluation de ce volume par zone en « forte tension quantitative » :

- Approche globale, menée à sur la base des QMNA5 des 11 unités hydrologiques constituant les exutoires du domaine d'étude, Touques exclue. Cette approche conduit à estimer, pour tout le domaine d'étude, une ressource en eau exploitable huit années sur dix de l'ordre de 14.7 Mm<sup>3</sup> sur deux mois consécutifs durant la période d'étiage (22.1 Mm<sup>3</sup> sur trois mois consécutifs). À titre de comparaison, le volume prélevé en 2010 a été de 14.3 Mm<sup>3</sup> durant deux mois consécutifs à l'étiage, et de 19 Mm<sup>3</sup> pour trois mois consécutifs. Comparativement à l'approche suivante, cette approche globale ne permet pas de s'assurer que le seuil de 30% d'un QMNA5 naturel est bien respecté pour chacune des 67 unités hydrologiques identifiées ;
- Approche par zones en « forte tension quantitative » : le volume maximal prélevable correspond au volume de prélèvements annuels permettant de ne pas dépasser un impact de 30% sur le QMNA5 (l'année 2010 constituant la configuration spatiale et temporelle de référence pour ces prélèvements). Le calcul de ces volumes conduit à recommander une baisse de 3.5 Mm<sup>3</sup> des prélèvements annuels par rapport aux prélèvements effectués en 2010 pour l'ensemble de ces dix zones. Une forte disparité est cependant observée d'une unité à une autre.

Enfin, rappelons que le concept de volumes prélevables n'a pas fait jusqu'à présent l'objet d'une définition univoque, assortie d'une méthodologie de calcul officielle. La détermination des volumes prélevables s'appuie donc sur des approches méthodologiques en cours d'évolution.

Le travail réalisé a en outre démontré l'importance d'une connaissance fine des prélèvements, à un pas de temps au moins mensuel. Il convient donc d'organiser la capitalisation au pas de temps mensuel des volumes prélevés dans le domaine d'étude, et plus généralement sur l'ensemble du territoire. Il est en outre fortement suggéré de prévoir à moyen terme un retour d'expérience, avec révision éventuelle des volumes proposés dans le cadre de cette étude.

## 5. Bibliographie

Croiset N., Wulleumier A., Bessière H., Gresselin F., Seguin J-J. (2013) - Modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives. Phase 2 : Construction et calage du modèle hydrogéologique. Rapport BRGM/RP-62648-FR. 130 pages, 88 ill., 20 tab., 11 annexes.

Saplaïroles M., Buscarlet E., avec la collaboration de Seguin J-J., Poux E., Tilloloy F. (2009) – Gestion des systèmes aquifères alluviaux dans le bassin Adour-Garonne. Modélisation de la nappe alluviale de l'Ariège et de l'Hers Vif. Année 3. Rapport BRGM-RP57184-FR. Rapport final. 74 p., 42 ill., 5 annexes.

Seguin J.J., Gomez E., Wulleumier A. (2009) - Les indicateurs piézométriques. Un outil dans la gestion des hydrosystèmes. Orientations méthodologiques. BRGM/RP-58139-FR, 118 pages.

Stollsteiner P., Wulleumier A., Bessière H., Seguin JJ (2011) – Guide pour la détermination des indicateurs piézométriques en vue d'une gestion quantitative de la ressource. BRGM/RP-61374-FR, 36 pages.

Wulleumier A., Allanic C., Boudet M., Bourguin B., Croiset N., Machard de Gramont H., Pannet P., Tourlière B. (2013) - Modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives. Phase 1 : Collecte des données, synthèse hydrogéologique et construction du modèle géologique. Rapport BRGM/RP-62002-FR. 188 pages, 99 ill., 35 tab., 21 annexes.



## **Annexe 1**

### **Légende de la carte géologique à l'échelle 1M (BRGM)**



	q3, sables, limons
	q2, argiles, sables, graviers, galets
	q2-3, sables, argiles, graviers
	q2-3, sables, cailloutis, vases
	pq1, cailloutis, argiles, sables, galets
	e1, argiles, marnes, calcaires, sables
	c2, argiles à silex
	c1, non documenté
	j3, non documenté
	j3, calcaires, grès, argiles
	j2, non documenté
	j2, calcaires, marnes, argiles
	j1, non documenté
	t, non documenté
	r, non documenté
	h3, grès, conglomérats, charbons, schistes
	s, volcanites acides, tuffites acides
	o, grès, conglomérats, schistes
	k, grès, conglomérats, schistes
	b2, schistes, grès, wackes
	3, gabbros, diorites
	b1, basaltes, schistes verts, spilites



## **Annexe 2**

### **Valeurs par unité hydrologique des trois premiers critères proposés pour la mise à jour de la ZRE**



Zone	Intitulé	Prelev ESO/entrées Toutes couches	Prelev ESO ESU/QMINA5	Pertes apport surface liées aux pompages	Note Prelev/Entrées	Note Prel/ QMINA5	Note Baisse apports ESU	Note 3 critères
Zone 16	Divette	34.9%	104.4%	43.8%	10.0	7.7	10.0	9.1
Zone 58	Aure inférieure, confluence avec Vire	25.1%	260.8%	27.0%	7.2	10.0	6.2	7.7
Zone 65	Dan	15.8%	136.0%	25.9%	4.5	10.0	5.9	6.7
Zone 62	Mue aval	27.2%	102.4%	21.3%	7.8	7.5	4.9	6.7
Zone 56	BV côtier Est Seullès	10.7%	119.2%	23.5%	3.0	8.8	5.4	5.7
Zone 19	Chironne (affluent Mue)	7.9%	134.2%	9.7%	2.3	9.9	2.2	4.7
Zone 54	BV côtier Ouest Orne	10.2%	72.8%	22.6%	2.9	5.4	5.2	4.4
Zone 3	Odon aval	15.8%	46.1%	12.0%	4.5	3.4	2.7	3.5
Zone 9	Seullès aval	16.9%	42.7%	11.5%	4.8	3.1	2.6	3.5
Zone 5	Aure supérieure amont	12.5%	48.5%	12.8%	3.6	3.6	2.9	3.3
Zone 14	Mue amont	3.7%	101.3%	5.4%	1.1	7.5	1.2	3.2
Zone 23	Dives médiane	17.7%	13.2%	15.9%	5.1	1.0	3.6	3.2
Zone 67	Gronde	7.6%	50.9%	14.1%	2.2	3.7	3.2	3.0
Zone 18	Ancre (affluent Dives rive droite)	12.1%	27.1%	13.0%	3.5	2.0	3.0	2.8
Zone 32	Oudon	3.0%	81.9%	0.2%	0.9	6.0	0.0	2.3
Zone 30	Laize	11.9%	30.9%	2.9%	3.4	2.3	0.7	2.1
Zone 25	Muance	3.9%	33.6%	12.2%	1.1	2.5	2.8	2.1
Zone 12	Tortonne	7.8%	32.6%	7.5%	2.2	2.4	1.7	2.1
Zone 6	Aure inférieure	1.4%	68.3%	3.3%	0.4	5.0	0.8	2.0
Zone 1	Orne amont	5.5%	38.5%	6.1%	1.6	2.8	1.4	1.9
Zone 7	L'Esque	6.1%	24.7%	9.3%	1.7	1.8	2.1	1.9
Zone 47	Ure	3.0%	38.6%	6.7%	0.9	2.8	1.5	1.7
Zone 61	Aure aval (Aure supérieure)	6.8%	17.5%	8.1%	2.0	1.3	1.8	1.7
Zone 51	Sennevière	4.2%	50.0%	0.6%	1.2	3.7	0.1	1.7
Zone 36	Druance	6.2%	23.8%	5.1%	1.8	1.8	1.2	1.6
Zone 4	Dives aval	7.7%	1.8%	9.4%	2.2	0.1	2.1	1.5
Zone 8	Zone cotière entre Touques et Dives	6.2%	14.2%	6.7%	1.8	1.0	1.5	1.4
Zone 55	Provence et Gronde	2.1%	36.9%	3.5%	0.6	2.7	0.8	1.4
Zone 21	Plateau inter bassin Orne et Dives	5.6%	12.2%	7.0%	1.6	0.9	1.6	1.4
Zone 2	BV cotiers au nord de l'Aure inférieure	3.2%	28.9%	4.6%	0.9	2.1	1.0	1.4
Zone 33	Orne médiane	8.1%	2.8%	6.3%	2.3	0.2	1.4	1.3
Zone 29	Odon amont	3.5%	30.0%	3.1%	1.0	2.2	0.7	1.3

Zone	Intitulé	Prelev ESO/entrées Toutes couches	Prelev ESO ESU/QMNAS	Pertes apport surface liées aux pompages	Note Prelev/Entrées	Note Prel/QMNAS	Note Baisse apports ESU	Note 3 critères
Zone 46	Orne, Baize et Houay aval Argentian	5.3%	6.9%	6.6%	1.5	0.5	1.5	1.2
Zone 31	Orne médiane, juste à l'amont de Caen	3.6%	9.9%	7.5%	1.0	0.7	1.7	1.1
Zone 40	Noireau aval	6.5%	2.7%	5.8%	1.9	0.2	1.3	1.1
Zone 11	Drôme	3.7%	21.0%	3.2%	1.1	1.5	0.7	1.1
Zone 17	Touques aval et Yvie	5.7%	2.4%	5.5%	1.6	0.2	1.3	1.0
Zone 44	Noireau amont	4.8%	10.7%	3.6%	1.4	0.8	0.8	1.0
Zone 59	Orne aval (nord de Caen)	3.4%	1.2%	8.1%	1.0	0.1	1.8	1.0
Zone 24	Seulles amont	4.0%	11.2%	3.8%	1.1	0.8	0.9	0.9
Zone 48	Rouvre	1.8%	25.4%	1.7%	0.5	1.9	0.4	0.9
Zone 43	Vère	3.3%	10.4%	3.6%	0.9	0.8	0.8	0.8
Zone 20	Dorette (affluent Dives rive droite)	3.7%	6.8%	4.1%	1.1	0.5	0.9	0.8
Zone 57	BV côtiers entre Gronde et Veret	0.8%	25.9%	1.4%	0.2	1.9	0.3	0.8
Zone 26	Laizon	2.1%	6.0%	6.2%	0.6	0.4	1.4	0.8
Zone 38	Vie	3.2%	9.1%	3.2%	0.9	0.7	0.7	0.8
Zone 28	Touques amont	3.2%	6.8%	3.1%	0.9	0.5	0.7	0.7
Zone 15	Thue	1.9%	8.4%	4.1%	0.6	0.6	0.9	0.7
Zone 27	Orbiquet	2.8%	7.9%	2.9%	0.8	0.6	0.7	0.7
Zone 39	Baize (Orne médiane)	1.8%	15.2%	1.4%	0.5	1.1	0.3	0.6
Zone 42	Thouane	0.6%	11.3%	3.7%	0.2	0.8	0.8	0.6
Zone 60	Cance	0.8%	16.6%	1.0%	0.2	1.2	0.2	0.6
Zone 10	Ruisseau du moulin d'Annebey	1.5%	6.5%	2.2%	0.4	0.5	0.5	0.5
Zone 34	l'Ante	1.3%	6.3%	1.9%	0.4	0.5	0.4	0.4
Zone 63	Laize aval	2.1%	2.0%	1.8%	0.6	0.1	0.4	0.4
Zone 50	L'Udon	1.4%	4.5%	1.5%	0.4	0.3	0.3	0.4
Zone 49	La Maire	1.2%	5.6%	1.4%	0.3	0.4	0.3	0.4
Zone 35	Dives amont	1.2%	5.4%	1.0%	0.3	0.4	0.2	0.3
Zone 22	Paquine	0.9%	0.8%	1.3%	0.3	0.1	0.3	0.2
Zone 52	Orne médiane entre Baize et Maire (FRHL71)	0.9%	0.6%	1.1%	0.2	0.0	0.3	0.2
Zone 66	Orne médiane entre Baize et Udon (FRHR295aval)	0.9%	1.0%	0.8%	0.2	0.1	0.2	0.2
Zone 45	Orne médiane entre Baize et Maire (FRHR299A)	0.9%	0.1%	0.9%	0.3	0.0	0.2	0.2
Zone 41	Orne médiane entre Baize et Noireau (FRHR299B)	0.6%	0.0%	1.1%	0.2	0.0	0.2	0.1
Zone 53	BV côtier Est de Deauville	0.0%	5.6%	0.0%	0.0	0.4	0.0	0.1
Zone 13	Calonne	0.5%	1.0%	0.5%	0.1	0.1	0.1	0.1
Zone 37	Trainefeuille	0.1%	2.5%	0.2%	0.0	0.2	0.1	0.1
Zone 64	BV Côtier entre Dives et Orne	0.0%	0.0%	0.0%	0.0	0.0	0.0	0.0

## **Annexe 3**

# **Occurrence de pertes de saturation totale par unité hydrologique**



Zone	Intitulé	Pertes saturation Bathonien prelevements juillet 2010	Pertes saturation Bathonien prelevements autorisés	Pertes saturation Bajocien prelevements juillet 2010	Pertes saturation Bajocien prelevements autorisés
Zone 16	Divette	localisées mais importantes	localisées mais importantes		
Zone 58	Aure inférieure, confluence avec Vire				
Zone 65	Dan	localisées et très limitées	localisées et très limitées		
Zone 62	Mue aval	localisées et très limitées	localisées et très limitées		
Zone 56	BV côtier Est Seullies		localisées et très limitées		
Zone 19	Chironne (affluent Mue)		localisées et très limitées		
Zone 54	BV côtier Ouest Orne		localisées et très limitées		
Zone 3	Odon aval	localisées et très limitées	localisées et très limitées		localisées et très limitées
Zone 9	Seullies aval	localisées et très limitées	localisées et très limitées	localisées et très limitées	localisées et très limitées
Zone 5	Aure supérieure amont				
Zone 14	Mue amont		localisées et très limitées		localisées et très limitées
Zone 23	Dives médiane	localisées et très limitées	localisées et très limitées		
Zone 67	Gronde				
Zone 18	Ancre (affluent Dives rive droite)				
Zone 32	Oudon		localisées mais importantes		
Zone 30	Laize		localisées et très limitées		localisées et très limitées
Zone 25	Muance				
Zone 12	Tortonne				
Zone 6	Aure inférieure				localisées et très limitées
Zone 1	Orne amont				
Zone 7	L'Esque				
Zone 47	Ure				
Zone 61	Aure aval (Aure supérieure)				localisées et très limitées
Zone 51	Sennevière				
Zone 36	Druance				
Zone 4	Dives aval				
Zone 8	Zone cotière entre Touques et Dives				
Zone 55	Provence et Gronde				
Zone 21	Plateau inter bassin Orne et Dives		localisées mais importantes		
Zone 2	BV cotiers au nord de l'Aure inférieure			localisées et très limitées	localisées et très limitées
Zone 33	Orne médiane				
Zone 29	Odon amont				

Zone	Intitulé	Pertes saturation Bathonien prelevements juillet 2010	Pertes saturation Bathonien prelevements autorisés	Pertes saturation Bajocien prelevements juillet 2010	Pertes saturation Bajocien prelevements autorisés
Zone 46	Orne, Baize et Houay aval Argentan				
Zone 31	Orne médiane, juste à l'amont de Caen				localisées et très limitées
Zone 40	Noireau aval				
Zone 11	Drôme				
Zone 17	Touques aval et Yvie				
Zone 44	Noireau amont				
Zone 59	Orne aval (nord de Caen)		localisées et très limitées		
Zone 24	Seulles amont				
Zone 48	Rouvre				
Zone 43	Vère				
Zone 20	Dorette (affluent Dives rive droite)				
Zone 57	BV côtiers entre Gronde et Veret				
Zone 26	Laizon		localisées et très limitées		localisées et très limitées
Zone 38	Vie				
Zone 28	Touques amont				
Zone 15	Thue				
Zone 27	Orbiquet				
Zone 39	Baize (Orne médiane)				
Zone 42	Thouane				
Zone 60	Cance				
Zone 10	Ruisseau du moulin d'Annebey				
Zone 34	l'Ante				
Zone 63	Laize aval			localisées mais importantes	localisées mais importantes
Zone 50	L'Udon				
Zone 49	La Maire				
Zone 35	Dives amont			localisées et très limitées	localisées et très limitées
Zone 22	Paquine				
Zone 52	Orne médiane entre Baize et Maire (FRHL71)				
Zone 66	Orne médiane entre Baize et Udon (FRHR295aval)				
Zone 45	Orne médiane entre Baize et Maire (FRHR299A)				
Zone 41	Orne médiane entre Baize et Noireau (FRHR299B)				
Zone 53	BV côtier Est de Deauville				
Zone 13	Calonne				
Zone 37	Trainefeuille				
Zone 64	BV Côtier entre Dives et Orne				

## Annexe 4

### **Baisse engendrée par unité hydrologique et par les prélèvements sur le QMNA5 simulé**

Les unités hydrologiques surlignées en orange correspondent à des secteurs pour lesquels le calcul d'un QMNA5 a porté sur le débit apporté par les eaux souterraines aux eaux de surface.



## Modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives : rapport de phase 3

ZONES	Intitulé	QMNA5 simulé hors pompages	QMNA5 simulé avec pompages	Impact des prélèvements sur le QMNA5
1	Orne amont	0.624	0.545	12.7%
2	FRHR_C10-I4005000	0.478	0.467	2.3%
3	Odon aval	0.278	0.256	7.9%
4	Dives aval	2.582	1.727	33.1%
5	Aure amont	0.124	0.088	28.5%
6	Aure inférieure Isigny	1.047	0.529	49.5%
7	Esque (L')	0.158	0.146	7.8%
8	FRHR_C15-I0505000	0.252	0.232	7.7%
9	Seulles aval	0.909	0.592	34.9%
10	ruisseau du moulin d'annebey	0.112	0.110	1.7%
11	Drome (La)	0.351	0.318	9.4%
12	Tortonne (La)	0.180	0.127	29.4%
13	Calonne (La)	1.185	1.158	2.3%
14	Mue amont	0.179	0.160	10.7%
15	Thue (La)	0.132	0.122	7.6%
16	Divette (La)	0.038	0.020	45.9%
17	Touques aval	4.950	4.516	8.8%
18	Ancre (L')	0.181	0.112	37.9%
19	Chironne (La)	0.028	0.019	33.5%
20	Dorette (La)	0.457	0.441	3.5%
21	INTERBASSIN DIVES / ORNE	0.453	0.417	7.8%
22	Paquine	0.672	0.666	0.9%
23	Dives médiane	1.086	0.954	12.1%
24	Seulles amont	0.144	0.138	4.0%
25	Muance (La)	0.275	0.097	64.8%
26	Laizon (Le)	0.261	0.226	13.2%
27	Orbiquet (L')	1.365	1.259	7.8%
28	Touques amont	1.214	1.153	5.0%
29	Odon_ amont	0.136	0.119	12.2%
30	Laize amont	0.308	0.260	15.8%
31	Orne_Louvigny	2.846	2.320	18.5%
32	Oudon (L')	0.071	0.066	6.3%
33	Orne médiane	2.365	2.142	9.4%
34	Ante (L')	0.129	0.125	3.5%
35	Dives amont	0.375	0.369	1.5%
36	Druance (La)	0.110	0.091	17.4%
37	Trainee-feuilles	0.041	0.041	0.4%
38	Vie (La)	0.609	0.491	19.5%
39	Baize (La)	0.619	0.610	1.3%
40	Noireau aval	0.353	0.308	12.8%
41	Orne_FRHR299B	1.744	1.553	11.0%
42	Thouanne (La)	0.147	0.145	1.2%
43	Vère (La)	0.325	0.315	3.2%
44	Noireau amont	0.213	0.199	6.7%
45	Orne_FRHR299A	1.280	1.137	11.2%
46	Orne Argentan	0.823	0.696	15.4%
47	Ure (L')	0.032	0.029	10.3%
48	Rouvre (La)	0.371	0.329	11.3%
49	Maire (La)	0.146	0.145	1.0%
50	Udon (L')	0.334	0.326	2.4%
51	Sennevière (La)	0.099	0.098	0.3%
52	Orne_FRHL71	1.226	1.084	11.6%
53	FRHC15 au nord de la Divette	0.028	0.028	0.0%
54	BV côtier Ouest Orne	0.026	0.011	58.5%
55	Gronde_littoral	0.030	0.000	100.0%
55	Provence	0.008	0.000	100.0%
56	FRHC13 - BV côtier Est Seulles	0.049	0.034	29.7%
57	FRHC11 - BV côtiers entre Gronde et Vire	0.166	0.164	1.3%
58	Aure inf. confluence Vire (L')	1.095	0.493	55.0%
59	Orne aval	3.674	2.963	19.4%
60	Cance (La)	0.201	0.196	2.4%
61	Aure_aval	0.202	0.142	29.7%
62	Mue aval	0.259	0.169	34.7%
63	Laize aval	0.393	0.347	11.8%
64	FRHC15 au NE de Deauville	-	-	0.0%
65	Dan (Le)	0.099	0.031	68.2%
66	Orne_FRHR295aval	1.182	1.042	11.8%
67	Gronde	0.060	0.040	34.2%



## **Annexe 5**

### **Base de détermination des QMNA5 par zone hydrologique**



Zone	Base de détermination du QMNA5	Intitulé
Zone 1	Estimation DREAL	Orne amont
Zone 2	I4903419	BV cotiers au nord de l'Aure inférieure
Zone 3	Différence entre les stations : I3741010-I3621020	Odon aval
Zone 4	I2211020	Dives aval
Zone 5	I5321529	Aure amont
Zone 6	Estimation DREAL	Aure inférieure
Zone 7	Estimation DREAL	L'Esque
Zone 8	Estimation DREAL	Zone cotière entre Touques et Dives
Zone 9	I4032010	Seulles aval
Zone 10	Estimation DREAL	Ruisseau du moulin d'Annebey
Zone 11	I5352010	Drôme
Zone 12	Estimation DREAL	Tortonne
Zone 13	I1203010	Calonne
Zone 14	I4053020	Mue amont
Zone 15	Estimation DREAL	Thue
Zone 16	Estimation DREAL	Divette
Zone 17	I1221019	Touques aval et Yvie
Zone 18	I2213610	Ancre (affluent Dives rive droite)
Zone 19	Estimation DREAL	Chironne (affluent Mue)
Zone 20	I2203110	Dorette (affluent Dives rive droite)
Zone 21	Estimation DREAL	Plateau inter bassin Orne et Dives
Zone 22	Estimation DREAL	Paquine
Zone 23	I2051040	Dives médiane
Zone 24	I4022010	Seulles amont
Zone 25	I2213110	Muance
Zone 26	I2203810	Laizon
Zone 27	I1103010	Orbiquet
Zone 28	I1031010	Touques amont
Zone 29	I3712010	Odon amont
Zone 30	I3612010	Laize
Zone 31	I3621010	Orne médiane, juste à l'amont de Caen
Zone 32	I2043069	Oudon
Zone 33	I3531010	Orne médiane
Zone 34	I2023410	l'Ante
Zone 35	I2021010	Dives amont
Zone 36	I3452310	Druance
Zone 37	Jaugeages volants : station FG_131	Trainefeuille
Zone 38	I2102010	Vie
Zone 39	Estimation DREAL	Baize (Orne médiane)
Zone 40	I3462010	Noireau aval
Zone 41	I3361010	Orne médiane entre Baize et Noireau (FRHR299B)
Zone 42	I3013319	Thouane
Zone 43	I3463010	Vère
Zone 44	I3422010	Noireau amont
Zone 45	I3131010	Orne médiane entre Baize et Maire (FRHR299A)
Zone 46	I3031029	Orne, Baize et Houay aval Argentan
Zone 47	I3033010	Ure
Zone 48	I3352010	Rouvre
Zone 49	I3123210	La Maire
Zone 50	I3113010	L'Udon

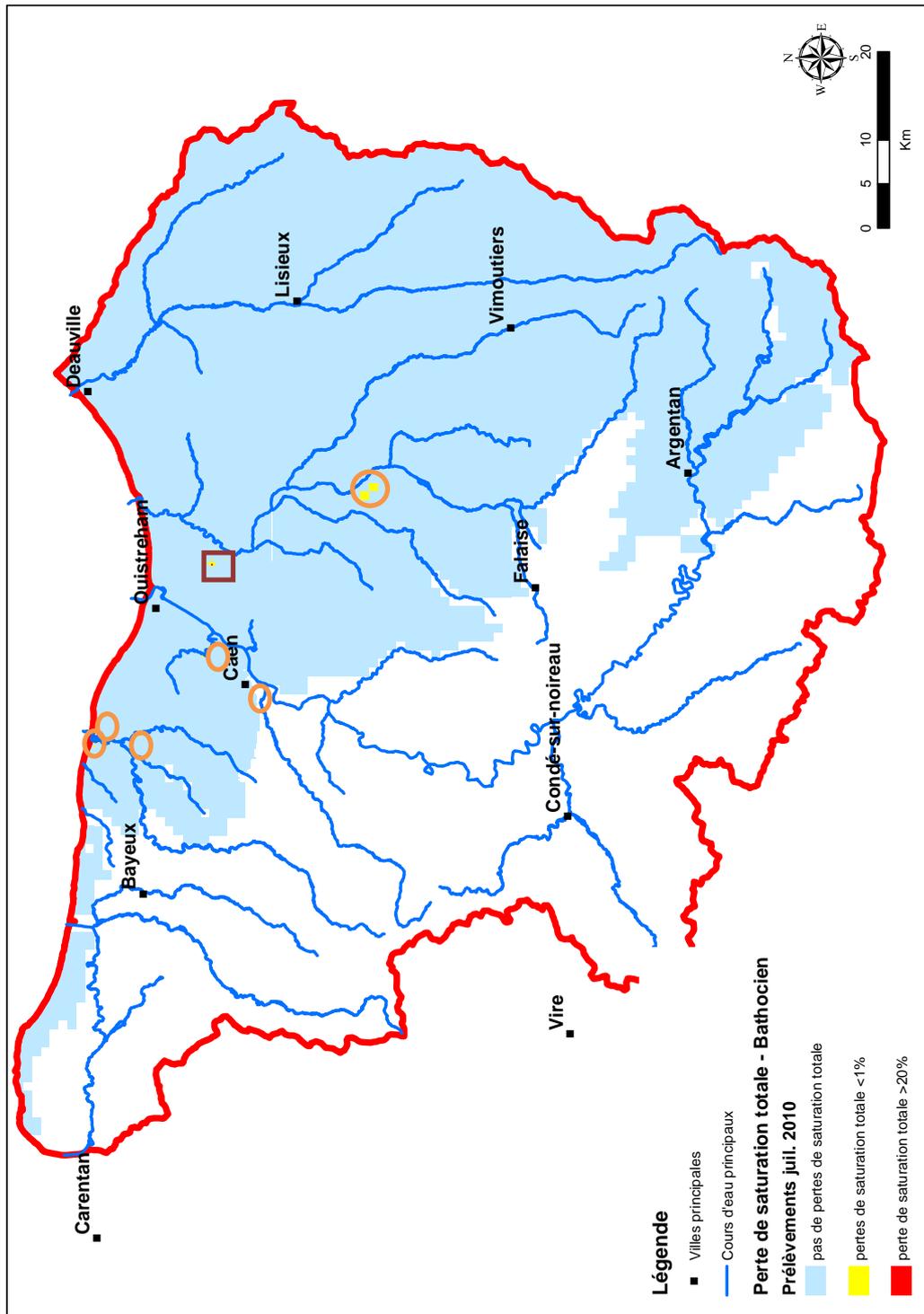
Zone	Base de détermination du QMNA5	Intitulé
Zone 51	I3013119	Sennevière
Zone 52	I3131010	Orne médiane entre Baize et Maire (FRHL71)
Zone 53	Estimation DREAL	BV côtier Est de Deauville
Zone 54	Somme des stations : I3909019+I3903619+I3903519	BV côtier Ouest Orne
Zone 55	Jaugeages volants : station FG_439	Provence et Gronde
Zone 56	Somme des stations : I3741010+I3743079+I3743319+I3743239	BV côtier Est Seulles
Zone 57	Somme des stations : I4903819+I4903919+I4904019+I4904119+I4903219	BV côtiers entre Gronde et Veret
Zone 58	Estimation DREAL	Aure inférieure, confluence avec Vire
Zone 59	Somme des stations : I3903019+I3903119+I3903219+I3903319+I3903419	Orne aval (nord de Caen)
Zone 60	I3103010	Cance
Zone 61	I5321510	Aure aval (Aure supérieure)
Zone 62	I4053010	Mue aval
Zone 63	I3612060	Laize aval
Zone 64	Estimation DREAL	BV Côtier entre Dives et Orne
Zone 65	Jaugeages volants : station FG_452	Dan
Zone 66	I3121010	Orne médiane entre Baize et Udon (FRHR295aval)
Zone 67	Estimation DREAL	Gronde

## **Annexe 6**

# **Cartographie des pertes de saturation simulées dans le Bathonien (prélèvements juillet 2010)**

NB : les zones sont identifiées par des cercles orange



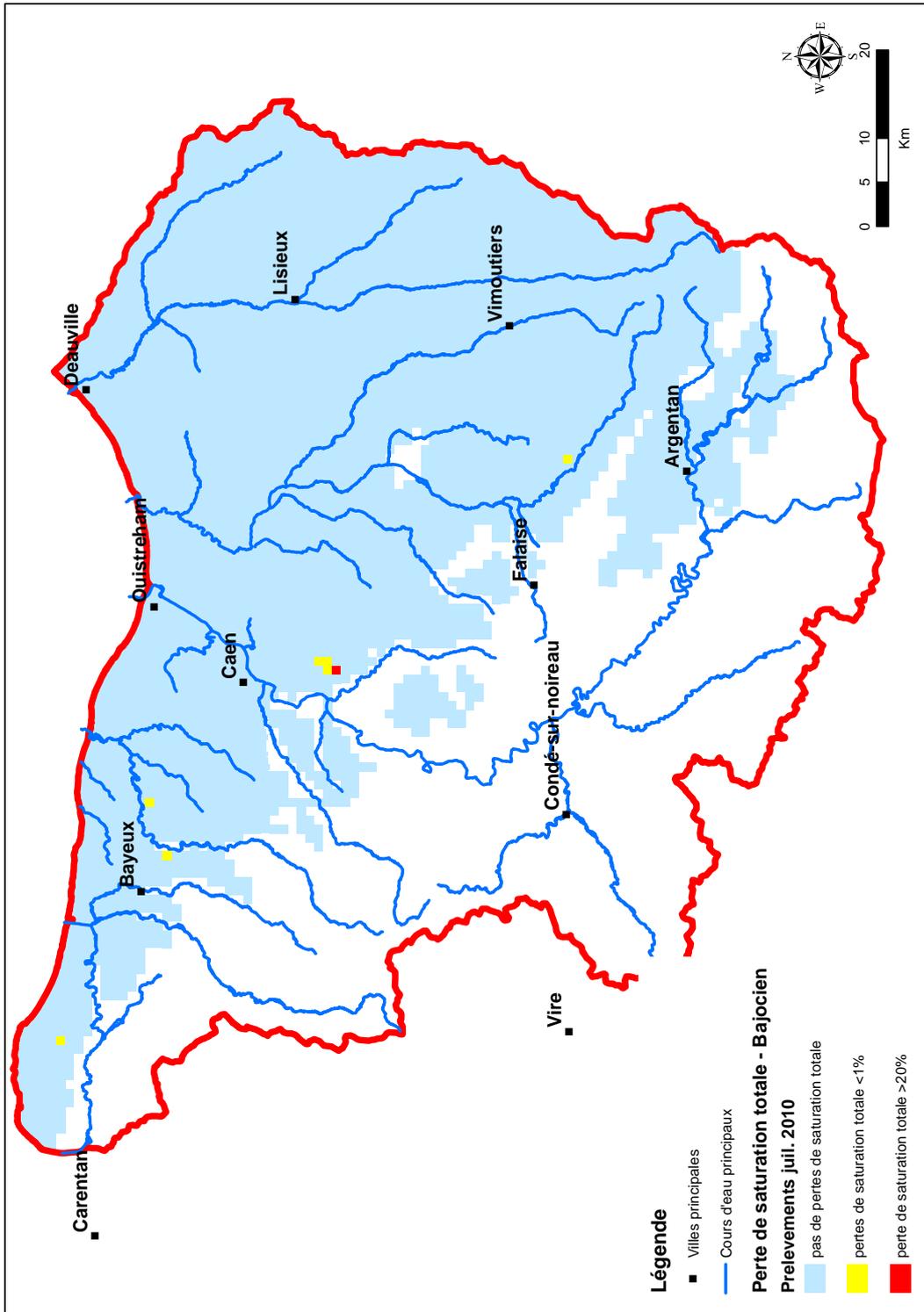




## **Annexe 7**

### **Cartographie des pertes de saturation simulées dans le Bajocien (prélèvements juillet 2010)**







## **Annexe 8**

# **Recherche d'un volume prélevable par bassin versant à partir des débits minimums biologiques**



Dans la zone d'étude, quatre valeurs de débit minimum biologique (DMB) ont été définies par l'ONEMA sur les quatre sites suivants :

- La Mue à Cairon : 30 l/s (pour un QMNA5 de 19 l/s) ;
- La Seulles à Juvigny-sur-Seulles : 200 l/s (QMNA5 : 150 l/s) ;
- L'Odon à Epinay-sur-Odon : 124 l/s (QMNA5 : 41 l/s) ;
- L'Aure à Juaye-Mondaye : 109 l/s (QMNA5 inconnu).

Le site de l'Aure à Juaye-Mondaye est particulier parce qu'il ne correspond pas à une station hydrométrique suivie par la DREAL, ce qui ne permet pas d'observer un nombre de dépassements du DMB<sup>7</sup>, ni de contrôler le calage de l'impact des prélèvements sur les débits écoulés dans ce secteur. On ne peut pas s'assurer par exemple que cette valeur du DMB n'est pas franchie plus de 2 années sur 10 indépendamment de tous prélèvements. Il n'est donc pas possible d'utiliser cette donnée pour déterminer un volume prélevable dans ce secteur.

Les autres cas sont présentés ci-après.

## **1/ Démarche adoptée**

Dans un premier temps, la faisabilité du calcul d'un volume prélevable est vérifiée ; ce test conduit à retenir deux des trois bassins versants identifiés (Mue et Seulles).

Dans les bassins versants de la Mue à Cairon et de la Seulles à Juvigny-sur-Seulles, les prélèvements connus sont peu nombreux et ont un impact limité sur le débit des cours d'eau. Le travail a donc été effectué en se basant sur les stations situées plus à l'aval, à savoir celle de Reviers pour la Mue et celle de Tierceville pour la Seulles.

Plusieurs simulations ont ensuite été effectuées sur une période étendue, de 1971 à 2010 (pour mémoire, les pompages ne sont pas connus sur la période 1971-1993). Les conditions de pompages appliquées (aux eaux de surface et aux eaux souterraines) sont les suivantes :

- simulation sans pompage ;
- simulation en répétant chaque année les prélèvements de 1995 (année de forts prélèvements à l'échelle de la zone modélisée) ;
- simulation en répétant chaque année les prélèvements de 1996 (maximum de prélèvement pour le bassin versant de la Mue à Reviers) ou de 2003 (maximum de prélèvement pour le bassin versant de la Seulles à Tierceville) ;
- simulation en répétant chaque année les prélèvements de 2010 (année la plus récente pour laquelle les prélèvements sont connus. La baisse des prélèvements industriels et en AEP sur la période 1994-2010 et la hausse des prélèvements agricoles durant la même période rend cette configuration de pompage particulièrement intéressante).

---

<sup>7</sup> On entend par dépassement – ou franchissement – du DMB un dépassement à la baisse, c'est-à-dire que le débit observé devient inférieur au DMB (ou au débit de référence de façon plus générale). Cette acception est valable pour l'ensemble du rapport.

La corrélation entre les chroniques des volumes prélevés et celles de l'impact de ces prélèvements sur le cours d'eau (= différence entre les débits du cours d'eau sans pompage et ceux du cours d'eau avec pompage) est ensuite analysée. Il s'agit notamment de rechercher s'il existe une inertie interannuelle de l'impact des pompages sur les débits écoulés.

À partir d'une chronique reconstituée de débit de rivière sans pompages (chronique simulée sans pompage en eaux de surface et eaux souterraines pour la Mue, chronique observée à laquelle les prélèvements en eaux de surface et en eaux souterraines ont été ajoutés pour la Seulles), sont ensuite calculés, pour chaque année, les volumes prélevables sur trois mois consécutifs ; ces volumes correspondent aux minima des débits de la chronique sans pompages auxquels on retranche le débit de référence à la station (c'est-à-dire le débit d'étiage devant être respecté deux années sur 10). Une fois calculés les volumes prélevables sur ces trois mois pour chaque année, le volume prélevable pour respecter le débit de référence 8 années sur 10 est défini comme étant le deuxième décile des volumes prélevables déterminés.

Les volumes obtenus sont ensuite comparés aux prélèvements totaux connus et aux occurrences de franchissement du débit de référence utilisé afin de s'assurer de la cohérence des résultats avec les observations.

## **2/ Bassin versant de la Mue**

### ***Choix de la station de référence***

La Figure 1 présente la chronique de débit de la Mue enregistrée à la station de Cairon, ainsi que le seuil de 30 l/s correspondant au DMB. Ce seuil n'est pas respecté 7 années sur 23 entre 1979 et 2001 (environ 30% des années). On note que les périodes déficitaires affectent plusieurs années consécutives : 1989-1993 et 1996-1997.

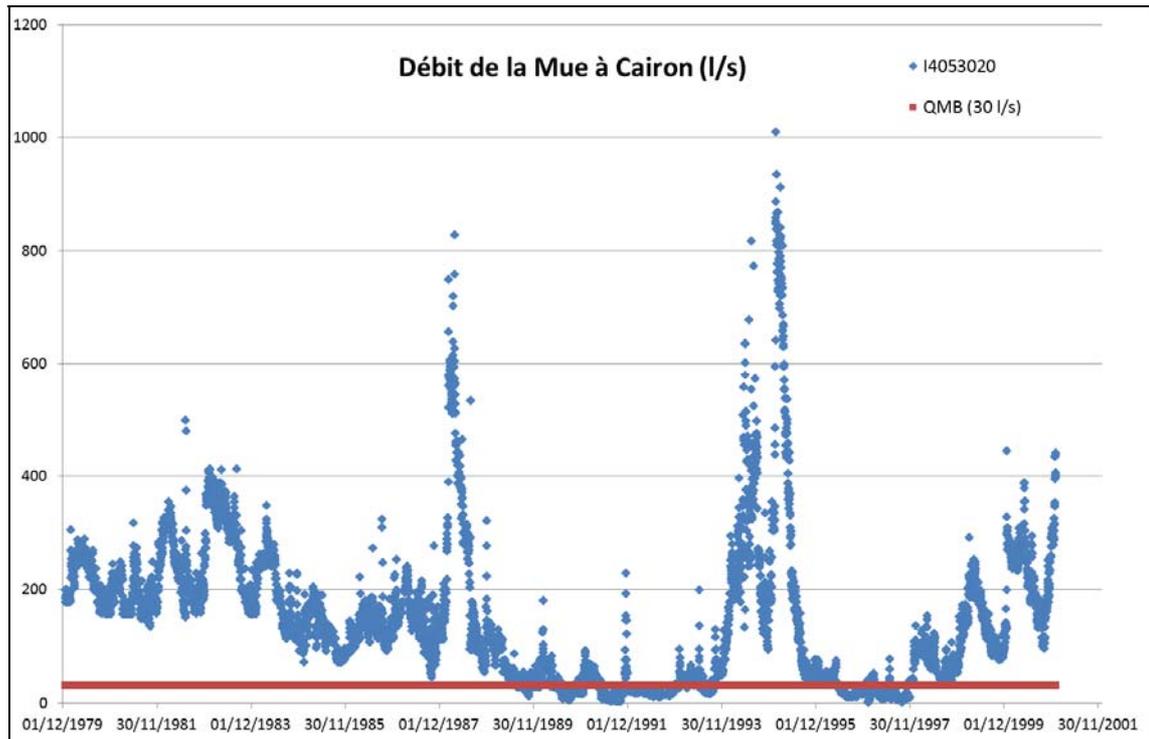


Figure 1 : Chronique de débit de la Mue enregistrée à la station de Cairon

Le prélèvement annuel moyen sur le bassin versant est de 15 l/s. L'impact simulé de ce prélèvement sur la période 1994-2010 demeure limité, comme en témoigne la Figure 2.

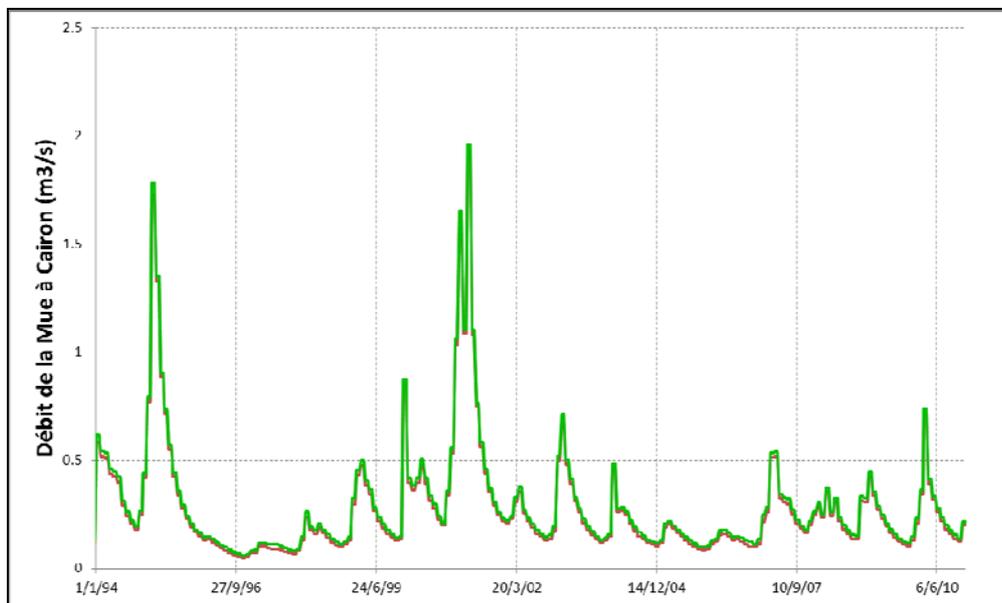


Figure 2 : Débits simulés de la Mue à Cairon : en vert, simulation sans pompes ; en rouge, simulation avec pompes

La démarche a été appliquée au bassin versant de la Mue à Reviers (situé à l'aval de Cairon), où les prélèvements sont plus importants et leur impact nettement identifiable (cf. Figure 3 – le prélèvement moyen sur la période 1994-2010 est de 85 l/s, il est de 130 l/s en 1996<sup>8</sup>). Notons que les prélèvements en eaux de surface représentent environ 1.5% des prélèvements totaux dans ce bassin versant.

La valeur du DMB à Reviers a été extrapolée à partir de celle fournie à Cairon, en prenant pour hypothèse que le ratio des DMB (Reviers / Cairon) est équivalent au ratio des QMNA5<sup>9</sup>. Une valeur de 81 l/s a ainsi été envisagée pour le débit de référence de la Mue à Reviers.

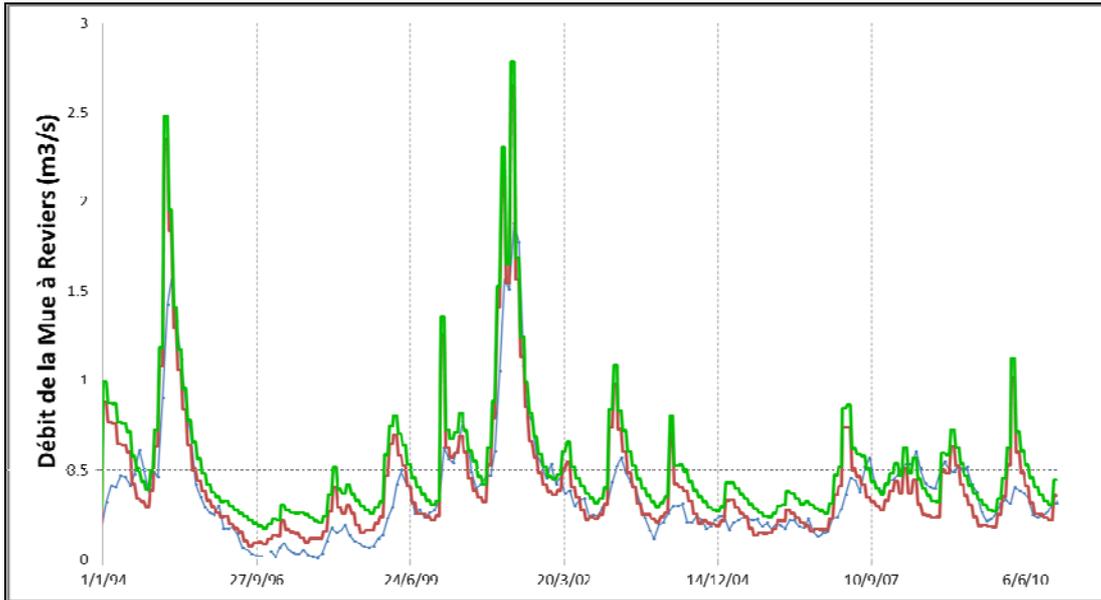


Figure 3 : Débits observés et simulés de la Mue à Reviers (en bleu : débits observés ; en rouge : débits simulés avec pompages ; en vert : débits simulés sans pompages)

Sur les 40 années de données disponibles (1971-2010), le seuil minimal de 81 l/s n'est pas respecté pour 12 années, ce qui correspond à 30% des années concernées (cf. Figure 4).

<sup>8</sup> Prélèvements du forage 01194X0140/F3 inclus (cf. § 2.2.1)

<sup>9</sup> Cette méthode, utilisée à défaut de tout autre moyen d'extrapolation du DMB d'une station amont à une station aval, a été utilisée pour le besoin de la réalisation du test méthodologique sur le bassin versant. Elle n'est néanmoins pas préconisée en pratique, le DMB dépendant de considérations locales non corrélables au QMNA5.

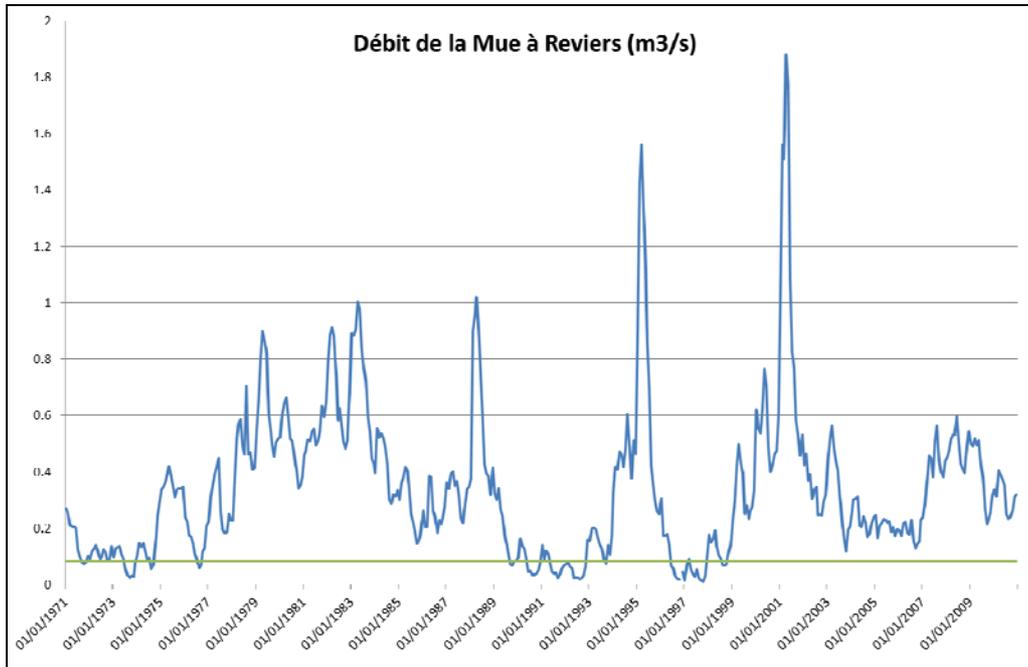


Figure 4 : Occurrence de franchissement du débit de référence pris en compte pour la Mue à Reviens (en bleu : données observées ; en vert : seuil de 81 l/s)

### **Impact des configurations de prélèvement retenues sur le débit écoulé dans le cours d'eau**

Quatre simulations ont été effectuées pour la période 1971-2010, avec quatre configurations de prélèvement distinctes :

- absence de pompage ;
- répétition tous les ans de la configuration de pompage de 1995 (le volume prélevé total dans le bassin versant est de 3.4 Mm<sup>3</sup>/an) ;
- répétition tous les ans de la configuration de pompage de 1996 (le volume prélevé total dans le bassin versant est de 4.1 Mm<sup>3</sup>/an) ;
- répétition tous les ans de la configuration de pompage de 2010 (le volume prélevé total dans le bassin versant est de 1.5 Mm<sup>3</sup>/an).

Notons qu'il ne s'agit pas dans ces simulations de reproduire le débit de la Mue observé à la station de Reviens mais de mieux cerner la dynamique de fonctionnement du bassin versant, notamment en termes d'impact des prélèvements. Tester trois années de prélèvement différentes permet de s'assurer que des configurations distinctes (notamment 1995 et 1996 d'une part, 2010 d'autre part) conduisent à des résultats cohérents entre eux.

La simulation effectuée en l'absence de tout pompage sur la période 1971-2010 est présentée en Figure 5, tandis que celle prenant en compte la configuration de prélèvements de 1996 (à titre d'exemple) figure en Figure 6. On note – malgré une surévaluation du ruissellement se traduisant par la surestimation des débits de pointe – une bonne restitution de la dynamique d'écoulement et le rôle important des prélèvements dans la capacité du modèle à bien restituer les débits d'étiage : cet aspect apparaît en particulier lors des épisodes de faible débit rencontrés en 1971-75, 1990-93 ou 1997-98<sup>10</sup>.

En faisant la différence entre les chroniques de débit de rivière simulées sans et avec pompage, on obtient une chronique représentant l'impact des prélèvements simulés sur le débit écoulé dans le cours d'eau (cf. Figure 7 pour la configuration de prélèvement 1996). Cette chronique peut être comparée à celle des prélèvements à travers une analyse corrélatoire. Une analyse de ce type a été effectuée pour les trois configurations de prélèvement testées (cf. Figure 8). On peut caractériser ces corrélations par des données caractéristiques :

- la valeur du maximum de corrélation ;
- le temps au bout duquel une corrélation de 0.5 est observée ;
- le temps au bout duquel une corrélation nulle est atteinte.

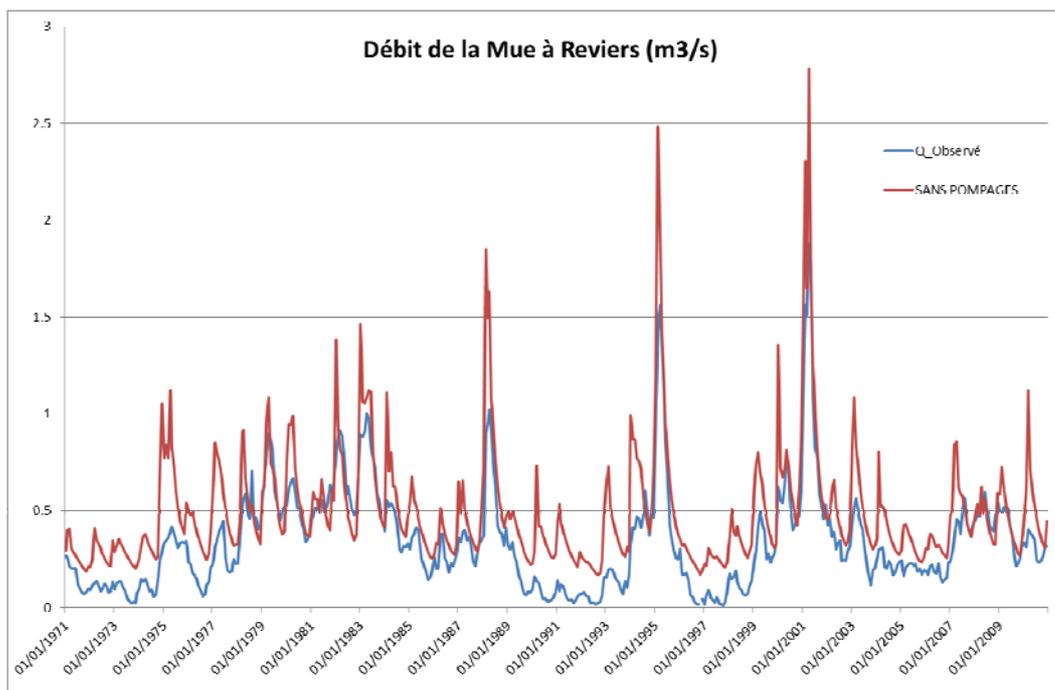


Figure 5 : Simulation du débit de la Mue à Revières (période 1971-2010) en l'absence de prélèvements (en bleu : données observées ; en rouge : données simulées)

<sup>10</sup> La reconduction des mêmes valeurs de prélèvement d'une année à l'autre explique les écarts constatés entre débits simulés et observés.

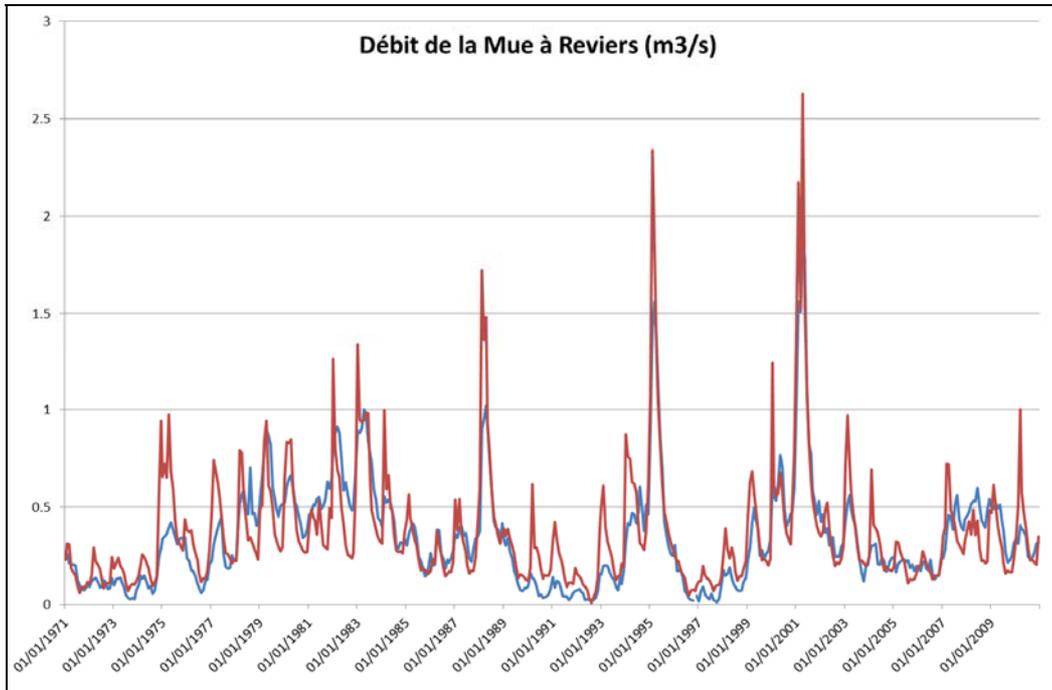


Figure 6 : Simulation du débit de la Mue à Reviens (période 1971-2010) en répétant chaque année les prélèvements de 1996 (en bleu : données observées ; en rouge : données simulées)

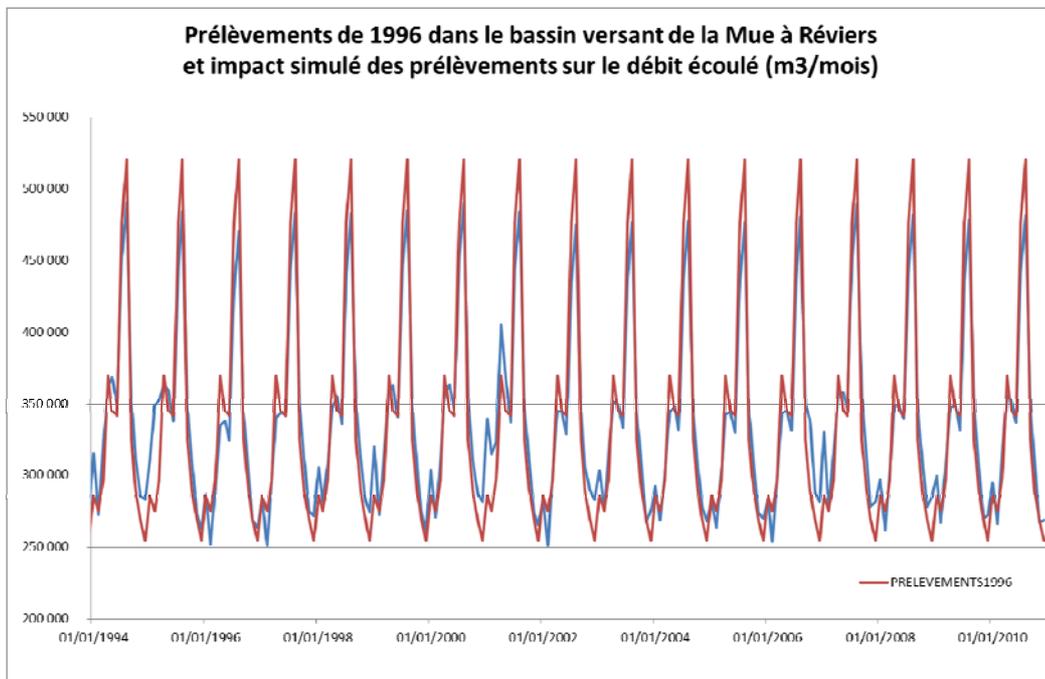


Figure 7 : Impact simulé des prélèvements de 1996 sur le débit de la Mue à Reviens (en bleu) et prélèvements 1996 répétés annuellement dans la simulation (en rouge)

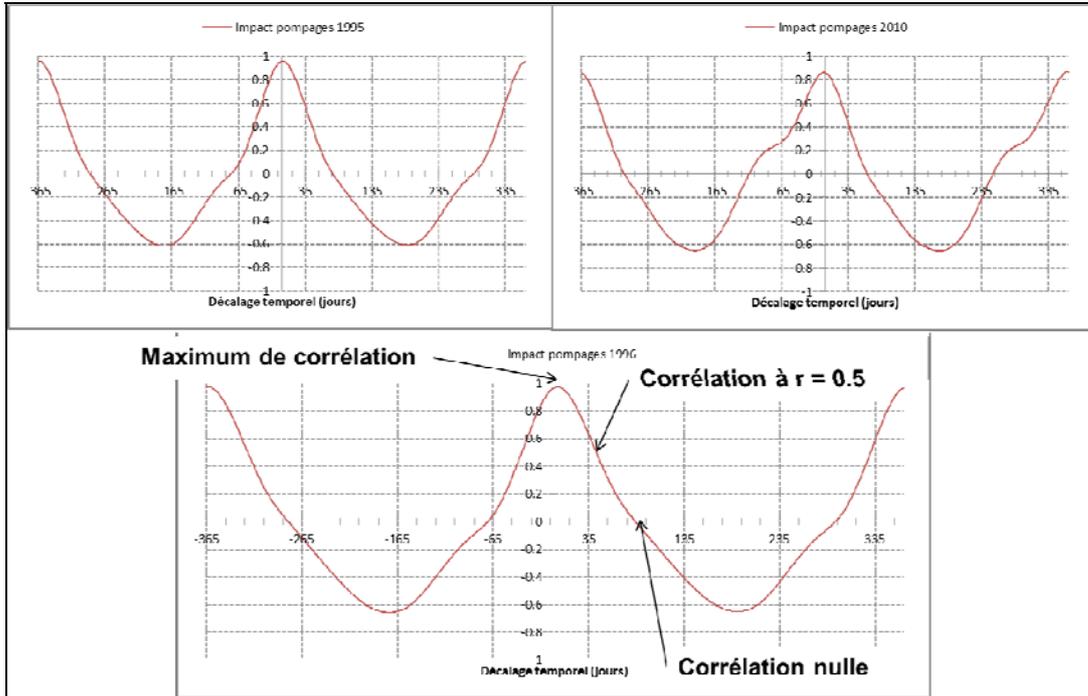


Figure 8 : Corrélation entre la chronique de prélèvement utilisée dans la simulation et son impact simulé sur le débit écoulé (trois configurations de prélèvement sont testées : années 1995, 1996 et 2010)

Les valeurs obtenues pour ces données figurent en Figure 9. On observe que la corrélation maximale est très forte (voisine de 1) pour un déphasage temporel très faible (quelques jours) : l'impact des prélèvements en nappe se fait ressentir très fortement et rapidement sur le débit. On observe aussi que l'impact des prélèvements en nappe sur le débit du cours d'eau diminue assez rapidement avec le temps, notamment pour les configurations de prélèvement 1995 et 1996 : une corrélation de 0.5 est rencontrée après 40 jours, tandis qu'elle est atténuée après 3 mois.

	1995	1996	2010
<b>Corrélation maximale</b>	0.96	0.97	0.86
<b>Déphasage corrélation à 0.5 (en jr)</b>	40	40	32
<b>Déphasage corrélation à 0 (en jr)</b>	90	90	64
<b>Part de l'AEP dans les prélèvements</b>	99%	99%	92%

Figure 9 : Valeurs caractéristiques des corrélations entre la chronique de prélèvement utilisée dans la simulation et son impact simulé sur le débit écoulé

L'existence de valeurs caractéristiques sensiblement différentes pour la configuration de pompages 2010 est vraisemblablement à mettre en lien avec l'évolution de la contribution respective des différents usages de l'eau – et donc de différents modes de prélèvement – dans le bassin versant : de 99% des prélèvements (en volume) en 1995 et 1996, la part de l'alimentation en eau potable passe à 92% dans la configuration de prélèvement 2010.

Ces écarts ne remettent pas en cause les conclusions principales de l'analyse corrélatoire : l'effet des trois configurations de pompage testées est ressenti fortement et rapidement dans le cours d'eau. Il n'est pas observé que cet effet se fasse ressentir au-delà de trois mois, ce qui permet d'envisager une gestion annuelle des prélèvements.

### ***Estimation du volume prélevable à l'étiage***

L'impact d'une configuration de prélèvement étant ressenti durant 3 mois, un volume prélevable mensuellement va être calculé pour les trois mois consécutifs de l'année présentant les débits écoulés les plus faibles : il sera fixé en considérant un temps de retour de 8 années sur 10.

En pratique, le calcul est effectué en soustrayant aux débits mensuels simulés sans pompage le débit de référence utilisé (81 l/s en l'occurrence) : on obtient ainsi une chronique de volumes mensuels pour la période 01/01/1971 – 31/12/2010. Ces volumes mensuels sont cumulés sur trois mois consécutifs et l'on identifie pour chaque année de la simulation le volume minimum cumulé sur trois mois (cf. Figure 10 – le volume indiqué est un volume mensuel qui est cumulable sur trois mois). Ces volumes minimums sont ensuite classés et une fonction de répartition est adoptée (Hazen). Le volume prélevable sur trois mois consécutifs correspond à une fréquence de 0.2 de la fonction de répartition.

Cette approche conduit à calculer un volume prélevable mensuel de 398 000 m<sup>3</sup> environ, soit 1 194 000 m<sup>3</sup> pour les trois mois.

Annee	Rang	Fonction de répartition	VP_3mois
1992	1	0.0125	254 706
1996	2	0.0375	281 402
1997	3	0.0625	315 305
1971	4	0.0875	319 812
1972	5	0.1125	326 369
1973	6	0.1375	357 497
1974	7	0.1625	389 942
1991	8	0.1875	394 696
1990	9	0.2125	401 730
1989	10	0.2375	433 175
2005	11	0.2625	440 337
1976	12	0.2875	490 121
2006	13	0.3125	495 999
1986	14	0.3375	496 699
1985	15	0.3625	507 090
1998	16	0.3875	510 338
1993	17	0.4125	540 387
2004	18	0.4375	544 138
2009	19	0.4625	547 575
1987	20	0.4875	619 826
2003	21	0.5125	630 241
1978	22	0.5375	651 461
1999	23	0.5625	652 859
1977	24	0.5875	674 671
2010	25	0.6125	678 717
2002	26	0.6375	688 961
2008	27	0.6625	690 497
2007	28	0.6875	718 883
1982	29	0.7125	771 209
1980	30	0.7375	790 740
1984	31	0.7625	816 255
1979	32	0.7875	843 574
1975	33	0.8125	894 067
1981	34	0.8375	899 000
1995	35	0.8625	931 318
1994	36	0.8875	967 928
1988	37	0.9125	990 469
1983	38	0.9375	1 010 572
2000	39	0.9625	1 068 652
2001	40	0.9875	1 180 035

Figure 10 : Classement des volumes mensuels prélevables sur trois mois consécutifs pour chacune des années de la période 1971-2010

Afin de s'assurer de la cohérence du volume calculé, ce dernier est comparé aux volumes prélevés connus (période 1994-2010) et aux occurrences observées de franchissement du seuil (années 1996 à 1998, cf. Figure 11). On observe que le plafond de prélèvement déterminé est effectivement dépassé pour 2 des 17 années disponibles (en 1996 et 1997, cellules surlignées en orange dans la colonne de droite de la Figure 11), soit 12% du temps et deux des trois

années au cours desquelles le débit de référence utilisé a effectivement été franchi. Cette occurrence un peu faible pourrait conduire à envisager un volume prélevable (VP) pour ce débit de référence un peu faible : notons qu'une baisse de moins de 4% du VP (passage à 1 149 000 m<sup>3</sup> sur trois mois consécutifs) conduirait à assurer la cohérence entre franchissements observés du seuil et franchissement du VP proposé.

On notera par ailleurs que l'identification d'un volume prélevable huit années sur dix en respectant une condition donnée ne se traduit pas nécessairement par une fréquence identique lors de l'analyse des données de terrain.

	Plafond 1 mois	Plafond 2 mois	Plafond 3 mois
	387 500	790 000	1 194 000
	Prelevement mensuel max (m3)	sur 2 mois (m3)	sur 3 mois (m3)
1994	363 839	694 119	931 003
1995	440 443	842 081	1 130 057
1996	520 519	996 748	1 338 131
1997	487 784	933 521	1 253 072
1998	447 831	856 351	1 149 255
1999	403 176	770 099	1 033 219
2000	393 382	751 182	1 007 770
2001	258 927	431 239	545 794
2002	187 723	356 555	529 213
2003	217 767	405 843	590 332
2004	209 070	415 260	619 926
2005	247 329	466 034	662 980
2006	247 977	475 825	714 023
2007	203 278	430 429	579 828
2008	226 015	451 319	664 738
2009	282 123	501 070	728 388
2010	155 000	292 388	421 941

Figure 11 : Volumes prélevés sur 1, 2 ou 3 mois consécutifs et plafonds de prélèvement déterminés (en m<sup>3</sup>)

Un test est aussi conduit en ne prenant pas en compte d'effet cumulatif (plafond fixé sur un seul mois) ou en limitant à deux mois l'effet cumulatif (colonnes centrales de la Figure 11). On observe nettement que la fixation d'un plafond de prélèvement sur un seul mois n'est pas une condition suffisante pour cerner le débit à l'étiage (dépassement 6 années sur 17 du plafond déterminé, soit 35% du temps). La prise en compte d'un effet cumulatif à deux mois permet de mieux cerner les choses (dépassement 4 années sur 17 du plafond déterminé, soit 24% du temps) mais l'analyse corrélatrice effectuée tend à préconiser la fixation d'un plafond sur trois mois. Il est vraisemblable que la validation de la méthode sur une période de données plus longue mettrait en lumière cette prévalence.

En conclusion du test de cette approche méthodologique sur le bassin versant de la Mue, il a été calculé – pour un débit de référence fixé à 81 l/s – un plafond de prélèvement de 398 000 m<sup>3</sup>/mois sur trois mois consécutifs (soit 1 194 000 m<sup>3</sup>). Il apparaît néanmoins à la confrontation de ce résultat avec les données disponibles que ce volume serait légèrement surestimé et qu'une baisse de l'ordre de 4% (382 000 m<sup>3</sup>/mois sur trois mois consécutifs) permettrait une meilleure adéquation avec les observations.

Enfin, on note qu'il existe un volume prélevable (volume mensuel supérieur à 250 000 m<sup>3</sup>, soit 350 m<sup>3</sup>/h pour des prélèvements fonctionnant en continu, cf. Figure 10) quelle que soit l'année pour laquelle le calcul a été effectué : ceci signifie que la valeur du débit de référence (ici : 81 l/s) est faible, au regard notamment de ce que serait le QMNA5 du cours d'eau en l'absence de tout prélèvement.

### 3/ Bassin versant de la Seulles

Comme indiqué au précédemment (cf. § « démarche adoptée »), l'approche méthodologique mise en œuvre pour ce bassin versant est la même que celle adoptée pour le bassin versant de la Mue.

#### **Choix de la station de référence**

La Figure 12 présente la chronique de débit de la Seulles enregistrée à la station de Juvigny-sur-Seulles, ainsi que le seuil de 200 l/s correspondant au DMB. Ce seuil est franchi 14 années sur 31 sur la période 1981-2011 (environ 45% des années) et en particulier tous les ans entre 2003 et 2011, exceptée l'année 2007.

Le prélèvement annuel moyen sur le bassin versant est de 16 l/s. L'impact de ces prélèvements sur la période 1994-2010 demeure donc limité, comme en témoigne la Figure 13.

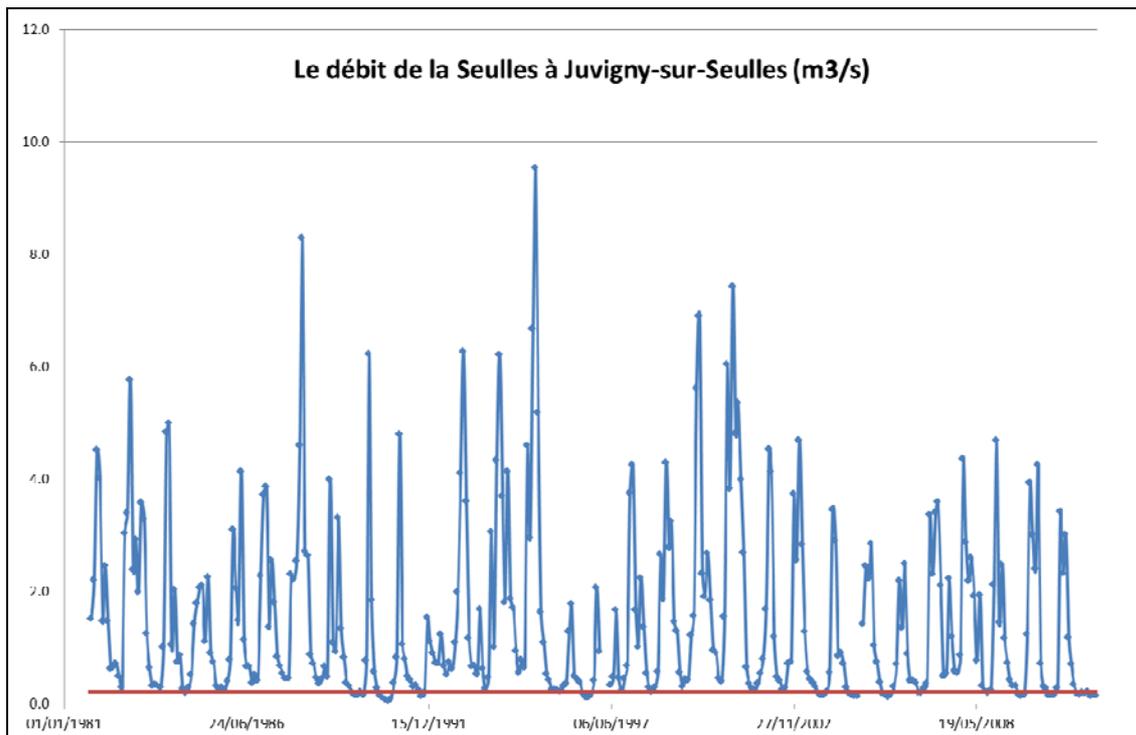


Figure 12 : Chronique de débit de la Seulles enregistrée à la station de Juvigny-sur-Seulles

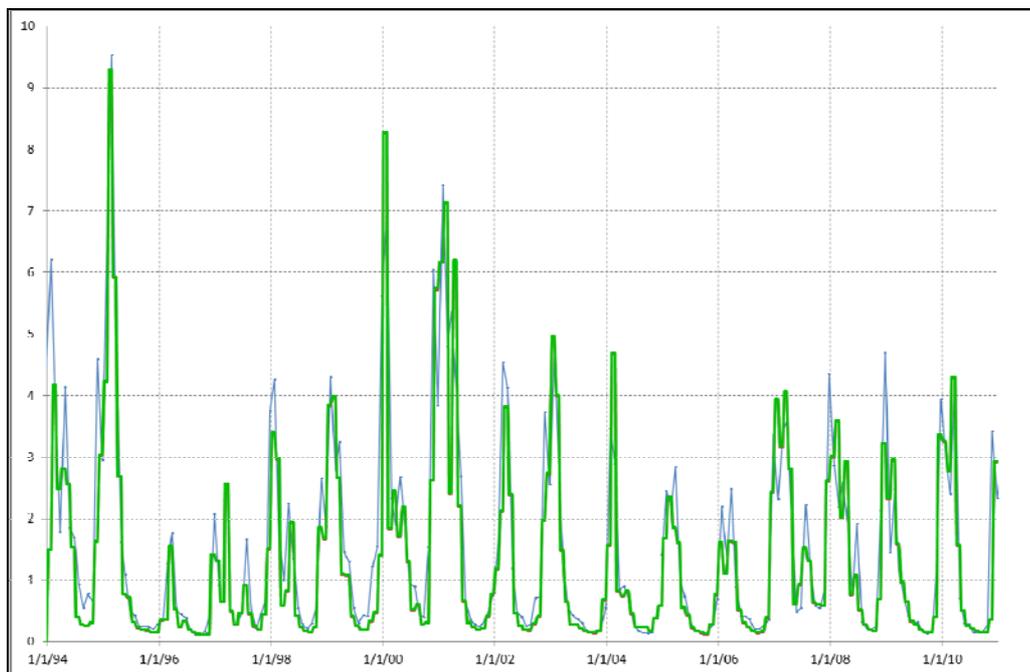


Figure 13 : Débits observés et simulés de la Seules à Juvigny-sur-Seules :  
en bleu, débits observés ; en vert, simulation sans pompages ;  
en rouge et en pratique très peu discernable, simulation avec pompages

Un test a été conduit sur le bassin versant de la Seules à Tierceville (situé à l'aval de Juvigny-sur-Seules), bassin versant dans lequel les prélèvements sont bien plus importants et leur impact davantage identifiable (cf. Figure 14 – le prélèvement moyen sur la période 1994-2010 est de 94 l/s<sup>11</sup>, soit 28% du QMNA5 – contre 5% du QMNA5 à Juvigny-sur-Seules). Les prélèvements en eau de surface représentent de 13 à 20% des prélèvements totaux sur la période 1994-2004 (maximum en 2003), puis 5% seulement ensuite du fait d'une importante réduction des prélèvements industriels.

La valeur du DMB à Tierceville a été extrapolée de la même façon que pour le bassin versant de la Mue. Une valeur de 440 l/s a ainsi été retenue pour le débit de référence de la Seules à Tierceville.

<sup>11</sup> Seuls les prélèvements situés à l'amont de la station hydrométrique sont comptabilisés.

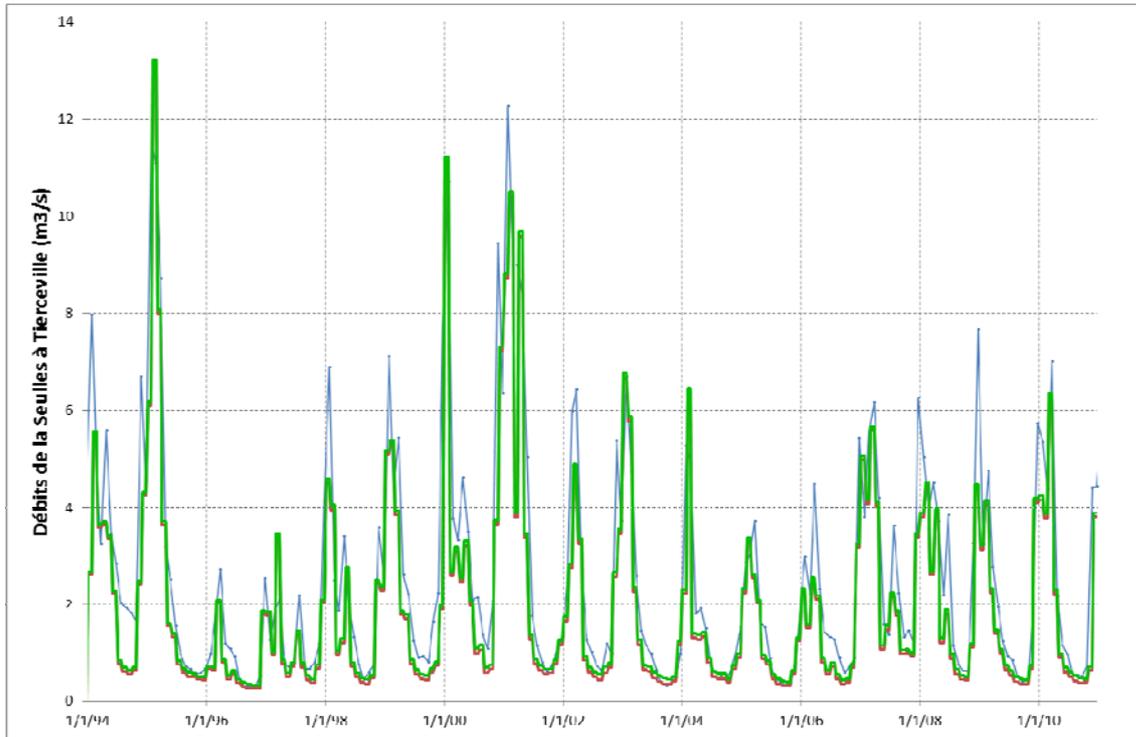


Figure 14 : Débits observés et simulés de la Seules à Tierceville (en bleu : débits observés ; en rouge : débits simulés avec pompages ; en vert : débits simulés sans pompages)

Pour les 40 années de données disponibles (1971-2010), le seuil de 440 l/s est franchi 11 années, soit 28% des années concernées (cf. Figure 15). Il est franchi 5 années sur la période 1994-2010, soit près de 30% des années concernées. On note que cette fréquence de dépassement est inférieure à celle qui était constatée sur la partie amont du bassin versant (45%) et que l'on n'observe pas de franchissement quasi systématique du seuil sur la période 2003-2010.

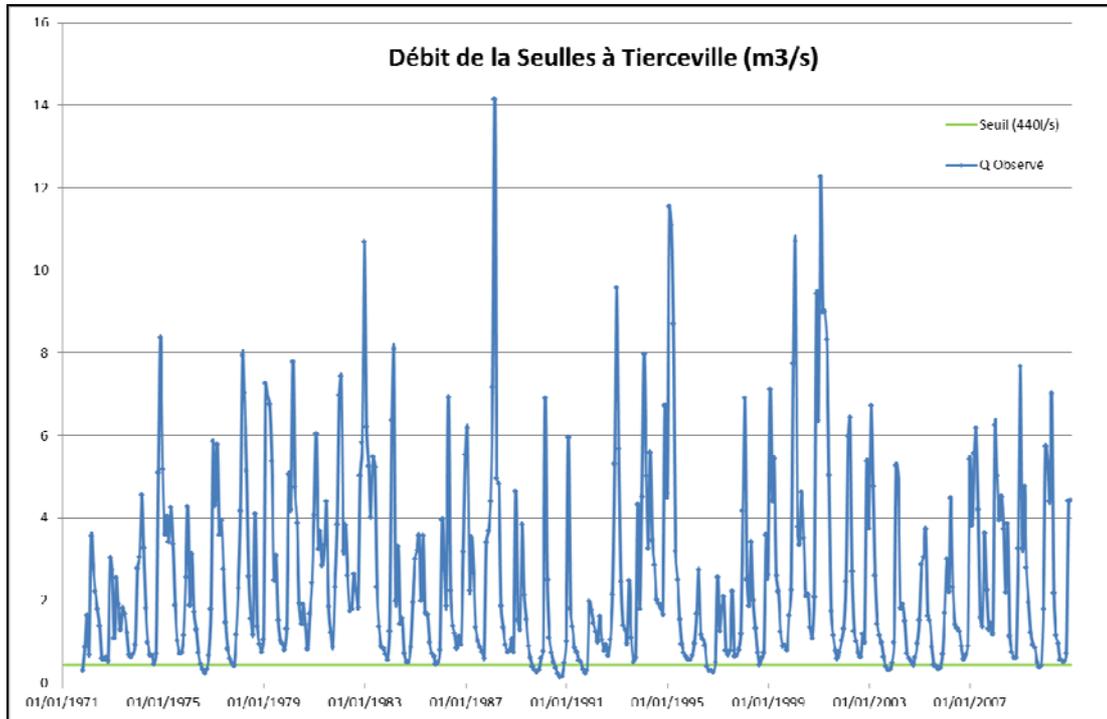


Figure 15 : Franchissement du débit de référence pris en compte pour la Seulles à Tierceville (en bleu : données observées ; en vert : seuil de 440 l/s)

### **Impact des configurations de pompage sur le débit écoulé dans le cours d'eau**

Cinq simulations ont été effectuées sur la période 1971-2010, pour cinq configurations de pompage (eaux de surface et eaux souterraines) :

- absence de pompage ;
- répétition tous les ans de la configuration de pompage de 1995 (le volume prélevé total dans le bassin versant est de 2.8 Mm<sup>3</sup>/an) ;
- répétition tous les ans de la configuration de pompage de 1996 (le volume prélevé total dans le bassin versant est de 2.9 Mm<sup>3</sup>/an) ;
- répétition tous les ans de la configuration de pompage de 2003 (le volume prélevé total dans le bassin versant est de 3.5 Mm<sup>3</sup>/an) ;
- répétition tous les ans de la configuration de pompage de 2010 (le volume prélevé total dans le bassin versant est de 3.0 Mm<sup>3</sup>/an).

La simulation effectuée en l'absence de tout pompage sur la période 1971-2010 est présentée en Figure 16, tandis que celle prenant en compte la configuration de pompage de 2003 (à titre d'exemple) est présentée en Figure 17. On note une bonne restitution de la dynamique d'écoulement.

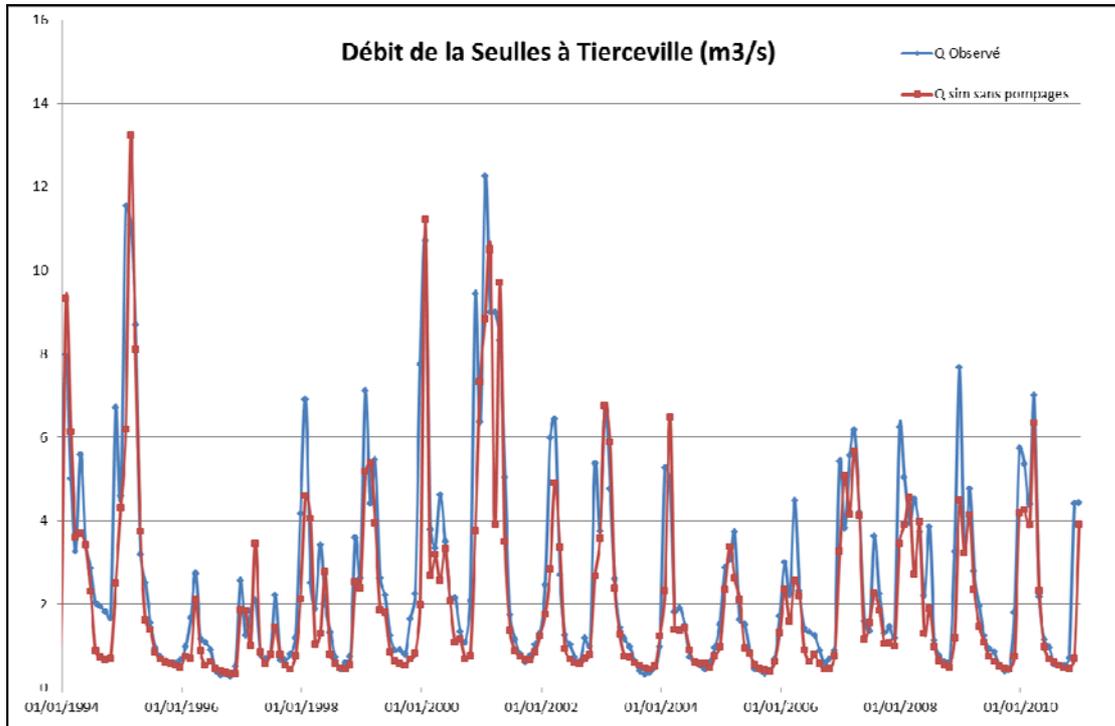


Figure 16 : Simulation du débit de la Seulles à Tierceville (période 1971-2010) en l'absence de pompage (en bleu : données observées ; en rouge : données simulées)

En faisant la différence entre les chroniques de débit de la Seulles simulées avec et sans pompage, on obtient une chronique représentant l'impact des pompages sur le débit de la rivière (cf. Figure 18 pour la configuration de pompage 2003). Cette chronique peut être comparée à celle des débits de pompage *via* une analyse corrélatoire (cf. Figure 19).

On observe sur la Figure 18 que les pics de prélèvement effectués à l'étiage n'ont qu'un impact limité sur le débit simulé de la Seulles. Ces pics correspondent majoritairement aux prélèvements effectués dans le Bajocien (sous une faible épaisseur de marnes de Port-en-Bessin et d'alluvions de la Seulles) pour l'alimentation en eau potable de la ville de Bayeux (en particulier forage d'indice BSS : 01192X0213). Malgré la proximité au cours d'eau, il semblerait que les marnes atténuent fortement l'impact à court terme du prélèvement sur le débit écoulé à l'étiage.

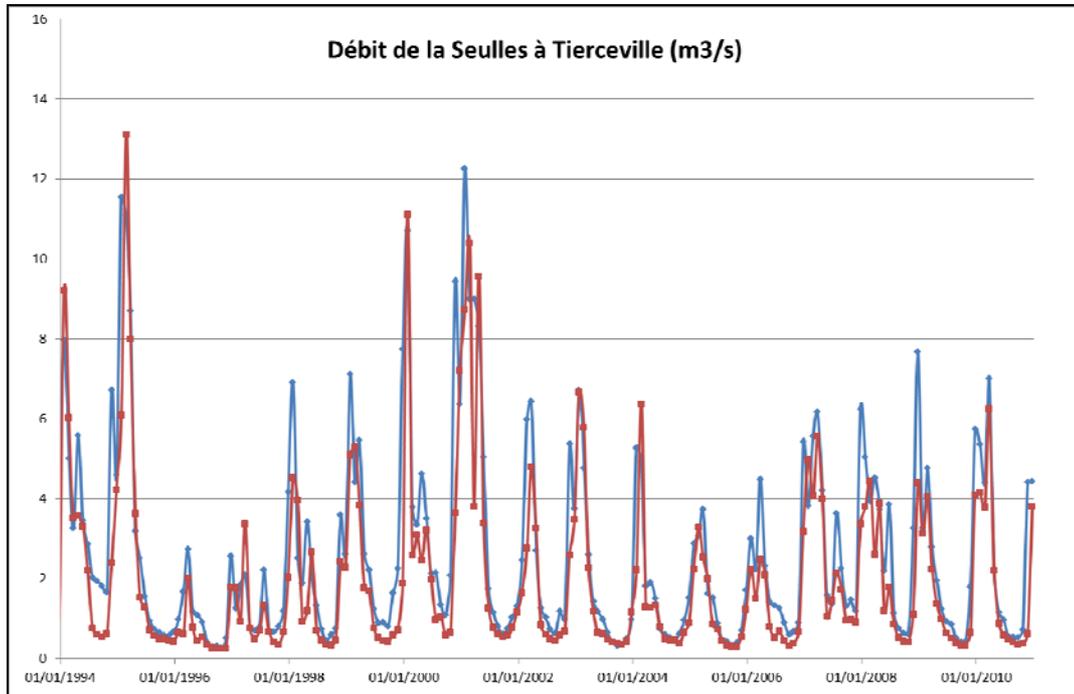


Figure 17 : Simulation du débit de la Seules à Tierceville (période 1971-2010) en répétant chaque année les prélèvements de 2003 (en bleu : données observées ; en rouge : données simulées)

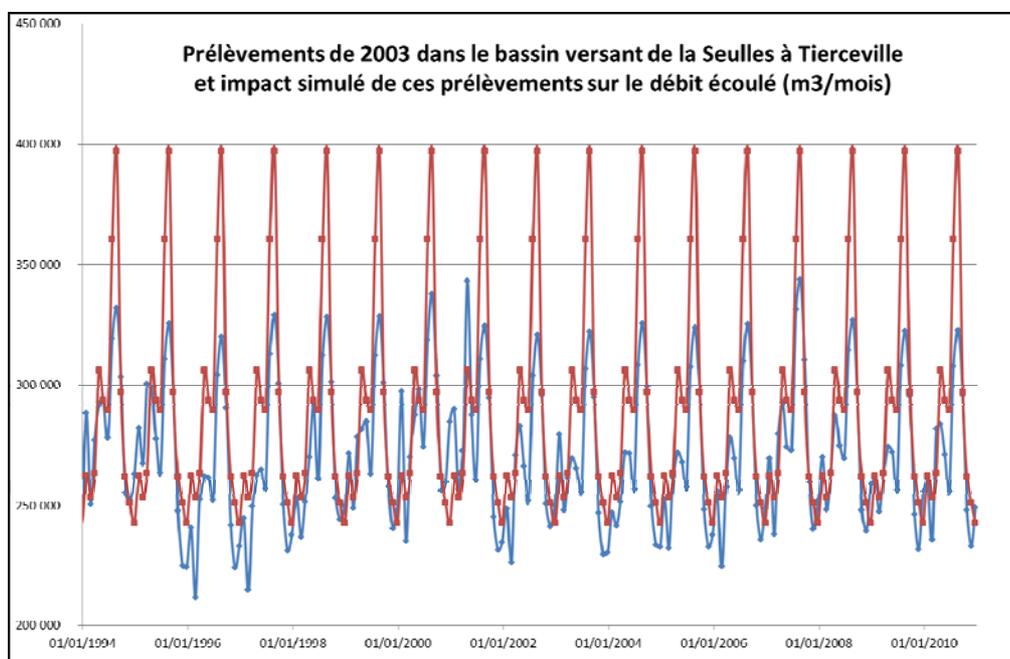


Figure 18 : Impact simulé des prélèvements de 2003 sur le débit de la Seules à Tierceville (en bleu) et prélèvements 2003 répétés annuellement dans la simulation (en rouge)

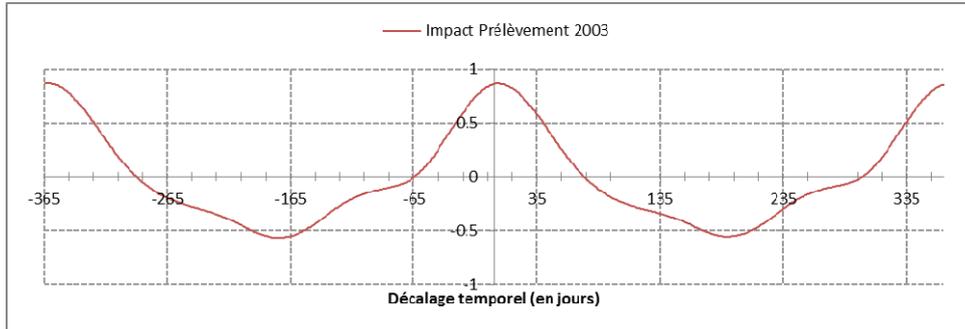


Figure 19 : Corrélation entre la chronique de prélèvements de 2003 et son impact simulé sur le débit de la Seulle à Tierceville

Les valeurs obtenues pour les différents tests corrélatoires effectués avec les résultats des différentes configurations de pompage sont synthétisées en Figure 20. On observe deux comportements dominants :

- configurations de pompages 1995 et 1996 : corrélation maximale assez forte, de l'ordre de 0.7 et atténuation de l'impact des prélèvements assez rapide (facteur de corrélation à 0.5 au bout de 35 jours et nul après 70 jours) ;
- configurations de pompages 2003 et 2010 : corrélation maximale forte (0.85) et atténuation de l'impact des prélèvements assez rapide (facteur de corrélation à 0.5 au bout de 40 jours et nul après 75 jours).

	1995	1996	2003	2010
<b>Corrélation maximale</b>	0.69	0.68	0.86	0.85
<b>Déphasage corrélation à 0.5 (en jr)</b>	34	33	40	40
<b>Déphasage corrélation à 0 (en jr)</b>	70	70	75	75

Figure 20 : Valeurs caractéristiques des corrélations entre les chroniques de pompages et leur impact simulé sur le débit de la Seulle à Tierceville

L'existence de valeurs caractéristiques sensiblement différentes entre les deux séries de configurations de pompage (1995-1996 et 2003-2010) s'explique vraisemblablement par la diminution des prélèvements s'effectuant en zone de socle, celle-ci passant de 7-8% en 1995-96 à 4-5% en 2003 et 2010.

En conclusion, on retiendra que :

- l'effet des quatre configurations de pompage testées est ressenti rapidement dans le cours d'eau ;
- il n'est pas observé que cet effet se fasse ressentir au-delà de trois mois, ce qui permet d'envisager une gestion annuelle des prélèvements ;
- la corrélation maximale entre prélèvements et impact de ces prélèvements sur le débit de la Seulle à Tierceville est importante mais bien moindre que celle qui est évaluée pour le bassin versant de la Mue à Reviers (d'où un plus faible impact des pics de pompage estivaux – cf. Figure 18).

### Estimation du volume prélevable à l'étiage

La méthode de calcul adoptée en première approche est similaire à celle utilisée pour le bassin versant de la Mue. Elle repose sur l'utilisation d'une chronique de débit simulée sans pompages sur la période 1971-2010. Cette approche conduit à calculer un volume prélevable mensuel de 44 600 m<sup>3</sup>, soit 135 000 m<sup>3</sup> environ pour les trois mois d'étiage (cf. Figure 21 – le volume indiqué est un volume mensuel qui est cumulable sur trois mois).

	Rang	Hazen	VP3mois (m3/mois)
1976	1	0.0125	-
1989	2	0.0375	-
1991	3	0.0625	-
1996	4	0.0875	-
1972	5	0.1125	-
2005	6	0.1375	14 687
1990	7	0.1625	27 961
1971	8	0.1875	31 633
1985	9	0.2125	57 676
2009	10	0.2375	70 940
2003	11	0.2625	83 736
2010	12	0.2875	109 385
2006	13	0.3125	109 506
1998	14	0.3375	120 539
1973	15	0.3625	154 089
1992	16	0.3875	158 185
1977	17	0.4125	165 434
1974	18	0.4375	192 393
1978	19	0.4625	201 305
1993	20	0.4875	210 679
1995	21	0.5125	240 742
2004	22	0.5375	254 947
2008	23	0.5625	328 887
1997	24	0.5875	350 583
1999	25	0.6125	365 160
1986	26	0.6375	377 666
1979	27	0.6625	451 594
2002	28	0.6875	453 519
1984	29	0.7125	500 303
1988	30	0.7375	519 729
1982	31	0.7625	608 732
1983	32	0.7875	651 493
2001	33	0.8125	655 822
1994	34	0.8375	670 596
1975	35	0.8625	693 510
1987	36	0.8875	701 406
1980	37	0.9125	726 697
2000	38	0.9375	1 130 311
1981	39	0.9625	1 157 326
2007	40	0.9875	1 601 134

Figure 21 : Bassin versant de la Seulles : classement des volumes mensuels prélevables sur trois mois consécutifs pour toutes les années de la période 1971-2010 (approche n° 1)

Ce volume très faible n'est pas en cohérence avec les volumes prélevés (249 000 m<sup>3</sup>/mois en moyenne sur la période 1994-2010) et la fréquence de franchissement du seuil observée (30% sur 1994-2010). Partant de l'hypothèse que cette incohérence pourrait être imputable à une mauvaise restitution par le modèle des débits de la Seulles en l'absence de pompages sur la période 1971-2010, la même méthode a été appliquée en se limitant à la période 1994-2010,

période pour laquelle les débits de pompage sont connus. Les résultats obtenus avec cette deuxième approche sont présentés en Figure 22. Ils font apparaître un volume prélevable mensuel de 82 500 m<sup>3</sup> soit 247 500 m<sup>3</sup> cumulés pour les trois mois d'été.

	Rang	Hazen	VP3mois (m3/mois)
1996	1	0.029	-
2005	2	0.088	14 687
2009	3	0.147	70 940
2003	4	0.206	83 736
2010	5	0.265	109 385
2006	6	0.324	109 506
1998	7	0.382	120 539
1995	8	0.441	240 742
2004	9	0.500	254 947
2008	10	0.559	328 887
1997	11	0.618	350 583
1999	12	0.676	365 160
2002	13	0.735	453 519
2001	14	0.794	655 822
1994	15	0.853	670 596
2000	16	0.912	1 130 311
2007	17	0.971	1 601 134

Figure 22 : Bassin versant de la Seulles : classement des volumes mensuels prélevables sur trois mois consécutifs pour les années de la période 1994-2010 (approche n° 2)

De façon similaire au résultat obtenu pour la période 1971-2010, le volume calculé reste faible au regard des données de prélèvements disponibles.

Une 3<sup>ème</sup> approche méthodologique a donc été utilisée, consistant à maximiser l'estimation du volume prélevable de façon empirique en ajoutant les débits de pompage mensuels à la chronique des débits de la Seulles. Compte tenu de la disponibilité de ces derniers<sup>12</sup>, l'approche ne peut être conduite que sur la période 1994-2010. Les résultats sont présentés en Figure 23. Un volume prélevable mensuel d'environ 247 500 m<sup>3</sup> est calculé, soit environ 743 000 m<sup>3</sup> pour les trois mois.

---

<sup>12</sup> En pratique, les prélèvements mensuels ne sont pas connus : ils ont été reconstitués à partir des prélèvements annuels fournis par l'AESN et connus sur la base du paiement de la redevance (cf. rapport de phase 1).

Annee	Rang	Hazen	VP_3mois (m3/mois)
1996	1	0.029	-
2003	2	0.088	21 060
2005	3	0.147	61 729
2009	4	0.206	268 271
2004	5	0.265	486 273
1998	6	0.324	749 118
2010	7	0.382	550 103
1995	8	0.441	613 659
2006	9	0.500	943 789
2008	10	0.559	816 290
2001	11	0.618	1 144 803
1997	12	0.676	1 032 192
2002	13	0.735	1 388 748
1999	14	0.794	1 530 240
2000	15	0.853	3 201 000
2007	16	0.912	2 532 740
1994	17	0.971	3 881 217

Figure 23 : Bassin versant de la Seulles : classement des volumes mensuels prélevables sur trois mois consécutifs et par année de la période 1994-2010 (approche n° 3)

Afin de s'assurer de la cohérence du volume prélevable calculé, celui-ci est comparé aux volumes prélevés connus sur la période 1994-2010 et aux occurrences observées de franchissement du seuil (cf. Figure 24). On constate que le volume prélevable calculé pour les trois mois d'étiage (740 000 m<sup>3</sup>) est systématiquement dépassé, alors que le franchissement du seuil de débit de la Seulles n'est effectif que 5 années sur 17. Le volume prélevable calculé semble donc sous-estimé.

Plusieurs raisons peuvent expliquer cette situation :

- les prélèvements mensuels utilisés sont mal cernés et ils ne reflètent pas la réalité du terrain. Cette hypothèse est vraisemblable, à défaut d'être certaine. Rappelons que pour le bassin versant de la Mue, les prélèvements de la ville de Caen sont connus mensuellement pour la période 2001-2010, ce qui n'est pas le cas dans le bassin versant de la Seulles ;
- le modèle reproduit insuffisamment bien les débits de la Seulles et l'impact des pompages sur la rivière. Si des améliorations de calage sont toujours possibles, cette hypothèse n'est cependant pas une explication suffisante dans la mesure où l'utilisation de la chronique des débits observés conduit aux mêmes difficultés ;
- une partie des pompages d'étiage pourrait ne pas avoir d'impact effectif sur le débit de la Seulles pendant l'étiage lui-même. Les pompages effectués dans le Bajocien sous recouvrement des marnes de Port-en-Bessin, et les résultats de la simulation présentés en Figure 18 accréditent cette possibilité. La Figure 25 éclaire aussi cette question : l'occurrence d'un QMNA faible (inférieur à 400 ou 500 l/s) n'est pas corrélée à de forts prélèvements sur trois mois. On constate en effet qu'un QMNA inférieur à 400 l/s peut correspondre à un volume pompé cumulé sur trois mois allant de 860 000 m<sup>3</sup> à 1 050 000 m<sup>3</sup>. À titre de comparaison, la Figure 26 présente la même information pour le bassin versant de la Mue à Revières : un QMNA inférieur à 100 l/s correspond à un cumul de pompage compris entre 1.15 et 1.34 Mm<sup>3</sup>, ce qui traduit une plage de prélèvements élevée et étroite. Si, pour la Seulles, les pompages ne semblent pas affecter directement le débit d'étiage, d'autres facteurs (climatiques, retenues d'eau ?...) pourraient expliquer cette apparente déconnexion. Il est vraisemblable, en tout état de cause, que cette remarque renvoie à la question de la connaissance des prélèvements, en l'occurrence mensuels.

Année	Franchissement débit seuil	Prelevements (3 mois) observés
1994	0	841 933
1995	0	846 843
1996	1	878 863
1997	0	883 074
1998	0	923 084
1999	0	904 175
2000	0	913 836
2001	0	995 912
2002	0	1 021 715
2003	1	1 054 518
2004	1	994 701
2005	1	861 168
2006	0	855 497
2007	0	817 517
2008	0	865 776
2009	1	955 697
2010	0	928 213

Figure 24 : Volumes prélevés sur 3 mois consécutifs (en m<sup>3</sup>) et occurrences de franchissement du seuil de débit de la Seulles à Tierceville (en orange)

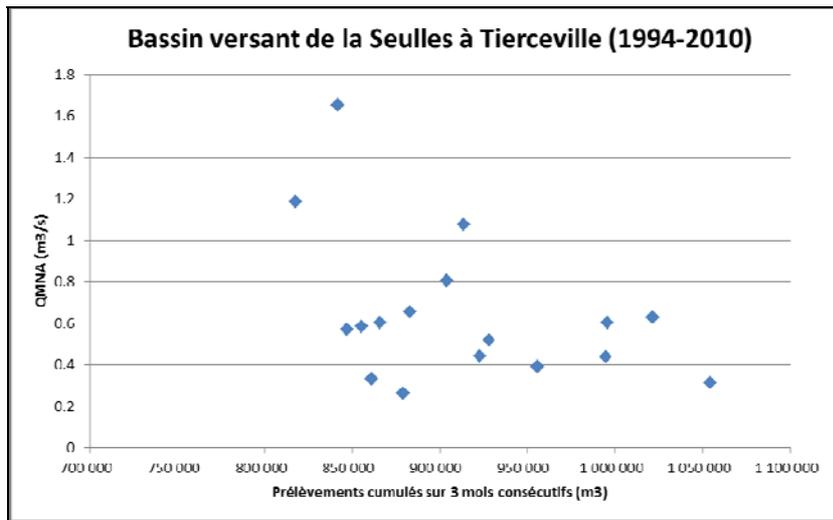


Figure 25 : QMNA et cumul des prélèvements sur trois mois pendant l'étiage dans le bassin versant de la Seulles à Tierceville

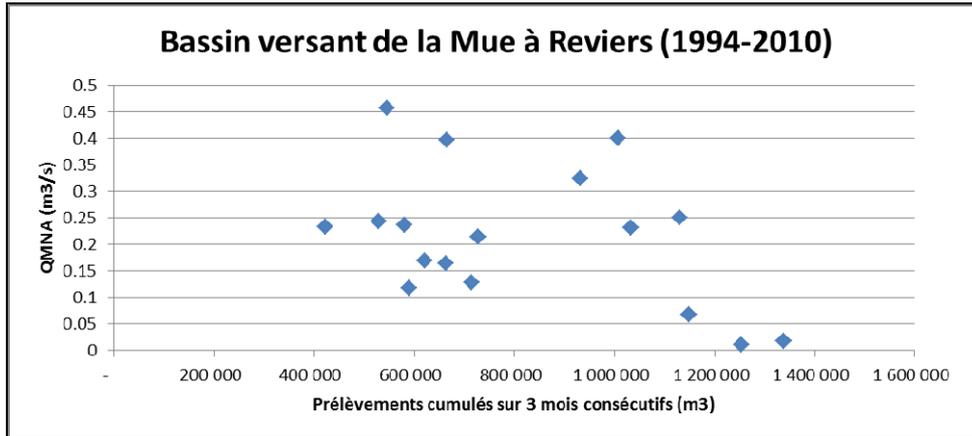


Figure 26 : QMNA et cumul des prélèvements sur trois mois pendant l'étiage dans le bassin versant de la Mue à Reviers

En conclusion, les trois approches testées ne permettent pas de déterminer un volume prélevable fiable pour le bassin versant de la Seullas à Tierceville sur la base d'un débit de référence de 440 l/s.

#### 4/ Bassin versant de l'Odon à Epinay-sur-Odon

La Figure 27 présente la chronique de débit de l'Odon enregistrée à la station d'Epinay-sur-Odon, ainsi que le seuil de 124 l/s correspondant au DMB. Ce seuil est franchi 15 années sur 20 sur la période 1991-2010.

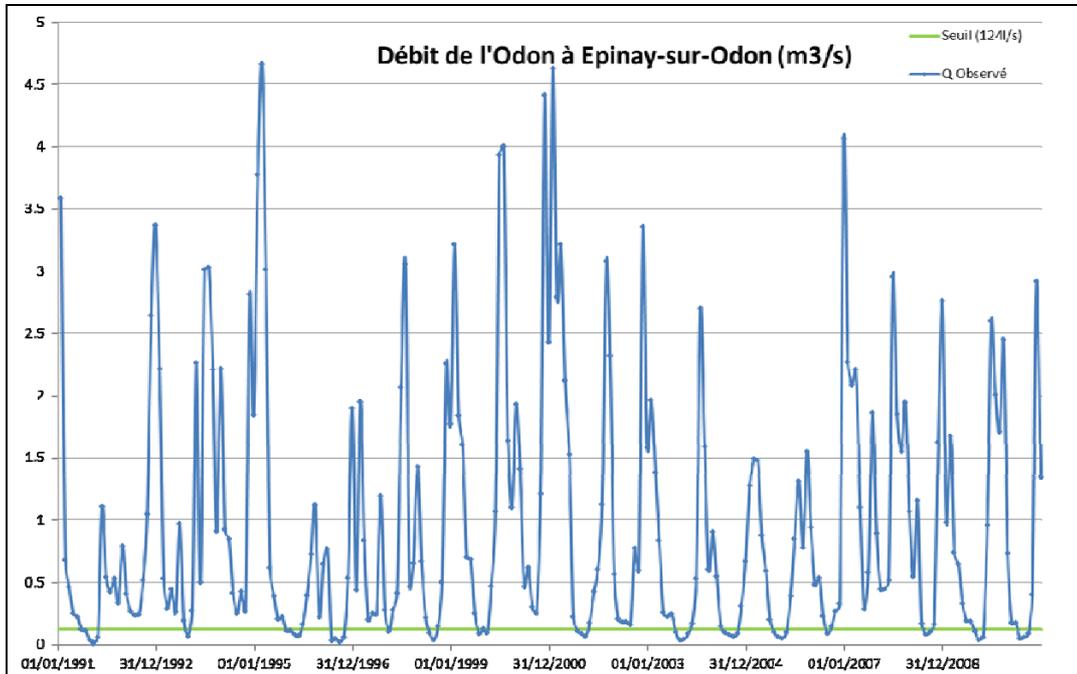


Figure 27 : Chronique de débit de l'Odon enregistrée à la station d'Epinay-sur-Odon

Le franchissement du DMB pourrait le cas échéant être lié à l'influence des prélèvements dans ce bassin versant. Ces prélèvements s'élèvent à 11 l/s en moyenne sur la période 1994-2010,

pour un prélèvement mensuel maximal à l'étiage estimé à 17 l/s (pour la méthode d'estimation de la répartition mensuelle des prélèvements annuels, voir le rapport de phase 1).

En ajoutant un débit de 17 l/s au débit mesuré de l'Odon à Epinay-sur-Odon, on constitue une nouvelle chronique de débits qui majore ce qui pourrait être la chronique des débits naturels (c'est-à-dire hors prélèvements) de ce cours d'eau. La comparaison des débits de cette nouvelle chronique au seuil de 124 l/s montre que le franchissement demeure effectif 15 années sur 20. On peut en conclure qu'en l'absence de pompages, le DMB n'est pas respecté près de 8 années sur 10.

Il n'est donc pas possible de calculer un volume prélevable pour ce bassin versant en utilisant le DMB fourni comme débit de référence, celui-ci étant manifestement surévalué par rapport aux capacités du bassin versant.

## **Annexe 9**

### **Liste des prélèvements identifiés dans les zones en tension quantitative**

Les prélèvements sont présentés par type d'usage, dans l'ordre suivant :

- AEP (1 page).
- Industriel (0.5 page).
- Agricole, hors élevage (0.5 page).
- Élevage (2 pages).
- Gabions (4 pages).



## Modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives : rapport de phase 3

Zones	XL93	YL93	Code BSS	Num compta AESN	Aquifere	Libellé	Nom commune	Nom du point AEP
4	477616	6911482	01204X0019	03224E_020	Cenomanien	NAPPE	GRANGUES	COMMUNE DE CABOURG
4	484468	6905320	01215X0005	05566A_020	Cenomanien	NAPPE	BEAUFOR DRUVAL	S.I.A.E.P. DE BEAUFOR DRUVAL
4	484557	6905252	01215X0005	05618G_020	Cenomanien	NAPPE	BEAUFOR DRUVAL	S.I.A.E.P. DE BEAUFOR DRUVAL
6	422525	6921714	00957X0009	05093L_020	Bathonien	NAPPE	RUSSY	SIAEP REGION D'OMAHA BEACH
6	408631	6921589	00955X0038	03953X_020	Trias	NAPPE	LA CAMBE	SIAEP REGION DE LA CAMBE
6	403188	6919258	01181X0029	09890A_020	Trias	NAPPE	ISIGNY-SUR-MER	COMD'ISIGNY SUR MER
6	403173	6919222	01181X0021	30056V_020	Trias	NAPPE	ISIGNY-SUR-MER	COM D'ISIGNY SUR MER
16	468387	6906727	01207X0012	03760M_020	Bathonien	NAPPE	BAVENT	SIVOM DE LA RIVE DROITE DE L'ORNE
16	468255	6906482	01207X0061	03763R_020	Bathonien	NAPPE	BAVENT	SIVOM DE LA RIVE DROITE DE L'ORNE
16	468474	6905792	01207X0077	05362D_020_1	Bathonien	NAPPE	BAVENT	SIVOM DE LA RIVE DROITE DE L'ORNE
16	468718	6905509	01207X0098	05362D_020_2	Bathonien	NAPPE	BAVENT	SIVOM DE LA RIVE DROITE DE L'ORNE
16	467969	6907152	01206X0154	06698F_020	Bathonien	NAPPE	BAVENT	SIVOM RIVE DROITE DE L'ORNE
16	468153	6906087	01207X0095	09070J_020	Bathonien	NAPPE	BAVENT	SIVOM DE LA RIVE DROITE DE L'ORNE
18	481866	6912023	01211X0081	03876N_020	Cenomanien	NAPPE	HEULAND	COMMUNE D'HOULGATE
18	482468	6911839	01211X0073	05355V_020	Cenomanien	NAPPE	BRANVILLE	SYND DE BRANVILLE
18	484256	6908919	01211X0053	06914R_020	Cenomanien	NAPPE	DANESTAL	SYND DE LA CROIX D'HEULAND
18	484577	6907679	01211X0089	07055U_020	Cenomanien	NAPPE	CRESSEVEUILLE	COMMUNE DE DIVES SUR MER
18	481322	6905813	01215X0114	07332V_020	Cenomanien	NAPPE	DOZULE	SYND DE DOZULE
18	483327	6910882	01211X0149	07568B_020	Cenomanien	NAPPE	BRANVILLE	SIAE DE LA REGION DE BRANVILLE
18	481322	6905813	01215X0114	07646L_020	Cenomanien	NAPPE	DOZULE	SYND DE DOZULE
18	484819	6908269	09214R	09214R_020	Cenomanien	NAPPE	DANESTAL	SYND DE LA CROIX D'HEULAND
18	484256	6908919	01211X0053	09222Z_020	Cenomanien	NAPPE	DANESTAL	SYND HAUTE DORETTE
18	482271	6908390	30057W	30057W_020	Cenomanien	NAPPE	CRESSEVEUILLE	COMMUNE DE DIVES SUR MER
18	483613	6908423	01211X0092	30058X_020	Cenomanien	NAPPE	CRESSEVEUILLE	COMMUNE DE DIVES SUR MER
18	483613	6908423	01211X0092	30059Y_020	Cenomanien	NAPPE	CRESSEVEUILLE	COMMUNE DE DIVES SUR MER
18	482468	6911839	01211X0073	30253J_020	Cenomanien	NAPPE	BRANVILLE	SYND DE BRANVILLE
18	473941	6909588	06615R	06615R_020	EAUDESURFACE	SURFACE	BRUCOURT	COMMUNE DE CABOURG
25	464662	6888752	05442R	05442R_020	Bajocien	NAPPE	ST SYLVAIN	SYNDICAT DE SAINT SYLVAIN
25	469425	6894635	01463X0125	03901R_020	Bathonien	NAPPE	MOULT	SIAE REGION D'ARGENCES
25	470120	6894443	01463X0141	09460H_020	Bathonien	NAPPE	ARGENCES	SIAE REGION D'ARGENCES
54	462375	6912822	01202X0003	03234R_020	Bathonien	NAPPE	OUISTREHAM	COMMUNE DE OUISTREHAM-RIVA BELLA
54	461971	6913034	01202X0020	03235S_020	Bathonien	NAPPE	OUISTREHAM	COMMUNE DE OUISTREHAM-RIVA BELLA
54	457352	6916664	01201X0011	03699V_020	Bathonien	NAPPE	LION SUR MER	COMMUNE DE LION-SUR-MER
54	459543	6913717	01201X0012	03916G_020	Bathonien	NAPPE	HERMANVILLE SUR MER	SYND DE COLLEVILLE HERMANVILLE
54	457161	6913234	01201X0166	07175Z_020	Bathonien	NAPPE	HERMANVILLE SUR MER	SYND DE COLLEVILLE HERMANVILLE
55	443067	6920921	00967X0004	05095N_020	Bajocien	NAPPE	VER SUR MER	SYND DE LA VALLEE DE LA SEULLES
55	434725	6919236	01191X0239	05744U_020	Bajocien	NAPPE	TRACY SUR MER	BAYEUX INTERCOM
55	436921	6921194	06761Z	06761Z_020	Bajocien	NAPPE	ARROMANCHES LES BAINS	S.I.D'ARROMANCHES-TRACY
58	404365	6927461	00955X0050	09349M_020	Bathonien	NAPPE	GRANDCAMP-MAISY	SYND DE MAISY GRANDCAMP
58	401879	6920565	01174X0006	03880T_020	Trias	NAPPE	ISIGNY-SUR-MER	COM D'ISIGNY SUR MER
61	431590	6916869	03220A	03220A_020	Bajocien	NAPPE	ST VIGOR LE GRAND	BAYEUX + SYND ENV BAYEUX + BARBEVIL
61	430494	6918814	03221B	03221B_020	Bajocien	NAPPE	VAUX SUR AURE	BAYEUX + SYND ENV BAYEUX + BARBEVIL
61	431422	6920999	05743T	05743T_020	Bajocien	NAPPE	LONGUES SUR MER	S.I.A.E.P. DU PLANET
61	427808	6919940	00958X0106	06002Z_020_1	Bajocien	NAPPE	MAISONS	SAEP MAISONS PORT EN BESSIN-HUPPAIN
61	430192	6920393	00965X0066	06579B_020	Bajocien	NAPPE	LONGUES SUR MER	BAYEUX INTERCOM
61	430357	6919653	01191X0254/F3	09297F_020	Bajocien	NAPPE	LONGUES SUR MER	BAYEUX INTERCOM
61	431586	6916870	01191X0251	30257N_020	Bajocien	NAPPE	SAINT-VIGOR-LE-GRAND	BAYEUX INTERCOM
61	431091	6908319	01195X0210	09284S_020	Trias	NAPPE	JUAYE-MONDAYE	SYND DE TILLY SUR SEULLES
61	431091	6908319	01195X0210	09666G_020	Trias	NAPPE	JUAYE-MONDAYE	SYND. DE TILLY SUR SEULLES
65	459094	6908915	01201X0002	03864A_020	Bathonien	NAPPE	BLAINVILLE-SUR-ORNE	COMMUNE DE BLAINVILLE SUR ORNE
65	458314	6906888	01205X0005/F4	Herouville4	Bathonien	NAPPE	HEROUVILLE-SAINT-CLAIR	COMMUNE D'HEROUVILLE ST CLAIR
65	457705	6907306	01205X0109/F6	Herouville6	Bathonien	NAPPE	HEROUVILLE-SAINT-CLAIR	COMMUNE D'HEROUVILLE ST CLAIR
65	457449	6907505	01205X0110/F7	Herouville7	Bathonien	NAPPE	HEROUVILLE-SAINT-CLAIR	COMMUNE D'HEROUVILLE ST CLAIR
65	457200	6907945	01205X0321/F8	Herouville8	Bathonien	NAPPE	HEROUVILLE-SAINT-CLAIR	COMMUNE D'HEROUVILLE ST CLAIR
65	457490	6908071	01205X0322/F9	Herouville9	Bathonien	NAPPE	HEROUVILLE-SAINT-CLAIR	COMMUNE D'HEROUVILLE ST CLAIR
65	458557	6908690	01201X0156	07208K_020	Bathonien	NAPPE	BLAINVILLE-SUR-ORNE	COMMUNE DE BLAINVILLE SUR ORNE

## Prélèvements à usage industriel :

Zones	XL93	YL93	Code INSEE	Nom de commune	Num compta AESN	Aquifere	Nom du point de captage industriel
4	469907	6897655	14020	ARGENCES	12169C_020	Bathonien	FONDATION LE TAVERNIER-PITROU
54	455301	6913882	14509	PLUMETOT	12844L_020	Bajocien / Bathonien	STE CAENNAISE DE DISTRIBUTION
55	446450	6920619	14318	GRAYE SUR MER	12224M_020	Bathonien	FOYER DEPARTEMENTAL DE L'ENFANCE
58	403011	6923122	14480	OSMANVILLE	01892G_020	Trias-Lias	LAITERIE COOP. D'ISIGNY
58	403074	6923128	14480	OSMANVILLE	10699E_020	Trias-Lias	LAITERIE COOP D'ISIGNY
58	403011	6923122	14480	OSMANVILLE	11592A_020	Trias-Lias	LAITERIE COOP D'ISIGNY
58	402055	6919837	14342	ISIGNY SUR MER	11671L_020	Trias-Lias	STE FROMAGERE D'ISIGNY SUR MER
58	402055	6919837	14342	ISIGNY SUR MER	11755C_020	Trias-Lias	STE FROMAGERE D'ISIGNY SUR MER
58	403011	6923122	14480	OSMANVILLE	12516E_020	Trias-Lias	LAITERIE COOP. D'ISIGNY
58	403011	6923122	14480	OSMANVILLE	12517F_020	Trias-Lias	LAITERIE COOP. D'ISIGNY
58	403011	6923122	14480	OSMANVILLE	12905C_020	Trias-Lias	LAITERIE COOP. D'ISIGNY
61	431444	6907288	14346	JUAYE MONDAYE	12114T_020	Trias-Lias	COMMUNAUTE DE PREMONTRES
65	457188	6910031	14068	BIEVILLE-BEUVILLE	12226P_020	Bathonien	FORMULE GOLF
65	459279	6908476	14076	BLAINVILLE-SUR-ORNE	03741S_020	EAUDESURFACE	RENAULT VEHICULES
65	459339	6908483	14076	BLAINVILLE SUR ORNE	03742T_020	EAUDESURFACE	RENAULT VEHICULES

## Prélèvements à usage agricole (hors élevage) :

Zones	XL93	YL93	Code INSEE	Nom de commune	Num compta AESN	Aquifere	Libellé
16	467977	6911492	14306	GONNEVILLE EN AUGÉ	95592E01_020	Bathonien	NAPPE
16	467966	6910440	14306	GONNEVILLE-EN-AUGÉ	95592E02_020	Bathonien	NAPPE
18	486616	6909322	14016	ANNEBAULT	95924R01_020	Oxfordien	NAPPE
25	468687	6895179	14456	MOULT	94719F01_020	Bathonien	NAPPE
25	468687	6895179	14456	MOULT	96091X01_020	Bathonien	NAPPE
25	468233	6891605	14005	AIRAN	93452D01_020	EAUDESURFACE	SURFACE
54	461104	6911977	14558	ST AUBIN D ARQUENAY	95652V01_020	Bathonien	NAPPE
54	461104	6911977	14558	SAINT-AUBIN-D'ARQUENAY	95652V03_020	Bathonien	NAPPE
55	446861	6920433	14318	GRAYE-SUR-MER	6493_020	Bathonien	NAPPE
55	445779	6919135	14318	GRAYE-SUR-MER	6494_020	Bathonien	NAPPE
61	430494	6918814	14732	VAUX SUR AURE	94584J01_020	EAUDESURFACE	SURFACE
61	430433	6918808	14732	VAUX SUR AURE	96842N01_020	EAUDESURFACE	SURFACE

Zones	Commune	CP	Nb exploitations	Prelevements annuels élevage (m3)
4	BEAUFOUR-DRUVAL	14340	18	11650
4	RUMESNIL	14340	4	8923
4	HOTOT-EN-AUGE	14430	9	8797
4	GOUSTRANVILLE	14430	10	8329
4	SAINT-PIERRE-DU-JONQUET	14670	6	7792
4	REPENTIGNY	14340	6	3830
4	BASSENEVILLE	14670	9	3357
4	BEUVRON-EN-AUGE	14430	6	2989
4	PERIERS-EN-AUGE	14160	6	2626
4	GRANGUES	14160	4	2479
4	TROARN	14670	9	2260
4	PUTOT-EN-AUGE	14430	5	2189
4	SAINT-SAMSON	14670	4	1886
4	SAINT-OUEN-DU-MESNIL-OGER	14670	3	1642
6	VOUILLY	14230	14	15151
6	FORMIGNY	14710	12	14971
6	CANCHY	14230	8	13663
6	MOSLES	14400	14	13404
6	LONGUEVILLE	14230	8	9765
6	CAMBE (LA)	14230	12	9232
6	MONFREVILLE	14230	9	7241
6	ETREHAM	14400	5	6343
6	MANDEVILLE-EN-BESSIN	14710	10	6123
6	SAINT-GERMAIN-DU-PERT	14230	7	5423
6	TOUR-EN-BESSIN	14400	9	4778
6	SURRAIN	14710	7	4757
6	ECRAMMEVILLE	14710	5	3579
6	RUSSY	14710	7	2801
6	CARDONVILLE	14230	4	2708
6	AIGNERVILLE	14710	5	123
16	BAVENT	14860	11	6753
16	VARAVILLE	14390	10	6343
16	GONNEVILLE-EN-AUGE	14810	3	1604
16	PETIVILLE	14390	3	264
18	DOUVILLE-EN-AUGE	14430	12	8652
18	CRICQUEVILLE-EN-AUGE	14430	5	6883
18	ANNEBAULT	14430	7	3451

Zones	Commune	CP	Nb exploitations	Prelevements annuels élevage (m3)
18	CRESSEVEUILLE	14430	6	2607
18	SAINT-LEGER-DUBOSQ	14430	5	1735
18	ANGERVILLE	14430	5	1467
18	DOZULE	14430	6	883
18	SAINT-JOUIN	14430	4	875
18	DANESTAL	14430	6	403
25	AIRAN	14370	5	4259
25	MOULT	14370	8	3409
25	ARGENCES	14370	7	2204
25	GRAINVILLE-LANGANNERIE	14190	4	1826
25	CAUVICOURT	14190	3	1625
25	FIERVILLE-BRAY	14190	3	1031
54	PLUMETOT	14440	4	1602
54	CRESSERONS	14440	3	747
55	RYES	14400	10	11489
55	SAINT-COME-DE-FRESNE	14960	3	5315
55	MAGNY-EN-BESSIN	14400	4	4991
55	BAZENVILLE	14480	6	4839
55	SOMMERMIEU	14400	5	3346
55	VER-SUR-MER	14114	5	2308
55	SAINTE-CROIX-SUR-MER	14480	4	1738
55	CREPON	14480	4	1280
55	MEUVAINES	14960	5	1146
58	GEFOSSE-FONTENAY	14230	12	14763
58	ISIGNY-SUR-MER	14230	17	13428
58	OSMANVILLE	14230	11	9393
58	GRANDCAMP-MAISY	14450	15	9341
61	VAUX-SUR-AURE	14400	9	10993
61	GUERON	14400	9	8584
61	JUAYE-MONDAYE	14250	13	7928
61	ELLON	14250	9	7713
61	SAINT-MARTIN-DES-ENTREES	14400	3	5252
61	SAINT-VIGOR-LE-GRAND	14400	7	4958
61	LONGUES-SUR-MER	14400	8	4665
61	MONCEAUX-EN-BESSIN	14400	7	4187
61	BAYEUX	14400	4	2277
65	BIEVILLE-BEUVILLE	14112	3	1466

Zones	ID GABION	COMMUNE	INSEE	ALIMENTATION	Surface (km <sup>2</sup> )	Prelevements annuels (m3)
4	14000018	Basseneville	14045	Canal	0.037	18 453
4	14000044	Bavent	14046	Barrage ruisseau du Bois de Bavent	0.006	2 940
4	14000045	Bellengreville	14057	Semillon (Le)	0.011	5 704
4	14000052	Beuvron-en-Auge	14070	Doigt (Le)	0.040	20 052
4	14000053	Beuvron-en-Auge	14070	Eaux pluviales	0.009	4 580
4	14000113	Cléville	14163	Dives (La) (Vannage)	0.034	16 905
4	14000137	Corbon	14178	Fossé	0.017	8 721
4	14000138	Corbon	14178	Fossé	0.040	19 805
4	14000139	Corbon	14178	Fossé	0.008	3 852
4	14000140	Corbon	14178	Canal de Corbon	0.010	4 856
4	14000141	Corbon	14178	Canal de Corbon	0.011	5 452
4	14000186	Gerrots	14300	Autre	0.096	48 211
4	14000203	Goustranville	14308	Fossé	0.037	18 633
4	14000208	Goustranville	14308	Grand Canal (Le)	0.046	23 059
4	14000230	Hotot-en-Auge (Brocottes)	14335	Pompage	0.028	13 985
4	14000231	Hotot-en-Auge (Brocottes)	14335	Doigt (Le)	0.035	17 710
4	14000232	Hotot-en-Auge (Le Ham)	14335	Fossé	0.012	6 002
4	14000233	Hotot-en-Auge (Brocottes)	14335	Autre (Marais)	0.061	30 454
4	14000234	Hotot-en-Auge (Le Ham)	14335	Fossé	0.038	18 999
4	14000235	Hotot-en-Auge (Le Ham)	14335	Fossé (pompage)	0.029	14 743
4	14000236	Hotot-en-Auge (Le Ham)	14335	Fossé	0.035	17 741
4	14000237	Hotot-en-Auge	14335	Fossé	0.026	12 959
4	14000238	Hotot-en-Auge	14335	Fossé	0.009	4 267
4	14000239	Hotot-en-Auge	14335	Fossé	0.010	4 964
4	14000240	Hotot-en-Auge	14335	Fossé	0.032	16 138
4	14000241	Hotot-en-Auge	14335	Dorette-Fossé (La)	0.010	4 978
4	14000242	Hotot-en-Auge	14335	Fossé	0.034	16 876
4	14000243	Hotot-en-Auge	14335	Rivière	0.009	4 436
4	14000244	Hotot-en-Auge	14335	Rivière	0.007	3 645
4	14000245	Hotot-en-Auge	14335	Rivière	0.019	9 412
4	14000246	Hotot-en-Auge (Brocottes)	14335	Fossé	0.027	13 636
4	14000247	Hotot-en-Auge	14335	Fossé	0.035	17 370
4	14000248	Hotot-en-Auge	14335	Fossé	0.009	4 574
4	14000249	Hotot-en-Auge	14335	Source	0.145	72 731
4	14000250	Hotot-en-Auge	14335	Dorette (La)	0.015	7 501
4	14000251	Hotot-en-Auge	14335	Dorette (La)	0.016	7 890
4	14000252	Hotot-en-Auge (Le Ham)	14335	Le Canal	0.011	5 416
4	14000253	Hotot-en-Auge	14335	Dorette (La)	0.048	23 888
4	14000254	Hotot-en-Auge (Brocottes)	14335	Grand Canal (Le)	0.027	13 311
4	14000255	Hotot-en-Auge (Le Ham)	14335	Dives (La)	0.021	10 492
4	14000256	Hotot-en-Auge	14335	Dives Prise d'eau autorisé en 1988	0.037	18 692
4	14000257	Hotot-en-Auge	14335	Dives (La)	0.005	2 513
4	14000258	Hotot-en-Auge	14335	Dives (La)	0.021	10 572
4	14000259	Hotot-en-Auge	14335	Dives (La)	0.006	2 969
4	14000260	Hotot-en-Auge	14335	Dives (La)	0.048	23 810
4	14000277	Janville	14344	Canal Oursin (Le)	0.006	2 883
4	14000450	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Dives (La)	0.095	47 654
4	14000451	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Dives (La)	0.029	14 342

Modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives : rapport de phase 3

Zones	ID GABION	COMMUNE	INSEE	ALIMENTATION	Surface (km <sup>2</sup> )	Prelevements annuels (m3)
4	14000453	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Fossé	0.016	8 158
4	14000454	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Rivière "La Vieille Rivière"	0.029	14 710
4	14000455	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Fossé (La Tranchée)	0.023	11 400
4	14000456	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Fossé	0.020	9 896
4	14000459	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Dives (La)	0.036	18 022
4	14000460	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Rivière "La Tranchée"	0.023	11 650
4	14000462	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Fossé	0.040	19 852
4	14000463	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Dives (La)	0.027	13 545
4	14000464	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Dives (La)	0.041	20 732
4	14000465	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Fossé	0.040	19 997
4	14000466	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Fossé	0.009	4 697
4	14000467	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Fossé	0.009	4 527
4	14000468	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Ruisseau de Saint Pierre	0.025	12 251
4	14000469	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Muance(La)-Tranchée (La)	0.018	8 864
4	14000470	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	La Tranchée	0.013	6 452
4	14000472	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Fossé	0.015	7 711
4	14000507	Troarn	14712	Vieille Muance (La)	0.046	22 891
4	14000560	Victot-Pontfol	14743	Dorette-canal (La)	0.050	24 799
4	14000561	Victot-Pontfol	14743	Dorette (La)	0.116	58 096
6	14000001	Aignerville	14004	Aure (L')	0.030	15 145
6	14000081	Cambe (La)	14124	Aure (L')	0.021	10 286
6	14000082	Cambe (La)	14124	Aure (L')	0.034	16 841
6	14000083	Cambe (La)	14124	Aure (L')	0.007	3 570
6	14000084	Cambe (La)	14124	Autre (Marais)	0.009	4 433
6	14000085	Cambe (La)	14124	Aure (L')	0.029	14 423
6	14000100	Canchy	14132	Esque (L')	0.009	4 444
6	14000101	Canchy	14132	Noé (La)	0.012	6 162
6	14000102	Canchy	14132	Pompagne (l'Aure)	0.008	3 879
6	14000121	Colombières	14168	Aure (L')	0.032	15 785
6	14000122	Colombières	14168	Aure (L')	0.016	7 933
6	14000123	Colombières	14168	Esque (L')	0.018	8 930
6	14000124	Colombières	14168	Autre	0.028	13 759
6	14000125	Colombières	14168	Marais	0.028	14 088
6	14000126	Colombières	14168	Fossé	0.024	11 835
6	14000127	Colombières	14168	Ruisseau du Moulin	0.019	9 644
6	14000128	Colombières	14168	Marais	0.004	2 169
6	14000129	Colombières	14168	Fossé	0.042	20 889
6	14000132	Colombières	14168	Fossé	0.005	2 687
6	14000133	Colombières	14168	Esque (L')	0.025	12 290
6	14000134	Colombières	14168	Fossé	0.021	10 660
6	14000135	Colombières	14168	Aure (L')	0.020	10 121
6	14000151	Cricqueville-en-Bessin	14204	Veret (Le)	0.015	7 251
6	14000152	Cricqueville-en-Bessin	14204	Marais	0.011	5 319
6	14000153	Cricqueville-en-Bessin	14204	Fossé	0.022	11 137
6	14000154	Cricqueville-en-Bessin	14204	Veret (Le)	0.025	12 536
6	14000155	Cricqueville-en-Bessin	14204	Veret (Le)	0.015	7 316
6	14000156	Cricqueville-en-Bessin	14204	Fossé	0.017	8 733
6	14000157	Cricqueville-en-Bessin	14204	Veret (Le)	0.014	7 111
6	14000158	Ecrammeville	14235	Esque (L')	0.009	4 486
6	14000159	Ecrammeville	14235	Rivière, Fossé, Marais	0.017	8 297
6	14000160	Ecrammeville	14235	Esque-Fossé (L')	0.006	3 224

Modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives : rapport de phase 3

Zones	ID GABION	COMMUNE	INSEE	ALIMENTATION	Surface (km <sup>2</sup> )	Prelevements annuels (m3)
6	14000161	Ecrammeville	14235	Esque (L')	0.113	56 576
6	14000162	Ecrammeville	14235	Fossé	0.007	3 677
6	14000163	Ecrammeville	14235	Aure-fossé (L')	0.009	4 688
6	14000164	Ecrammeville	14235	Esque (L')	0.008	4 200
6	14000165	Ecrammeville	14235	Fossé	0.015	7 584
6	14000166	Ecrammeville	14235	Esque (L')	0.006	3 031
6	14000167	Englesqueville-la-Percée	14239	Rivière "La Fontaine"	0.056	27 962
6	14000209	Grandcamp-Maisy	14312	Veret (Le)-Source	0.027	13 493
6	14000213	Grandcamp-Maisy	14312	Rivière "Saint Marie"	0.020	9 957
6	14000261	Isigny-sur-Mer	14342	Aure (L')	0.009	4 460
6	14000262	Isigny-sur-Mer	14342	Aure(L') (Canal)	0.019	9 278
6	14000263	Isigny-sur-Mer	14342	Autre (Marais)	0.013	6 529
6	14000264	Isigny-sur-Mer	14342	Autre (Marais)	0.032	15 989
6	14000266	Isigny-sur-Mer	14342	Aure (L')	0.010	4 986
6	14000267	Isigny-sur-Mer	14342	Aure (L')	0.005	2 624
6	14000268	Isigny-sur-Mer	14342	Aure (L')	0.009	4 515
6	14000269	Isigny-sur-Mer	14342	Ruisseau "la Bellaie"	0.043	21 637
6	14000270	Isigny-sur-Mer	14342	Fossé (Marais)	0.025	12 392
6	14000271	Isigny-sur-Mer	14342	Fossé (Marais)	0.019	9 490
6	14000272	Isigny-sur-Mer	14342	Aure-fossé (L')	0.037	18 542
6	14000285	Longueville	14378	Marais	0.006	2 967
6	14000286	Longueville	14378	Marais	0.006	2 933
6	14000287	Longueville	14378	Marais	0.005	2 382
6	14000288	Longueville	14378	Fossé	0.005	2 413
6	14000289	Longueville	14378	Marais	0.006	3 046
6	14000290	Longueville	14378		0.005	2 610
6	14000291	Longueville	14378	Esque (L')	0.018	8 768
6	14000292	Mandeville-en-Bessin	14397	Fossé	0.024	12 102
6	14000311	Monfréville	14439	Fossé	0.005	2 622
6	14000312	Monfréville	14439		0.006	2 962
6	14000313	Monfréville	14439	Aure (L')	0.039	19 582
6	14000314	Monfréville	14439	Rivière	0.008	4 135
6	14000315	Monfréville	14439	Marais	0.004	2 137
6	14000316	Monfréville	14439	Rivière "tranché de Varrevilles"	0.016	7 826
6	14000317	Monfréville	14439	Ruisseau de la Bellaie	0.009	4 614
6	14000318	Monfréville	14439	Aure (L')	0.033	16 457
6	14000319	Monfréville	14439	Rivière "tranché de Varrevilles"	0.104	52 176
6	14000320	Monfréville	14439	Rivière "tranché de Varrevilles"	0.018	8 813
6	14000321	Monfréville	14439	Rivière Fossé	0.007	3 573
6	14000322	Monfréville	14439	Rivière Fossé	0.003	1 546
6	14000323	Monfréville	14439	Rivière Fossé	0.016	8 058
6	14000324	Monfréville	14439	Rivière "tranché de Varrevilles"	0.022	10 908
6	14000325	Monfréville	14439	Rivière "tranché de Varrevilles"	0.080	40 137
6	14000326	Monfréville	14439	Aure (L')	0.010	4 884
6	14000327	Monfréville	14439		0.010	4 751
6	14000328	Monfréville	14439	Aure (L')	0.003	1 289
6	14000349	Osmanville	14480	Aure (L')	0.017	8 628
6	14000350	Osmanville	14480	Aure (L')	0.041	20 532
6	14000351	Osmanville	14480	Ruisseau	0.012	6 094
6	14000354	Osmanville	14480	Aure-Canal (L') - Inondation	0.011	5 722
6	14000426	Saint-Germain-du-Pert	14586	Rivière	0.008	4 193

Modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives : rapport de phase 3

Zones	ID GABION	COMMUNE	INSEE	ALIMENTATION	Surface (km <sup>2</sup> )	Prelevements annuels (m3)
6	14000427	Saint-Germain-du-Pert	14586	Rivière	0.031	15 510
6	14000428	Saint-Germain-du-Pert	14586	Autre (vannage)	0.020	10 151
6	14000429	Saint-Germain-du-Pert	14586	Fossé	0.009	4 716
6	14000430	Saint-Germain-du-Pert	14586	Aure (L')	0.013	6 594
6	14000431	Saint-Germain-du-Pert	14586	Aure (L')	0.013	6 377
6	14000576	Vouilly	14763	Moulin d'Annebey (Ruisseau du)	0.019	9 327
6	14000577	Vouilly	14763	Rivière "le Boeuf"	0.034	16 760
6	14000578	Vouilly	14763	Moulin d'Annebey (Ruisseau du)	0.016	7 955
18	14000200	Goustranville	14308	Fossé	0.091	45 696
18	14000202	Goustranville	14308	Autre	0.062	31 007
25	14000046	Bellengreville	14057	Petits Marais (Ruisseau des)	0.021	10 338
25	14000047	Bellengreville	14057	Petits Marais (Ruisseau des)	0.019	9 321
25	14000048	Bellengreville	14057	Plan d'eau naturel	0.002	963
25	14000054	Billy	14074	Plan d'eau	0.004	1 835
25	14000106	Chicheboville	14158	Source	0.002	1 160
25	14000107	Chicheboville	14158	Source	0.009	4 336
25	14000108	Chicheboville	14158	Fossé	0.002	1 084
25	14000109	Chicheboville	14158	Source	0.003	1 606
25	14000110	Chicheboville	14158	Ruisseau des Petits Marais-Canal	0.002	841
25	14000111	Chicheboville	14158	Plan d'eau naturel	0.004	1 784
25	14000175	Frénouville	14287	Source	0.020	9 809
25	14000176	Frénouville	14287	La Petite Rivière	0.017	8 717
25	14000276	Janville	14344	Canal Oursin (Le)	0.007	3 626
25	14000278	Janville	14344	Muance (La)	0.008	3 922
25	14000279	Janville	14344	Muance (La)	0.018	8 814
25	14000280	Janville	14344	Muance (La)	0.007	3 623
25	14000281	Janville	14344	Muance (La)	0.024	11 775
25	14000447	Saint-Pair	14640	Fossé	0.021	10 275
25	14000448	Saint-Pair	14640	Infiltration	0.008	4 122
25	14000449	Saint-Pair	14640	Cours Janville (Canal)	0.019	9 582
25	14000452	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Muance (La)	0.043	21 512
25	14000457	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Fossé	0.015	7 542
25	14000458	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Muance (La)	0.010	5 126
25	14000461	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651	Rivière "la Tranchée"	0.017	8 343
25	14000471	Saint-Pierre-du-Jonquet	14651		0.023	11 451
25	14000566	Vimont	14761	Canal Oursin (Le)	0.031	15 423
25	14000567	Vimont	14761	Fossé	0.064	31 793
25	14000568	Vimont	14761	Semillon (Le)	0.051	25 566
25	14000569	Vimont	14761	Canaux	0.076	37 947
25	14000570	Vimont	14761	Canal Oursin (Le)-Semillon (Le)	0.042	20 998
25	14000571	Vimont	14761	Canal Oursin (Le)	0.067	33 304
25	14000572	Vimont	14761	Semillon (Le)	0.009	4 376
25	14000573	Vimont	14761	Semillon (Le)	0.010	4 942
25	14000574	Vimont	14761	Canal Oursin (Le)-Semillon (Le)	0.038	18 796
25	14000575	Vimont	14761	Canal Oursin (Le)-Semillon (Le)	0.040	19 993
55	14000217	Graye-sur-Mer	14318	Pompage	0.004	2 028
55	14000218	Graye-sur-Mer	14318		0.008	3 752
55	14000220	Graye-sur-Mer	14318	Fossé	0.008	4 193
55	14000221	Graye-sur-Mer	14318	Autre (Ruisellement des Marais)	0.017	8 608
55	14000222	Graye-sur-Mer	14318	Nappe	0.026	12 887
55	14000223	Graye-sur-Mer	14318	Fossé	0.020	10 073
55	14000224	Graye-sur-Mer	14318	Fossé	0.015	7 699
55	14000227	Graye-sur-Mer	14318	Fossé	0.019	9 383
55	14000306	Meuvaines	14430	Roule Crotte (Le)	0.063	31 635
55	14000309	Meuvaines	14430	Source	0.132	65 890
55	14000310	Meuvaines	14430	Ruisseau	0.023	11 667
55	14000549	Ver-sur-Mer	14739	Ruisseau	0.006	2 858
55	14000550	Ver-sur-Mer	14739	Fossé (Marais)	0.003	1 607
55	14000551	Ver-sur-Mer	14739	Fossé	0.002	1 036
55	14000552	Ver-sur-Mer	14739	Pompage	0.014	7 011
55	14000553	Ver-sur-Mer	14739	Ruisseau du Marais	0.004	1 857
55	14000555	Ver-sur-Mer	14739	Ruisseau du Marais	0.007	3 293
55	14000556	Ver-sur-Mer	14739	Fossé	0.005	2 250
55	14000557	Ver-sur-Mer	14739	Fossé	0.009	4 585
55	14000559	Ver-sur-Mer	14739	Vannage (ruisseau du Marais)	0.018	9 126
65	14000051	Biéville-Beuville	14068	Dan (Le)	0.016	7 964





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

**Direction régionale de Basse-Normandie**  
CITIS "Odysée", Bât. F, 1er étage  
4, avenue de Cambridge  
14200 - Hérouville-Saint-Clair - France  
Tél. : 02 31 06 66 40