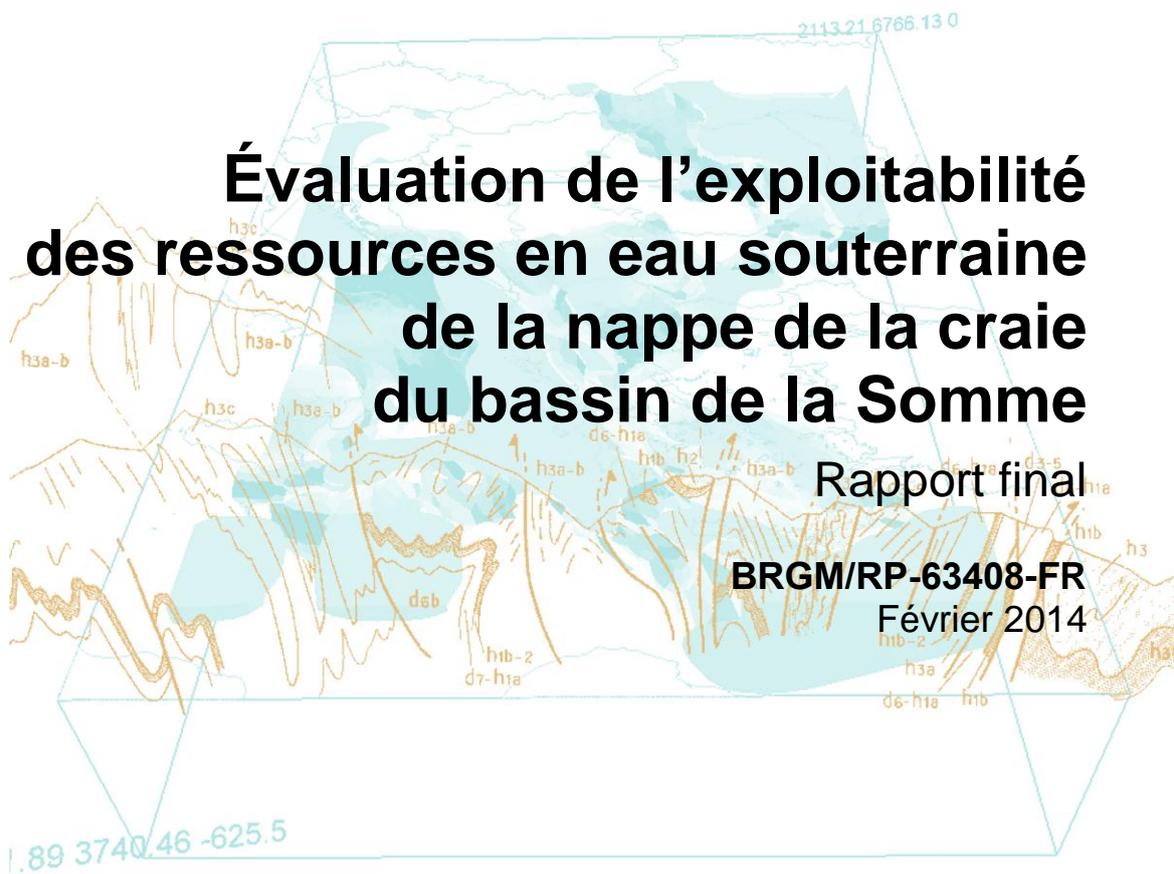


Document public

Document à accès différé  
au 31 mars 2015



# Évaluation de l'exploitabilité des ressources en eau souterraine de la nappe de la craie du bassin de la Somme

Rapport final

BRGM/RP-63408-FR

Février 2014



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



Document public

Document à accès différé  
au 31 mars 2015

# Évaluation de l'exploitabilité des ressources en eau souterraine de la nappe de la craie du bassin de la Somme

Rapport final

**BRGM/RP-63408-FR**

Février 2014

Étude réalisée dans le cadre des opérations (projets)  
de Service public du BRGM 2012-RSE1503

**N. Amraoui, C. Castillo et J-J. Seguin**

**Vérificateur :**

Nom : Y. Barthélemy

Date : 03/04/2014

Signature :



**Approbateur :**

Nom : D. Maton

Date : 17/04/2014

Signature :



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



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# Avertissement

Le tirage initial de ce rapport, en nombre fixé par convention, est diffusé à son commanditaire. Sa communication ultérieure à des tiers est liée à la prise d'une décision administrative formelle à laquelle il concourt, conformément à la loi n° 78-753 du 17 Juillet 1978.

Passé un délai d'une année (31 mars 2015), ce rapport devient communicable à tout tiers extérieur qui en ferait la demande ; le BRGM ne peut plus être tenu comme responsable de l'usage qui pourrait en être fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

**Mots-clés** : nappe de la Craie ; bassin de la Somme, modélisation hydrodynamique, unités de gestion, relation Hauteur/Débit, Impact des prélèvements en nappe, Volumes mobilisables,

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

Amraoui N., Castillo C. et Seguin J-J. (2014) – Evaluation de l'exploitabilité de ressource en eau souterraine de la nappe de la craie du bassin de la Somme. Rapport final BRGM/RP-63408-FR, 196 p., 88 fig., 22 tabl., 4 ann., 1CD.

## Synthèse

Dans le cadre de sa mission d'appui aux politiques publiques, le BRGM a été sollicité par la DREAL Picardie pour évaluer l'exploitabilité de la ressource en eau souterraine de la nappe de la craie de la Somme afin de mieux anticiper et gérer les situations de crise en matière de sécheresse.

La présente étude vise, à travers l'utilisation du modèle maillé du bassin de la Somme élaboré en 2005 pour simuler les hautes eaux de la Somme, 1) à mieux comprendre les interactions entre la nappe de la craie et le débit des cours d'eau qui la drainent 2) à évaluer l'impact des prélèvements en nappe sur les débits d'étiage des cours d'eau et 3) à quantifier pour chaque sous bassin le volume mobilisable permettant de préserver les usages et le bon fonctionnement des milieux aquatiques.

L'étude a été réalisée en 3 phases :

- Phase 1 : Acquisition des données sur la période (2006-2012) et intégration dans le modèle hydrodynamique de la Somme pour son actualisation ;
- Phase 2 : Vérification de la validité du modèle sur la période d'actualisation et amélioration de sa représentativité en périodes d'étiage sur la période 1989-2012 (soit 23 ans) ;
- Phase 3 : Exploitation du modèle pour évaluer l'impact des prélèvements en nappe sur les cours d'eau et quantifier le volume mobilisable par unité de gestion.

Le modèle maillé de la Somme, actualisé jusqu'en 2012, a été calibré pour mieux reproduire les étiages sur la période 1989-2012. À cette fin, 56 chroniques piézométriques et 14 chroniques de débit de cours d'eau ont été utilisées pour contrôler la qualité du calage du modèle. Le modèle calé reproduit de manière satisfaisante les niveaux de nappe et les débits de cours d'eau dans la plupart des sous-bassins de la Somme.

Sur la base d'une analyse du comportement hydrogéologique de la nappe, d'une part, et de l'examen des prélèvements réalisés sur le bassin, d'autre part, un découpage du bassin de la Somme en sept unités de gestion a été opéré : « Somme amont », « Ancre », « Avre », « Selle », « Nièvre-Hallue », « Somme aval » et « Maye ». Des couples piézomètre/station de jaugeage ont été proposés. Par ailleurs, des relations hauteur de nappe / débit de cours d'eau ont pu être déterminées pour les unités « Ancre », « Nièvre-Hallue » et « Maye ». Sur les autres unités, il n'existe pas de relation univoque entre la hauteur de la nappe et le débit du cours d'eau.

Les résultats des simulations réalisées pour évaluer l'impact des prélèvements dans la nappe sur le débit d'étiage montrent que les cours d'eau les plus impactés sont l'Avre, la Somme amont et l'Hallue. Les baisses de débit liées aux prélèvements dans les forages d'irrigation situés à moins d'un km de la rivière ont été évaluées pour la configuration de prélèvement de l'année 2005.

Les volumes mobilisables ont pu être évalués pour les unités « Maye », « Ancre » « Somme amont ». En revanche, il n'a pas été possible de quantifier ces volumes pour les unités de

gestion de la Selle et de la Nièvre-Hallue du fait que les prélèvements se situent en aval de la station et n'ont pas d'influence sur le franchissement<sup>1</sup> du DOB (Débit d'Objectif Biologique).

---

<sup>1</sup> On entend par franchissement – ou dépassement – du DOB un franchissement à la baisse, c'est-à-dire que le débit de la rivière devient inférieur au DOB (ou au débit seuil de référence de façon plus générale). Cette acception est valable pour l'ensemble du rapport.

## Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>13</b>
1.1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE.....	13
1.2. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	14
<b>2. Contexte géologique/hydrogéologique et description du modèle des hautes eaux de la Somme.....</b>	<b>15</b>
2.1. RAPPEL DU CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE .....	15
2.1.1. Contexte géologique .....	15
2.1.2. Contexte hydrogéologique .....	16
2.2. DESCRIPTION DU MODÈLE MAILLÉ DU BASSIN DE LA SOMME .....	17
<b>3. Actualisation et calage du modèle des hautes eaux de la Somme .....</b>	<b>19</b>
3.1. EXTENSION DU MODÈLE MAILLÉ VERS LE NORD-OUEST .....	19
3.1.1. Géométrie de l'aquifère dans le Marquenterre .....	19
3.1.2. Réseau hydrographique du Marquenterre.....	19
3.1.3. Distribution des précipitations : zones de pluie.....	20
3.1.4. Distribution initiale des perméabilités et des coefficients d'emmagasinement	20
3.2. ACQUISITION DES DONNÉES ET INTÉGRATION DANS LE MODÈLE .....	25
3.2.1. Données hydroclimatiques.....	25
3.2.2. Données de prélèvement dans la nappe et dans les cours d'eau.....	25
3.2.3. Informations sur les rejets des stations d'épuration.....	27
3.2.4. Informations sur les piscicultures (non intégrées) .....	27
3.2.5. Données piézométriques et débits dans les rivières.....	27
3.3. ACTUALISATION DU MODÈLE DE LA SOMME SUR LA PÉRIODE 2006-2012 ET AMÉLIORATION LOCALE DE SA REPRESENTATIVITÉ .....	32
3.3.1. Reprise de la calibration du modèle sur la période 1989-2012.....	33
3.3.2. Résultats du calage .....	35
<b>4. Exploitation du modèle .....</b>	<b>45</b>
4.1. RÉVISION DU DÉCOUPAGE SECTORIEL EN UNITÉS DE GESTION.....	45
4.1.1. Analyse du comportement hydrogéologique de la nappe.....	45
4.1.2. Analyse des prélèvements effectués dans le bassin .....	51
4.1.3. Localisation des stations de mesure .....	58
4.1.4. Nouveau découpage sectoriel proposé .....	59
4.1.5. Nouveaux couples piézomètre/station de référence proposés .....	62

4.1.6. Découpage et stations retenus en concertation avec le COPIL.....	68
4.2. RELATION HAUTEUR DE NAPPE/DÉBIT DE COURS D'EAU .....	71
4.2.1. Présentation de la démarche, et mise en œuvre sur deux unités de gestion	72
4.2.2. Bilan sur les relations H/Q déterminées .....	75
4.3. ÉTUDE DE L'IMPACT DES PRÉLÈVEMENTS EN NAPPE SUR LE DÉBIT DES COURS D'EAU DU BASSIN DE LA SOMME .....	80
4.3.1. Impact des prélèvements actuels dans la nappe.....	80
4.3.2. Impact des prélèvements agricoles situés à moins d'un km des cours d'eau	85
4.4. ÉVALUATION DES VOLUMES MOBILISABLES PAR UNITÉ DE GESTION ..	88
4.4.1. Méthodologie utilisée : principe et mise en œuvre.....	88
4.4.2. Application aux unités de gestion retenues pour le bassin de la Somme	89
4.4.3. Définition des scénarios climatiques : année moyenne et année quinquennale sèche .....	92
4.4.4. Estimation des volumes mobilisables par unité de gestion.....	102
<b>5. Conclusions.....</b>	<b>125</b>
<b>6. Bibliographie .....</b>	<b>127</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition mensuelle des prélèvements agricoles prise en compte dans le modèle pour le Santerre (à gauche) et le Ponthieu (à droite) .....	26
Tableau 2 : Nombre de forages agricoles situés à moins d'un km de la rivière, et volume total prélevé dans ces forages par unité de gestion.....	87
Tableau 3 : Baisse du débit d'étiage (année 2005) induite par les prélèvements dans les forages d'irrigation situés à moins d'un km de la Somme et des ses principaux affluents pour les deux configurations étudiées. ....	88
Tableau 4 : Baisse du débit d'étiage de la Somme et des ses principaux affluents induite par les prélèvements en nappe tous usages confondus, et part des prélèvements dans les forages d'irrigation à l'étiage 2005.....	88
Tableau 5 : Volumes (m3) prélevés annuellement à la nappe sur la période 1999-2010 dans le bassin de la Somme .....	92
Tableau 6 : Synthèse des DOB proposés par sous-bassins (Source : étude AMEVA – Avril 2013) .....	92
Tableau 7 : Caractéristiques statistiques des 8 stations pluviométriques utilisées dans le modèle	93
Tableau 8 : Moyenne mensuelle interannuelle des précipitations par station (les douze lignes correspondent aux mois de janvier, février, mars, ...décembre).....	94
Tableau 9 : Volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage dans l'unité de gestion Avre .....	103
Tableau 10 : Franchissement simulé des différents seuils de l'Avre à Moreuil. ....	105

Tableau 11 : Franchissement simulé des différents seuils de l'Avre à Moreuil (avec débits corrigés des écarts observation/simulation) .....	106
Tableau 12 : Volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage dans l'unité de gestion Selle .....	107
Tableau 13 : Dépassement des différents seuils de la Selle à Plachy .....	109
Tableau 14 : Volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage dans l'unité de gestion Somme amont. ....	110
Tableau 15 : Dépassement calculé des différents seuils de la Somme à Lamotte-Brebière....	112
Tableau 16 : Volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage dans l'unité de gestion Ancre .....	113
Tableau 17 : Dépassements calculés des différents seuils de l'Ancre à Bonnay. ....	115
Tableau 18 : Volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage dans l'unité de gestion Nièvre-Hallue. ....	116
Tableau 19 : Dépassements calculés des différents seuils de l'Hallue à Bavelincourt .....	119
Tableau 20 : Dépassements calculés des différents seuils de la Nièvre à l'Étoile .....	120
Tableau 21: Volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage dans l'unité de gestion Maye.....	121
Tableau 22 : Dépassements calculés des différents seuils de la Maye à Arry .....	123

## Liste des figures

Figure 1 : Extension du modèle hydrodynamique du Bassin de la Somme.....	17
Figure 2 : Carte topographique du modèle Somme et de son extension au Marquenterre (cerclée de rouge).....	21
Figure 3 : Carte du substratum de la nappe de la craie et de son extension au Marquenterre (cerclée de rouge).....	22
Figure 4 : Réseau hydrographique du modèle de la Somme avec son extension au Marquenterre (cerclée de rouge).....	23
Figure 5 : Carte des zones de pluie et position des postes utilisés dans le calcul de la recharge de la nappe .....	24
Figure 6 : Les régions agricoles naturelles de la Somme telles que définies par la Chambre de l'Agriculture de la Somme (extrait du pdf FERME_Somme_2013_01 édité en janvier 2013). La zone cerclée de rouge correspond approximativement au Ponthieu tel que défini dans ce paragraphe .....	26
Figure 7 : Localisation des stations de rejet dans les rivières prises en compte dans le modèle , sur fond topographique .....	28
Figure 8 : Localisation des piscicultures du bassin de la Somme .....	29
Figure 9 : Localisation des piézomètres présents sur le bassin de la Somme. Certains de ces piézomètres ne font actuellement plus l'objet de mesure piézométrique ; c'est le cas par exemple des stations d'Harponville et de Vicogne(La) .....	30
Figure 10 : Localisation des stations hydrométriques présentes dans le bassin de la Somme..	31
Figure 11 : Dérive du modèle sur la période d'actualisation (exemple du débit calculé dans l'Avre, à gauche) et mauvaise restitution des basses eaux dans certains secteurs du modèle actualisé (exemple du bassin de la Nièvre, à droite).....	32

Figure 12 : Dérive du modèle sur la période d'actualisation : exemple de niveaux piézométriques simulés dans des piézomètres situés en rive gauche de la Somme .....	32
Figure 13 : Répartition des zones de pluie après calage du modèle et stations pluviométriques utilisées dans le modèle : les couleurs représentent les précipitations moyennes annuelles selon la grille Aurelhy de Météo-France.....	34
Figure 14 : Relation entre les précipitations moyennes fournies par la grille Aurelhy et les précipitations moyennes calculées au droit des postes pluviométriques choisis	34
Figure 15 : Restitution de la piézométrie par le modèle après calage : exemple des piézomètres d'Arry et de Lamotte-Buleux .....	36
Figure 16 : Restitution par le modèle du débit de la Maye à la station d'Arry.....	36
Figure 17 : Restitution de la piézométrie après calage du modèle dans le bassin de la Nièvre (exemple des piézomètres d'Épécamps et de Talmas).....	37
Figure 18 : Débit simulé de la Nièvre à l'Étoile après calage.....	37
Figure 19 : Comparaison des piézométries mesurée et simulée au droit du piézomètre de Senlis-Le-Sec .....	38
Figure 20 : Hallue à Bavelincourt - Comparaison entre débits simulé et observé .....	38
Figure 21 : Comparaison entre les piézométries simulée et mesurée au piézomètre de Flers..	39
Figure 22 : L'Ancre à Bonnay - Comparaison entre débits simulé et mesuré.....	39
Figure 23 : Restitution par le modèle de la piézométrie en Haute-Somme : piézomètres de Hancourt et Vauvillers .....	40
Figure 24 : Restitution par le modèle de la piézométrie dans le Santerre : piézomètres d'Omiécourt et de Liancourt-Fosse .....	40
Figure 25 : Comparaison entre les débits de la Somme simulés et mesurés à Lamotte-Brebière	41
Figure 26 : Comparaison entre les débits de la Somme simulés et mesurés à Abbeville .....	41
Figure 27 : Restitution par le modèle de la piézométrie dans le bassin de l'Avre : piézomètres d'Hangest-en-Santerre et de Damery.....	42
Figure 28 : Comparaison entre les débits simulés et mesurés de l'Avre à Moreuil .....	42
Figure 29 : Restitution par le modèle des baisses brutales du débit en imposant à la rivière des prélèvements artificiels .....	43
Figure 30 : Restitution par le modèle de la piézométrie dans le bassin de la Selle : piézomètres d'Essertaux et d'Équennes-Éramecourt .....	43
Figure 31 : Comparaison des débits simulés et mesurés de la Selle à Plachy .....	44
Figure 32 : Carte des secteurs de gestion de la rareté de l'eau du département de la Somme actuellement en vigueur (d'après l'arrêté-cadre du 26 mars 2012) .....	45
Figure 33 : Limites des entités hydrogéologiques BDRHF-v1 utilisées dans cette étape comme base géographique pour l'analyse des chroniques piézométriques .....	46
Figure 34 : Illustration de la dynamique « à double cycle » de la nappe de la craie. Exemples des chroniques piézométriques de Senlis-le-Sec (rive droite de la Somme) et de Huppy (rive gauche de la Somme).....	47
Figure 35 : Illustration de la différence d'inertie existant entre la rive droite et la rive gauche de la Somme. Exemples des corrélogrammes calculés à partir des niveaux journaliers mesurés au piézomètre de Talmas (rive droite) et au piézomètre de Crèvecoeur-le-Grand (rive gauche). Le coefficient d'autocorrélation (R) des niveaux au piézomètre de Talmas décroît rapidement et n'est plus que de 0,48 au bout de 3 mois, tandis qu'au piézomètre de Crèvecoeur-le-Grand il diminue lentement et vaut encore 0,63 au bout de 15 mois. ....	48

Figure 36 : Carte piézométrique Basses Eaux de 2005.....	50
Figure 37 : Évolution des volumes prélevés dans la nappe de la craie par type d'usage sur la période 1989-2010.....	51
Figure 38 : Répartition des volumes prélevés dans la nappe de la craie – Exemple de l'année 2005 .....	52
Figure 39 : Evolution des volumes prélevés en rivière par type d'usage sur la période 1989-2009 .....	53
Figure 40 : Distribution des volumes prélevés dans les cours d'eau du département de la Somme – Exemple de l'année 2005 .....	54
Figure 41 : Rabattements induits par les prélèvements tous usages confondus dans la nappe de la Somme.....	56
Figure 42 : Rabattements induits par les prélèvements à usage agricole dans la nappe de la Somme .....	57
Figure 43 : Localisation des piézomètres de référence sur le bassin de la Somme. Certains de ces piézomètres ne font actuellement plus l'objet de mesure piézométrique, c'est le cas par exemple des stations d'Harponville et de Vicogne(La). Le découpage du bassin en unités de gestion doit en tenir compte.....	58
Figure 44 : Localisation des stations hydrométriques en activité dans le bassin de la Somme .	59
Figure 45 : Nouvelle proposition de découpage du bassin de la Somme en unités de gestion .	60
Figure 46 : Superposition de la nouvelle proposition de découpage du bassin en unités de gestion et de « la carte d'impact » des prélèvements tous usages confondus sur les niveaux de la nappe .....	61
Figure 47 : Fluctuations des niveaux piézométriques aux stations de Vicogne(La), Épécamps, Talmas et Longvillers – unité de gestion de la Nièvre .....	63
Figure 48 : Fluctuations des niveaux piézométriques aux stations d'Epecams et de Talmas, et débits de la Nièvre à l'Étoile .....	64
Figure 49 : Corrélogramme croisé des niveaux piézométriques à Talmas et des débits de la Nièvre à l'Étoile .....	65
Figure 50 : Couples piézomètre/station hydrométrique de référence choisis pour chacune des unités de gestion proposées .....	66
Figure 51 : Réseau des stations sécheresse de la Somme (d'après l'arrêté-cadre du 26 mars 2012) .....	67
Figure 52 : Sous-bassins considérés par l'AMEVA pour définir les DOB sur le bassin de la Somme (extrait du rapport de Phase 1 de l'AMEVA, 2012).....	69
Figure 53 : Découpage sectoriel du bassin de la Somme en unités de gestion retenu par le COPIL .....	70
Figure 54 : Utilisations possibles de la relation hauteur de nappe – débit d'étiage du cours d'eau : détermination de seuils piézométriques et prévision à court terme du débit d'étiage. Exemple extrait du guide méthodologique RP-61374-FR pour la détermination des indicateurs piézométriques .....	71
Figure 55 : Détermination de la vitesse de vidange des aquifères. Exemple sur la masse d'eau GH208, extrait du guide méthodologique RP-61374-FR pour la détermination des indicateurs piézométriques .....	72
Figure 56 : Chronique piézométrique de Senlis-le-Sec (en haut) et corrélogramme calculé à partir de ces niveaux journaliers (en bas) .....	73

Figure 57 : Analyses menées sur les débits moyens mensuels de l'Hallue à la station de Bavelincourt (en haut : chronique et corrélogramme associé, en bas : statistiques de base et histogramme) .....	74
Figure 58 : Comparaison des niveaux et des débits, avec en bas un zoom sur des périodes de vidange de la nappe 1989-1993 et 2003-2006. À gauche, unité « Nièvre-Hallue » (piézomètre de Senlis/station de Bavelincourt). À droite, unité de « l'Avre » (piézomètre d'Hangest/station de Moreuil). .....	77
Figure 59 : Mise en relation des débits et des niveaux piézométriques pour l'unité « Nièvre-Hallue » (à gauche) et « Avre » (à droite), avec de haut en bas : à dates communes et à dates communes avec figuration des années en couleur. La courbe rouge est une courbe de tendance tandis que la courbe rose donne les QMNA5 respectifs de l'Hallue à Bavelincourt et de l'Avre à Moreuil. ....	78
Figure 60 : Mise en relation des débits et des niveaux piézométriques pour l'unité « Nièvre-Hallue » (à gauche) et « Avre » (à droite), avec de haut en bas : figuration des mini mensuels uniquement, puis, des mini annuels. La courbe rouge est une courbe de tendance tandis que la courbe rose donne les QMNA5 respectifs de l'Hallue à Bavelincourt et de l'Avre à Moreuil. ....	79
Figure 61 : Influence des prélèvements en nappe sur la baisse du débit de la Maye à Arry (la courbe rouge représente l'influence des prélèvements en nappe tous usages confondus). ....	81
Figure 62 : Influence des prélèvements en nappe sur la baisse du débit de la Nièvre (la courbe rouge représente l'influence des prélèvements en nappe tous usages confondus). ....	82
Figure 63: Influence des prélèvements en nappe sur la baisse du débit de l'Hallue (la courbe rouge représente l'influence des prélèvements en nappe tous usages confondus). ..	82
Figure 64 : Influence des prélèvements en nappe sur la baisse du débit de l'Ancre (la courbe rouge représente l'influence des prélèvements en nappe tous usages confondus). ..	83
Figure 65 : Influence des prélèvements en nappe sur le débit de la Somme canalisée à Lamotte-Brebière (la courbe rouge représente l'influence des prélèvements en nappe tous usages confondus).....	83
Figure 66 : Influence des prélèvements en nappe sur le débit de l'Avre à Moreuil (la courbe rouge représente l'influence des prélèvements en nappe tous usages confondus). ..	84
Figure 67 : Influence des prélèvements en nappe sur le débit de la Selle à Plachy-Buyon (la courbe rouge représente l'influence des prélèvements en nappe tous usages confondus). ....	85
Figure 68 : Localisation des forages d'irrigation situés à moins d'un km de la Somme et de ses affluents (année 2005). ....	86
Figure 69 : Correction des débits simulés par la méthode basée sur les écarts moyens mensuels (a) et par ajustement d'un modèle autorégressif sur les écarts de calage (b) - dans ce dernier cas il s'agit du débit moyen mensuel.....	91
Figure 70 : Comparaison des pluies mensuelles de l'année moyenne (barres colorées) avec les pluies de l'année de référence (barres noires) pour les stations d'Abbeville, Bernaville et Glisy .....	97
Figure 71 : Comparaison des pluies mensuelles de l'année moyenne avec les pluies de l'année de référence pour les stations d'Oisemont, Rouvroy-les-Merles, Pontru, Vron et Morvillers.....	98
Figure 72 : Pluies mensuelles de l'année quinquennale sèche de référence pour les stations d'Abbeville, Bernaville, Glisy et Oisemont .....	99
Figure 73 : Pluies mensuelles de l'année quinquennale sèche de référence pour les stations de Rouvroy-Les-Merles, Pontru, Vron et Morvillers.....	100

Figure 74 : Distribution de l'ETP annuelle à la station d'Abbeville sur la période 1964-2011 ...	101
Figure 75 : Distribution journalière de l'ETP pour l'année moyenne (1996) .....	101
Figure 76 : Evolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 dans l'unité de gestion Avre.....	103
Figure 77 : Évolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 dans l'unité de gestion de la Selle. ....	107
Figure 78 : Débits simulés et observé de la Selle à Plachy, avec correction des écarts moyens mensuels.....	108
Figure 79 : Évolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 dans l'unité de gestion Somme amont.....	110
Figure 80: Débit calculé de la Somme à Lamotte-Brebière corrigé des écarts moyens mensuels	111
Figure 81 : Évolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 dans l'unité de gestion Ancre.....	113
Figure 82 : Débit calculé de l'Ancre à Bonnay corrigé des écarts moyens mensuels .....	114
Figure 83 : Évolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 dans l'unité de gestion Nièvre-Hallue. ....	116
Figure 84 : Évolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 dans le bassin de l'Hallue .....	117
Figure 85 : Débits simulés et observés de l'Hallue à Bavelincourt .....	117
Figure 86 : Débits simulés et observés de la Nièvre à l'Étoile corrigé des écarts moyens mensuels .....	118
Figure 87 : Évolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 dans l'unité de gestion Maye .....	121
Figure 88 : Débits simulés et observés de la Maye à Arry.....	122

## Liste des annexes

Annexe 1 Relations hauteur de nappe/débit de cours d'eau – Résultats obtenus pour les unités « Ancre », « Somme Amont », « Selle » et « Maye ».....	129
Annexe 2 Résultats du calage du modèle sur les niveaux piézométriques et les débits des cours d'eau .....	143
Annexe 3 Précipitations de l'année moyenne, scénarios climatiques et graphiques statistiques	151
Annexe 4 Résultats des scénarios de prélèvement simulés pour évaluer les volumes mobilisables dans les six unités de gestion définies dans le cadre de l'étude .....	167



# 1. Introduction

## 1.1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Dans le département de la Somme, la quasi-totalité de l'alimentation en eau potable est assurée par des captages dans la nappe de la craie, principal aquifère du bassin versant de la Somme. Les prélèvements annuels moyens se situent entre 100 et 150 Mm<sup>3</sup>. Si les besoins industriels sont en régression, l'agriculture sollicite de plus en plus la nappe de la craie. Le développement de l'irrigation, induit par les industries de transformation agroalimentaire pour les cultures légumières, le maïs et les betteraves, a entraîné depuis une dizaine d'années une multiplication des captages dans certains secteurs du bassin de la Somme (par exemple dans le Santerre).

En outre, drainée par le réseau hydrographique du fleuve Somme, la nappe libre de l'aquifère crayeux lui restitue ses réserves régulatrices et lui assure des étiages soutenus. La nappe joue un rôle primordial dans l'alimentation du réseau hydrographique de la Somme. Pourtant, des étiages sévères peuvent exister localement sur des affluents de la Somme. La nappe de la craie et les cours d'eau étant en relation étroite dans le bassin de la Somme, lorsque la nappe est fortement exploitée, l'étiage des cours d'eau peut devenir critique. Ces étiages ont des impacts sur les écosystèmes aquatiques, pouvant aller jusqu'à des mortalités piscicoles anormales ou la dégradation irréversible de zones humides.

Bien que les inondations de 2001 restent dans toutes les mémoires, le bassin versant de la Somme a connu plusieurs périodes de sécheresse (années 1991, 1997, 1998, 2005, 2006 et 2011), qui semblent se renouveler avec une fréquence accrue ces dernières années, entraînant des effets de plus en plus marqués sur les volumes d'eau de nappes disponibles pour les différents usages. Les déficits pluviométriques ont conduit les préfetures à mettre en place des mesures de gestion de l'eau (arrêtés préfectoraux). Bien qu'abondante, la quantité d'eau disponible à partir de la nappe de la craie n'est pas illimitée et des mesures d'économie doivent être prises obligatoirement en période de bas niveau piézométrique

Par ailleurs, suite à la sécheresse printanière de 2011, la Chambre d'Agriculture de la Somme a émis le souhait de mieux connaître l'impact sur les niveaux des cours d'eau et des nappes de mesures d'anticipation susceptibles d'être mises en œuvre sur la Somme et ses affluents (pilotage du niveau des rivières par des ouvrages de retenue, création de bassins de stockage,...).

Pour l'ensemble de ces raisons, les Services de l'État souhaitent disposer d'un outil de suivi et de simulation des étiages pour mieux anticiper et gérer les situations de crise en matière de sécheresse.

Cette situation a conduit la DREAL, en association avec la DDTM 80 et l'AMEVA (structure porteuse du SAGE Haute-Somme et Somme-Aval), à décider la mise en place d'un modèle de simulation des écoulements et d'exploitation de la ressource en eau souterraine du bassin versant de la Somme afin d'améliorer la coexistence d'usages variés de la ressource et le bon fonctionnement des milieux aquatiques.

Dans ce contexte, la DREAL Picardie a sollicité le BRGM pour faire une évaluation de l'exploitabilité de la nappe de la craie dans le bassin versant de la Somme et ses sous-bassins à partir du modèle hydrodynamique maillé de la Somme initialement élaboré avec le logiciel MARTHE pour simuler les hautes eaux dans le bassin versant de la Somme.

Parallèlement, l'AMEVA a conduit une étude visant à une meilleure compréhension de la sensibilité des milieux aquatiques. Les seuils de gestion des débits garantissant un équilibre écologique satisfaisant et un bon état de la ressource en eau de surface ont été définis sous forme de débits objectifs d'étiage (DOE) à l'issue de l'étude AMEVA. Ces seuils de gestion ont été repris dans la présente étude pour déterminer les volumes de prélèvement disponibles dans les nappes souterraines tout en garantissant le bon fonctionnement des milieux aquatiques.

## 1.2. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

La présente étude est basée sur l'utilisation du modèle maillé du bassin de la Somme développé pour simuler les hautes eaux, en particulier les crues de 2001. Elle vise à mieux comprendre les interactions entre la nappe de la craie et le débit des cours d'eau qui la drainent. Elle doit permettre d'évaluer pour chaque sous-bassin le volume mobilisable permettant de préserver les usages et le bon fonctionnement des milieux aquatiques. Elle est déclinée en 3 phases. La première concerne l'acquisition des données et leur intégration dans le modèle des hautes eaux de la Somme en vue de son actualisation. La deuxième porte sur la vérification de la validité du modèle sur sa période d'actualisation (2006-2012) et l'amélioration locale de sa représentativité notamment en périodes d'étiages. La phase 3 est axée sur l'exploitation du modèle notamment pour :

- Réviser le découpage sectoriel en unités de gestion cohérentes au sein du bassin de la Somme ;
- Évaluer l'impact des prélèvements en nappe sur les cours d'eau ;
- Quantifier le volume mobilisable, dans les unités de gestion définies, permettant de respecter le bon état quantitatif garantissant ainsi le bon fonctionnement des milieux aquatiques. Le volume mobilisable est le prélèvement maximal en nappe pour lequel le débit du cours d'eau ne franchit<sup>2</sup> pas le Débit d'Objectif Biologique (DOB) plus d'une année sur cinq en moyenne.

Le rapport présente les principaux résultats de cette étude, avec une première partie consacrée à la description du contexte géologique et hydrogéologique du bassin de la Somme et du modèle maillé des hautes eaux de la Somme développé avec le logiciel MARTHE ; une deuxième partie décrit l'ensemble des données acquises ainsi que l'actualisation et le calage du modèle sur la période 1989-2012 ; la dernière partie est axée sur les résultats de l'exploitation du modèle pour l'étude d'impact des prélèvements en nappe sur le débit de la Somme et ses affluents, et l'estimation du volume mobilisable pour les unités de gestion définies dans le cadre de cette étude.

---

<sup>2</sup> On entend par franchissement – ou dépassement - du DOB un franchissement à la baisse, c'est-à-dire que le débit de la rivière devient inférieur au DOB (ou au débit-seuil de référence). Cette acception est valable pour l'ensemble du rapport.

## 2. Contexte géologique/hydrogéologique et description du modèle des hautes eaux de la Somme

### 2.1. RAPPEL DU CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

#### 2.1.1. Contexte géologique

Le département de la Somme est compris dans l'auréole septentrionale du Crétacé supérieur du Bassin de Paris. La géologie de surface assez simple permet de distinguer les marnes du Turonien inférieur et moyen, les craies du Turonien supérieur et du Sénonien, les sables et les argiles tertiaires ainsi que les alluvions fluviales et les limons de plateau quaternaire. La géologie profonde est assez bien connue grâce à une quarantaine de forages, dont une vingtaine atteint le socle paléozoïque.

La série stratigraphique de l'encaissant de l'aquifère principal de la Somme peut être décrite depuis le **Crétacé supérieur**, c'est-à-dire du bas vers le haut, comme suit :

**Le Cénomani**, constitué essentiellement de craie marneuse, grise, glauconieuse et à silex. Il débute par une assise de faible épaisseur marno-sableuse. Il atteint une puissance de 30 m au droit de la ville d'Amiens.

**Le Turonien inférieur**, composé de marnes, généralement vertes, dont le faciès devient de plus en plus argileux vers la base de la formation.

**Le Turonien moyen**, qui affleure localement dans la vallée de l'Authie et de la Bresle, est composé de marnes grises, parfois bleuâtres ou verdâtres. Ce niveau est généralement connu sous le nom de « Dièves ».

**Le Turonien supérieur**, affleurant dans les vallées de l'Authie, de la Tortille, Cologne et Omignon, se présente sous deux faciès distincts : une craie blanche à gros silex, puis une craie glauconifère, quelquefois phosphatée ;

**Le Sénonien** (Coniacien-Santonien et Campanien), composé d'une craie blanche pauvre en silex.

**Le Tertiaire** apparaît au nord-est du secteur d'étude, recouvrant la craie sénonienne en concordance. Il apparaît également au sud-est du département où la série éocène est formée des sables thanétiens, dits de Bracheux. Ces sables de Bracheux sont recouverts par une couche d'argile sparnacienne.

**Le Quaternaire** est représenté par les alluvions fluviales bien développées dans les grandes vallées humides. Leur épaisseur totale est de 8 à 12 m en amont d'Amiens, et de 12 à 16 m dans la basse vallée.

Les plateaux et fonds de vallées sèches sont couverts de limons argilo-sableux. Ils sont d'une puissance souvent supérieure à 4 m sur les plateaux et disparaissent sur leur bordure.

La distribution spatiale des différentes formations géologiques du bassin a été étudiée et reconstituée dans le cadre de l'étude réalisée par le BRGM en 2002 (Rapport BRGM/RP-51827-FR). Elle couvre :

- Le toit des formations du Turonien inférieur et moyen, ou « Dièves ».
- Le toit des formations crayeuses du Sénonien.
- L'épaisseur du recouvrement de la craie.
- L'extension et l'épaisseur des formations alluvionnaires présentes dans les vallées humides de la Somme et de certains de ses affluents.

### **2.1.2. Contexte hydrogéologique**

L'aquifère de la craie constitue la principale ressource en eau du département de la Somme. Le réservoir de la nappe est constitué par les craies perméables du Turonien supérieur et du Sénonien et, très localement en vallée humide, par les sables et graviers des alluvions anciennes.

Le corps principal de l'aquifère est constitué, de haut en bas, par la craie blanche du Sénonien, puis par la craie grise à gros silex et bancs indurés du Turonien supérieur. L'épaisseur moyenne de la couche argileuse du réservoir est de 60 m.

Le substratum théorique de l'aquifère de la craie est constitué par les marnes et craies marneuses et argileuses du Turonien moyen et inférieur, ou « Dièves ». Son substratum effectif ne correspond, en fait, que rarement au toit des marnes du Turonien moyen proprement dit. Il est plutôt défini par la zone où les fissures et les joints de stratification de la roche crayeuse se ferment en profondeur, induisant une diminution très sensible de la perméabilité verticale et horizontale. Les fissures ouvertes se situent en général dans les 15 à 25 premiers mètres de la partie normalement saturée du réservoir, sauf à quelques exceptions près où on peut traverser, au cœur ou à la base de l'aquifère, des horizons très perméables alternant avec des horizons très peu perméables. En pratique donc, seule la craie fissurée constitue l'aquifère à proprement parlé, la craie sous-jacente compacte constituant l'aquiclude.

Le toit de l'aquifère est formé, tantôt par le sol, dans la partie libre de la nappe, par les faciès argileux du Landénien dans la partie nord-est, ou encore par les formations limoneuses des plateaux.

La nappe de la craie est en continuité hydraulique avec la nappe des alluvions dans la vallée humide de la Somme, ne formant ainsi qu'une seule nappe. Elle est libre sous 95% du territoire départemental, et est localement captive dans des grandes vallées, les bas champs et le Marquenterre sous les alluvions fluviales ou marines argileuses (pour plus de détail sur l'hydrogéologie du bassin la Somme, se référer à l'Atlas hydrogéologique de la Somme).

La nappe de la craie est drainée par les cours d'eau. Selon les saisons, les échanges entre la rivière et la nappe varient : la nappe soutient les débits de la Somme et de ses affluents en période de basses eaux, et contribue jusqu'à 80% du débit de la Somme en période hautes eaux.

## 2.2. DESCRIPTION DU MODÈLE MAILLÉ DU BASSIN DE LA SOMME

Le modèle hydrodynamique du bassin de la Somme s'étend sur une superficie de 7400 km<sup>2</sup> et couvre tout le bassin de la Somme (Somme amont et Somme aval), la moitié sud-ouest du bassin de l'Authie au nord, et la moitié nord-ouest du bassin de la Bresle au sud-ouest. Il est limité par la rivière de l'Authie et les hauteurs du Cambrésis au nord, par le Vermandois à l'est, par les collines du Noyonnais au sud-est, la rivière de la Bresle au sud-ouest, et par la Manche à l'ouest (figure1).

Le modèle hydrodynamique de la nappe de la craie du bassin de la Somme a été développé avec le code de calcul MARTHE du BRGM, la nappe de la craie est modélisée en monocouche avec une grille de calcul de 500m x 500m sauf dans la vallée humide de la Somme où la grille de calcul est de 100m x 100m. Au total, le modèle comporte plus de 66 000 mailles de calcul dont plus de 4500 mailles rivières.

Le modèle simule les écoulements dans la nappe de la craie, les écoulements dans le réseau hydrographique associé, et les interactions entre ces deux systèmes.

Le modèle fonctionne avec un pas de temps journalier pour les calculs hydroclimatiques (calcul du ruissellement et de la recharge) et un pas de temps hebdomadaire pour les écoulements souterrains.

Le bilan hydro-climatique est calculé à partir des données spatialisées de pluie et d'ETP journalières et des paramètres de sol (notamment la réserve utile). L'infiltration (ou recharge) vers la nappe et le flux de ruissellement qui rejoint les cours d'eau sont calculés au pas de temps journalier.

Le modèle prend en compte les prélèvements dans la nappe, tous usages confondus. Il a été calibré sur la période 1989 – 2006 pour inclure dans le processus de calage les principaux états connus du système. Le modèle permet de simuler les évolutions du niveau de la nappe et du débit de la rivière en chaque point du réseau hydrographique.

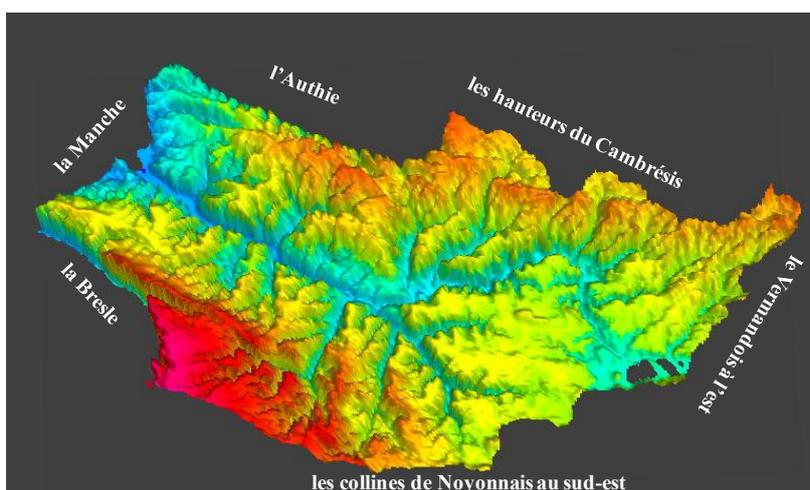


Figure 1 : Extension du modèle hydrodynamique du Bassin de la Somme



### **3. Actualisation et calage du modèle des hautes eaux de la Somme**

Ce chapitre regroupe la phase 1 de l'étude, dédiée à l'acquisition des données nécessaires à l'actualisation du modèle, et la phase 2 sur l'actualisation du modèle de la Somme (la mise à jour des données d'entrée et leur intégration dans le modèle), ainsi que la reprise du calage pour améliorer le modèle en conditions de basses eaux.

#### **3.1. EXTENSION DU MODÈLE MAILLÉ VERS LE NORD-OUEST**

Afin d'évaluer l'influence des prélèvements sur les débits de la Maye et de l'Authie, le modèle a été étendu à la plaine maritime du Marquenterre. Dans le détail, il s'est agi de définir la géométrie du modèle (mur de la craie et surface topographique) et de renseigner différents paramètres (perméabilité, emmagasinement, etc.) dans cette zone du bassin de la Somme.

##### **3.1.1. Géométrie de l'aquifère dans le Marquenterre**

Comme pour le reste du bassin, la topographie du Marquenterre, calculée sur la base du MNT au pas de 50 m, a été moyennée à un pas d'espace de 500 m x 500 m et intégrée dans le modèle. La figure 2 montre la topographie du modèle spatialisé de la Somme avec son extension au Marquenterre (zone cerclée de rouge). Le Marquenterre est une vaste étendue de dunes, de forêts et d'étangs saumâtres ; sa cote topographique moyenne est de 5,9 mètres avec un maximum de 15-16 m à l'ouest du canal de la Retz.

Pour mémoire, le mur effectif du réservoir crayeux ne correspond que rarement au toit des marnes du Turonien moyen proprement dit. Il est plutôt défini par l'horizon où les fissures et les joints de stratification de la roche crayeuse se ferment en profondeur (§ 2). Cependant, les logs de forage de la BSS ne fournissent pas d'information systématique sur l'épaisseur de la zone fissurée de la craie du Sénonien. Le substratum de la craie aquifère a ainsi été estimé pour le Marquenterre à environ - 25 m NGF, en supposant une épaisseur de nappe productive de 25 m sous la cote piézométrique. Une cote uniforme de substratum de - 25 m NGF, parfaitement cohérente avec les informations disponibles dans la BSS (coupes et logs de forage) pour cette zone du bassin a été intégrée dans le modèle. La carte du substratum du modèle avec son extension à l'Ouest est présentée à la Figure 3.

##### **3.1.2. Réseau hydrographique du Marquenterre**

Les réseaux hydrographiques de la Maye et de l'Authie ont été étendus au Marquenterre à partir du MNT à pas de 50 m. Les données suivantes ont donc été renseignées dans chacune des mailles rivière ainsi définies :

- longueur et largeur du tronçon du cours d'eau,
- cote absolue du fil d'eau dans la rivière,
- cote absolue du fond de la rivière,
- épaisseur du lit de la rivière,
- perméabilité du lit de la rivière.

La Figure 4 montre le nouveau réseau hydrographique du modèle de la Somme.

### **3.1.3. Distribution des précipitations : zones de pluie**

Les zones de pluie (ou zones météorologiques) numérotées 1, 3 et 5 dans le modèle et respectivement associées aux stations météorologiques de Vron, Bernaville et Abbeville, ont été étendues au Marquenterre comme illustré sur la Figure 5 (les zones de pluie 1, 3 et 5 apparaissent respectivement en bleu foncé, bleu clair et vert sur cette figure).

### **3.1.4. Distribution initiale des perméabilités et des coefficients d'emmagasinement**

Des valeurs initiales uniformes de  $10^{-3}$  m/s et 9% ont été attribuées respectivement à la perméabilité et au coefficient d'emmagasinement de la craie du Sénonien au droit des vallées et dans les zones limitrophes. Des valeurs de  $10^{-4}$  m/s et de 1% ont été considérées pour définir la perméabilité et le coefficient d'emmagasinement initiaux de la craie ailleurs.

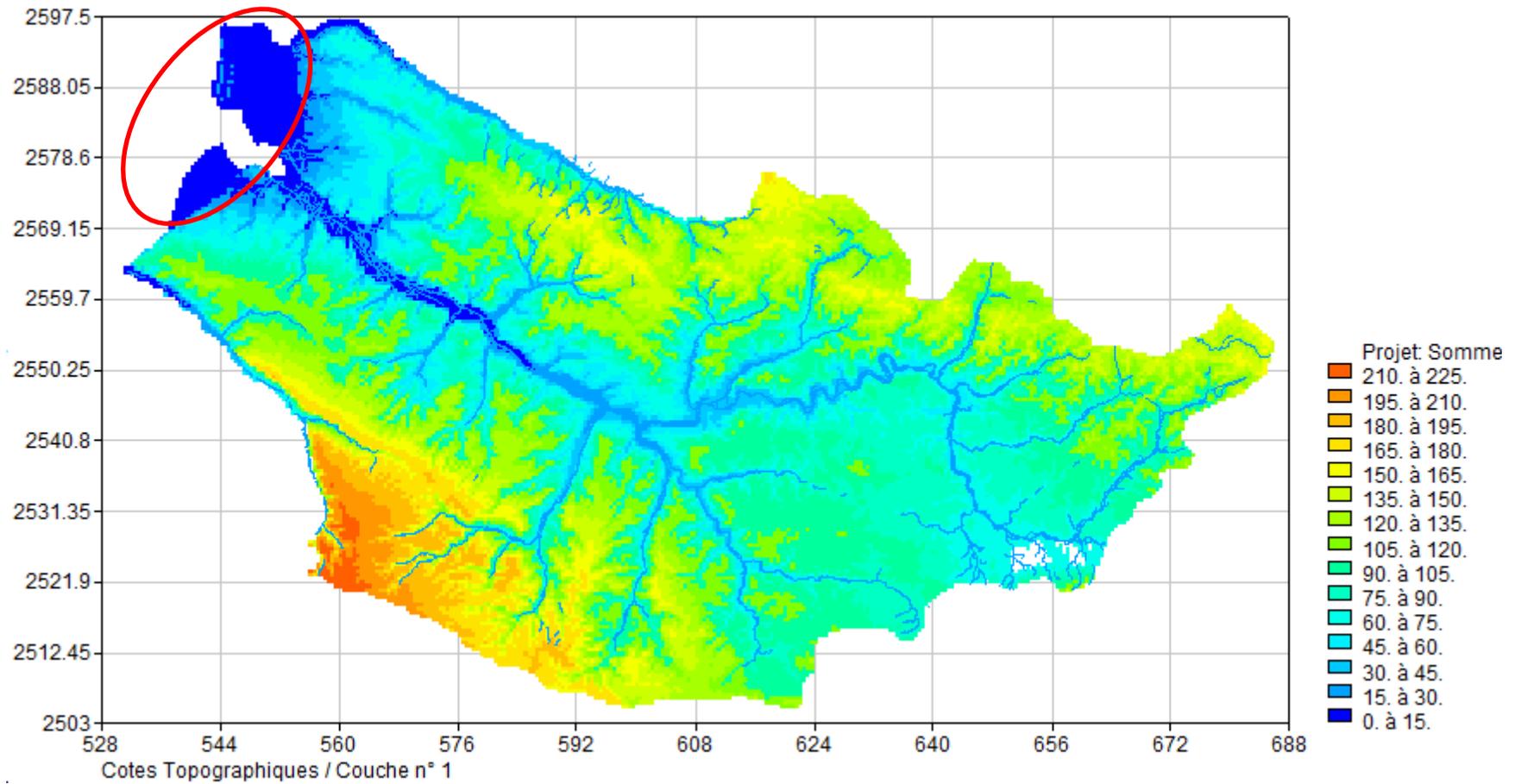


Figure 2 : Carte topographique du modèle Somme et de son extension au Marquenterre (cerclée de rouge)

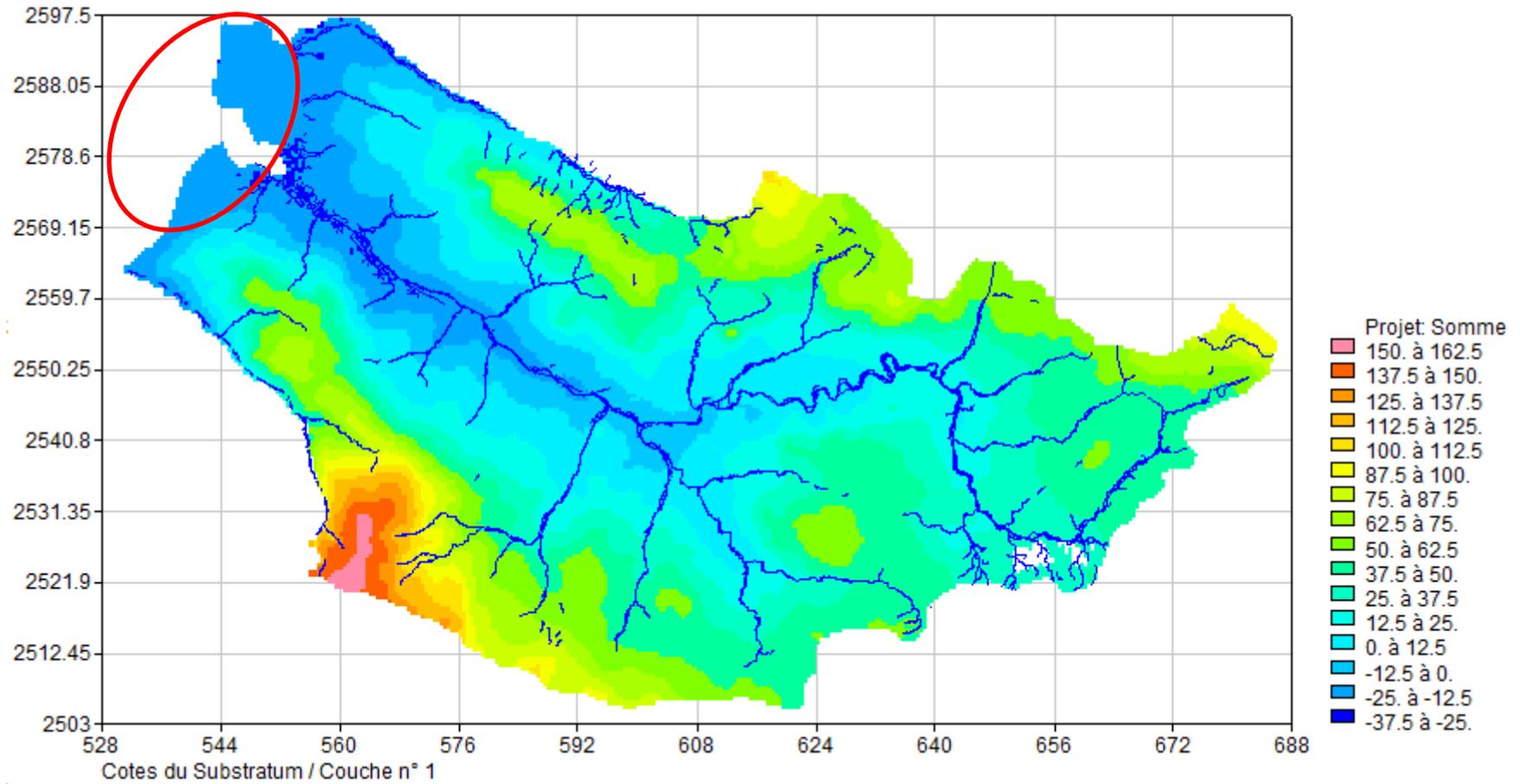


Figure 3 : Carte du substratum de la nappe de la craie et de son extension au Marquenterre (cerclée de rouge)

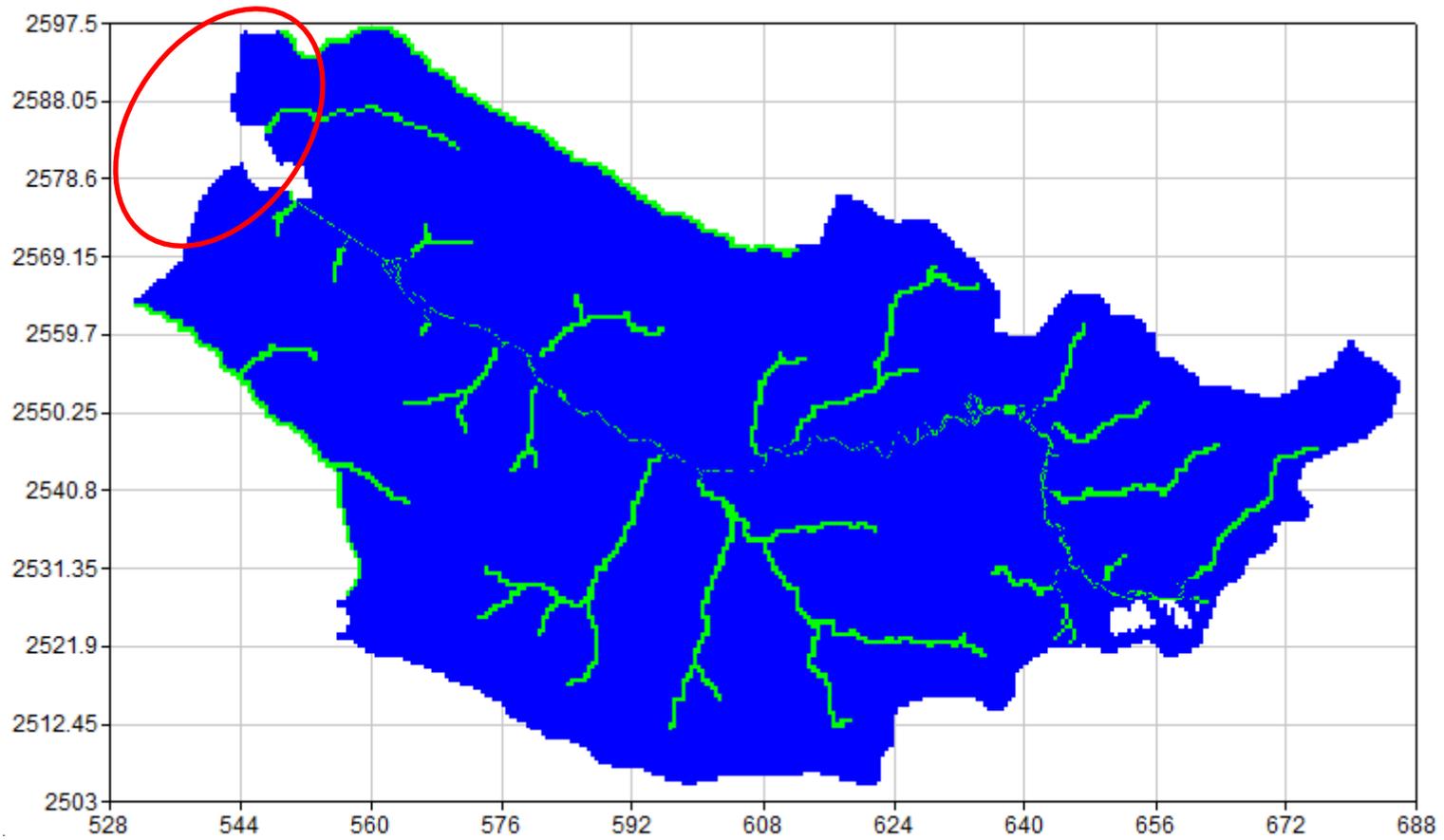


Figure 4 : Réseau hydrographique du modèle de la Somme avec son extension au Marquenterre (cerclée de rouge)

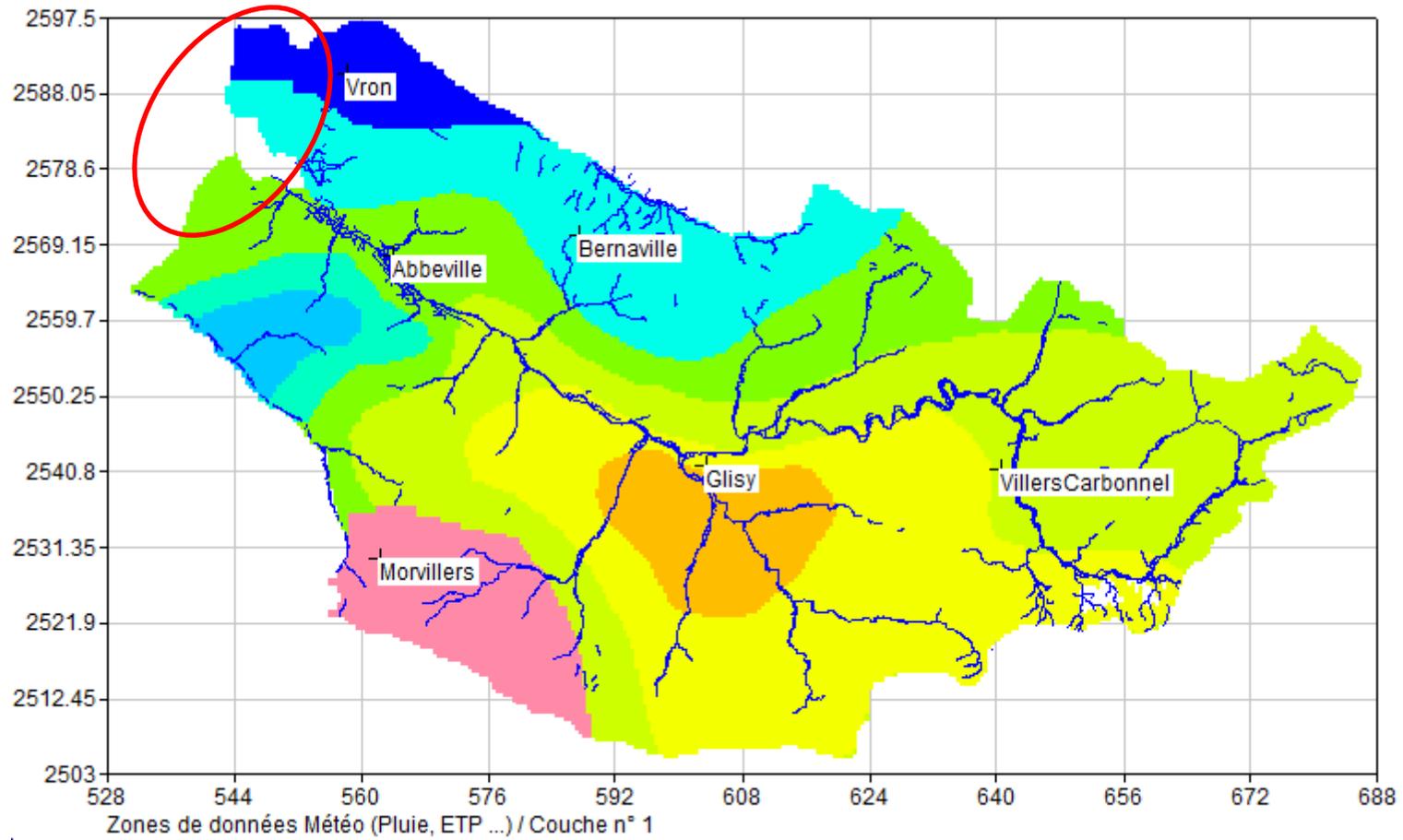


Figure 5 : Carte des zones de pluie et position des postes utilisés dans le calcul de la recharge de la nappe

## **3.2. ACQUISITION DES DONNÉES ET INTÉGRATION DANS LE MODÈLE**

La dernière mise à jour complète du modèle maillé de la Somme date de 2006. Les données présentées ci-dessous ont été donc actualisées sur la période 1989-2012.

### **3.2.1. Données hydroclimatiques**

Les données de pluie journalière utilisées par le modèle ont été actualisées sur la période 1989-2012. Les stations météorologiques concernées par cette actualisation sont les stations de Vron, Glisy, Bernaville, Abbeville, Villers et Morvillers.

Les données d'évapotranspiration potentielle (ETP) à la station d'Abbeville ont également été actualisées sur la période 1989-2012, au pas de temps journalier.

Ces données climatiques ont été obtenues auprès de Météo France.

### **3.2.2. Données de prélèvement dans la nappe et dans les cours d'eau**

Les débits prélevés en cours d'eau et en nappe dans le bassin de la Somme qui sont utilisés dans le modèle ont été actualisés sur la période 1989-2012. Ces données nous ont été fournies par usage (AEP, industrie, irrigation, etc.) par :

- l'Agence de l'Eau Artois-Picardie pour le département de la Somme et la partie du département de l'Aisne située dans le bassin de la Somme ;
- l'Agence de l'Eau Seine-Normandie pour les parties des départements de l'Oise et de la Seine-Normandie situées dans le bassin de la Somme.

Les débits prélevés en 2012 n'étant pas disponibles à la date de réalisation de l'étude, ils ont été supposés identiques à ceux de 2010.

Les volumes annuels prélevés pour l'irrigation ont été répartis mensuellement conformément aux préconisations de la Chambre de l'Agriculture de la Somme. La répartition utilisée dans le modèle est donnée au Tableau 1 pour le Santerre (à gauche) et le Ponthieu (à droite). Il est important de noter ici que la zone géographique définie sous le nom de « Santerre » dans ce paragraphe regroupe les régions naturelles du Santerre, du Plateau Picard, du Vimeu, les 2/3 est du Ponthieu et la partie sud-Somme du Marquenterre telles que définies par la Chambre de l'Agriculture (cf. Figure 6). La zone qualifiée ici de « Ponthieu » et cerclée de rouge dans la Figure 6 ne concerne donc que la partie ouest du Ponthieu et la partie nord-Somme du Marquenterre.

Santerre	1989-2009	2010	2011	2012	1989-2012	Ponthieu
Avril	0	0	0,50	0	Avril	0
Mai	8	9,57	36,27	5,54	Mai	25
Juin	42	5,67	37,44	43,76	Juin	35
Juillet	40	45,24	23,74	43,61	Juillet	25
Aout	8	39,52	2,06	7,09	Aout	13
Septembre	2	0	0	0	Septembre	2

Tableau 1 : Répartition mensuelle des prélèvements agricoles prise en compte dans le modèle pour le Santerre (à gauche) et le Ponthieu (à droite)



Figure 6 : Les régions agricoles naturelles de la Somme telles que définies par la Chambre de l'Agriculture de la Somme (extrait du pdf FERME\_Somme\_2013\_01 édité en janvier 2013). La zone cerclée de rouge correspond approximativement au Ponthieu tel que défini dans ce paragraphe

### **3.2.3. Informations sur les rejets des stations d'épuration (STEP)**

La DDTM80 nous a fourni des informations sur les rejets annuels des STEP (localisation, milieu récepteur, volumes, etc.) pour l'année 2011. Parallèlement, nous avons récupéré les données relatives aux années 2009 et 2010 disponibles sur le site <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/>. On dispose donc, à ce jour, des volumes rejetés dans le bassin de 2009 à 2011.

Directement reliés aux prélèvements, les rejets annuels des STEP sont relativement stables depuis 1989 ; ceci a pu être vérifié à l'aide des données récupérées. Les volumes rejetés en 2009 ont ainsi été supposés représentatifs des volumes restitués au bassin sur la période 1989-2012 et ont été intégrés au modèle.

Seuls les rejets en rivière ont été pris en compte dans le modèle, leur localisation est indiquée à la Figure 7. Le volume d'eau rejeté dans la Somme et ses affluents représente 27.7 millions de m<sup>3</sup>/an.

### **3.2.4. Informations sur les piscicultures (non intégrées)**

La DDPP80 nous a fourni des informations sur les piscicultures présentes dans le bassin de la Somme (localisation, volumes autorisés, etc.). Le bassin de la Somme compte une vingtaine de piscicultures dont deux sont situées dans le bassin de la Maye considéré comme sensible : les piscicultures de Machiel et de Bonnelle. Les volumes prélevés et rejetés par les piscicultures du bassin de la Somme n'ont pas été intégrés dans le modèle pour l'instant, car des incertitudes demeurent sur leurs valeurs et les milieux récepteurs (nappe, rivière, canaux etc.). Un inventaire a été lancé en 2013 par la DDPP80 pour collecter ces informations, de façon à les intégrer à l'avenir. La Figure 8 montre la localisation des piscicultures du bassin de la Somme.

### **3.2.5. Données piézométriques et débits dans les rivières**

L'ensemble des chroniques piézométriques disponibles dans le bassin de la Somme et renseignées, au moins partiellement, sur la période 1989-2012 a été actualisé *via* la banque ADES. Par ailleurs, les chroniques de débit de la Somme et de ses affluents ont été actualisées sur la période 1989-2012 à partir des informations fournies par la DREAL Picardie.

La Figure 9 et la Figure 10 indiquent respectivement la localisation des piézomètres et des stations hydrométriques présentes sur le bassin de la Somme.

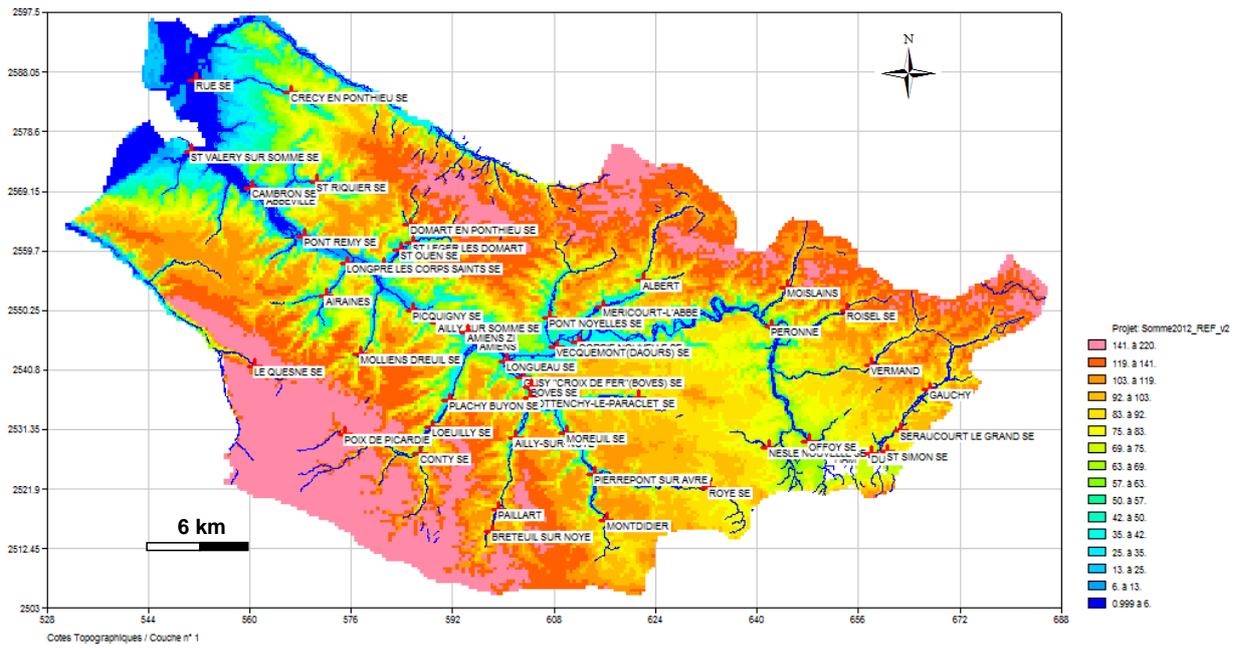


Figure 7 : Localisation des stations de rejet dans les rivières prises en compte dans le modèle , sur fond topographique

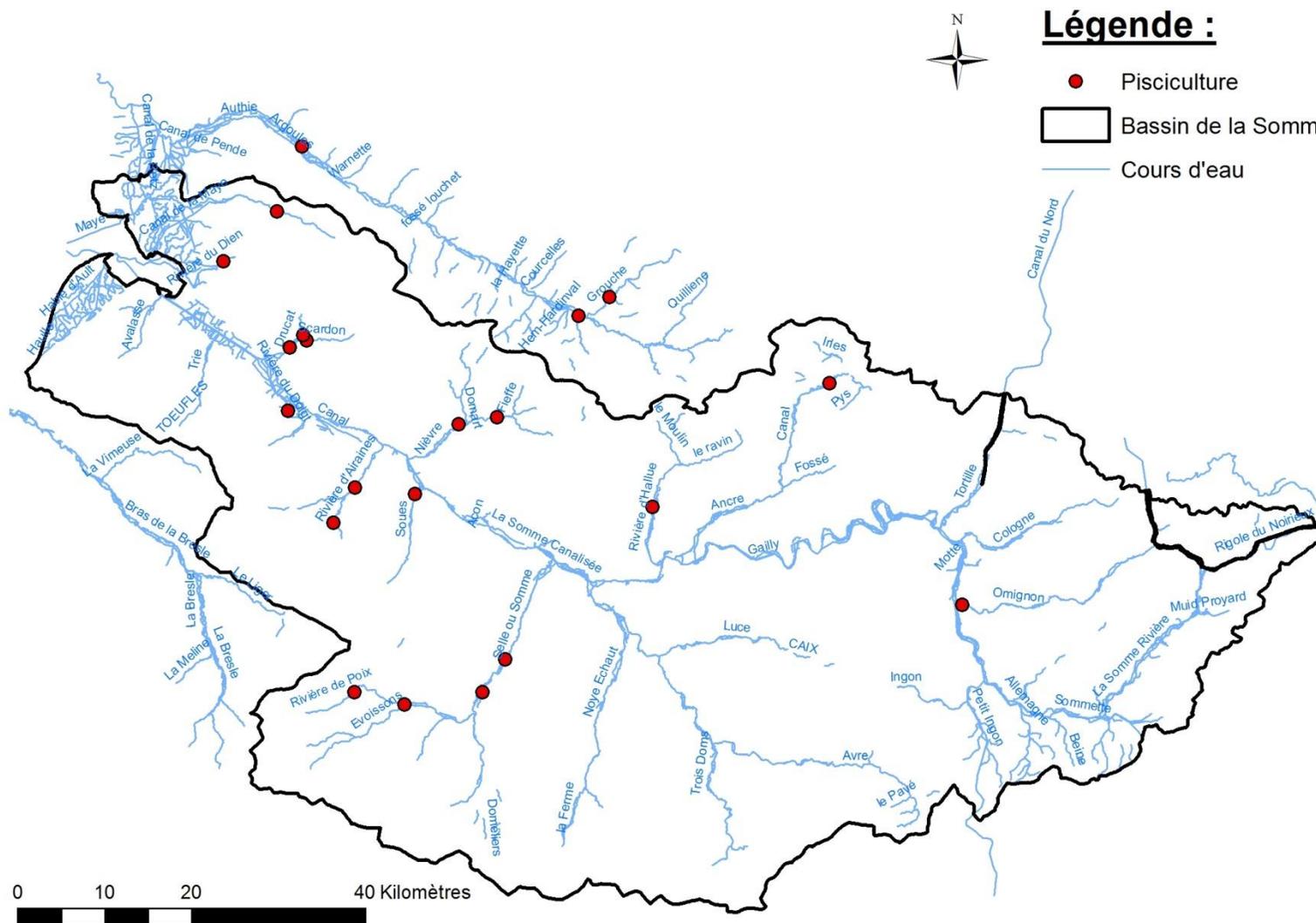


Figure 8 : Localisation des piscicultures du bassin de la Somme

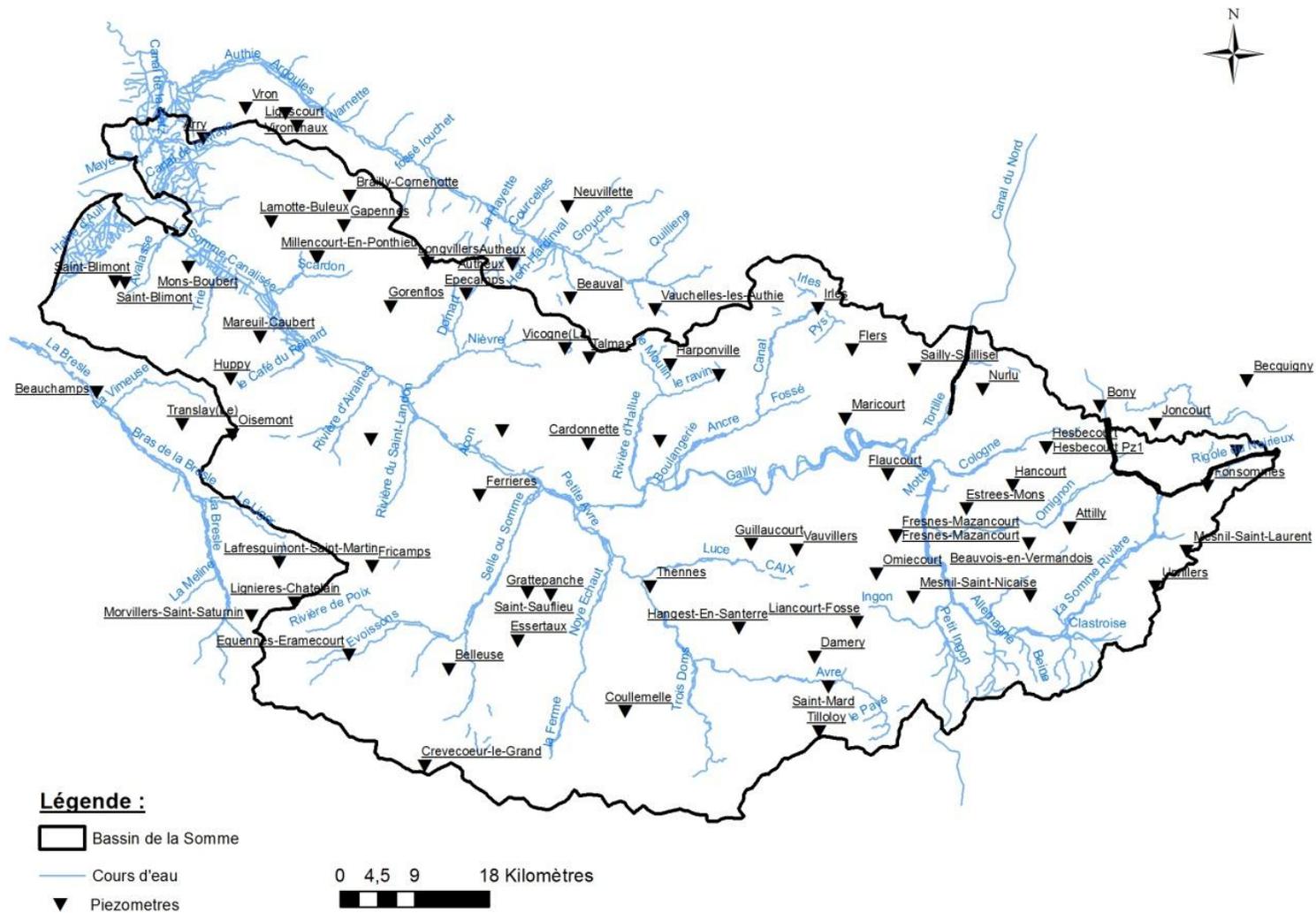


Figure 9 : Localisation des piézomètres présents sur le bassin de la Somme. Certains de ces piézomètres ne font actuellement plus l'objet de mesure piézométrique ; c'est le cas par exemple des stations d'Harponville et de Vicogne(La)

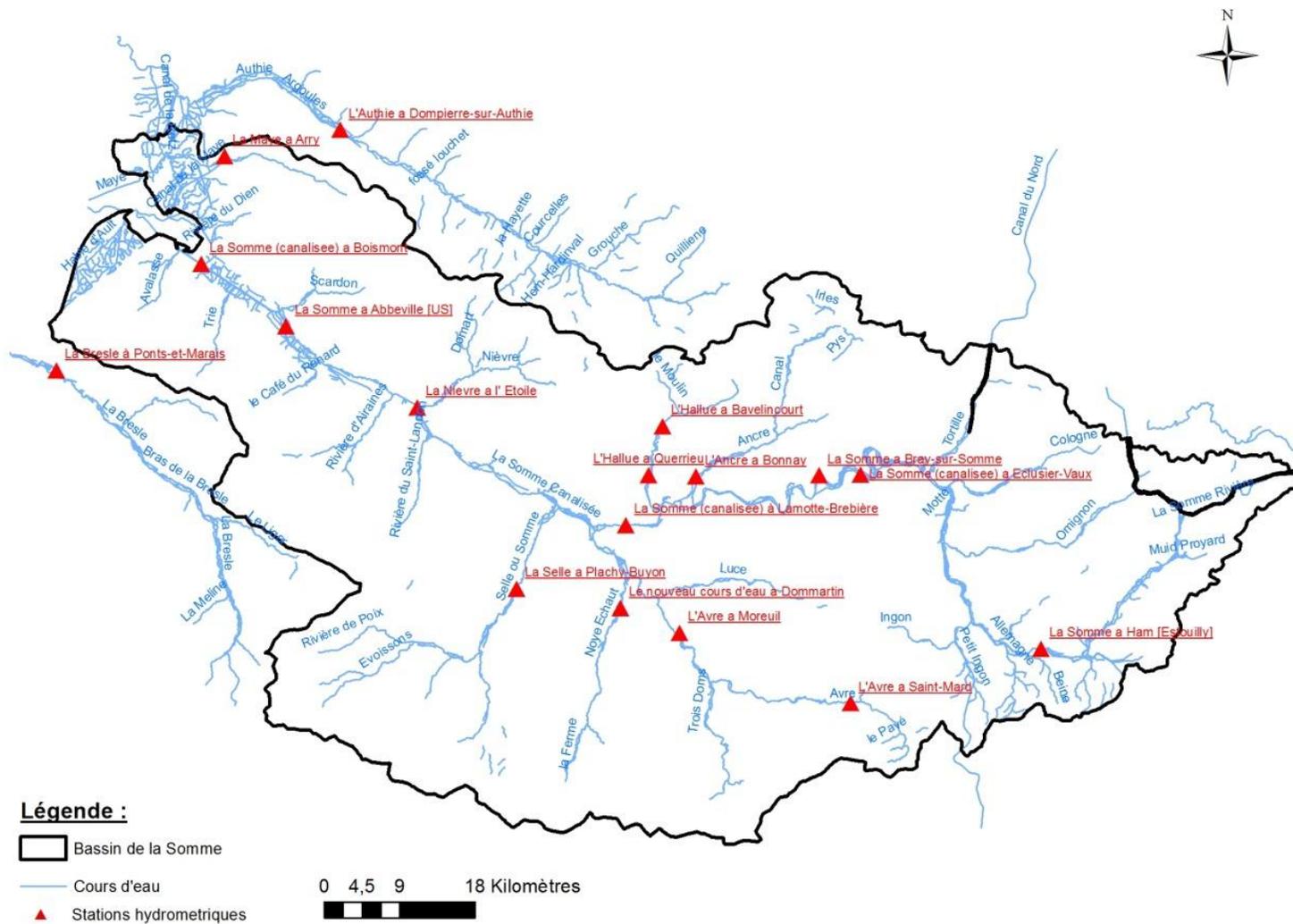


Figure 10 : Localisation des stations hydrométriques présentes dans le bassin de la Somme

### 3.3. ACTUALISATION DU MODÈLE DE LA SOMME SUR LA PÉRIODE 2006-2012 ET AMÉLIORATION LOCALE DE SA REPRESENTATIVITÉ

Le modèle des hautes eaux de la Somme a été actualisé avec les données décrites ci-avant. Une simulation de la période 1989-2012 a été effectuée afin de vérifier la représentativité du modèle sur la période non prise en compte lors de la précédente phase de calage. Cette opération peut permettre de mettre en évidence une éventuelle dérive du modèle pour diverses raisons : schématisation simplifiée de la réalité du système, calage ne prenant pas en compte les extrêmes hydrologiques connus du système, globalisation de certains paramètres (comme la distribution spatiale des pluies), etc.

Pour le modèle des hautes eaux de la Somme, les résultats de la simulation réalisée sur la période 1989-2012 ont montré que le modèle sous-estime, sur la période 2006-2012, les débits des cours d'eau et les niveaux de la nappe dans les bassins situés en rive gauche de la Somme (Figure 11 et Figure 12). Par ailleurs, sur le bassin de la Nièvre, les basses eaux sont mal reproduites, même sur la période initiale de calage du modèle. Le modèle n'ayant pas été calé sur les basses eaux et surtout dans la configuration d'une succession d'années sèches, il est donc nécessaire de reprendre son calage afin d'améliorer sa représentativité.

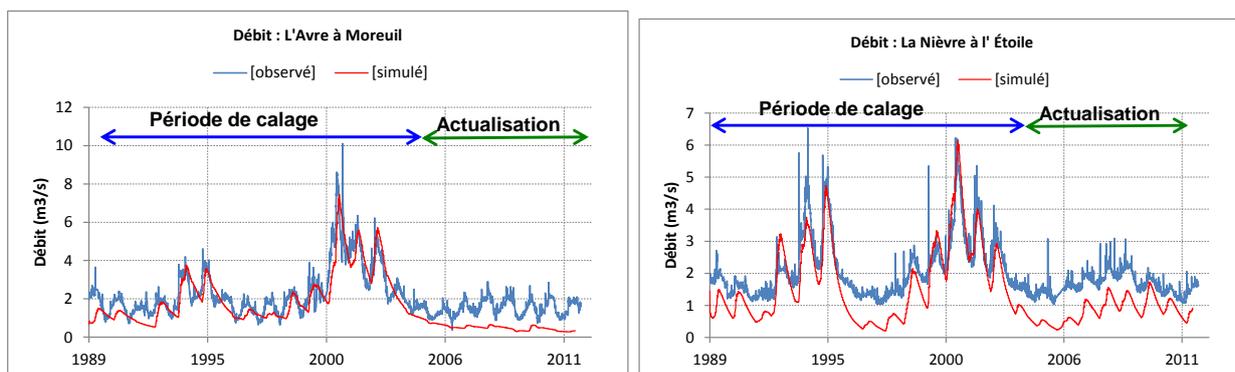


Figure 11 : Dérive du modèle sur la période d'actualisation (exemple du débit calculé dans l'Avre, à gauche) et mauvaise restitution des basses eaux dans certains secteurs du modèle actualisé (exemple du bassin de la Nièvre, à droite)

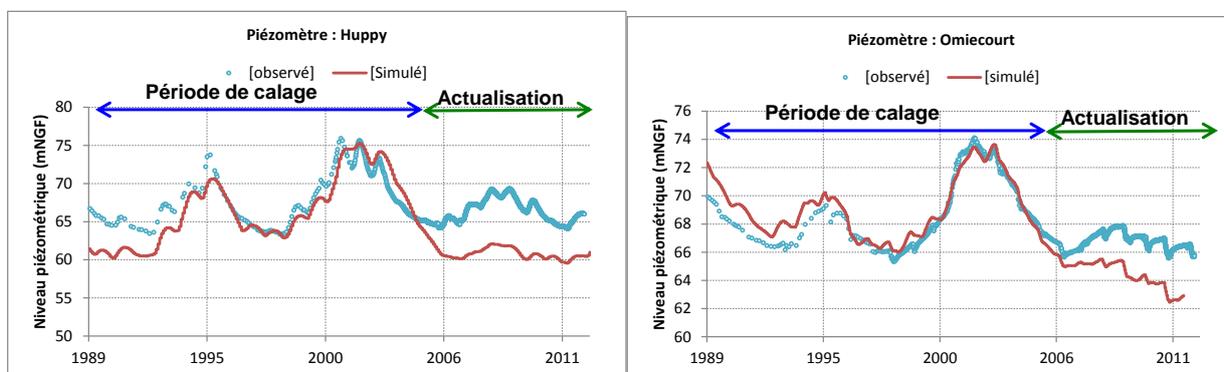


Figure 12 : Dérive du modèle sur la période d'actualisation : exemple de niveaux piézométriques simulés dans des piézomètres situés en rive gauche de la Somme

### 3.3.1. Reprise de la calibration du modèle sur la période 1989-2012

La calibration du modèle sur les basses eaux est indispensable pour pouvoir l'utiliser dans l'estimation des volumes mobilisables garantissant le bon fonctionnement de l'écosystème. La procédure de calage consiste à ajuster les paramètres du modèle afin de reproduire au mieux les débits et les niveaux piézométriques observés respectivement dans les stations hydrométriques de référence et les piézomètres de suivi. La procédure de calage se déroule par essais/erreurs. Les paramètres de calage sont la perméabilité et le coefficient d'emmagasinement de l'aquifère pour les propriétés hydrodynamiques de l'aquifère de la craie, puis l'épaisseur de colmatage et la perméabilité des sédiments du lit de rivière pour les paramètres du réseau hydrographique. La distribution des pluies ainsi que les paramètres qui entrent dans le calcul du bilan hydroclimatique peuvent également faire l'objet d'un calage afin de faire varier les flux de recharge et de ruissellement.

Dans le cas du bassin de la Somme, nous avons repris le calage de la perméabilité et du coefficient d'emmagasinement dans les sous-bassins pour lesquels les basses eaux étaient moins bien simulées par le modèle. Par ailleurs, l'analyse des cumuls de pluie a montré que la dérive du modèle sur les sous-bassins situés en rive gauche de la Somme (Avre, Selle et le Vimeu) était liée à la non représentativité des stations pluviométriques (Glisy et Villers Carbonnel) utilisées dans le modèle des hautes eaux de la Somme pour représenter la distribution des pluies dans ces sous-bassins, dans un contexte de succession de plusieurs années sèches comme celles observées sur la période 2005-2012. À noter que la répartition spatiale des pluies dans le modèle des hautes eaux de la Somme se traduit par des zones homogènes de pluie, chacune d'elles étant associée à un poste pluviométrique représentatif de la zone (cf. Figure 5).

Les zones de pluie ont été affinées sur la base de la grille Aurelhy de Météo-France qui fournit les précipitations moyennes sur la période 1971-2000 en délimitant des plages de 50 mm d'amplitude. Ainsi, en plus de la station de Glisy qui reste représentative d'une petite zone dans le bassin de l'Avre, la station Villers Carbonnel a été remplacée par celle de Pontru et les stations pluviométriques de Rouvroy-les-Merles et d'Oisemont ont été utilisées pour représenter les zones de pluie situées dans le bassin de l'Avre, de la Selle et dans le Vimeu. Les zones de pluie après calage ainsi que les stations utilisées dans le modèle pour le calcul de la recharge sont délimitées sur la Figure 13. La Figure 14 montre que les stations pluviométriques choisies sont représentatives des précipitations moyennes fournies par la grille Aurelhy.

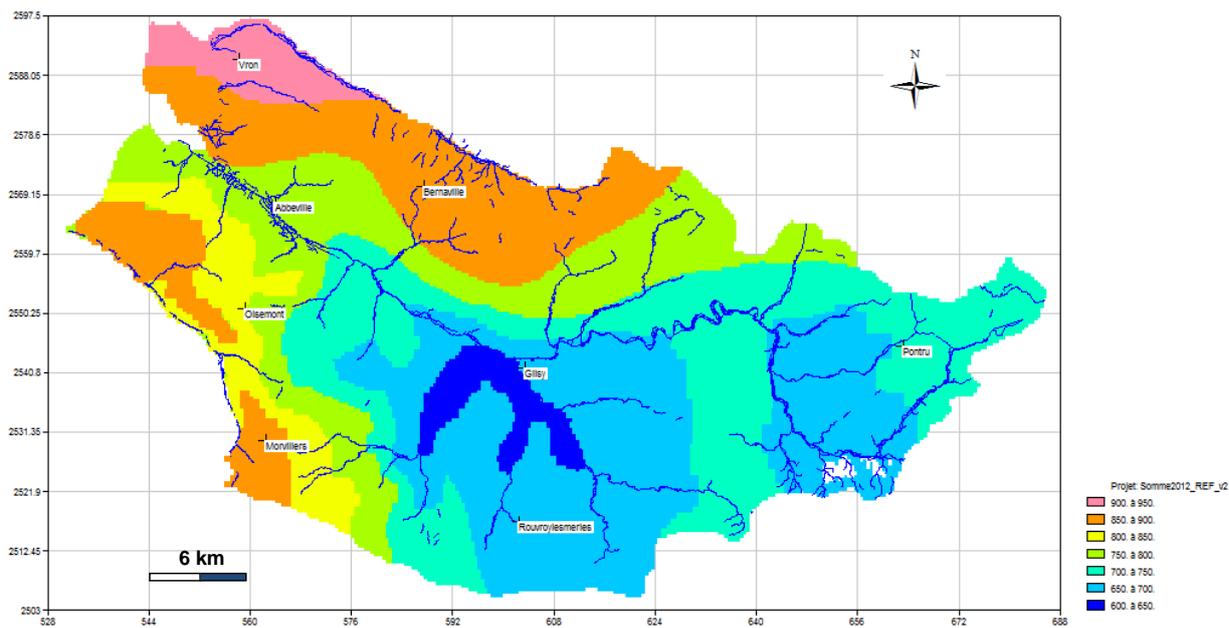


Figure 13 : Répartition des zones de pluie après calage du modèle et stations pluviométriques utilisées dans le modèle : les couleurs représentent les précipitations moyennes annuelles selon la grille Aurelhy de Météo-France

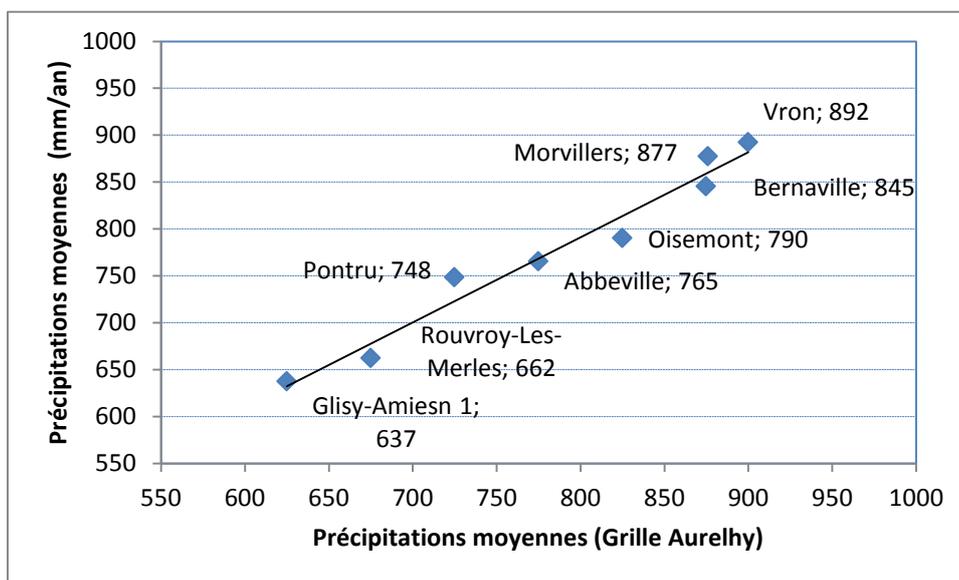


Figure 14 : Relation entre les précipitations moyennes fournies par la grille Aurelhy et les précipitations moyennes calculées au droit des postes pluviométriques choisis

### 3.3.2. Résultats du calage

L'appréciation du calage du modèle en régime transitoire sur la période 1989-2012 s'est faite par bassin sur les niveaux piézométriques et les débits mesurés dans la rivière drainant le bassin hydrogéologique au droit des stations de mesure en comparant les valeurs mesurées à celles simulées par le modèle. Plus de 50 chroniques piézométriques ont été utilisées pour contrôler la représentativité du modèle (Figure 9) et environ 14 stations hydrométriques localisées dans la Somme et ses principaux affluents (Figure 10). Une évaluation du calage des débits simulés par le modèle dans les stations hydrométriques de référence a été faite sur la base d'un calcul du coefficient d'EfficiencE E (ou coefficient de Nash) basé sur les écarts journaliers entre les débits observés et les débits simulés par le modèle. Ce coefficient est donné par :

$$E = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}$$

Avec :

- $O_i$  : la valeur observée à la date  $i$ ,
- $P_i$  : la valeur simulée à la date  $i$ ,
- $\bar{O}$  : la valeur moyenne des observations sur la période d'évaluation.

Pour plus de détails sur l'évaluation de la qualité d'ajustement des modèles hydrologiques et hydro-climatiques, se référer à la publication de Legates and McCabe 1999.

Les graphiques comparant les niveaux de nappe simulés par le modèle à ceux observés dans les piézomètres sont regroupés en annexe 1. Une analyse par bassin de l'état du calage est présentée ci-après.

#### a) Secteur de la Maye, du Scardon et de l'Authie

Sur le Marquenterre, nous ne disposons pas de données piézométriques pour calibrer le modèle. Cependant, sur les bassins de la Maye et du Scardon, et sur la rive gauche de l'Authie, des chroniques piézométriques existent et sont globalement bien restituées par le modèle (cf. exemple en Figure 15). La comparaison entre valeurs observées et simulées par le modèle pour les autres piézomètres est fournie en annexe 2.

La qualité du calage du débit de la Maye à la station d'Arry reste assez moyenne, notamment en hautes eaux, les basses eaux étant relativement mieux restituées (Figure 16). Le coefficient d'EfficiencE calculé sur la période 1993-2011 est de 0.57.

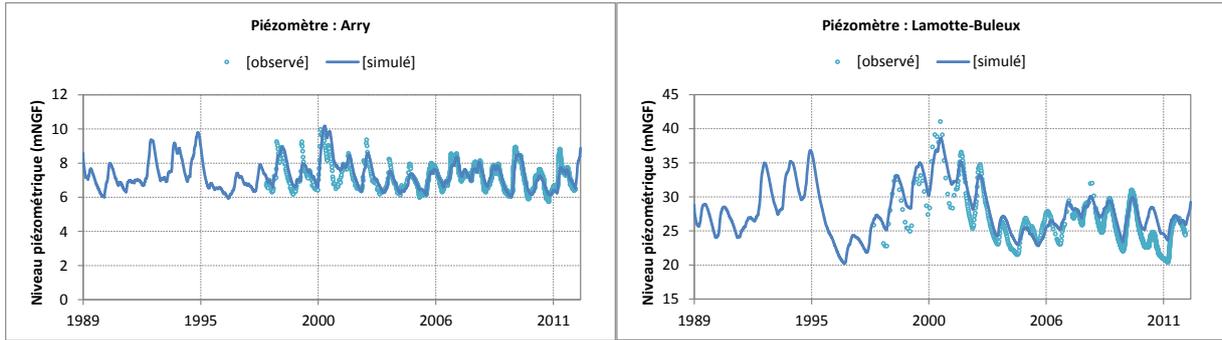


Figure 15 : Restitution de la piézométrie par le modèle après calage : exemple des piézomètres d'Arry et de Lamotte-Buleux

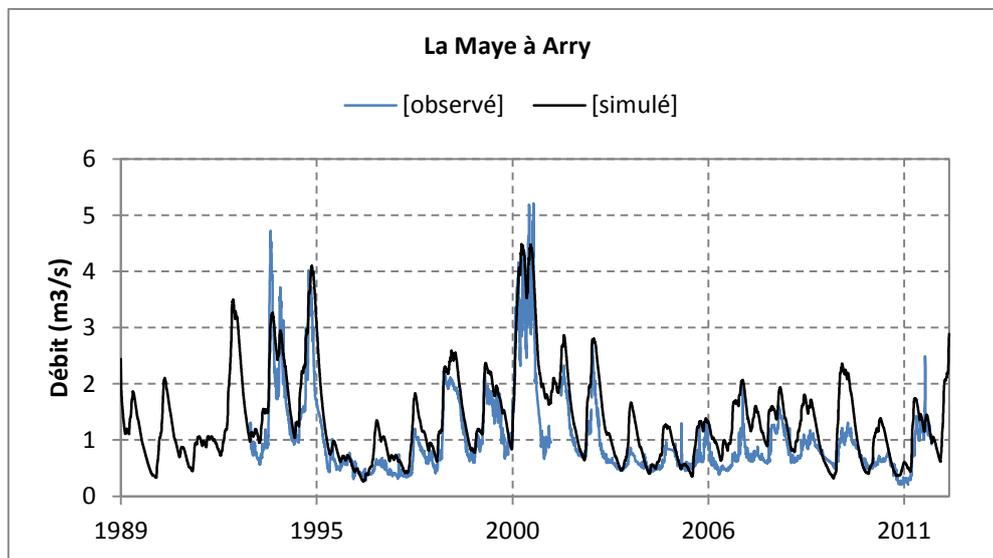


Figure 16 : Restitution par le modèle du débit de la Maye à la station d'Arry.

## b) Bassins de la Nièvre et de l'Hallue

Sur le bassin de la Nièvre, le calage a été nettement amélioré notamment en étiage sur les débits et les niveaux de nappe. En effet, avant cette phase de recalage, le modèle des hautes eaux de la Somme sous-estimait le débit d'étiage de la Nièvre à l'Étoile d'environ  $1\text{ m}^3/\text{s}$  (cf. Figure 11). La Figure 17 montre la superposition des piézométries observée et simulée par le modèle dans deux piézomètres. La charge hydraulique est mieux reproduite sur les moyennes et basses eaux pour la période 2005-2012 ; en revanche, les hautes eaux de 2000 à 2003 sont surestimées.

La comparaison des débits de la Nièvre simulé et mesuré à la station de l'Étoile est présentée à la Figure 18. La qualité du calage est moyenne si on considère l'ensemble de la période, avec un coefficient d'Efficiency de 0.56, néanmoins, sur la période 2003-2012 le modèle reproduit mieux les débits ( $E=0.71$ ). Les basses eaux sont légèrement sous-estimées.

Sur le bassin de l'Hallue, le modèle reproduit de manière satisfaisante aussi bien les niveaux de la nappe que le débit du cours d'eau mesuré aux stations de Bavelincourt et Querrieu (Figure 19, Figure 20 et annexe 2). La qualité du calage du débit est bonne sur la période de simulation (coefficient d'Efficience de 0.8). Elle est meilleure sur la période 2003-2011 (E=0.9).

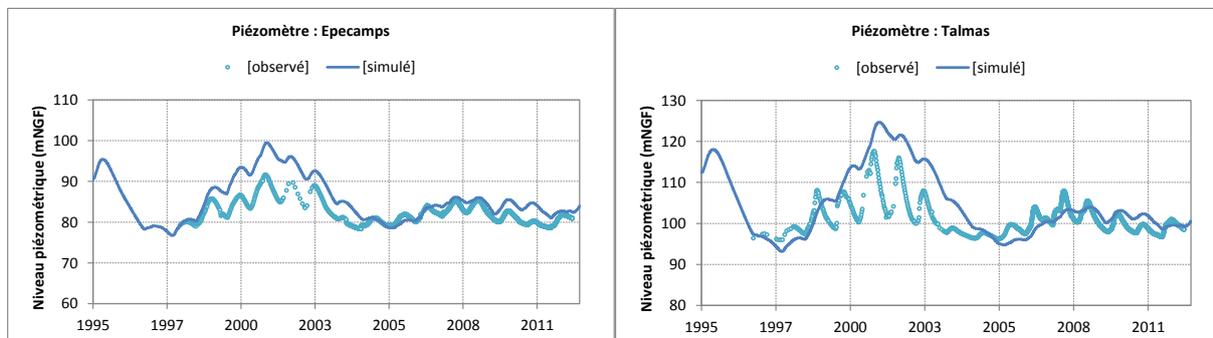


Figure 17 : Restitution de la piézométrie après calage du modèle dans le bassin de la Nièvre (exemple des piézomètres d'Épécamps et de Talmas)

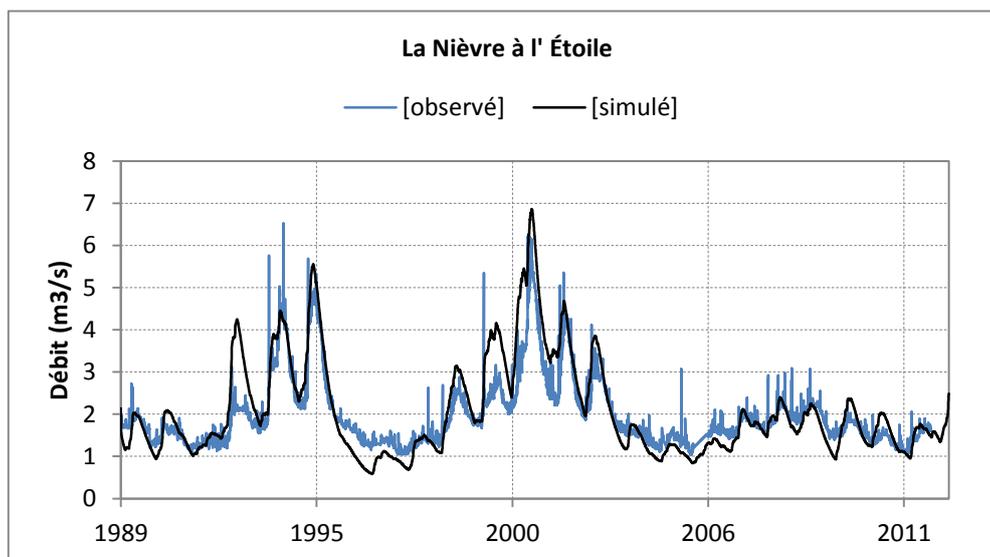


Figure 18 : Débit simulé de la Nièvre à l'Étoile après calage

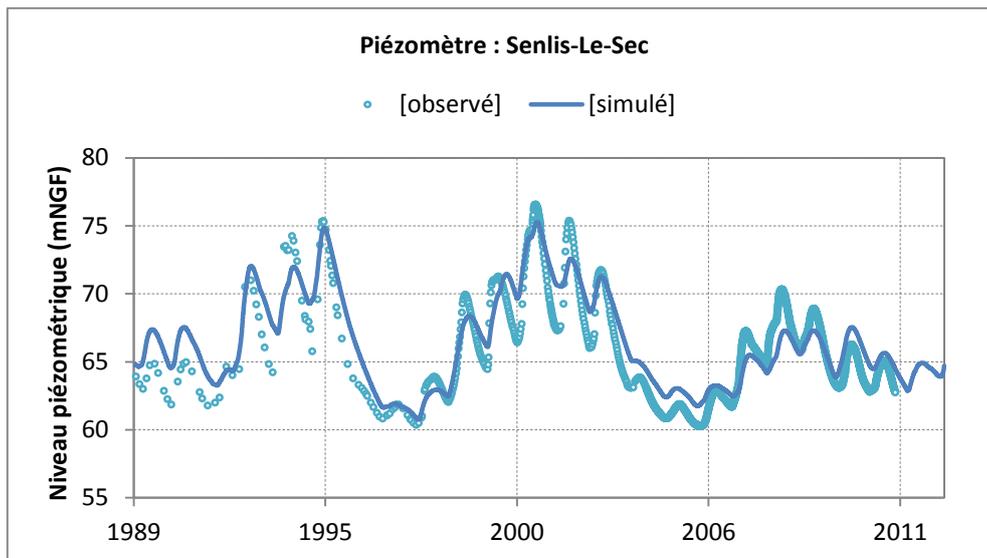


Figure 19 : Comparaison des piézométries mesurée et simulée au droit du piézomètre de Senlis-Le-Sec

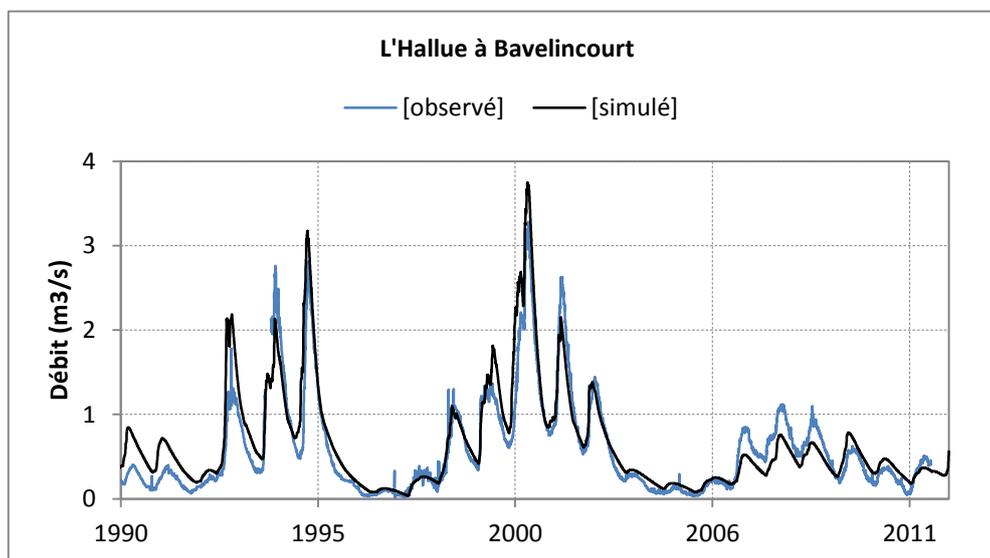


Figure 20 : Hallue à Bavelincourt - Comparaison entre débits simulé et observé

### c) Bassin de L'Ancre

Sur ce bassin, le piézomètre de Flers, assez représentatif du comportement de la nappe, est globalement bien reproduit par le modèle (Figure 21). D'ailleurs, à part le piézomètre Irles qui est proche de la rivière, il n'y a pas d'autres piézomètres dans ce bassin. La comparaison entre les valeurs simulées et observées du débit de l'Ancre à Bonnay est illustrée sur la Figure 22. La qualité du calage est bonne bien que les très basses eaux soient surestimées. Le coefficient d'Efficiéce calculé sur la période de mesure 2002-2011 est de 0.75.

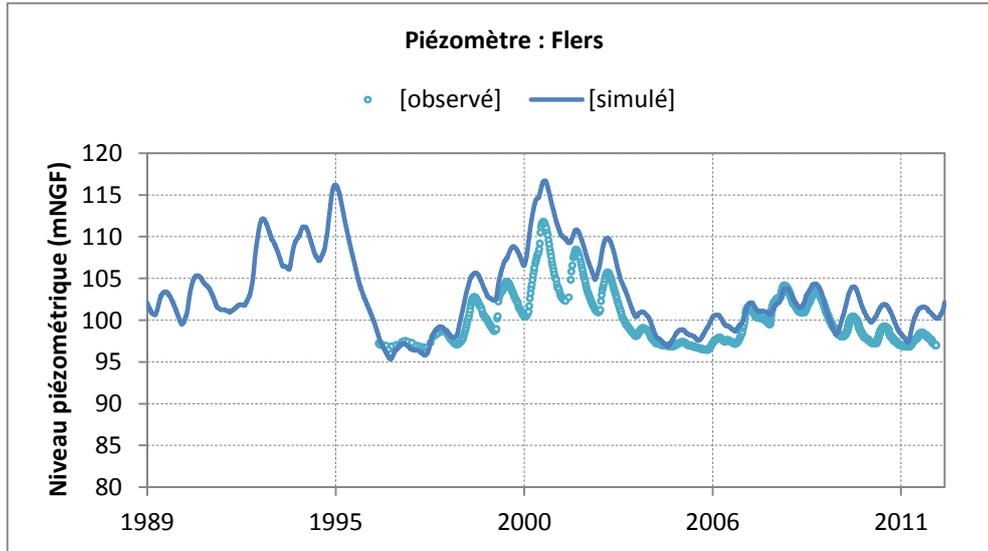


Figure 21 : Comparaison entre les piézométries simulée et mesurée au piézomètre de Flers

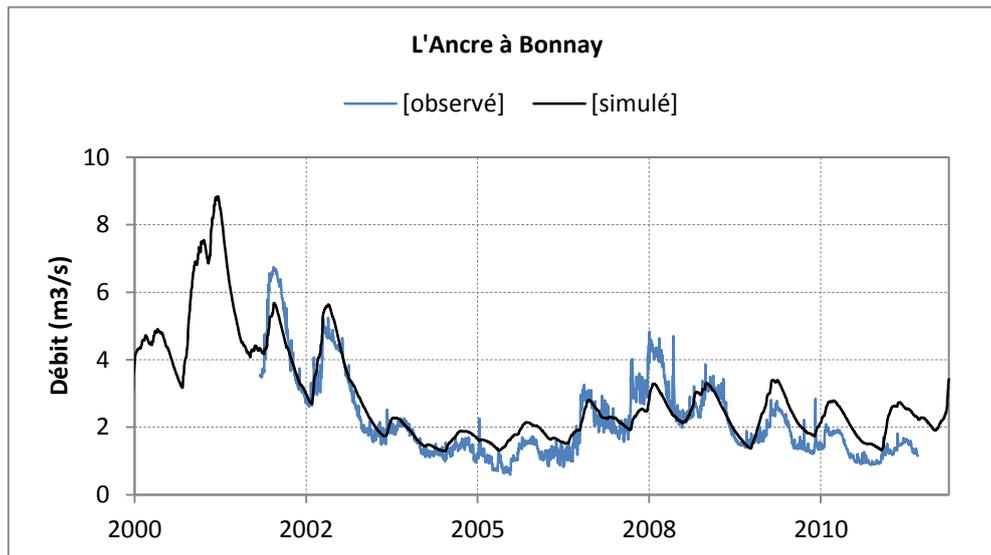


Figure 22 : L'Ancre à Bonnay - Comparaison entre débits simulé et mesuré

#### d) Santerre et Haute-Somme

Dans le secteur du Santerre et de la Haute-Somme, la nappe de la craie a une grande inertie, manifestée par un cycle pluriannuel bien marqué (avec une durée de cycle allant de 5 à 8 ans), le cycle annuel étant moins marqué. Selon les piézomètres, le modèle restitue plus ou moins bien les niveaux de la nappe (Figure 23 et Figure 24).

Sur la période de calage, le premier cycle interannuel est souvent moins bien reproduit du fait de l'influence de l'état initial du système. Généralement, pour ce type de nappe l'initialisation des calculs requiert un cycle voir deux (c'est-à-dire ici 5 à 10 ans).

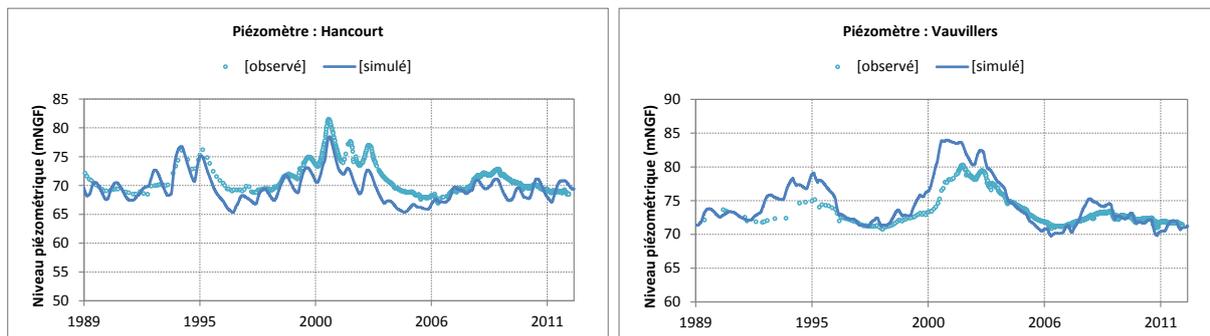


Figure 23 : Restitution par le modèle de la piézométrie en Haute-Somme : piézomètres de Hancourt et Vauvillers

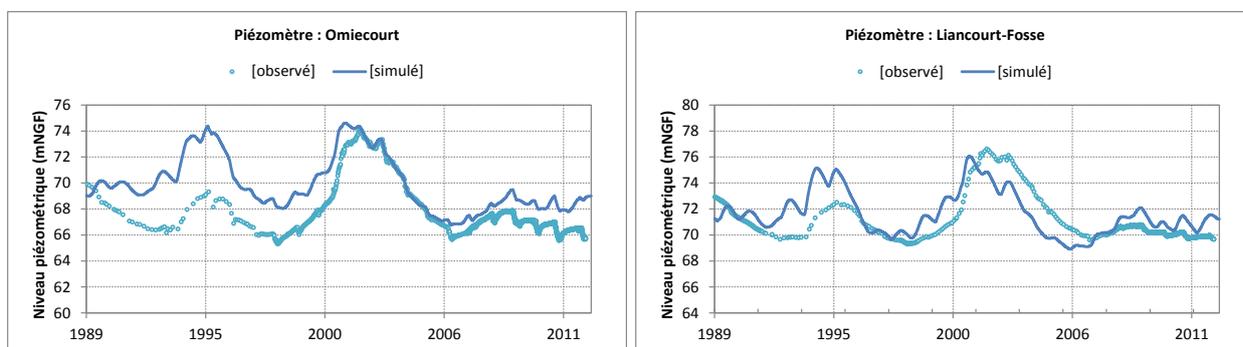


Figure 24 : Restitution par le modèle de la piézométrie dans le Santerre : piézomètres d'Omiecourt et de Liancourt-Fosse

### e) Analyse du calage du Débit de la Somme

Le débit de la Somme a été contrôlé dans les stations situées d'amont en aval à Ham, Péronne, Bray-sur-Somme, Lamotte-Brebière, Hangest-sur-Somme, Abbeville et Boismont. Leur localisation est indiquée sur la Figure 10. Les Figure 25 et Figure 26 montrent la comparaison entre les chroniques simulées et mesurées dans les stations de Lamotte-Brebière et d'Abbeville. La qualité du calage du débit à Lamotte-Brebière est moyenne si l'on considère les hautes eaux et les basses eaux, avec un coefficient d'Efficiency de 0.58. Ceci est dû en grande partie au fait que la station est très influencée par la gestion des ouvrages de la Somme canalisée. Néanmoins, les basses eaux sont assez bien reproduites.

À la station d'Abbeville, le débit de la Somme est bien reproduit aussi bien en hautes eaux qu'en basses eaux ; le coefficient d'Efficiency est de 0.79.

Pour les autres stations, les graphiques sont regroupés en annexe 2. Comme le débit de soutien de la Somme à Ham n'est pas connu, il n'a pas été intégré dans le modèle ; par conséquent, le modèle sous-estime le débit de la Somme à Ham. Par ailleurs, les mesures à la station de Péronne ont été jugées peu fiables.

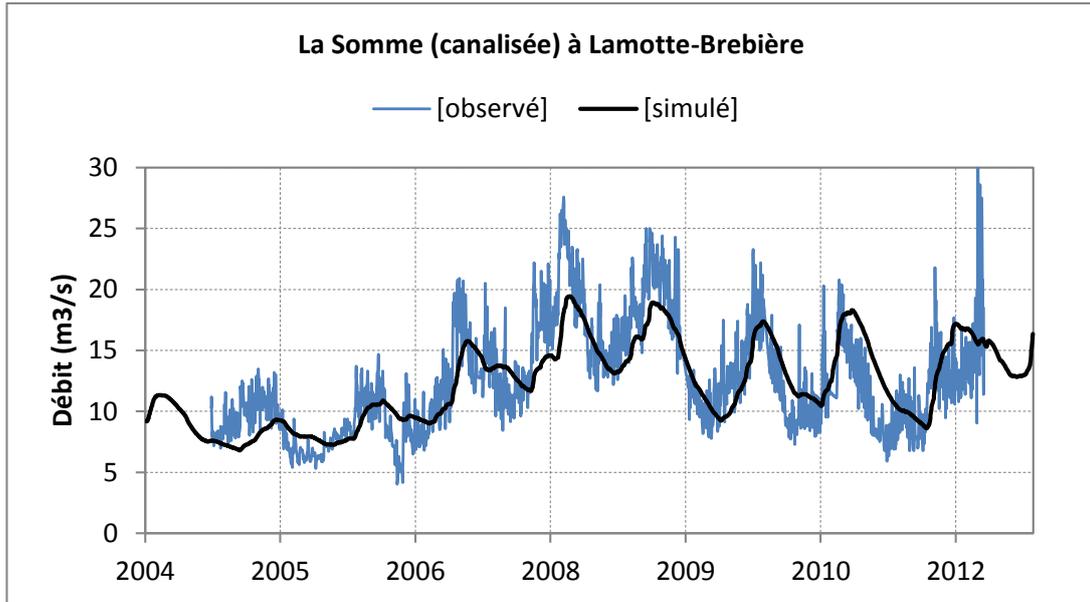


Figure 25 : Comparaison entre les débits de la Somme simulés et mesurés à Lamotte-Brebière

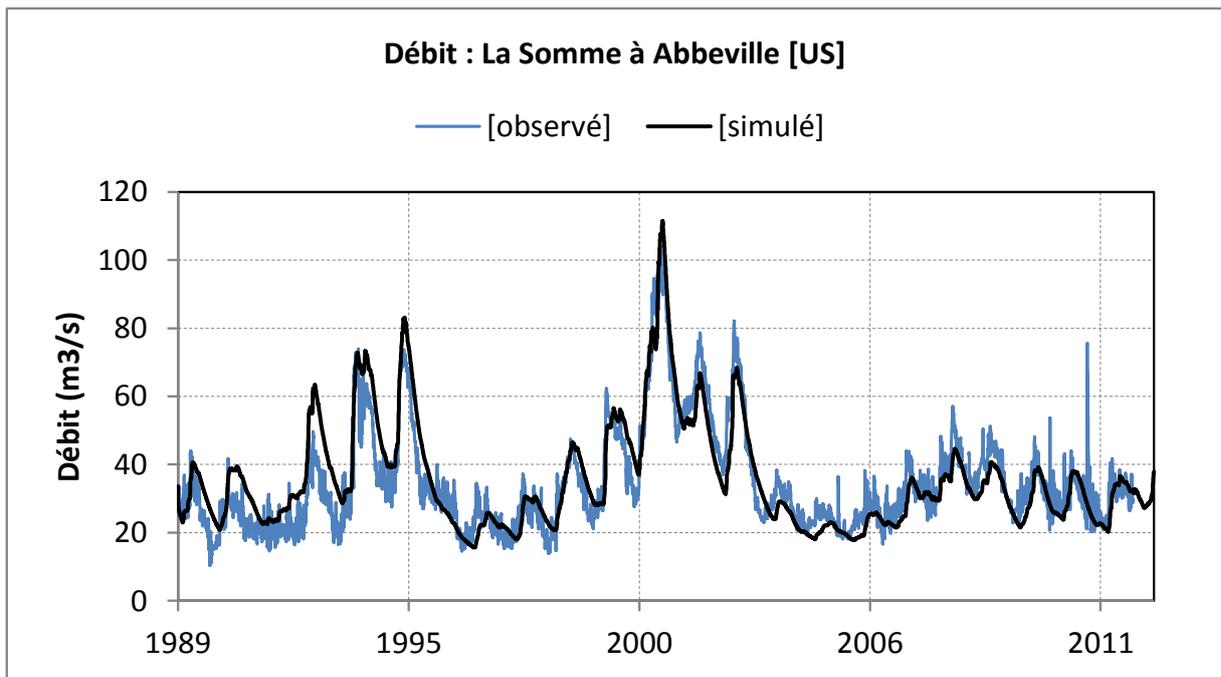


Figure 26 : Comparaison entre les débits de la Somme simulés et mesurés à Abbeville

## f) Bassin de l'Avre

Sur le bassin de l'Avre, plusieurs essais de calage ont été opérés dans une perspective d'améliorer le débit de l'Avre simulé à Moreuil en période d'étiage tout en gardant un bon calage des niveaux de nappe dans les piézomètres situés dans ce bassin. On obtient un bon calage sur les niveaux piézométriques (Figure 27). Le débit de l'Avre à la station de Moreuil (Figure 28) reste globalement bien simulé sur toute la période avec un coefficient d'Efficiences de 0.64 ; il est particulièrement mieux simulé sur la période 2003-2011 avec un coefficient d'Efficiences de 0.77. Néanmoins, il ne nous a pas été possible de reproduire les baisses brutales du débit de l'Avre observées entre les mois de juin et d'août. Plusieurs raisons pourraient expliquer ces écarts :

- Impact des relations entre les étangs; marais et cours d'eau (maintien des niveaux dans les marais) et/ou des ouvrages et de leurs mode de gestion, non pris en compte par le modèle.
- Taille des mailles du modèle (500 m de côté dans les affluents) réduisant l'impact sur le cours d'eau des prélèvements dans les forages situés à moins de 200 m de la rivière.
- Incertitude résiduelle sur les volumes prélevés : en effet, les volumes introduits dans le modèle peuvent être parfois des volumes autorisés et non les volumes réellement prélevés.

À titre d'exemple, cette baisse brutale a pu être reproduite artificiellement en imposant au modèle des prélèvements artificiels dans la rivière sur la période estivale (Figure 29).

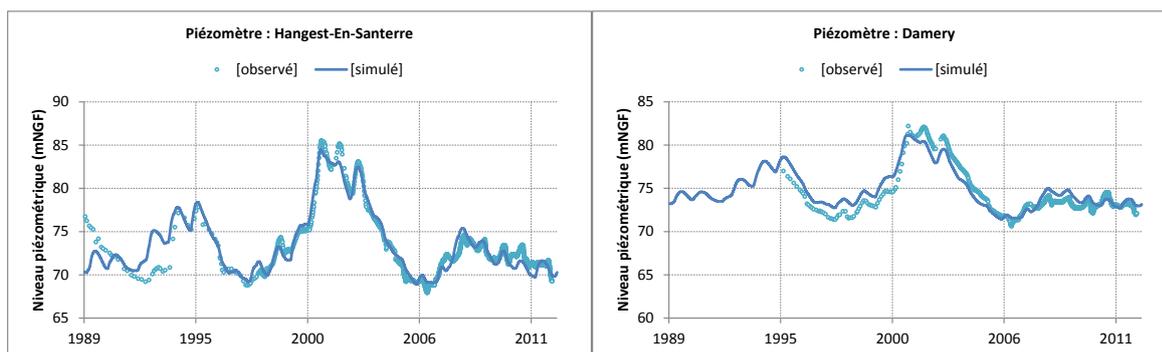


Figure 27 : Restitution par le modèle de la piézométrie dans le bassin de l'Avre : piézomètres d'Hangest-en-Santerre et de Damery

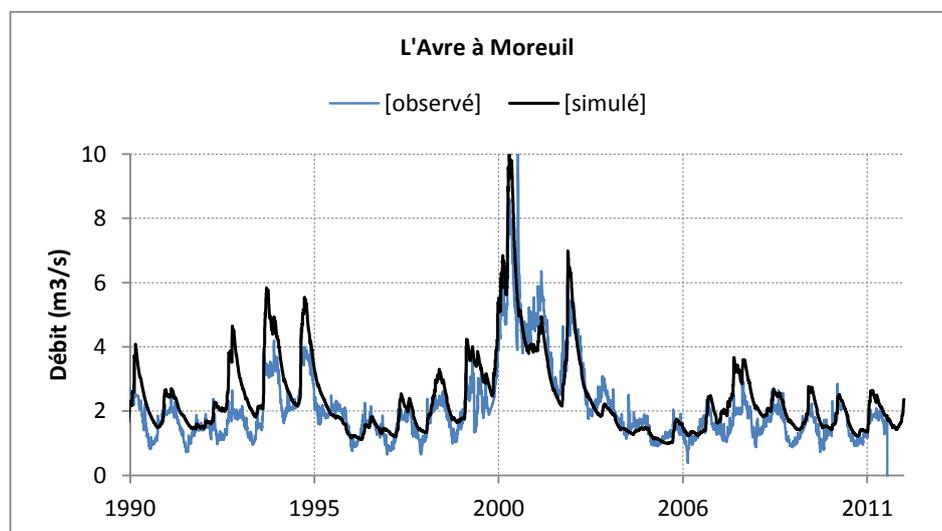


Figure 28 : Comparaison entre les débits simulés et mesurés de l'Avre à Moreuil

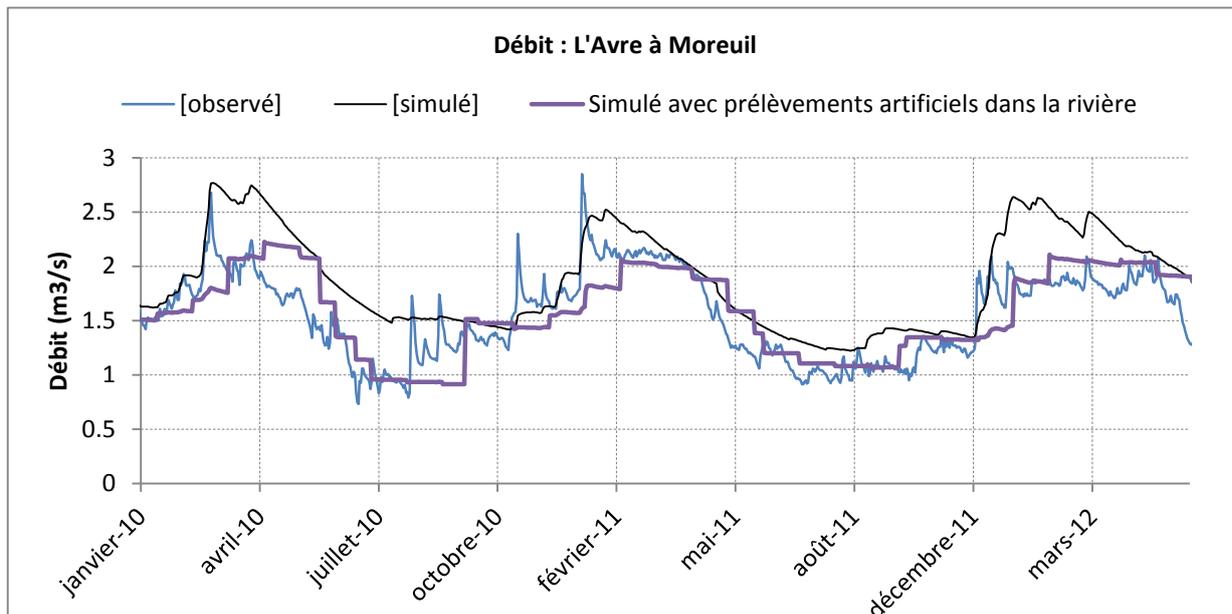


Figure 29 : Restitution par le modèle des baisses brutales du débit en imposant à la rivière des prélèvements artificiels

### g) Bassin de la Selle

Sur ce bassin, le modèle reproduit relativement bien les niveaux de la nappe dans 4 des 5 piézomètres de référence. Un exemple de la piézométrie simulée au droit des piézomètres Essertaux et Équennes-Éramecourt est illustré à la Figure 30. Par ailleurs, le débit de la Selle à la station de Plachy-Buyon est relativement bien simulé (Figure 31) au regard de l'influence importante de la gestion des ouvrages sur le débit mesuré. Le coefficient d'efficacité calculé sur le débit à Plachy est de 0.64.

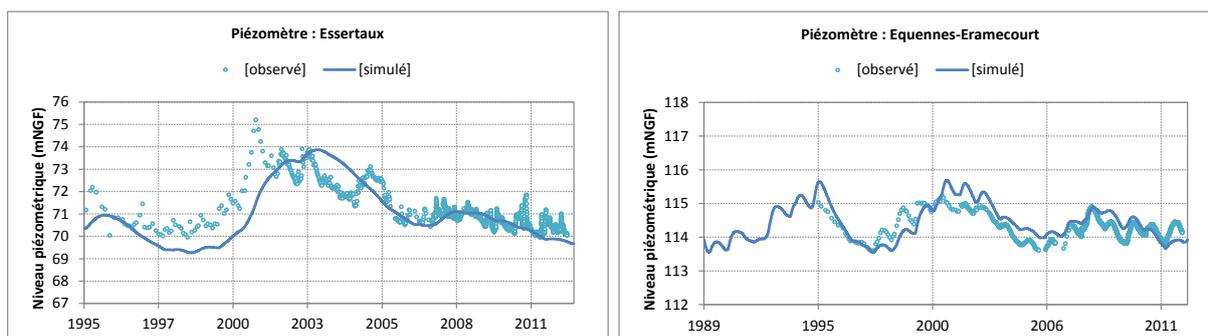


Figure 30 : Restitution par le modèle de la piézométrie dans le bassin de la Selle : piézomètres d'Essertaux et d'Équennes-Éramecourt

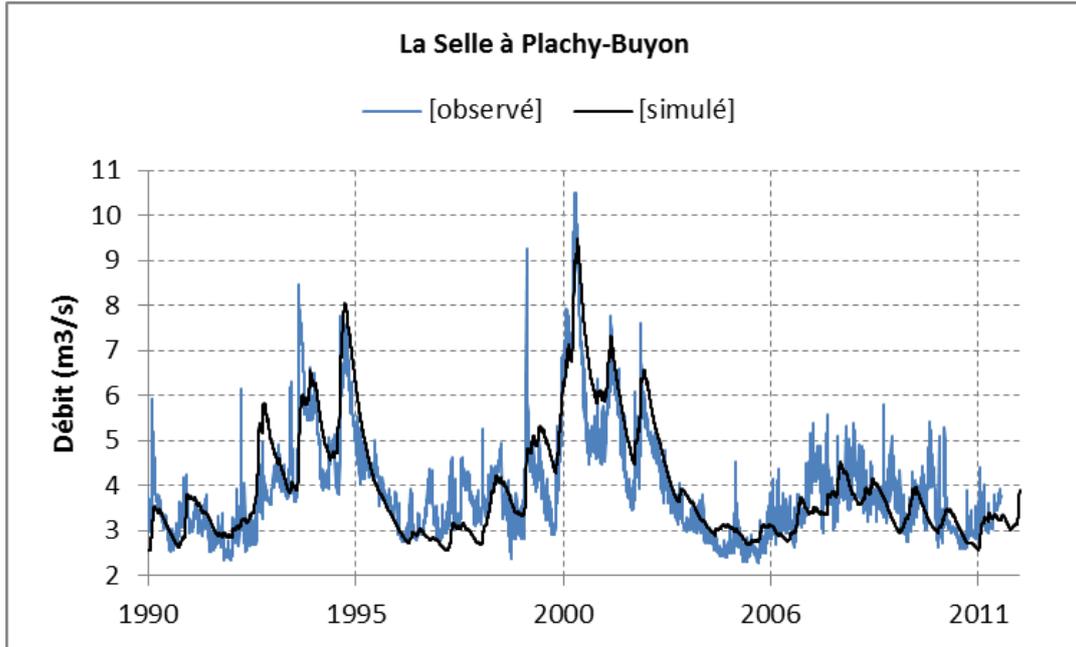


Figure 31 : Comparaison des débits simulés et mesurés de la Selle à Plachy

## 4. Exploitation du modèle

### 4.1. RÉVISION DU DÉCOUPAGE SECTORIEL EN UNITÉS DE GESTION

Le découpage actuel du bassin de la Somme en huit secteurs (Figure 32) ne semble pas tout à fait satisfaisant pour la gestion de l'eau en période de sécheresse. Ce découpage a donc été révisé conformément au cahier des charges du projet.

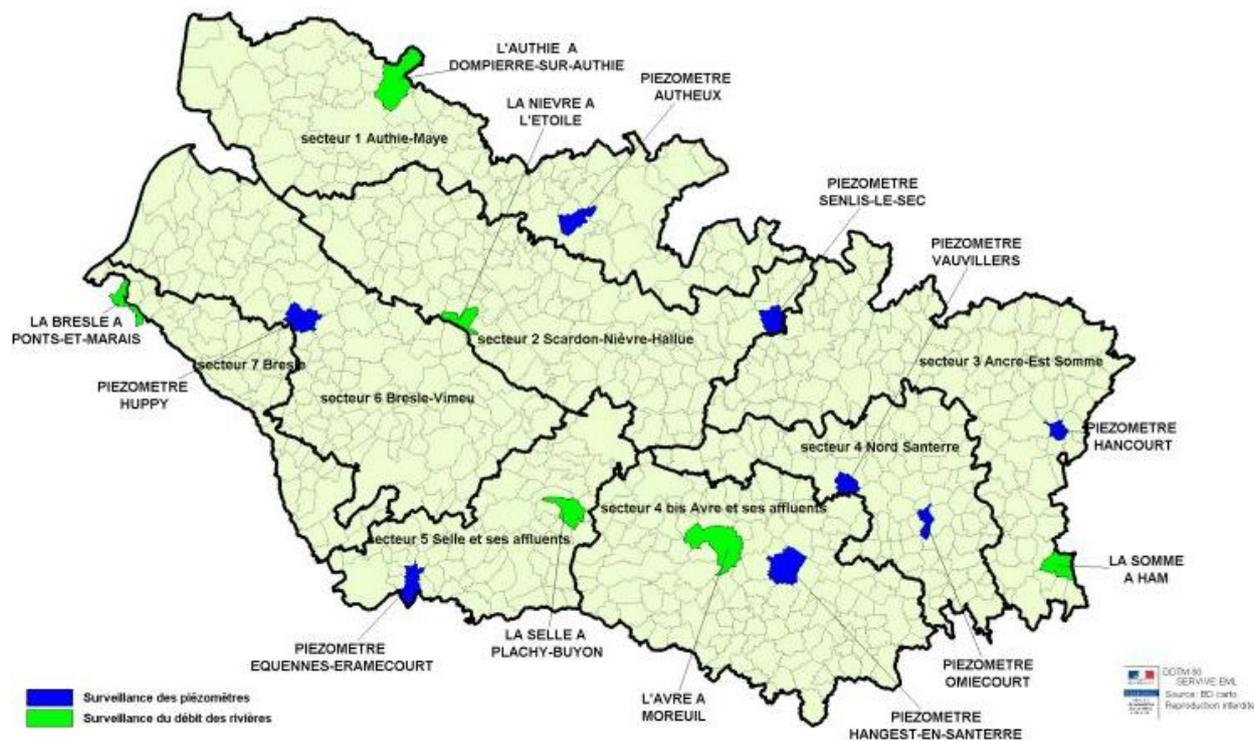


Figure 32 : Carte des secteurs de gestion de la rareté de l'eau du département de la Somme actuellement en vigueur (d'après l'arrêté-cadre du 26 mars 2012)

La démarche mise en œuvre pour cette révision vise à proposer un découpage en unités de gestion aussi autonomes que possible. Pour ce faire, elle s'appuie d'une part sur une analyse du comportement hydrogéologique de la nappe (piézométrie, inertie réactionnelle, etc.) et d'autre part sur un examen des prélèvements réalisés dans le bassin (volumes prélevés, répartition spatiale, etc.). Les principales étapes de la délimitation sont résumées ci-après.

#### 4.1.1. Analyse du comportement hydrogéologique de la nappe

##### a) Examen des chroniques piézométriques

La première étape de cette analyse a consisté à étudier l'ensemble des chroniques piézométriques disponibles pour chacune des entités hydrogéologiques définies dans le cadre de la première version du référentiel hydrogéologique français BDRHF-v1. Les limites des entités BDRHF-v1 ainsi que la localisation des piézomètres sont données en Figure 33.

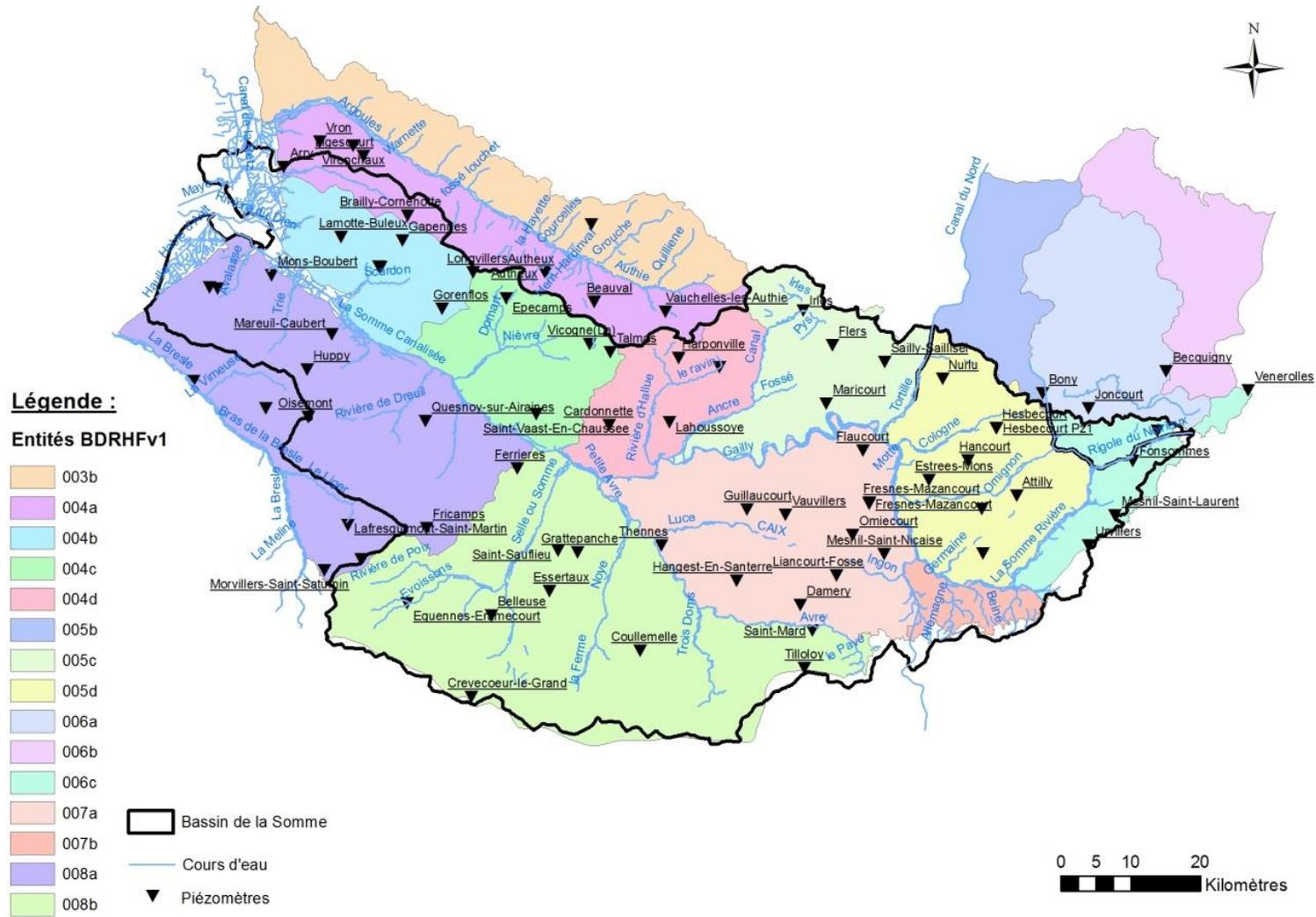


Figure 33 : Limites des entités hydrogéologiques BDRHF-v1 utilisées dans cette étape comme base géographique pour l'analyse des chroniques piézométriques

Ce travail nous a permis de constater que la nappe de la craie est une nappe à double cycle, où l'évolution des niveaux piézométriques est caractérisée par des cycles annuels qui se superposent à des cycles plus longs (cf. Figure 34). Ce comportement est à relier au fait que la craie présente une double porosité : porosité de matrice à écoulement lent (pluriannuel) et porosité de fissures à écoulement rapide (annuel).

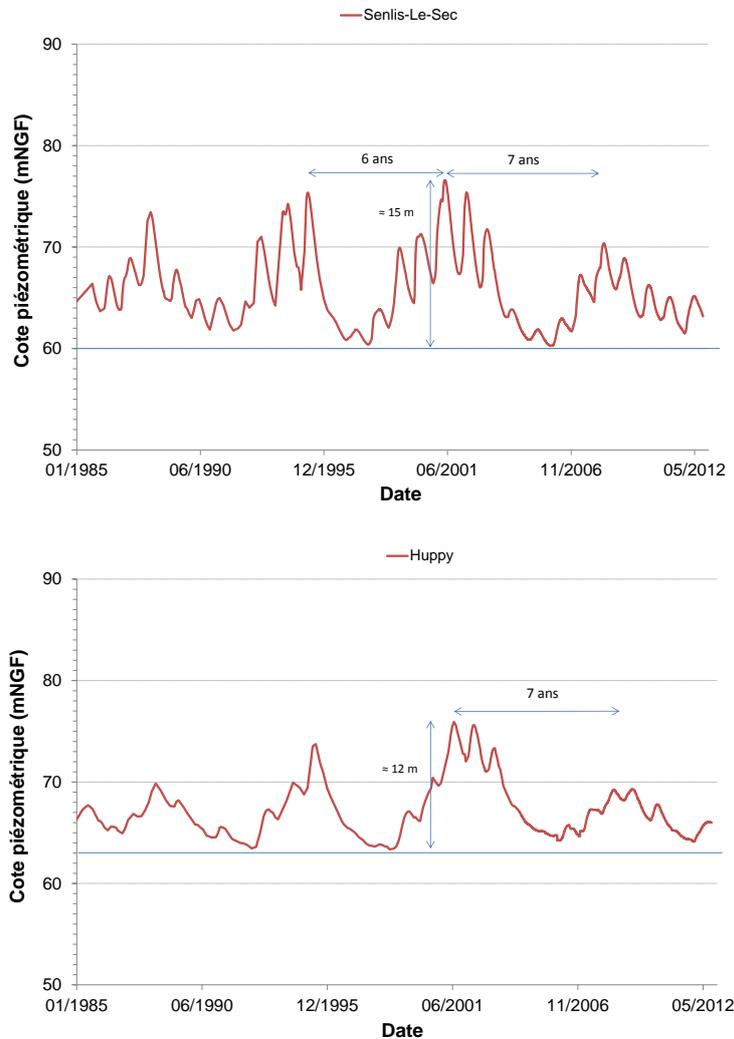


Figure 34 : Illustration de la dynamique « à double cycle » de la nappe de la craie. Exemples des chroniques piézométriques de Senlis-le-Sec (rive droite de la Somme) et de Huppy (rive gauche de la Somme)

Malgré ce trait commun à tout le bassin de la Somme, nous avons également pu constater que l'inertie de la nappe de la craie est nettement plus importante au sud de la Somme (rive gauche) qu'au nord (rive droite), sauf exception pour le secteur Nord Santerre dont le comportement est à rapprocher de celui de la rive droite. Ceci a été mis en évidence par le calcul des corrélogrammes de chaque chronique piézométrique disponible (cf. Figure 35). En effet, dans une chronique piézométrique journalière, il existe une corrélation entre les valeurs successives de la série jusqu'à une certaine « portée » temporelle fonction de l'inertie de la nappe. Cette corrélation peut se mesurer par l'intermédiaire d'un coefficient d'autocorrélation qui représente la corrélation de la série avec elle-même mais décalée d'un certain intervalle de temps.

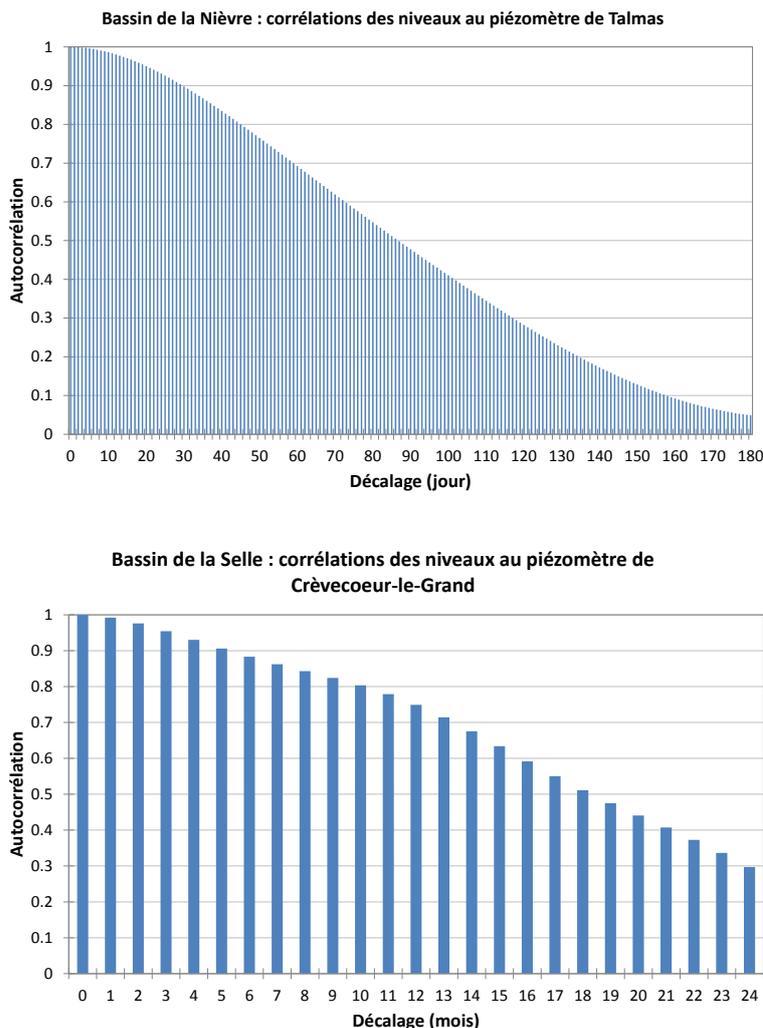


Figure 35 : Illustration de la différence d'inertie existant entre la rive droite et la rive gauche de la Somme. Exemples des corrélogrammes calculés à partir des niveaux journaliers mesurés au piézomètre de Talmas (rive droite) et au piézomètre de Crèvecœur-le-Grand (rive gauche). Le coefficient d'autocorrélation ( $R$ ) des niveaux au piézomètre de Talmas décroît rapidement et n'est plus que de 0,48 au bout de 3 mois, tandis qu'au piézomètre de Crèvecœur-le-Grand il diminue lentement et vaut encore 0,63 au bout de 15 mois.

Il s'avère également que la nappe présente des différences d'inertie plus modestes de part et d'autre de la Somme suivant le bassin considéré. Ainsi, les niveaux journaliers mesurés au piézomètre de Senlis-le-Sec (rive droite – bassin de l'Hallue) sont toujours corrélés entre eux après 6 mois contre 3 mois pour ceux de Talmas (rive droite – bassin de la Nièvre).

Notons que les entités hydrogéologiques BDRHF-v1 rendent compte de ces différences de comportement hydrogéologique (rive gauche/rive droite et intra-bassin).

## **b) Analyse de la piézométrie de la nappe**

Dans la deuxième partie de l'analyse, il s'est agi d'identifier les lignes de partage des eaux souterraines afin de délimiter les différents bassins versants hydrogéologiques<sup>3</sup> régissant les écoulements souterrains dans le bassin de la Somme. Ce travail a été réalisé sur la base de la carte piézométrique Basses Eaux de 2005 (Figure 36).

Une multitude de bassins versants hydrogéologiques a ainsi été identifié, parmi lesquels les bassins de la Nièvre, de l'Hallue, de l'Ancre, de l'Omignon et de l'Avre.

---

<sup>3</sup> Le bassin versant hydrogéologique d'un aquifère, ou bassin versant souterrain, est la partie d'un aquifère dans laquelle les eaux souterraines s'écoulent vers un même exutoire ou groupe d'exutoires. Il est délimité par une ligne de partage des eaux qui, à l'encontre des bassins de surface, peut se déplacer au cours du temps.

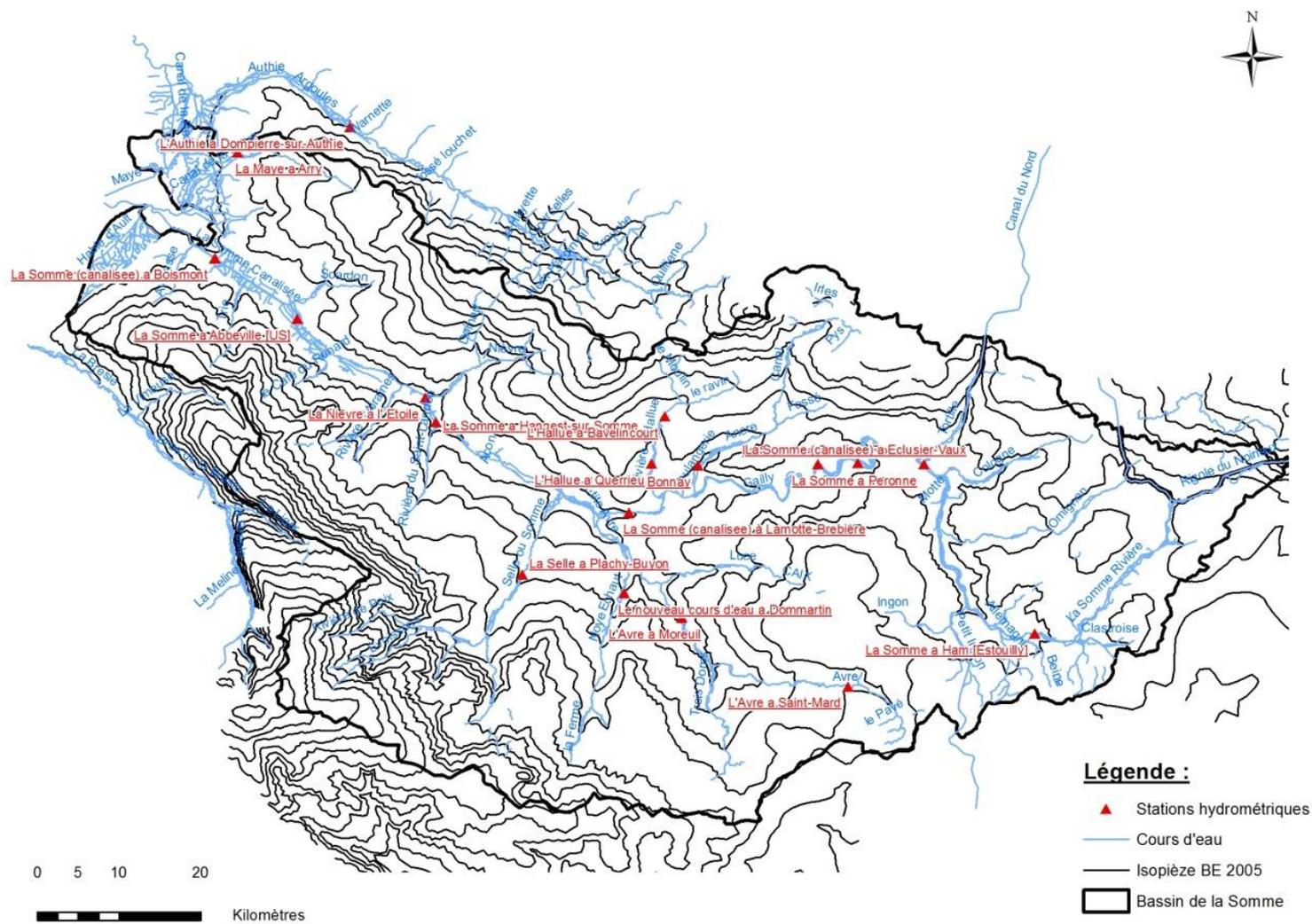


Figure 36 : Carte piézométrique Basses Eaux de 2005.

#### 4.1.2. Analyse des prélèvements effectués dans le bassin

Dans la troisième étape de cette analyse, nous nous sommes attachés à inventorier l'ensemble des prélèvements (tous usages confondus) réalisés dans le bassin de la Somme depuis 1989 et à les analyser afin, notamment, d'identifier les secteurs où la nappe est le plus sollicitée.

Ce travail nous a permis de constater que les prélèvements annuels de la nappe de la craie sont relativement stables depuis 1989 (cf. Figure 37). Ils se situent entre 100 et 120 Mm<sup>3</sup>, répartis entre l'eau potable (51%), l'industrie (35%) et l'irrigation (14%). Les volumes prélevés pour l'industrie ont néanmoins diminué de plus de 50% depuis 1989, passant de 45 Mm<sup>3</sup>/an à 20 Mm<sup>3</sup>/an.

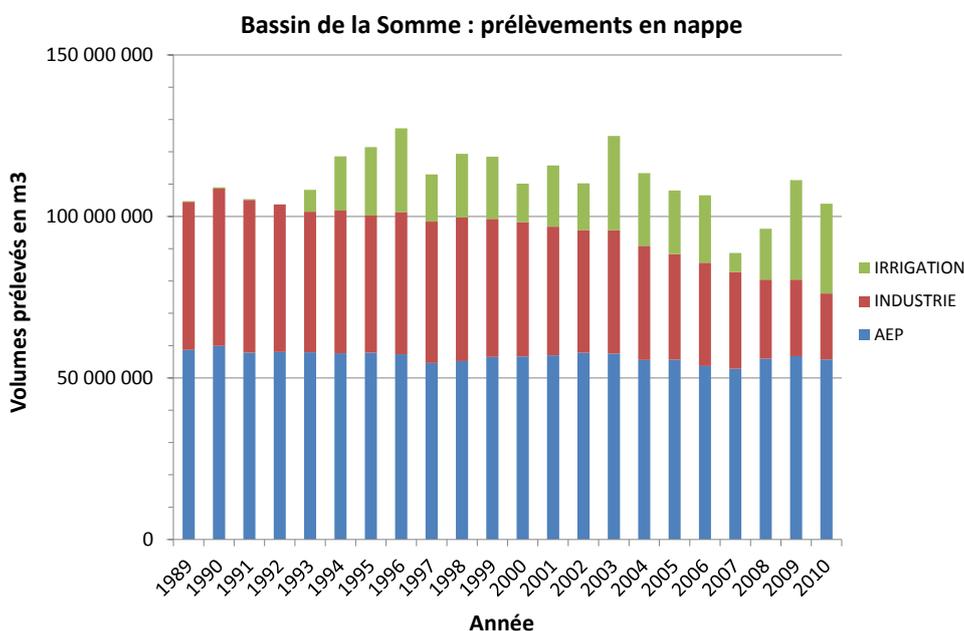


Figure 37 : Évolution des volumes prélevés dans la nappe de la craie par type d'usage sur la période 1989-2010

En parallèle, ce travail nous a permis de constater que les prélèvements destinés à l'AEP et à l'industrie sont disséminés sur tout le département bien qu'ils soient majoritairement situés à proximité des cours d'eau (Figure 38). À l'inverse, les prélèvements agricoles sont essentiellement concentrés dans le Santerre (à l'est du département) et dans le Ponthieu (au nord-ouest du département).

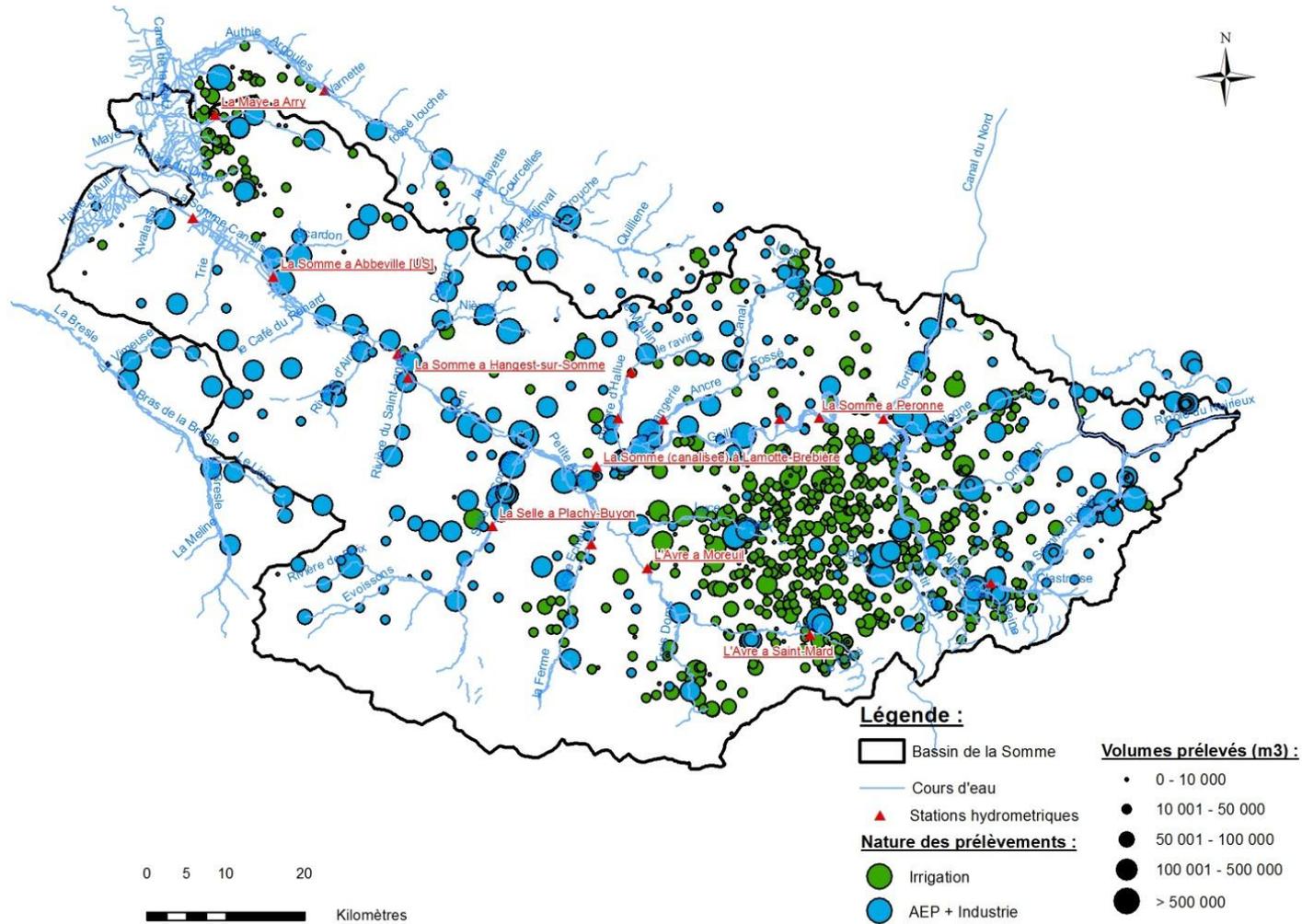


Figure 38 : Répartition des volumes prélevés dans la nappe de la craie – Exemple de l'année 2005

De manière analogue, nous avons pu noter que les rivières du département sont essentiellement sollicitées pour l'industrie : 98% des volumes prélevés sont destinés à cet usage (2% pour l'agriculture). Les besoins industriels se réduisant depuis quelques années, les prélèvements en rivière ont diminué dans le département de la Somme depuis 1989, passant de 23 à 7-8 Mm<sup>3</sup>/an (Figure 39). Ils sont en outre dispersés sur tout le département mais concernent principalement la Somme et son canal (cf. Figure 40).

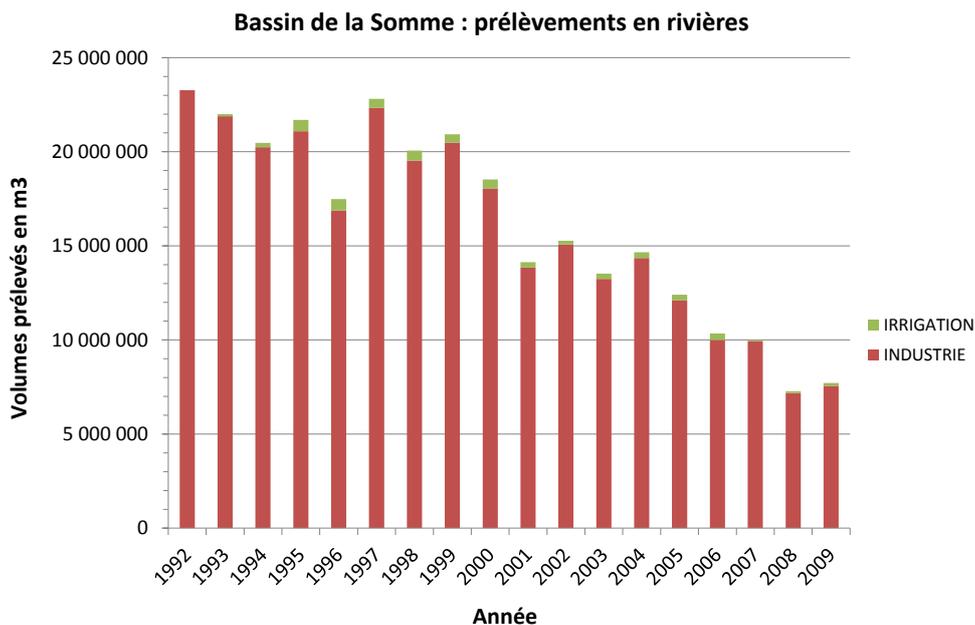


Figure 39 : Evolution des volumes prélevés en rivière par type d'usage sur la période 1989-2009

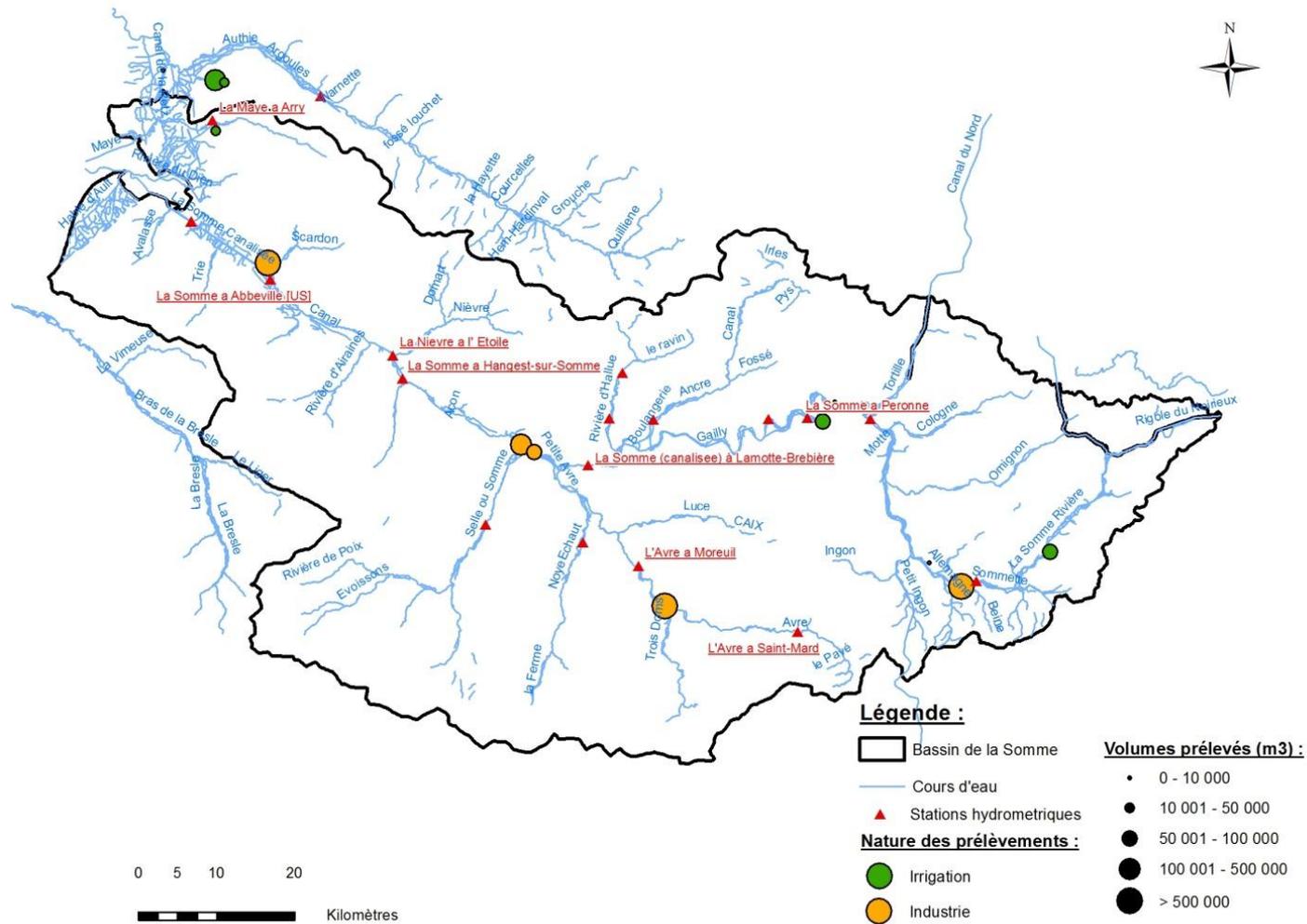


Figure 40 : Distribution des volumes prélevés dans les cours d'eau du département de la Somme – Exemple de l'année 2005

Lors de cette troisième étape de l'analyse, nous avons mis en œuvre le modèle numérique de la Somme pour simuler le comportement de la nappe de la craie avec et sans prélèvements souterrains, afin d'apprécier par différence l'impact des prélèvements sur les niveaux de la nappe. À cette occasion, nous avons établi deux cartes (Figure 41 et Figure 42) : la première illustre les rabattements induits par les prélèvements en nappe, tous usages confondus (AEP, industrie et agriculture), tandis que, la seconde donne l'impact des seuls prélèvements agricoles sur les niveaux de nappe.

Ce travail nous a permis de confirmer que le Santerre est bien le secteur le plus impacté par les prélèvements en nappe. Le rabattement induit par les prélèvements tous usages confondus dépasse un mètre sur l'essentiel du Santerre, et peut atteindre localement plus de 10 mètres (Figure 41). La concentration des prélèvements agricoles dans ce secteur explique en partie ce rabattement : ils sont responsables d'une baisse des niveaux globalement comprise entre 1 et 2 mètres sur le secteur (Figure 42).

Ce travail nous a également permis de constater que d'autres zones du bassin sont impactées par les prélèvements en nappe (tous usages confondus), mais de manière plus locale et modeste. C'est le cas par exemple des secteurs amont de l'Ancre et du Scardon, des secteurs aval de la Maye et de l'Authie, de la rive gauche de la Selle et de la rive gauche de la Somme aval, où les rabattements dépassent 50 cm. Par contre, seuls les secteurs identifiés sur les bassins de la Maye, de l'Authie, de l'Ancre, de la Somme amont (rive gauche – Tortille, Cologne, Omignon, Germaine) et de l'Avre (partie amont et rive gauche) sont réellement impactés par les prélèvements agricoles (entre 20 et 100 cm généralement, Figure 42).

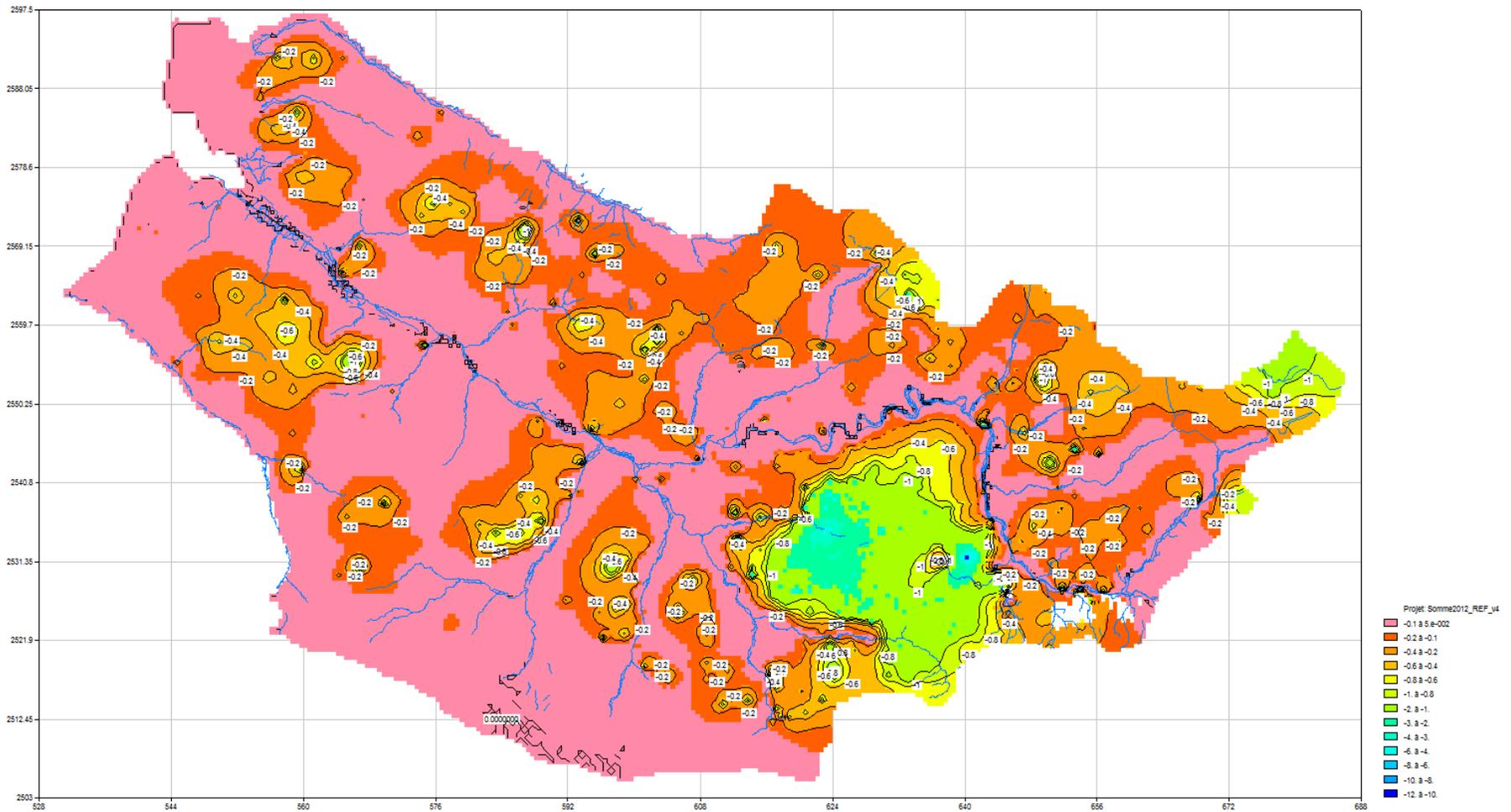


Figure 41 : Rabattements induits par les prélèvements tous usages confondus dans la nappe de la Somme

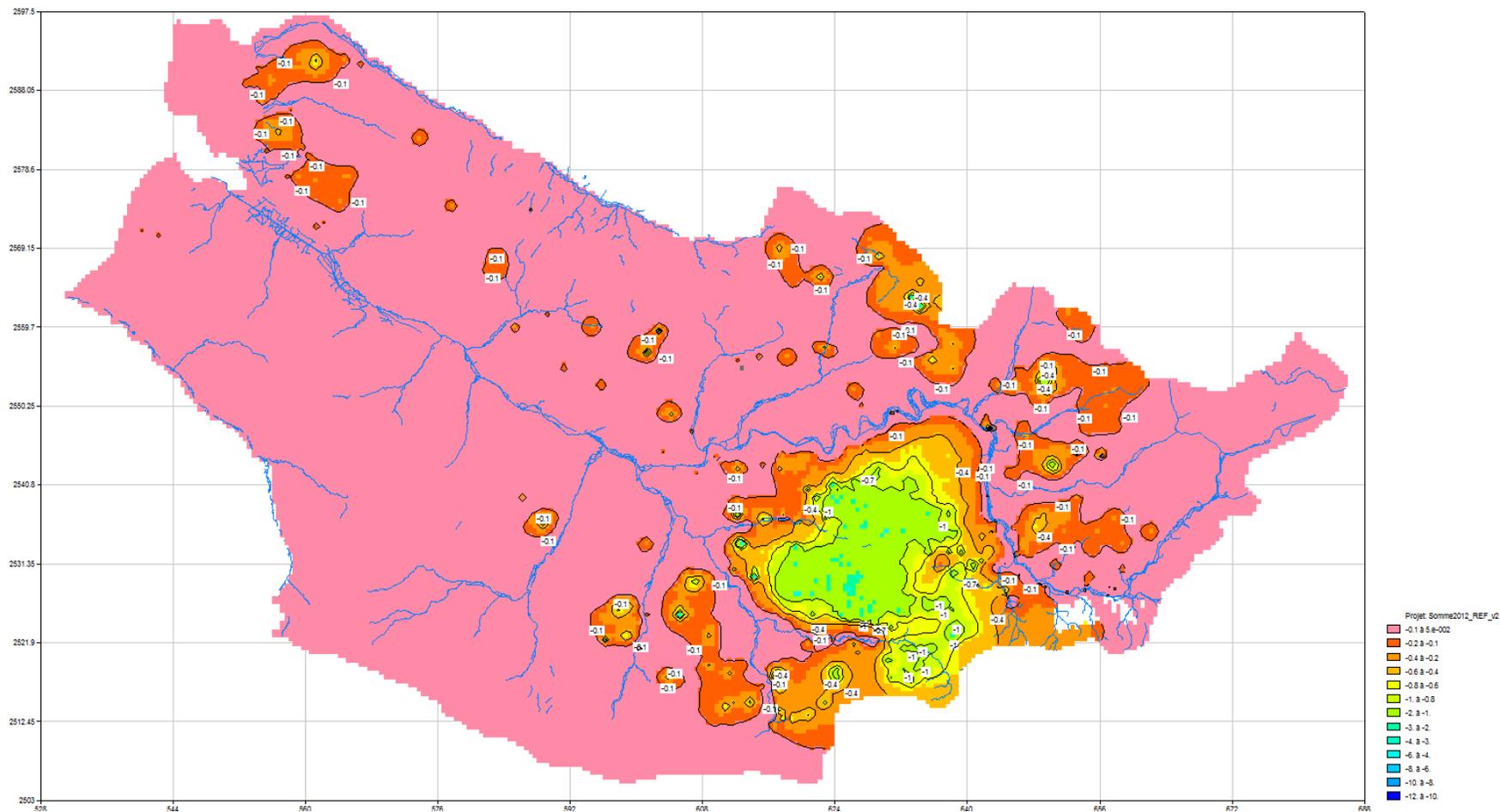


Figure 42 : Rabattements induits par les prélèvements à usage agricole dans la nappe de la Somme

### 4.1.3. Localisation des stations de mesure

Le redécoupage du bassin de la Somme en unités de gestion doit être en adéquation avec le réseau piézométrique existant et avec la distribution des stations hydrométriques. En pratique, nous avons considéré que chaque unité proposée devait disposer d'un piézomètre et d'une station hydrométrique permettant de caractériser son fonctionnement. La localisation des piézomètres et des stations hydrométriques du bassin de la Somme est respectivement rappelée Figure 43 et Figure 44.

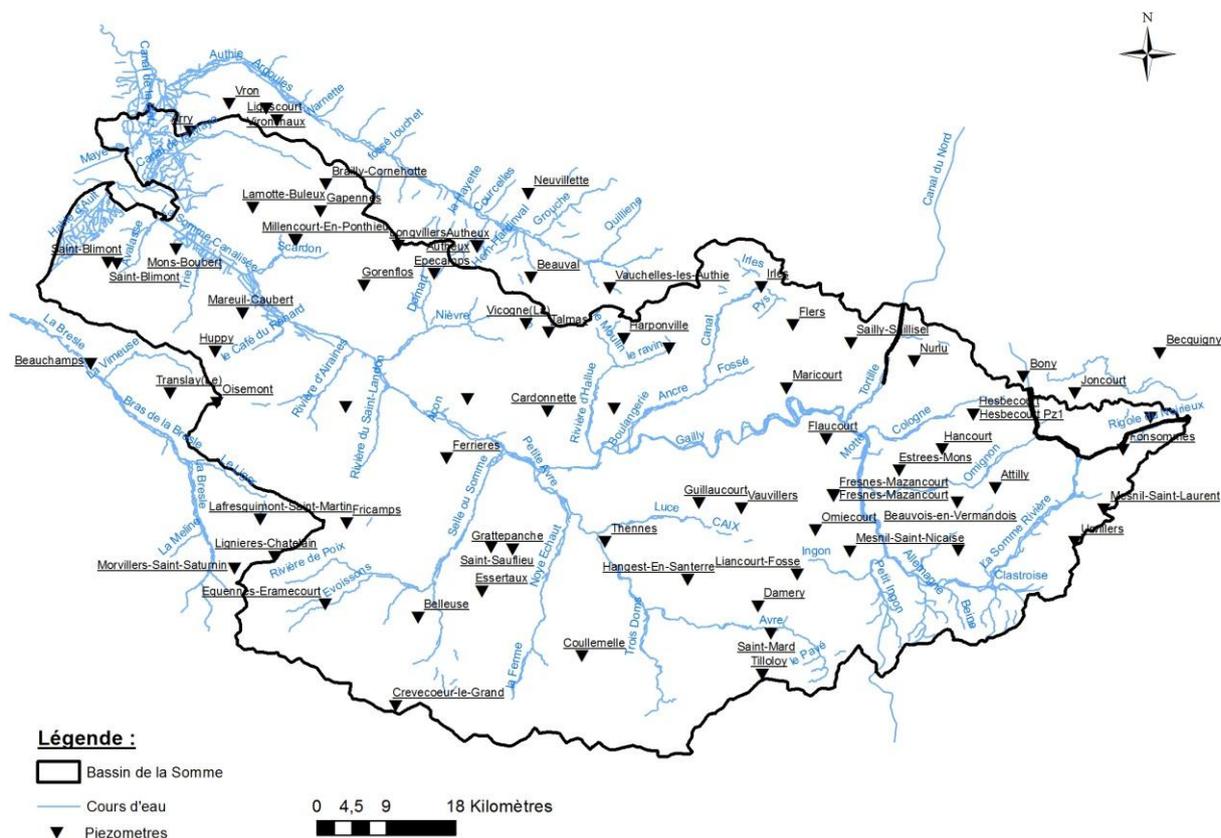


Figure 43 : Localisation des piézomètres de référence sur le bassin de la Somme. Certains de ces piézomètres ne font actuellement plus l'objet de mesure piézométrique, c'est le cas par exemple des stations d'Harponville et de Vicogne(La). Le découpage du bassin en unités de gestion doit en tenir compte.

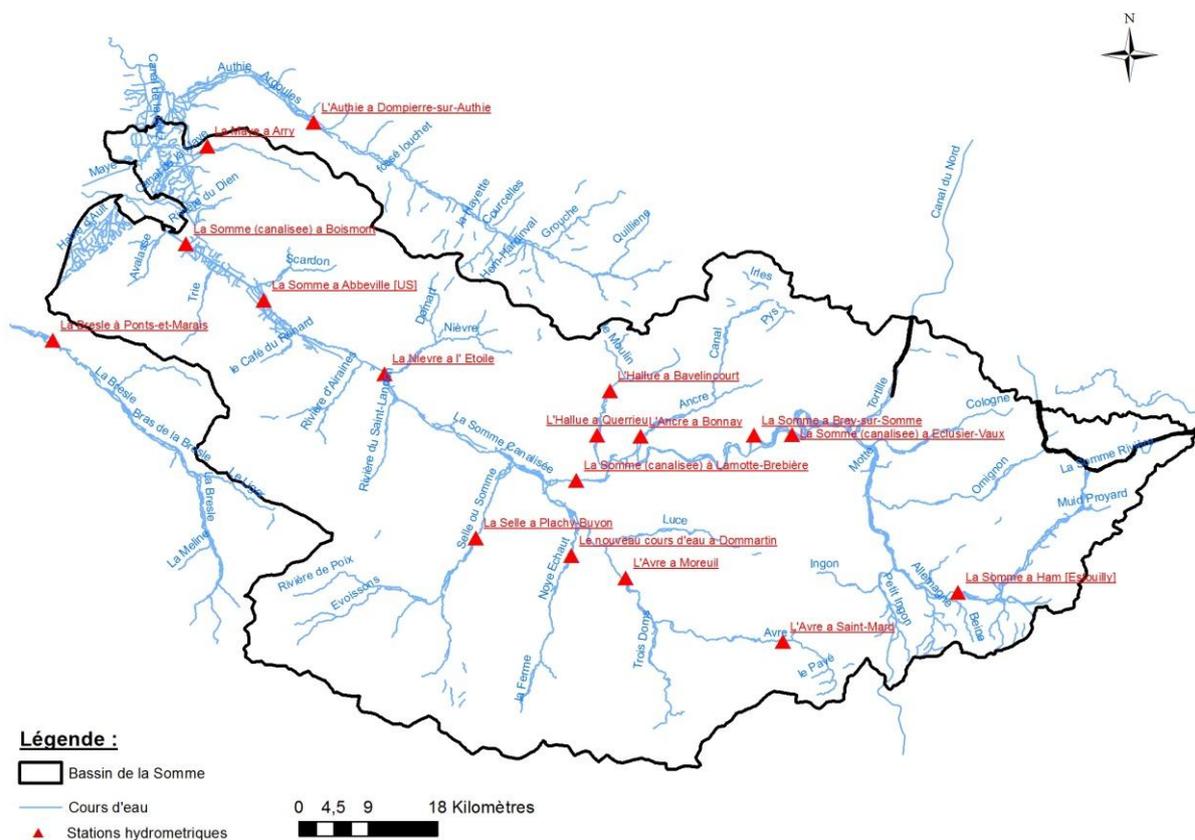


Figure 44 : Localisation des stations hydrométriques en activité dans le bassin de la Somme

#### 4.1.4. Nouveau découpage sectoriel proposé

Sur la base de l'analyse précédente (§ 4.1.1. - 4.1.3.), dix unités de gestion potentielles ont été identifiées. Leurs contours sont tracés Figure 45 et Figure 46.

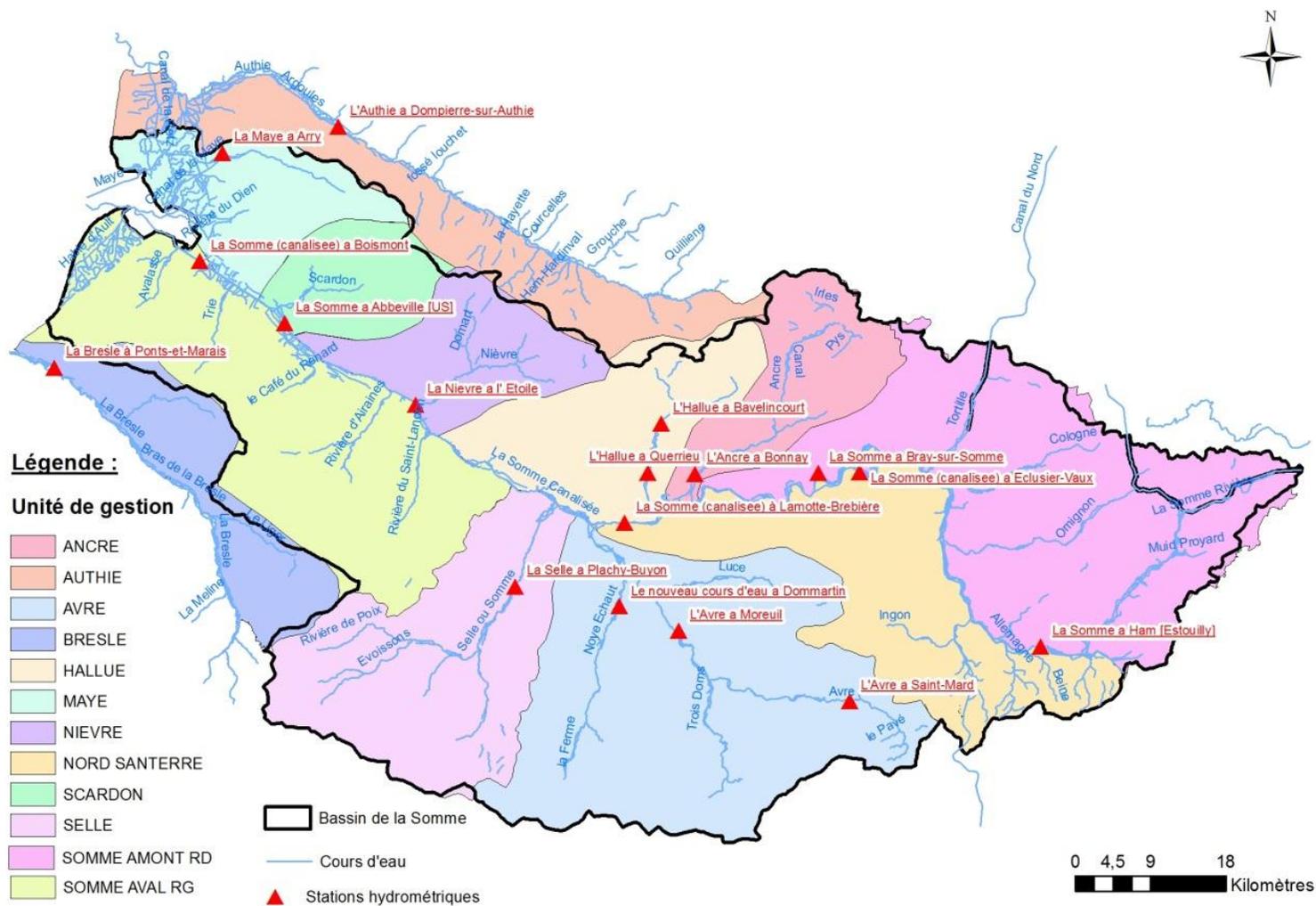


Figure 45 : Nouvelle proposition de découpage du bassin de la Somme en unités de gestion

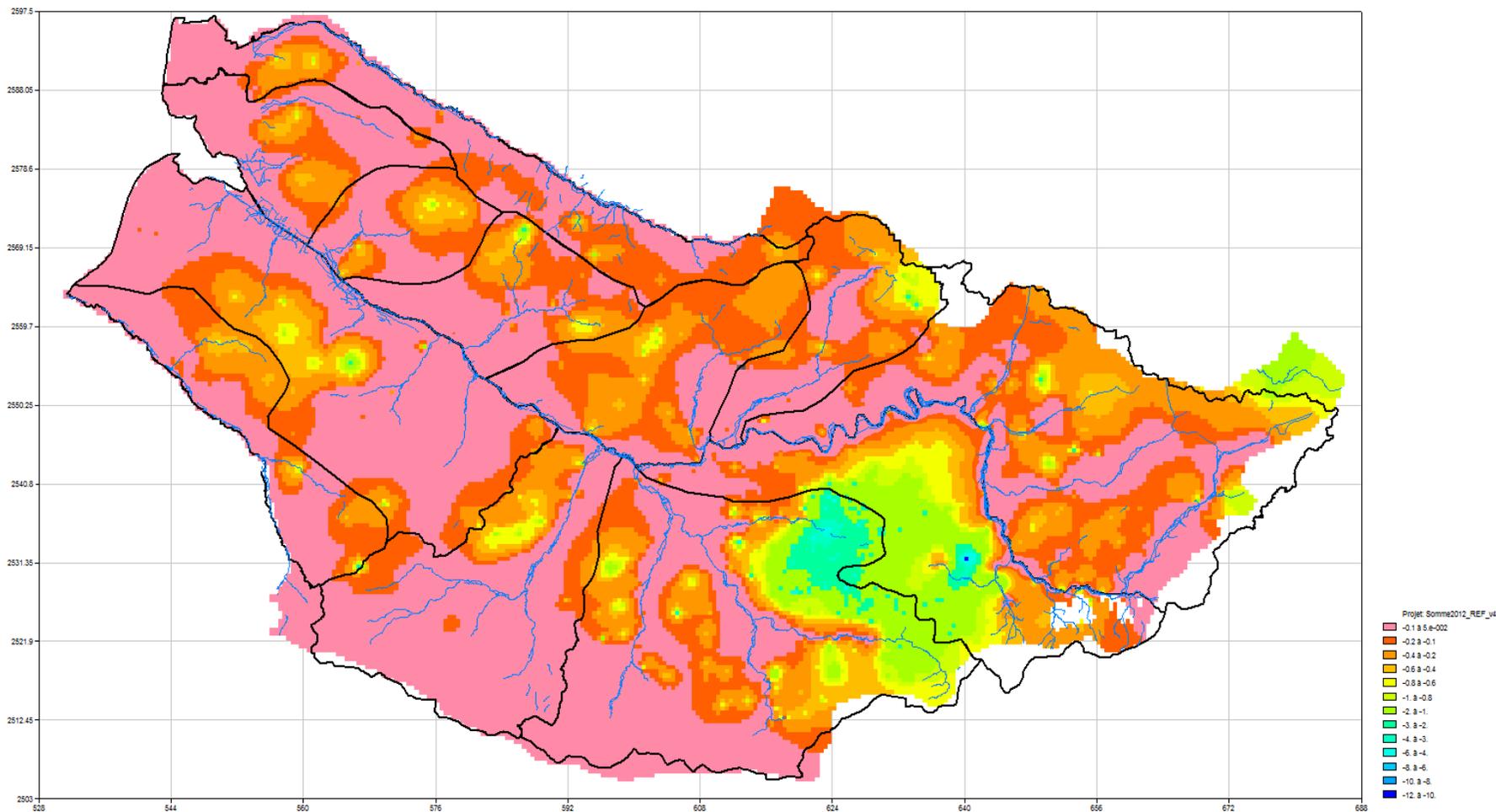


Figure 46 : Superposition de la nouvelle proposition de découpage du bassin en unités de gestion et de « la carte d'impact » des prélèvements tous usages confondus sur les niveaux de la nappe

#### 4.1.5. Nouveaux couples piézomètre/station de référence proposés

L'objectif de cette étape était de choisir des couples piézomètre/station hydrométrique pouvant servir de référence pour caractériser le fonctionnement global de chacune des 10 unités de gestion définies (§ 4.1.4). Ce travail s'appuie donc principalement sur une étude approfondie des chroniques piézométriques et hydrométriques disponibles sur chaque unité de gestion. Les critères de choix des couples piézomètre/station sont présentés ci-dessous. En outre, la démarche mise en œuvre pour chacune des unités proposées est illustrée à l'aide d'un exemple : celui du bassin de la Nièvre. Enfin, la liste des couples piézomètre/station choisis comme références pour chacune des unités du bassin est fournie au § d).

##### a) Choix de la station de référence

Le bassin de la Somme compte 17 stations hydrométriques en activité, dont près de la moitié a été mise en place après 2000 (Figure 10). Ainsi, certaines des unités de gestion définies disposent de plusieurs stations hydrométriques. Dans ce cas, la station choisie comme station de référence répond aux critères suivants :

- bonne représentativité de l'unité considérée,
- en activité aujourd'hui,
- chronique de données relativement longue et continue, avec des mesures jusqu'en 2012,
- pas d'influence perceptible par un pompage ou un rejet proche.

Dans le cas contraire (une seule station), la seule station hydrométrique disponible sur l'unité de gestion est prise comme référence, après vérification de la validité des données mesurées (pas d'erreur de mesures, pas d'influence par un pompage/rejet proche, etc.). C'est le cas par exemple de la station de l'Étoile qui mesure les débits de la Nièvre (cf. exemple d'application ci-dessous).

##### b) Choix du (des) piézomètre(s) de référence

Le bassin de la Somme compte environ 80 chroniques piézométriques (Figure 9). Les critères de choix retenus pour définir le(s) piézomètre(s) de référence de chacune des unités de gestion préalablement définies sont les suivants :

- bonne représentativité du fonctionnement global de l'unité de gestion,
- pas d'influence perceptible par un pompage ou un rejet proche,
- en activité aujourd'hui,
- bonne corrélation avec le débit de la rivière qui draine l'unité,
- basses eaux bien marquées,
- longue chronique de données intégrant les basses eaux de 2004-2006 et avec mesures jusqu'en 2012.

### c) Exemple d'application : le bassin versant de la Nièvre

L'unité de gestion correspondant au « Bassin versant de la Nièvre » dispose d'une seule station hydrométrique située sur la Nièvre à hauteur de la commune de l'Étoile et 4 piézomètres, d'amont en aval : Talmas, Vicogne(La), Épécamps et Longvillers. Comme décrit au § 4.1.1, l'évolution des niveaux piézométriques est caractérisée par des cycles annuels qui se superposent à des cycles plus longs. Les cycles annuels BE/HE (Basses Eaux / Hautes Eaux) sont relativement bien marqués (amplitude annuelle généralement comprise entre 2 et 4 m). Les périodes de hautes eaux s'observent habituellement en avril et les périodes d'étiage entre septembre et novembre.

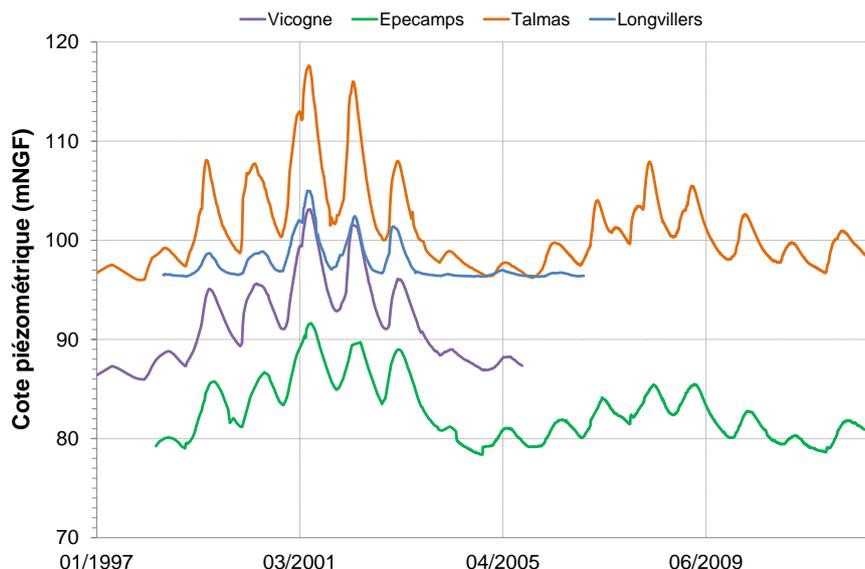


Figure 47 : Fluctuations des niveaux piézométriques aux stations de Vicogne(La), Épécamps, Talmas et Longvillers – unité de gestion de la Nièvre

Aucun de ces 4 piézomètres n'est influencé par un pompage/rejet proche, mais les piézomètres de Vicogne(La) et Longvillers ne font plus l'objet de mesures piézométriques depuis 2006. Ils sont donc écartés.

L'appréciation visuelle des fluctuations du niveau piézométrique et du débit dans ce bassin laisse présager une bonne corrélation entre les niveaux piézométriques aux piézomètres de Talmas et d'Épécamps et les débits de la Nièvre à l'Étoile (Figure 48).

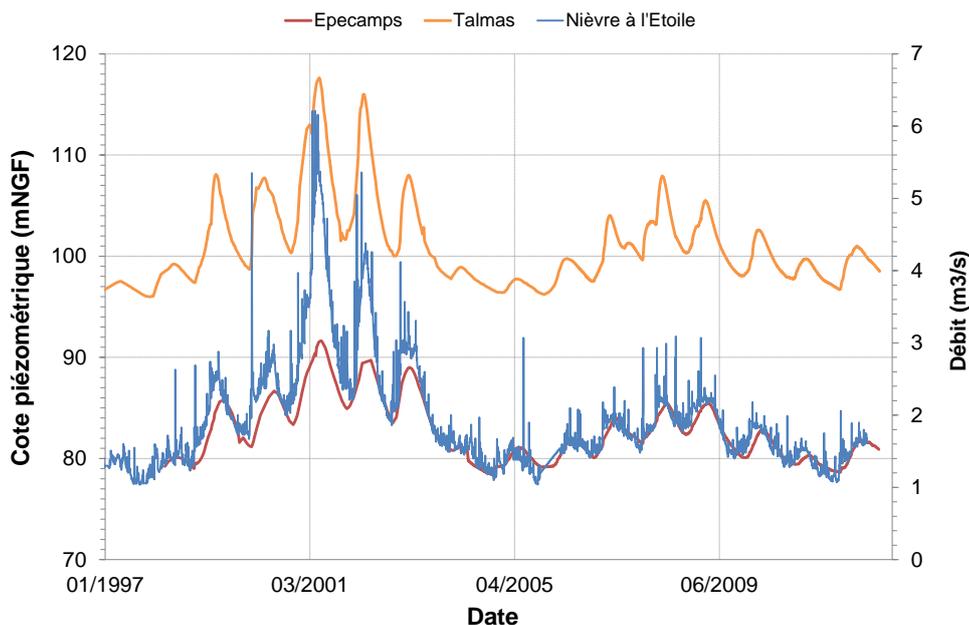
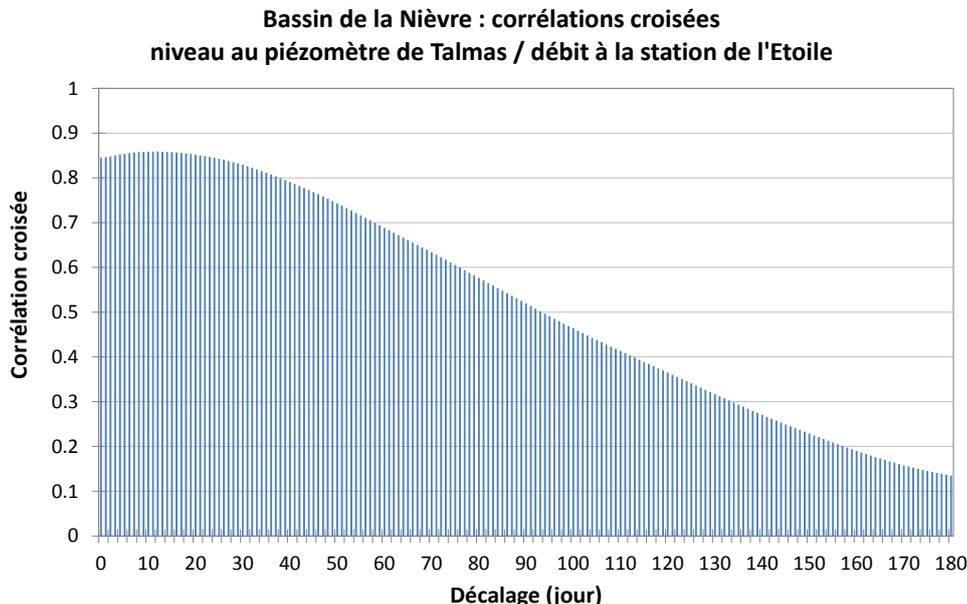


Figure 48 : Fluctuations des niveaux piézométriques aux stations d'Epecamps et de Talmas, et débits de la Nièvre à l'Étoile

Dans le détail, les corrélations les plus fortes entre débits et niveaux s'observent avec des décalages de 10-15 jours (corrélation supérieure à 0,85 – cf. exemple de Talmas, Figure 49), ce qui peut s'interpréter comme la différence des temps de réaction de la nappe et du cours d'eau aux épisodes pluvieux.

Les débits mensuels minimum de la Nièvre s'observent généralement en octobre. Le niveau piézométrique de référence à utiliser pour déclencher des alertes ou des mesures de restriction d'usage en cas d'amorce d'une situation de crise devra donc être recherché au cours des mois de septembre-octobre.



*Figure 49 : Corrélogramme croisé des niveaux piézométriques à Talmas et des débits de la Nièvre à l'Étoile*

Les piézomètres de Talmas et d'Épécamps se trouvent sur des parcelles publiques, et sont publics. La pérennité de ces deux ouvrages en tant que piézomètre a donc une probabilité forte.

En résumé, les piézomètres de Talmas et d'Épécamps peuvent tous deux être retenus comme références pour caractériser le fonctionnement global du bassin versant de la Nièvre. Cependant, notre choix se porte de préférence sur le piézomètre de Talmas, les BE de ce dernier étant plus marquées que celles d'Épécamps. Le couple piézomètre/station de référence proposé pour l'unité de gestion correspondant au « BV de la Nièvre » est donc Talmas/Étoile.

**d) Stations choisies comme références pour chacune des unités proposées**

La démarche présentée ci-dessus pour le bassin de la Nièvre a été appliquée à chacune des unités de gestion proposées. Les couples piézomètre/station ainsi choisis comme références sont indiqués sur la Figure 50.

Le réseau des stations sécheresse de la Somme actuellement en service est illustré Figure 51. On y retrouve quelques-unes des stations de mesure proposées comme références, dont par exemple le couple Hangest-en-Santerre/Moreuil.

Insistons ici sur le fait que les couples piézomètre(s)/station présentés précédemment sont dits « de référence » car ils caractérisent au mieux le comportement hydrodynamique des unités de gestion auxquelles ils sont associés. Le choix de ces couples n'engage actuellement en rien quant à leur utilisation au sein du réseau sécheresse, ceci pouvant encore être ajusté. En ce sens, précisons que les piézomètres de Senlis-le-Sec, Équennes-Éramecourt, Flaucourt et Becquigny se retrouvent régulièrement à sec en période d'étiage. Leur éventuelle utilisation en tant que stations sécheresses suppose donc au préalable leur approfondissement (ces travaux sont déjà budgétés pour deux points dans le cadre de la gestion du réseau piézométrique).

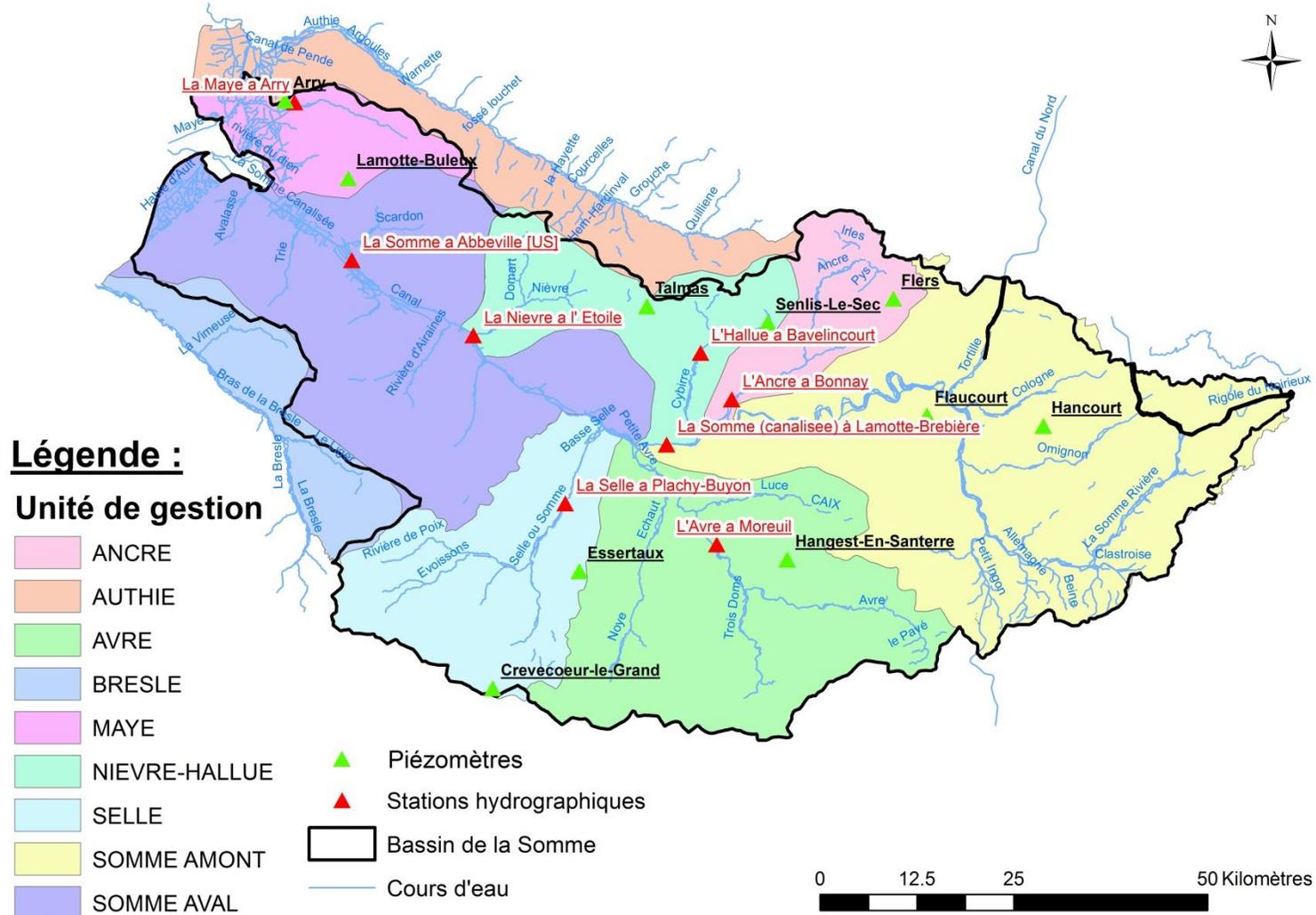


Figure 50 : Couples piézomètre/station hydrométrique de référence choisis pour chacune des unités de gestion proposées

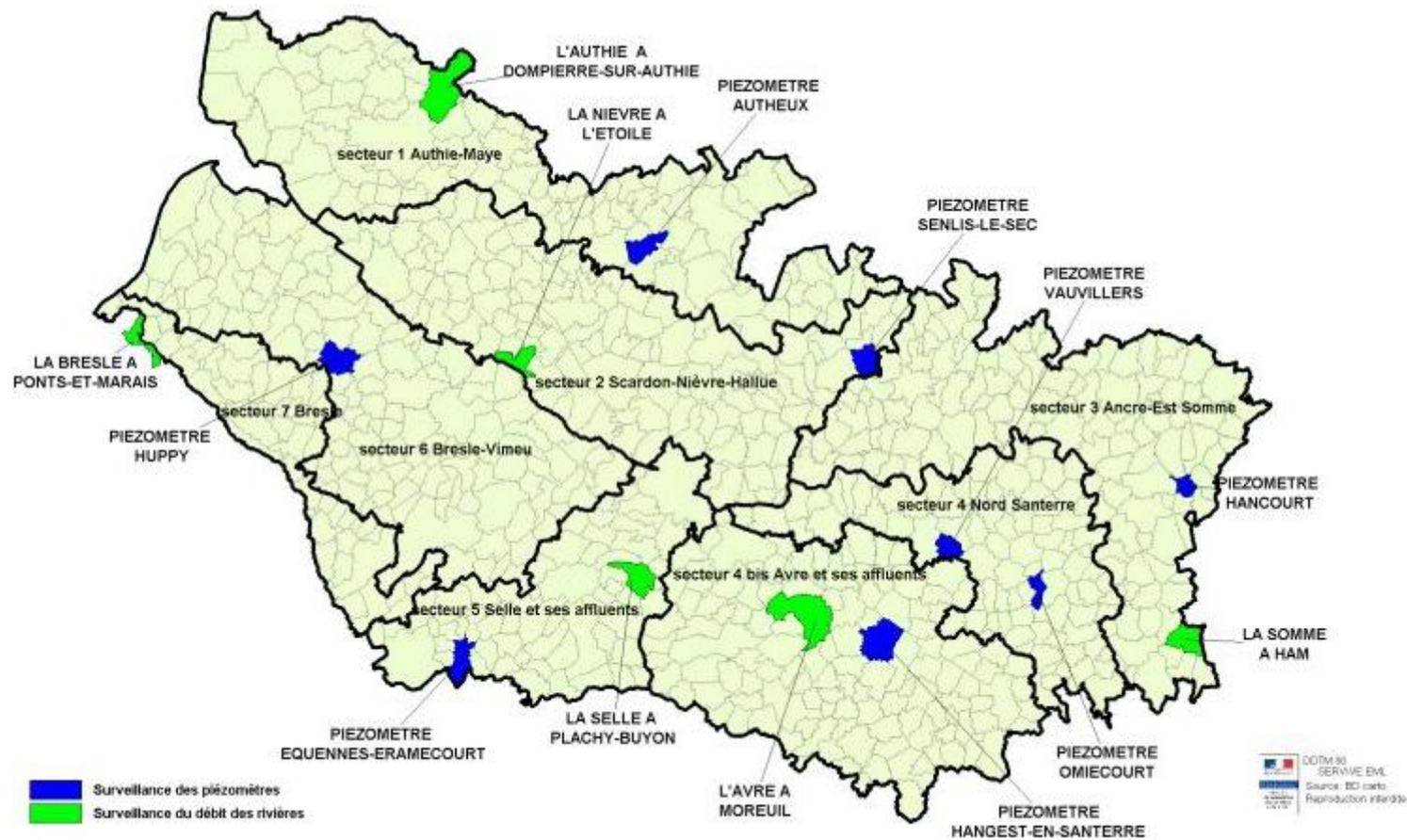


Figure 51 : Réseau des stations sécheresse de la Somme (d'après l'arrêté-cadre du 26 mars 2012)

#### 4.1.6. Découpage et stations retenus en concertation avec le COPIL

Le découpage sectoriel proposé (§ 4.1.4) a été présenté et discuté au premier Comité de Pilotage (COPIL). Il a été décidé de ne pas retenir cette proposition, bien qu'elle réponde au cahier des charges, le nombre d'unités de gestion étant jugé trop important par l'ensemble des parties. Des propositions de regroupement d'unités ont alors été faites et acceptées par le COPIL : « Somme Amont » et « Nord Santerre », « Nièvre » et « Hallue », « Somme aval » et « Scardon ». Il est important de noter que les regroupements envisagés sont cohérents avec le fonctionnement hydrodynamique de la nappe (piézométrie, inertie, etc. cf. § 4.1.1) et avec les sous-bassins considérés par l'AMEVA pour définir les débits d'objectif biologique (DOB) sur le bassin de la Somme (Figure 52).

Le découpage sectoriel retenu par le COPIL est présenté Figure 53 avec, en rouge, les stations hydrométriques prises comme référence conformément à ce qui a été expliqué précédemment (§ 4.1.5). Il compte sept unités de gestion :

- Somme Amont (station hydrométrique de Lamotte-Brebière).
- Ancre (station de Bonnay).
- Nièvre-Hallue (stations de l'Étoile et de Bavelincourt).
- Maye (station d'Arry).
- Somme Aval (station d'Abbeville).
- Selle (station de Plachy-Buyon).
- Avre (station de Moreuil).

Toutefois, conformément au cahier des charges, la quantification des volumes mobilisables selon différents scénarii météorologiques ne sera réalisée que pour 6 des 7 unités de gestion retenues. Il a ainsi été décidé en COPIL de ne pas travailler sur l'unité de gestion « Somme aval », celle-ci étant peu concernée par les prélèvements agricoles (ils représentent moins de 1% du volume total prélevé pour l'irrigation sur le bassin de la Somme).



Figure 52 : Sous-bassins considérés par l'AMEVA pour définir les DOB sur le bassin de la Somme (extrait du rapport de Phase 1 de l'AMEVA, 2012)

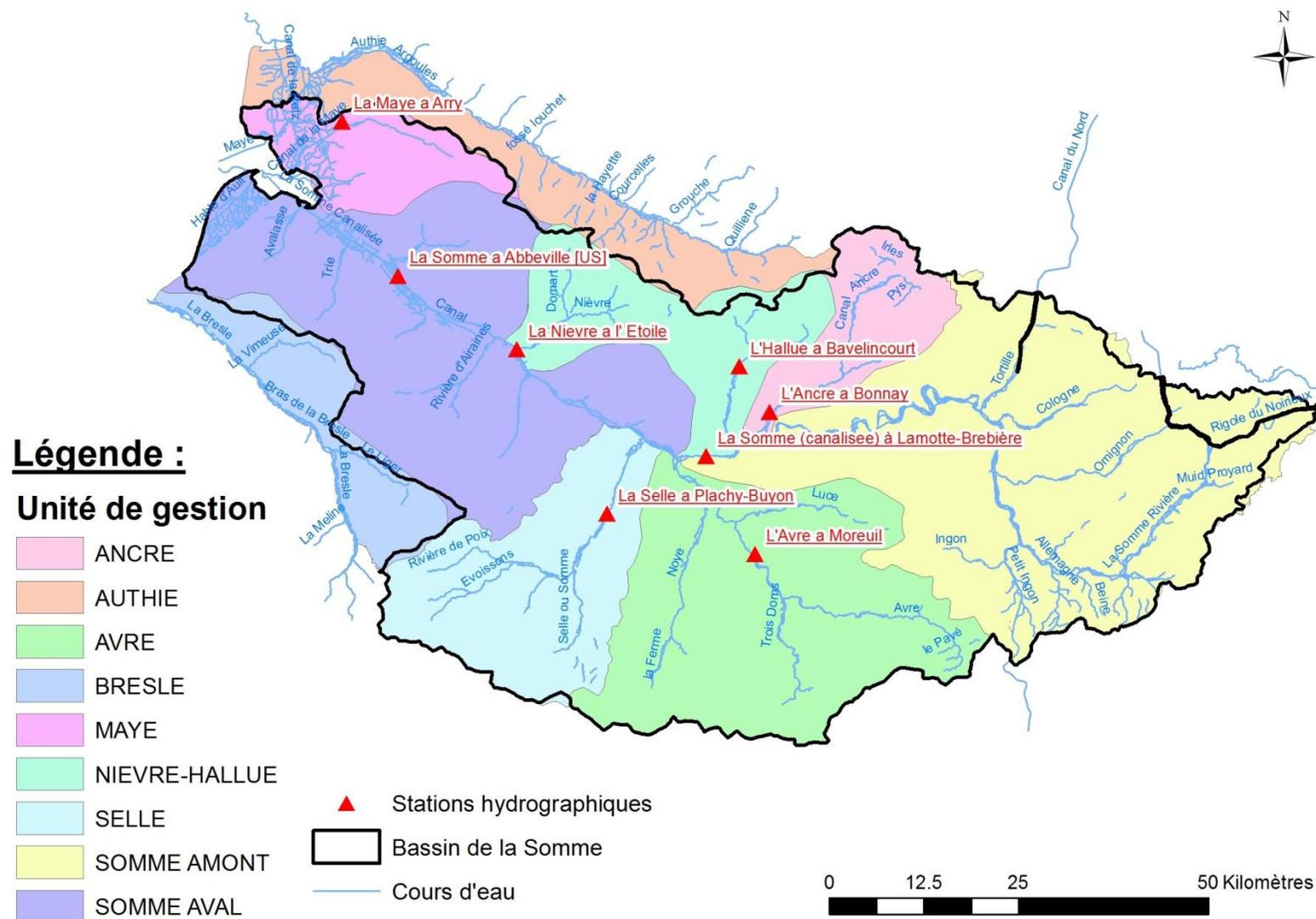


Figure 53 : Découpage sectoriel du bassin de la Somme en unités de gestion retenu par le COPIL

## 4.2. RELATION HAUTEUR DE NAPPE/DÉBIT DE COURS D'EAU

La nappe de la craie est en relation étroite avec les cours d'eau du bassin de la Somme. Cette caractéristique peut être déterminante en termes de gestion des étiages. Ce chapitre présente le travail réalisé pour déterminer une relation univoque entre la hauteur de la nappe dans un ou des piézomètres de référence et le débit d'étiage du cours d'eau pour chacune des 6 unités de gestion examinées (i.e. hors « Somme aval »). Une fois établies, ces 6 relations, si elles existent, pourront être utilisées pour définir :

- des seuils piézométriques en liaison avec les différents débits fixés comme objectifs, tels que le QMNA5 (cf. exemple de la Figure 54 : le niveau piézométrique est de 60.8 m NGF pour un débit égal au QMNA5 (en rouge), et de 64.4 m NGF pour un débit de la moitié du module (en vert)).
- le débit minimal qu'il y aura à un instant t+T jours en supposant qu'il n'y ait pas de recharge intermédiaire, à partir du niveau piézométrique observé à l'instant t et de la vitesse de vidange de la nappe (exemple illustré en bleu sur la Figure 54 et la Figure 55).

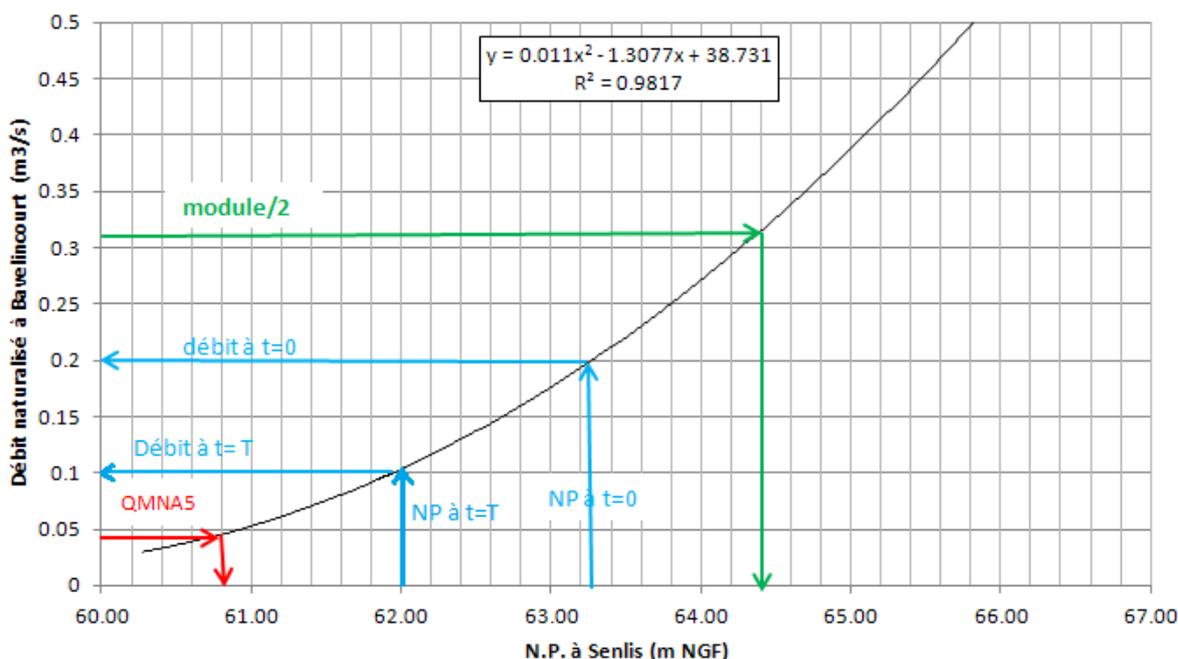


Figure 54 : Utilisations possibles de la relation hauteur de nappe – débit d'étiage du cours d'eau : détermination de seuils piézométriques et prévision à court terme du débit d'étiage. Exemple extrait du guide méthodologique RP-61374-FR pour la détermination des indicateurs piézométriques

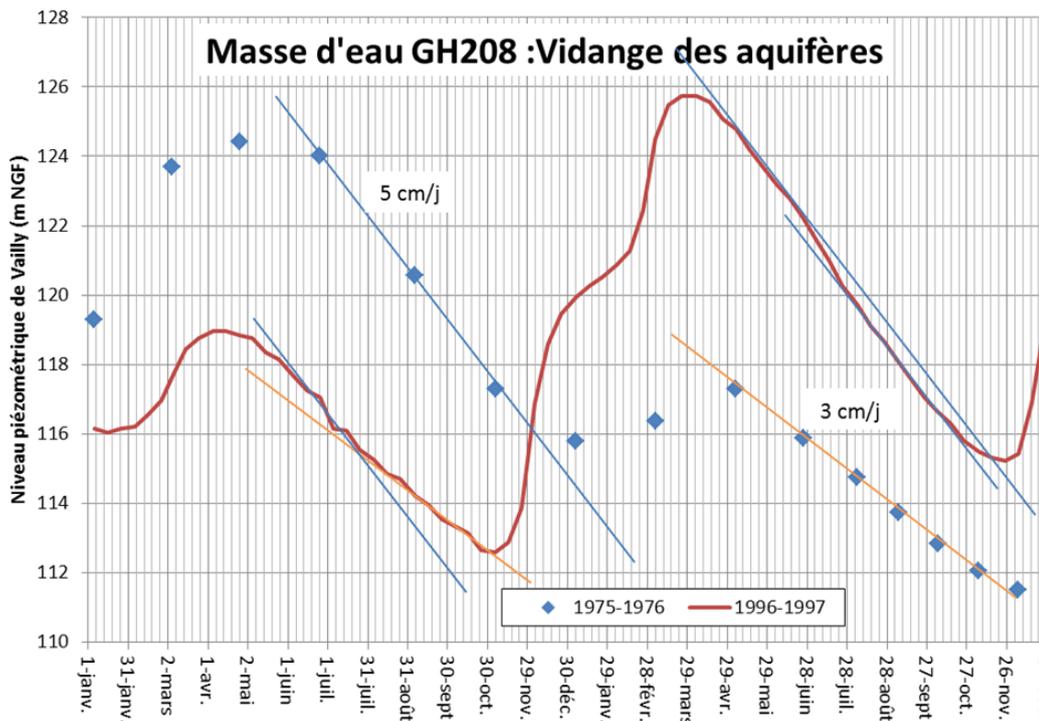


Figure 55 : Détermination de la vitesse de vidange des aquifères. Exemple sur la masse d'eau GH208, extrait du guide méthodologique RP-61374-FR pour la détermination des indicateurs piézométriques

La démarche mise en œuvre ici s'inspire de l'approche utilisée pour « la détermination des indicateurs piézométriques » (BRGM/RP-58139-FR, Seguin et al. 2009), reprise dans le guide du même nom (BRGM/RP-61374-FR, Stollsteiner et al. 2011). Il s'agit d'une démarche itérative réalisée par unité de gestion et qui s'appuie sur une analyse croisée des chroniques piézométriques et hydrométriques. Afin de ne pas alourdir le texte, cette démarche est illustrée dans le corps de ce rapport à l'aide de deux des six unités étudiées : Nièvre-Hallue et Avre. Les résultats obtenus pour les 4 autres unités (Selle, Somme Amont, Maye et Ancre) sont résumés dans le paragraphe 4.2.2 ci-dessous et illustrés en annexe.

#### 4.2.1. Présentation de la démarche, et mise en œuvre sur deux unités de gestion

##### a) Examen détaillé des chroniques piézométriques et hydrométriques de référence

La première étape a consisté à étudier séparément les chroniques piézométriques et hydrométriques choisies comme références pour chacune des unités de gestion retenues : étude de la cyclicité et de l'inertie, mais aussi recherche de seuils « historiquement bas » et de relations entre niveaux et débits (ou assecs observés). Cette étape recoupe une partie du travail réalisé pour la délimitation du bassin de la Somme en unités de gestion (cf. § 4.1.1, « Examen des chroniques piézométriques »). Quelques-uns des graphiques construits au cours de cette étape et les commentaires associés illustrent le travail réalisé pour l'unité Nièvre-Hallue (Figure 56 et Figure 57).

Les piézomètres de Senlis-le-Sec et de Talmas ont été choisis comme références pour l'unité « Nièvre-Hallue ». Toutefois, dans un souci de synthèse, nous nous concentrons ici sur le piézomètre de Senlis-le-Sec (Figure 56). Comme nous l'avons vu précédemment (§ 4.1.1), la chronique piézométrique de Senlis-le-Sec et le corrélogramme associé (Figure 56) caractérisent une nappe à double cycle avec des cycles annuels BE/HE marqués (plus de 2 m d'amplitude) qui se superposent à des cycles plus longs (de 6-7 ans) ; en complément, la nappe présente une inertie de quelques mois (coefficient d'autocorrélation  $R > 0,6$  pendant 4 mois). La série piézométrique de Senlis-le-Sec est par ailleurs marquée par plusieurs épisodes de niveaux historiquement bas (1990-1992, 1996-1998, 2004-2006, etc.), avec des minima relevés en 1997 et en 2005, autour de 60 m NGF.

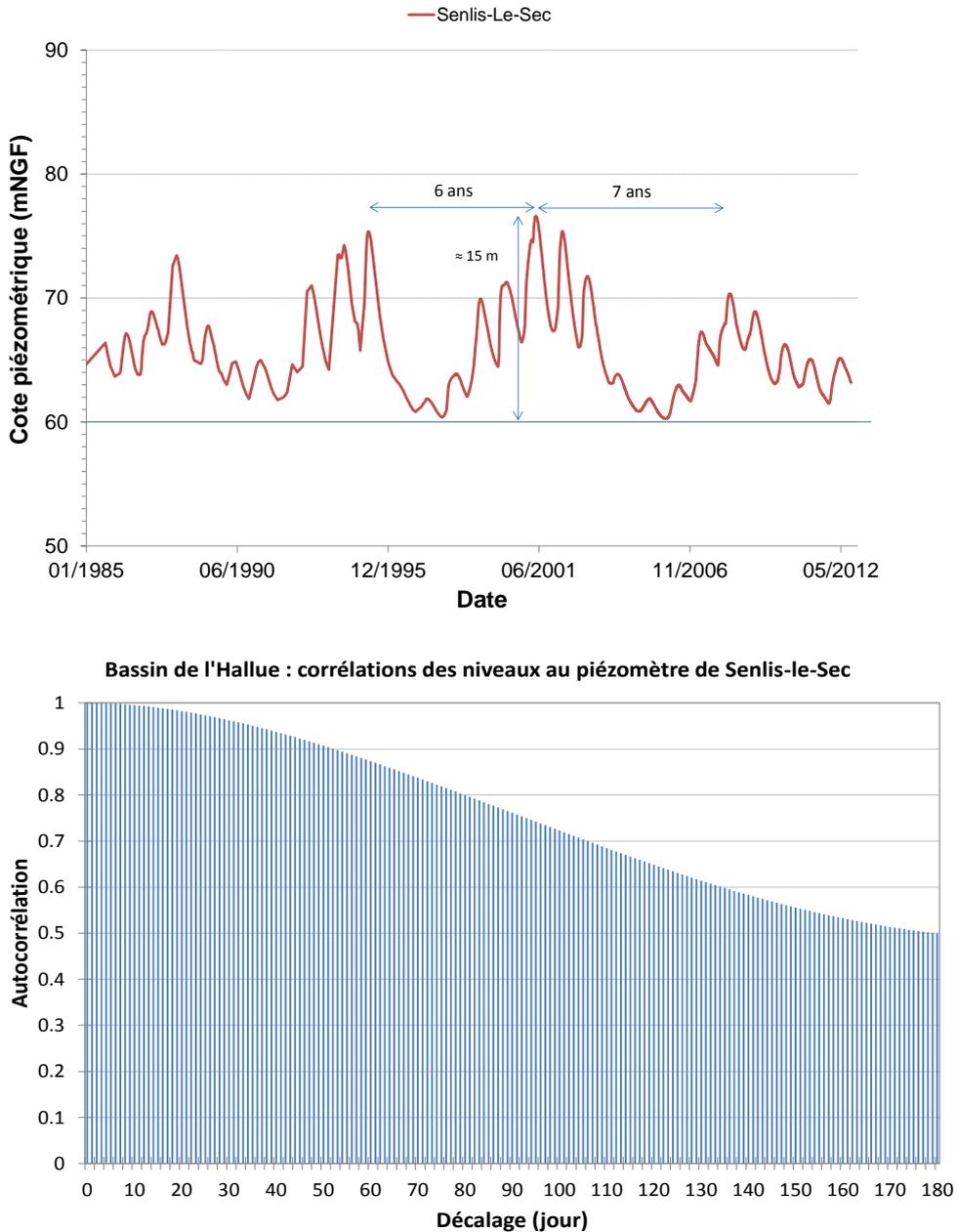


Figure 56 : Chronique piézométrique de Senlis-le-Sec (en haut) et corrélogramme calculé à partir de ces niveaux journaliers (en bas)

Les stations hydrométriques de l'Étoile et de Bavelincourt ont été choisies comme références pour l'unité « Nièvre-Étoile ». L'analyse présentée ici (Figure 57) porte uniquement sur la station de Bavelincourt. Comme la nappe, l'Hallue est caractérisée par une double cyclicité avec des cycles annuels BE/HE qui se superposent à des cycles plus longs (de 6-8 ans) ; des débits historiquement bas, autour de  $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $<$  au QMNA5 [ $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ ]), ont été enregistrés en 1996-1998 et 2005-2006. En outre, on peut constater que les périodes de basses eaux s'observent d'août à décembre, avec des débits minimaux en novembre (cf. boxplot et histogramme de la Figure 57).

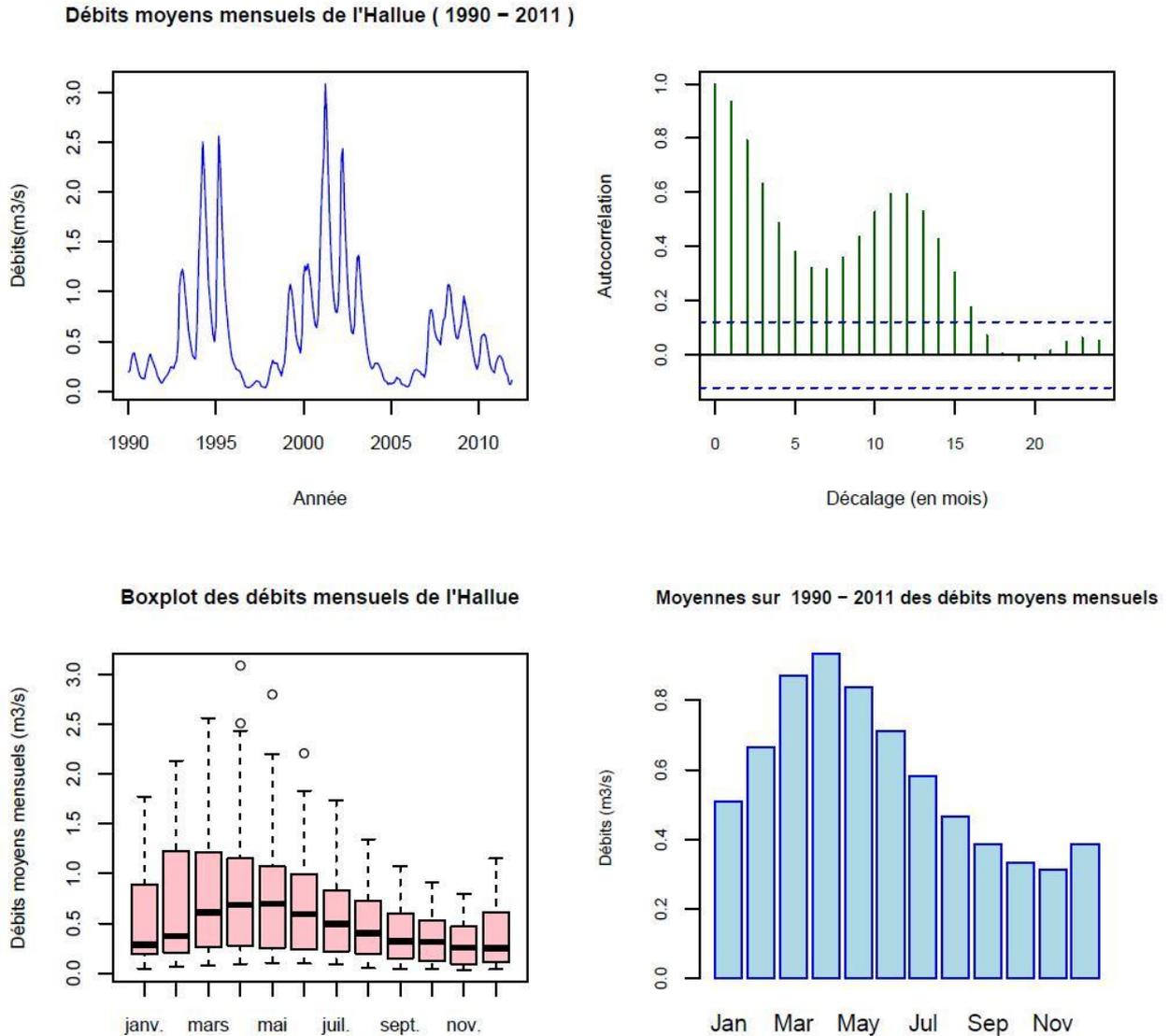


Figure 57 : Analyses menées sur les débits moyens mensuels de l'Hallue à la station de Bavelincourt (en haut : chronique et corrélogramme associé, en bas : statistiques de base et histogramme)

## b) Recherche d'une relation entre niveaux de nappe et débits de cours d'eau

La deuxième étape de cette analyse a consisté à mettre en parallèle les chroniques de débits et de niveaux piézométriques choisies comme références pour chacune des unités de gestion retenues. Une comparaison graphique des débits et des niveaux piézométriques permet en effet d'apprécier visuellement une possible corrélation niveau-débit (H/Q) et de définir dans certains cas une relation H/Q univoque. Il est important de noter que dans le cadre d'une détermination du débit d'étiage, il est souhaitable d'éliminer les couples de points (débit, niveau) où le débit peut être faussé par du ruissellement superficiel ou des rejets dans le cours d'eau (BRGM/RP-61374-FR, Stollsteiner et al. 2011). Cette recommandation a été appliquée au cours de cette deuxième étape d'analyse en se concentrant sur la courbe enveloppe pour laquelle le débit est minimal pour un niveau piézométrique donné (ex. de l'unité de l'Ancre, en annexe) et en travaillant sur des périodes de vidange de la nappe et/ou sur des minimas de débit et de niveau (Figure 58, Figure 60 et annexe).

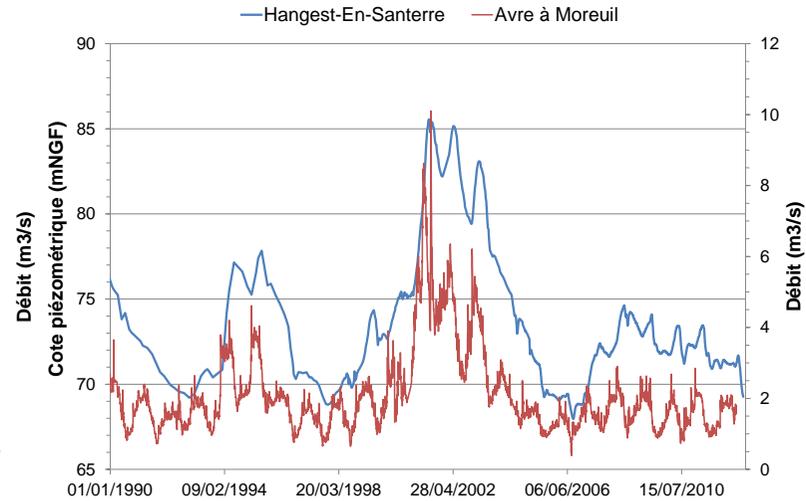
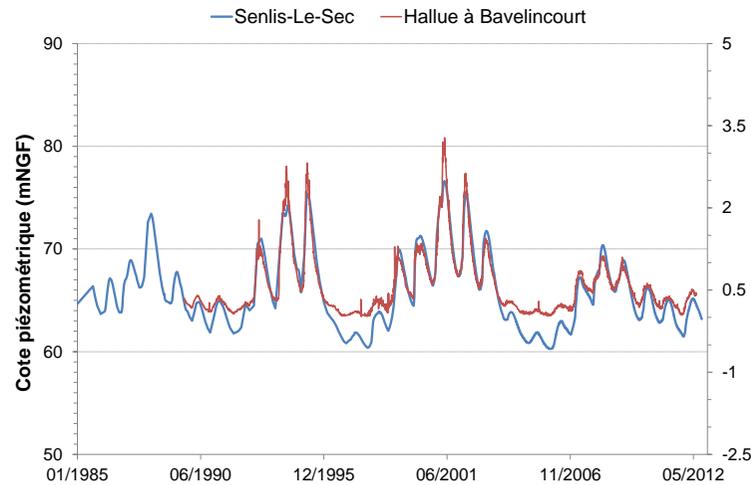
La Figure 58, la Figure 59 et la Figure 60 présentent une partie des graphiques réalisés pour déterminer la relation H/Q des unités « Nièvre-Hallue » et « Avre ». On peut constater que la corrélation des niveaux à Senlis-le-Sec avec les débits de l'Hallue à Bavelincourt est très bonne (Figure 58). Une relation H/Q relativement univoque (courbe rouge) se dégage en effet des graphes réalisés pour l'unité « Nièvre-Hallue », et ceci quelles que soient les variables étudiées (niveaux et débits journaliers, niveaux et débits mini mensuels, niveaux et débits mini annuels, etc., cf. Figure 59 et Figure 60). Il apparaît ainsi que lorsque le niveau mesuré à Senlis-le-Sec est inférieur à 62 m NGF, le débit de l'Hallue à Bavelincourt est inférieur au QMNA5 (0.05 m<sup>3</sup>/s, courbe rose).

À l'inverse, il semble difficile de trouver une relation H/Q univoque pour l'unité « Avre ». Il est en effet délicat de définir pour cette unité un niveau seuil unique pour lequel le débit sera forcément inférieur au QMNA5 (pour un débit donné, plusieurs niveaux sont possibles). Ceci est à relier au fait que dans cette partie de la Somme (rive gauche), la nappe de la craie est très inertielle et présente des cycles annuels moins marqués. Un niveau seuil sécuritaire de 73 m NGF pour lequel le débit pourra être inférieur ou non au QMNA5 selon les années peut néanmoins être proposé, à défaut de mieux.

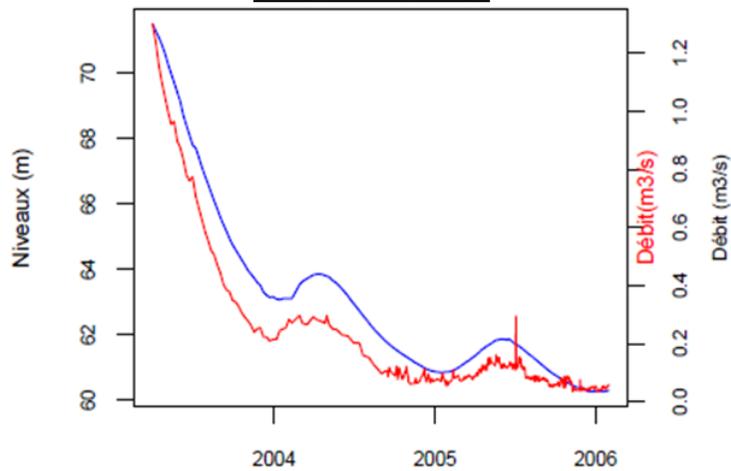
### 4.2.2. Bilan sur les relations H/Q déterminées

Des relations H/Q satisfaisantes ont pu être identifiées pour les unités « Ancre », « Nièvre-Hallue » et Maye, comme illustré sur la Figure 59, la Figure 60 et en annexe). Elles pourraient à l'avenir être utilisées pour définir des seuils piézométriques en liaison avec les débits fixés comme objectifs. À titre d'illustration, le niveau piézométrique de Flers (unité de l'Ancre) est de 98 m NGF pour un débit égal au QMNA5 (en rose dans l'annexe), tandis que les niveaux de Lamotte-Buleux et Senlis sont respectivement de 22 et 62 m NGF. Ces relations pourraient également être utilisées pour faire de la prévision d'étiage à court terme comme illustré aux Figure 54 et Figure 55. Ce travail n'a pas été traité en détail dans cette étude, bien que les vitesses de vidange de la nappe de la craie en période d'étiage aient été déterminées pour les unités « Ancre » et « Nièvre-Hallue » (elles sont de l'ordre du cm/jour). En revanche, il est apparu difficile de trouver une relation H/Q univoque (plusieurs H pour un même Q) et généralisable (valable quelle que soit la variable étudiée) dans le cas des unités de gestion « Avre » et « Selle ». Ceci est notamment à relier au fait que dans cette partie du bassin (rive gauche de la Somme), la nappe est plus inertielle (sauf exception du Santerre) et davantage marquée par les cycles pluriannuels que annuels. Dans de tels cas, il ne semble pas pertinent de définir et de travailler sur des seuils piézométriques bien que des seuils sécuritaires puissent

être proposés pour respecter le QMNA5 (73 m NGF pour l'Avre et 134 m NGF pour la Selle). Il faut en effet privilégier les seuils de débit tels que les DOB.



**Niveaux et débits enregistrés en période de vidange de la nappe –  
Unité Nièvre-Hallue**



**Niveaux et débits enregistrés en période de vidange de la nappe –  
Unité de l'Avre**

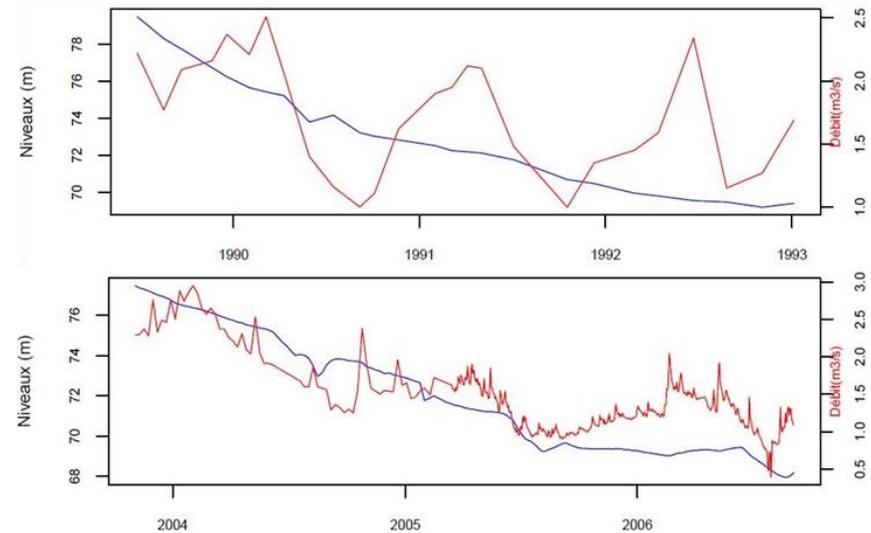


Figure 58 : Comparaison des niveaux et des débits, avec en bas un zoom sur des périodes de vidange de la nappe 1989-1993 et 2003-2006. À gauche, unité « Nièvre-Hallue » (piézomètre de Senlis/station de Bavelincourt). À droite, unité de « l'Avre » (piézomètre d'Hangest/station de Moreuil).

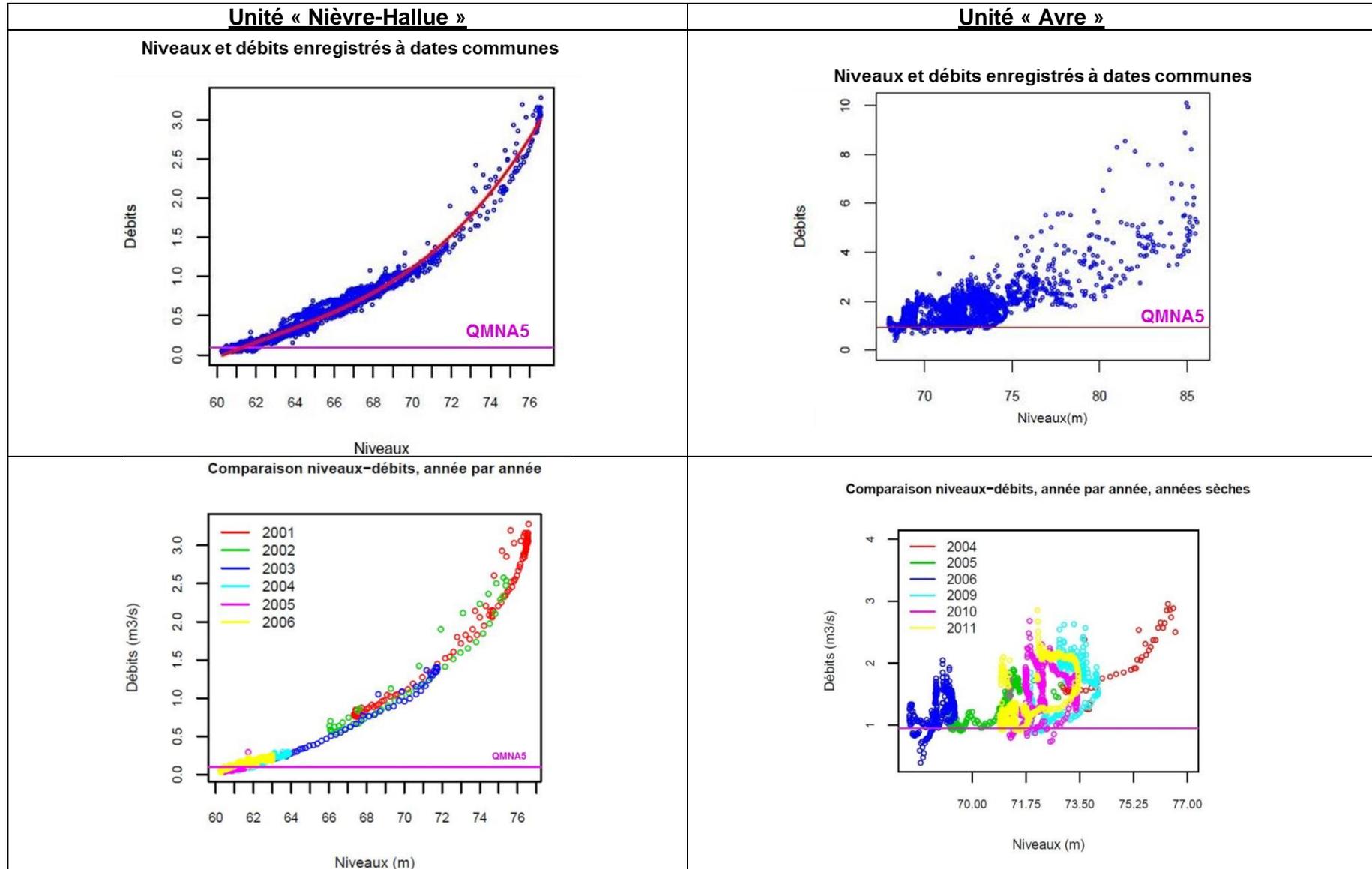


Figure 59 : Mise en relation des débits et des niveaux piézométriques pour l'unité « Nièvre-Hallue » (à gauche) et « Avre » (à droite), avec de haut en bas : à dates communes et à dates communes avec figuration des années en couleur. La courbe rouge est une courbe de tendance tandis que la courbe rose donne les QMNA5 respectifs de l'Hallue à Bavelincourt et de l'Avre à Moreuil.

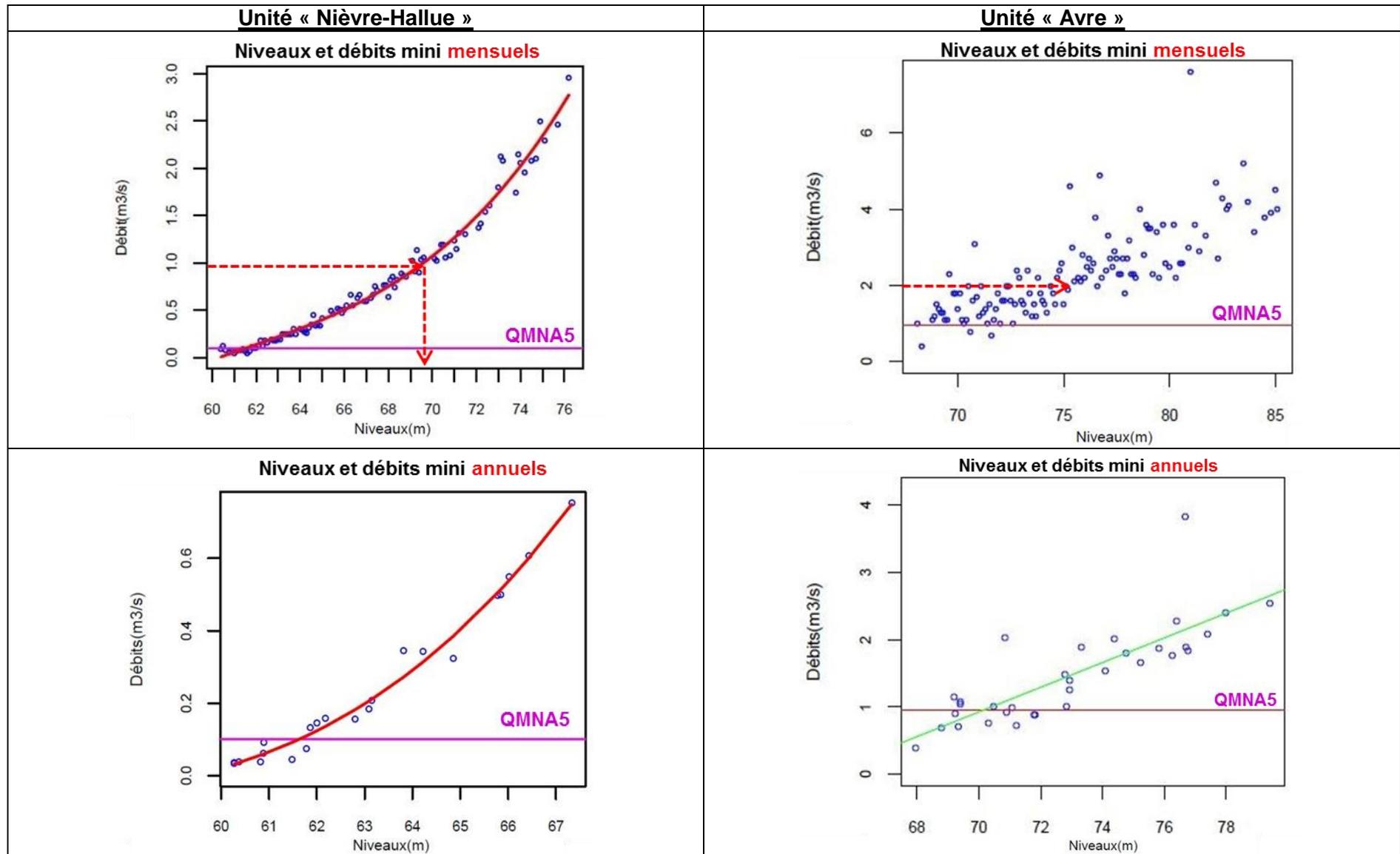


Figure 60 : Mise en relation des débits et des niveaux piézométriques pour l'unité « Nièvre-Hallue » (à gauche) et « Avre » (à droite), avec de haut en bas : figuration des mini mensuels uniquement, puis, des mini annuels. La courbe rouge est une courbe de tendance tandis que la courbe rose donne les QMNA5 respectifs de l'Hallue à Bavelincourt et de l'Avre à Moreuil.

### **4.3. ÉTUDE DE L'IMPACT DES PRÉLÈVEMENTS EN NAPPE SUR LE DÉBIT DES COURS D'EAU DU BASSIN DE LA SOMME**

Pour identifier les cours d'eau qui sont fortement impactés par les prélèvements et pour quantifier l'impact des prélèvements sur les débits, plusieurs simulations ont été réalisées avec différentes configurations (situation naturelle « sans prélèvements », situation sans prélèvements agricoles, situation sans prélèvements dans les forages agricoles situés à moins d'un km du cours d'eau ; etc.).

#### **4.3.1. Impact des prélèvements actuels dans la nappe**

3 simulations ont été réalisées :

- Simulation 1, avec prélèvements tous usages confondus, « S1 » ;
- Simulation 2, sans prélèvements agricoles (avec uniquement les prélèvements AEP & Industrie), « S2 » ;
- Simulation 3, en situation naturelle (sans prélèvements), « S3 ».

L'objectif est d'évaluer l'impact sur les débits des cours d'eau de l'ensemble des prélèvements opérés dans la nappe (tous usages confondus), et de quantifier les baisses de débit dues aux prélèvements agricoles. Ces dernières sont obtenues en comparant les débits calculés aux stations de référence pour les simulations S1 et S2.

L'influence des prélèvements en nappe sur les débits aux stations hydrométriques de référence est calculée en comparant les débits fournis par le modèle pour les simulations S1 et S3

#### **a) Impact sur le débit de la Maye**

Sur la Figure 61 sont représentées la baisse de débit de la Maye à Arry due aux prélèvements en nappe tous usages confondus (en rouge) et celle due aux seuls prélèvements agricoles dans la nappe (courbe bleue). Selon les années, la baisse liée aux prélèvements agricoles varie entre 6 et 65 L/s (en 2010) ; la baisse résultant des prélèvements AEP & Industrie est de 40 L/s en moyenne. Comme dans ce secteur 85% du volume prélevé pour l'irrigation est soutiré à la nappe entre mai et juillet, l'impact maximal sur le débit est atteint vers la fin juin. En 2010, la baisse de débit liée aux prélèvements atteint environ 100 L/s (soit environ 27% de la valeur du QMNA5 de la station).

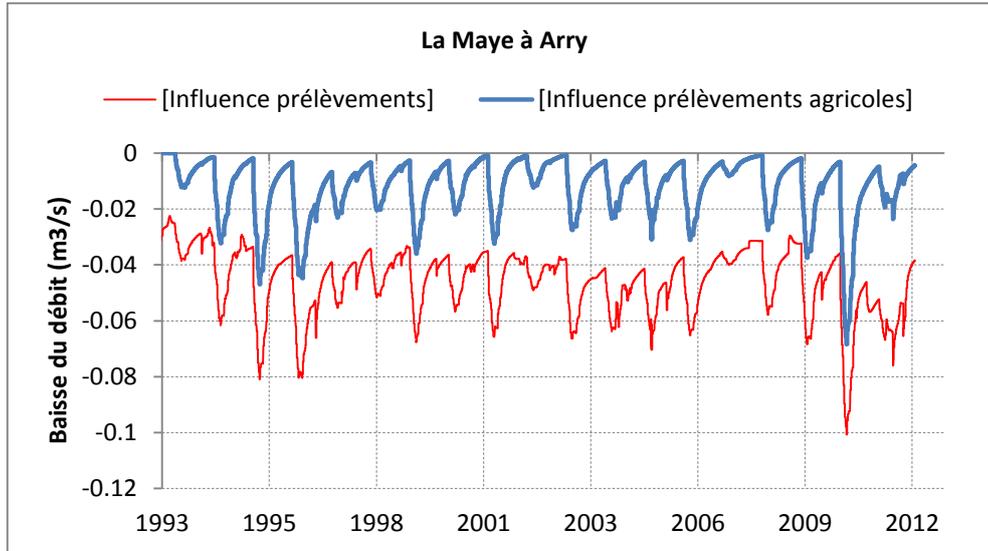


Figure 61 : Influence des prélèvements en nappe sur la baisse du débit de la Maye à Arry (la courbe rouge représente l'influence des prélèvements en nappe tous usages confondus).

## b) Impact sur la Nièvre et l'Hallue

L'impact des prélèvements en nappe sur le débit de la Nièvre à l'Étoile et celui de l'Hallue à Bavelincourt est illustré respectivement à la Figure 62 et à la Figure 63. Selon les volumes prélevés à la nappe, la baisse du débit de la Nièvre à l'Étoile liée aux prélèvements agricoles varie entre 2 et 40L/s (l'impact en 2009 et 2010 est de l'ordre de 30L/s). La baisse due aux prélèvements AEP et Industrie varie entre 46 et 90 L/s sur la période 1990-2010 mais reste stable ces dernières années autour de 55 L/s.

Pour le débit de l'Hallue à Bavelincourt, l'impact est important au regard du faible débit mesuré en période d'étiage dans cette station (QMNA5 = 50L/s). Sur la période 1993-2010, selon les résultats du modèle, la baisse du débit due aux prélèvements agricoles se situe entre 1 et 12L/s (avec des valeurs de l'ordre de 3 et 9L/s en 2009 et 2010) ; alors que celle résultant des autres types de prélèvement varie entre 10 et 45 L/s (valeur moyenne de l'ordre de 18 L/s en 2009 et 2010).

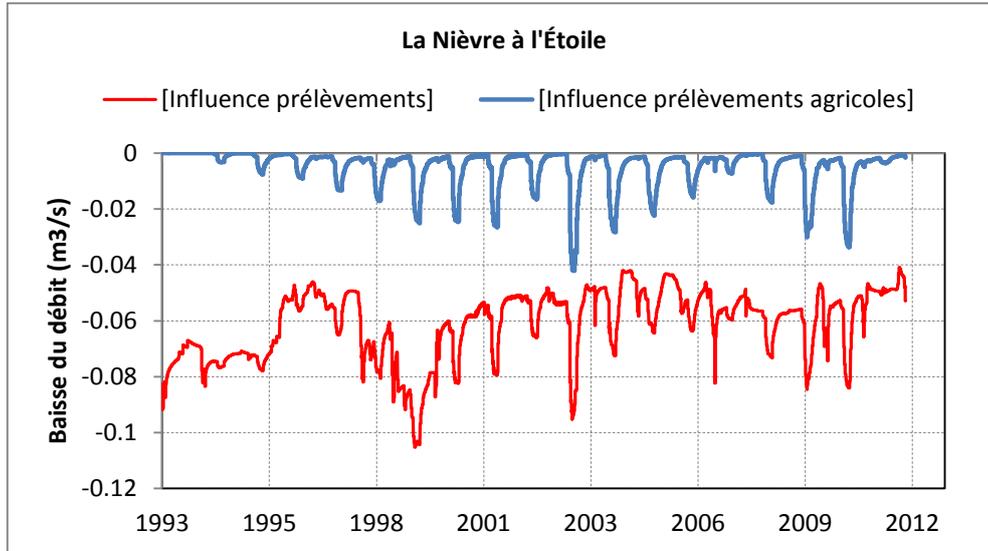


Figure 62 : Influence des prélèvements en nappe sur la baisse du débit de la Nièvre (la courbe rouge représente l'influence des prélèvements en nappe tous usages confondus).

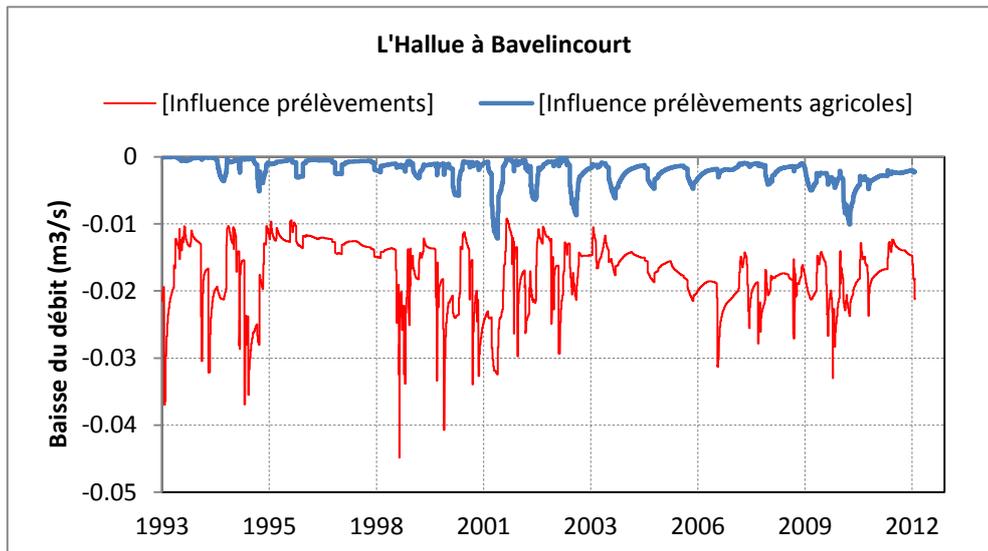


Figure 63: Influence des prélèvements en nappe sur la baisse du débit de l'Hallue (la courbe rouge représente l'influence des prélèvements en nappe tous usages confondus).

### c) Impact sur l'Ancre

La figure 63 présente la baisse du débit de l'Ancre à la station de Bonnay due aux prélèvements en nappe tous usages confondus (en rouge) et celle induite par les seuls prélèvements agricoles dans la nappe (courbe bleue). L'impact dépend des volumes prélevés et varie sur la période 1993-2010. Ainsi, la baisse liée aux prélèvements agricoles varie entre 10 et 90 L/s alors que celle résultant des prélèvements AEP et industrie est en moyenne de 80L/s sur cette période. En 2010, l'impact calculé par le modèle est au maximum de 160 L/s, avec environ 80 L/s pour les prélèvements agricoles.

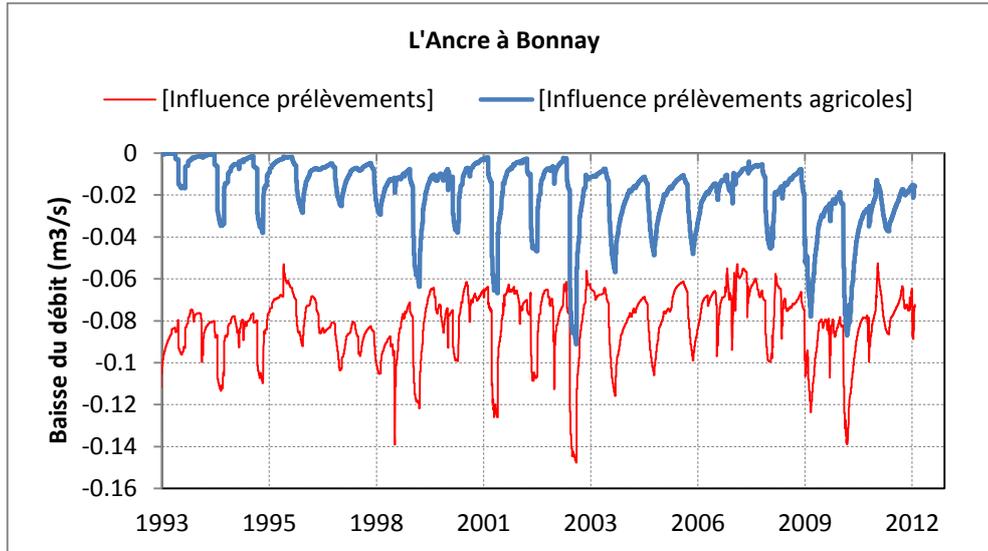


Figure 64 : Influence des prélèvements en nappe sur la baisse du débit de l'Ancre (la courbe rouge représente l'influence des prélèvements en nappe tous usages confondus).

#### d) Impact sur la Somme canalisée à l'échelle de la Lamotte-Brebière

Comme le débit de la Somme enregistré à Lamotte-Brebière intègre le débit des affluents Ancre et Hallue, l'impact calculé comprend aussi l'influence des prélèvements dans l'unité de gestion de l'Ancre et le bassin de l'Hallue. La Figure 65 montre l'influence globale des prélèvements dans la nappe (courbe rouge) et celle des seuls prélèvements agricoles sur la baisse du débit de la Somme à Lamotte Brebière. Selon les années et le volume prélevé, la baisse du débit de la Somme due aux prélèvements agricoles varie entre 0.2 et 1.2 m<sup>3</sup>/s ; elle est de l'ordre 1m<sup>3</sup>/s en 2009 et 2010. La baisse liée aux prélèvements AEP et industrie varie globalement entre 1.5 m<sup>3</sup>/s et 2 m<sup>3</sup>/s ; depuis la fin des années 1990, la baisse décroît pour se stabiliser à 1.5 m<sup>3</sup>/s. Ceci s'explique en grande partie par la réduction des prélèvements pour l'industrie (Figure 79).

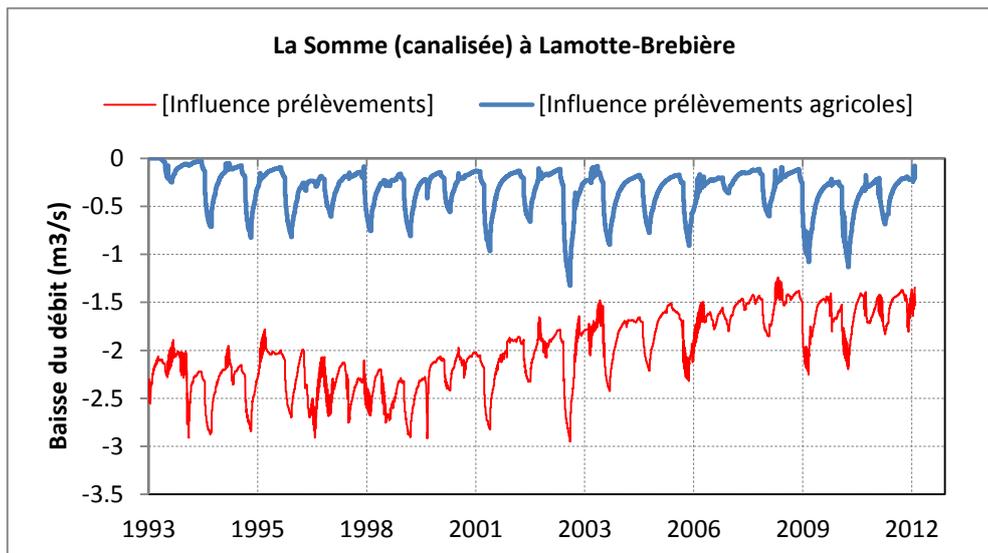


Figure 65 : Influence des prélèvements en nappe sur le débit de la Somme canalisée à Lamotte-Brebière (la courbe rouge représente l'influence des prélèvements en nappe tous usages confondus).

**e) Impact sur l'Avre**

L'Avre est le cours d'eau le plus impacté par les prélèvements surtout en période d'étiage, avec une baisse de débit due aux prélèvements en nappe pouvant atteindre 400 à 480 L/s (en 2003), soit un peu moins de 50% du débit correspondant au QMNA5. La baisse due aux prélèvements AEP et Industrie est en moyenne de l'ordre de 200L/s ; celle qui résulte des prélèvements agricoles varie entre 100 et 360L/s selon les années (en fonction du volume prélevé). Cette baisse n'intègre pas l'ensemble des prélèvements effectués dans l'unité de gestion de l'Avre mais uniquement ceux qui sont extraits du sous-bassin hydrogéologique drainé par l'Avre et ses affluents en amont de la station.

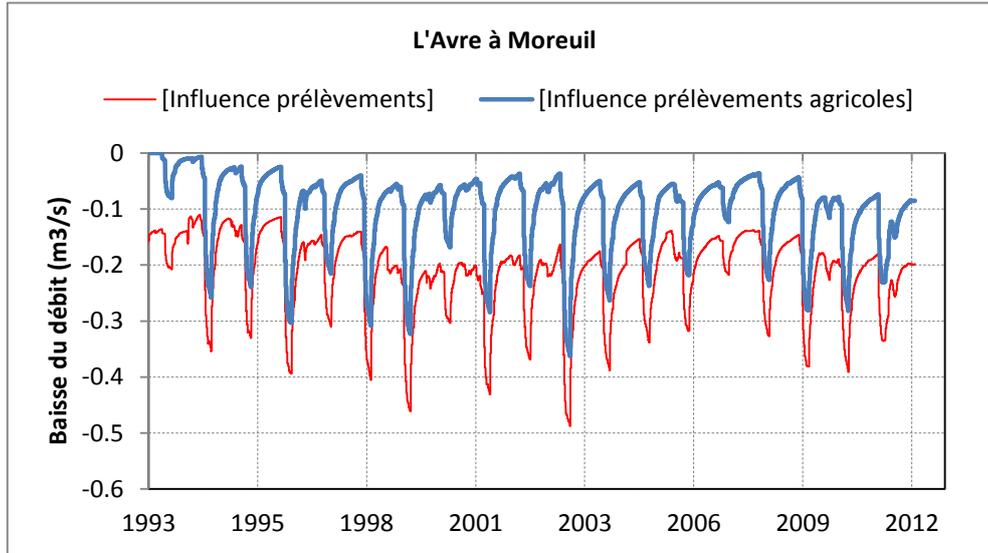


Figure 66 : Influence des prélèvements en nappe sur le débit de l'Avre à Moreuil (la courbe rouge représente l'influence des prélèvements en nappe tous usages confondus).

**f) Impact sur le débit de la Selle à Plachy-Buyon**

Comme la station de Plachy-Buyon est située en amont de l'exutoire de la Selle, seuls les prélèvements en nappe situés dans le sous-bassin hydrogéologique drainé par la Selle en amont de la station impactent le débit du cours d'eau au droit de la station. La baisse du débit de la Selle due aux prélèvements agricoles est très faible (de 1 à 6 L/s), et stable depuis plusieurs années (Figure 67). Par contre, celle qui résulte des prélèvements AEP varie entre 30 et 55 L/s avec une tendance à la hausse observée depuis le début du siècle (la valeur moyenne de la baisse calculée sur cette dernière décennie est de l'ordre de 50L/s). L'impact reste très faible au regard du QMNA5 de la station.

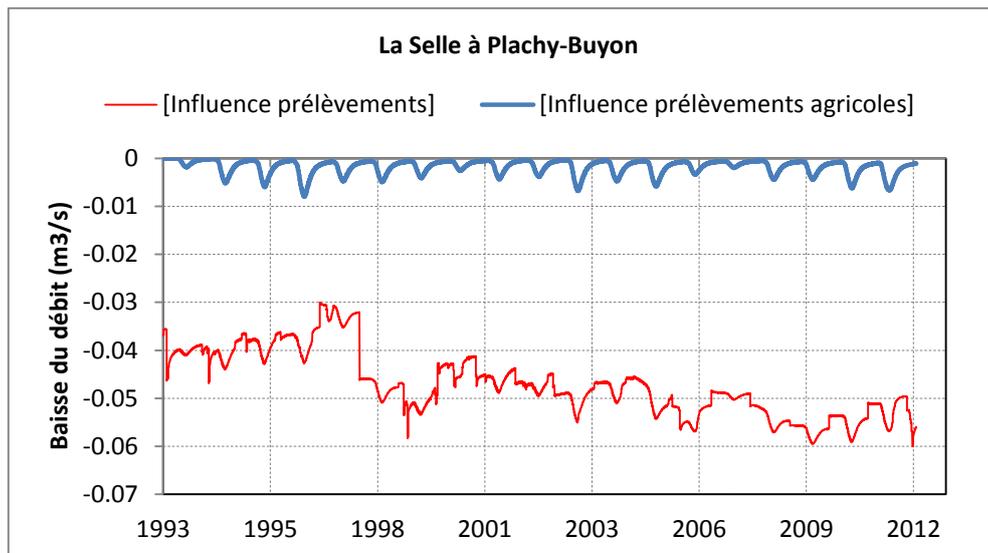


Figure 67 : Influence des prélèvements en nappe sur le débit de la Selle à Plachy-Buyon (la courbe rouge représente l'influence des prélèvements en nappe tous usages confondus).

#### 4.3.2. Impact des prélèvements agricoles situés à moins d'un km des cours d'eau

Afin de simuler l'impact sur le débit des cours d'eau des prélèvements effectués dans les forages d'irrigation situés à moins d'un km de la rivière, deux simulations supplémentaires ont été réalisées :

- Simulation avec arrêt des pompages dans les forages d'irrigation situés à moins d'un km de la rivière (scénario S4) ;
- Simulation en réduisant de moitié le volume pompé dans les forages d'irrigation situés à moins d'un km de la rivière (scénario S5).

L'objectif est ici d'apprécier dans quelle mesure le fait d'éloigner les captages d'irrigation des cours d'eau ou de réduire de moitié les volumes qui y sont prélevés permettrait de réduire leur impact sur les débits d'été.

Cet impact a été étudié sur la base de configuration des prélèvements de l'année 2005 (localisation des forages et volumes soutirés à la nappe) afin de rester cohérent avec l'année de référence choisie pour l'évaluation des volumes mobilisables et de fournir des éléments complémentaires aux analyses qui pourraient être faites sur la base de ce travail.

Pour l'année 2005, la localisation des forages d'irrigation situés à moins d'un km du cours d'eau est indiquée sur la Figure 68. Les unités de gestion dans lesquelles on observe une concentration importante de forages à moins d'un km de la rivière sont, par ordre décroissant, la Somme amont, l'Avre et la Maye. Le Tableau 2 synthétise, par unité de gestion, le nombre de forages d'irrigation situés à moins d'un km du cours d'eau et le volume total prélevé dans ces forages. Sur le bassin de la Somme, on dénombre au total 162 forages pour un volume total prélevé de 4.6 millions de m<sup>3</sup>. Plus de la moitié de ces forages (88) est concentrée dans l'unité « Somme amont », principalement le long de l'Ingon, l'Omignon, la Cologne et la Somme, entre Ham et Corbie ; ils représentent un volume prélevé de 2.17 millions de m<sup>3</sup>. L'unité « Avre » vient en seconde position avec 53 forages situés à moins d'un km de la rivière, principalement le long de l'Avre amont et des principaux affluents (Trois Doms, la Noye et la Luce) ; ces 53 forages prélèvent un volume total de 1.94 millions de m<sup>3</sup>. L'unité « Maye » compte 10 forages à

proximité de la rivière, avec un volume prélevé de 0.236 millions de m<sup>3</sup>. Sur l'unité Selle, il n'y a aucun forage d'irrigation à moins d'un km de la Selle et ses affluents.

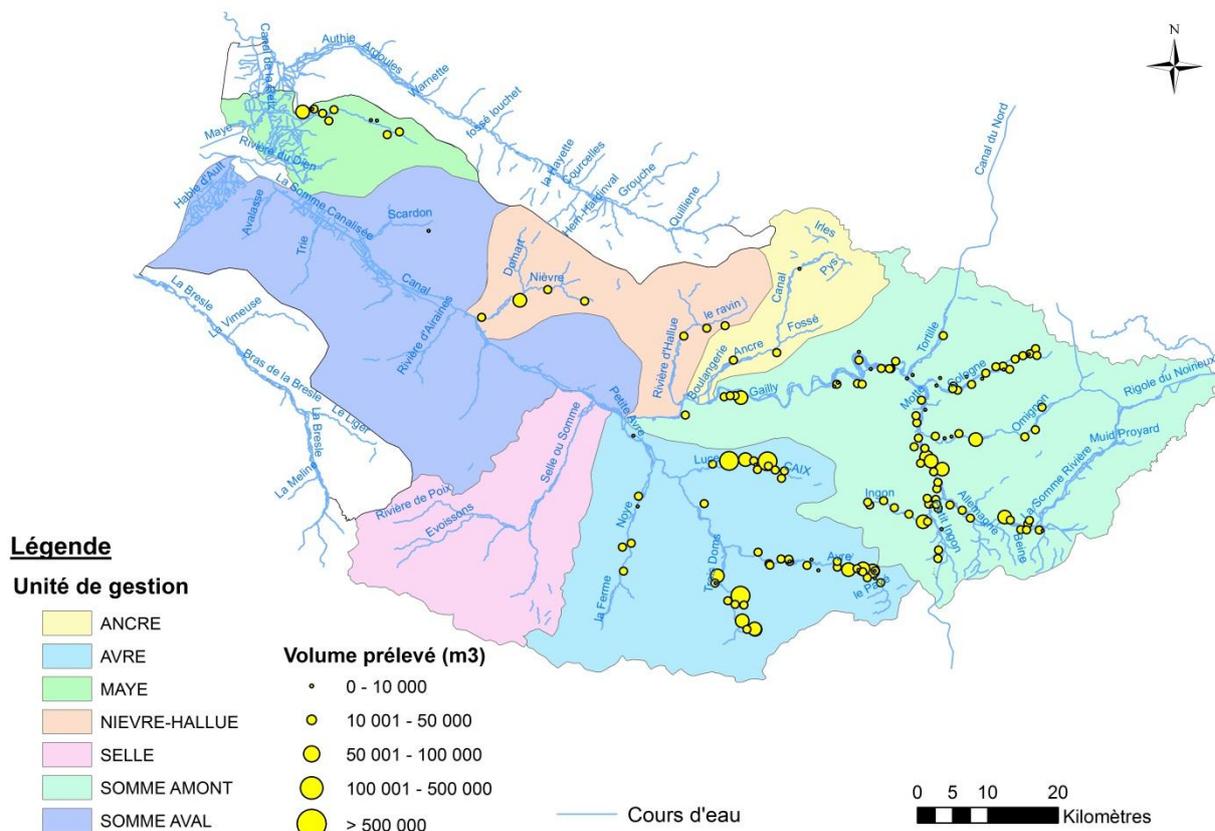


Figure 68 : Localisation des forages d'irrigation situés à moins d'un km de la Somme et de ses affluents (année 2005).

La baisse des débits d'étiage induite par les prélèvements dans les forages d'irrigation localisés à moins d'un km d'un cours d'eau a été calculée pour les deux configurations étudiées : i) arrêt total des prélèvements dans ces forages, et ii) réduction de 50% des volumes prélevés dans ces forages. Les résultats de ces simulations sont synthétisés dans le Tableau 3.

Dans les unités de gestion présentant une concentration importante de forages à proximité du cours d'eau, le gain sur le débit d'étiage résultant de l'arrêt des prélèvements dans les forages d'irrigation situés à moins d'un km de la rivière est plus ou moins importante (Tableau 3). En effet, dans l'unité « Avre », il est de 145 L/s à la station de Moreuil, ce qui n'est pas négligeable comparé au QMNA5 (964 L/s). Par ailleurs, le gain pourrait être beaucoup plus important à l'échelle locale, comme par exemple à la tête du bassin de l'Avre ou de la Luce ou des Trois Doms, du fait que les débits d'étiage sont plus faibles et l'impact des forages plus important. Pour les deux autres unités, « Somme amont » et « Maye », le gain sur le débit d'étiage de la Somme à Lamotte-Brebière et de la Maye à Arry est respectivement de 230L/s et 17L/s. Là encore, l'impact local est certainement plus important. À l'échelle du bassin de la Somme (station d'Abbeville) et d'après les résultats du modèle, le gain sur le débit d'étiage est de l'ordre 450 L/s pour l'année 2005.

Le gain sur le débit d'étiage résultant d'une réduction de 50% des volumes prélevés dans les forages d'irrigation situés à moins d'un km de la rivière serait d'environ la moitié du gain résultant de l'arrêt complet des prélèvements dans ces forages (voir Tableau 3).

Vu les hypothèses du modèle concernant la clé de répartition des volumes prélevés pour l'irrigation entre mai et septembre, et la taille des mailles du modèle (500 m dans les affluents de la Somme), les valeurs fournies par le modèle constituent une estimation de l'impact de ces forages et ne doivent pas être prises en tant que valeurs absolues ; ces valeurs peuvent être plus importantes si les forages sont implantés à quelques dizaines de mètres de la rivière.

À titre indicatif, le Tableau 4 résume, pour l'étiage 2005, la baisse du débit de la Somme et de ses principaux affluents due aux prélèvements dans la nappe et la part de cette baisse induite par les prélèvements dans les forages d'irrigation. On constate que, mises à part l'Ancre et la Selle, la baisse du débit d'étiage due aux prélèvements dans les forages d'irrigation situés à moins d'un km du cours d'eau constitue une proportion importante (allant de 33% à 100%) de la baisse causée par l'ensemble des forages agricoles, allant même jusqu'à 67% pour l'Avre.

*Tableau 2 : Nombre de forages agricoles situés à moins d'un km de la rivière, et volume total prélevé dans ces forages par unité de gestion*

<b>Unité de Gestion</b>	<b>Nombre de forages agricoles situés à moins d'1 km du cours d'eau (année 2005)</b>	<b>Volumes prélevés dans ces forages en m3 (année 2005)</b>
Maye	10	235 849
Nièvre /Hallue	7	222 227
Ancre	3	37 987
Somme amont	88	2 168 852
Avre	53	1 939 919
Selle	0	0
Somme aval	1	7 342
<b>Total</b>	<b>162</b>	<b>4 609 176</b>

**Tableau 3 : Baisse du débit d'étiage (année 2005) induite par les prélèvements dans les forages d'irrigation situés à moins d'un km de la Somme et des ses principaux affluents pour les deux configurations étudiées.**

Cours d'eau	La Maye à Arry	La Nièvre à l'Etoile	L'Hallue à Bavelincourt	L'Ancre à Bonnay	La Somme à Lamotte-Brebière	L'Avre à Moreuil	La Selle à Plachy-Buyon	La Somme à Abbeville
Baisse du débit en l/s : simulation sans prélèvements dans les forages d'irrigation situés à moins d'1 km de la rivière (année 2005)	-17	-20	-3.5	-5.5	-220	-145	0	-450
Baisse du débit en l/s : simulation avec prélèvements réduits de moitié dans les forages d'irrigation situés à moins d'1 km de la rivière	-9	-10	-1.8	-2.8	-110	-72	0	-223

**Tableau 4 : Baisse du débit d'étiage de la Somme et des ses principaux affluents induite par les prélèvements en nappe tous usages confondus, et part des prélèvements dans les forages d'irrigation à l'étiage 2005.**

Cours d'eau	La Maye à Arry	La Nièvre à l'Etoile	L'Hallue à Bavelincourt	L'Ancre à Bonnay	La Somme à Lamotte-Brebière	L'Avre à Moreuil	La Selle à Plachy-Buyon	La Somme à Abbeville
Baisse du débit (l/s) : simulation sans prélèvements dans les forages d'irrigation (étiage 2005)	-30	-20	-3.5	-47	-660	-215	-4	-1030
Baisse du débit (l/s) : simulation sans prélèvements dans la nappe (étiage 2005)	-70	-62	-17	-102	-2133	-328	-52	-3670

## 4.4. ÉVALUATION DES VOLUMES MOBILISABLES PAR UNITÉ DE GESTION

### 4.4.1. Méthodologie utilisée : principe et mise en œuvre

La méthode utilisée pour le calcul des volumes mobilisables est semblable à celle qui a été utilisée dans l'étude sur le bassin Oise-Aronde menée par le Bureau d'étude Hydratec. Cette méthode a été privilégiée par le Comité Technique dans la perspective de garder une cohérence régionale pour l'évaluation des volumes mobilisables. Elle s'appuie sur les textes de la Circulaire du 30 juin 2008 relative à la résorption des déficits quantitatifs en matière de prélèvement d'eau et gestion collective des prélèvements d'irrigation. Ces textes stipulent que :

*« une ressource en eau fait l'objet d'une gestion quantitative équilibrée lorsque, statistiquement, 8 années sur 10 en moyenne, les volumes et débits maximums autorisés ou déclarés dans cette ressource, quels qu'en soient leurs usages, peuvent en totalité être prélevés dans celle-ci tout en garantissant le bon fonctionnement des milieux aquatiques correspondants. »*

*« La garantie de bon fonctionnement peut s'observer par le respect des débits ou niveaux piézométriques d'objectifs (DOE/DOB/POE) lorsqu'ils existent... »*

Autrement dit, le bon état quantitatif est respecté quand il n'est pas nécessaire de faire appel à des restrictions de prélèvement 4 années sur 5 en moyenne. Le volume mobilisable est donc le volume maximal de prélèvement pour lequel le seuil d'alerte n'est pas atteint ou juste franchi 4 années sur 5 en moyenne, soit en pratique pendant la première année sèche quinquennale simulée après une succession d'années moyennes.

### **a) Principe de la méthode**

Le principe consiste à :

1. Simuler plusieurs scénarios de prélèvement à l'aide d'un modèle maillé sur la base d'une succession de pluies moyennes suivies de pluies de période de retour 5 ans secs. Ces scénarios utilisent différentes configurations du volume moyen prélevé : situation sans prélèvement, puis avec 60%, 70%, 80%, 100%, 120% des prélèvements moyens. Les chroniques de prélèvement sont répétées chaque année pendant les simulations.
2. Évaluer l'impact des prélèvements sur le DOB en analysant les résultats des simulations pour voir si le seuil d'alerte (ici le DOB) est atteint et ou franchi et pendant combien de temps.

### **b) Mise en œuvre de la méthode**

Il s'agit donc de :

- Faire tourner le modèle sur plusieurs années avec des pluies moyennes et un volume moyen prélevé (VMP).
- Appliquer une pluie quinquennale sèche sur plusieurs années en gardant les mêmes volumes prélevés et vérifier si le seuil d'alerte (DOB) est atteint et si oui sur combien de temps.

Le volume mobilisable est le volume maximal de prélèvement en nappe pour lequel le DOB ne sera pas franchi ou dépassé pendant la première année sèche quinquennale. Pour calculer ce volume mobilisable, on réalise plusieurs simulations en faisant varier les volumes prélevés (60%, 70%; 80%,... 110%, etc. du VMP) jusqu'à satisfaire la condition de non-dépassement du DOB.

#### **4.4.2. Application aux unités de gestion retenues pour le bassin de la Somme**

- Utilisation du modèle maillé pour faire des simulations sur plusieurs années en utilisant des pluies moyennes sur une période de simulation de 7 ans et 8 mois, suivies de pluies de période de retour 5 ans sec appliquées à partir de septembre sur une période de simulation de 4 ans.
- Le volume prélevé en 2005 avec la configuration des prélèvements pour cette même année est utilisé comme volume moyen prélevé de référence et est répété chaque année sur toute la période de simulation.
- Réalisation de plusieurs simulations avec différentes configuration de prélèvements : Situation naturelle (sans prélèvements), situations avec prélèvements (60%, 70%, 80%, 90%, 100%, 120% et 150% du volume prélevé en 2005).
- Les débits simulés sont corrigés si nécessaire des écarts moyens mensuels entre débits observés et débits simulés. Les débits simulés corrigés sont ensuite comparés aux seuils DOB définis par l'étude AMEVA et aux autres seuils définis dans l'arrêté-cadre sécheresse du 26 mars 2012.
- Évaluation de l'atteinte ou du franchissement de ces seuils (en nombre de mois) et estimation du volume mobilisable (celui pour lequel le DOB n'est pas franchi pendant la première année sèche quinquennale).

### **a) Méthode utilisée pour corriger les débits simulés des écarts avec les débits observés**

Comme le calage des débits de basses eaux ne peut pas être parfait compte tenu, d'une part, de la complexité des échanges entre la rivière et les nombreux marais et étangs qui la bordent et, d'autre part, de la gestion des ouvrages hydrauliques échelonnés le long du fleuve Somme et de ses affluents, des écarts - qu'il convient de corriger – sont inévitables entre débits observés et débits simulés.

Il existe des modèles autorégressifs (utilisés notamment en prévision à court terme pour corriger les simulations des écarts avec les observations avant l'émission de la prévision) qui permettent de corriger les valeurs simulées. Ces modèles ne sont toutefois pas adaptés pour corriger les simulations (ou prévisions) à long terme. Nous avons donc utilisé une méthode basée sur les écarts moyens mensuels entre les valeurs observées et simulées ; elle consiste à :

- Calculer les écarts journaliers entre débits observés et débits simulés sur l'ensemble de la période de calcul.
- Calculer les écarts moyens mensuels à partir des écarts journaliers sur la période 2003-2012 (période avec années pluvieuses moyennes et sèches).
- Corriger les simulations des écarts moyens mensuels.

Pour évaluer la validité de cette méthode, nous l'avons appliqué au bassin de l'Avre et comparé à la méthode de correction des écarts basée sur un modèle autorégressif. Les deux méthodes fournissent des résultats comparables comme le montre la Figure 69.

La méthode basée sur les écarts moyens mensuels permet de corriger les débits simulés. Elle peut être utilisée pour corriger les scénarios si on considère que les écarts de simulation ne dépendent pas des prélèvements opérés dans l'hydrosystème.

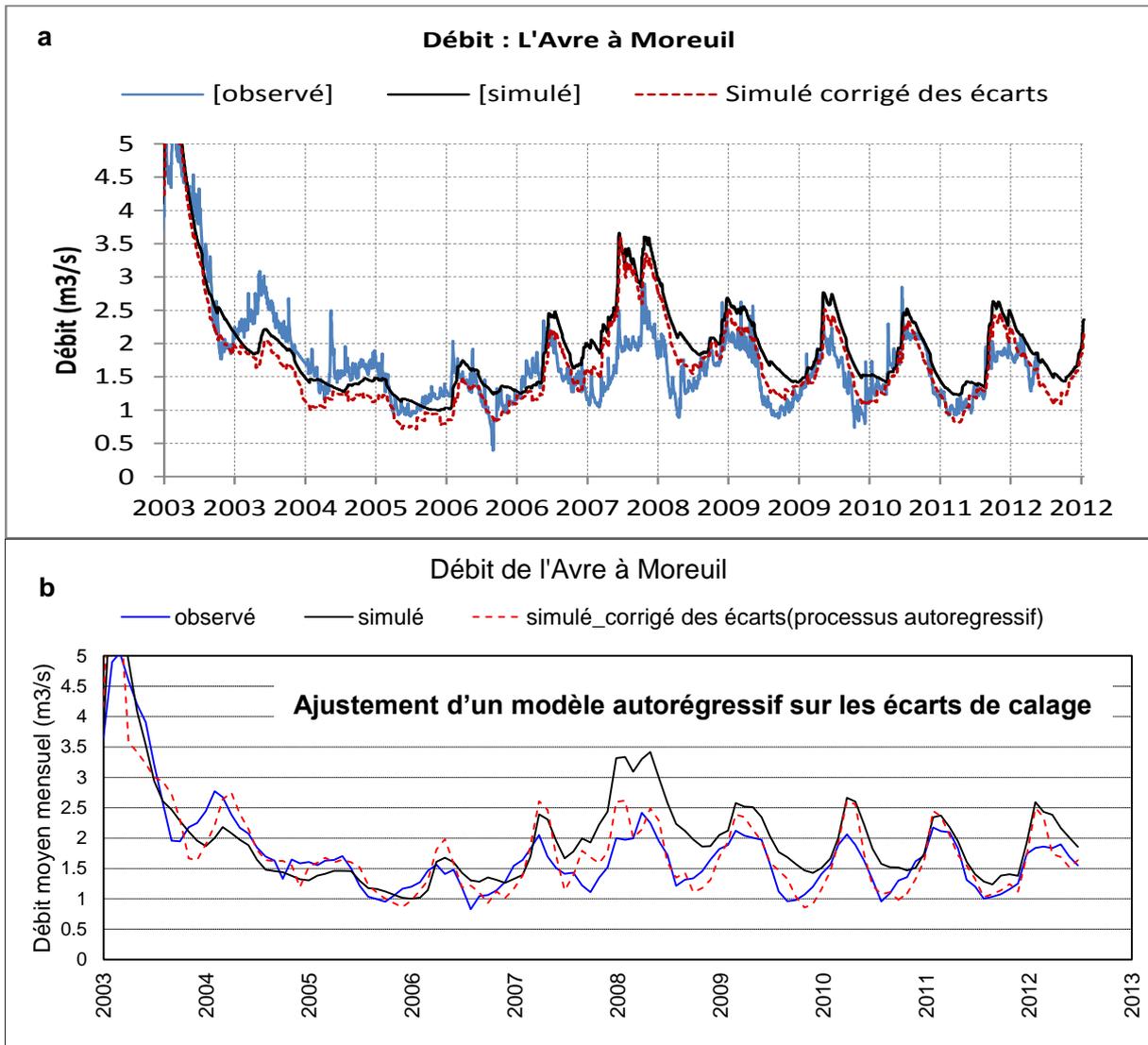


Figure 69 : Correction des débits simulés par la méthode basée sur les écarts moyens mensuels (a) et par ajustement d'un modèle autorégressif sur les écarts de calage (b) - dans ce dernier cas il s'agit du débit moyen mensuel

### b) Définition du volume de prélèvement moyen (de référence)

Une réflexion a été menée pour le choix du volume de prélèvement de référence pour le calcul du volume mobilisable par unité de gestion. Dans un premier temps, nous avons proposé d'utiliser les volumes connus en 2010, qui correspondent à la configuration la plus récente des prélèvements (nombre de forage et localisation pour les différents usages). Cependant, comme le volume prélevé en 2010 sur le bassin de la Somme est inférieur au volume moyen prélevé sur la période 1999-2010 (cf. Tableau 5), le Comité de Pilotage de l'étude a décidé de prendre le volume prélevé en 2005 comme volume moyen de référence, ainsi que la configuration des prélèvements pour cette même année. Ce choix a été validé lors du Comité de Pilotage du 14 septembre 2013. La répartition des volumes prélevés en 2005 est illustrée à la figure 20.

BV Somme	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Moyenne
INDUSTRIE	42762522	41612063	39851812	38038827	38145548	35350306	32697820	32012166	29919006	24477914	23707563	20408388	33248661
EAU POTABLE	56490932	56642977	56976193	57762069	57548674	55569990	55654764	53668818	52846961	55970497	54795079	55728373	55804611
IRRIGATION	19249619	11884912	18945019	14472764	29196832	22470927	19611073	20859327	5890683	15718494	32707649	27741827	19895761
Total général	118503073	110139952	115773024	110273660	124891054	113391223	107963657	106540311	88656650	96166905	111210291	103878588	108949032

Tableau 5 : Volumes (m3) prélevés annuellement à la nappe sur la période 1999-2010 dans le bassin de la Somme

### c) Débit d'Objectif Biologique (DOB)

L'évaluation du Débit d'Objectif Biologique (DOB) a fait l'objet d'une étude réalisée par l'AMEVA en 2013. La méthode employée pour déterminer les DOB par sous-bassins ainsi que les résultats obtenus sont détaillés dans le rapport AMEVA d'avril 2013. Les DOB proposés pour les différents sous-bassins sont présentés au Tableau 6.

SOUS BASSIN	STATION HYDROMETRIQUE DE REFERENCE	DOB proposé
SOMME AMONT	LAMOTTE-BREBIERE	7.34 m3/s
ANCRE	BONNAY	0.942 m3/s
HALLUE	BAVELINCOURT	0.050 m3/s
AVRE	MOREUIL	0.964 m3/s
SELLE	PLACHY-BUYON	2.830 m3/s
NIEVRE	ETOILE	1.330 m3/s
SOMME AVAL	ABBEVILLE	18.90 m3/s
MAYE	ARRY	0.374 m3/s

Tableau 6 : Synthèse des DOB proposés par sous-bassins (Source : étude AMEVA – Avril 2013)

#### 4.4.3. Définition des scénarios climatiques : année moyenne et année quinquennale sèche

##### a) Quelques caractéristiques statistiques des précipitations annuelles

Huit séries de précipitations journalières ont été analysées ; leurs caractéristiques statistiques sont résumées dans le Tableau 7.

	Abbeville 1961-2012	Bernarville 1961-2012	Glisy-Amiens 1961-2012	Oisemont 1988-2012
Nombre d'années	52	50	52	25
<b>Moyenne</b>	<b>765</b>	<b>845</b>	<b>637</b>	<b>790</b>
<b>Quantile 5 ans sec</b>	<b>659</b>	<b>741</b>	<b>549</b>	<b>685</b>
<b>Quantile 10 ans sec</b>	<b>597</b>	<b>611</b>	<b>493</b>	<b>(623)</b>
Minimum	521	477	339	546
Maximum	1146	1214	976	1006
Ecart-type	139	166	113	132
<b>Q 5 ans sec (année hyd.)</b>	<b>649</b>	<b>701</b>	<b>537</b>	<b>660</b>
<b>Q 10 ans sec (année hyd.)</b>	<b>599</b>	<b>630</b>	<b>505</b>	<b>(635)</b>

	Pontru 1990-2012	Rouvroy 1990-2012	Vron 1989-2012	Morvilliers 1990-2005
Nombre d'années	23	23	22	16
<b>Moyenne</b>	<b>748</b>	<b>662</b>	<b>892</b>	<b>877</b>
<b>Quantile 5 ans sec</b>	<b>642</b>	<b>542</b>	<b>738</b>	<b>722</b>
<b>Quantile 10 ans sec</b>	<b>(599)</b>	<b>(519)</b>	<b>(668)</b>	<b>(688)</b>
Minimum	542	434	636	653
Maximum	954	981	1185	1160
Ecart-type	114	141	176	155
<b>Q 5 ans sec (année hyd.)</b>	<b>640</b>	<b>548</b>	<b>765</b>	<b>751</b>
<b>Q 10 ans sec (année hyd.)</b>	<b>(596)</b>	<b>(520)</b>	<b>(692)</b>	<b>(739)</b>

Tableau 7 : Caractéristiques statistiques des 8 stations pluviométriques utilisées dans le modèle

#### Remarque :

Les chroniques de pluie de 3 stations présentent des trous (manque de données) ; il s'agit de : Bernarville (années 1966 et 1967 incomplètes); Vron (années 2006 et 2007 incomplètes) et Morvilliers (interruption à partir de 2006).

#### **b) Construction d'une année moyenne**

Pour chaque station, une "année moyenne" a été construite à partir d'une moyenne mensuelle interannuelle des précipitations calculée sur la période de mesures de chacune des stations.

Abbeville	Bernaville	Glisy	Oisemont	Pontru	Rouvroy	Vron	Morvilliers
59.3	72.5	49.6	66.5	59.6	52.1	71.0	85.7
48.5	60.0	42.5	58.7	55.9	44.8	58.3	67.3
54.0	66.9	47.1	57.9	54.6	45.6	59.9	53.6
50.4	58.4	42.4	54.9	52.3	47.6	59.8	67.6
55.9	60.8	53.4	55.2	56.4	50.5	59.8	58.3
65.6	66.8	57.2	57.7	61.8	57.8	67.6	75.0
61.9	73.3	59.0	63.5	64.5	61.9	71.7	71.3
65.6	64.8	52.8	66.3	71.9	59.2	69.6	58.8
67.2	66.5	51.1	61.2	54.7	50.9	74.9	69.1
74.9	76.8	57.6	75.0	64.6	61.2	105.1	83.9
81.2	89.4	61.1	76.1	66.6	57.8	99.4	79.7
80.2	91.0	63.1	97.0	85.3	72.0	106.4	106.6
<b>765</b>	<b>847</b>	<b>637</b>	<b>790</b>	<b>748</b>	<b>662</b>	<b>904</b>	<b>877</b>

Tableau 8 : Moyenne mensuelle interannuelle des précipitations par station (les douze lignes correspondent aux mois de janvier, février, mars, ...décembre)

Le modèle de la Somme fonctionnant au pas de temps journalier, une distribution de pluies journalières sur les 12 mois de l'année "synthétique" considérée a été construite en supposant que :

- l'occurrence des pluies sur un mois donné suit une loi de Poisson,
- la hauteur des précipitations sur un mois considéré suit une loi exponentielle.

### Distribution des pluies journalières

Si X est la variable aléatoire (discrète) qui décrit le nombre d'occurrences d'un événement par intervalle de temps Δt (le mois ou l'année par exemple) et sur une période de durée T=N.Δt (N=nombre d'années par exemple), la probabilité que se produisent k occurrences sur l'intervalle de temps Δt est donnée par la loi de Poisson :

$$P(X = k) = e^{-\lambda} \cdot \frac{\lambda^k}{k!}$$

où λ est le nombre moyen d'occurrences dans l'intervalle de temps considéré. Par exemple, si l'intervalle de temps est le mois et si l'on observe 120 jours de pluie en 12 mois, le nombre moyen de jours de pluie par mois est λ = 120/12 = 10.

### Calcul

Pour obtenir une distribution journalière des pluies, on utilise la loi de Poisson en considérant que l'intervalle de temps Δt est le jour et que la période de temps T est le mois (nj jours).

Si Njp est le nombre de jours de pluie relevé dans un mois, le "nombre moyen" de séquences pluvieuses par jour est λ = Njp/nj. En effet, on obtient une distribution non pas vraiment de jours de pluie dans le mois (1 pluie / 1 jour), mais de nombres d'averses par jour (en fait, le rapport Njp/nj étant souvent inférieur à 0.5, on obtient en général une séquence pluvieuse par jour, parfois 2).

Pour obtenir  $N_{jp}$ , on considère une année dont le cumul des précipitations est proche de la moyenne interannuelle (ou d'une année quinquennale sèche).

Mois par mois, on génère alors une distribution aléatoire de pluies suivant une loi de Poisson de paramètre  $\lambda = N_{jp}/n_j$ .

Exemple :

15 jours de pluie dans un mois de 30 jours :  $\lambda=0.5$ . En générant une séquence aléatoire sur 30 jours suivant une loi de Poisson de paramètre 0.5, on obtient par exemple :

0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 2 1 0 0 1 1 0 1 2 0 0 1 2 0 0

Soit 18 "averses" et 15 jours de pluie.

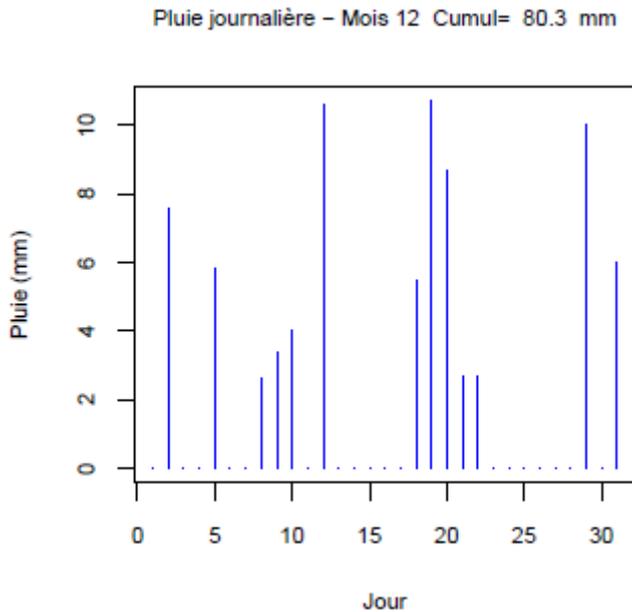
**Hauteurs des pluies journalières**

Les hauteurs de pluie journalière sont générées suivant une loi exponentielle de paramètre  $\mu$  égal à une pluie moyenne journalière, c'est-à-dire la pluie mensuelle cumulée du mois considéré divisée par le nombre de jours du mois.

Si X est la variable aléatoire correspondant à la pluie journalière, la densité de probabilité est :

$$f(x) = \frac{1}{\mu} e^{-\frac{x}{\mu}}$$

Exemple : Abbeville, mois de décembre



### Remarque

L'utilisation combinée de la loi de Poisson et de la loi exponentielle conduit à la "loi des fuites"  $\Phi(\lambda, \mu)$ , utilisée par exemple pour l'étude de la distribution des pluies mensuelles sur une période de N années.

Si la variable Y suit une loi des fuites, on montre que la variable  $Z = \sqrt{Y}$  suit approximativement une loi normale si le paramètre  $\lambda$  (nombre moyen d'événements) n'est pas trop petit.

D'où l'utilisation de la loi racine-normale pour modéliser les pluies mensuelles, loi utilisée ici pour calculer les quantiles de pluies mensuelles (cf. annexe 3).

La comparaison des pluies mensuelles de l'année moyenne avec les pluies de l'année de référence est montrée sur les figures. Les graphiques représentant la distribution journalière des pluies de l'année moyenne par station météo utilisée dans le modèle sont regroupés en annexe 3.

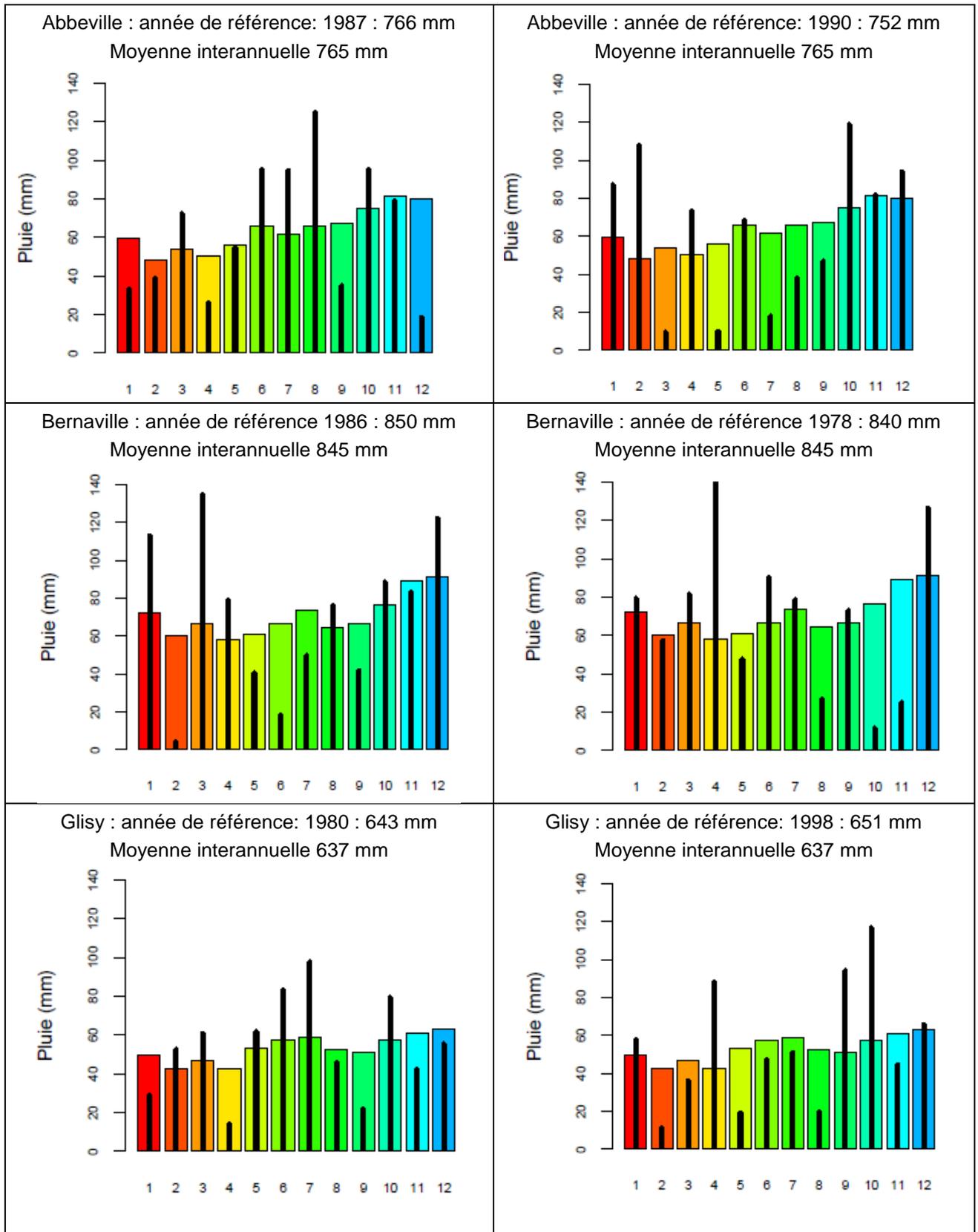


Figure 70 : Comparaison des pluies mensuelles de l'année moyenne (barres colorées) avec les pluies de l'année de référence (barres noires) pour les stations d'Abbeville, Bernaville et Glisy

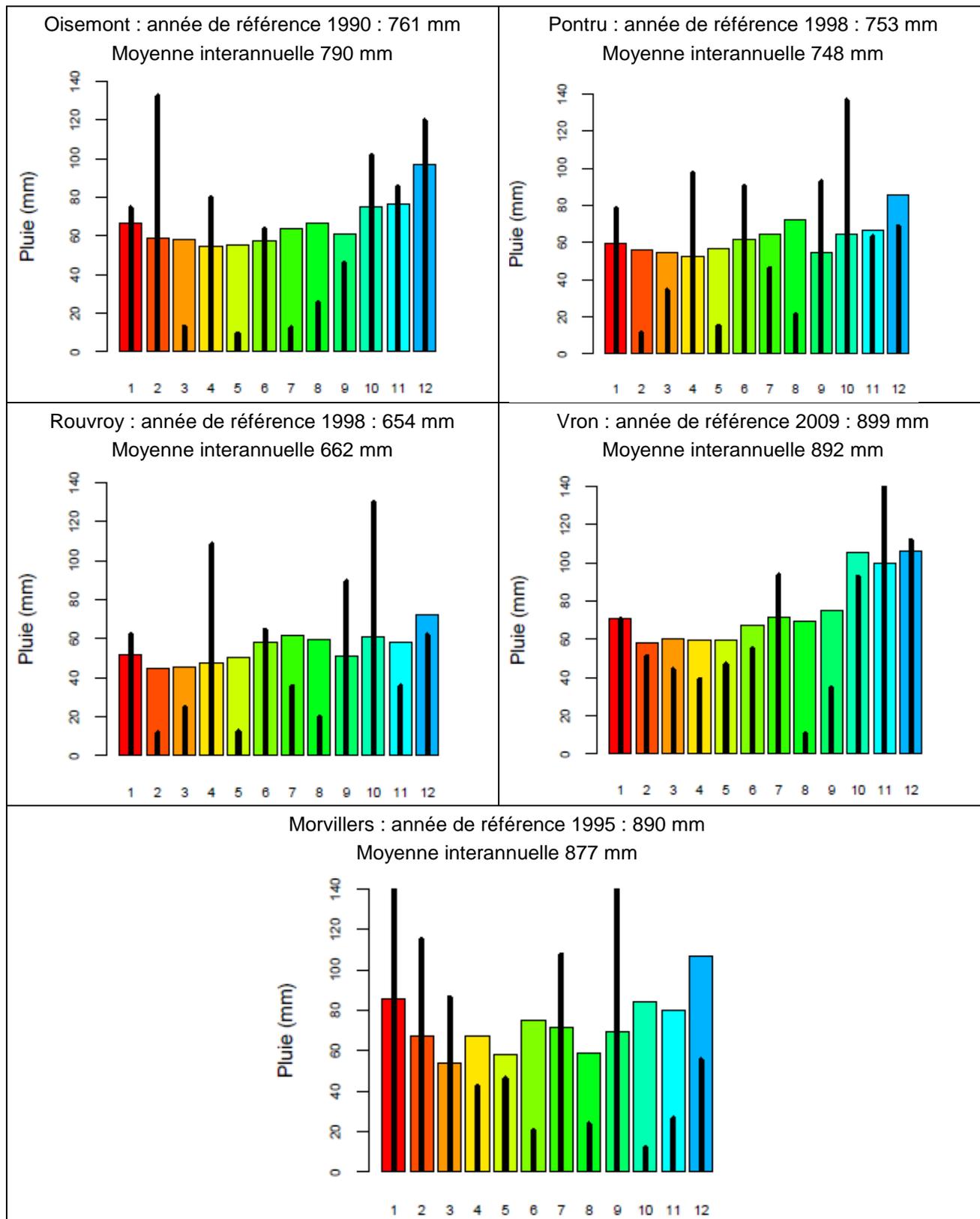


Figure 71 : Comparaison des pluies mensuelles de l'année moyenne avec les pluies de l'année de référence pour les stations d'Oisemont, Rouvroy-les-Merles, Pontru, Vron et Morvillers

### c) Construction d'une année quinquennale sèche

De façon analogue à la construction d'une année moyenne, il aurait été possible de construire une année fictive quinquennale sèche en assemblant 12 mois de fréquence quinquennale sèche. Mais le cumul annuel était alors plus proche d'une année décennale sèche. Il a donc été préféré de travailler, pour chaque station, à partir d'une année qui était la plus proche d'une année quinquennale sèche et de reconduire la distribution journalière des pluies d'une telle année.

#### Pluie mensuelles de l'année quinquennale sèche de référence

Pour chaque station, les graphiques qui suivent montrent la répartition mensuelle des précipitations de l'année quinquennale sèche de cette station (appelée année de référence, proche de la quinquennale sèche annuelle). Les années considérées sont des **années hydrologiques**.

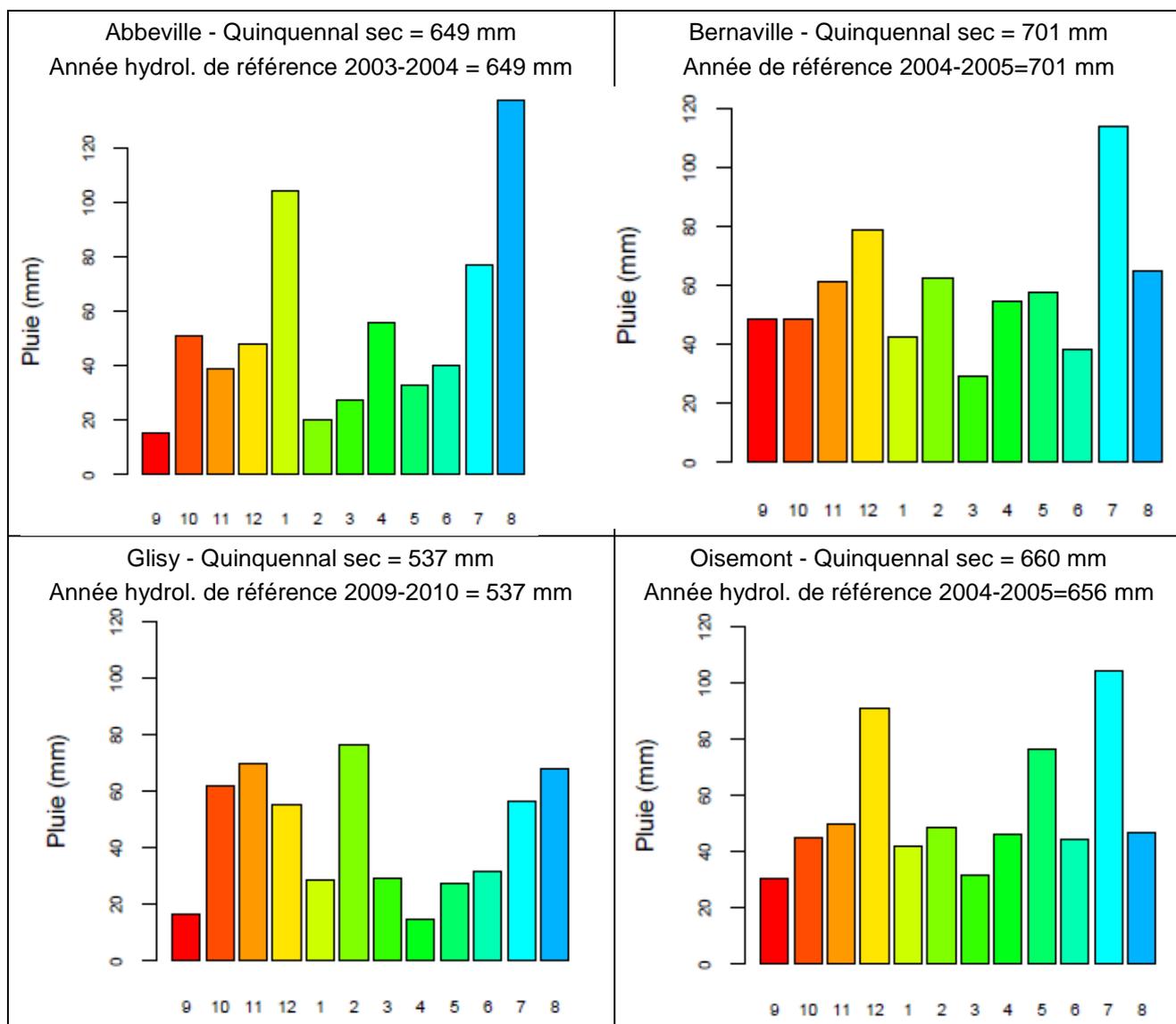


Figure 72 : Pluies mensuelles de l'année quinquennale sèche de référence pour les stations d'Abbeville, Bernaville, Glisy et Oisemont

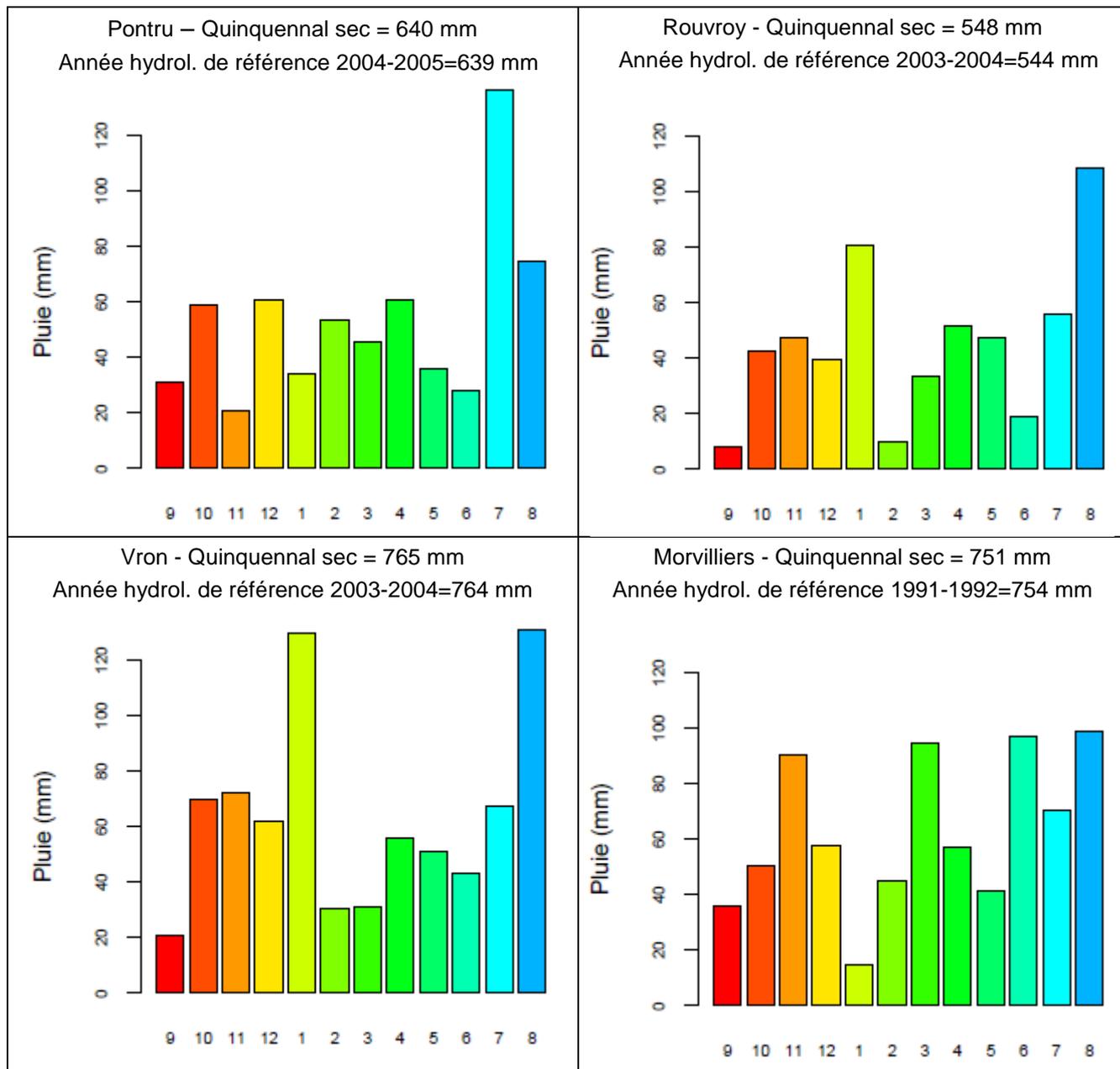


Figure 73 : Pluie mensuelles de l'année quinquennale sèche de référence pour les stations de Rouvroy-Les-Merles, Pontru, Vron et Morvillers

La distribution journalière des pluies de l'année quinquennale sèche de chaque station est illustrée par les graphiques de l'annexe 3. Le jour 1 correspond au début de l'année hydrologique (1<sup>er</sup> septembre).

Pour résumer, les pluies de l'année quinquennale sèche utilisées dans le modèle correspondent aux années hydrologiques suivantes :

- stations d'Abbeville, Vron et Rouvroy-les-Merles : année hydrologique 2003-2004,
- stations de Bernaville, Oisemont et Pontru : année hydrologique 2004-2005,
- station de Glisy : année hydrologique 2009-2010,
- station de Morvillers : 1991-1992.

**d) Définition de l'évapotranspiration potentielle (ETP) pour une année moyenne et une annéequinquennale sèche**

La distribution de l'ETP annuelle au droit de la station d'Abbeville sur la période 1964-2011 est illustrée à la Figure 74.

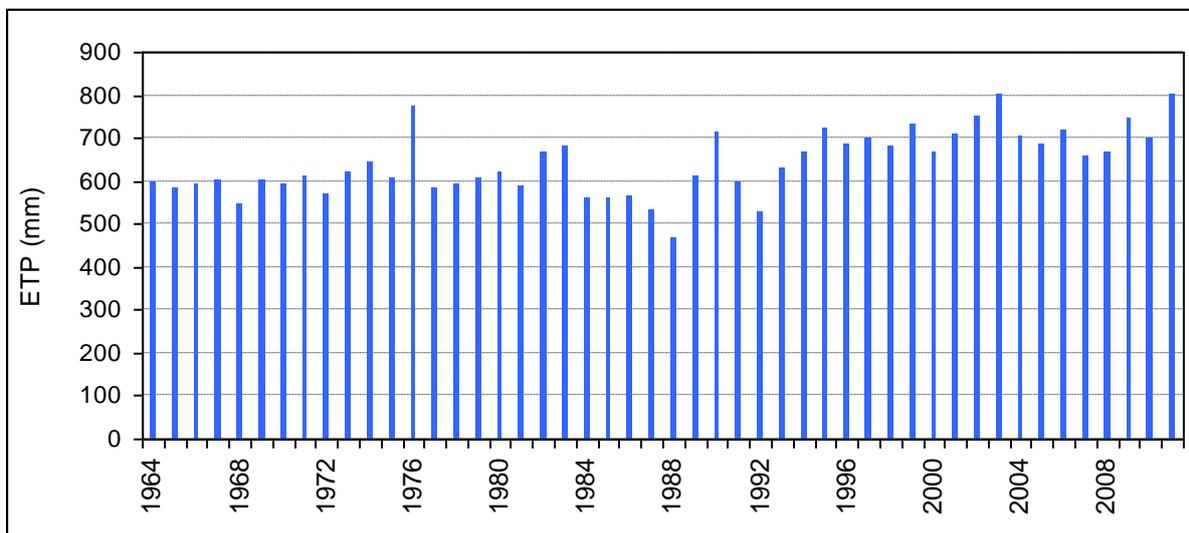


Figure 74 : Distribution de l'ETP annuelle à la station d'Abbeville sur la période 1964-2011

Année moyenne de référence

Si on considère la période 1964-2011, la moyenne interannuelle sur cette période est de 644 mm. Cependant, la moyenne interannuelle calculée sur la période 1990-2011 est de 695 mm. L'année de référence choisie est l'année 1996 (694 mm). La distribution journalière de l'ETP en 1996 est présentée à la Figure 75.

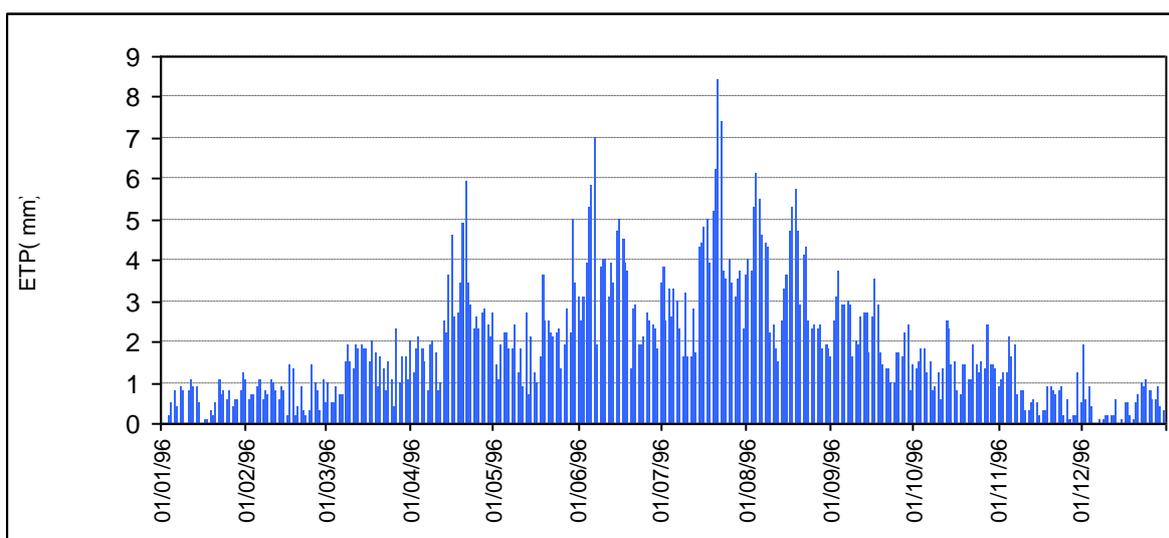


Figure 75 : Distribution journalière de l'ETP pour l'année moyenne (1996)

### Année quinquennale sèche

Le cumul annuel (année hydrologique) de période de retour 5 ans (fréquence de non dépassement =0.8) est de 711 mm.

Celui de l'année 2003-2004 est de 720 mm.

Celui de l'année 2005-2006 est de 707 mm.

Pour l'ETP d'une année quinquennale sèche, nous avons retenu comme année de référence l'année hydrologique 2005-2006.

#### **4.4.4. Estimation des volumes mobilisables par unité de gestion**

Sur la base des scénarios climatiques définis précédemment, 8 simulations ont été réalisées avec les configurations de prélèvement suivantes :

- Situation naturelle (sans prélèvement)
- 60% du volume prélevé en 2005 (volume moyen de référence)
- 70% du volume prélevé en 2005
- 80% du volume prélevé en 2005
- 90% du volume prélevé en 2005
- 100% du volume prélevé en 2005
- 120% du volume prélevé en 2005
- 150% du volume prélevé en 2005.

Pour chaque scénario et dans les stations hydrométriques de référence, le débit calculé par le modèle a été comparé au DOB estimé par l'étude AMEVA et également aux seuils définis dans l'arrêté-cadre du 26 mars 2012 quand ils étaient disponibles (seuil de vigilance, seuil d'alerte renforcée et seuil de crise). Dans le cas contraire, nous avons fait l'hypothèse d'une variation de 15% entre chaque seuil.

#### **a) Unité de gestion de l'Avre**

##### **Analyse des volumes prélevés à la nappe et définition des seuils**

Dans cette unité de gestion, l'évolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 (Figure 76) montre que le volume maximal prélevé est d'environ 20.4 millions de m<sup>3</sup>/an, atteint en 1996. Le volume total minimal prélevé à la nappe est d'environ 10 millions de m<sup>3</sup>/an pour l'année 2008. Les volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage sont indiqués au Tableau 9.

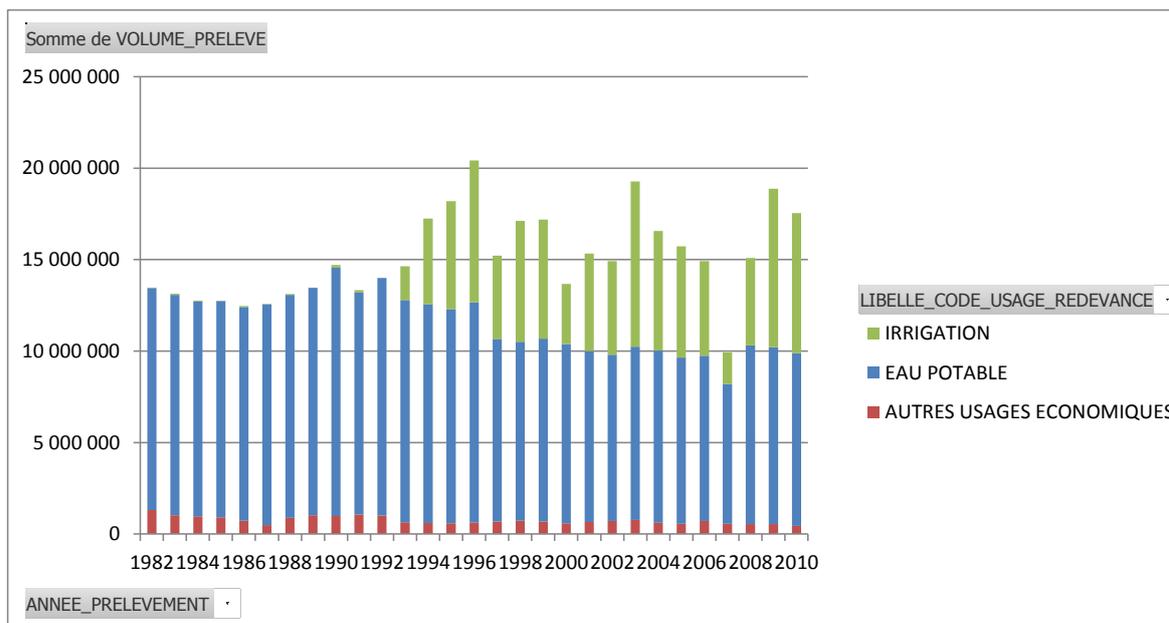


Figure 76 : Evolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 dans l'unité de gestion Avre

Volumes prélevés	AUTRES USAGES ECONOMIQUES	EAU POTABLE	IRRIGATION
<b>Volumes prélevés mini (m3/an)</b>	<b>445 445</b>	<b>7 648 313</b>	<b>24 661</b>
Année correspondant au Min	2010	1982	1993
<b>Volumes prélevés maxi (m3/ar)</b>	<b>1 312 217</b>	<b>13 585 326.00</b>	<b>9 038 196</b>
Année correspondant au Max	1982	2002	1996

Tableau 9 : Volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage dans l'unité de gestion Avre

Le volume prélevé de référence (année 2005) pour cette unité de gestion est de 16.4 millions de m<sup>3</sup>/an. Ci-dessous, la répartition de ce volume (en m<sup>3</sup>/an) par type d'usage dans la nappe et dans le cours d'eau :

NATURE_EAU_CAPTAGE	AUTRES USAGES ECONOMIQUES	EAU POTABLE	IRRIGATION	Total général
Nappe	349 333	9 042 763	6 161 739	15 553 835
Surface	854 390			854 390
<b>Total général</b>	<b>1 203 723</b>	<b>9 042 763</b>	<b>6 161 739</b>	<b>16 408 225</b>

Les seuils utilisés proviennent de l'étude AMEVA (avril 2013) et de l'arrêté-cadre sécheresse du 26 mars 2012. Les débits de l'Avre à Moreuil correspondant aux différents seuils sont résumés ci-dessous :

Seuil	Vigilance	DOB	Alerte renforcée	Crise
<b>Débit de l'Avre à Moreuil (m3/s)</b>	1.182	0.964	0.798	0.606

### Estimation des volumes mobilisables

Les graphiques comparant les débits calculés aux différents seuils retenus pour les 8 scénarios traités sont présentés à l'annexe 4.

Pour l'unité de l'Avre nous avons analysé à la fois les simulations brutes et les simulations corrigées des écarts moyens mensuels entre les débits observés à la station de Moreuil et les débits simulés sur la période 2003-2011.

Sans correction des écarts à la station de Moreuil

Dans le

Dépassement des seuils dans l'Avre à Moreuil													
Dépassement des seuils en mois	Volume prélevé en m3	Année moyenne				1ère année sèche				3ème année sèche			
		V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR
Situation naturelle (0% de prélèvements)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0
60% des prélèvements de l'année 2005	9 844 935	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0
70% des prélèvements de l'année 2005	11 485 758	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0
80% des prélèvements de l'année 2005	13 126 580	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.1	0.0	0.0
90% des prélèvements de l'année 2005	14 767 403	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	7.5	3.3	0.0	0.0
Situation de 2005 (100% des prélèvements de l'année 2005)	16 408 225	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	7.5	3.3	0.0	0.0
120% des prélèvements de l'année 2005	19 689 870	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	7.9	5.2	0.0	0.0
150% des prélèvements de l'année 2005	24 612 338	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.2	0.0	0.0	7.9	6.8	0.2	0.0

Tableau 10 sont reportés les 8 scénarios de prélèvement simulés par le modèle avec, pour chaque scénario, le volume prélevé, la durée de dépassement (exprimée en mois) des différents seuils (vigilance, DOB, alerte renforcée et crise) à la station de l'Avre à Moreuil pour l'année moyenne, la 1<sup>ère</sup> année sèche et la 3<sup>ème</sup> année sèche.

On constate qu'avec le scénario à 120% des prélèvements de l'année 2005 (soit un volume de 19.7 millions de m<sup>3</sup>/an) le DOB n'est pas franchi la première année sèche. Le volume mobilisable se situerait donc entre 120% et 150% des prélèvements de référence (2005). Cependant, comme le modèle surestime le débit d'étiage de l'Avre à Moreuil en moyenne de 0.3 m<sup>3</sup>/s, les volumes mobilisables sont surestimés d'au moins 4 millions de m<sup>3</sup> si on considère un étiage sur 5 mois. Le volume mobilisable ne pourrait donc en aucun cas excéder 19.6 millions de m<sup>3</sup>/an.

Dépassement des seuils dans l'Avre à Moreuil													
Dépassement des seuils en mois	Volume prélevé en m3	Année moyenne				1ère année sèche				3ème année sèche			
		V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR
Situation naturelle (0% de prélèvements)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0
60% des prélèvements de l'année 2005	9 844 935	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0
70% des prélèvements de l'année 2005	11 485 758	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0
80% des prélèvements de l'année 2005	13 126 580	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.1	0.0	0.0
90% des prélèvements de l'année 2005	14 767 403	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	7.5	3.3	0.0	0.0
Situation de 2005 (100% des prélèvements de l'année 2005)	16 408 225	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	7.5	3.3	0.0	0.0
120% des prélèvements de l'année 2005	19 689 870	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	7.9	5.2	0.0	0.0
150% des prélèvements de l'année 2005	24 612 338	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.2	0.0	0.0	7.9	6.8	0.2	0.0

Tableau 10 : Franchissement simulé des différents seuils de l'Avre à Moreuil.

#### Avec correction des écarts à la station de Moreuil

Le Tableau 11 synthétise les résultats obtenus en termes de durées de dépassement des différents seuils (exprimées en mois) en année moyenne, en 1<sup>ère</sup> année quinquennale sèche, et en 3<sup>ème</sup> année quinquennale sèche pour les 8 scénarios de prélèvement. On constate que :

- En situation naturelle, le DOB est légèrement dépassé 1 année sur 5.
  - Le seuil d'alerte renforcée est franchi la 1<sup>ère</sup> année sèche dès que l'on dépasse 60% du volume prélevé en 2005.
  - Le DOB est franchi en année moyenne dès qu'on dépasse 120% du volume prélevé en 2005 et le seuil de crise est alors dépassé en 1<sup>ère</sup> année sèche.

Dans ces conditions pluviométriques (succession de plusieurs années moyennes suivies d'années quinquennales sèches), et dans l'hypothèse d'un écart indépendant du volume prélevé, le DOB est dépassé 1 année sur 5 même en situation naturelle. Il n'est donc pas possible d'estimer un volume mobilisable. En effet, dans ces conditions climatiques, les pluies efficaces sont faibles et se répercutent directement sur le débit de l'Avre à Moreuil (non-atteinte du DOB), ce qui limite par conséquent les possibilités de prélèvement pour l'irrigation et confirme les résultats obtenus en 2008 (Rapport BRGM/RP-56637-FR).

Rappelons que l'analyse de la chronique de débit de l'Avre relevée à la station de Moreuil montre que sur la période 1990-2011 (soit 22 ans), le DOB a été dépassé au cours de 11 années, soit 1 année sur 2 (en 1990-1991-1996-1997-1998-2005-2006-2008-2009-2010 et 2011).

Dépassement des seuils dans l'Avre à Moreuil													
Dépassement des seuils en mois	Volume prélevé en m3	Année moyenne				1ère année sèche				3ème année sèche			
		V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR
Situation naturelle (0% de prélèvements)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.7	0.0	0.0	7.7	4.1	0.7	0.0
60% des prélèvements de l'année 2005	9 844 935	0.7	0.0	0.0	0.0	3.8	2.0	0.0	0.0	10.1	6.9	3.1	0.0
70% des prélèvements de l'année 2005	11 485 758	1.2	0.0	0.0	0.0	4.5	2.0	0.8	0.0	10.2	7.0	3.1	0.0
80% des prélèvements de l'année 2005	13 126 580	1.5	0.0	0.0	0.0	4.8	2.0	1.1	0.0	10.7	7.2	3.4	0.8
90% des prélèvements de l'année 2005	14 767 403	3.1	0.0	0.0	0.0	7.5	2.0	1.6	0.0	11.3	7.8	4.5	1.5
Situation de 2005 (100% des prélèvements de l'année 2005)	16 408 225	3.1	0.0	0.0	0.0	7.5	2.0	1.6	0.0	11.3	7.8	4.5	1.5
120% des prélèvements de l'année 2005	19 689 870	3.3	0.0	0.0	0.0	7.5	2.3	2.0	0.0	12.0	7.8	4.8	2.8
150% des prélèvements de l'année 2005	24 612 338	4.7	1.0	0.0	0.0	8.8	3.6	2.0	1.4	12.0	9.1	7.4	3.1

Tableau 11 : Franchissement simulé des différents seuils de l'Avre à Moreuil (avec débits corrigés des écarts observation/simulation)

**b) Unité de gestion de la Selle**

**Analyse des volumes prélevés à la nappe et définition des seuils**

L'évolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 est illustrée à la Figure 77. Le volume maximal prélevé dans cette unité de gestion est d'environ 16.5 millions de m<sup>3</sup>/an, atteint en 2002, alors que le volume minimal est d'environ 7 millions de m<sup>3</sup>/an (1982). L'AEP représente presque la totalité des prélèvements ces dernières années. Les volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage sont indiqués dans le Tableau 12

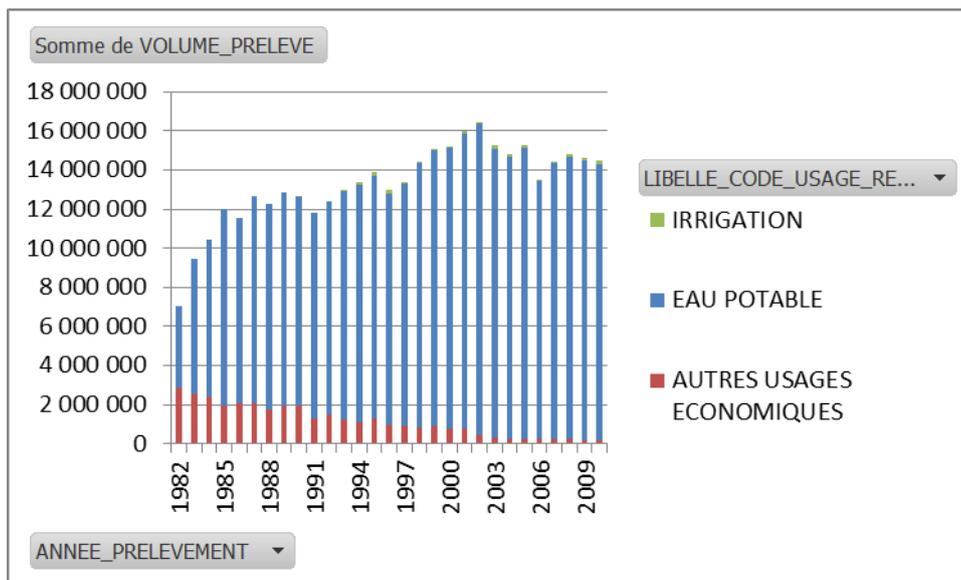


Figure 77 : Évolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 dans l'unité de gestion de la Selle.

Volumes prélevés	AUTRES USAGES ECONOMIQUES	EAU POTABLE	IRRIGATION
<b>Volumes prélevés mini (m3/an)</b>	<b>178 809</b>	<b>4 155 943</b>	<b>48 170</b>
Année correspondant au Min	2010	1982	1993
<b>Volumes prélevés maxi (m3/an)</b>	<b>2 867 009</b>	<b>15 931 643</b>	<b>199 060</b>
Année correspondant au Max	1982	2002	1996

Tableau 12 : Volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage dans l'unité de gestion Selle

Le volume prélevé de référence pour cette unité de gestion est de 15.5 millions de m<sup>3</sup>/an. La répartition de ce volume par type d'usage dans la nappe et dans le cours d'eau est la suivante :

NATURE_EAU_CAPTAGE	AUTRES USAGES ECONOMIQUES	EAU POTABLE	IRRIGATION	Total général
Nappe	265 551	14 859 502	150 734	15 275 787
Surface	250 884			250 884
<b>Total général</b>	<b>516 435</b>	<b>14 859 502</b>	<b>150 734</b>	<b>15 526 671</b>

Les seuils utilisés proviennent de l'étude AMEVA (avril 2013) et de l'arrêté-cadre sécheresse du 26 mars 2012. Les débits de la Selle à la station de Plachy correspondant aux différents seuils sont indiqués ci-dessous :

Seuil	Vigilance	DOB	Alerte renforcée	Crise
Débit de la Selle à Plachy (m3/s)	2.9	2.83	2.45	1.651

Remarque : le seuil de vigilance est très proche du DOB.

### Calcul des écarts moyens mensuels et correction des débits

Les écarts moyens mensuels entre les débits observés et simulés de la Selle à Plachy ont été calculés sur la période 2003-2012. Le débit simulé de la Selle à Plachy, corrigé des écarts moyens mensuels, est représenté sur la Figure 78. La simulation corrigée des écarts permet de mieux reproduire les étiages mais elle ne permet pas de reproduire les fluctuations brutales observées, peut-être dues à la gestion des nombreux barrages échelonnés le long du cours d'eau.

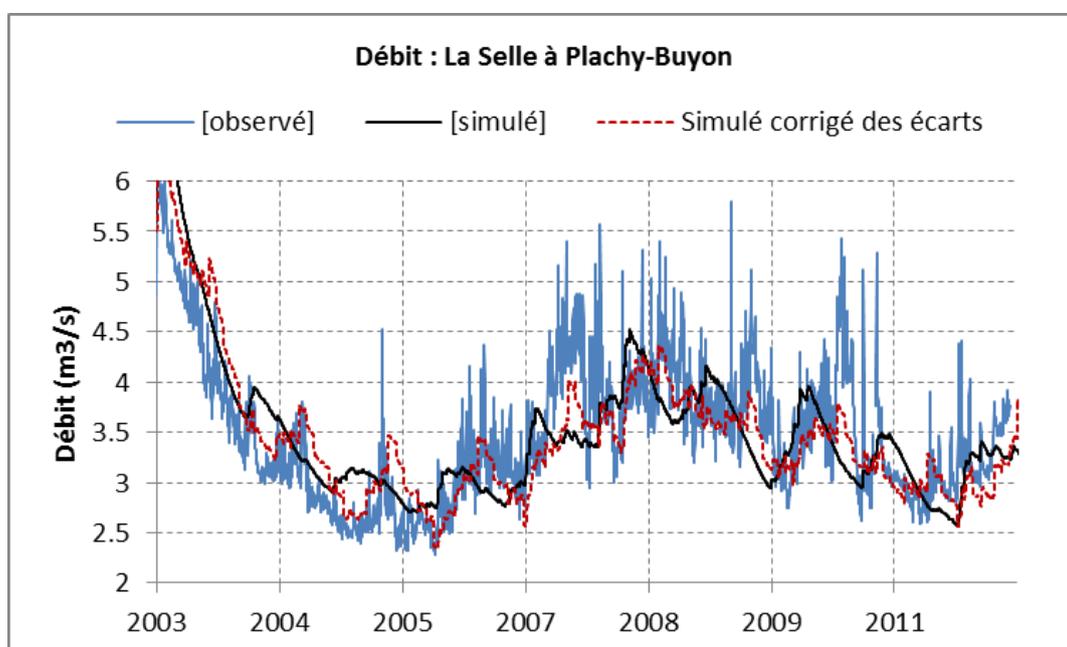


Figure 78 : Débits simulés et observé de la Selle à Plachy, avec correction des écarts moyens mensuels

### Estimation des volumes mobilisables

Les graphiques comparant les débits simulés aux différents seuils de référence sont présentés en annexe 4 pour les différents scénarios simulés.

Pour cette unité de gestion, l'analyse des simulations avec ou sans correction des écarts moyens mensuels aboutit aux mêmes conclusions ; seule l'analyse avec correction des écarts est donc présentée ci-dessous. Le Tableau 13 synthétise les résultats de cette analyse.

En situation naturelle, le DOB est dépassé pendant 2.9 mois (0.7 mois quand on analyse les simulations sans correction des écarts) la première année sèche, alors qu'avec 100 % des prélèvements, il est dépassé 3.6 mois (1.4 mois sans correction des écarts). Cette faible différence s'explique par le fait que les prélèvements ont peu d'impact sur le DOB parce qu'ils se situent en aval de la station.

Rappelons que sur la période 1990-2011 le DOB est franchi en moyenne 1 année sur 2. Plus exactement, le DOB a été dépassé 11 années sur les 22 (1990-1991-1992-1996-1997-1999-2004-2005-2006-2010 et 2011).

La Selle étant un cours d'eau très cloisonné du fait de la présence de nombreux barrages, il est difficile de définir un volume mobilisable qui respecte le DOB dans cette unité.

Dépassement des seuils dans la Selle à Planchy													
Dépassement des seuils en mois	Volume prélevé en m3	Année moyenne				1ère année sèche				3ème année sèche			
		V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR
Situation naturelle (0% de prélèvements)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	2.9	0.0	0.0	11.1	10.2	6.0	0.0
60% des prélèvements de l'année 2005	9 316 003	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	3.0	0.0	0.0	12.0	10.6	6.5	0.0
70% des prélèvements de l'année 2005	10 868 670	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	3.1	0.0	0.0	12.0	10.6	6.5	0.0
80% des prélèvements de l'année 2005	12 421 337	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	3.3	0.0	0.0	12.0	10.8	6.6	0.0
90% des prélèvements de l'année 2005	13 974 004	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	3.5	0.0	0.0	12.0	10.8	6.7	0.0
Situation de 2005 (100% des prélèvements de l'année 2005)	15 526 671	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	3.6	0.0	0.0	12.0	10.9	6.8	0.0
120% des prélèvements de l'année 2005	18 632 005	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	4.1	0.0	0.0	12.0	11.1	7.0	0.0
150% des prélèvements de l'année 2005	23 290 007	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	4.5	0.0	0.0	12.0	11.8	7.0	0.0

Tableau 13 : Dépassement des différents seuils de la Selle à Plachy

### c) Unité de gestion de la Somme amont

#### Analyse des volumes prélevés à la nappe et définition des seuils

L'évolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 (Figure 79) montre que le volume maximal prélevé dans cette unité de gestion est d'environ 55.8 millions de m<sup>3</sup>/an, atteint en 1996. Le volume minimal prélevé à la nappe est d'environ 33.3 millions de m<sup>3</sup>/an (2007). Les prélèvements industriels, qui représentaient environ les ¾ du volume total prélevé dans les années 80, ont largement diminué en faveur des prélèvements agricoles. Les volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage sont fournis dans le Tableau 14.

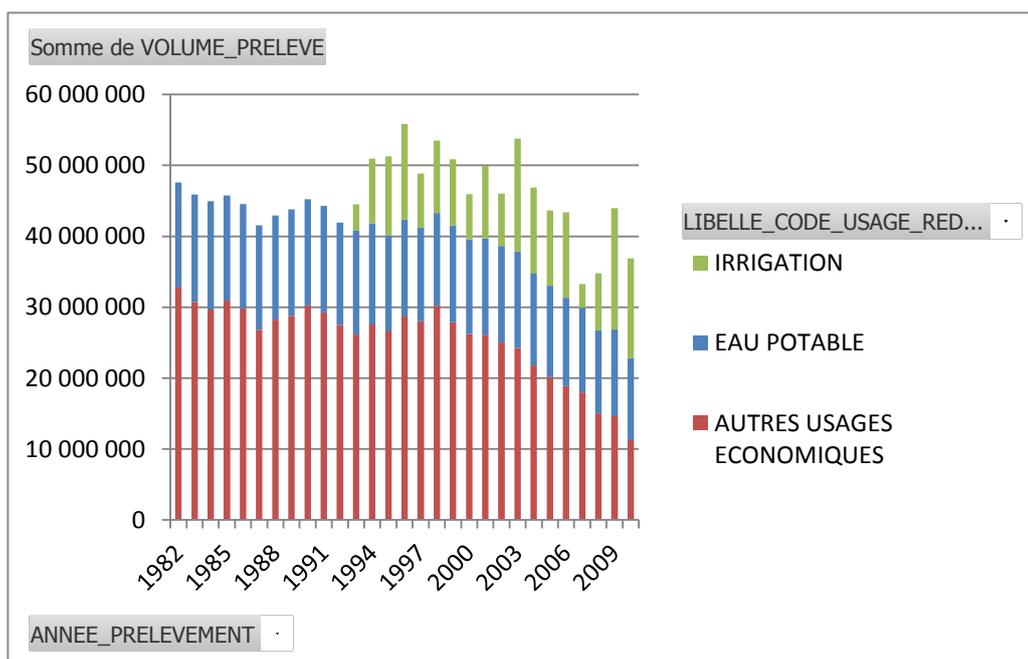


Figure 79 : Évolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 dans l'unité de gestion Somme amont

Volumes prélevés	AUTRES USAGES ECONOMIQUES	EAU POTABLE	IRRIGATION
<b>Volumes prélevés mini (m3/an)</b>	<b>11 258 104</b>	<b>11 542 232</b>	<b>72</b>
Année correspondant au Min	2010	2010	1989
<b>Volumes prélevés maxi (m3/an)</b>	<b>32 762 425</b>	<b>15 264 022</b>	<b>17 143 265</b>
Année correspondant au Max	1982	1984	2009

Tableau 14 : Volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage dans l'unité de gestion Somme amont.

Le volume prélevé de référence pour cette unité de gestion est de 45.79 millions de m<sup>3</sup>/an. La répartition de ce volume par type d'usage entre la nappe et le cours d'eau est la suivante :

NATURE_EAU_CAPTAGE	AUTRES USAGES ECONOMIQUES	EAU POTABLE	IRRIGATION	Total général
Nappe	20 124 429	12 896 369	10 635 518	43 656 316
Surface	1 997 100		135 923	2 133 023
<b>Total général</b>	<b>22 121 529</b>	<b>12 896 369</b>	<b>10 771 441</b>	<b>45 789 339</b>

Les seuils utilisés pour la Somme à Lamotte-Brebière proviennent de l'étude AMEVA pour le DOB ; l'hypothèse d'une variation de 15% entre les seuils a été retenue pour les autres seuils. Ils sont chiffrés ci-dessous :

Seuil	Vigilance	DOB	Alerte renforcée	Crise
Débit de la Somme à Lamotte (m3/s)	<a href="#">8.441</a>	7.34	<a href="#">6.239</a>	<a href="#">5.138</a>

### Calcul des écarts moyens mensuels et correction des débits

Les écarts moyens mensuels entre les débits simulés et observés de la Somme à Lamotte-Brebière ont été calculés sur la période 2005-20011 (période d'observation).

Le débit calculé corrigé des écarts moyens mensuels (Figure 80) permet de mieux reproduire le débit observé, mais il sous-estime les basses eaux. De ce fait, son utilisation entrainerait une sous-estimation des volumes mobilisables. Par conséquent, nous avons utilisé les simulations sans correction du fait que le modèle est assez bien calé en étiage.

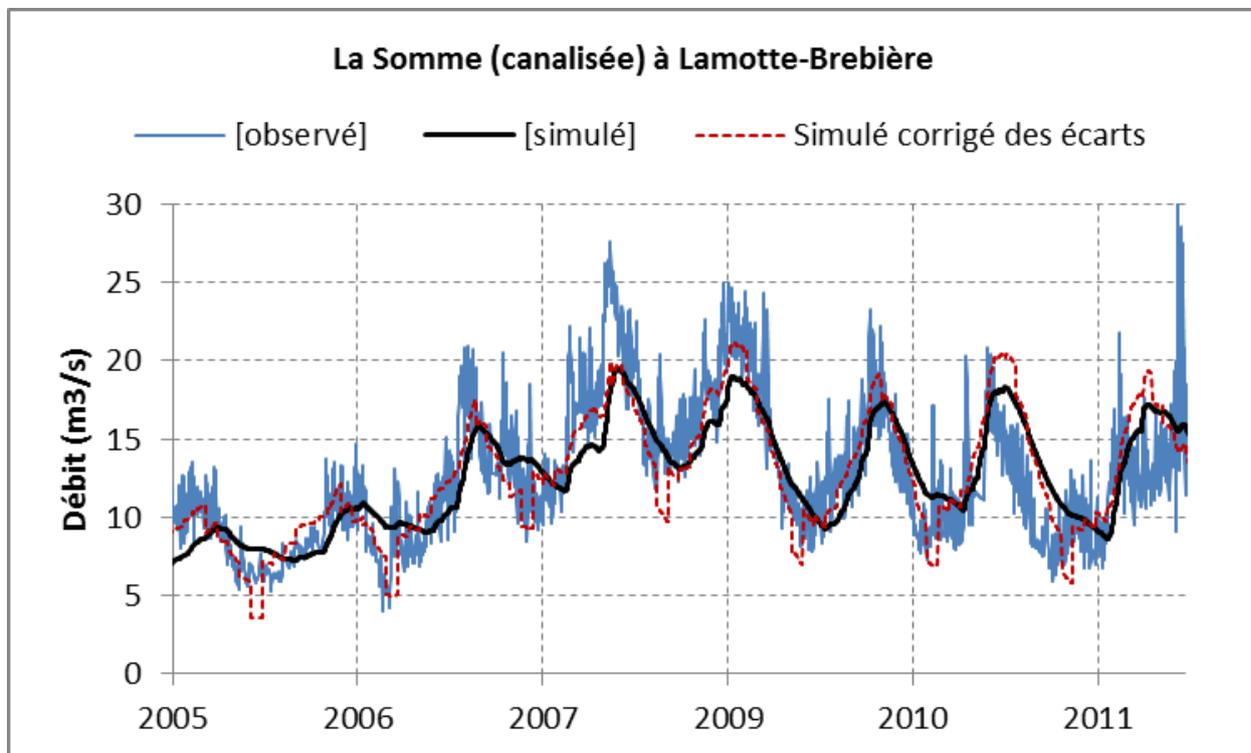


Figure 80: Débit calculé de la Somme à Lamotte-Brebière corrigé des écarts moyens mensuels

### Estimation des volumes mobilisables

Les graphiques comparant les débits calculés aux seuils retenus pour la Somme à Lamotte-

Dépassement des seuils dans la Somme à Lamotte Brébière													
Dépassement des seuils en mois	Volume prélevé en m <sup>3</sup>	Année moyenne				1ère année sèche				3ème année sèche			
		V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR
Situation naturelle (0% de prélèvements)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0
60% des prélèvements de l'année 2005	27 473 603	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	1.4	0.0	0.0
70% des prélèvements de l'année 2005	32 052 537	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	7.9	2.1	0.0	0.0
80% des prélèvements de l'année 2005	36 631 471	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	8.4	2.8	0.0	0.0
90% des prélèvements de l'année 2005	41 210 405	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	9.5	4.5	0.0	0.0
Situation de 2005 (100% des prélèvements de l'année 2005)	45 789 339	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	9.8	5.7	0.0	0.0
120% des prélèvements de l'année 2005	54 947 207	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	10.9	7.5	0.0	0.0
150% des prélèvements de l'année 2005	68 684 009	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	1.4	0.0	0.0	12.0	8.9	2.6	0.0

Tableau 15 synthétise les résultats obtenus.

Dépassement des seuils dans la Somme à Lamotte Brébière													
Dépassement des seuils en mois	Volume prélevé en m <sup>3</sup>	Année moyenne				1ère année sèche				3ème année sèche			
		V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR
Situation naturelle (0% de prélèvements)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0
60% des prélèvements de l'année 2005	27 473 603	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	1.4	0.0	0.0
70% des prélèvements de l'année 2005	32 052 537	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	7.9	2.1	0.0	0.0
80% des prélèvements de l'année 2005	36 631 471	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	8.4	2.8	0.0	0.0
90% des prélèvements de l'année 2005	41 210 405	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	9.5	4.5	0.0	0.0
Situation de 2005 (100% des prélèvements de l'année 2005)	45 789 339	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	9.8	5.7	0.0	0.0
120% des prélèvements de l'année 2005	54 947 207	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	10.9	7.5	0.0	0.0
150% des prélèvements de l'année 2005	68 684 009	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	1.4	0.0	0.0	12.0	8.9	2.6	0.0

Tableau 15 : Dépassement calculé des différents seuils de la Somme à Lamotte-Brebière

- Avec 120 % des prélèvements, le DOB n'est pas franchi la première année sèche.
- Les données du débit observées sur la période 2005-2012 (soit 7 ans) montrent que le DOB a été franchi au cours de deux années 2005 et 2006.
- Le volume mobilisable est de l'ordre de 55 Mm<sup>3</sup>/an, mais ces résultats sont à prendre avec précaution car les débits mesurés à Lamotte-Brebière sont influencés par la gestion des ouvrages de la Somme canalisée.

**d) Unité de gestion de l'Ancre**

**Analyse des volumes prélevés à la nappe et définition des seuils**

La Figure 81 montre l'évolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 dans l'unité de gestion de l'Ancre. Le volume maximal prélevé dans cette unité de gestion a atteint **4 millions de m<sup>3</sup>/an en 2003**. Le **volume minimal prélevé à la nappe est de 2.6 millions de m<sup>3</sup>/an (2007)**. Les prélèvements sont essentiellement destinés à l'AEP. Les prélèvements pour l'irrigation ont augmenté ces dernières années au détriment des prélèvements industriels. Les volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage sont détaillés dans le Tableau 16.

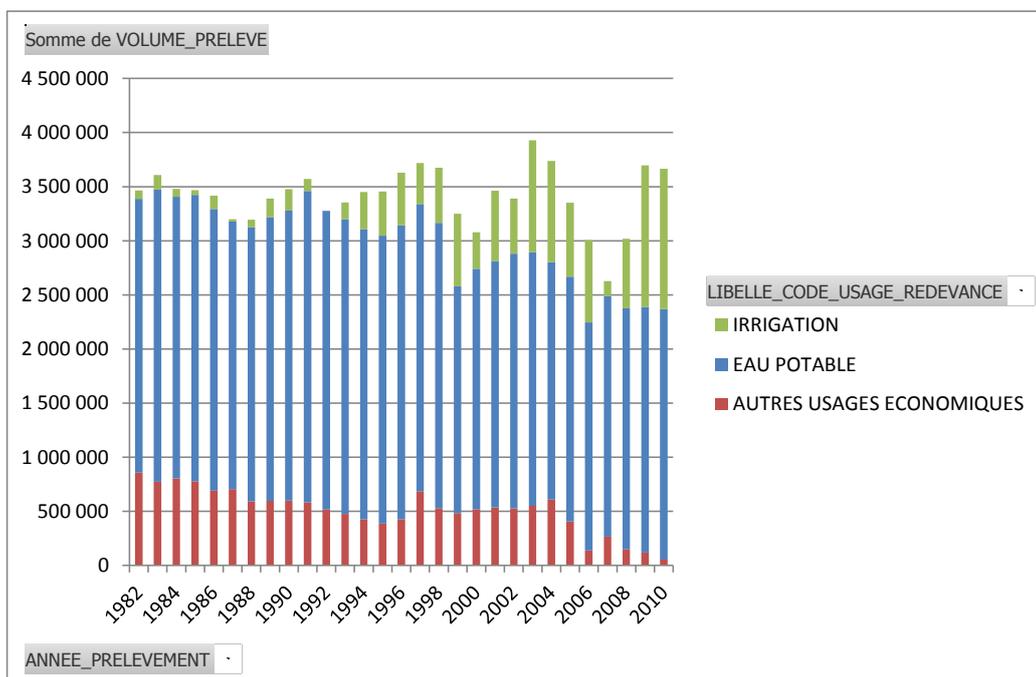


Figure 81 : Évolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 dans l'unité de gestion Ancre

Volumes prélevés	AUTRES USAGES ECONOMIQUES	EAU POTABLE	IRRIGATION
<b>Volumes prélevés mini (m<sup>3</sup>/an)</b>	<b>53 447</b>	<b>2 094 448</b>	<b>21 813</b>
Année correspondant au Min	2010	1999	1987
<b>Volumes prélevés maxi (m<sup>3</sup>/ar)</b>	<b>858 140</b>	<b>2 879 050</b>	<b>1 310 215</b>
Année correspondant au Max	1982	1991	2009

Tableau 16 : Volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage dans l'unité de gestion Ancre

Le volume prélevé de référence pour cette unité de gestion est de 3.36 millions de m<sup>3</sup>/an. Ce volume, intégralement prélevé dans la nappe, se distribue de la façon suivante selon les usages :

NATURE_EAU_CAPTAGE	AUTRES USAGES ECONOMIQUES	EAU POTABLE	IRRIGATION	Total général
Nappe	406 488	2 261 811	684 441	3 352 740
<b>Total général</b>	<b>406 488</b>	<b>2 261 811</b>	<b>684 441</b>	<b>3 352 740</b>

Seuils utilisés : étude AMEVA pour le DOB, et hypothèse d'une variation de 15 % entre les autres seuils. Les débits des différents seuils sont résumés ci-dessous :

Seuil	Vigilance	DOB	Alerte renforcée	Crise
<b>Débit de l'Ancre à Bonnay (m3/s)</b>	<u>1.0833</u>	0.942	<u>0.8007</u>	<u>0.6594</u>

### Calcul des écarts moyens mensuels et correction des débits

Comme pour les autres stations, les écarts moyens mensuels entre les débits de l'Ancre simulés et observés à Bonnay ont été calculés sur la période 2005-2011. Les débits corrigés des écarts moyens mensuels (Figure 82) permettent de mieux reproduire les très basses eaux (années sèches). Les simulations corrigées des écarts ont donc été utilisées pour l'évaluation des volumes mobilisables dans cette unité.

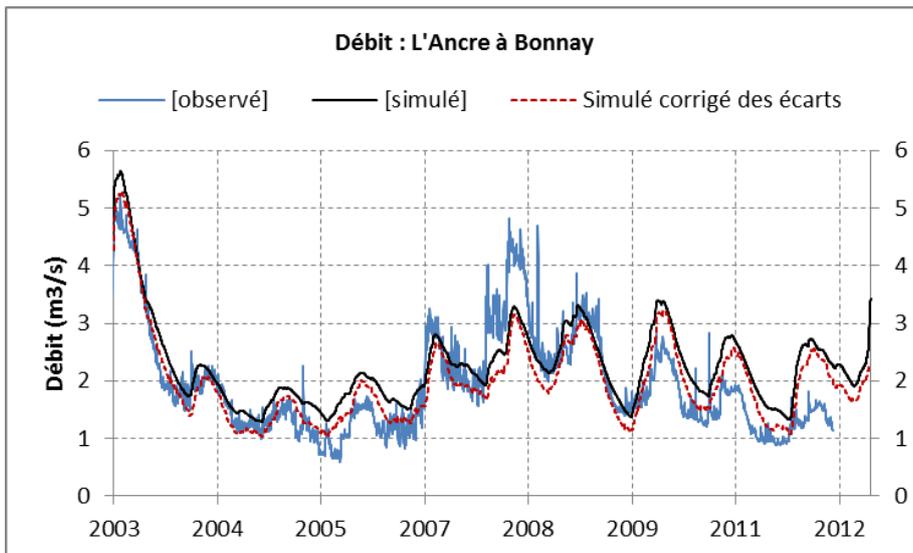


Figure 82 : Débit calculé de l'Ancre à Bonnay corrigé des écarts moyens mensuels

Les graphiques comparant les débits calculés aux différents seuils sont présentés en annexe 4 pour les différents scénarios simulés. La chronique de débit mesuré à Bonnay sur la période 2002-2012 (soit 11 ans) montre que le DOB a été dépassé au cours de 3 années (2004, 2005 et 2011).

Le Dépassement des seuils dans l'Ancre à Bonnay													
Dépassement des seuils en mois	Volume prélevé en m3	Année moyenne				1ère année sèche				3ème année sèche			
		V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR
Situation naturelle (0% de prélèvements)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	7.2	4.0	0.4	0.0
60% des prélèvements de l'année 2005	2 011 644	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	7.4	5.8	1.1	0.0
70% des prélèvements de l'année 2005	2 346 918	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	7.4	6.1	1.4	0.0
80% des prélèvements de l'année 2005	2 682 192	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	7.6	6.4	1.6	0.0
90% des prélèvements de l'année 2005	3 017 466	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.4	0.0	0.0	7.7	6.8	2.1	0.0
Situation de 2005 (100% des prélèvements de l'année 2005)	3 352 740	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.4	0.0	0.0	7.7	6.8	2.1	0.0
120% des prélèvements de l'année 2005	4 023 288	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.7	0.0	0.0	7.7	6.8	2.4	0.0
150% des prélèvements de l'année 2005	5 029 110	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	1.1	0.0	0.0	7.9	7.0	2.9	0.1

Tableau 17 synthétise les résultats des scénarios ; ils montrent que:

- Avec 120 % des prélèvements, le DOB est légèrement dépassé (moins d'un mois) la première année sèche. En revanche, ce seuil n'est pas franchi avec 80% des prélèvements de l'année 2005.
- Le volume mobilisable se situe donc entre 2,7 Millions de m3/an et 3 Millions de m3/an.

Dépassement des seuils dans l'Ancre à Bonnay													
Dépassement des seuils en mois	Volume prélevé en m3	Année moyenne				1ère année sèche				3ème année sèche			
		V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR
Situation naturelle (0% de prélèvements)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	7.2	4.0	0.4	0.0
60% des prélèvements de l'année 2005	2 011 644	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	7.4	5.8	1.1	0.0
70% des prélèvements de l'année 2005	2 346 918	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	7.4	6.1	1.4	0.0
80% des prélèvements de l'année 2005	2 682 192	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	7.6	6.4	1.6	0.0
90% des prélèvements de l'année 2005	3 017 466	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.4	0.0	0.0	7.7	6.8	2.1	0.0
Situation de 2005 (100% des prélèvements de l'année 2005)	3 352 740	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.4	0.0	0.0	7.7	6.8	2.1	0.0
120% des prélèvements de l'année 2005	4 023 288	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.7	0.0	0.0	7.7	6.8	2.4	0.0
150% des prélèvements de l'année 2005	5 029 110	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	1.1	0.0	0.0	7.9	7.0	2.9	0.1

Tableau 17 : Dépassements calculés des différents seuils de l'Ancre à Bonnay.

**e) Unité de gestion de la Nièvre-Hallue**

**Analyse des volumes prélevés à la nappe et définition des seuils**

Cette unité regroupe les bassins de la Nièvre et de l'Hallue. Les chroniques des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sont illustrés à la Figure 83. Le volume minimal est de 4 millions de m<sup>3</sup>/an en 1982, alors que le volume maximal est de 7.7 millions de m<sup>3</sup>/an en 2010. Les volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage sont détaillés dans le Tableau 18.

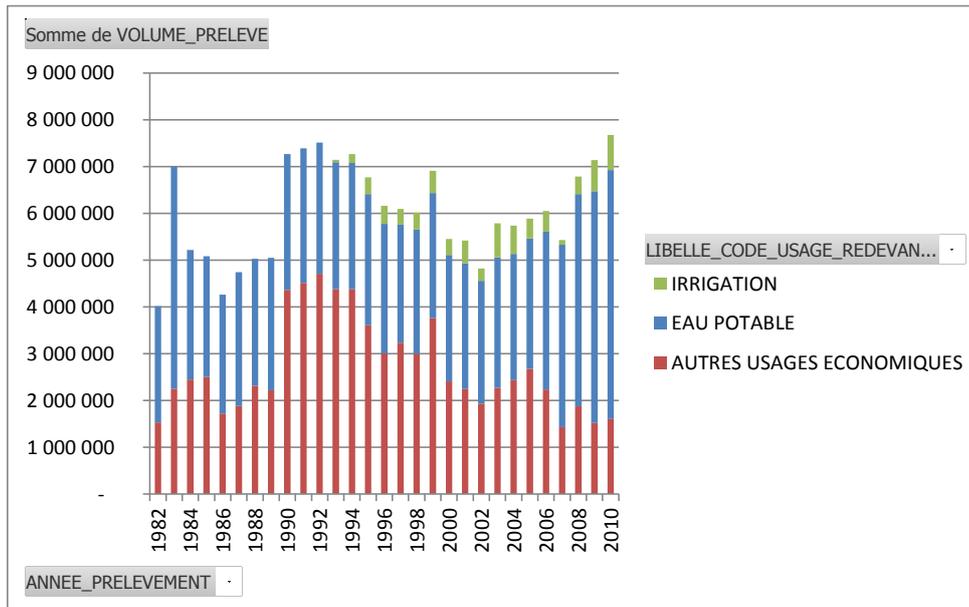


Figure 83 : Évolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 dans l'unité de gestion Nièvre-Hallue.

Volumes prélevés	AUTRES USAGES ECONOMIQUES	EAU POTABLE	IRRIGATION
<b>Volumes prélevés mini (m<sup>3</sup>/an)</b>	<b>1 434 944</b>	<b>2 486 574</b>	<b>46 755</b>
Année correspondant au Min	2007	1982	1993
<b>Volumes prélevés maxi (m<sup>3</sup>/an)</b>	<b>4 713 673</b>	<b>5 320 312</b>	<b>751 405</b>
Année correspondant au Max	1992	2010	2010

Tableau 18 : Volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage dans l'unité de gestion Nièvre-Hallue.

Les volumes prélevés dans le bassin de l'Hallue représentent une grande partie des prélèvements de l'unité Nièvre-Hallue (Figure 84) avec un volume maximal atteint en 2010 d'environ 5.5 millions de m<sup>3</sup>/an.

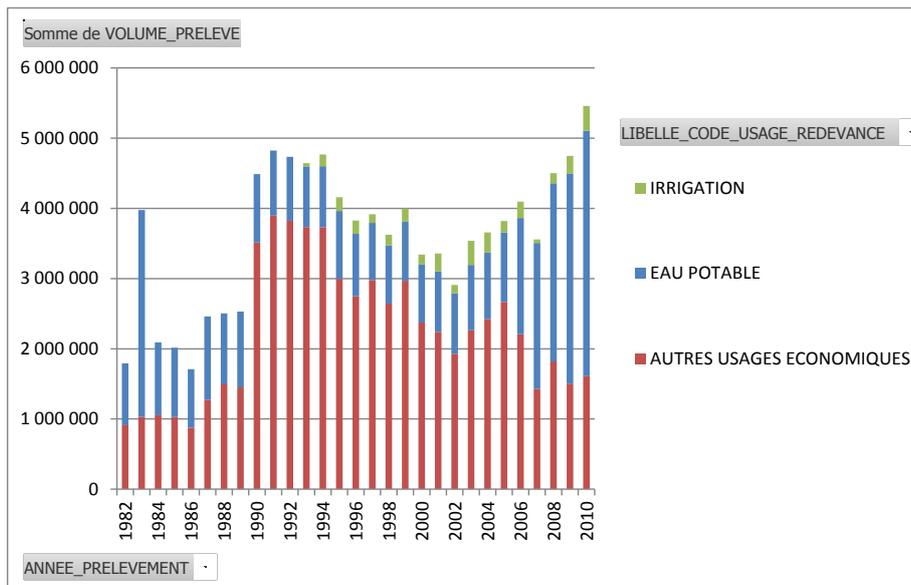


Figure 84 : Évolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 dans le bassin de l'Hallue

### Calcul des écarts moyens mensuels et correction des débits

Comme il y a deux cours d'eau (Nièvre et Hallue) dans cette unité, les écarts moyens mensuels entre les débits simulés et observés ont été calculés sur la période 2003-2012 pour l'Hallue (station de Bavelincourt) et la Nièvre (station de l'Étoile).

Pour l'Hallue à Bavelincourt, les débits corrigés des écarts moyens mensuels (Figure 85) n'apportent pas d'amélioration sensible à la restitution des très basses eaux, le modèle étant déjà bien calé. La correction du débit calculé des écarts moyens mensuels pour l'évaluation des volumes mobilisables n'est donc pas nécessaire.

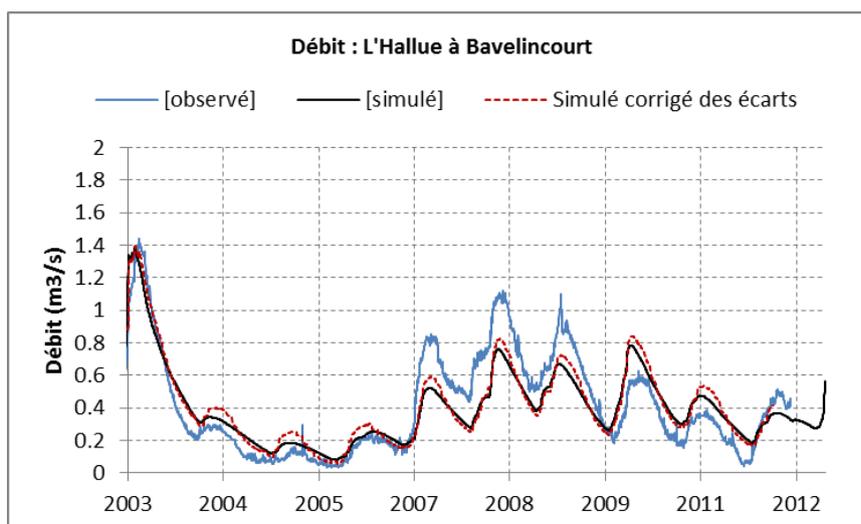


Figure 85 : Débits simulés et observés de l'Hallue à Bavelincourt

Pour le débit de la Nièvre à l'Étoile, les débits corrigés des écarts moyens mensuels (Figure 86) permettent de mieux reproduire les très basses eaux (années sèches). Les débits simulés corrigés des écarts ont donc été utilisés pour l'évaluation des volumes mobilisables dans le bassin de la Nièvre.

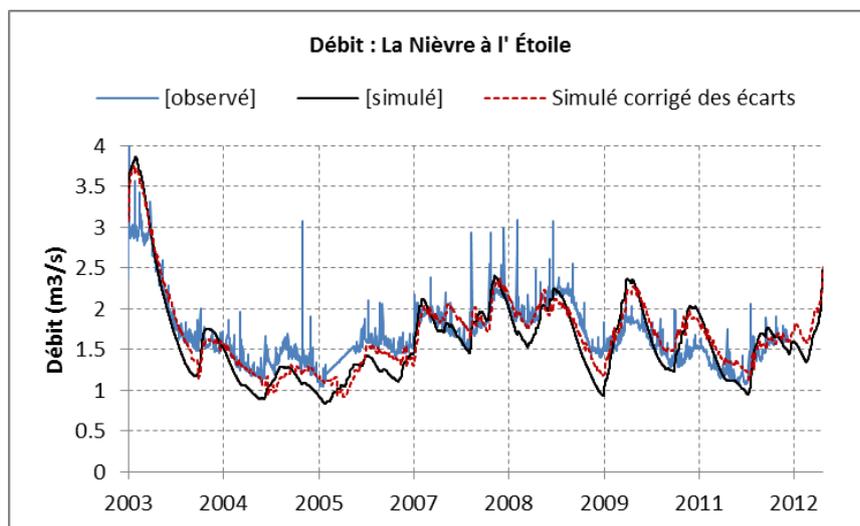


Figure 86 : Débits simulés et observés de la Nièvre à l'Étoile corrigé des écarts moyens mensuels

### **Estimation des volumes mobilisables dans le bassin de l'Hallue**

Le volume moyen de référence (2005) dans le bassin de l'Hallue est de 3.8 millions de m<sup>3</sup>/an, prélevé exclusivement en nappe ; la distribution par type d'usage est la suivante :

NATURE_EAU_CAPTAGE	AUTRES USAGES ECONOMIQUES	EAU POTABLE	IRRIGATION	TOTAL GENERAL
NAPPE	2 666 192	990 964	163 889	3 821 045
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>2 666 192</b>	<b>990 964</b>	<b>163 889</b>	<b>3 821 045</b>

Les seuils utilisés pour l'Hallue s'appuient sur l'étude AMEVA pour le DOB et sur l'hypothèse d'une variation de 15% entre les autres seuils. Ils sont présentés ci-dessous :

Seuil	Vigilance	DOB	Alerte renforcée	Crise
<b>Débit de l'Hallue à Bavelincourt (m<sup>3</sup>/s)</b>	<u>0.0575</u>	0.05	<u>0.0425</u>	<u>0.035</u>

Les graphiques comparant les débits simulés aux différents adoptés pour la station de Bavelincourt sont présentés en annexe 4 pour les différents scénarios simulés. Le Tableau 19 synthétise les résultats obtenus.

Quel que soit le prélèvement simulé, le DOB n'est pas franchi la première année sèche. La forte indépendance constatée aux prélèvements s'explique par le fait que la station de référence se trouve en amont du cours d'eau, tandis que les gros prélèvements se situent en aval de la station, à l'exutoire du bassin.

Dans ce cas, il n'est pas possible de définir des volumes mobilisables parce que le critère utilisé pour le DOB est indépendant des prélèvements effectués aux emplacements de pompage actuels.

Dépassement des seuils dans l'Hallue à Bavelincourt													
Dépassement des seuils en mois	Volume prélevé en m3	Année moyenne				1ère année sèche				3ème année sèche			
		V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR
Situation naturelle (0% de prélèvements)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	6.1	4.7	4.1
60% des prélèvements de l'année 2005	2 292 627	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	6.6	6.6	5.0
70% des prélèvements de l'année 2005	2 674 732	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	6.8	6.6	5.7
80% des prélèvements de l'année 2005	3 056 836	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	6.8	6.6	5.9
90% des prélèvements de l'année 2005	3 438 941	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	6.8	6.8	6.3
Situation de 2005 (100% des prélèvements de l'année 2005)	3 821 045	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	7.0	6.8	6.6
120% des prélèvements de l'année 2005	4 585 254	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	7.0	6.8	6.6
150% des prélèvements de l'année 2005	5 731 568	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	7.0	7.0	6.8

Tableau 19 : Dépassements calculés des différents seuils de l'Hallue à Bavelincourt

### **Estimation des volumes mobilisables dans le bassin de la Nièvre**

Le volume moyen de référence (2005) dans le bassin de la Nièvre est de 2 millions de m3/an, sa distribution par type d'usage est la suivante :

NATURE_EAU_CAPTAGE	AUTRES USAGES ECONOMIQUES	EAU POTABLE	IRRIGATION	Total général
Nappe	14 615	1 796 471	204 934	2 016 020
<b>Total général</b>	<b>14 615</b>	<b>1 796 471</b>	<b>204 934</b>	<b>2 016 020</b>

Les différents seuils utilisés pour la Nièvre à l'Étoile proviennent de l'étude AMEVA pour le DOB et de l'arrêté-cadre sécheresse du 26 mars 2012 ; ils sont détaillés ci-dessous :

Seuil	Vigilance	DOB	Alerte renforcée	Crise
<b>Débit de la Nièvre à l'étoile (m3/s)</b>	1.5	1.33	1.14	0.804

Les graphiques comparant les débits simulés et observés aux différents seuils retenus pour la Nièvre à l'Étoile sont présentés en annexe 4 pour les différents scénarios étudiés. Le Tableau 20 synthétise les résultats obtenus.

Dépassement des seuils dans la Nièvre à l'Etoile													
Dépassement des seuils en mois	Volume prélevé en m3	Année moyenne				1ère année sèche				3ème année sèche			
		V	DOB A	AR	CR	V	DOB A	AR	CR	V	DOB A	AR	CR
Situation naturelle (0% de prélèvements)	0	1.9	0.0	0.0	0.0	11.3	9.5	1.6	0.0	12.0	12.0	12.0	0.6
60% des prélèvements de l'année 2005	1 209 612	2.5	0.0	0.0	0.0	11.4	9.9	1.9	0.0	12.0	12.0	12.0	1.1
70% des prélèvements de l'année 2005	1 411 214	2.7	0.0	0.0	0.0	11.5	10.0	1.9	0.0	12.0	12.0	12.0	1.2
80% des prélèvements de l'année 2005	1 612 816	2.8	0.0	0.0	0.0	11.5	10.0	2.0	0.0	12.0	12.0	12.0	1.2
90% des prélèvements de l'année 2005	1 814 418	2.8	0.0	0.0	0.0	11.5	10.0	2.3	0.0	12.0	12.0	12.0	1.2
Situation de 2005 (100% des prélèvements de l'année 2005)	2 016 020	2.8	0.0	0.0	0.0	11.5	10.1	2.6	0.0	12.0	12.0	12.0	1.2
120% des prélèvements de l'année 2005	2 419 224	2.8	0.0	0.0	0.0	11.5	10.1	2.8	0.0	12.0	12.0	12.0	1.4
150% des prélèvements de l'année 2005	3 024 030	3.2	0.0	0.0	0.0	11.8	10.4	4.6	0.0	12.0	12.0	12.0	1.5

Tableau 20 : Dépassements calculés des différents seuils de la Nièvre à l'Étoile

- En année moyenne, le seuil de vigilance est dépassé pendant 2 mois dans le cas d'une situation naturelle (sans prélèvement) et pendant un peu plus de 3 mois avec 150% du volume prélevé en 2005.
- La première année sèche, le DOB est dépassé pendant 9.5 mois en situation naturelle, et pendant 10.1 mois avec 100 % des prélèvements 2005.
- Par ailleurs, l'analyse de la chronique des débits observés dans la Nièvre pendant la période 1990-2011 (soit 22 ans) montre que le DOB a été dépassé 8 années sur 22 (1990-1991-1992-1996-1997-1998-2010 et 2011).

**Il n'est pas possible de définir un volume mobilisable dans cette unité de gestion, car le DOB indiqué par AMEVA ne peut être respecté même en stoppant tous les prélèvements en nappe.**

**f) Unité de gestion de la Maye**

**Analyse des volumes prélevés à la nappe et définition des seuils**

La Figure 87 montre l'évolution des volumes prélevés dans la nappe pour les besoins AEP et agricoles pour cette unité de gestion. Un volume total maximal de 4 millions de m<sup>3</sup>/an a été prélevé en 2010. Les volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage sont détaillés dans le Tableau 21.

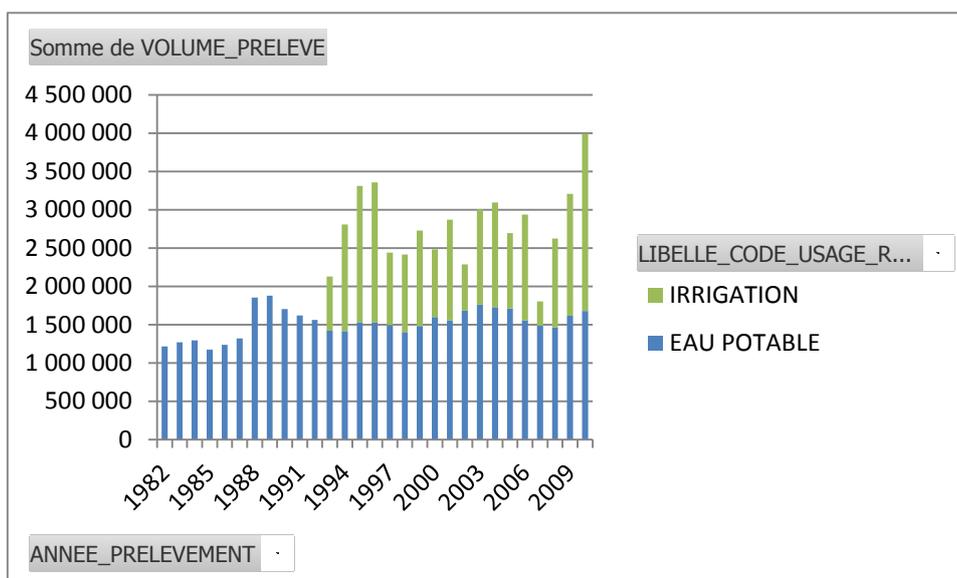


Figure 87 : Évolution des volumes prélevés à la nappe par type d'usage sur la période 1982-2012 dans l'unité de gestion Maye

Volumes prélevés	EAU POTABLE	IRRIGATION
<b>Volumes prélevés mini (m3/an)</b>	<b>1 175 456</b>	<b>313 833</b>
Année correspondant au Min	1985	2008
<b>Volumes prélevés maxi (m3/an)</b>	<b>1 877 402</b>	<b>2 311 752</b>
Année correspondant au Max	1989	2010

Tableau 21: Volumes minimal et maximal prélevés à la nappe par type d'usage dans l'unité de gestion Maye

Le volume prélevé de référence pour cette unité de gestion est de 2.7 millions de m<sup>3</sup>/an. La répartition de ce volume par type d'usage dans la nappe et dans le cours d'eau est la suivante.

NATURE_EAU_CAPTAGE	EAU POTABLE	IRRIGATION	Total général
Nappe	1 712 971	982 079	2 695 050
Surface		13 260	13 260
<b>Total général</b>	<b>1 712 971</b>	<b>995 339</b>	<b>2 708 310</b>

Les seuils utilisés sont résumés ci-dessous ; seul le DOB est connu (étude AMEVA) ; pour les autres seuils nous avons fait l'hypothèse d'une variation de 15 % entre seuils successifs :

Seuil	Vigilance	DOB	Alerte renforcée	Crise
Débit de la Maye à Arry (m3/s)	<u>0.4301</u>	0.374	<u>0.3179</u>	<u>0.2618</u>

### **Calcul des écarts moyens mensuels et correction des débits**

Sur la Figure 88, le débit simulé de la Maye à Arry est comparé au débit observé et au débit simulé corrigé des écarts moyens annuels. On peut voir que le débit simulé corrigé des écarts moyens mensuels dégrade significativement la simulation, notamment en très basses eaux (le débit corrigé est nettement sous-estimé). C'est donc le débit simulé et non corrigé des écarts moyens mensuels qui est utilisé pour l'évaluation du volume mobilisable dans cette unité.

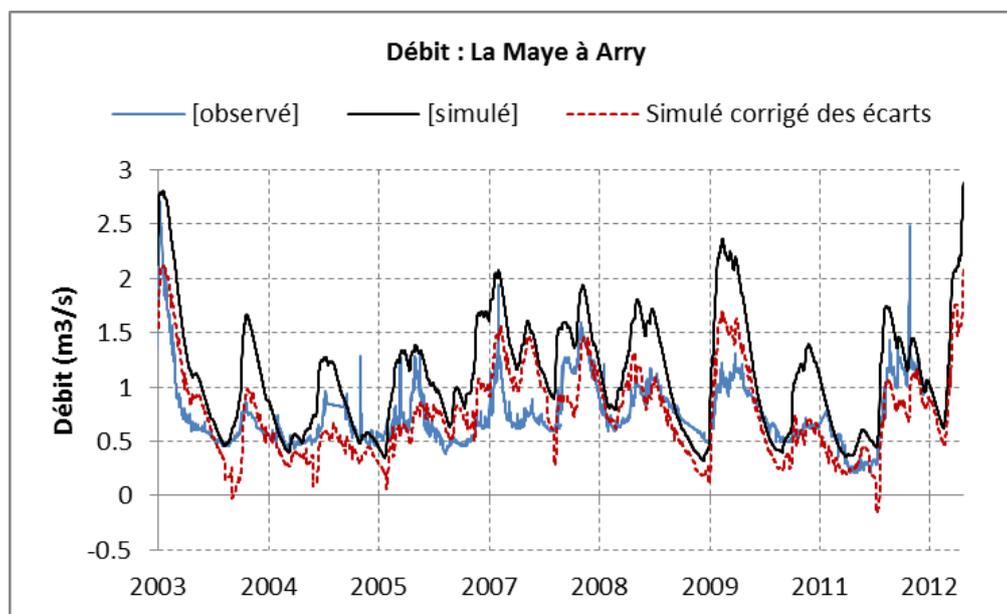


Figure 88 : Débits simulés et observés de la Maye à Arry

### **Estimation des volumes mobilisables**

Les graphiques comparant les débits simulés aux différents seuils retenus pour la Maye à Arry sont présentés en annexe 4 pour les différents scénarios étudiés. Le Tableau 22 synthétise les résultats obtenus :

- Avec 120 % des prélèvements, le DOB est dépassé légèrement pendant 0.3 mois durant la première année sèche.

- L'analyse de la chronique de débit de la Maye relevée à Arry montre que le DOB a été franchi au cours de 3 années (1996-1997 et 2011) sur les 19 années d'observation (1993-2012),
- Le volume mobilisable se situe entre 2.7 et 3.2 millions de m<sup>3</sup>/an.

Dépassement des seuils dans la Maye à Arry													
Dépassement des seuils en mois	Volume prélevé en m3	Année moyenne				1ère année sèche				3ème année sèche			
		V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR	V	DOB_A	AR	CR
Situation naturelle (0% de prélèvements)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0
60% des prélèvements de l'année 2005	1 624 986	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	1.9	0.4	0.0	0.0
70% des prélèvements de l'année 2005	1 895 817	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	1.9	0.4	0.0	0.0
80% des prélèvements de l'année 2005	2 166 648	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	2.2	0.5	0.0	0.0
90% des prélèvements de l'année 2005	2 437 479	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	2.6	0.7	0.0	0.0
Situation de 2005 (100% des prélèvements de l'année 2005)	2 708 310	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	2.8	0.7	0.0	0.0
120% des prélèvements de l'année 2005	3 249 972	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.3	0.0	0.0	3.0	0.7	0.0	0.0
150% des prélèvements de l'année 2005	4 062 465	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	1.3	0.0	0.0	3.2	1.3	0.0	0.0

Tableau 22 : Dépassements calculés des différents seuils de la Maye à Arry



## 5. Conclusions

Le modèle maillé du bassin la Somme a été étendu sur sa partie occidentale pour intégrer le secteur du Marquenterre. Le modèle, initialement élaboré pour simuler les hautes eaux de la Somme, a été actualisé sur la période 2006-2012 et son calage a été repris sur une période de 23 ans (1989-2012) pour améliorer la représentativité en période d'étiage, dans le but d'évaluer les volumes exploitables.

L'analyse des résultats de calage montre que les débits de la Somme et de ses principaux affluents sont bien restitués dans la plupart des sous-bassins de la Somme. Les débits d'étiage sont particulièrement bien reproduits dans les bassins de l'Hallue, de la Selle et sur le bassin de la Somme (station d'Abbeville). En revanche, le modèle surestime légèrement les basses eaux dans la Somme amont, l'Ancre et l'Avre. Pour ce dernier sous-bassin, la baisse brutale du débit en période estivale n'a pu être restituée par le modèle pour diverses raisons, dont la taille des mailles du modèle (500 m de côté, ce qui lisse l'impact des forages situés à moins de 250 m de la rivière), la non-prise en compte par le modèle des relations entre les marais et le cours d'eau, l'incertitude sur les volumes prélevés et leur répartition dans le temps, etc.

Pour quantifier les ressources mobilisables, un découpage du bassin de la Somme en unités de gestion aussi autonomes que possible a été réalisé sur la base d'une analyse du comportement hydrogéologique de la nappe (piézométrie, inertie réactionnelle, etc.) d'une part, et l'examen des prélèvements réalisés sur le bassin ainsi que leur impact sur le niveau de la nappe, d'autre part. Sept unités de gestion ont été ainsi définies et des couples piézomètre/station de jaugeage ont été proposés. Ces unités sont, d'amont en aval : « Somme amont », « Ancre », « Avre », « Selle », « Nièvre-Hallue », « Somme aval » et « Maye ».

L'étude réalisée pour déterminer la relation entre la hauteur de nappe et débit de cours (H/Q) des couples piézomètre/station choisis comme référence pour chacune des unités de gestion a permis d'aboutir à des relations H/Q satisfaisantes pour les unités « Ancre », « Nièvre-Hallue » et « Maye ». Celles-ci pourraient être utilisées, d'une part pour définir des seuils piézométriques en liaison avec les débits fixés comme objectifs, et d'autre part pour faire de la prévision des étiages à court terme. Cependant, aucune relation H/Q univoque (plusieurs H pour un même Q) et généralisable (valable quelle que soit la variable étudiée) n'a pu être trouvée pour les unités de gestion « Avre » et « Selle » du fait que la nappe est plus inertielle dans ces secteurs et que les débits de rivière sont fortement influencés par des aménagements hydrauliques.

Le modèle maillé de la Somme actualisé et recalibré a été utilisé pour étudier l'impact des prélèvements sur le débit des cours d'eau et pour évaluer le volume mobilisable par unité de gestion. Ceci a été fait pour l'ensemble des unités de gestion, sauf pour l'unité « Somme aval » car celle-ci est peu concernée par les prélèvements agricoles, et qu'il n'y a pas de suivi de débit dans les affluents qui drainent cette unité, ce qui rend difficile l'évaluation d'un volume mobilisable.

Les résultats des simulations réalisées pour évaluer l'impact des prélèvements dans la nappe sur les débits d'étiage montrent que les cours d'eau les plus impactés sont l'Avre, la Somme amont et l'Hallue. L'Avre est le cours d'eau le plus impacté, avec une baisse des débits d'étiage due aux prélèvements en nappe qui dépasse 40% du QMNA5 calculé à la station de Moreuil (soit en moyenne une baisse de 400L/s). D'après le modèle, la baisse du débit de la Somme à Lamotte-Brebière en période d'étiage induite par les prélèvements en nappe serait de l'ordre de 2 m<sup>3</sup>/s (soit 27% de la valeur du QMNA5 de la station). Sur l'Hallue à Bavelincourt, l'impact sur

le débit d'étiage est également important, avec une baisse du débit d'étiage d'environ 24L/s (soit 48% de la valeur du QMNA5 de la station).

La Maye à Arry et l'Ancre à Bonnay sont relativement moins impactées, la baisse moyenne du débit d'étiage étant de l'ordre de 17% du QMNA5 à ces stations. Les prélèvements en nappe ont très peu d'impact sur le débit d'étiage de la Nièvre à l'Étoile et de la Selle à Pachy ; pour ce dernier cours d'eau, l'impact reste très faible au regard de la valeur du QMNA5 de la station car les plus gros volumes prélevés se situent en aval de la station hydrométrique.

Sur les cours d'eau les plus impactés : Somme amont et Avre, la contribution des prélèvements agricoles à la baisse du débit d'étiage représente respectivement 50% et 70% de l'impact total des prélèvements en nappe. Par ailleurs, hormis pour l'Ancre et la Selle, la baisse du débit d'étiage due aux prélèvements dans les forages d'irrigation situés à moins d'un km du cours d'eau représente une proportion importante (allant de 33% à 100%) de la baisse causée par l'ensemble des forages agricoles.

Pour améliorer ultérieurement l'évaluation de ces impacts, il pourrait être intéressant de tester quelques variantes à cette approche. Par exemple pour l'Avre, où la densité de forages est importante en amont du bassin, il faudrait refaire cette analyse en tête de bassin en se basant sur les débits calculés dans des stations fictives. À l'inverse, pour la Selle où les prélèvements se situent en aval de la station de mesure actuelle, il conviendrait d'utiliser les débits simulés à l'exutoire du bassin.

Sur la base de la configuration des prélèvements de 2005 et des Débits d'Objectif Biologiques définis pour chacune des unités de gestion, des volumes mobilisables ont pu être évalués pour les unités Maye, Ancre et Somme amont. En revanche, il n'a pas été possible de le faire pour les unités de gestion Selle et Nièvre-Hallue du fait que les prélèvements se situent principalement en aval de la station hydrométrique et n'ont donc pas d'influence sur le franchissement du DOB à la station.

Pour l'unité de gestion Avre, si on considère les simulations non corrigées des écarts avec les observations, le volume mobilisable fourni par le modèle est surestimé parce que le modèle surévalue le débit de l'Avre en période d'étiage. En revanche, les simulations corrigées des écarts montrent qu'en année sèche, la faible pluie efficace impacte directement le débit d'étiage de l'Avre à Moreuil, celui-ci pouvant alors atteindre le DOB, ce qui limite les possibilités de prélèvement pour l'irrigation. Sur la Somme Amont, le volume mobilisable calculé est à prendre avec précaution car les débits mesurés à Lamotte-Brebière sont très influencés par la gestion des ouvrages de la Somme canalisée.

Enfin, il convient de souligner que les résultats présentés doivent être regardés en intégrant les limites du modèle et de la connaissance actuelle du système ; en particulier 1) l'incertitude sur les débits, les prélèvements et leur répartition dans le temps, 2) l'hétérogénéité verticale de la craie fracturée et la complexité de son comportement, 3) le maillage de 500 m x 500 m qui schématise les échanges nappe/rivière, 4) la non prise en compte du rôle des marais et des étangs dans le modèle. Il faut donc considérer les chiffres fournis dans ce travail comme des ordres de grandeur et les utiliser comme éléments d'aide à la décision.

## 6. Bibliographie

AMEVA « Etude de définition des débits d'objectif biologique et de faisabilité de mesures de soutien d'étiage sur les cours d'eau du bassin de la Somme ». Rapport de la Phase 2 : détermination des Débits d'Objectif Biologique (DOB) par sous bassin. Avril 2013.

Amraoui N., Wulleumier A., Thiéry D., Caous J.Y., Noyer M.L. avec la collaboration de Feret M.J. (2004) – Mise à jour du modèle des hautes eaux de la Somme. Rapport final des travaux de la phase 2. Rapport BRGM/RP-53211-FR.

Amraoui N., Golaz C., Mardhel V., Negrel P., Petit V., Pinault J.L., Pointet T. 2002 - Simulation par modèle des hautes eaux de la Somme. Rapport BRGM/RP-51827-FR, 184 p., 83 fig., 11 tabl., 5 ann.

Gomez E. (2008). Exploitabilité de la ressource en eau souterraine dans le bassin de l'Avre (Somme). Rapport BRGM/RP-56637-FR.

Legates. David R. and McCabe Jr. Gregory J., 1999 - Evaluating the use of "goodness of fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*, Vo., 35, NO. 1, Pages 233-241.

Mardhel, V., Négrel, Ph., Pointet, T. 2001. Première analyse des composantes des écoulements souterrains du bassin versant de la Somme en période des Crues. BRGM/RP-51030-FR. 85 pages.

MEDAD 2008 - Circulaire du 30 juin 2008 relative à la résorption des déficits quantitatifs en matière de prélèvement d'eau et gestion collective des prélèvements d'irrigation NOR : DEVO0815432C

Pinault, J.L., Amraoui, N., Golaz, C. 2005. Groundwater-induced flooding in macropore-dominated hydrological system in the context of climate changes, *Water Resources Research*. 41, W05001, doi:10.1029/2004WR003169.

Région Picardie : Atlas de l'eau en Picardie disponible sur le site [www.picardie.fr/L-eau-en-Picardie](http://www.picardie.fr/L-eau-en-Picardie)

Roux, J.C. 1978. Notice de l'Atlas Hydrogéologique de la Somme, Synthèse générale des données sur les nappes. Document BRGM, 98p..

Roux, J.C. 1965. Hydrogéologie du bassin de la Somme, Bull. BRGM, (1<sup>er</sup> série) 3 : 1-44.

Seguin J.J., avec la collaboration de Gomez E., Wulleumier A. - 2009 - Les indicateurs piézométriques. Un outil dans la gestion des hydrosystèmes. Orientations méthodologiques. Rapport BRGM/RP-58139-FR.

Thiéry D. (2006) – Didacticiel du préprocesseur WinMarthe v4.0. Rapport BRGM/RP-54652-FR

Thiéry, D. 2003 - Logiciel GARDÉNIA version 6.0 - Guide d'utilisation. Rapport BRGM/RP-52832-FR.

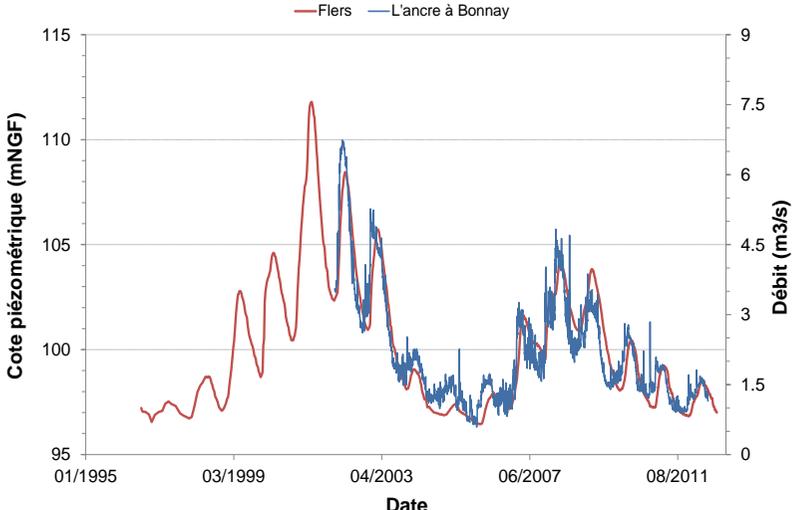
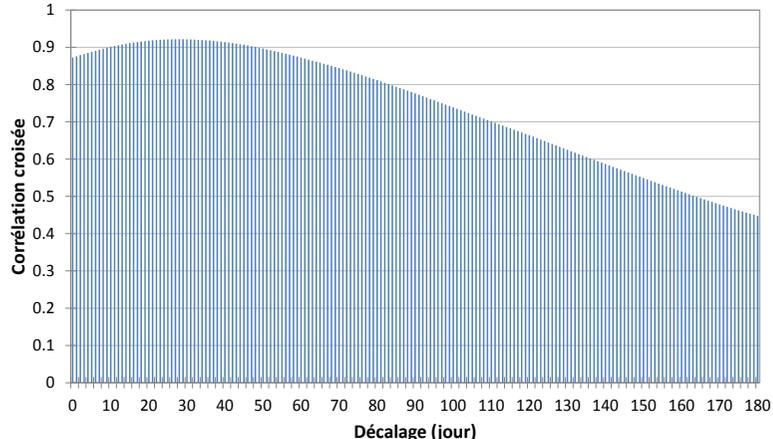
Thiéry, D. (1990) - Logiciel MARTHE. Modélisation d'Aquifère par un maillage rectangulaire en régime transitoire pour un calcul hydrodynamique des écoulements - version 4.3. Rapport BRGM R 32210 EAU 4S 90, 356 p.

## **Annexe 1**

### **Relations hauteur de nappe/débit de cours d'eau – Résultats obtenus pour les unités « Ancre », « Somme Amont », « Selle » et « Maye »**

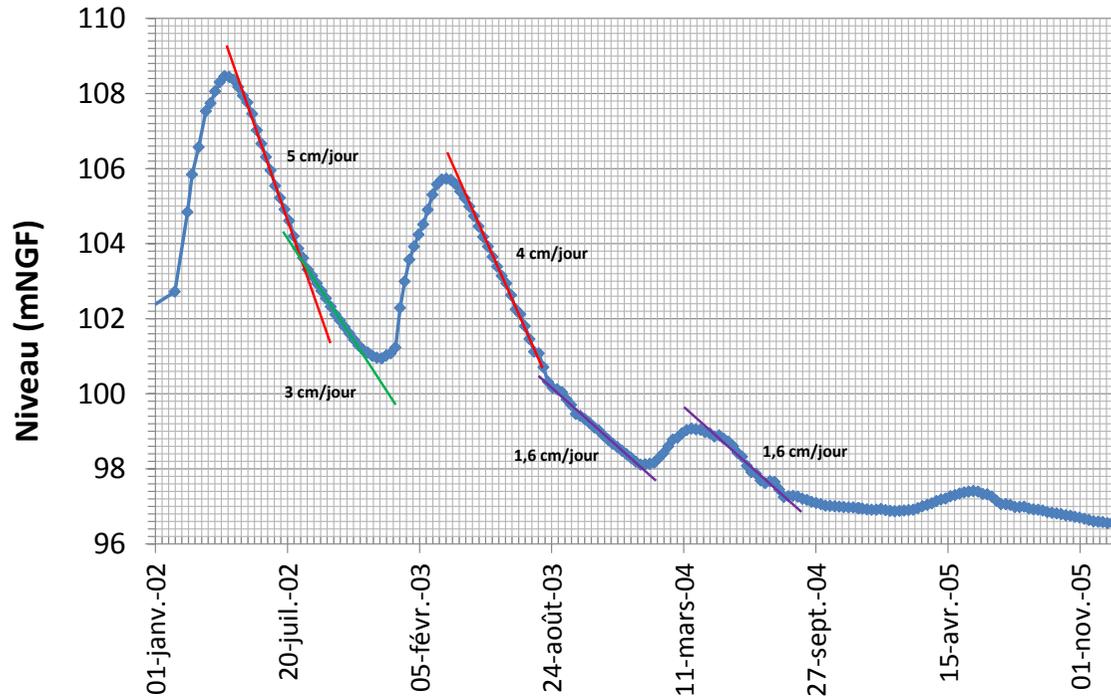


1- Résultats obtenus pour l'unité de gestion « Ancre »

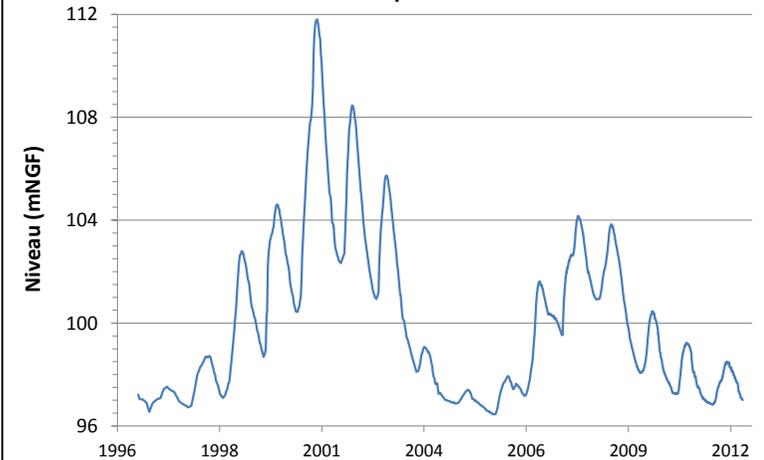
Unité « Ancre »	Commentaires
 <p>— Flers — L'ancre à Bonnay</p> <p>Cote piézométrique (mNGF)</p> <p>Date</p> <p>Débit (m<sup>3</sup>/s)</p>	<p>Bonne corrélation visuelle niveaux-débits.</p>
<p>Bassin de l'Ancre : corrélations croisées niveau au piézomètre de Flers / débit à la station de Bonnay</p>  <p>Corrélation croisée</p> <p>Décalage (jour)</p>	<p>Décalage temporel niveau-débit entre 20 et 40 jours (décalage pour lequel le coefficient de corrélation R est maximum).</p>

**Unité « Ancre »**

**Niveau mesuré au piézomètre de Flers**



**Niveau mesuré au piézomètre de Flers**



**Commentaires :**

La figure gauche détaille la période de vidange 2002-2006, extraite de la série de données disponibles illustrée à droite.

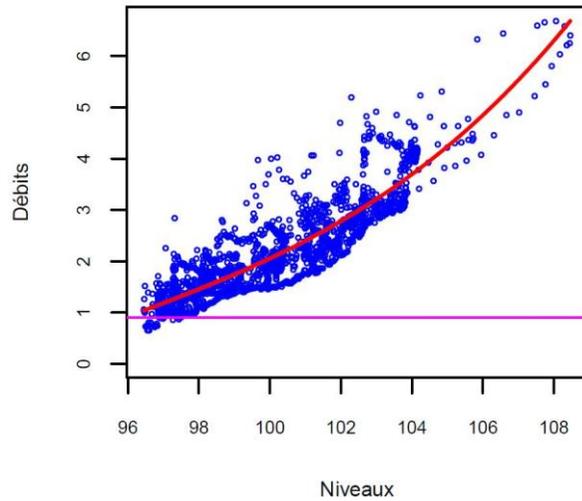
On peut constater que la nappe se vidange avec trois vitesses différentes :

- 4-5 cm/jour (segments rouges) lorsque les niveaux sont au plus haut,
- 3 cm/jour (segment vert) lorsque les niveaux sont à un stade intermédiaire,
- 1.6 cm/jour (segments violets) lorsque les niveaux sont au plus bas (période d'étiage).

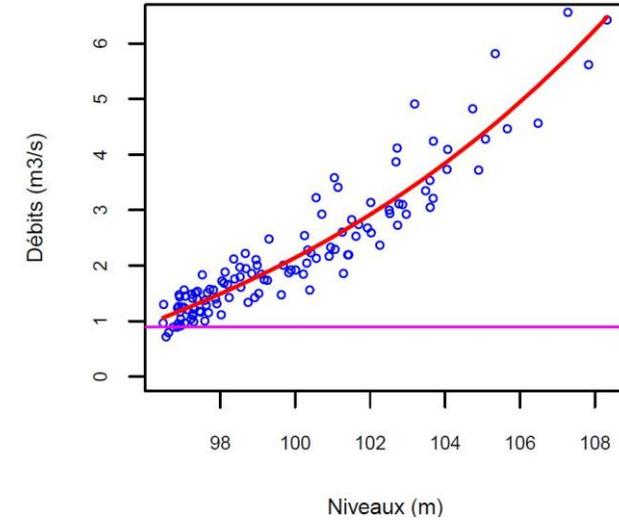
Concrètement, la vidange rapide initiale correspond aux fractures, puis la vitesse de vidange diminue progressivement lorsqu'elle reflète la porosité matricielle de la craie.

**Unité « Ancre »**

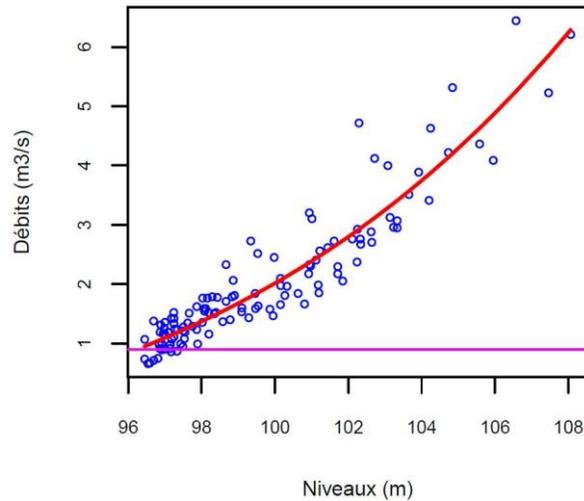
Niveaux et débits enregistrés (dates communes)



Niveaux et débits moyens mensuels



Niveaux et débits mini mensuels

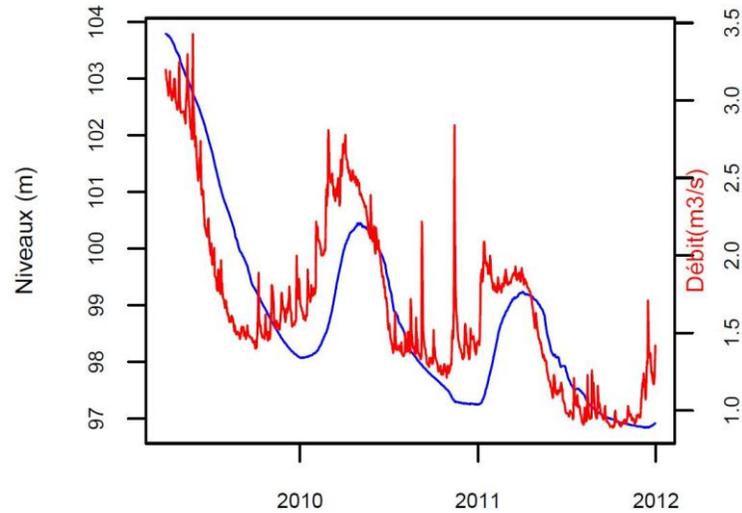


**Commentaires :**

Une relation relativement univoque émerge entre niveaux et débits. Cette relation est toutefois moins évidente que pour l'unité Nièvre-Hallue (cf. illustration en haut à gauche, Figure 59 et Figure 60).

**Unité « Ancre »**

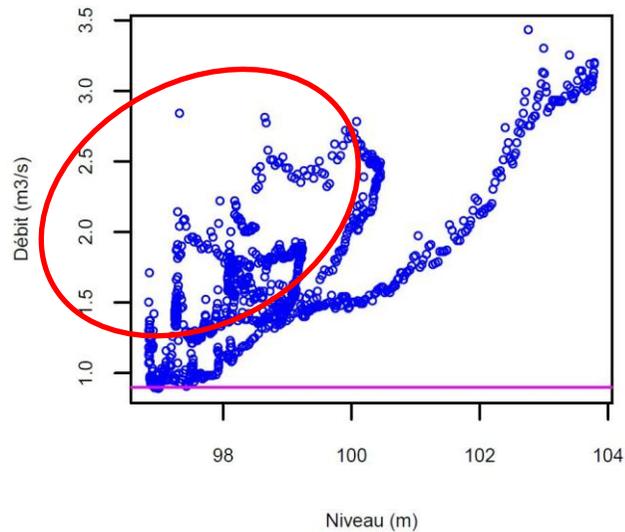
Niveaux et débits de mars 2009 à déc. 2011



**Commentaires :**

La relation niveaux/débits est moins évidente que pour l'unité « Nièvre-Hallue », car les débits d'étiage de l'Ancre sont influencés par du ruissellement, ce dont témoignent les pics de débit observés pendant la phase de vidange 2009-2011 (graphique supérieur, avec dispersion des points associés et cercle rouge du graphique inférieur).

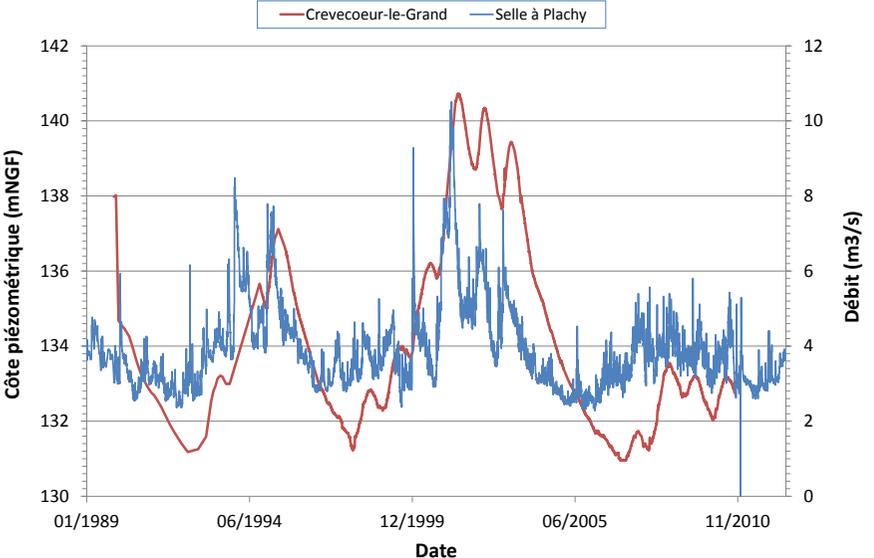
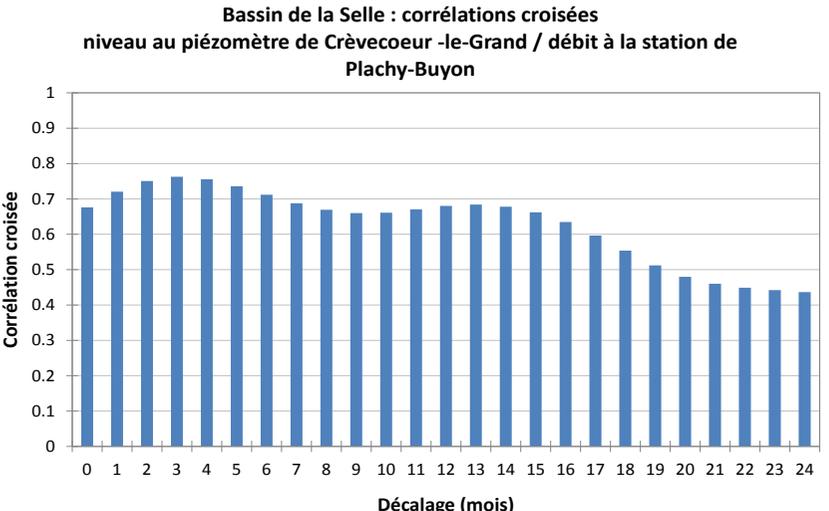
Séquence mars 2009 – décembre 2011



En pratique, dans le cadre d'une détermination du débit d'étiage, il est souhaitable d'éliminer les couples (niveau, débit) où le débit peut être augmenté par le biais du ruissellement superficiel.

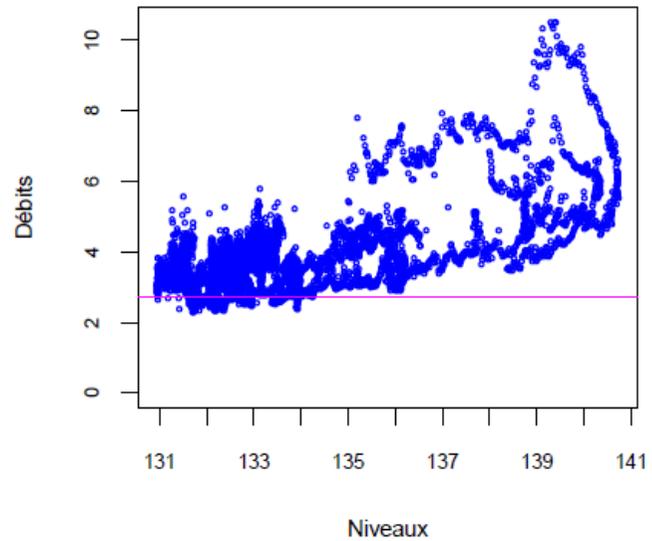
La relation H/Q à conserver dans ces cas est alors la courbe enveloppe pour laquelle le débit est minimal pour un débit donné.

2- Résultats obtenus pour l'unité de gestion « Selle »

Unité « Selle »	Commentaires
 <p>The graph displays two data series over time from 01/1989 to 11/2010. The left y-axis represents 'Côte piézométrique (mNGF)' ranging from 130 to 142. The right y-axis represents 'Débit (m³/s)' ranging from 0 to 12. The red line (Crevecoeur-le-Grand) shows a smoother trend with peaks around 1994 and 2000. The blue line (Selle à Plachy) shows much higher frequency and amplitude, indicating more rapid fluctuations in discharge compared to the piezometric level.</p>	<p>On constate des différences notables, notamment en termes d'inertie, entre la chronique de débit observée sur la Selle et la chronique piézométrique relevée dans la nappe.</p>
 <p><b>Bassin de la Selle : corrélations croisées niveau au piézomètre de Crèvecoeur -le-Grand / débit à la station de Plachy-Buyon</b></p> <p>The bar chart shows the cross-correlation coefficient for lags from 0 to 24 months. The y-axis is 'Corrélation croisée' (0 to 1) and the x-axis is 'Décalage (mois)'. The correlation starts at approximately 0.68 for a 0-month lag and gradually decreases to about 0.45 for a 24-month lag. The maximum correlation occurs at a lag of 0 months.</p>	<p>Décalage temporel niveau-débit entre 2 et 4 mois (décalage pour lequel le coefficient de corrélation R est maximum).</p>

**Unité « Selle »**

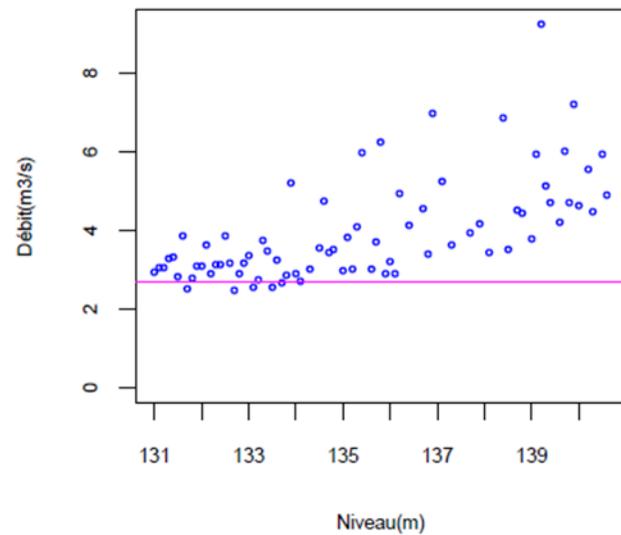
**Niveaux et débits enregistrés (dates communes)**



**Commentaire :**

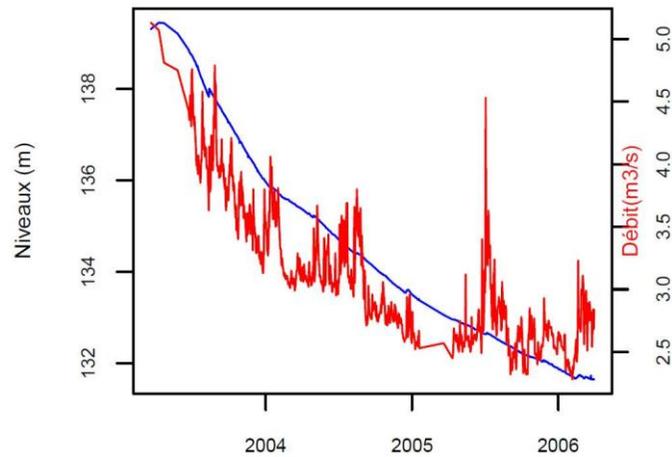
Pas de relation univoque entre niveaux de nappe et débits de la Selle.

**Niveaux et débits mini mensuels**

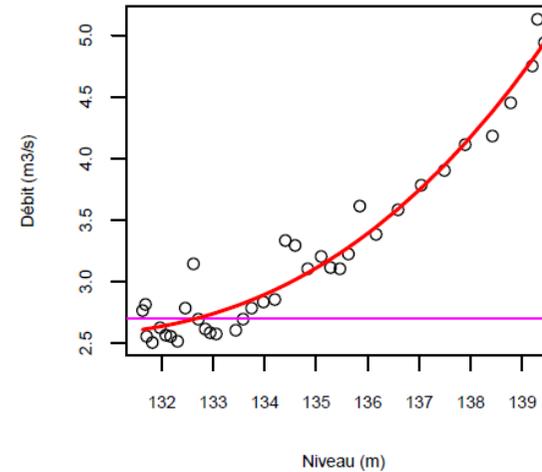


**Unité « Selle »**

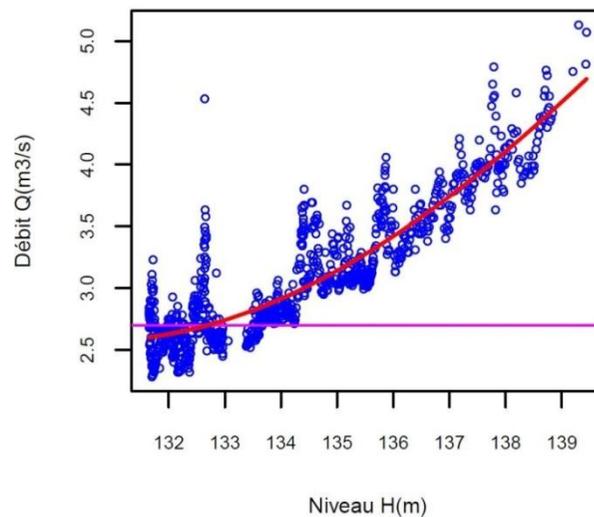
Niveaux et débits de mars 2003 à avril 2006



Mars 2003 – avril 2006, agrégation au mois



Q / H de mars 2003 à avril 2006

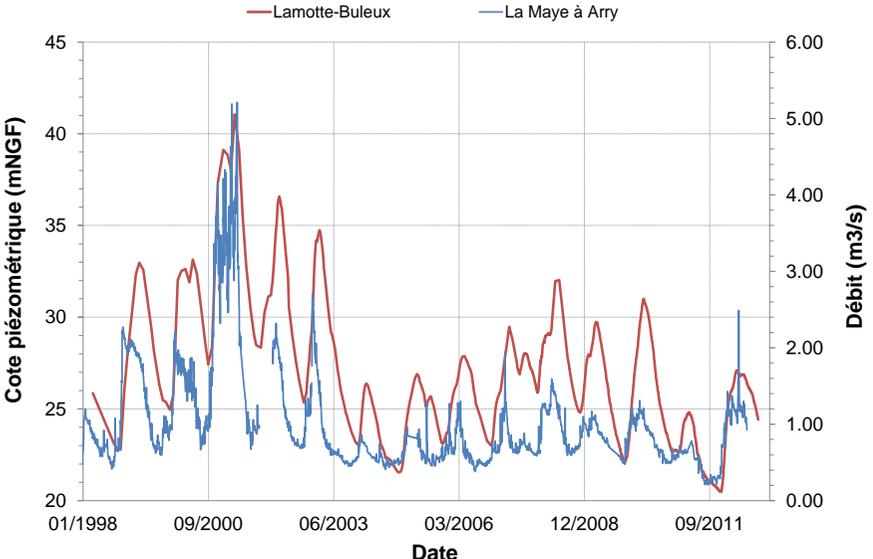
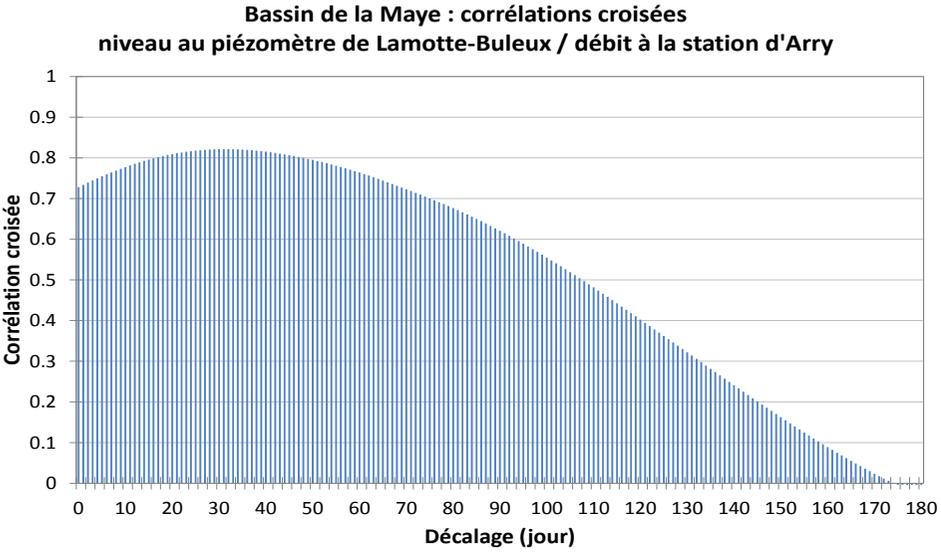


**Commentaires :**

Une relation relativement univoque émerge cependant entre niveaux et débits lorsque l'on travaille sur la phase de vidange de la nappe 2003-2006, notamment au pas mensuel (cf. graphique droit supérieur), car les pics de débit de la Selle imputables au ruissellement (cf. pics de débit sur les graphiques à gauche) sont atténués au pas mensuel.

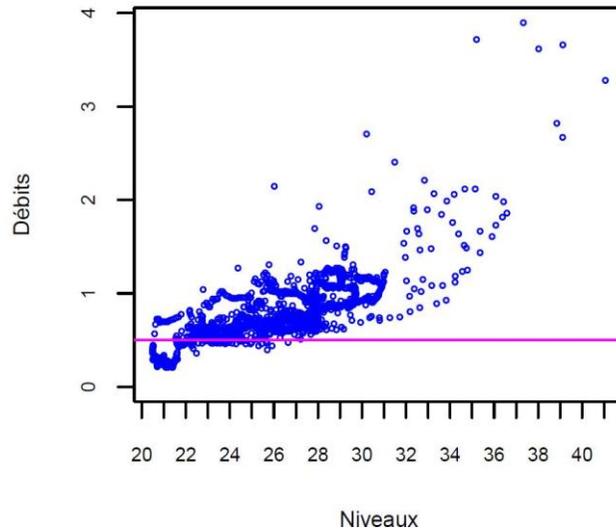
Le décalage temporel débit-niveau décrit précédemment (2 à 4 mois) peut être corrigé pour améliorer la corrélation H/Q. Ceci a été réalisé dans le cas de la Selle. Toutefois, les résultats obtenus sont sensiblement identiques. Nous avons donc décidé de ne pas les présenter.

3- Résultats obtenus pour l'unité de gestion « Maye »

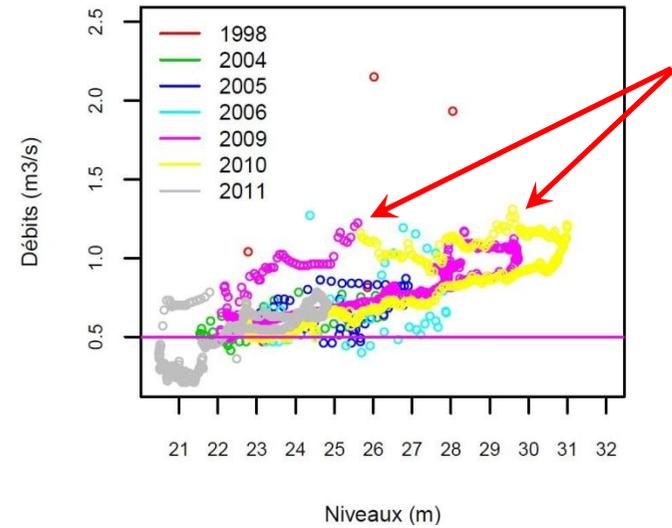
Unité « Maye »	Commentaires
 <p>The graph displays two data series over time from 01/1998 to 09/2011. The left y-axis represents 'Cote piézométrique (mNGF)' ranging from 20 to 45. The right y-axis represents 'Débit (m3/s)' ranging from 0.00 to 6.00. The x-axis is 'Date' with markers at 01/1998, 09/2000, 06/2003, 03/2006, 12/2008, and 09/2011. A red line represents 'Lamotte-Buleux' and a blue line represents 'La Maye à Arry'. Both series show seasonal fluctuations, with a notable peak in late 2000. The discharge (blue) generally precedes the piezometric level changes (red).</p>	<p>Bonne corrélation visuelle niveaux-débits avec, néanmoins, un petit décalage temporel.</p>
 <p>The plot is titled 'Bassin de la Maye : corrélations croisées niveau au piézomètre de Lamotte-Buleux / débit à la station d'Arry'. The y-axis is 'Corrélation croisée' from 0 to 1. The x-axis is 'Décalage (jour)' from 0 to 180. The plot shows a series of vertical bars forming a bell-shaped curve that starts at a correlation of approximately 0.7 at 0 days lag, peaks at about 0.8 between 30 and 40 days lag, and then gradually decreases to 0 at 180 days lag.</p>	<p>Décalage temporel niveau-débit de l'ordre du mois (décalage pour lequel le coefficient de corrélation R est maximum).</p>

**Unité « Maye »**

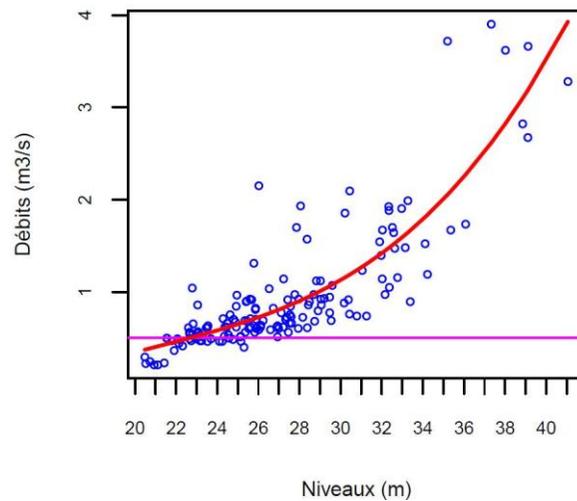
Niveaux et débits enregistrés (dates communes)



Comparaison niveaux-débits, année par année, années sèches



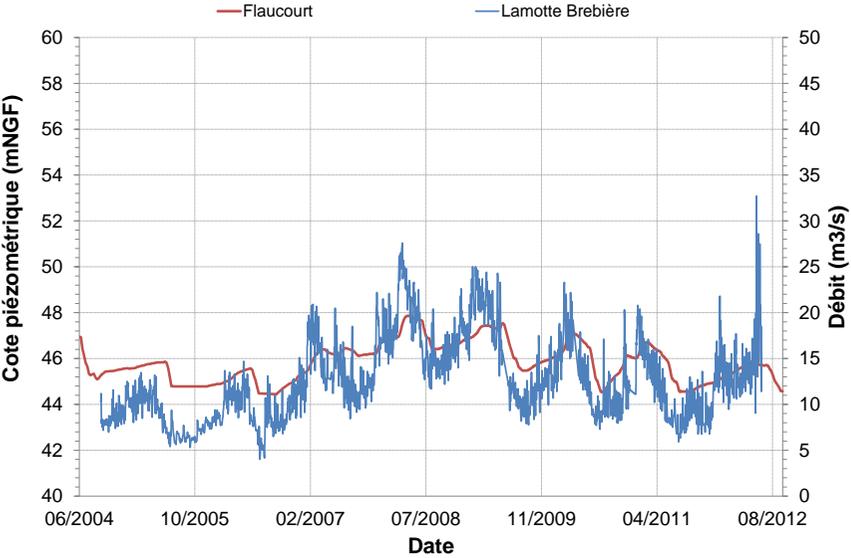
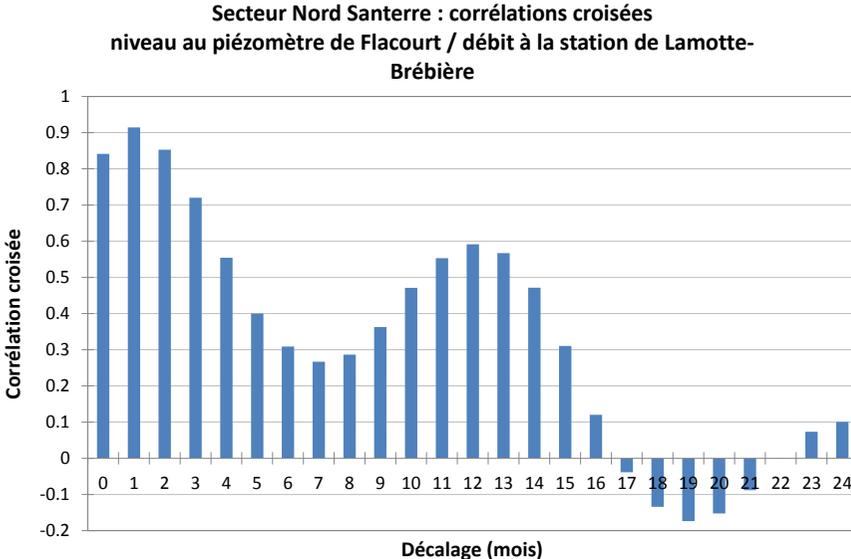
Niveaux et débits mini mensuels



**Commentaires :**

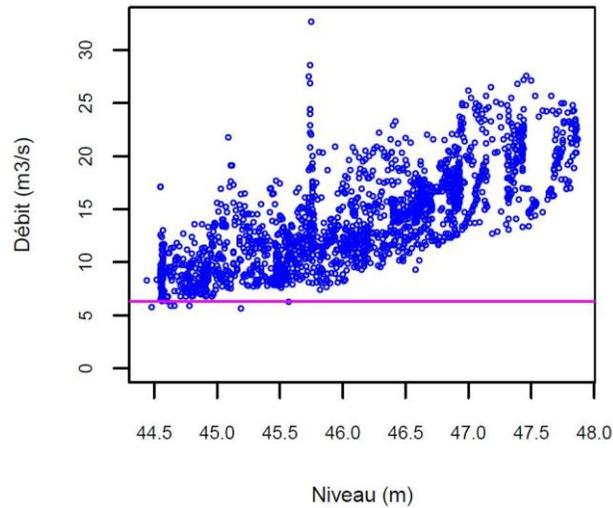
Des relations émergent entre niveaux et débits, notamment lorsque l'on travaille sur les années sèches (cf. illustration ci-dessus), relations passant globalement par le point de coordonnées (22 C; 0.5 m³/s). Il semble également que les débits de la Maye soient quelque peu influencés par du ruissellement (points fléchés de rouge ci-dessus).

4- Résultats obtenus pour l'unité de gestion « Somme Amont »

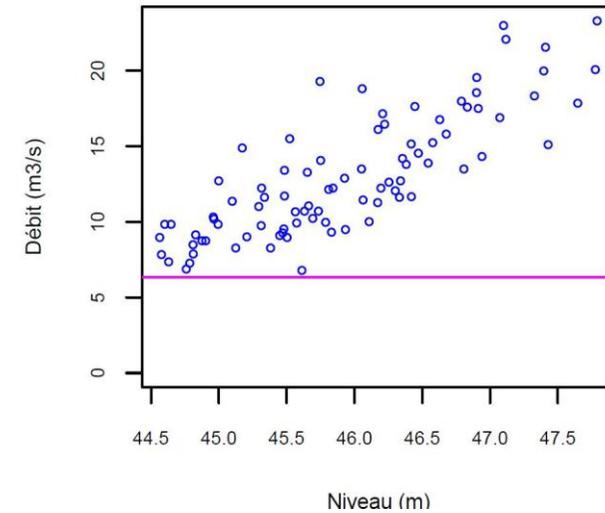
Unité « Somme Amont »	Commentaires
 <p>The graph displays two data series over time from June 2004 to August 2012. The left y-axis represents the piezometric level in meters above sea level (mNGF), ranging from 40 to 60. The right y-axis represents discharge in cubic meters per second (m<sup>3</sup>/s), ranging from 0 to 50. The red line (Flaucourt) shows a relatively smooth trend, while the blue line (Lamotte Brebière) shows high-frequency, high-amplitude fluctuations. Both series exhibit a clear seasonal pattern, with higher values during the summer months and lower values during the winter months. There is a noticeable time lag between the two series, with the discharge at Lamotte Brebière lagging behind the piezometric level at Flaucourt.</p>	<p>Bonne corrélation visuelle niveaux-débits.</p>
 <p>The bar chart illustrates the cross-correlation coefficients between the piezometric level at Flaucourt and the discharge at Lamotte-Brebière for various time lags (0 to 24 months). The y-axis represents the cross-correlation coefficient, ranging from -0.2 to 1.0. The x-axis represents the time lag in months. The correlation is highest at a 1-month lag (approximately 0.9) and generally decreases as the lag increases, reaching near-zero values by 16 months. There are also some negative correlation values for lags between 17 and 21 months.</p>	<p>Décalage temporel niveau-débit de l'ordre du mois (décalage pour lequel le coefficient de corrélation R est maximum).</p>

**Unité « Somme Amont »**

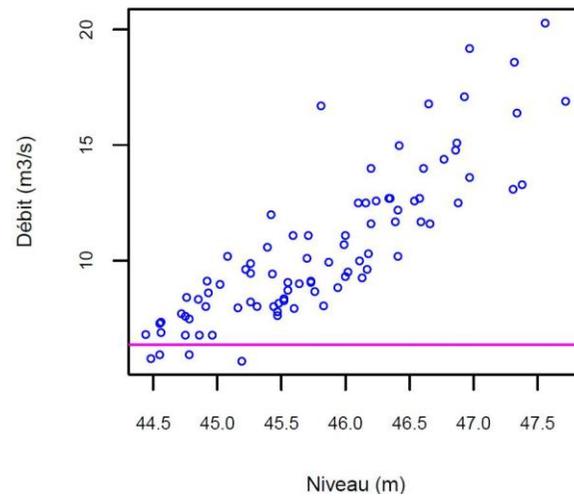
Niveaux et débits enregistrés (dates communes)



Niveaux et débits moyens mensuels



Niveaux et débits mini mensuels



**Commentaires :**

Une relation émerge entre niveaux et débits, mais elle n'est pas univoque. Comme pour l'Avre (cf. Figure 59 et Figure 60), on trouve avec une gamme de niveaux pour un débit donné.

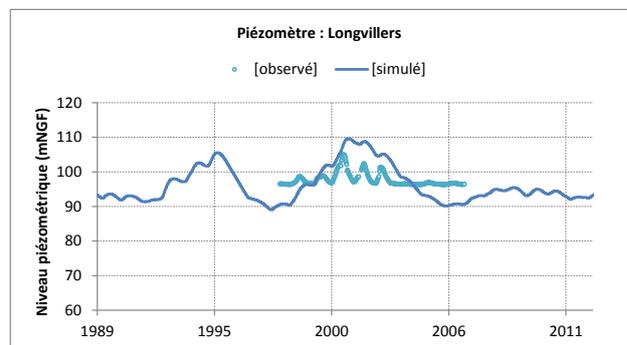
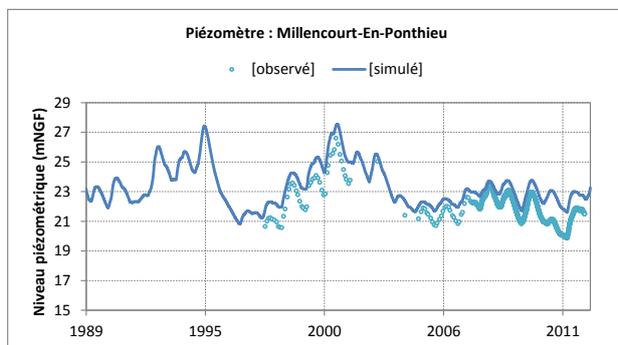
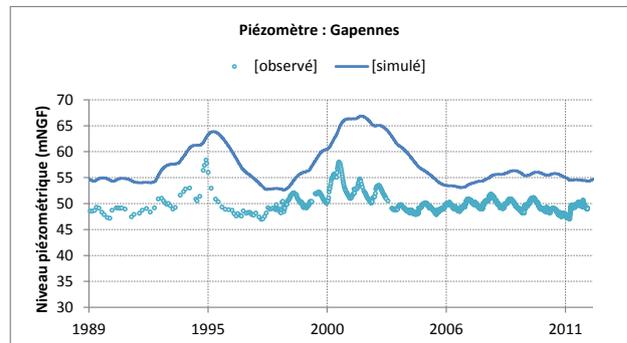
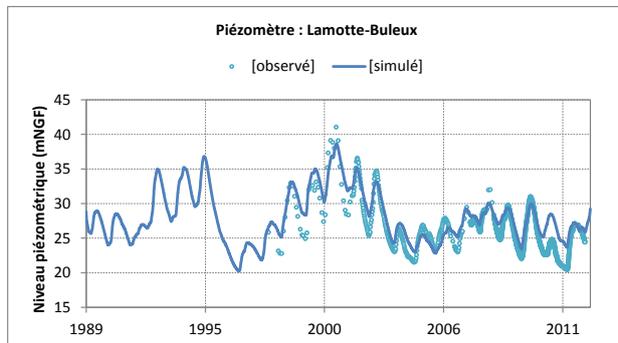
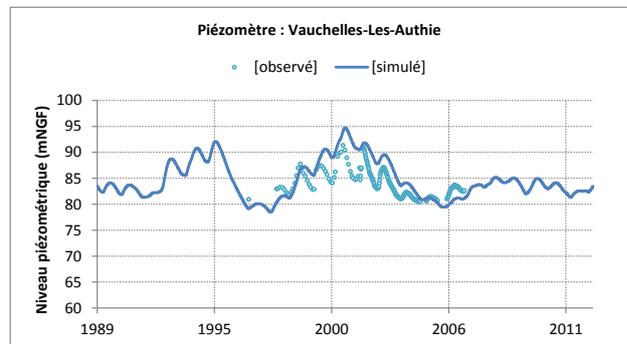
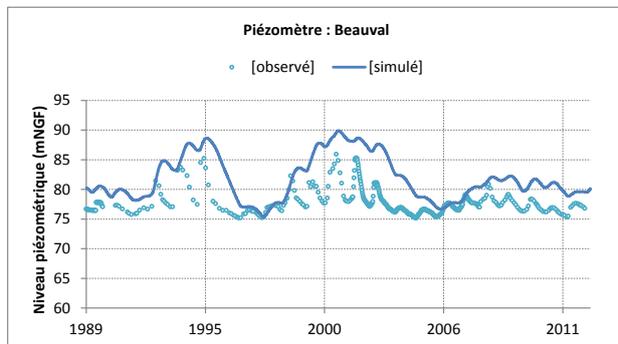
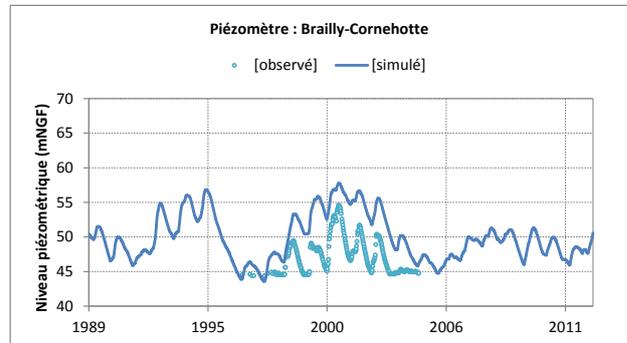
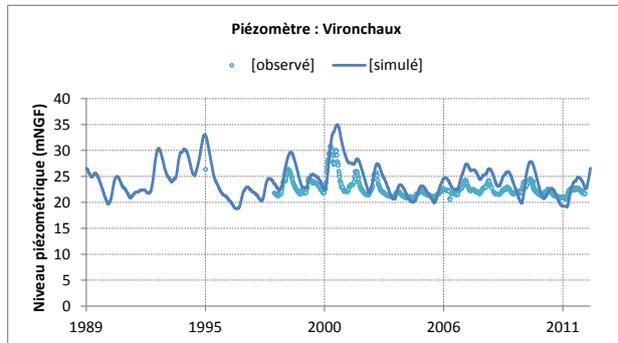


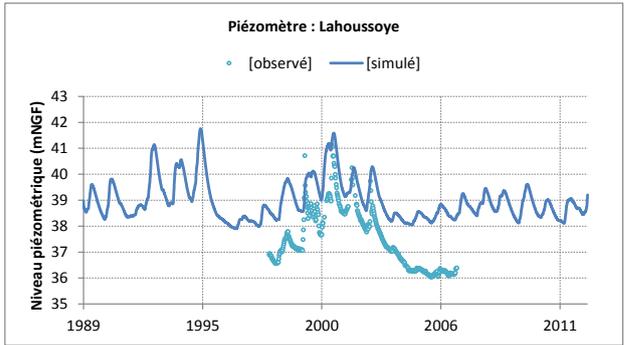
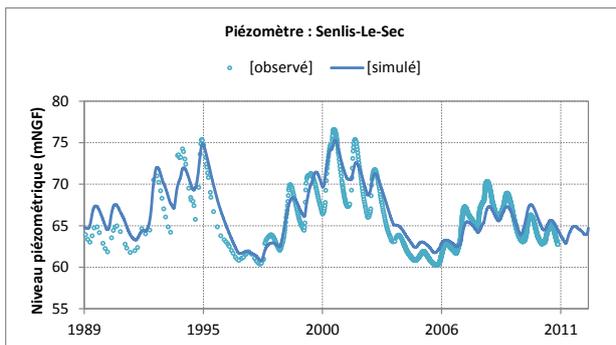
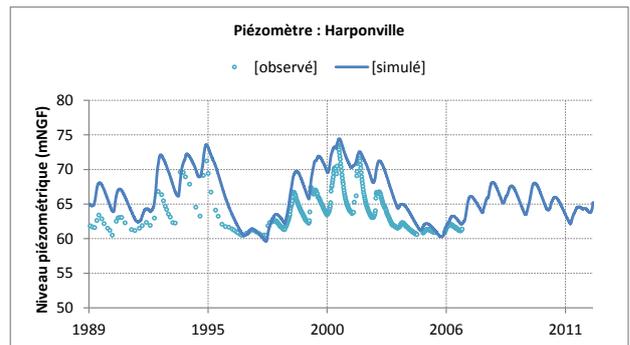
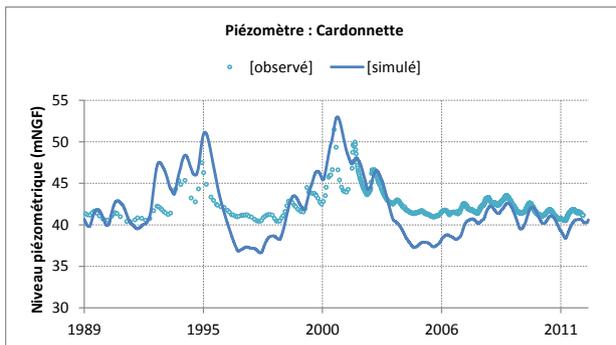
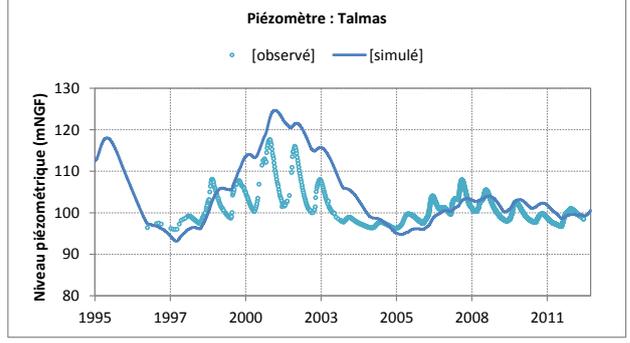
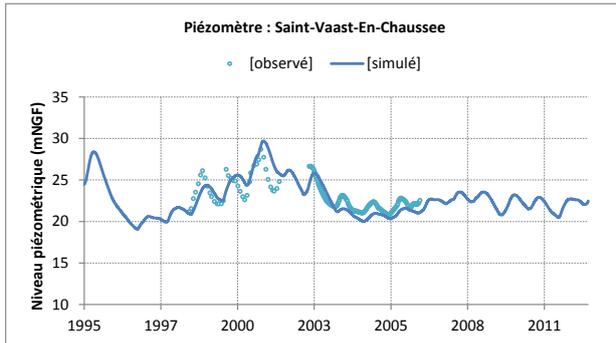
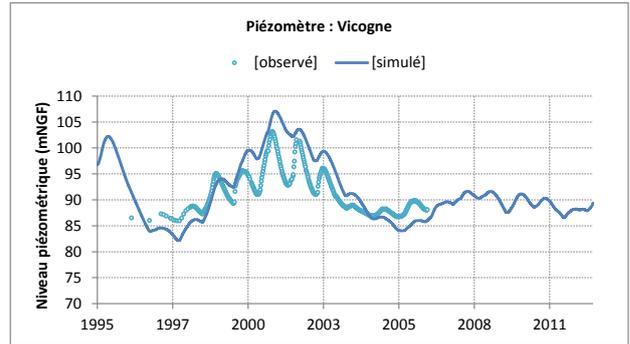
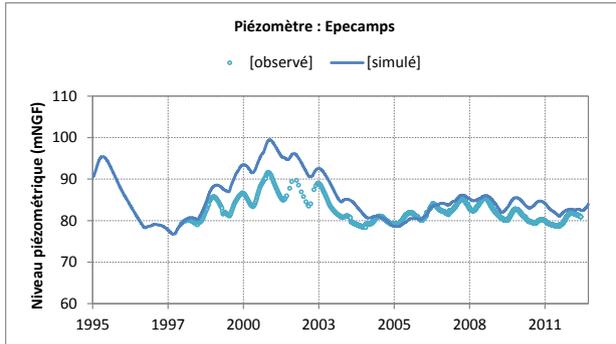
## **Annexe 2**

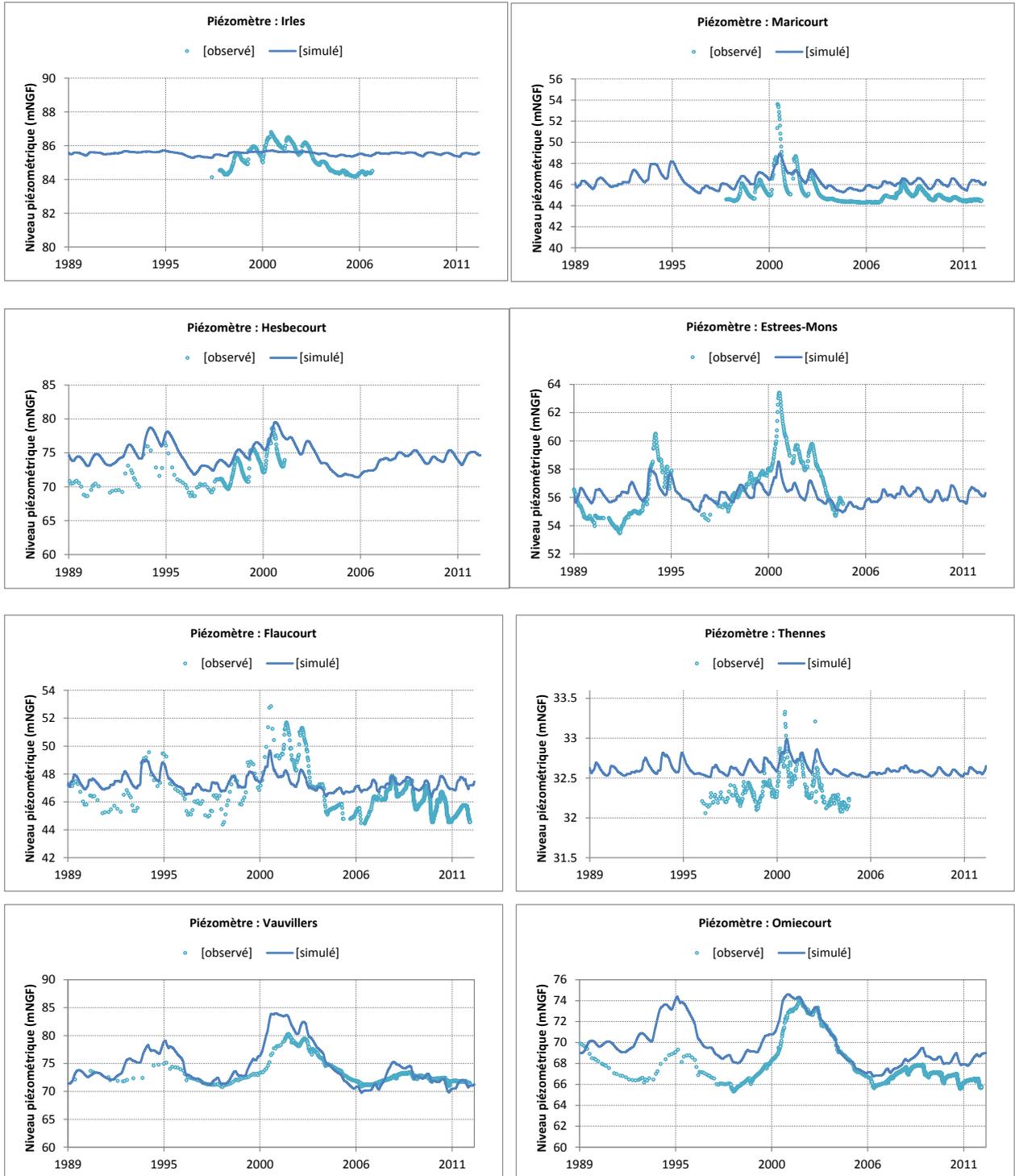
### **Résultats du calage du modèle sur les niveaux piézométriques et les débits des cours d'eau**

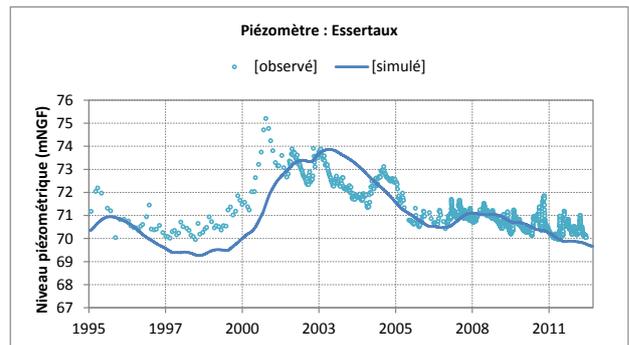
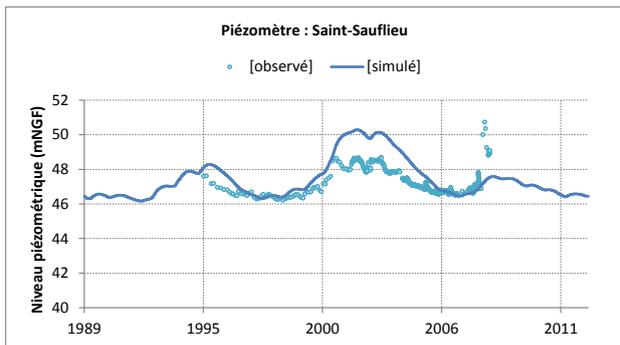
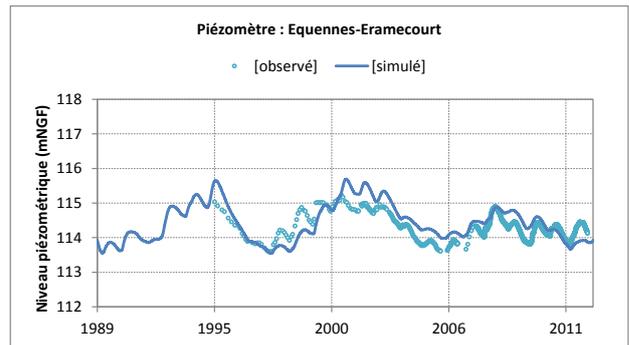
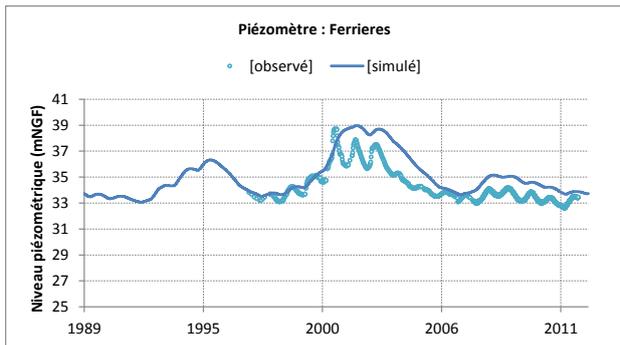
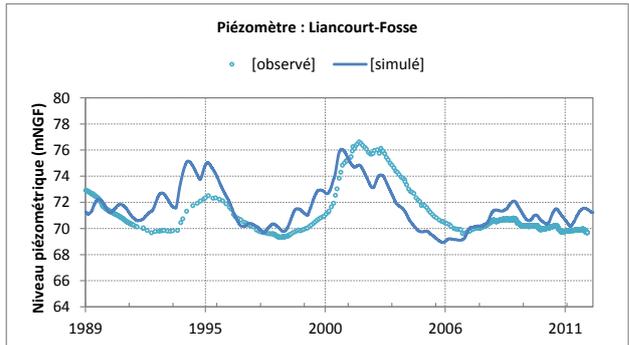
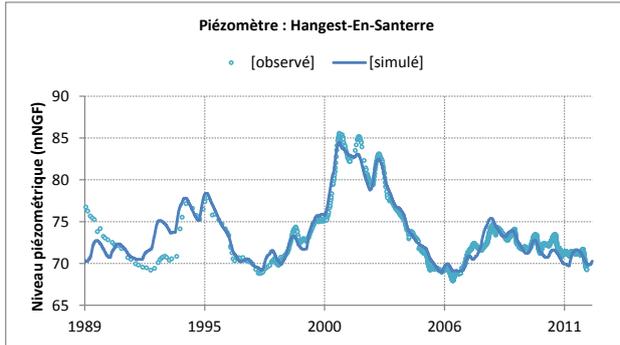
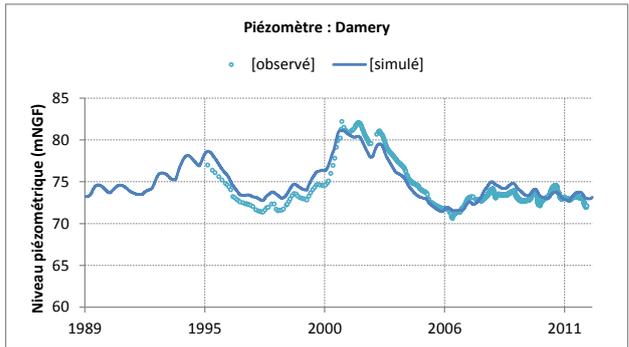
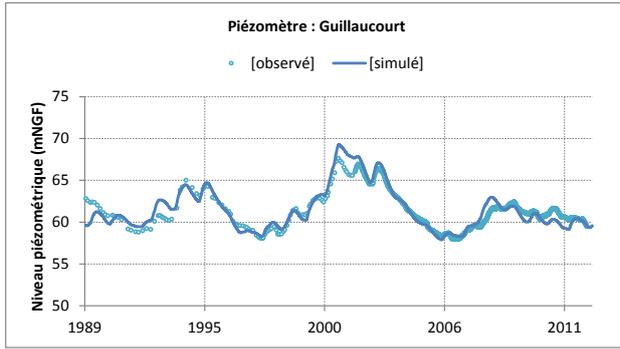


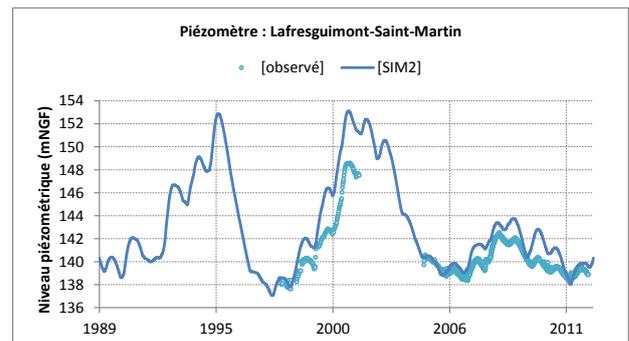
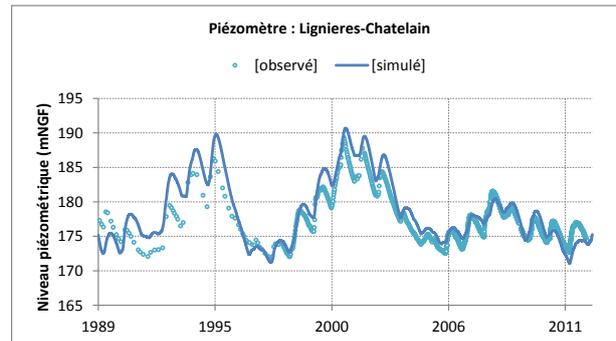
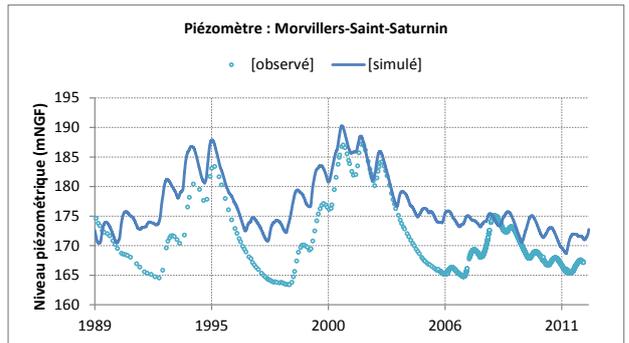
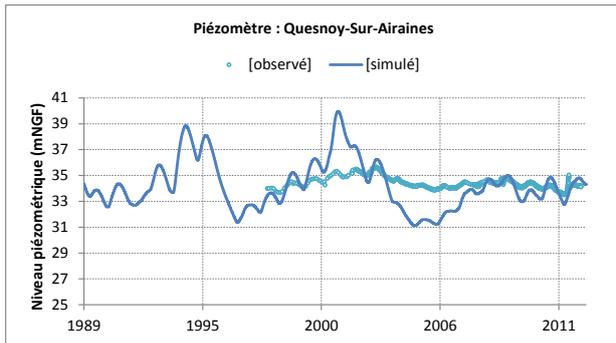
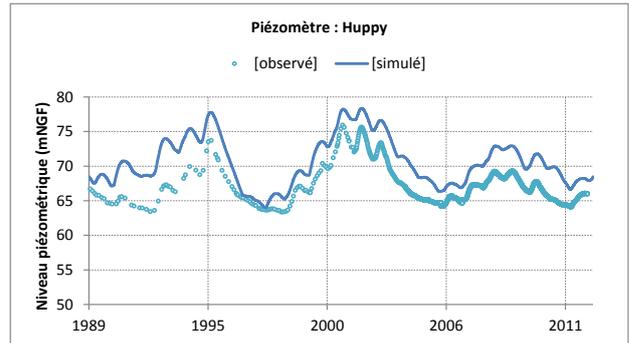
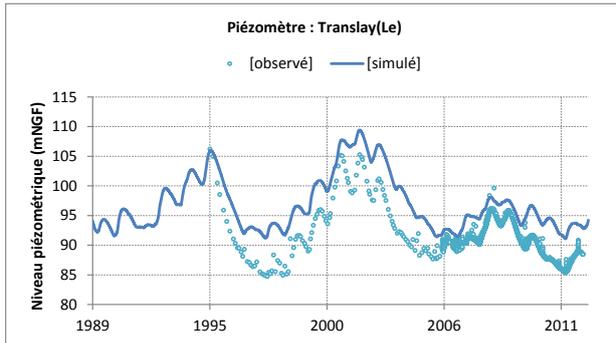
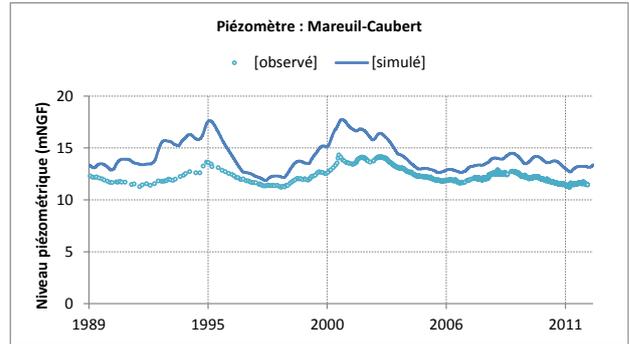
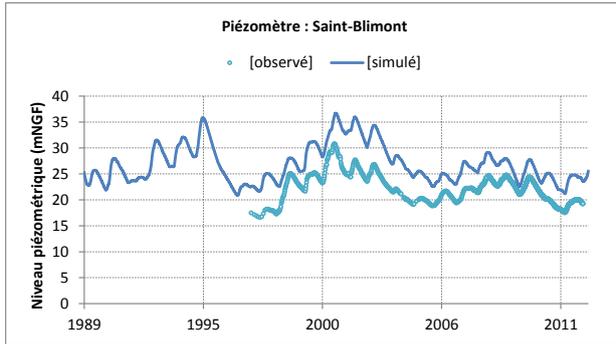
## Bassin de la Somme : chroniques piézométriques observées et simulées par le modèle.

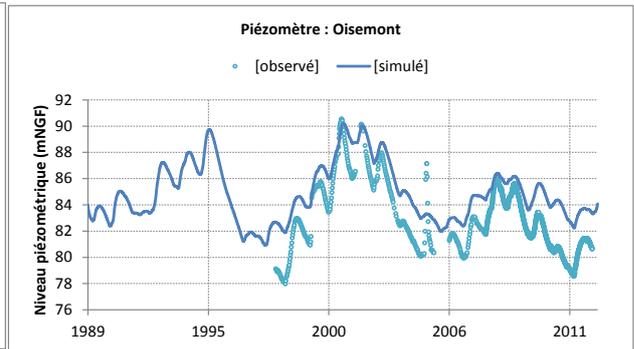
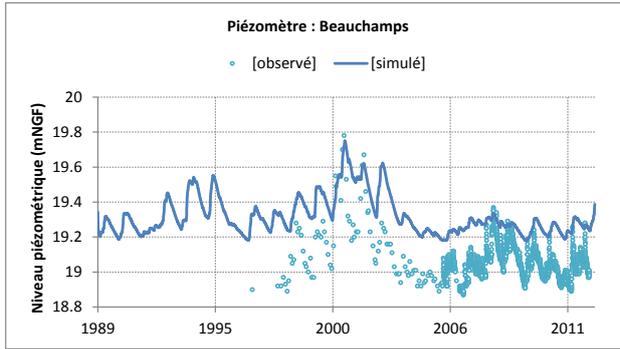




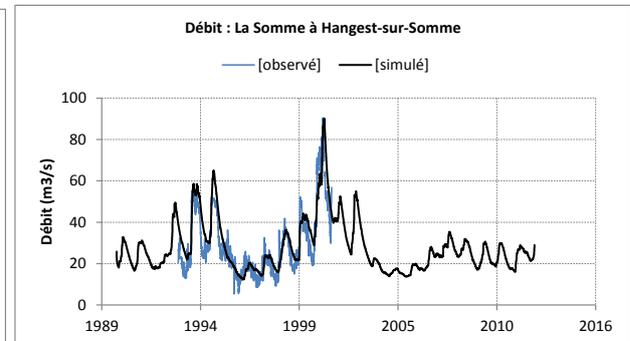
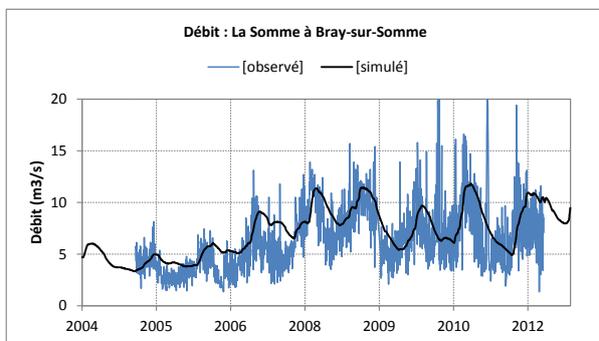
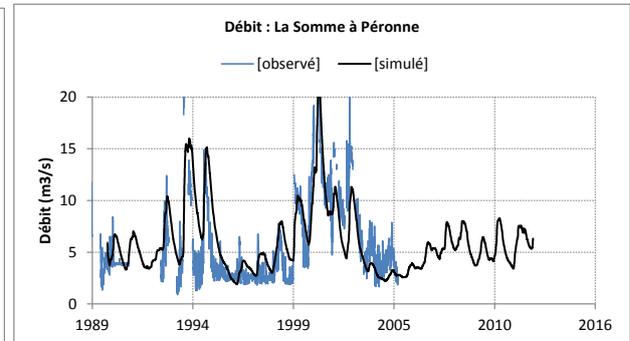
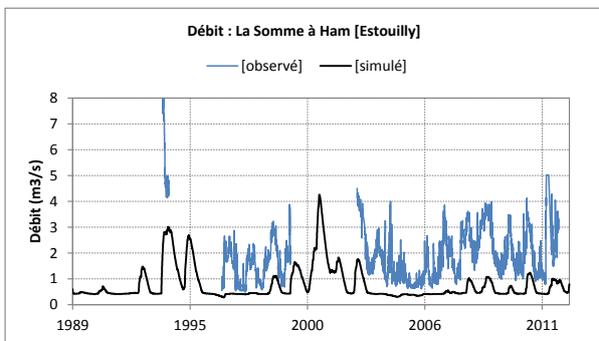
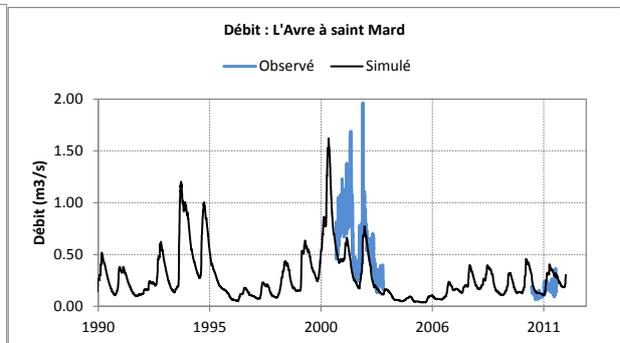
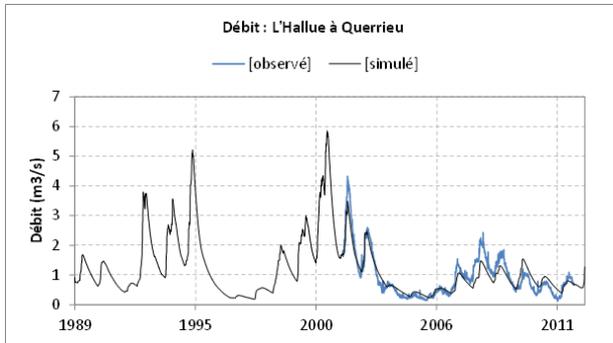








**Chroniques de débit simulées et observées au droit des stations hydrométriques.**

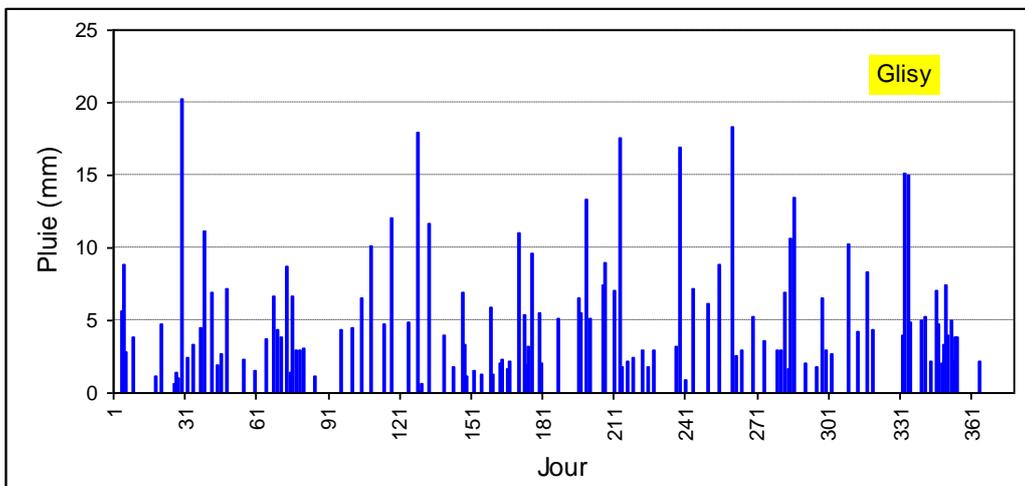
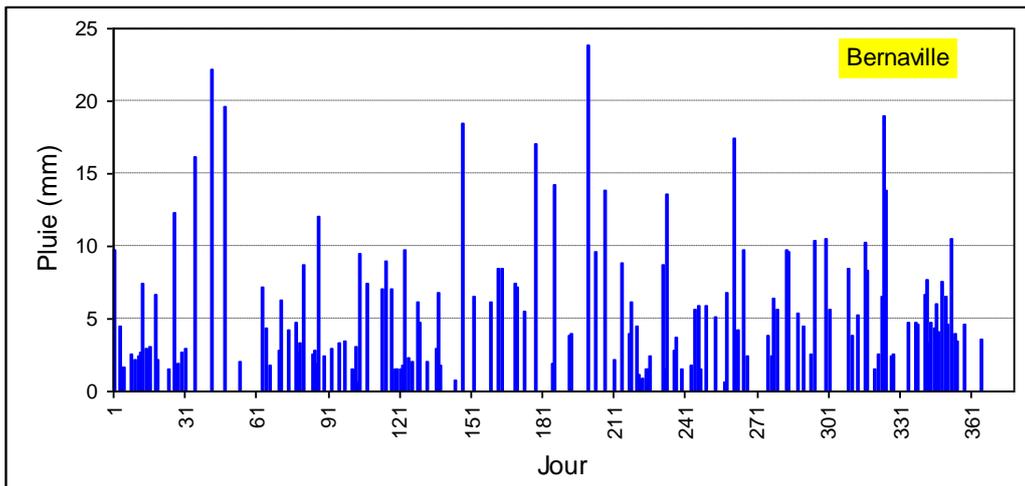
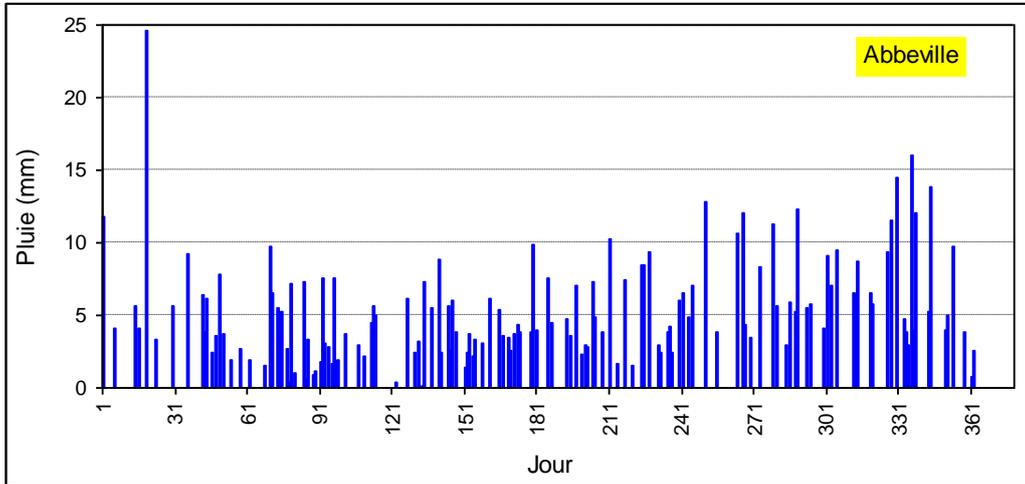


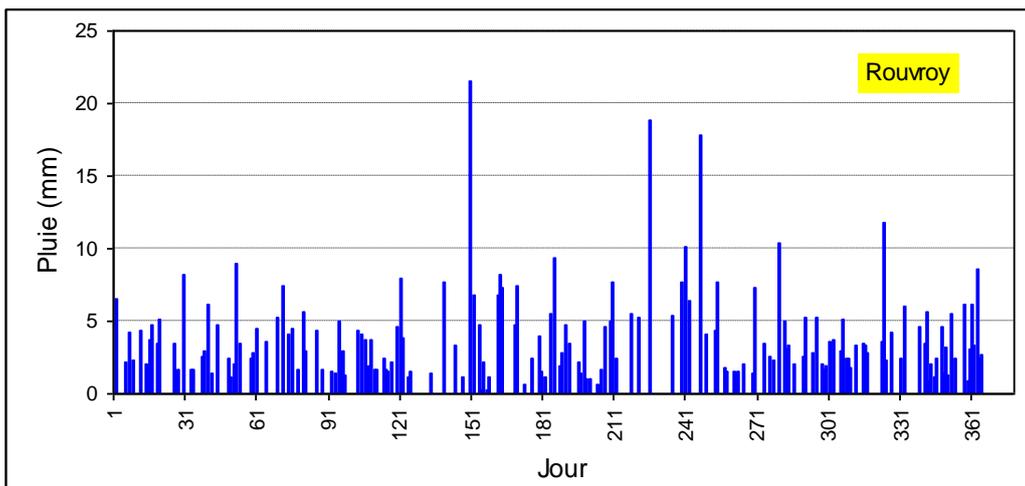
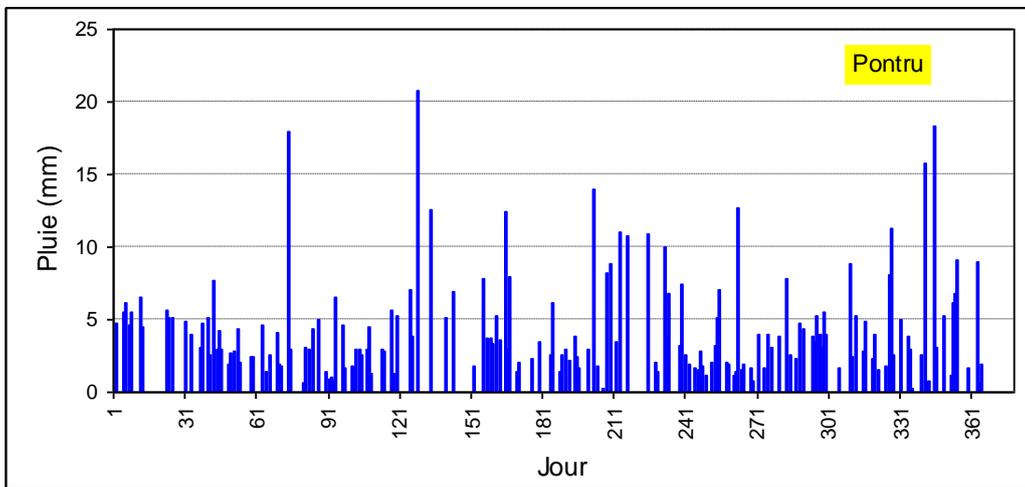
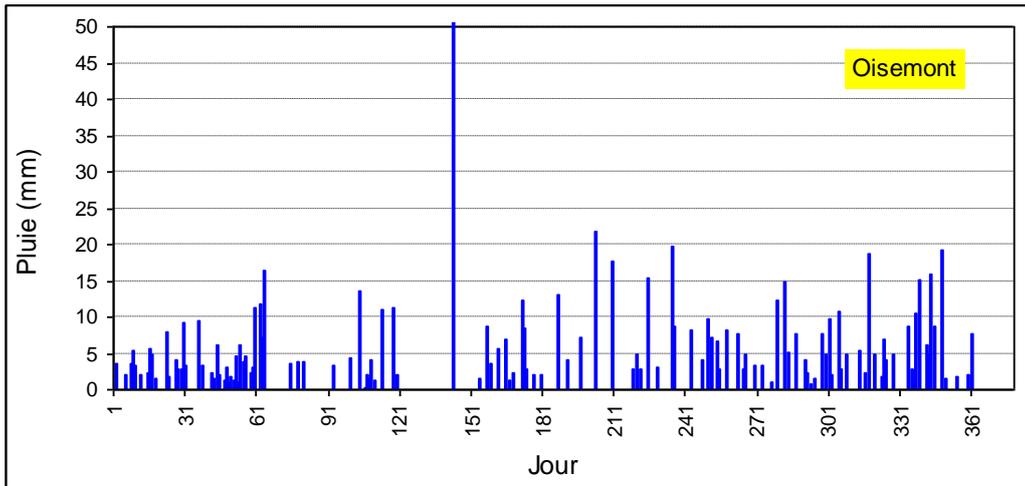
## **Annexe 3**

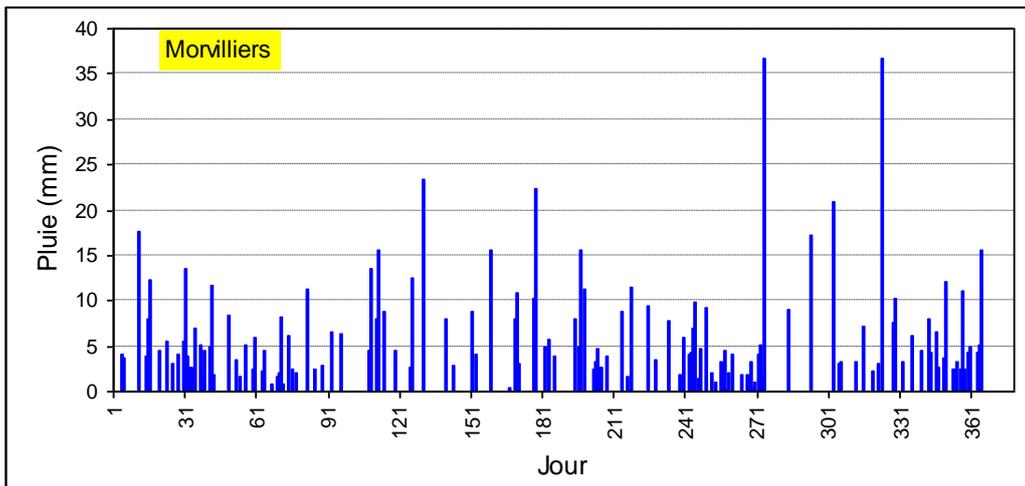
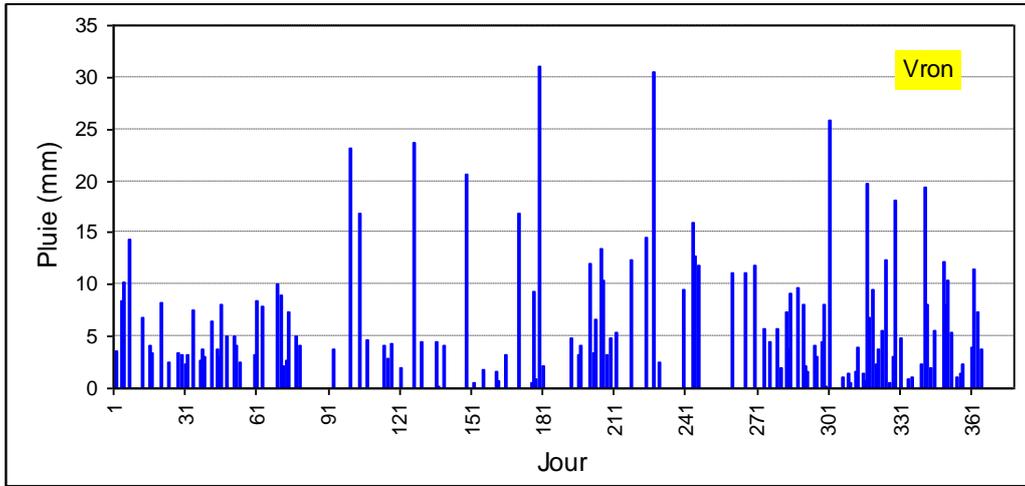
### **Précipitations de l'année moyenne, scénarios climatiques et graphiques statistiques**



**Distribution journalière des pluies de l'année moyenne**



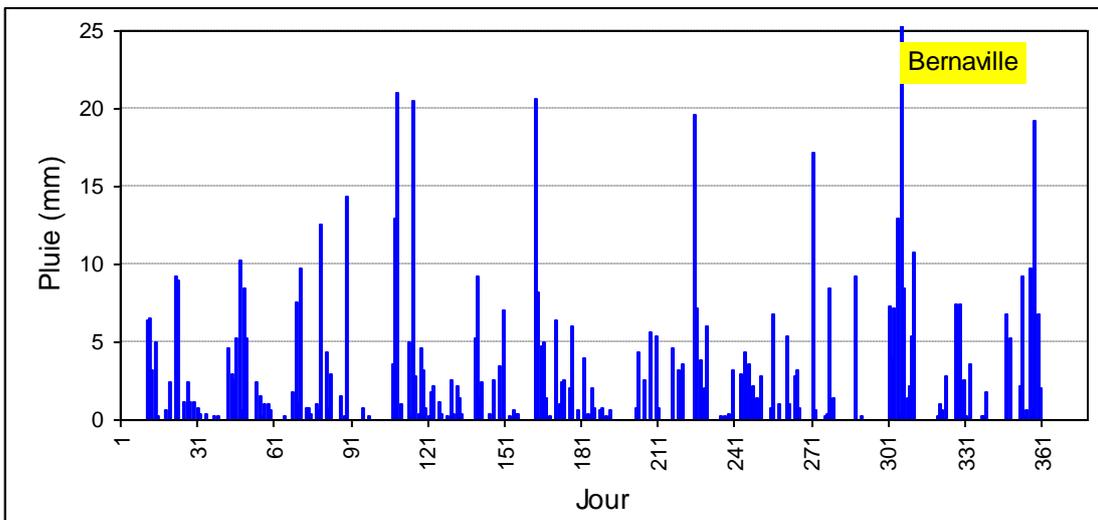
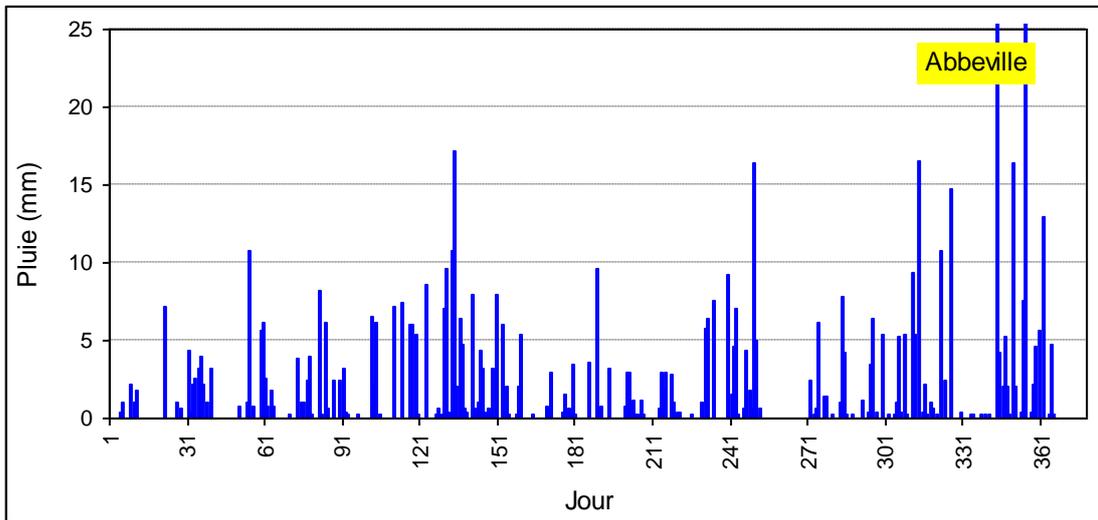


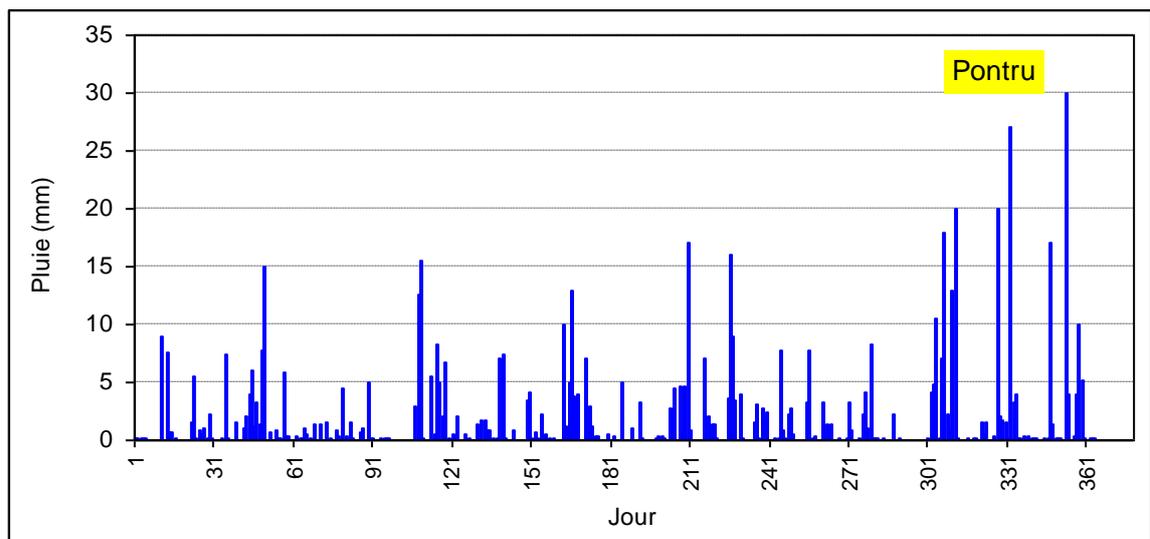
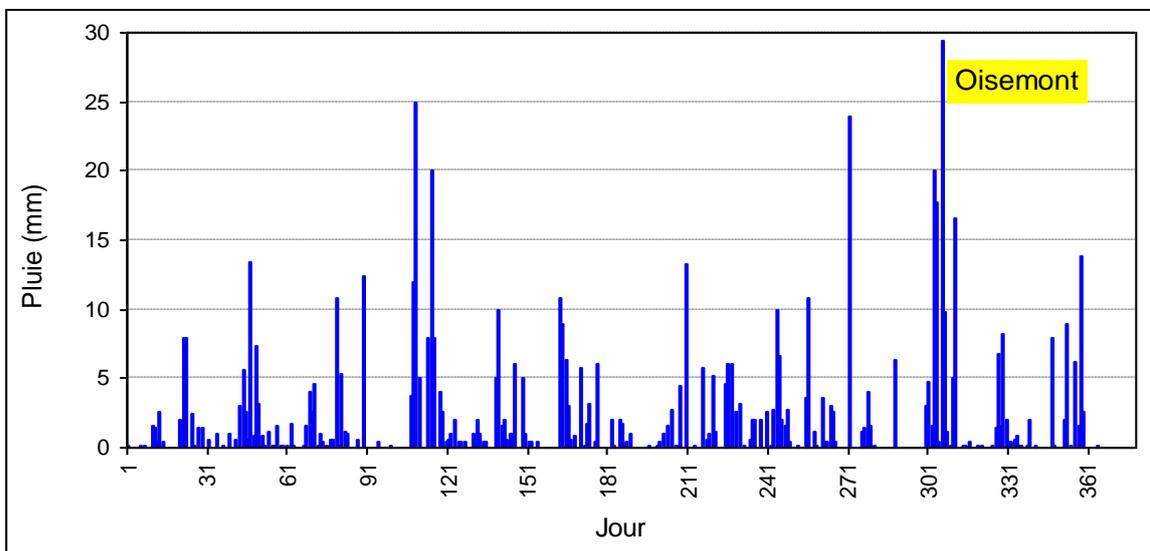
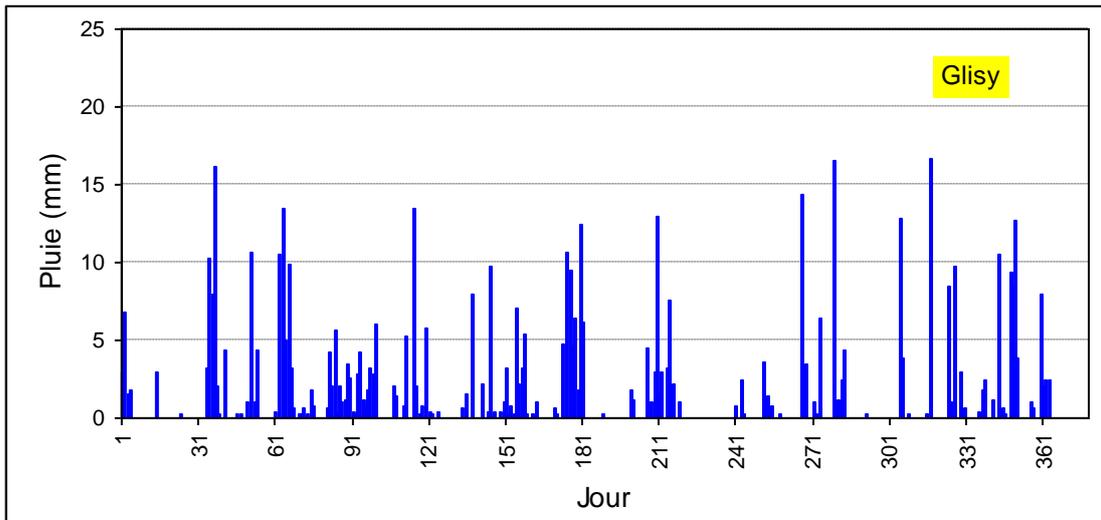


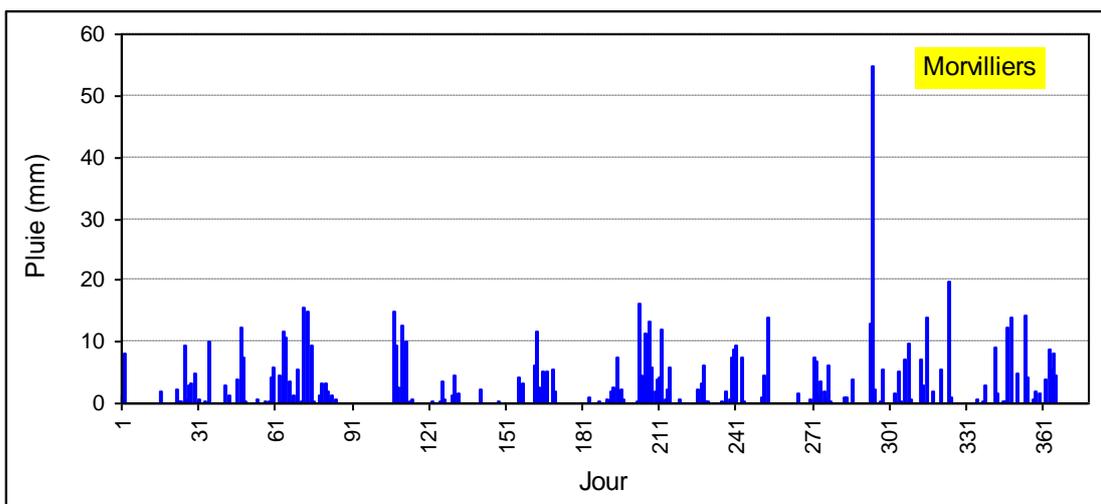
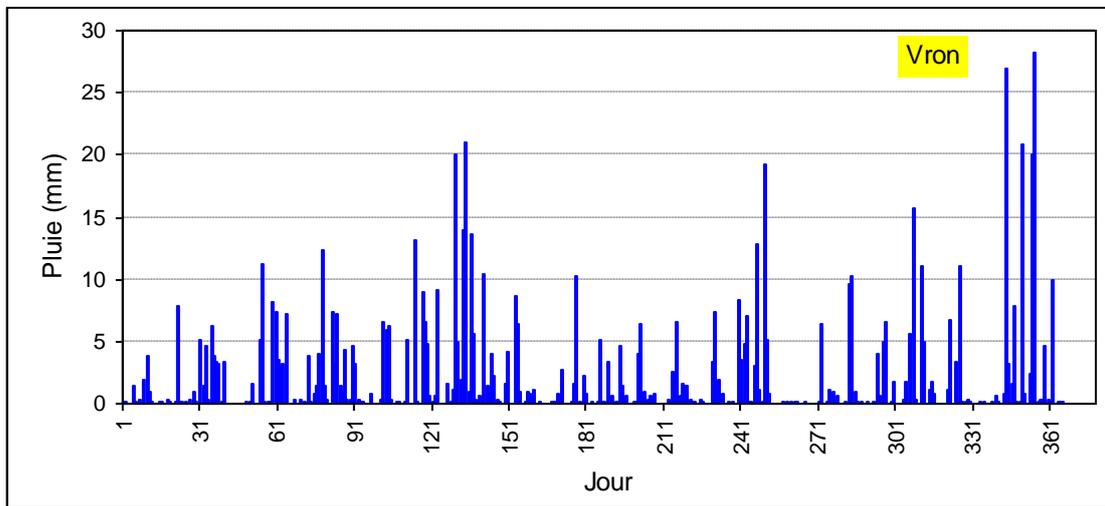
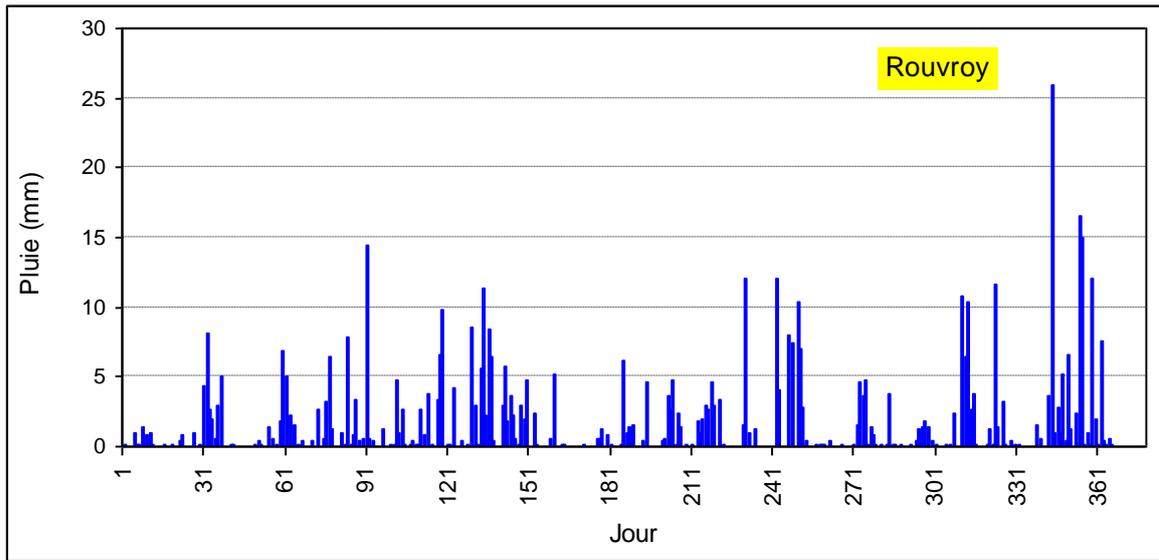
**Distribution journalière des pluies de l'année quinquennale sèche de chaque station**

Les graphiques qui suivent montrent cette distribution journalière.

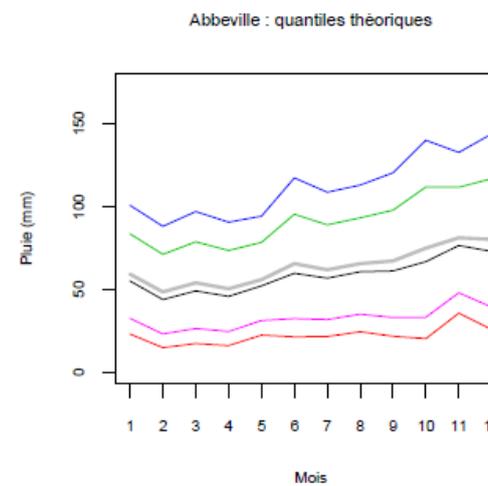
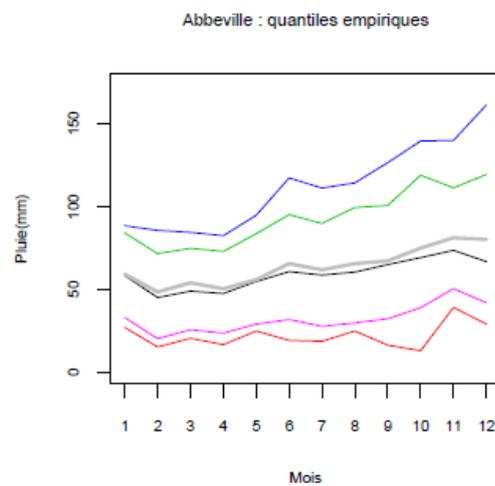
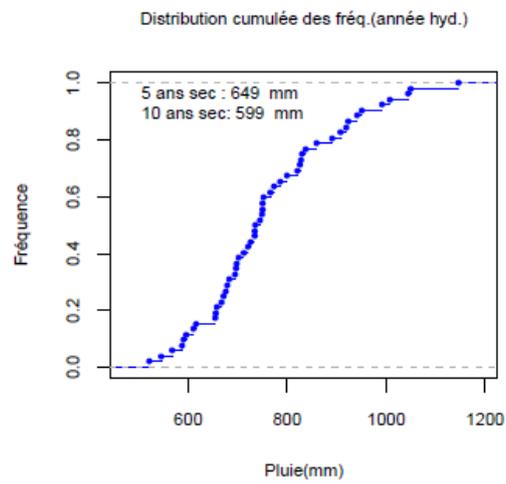
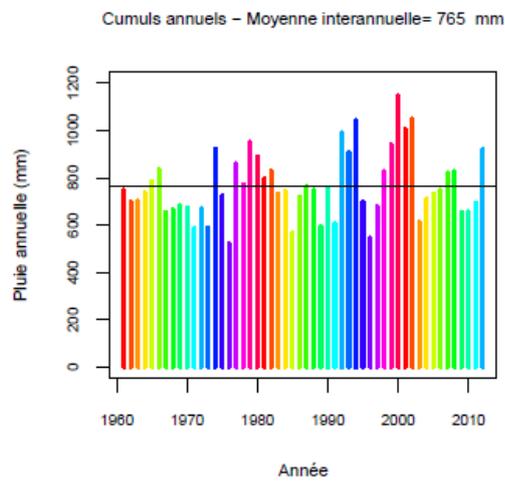
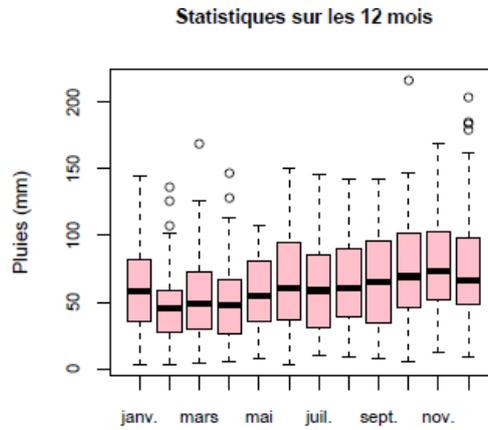
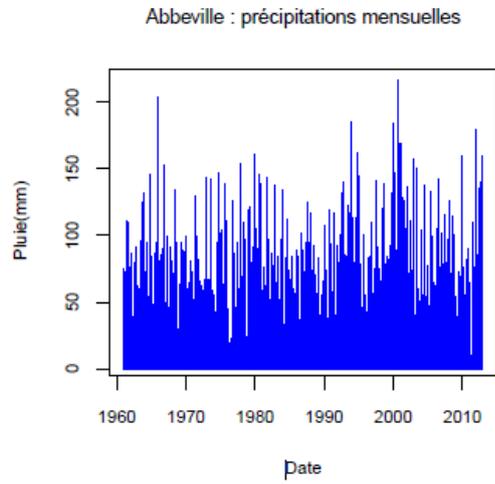
Le jour 1 correspond au début de l'année hydrologique (1<sup>er</sup> septembre)



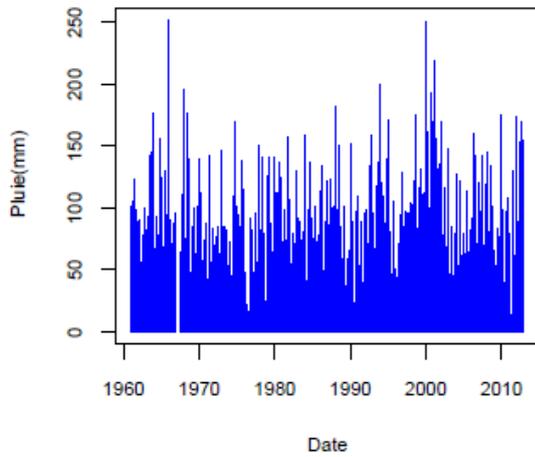




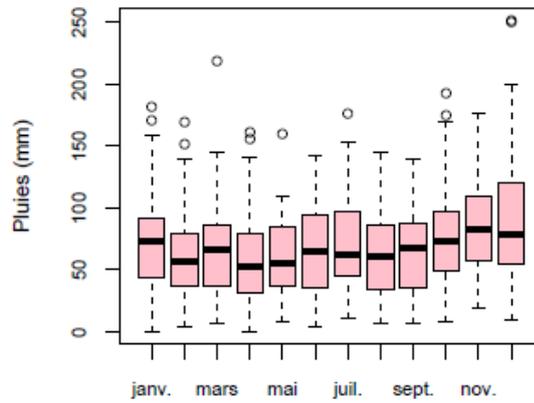
**Graphiques statistiques :**



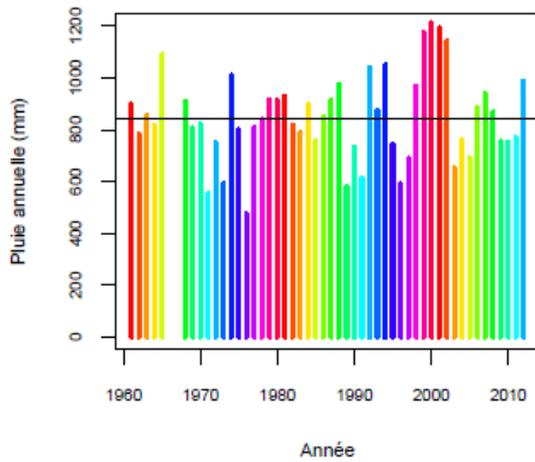
Bernaville : précipitations mensuelles



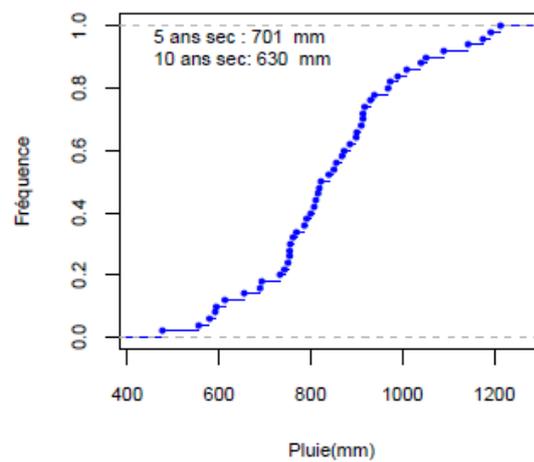
Statistiques sur les 12 mois



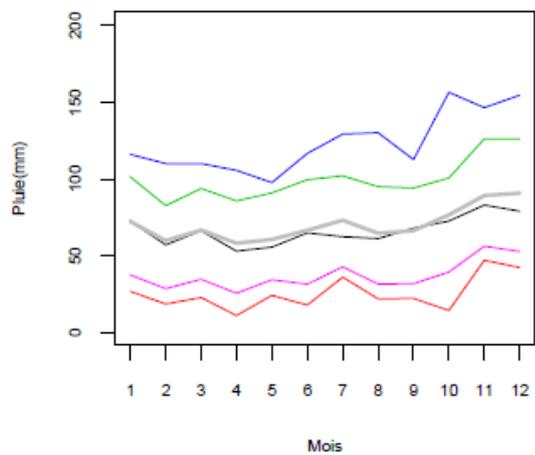
Cumuls annuels - Moyenne interannuelle= 845 mm



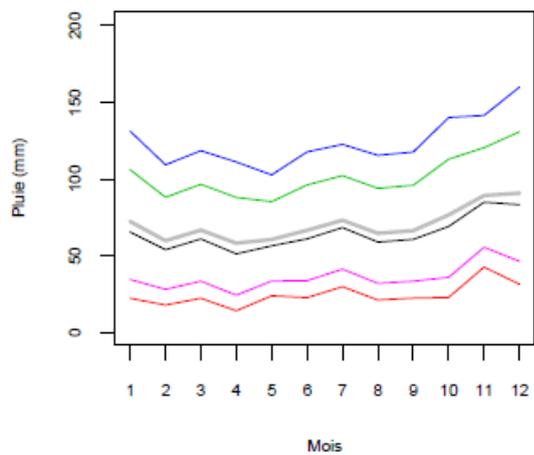
Distribution cumulée des fréq.(année hyd.)



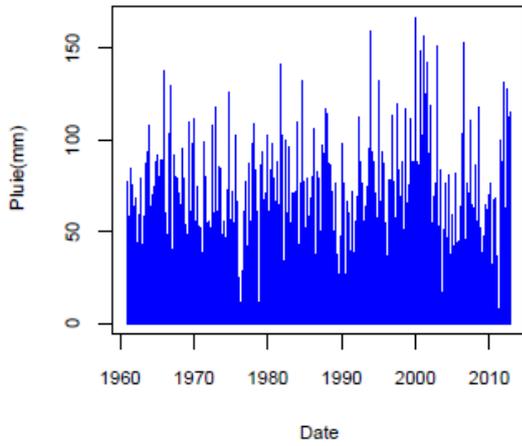
Bernaville : quantiles empiriques



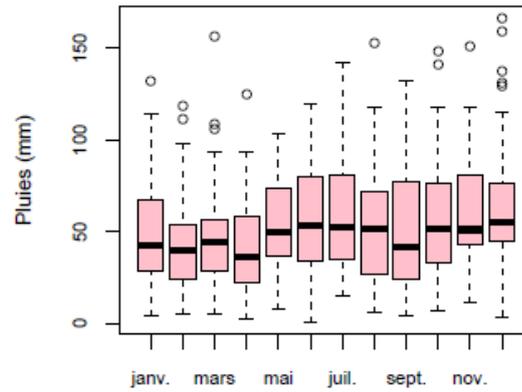
Bernaville : quantiles théoriques



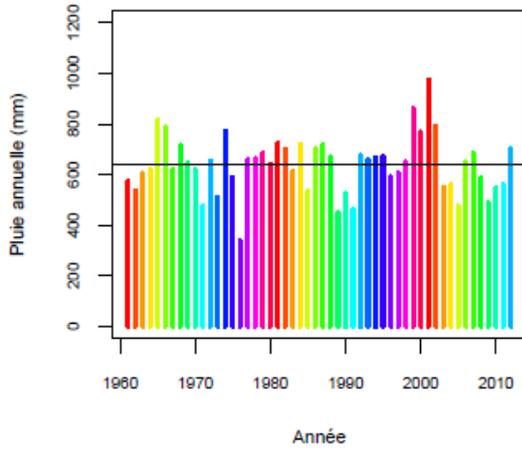
Glisy : précipitations mensuelles



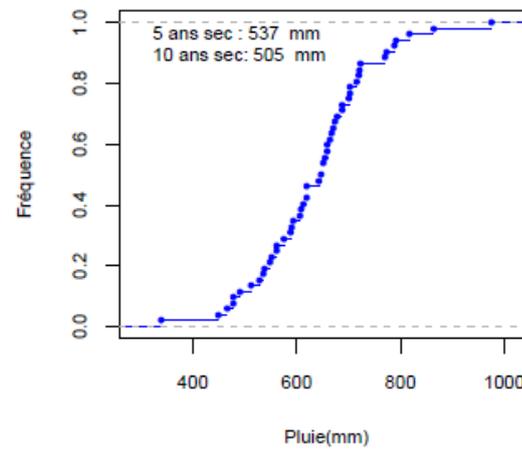
Statistiques sur les 12 mois



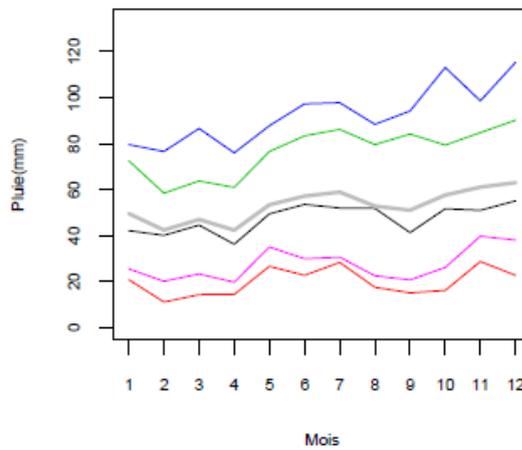
Cumuls annuels - Moyenne interannuelle= 637 mm



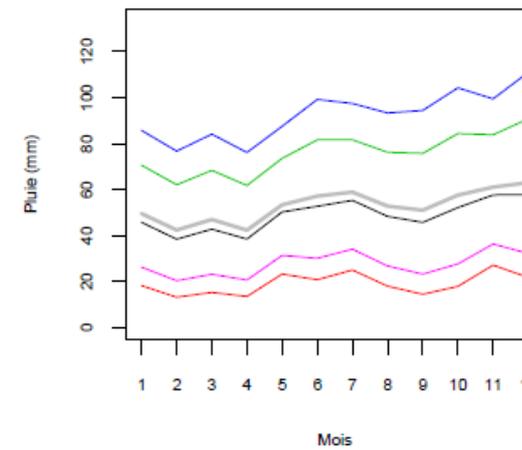
Distribution cumulée des fréq.(année hyd.)



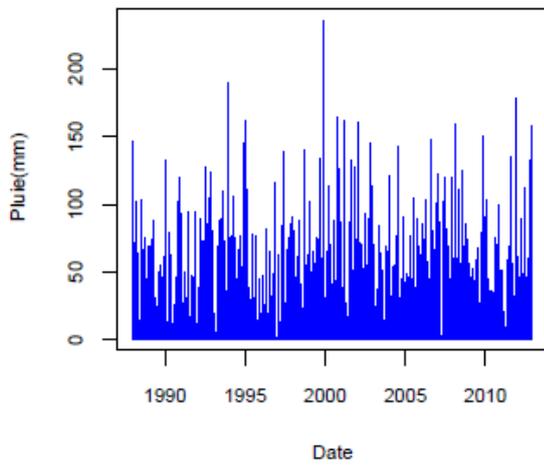
Glisy : quantiles empiriques



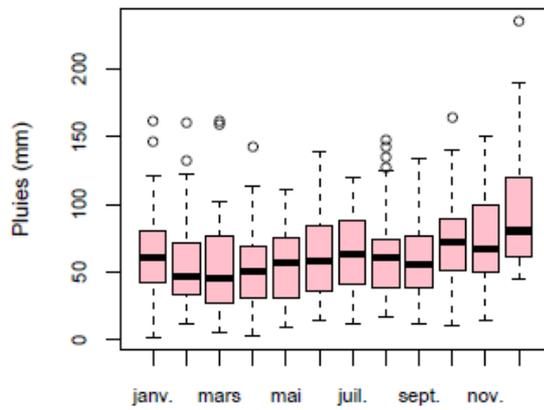
Glisy : quantiles théoriques



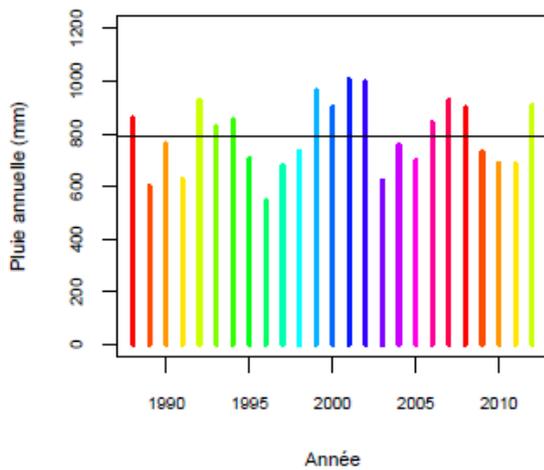
Oisemont : précipitations mensuelles



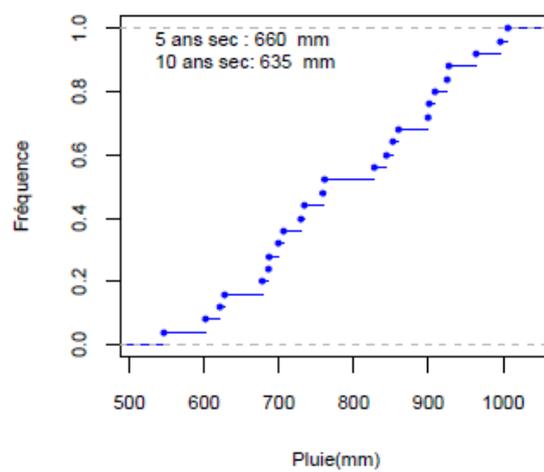
Statistiques sur les 12 mois



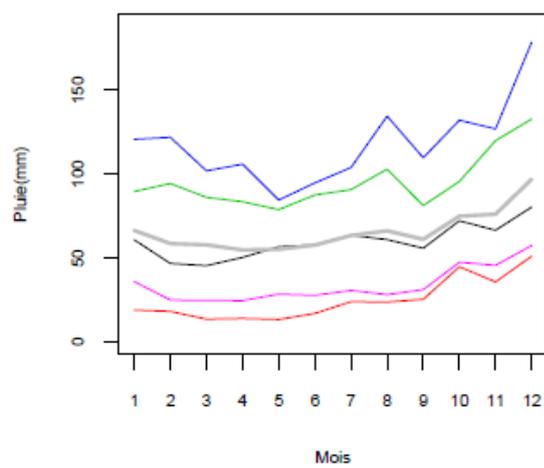
Cumuls annuels - Moyenne interannuelle= 790 mm



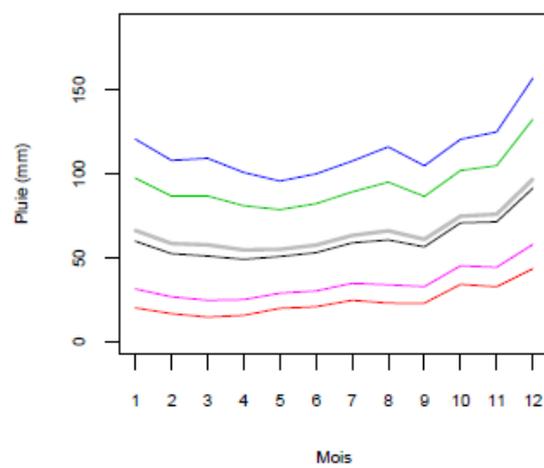
Distribution cumulée des fréq.(année hyd.)



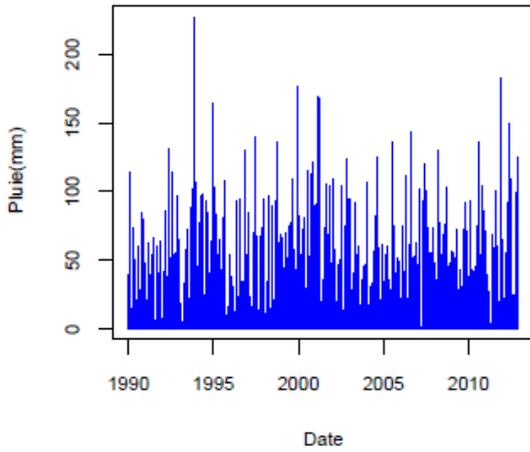
Oisemont : quantiles empiriques



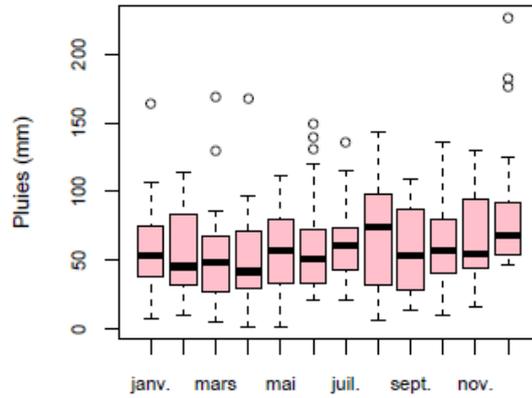
Oisemont : quantiles théoriques



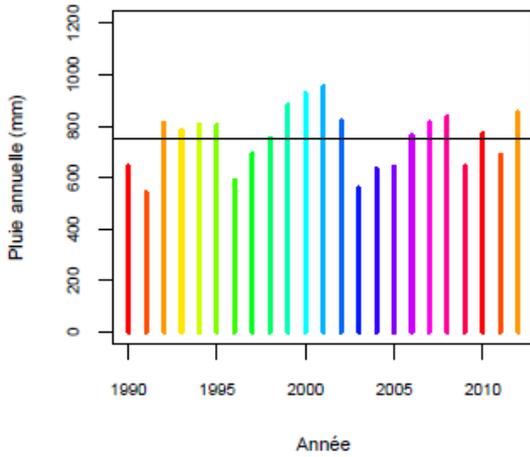
Pontru : précipitations mensuelles



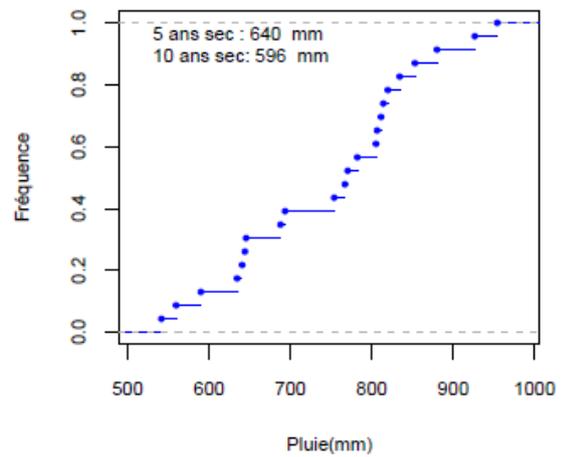
Statistiques sur les 12 mois



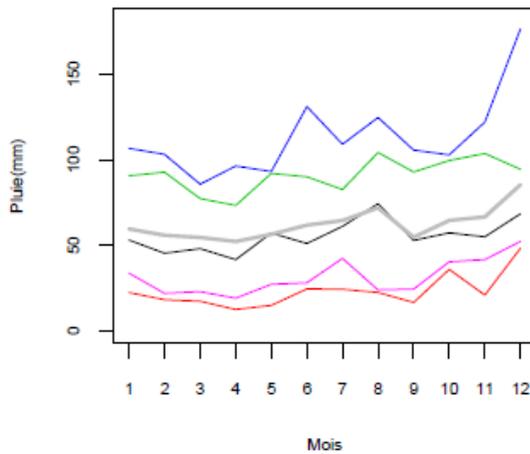
Cumuls annuels - Moyenne interannuelle= 748 mm



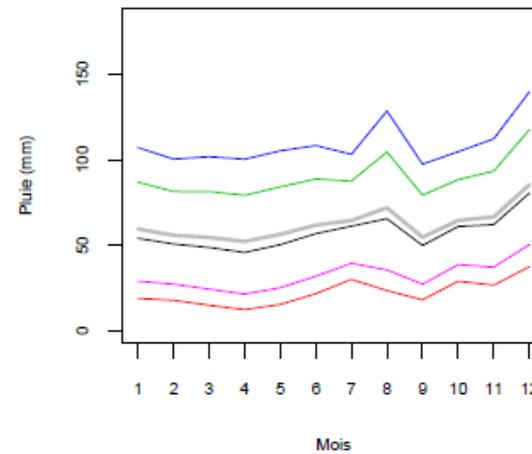
Distribution cumulée des fréq.(année hyd.)



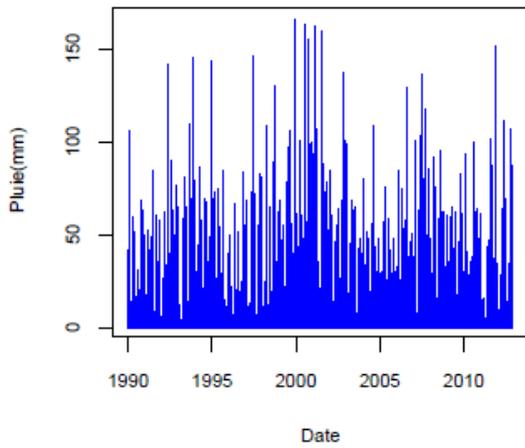
Pontru : quantiles empiriques



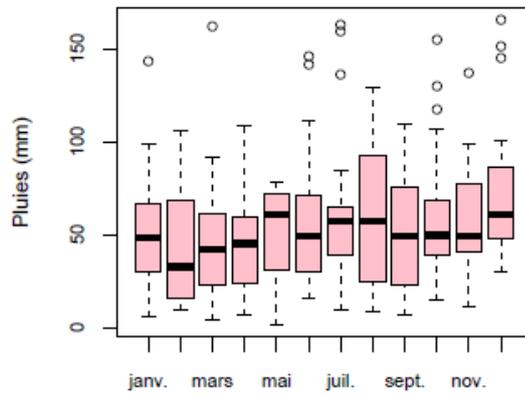
Pontru : quantiles théoriques



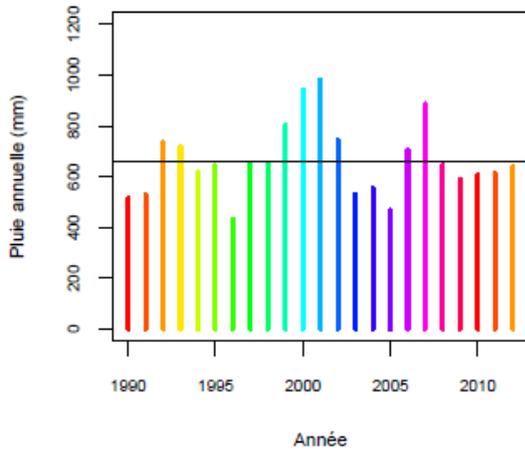
Rouvroy : précipitations mensuelles



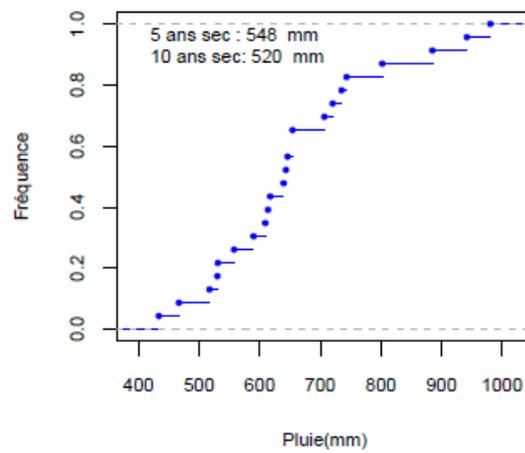
Statistiques sur les 12 mois



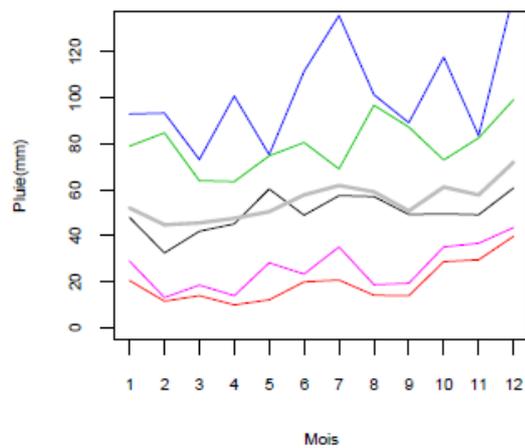
Cumuls annuels - Moyenne interannuelle= 662 mm



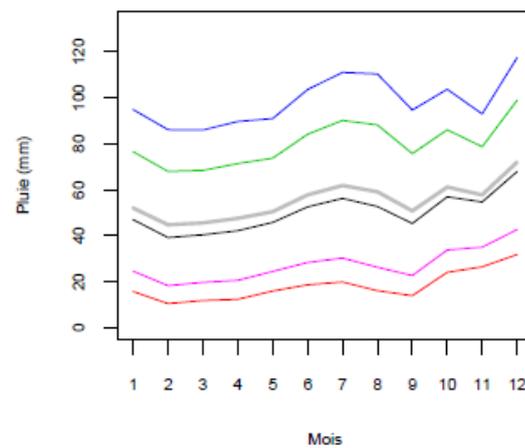
Distribution cumulée des fréq.(année hyd.)



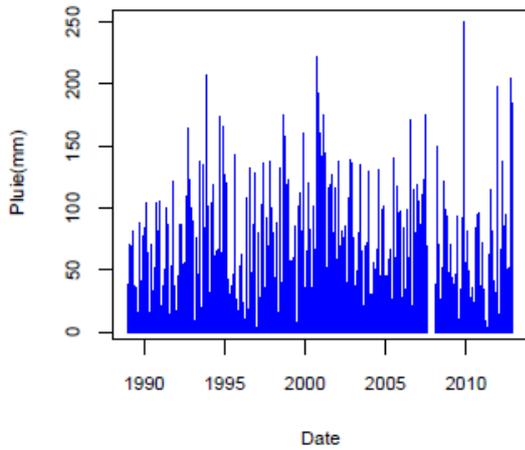
Rouvroy : quantiles empiriques



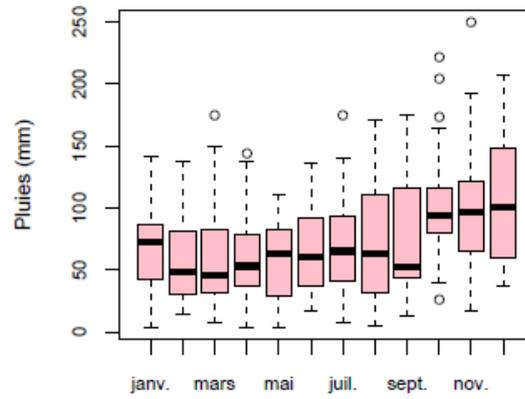
Rouvroy : quantiles théoriques



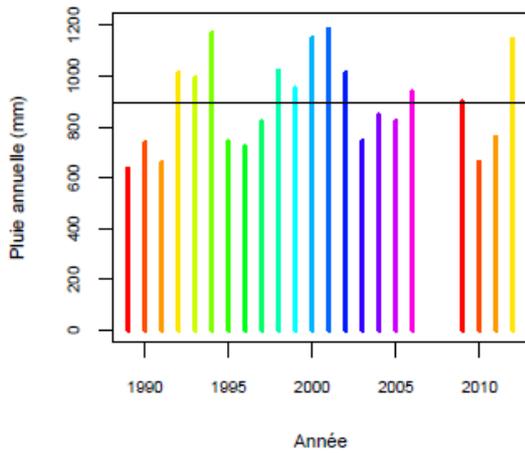
Vron : précipitations mensuelles



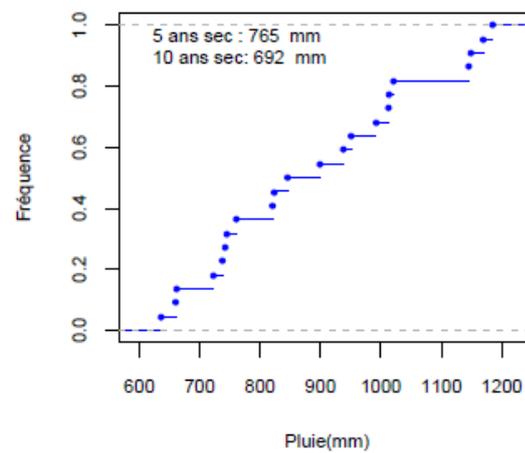
Statistiques sur les 12 mois



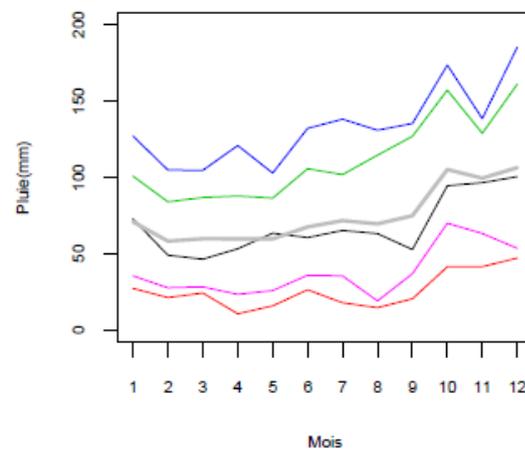
Cumuls annuels - Moyenne interannuelle= 892 mm



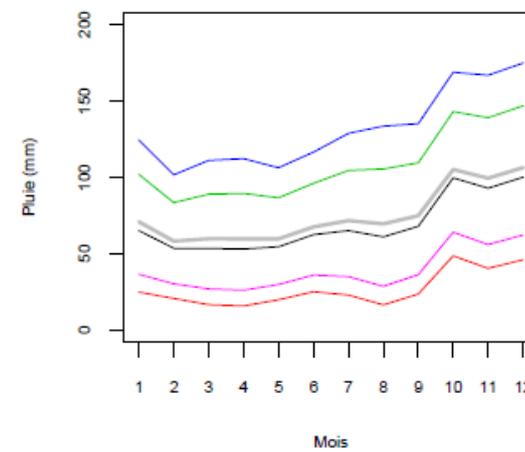
Distribution cumulée des fréq.(année hyd.)



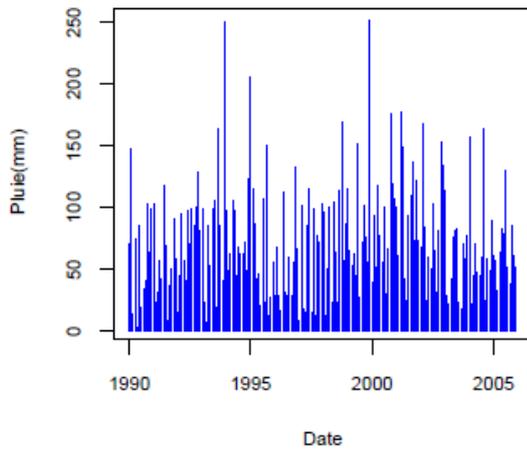
Vron : quantiles empiriques



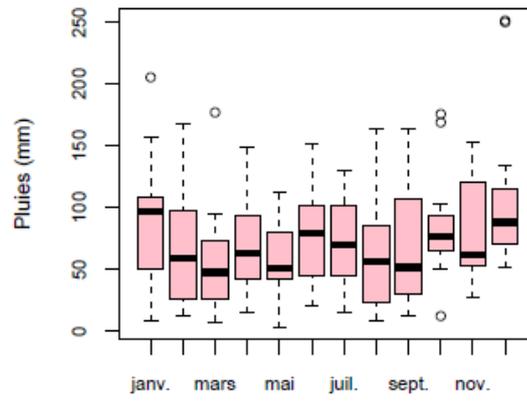
Vron : quantiles théoriques



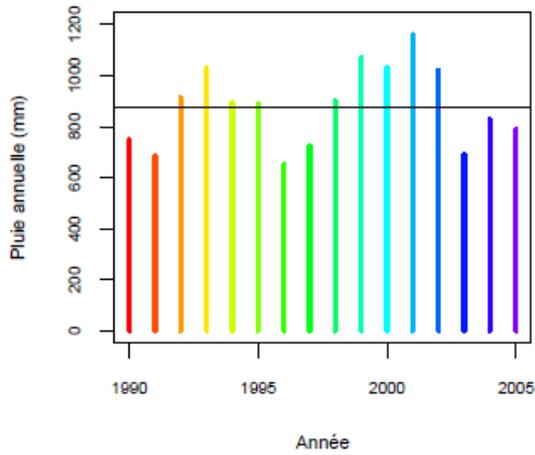
Morvillers : précipitations mensuelles



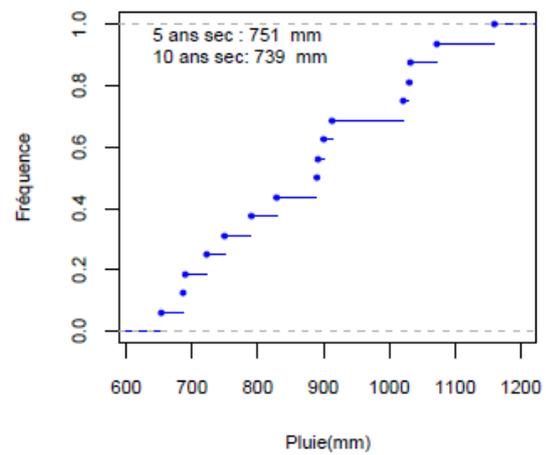
Statistiques sur les 12 mois



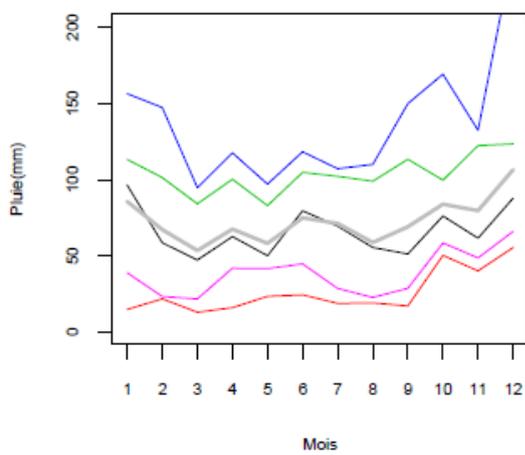
Cumuls annuels – Moyenne interannuelle= 877 mm



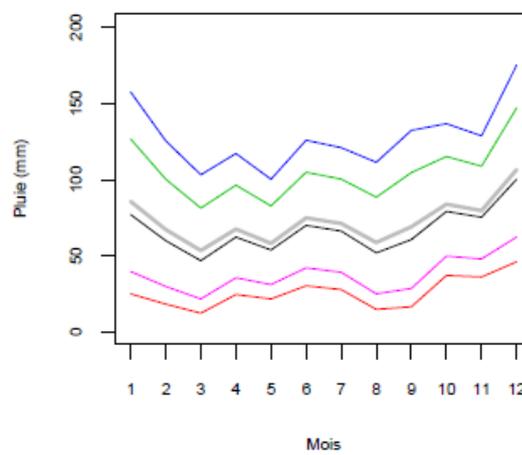
Distribution cumulée des fréq.(année hyd.)



Morvillers : quantiles empiriques



Morvillers : quantiles théoriques



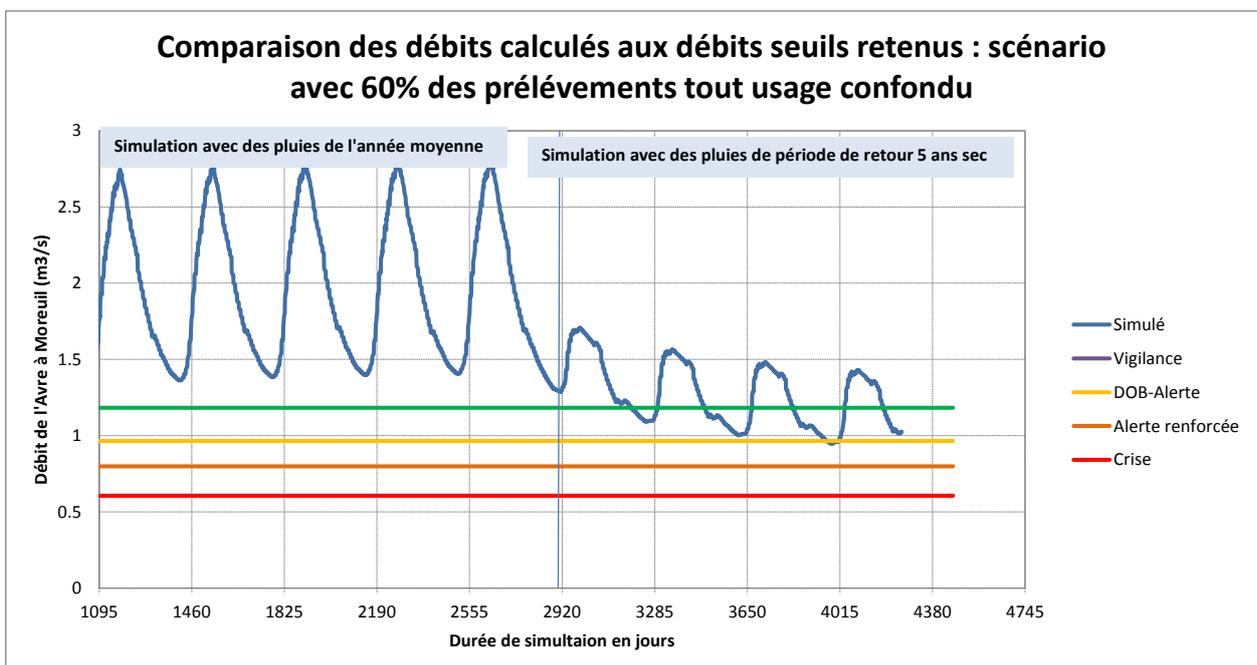
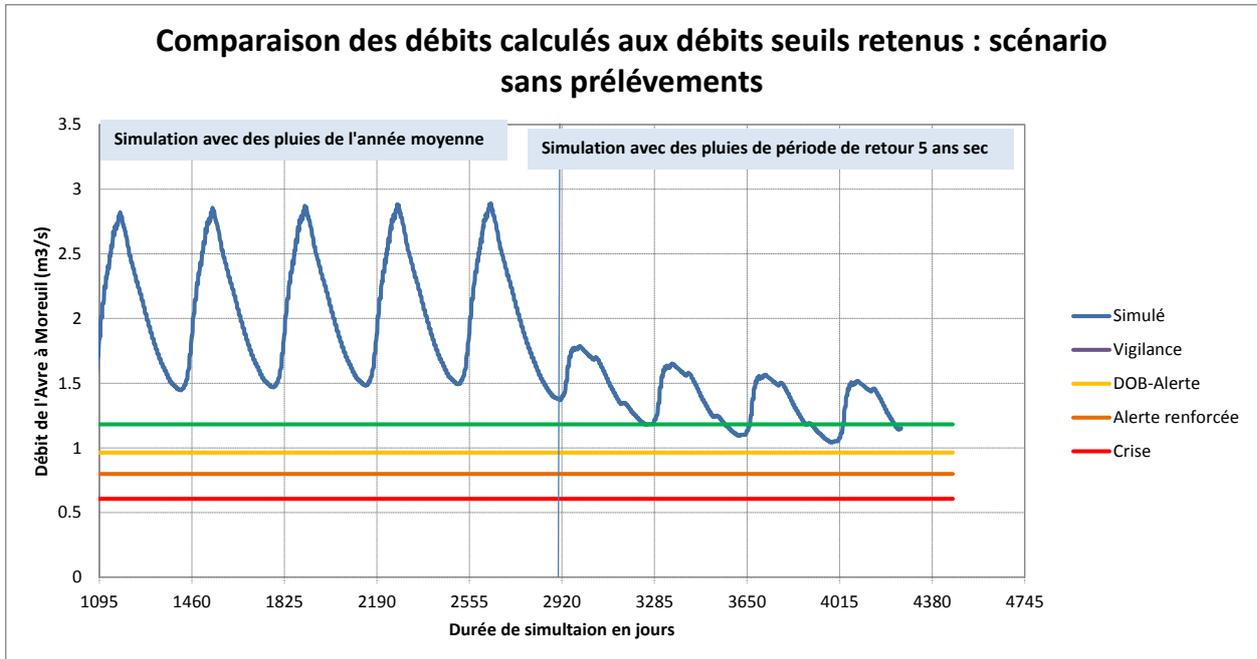
## **Annexe 4**

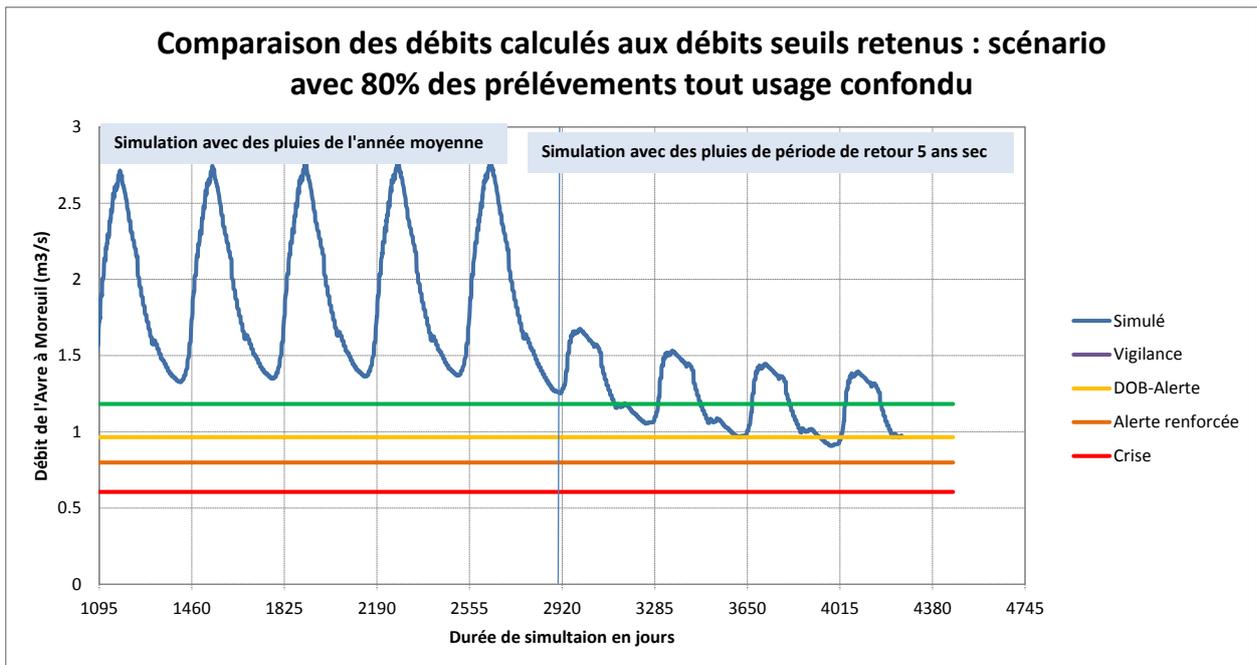
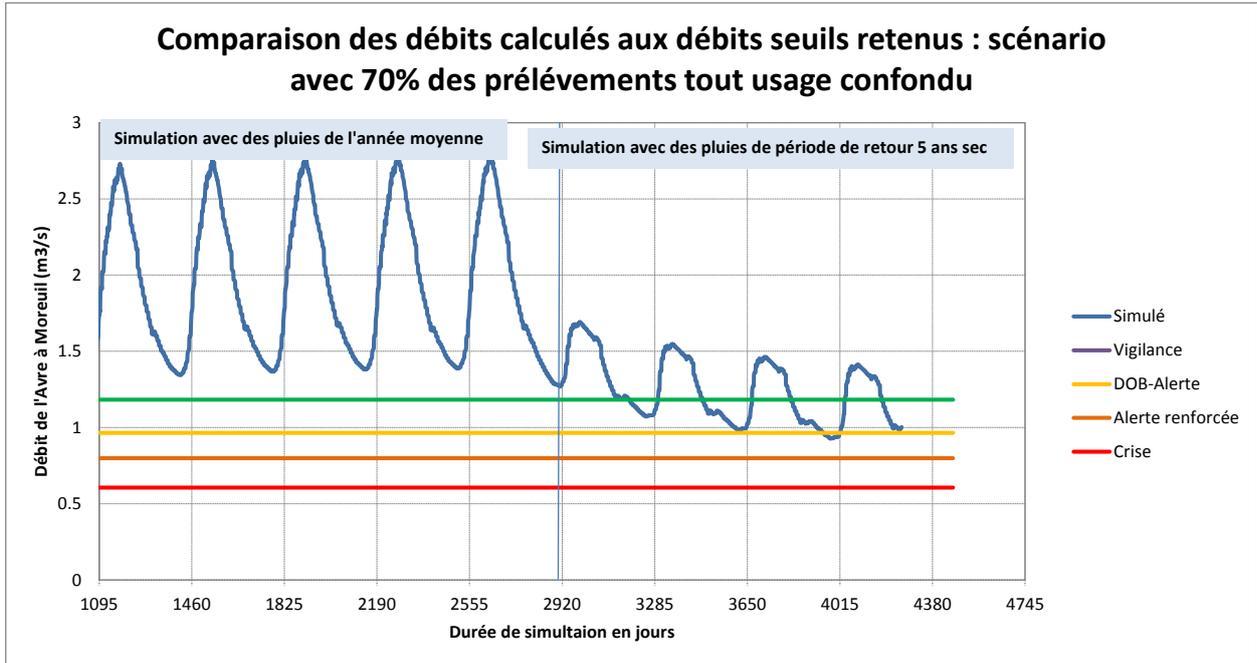
### **Résultats des scénarios de prélèvement simulés pour évaluer les volumes mobilisables dans les six unités de gestion définies dans le cadre de l'étude**

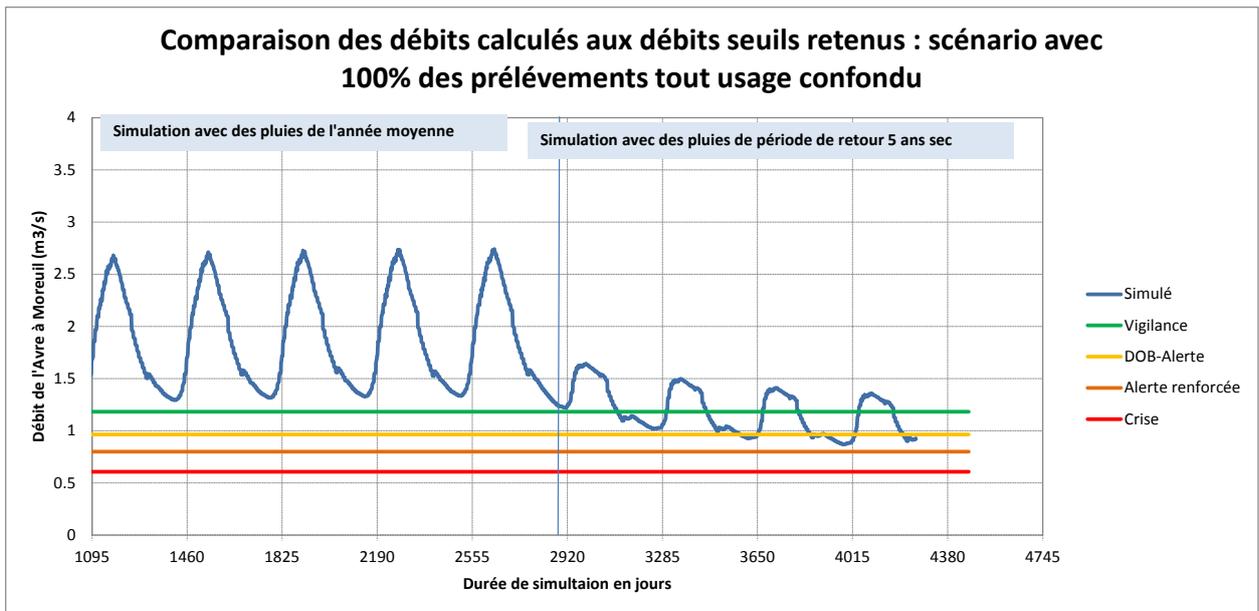
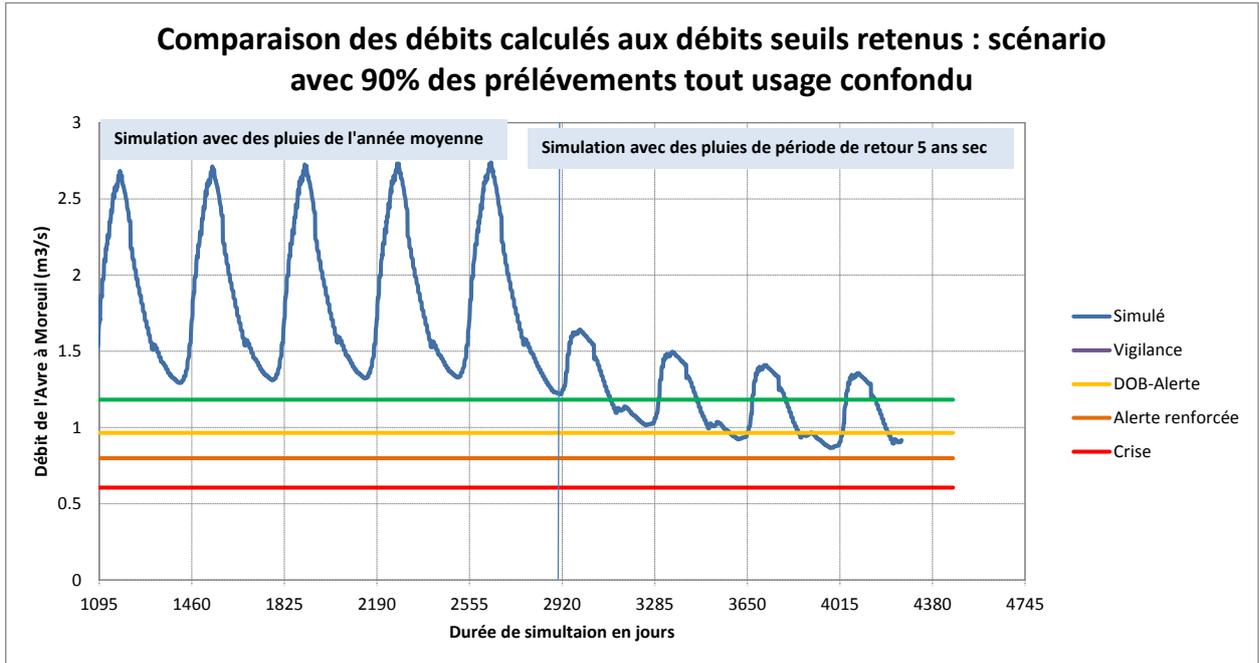


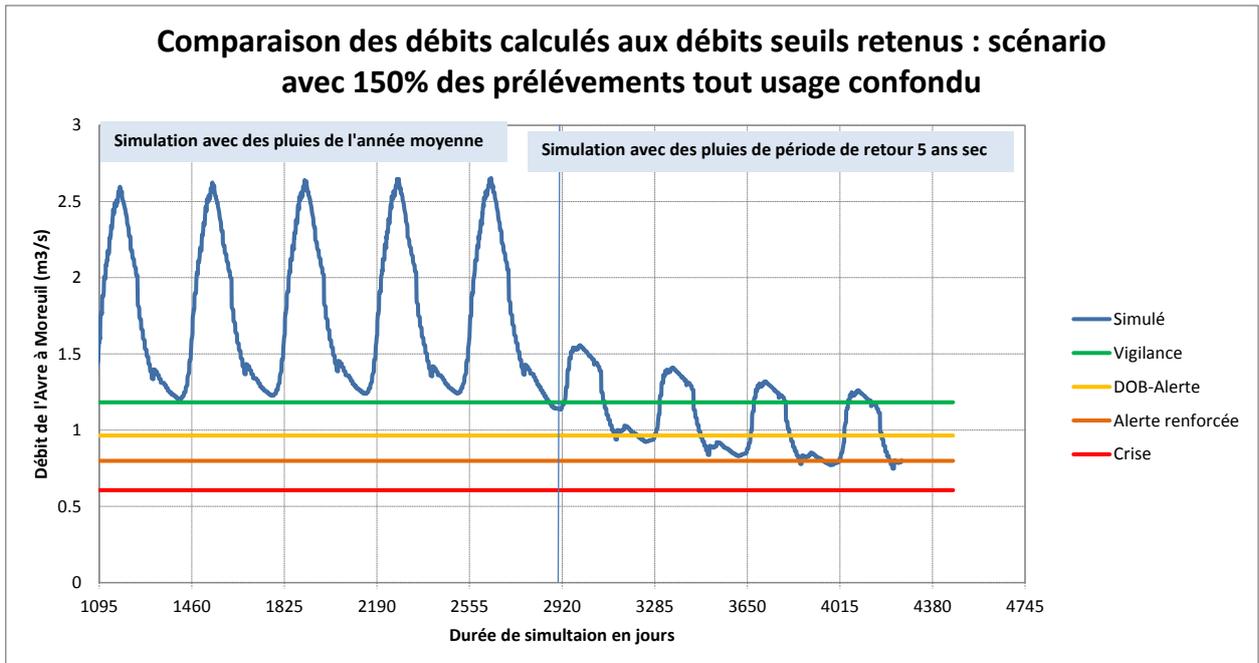
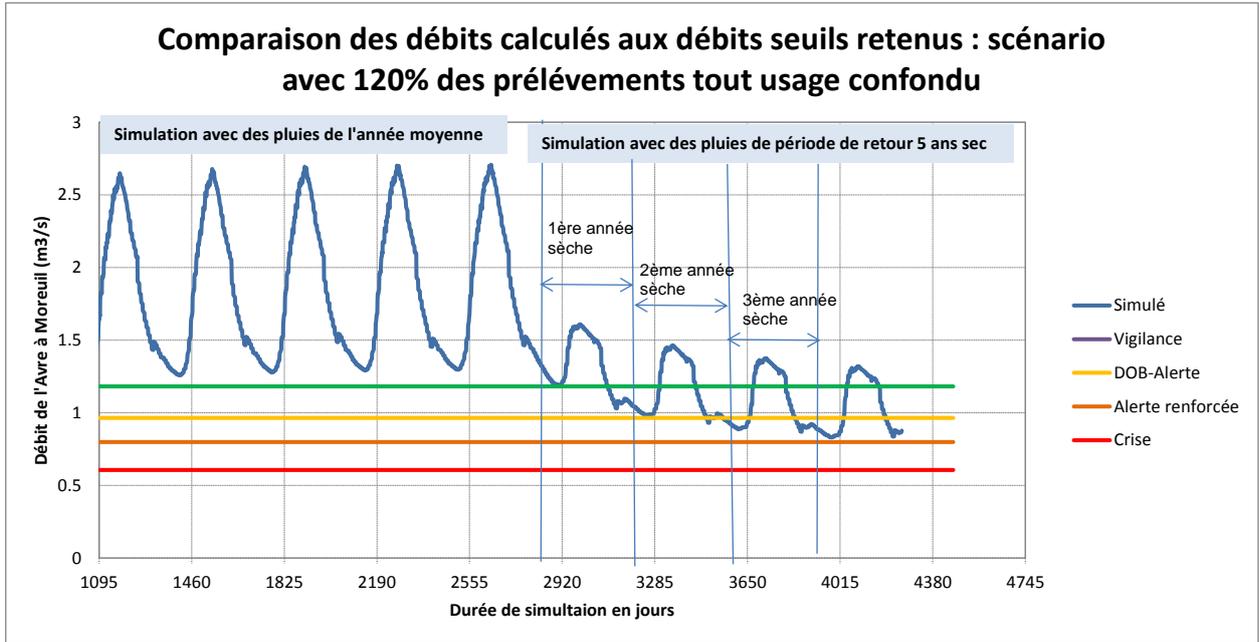
## 1- Résultats obtenus pour l'unité de gestion « Avre »

### Simulations non corrigées des écarts



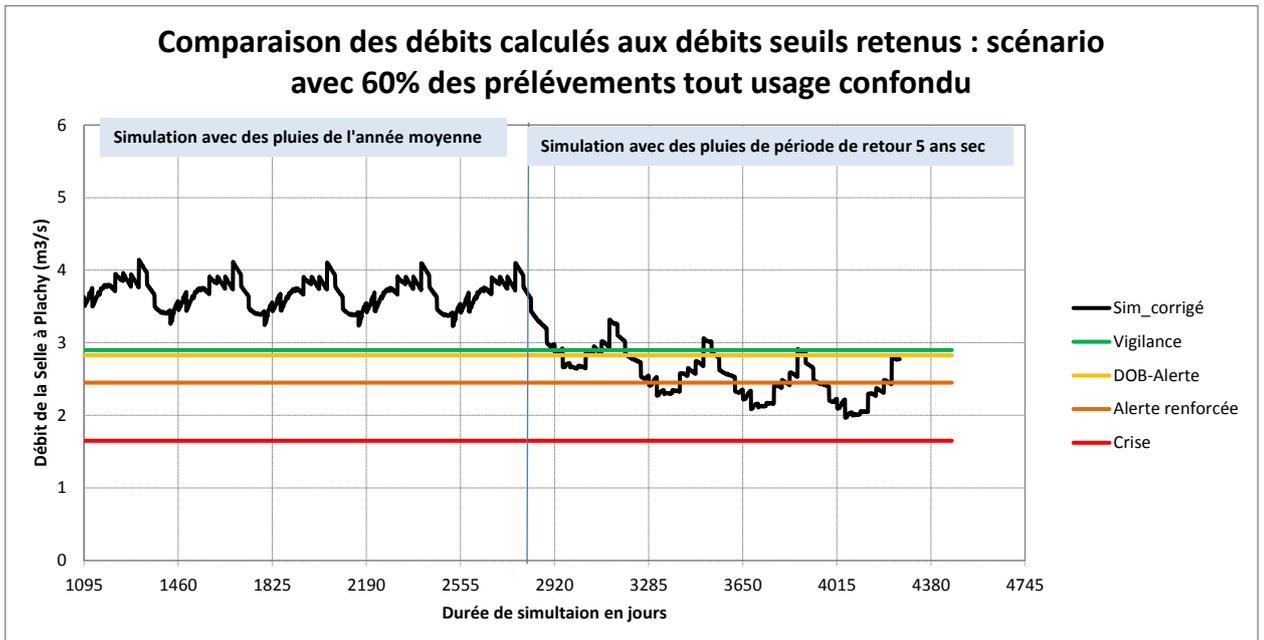
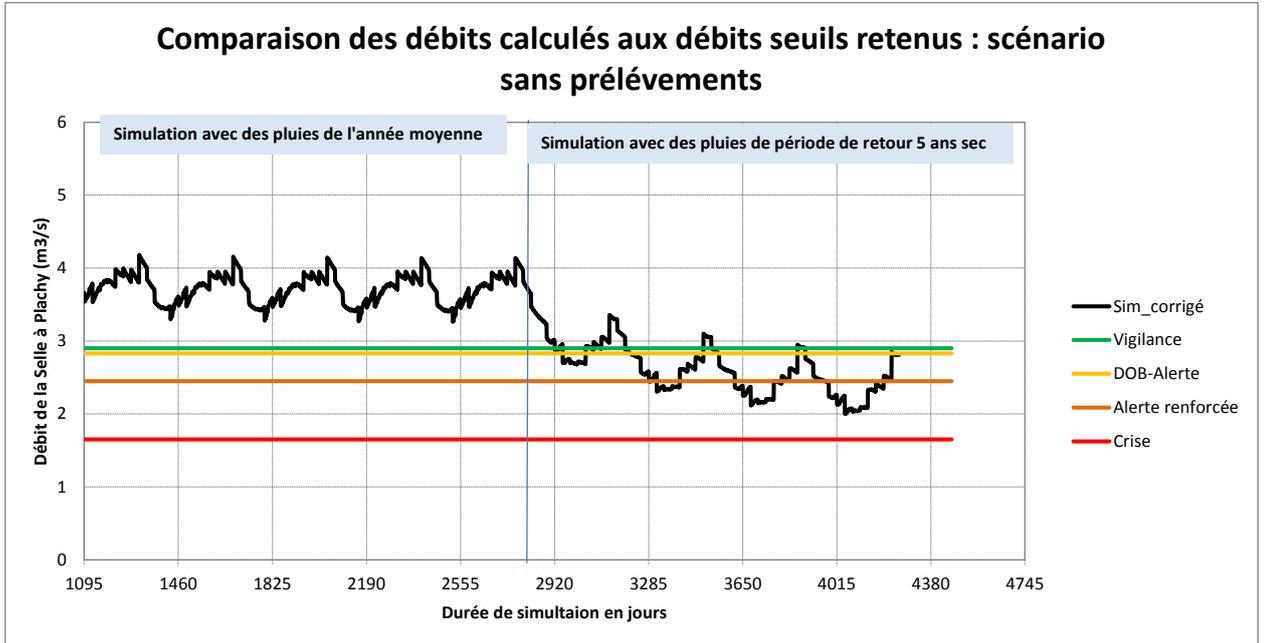


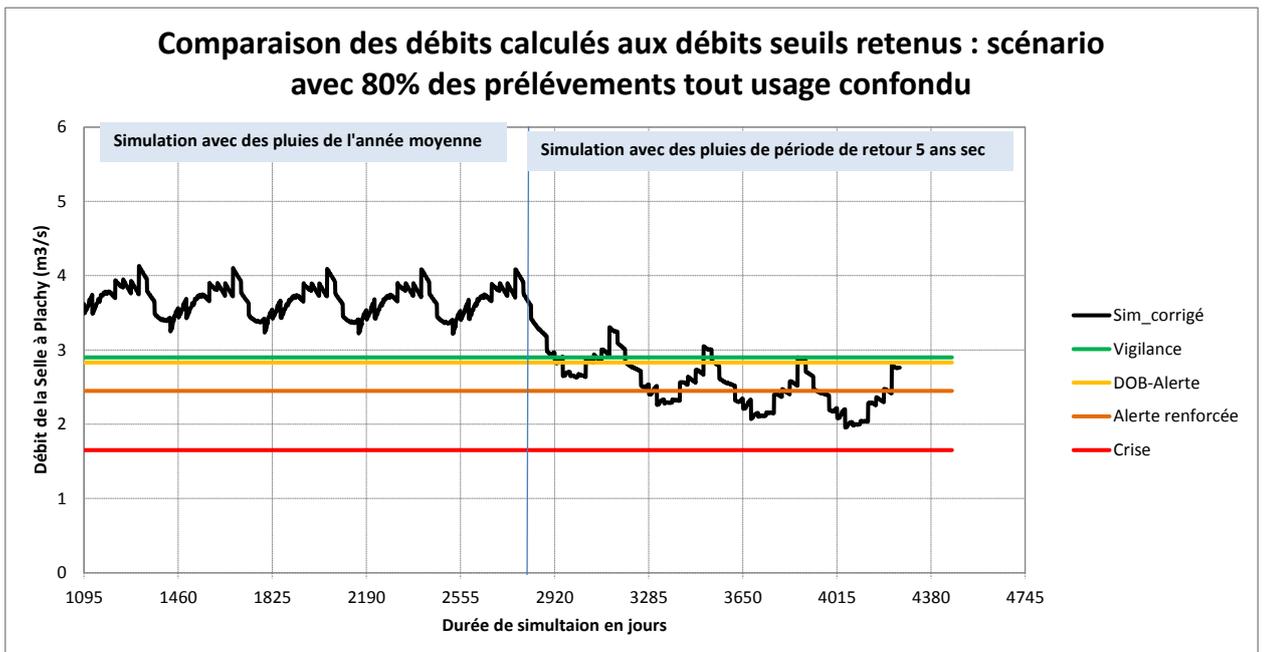
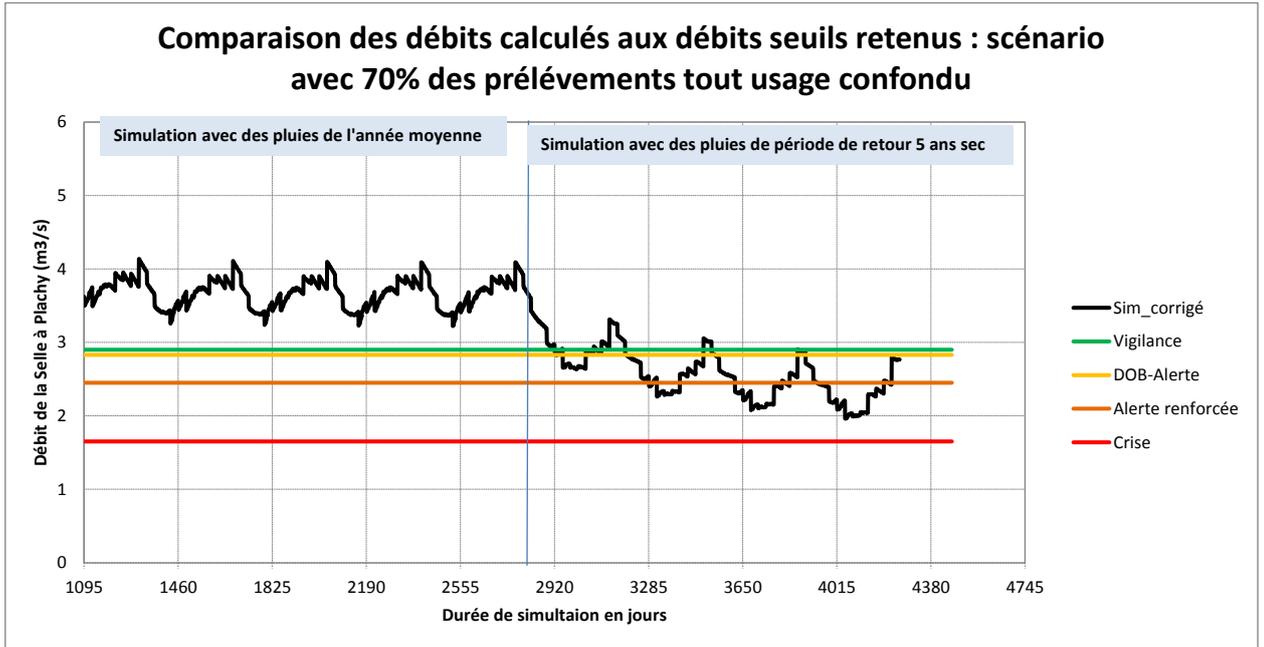


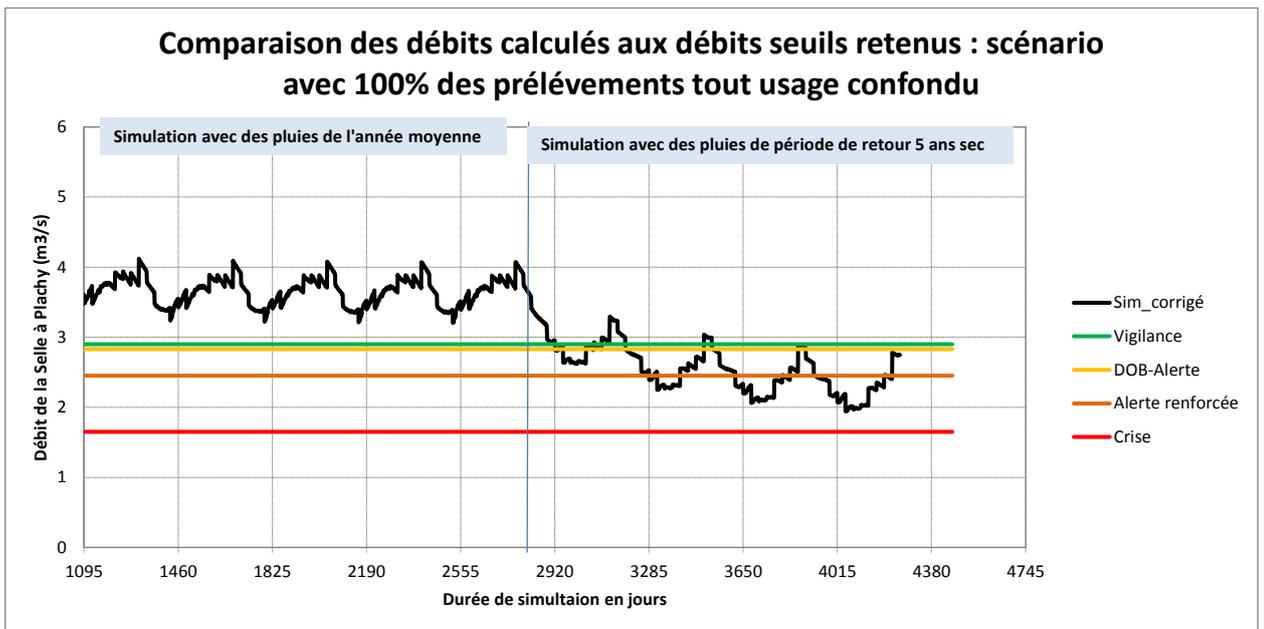
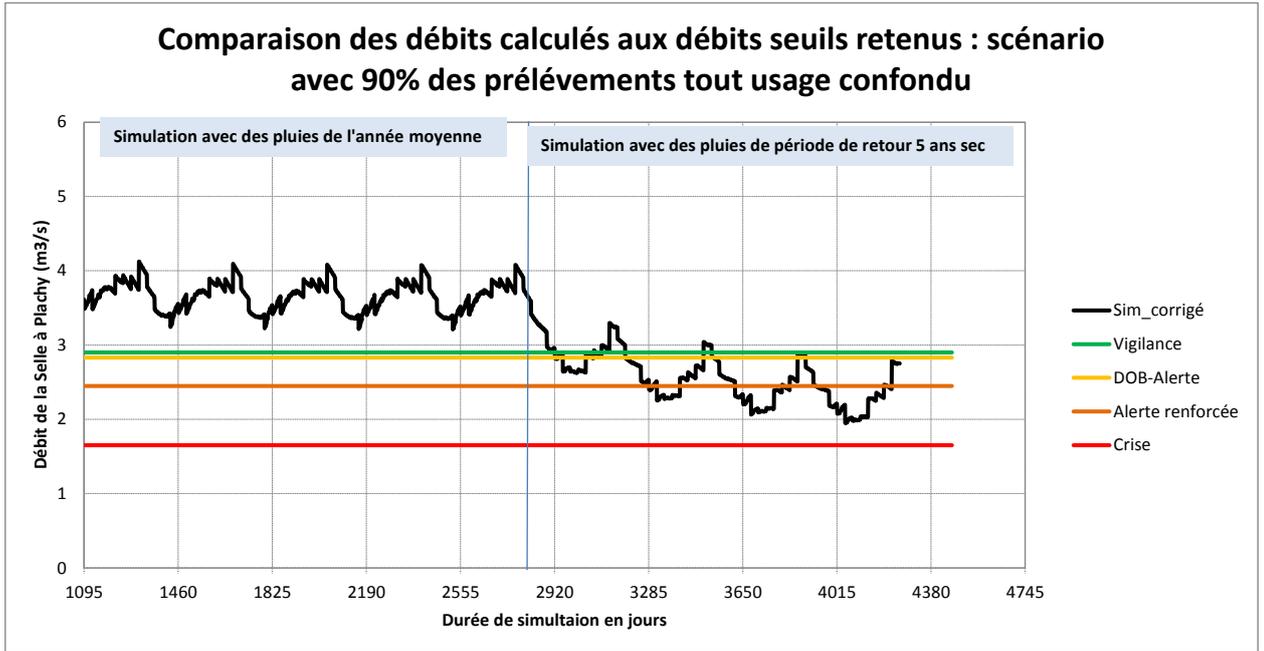


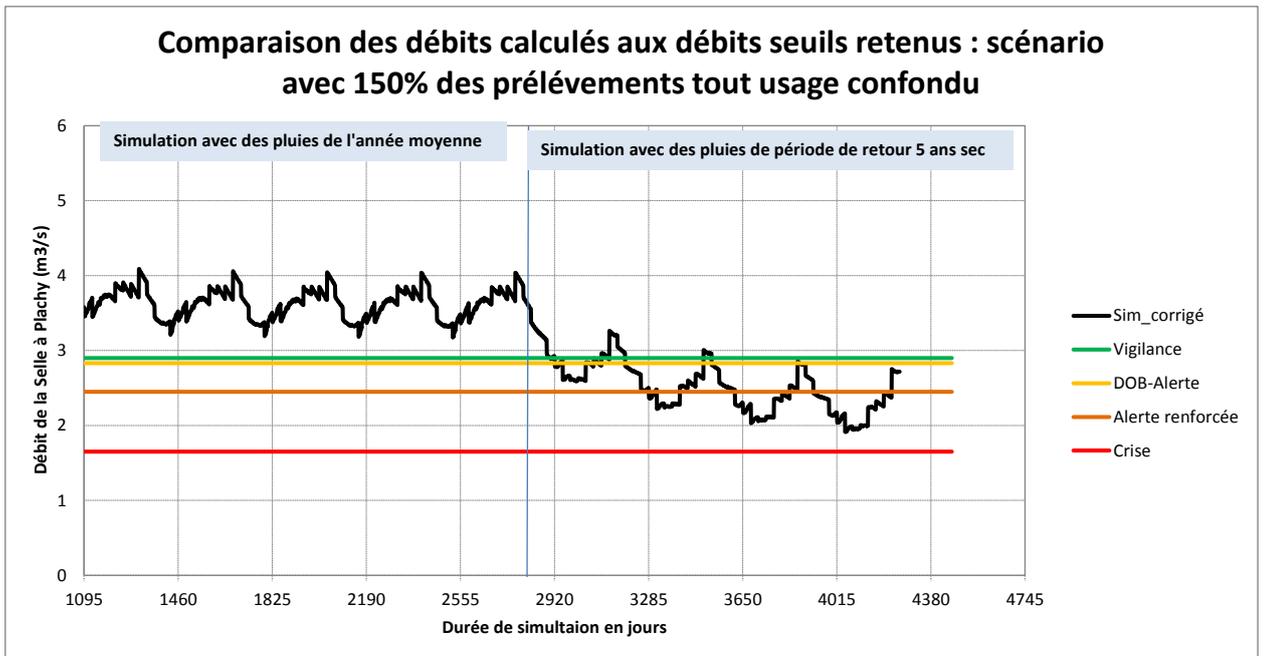
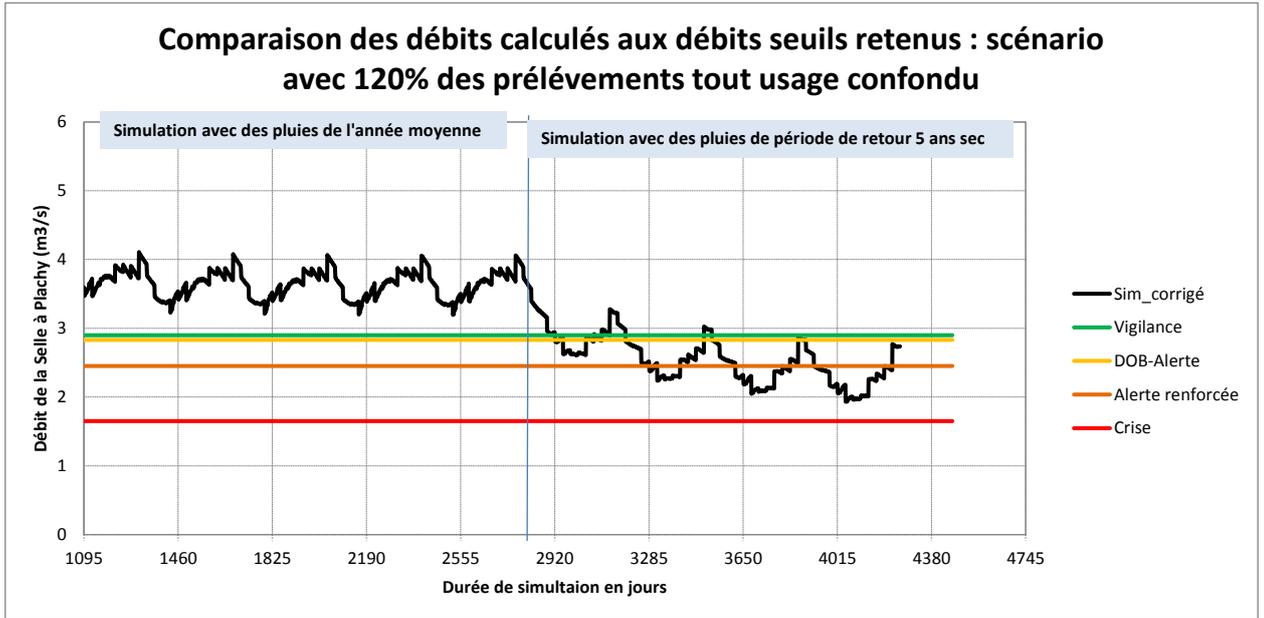
## 2- Résultats obtenus pour l'unité de gestion « Selle »

### Simulations corrigées des écarts



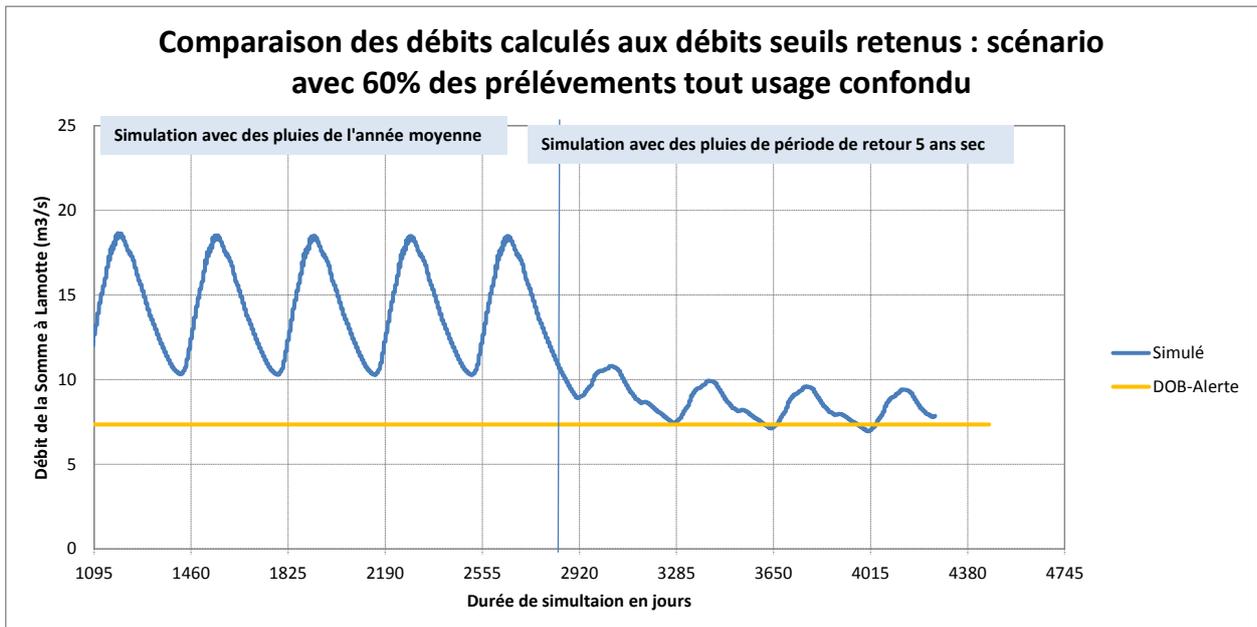
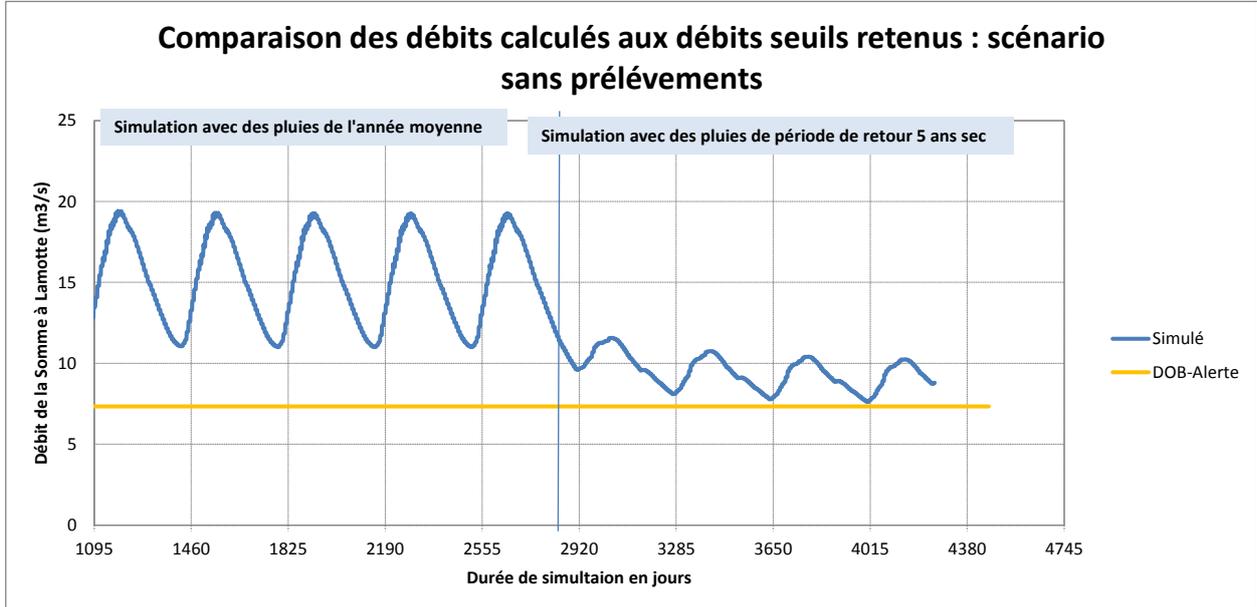


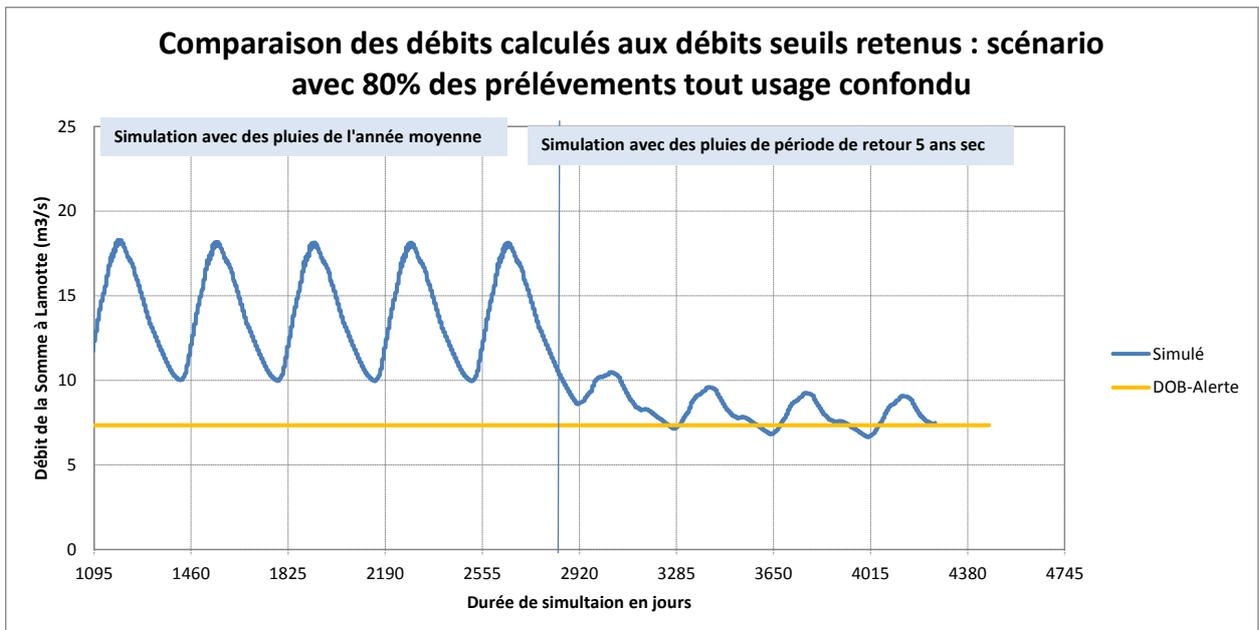
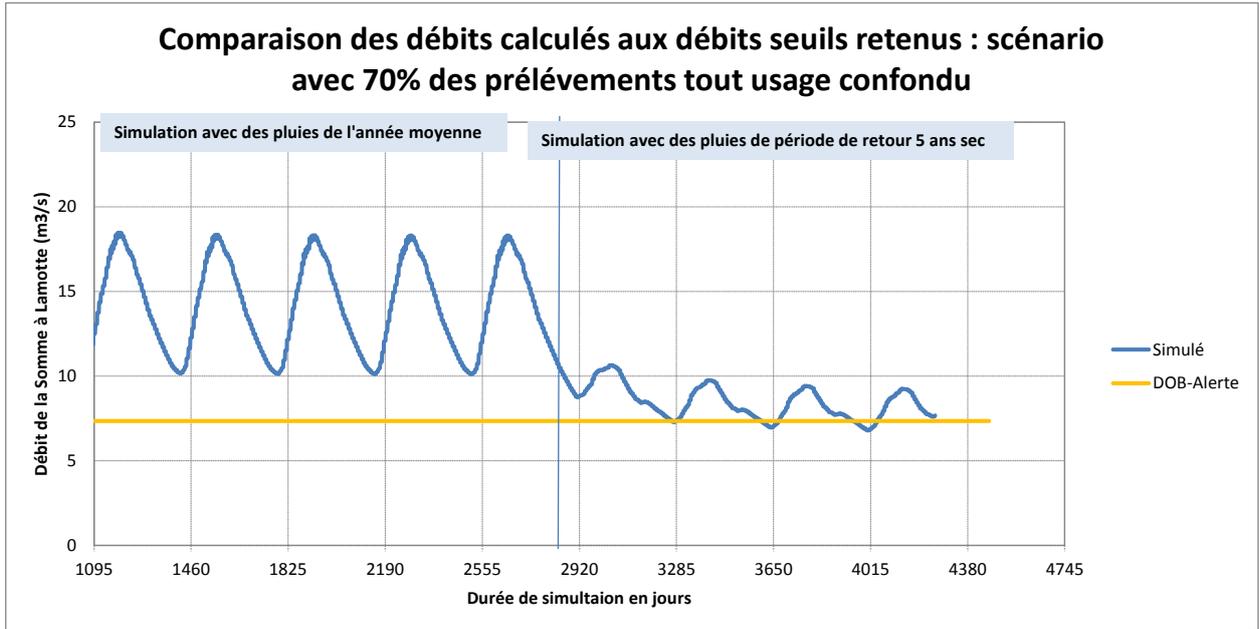


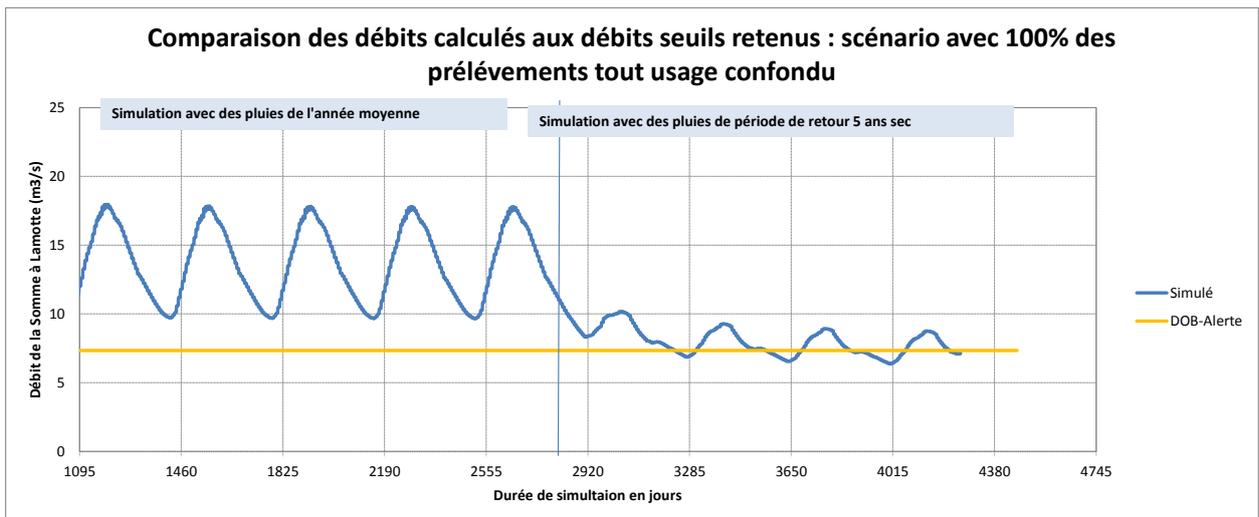
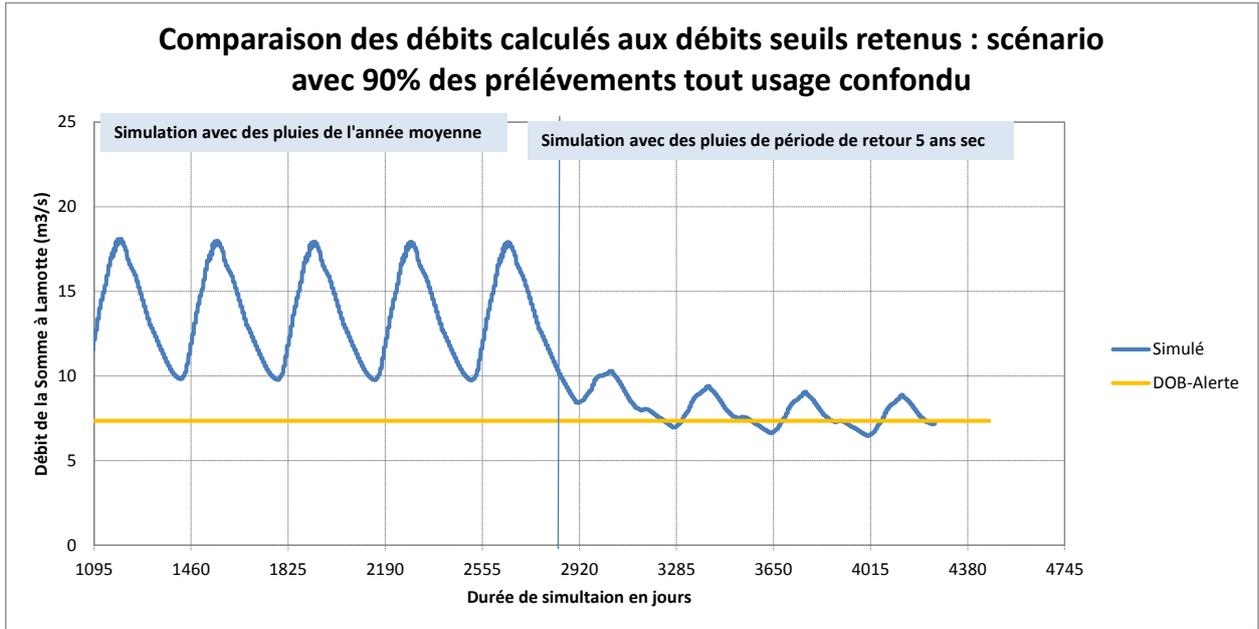


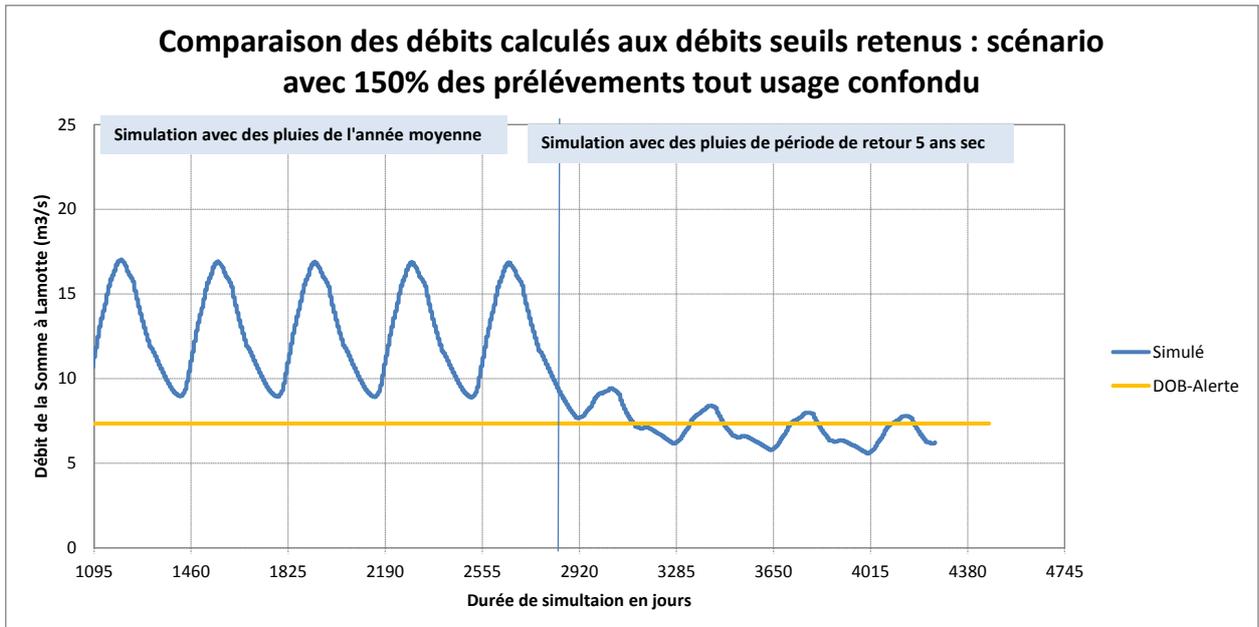
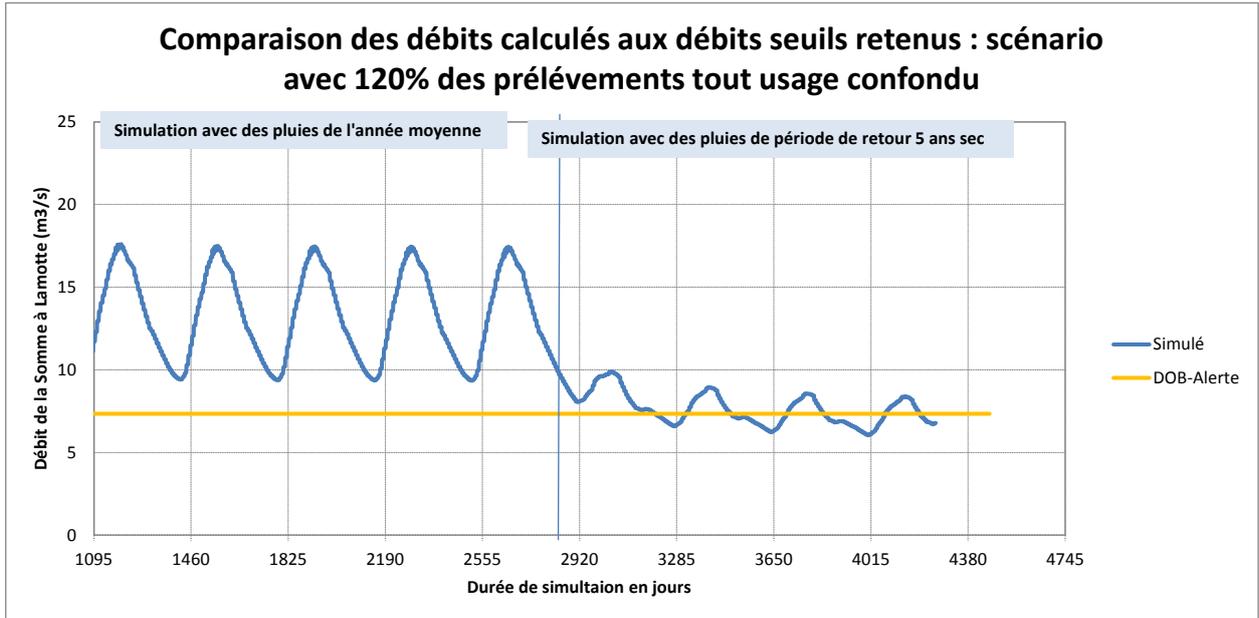
### 3- Résultats obtenus pour l'unité de gestion « Somme amont »

#### Simulations non corrigés des écarts



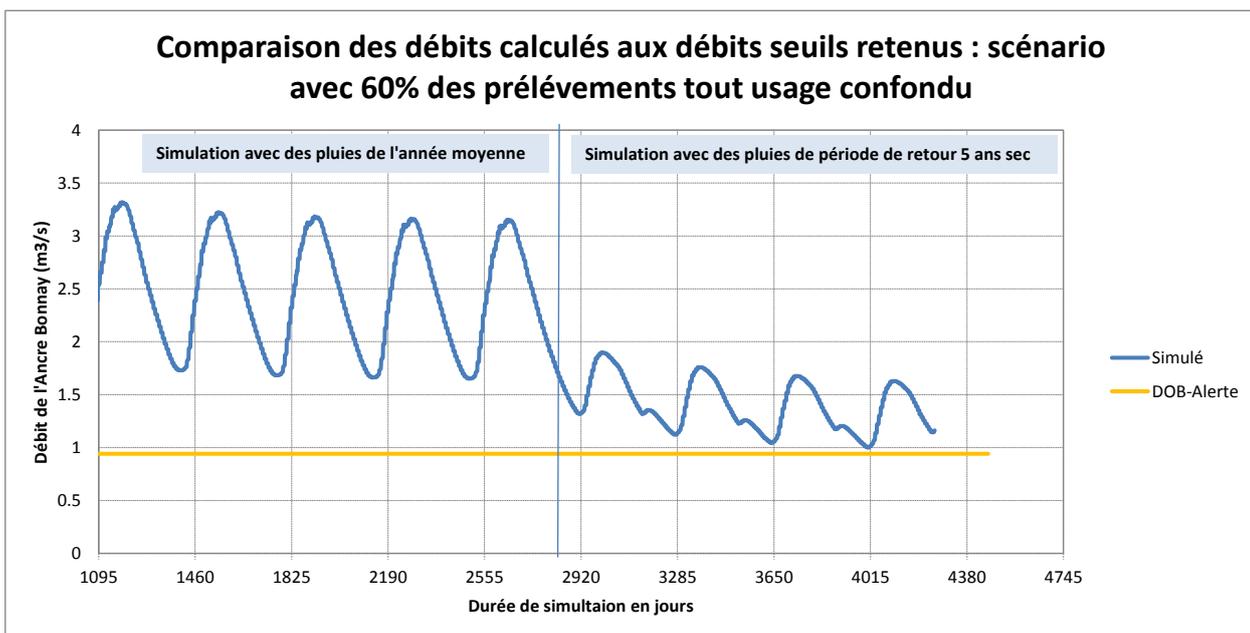
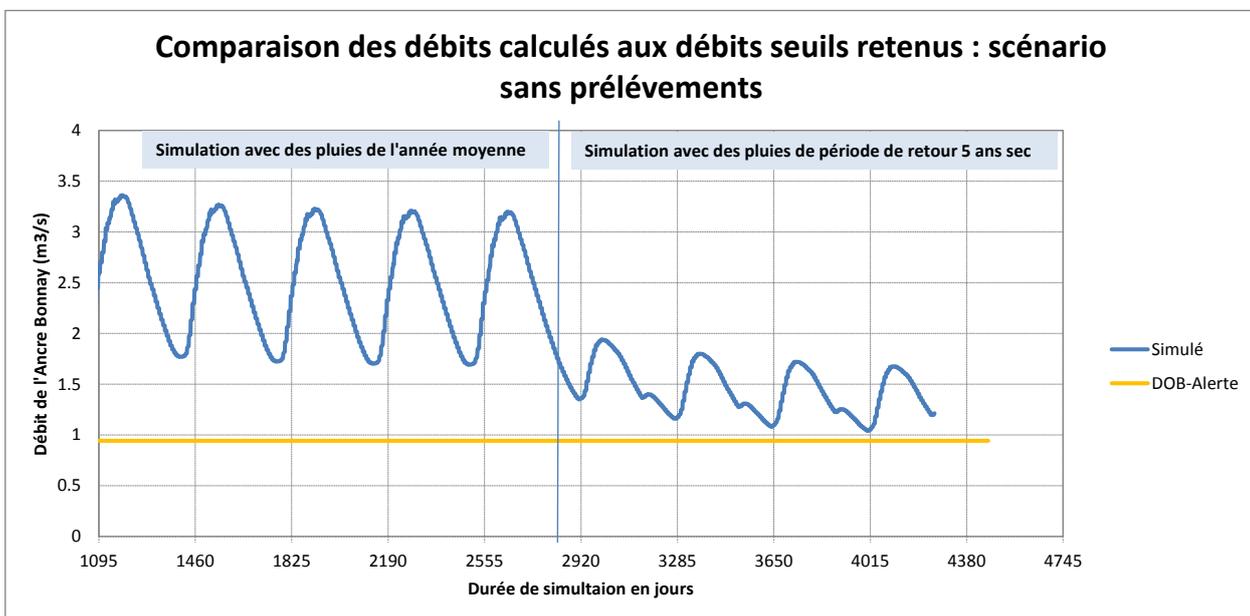


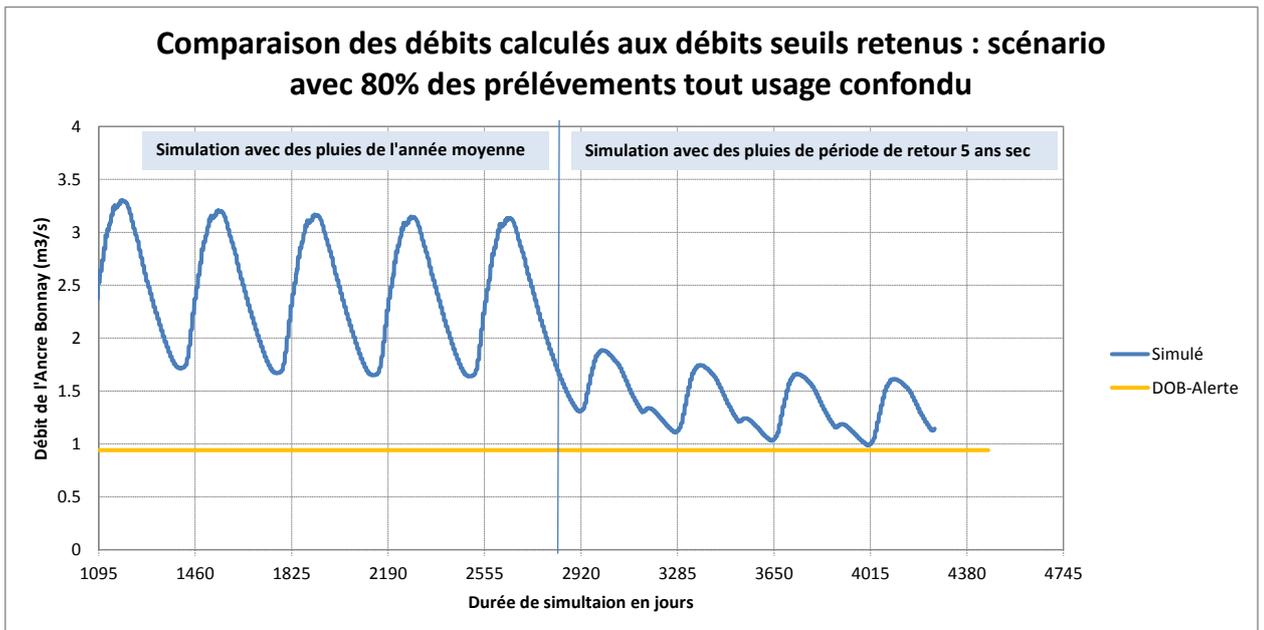
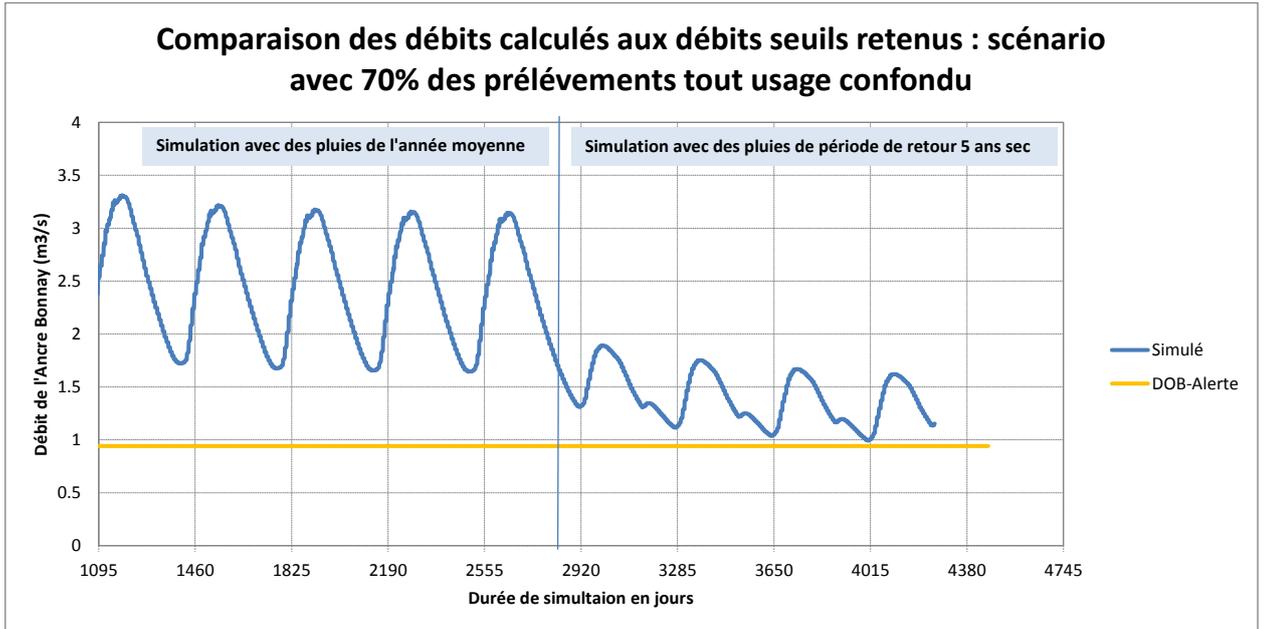


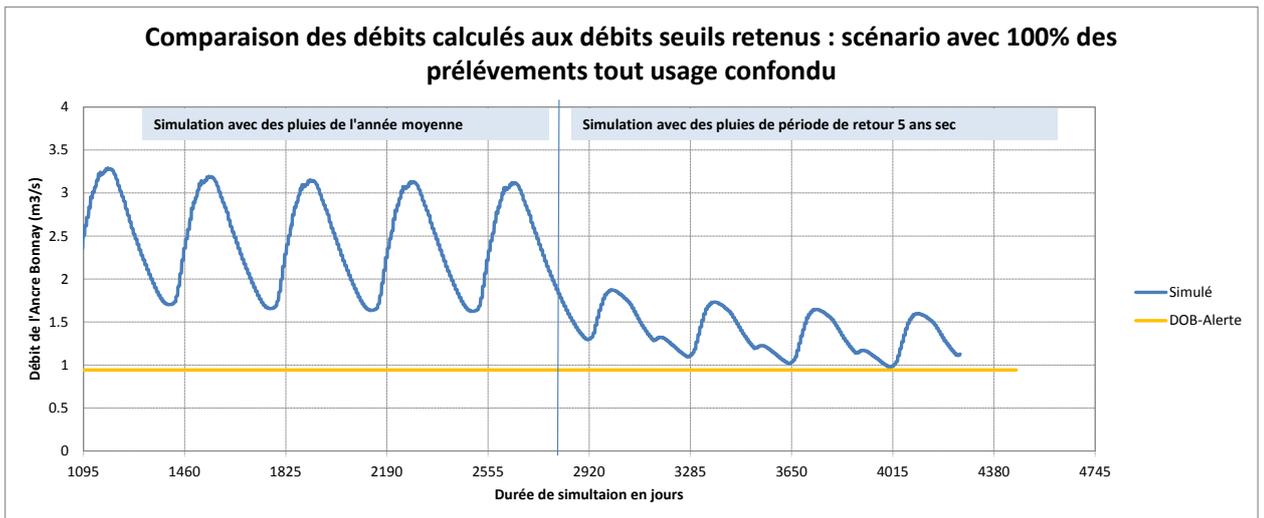
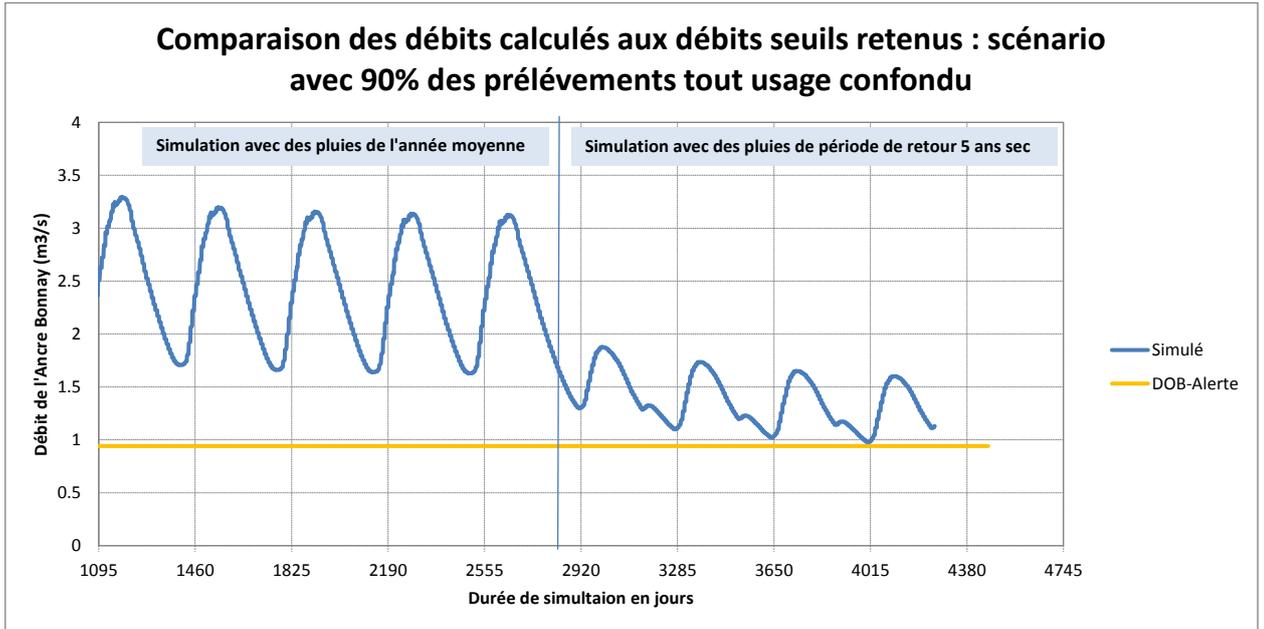


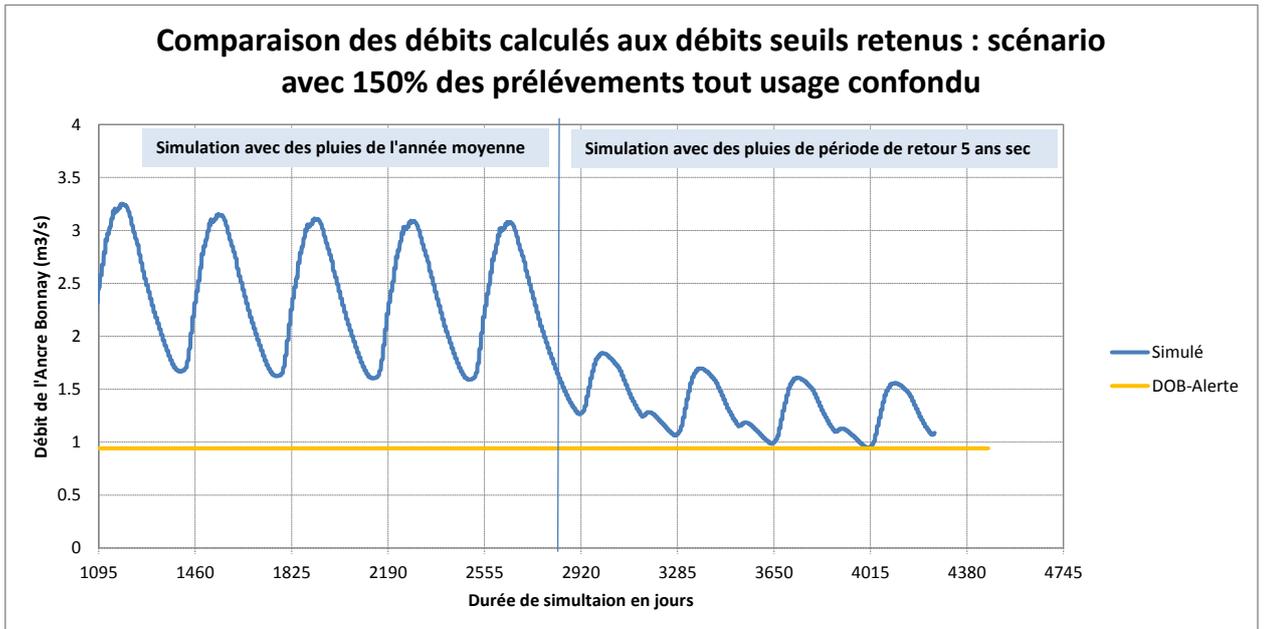
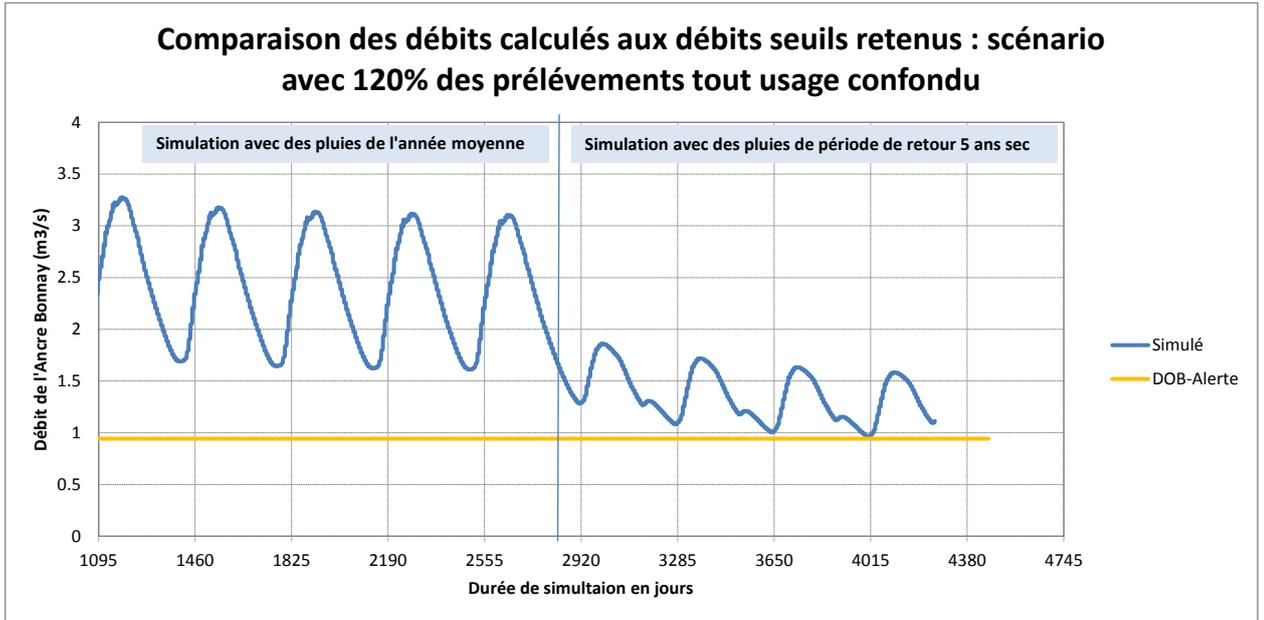
#### 4- Résultats obtenus pour l'unité de gestion « Ancre »

##### Simulations non corrigés des écarts



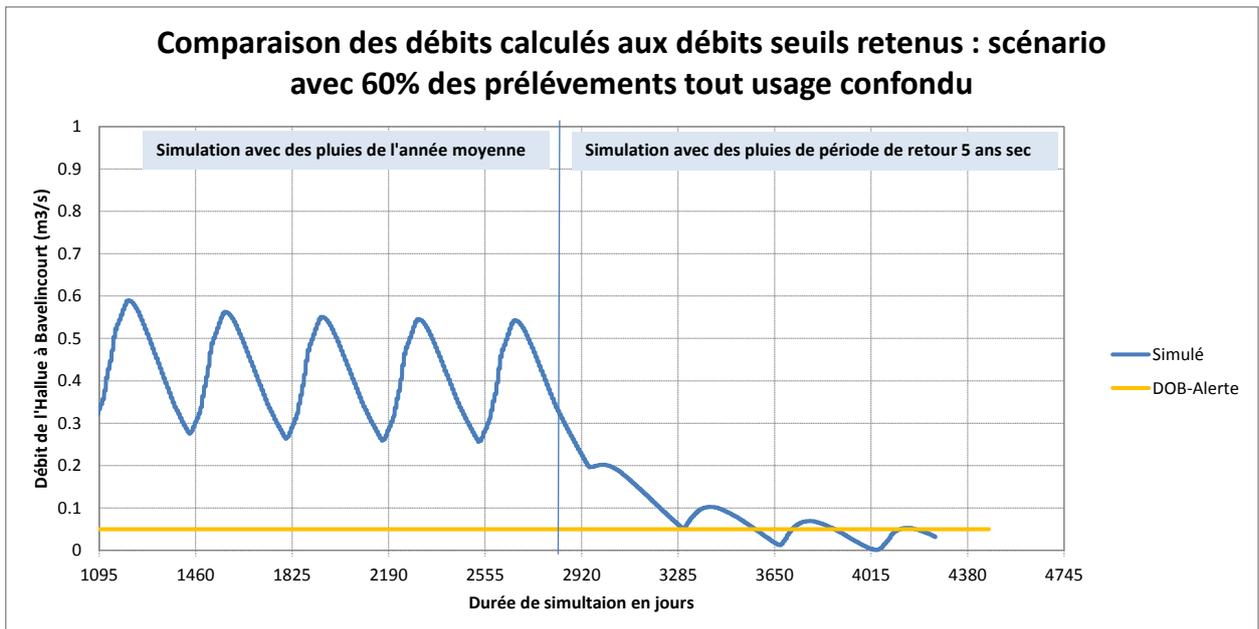
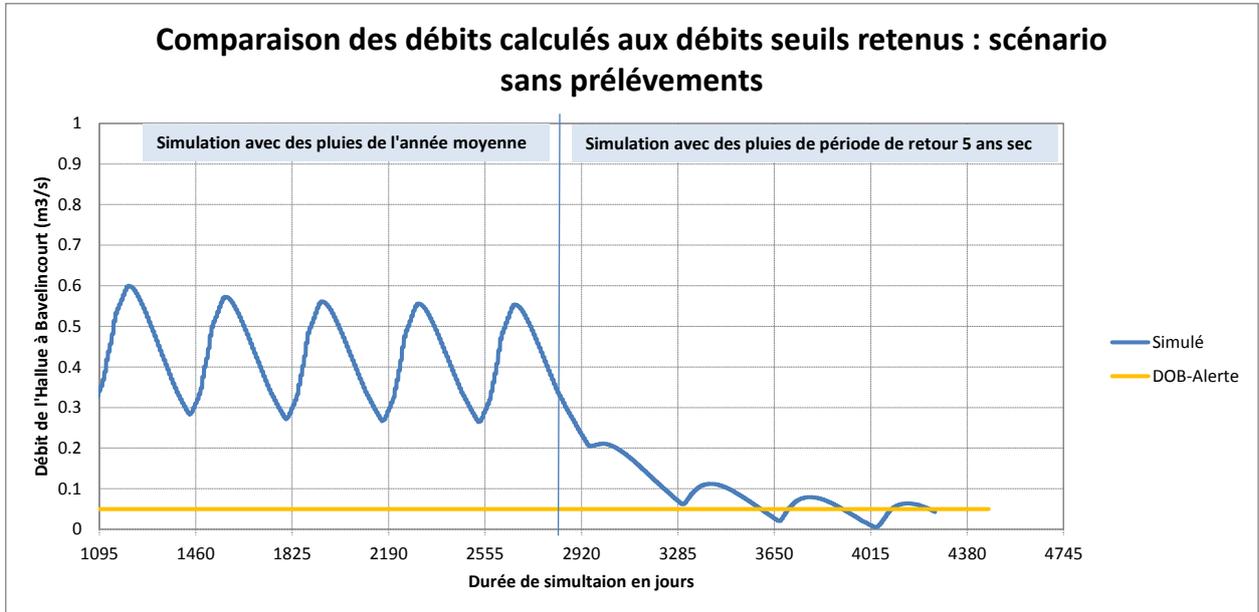


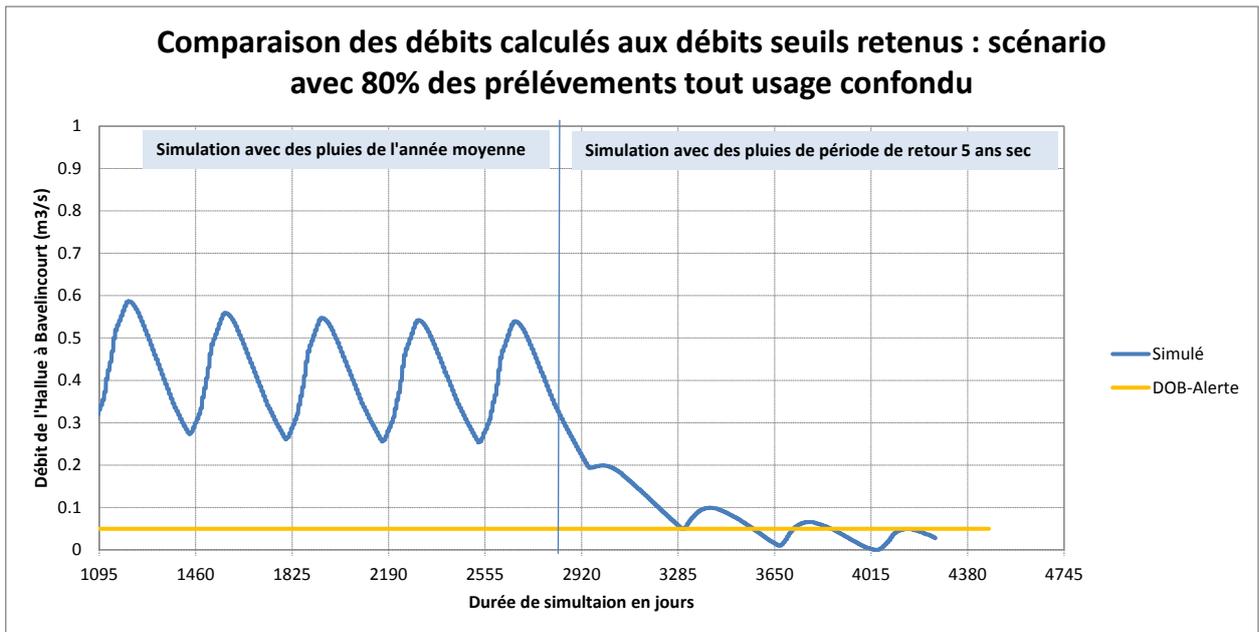
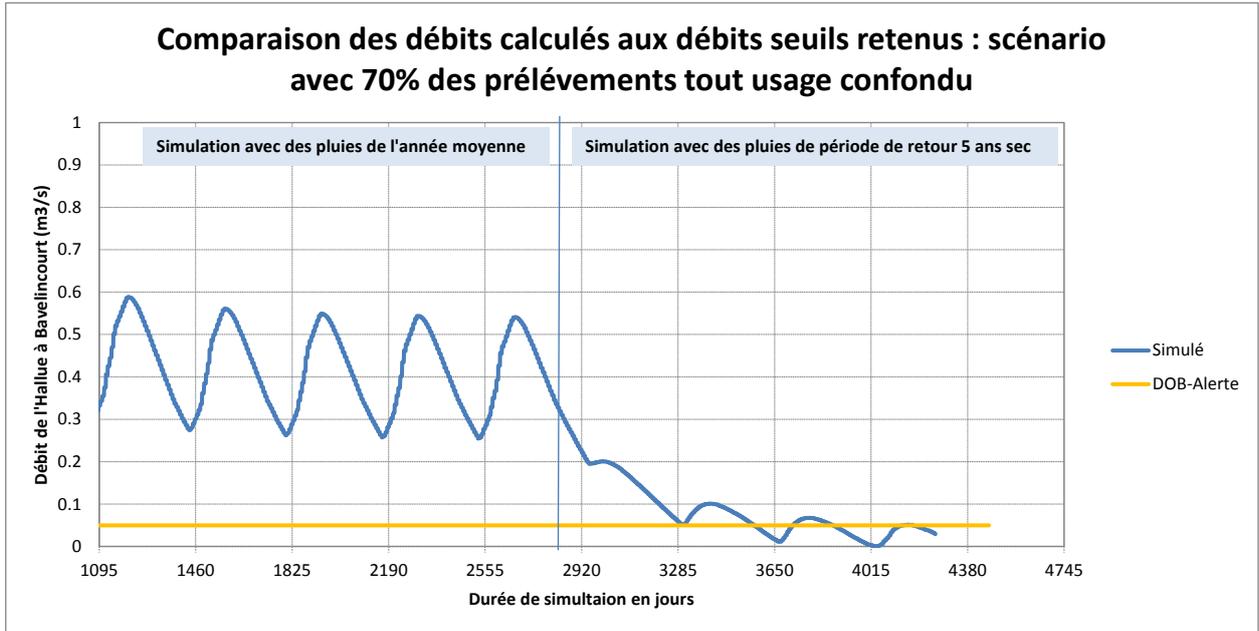


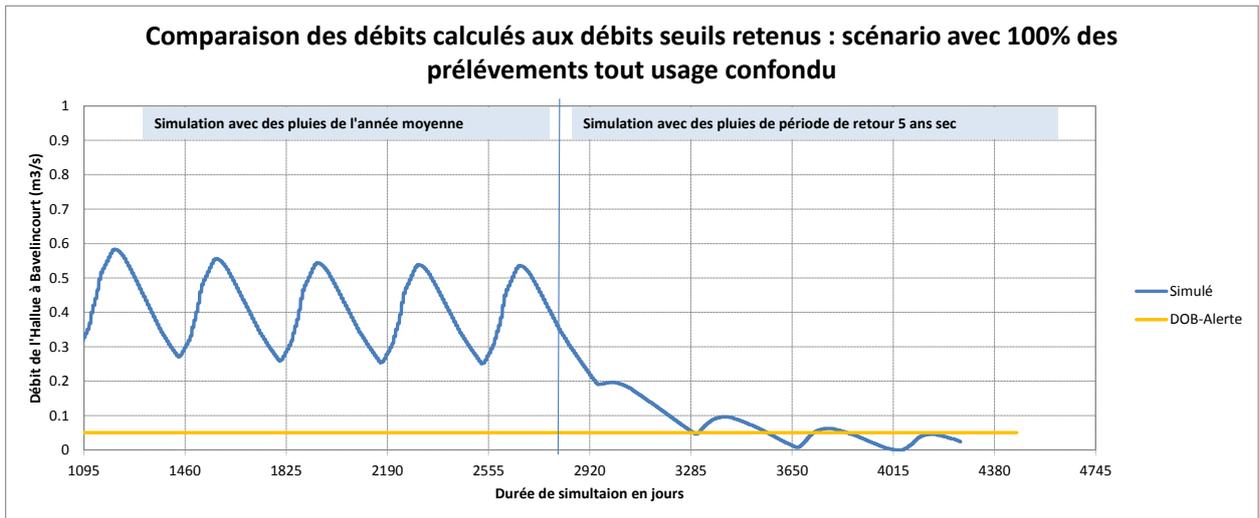
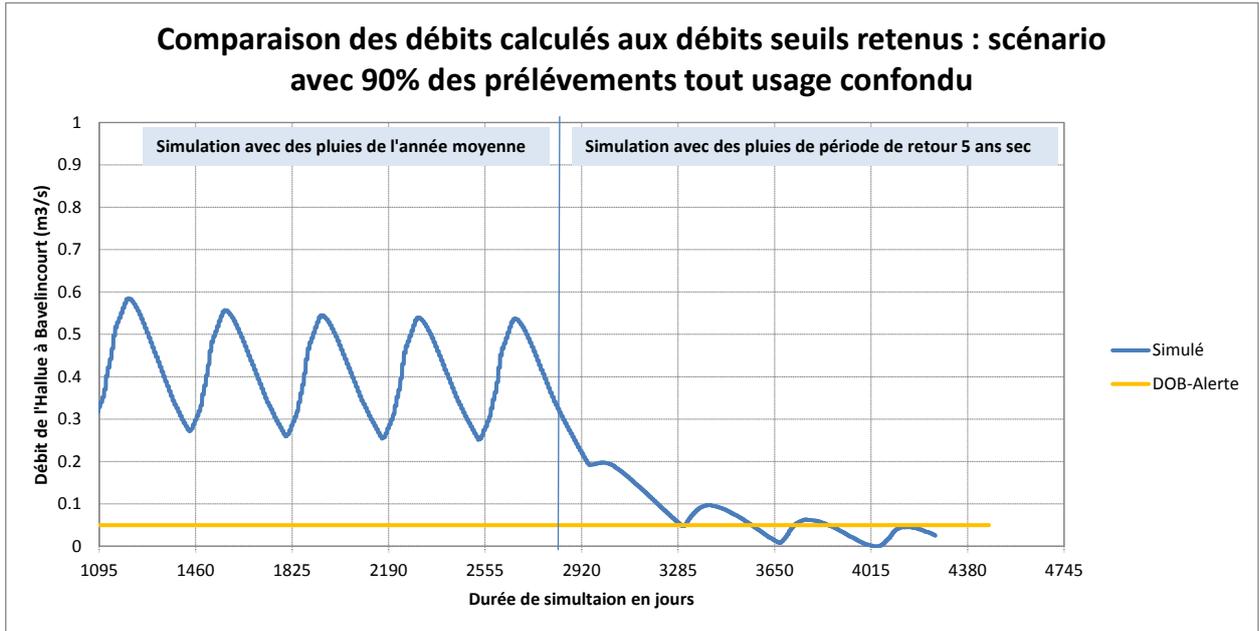


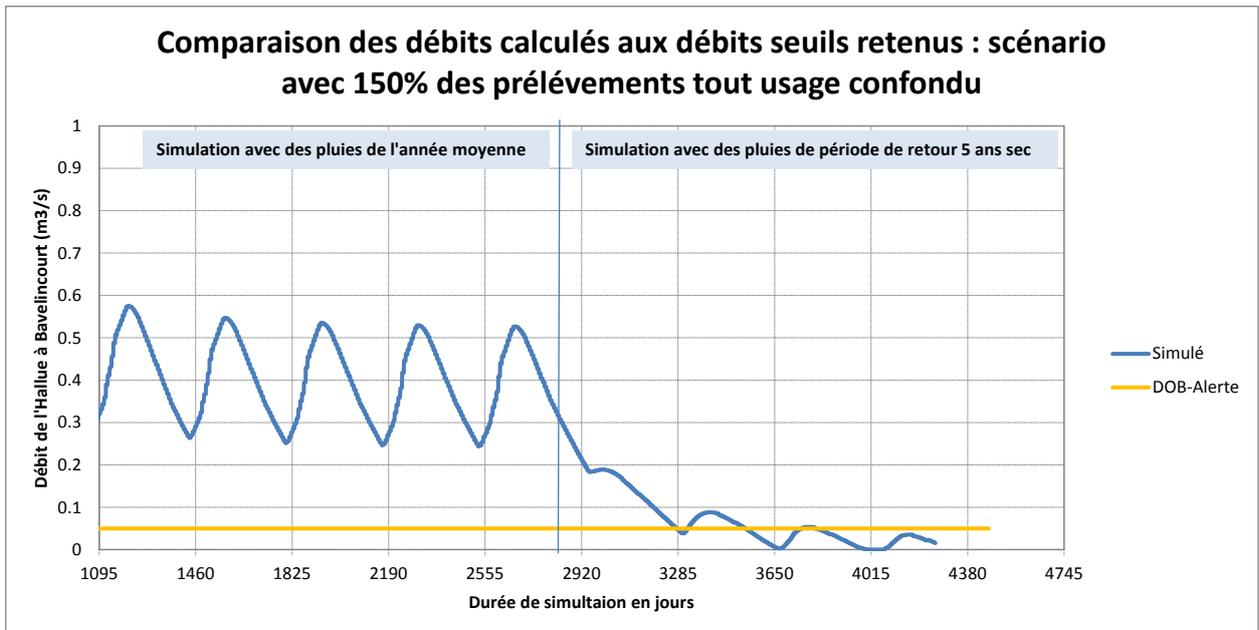
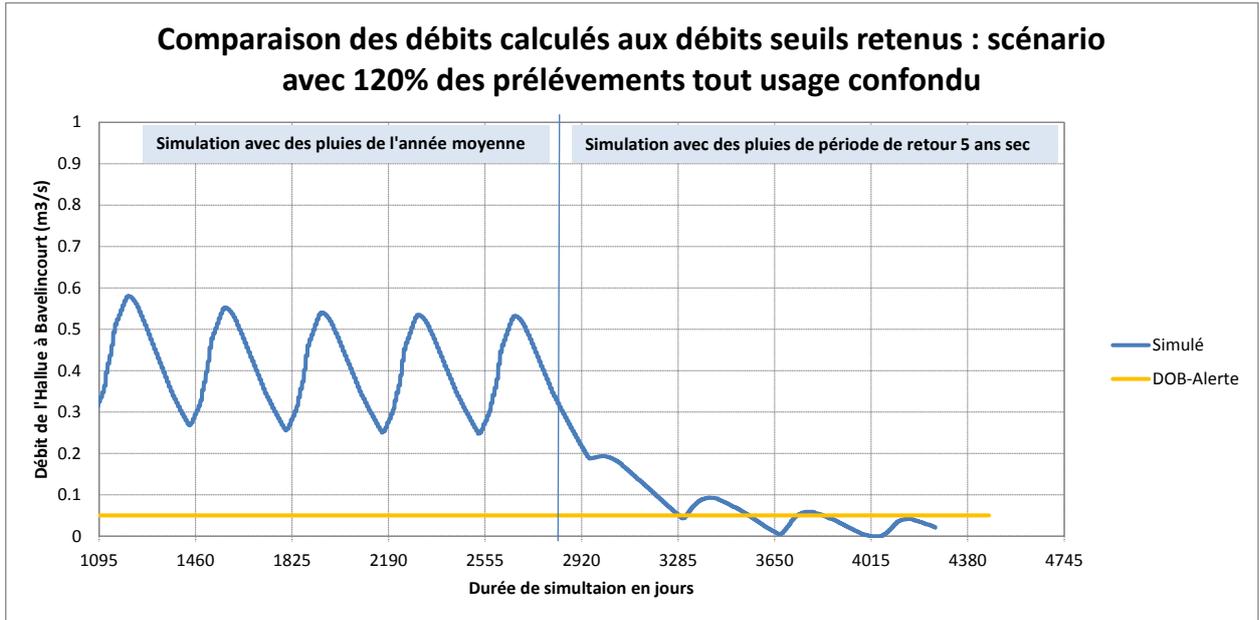
**5- Résultats obtenus pour l'unité de gestion « Nièvre-Hallue »**

**Résultats Hallue : Simulations non corrigés des écarts**

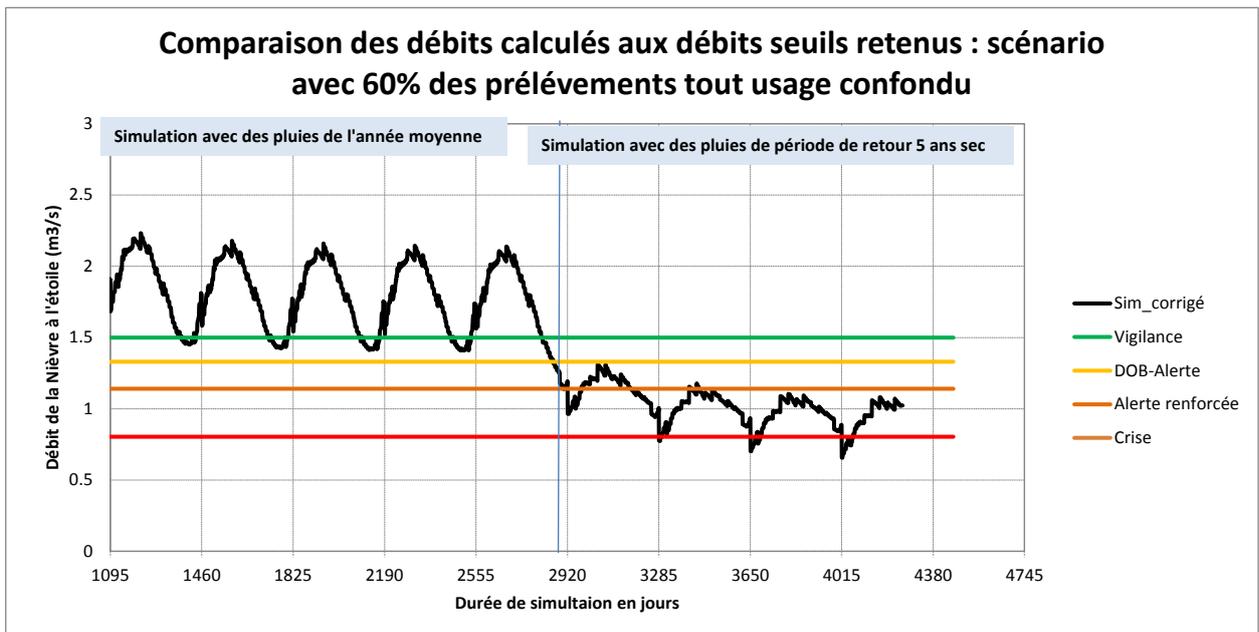
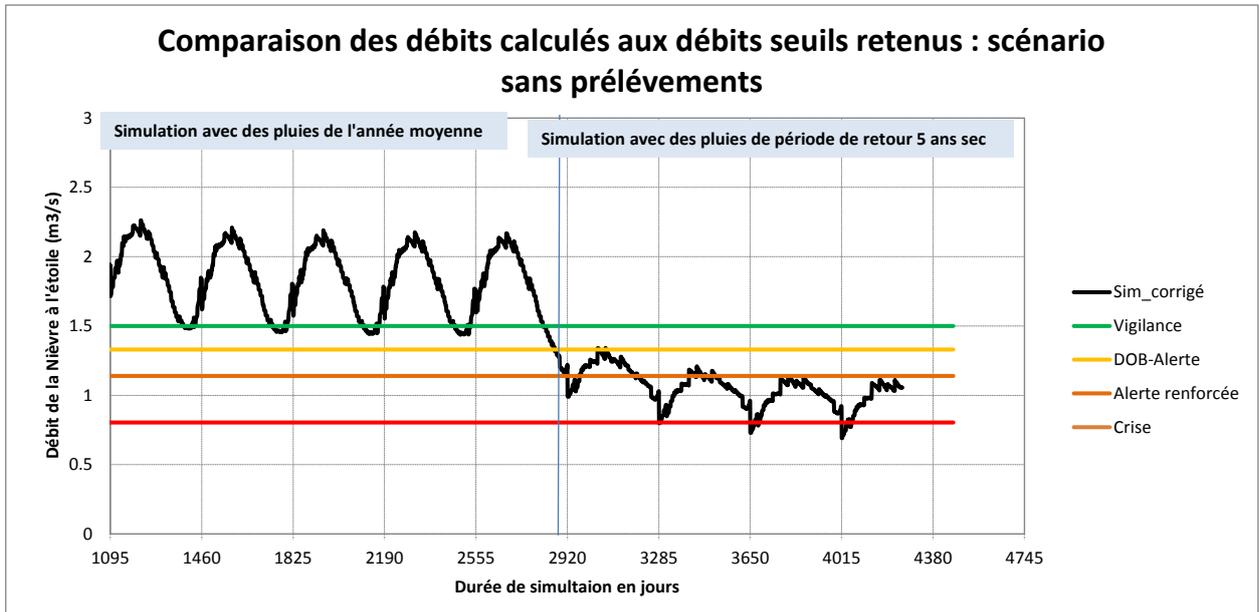


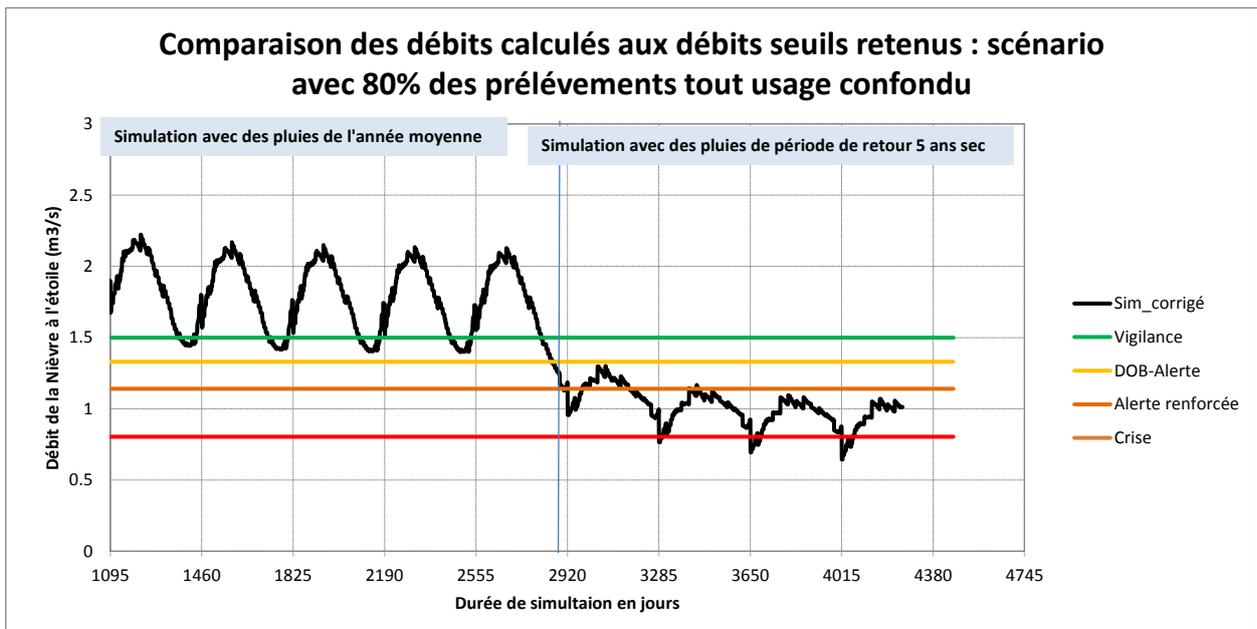
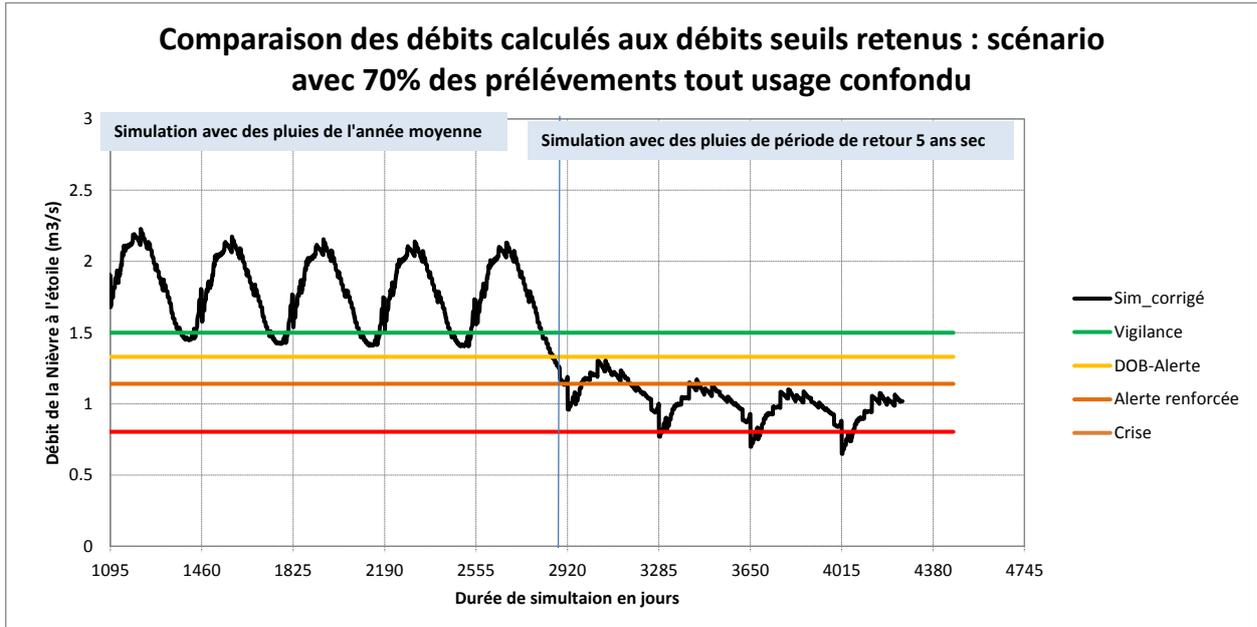


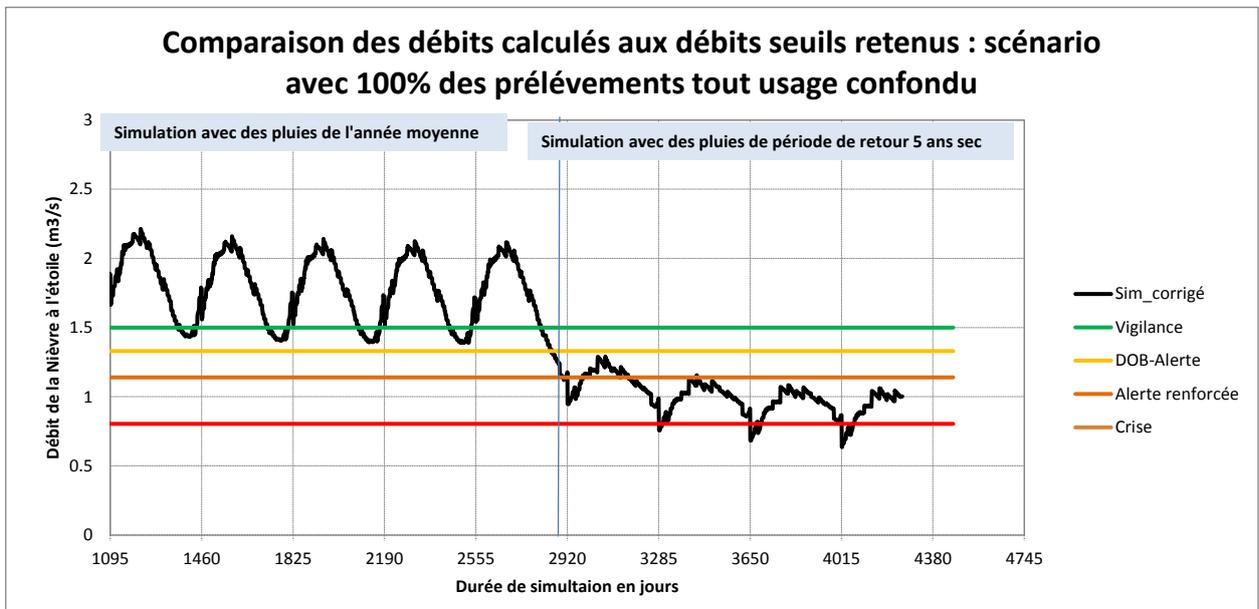
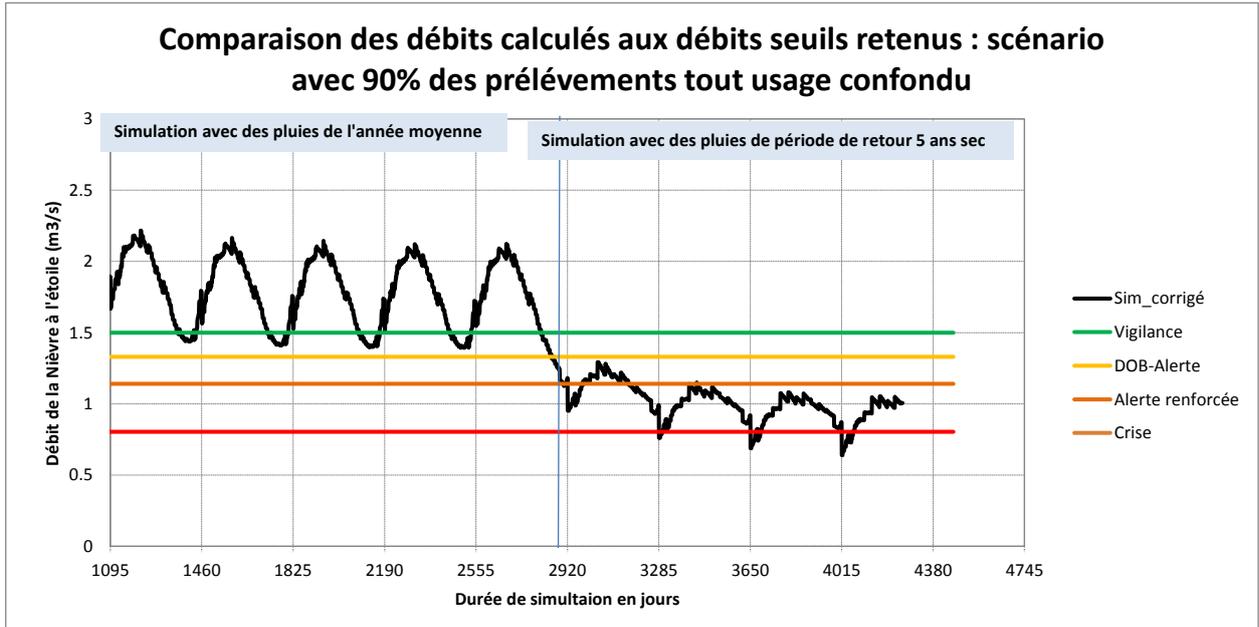


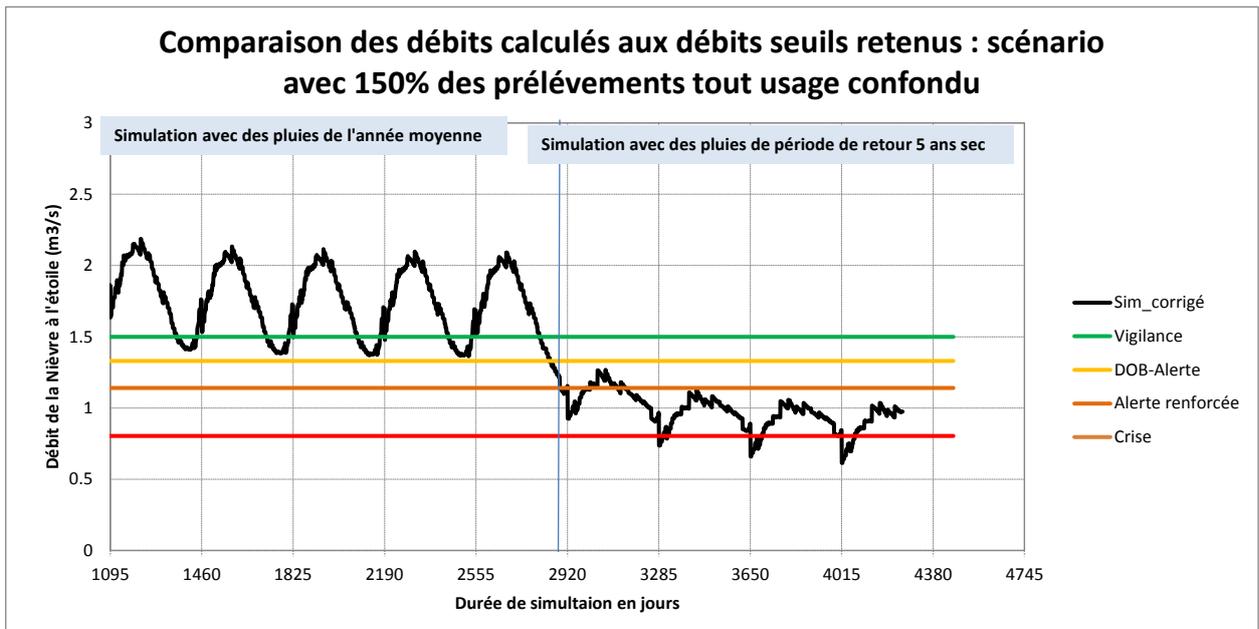
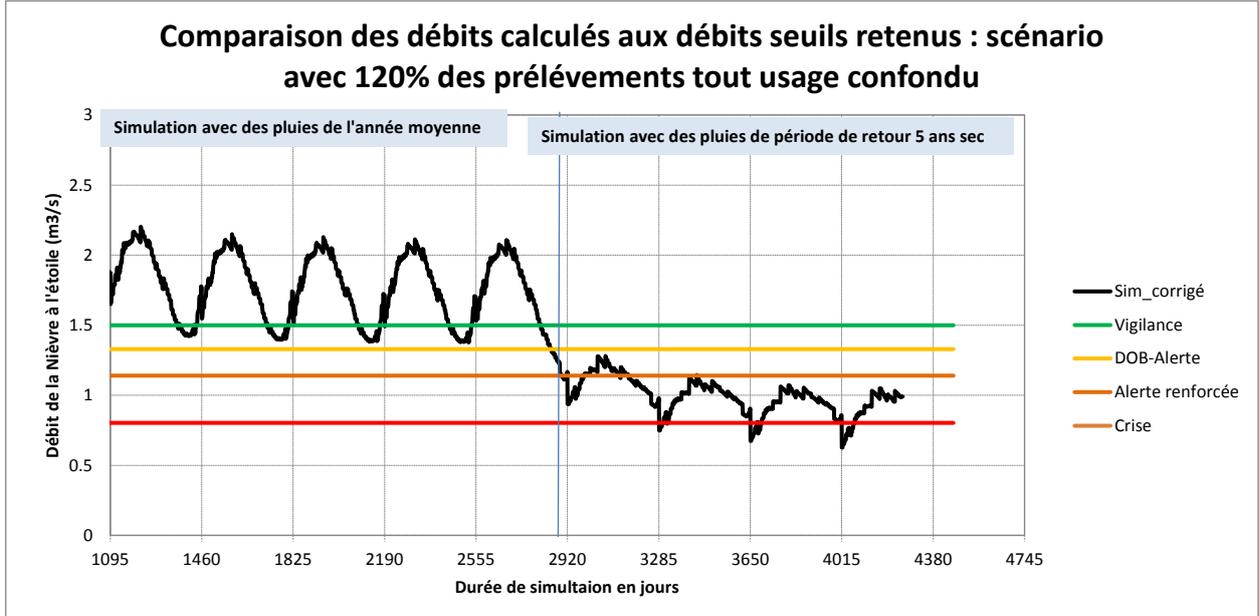


**Bassin de la Nièvre**



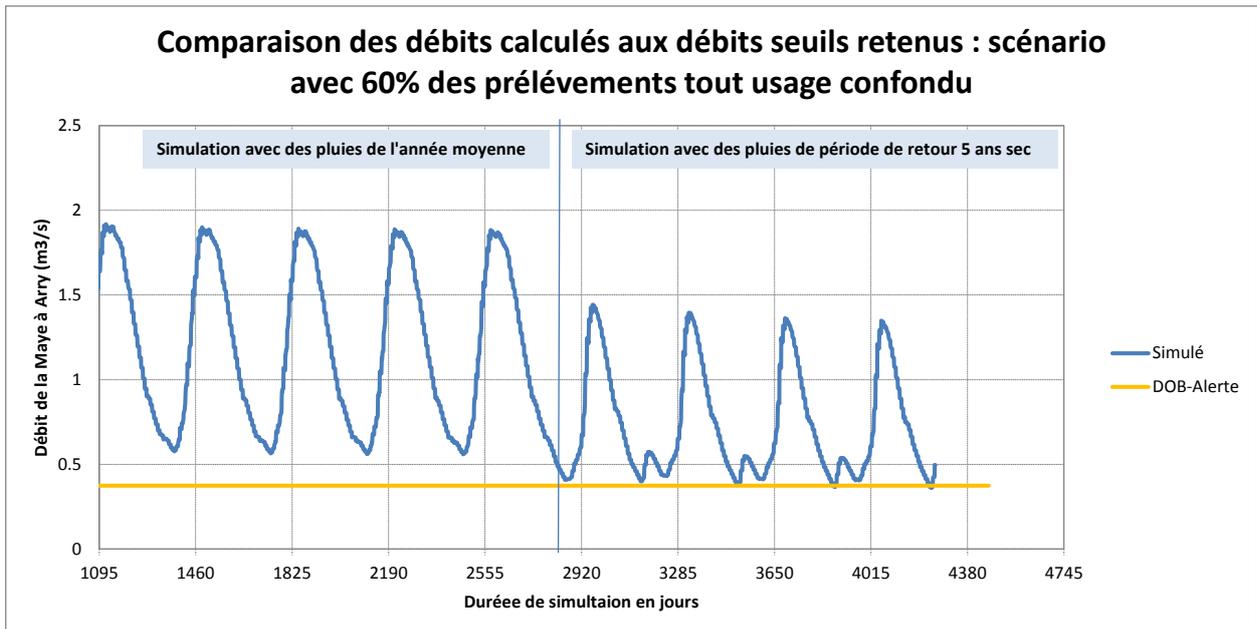
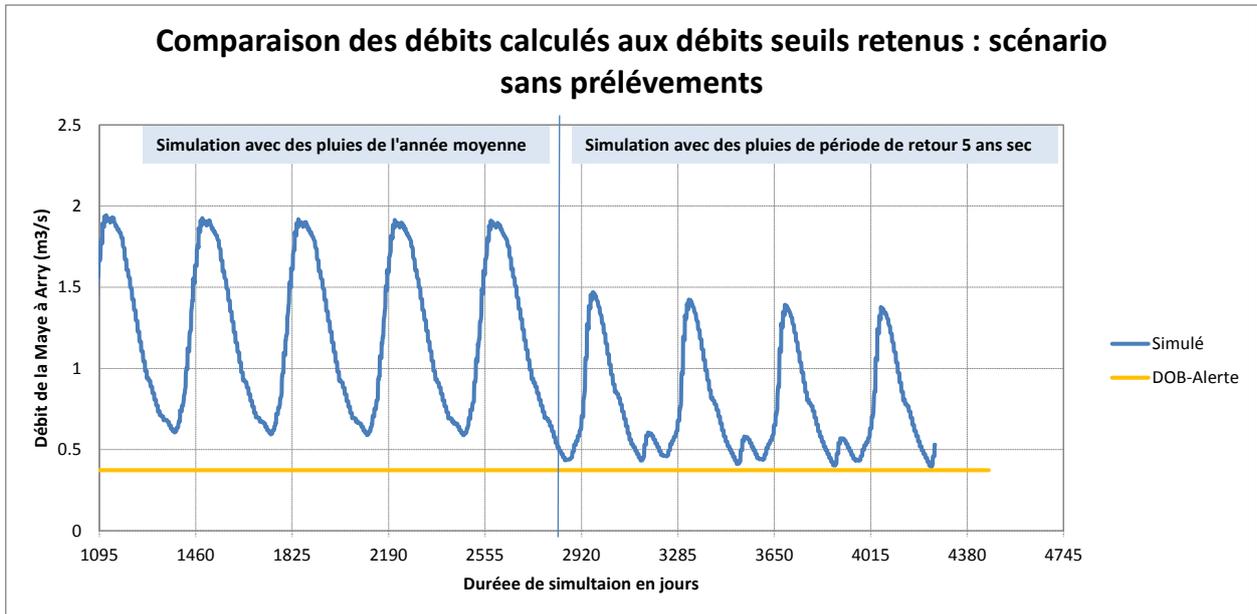


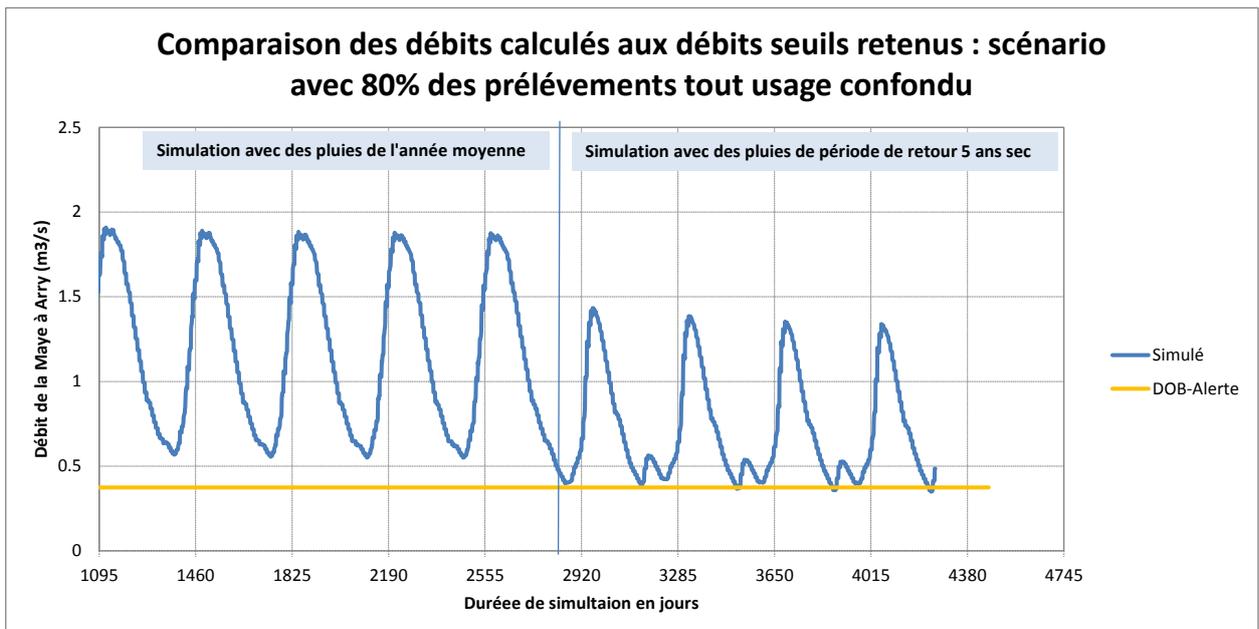
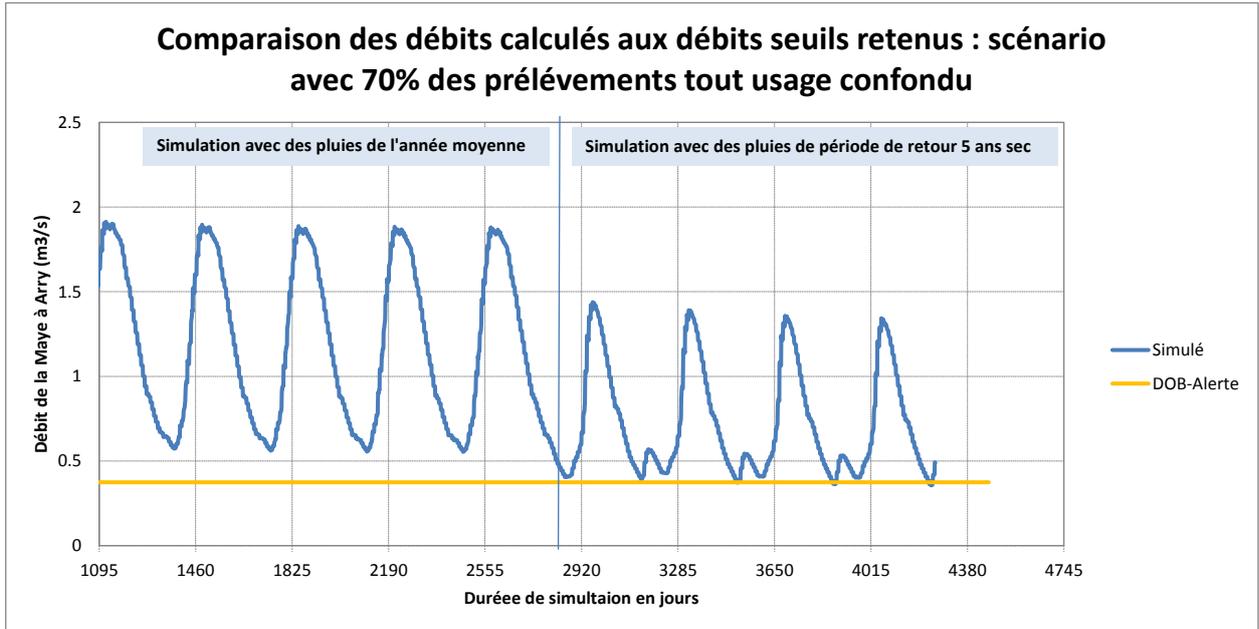


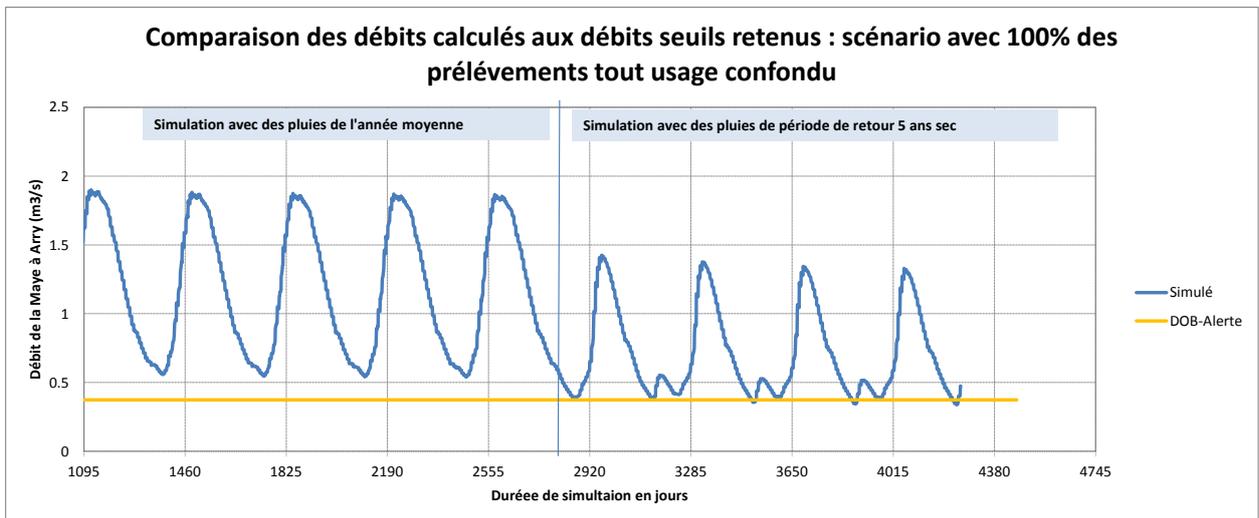
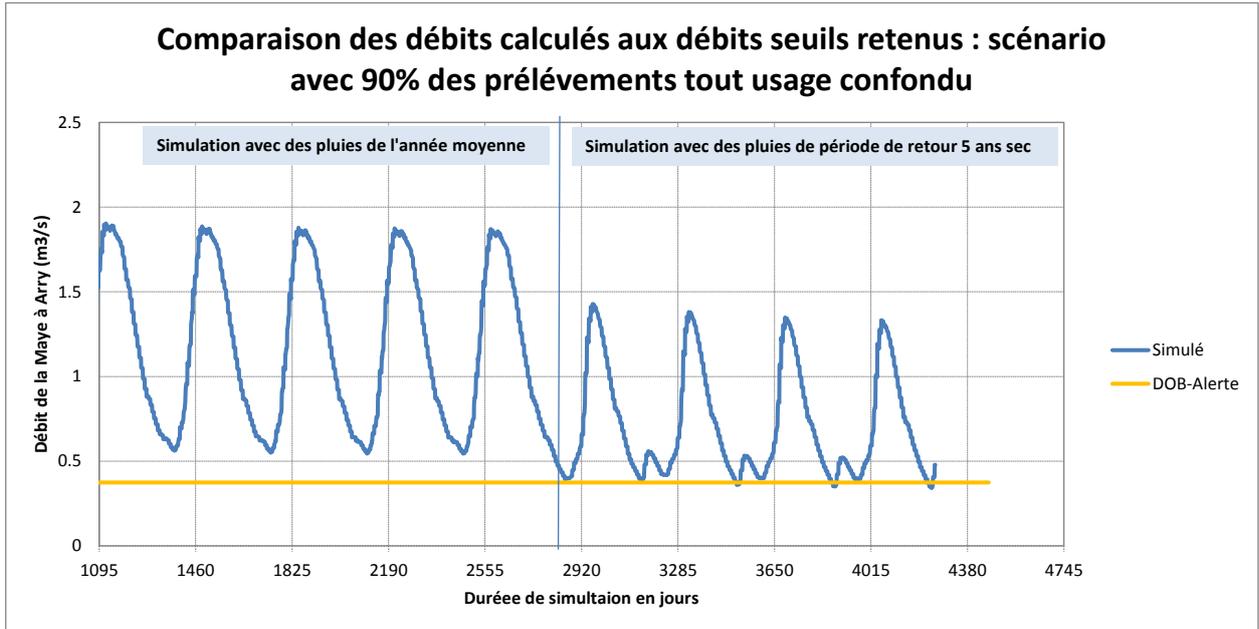


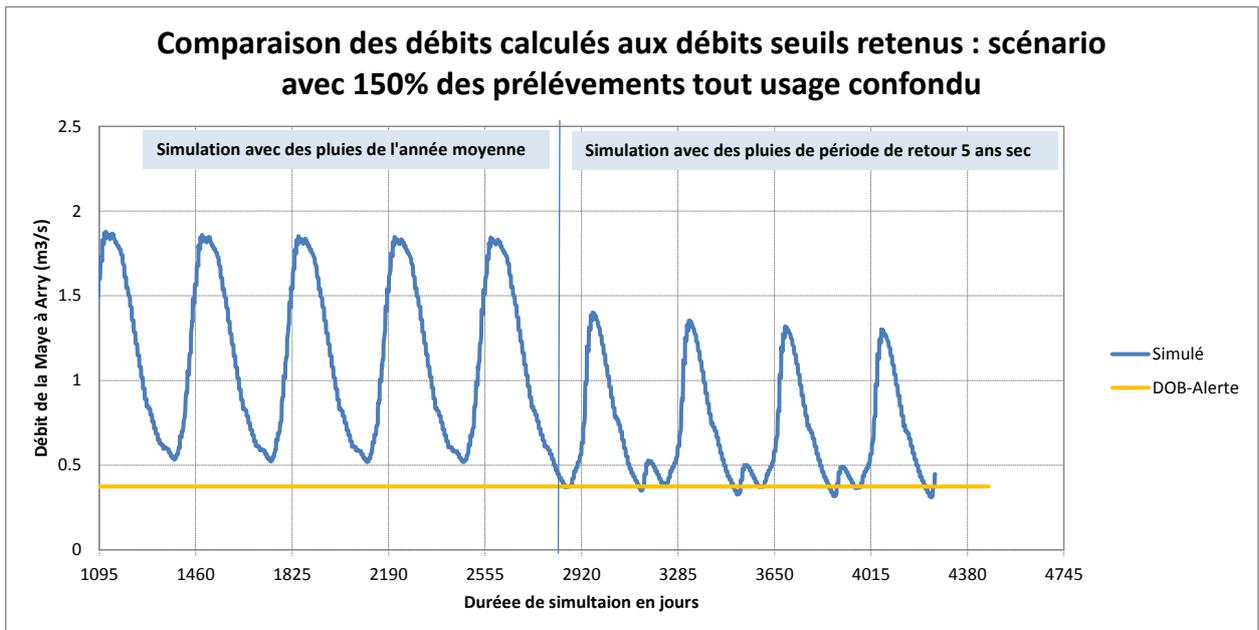
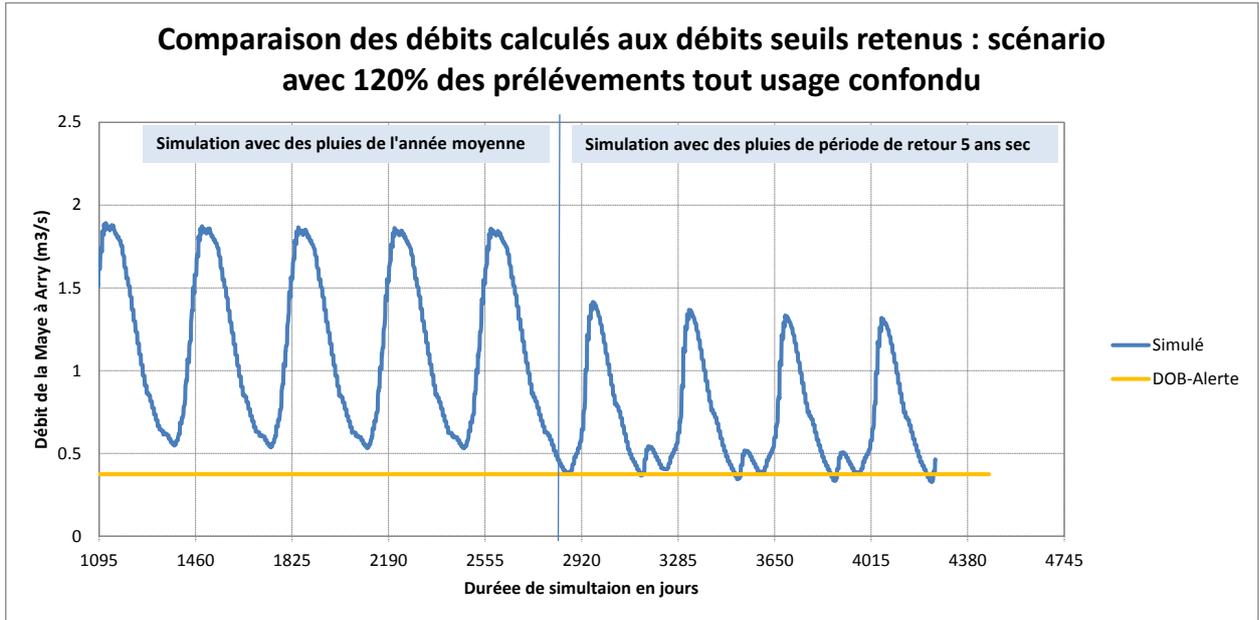
## 6- Résultats obtenus pour l'unité de gestion « Maye »

### Simulations non corrigés des écarts











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

**Direction Régionale Picardie**  
Polytech de Rivery  
7, rue Anne Frank  
80136 RIVERY – France  
Tél. : 03 22 91 42 47