

**évision des niveaux piézométriques
et des débits d'étiage de 2013 sur
quatre bassins versants en Picardie**

Rapport final

BRGM/RP-62449-FR
juin 2013

BRGM/RP-62449-FR
juin 2013

Prévision des niveaux piézométriques et des débits d'étiage de 2013 sur quatre bassins versants en Picardie

Rapport final

BRGM/RP-62449-FR

Juin 2013

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 13RSE1510

V. BAULT, H. BESSIERE

Vérificateur :

Nom : D. ALLIER

Date : 01/07/2013

Signature :



Approbateur :

Nom : D. MATON

Date : 03/07/2013

Signature :



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

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

Mots-clés : Prévision, étiage, modélisation, modèle TEMPO©, bassin versant, nappe, débit, niveau piézométrique, Seine-Normandie, Picardie.

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

Bault V. et Bessière H. (2013) – Prévision des niveaux piézométriques et des débits d'étiage de 2013 sur quatre bassins versants en Picardie. Rapport final. BRGM/RP-62449-FR, 116 p., 87 ill., 18 tabl., 1 ann., 1 CD.

Synthèse

Du fait d'une succession d'années relativement sèches en Picardie, l'Agence de l'eau Seine-Normandie, la DREAL et les DDT(M) de Picardie souhaitent mettre en place des outils de prévision permettant d'anticiper des situations de sécheresse. En analysant les chroniques piézométriques mesurées et les débits des cours d'eau et en modélisant les systèmes, il est possible de prévoir, dès la fin de la recharge hivernale, les évolutions possibles des niveaux de nappe et les débits durant la période d'étiage 2013. Cette étude fait suite à celle réalisée en 2012 concernant la prévision des niveaux piézométriques et des débits d'étiage de 11 bassins versants en Picardie (rapport BRGM/RP-61164-FR, juin 2012).

Dans le cadre de cette étude, le comité de pilotage, composé de l'Agence de l'eau Seine-Normandie, de la DREAL, des DDT(M) et du BRGM de Picardie, a choisi de se focaliser sur quatre bassins versants : le Matz, la Bresle, la Brèche et l'Esches. Pour chaque bassin versant, la prévision du débit du cours d'eau à l'exutoire du bassin et d'un niveau piézométrique a été effectuée à l'aide du logiciel TEMPO© développé par le BRGM.

Cette note présente la description de la méthode (calage des modèles, fonctions de transferts, simulations). Le contexte hydrogéologique de chaque bassin versant traité y est également décrit, de manière à s'assurer de la cohérence des résultats du calage obtenus avec la réalité du terrain. La modélisation globale des écoulements est détaillée et un regard est porté sur la qualité du calage obtenue.

Les modélisations effectuées permettent d'avancer des hypothèses sur le comportement de la nappe, les échanges nappe/rivière et la répartition entre écoulements lents et rapides au niveau du bassin versant. Des graphiques issus des modélisations illustrent ces hypothèses et ont été systématiquement ajoutés au rapport.

Enfin, les résultats de prévisions sont interprétés et comparés aux seuils sécheresse, définis dans les arrêtés préfectoraux de la Somme en date du 26/03/2012, de l'Oise en date du 02/05/2012 et de la Seine-Maritime en date du 13/04/2012.

L'utilisation du logiciel TEMPO© permet, après calage, de réaliser des prévisions de niveau piézométrique et de débits de manière relativement fiable avec une précision acceptable pour l'ensemble des bassins versants étudiés. Malgré tout, les fluctuations des influences météorologiques, les incertitudes sur les données et les limites « techniques » des modèles font que des incertitudes non négligeables peuvent perdurer.

Sur chacun des bassins versants étudiés, les prévisions fournissent un résultat identique pour les niveaux piézométriques : **quelle que soit la pluviométrie à venir, les niveaux piézométriques ne devraient pas passer en dessous des seuils de vigilance en 2013.**

La situation des débits des cours d'eau est plus contrastée. Pour la Brèche et la Bresle, selon les prévisions réalisées, les débits d'étiage devraient se maintenir à un niveau supérieur au seuil de vigilance, alors que pour l'Esches, le seuil d'alerte voire d'alerte renforcée risque d'être atteint. Quant aux débits du Matz, étant données les incertitudes sur les données, les prévisions restent délicates à interpréter.

Sommaire

1. Introduction	11
1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE.....	11
1.2. OBJECTIF DE L'ETUDE	11
1.3. DEMARCHE DE L'ETUDE.....	12
1.4. LIMITES DE L'ETUDE	15
2. Modèle TEMPO©.....	17
2.1. LE MODELE GLOBAL TEMPO©	17
2.1.1. Modélisation des niveaux de nappes et de débits	17
2.1.2. Prévision des niveaux de nappes et des débits	19
2.2. BASSIN VERSANT DU MATZ	24
2.2.1. Contexte géographique et hydrographique	24
2.2.2. Contexte géologique et hydrogéologique	24
2.2.3. Pluviométrie.....	26
2.2.4. Relations nappe-rivières	27
2.2.5. Niveaux piézométriques	31
2.2.6. Corrélation des données niveau / débit.....	32
2.2.7. Prélèvements.....	34
2.2.8. Comparaison des prévisions des niveaux et débits observés en 2012	36
2.2.9. Modélisation globale	39
2.3. BASSIN VERSANT DE LA BRECHE	47
2.3.1. Contexte géographique et hydrographique	47
2.3.2. Contexte géologique et hydrogéologique	48
2.3.3. Pluviométrie.....	49
2.3.4. Relations nappe-rivières	50
2.3.5. Niveaux piézométriques	50
2.3.6. Corrélation des données niveau / débit.....	52
2.3.7. Prélèvements.....	54
2.3.8. Modélisation globale	56
2.4. BASSIN VERSANT DE LA BRESLE.....	67
2.4.1. Contexte géographique et hydrographique	67
2.4.2. Contexte géologique et hydrogéologique	68
2.4.3. Pluviométrie.....	69
2.4.4. Relations nappe-rivières	70
2.4.5. Niveaux piézométriques	70

2.4.6. Corrélation des données niveau / débit	71
2.4.7. Prélèvements	73
2.4.8. Comparaison des prévisions et des niveaux et débits observés en 2012	74
2.4.9. Modélisation globale	77
2.5. BASSIN VERSANT DE L'ESCHES	87
2.5.1. Contexte géographique et hydrographique.....	87
2.5.2. Contexte géologique et hydrogéologique	88
2.5.3. Pluviométrie	89
2.5.4. Relations nappe-rivières.....	89
2.5.5. Niveaux piézométriques	90
2.5.6. Corrélation des données niveau / débit	91
2.5.7. Prélèvements	92
2.5.8. Modélisation globale	95
3. Conclusion	104
4. Bibliographie.....	107

Liste des illustrations

Illustration 1 - Localisation des bassins versants étudiés.....	12
Illustration 2 - Exemple d'hydrosystème modélisable par TEMPO©.....	17
Illustration 3 - Les modèles construits avec TEMPO© sont du type « boîte noire ».	18
Illustration 4 - Calculs de débits à partir de scénarios climatiques.....	20
Illustration 5 - Calculs de niveaux à partir de scénarios climatiques.	21
Illustration 6 - Courbe de fréquence cumulée.	21
Illustration 7 - Exemple de prévision fournie par TEMPO©.....	22
Illustration 8 - Exemple de décomposition de la chronique de débit proposée par TEMPO©.	23
Illustration 9 - Localisation du bassin du Matz (contour marron).....	24
Illustration 10 – Débit spécifique de la Divette, de l'Aronde et du Matz.	28
Illustration 11 – Corrélogramme croisé des débits du Matz avec les débits de l'Aronde et de la Divette.	29
Illustration 12 – Débits journaliers reconstitués et jaugeages du Matz.	30
Illustration 13 - Fluctuations des niveaux piézométriques dans le bassin du Matz.....	31
Illustration 14 – Comblement des lacunes de niveau à Cuvilly.	32
Illustration 15 - Fluctuations des niveaux piézométriques à Cuvilly et débits reconstitués du Matz.	33
Illustration 16 - Corrélogramme croisé des niveaux piézométriques à Cuvilly avec les débits du Matz reconstitués avec ceux de l'Aronde corrigés des prélèvements.....	34
Illustration 17 – Localisation des prélèvements dans le bassin du Matz.....	35
Illustration 18 – Evolutions des prélèvements en nappe sur le bassin du Matz par type d'usage.	36

Illustration 19 – Prévision des débits décennaires du Matz à partir du 01/04/2012.....	37
Illustration 20 – Prévision des niveaux piézométriques décennaires à partir du 01/04/2012 au piézomètre de Cuvilly.	38
Illustration 21 – Calage du niveau piézométrique, en prenant en compte les prélèvements, sur le bassin du Matz.....	40
Illustration 22 – Fonctions de transfert permettant de reproduire le niveau piézométrique à Cuvilly.	40
Illustration 23 – Calage du débit du Matz, modèle et débits reconstitués.....	41
Illustration 24 – Validation du calage du niveau piézométrique de Cuvilly sur la période 1975-2013.	42
Illustration 25 – Validation du calage du débit du Matz sur la période 1976-2013.	42
Illustration 26 – Prévision des débits décennaires du Matz à partir du 01/05/2013 – Les prévisions sont représentées comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.....	43
Illustration 27 – Prévision des niveaux piézométriques décennaires à partir du 01/05/2013 au piézomètre de Cuvilly – Les prévisions sont représentées comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.....	44
Illustration 28 – Niveaux piézométriques et périodes de retour à Cuvilly.	44
Illustration 29 – Comparaison des prévisions des niveaux et des seuils sécheresse au piézomètre de Cuvilly.	46
Illustration 30 - Localisation du bassin de la Brèche.	47
Illustration 31 - Débits moyens mensuels de la Brèche à Nogent-sur-Oise calculés sur 45 ans (MEDDE, 2013).....	50
Illustration 32 - Fluctuations des niveaux piézométriques dans le bassin de la Brèche.	51
Illustration 33 – Comblement des lacunes de niveau à Catillon-Fumechon.	52
Illustration 34 - Fluctuations des niveaux piézométriques à Catillon-Fumechon avec les débits de la Brèche à Nogent-sur-Oise.	53
Illustration 35 - Corrélogramme croisé des niveaux piézométriques à Catillon-Fumechon avec les débits de la Brèche à Nogent-sur-Oise.....	53
Illustration 36 – Localisation des prélèvements dans le bassin de la Brèche.	55
Illustration 37 – Evolutions des prélèvements sur le bassin de la Brèche par type d'usage.	56
Illustration 38 – Calage du niveau piézométrique mesuré à Catillon-Fumechon (bassin de la Brèche).	57
Illustration 39 – Fonctions de transfert permettant de reproduire le niveau à Catillon-Fumechon.	58
Illustration 40 – Calage du débit de la Brèche, modèle et observations.	58
Illustration 41 – Composantes du débit de la Brèche (déduites des différentes fonctions de transfert).	59
Illustration 42 – Composantes du débit moyen mensuel modélisé de la Brèche à Nogent-sur-Oise.....	60
Illustration 43 – Validation du calage du niveau piézométrique de Catillon-Fumechon sur la période 1975-2013.	61
Illustration 44 – Validation du calage du débit de la Brèche sur la période 1976-2013.	61
Illustration 45 – Prévision des débits décennaires à partir du 01/05/2013 à la station de Nogent-sur-Oise sur la Brèche– Les prévisions sont représentées comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.....	62

Illustration 46 – Prévision des niveaux piézométriques décennaires à partir du 01/05/2013 au piézomètre de Catillon-Fumechon– Les prévisions sont représentées comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.....	63
Illustration 47 – Niveaux piézométriques et périodes de retour à Catillon-Fumechon.....	64
Illustration 48 –Prévisions des débits et seuils sécheresse à la station de Nogent-sur-Oise.	65
Illustration 49 – Comparaison des prévisions des niveaux et des seuils sécheresse au piézomètre de Catillon-Fumechon.....	66
Illustration 50 - Localisation du bassin de la Bresle.	67
Illustration 51 - Débits moyens mensuels de la Bresle à Ponts-et-Marais calculés sur 15 ans (MEDDE, 2013).....	70
Illustration 52 - Fluctuations des niveaux piézométriques enregistrés à différents piézomètres du bassin de la Bresle.....	71
Illustration 53 - Fluctuations des niveaux piézométriques à Criquiers avec les débits de la Bresle à Pont-et-Marais.....	72
Illustration 54 - Corrélogramme croisé des niveaux piézométriques à Criquiers avec les débits de la Bresle à Pont-et-Marais.	72
Illustration 55 – Localisation des prélèvements dans le bassin de la Bresle.	73
Illustration 56 – Evolutions des prélèvements sur le bassin de la Bresle par type d'usage.....	74
Illustration 57 – Evolutions des données prélèvements des Agences de l'eau Artois-Picardie et Seine-Normandie sur le bassin de la Bresle.....	74
Illustration 58 – Prévision des débits décennaires de la Bresle à partir du 01/04/2012.....	75
Illustration 59 – Prévision des niveaux piézométriques décennaires à partir du 01/04/2012 au piézomètre de Criquiers.....	76
Illustration 60 – Calage du niveau piézométrique mesuré à Criquiers (bassin de la Bresle).	78
Illustration 61 – Fonctions de transfert permettant de reproduire le niveau à Criquiers.	79
Illustration 62 – Calage du débit de la Bresle, modèle et observations.	79
Illustration 63 – Composantes du débit de la Bresle (déduites des différentes fonctions de transfert).	80
Illustration 64 – Composantes du débit moyen mensuel modélisé de la Bresle à Ponts-et-Marais.	81
Illustration 65 – Prévision des débits décennaires à partir du 01/04/2013 à la station de Ponts-et-Marais– Les prévisions sont représentées comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.....	82
Illustration 66 – Prévision des niveaux piézométriques décennaires à partir du 01/04/2013 au piézomètre de Criquiers– Les prévisions sont représentées comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.....	82
Illustration 67 – Niveaux piézométriques et périodes de retour à Criquiers.....	83
Illustration 68 –Prévisions des débits et seuils sécheresse à la station de Ponts-et-Marais.	85
Illustration 69 – Comparaison des prévisions des niveaux et des seuils sécheresse au piézomètre de Criquiers.....	86
Illustration 70 - Localisation du bassin de l'Esches.	87
Illustration 71 - Débits moyens mensuels de l'Esches à Bornel calculés sur 26 ans.....	90

Illustration 72 - Fluctuations des niveaux piézométriques enregistrés à différents piézomètres à proximité du bassin de l'Esches.	90
Illustration 73 - Fluctuations des niveaux piézométriques à Villeneuve-les-Sablons avec les débits de l'Esches à Bornel.	91
Illustration 74 - Corrélogramme croisé des niveaux piézométriques à Villeneuve-les-Sablons avec les débits de l'Esches à Bornel.	92
Illustration 75 – Localisation des prélèvements dans le bassin de l'Esches.	93
Illustration 76 – Evolutions des prélèvements en nappe sur le bassin de l'Esches par type d'usage.	94
Illustration 77 – Evolutions des prélèvements en rivière sur le bassin de l'Esches par type d'usage.	94
Illustration 78 – Calage du niveau piézométrique mesuré à Villeneuve-les-Sablons.	96
Illustration 79 – Fonctions de transfert permettant de reproduire le niveau à Villeneuve-les-Sablons.	96
Illustration 80 – Calage du débit de l'Esches, modèle et observations.	97
Illustration 81 – Composantes du débit de l'Esches (déduites des différentes fonctions de transfert).	98
Illustration 82 – Composantes du débit moyen mensuel modélisé de l'Esches à Bornel.	98
Illustration 83 – Validation du calage du niveau piézométrique de Villeneuve-les-Sablons sur la période 1978-1981.	99
Illustration 84 – Prévision des débits décennaux à partir du 01/02/2013 à la station de Bornel sur l'Esches. – Les prévisions sont représentées comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.	100
Illustration 85 – Prévision des niveaux piézométriques décennaux à partir du 01/02/2013 au piézomètre de Villeneuve-les-Sablons. – Les prévisions sont représentées comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.	101
Illustration 86 – Niveaux piézométriques et périodes de retour à Villeneuve-les-Sablons.	101
Illustration 87 – Prévisions des débits et seuils sécheresse à la station de Bornel.	103

Liste des tableaux

Tableau 1 - Répartition des prélèvements pour l'irrigation.	14
Tableau 2 - Type de station météorologique et disponibilité des données.	16
Tableau 3 - Liste des stations de mesure utilisées pour le calage du modèle pour le bassin du Matz.	26
Tableau 4 - Coefficients de corrélation entre chroniques pluviométriques situées au voisinage du bassin du Matz.	27
Tableau 5 - Coefficient de corrélation maximum et temps de décalage correspondant, entre les niveaux piézométriques et les débits reconstitués du Matz.	33
Tableau 6 – Quantiles des pluies optimales du Matz.	38
Tableau 7 – Niveaux piézométriques à Cuvilly et seuils de suivi (stations sécheresse).	45
Tableau 8 - Liste des stations de mesure utilisées pour le calage du modèle pour le bassin de la Brèche.	49
Tableau 9 – Niveaux piézométriques à Catillon-Fumechon et seuils de suivi (stations sécheresse).	64
Tableau 10 – VCN3 de la Brèche à Nogent-sur-Oise et seuils de suivi (stations sécheresse).	64

Tableau 11 - Liste des stations de mesure utilisées pour le calage du modèle pour le bassin de la Bresle.	69
Tableau 12 - Coefficients de corrélation entre chroniques pluviométriques du bassin de la Bresle.	69
Tableau 13 – Quantiles des pluies optimales de la Bresle.	76
Tableau 14 - VCN3 de la Bresle à Pont-et-Marais et seuils de suivi (stations sécheresse).	84
Tableau 15 - Niveaux piézométriques à Criquiers et seuils de suivi (stations sécheresse).	84
Tableau 16 - Liste des stations de mesure utilisées pour le calage du modèle pour le bassin de l'Esches.	89
Tableau 17 – VCN3 de l'Esches à Bornel et seuils de suivi (stations sécheresse).	102
Tableau 18 – Comparaison des prévisions des niveaux et des débits avec les seuils sécheresse, pour les mois les plus pessimistes.	105

Liste des annexes

Annexe 1 Les fonctions de transfert sous TEMPO©	109
---	-----

1. Introduction

1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE

Ces dernières années, les périodes de recharges (octobre à avril) ont été marquées par une pluviométrie déficitaire. En 2012, des prévisions des niveaux piézométriques et des débits d'étiage ont été réalisées sur 11 bassins versants en Picardie (rapport BRGM/RP-61164-FR, juin 2012).

Le peu de précipitation durant l'automne et l'hiver 2011-2012 a conduit à une recharge hivernale très faible. Le printemps 2012 froid et pluvieux a permis de maintenir les nappes à des niveaux stables voire de les recharger tardivement, entre avril et juin. Le début de l'automne et de l'hiver 2012-2013 a été bien arrosé permettant d'amorcer la recharge. Toutefois plus de 55% des niveaux d'eau mesurés dans les ouvrages du réseau piézométrique demeuraient en-dessous des normales mensuelles en novembre 2012.

Les ressources en eau de la région Picardie sont sollicitées pour répondre aux différents besoins liés aux activités humaines : alimentation en eau potable, usages agricole et industriel. Le risque de déséquilibre entre la ressource en eau exploitable et la satisfaction des différents usages a conduit les préfetures à mettre en place des mesures de gestion de la rareté de l'eau (arrêtés préfectoraux de restriction des usages).

En outre, la ressource en eau souterraine représente un enjeu de plus en plus important dans certains secteurs géographiques en Picardie. Les conflits d'usage entre irrigants et associations environnementales sont de plus en plus aigus et exacerbés par les étiages particulièrement sévères qui se sont succédé ces dernières années. Ces étiages dépendent principalement du niveau de la recharge hivernale des nappes ainsi qu'en moindre mesure des conditions météorologiques du printemps et généralement peu de la pluviométrie du reste de l'année.

De ce fait, l'Agence de l'eau Seine-Normandie, la DREAL et les DDT(M) de Picardie souhaitent prévoir dès la fin de la recharge hivernale les niveaux piézométriques et des débits durant la période d'étiage 2013, soit dès le mois d'avril.

1.2. OBJECTIF DE L'ETUDE

L'objectif de l'étude est d'établir des prévisions de niveaux de nappes et de débits, à partir de l'état initial des réservoirs mesuré en avril 2013. On fait ici l'hypothèse que l'essentiel de la recharge des aquifères se fait sur la période hivernale.

Pour chaque bassin versant, les prévisions du débit du cours d'eau à l'exutoire du bassin et d'un niveau piézométrique considéré comme représentatif ont été effectuées à l'aide du logiciel TEMPO© développé par le BRGM. Les calculs ont été effectués sur les 4 bassins versants (cartographiés sur l'illustration 1) :

- la Nièvre ;
- le Matz ;
- la Brèche ;
- l'Esches.

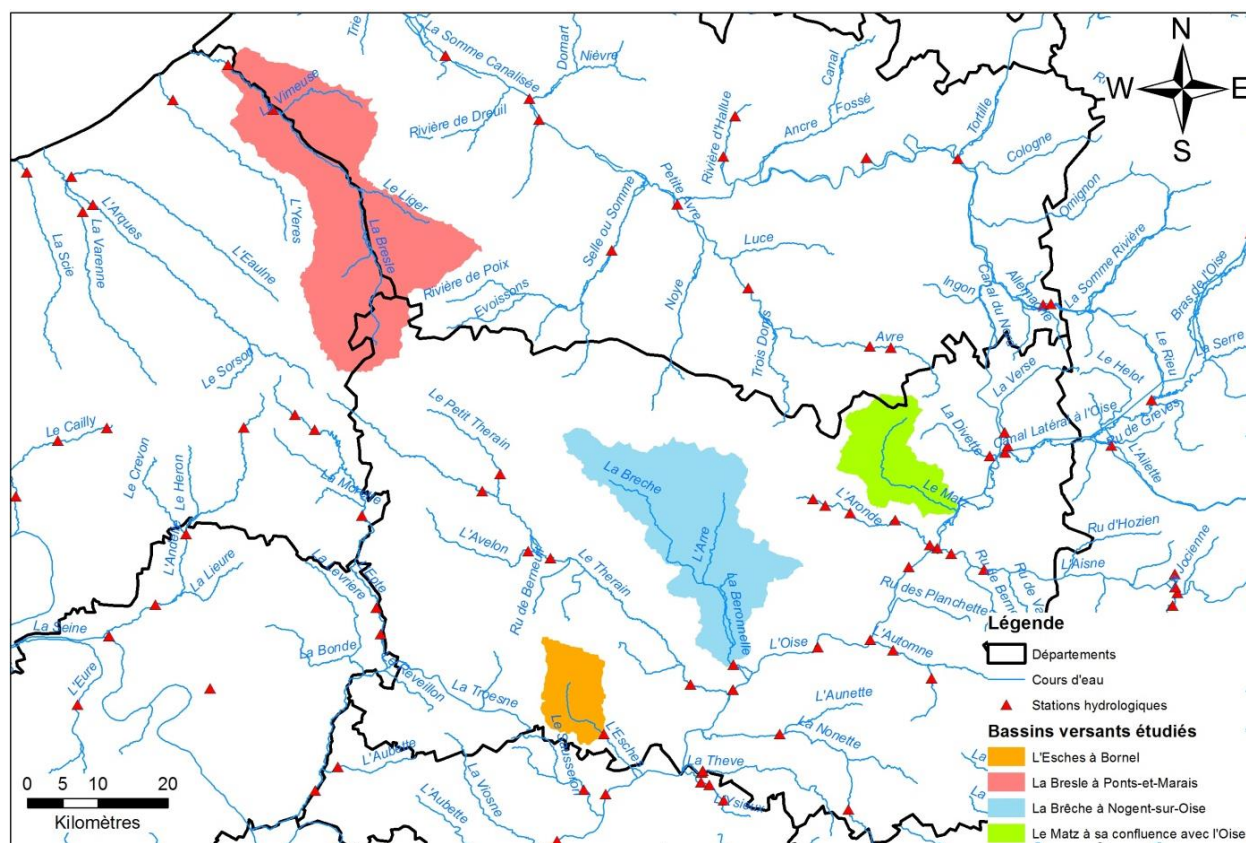


Illustration 1 - Localisation des bassins versants étudiés.

1.3. DEMARCHE DE L'ETUDE

Dans le cadre de la présente étude, les tâches suivantes ont pu être conduites :

- synthèse bibliographique (études, rapports, ...) ;
- collecte, analyse critique et sélection des données (chroniques des débits des cours d'eau, des niveaux piézométriques, des pluviométries, des évapotranspirations potentielles (ETP), des prélèvements), dont les pas de temps varient de journalier (débit) à décadaire (pluie et ETP) à annuel (prélèvements) ou sont variables (piézométrie) ;
- traitement des données :
 - élaboration d'une base de données au pas de temps décadaire ;
 - comblement des lacunes dans les chroniques.

En préalable à la modélisation, un important travail de sélections des chroniques de pluie, d'ETP, de débits et de niveaux de nappe a été effectué. Une attention particulière a été portée à la représentativité des stations de mesure choisies (type de nappe captée, position amont/aval des stations pluviométriques, ...) et à la longueur de l'historique de suivi. S'il n'est pas décrit en

détails dans ce rapport, ce travail a constitué néanmoins la pierre angulaire sur laquelle reposent les modélisations.

Notons que toutes les données d'entrée (pluie, ETP) doivent être sans lacune d'observation. Par contre, il est possible d'avoir des lacunes dans les données de sortie (niveaux piézométriques, débits). Cette souplesse permet de prendre en compte des périodes de calage plus longues et donc plus représentatives des grandes fluctuations interannuelles climatiques, notamment pluviométriques, et de l'inertie des aquifères (effet « mémoire »).

- analyse des données et élaboration du modèle conceptuel :
 - sélection de séries piézométriques non influencés permettant de disposer d'historiques aussi représentatifs que possible de l'état de remplissage des aquifères et de leur exploitation et permettant de restituer au mieux les débits des cours d'eau ;
 - calcul d'une pluie optimale : combinaison linéaire des pluies relevées à différentes stations météorologiques qui « explique » le mieux le signal de sortie (débit ou niveau piézométrique) pour chaque bassin versant ;
 - élaboration de modèles pluie / niveau piézométrique permettant d'améliorer la compréhension du fonctionnement hydrogéologique des systèmes.

Pour chaque bassin versant, un contrôle critique a permis de souligner, voire d'expliquer les différents comportements piézométriques observés, dont certains peuvent être trop spécifiques et locaux pour que le piézomètre correspondant puisse être choisi comme représentatif du bassin étudié : échanges nappe / rivière, prélèvements, caractéristiques propres à l'aquifère...

Afin de décrire la mémoire du système, une analyse corrélatoire des chroniques temporelles est ensuite menée. Les graphiques obtenus (autocorrélogrammes de débits et de niveaux piézométriques) permettent en effet de mettre en évidence des cycles saisonniers (recharge et vidange annuelles) et/ou pluriannuels (comportement plus inertiel). Les corrélogrammes croisés débit de la rivière / niveau piézométrique permettent quant à eux l'analyse des relations nappe-rivière et de choisir les piézomètres dont les niveaux sont les mieux corrélés aux débits des cours d'eau. Les graphiques doivent être lus uniquement pour les valeurs de X supérieures à zéro (relation dans le sens niveau $\Rightarrow$ débit exprimée en jours). Une corrélation est d'autant plus forte qu'elle est proche de 1 (axe Y). Le seuil de significativité a été pris égal à 0,6 (ce qui représente d'ores et déjà une corrélation forte).

La description du fonctionnement de chaque bassin versant traité a permis ainsi d'interpréter les résultats du calage.

- calage des modèles globaux ;

Pour chaque bassin versant, les calages pluie / niveau piézométrique et pluie / niveau piézométrique / débit ont été réalisés.

Les influences anthropiques ont été étudiées sur chaque bassin versant afin d'expliquer d'éventuelles anomalies (prélèvements de surface et souterrains, rejets de station d'épuration). Les prélèvements ont été pris en compte lorsque les calages s'en trouvaient alors améliorés.

Toutefois, il convient de prendre avec précaution les résultats des modélisations intégrant les prélèvements : dans un modèle global, il n'y a pas de spatialisation, c'est la somme des prélèvements ponctuels qui est prise comme entrée du modèle. Or la position des prélèvements dans le bassin versant (amont/aval, à proximité ou non des cours d'eau, ...) joue un rôle important dans l'impact sur le débit du cours d'eau. Les modélisations globales ne peuvent pas représenter fidèlement l'influence réelle des prélèvements. De plus, les chroniques des prélèvements sont à un pas de temps annuel.

Lors de la réunion du comité de pilotage du 21 février 2012, il a été retenu les répartitions saisonnières suivantes pour les prélèvements pour l'irrigation (Tableau 1).

Années antérieures à 2011	Répartition
Avril	10%
Mai	30%
Juin	40%
Juillet	20%

Année 2011	Répartition
Avril	15%
Mai	50%
Juin	25%
Juillet	10%

Tableau 1 - Répartition des prélèvements pour l'irrigation.

Concernant l'année 2012, l'hypothèse que les volumes et la répartition des prélèvements pour les usages eau potable et industriels sont identiques à 2010 a été prise. Pour les usages agricoles, les DDT(M) de la Somme et de l'Oise ont fourni au BRGM les volumes prélevés sur certains bassins. Il s'avère que les prélèvements d'irrigation en 2012 sont globalement égaux à 50% des volumes de 2011. La répartition mensuelle est supposée identique à 2010.

La modélisation globale des écoulements est détaillée dans ce rapport, afin que le lecteur puisse évaluer la qualité du calage et, par déduction, la fiabilité du calcul des prévisions. De plus, la modélisation permet d'avancer des hypothèses sur le comportement de la nappe, les échanges nappe-rivière et la répartition entre écoulements lents et rapides au niveau du bassin versant. Des graphiques issus des modélisations illustrent ces hypothèses et ont été systématiquement ajoutés au rapport.

- exploitation des modèles.

Une fois les modèles calés, l'exploitation de ceux-ci a été réalisée afin d'évaluer les niveaux prévisionnels des nappes au droit des piézomètres sélectionnés et le débit d'étiage au niveau des stations hydrométriques du cours d'eau, à partir de nombreuses séries hydroclimatiques. Celles-ci sont générées de manière aléatoire tout en respectant les propriétés statistiques de la pluie observée utilisée en entrée du modèle.

Ainsi pour n séries de pluie et d'ETP générées, sont calculées n séries de niveaux piézométriques et de débits. Une analyse fréquentielle permet ensuite, pour chacun des mois entre avril et décembre 2013, d'indiquer une prévision des niveaux et des débits qui a, en moyenne, p chances sur 100 de ne pas être dépassée.

Enfin, les résultats de prévisions ont été interprétés et comparés aux seuils sécheresse, définis dans les arrêtés préfectoraux de la Somme en date du 26/03/2012, de l'Oise en date du 02/05/2012 et de la Seine-Maritime en date du 13/04/2012.

1.4. LIMITES DE L'ETUDE

Les limites de l'évaluation des débits et des niveaux piézométriques dans ce rapport tiennent à plusieurs facteurs détaillés ci-après.

- Les données utilisées :

Un premier facteur limitant est la présence de chroniques piézométriques ou hydrométriques, à l'intérieur du bassin versant. Le calage du bassin versant de l'Esches par exemple, a été réalisé avec des piézomètres situés en dehors de son périmètre.

Un deuxième facteur est l'imprécision relative aux prélèvements qui ne sont pas toujours géoréférencés précisément et pour lesquels la nappe captée n'est pas connue. Le système de traitement de la redevance sur le bassin Seine-Normandie a été modifié à partir de 2008. Sur certains bassins versants, ces changements ont pu induire des incohérences dans les données entre les chroniques de prélèvements avant et après 2007, notamment une forte baisse des prélèvements en eau potable.

Enfin, les prévisions ont été réalisées à partir des données météorologiques disponibles début avril 2013. Les données mesurées sont mises à disposition par MétéoFrance plus ou moins rapidement selon le type de la station (Tableau 2).

Type	Définition / Disponibilité théorique des données
0	Station professionnelle avec observation humaine, sur place, de temps sensible ==> Données horaires disponibles à partir de H+1. Données quotidiennes disponibles à partir du lendemain à 8 h.
1	Station avec observation humaine, non professionnelle ou à distance, de temps sensible ==> Données horaires disponibles à partir de H+1.

	Données quotidiennes disponibles à partir du lendemain à 8 h.
2	Station automatique temps réel = transmission quotidienne des données ==> Données disponibles à partir du lendemain à 8 h.
3	Station automatique temps différé = transmission et exploitation différées ==> Données disponibles au plus tôt 45 jours après la fin du mois en cours.
4	Station (bénévole) manuelle ==> Données disponibles au plus tôt 45 jours après la fin du mois en cours.
5	Station automatique ou poste à interrogation occasionnelle ==> Données disponibles au plus tôt 45 jours après la fin du mois en cours.

Tableau 2 - Type de station météorologique et disponibilité des données.

Les stations mesurant l'évapotranspiration potentielle, Abbeville, Beauvais-Tille, Creil, Reims et Saint-Quentin, sont de type 0 et les données sont disponibles dès le lendemain de la mesure. Les stations de type 2, dont les données sont accessibles dès le lendemain, sont rares et possèdent souvent des chroniques trop courtes pour être utilisées lors des modélisations hydrogéologiques. La plupart des stations en Picardie sont de type 4 et les données de pluies sont téléchargeables au plus tôt 45 jours après la fin du mois en cours. Les données du mois de mars sont donc disponibles au plus tôt, le 15 avril.

Pour satisfaire, en termes de délais, les besoins des gestionnaires, les modèles ont été calés et les prévisions réalisées alors que la recharge des nappes n'était peut-être pas terminée. Les résultats présentés pourraient ne pas être représentatifs des débits et des niveaux de la période d'étiage 2013.

- L'utilisation de modèles globaux :

Dans le cas de plusieurs nappes superposées, la répartition des prélèvements et des apports à la rivière par les différentes nappes est essentielle et non prise en compte par un modèle global comme TEMPO©. De ce point de vue, la méthode sera d'autant plus adaptée que l'aquifère est unique, exploité de manière homogène spatialement.

A l'inverse, les estimations sur des cours d'eau drainant plusieurs formations aquifères, dont certaines sont exploitées et pas d'autres, sont à confronter avec la réalité de l'analyse hydrogéologique. Cette dernière n'entre pas dans le champ de l'étude qui ne comporte qu'une description sommaire des bassins versants.

2. Modèle TEMPO©

2.1. LE MODELE GLOBAL TEMPO©

2.1.1. Modélisation des niveaux de nappes et de débits

a) Principe de la modélisation

Le logiciel TEMPO©, développé par le BRGM, est utilisé depuis plusieurs années dans le domaine de l'hydro(géo)logie (hydrologie et hydrogéologie) pour modéliser et prévoir des niveaux de nappes ou des débits à l'exutoire d'un bassin versant.

TEMPO© peut être considéré comme apparenté aux logiciels de traitement du signal (d'une façon générale, on appelle « signal » toute variable évoluant dans le temps). Dans le domaine de l'hydro(géo)logie, TEMPO© permet de modéliser le fonctionnement d'un hydrosystème (Illustration 2).

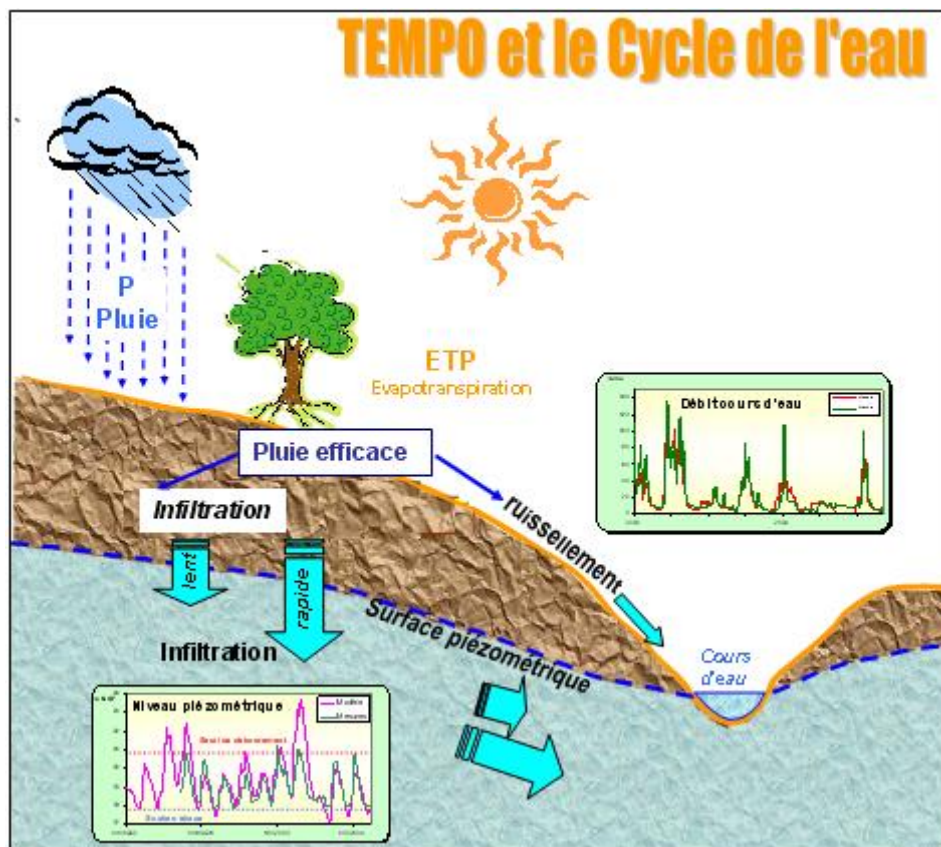


Illustration 2 - Exemple d'hydrosystème modélisable par TEMPO©.

b) Modélisation globale

La modélisation globale de l'hydrosystème consiste à rechercher la liaison entre l'entrée du système (pluie et ETP) et la sortie (niveaux et/ou débits) (Illustration 3), en cherchant à reproduire la ou les sortie(s) à l'aide des données d'entrée.

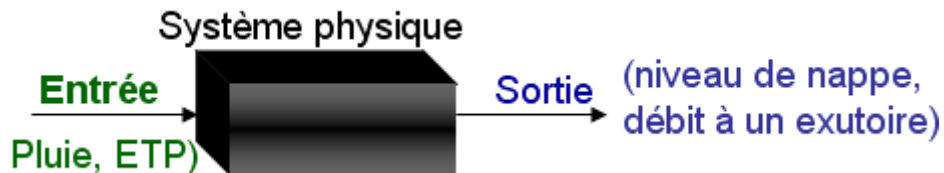


Illustration 3 - Les modèles construits avec TEMPO© sont du type « boîte noire ».

Le modèle construit avec TEMPO© sera un modèle de type « boîte noire », en se référant à la typologie établie pour classer les modèles.

A la différence des modélisations réalisées à l'aide de « modèles maillés », qui tiennent compte explicitement des équations décrivant les écoulements, une modélisation avec TEMPO© n'est pas basée sur de telles équations et ne nécessite pas l'utilisation des caractéristiques physiques et spatialisées de l'hydrosystème, comme la géométrie, les perméabilités ou encore les coefficients d'emménagement de l'aquifère.

La modélisation d'un hydrosystème avec TEMPO© consistera à reproduire les niveaux de la nappe et/ou les débits à l'exutoire, représentant la « sortie » du système à l'aide des données climatiques, pluies et ETP, représentant l'« entrée » du système.

Le système est considéré comme un « tout » et la modélisation est dite « globale ».

Contrairement à un modèle maillé (spatialisé), une modélisation globale ne permettra pas d'établir de différenciations spatiales. Par exemple une zone à forte concentration de pompages, un secteur aquifère plus productif qu'un autre ou une zone de forte infiltration ne seront pas pris explicitement en compte.

La liaison entre « entrée » et « sortie » est assurée par l'intermédiaire d'une fonction qui doit caractériser globalement l'hydrosystème et qui permet de s'affranchir de tous les paramètres inconnus du bassin superficiel et souterrain.

La fonction recherchée doit reproduire le fonctionnement de l'hydrosystème, c'est-à-dire sa réponse aux épisodes pluvieux (élévation du niveau de la nappe, augmentation du débit à l'exutoire, ...). La sortie calculée (niveaux ou débits) doit s'ajuster au mieux sur la série de mesures en reproduisant en particulier :

- les déphasages : il y a généralement une réaction différée de l'hydrosystème aux épisodes pluvieux, le « temps retard » étant plus ou moins important en fonction des caractéristiques du bassin (taille, topographie, densité de drainage, paramètres hydrodynamiques de l'aquifère sous-jacent) ;

- les amplitudes de fluctuations.

La fonction recherchée est appelée fonction de transfert (F.T.).

c) Modèles utilisés pour chaque bassin versant

Pour chaque bassin versant étudié, deux types de modèles ont été mis en place :

- le premier permet de décrire la réponse du « niveau piézométrique » aux « épisodes pluvieux » ;
- le second relie la « chronique de débit » à l'exutoire à deux entrées : « climatologique » (pluie et ETP) et « piézométrique ».

Dans le contexte hydrogéologique des bassins versants étudiés, plusieurs fonctions de transfert ont été introduites traduisant un écoulement « lent » dans l'aquifère et un écoulement « rapide » sur le bassin versant. En effet, une pluie de durée et d'intensité suffisante va induire, en période hivernale où l'ETP est faible par exemple :

- une élévation du niveau de la nappe due à la part infiltrée de la pluie, hausse du niveau qui se manifestera avec un certain temps de retard, fonction des caractéristiques de l'aquifère ;
- une augmentation du débit du cours d'eau, due à la fraction de la pluie qui va ruisseler (réaction rapide du bassin versant après une pluie) et à la contribution éventuelle de la nappe (contribution qui sera, elle, différée).

Les fonctions de transfert appropriées sont de la forme : Gaussienne * Exponentielle, elles sont décrites en Annexe 1.

d) Recherche d'une pluie optimale

Pour chaque bassin versant, une ou plusieurs chroniques de pluie peuvent être utilisées. Afin d'optimiser la représentation d'un débit ou d'un niveau piézométrique, le logiciel TEMPO© permet l'identification d'une pluie dite « optimale ». Cette pluie est celle qui permettra de maximiser le corrélogramme croisé entre le signal des pluies et la sortie considérée (un débit en règle générale).

Une pluie optimale s'exprime comme une somme pondérée des pluies disponibles sur le bassin versant.

2.1.2. Prévision des niveaux de nappes et des débits

Une fois le modèle calé et la (ou les) fonction(s) de transfert calculée(s), la phase de prévision (débits, niveaux) peut être mise en œuvre.

Comme on ignore les pluies efficaces futures de la période de prévision, la méthode utilisée est de type probabiliste.

Grâce à un générateur de pluies et d'ETP, TEMPO© peut produire un grand nombre de scénarios climatiques suivant un processus aléatoire mais reproduisant néanmoins les caractéristiques des séquences climatiques passées (moyenne, saisonnalité, ...).

Le modèle ayant été calé et la (ou les) fonction(s) de transfert identifiée(s), on peut donc pour chacun des n scénarios climatiques faire le calcul de la variable de sortie (débit ou niveau) sur la période de prévision choisie et à un pas de temps défini, par exemple décennie par décennie sur 10 ans.

On obtient alors n scénarios indépendants pour les niveaux ou les débits (Illustration 4 et Illustration 5 avec $n=5$). Pour que les fréquences calculées soient significatives, plusieurs centaines de scénarios sont nécessaires.

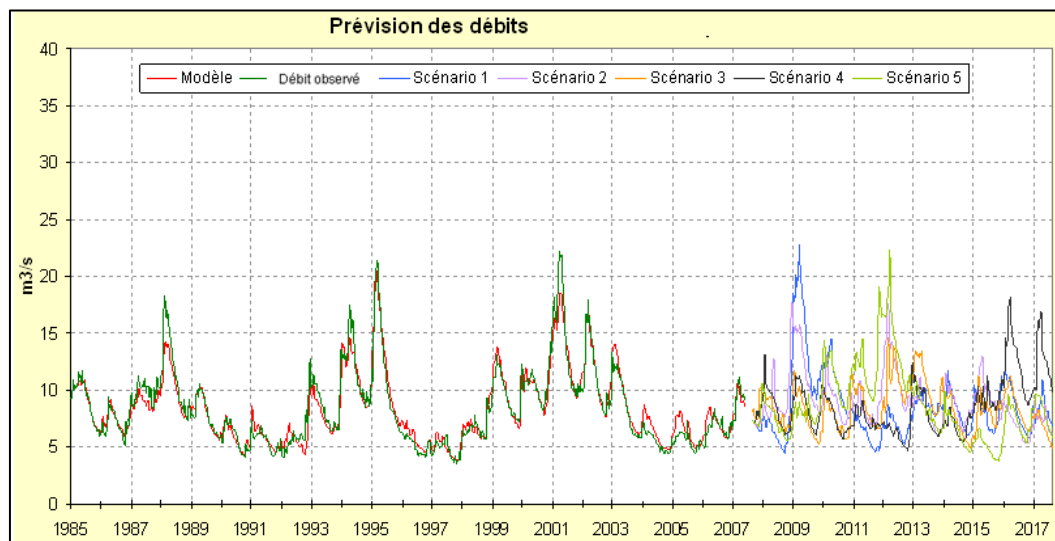


Illustration 4 - Calculs de débits à partir de scénarios climatiques.

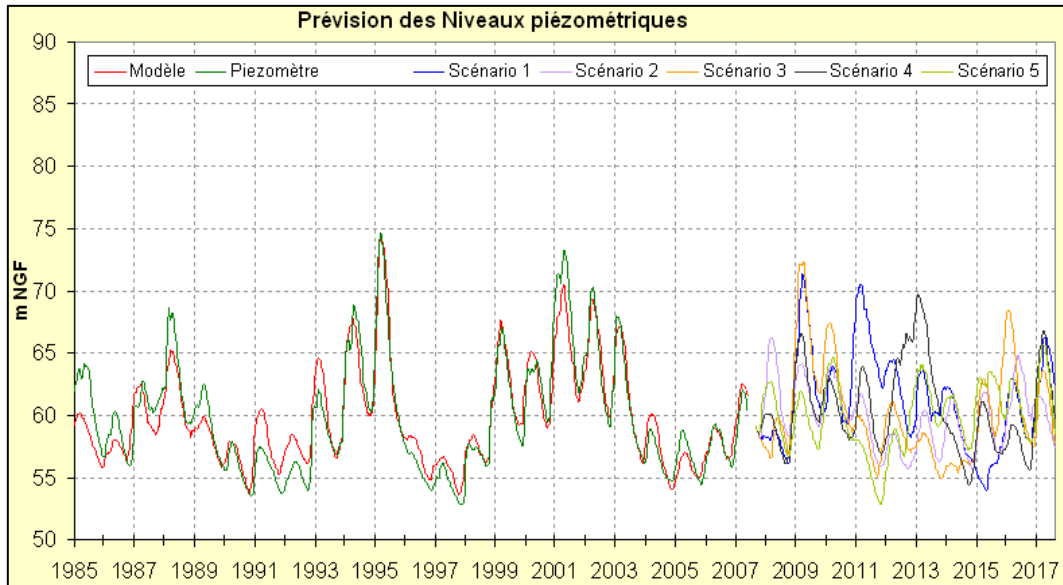
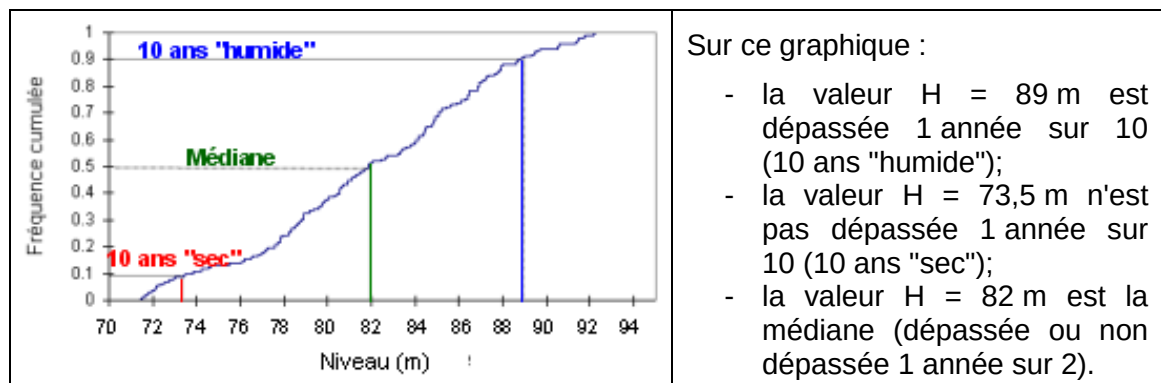


Illustration 5 - Calculs de niveaux à partir de scénarios climatiques.

Les résultats de toutes les simulations sont ensuite regroupés intervalle de temps par intervalle de temps, par exemple par décade.

Sur chacun de ces intervalles de temps les niveaux sont classés par ordre croissant, ce qui revient à construire une distribution cumulée des fréquences (Illustration 6) et permet de calculer une fréquence d'occurrence de telle ou telle valeur dans chaque intervalle de temps (une fréquence de dépassement ou de non dépassement).



Sur ce graphique :

- la valeur $H = 89$ m est dépassée 1 année sur 10 (10 ans "humide");
- la valeur $H = 73,5$ m n'est pas dépassée 1 année sur 10 (10 ans "sec");
- la valeur $H = 82$ m est la médiane (dépassée ou non dépassée 1 année sur 2).

Illustration 6 - Courbe de fréquence cumulée.

Les valeurs correspondant à ces différentes fréquences sont calculées pas de temps par pas de temps et reportées ensuite sur un graphique (Illustration 7) où les courbes tracées doivent s'interpréter non pas comme représentant des chroniques continues, c'est-à-dire des courbes d'évolution possibles avec une certaine fréquence d'apparition, mais comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.

TEMPO© propose 7 fréquences particulières (Illustration 7) réparties en deux groupes correspondant aux années dites « humides » et aux années dites « sèches » de part et d'autre d'une valeur « médiane » correspondant à la valeur qui divise la « population » statistique sur l'intervalle de temps considéré en deux parties d'effectifs égaux; la valeur médiane est dépassée (ou non dépassée) une année sur 2.

Pour information, les « 20 ans humides » s'interprètent comme la valeur de niveau ou de débit dépassée 1 année sur 20. Les « 20 ans secs » s'interprètent comme la valeur de niveau ou de débit qui n'est pas dépassée 1 année sur 20. De même pour les autres fréquences.

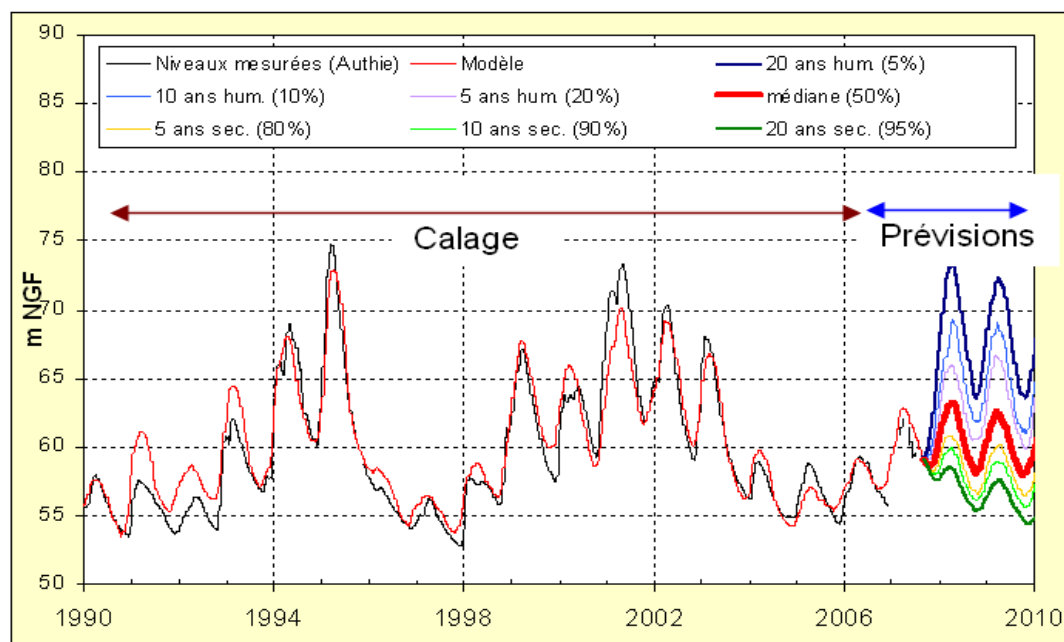


Illustration 7 - Exemple de prévision fournie par TEMPO©.

TEMPO© propose une décomposition du débit en tant que sous-produit du calage de la chronique de débit. Cette décomposition s'établit en trois composantes, intitulées dans la suite : lente, intermédiaire et rapide (Illustration 8). La composante lente est le fruit de la connexion de la chronique du piézomètre avec celle du débit. La composante rapide peut être interprétée comme le ruissellement. La composante intermédiaire réunit les signaux présents dans le débit qui ne peuvent être interprétés par les composantes lente et rapide. Elle peut donc correspondre à un ruissellement différé ou une composante souterraine plus rapide que celle caractérisée par la chronique piézométrique placée en connexion du débit (composante karstique par exemple). Son interprétation est donc délicate et ne peut se faire qu'au cas par cas, en se basant notamment sur la connaissance locale des hydrosystèmes.

Les décompositions figurant dans ce rapport sont indicatives et ont avant tout pour vocation de contrôler la cohérence des modélisations proposées avec la connaissance déjà acquise des hydrosystèmes.

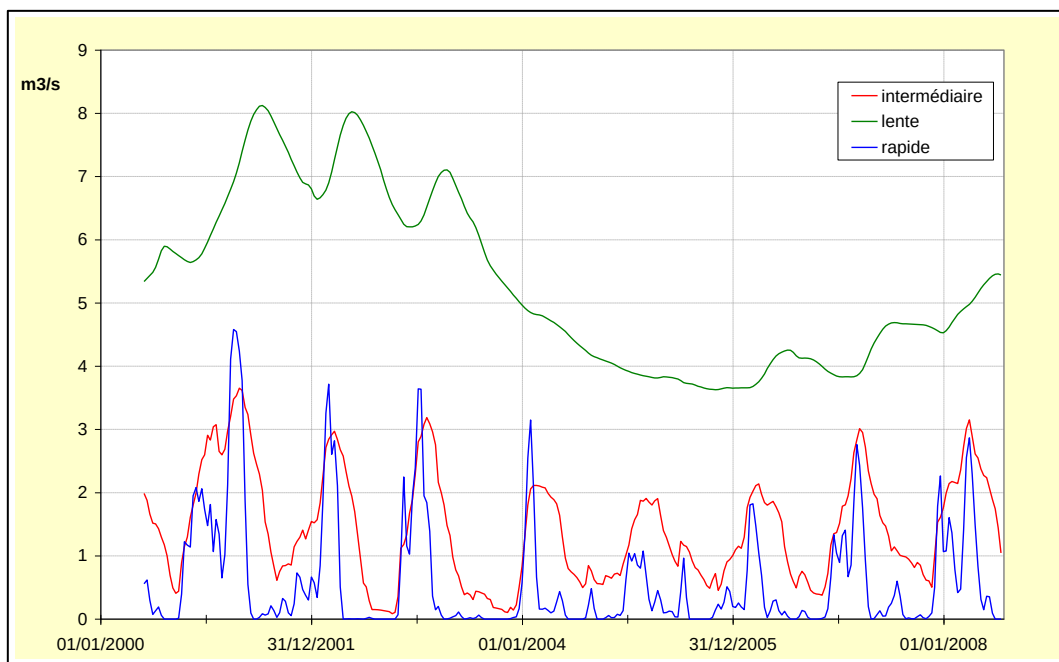


Illustration 8 - Exemple de décomposition de la chronique de débit proposée par TEMPO©.

2.2. BASSIN VERSANT DU MATZ

2.2.1. Contexte géographique et hydrographique

Le Matz est un affluent, long de 25 km, de la rive droite de l'Oise. Il prend sa source à Canny-sur-Matz. De nombreux ruisseaux le rejoignent : Royots (3 km), Puisards de Manceau (1 km), Mareuil (6 km), Rhosne (3 km), Loyaux (3 km), Chevincourt, Saint-Amand.

Le bassin hydrographique du Matz s'étend dans le Noyonnais, au nord du département de l'Oise, à l'ouest de la rivière Oise (Illustration 9). Il occupe une surface de 168 km², entre les bassins versants de la Divette au nord et de l'Aronde au sud. Le bassin offre un contraste important entre le relief marqué généré par les terrains de l'Eocène situés à l'est et en aval, et celui plus mou engendré par des terrains crayeux surmontés le cas échéant des terrains sableux du Paléocène (Thanétien) en amont.

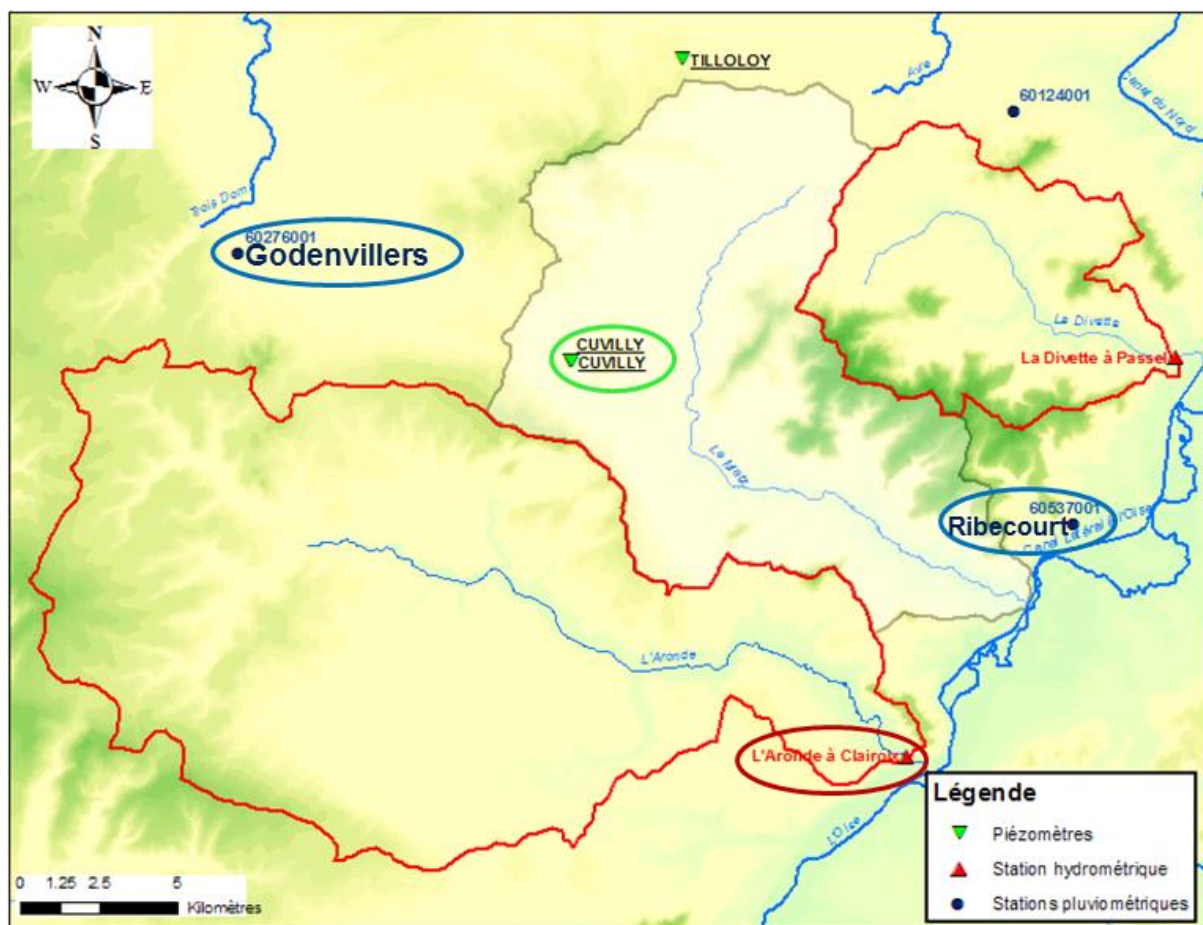


Illustration 9 - Localisation du bassin du Matz (contour marron).

2.2.2. Contexte géologique et hydrogéologique

Le bassin versant s'est constitué dans les terrains tertiaires du Noyonnais. La craie affleure néanmoins localement, dans la partie amont du bassin versant notamment en fond de vallée.

A l'exception des terrains superficiels, regroupant les alluvions dans les vallées, les colluvions dans les dépressions et les limons sableux en bas de pente, les formations géologiques rencontrées sont, des plus anciennes aux plus récentes :

- la craie blanche à silex du Sénonien qui affleure dans la vallée amont du Matz et de ses affluents ;
- les sables de Bracheux du Thanétien inférieur présents en bas de versants de vallées et en bas des petites buttes de l'amont du bassin ainsi que sous les alluvions du Matz ;
- les marnes de Sinceny et calcaires du Thanétien supérieur ;
- les argiles sparnaciennes de l'Yprésien inférieur sur les versants de vallées et en haut des petites buttes de l'amont du bassin ;
- les sables de Cuise de l'Yprésien supérieur qui constituent les versants des buttes tertiaires situées au nord-est et sud-est, sur la partie aval du bassin versant ;
- les argiles de Laon de l'Yprésien supérieur ;
- la glauconie grossière, les calcaires grossiers et les marnes et caillasses du Lutétien qui forment le haut des buttes tertiaires situées au nord-est (Bois de Thiescourt) et sud-est (Mont de Caumont, l'Olinval et Les Pointes), sur la partie aval du bassin versant ;
- les argiles de Saint-Gobain du Bartonien inférieur qui couronnent localement les buttes tertiaires du nord-est du bassin.

Les aquifères renfermant des nappes susceptibles d'influer sur le débit du Matz sont constitués par :

- les sables de Bracheux du Thanétien et la craie sous-jacente. Cette nappe captive sous les buttes tertiaires se retrouve libre dans les vallées et est alors drainée par les cours d'eau. A noter que seuls les niveaux de la nappe de la craie sont suivis régulièrement sur le bassin du Matz ;
- les sables de Cuise de l'Yprésien supérieur. La nappe est libre sur une grande partie du bassin mais se retrouve captive sous les argiles de Laon au droit des buttes tertiaires. De nombreuses sources émergent au contact des argiles sparnaciennes de l'Yprésien inférieur et donnent naissance à des affluents du Matz. Bien que sous-jacente à la zone alluviale, une alimentation diffuse par la nappe des sables de Cuise est probable au travers des formations de pente (limons et colluvions) ;
- les calcaires du Lutétien. Ces calcaires renferment des nappes circonscrites aux buttes du nord-est du bassin. Une alimentation de la nappe sous-jacente des sables de Cuise est possible, soit par drainance verticale à travers les argiles de Laon, soit par réinfiltration de sources.

Les fluctuations piézométriques de la nappe de la craie sont suivies par trois piézomètres implantés dans la craie dont deux possèdent des chroniques suffisamment longues : Cuvilly, Tilloloy et Tricot. Seul le piézomètre de Cuvilly est situé dans le bassin du Matz (Illustration 9 et Tableau 3). A noter que les chroniques piézométriques sont toutes lacunaires.

BASSIN VERSANT	STATION PLUVIOMETRIQUES	STATIONS ETP	PIEZOMETRES	STATIONS HYDROMETRIQUES
MATZ 168 km ²	Candor 60124001 01/11/1970 - 2013 Ribecourt-Dreslincourt 60537001 01/01/1970 - 2013 Godenvillers 60276001 01/10/1937 - 2013	Creil 60175001 11/05/1989 - 2013 Saint-Quentin 80713001 01/01/1954 - 2013	Cuvilly 00817X0145/PZ_SN 15/10/1970 - 2012 assec avant 2009 Tilloloy 0813X0043/S1 22/09/1964 - 2013 Tricot 00815X0067/P 25/02/2005 - 2013	-

Tableau 3 - Liste des stations de mesure utilisées pour le calage du modèle pour le bassin du Matz.

2.2.3. Pluviométrie

Concernant les données relatives aux précipitations, trois stations pluviométriques ont été retenues, selon leur position sur le bassin versant (amont/aval), leur altitude et leur historique : Candor, Ribécourt-Dreslincourt et Godenvillers. Par ailleurs, nous disposons de l'ETP décadaire au droit de deux stations proches : Creil et Saint-Quentin.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des trois stations pluviométriques retenues. Les formules obtenues sont les suivantes :

- pour le débit du Matz calculé à partir de celui de l'Aronde (cf. chapitre suivant) :

$$Popt = 57\% * Godenvillers + 43\% * Ribécourt-Dreslincourt$$
- pour le débit du Matz calculé à partir de celui de l'Aronde, corrigé des prélèvements sur le bassin de l'Aronde :

$$Popt = 77\% * Godenvillers + 23\% * Ribécourt-Dreslincourt$$
- pour le débit du Matz calculé à partir de celui de la Divette :

$$Popt = 35\% Candor + 45\% * Godenvillers + 20\% * Ribécourt-Dreslincourt$$

La station de Candor est située sur le plateau crayeux, au nord-est du bassin du Matz et de la Divette, celle de Godenvillers sur le plateau crayeux, à l'ouest du bassin du Matz et celle de Ribécourt-Dreslincourt dans la vallée de l'Oise, en aval du bassin du Matz. C'est la combinaison de ces stations pluviométriques qui permet de reproduire au mieux les débits recalculés à partir des débits des stations voisines.

Pour 2 stations, il existe des lacunes dans les données :

- pour Candor, les données sont manquantes de juillet 2010 à mars 2011 (soit 27 données absentes au pas de temps décadaires) ;

- pour Ribécourt-Dreslincourt, les données sont absentes en janvier 1985 (soit 3 données absentes au pas de temps décennales).

Afin de compléter ces trous à l'aide des données acquises sur les autres stations, une recherche des meilleures corrélations a été effectuée. Le Tableau 4 ci-dessous récapitule les coefficients de corrélation entre les cumuls décennales des hauteurs de précipitations mesurées dans les différentes stations.

	P_Candor	P_Godenvillers	P_Ribécourt-Dreslincourt
P_Candor	1	0,82	0,85
P_Ribécourt-Dreslincourt	0,85	0,78	1

Tableau 4 - Coefficients de corrélation entre chroniques pluviométriques situées au voisinage du bassin du Matz.

En prenant les meilleures corrélations, les lacunes de Candor ont été complétées avec la pluie mesurée à Ribécourt-Dreslincourt, corrigées avec le coefficient d'ajustement de la droite de corrélation (0,98), et inversement.

2.2.4. Relations nappe-rivières

Il n'existe pas de station hydrométrique sur le Matz mais 165 jaugeages ont été réalisés à Thourotte, plus ou moins régulièrement de 1987 à 2013. Le nombre de mesures n'étant pas assez élevé, une modélisation, à partir de ces jaugeages, n'a pas pu être envisagée.

Le contexte hydrogéologique du Matz présentant des points communs avec ceux de l'Aronde (pour la forte présence de l'aquifère crayeux accompagnée dans l'Aronde par la présence locale des formations tertiaires) et de la Divette (pour la présence des formations tertiaires, omniprésentes notamment en rive gauche du Matz), il a été envisagé de transposer et de caler sur le Matz les débits soit de la Divette à la station hydrométrique de Passel (données disponibles de 1971 à 1992 puis de 2000 à 2013), soit de l'Aronde à la station de Clairoux (données disponibles de 1970 à 2013).

Les débits spécifiques des différents cours d'eau permettent de constater (Illustration 10) que :

- les débits spécifiques du Matz et de l'Aronde sont très voisins, tout au moins en étiage ;
- les débits spécifiques du Matz et de la Divette sont également très proches, avec toutefois des pics de crue, liés probablement à une forte composante ruissellement, observés uniquement sur la Divette.

Cette analyse préliminaire permet ainsi, avec les mesures disponibles, de considérer que les bassins versant du Matz et de l'Aronde pourraient avoir des comportements hydrologiques très similaires.

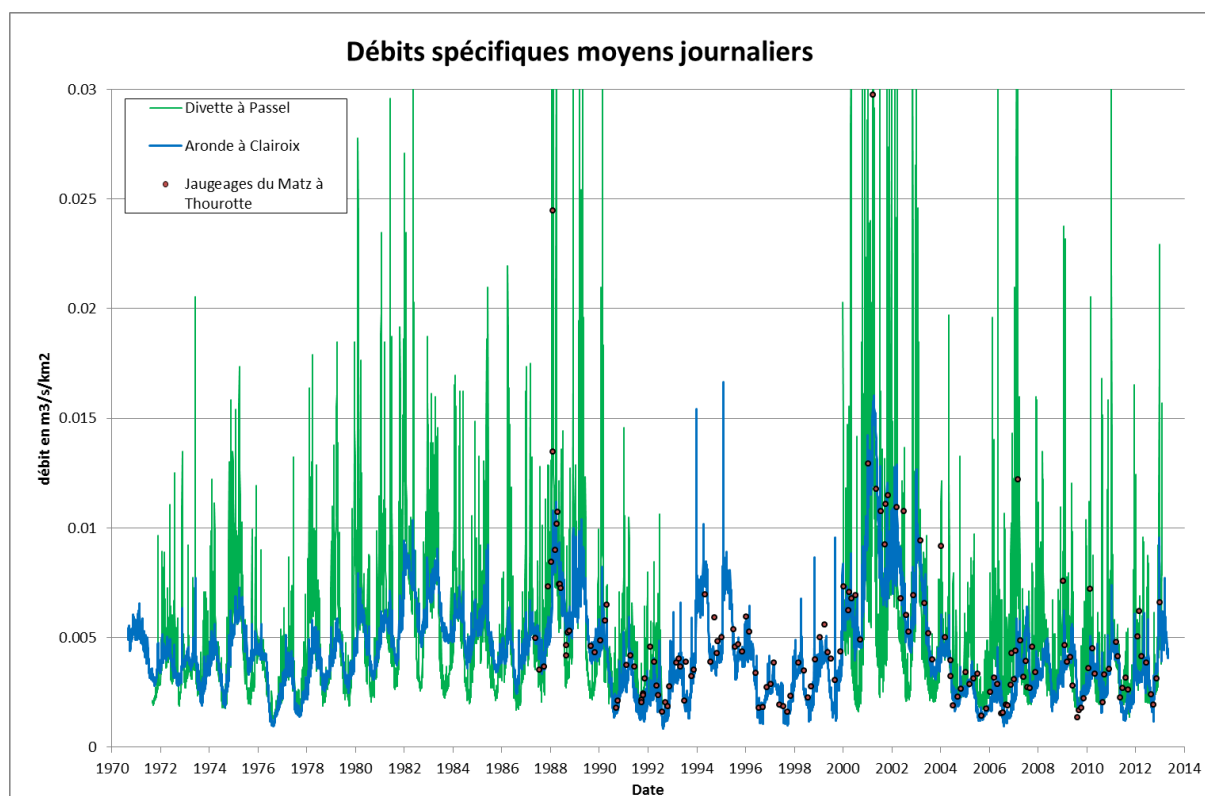


Illustration 10 – Débit spécifique de la Divette, de l'Aronde et du Matz.

Les corrélations entre débits spécifiques journaliers du Matz et de l'Aronde d'une part ainsi que du Matz et de la Divette d'autre part, confirment ce constat (Illustration 11). Le coefficient de corrélation est plus important avec les débits de l'Aronde (0,80) qu'avec ceux de la Divette (0,52). On note des différences significatives entre les débits du Matz et de la Divette notamment durant les hautes eaux et la corrélation est meilleure avec les débits de l'Aronde en période d'été.

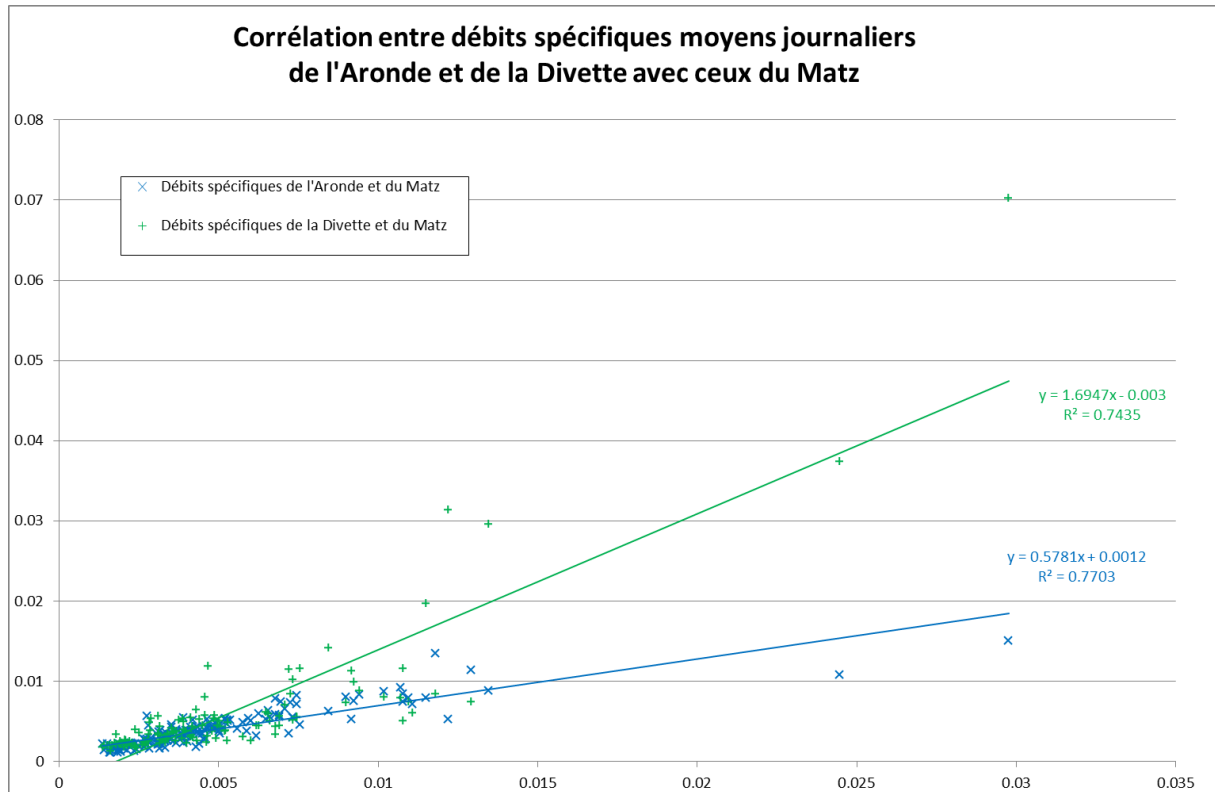


Illustration 11 – Corrélogramme croisé des débits du Matz avec les débits de l'Aronde et de la Divette.

Dans le bassin versant de l'Aronde, les prélèvements sont importants. Ils concernent très majoritairement les eaux souterraines, à hauteur de 6,4 Mm³ en 2011 et 5,7 Mm³ en 2012, répartis entre 55 et 75% pour l'alimentation en eau potable, de 15 à 40% pour l'irrigation et de 5 à 10% pour l'industrie. Les prélèvements, entre 2001 et 2013, représentent une lame d'eau annuelle de 21 à 24 mm, soit 15 à 17,5% de la lame d'eau moyenne de l'Aronde à Clairoix (137 mm). Les débits spécifiques de l'Aronde ont donc été corrigés des prélèvements.

Les débits spécifiques de l'Aronde, corrigés des prélèvements sur son bassin, ainsi que ceux de la Divette ont été utilisés pour reconstituer une chronique de débits sur le Matz (Illustration 12).

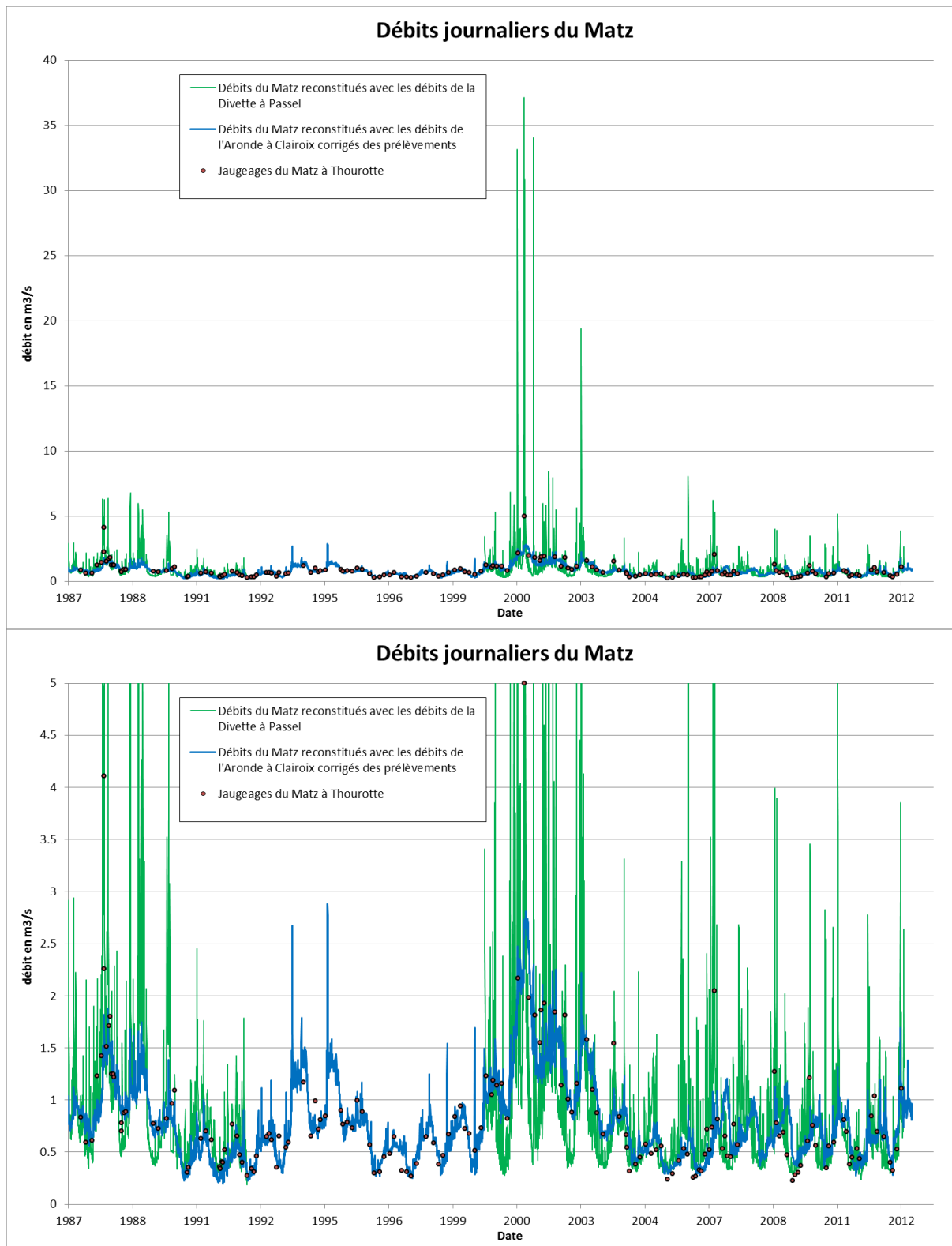


Illustration 12 – Débits journaliers reconstitués et jaugeages du Matz.

2.2.5. Niveaux piézométriques

Le comportement des deux piézomètres sélectionnés, captant la nappe de la craie, est presque identique. Les cycles annuels (hautes eaux et basses eaux) sont très marqués et se superposent à des cycles pluriannuels (Illustration 13).

Le piézomètre de Cuvilly a connu des assecs de plusieurs semaines en 1978, 1992, 1998, 2005 et 2006.

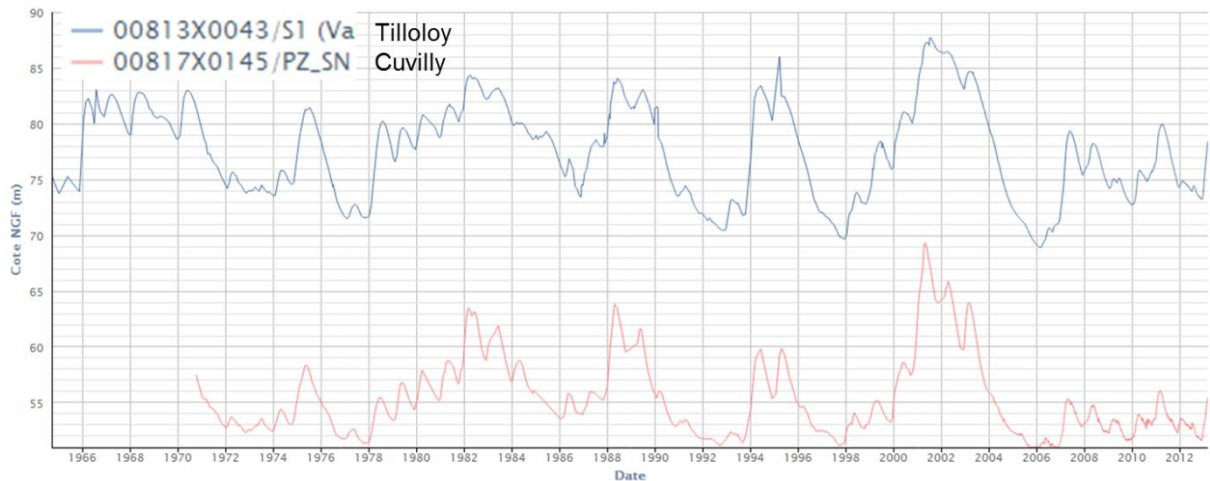


Illustration 13 - Fluctuations des niveaux piézométriques dans le bassin du Matz.

les lacunes des chroniques piézométriques ont été comblées par une interpolation linéaire sur 90 jours. Cette technique pour combler l'absence de données est ici rendue possible par la forte inertie de la nappe et donc une forte autocorrélation des données.

Le piézomètre de Cuvilly est le mieux corrélé au débit (cf. chapitre suivant). Pour compléter ses lacunes, en particulier celles ponctuelles de 1980 à 1994, plusieurs modélisations ont été réalisées :

- une modélisation simple : Pluie, ETP -> Niveau_Cuvilly ;
- une modélisation avec processus autorégressif (la variable de sortie est également une variable d'entrée) : Pluie, ETP, Niveau_Cuvilly -> Niveau_Cuvilly ;
- une modélisation avec en entrée le niveau piézométrique mesuré à Tilloloy : Pluie, ETP, Niveau_Tilloloy -> Niveau_Cuvilly.

La modélisation qui reproduit au mieux le niveau de la nappe à Cuvilly est la dernière avec Tilloloy en entrée, le coefficient de Nash est de 0,93. L'identification, d'une part du modèle obtenu sur toute la période d'observation et, d'autre part de la série observée présentant des lacunes, permet de prolonger la courbe observée, sur la période où elle n'était pas définie (Illustration 14).

La série ainsi complétée sera ensuite utilisée pour modéliser le débit du Matz.

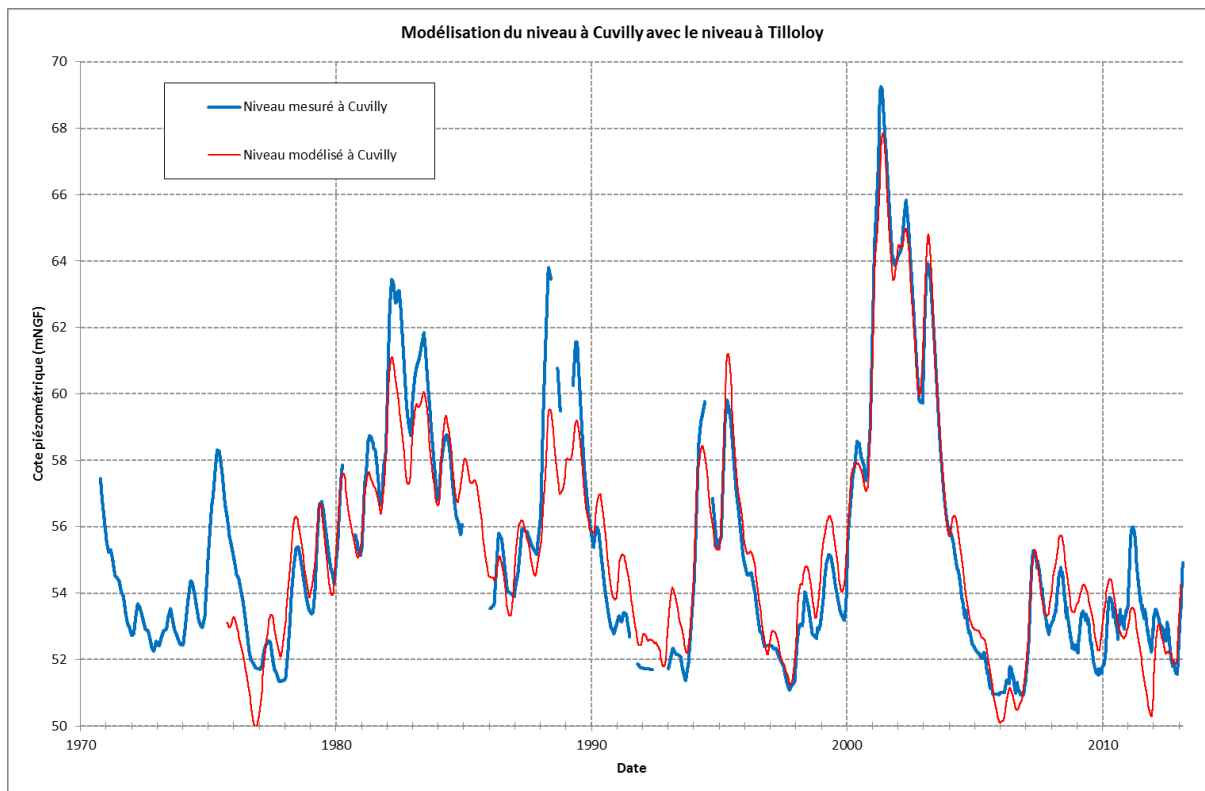


Illustration 14 – Comblement des lacunes de niveau à Cuvilly.

2.2.6. Corrélation des données niveau / débit

On note la forte similitude des variations de niveau piézométrique de la nappe de la craie à Cuvilly avec les débits du Matz, reconstitués à partir de ceux de l'Aronde corrigés des prélèvements (Illustration 15).

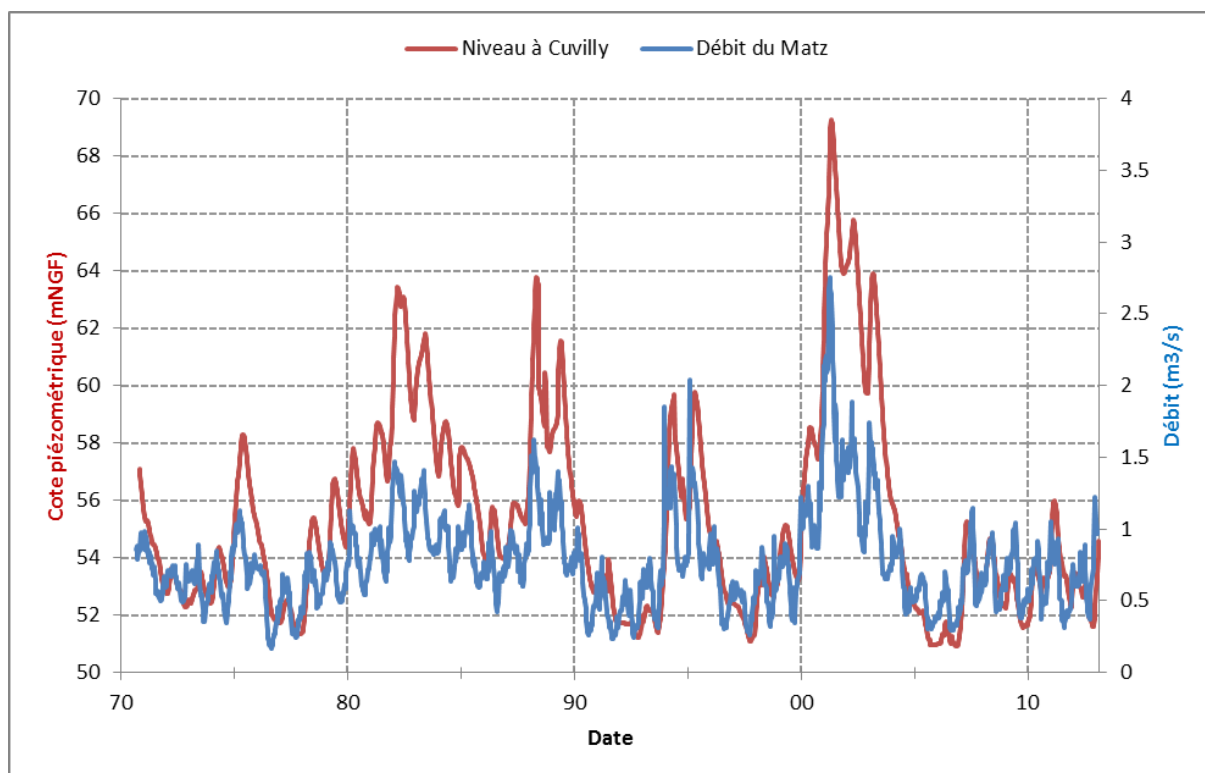


Illustration 15 - Fluctuations des niveaux piézométriques à Cuvilly et débits reconstitués du Matz.

Les coefficients de corrélation pour les piézomètres de Cuvilly et de Tilloloy avec les débits du Matz calculés à partir de ceux de l'Aronde, de l'Aronde corrigé des prélèvements et de la Divette sont indiqués dans le tableau ci-après (Tableau 5). La corrélation des niveaux piézométriques avec les débits du Matz déterminés d'après ceux de la Divette n'est que peu significative.

Les corrélations des niveaux piézométriques avec les débits du Matz reconstitués avec ceux de l'Aronde, corrigés ou non des prélèvements, sont relativement importantes. Par la suite, les modélisations seront effectuées avec la chronique de débits reconstitués à partir des débits de l'Aronde corrigés des prélèvements, puisqu'elle donne le meilleur ajustement aux jaugeages effectués.

	Débits Aronde	Débits Aronde_Pr	Débits Divette
Niveaux à Cuvilly	0,91 – 50j	0,90 – 50j	0,52 – 90j
Niveaux à Tilloloy	0,85 – 70j	0,83 – 60j	0,45 – 120j

Tableau 5 - Coefficient de corrélation maximum et temps de décalage correspondant, entre les niveaux piézométriques et les débits reconstitués du Matz.

Le corrélogramme croisé débit rivière / niveau piézométrique (Illustration 16) indique une différence de temps de réaction relativement importante entre la nappe et le cours d'eau, témoignant d'un retard entre la nappe et le cours d'eau. Ceci peut être mis en relation avec la

présence de terrains tertiaires générant un ruissellement important, l'existence d'autres nappes dans ces formations et la situation géographique de plateau du piézomètre de Cuvilly. Le coefficient de corrélation est de 0,90 pour un décalage de 50 jours et reste supérieur à 0,7 jusqu'à 160 jours de décalage.

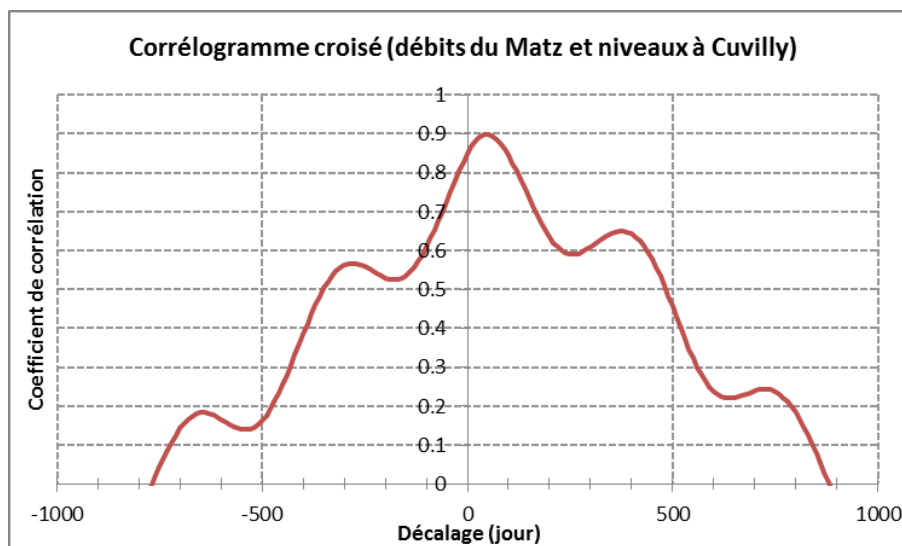


Illustration 16 - Corrélogramme croisé des niveaux piézométriques à Cuvilly avec les débits du Mayz reconstitués avec ceux de l'Aronde corrigés des prélèvements.

2.2.7. Prélèvements

Jusqu'en 2006, les prélèvements annuels en nappe sont relativement stables sur le bassin du Matz, variant de 1,3 à 1,8 Mm³ et se répartissant entre l'eau potable (45 à 60%), l'industrie (30 à 50%) et l'irrigation (5 à 13%). Suite à une forte diminution des pompages industriels, les prélèvements totaux ont été divisés par 1,5 en 2007 (Illustration 17 et Illustration 18).

De 2007 à 2011, les prélèvements annuels sont de l'ordre de 1 Mm³, répartis entre l'eau potable (57 à 68%), l'industrie (20 à 30%) et l'irrigation (5 à 20%). Ramenés à la surface du bassin (168 km²), ils correspondent à une lame d'eau annuelle d'environ 5 à 10 mm, soit 3,5 à 7% de la lame d'eau annuelle du Matz selon les jaugeages (153 mm) et 3,8 à 7,5% de la lame d'eau annuelle du Matz calculée d'après le débit de l'Aronde (143 mm).

Les coordonnées des captages sont fournies au centroïde de la commune du compteur, cependant, après recollement avec les données de la Banque du Sous-Sol (BSS), l'ensemble des forages capterait la nappe de la craie.



Illustration 17 – Localisation des prélèvements dans le bassin du Matz.

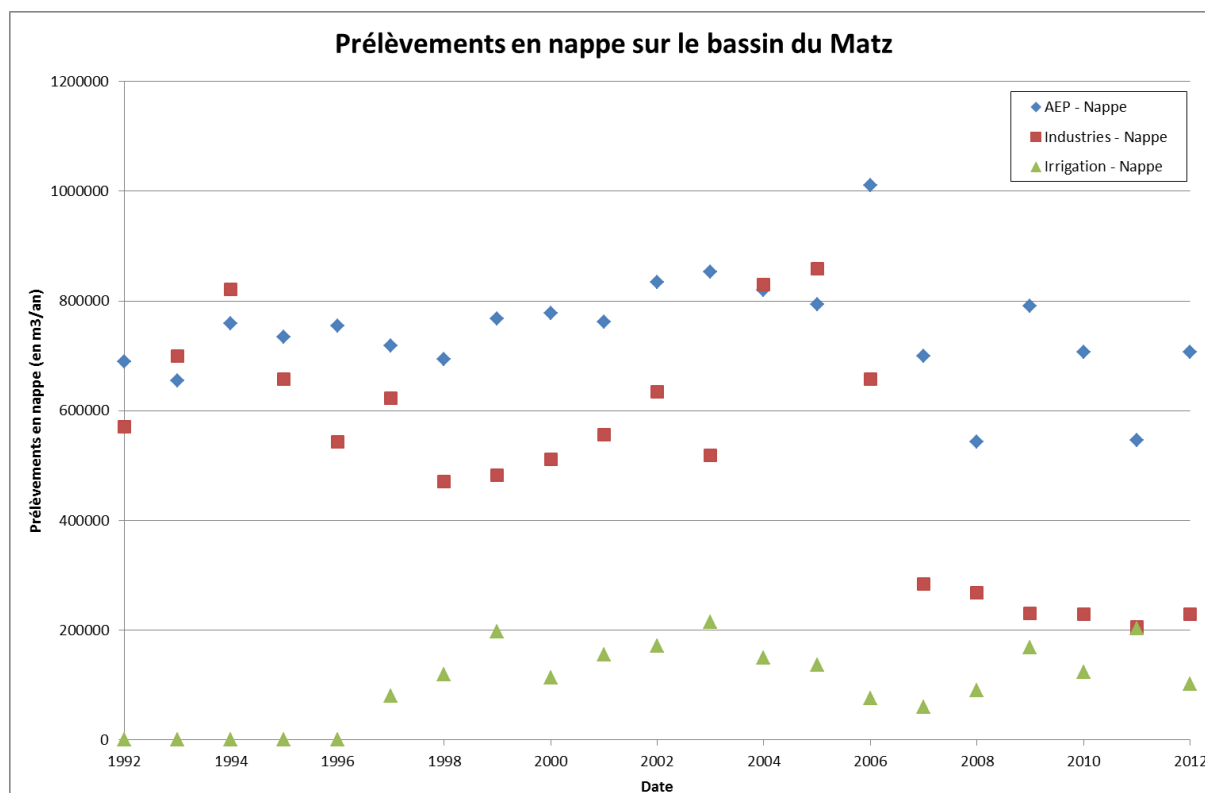


Illustration 18 – Evolutions des prélèvements en nappe sur le bassin du Matz par type d'usage.

2.2.8. Comparaison des prévisions des niveaux et débits observés en 2012

Lors d'une étude de 2012, des prévisions des niveaux piézométriques et des débits du Matz ont été réalisées, à partir d'avril 2012 et durant l'été 2012 (rapport BRGM/RP-61164-FR, juin 2012).

Débits :

En 2012, les débits observés ont été, selon les pas de temps, proches des valeurs de prévisions de période de retour 5 ans et 10 ans humide (Illustration 19).

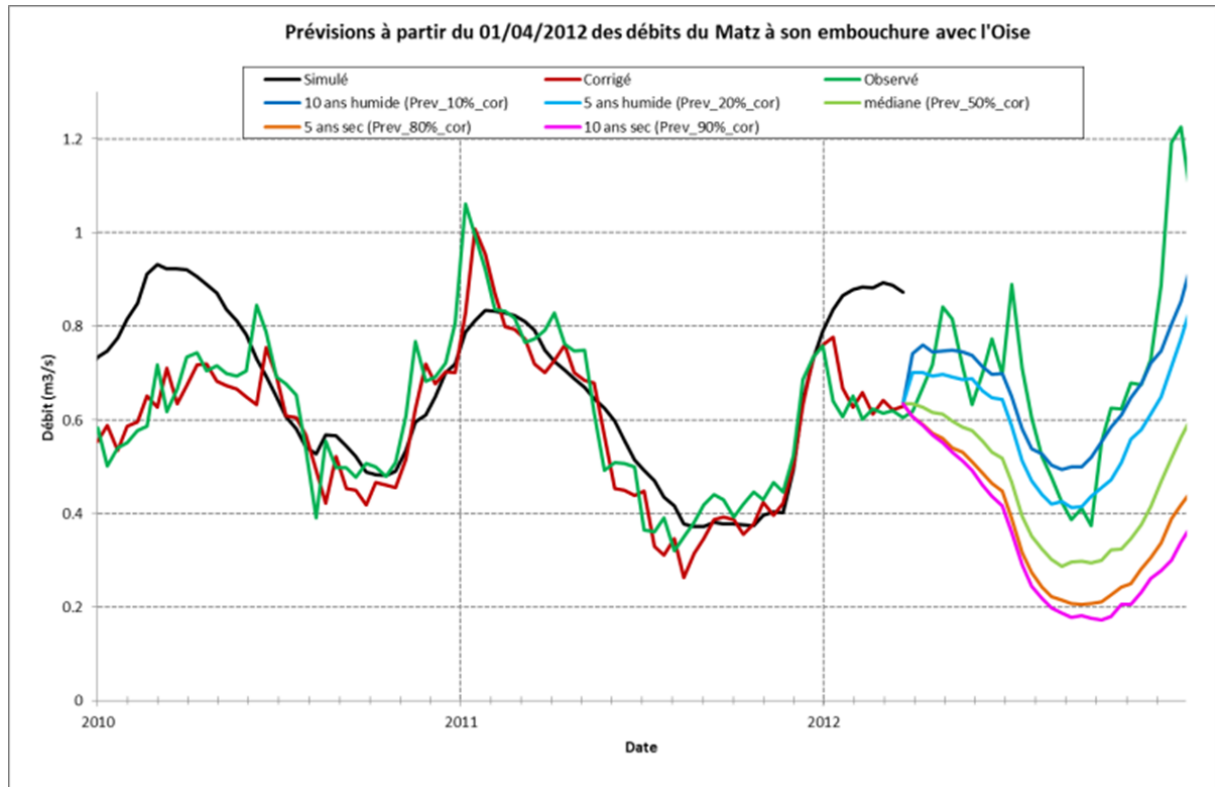


Illustration 19 – Prévision des débits décadaires du Matz à partir du 01/04/2012.

Niveaux :

Les niveaux observés ont suivis la tendance du début d'année et sont restés proches des courbes prévisionnelles de période de retour 5 ans sec (Illustration 20).

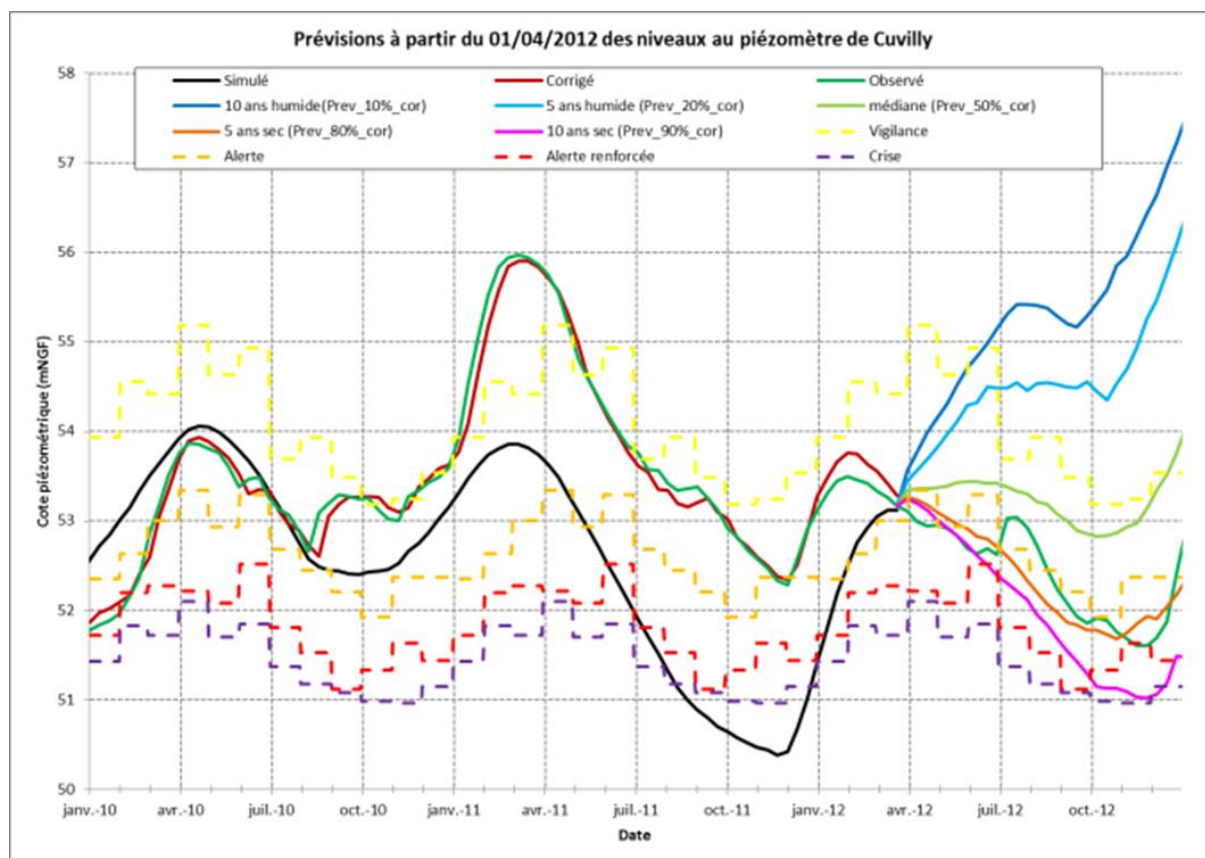


Illustration 20 – Prévision des niveaux piézométriques décadaires à partir du 01/04/2012 au piézomètre de Cuvilly.

Les quantiles de pluies des périodes d'étiage (d'avril à septembre) ont été déterminés pour la chronique de la pluie optimale (Tableau 6). Sur 42 ans (1971 à 2012), le cumul de pluie optimale d'avril à septembre est de 334,8 mm en moyenne, avec un minimum de 143,4 mm en 1976 et un maximum de 535,3 mm en 2001.

Le cumul des précipitations entre avril et septembre 2012, pour la pluie optimale, ont été de 362 mm et se situeraient entre les 2,5 et les 5 ans humide.

Quantile	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Période de retour	10 ans sec	5 ans sec		2,5 ans sec	médiane	2,5 ans humide		5 ans humide	10 ans humide
Pluie cumulée (avril à septembre) (mm)	260,8	291,9	311,7	323,8	340,3	355,6	365,1	379,7	395,1

Tableau 6 – Quantiles des pluies optimales du Matz.

Les pluies influencent différemment les niveaux et les débits selon la période considérée. Ainsi, alors que la pluviométrie durant l'étiage 2012 a permis de soutenir les débits, elle n'a pas été efficace pour la nappe. La pluie hivernale est alors primordiale pour la recharge de la nappe et conditionne les niveaux piézométriques durant les étiages. A noter toutefois que les pluies exceptionnelles de juillet 2012 ont permis d'amorcer une hausse des niveaux piézométriques, cependant pas suffisante pour que les niveaux de Cuvilly repassent au-dessus des normales.

2.2.9. Modélisation globale

La modélisation globale des écoulements s'est faite en plusieurs étapes : le calage Pluie-Niveau, le calage Pluie-Niveau-Débit, la validation de ces calages sur la plus longue période de données sans discontinuités puis les prévisions.

a) Modélisations Pluie-Niveau et Pluie-Niveau-Débit

Les modélisations Pluie-Niveau et Pluie-Niveau-Débit ont été effectuées au pas de temps décadaire en utilisant les données suivantes :

- les cumuls décadaires des hauteurs de précipitations mesurés aux stations de Candor, de Ribécourt-Dreslincourt et de Godenvillers ;
- l'évapotranspiration (ETP Penman décadaire) à la station de Creil ;
- le débit journalier reconstitué du Matz, à partir du débit journalier de l'Aronde corrigé des prélèvements ;
- les chroniques piézométriques de Cuvilly.

La période de calage est : 10/1992 – 04/2013 pour la modélisation Pluie-Niveau et 08/1992 – 04/2013 pour la modélisation Pluie-Niveau-Débit avec le débit du Matz reconstitué d'après celui de l'Aronde. Vu l'inertie de la nappe sur ce bassin et la présence de cycles interannuels marqués sur les chroniques piézométriques et de débit, il est important d'avoir une période de calage assez longue.

Le calage du piézomètre de Cuvilly est globalement très satisfaisant, avec un coefficient de Nash de 0,95 (Illustration 21). La prise en compte des prélèvements sur le bassin du Matz améliore légèrement le calage.

Les fonctions de transfert (F.T.) permettant de reproduire le niveau à Cuvilly à partir de la pluie efficace sont sous la forme de Gaussienne*Exponentielle, représentant la recharge et la vidange de la nappe : les bornes de la F.T. « lente » et « rapide » sont respectivement de 1760 jours et de 400 jours, avec un pic au bout de 70 jours. On retrouve au travers de ces 2 fonctions de transferts la double cyclicité des fluctuations de la nappe de la craie (Illustration 22) : un cycle annuel (hautes eaux/basses eaux) et un cycle interannuel, caractéristique d'une forte inertie de la nappe.

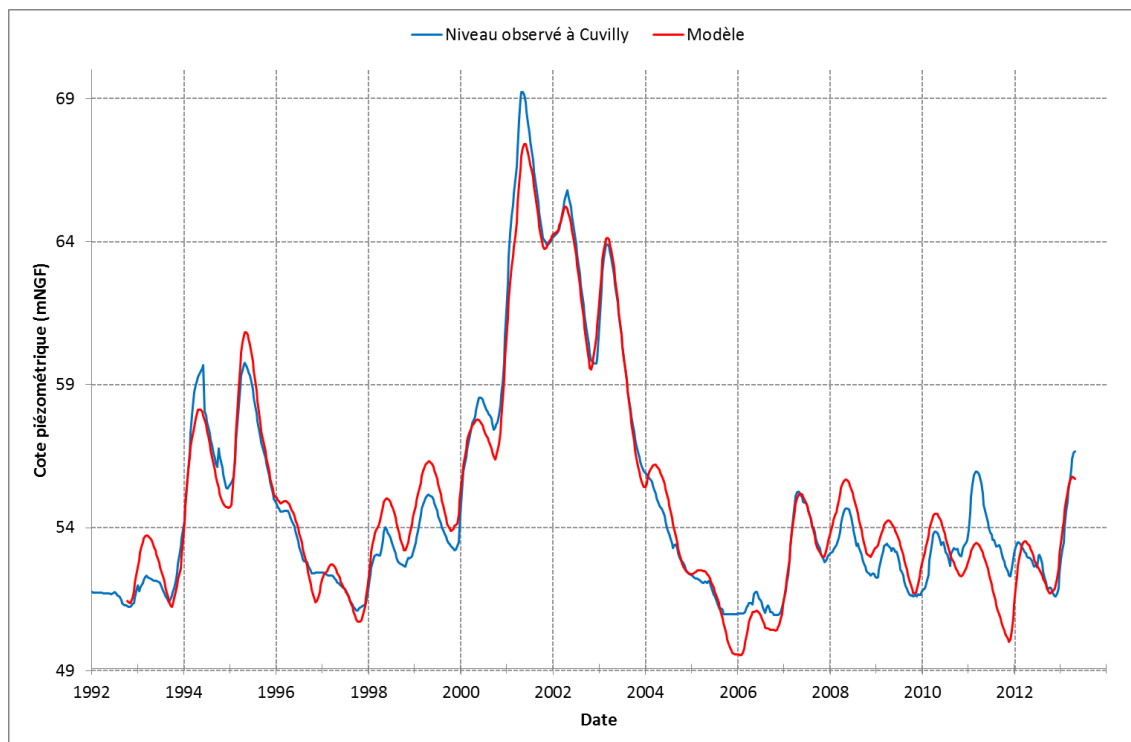


Illustration 21 – Calage du niveau piézométrique, en prenant en compte les prélèvements, sur le bassin du Matz.

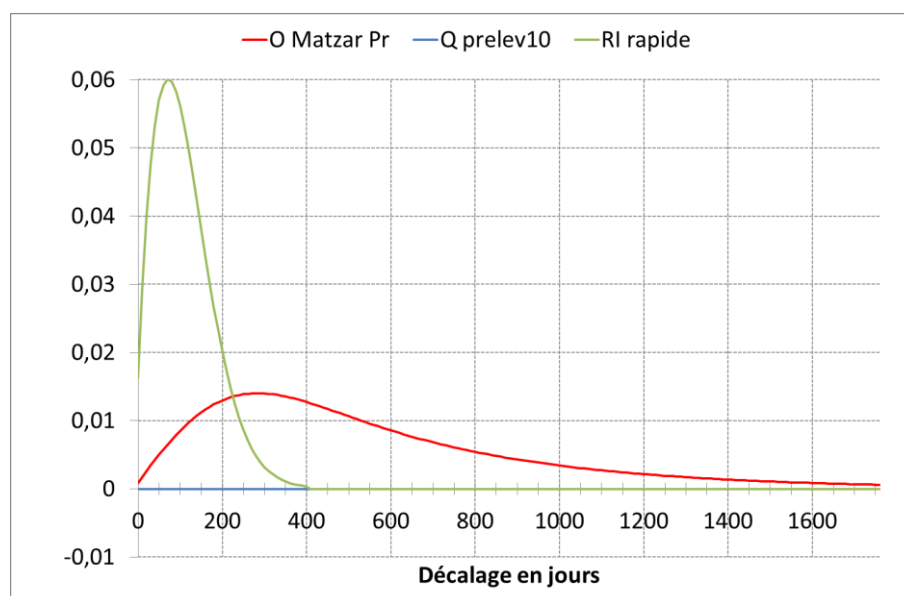


Illustration 22 – Fonctions de transfert permettant de reproduire le niveau piézométrique à Cuvilly.

De nombreux essais de calages du débit du Matz, en considérant l'apport de la nappe, ont été réalisés en prenant en compte la chronique des débits du Matz reconstitués (avec ceux de l'Aronde corrigés des prélèvements du bassin de l'Aronde).

Le meilleur calage obtenu est représenté ci-dessous (coefficient de Nash de 0,81) (Illustration 23). Bien que globalement le modèle reproduise bien le signal, les débits d'étiage ne sont pas toujours bien simulés.

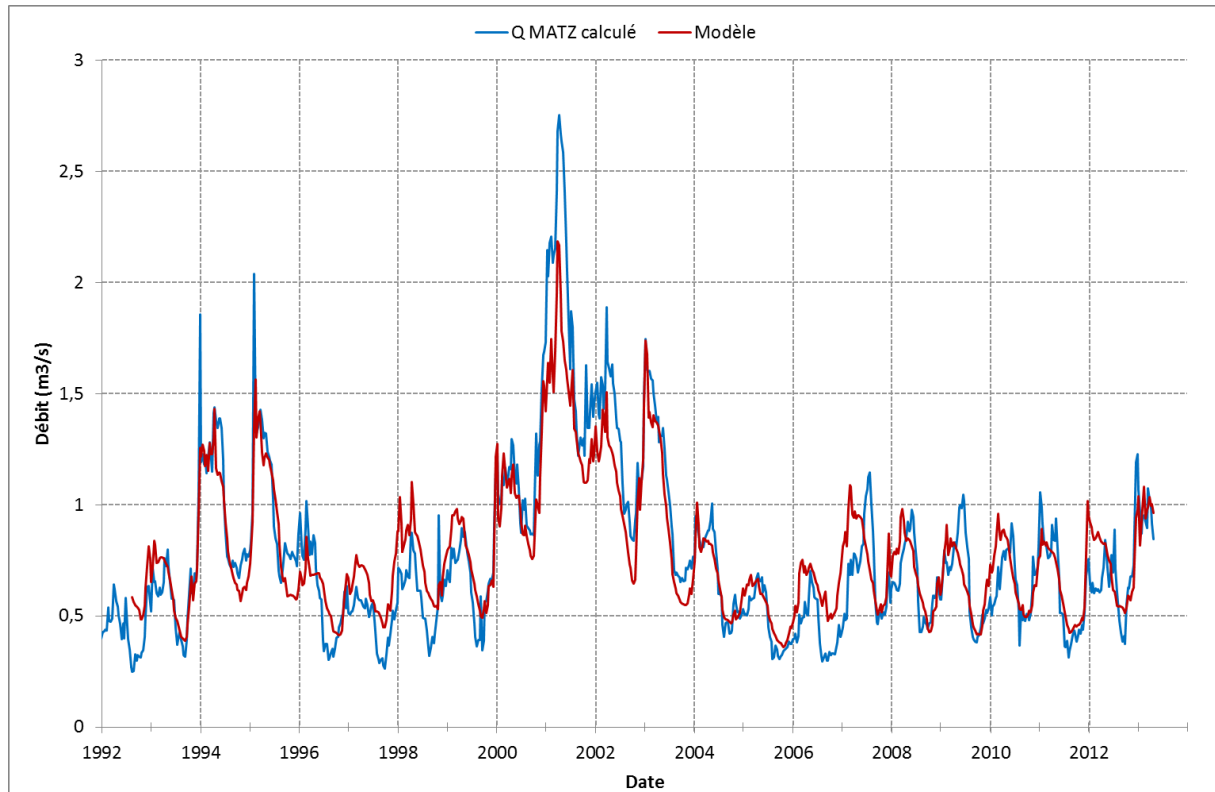


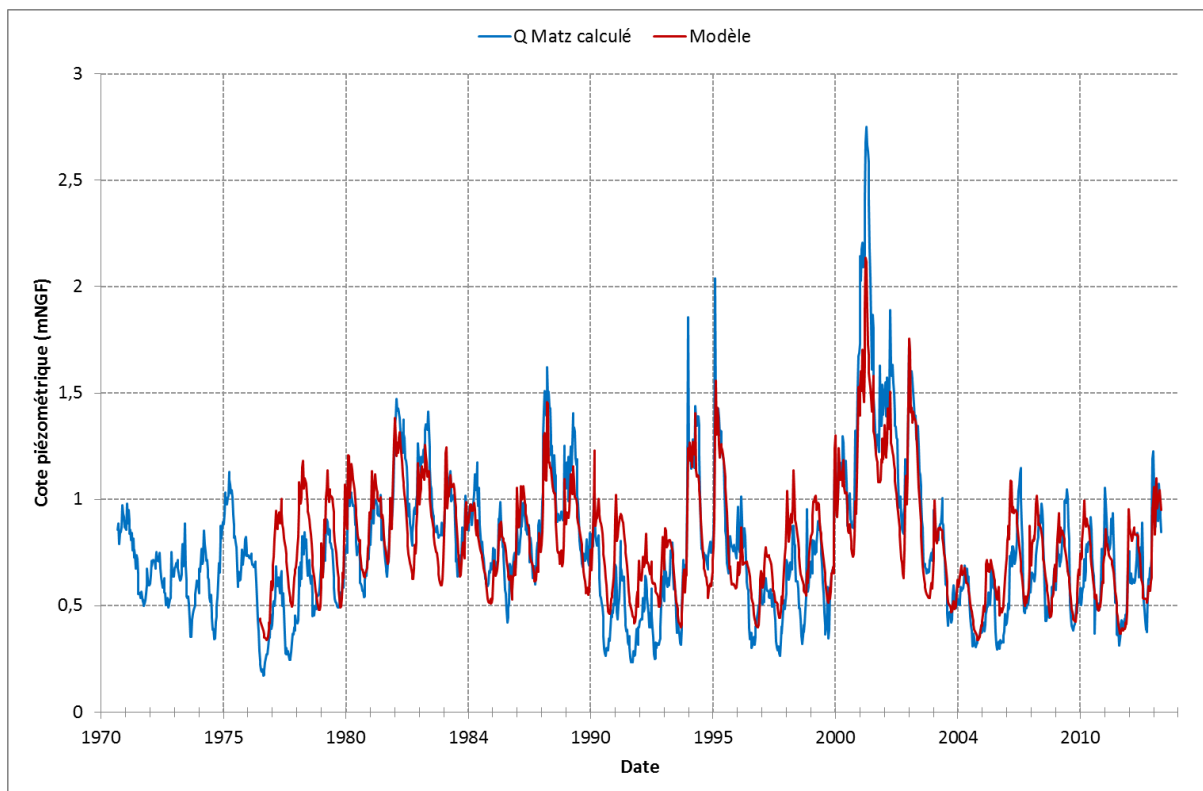
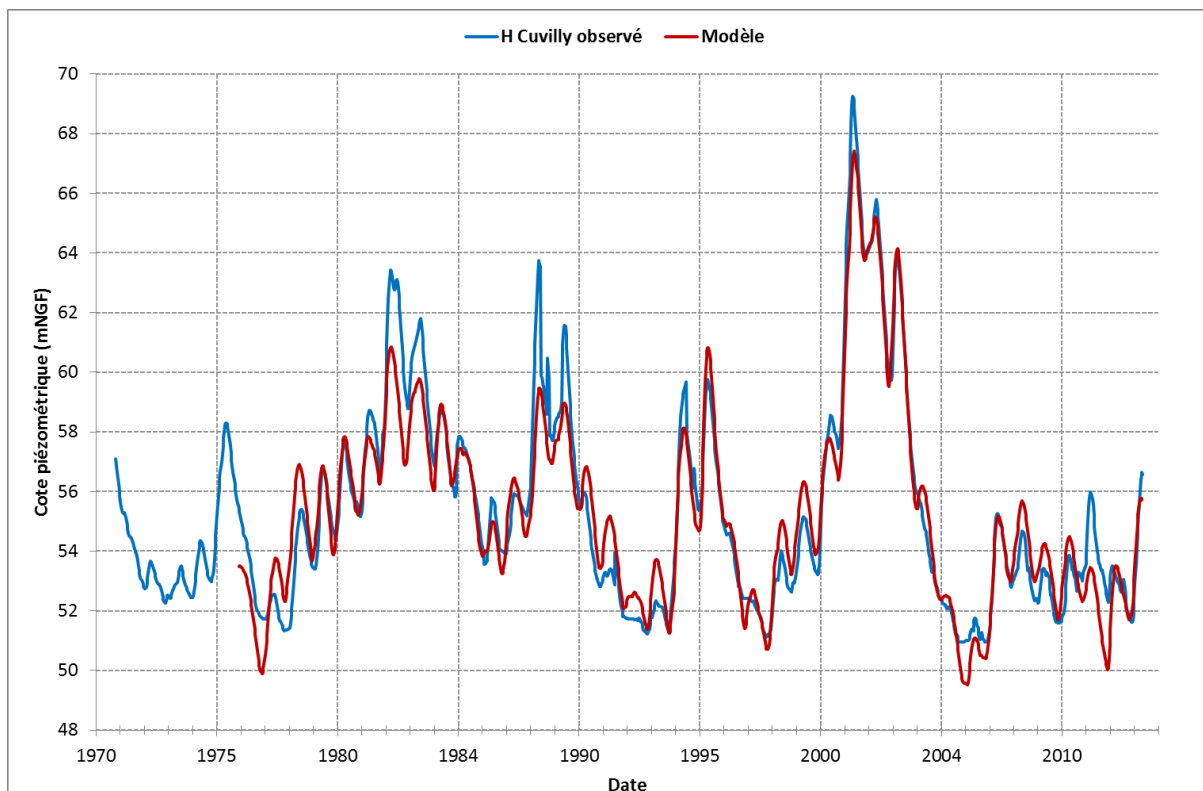
Illustration 23 – Calage du débit du Matz, modèle et débits reconstitués.

Compte tenu des incertitudes liées à la chronique de débits reconstitués, il n'est pas présenté de décomposition de l'écoulement.

b) Validation

La phase de validation des calages Pluie-Niveau et Pluie-Niveau-Débit s'est faite respectivement sur les périodes 12/1975 – 04/2013 et 06/1976 – 04/2013, les coefficients de Nash sont égaux à 0,91 pour le Pluie-Niveau et à 0,74 pour le Pluie-Niveau-Débit (Illustration 24 et Illustration 25).

Le modèle Pluie-Niveau reproduit de façon satisfaisante les périodes d'étiage. Concernant le calage Pluie-Niveau-Débit, des incertitudes subsistent sur la validité du modèle du fait de l'absence de station de jaugeage sur le Matz.



c) Prévisions

Avant de faire les simulations, un processus autorégressif sur les écarts a été lancé afin de réduire au mieux les écarts entre les simulations et les observations de débits et de niveaux avant la période de prévision. Les figures suivantes fournissent une prévision des débits et des niveaux piézométriques probables pour l'année 2013 à partir des calages précédents (Illustration 26 et Illustration 27).

Selon les modélisations, les débits durant la période d'étiage seront probablement au-dessus de ceux de 2012. Les niveaux d'étiage 2013 seront très probablement au-dessus de ceux de 2011, même pour une période de retour de 10 ans sec. En basses eaux (septembre-octobre), ils seront proches de ceux de 2012 pour des périodes de retour 5 à 10 ans sec.

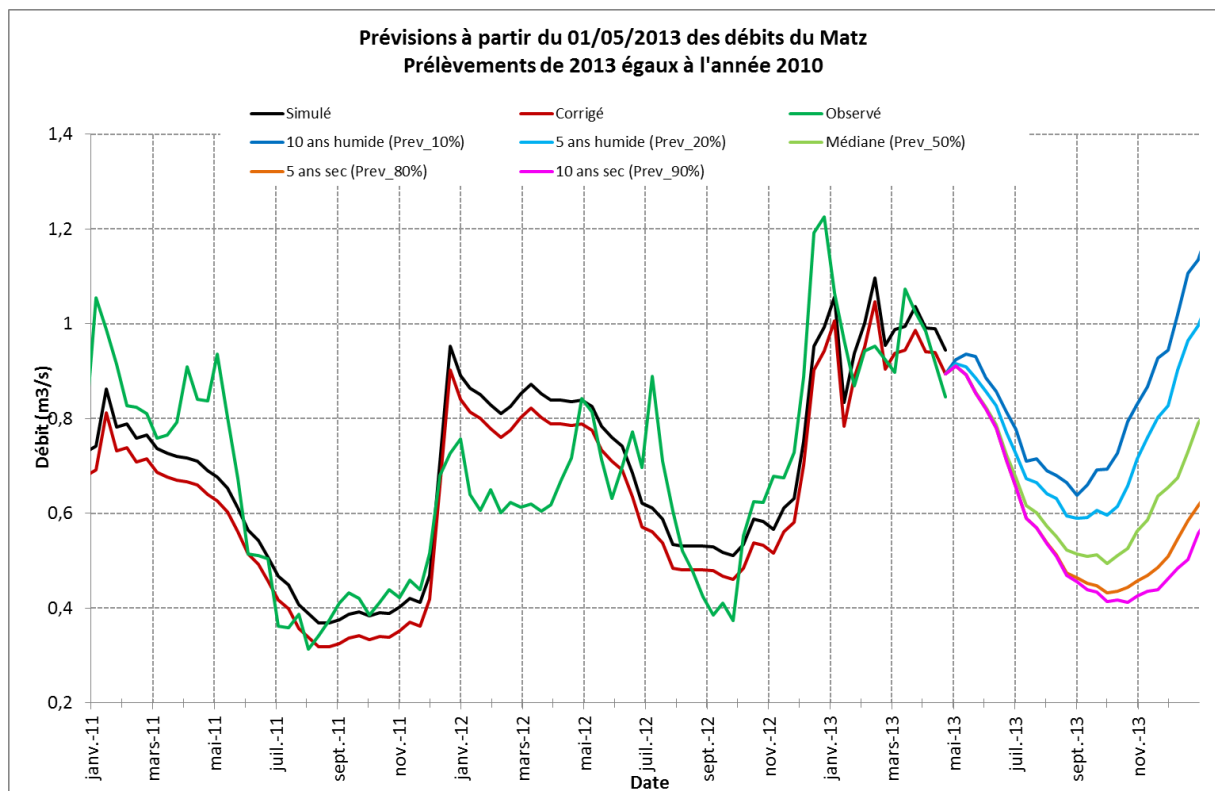


Illustration 26 – Prévision des débits décennaux du Matz à partir du 01/05/2013 – Les prévisions sont représentées comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.

Les niveaux prévus pour l'année 2013 seront très probablement au-dessus de ceux mesurés en 2011 et 2012, même pour une période de retour correspondant au 10 ans sec. La recharge de l'hiver 2012-2013 a permis d'observer des niveaux à Cuvilly, en début de période d'étiage, très supérieurs à ceux de 2012.

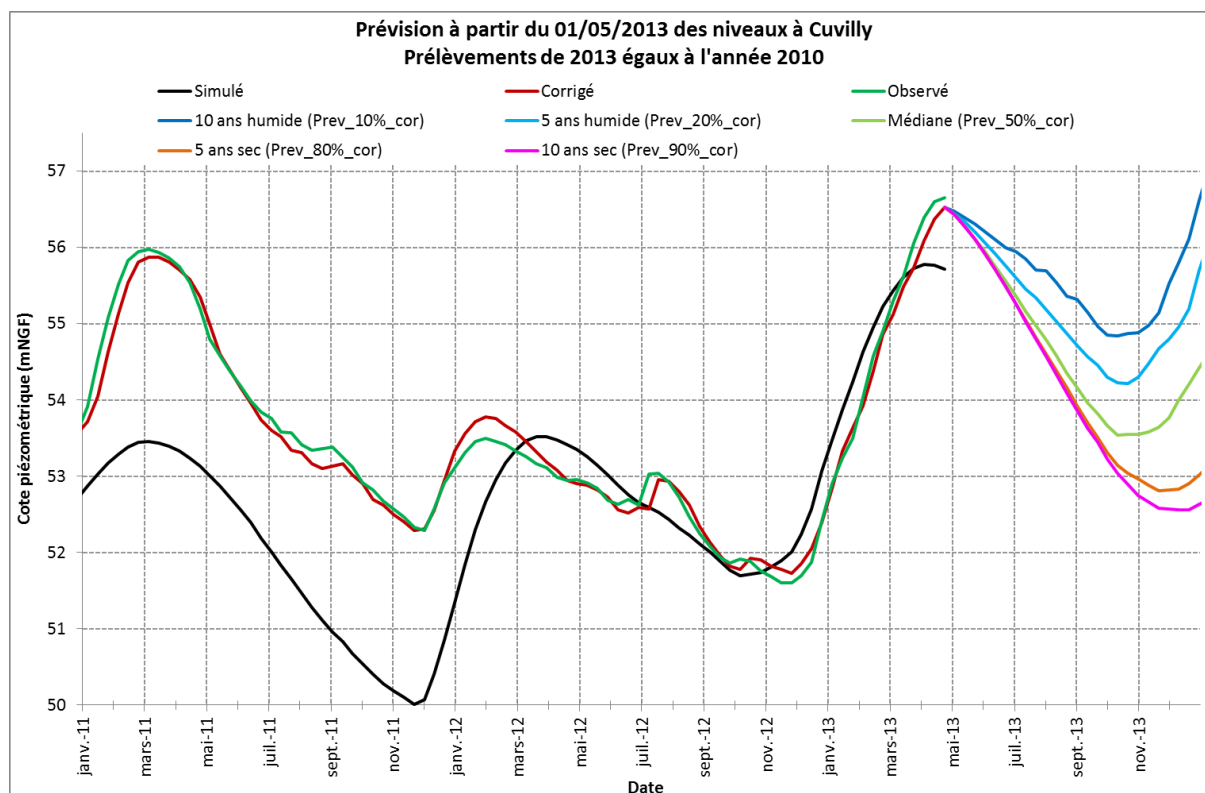


Illustration 27 – Prévision des niveaux piézométriques décadaires à partir du 01/05/2013 au piézomètre de Cuvilly – Les prévisions sont représentées comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.

d) Bulletin de situation hydrogéologique (BSH)

Le bulletin a été établi au 1 juin 2013. A Cuvilly, le niveau piézométrique est en hausse depuis décembre 2012 puis se stabilise à partir de mai 2013. En fin de recharge, en avril et mai 2013, il se situe entre les 2,5 et 5 ans humide et au-dessus des niveaux de 2012 (Illustration 28).

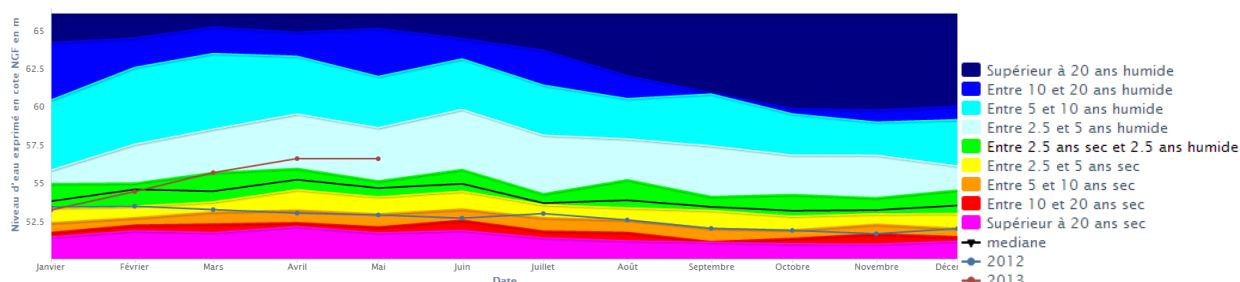


Illustration 28 – Niveaux piézométriques et périodes de retour à Cuvilly.

En 2012, les niveaux à Cuvilly ont été successivement en-dessous des seuils de vigilance, d'alerte et d'alerte renforcée (Tableau 7). A partir de février 2013, ils sont repassés au-dessus des seuils sécheresse.

	mi janvier 2012	fin janvier 2012	mi février 2012	fin février 2012	mi mars 2012	fin mars 2012	mi avril 2012	fin avril 2012	mi mai 2012	fin mai 2012	mi Juin 2012	fin Juin 2012
Le Matz-Aronde à Cuvilly	22,45	22,30	22,33	22,47	22,56	22,69	22,86	22,82	22,92	23,11	23,18	23,17

	mi Juillet 2012	fin Juillet 2012	mi aout 2012	fin aout 2012	mi- septembre 2012	fin septembre 2012	mi octobre 2012	fin octobre 2012	mi novembre 2012	fin novembre 2012	mi décembre 2012	fin décembre 2012
Le Matz-Aronde à Cuvilly	22,70	22,89	23,23	23,60	23,82	23,98	23,87	24,06	24,19	24,21	23,94	23,23

	mi janvier 2013	fin janvier 2013	mi février 2013	fin février 2013	mi mars 2013	fin mars 2013	mi avril 2013	fin avril 2013
Le Matz-Aronde à Cuvilly	22,64	22,20	21,32	20,75	20,28	19,56	19,18	19,14

RAS	Vigilance	Alerte
Alerte renforcée	Crise	

Tableau 7 – Niveaux piézométriques à Cuvilly et seuils de suivi (stations sécheresse).

e) Conclusions sur les étiages 2012

Si la reconstitution des débits du Matz à partir des jaugeages effectués et de la chronique de l'Aronde ouvre une perspective intéressante, les prévisions effectuées sur le débit du Matz demeurent très incertaines. Il conviendrait avant tout de confirmer l'approche retenue pour la reconstitution des débits par la poursuite des jaugeages ou mieux encore par la mise en place d'une station limnimétrique.

L'utilisation du logiciel TEMPO© permet, après calage, de réaliser des prévisions de niveaux piézométriques relativement fiables avec une précision correcte sur le piézomètre de Cuvilly. Malgré un relativement bon calage, les incertitudes sur les données et les limites « techniques » des modèles font que des incertitudes non négligeables peuvent perdurer.

D'après les prévisions réalisées, le niveau piézométrique mesuré à Cuvilly devrait probablement se situer au-dessus des seuils sécheresse, pour des probabilités supérieures à la médiane (50%). La prévision est au maxima au seuil de « vigilance » en automne 2013, pour des prévisions de périodes de retour 5 ans et 10 ans sec (Illustration 29).

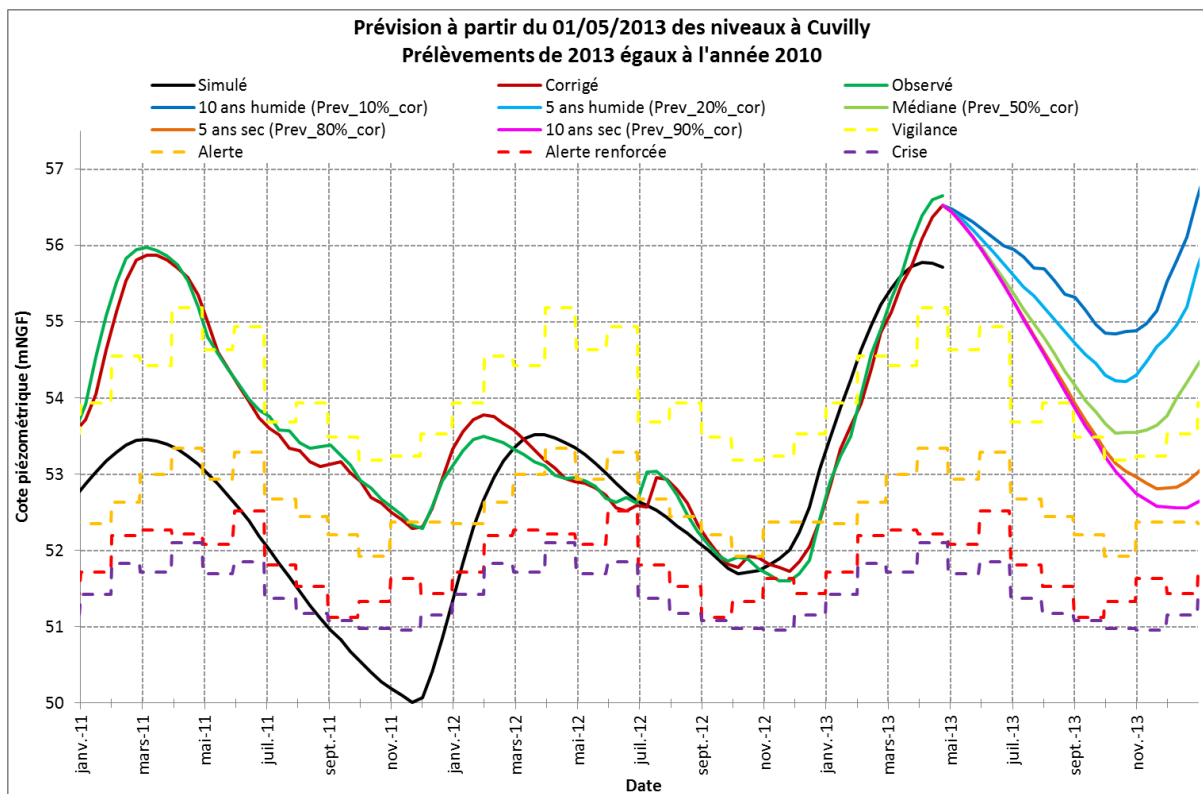


Illustration 29 – Comparaison des prévisions des niveaux et des seuils sécheresse au piézomètre de Cuvilly.

2.3. BASSIN VERSANT DE LA BRECHE

2.3.1. Contexte géographique et hydrographique

La Brèche émerge à Reuil-sur-Brèche, à une altitude de 110 m, et rejoint l'Oise à Nogent-sur-Oise à 26 m, après un parcours de 45,5 km. La pente moyenne du cours d'eau est de 2,5‰. Son principal affluent, l'Arré la rejoint en rive gauche, dans la commune de Clermont. Ce cours d'eau prend sa source en amont de Saint-Just-en-Chaussée, à 85 m d'altitude, et s'écoule sur le Plateau Picard sur une longueur de 16 km.

Le bassin hydrographique de la Brèche se situe au centre du département de l'Oise, en rive droite de la rivière Oise (Illustration 30). Il s'étend sur une surface de 483 km² entre Crèvecœur-le-Grand au nord-ouest et Creil au sud-est.

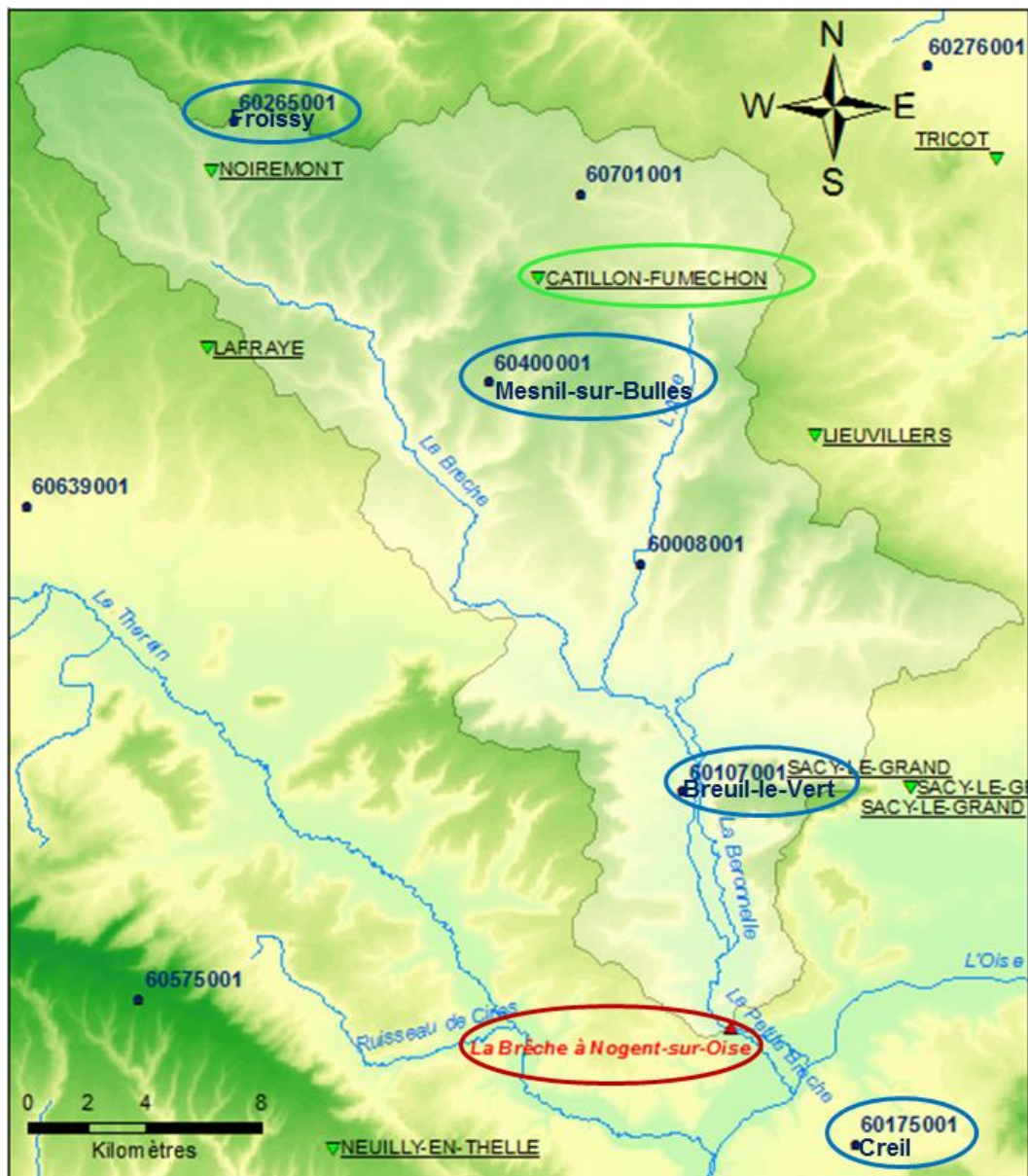


Illustration 30 - Localisation du bassin de la Brèche.

2.3.2. Contexte géologique et hydrogéologique

Sur la partie nord du bassin versant, la craie à silex du Sénonien et du Turonien forme un plateau qui culmine à 172 m à Valescourt. Les limons recouvrent la majeure partie des formations. L'anticlinal de Clermont, orienté nord-ouest/sud-est passe par Saint-Rémy-en-l'Eau et Cuignières, structure la région et explique le cours de la haute vallée de la Brèche. La vallée de la Brèche est généralement tapissée d'une couche d'alluvions argilo-sableuses à tourbeuses, de faible épaisseur à l'amont et pouvant atteindre 10 m en aval.

Au sud, les terrains tertiaires se rencontrent sous forme de buttes constituées, de haut en bas, des calcaires du Lutétien sur les plateaux, des sables de Cuise de l'Yprésien supérieur sur les versants, des argiles sparnaciennes de l'Yprésien inférieur et des sables de Bracheux du Thanétien en vallée. Les alluvions de la vallée de la Brèche atteignent 5 m d'épaisseur entre Clermont et Rantigny.

La craie du Sénonien et du Turonien supérieur forme le réservoir aquifère le plus important du bassin versant. La nappe est libre, hors recouvrement tertiaire, et les écoulements souterrains convergent vers la vallée de la Brèche et de l'Arré à la faveur de fissures généralement plus développés et ouvertes dans la partie supérieure de la craie ainsi qu'au droit des vallons secs et vallées humides. La nappe de la craie fournit la plus grande partie des débits des rivières, dont elle régularise dans une large mesure le régime.

Les sables de Bracheux du Thanétien contiennent une nappe continue, libre à la périphérie des dépôts tertiaires et au sein des nombreuses buttes témoins qui parsèment le plateau picard, mais le plus souvent captive sous les argiles du Sparnacien (Yprésien inférieur). N'étant pas isolée de la craie par des formations imperméables continues, la nappe des sables de Bracheux est pratiquement partout en continuité hydraulique avec celle de la craie. Ainsi, les deux aquifères constituent un réservoir bi-couche dans lequel les sables jouent le rôle de roche-magasin et la craie sous-jacente celui de couche conductrice.

La nappe des sables de Cuise (Yprésien supérieur) présente un régime libre compte-tenu de l'importance des affleurements de l'étage. Elle peut cependant devenir captive au centre des plateaux et sous recouvrement des argiles de Laon (Yprésien supérieur). De nombreuses sources émergent des sables au contact des argiles sparnaciennes (Yprésien inférieur) sous-jacentes. Elle est alimentée par les précipitations sur ces affleurements, par la réinfiltration des sources du Lutétien et par drainance verticale des calcaires du Lutétien. La nappe est également drainée par les vallées qui la recoupent. Ainsi, la Brèche s'écoule sur 5 km en amont de la station de Nogent-sur-Oise sur les sables de Cuise de l'Yprésien.

Sur les plateaux des buttes tertiaires, la nappe libre des calcaires du Lutétien est en position perchée dans le bassin de la Brèche. En effet, l'aquifère est séparé de celui des sables de Cuise de l'Yprésien par un niveau argileux (argile de Laon). De nombreuses sources émergent à flanc de coteau au-dessus des niveaux argileux puis se réinfiltrent dans les formations sableuses de l'Yprésien. Son alimentation se fait exclusivement par l'impluvium direct.

La vallée de la Brèche est tapissée d'alluvions qui, lorsque les dépôts sont suffisamment épais, peuvent renfermer une nappe alluviale en relation avec le cours d'eau. Le substratum de la vallée de la Brèche est aussi varié que les couches géologiques traversées. Il peut être constitué de formations également perméables comme la craie en amont, les sables de Bracheux (Thanétien) et les sables de Cuise (Yprésien supérieur) tertiaires et dans ce cas la nappe alluviale se confond avec la nappe sous-jacente. Lorsque le substratum est formé de

couches imperméables comme les argiles du Sparnacien (Yprésien inférieur), la nappe des alluvions est alors indépendante et forme une unité hydrogéologique à part entière.

Au total, 5 ouvrages enregistrant les fluctuations piézométriques de la nappe de la craie se situent à l'intérieur ou en bordure du bassin versant. Il s'agit des piézomètres de Noiremont, de Catillon-Fumechon, de Lafraye, de Lieuvillers et de Sacy-le-Grand (Tableau 8).

BASSIN VERSANT	STATION PLUVIOMETRIQUES	STATIONS ETP	PIEZOMETRES	STATIONS HYDROMETRIQUES
BRECHE 459 km2	Breuil-Le-Vert 60107001 01/08/1948 - 2013	Creil 60175001 11/05/1989 - 2013	Noiremont 00805X0002/S1 13/01/1965 - 2013	Nogent-sur-Oise H7602010 01/01/1969 - 2013
	Mesnil-sur-Bulles 60400001 01/06/1951 - 2013		Lafraye 01031X0023/S1 15/09/1970 - 2013	
	Creil 60175001 11/05/1989 - 2013		Catillon-Fumechon 00807X0015/S1 08/03/1974 - 2013	
	Froissy 60265001 01/01/1931 - 2013		Lieuvillers 01034X0014/S1 12/03/1974 - 2013	
			Sacy-le-Grand 01045X0015/S1 15/09/1970 - 2013	

Tableau 8 - Liste des stations de mesure utilisées pour le calage du modèle pour le bassin de la Brèche.

2.3.3. Pluviométrie

Concernant les données relatives aux précipitations, quatre stations pluviométriques ont été retenues, selon leur position sur le bassin versant (amont/aval), leur altitude et leur historique : Breuil-le-Vert, Mesnil-sur-Bulles, Creil et Froissy. Par ailleurs, nous disposons de l'ETP décadaire au droit de la station de Creil.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des trois stations pluviométriques retenues. La formule obtenue est la suivante :

$$Popt = 18\% * \text{Breuil-le-Vert} + 67\% * \text{Mesnil-sur-Bulles} + 15\% * \text{Creil}$$

La station de Mesnil-sur-Bulles est située sur le plateau crayeux, sur la partie nord du bassin de la Brèche, celle de Breuil-le-Vert est dans la vallée de la Brèche, en partie aval du bassin et

celle de Creil est dans la vallée de l'Oise, en aval du bassin. C'est la combinaison de ces stations pluviométriques qui permet de reproduire au mieux les débits recalculés à partir des débits des stations voisines.

Il n'existe pas de lacunes de données sur ces stations sur la période étudiée.

2.3.4. Relations nappe-rivières

Le débit de la Brèche est enregistré depuis 1969 à Nogent-sur-Oise, en aval du bassin versant et près de l'embouchure de la Brèche avec l'Oise. Calculé sur 45 ans, le débit annuel moyen est de $2,28 \text{ m}^3/\text{s}$, soit une lame d'eau de 153 mm (données Banque Hydro / MEDDE) (Illustration 31). Le minimum est de $1,62 \text{ m}^3/\text{s}$ en septembre tandis que le maximum est de $2,87 \text{ m}^3/\text{s}$ en mars.

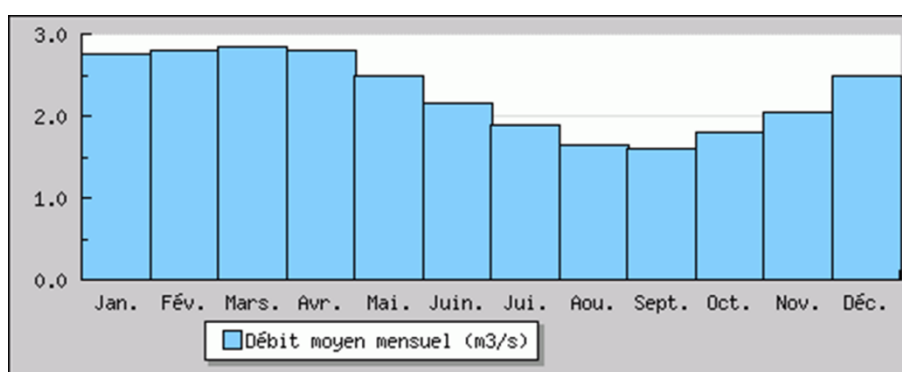


Illustration 31 - Débits moyens mensuels de la Brèche à Nogent-sur-Oise calculés sur 45 ans (MEDDE, 2013).

L'histogramme des débits moyens mensuels montre l'influence de la nappe sur les écoulements de surface : les hautes eaux sont tardives (mars), ainsi que les basses eaux (septembre). Par ailleurs, l'amplitude des fluctuations est faible et l'étiage fortement soutenu par la nappe de la craie. En aval, les nappes tertiaires ainsi que le ruissellement sur les terrains imperméables tertiaires influencent également probablement le débit de la Brèche.

2.3.5. Niveaux piézométriques

Les piézomètres captant la nappe de la craie se comportent de façon similaire, les périodes d'étiages s'observant généralement en décembre-janvier (Illustration 32). Les cycles annuels (hautes eaux et basses eaux) s'intègrent à des cycles pluriannuels. L'évolution cyclique des niveaux piézométriques traduit la succession des épisodes de recharge et de tarissement de la nappe. L'amplitude des fluctuations est d'autant plus importante que les piézomètres sont éloignés de la rivière.

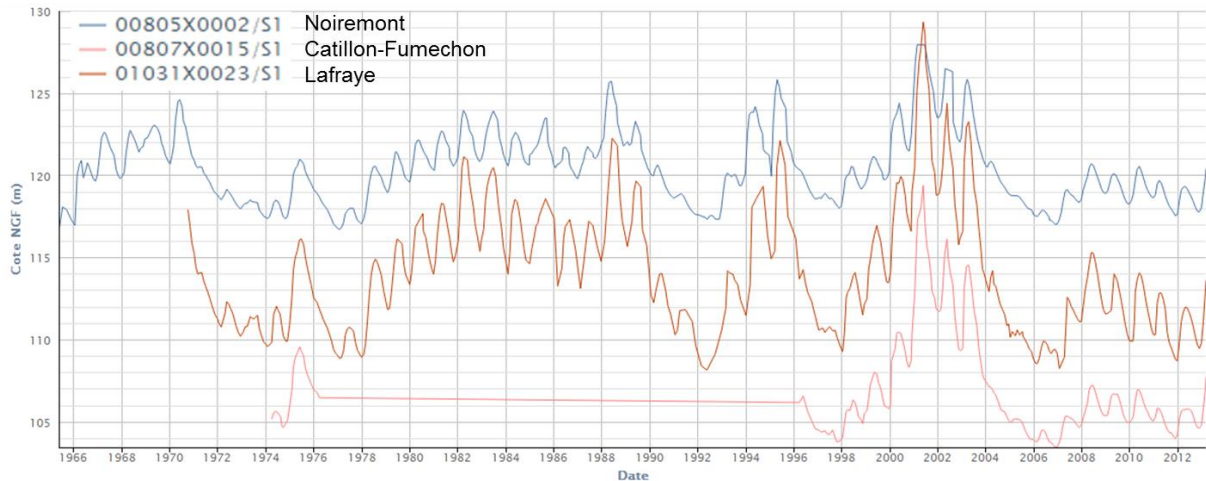


Illustration 32 - Fluctuations des niveaux piézométriques dans le bassin de la Brèche.

Compte tenu de l'inertie de la nappe, pour combler les lacunes, les chroniques piézométriques ont été interpolées linéairement sur 90 jours.

Le piézomètre de Catillon-Fumechon est le mieux corrélé au débit (cf. chapitre suivant). Pour compléter sa lacune de 1976 à 1996, plusieurs modélisations ont été réalisées :

- une modélisation simple : Pluie, ETP -> Niveau_Catillon-Fumechon ;
- une modélisation avec processus autorégressif (la variable de sortie est également une variable d'entrée) : Pluie, ETP, Niveau_Catillon-Fumechon -> Niveau_Catillon-Fumechon ;
- une modélisation avec en entrée le niveau piézométrique mesuré à Lafraye : Pluie, ETP, Niveau_Lafraye -> Niveau_Catillon-Fumechon,
- une modélisation avec en entrée le niveau piézométrique mesuré à Noiremont : Pluie, ETP, Niveau_Noiremont -> Niveau_Catillon-Fumechon.

La modélisation qui reproduit au mieux le niveau de la nappe à Catillon-Fumechon est celle avec Lafraye en entrée, le coefficient de Nash est de 0,96. L'identification, d'une part du modèle obtenu sur toute la période d'observation et, d'autre part de la série observée présentant des lacunes, permet de prolonger la courbe observée, sur la période où elle n'était pas définie (Illustration 33).

La série ainsi complétée sera ensuite utilisée pour modéliser le débit de la Brèche.

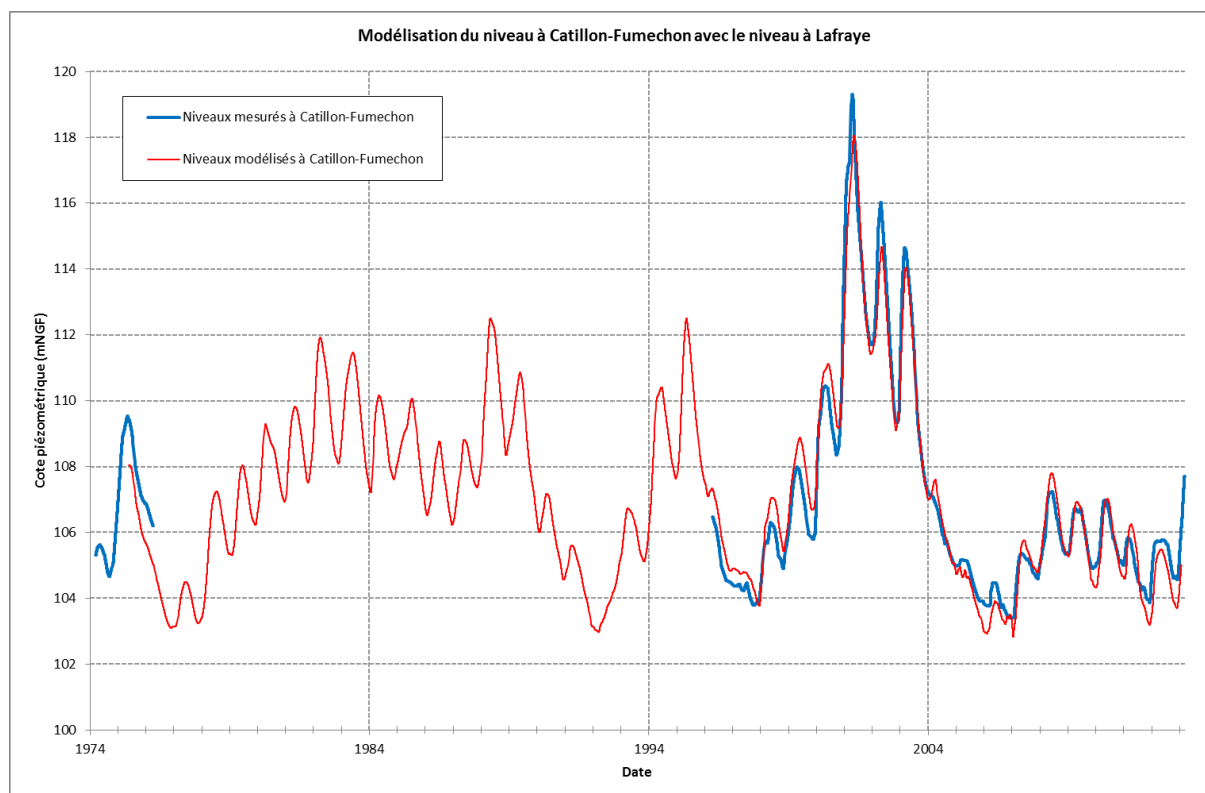


Illustration 33 – Comblement des lacunes de niveau à Catillon-Fumechon.

2.3.6. Corrélation des données niveau / débit

On note la similitude des variations de niveau piézométrique à Catillon-Fumechon avec les débits de la Brèche à Nogent-sur-Oise (Illustration 34). Les débits journaliers d'été correspondent aux plus basses eaux de la nappe au droit du piézomètre de Catillon-Fumechon, avec un décalage temporel de 0,5 à 5,5 mois suivant les années.

Les piézomètres qui possèdent les meilleurs indices de corrélation avec le débit de la Brèche sont Lafraye (0,89) et Catillon-Fumechon (0,87), pour un décalage de 60 et 50 jours (Illustration 35). Toutefois, le puits de Lafraye est influencé par une pompe à chaleur, fonctionnant quelques heures par jour.

L'analyse croisée niveaux-débits, par l'intermédiaire du corrélogramme croisé, indique une bonne corrélation entre niveaux et débits entre 10 et 110 jours pour le piézomètre de Catillon-Fumechon (corrélation supérieure à 0,8). Ces décalages de 0,5 à 3 mois environ peuvent s'interpréter comme la différence des temps de réaction entre la nappe et le cours d'eau suite à des épisodes pluvieux.

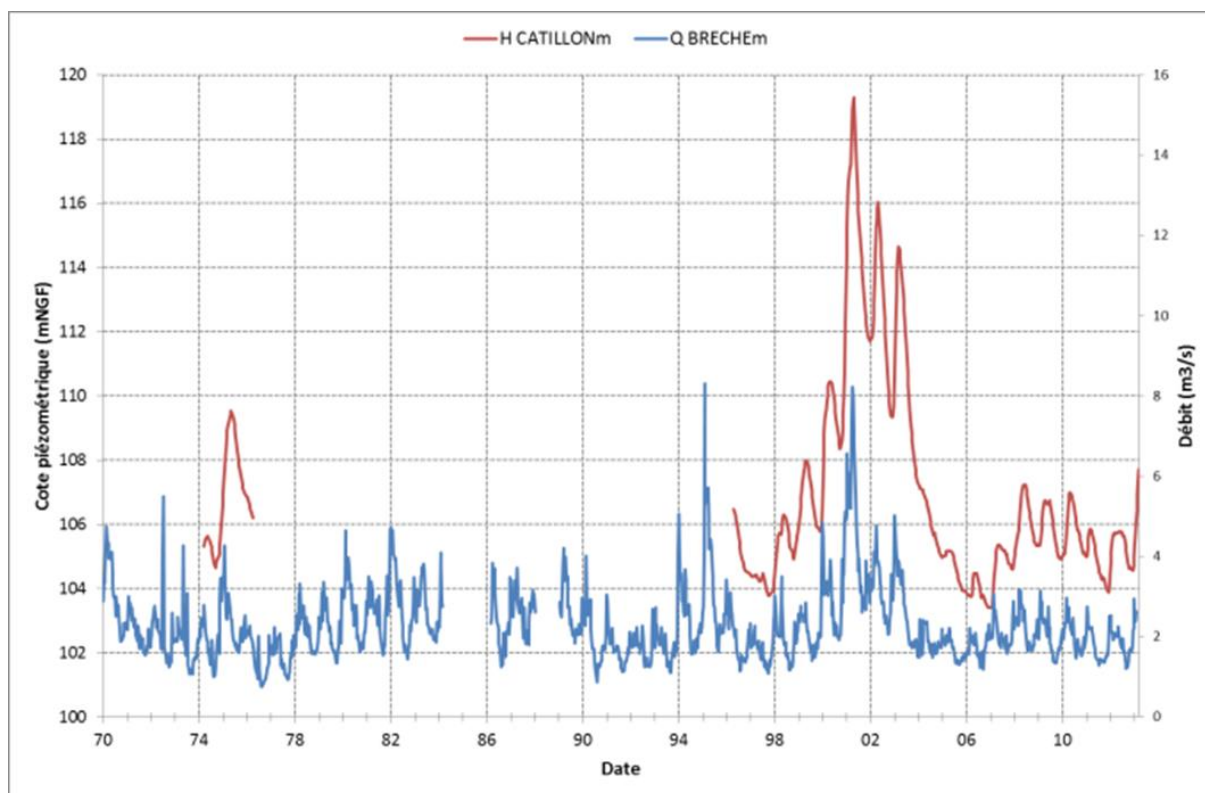


Illustration 34 - Fluctuations des niveaux piézométriques à Catillon-Fumechon avec les débits de la Brèche à Nogent-sur-Oise.

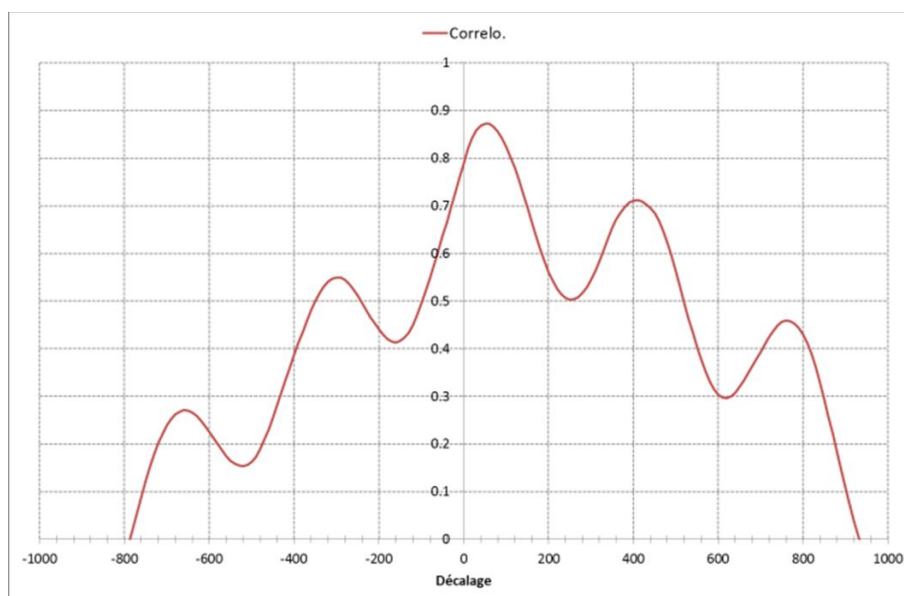


Illustration 35 - Corrélogramme croisé des niveaux piézométriques à Catillon-Fumechon avec les débits de la Brèche à Nogent-sur-Oise.

2.3.7. Prélèvements

L'amont du bassin est soumis à de fortes pressions agricoles tandis que l'aval voit se développer des zones urbaines et industrielles aux environs de Clermont et à la confluence avec l'Oise ainsi que des zones boisées rurales (forêt de Hez et bois des Côtes) plus au nord.

Ces 10 dernières années, les prélèvements annuels dans les nappes ont été de l'ordre de 5 à 7 Mm³. Ramenés à la surface du bassin (483 km²), ils correspondent à une lame d'eau annuelle d'environ 10 à 14,5 mm, soit 6,8 à 9,5% de la lame d'eau annuelle de la Brèche.

Les forages industriels, localisés sur la partie aval de la Brèche, sont les moins nombreux mais consomment des volumes d'eau importants (Illustration 36). Les prélèvements en eau souterraine diminuent progressivement depuis 1992 (Illustration 37). Ils représentaient 42% à 58% des pompages totaux entre 1992 et 1996 puis 23% à 32% entre 1999 et 2007 et 14% à 20% entre 2008 et 2011.

A l'inverse, les prélèvements agricoles sont davantage situés en amont, dans la partie nord du bassin versant. Ils sont plus nombreux mais consomment moins d'eau que les prélèvements industriels. Ils exploitent essentiellement les eaux souterraines et représentent 4 à 17% des prélèvements totaux, les volumes d'eau prélevés variant selon les conditions météorologiques.

Enfin, les captages en eau potable sont répartis de manière dispersée. La consommation en eau potable représente 52 à 77% des volumes totaux prélevés. A noter que les prélèvements de la communauté de communes du Liancourtois, implantés sur la commune de Labruyère, n'ont pas été pris en compte car situés au sud-est et à l'extérieur du bassin de la Brèche. Les volumes prélevés importants pourraient influencer sur la crête piézométrique et la zone d'appel pourrait s'étendre sur le bassin de la Brèche.

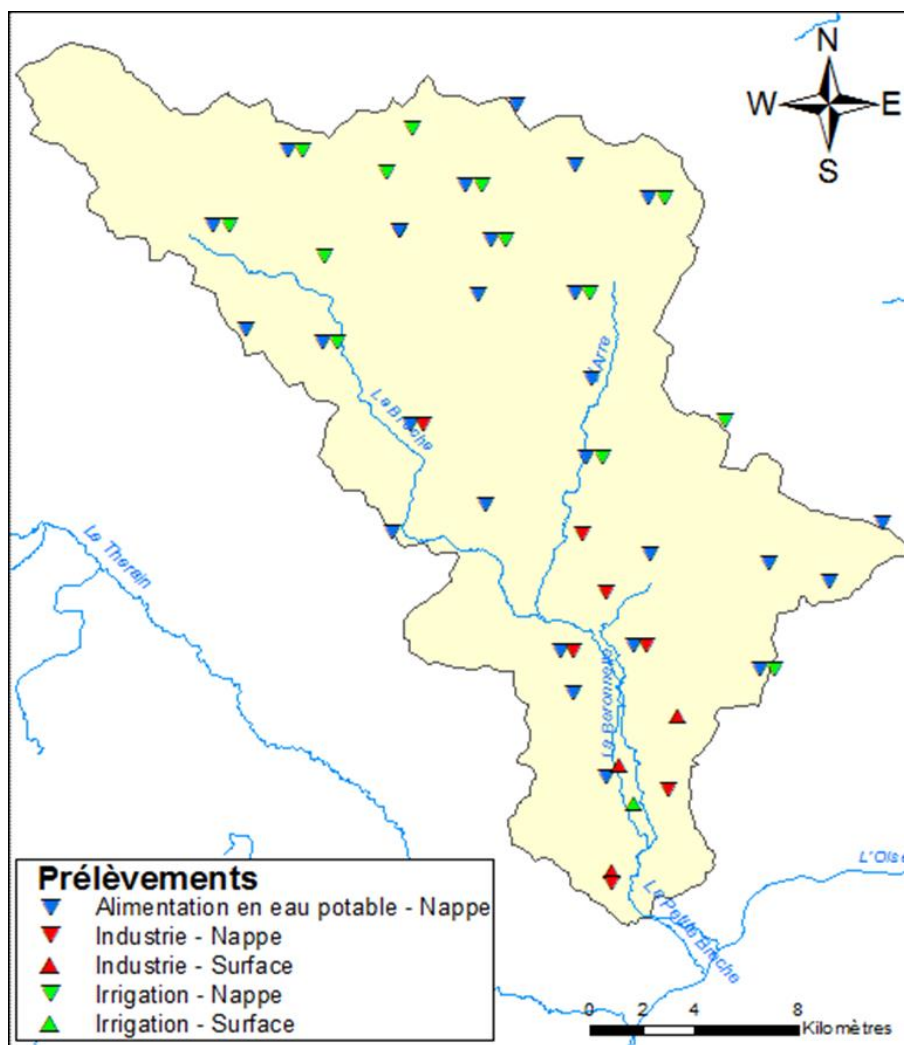


Illustration 36 – Localisation des prélèvements dans le bassin de la Brèche.

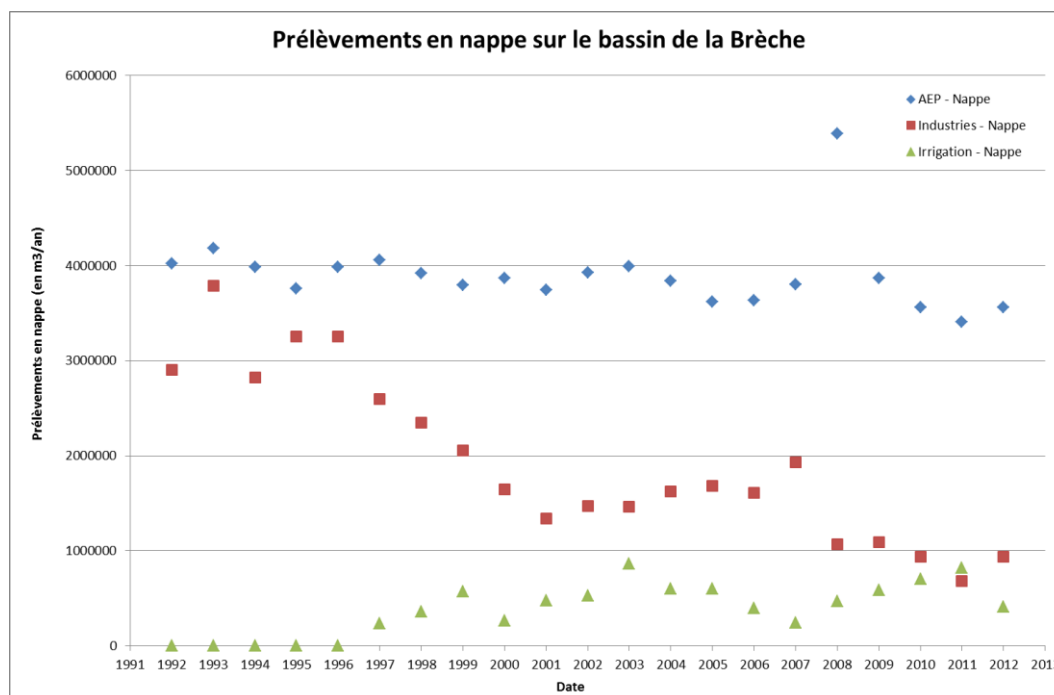


Illustration 37 – Evolutions des prélèvements sur le bassin de la Brèche par type d'usage.

2.3.8. Modélisation globale

La modélisation globale des écoulements s'est faite en plusieurs étapes : le calage Pluie-Niveau, le calage Pluie-Niveau-Débit, la validation de ces calages sur la plus longue période de données puis les prévisions.

a) Modélisations Pluie-Niveau et Pluie-Niveau-Débit

Les modélisations Pluie-Niveau et Pluie-Niveau-Débit ont été effectuées au pas de temps décadaire en utilisant les données suivantes :

- les cumuls décadaires des hauteurs de précipitations mesurés aux stations de Mesnil-sur-Bulles, Breuil-le-Vert et Creil ;
- l'évapotranspiration (ETP Penman décadaire) à la station de Creil ;
- le débit journalier de la Brèche, à Nogent-sur-Oise ;
- les chroniques piézométriques de Catillon-Fumechon.

La période de calage prend en compte les données de niveaux non reconstituées sur 2 cycles piézométriques interannuels. Elle s'établit de 10/1997 à 04/2013 pour les modélisations Pluie-Niveau et Pluie-Niveau-Débit.

Vue l'inertie de la nappe sur ce bassin et la présence de cycles interannuels marqués sur les chroniques piézométriques et de débit, il est important d'avoir une période de calage assez longue.

Le calage du piézomètre de Cuvilly est globalement très satisfaisant, avec un coefficient de Nash de 0,94 (Illustration 38). La prise en compte des prélèvements sur le bassin de la Brèche améliore le calage en période d'étiage.

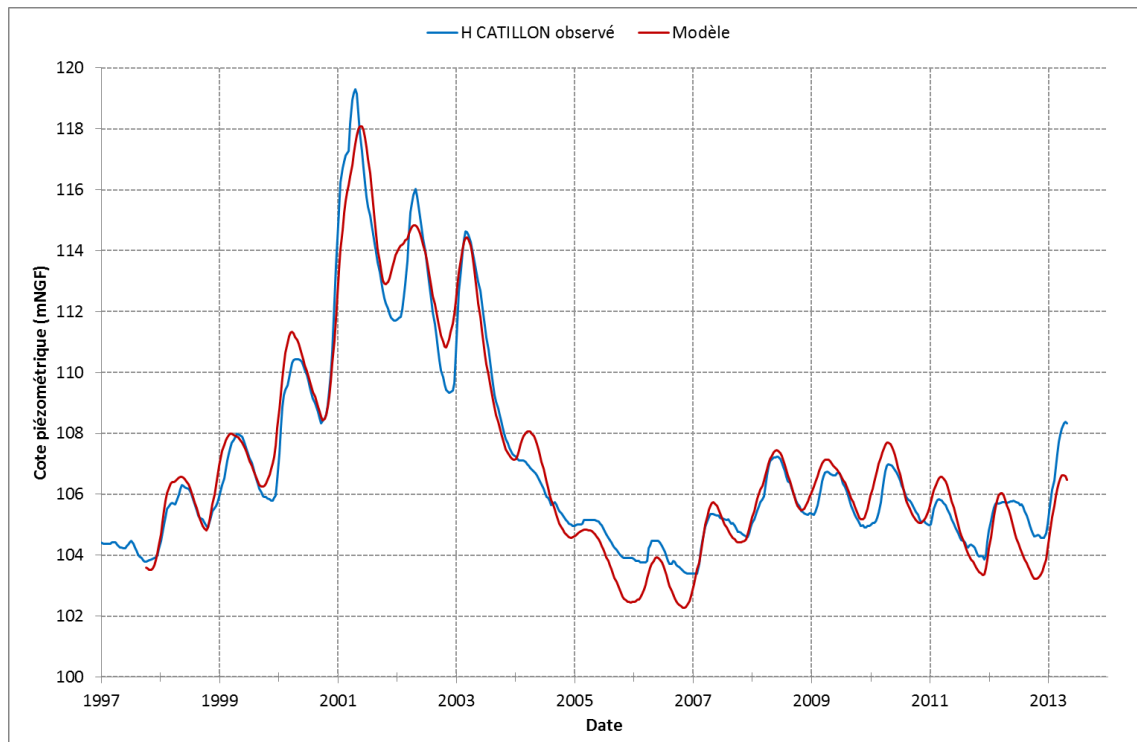


Illustration 38 – Calage du niveau piézométrique mesuré à Catillon-Fumechon (bassin de la Brèche).

Les fonctions de transfert (F.T.) permettant de reproduire le niveau à Catillon-Fumechon à partir de la pluie efficace sont sous la forme de Gaussienne*Exponentielle, représentant la recharge et la vidange de la nappe : les bornes de la F.T. « lente » et « rapide » sont respectivement de 1960 jours et de 290 jours, avec un pic au bout de 80-90 jours. On retrouve au travers de ces deux composantes les ordres de grandeurs des fluctuations interannuelles et saisonnières (hautes eaux/basses eaux) de la chronique piézométrique (Illustration 39).

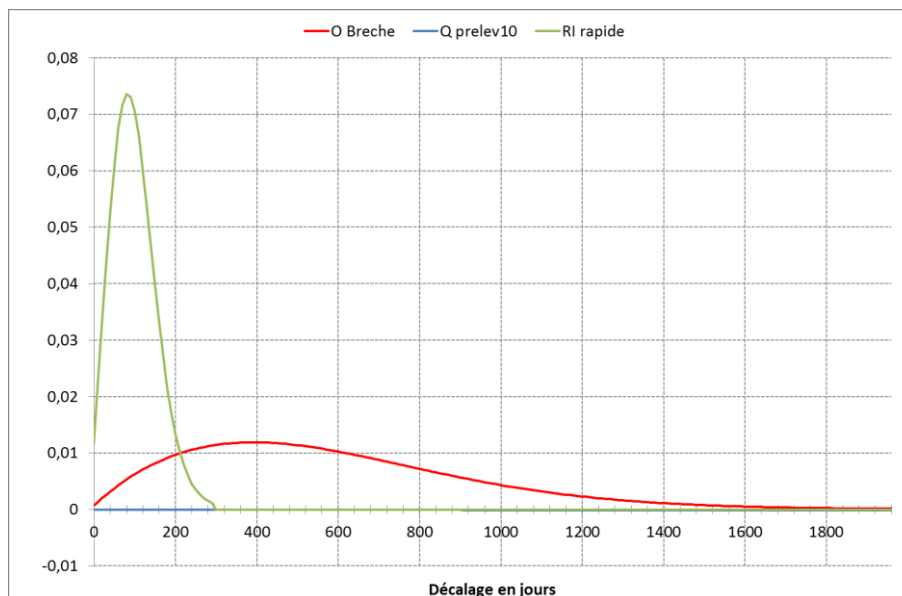


Illustration 39 – Fonctions de transfert permettant de reproduire le niveau à Catillon-Fumechon.

Le calage du débit de la Brèche en considérant l'apport de la nappe est également très satisfaisant, notamment en étiage, avec un coefficient de Nash de 0,90 (Illustration 40).

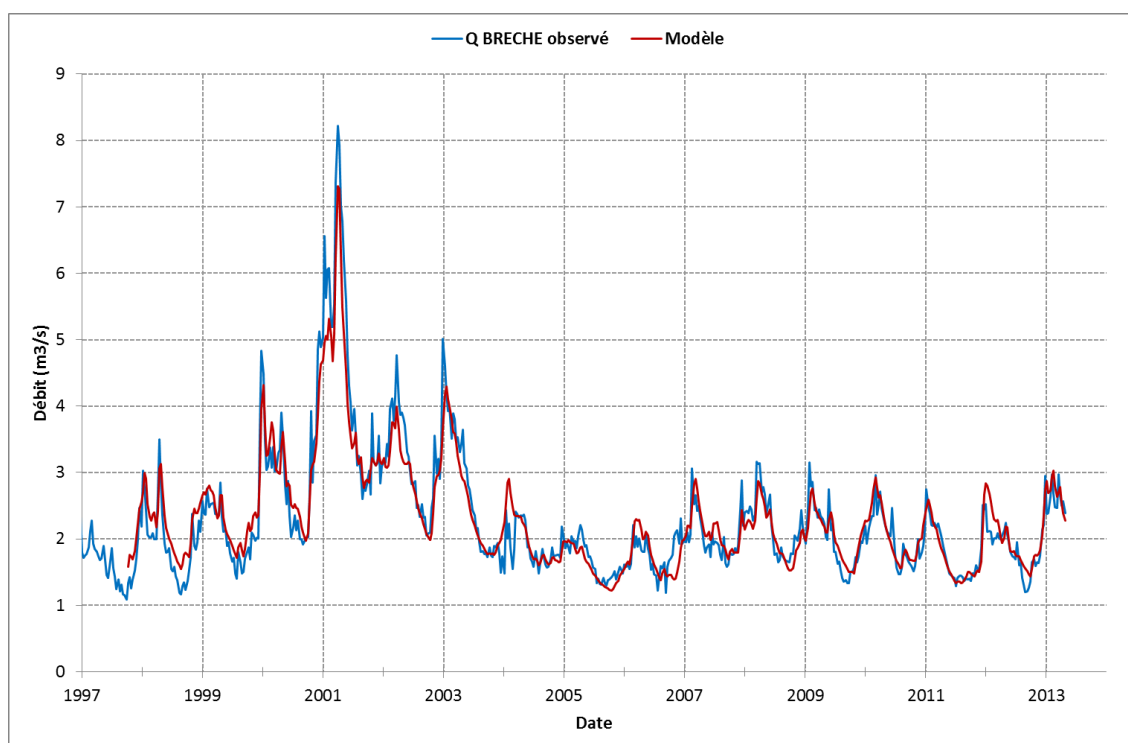


Illustration 40 – Calage du débit de la Brèche, modèle et observations.

Les différentes composantes du débit modélisé se répartissent entre la composante lente liée à la nappe, la composante rapide (ruissellement) et une composante intermédiaire (Illustration 41 et Illustration 42). Cette décomposition n'est pas l'unique décomposition possible (elle dépend des paramètres de calage), mais elle semble cohérente avec le contexte hydrogéologique sur le bassin versant de la Brèche.

Elle fait apparaître un fort soutien du cours d'eau par la nappe, caractéristique des bassins versants crayeux, notamment en période estivale où le ruissellement est inexistant sauf orages à caractère important. Le ruissellement, correspondant à la composante rapide, contribue également au débit durant l'hiver mais de façon moindre que la composante souterraine. Enfin, la composante intermédiaire est relativement importante par rapport aux résultats obtenus sur d'autres bassins crayeux et intervient essentiellement durant l'automne et l'hiver. Elle peut correspondre aussi bien à un ruissellement différé (terrains imperméables en aval) qu'à l'écoulement des nappes du Lutétien et du Cuisien à dynamique rapide non représentées par le piézomètre utilisé.

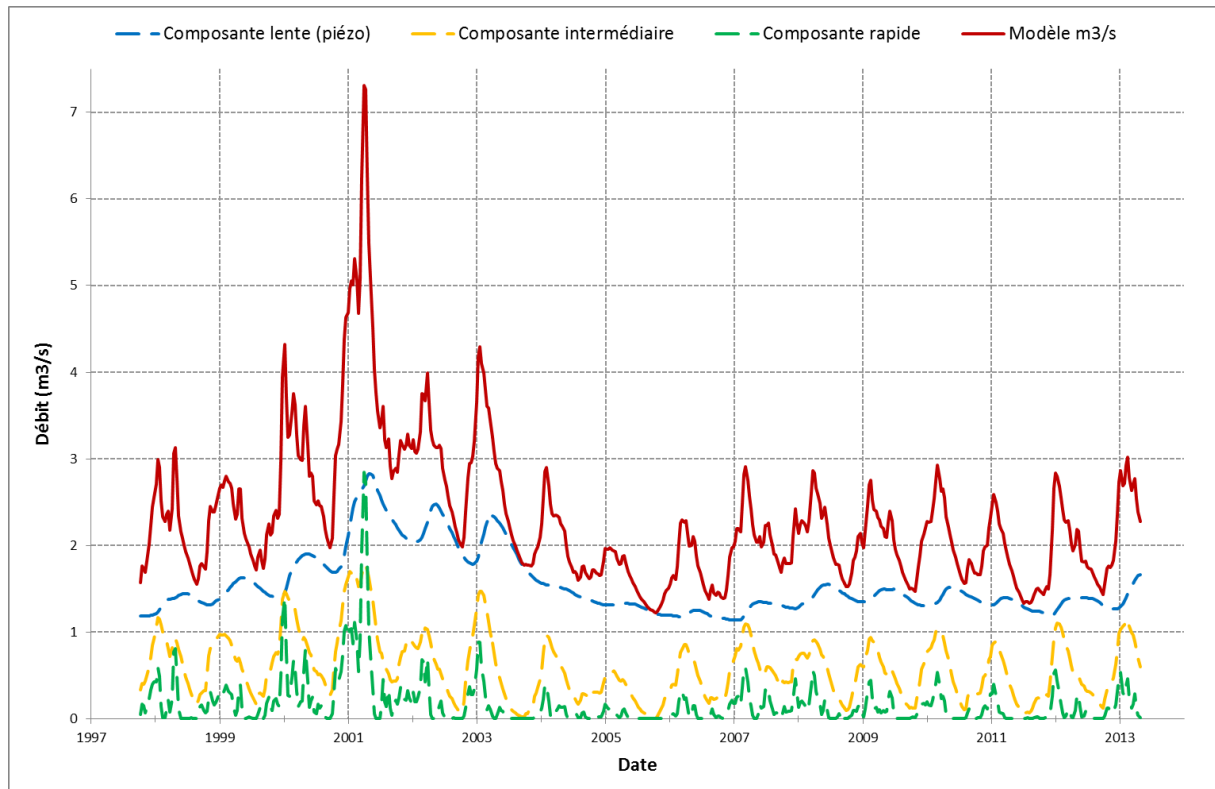


Illustration 41 – Composantes du débit de la Brèche (dédiées des différentes fonctions de transfert).

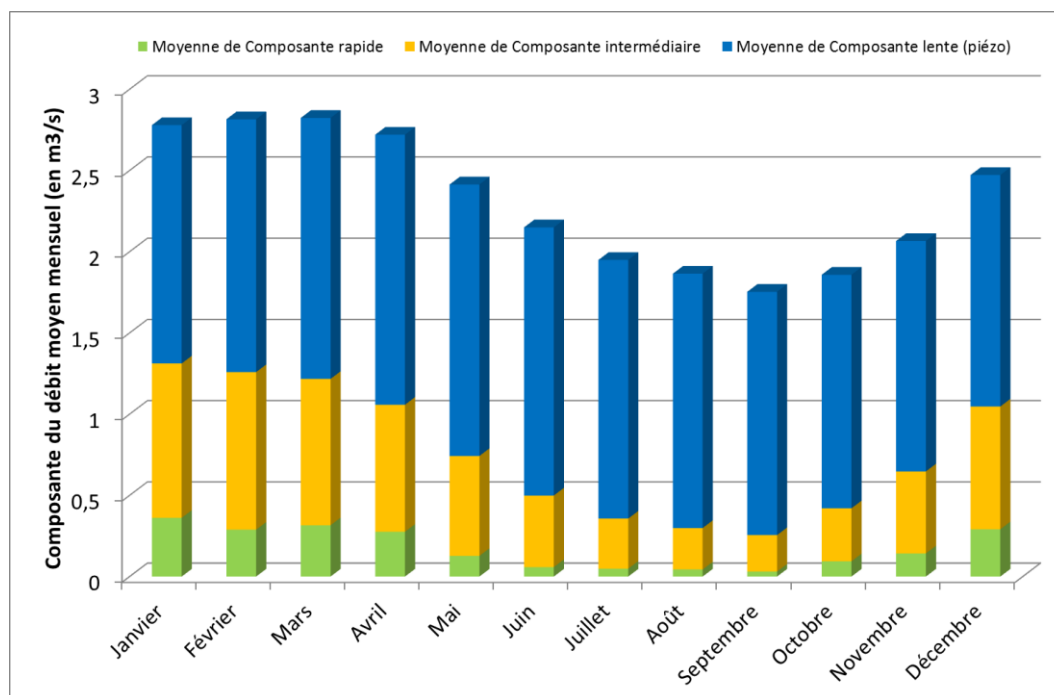


Illustration 42 – Composantes du débit moyen mensuel modélisé de la Brèche à Nogent-sur-Oise.

b) Validation

Concernant la validation des calages Pluie-Niveau et Pluie-Niveau-Débit respectivement sur les périodes 07/1975 – 04/2013 et 01/1976 – 04/2013, les coefficients de Nash sont égaux à 0,86 pour le Pluie-Niveau et à 0,81 pour le Pluie-Niveau-Débit (Illustration 43 et Illustration 44).

Le modèle Pluie-Niveau simule convenablement les niveaux observés. Concernant le calage Pluie-Niveau-Débit, les périodes d'étiage sont reproduites de façon très satisfaisante.

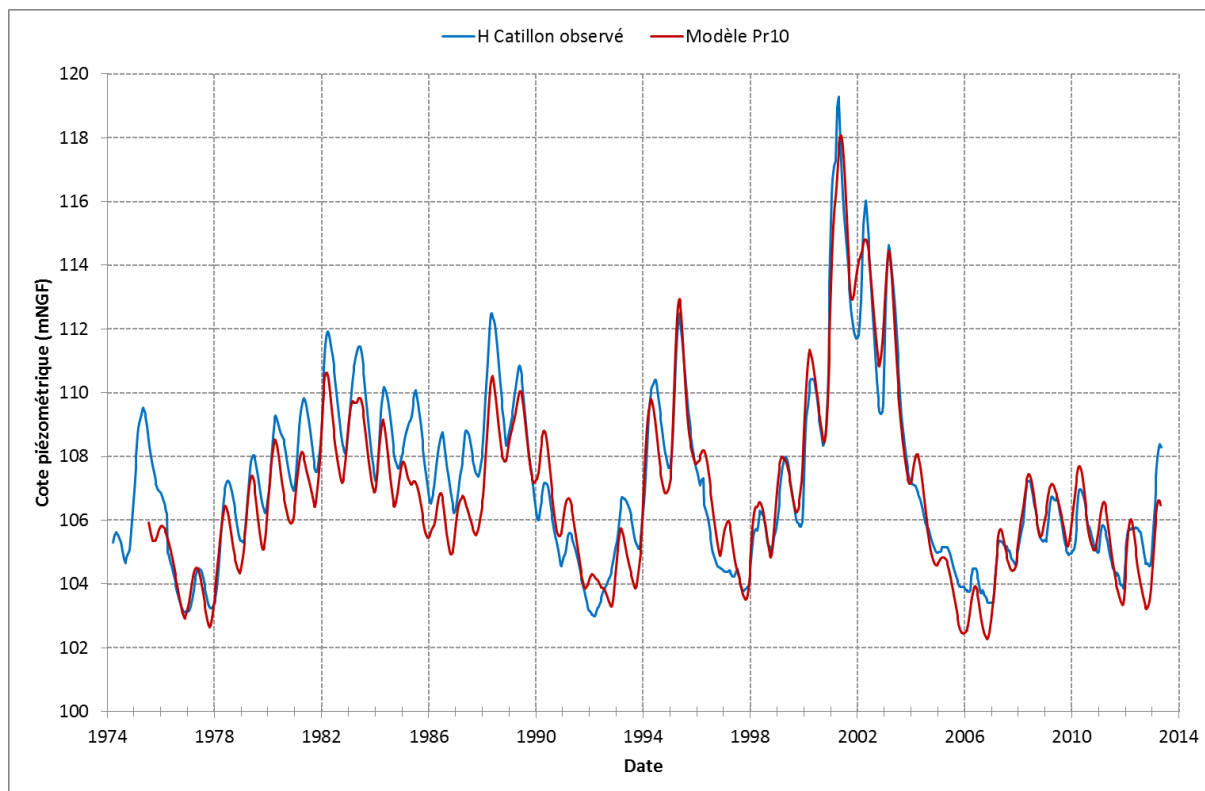


Illustration 43 – Validation du calage du niveau piézométrique de Catillon-Fumechon sur la période 1975-2013.

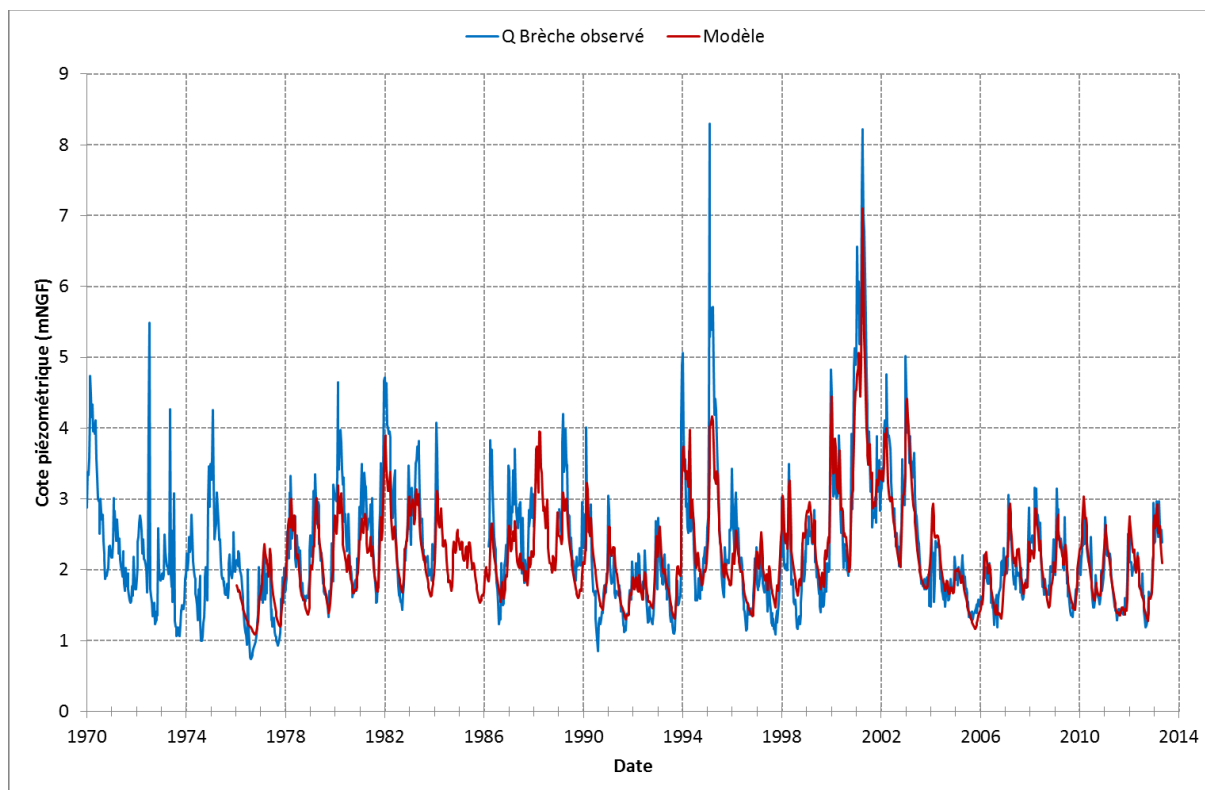


Illustration 44 – Validation du calage du débit de la Brèche sur la période 1976-2013.

c) Prévisions

Avant de faire les simulations, un processus autorégressif sur les écarts a été lancé afin de réduire au mieux les écarts entre les simulations et les observations de débits et de niveaux avant la période de prévision.

Les figures suivantes fournissent une prévision des débits et des niveaux piézométriques probables pour l'année 2013 à partir des calages précédents (Illustration 45 et Illustration 46).

Selon les résultats des simulations, les débits durant la période d'été seront probablement au-dessus de ceux de 2011 et de 2012 pour des prévisions correspondant à des périodes de retour inférieures à la normale (50%). En basses eaux (septembre-octobre), ils seront proches de ceux de 2012 pour des périodes de retour 5 à 10 ans sec.

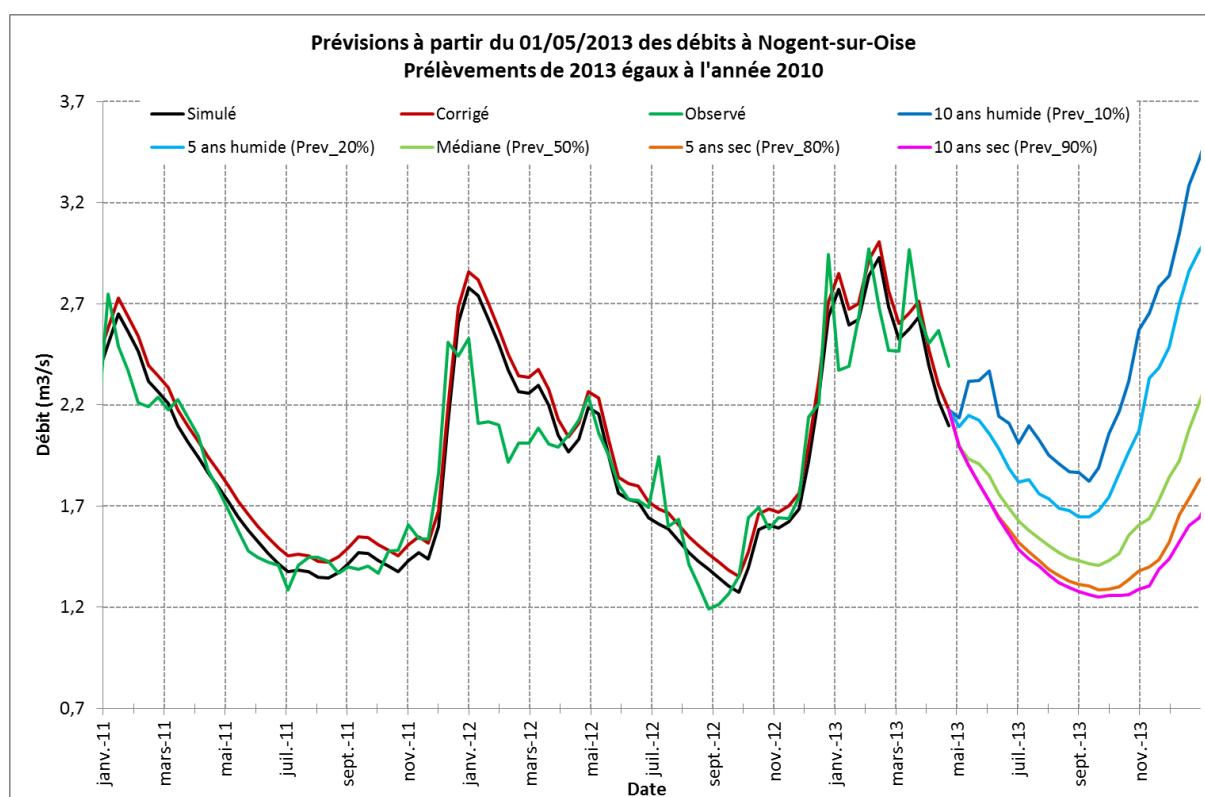


Illustration 45 – Prévision des débits décennaux à partir du 01/05/2013 à la station de Nogent-sur-Oise sur la Brèche– Les prévisions sont représentées comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.

Les niveaux prévus pour l'année 2013 seront probablement très au-dessus de ceux mesurés en 2011 et 2012, même pour une période de retour correspondant au 10 ans sec. En effet, la recharge de l'hiver 2012-2013 a permis d'observer des niveaux à Catillon-Fumechon, en début de période d'été, très supérieurs à ceux de 2011 et de 2012.

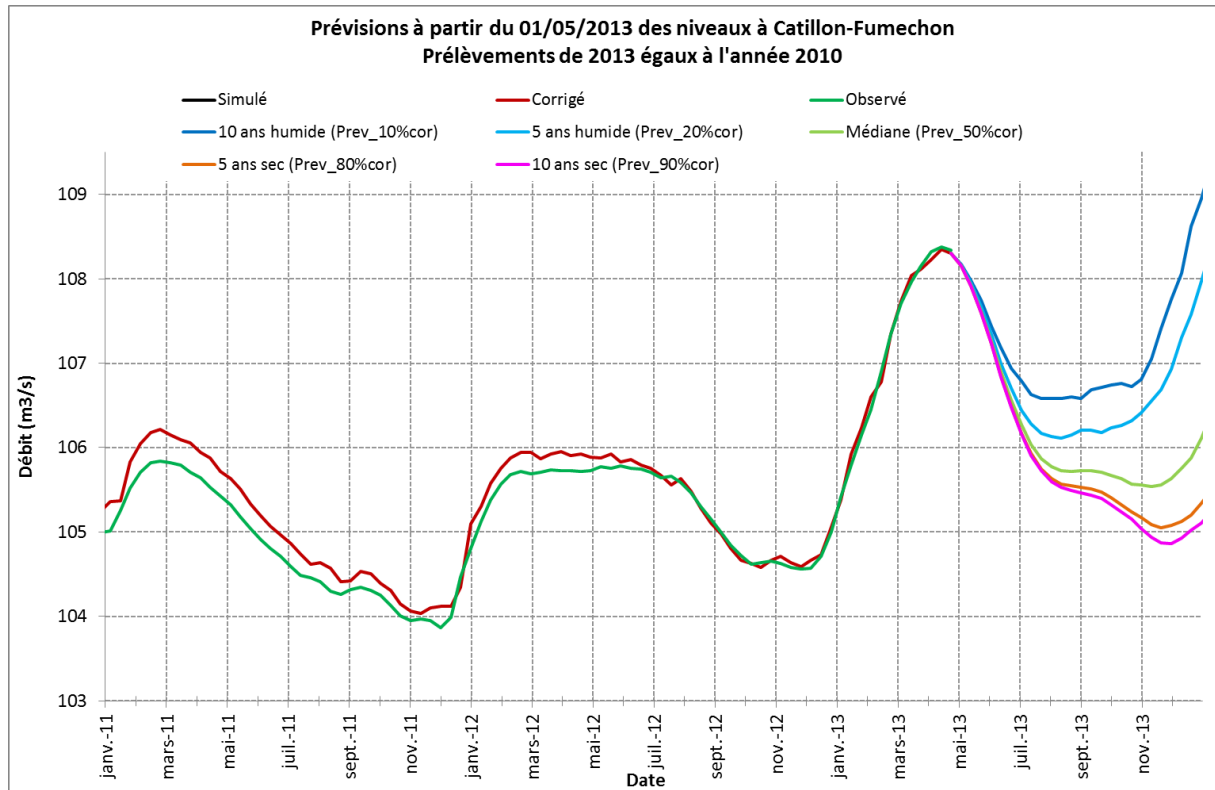


Illustration 46 – Préviction des niveaux piézométriques décadaires à partir du 01/05/2013 au piézomètre de Catillon-Fumechon– Les prévisions sont représentées comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.

d) Bulletin de situation hydrogéologique (BSH)

Le bulletin a été établi au 1 juin 2013. A Catillon-Fumechon, le niveau piézométrique augmente de décembre 2012 à avril 2013 puis se stabilise et diminue légèrement en mai 2013. Depuis mars 2013, il est supérieur à la période de retour des 2,5 ans humide (Illustration 28).

Pour information, les puits suivis dans ou à proximité du bassin de la Brèche, et notamment à Noiremont et à Lafraye, suivent la même tendance. La recharge de la nappe de la craie se termine durant le mois de mai 2013 et les niveaux sont proches à supérieurs à la médiane en depuis mars 2013.

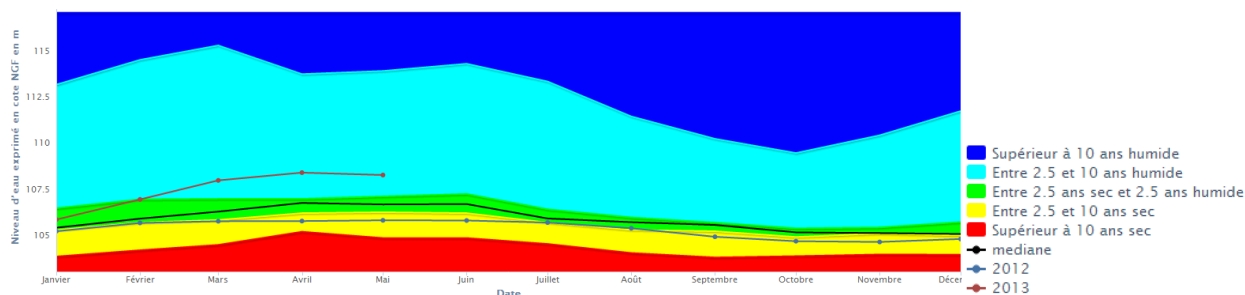


Illustration 47 – Niveaux piézométriques et périodes de retour à Catillon-Fumechon.

En 2012, les niveaux à Catillon-Fumechon ont été proches des seuils de vigilance (Tableau 9). A partir du début de la recharge, fin décembre 2012, ils sont repassés au-dessus des seuils sécheresse.

	mi janvier 2012	fin janvier 2012	mi février 2012	fin février 2012	mi mars 2012	fin mars 2012	mi avril 2012	fin avril 2012	mi mai 2012	fin mai 2012	mi Juin 2012	fin Juin 2012
La Brèche à Catillon-Fumechon	40,07	39,73	39,57	39,55	39,50	39,49	39,56	39,57	39,52	39,50	39,53	39,57
	mi Juillet 2012	fin Juillet 2012	mi aout 2012	fin aout 2012	mi-septembre 2012	fin septembre 2012	mi octobre 2012	fin octobre 2012	mi novembre 2012	fin novembre 2012	mi décembre 2012	fin décembre 2012
La Brèche à Catillon-Fumechon	39,65	39,71	39,92	40,17	40,40	40,60	40,65	40,62	40,70	40,71	40,59	40,07
	mi janvier 2013	fin janvier 2013	mi février 2013	fin février 2013	mi mars 2013	fin mars 2013	mi avril 2013	fin avril 2013				
La Brèche à Catillon-Fumechon	39,51	38,99	38,35	37,80	37,36	37,05	36,89	36,96				
									RAS	Vigilance	Alerte	
									Alerte renforcée	Crise		

Tableau 9 – Niveaux piézométriques à Catillon-Fumechon et seuils de suivi (stations sécheresse).

Les débits de la Brèche à Nogent-sur-Oise se sont retrouvés en vigilance et alerte de mi-août à mi-octobre 2012 (Tableau 10).

	mi janvier 2012	fin janvier 2012	mi février 2012	fin février 2012	mi mars 2012	fin mars 2012	mi avril 2012	fin avril 2012	mi mai 2012	fin mai 2012	mi Juin 2012	fin Juin 2012
La Brèche à Nogent-sur-Oise	2,02	1,96	1,88	1,95	1,96	1,96	1,95	1,98	1,91	1,90	1,79	1,61
	mi Juillet 2012	fin Juillet 2012	mi aout 2012	fin aout 2012	mi-septembre 2012	fin septembre 2012	mi octobre 2012	fin octobre 2012	mi novembre 2012	fin novembre 2012	mi décembre 2012	fin décembre 2012
La Brèche à Nogent-sur-Oise	1,62	1,45	1,34	1,14	1,12	1,12	1,37	1,62				
	mi janvier 2013	fin janvier 2013	mi février 2013	fin février 2013	mi mars 2013	fin mars 2013	mi avril 2013	fin avril 2013				
La Brèche à Nogent-sur-Oise								2,36				
									RAS	Vigilance	Alerte	
									Alerte renforcée	Crise		

Tableau 10 – VCN3 de la Brèche à Nogent-sur-Oise et seuils de suivi (stations sécheresse).

e) Conclusions sur les étiages 2013

L'utilisation du logiciel TEMPO© permet, après calage, de réaliser des prévisions de niveaux piézométriques et de débits de manière relativement fiable avec une précision correcte sur le bassin versant de la Bresle. Malgré un bon calage, les incertitudes sur les données et les limites « techniques » des modèles font que des incertitudes non négligeables peuvent perdurer.

D'après les prévisions, les débits de la Brèche à Nogent-sur-Oise ne devraient probablement pas dépasser les seuils sécheresse, pour une probabilité supérieure au 5 ans humide (80%) (Illustration 48). A maxima, le seuil de vigilance pourrait être atteint de fin août à début octobre pour des prévisions correspondant à la normale et de début juillet à fin novembre pour des niveaux de période de retour 5 ans et 10 ans sec.

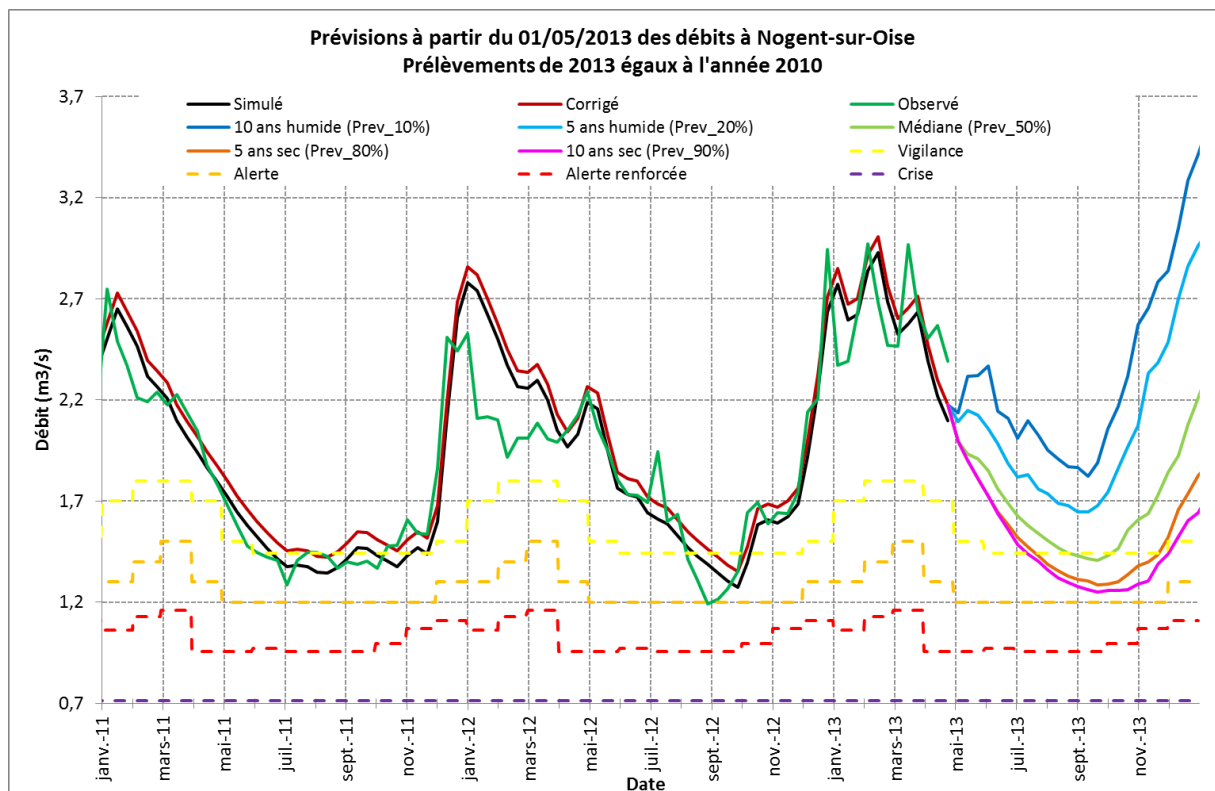


Illustration 48 –Prévisions des débits et seuils sécheresse à la station de Nogent-sur-Oise.

Concernant, les niveaux piézométriques, les résultats des prévisions sont relativement similaires aux conclusions sur les débits (Illustration 49). Pour des niveaux médians (50%), le seuil de vigilance serait déclenché de fin juin à fin août. A maxima, le seuil de vigilance pourrait être atteint à partir de juin, pour des niveaux de période de retour 5 ans et 10 ans sec.

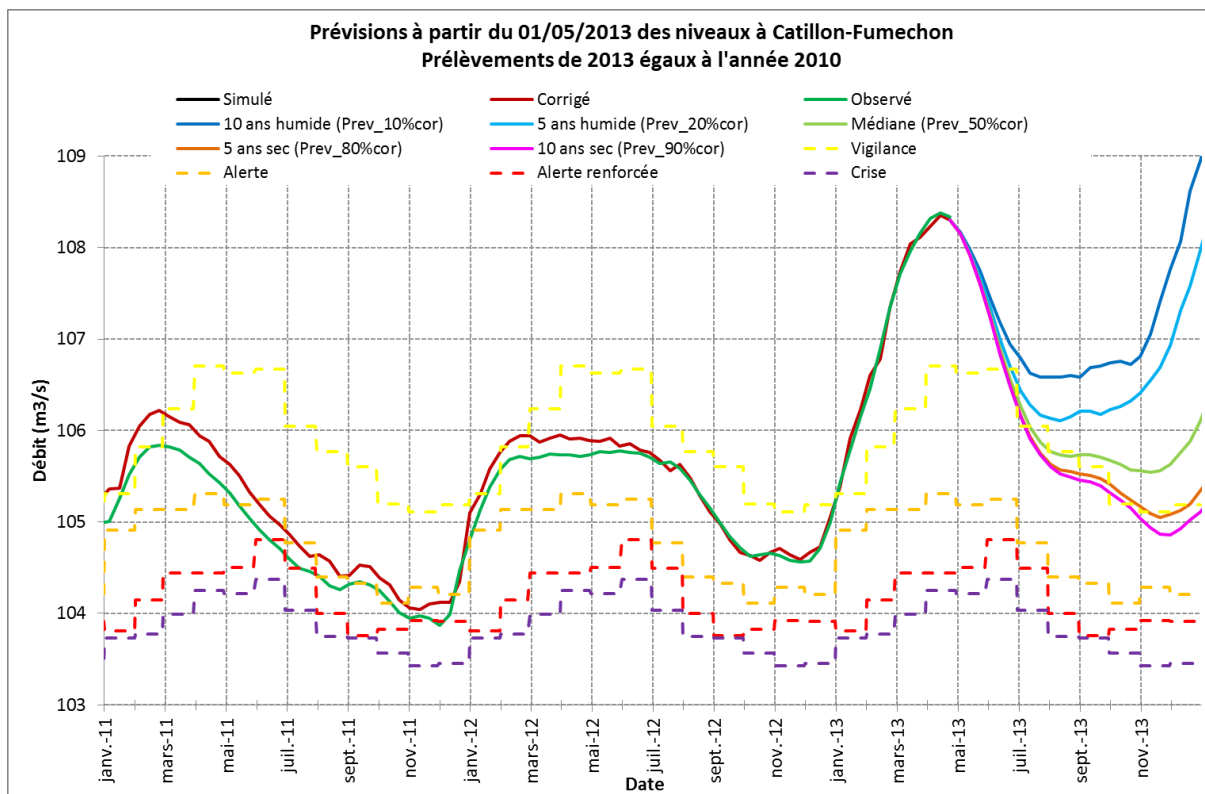


Illustration 49 – Comparaison des prévisions des niveaux et des seuils sécheresse au piézomètre de Catillon-Fumechon.

2.4. BASSIN VERSANT DE LA BRESLE

2.4.1. Contexte géographique et hydrographique

La Bresle constitue dans sa partie aval la limite entre les départements de la Somme et de Seine-Maritime. A l'amont, son bassin versant s'étend dans les départements de l'Oise et de la Seine-Maritime.

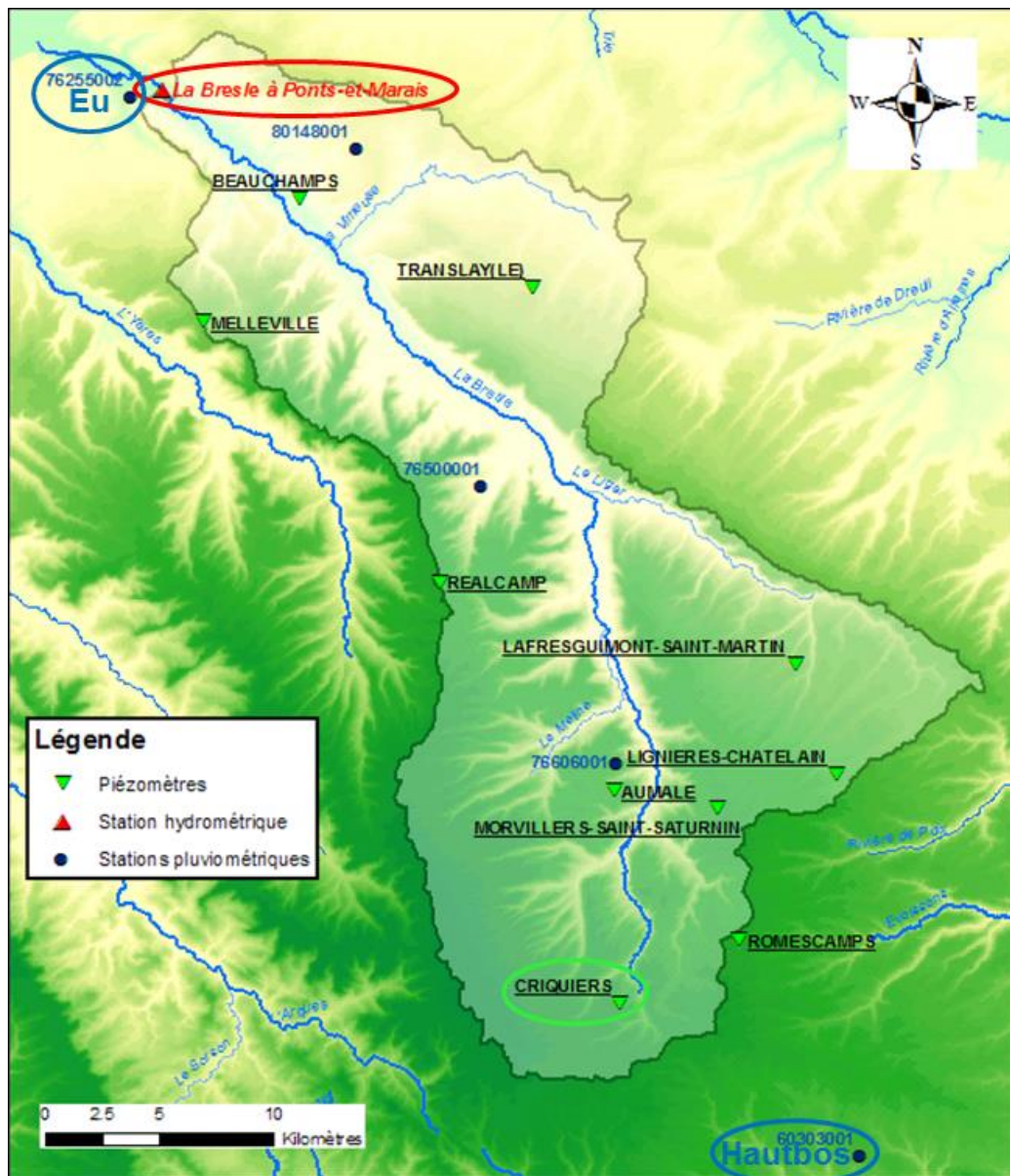


Illustration 50 - Localisation du bassin de la Bresle.

La Bresle est un fleuve côtier qui prend sa source à Abancourt dans l'Oise et se jette dans la Manche après un parcours long de 72 km (Illustration 50). Elle reçoit les apports de plusieurs

petits affluents : le Liger qui la rejoint à Senarpont et la Vimeuse à Gamaches. A partir de sa confluence avec le Liger, la Bresle s'écoule du sud-est vers le nord-ouest.

Le bassin versant à la station hydrométrique de Ponts-et-Marais couvre une superficie de 693 km², soit 93 % de la surface totale du bassin qui est de 748 km².

L'altitude du bassin versant s'échelonne de 246 m à 7 m NGF, avec une altitude moyenne de 156 m. La pente moyenne est de 5,7%, d'après le MNT de 50 m de l'IGN. Les fortes pentes, supérieures à 5%, occupent environ 35% du territoire mais leur répartition est inégale sur le bassin versant.

Le bassin de la Bresle est dissymétrique :

- en rive droite, un relief de plateau s'est développé dans la craie du Sénonien. Les cours d'eau (Liger, Vimeuse et Bresle) s'y sont encaissés assez profondément et les fortes pentes sont très localisées le long de la vallée ;
- en rive gauche, le relief des bassins versants des petits affluents est davantage marqué, les pentes supérieures à 5% occupent une superficie bien plus importante qu'en rive droite.

2.4.2. Contexte géologique et hydrogéologique

Le bassin versant de la Bresle s'est développé dans la craie sénonienne et la craie marneuse du Turonien et Cénomaniens. Les plateaux crayeux sont recouverts en général de limons pléistocènes, colluvionnés sur les pentes et les vallées sèches, et de formations résiduelles argileuses à silex.

Le bassin versant est dissymétrique : les craies marneuses se rencontrent majoritairement en rive gauche, tandis que la craie sénonienne se retrouve principalement en rive droite. Le Cénomaniens se caractérise par une craie grise argileuse. Les dièves du Turonien inférieur à moyen sont formées de craie marneuse et de marnes. Le Turonien supérieur ainsi que le Coniacien et le Saronien (Sénonien) sont constitués de craie blanche.

Les fonds de vallées sont tapissés d'alluvions.

La Bresle draine l'eau contenue dans les formations du Turonien moyen et inférieur et du Cénomaniens en rive gauche normande et celle de la craie du Séno-Turonien en rive droite picarde. La craie constitue la principale ressource en eau potable de la région.

Les fluctuations piézométriques de la nappe sont suivies dans le bassin de la Bresle par neuf piézomètres dont huit possèdent des chroniques suffisamment longues pour cette étude (Illustration 50 et Tableau 11). Les piézomètres de Beauchamps, du Translay, de Lafresguimont-Saint-Martin, de Lignières-Châtelain, de Morvillers-Saint-Saturnin, d'Aumale et de Criquiers sont implantés dans la craie du Sénonien et captent la nappe du Séno-Turonien. L'ouvrage de Realcamps se situe sur la craie du Turonien et capterait un réseau karstique.

BASSIN VERSANT	STATION PLUVIOMETRIQUES	STATIONS ETP	PIEZOMETRES		STATIONS HYDROMETRIQUES
BRESLE 693 km2	Eu 76255002 01/01/1988 - 2013	Abbeville 80001001 01/01/1921 - 2013	Beauchamps 00442X0050/P4 19/03/1998 - 2013	Morvillers-Saint-Saturnin 00608X0028/S1 10/09/1970 - 2013	Ponts-et-Marais G0402020 30/11/1999 - 2013
	Hautbos 60303001 01/09/1992 - 2013		Le Translay 00443X0042/S1 Influencé par les eaux pluviales 11/09/1970 - 2013	Melleville 00441X0007/P 29/05/2001 - 2013	
	Pierrecourt 76500001 01/11/1970 - 2013		Lafresguimont-Saint-Martin 00611X0017/P 06/04/1998 - 2013	Realcamp 00603X0003/S1 17/01/1974 - 2013	
	Morienne 76606001 01/12/1970 - 2013		Lignières-Chatelain 00611X0035/S1 10/09/1970 - 2013	Criquiers 00608X0206/S1 17/01/1974 - 2013	

Tableau 11 - Liste des stations de mesure utilisées pour le calage du modèle pour le bassin de la Bresle.

2.4.3. Pluviométrie

Concernant les données relatives aux précipitations, quatre stations pluviométriques ont été retenues. Par ailleurs, nous disposons de l'ETP décadaire au droit de la station proche d'Abbeville.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des quatre stations pluviométriques retenues. La formule obtenue est la suivante :

$$P_{opt} = 12\% \text{ Eu} + 88\% \text{ Hautbos}$$

La station d'Eu est située dans la vallée de la Bresle, près de la mer, alors que celle de Hautbos est sur le plateau, en amont du bassin versant. C'est la combinaison de ces deux stations pluviométriques qui permet de reproduire au mieux le débit.

Il existe des lacunes pour la station d'Eu, les données sont manquantes en janvier-février 2008 (soit 3 données absentes au pas de temps décadaires).

Pour compléter ces trous à l'aide des données acquises sur les autres stations, une recherche des meilleures corrélations a été effectuée. Le Tableau 12 ci-dessous récapitule les coefficients de corrélation entre le cumul décadaire des hauteurs de précipitations mesuré dans les différentes stations.

	P_Hautbos	P_Pierrecourt	P_Morienne
P_Eu	0,80	0,81	0,84

Tableau 12 - Coefficients de corrélation entre chroniques pluviométriques du bassin de la Bresle.

En prenant les meilleures corrélations, les lacunes d'Eu ont été complétées avec la pluie mesurée à Morienne, corrigée avec le coefficient d'ajustement de la droite de corrélation (1,11).

2.4.4. Relations nappe-rivières

Le débit de la Bresle est enregistré à la station hydrométrique située à Pont-et-Marais, à 5 km de son embouchure, depuis 1999. Le débit annuel moyen de la Bresle à Pont-et-Marais est de 7,22 m³/s (sur 15 ans). Son débit spécifique annuel est de 10,4 L/s/km² (données Banque Hydro / MEDDE) (Illustration 51).

Pour mémoire, de nombreux jaugeages ont été effectués à station de Longroy (bassin versant de 613 km²) mais il n'existe pas de chronique de débits journaliers.

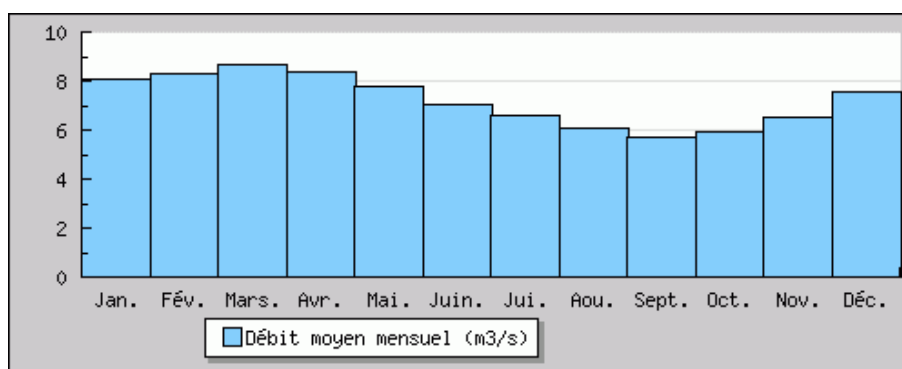


Illustration 51 - Débits moyens mensuels de la Bresle à Ponts-et-Marais calculés sur 15 ans (MEDDE, 2013).

L'histogramme des débits moyens mensuels, bien qu'établi sur une courte période de données (15 ans) montre l'influence de la nappe sur les écoulements de surface : les hautes eaux sont tardives (mars), ainsi que les basses eaux (septembre-octobre). Par ailleurs, l'amplitude des fluctuations est faible et l'étiage fortement soutenu par la nappe de la craie.

2.4.5. Niveaux piézométriques

Les fluctuations piézométriques de la nappe sont suivies dans le bassin de la Bresle par neuf piézomètres dont huit possèdent des chroniques suffisamment longues pour cette étude. Cinq piézomètres ont été écartés pour les raisons suivantes :

- le piézomètre de Translay est influencé par des écoulements d'eaux de ruissellement suite à un branchement réalisé par la commune pour l'évacuation des eaux de la chaussée de la route voisine en 2005. Des travaux ont été réalisés en 2011 pour remédier à cet inconvénient ;
- le piézomètre à Realcamp capte un réseau karstique, ce qui induit des fluctuations atypiques. Le niveau piézométrique de base est très marqué, correspondant à un réseau

karstique conducteur qui draine localement la nappe. Lors de la recharge hivernale, les niveaux piézométriques réagissent fortement et dans de courts délais aux précipitations ;

- le piézomètre de Beauchamps capte la nappe alluviale de la Bresle. Ces fluctuations (inférieures à 1 m) sont amorties par le cours d'eau ;
- les piézomètres d'Aumale et de Lafresguimont-Saint-Martin sont influencés par des pompages ponctuels à proximité.

Le comportement des trois piézomètres sélectionnés, implantés sur le plateau et captant la nappe du Sénon-Turonien, est similaire. Les fluctuations piézométriques comportent une part saisonnière et une part interannuelle fortement marquées. Le système est assez fortement inertiel et l'amplitude des fluctuations est d'autant plus importante que les piézomètres sont éloignés de la rivière (Illustration 52).

Les lacunes dans les chroniques piézométriques ont été comblées par une simple interpolation linéaire sur 90 jours. Cette technique pour boucher les trous est ici rendue possible par la forte inertie de la nappe et donc une forte autocorrélation des données. .

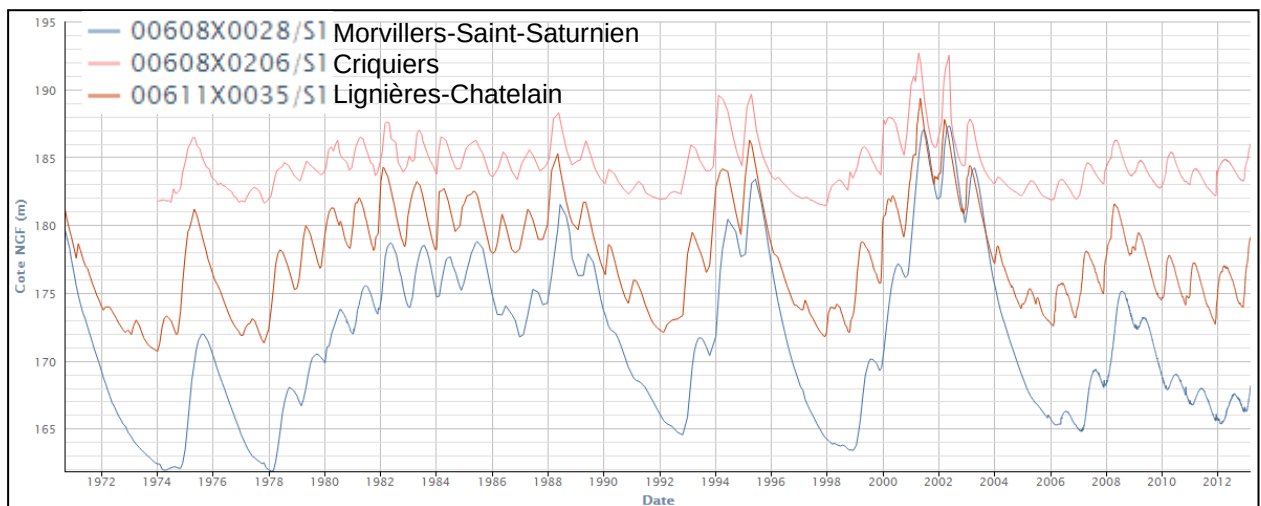


Illustration 52 - Fluctuations des niveaux piézométriques enregistrés à différents piézomètres du bassin de la Bresle.

2.4.6. Corrélation des données niveau / débit

On note la similitude des variations de niveau piézométrique à Criquiers avec les débits de la Bresle à Ponts-et-Marais (Illustration 53).

Le corrélogramme croisé débit rivière / niveau piézométrique (Illustration 54) indique une forte corrélation entre les variations de débits et de niveaux et une différence de temps de réactions entre la nappe et le cours d'eau. Concernant le piézomètre de Criquiers, qui possède le meilleur indice de corrélation (0,91), le décalage est de 30 jours (Lignières-Chatelain : 40 jours (0,90) et Morvillers-Saint-Saturnin : 120 jours (0,81)). Le coefficient de corrélation reste supérieur à 0,7 jusqu'à 100 jours de décalage.

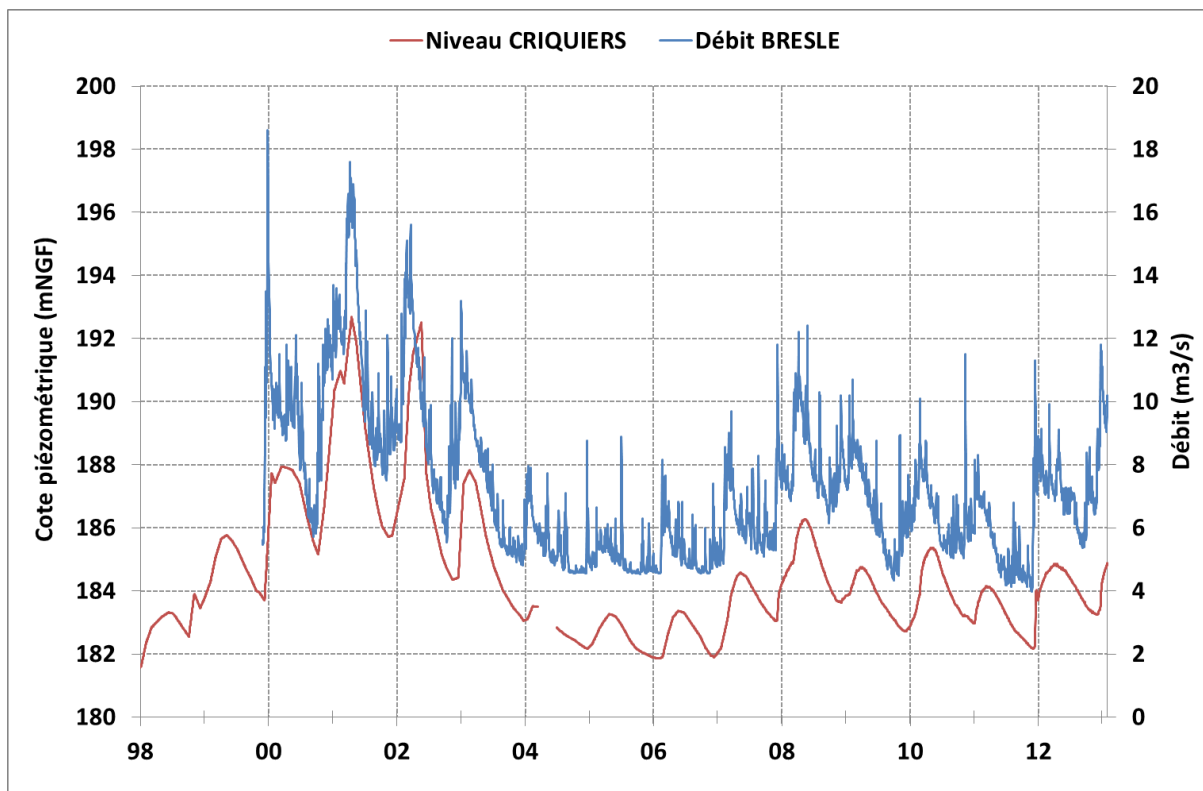


Illustration 53 - Fluctuations des niveaux piézométriques à Criquiers avec les débits de la Bresle à Pont-et-Marais.

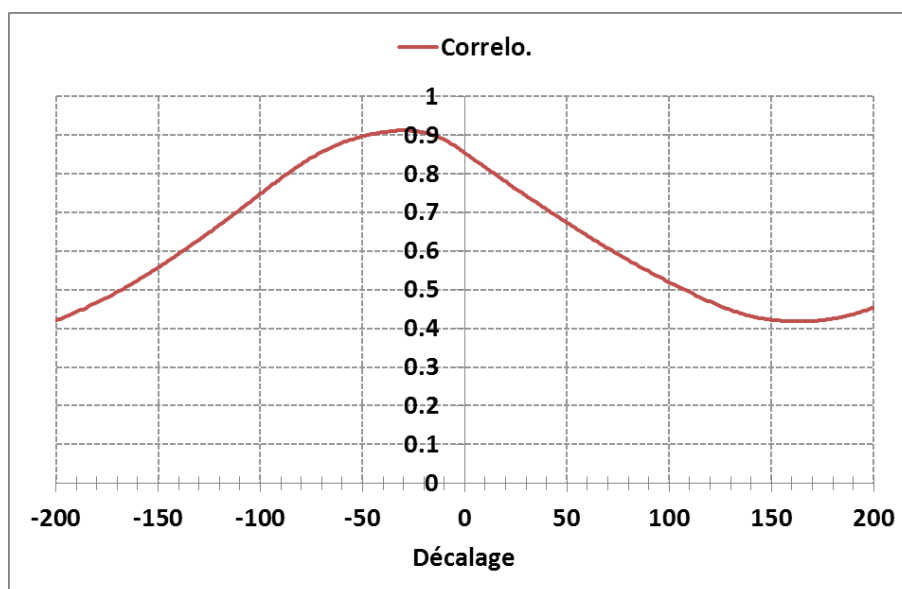


Illustration 54 - Corrélogramme croisé des niveaux piézométriques à Criquiers avec les débits de la Bresle à Pont-et-Marais.

2.4.7. Prélèvements

Les prélèvements sur le bassin de la Bresle sont essentiellement destinés à l'eau potable (Illustration 55 et Illustration 56). Les prélèvements agricoles sont faibles, ils sont considérés comme nuls dans le bassin versant.

Les fichiers fournis par les Agences de l'eau Artois-Picardie et Seine-Normandie ne font pas mention de prélèvements dans le bassin de la Bresle, sur le secteur appartenant au bassin Artois-Picardie, à partir de 2008 (Illustration 57). Cette absence de données explique pourquoi les prélèvements en eau potable paraissent avoir baissés à partir de 2008. Il est néanmoins vraisemblable que les prélèvements pour l'AEP se situent d'avantage autour d'une valeur de 6 Mm³/an compte tenu de l'assez forte stabilité de ceux-ci d'une année sur l'autre.

Les prélèvements s'élèvent, tout usage confondu, à 6,77 Mm³ en 2007. Ramenés à la surface du bassin (693 km²), ils correspondent à une lame d'eau annuelle d'environ 9,8 mm, soit 3% de la lame d'eau annuelle de la Bresle (329 mm).

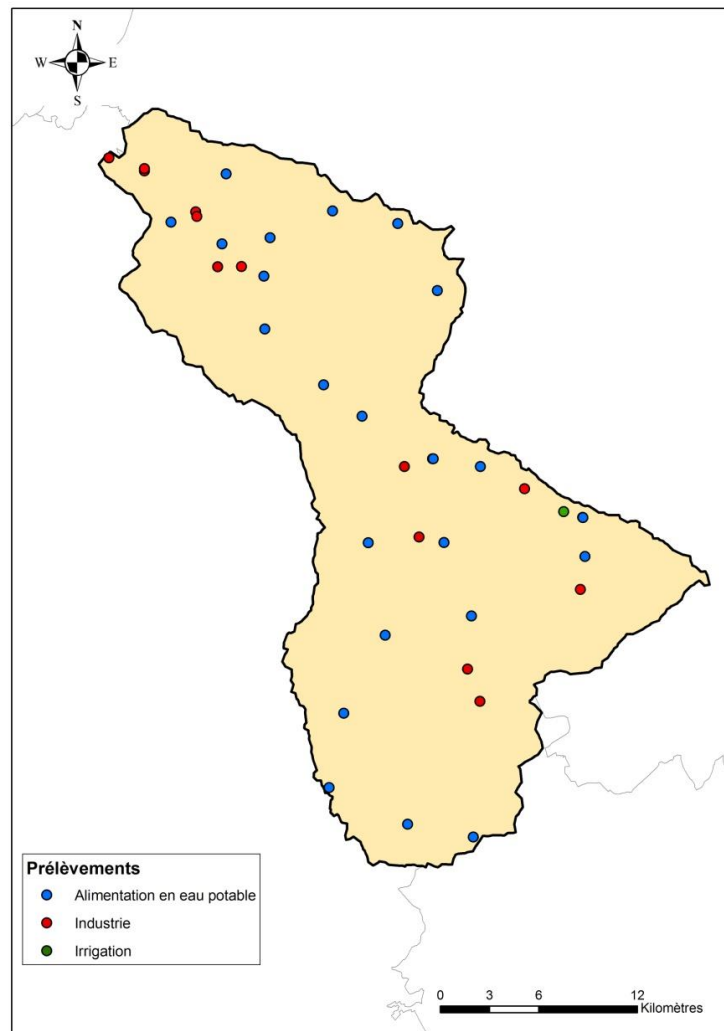


Illustration 55 – Localisation des prélèvements dans le bassin de la Bresle.

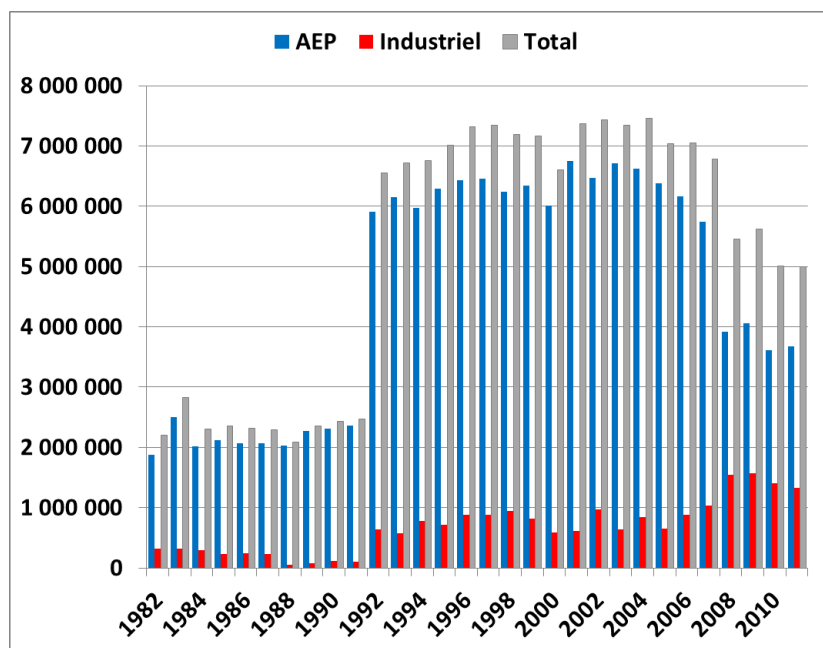


Illustration 56 – Evolutions des prélèvements sur le bassin de la Bresle par type d'usage.

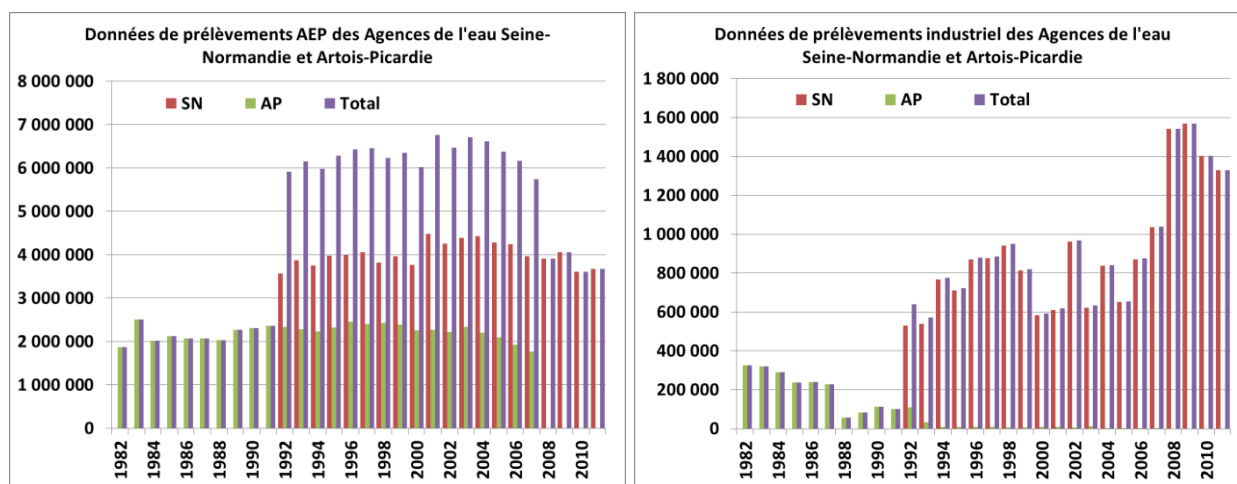


Illustration 57 – Evolutions des données prélèvements des Agences de l'eau Artois-Picardie et Seine-Normandie sur le bassin de la Bresle.

2.4.8. Comparaison des prévisions et des niveaux et débits observés en 2012

Lors d'une étude de 2012, des prévisions des niveaux piézométriques et des débits de la Bresle à Pont-et-Marais ont été réalisées, à partir d'avril 2012 et durant l'été 2012 (rapport BRGM/RP-61164-FR, juin 2012).

D'après les prévisions réalisées en 2012, le débit à Ponts-et-Marais aurait probablement dû se situer entre les seuils de « vigilance » et d'« alerte » d'août à novembre 2012, dans le cas d'une prévision correspondant à la médiane (Illustration 58).

En réalité, les débits observés en 2012 ont suivis les courbes de période de retour 5 ans et 10 ans humide. Les débits à la station hydrométrique de Pont-et-Marais sont alors restés au-dessus des seuils de suivi durant l'année 2012, suite aux pluies survenues fin décembre 2011.

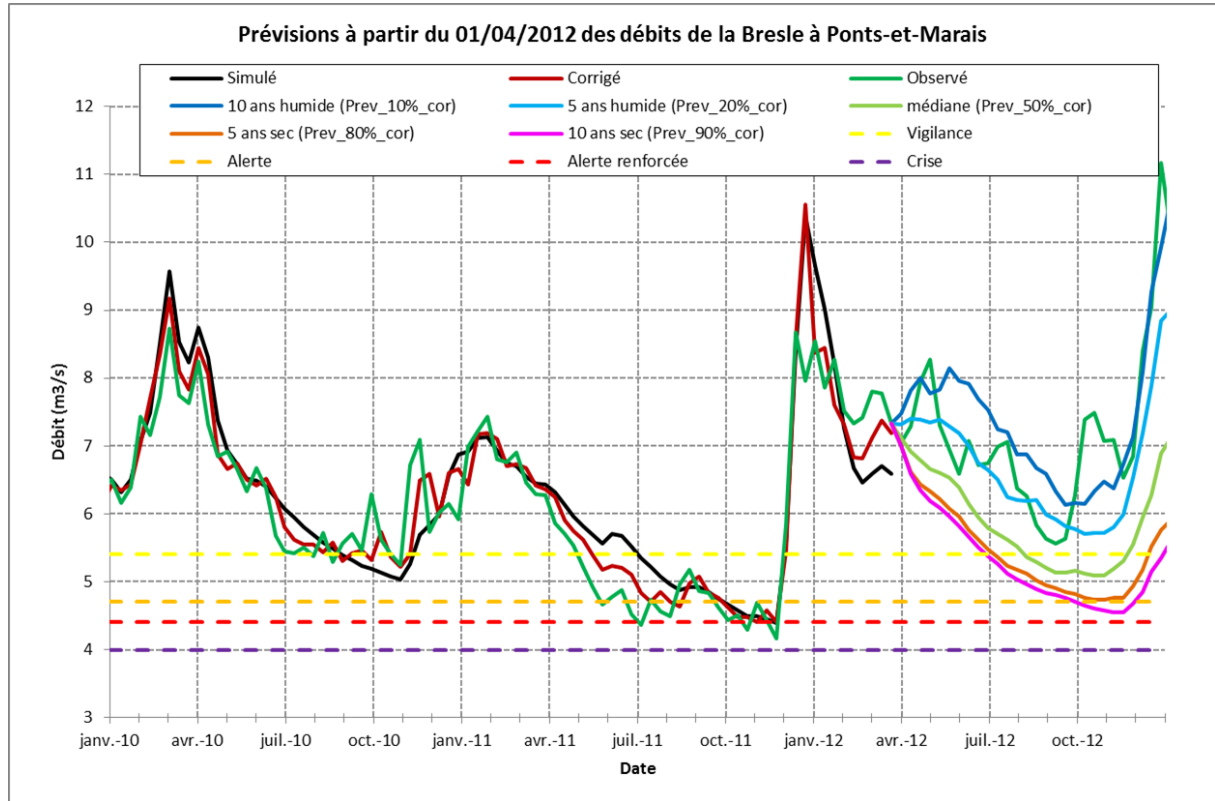


Illustration 58 – Prédiction des débits décennaux de la Bresle à partir du 01/04/2012.

Les niveaux observés ont confirmé la tendance du début de l'année, à la fin de la recharge, et ont suivis les prévisions supérieures à la médiane (Illustration 59). Les pluies survenues durant l'automne et l'hiver 2011-2012 ont permis de recharger la nappe de la craie et de soutenir les étiages des niveaux. Les niveaux observés ont été très proches des seuils de vigilance durant l'année 2012.

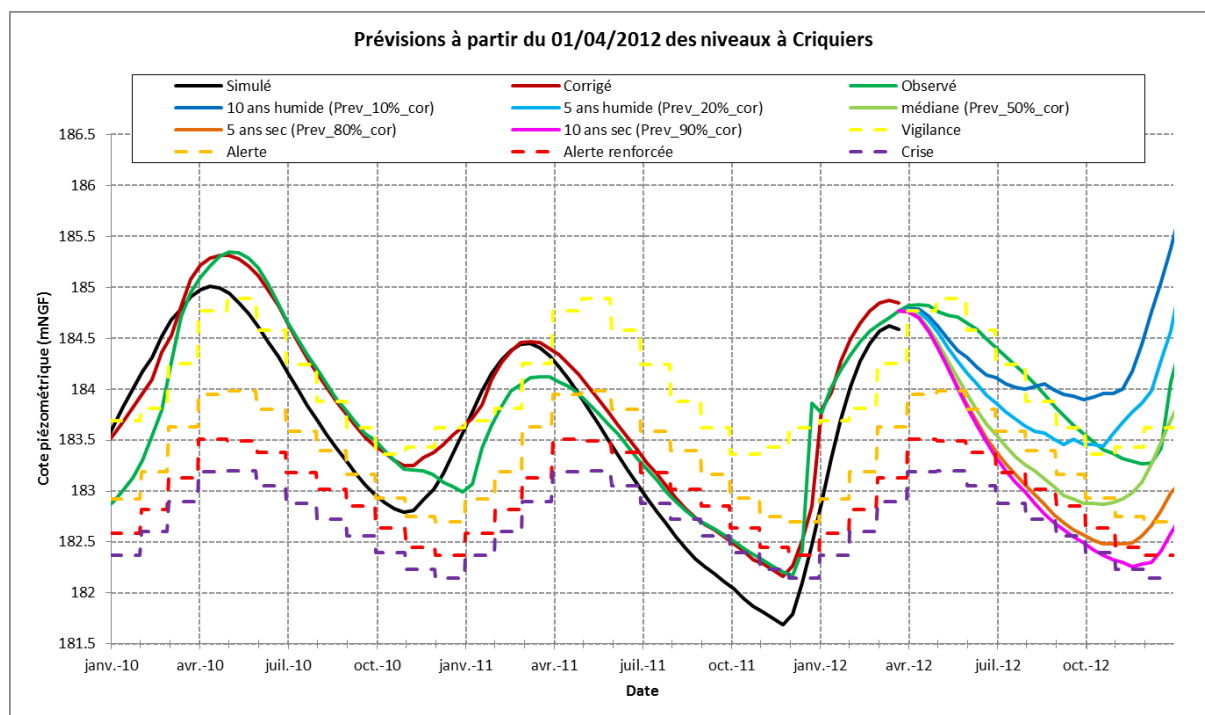


Illustration 59 – Préviation des niveaux piézométriques décennaires à partir du 01/04/2012 au piézomètre de Criquiers.

Les quantiles de pluies, basés sur la pluie optimale estimée sur le bassin versant, ont été calculés sur la période d'étiage d'avril à septembre pour 20 années de données de 1993 à 2013 (Tableau 13). La pluie optimale, cumulée d'avril à septembre, est de 402,6 mm en moyenne, avec un minimum de 259,5 mm et un maximum de 540,7 mm.

En 2012, une hauteur d'eau cumulée de 447,4 mm a été calculée entre avril et septembre. Cette valeur a une période de retour située entre les 2,5 et les 5 ans humide. Par ailleurs, le cumul annuel sur l'année globale 2012 a une période de retour légèrement supérieur à la médiane. Les épisodes pluvieux de 2012 ne sont donc pas exceptionnels, bien que sur la période d'avril à septembre les pluies aient été assez conséquentes.

Quantile	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Période de retour	10 ans sec	5 ans sec		2,5 ans sec	médiane	2,5 ans humide		5 ans humide	10 ans humide
Pluie (mm)	291,6	323,5	352,3	370,9	394,5	424,0	454,7	480,3	522,4

Tableau 13 – Quantiles des pluies optimales de la Bresle.

Les débits minimums réellement observés à l'étiage 2012, soit en septembre 2012, sont bien encadrés par les prévisions correspondant à la médiane et au 5 ans humide. Les niveaux piézométriques observés sont supérieurs à la médiane durant l'étiage 2012. Fin novembre 2012, les valeurs minimales d'étiage se situent au niveau de la prévision correspondante à la médiane. Les quantiles des pluies optimales, des niveaux et des débits

calculés durant l'étiage 2012 sont donc très proches. Le modèle de la Bresle semble fournir des prévisions conformes avec les observations.

2.4.9. Modélisation globale

La modélisation globale des écoulements s'est faite en plusieurs étapes : le calage Pluie-Niveau, le calage Pluie-Niveau-Débit sur la plus longue période de données sans discontinuités, la validation de ces calages puis les prévisions.

a) Modélisations Pluie-Niveau et Pluie-Niveau-Débit

Les modélisations Pluie-Niveau et Pluie-Niveau-Débit ont été effectuées au pas de temps décadaire en utilisant les données suivantes :

- les cumuls décadaires des hauteurs de précipitations mesurés aux stations d'Eu et Hautbos, disponibles à partir de 1992 ;
- l'évapotranspiration (ETP Penman décadaire) à la station d'Abbeville ;
- le débit journalier de la station hydrométrique à Ponts-et-Marais ;
- les chroniques piézométriques de Criquiers.

Les périodes de calage retenues sont les suivantes :

- 02/1996 – 03/2013 pour la modélisation Pluie-Niveau ;
- 12/1999 – 03/2013 pour la modélisation Pluie-Niveau-Débit.

Vue l'inertie de la nappe sur ce bassin et la présence de cycles interannuels marqués sur les chroniques piézométriques et de débit, il était important d'avoir une période de calage assez longue. Toutefois la station pluviométrique de Hautbos n'a été ouverte qu'en 1992 et les débits à Ponts-et-Marais ne sont mesurés que depuis 1999, ce qui limite la fenêtre possible de calage.

Les prélèvements n'ont pas été pris en compte dans les modèles : ils sont relativement faibles par rapport à la lame d'eau écoulee à Ponts-et-Marais et homogènes sur l'année, leur intégration n'améliore pas le calage.

Le calage du piézomètre de Criquiers est globalement très satisfaisant, avec un coefficient de Nash de 0,91 (Illustration 60). Les observations sont bien reproduites même si le modèle sous-estime légèrement les étiages ces dernières années.

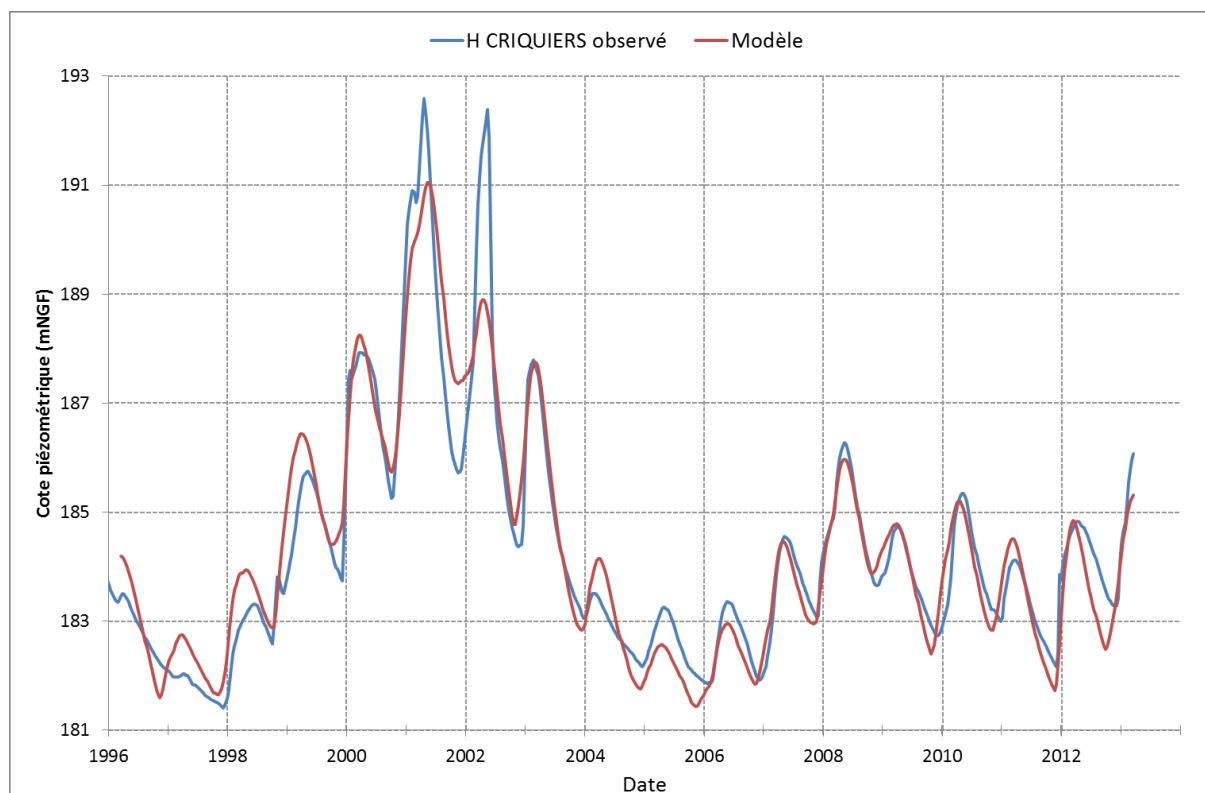


Illustration 60 – Calage du niveau piézométrique mesuré à Criquiers (bassin de la Bresle).

Les fonctions de transfert (F.T.) permettant de reproduire le niveau à Criquiers à partir de la pluie efficace sont sous la forme de Gaussienne*Exponentielle, représentant la recharge et la vidange de la nappe : les bornes de la F.T. « lente » et « rapide » sont respectivement de 1100 jours et de 250 jours, avec un pic au bout de 70-80 jours. On retrouve au travers de ces 2 fonctions de transferts la double cyclicité des fluctuations de la nappe (Illustration 61) : un cycle annuel (hautes eaux/basses eaux) et un cycle interannuel, ce qui confirme le caractère inertiel de la nappe.

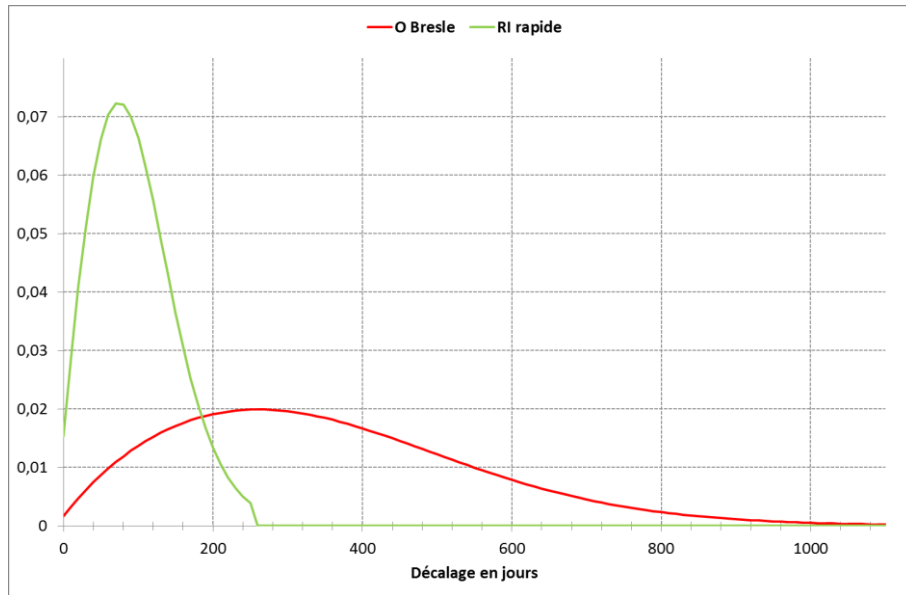


Illustration 61 – Fonctions de transfert permettant de reproduire le niveau à Criqueux.

Le calage du débit de la Bresle en considérant l'apport de la nappe est également très satisfaisant avec un coefficient de Nash de 0,9 (Illustration 62). En fin de recharge 2012-2013, le modèle sous-estime les débits.

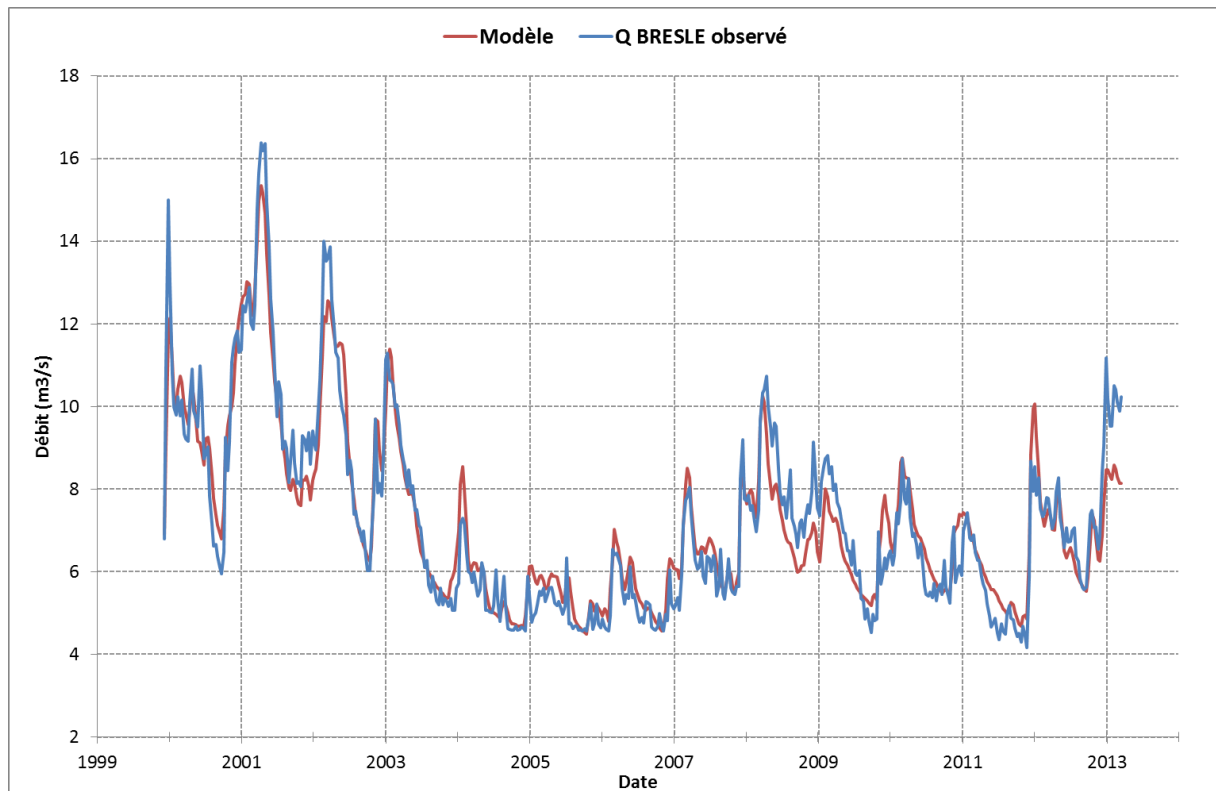


Illustration 62 – Calage du débit de la Bresle, modèle et observations.

Les différentes composantes du débit modélisé se répartissent entre la composante lente liée à la nappe, la composante rapide (ruissellement) et une composante intermédiaire (Illustration 63 et Illustration 64). Cette décomposition n'est pas l'unique décomposition possible (elle dépend des paramètres de calage) mais elle semble cohérente avec le contexte hydrogéologique du bassin versant de la Bresle.

Elle fait apparaître un très fort soutien du cours d'eau par la nappe (en période estivale, presque 100% du débit est retranscrit par la composante lente). Le ruissellement, correspondant à la composante rapide, intervient également dans le débit durant l'automne et surtout l'hiver mais de façon moindre que la composante souterraine. Ce résultat paraît cohérent, du fait notamment de la présence à l'affleurement sur une partie du bassin versant de craies marneuses du Cénomanien et du Turonien inférieur et moyen.

La décomposition des débits moyens mensuels modélisés à la station de Ponts-et-Marais fait apparaître la forte contribution de la nappe au débit de la Bresle, celle-ci atteignant une valeur moyenne de 85% sur la période modélisée (hors écoulements intermédiaires).

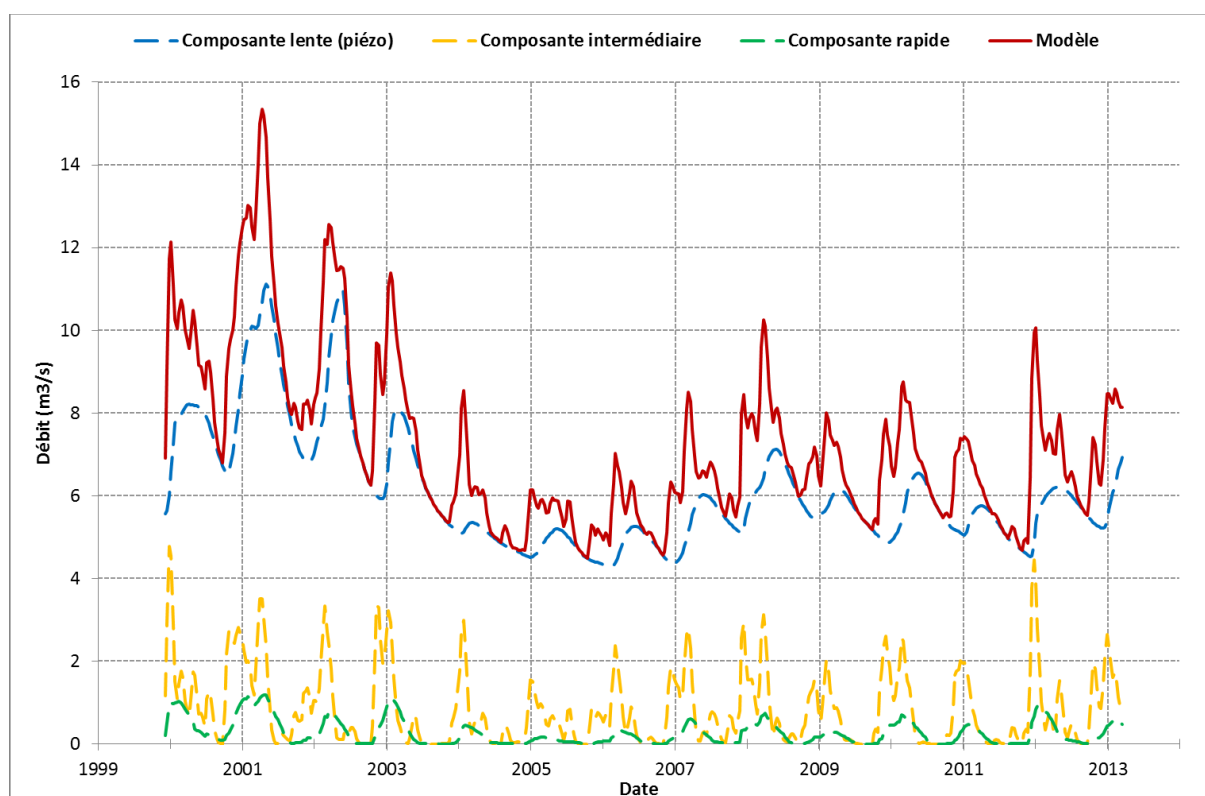


Illustration 63 – Composantes du débit de la Bresle (déduites des différentes fonctions de transfert).

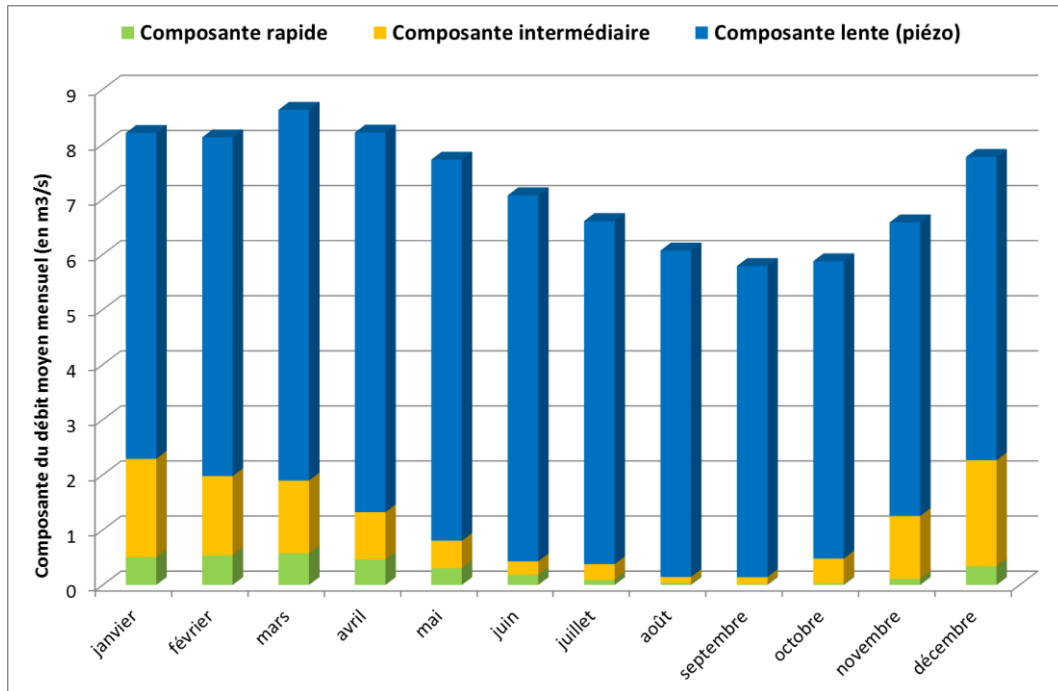


Illustration 64 – Composantes du débit moyen mensuel modélisé de la Bresle à Ponts-et-Marais.

b) Validation

Les calages Pluie-Niveau et Pluie-Niveau-Débit ont été réalisés sur les chroniques les plus longues possibles, compte tenu de la date des débuts de chroniques de pluie (1992) et de débits (1999). La validation des calages n'est donc pas pertinente et n'a pas été effectuée.

c) Prévisions

Avant de faire les simulations, un processus autorégressif sur les écarts a été lancé afin de réduire au mieux les écarts entre les simulations et les observations de débits avant la période de prévision.

Les prévisions des débits et des niveaux piézométriques probables ont été réalisées à partir du 1 avril 2013 d'après les calages précédents (Illustration 65 et Illustration 66).

La recharge de l'hiver 2012-2013 a permis d'observer des débits à Pont-et-Marais et des niveaux à Criquiers, en début de période d'étiage, très supérieurs à ceux de 2011 et de 2012. Selon les modélisations, les débits durant la période d'étiage seront probablement au-dessus de ceux de 2011 et de 2012, même pour des prévisions correspondant à des périodes de retour 10 ans sec (90%). Les niveaux prévus pour l'année 2013 seront probablement très au-dessus de ceux mesurés en 2011 et 2012. Lors de l'étiage, au mois de novembre 2013, les niveaux seront proches de ceux de 2012 pour des périodes de retour situées entre les 5 et 10 ans sec.

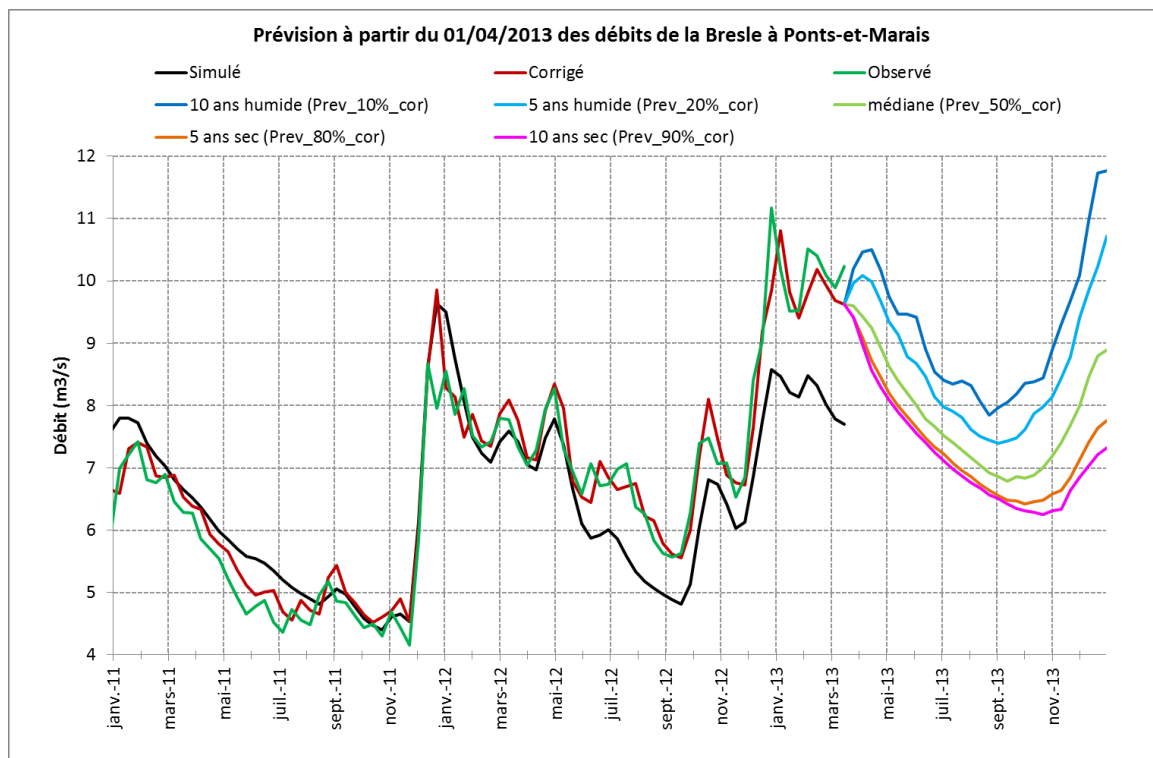


Illustration 65 – Prévision des débits décennaux à partir du 01/04/2013 à la station de Ponts-et-Marais – Les prévisions sont représentées comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.

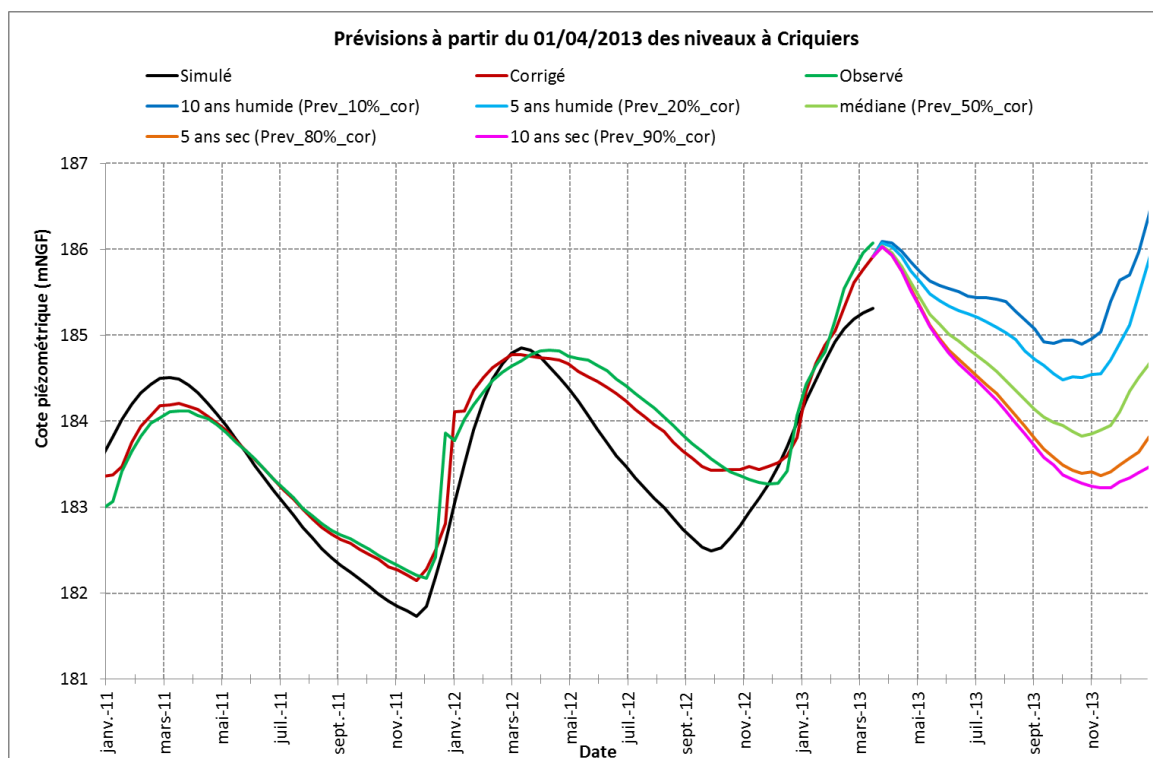


Illustration 66 – Prévision des niveaux piézométriques décennaux à partir du 01/04/2013 au piézomètre de Criquiers – Les prévisions sont représentées comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.

d) *Bulletin de situation hydrogéologique (BSH)*

Le bulletin a été établi au 1 juin 2013. Le niveau de la nappe de la craie à Criquiers est en hausse de décembre 2012 à avril 2013. En mai 2013, il diminue et la vidange de la nappe de la craie s'amorce. Le niveau se situe à un niveau compris entre les périodes de retour de 2,5 ans et 5 ans humide, soit à un niveau au-dessus de la normale (Illustration 67).

Pour information, à Morvillers-Saint-Saturnin, le niveau piézométrique est toujours en hausse en mai 2013 et est proche de la normale depuis le mois de mars. A Lignièrès-Chatelain, la recharge s'est achevée en mai et le niveau atteint un palier. Depuis janvier 2013, le niveau est proche de la normale.

Sur l'ensemble des piézomètres du bassin de la Bresle, la recharge de la nappe de la craie semble se terminer durant le mois de mai 2013, les niveaux se stabilisant voire diminuant. Les niveaux sont globalement comparables ou supérieurs aux normales saisonnières.

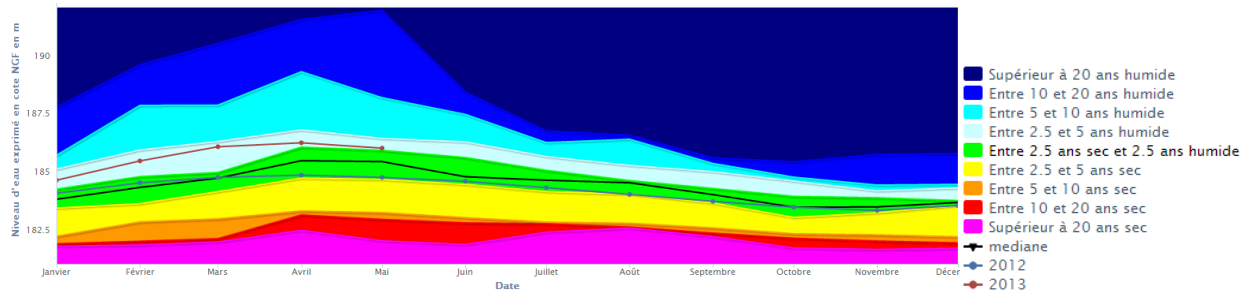


Illustration 67 – Niveaux piézométriques et périodes de retour à Criquiers.

Le débit de la Bresle à la station hydrométrique située à Pont-et-Marais n'a pas dépassé les seuils de suivi en 2012 (Tableau 14).

	mi janvier 2012	fin janvier 2012	mi février 2012	fin février 2012	mi mars 2012	fin mars 2012	mi avril 2012	fin avril 2012	mi mai 2012	fin mai 2012	mi Juin 2012	fin Juin 2012
Bresle à Pont et Marais (secteur 6)	7,69	7,55	7,09	7,10	7,00	7,08	6,90	7,32	7,13	6,42	6,41	6,51
Bresle à Pont et Marais (secteur 7)	7,69	7,55	7,09	7,10	7,00	7,08	6,90	7,32	7,13	6,42	6,41	6,51
Bresle à Pont et Marais (76)					7,00	7,12	6,90	7,86	7,13	6,40	6,46	6,50

	mi Juillet 2012	fin Juillet 2012	mi aout 2012	fin aout 2012	mi-septembre 2012	fin septembre 2012	mi octobre 2012	fin octobre 2012	mi novembre 2012	fin novembre 2012	mi décembre 2012	fin décembre 2012
Bresle à Pont et Marais (secteur 6)	6,41	7,00	5,98	5,57	5,40	5,49	5,64	6,95				
Bresle à Pont et Marais (secteur 7)	6,41	7,00	5,98	5,57	5,40	5,49	5,64	6,95				
Bresle à Pont et Marais (76)	6,00	7,00	5,98	5,57	5,40							

	mi janvier 2013	fin janvier 2013	mi février 2013	fin février 2013	mi mars 2013	fin mars 2013	mi avril 2013	fin avril 2013
Bresle à Pont et Marais (secteur 6)								8,68
Bresle à Pont et Marais (secteur 7)								8,68
Bresle à Pont et Marais (76)								

RAS	Vigilance	Alerte
Alerte renforcée	Crise	

Tableau 14 - VCN3 de la Bresle à Pont-et-Marais et seuils de suivi (stations sécheresse).

Les niveaux à Criqueux sont restés au-dessus des seuils d'alerte durant l'année 2012 (Tableau 15). Le seuil de vigilance a été atteint ponctuellement en mai puis en novembre et décembre 2012.

	mi janvier 2012	fin janvier 2012	mi février 2012	fin février 2012	mi mars 2012	fin mars 2012	mi avril 2012	fin avril 2012	mi mai 2012	fin mai 2012	mi Juin 2012	fin Juin 2012
Criqueux	36,87	36,87	36,42	36,42	36,19	36,19	36,11	36,11	36,20	36,20	36,32	36,32

	mi Juillet 2012	fin Juillet 2012	mi aout 2012	fin aout 2012	mi-septembre 2012	fin septembre 2012	mi octobre 2012	fin octobre 2012	mi novembre 2012	fin novembre 2012	mi décembre 2012	fin décembre 2012
Criqueux	36,62	36,62	36,87	36,87	37,23	37,23	37,47	37,47	37,61	37,61	37,40	37,40

	mi janvier 2013	fin janvier 2013	mi février 2013	fin février 2013	mi mars 2013	fin mars 2013	mi avril 2013	fin avril 2013
Criqueux	36,31	36,31	35,48	35,48	34,88	34,88	34,70	34,70

RAS	Vigilance	Alerte
Alerte renforcée	Crise	

Tableau 15 - Niveaux piézométriques à Criqueux et seuils de suivi (stations sécheresse).

e) Conclusions sur les étiages 2013

L'utilisation du logiciel TEMPO© permet, après calage, de réaliser des prévisions de niveau piézométrique et de débits de manière relativement fiable avec une précision correcte sur le bassin versant de la Bresle.

Malgré un bon calage, les incertitudes sur les données (peu d'historique notamment) et les limites « techniques » des modèles font que des incertitudes non négligeables peuvent perdurer.

D'après les prévisions réalisées, le débit à Ponts-et-Marais devrait probablement rester au-dessus des seuils sécheresse tout au long de l'année même s'il atteint des valeurs correspondant à une période de retour 10 ans sec (Illustration 68).

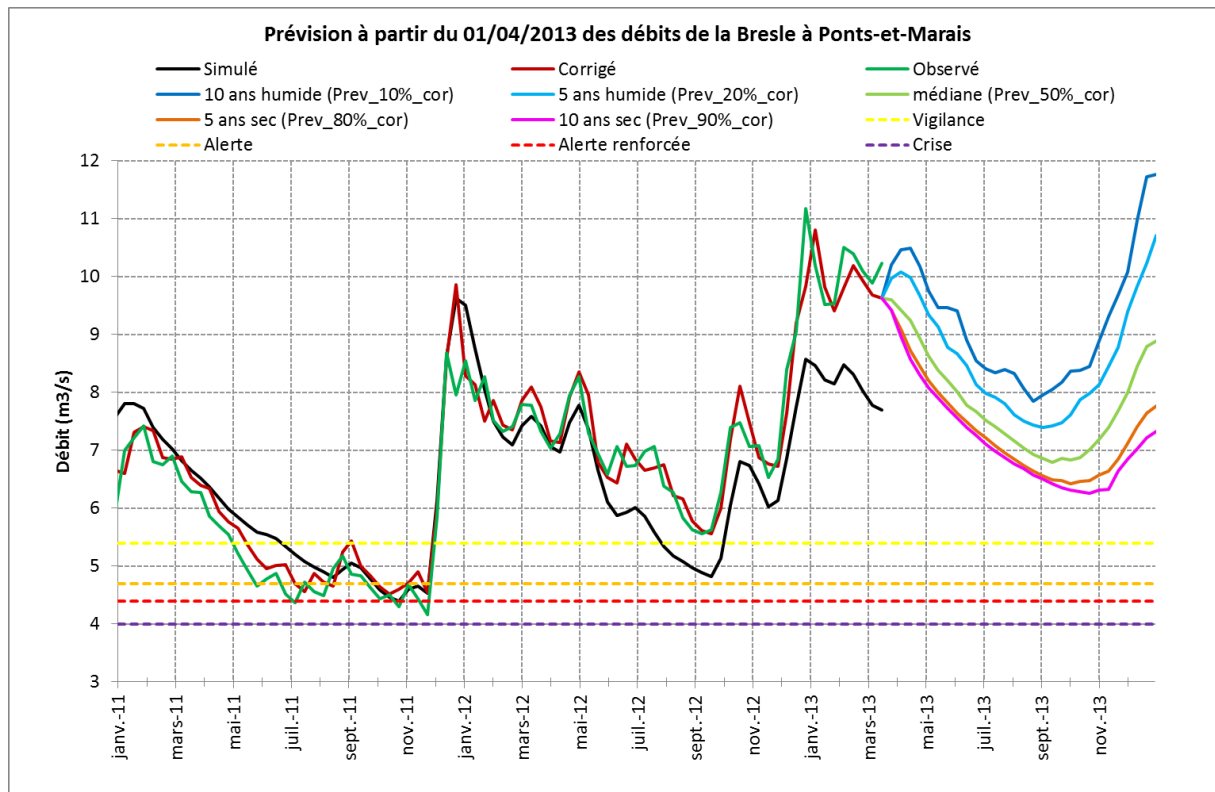


Illustration 68 –Prévisions des débits et seuils sécheresse à la station de Ponts-et-Marais.

Le niveau piézométrique mesuré à Criquiers devrait probablement être au-dessus des seuils sécheresse (Illustration 69). S'ils atteignent des niveaux correspondant à une période de retour 5 ans sec, les niveaux seront très proches du seuil de « vigilance », qui sera probablement franchi en novembre 2013. La prévision est au maxima au seuil de « vigilance », pour une période de retour 10 ans sec, ponctuellement à partir de fin juin ainsi que de mi-octobre à décembre 2013.

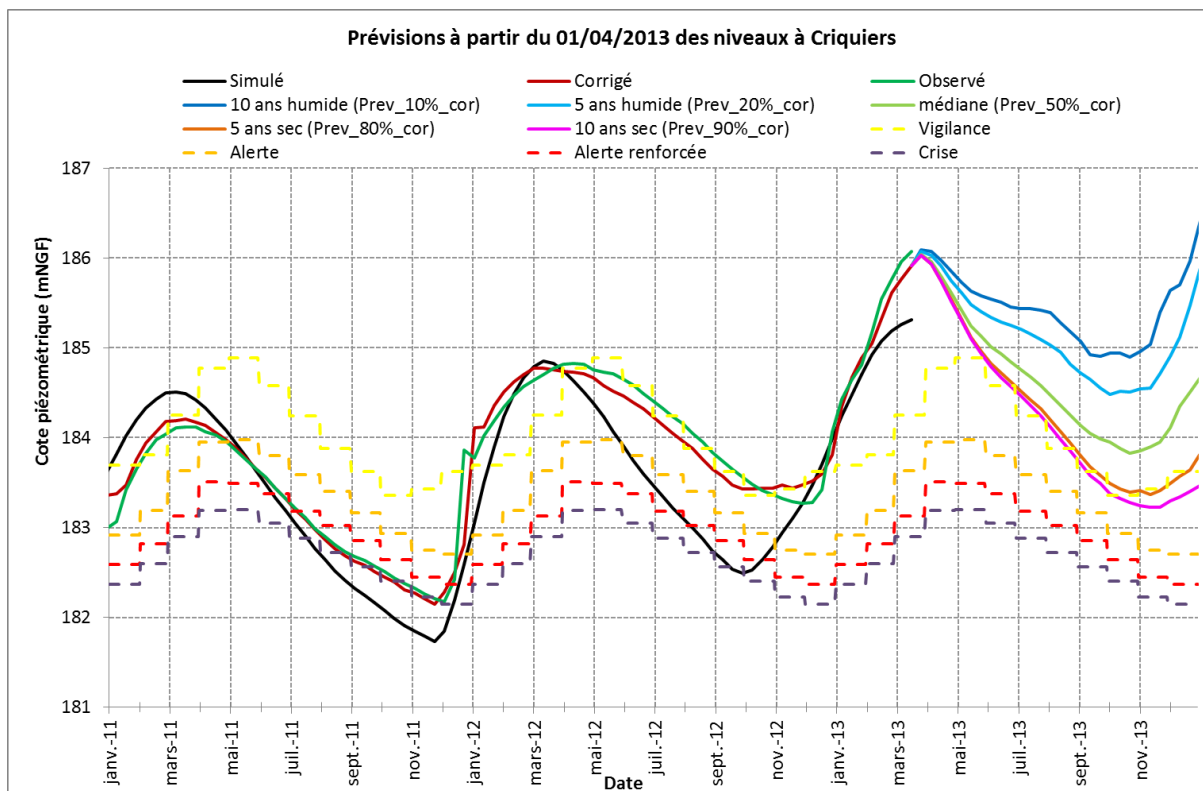


Illustration 69 – Comparaison des prévisions des niveaux et des seuils sécheresse au piézomètre de Criquiers.

2.5. BASSIN VERSANT DE L'ESCHES

2.5.1. Contexte géographique et hydrographique

L'Esches est un affluent long de 20 km de l'Oise. Le cours d'eau prend sa source à Méru à l'altitude 110 m et rejoint l'Oise à Persan, dans le Val-d'Oise, à l'altitude 26 m.

Le bassin hydrographique de l'Esches s'étend sur le plateau crayeux de Thelle, au sud du département de l'Oise (Illustration 70). Il occupe une surface de 125 km². La station de Bornel est située peu avant la confluence avec l'Oise et son bassin versant est de 106 km².

Au nord du bassin, le plateau de Thelle est vallonné et monte vers le Pays de Bray. Il est occupé des grandes cultures et de bois. La vallée de l'Esches historiquement industrielle voit sa croissance urbaine augmenter et des zones d'activités se développer, du fait de la présence d'axes ferroviaires et routiers.

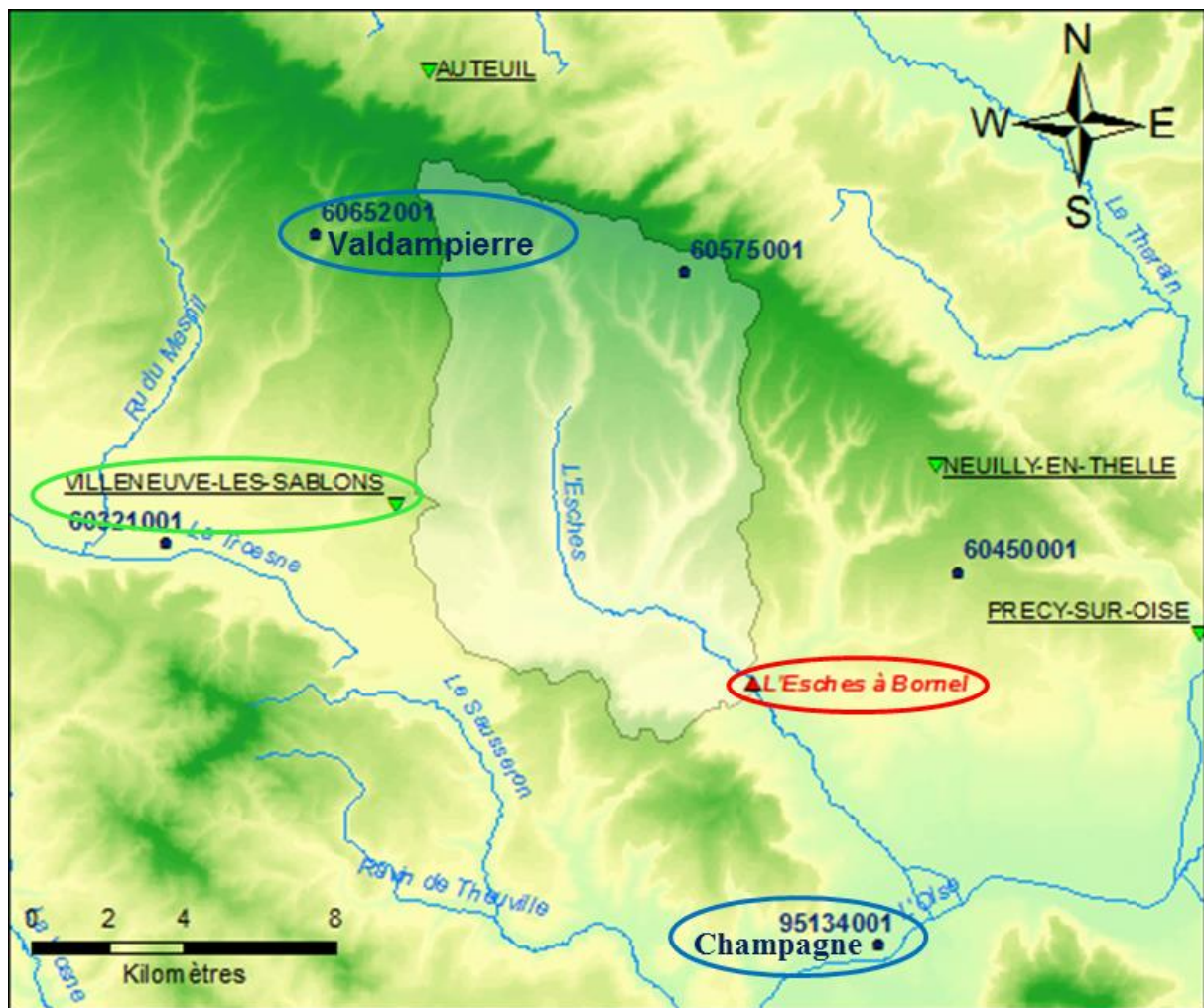


Illustration 70 - Localisation du bassin de l'Esches.

2.5.2. Contexte géologique et hydrogéologique

Le bassin versant de l'Esches est constitué des terrains crayeux du Pays de Thelle. La craie blanche du Sénonien et la craie marneuse du Turonien supérieur affleurent dans les vallées humides et les vallons secs et sont recouvertes sur les plateaux par des limons à silex. Des petites buttes de sables de Bracheux surmontés parfois de conglomérats à galets de silex, datant du Thanétien, parsèment le plateau au nord et au sud-ouest.

Au sud du bassin versant de la station de Bornel, la butte du bois de Grainval marque le début du Vexin français et des terrains tertiaires. Sur le bassin seul le début de la série tertiaire affleure, avec de bas en haut : sables de Bracheux du Thanétien, argiles à lignite et sables coquilliers sparnaciens de l'Yprésien inférieur, argiles de Laon et sables de Cuise de l'Yprésien supérieur, sables et calcaires grossiers du Lutétien.

En vallée, la tourbe associée à des sables fins et des vases forme l'essentiel des alluvions modernes. Les alluvions anciennes sont bien développées dans la vallée de l'Esches, notamment sur sa partie aval. L'ensemble de ces formations peut atteindre localement 5 m d'épaisseur.

L'aquifère de la craie s'étend sous tout le Pays de Thelle et constitue le réservoir le plus important du bassin de l'Esches. La nappe est libre et drainée par l'Esches et ses affluents sous le plateau de Thelle et devient captive sous les premières argiles tertiaires (Sparnacien) du Vexin français, à l'extrême sud du bassin versant. Du fait de la proximité du Pays de Bray, la craie pourrait être plus fissurée que sur d'autres bassins crayeux étudiés et des écoulements plus rapides pourraient apparaître.

Les aquifères des sables thanétiens et des alluvions reposent directement sur la craie et l'ensemble de ces réservoirs sont considérés comme étant en continuité hydraulique.

Les aquifères du Cuisien (Yprésien supérieur) et du Lutétien restent circonscrits à la butte du bois de Grainval. Les argiles de Laon de l'Yprésien supérieur sont absentes, d'après les coupes géologiques de la BSS, et les deux nappes sont alors confondues. Au droit de la butte du bois de Grainval, la nappe du Cuisien-Lutétien est libre. Son mur est formé des argiles sparnaciennes de l'Yprésien inférieur.

Aucun piézomètre suivant les fluctuations de la nappe de la craie n'est implanté sur le bassin de l'Esches. Quatre piézomètres implantés dans la craie sont situés à proximité du bassin. Seuls deux possèdent des chroniques non lacunaires : Villeneuve-les-Sablons et Precy-sur-Oise (Illustration 70 et Tableau 16).

BASSIN VERSANT	STATION PLUVIOMETRIQUES	STATIONS ETP	PIEZOMETRES	STATIONS HYDROMETRIQUES
ESCHES 106 km2	Valdampierre 60652001 01/05/1972 - 2013	Creil 60175001 11/05/1989 - 2013 Beauvais 60639001 01/11/1944 - 2013	Villeneuve-les- Sablons 01264X0029/S1 07/03/1974 - 2013	Bornel H7843010 01/03/1988 - 2013
	Sainte-Geneviève 60575001 01/05/1972 - 2013		Auteuil 01028X0018/S1 07/03/1974 - 2013	
	Champagne-sur-Oise 95134001 01/01/1967 - 2013		Neuilly-en-Thelle 01272X0086/S1 07/03/1974 - 2013	
	Ivry-Le-Temple 60321001 01/01/1971 - 2013		Precy-sur-Oise 01277X0192/S1 16/09/1977 - 2013	

Tableau 16 - Liste des stations de mesure utilisées pour le calage du modèle pour le bassin de l'Esches.

2.5.3. Pluviométrie

Concernant les données relatives aux précipitations, quatre stations pluviométriques ont été retenues. Par ailleurs, nous disposons de l'ETP décadaire au droit de deux stations proches : Creil et Beauvais. Celle de Beauvais a été retenue.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des quatre stations pluviométriques retenues. La formule obtenue est la suivante :

$$Popt = 76\% \text{ Champagne} + 24\% \text{ Valdampierre}$$

C'est la combinaison de ces deux stations pluviométriques qui permet de reproduire au mieux le débit.

2.5.4. Relations nappe-rivières

Le débit de l'Esches est enregistré à la station hydrométrique située à Bornel, depuis 1988. Le débit annuel moyen de l'Esches à Bornel est de 0,66 m³/s (sur 26 ans). Son débit spécifique annuel est de 6,23 L/s/km² (données Banque Hydro / MEDDE) (Illustration 71).

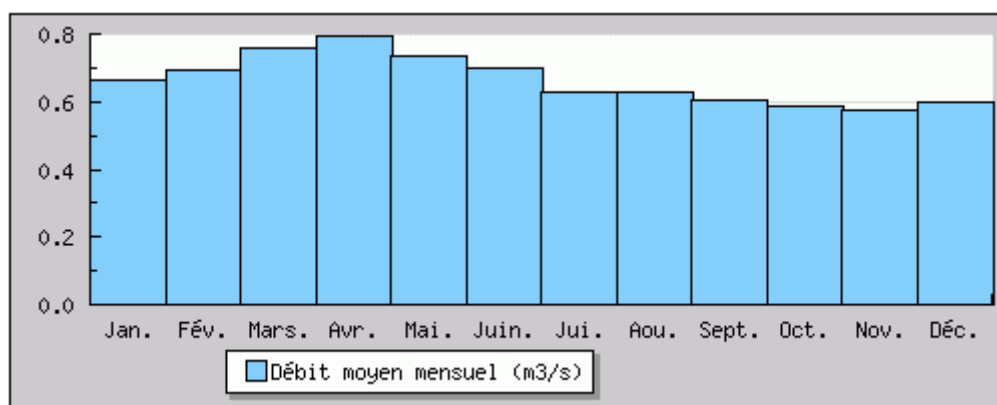


Illustration 71 - Débits moyens mensuels de l'Esches à Bornel calculés sur 26 ans.

L'histogramme des débits moyens mensuels montre l'influence de la nappe sur la rivière : les hautes eaux sont tardives (avril), ainsi que les basses eaux (novembre). Par ailleurs, l'amplitude des fluctuations est faible et l'étiage fortement soutenu par la nappe de la craie.

2.5.5. Niveaux piézométriques

Les lacunes dans les chroniques piézométriques ont été comblées par une simple interpolation linéaire sur 90 jours. Tous les piézomètres se situent à l'extérieur du bassin versant (Tableau 16). Le piézomètre de Villeneuve-les-Sablons est le plus proche, il se trouve juste à l'ouest de la limite du bassin et possède une chronique assez longue et régulière. Les piézomètres d'Auteuil et de Neuilly-en-Thelle possèdent trop de lacunes et ne peuvent être exploités dans les modélisations. Le piézomètre de Precy-sur-Oise possède également une chronique assez longue mais il est plus éloigné du bassin versant et sa chronique est très probablement influencée du fait de sa proximité avec l'Oise (Illustration 72).

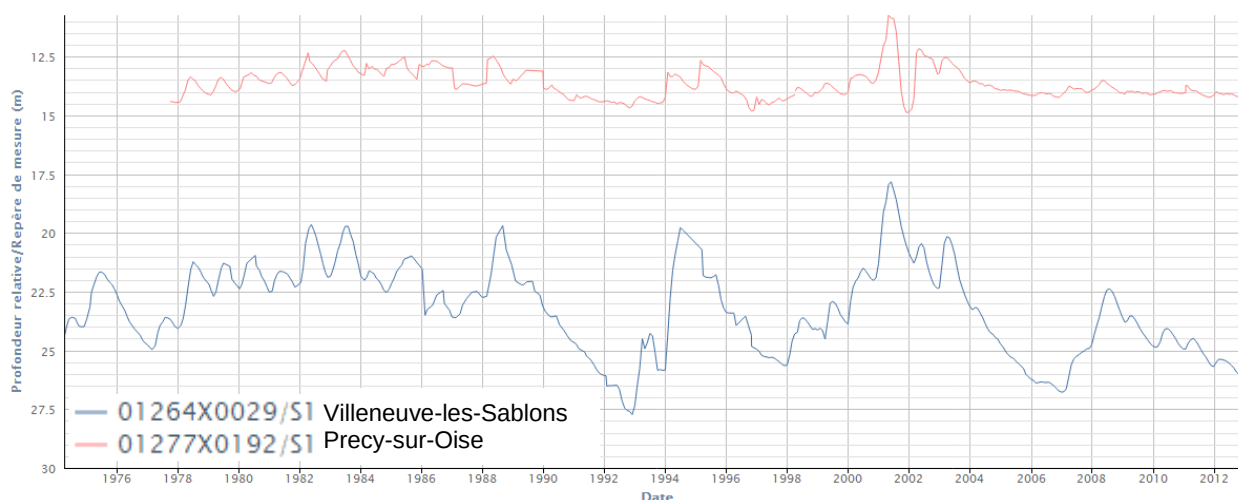


Illustration 72 - Fluctuations des niveaux piézométriques enregistrés à différents piézomètres à proximité du bassin de l'Esches.

2.5.6. Corrélation des données niveau / débit

On note la similitude des variations de niveau piézométrique à Villeneuve-Les-Sablons avec les débits de l'Esches à Bornel (Illustration 73).

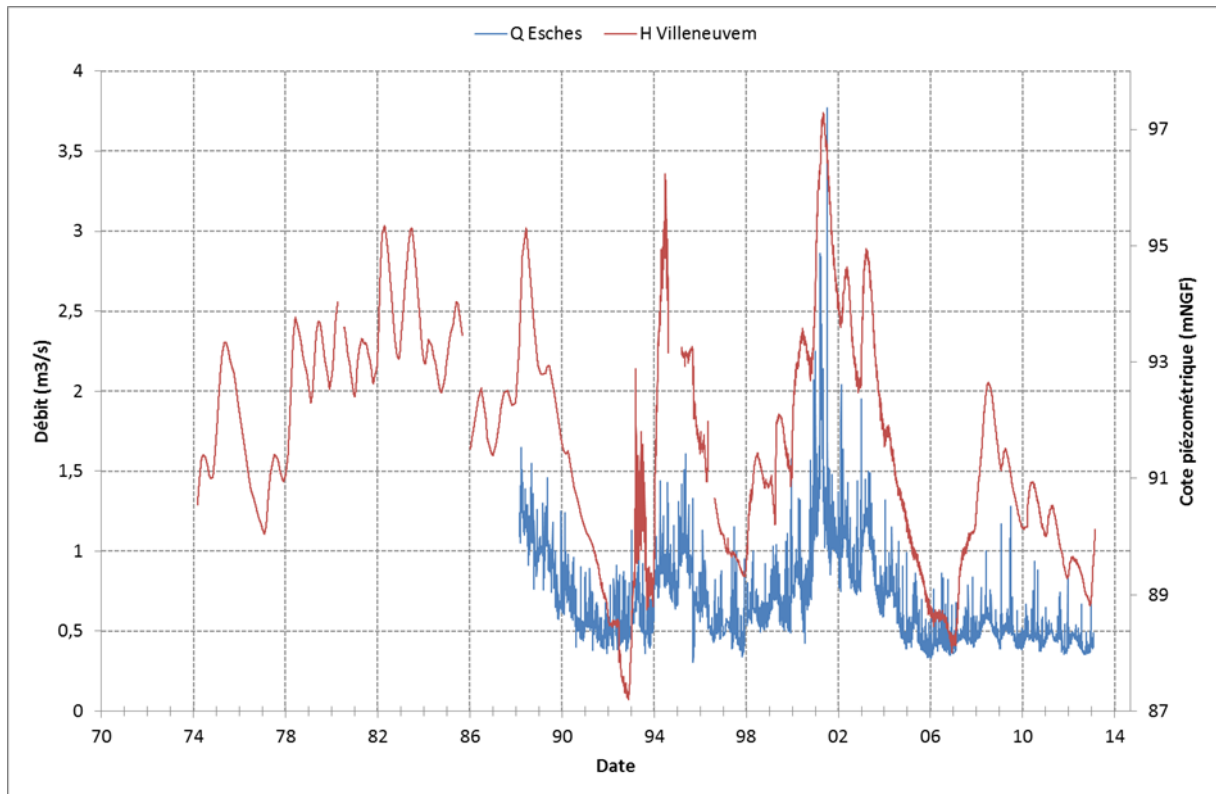


Illustration 73 - Fluctuations des niveaux piézométriques à Villeneuve-les-Sablons avec les débits de l'Esches à Bornel.

Le corrélogramme croisé débit rivière / niveau piézométrique (Illustration 74) confirme la bonne corrélation (indice de 0,83) entre le niveau nappe et de débit avec une différence de temps de réactions entre la nappe et le cours d'eau, d'environ 40 jours.

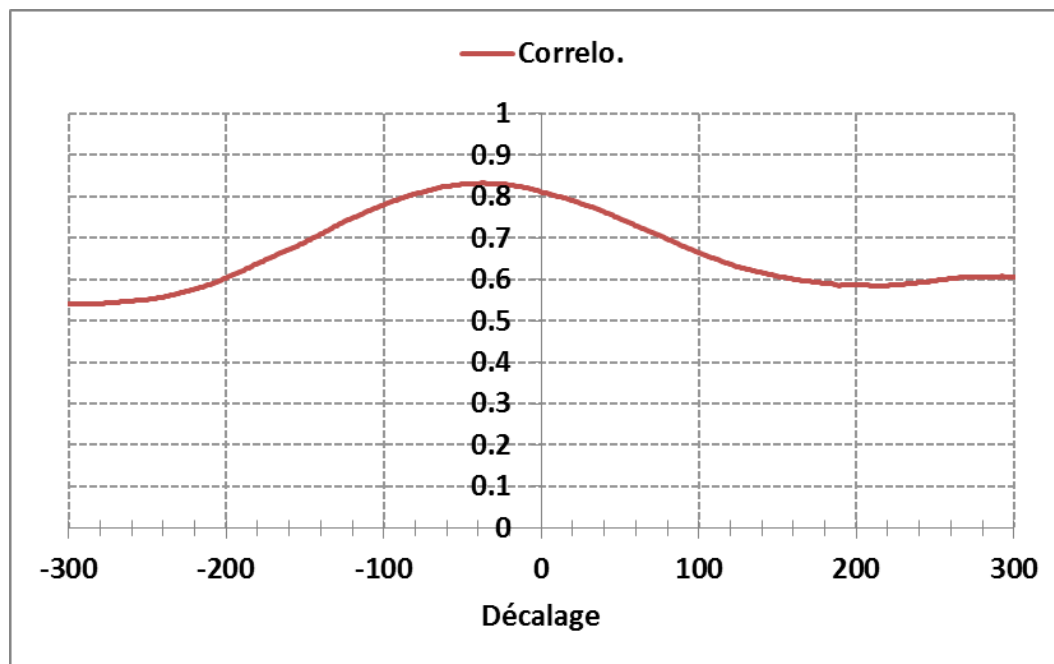


Illustration 74 - Corrélogramme croisé des niveaux piézométriques à Villeneuve-les-Sablons avec les débits de l'Esches à Bornel.

2.5.7. Prélèvements

Les prélèvements dans la nappe de la craie sur le bassin de l'Esches s'élèvent, tout usage confondu, à 2,5 Mm³ en 2010, considérée comme une année moyenne, et à 2,8 Mm³ environ en 2011 (Illustration 75 et Illustration 76). Ramenés à la surface du bassin (106 km²), ils correspondent à une lame d'eau annuelle d'environ 24 mm pour l'année 2010, soit 12% de la lame d'eau annuelle de l'Esches (196 mm).

Les prélèvements de surface, destinés à l'AEP, s'élèvent à 0,05 Mm³ environ en 2010 (Illustration 77).

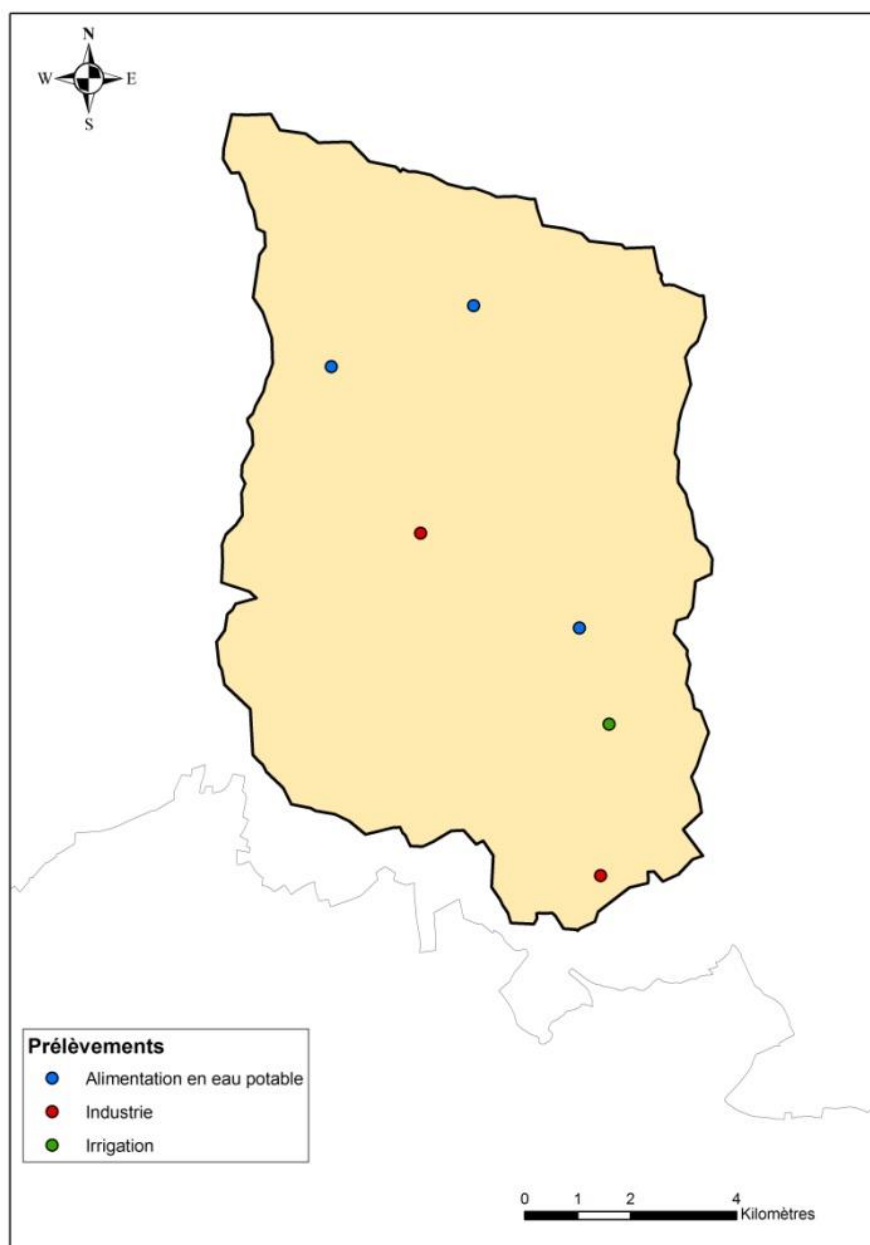


Illustration 75 – Localisation des prélèvements dans le bassin de l'Esches.

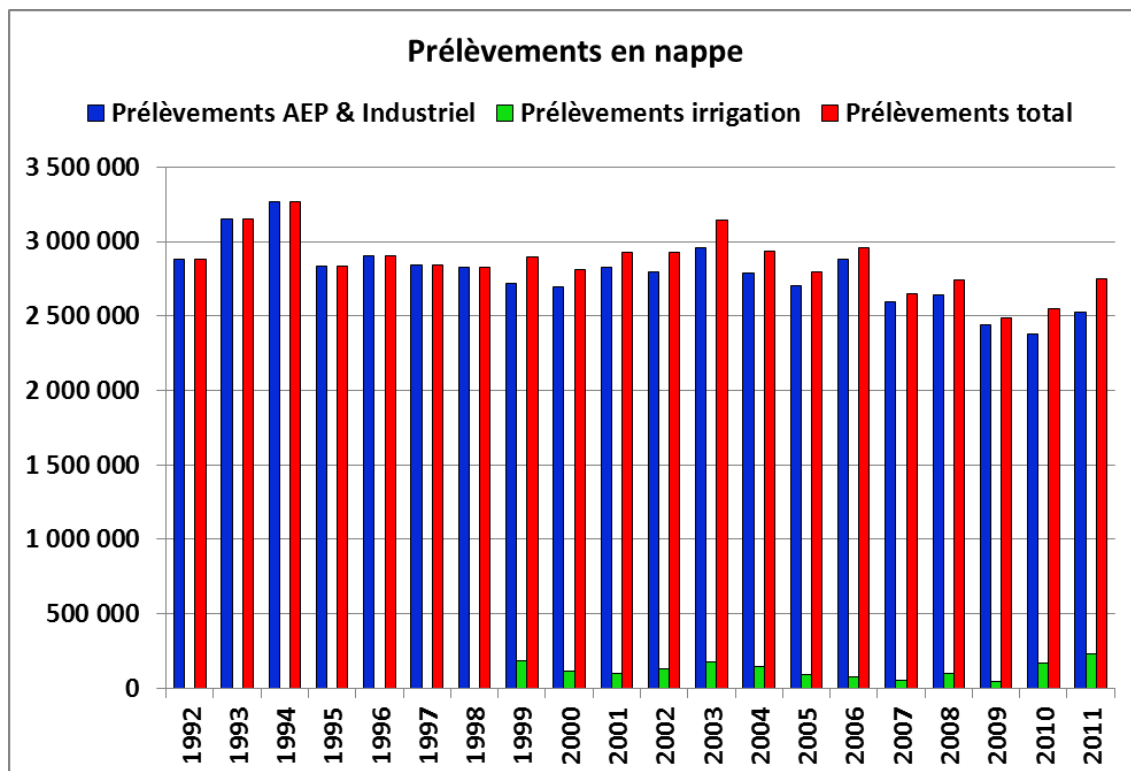


Illustration 76 – Evolutions des prélèvements en nappe sur le bassin de l'Esches par type d'usage.

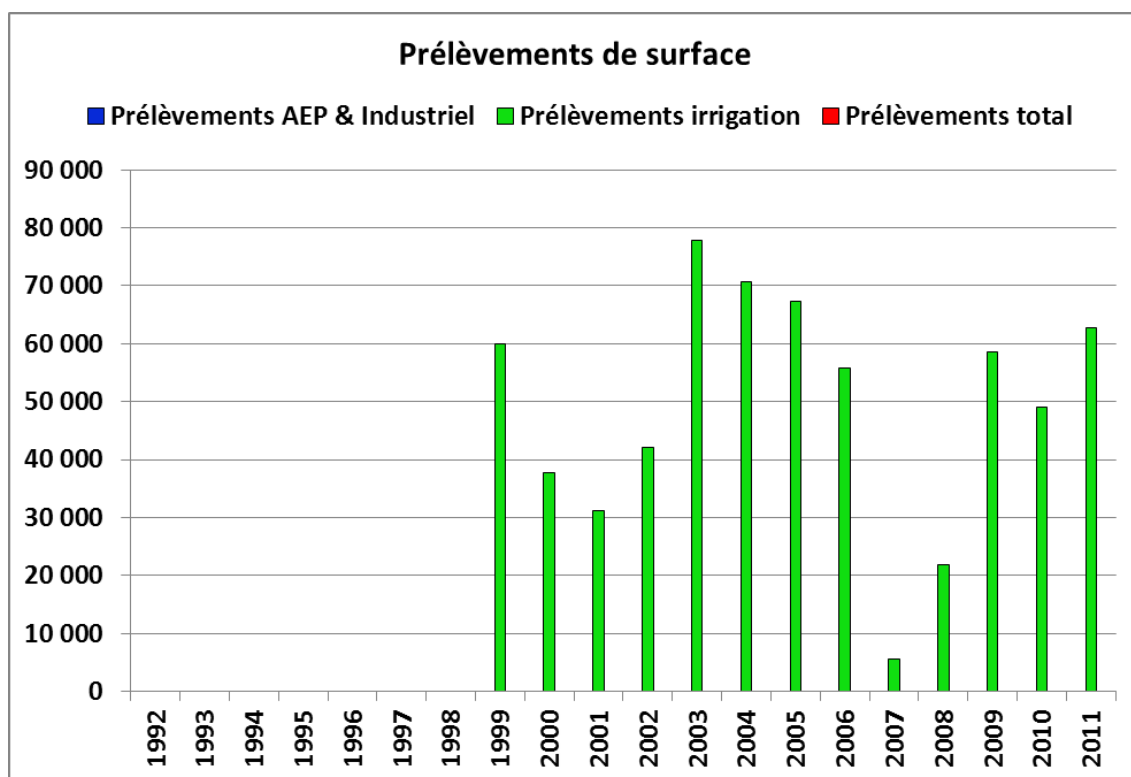


Illustration 77 – Evolutions des prélèvements en rivière sur le bassin de l'Esches par type d'usage.

2.5.8. Modélisation globale

La modélisation globale des écoulements s'est faite en plusieurs étapes : le calage Pluie-Niveau, le calage Pluie-Niveau-Débit sur la plus longue période de données sans discontinuités, la validation de ces calages puis les prévisions.

a) Modélisations *Pluie-Niveau* et *Pluie-Niveau-Débit*

Les modélisations Pluie-Niveau et Pluie-Niveau-Débit ont été effectuées au pas de temps décadaire en utilisant les données suivantes :

- les cumuls décadaires des hauteurs de précipitations mesurés aux stations de Champagne et de Valdampierre ;
- l'évapotranspiration (ETP Penman décadaire) à la station de Beauvais ;
- le débit journalier de la station hydrométrique à Bornel ;
- les chroniques piézométriques de Villeneuve-les-Sablons.
- les prélèvements en nappe pour la modélisation Pluie-Niveau ;
- les prélèvements en surface pour la modélisation Pluie-Niveau-Débit.

Les périodes de calage retenues sont les suivantes :

- 02/1981 – 03/2013 pour la modélisation Pluie-Niveau ;
- 03/1988 – 07/1994 puis 01/1998 – 03/2013 pour la modélisation Pluie-Niveau-Débit.

Le calage du piézomètre de Villeneuve-les-Sablons, avec prise en compte des prélèvements, est globalement très satisfaisant, avec un coefficient de Nash de 0,85 (Illustration 60). Le modèle reproduit assez fidèlement le cycle annuel (hautes eaux/basses eaux) et le cycle interannuel de la nappe.

Les fonctions de transfert (F.T.) permettant de reproduire le niveau à Villeneuve-les-Sablons à partir de la pluie efficace sont sous la forme de Gaussienne*Exponentielle, représentant la recharge et la vidange de la nappe : les bornes de la F.T. « lente » et « rapide » sont respectivement de 1330 jours et de 220 jours. On retrouve au travers de ces 2 fonctions de transferts la double cyclicité des fluctuations de la nappe (Illustration 61) : un cycle annuel (hautes eaux/basses eaux) et un cycle interannuel, ce qui confirme le caractère inertiel de la nappe.

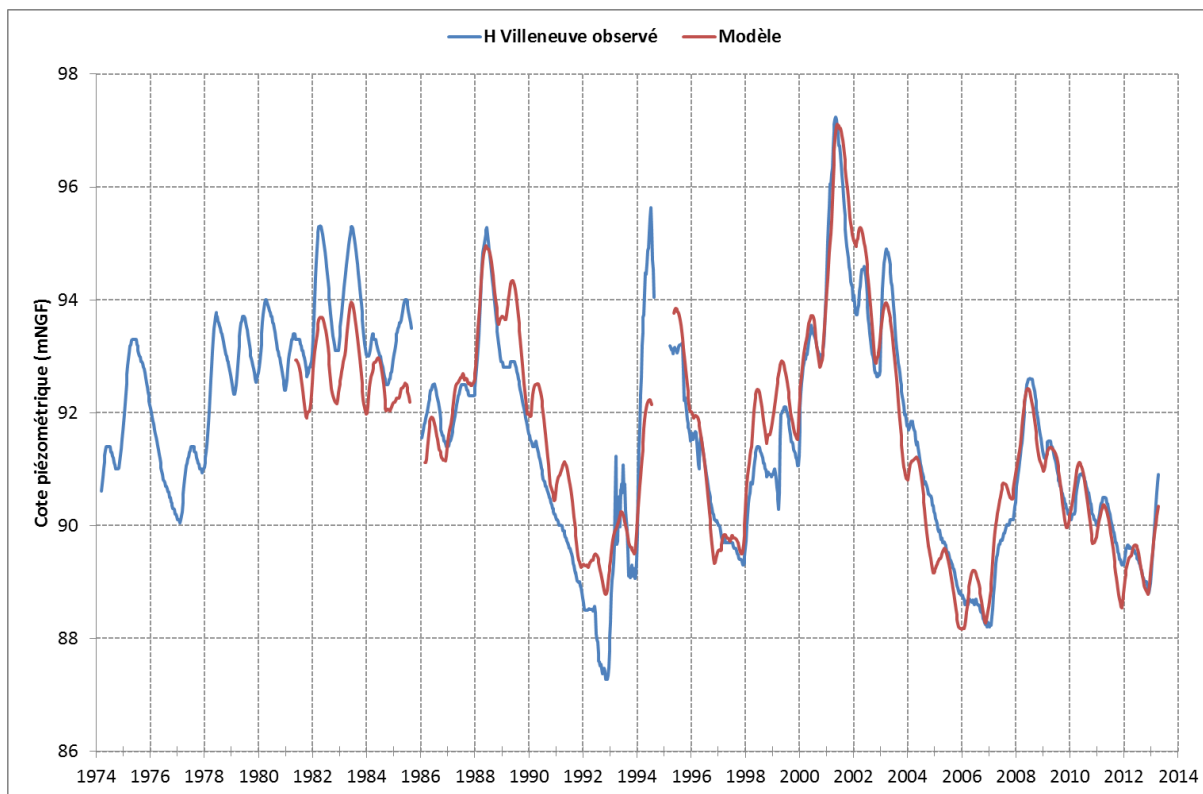


Illustration 78 – Calage du niveau piézométrique mesuré à Villeneuve-les-Sablons.

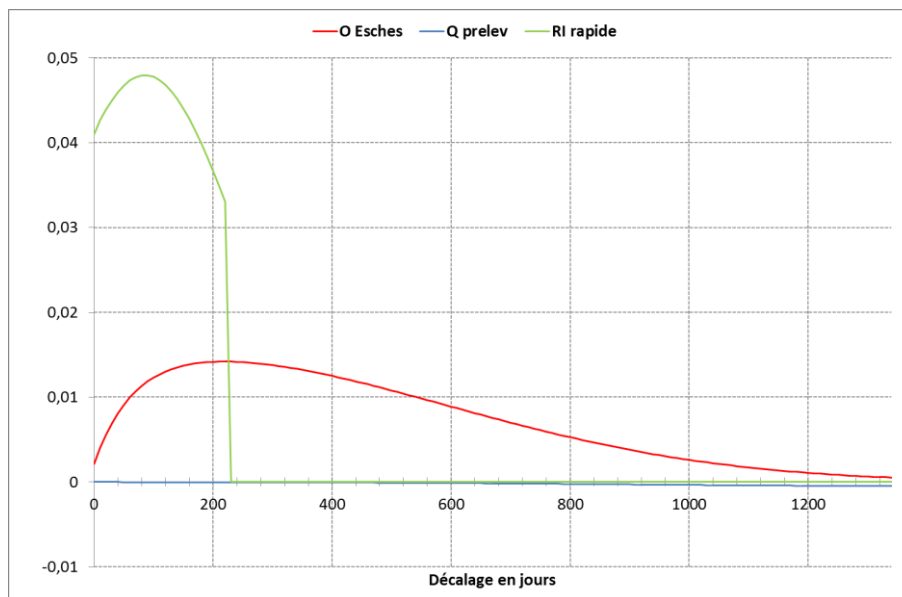


Illustration 79 – Fonctions de transfert permettant de reproduire le niveau à Villeneuve-les-Sablons.

Le calage du débit de l'Esches en considérant l'apport de la nappe et les prélèvements de surface est satisfaisant avec un coefficient de Nash de 0,81 (Illustration 62). Le modèle surestime toutefois les débits de 2007 à 2011 ainsi que ces derniers mois.

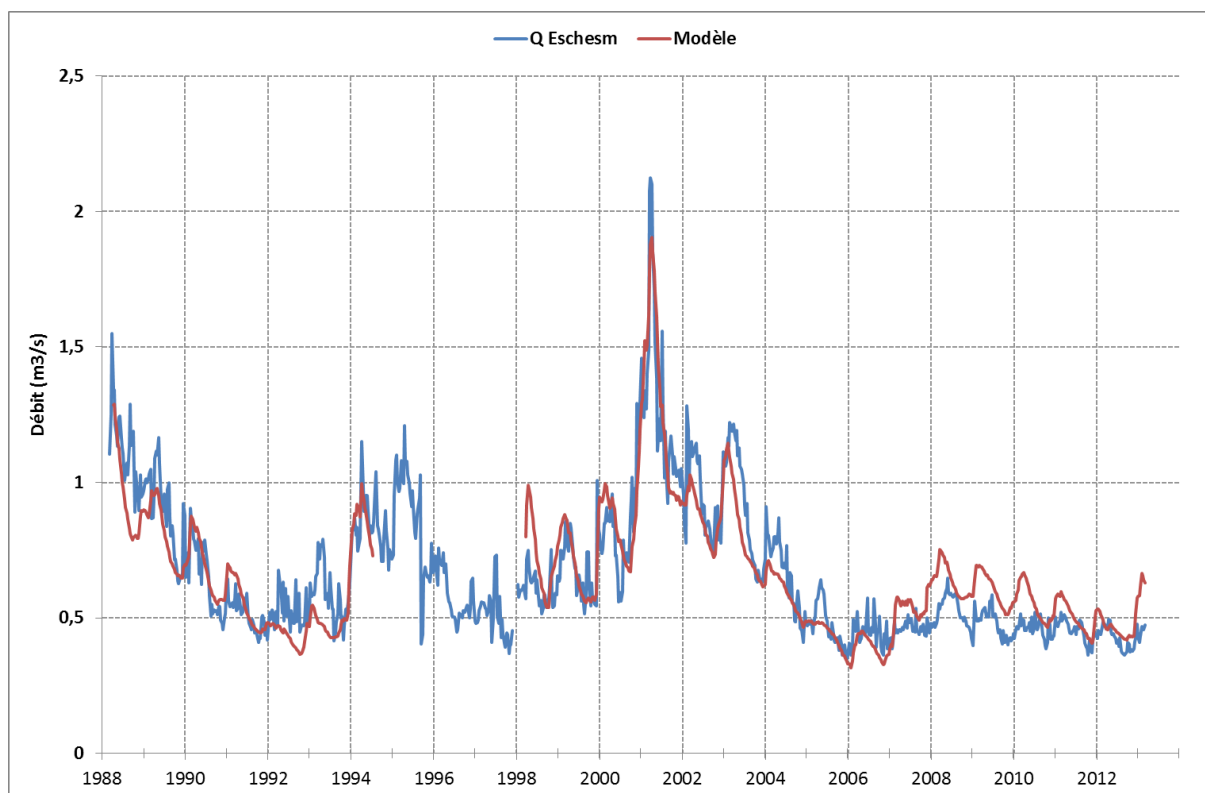


Illustration 80 – Calage du débit de l'Esches, modèle et observations.

Les différentes composantes du débit modélisé se répartissent entre la composante lente liée à la nappe, la composante rapide (ruissellement) et une composante intermédiaire) (Illustration 81 et Illustration 82).

Cette modélisation fait apparaître un fort soutien du cours d'eau par la nappe tout au long de l'année et un apport lié au ruissellement durant l'automne et surtout l'hiver. Sur ce bassin, ces deux composantes (lente et rapide) sont suffisantes pour expliquer le débit (la composante intermédiaire est négligeable).

Par ailleurs, la chronique de débits présente une double cyclicité, saisonnière et pluriannuelle, ressemblant aux chroniques piézométriques de l'aquifère crayeux. A partir de 2006, les variations pluriannuelles semblent s'atténuer et le modèle surestime alors les débits.

Ce décalage pourrait être dû à des incertitudes et/ou à un problème de cohérence des données de prélèvements sur le bassin de l'Esches. En effet, des erreurs sont apparues entre les bases de prélèvements agricoles de l'Agence de l'eau Seine-Normandie et de la DTT60. Cependant, d'autres hypothèses pourraient être avancées pour expliquer la surestimation des débits par le modèle : des débits relativement bas depuis 2005 et se corrélant moins bien avec la piézométrie et/ou un comportement hydrogéologique spécifique à ce bassin en raison, par exemple, de la proximité de la faille de Bray entraînant une fracturation/fissuration plus importante de la craie.

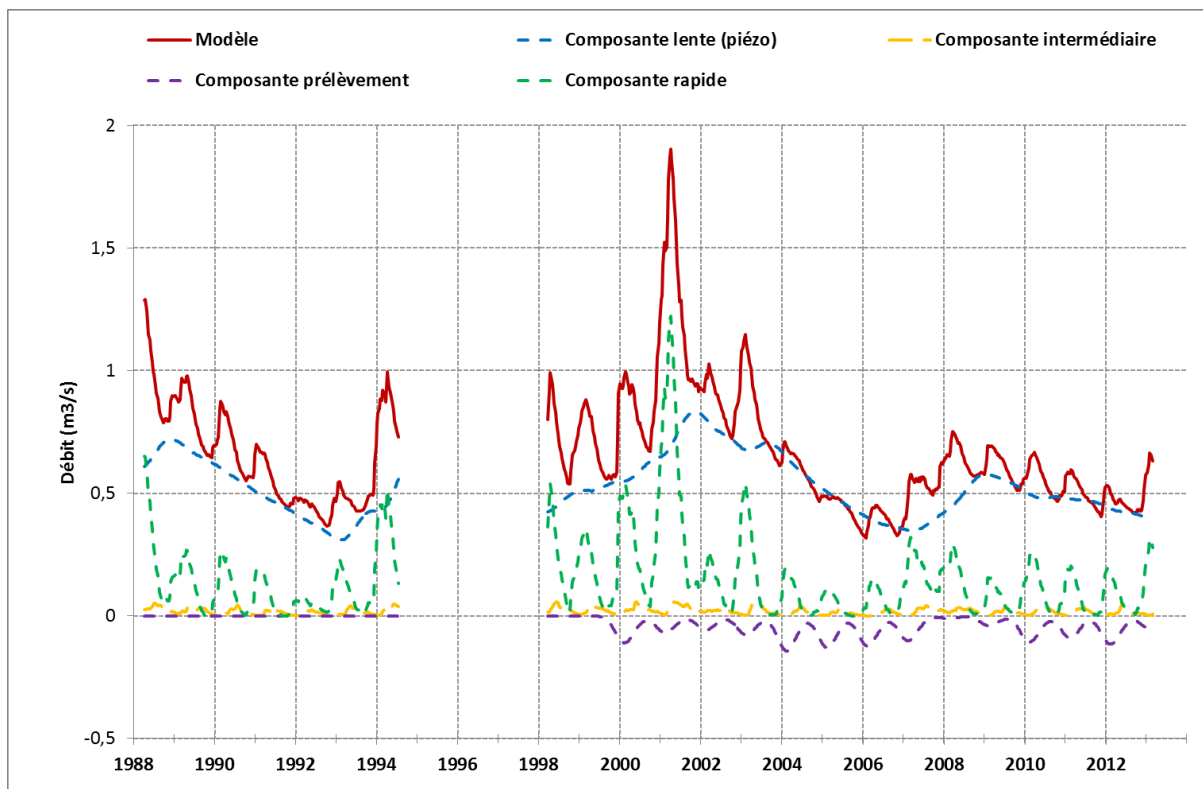


Illustration 81 – Composantes du débit de l'Esches (déduites des différentes fonctions de transfert).

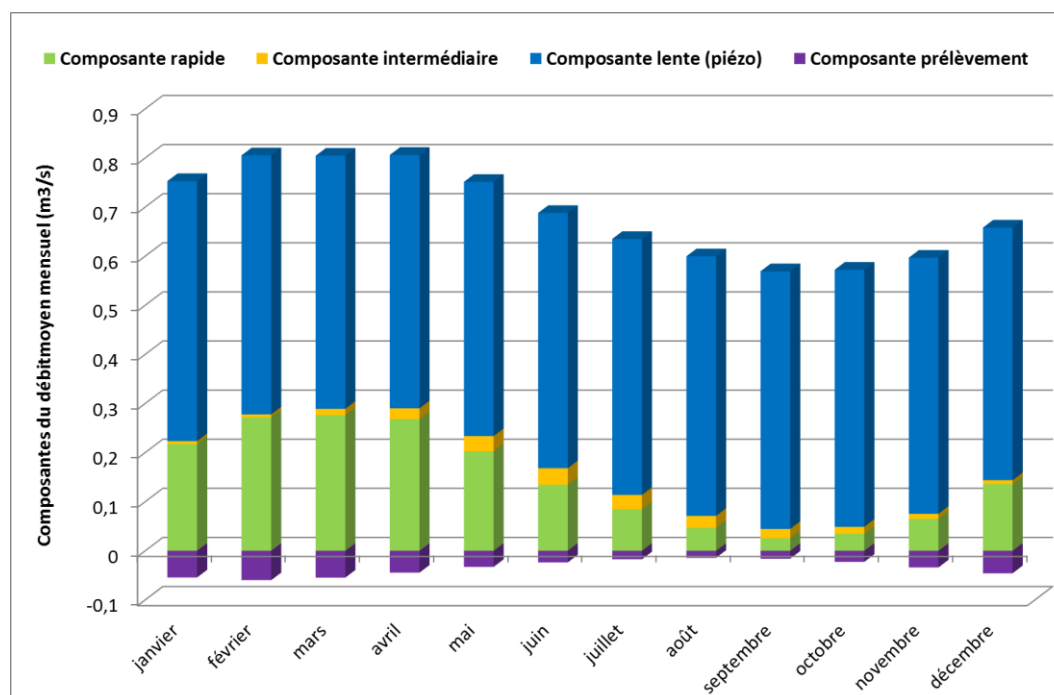


Illustration 82 – Composantes du débit moyen mensuel modélisé de l'Esches à Bornel.

b) Validation

Les niveaux piézométriques simulés par le modèle entre 1978 et 1981 (début de la période de calage) sont inférieurs aux niveaux observés bien que la tendance à la hausse soit bien reproduite (Illustration 83). Cet écart pourrait être dû au fait qu'il n'existait peut être pas de prélèvement sur ce bassin durant cette période.

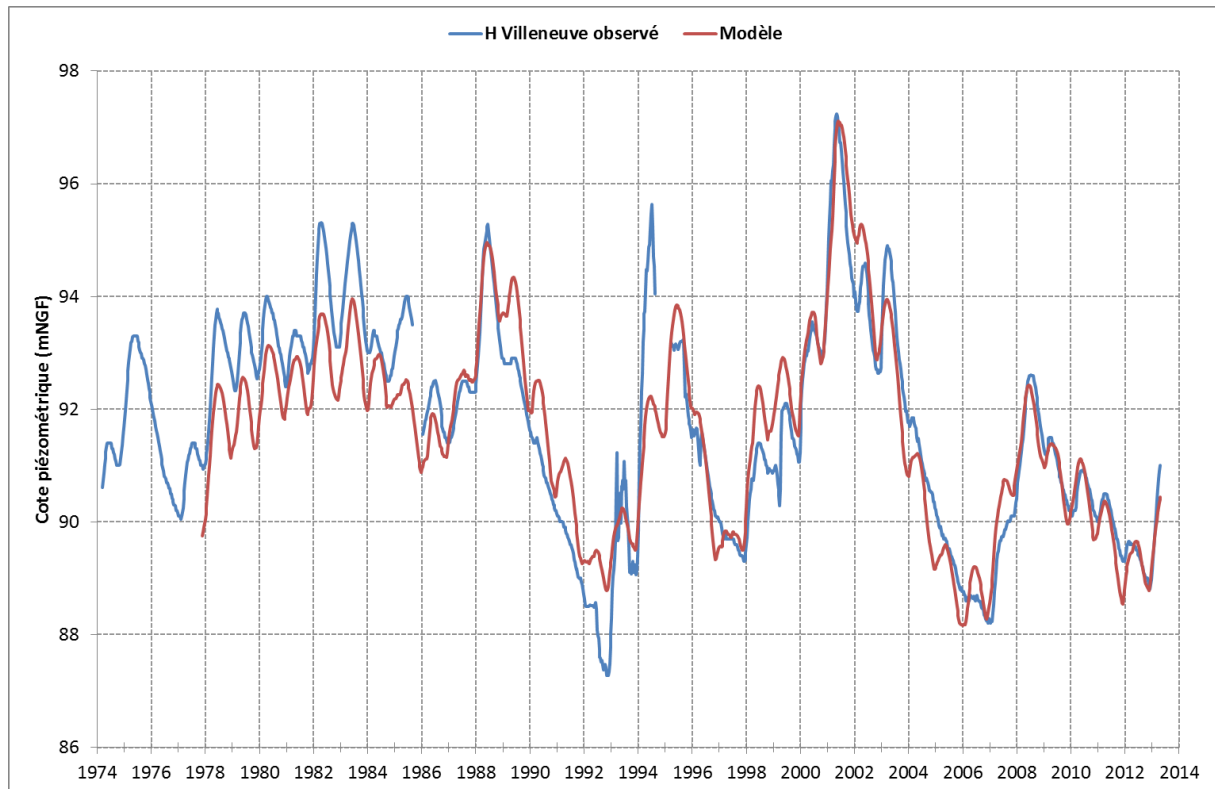


Illustration 83 – Validation du calage du niveau piézométrique de Villeneuve-les-Sablons sur la période 1978-1981.

Le calage Pluie-Niveau-Débit a été réalisé sur les chroniques les plus longues possibles. La validation des calages n'est donc pas pertinente et n'a pas été effectuée.

c) Prévisions

Avant de faire les simulations, un processus autorégressif sur les écarts a été lancé afin de réduire au mieux les écarts entre les simulations et les observations de débits avant la période de prévision.

Les figures suivantes fournissent les quantiles des prévisions des débits et des niveaux piézométriques probables pour la période d'étiage 2013 à partir des calages précédents (Illustration 84 et Illustration 85).

Selon les modélisations, les débits durant la période d'été 2013 seront probablement inférieurs à ceux de 2011 et de 2012, pour une prévision correspondant à la médiane

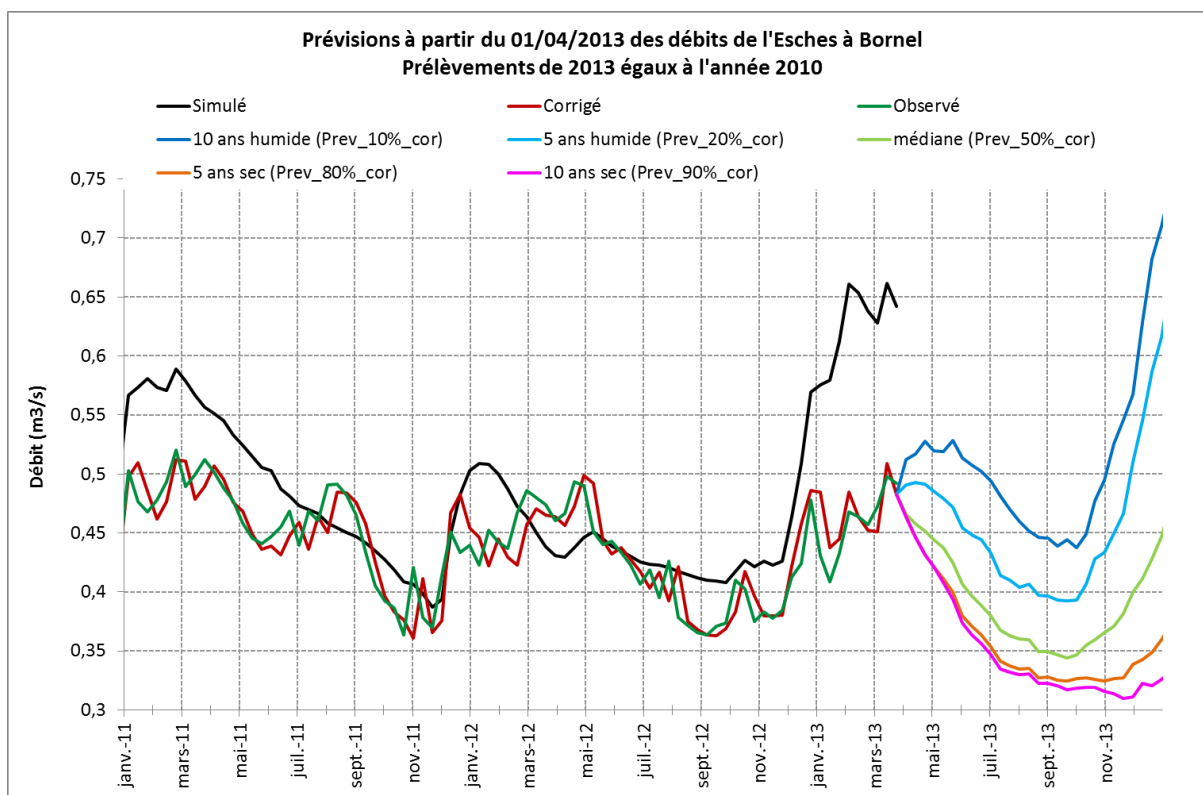


Illustration 84 – Prévision des débits décadaires à partir du 01/02/2013 à la station de Borne sur l'Esches. – Les prévisions sont représentées comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.

Les niveaux seront très probablement très au-dessus de ceux observés en 2012. Ils resteront proches de ceux de 2011 pour une prévision de période de retour 10 ans sec.

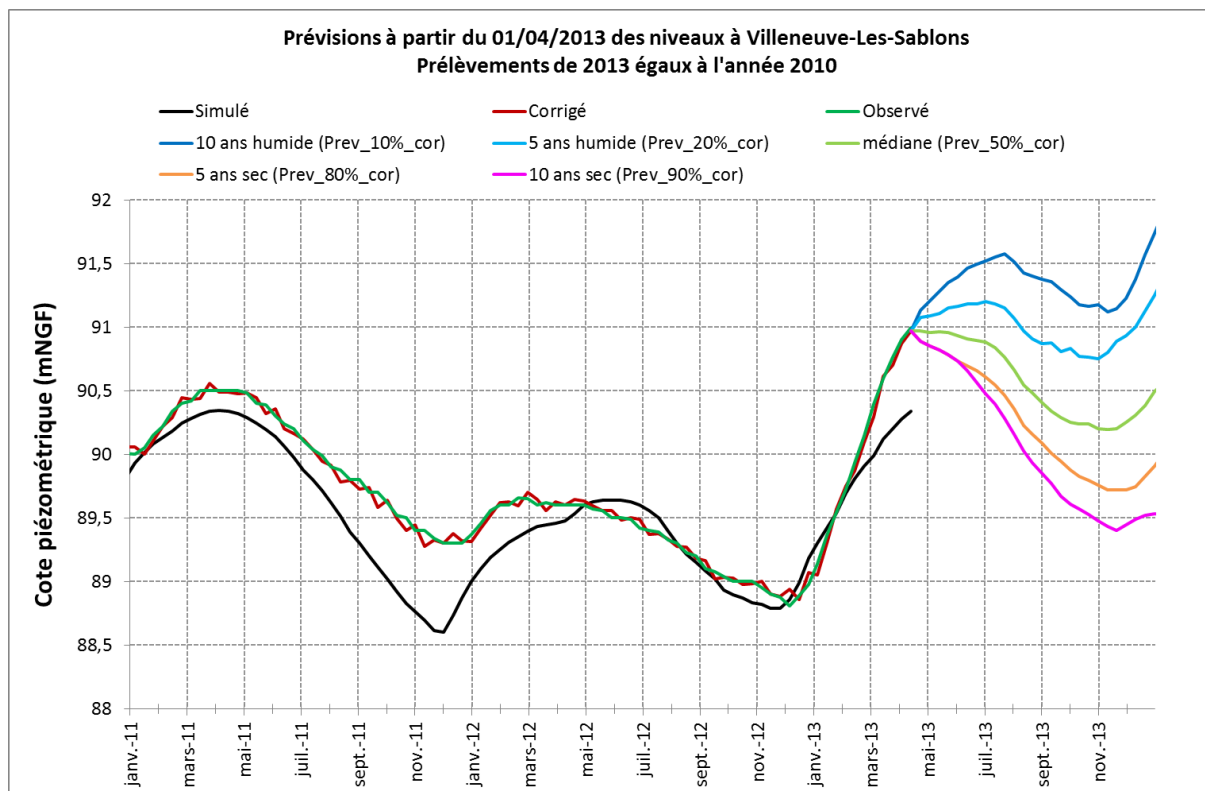


Illustration 85 – Préviction des niveaux piézométriques décadaires à partir du 01/02/2013 au piézomètre de Villeneuve-les-Sablons. – Les prévisions sont représentées comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré.

d) Bulletin de situation hydrogéologique (BSH)

Le bulletin a été établi au 1 juin 2013. Le niveau piézométrique de la nappe de la craie à Villeneuve-les-Sablons est en hausse depuis décembre 2012. En mai 2013, il est toujours inférieur à la période de retour de 2,5 ans sec, soit à un niveau au-dessus de la normale (Illustration 86).

Pour information, les autres puits du pays de Thelle (Villers-sur-Trie, Auteuil, Neuilly-en-Thelle et Précly-sur-Oise) enregistrent des niveaux en baisse et comparables aux normales saisonnières en avril et mai 2013.

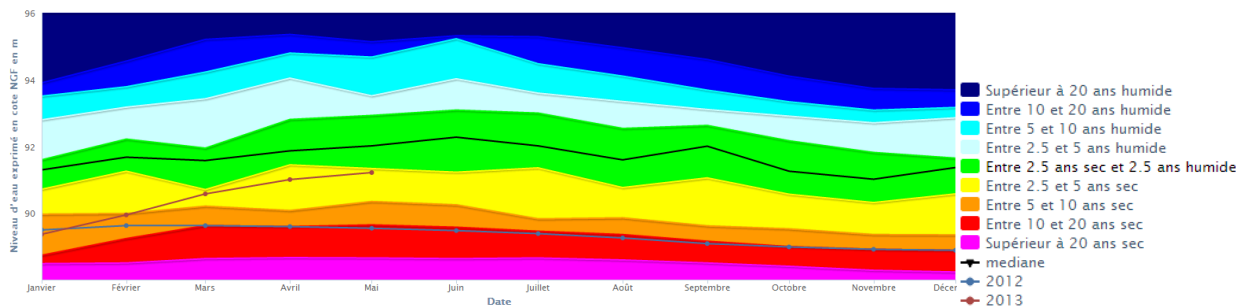


Illustration 86 – Niveaux piézométriques et périodes de retour à Villeneuve-les-Sablons.

Le débit de l'Esches à la station hydrométrique située à Bornel est en-dessous du seuil de vigilance de mi-janvier à mi-juillet 2012 puis du seuil d'alerte de fin juillet à fin octobre 2012 (Tableau 17). Fin avril 2013, il est dessous du seuil de vigilance.

	mi janvier 2012	fin janvier 2012	mi février 2012	fin février 2012	mi mars 2012	fin mars 2012	mi avril 2012	fin avril 2012	mi mai 2012	fin mai 2012	mi Juin 2012	fin Juin 2012
L'Esches à Bornel	0,616	0,417	0,423	0,454	0,478	0,479	0,455	0,469	0,441	0,442	0,443	0,402

	mi Juillet 2012	fin Juillet 2012	mi aout 2012	fin aout 2012	mi- septembre 2012	fin septembre 2012	mi octobre 2012	fin octobre 2012	mi novembre 2012	fin novembre 2012	mi décembre 2012	fin décembre 2012
L'Esches à Bornel	0,403	0,399	0,383	0,359	0,357	0,362	0,363	0,365				

	mi janvier 2013	fin janvier 2013	mi février 2013	fin février 2013	mi mars 2013	fin mars 2013	mi avril 2013	fin avril 2013
L'Esches à Bornel								0,478

RAS	Vigilance	Alerte
Alerte renforcée	Crise	

Tableau 17 – VCN3 de l'Esches à Bornel et seuils de suivi (stations sécheresse).

e) Conclusions sur les étiages 2012

L'utilisation du logiciel TEMPO© permet, après calage, de réaliser des prévisions de niveau piézométrique et de débits de manière relativement fiable avec une précision correcte sur le bassin versant d'Esches.

Malgré un bon calage, les incertitudes sur les données et les limites « techniques » des modèles font que des incertitudes non négligeables peuvent perdurer.

Le bassin de l'Esches se situe sur un secteur en plein développement. D'après les observations de débits (faibles depuis 2005), les résultats de la modélisation et des prévisions, il est à craindre que les prélèvements aient de forts impacts sur le bassin. Cette situation pourrait impliquer à terme des problèmes quantitatifs pour l'eau potable. Ce bassin pourrait également avoir un comportement hydrogéologique spécifique en raison, par exemple, de la proximité de la faille de Bray entraînant une fracturation/fissuration plus importante de la craie. Il serait ainsi intéressant de réaliser des études plus poussées sur ce bassin versant.

D'après les prévisions réalisées sur le débit à Bornel, le seuil de « vigilance » sera probablement dépassé, au minima de mi-juillet à mi-octobre pour une période de retour de 10 ans humide (Illustration 87). Le seuil d' « alerte » serait atteint de fin août à début octobre pour une période de retour 5 ans humide et de début juin à fin novembre 2013 dans le cas d'une situation médiane. La prévision est au maxima au seuil d'« alerte renforcée » de début novembre à début décembre, pour des niveaux prévus de période de retour 10 ans sec.

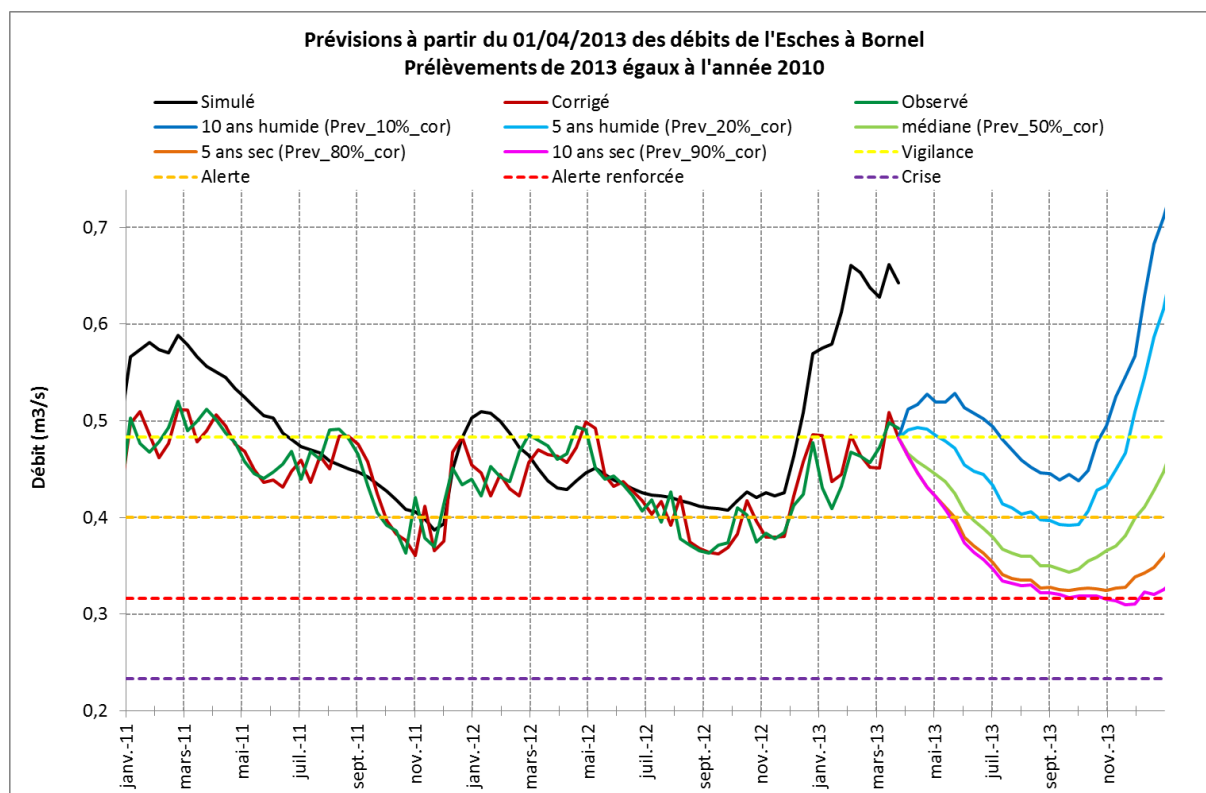


Illustration 87 –Prévisions des débits et seuils sécheresse à la station de Bornel.

3. Conclusion

Pour chacun des quatre bassins versants traités dans le cadre de cette étude, les prévisions du débit du cours d'eau à l'exutoire du bassin et d'un niveau piézométrique ont été effectuées à l'aide du logiciel TEMPO© développé par le BRGM.

Chaque modèle réalisé permet, après une phase de calage sur les données observées, d'effectuer des prévisions sur la base de nombreuses séries climatiques : pour chacune d'entre elle, une chronique prévisionnelle de niveau et de débit est simulée. Le grand nombre de séries climatiques utilisées permet d'effectuer une analyse fréquentielle des niveaux et des débits correspondant.

Pour les quatre bassins versants, les modèles retranscrivent assez fidèlement les chroniques, avec toutefois des incertitudes sur :

- les débits du Matz (les données de débits étant des données reconstituées) ;
- les débits de l'Esches où le modèle a tendance à surestimer les débits depuis 2007. Pour expliquer ces écarts entre le modèle et les observations, une étude plus approfondie du contexte hydrodynamique serait nécessaire (impacts des prélèvements, fracturation de la craie, ...).

Les niveaux de nappe sont quant eux toujours bien reproduits.

Sur chacun des bassins versants étudiés, la recharge hivernale a été satisfaisante et selon les prévisions, les niveaux piézométriques ne devraient pas passer en dessous des seuils de vigilance en 2013 (Tableau 18).

Malgré une bonne recharge, des niveaux de nappe assez hauts et un fort soutien de la nappe aux débits des cours d'eau, la situation des débits est assez contrastée sur ces quatre bassins versants crayeux (Tableau 18). Pour la Brèche et la Bresle, selon les prévisions les débits d'étiage devraient se maintenir à un niveau supérieur au seuil de vigilance, alors que pour l'Esches, le seuil d'alerte voire d'alerte renforcée risque d'être atteint. Quant aux débits du Matz, étant données les incertitudes sur les données, les prévisions restent délicates à interpréter. Sur ces bassins, les prélèvements jouent probablement un rôle important, ainsi que le comportement assez hétérogène de l'aquifère crayeux.

Nota : La prise en considération des prélèvements dans le calage des modèles est délicate : il est nécessaire de préciser par pas de temps, lors du calage et pour toute la période de validation et de prévisions, les volumes prélevés. De plus, les variations temporelles de ces volumes n'étant pas spatialisées, l'influence de ces pompages constitue une incertitude complémentaire à la réalisation de prévisions fiables.

Débits								
Bassin versant	Station	Période de retour					Arrêté sécheresse	Remarques
		10ans humide	5ans humide	médiane	5ans sec	10ans sec		
Matz	Jaugeages	-	-	-	-	-	-	Calage satisfaisant avec débits du Matz reconstitués Prévisions très incertaines (débits reconstitués)
Brèche	Nogent-sur-Oise	RAS	RAS	Vigilance	Vigilance	Vigilance	Arrêté 60	Calage satisfaisant Prévisions relativement fiables
Bresle	Pont-et-Marais	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	Arrêtés 60, 76 et 80	Calage très satisfaisant Prévisions relativement fiables
Esches	Bornel	Vigilance	Alerte	Alerte	Alerte	Alerte renforcée	Arrêté 60	Calage satisfaisant (surestimation de 2007 à 2011 et en 2013) Prévisions relativement fiables
Niveaux piézométriques								
Bassin versant	Station	Période de retour					Arrêté sécheresse	Remarques
		10ans humide	5ans humide	médiane	5ans sec	10ans sec		
Matz	Cuvilly	RAS	RAS	RAS	Vigilance	Vigilance	Arrêté 60	Calage très satisfaisant, notamment en période d'étiage Prévisions relativement fiables
Brèche	Catillon-Fumechon	RAS	Vigilance	Vigilance	Vigilance	Vigilance	Arrêté 60	Calage très satisfaisant, notamment en période d'étiage Prévisions relativement fiables
Bresle	Criquiers	RAS	RAS	RAS	Vigilance	Vigilance	Arrêté 76	Calage très satisfaisant Prévisions relativement fiables
Esches	Villeneuve-Les-Sablons	-	-	-	-	-	-	Calage très satisfaisant - Prévisions relativement fiables Absence de seuils sécheresse
Arrêté 60 Arrêté sécheresse de l'Oise en date du 02/05/2012								
Arrêté 76 Arrêté sécheresse de la Seine-Maritime en date du 13/04/2012								
Arrêté 80 Arrêté sécheresse de la Somme en date du 26/03/2012								

Tableau 18 – Comparaison des prévisions des niveaux et des débits avec les seuils sécheresse, pour les mois les plus pessimistes.

4. Bibliographie

Allier D., Amraoui N., Bault V., Bessière H. et Stollsteiner Ph. (2012) – Prévision des niveaux piézométriques et des débits d'étiage de 2012 sur 11 bassins versants en Picardie. Rapport final. BRGM/RP-61164-FR, 234 p., 210 ill., 22 tabl., 2 ann., 1 CD.

Allier D., Putot E., Petit V. (2008) - Bassin Artois-Picardie : Mise en œuvre d'un outil de prévision des volumes disponibles pour les prélèvements sur 13 bassins versant. Rapport final. Rapport BRGM/RP-56212-FR, 103 p., 72 ill., 1 ann.

Amraoui N., Thiéry D., Noyer M.L., avec la collaboration de Seguin J.J. (2005) – Modèle de simulation des hautes eaux de la Somme. Phase 2 : Affinage du modèle distribué de la Somme. Rapport d'avancement. BRGM/RP-54386-FR.

Amraoui N., Golaz C., Mardhel V. Negrel Ph, Pinault J.L., Pointet Th (2002) – Simulation par modèle des hautes eaux de la Somme. Rapport final. BRGM/RP-51827-FR.

Amraoui N., Wuilleumier A., Thiéry D., Caous J.Y., Noyel M.L. (2004) – Mise à jour du modèle des hautes eaux de la Somme. Rapport final. BRGM/RP-53211-FR.

Asfirane F., Wuilleumier A., Allier D., Verjus P. (2008) – Bassin Seine Normandie : estimation des volumes disponibles pour les prélèvements. Compléments sur 38 bassins versants. Rapport final. Rapport BRGM/RP-56690-FR. 482 pages, 393 illustrations, 15 tableaux, 5 annexes

Gomez E. (2008) - Exploitabilité de la ressource en eau souterraine dans le bassin de l'Avre (Somme). Rapport final. Rapport BRGM/RP-56637-FR, 30 pages, 11 illustrations.

Pinault J-L., Allier D., Chrétien P. (2006) – Sécheresse 2005 et exploitabilité de la ressource en eau souterraine dans les bassins crayeux de la Serre (Aisne), de l'Aronde (Oise) et de l'Avre (Somme). Rapport BRGM/RP-54993-FR, 113 pages, 66 figures, 5 annexes.

Pinault J-L., Allier D., Verjus P. (DIREN) (2006) – Bassin Seine-Normandie : estimation du volume disponible aux prélèvements de 45 petits bassins versants. Rapport final. BRGM/RP-55232-FR. 96 p. 107 fig. 1 ann.

Putot E., Verjus P. (DIREN), Vernoux J-F. avec la collaboration de Arnaud L., Chabart M., Chrétien P (2006) – Qualification du réseau piézométrique du bassin Seine Normandie en 2005. Rapport BRGM/RP-54481-FR, 96 pages, 43 figures, 3 annexes.

Annexe 1

Les fonctions de transfert sous TEMPO©

Comment agit la fonction de transfert ?

Dans TEMPO®, la fonction de transfert peut prendre une forme mathématique donnée (par exemple, dans des cas très simples, une fonction exponentielle) ou bien être représentée directement par une suite continue de valeurs sur les intervalles de temps (le jour ou la décade) découpant la période de modélisation considérée :

- g_0 , sur l'intervalle $t= 0$ à Δt
- g_1 , sur l'intervalle $t= \Delta t$ à $2\Delta t$
- g_2 , sur l'intervalle $t= 2\Delta t$ à $3\Delta t$
- g_3 , sur l'intervalle $t= 3\Delta t$ à $4\Delta t$
- ...

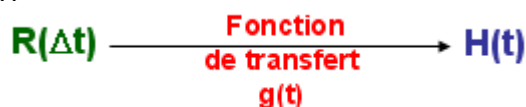
Si la fonction se présente sous une certaine forme mathématique, il est bien sûr possible d'obtenir aussi sur les intervalles de temps, la suite de valeurs $g_0, g_1, g_2, g_3, g_4, \dots$

La fonction de transfert agit comme un « modulateur » : elle module le signal d'entrée de façon à ce que les valeurs calculées de la variable de sortie (débit ou niveau) s'ajustent le mieux possible aux mesures.

Les deux exemples qui suivent illustrent l'action de la fonction de transfert.

Premier exemple

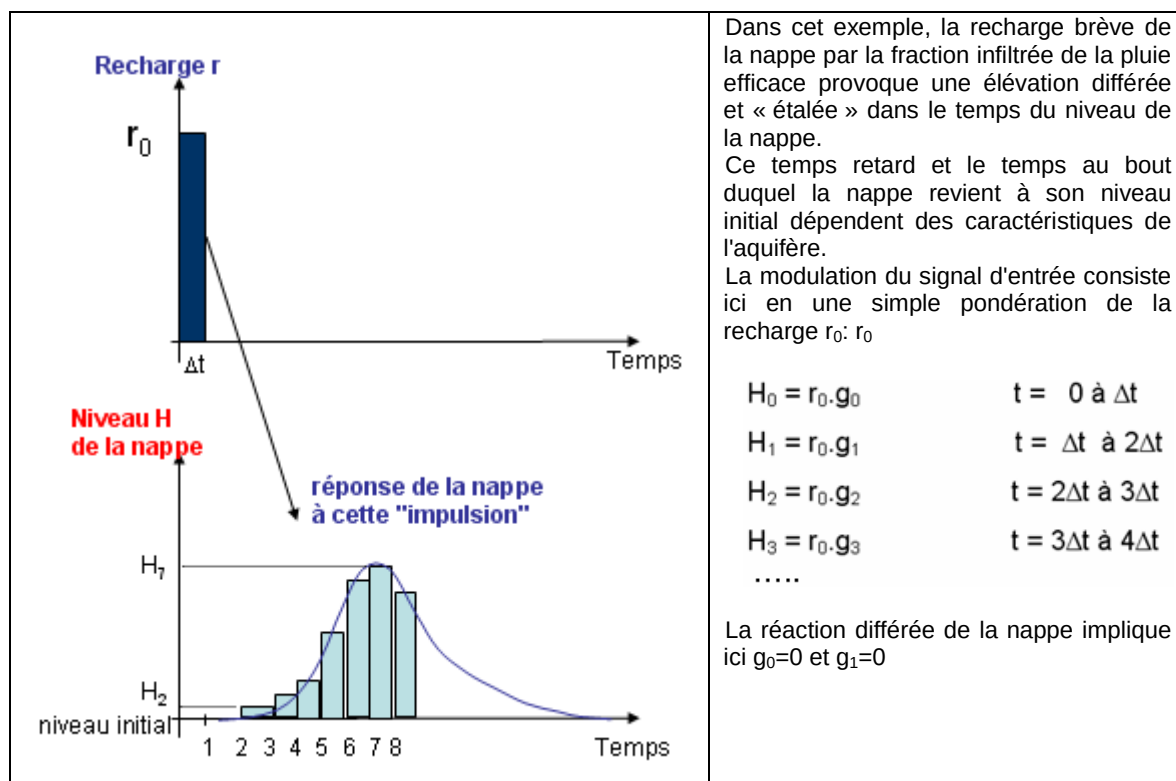
Pour comprendre comment la fonction de transfert permet de passer de l'entrée du système à la sortie, considérons l'exemple simple d'un aquifère avec une entrée constituée par une recharge brève R de la nappe sur un seul intervalle de temps Δt (on parle d'impulsion). La sortie est le niveau de la nappe $H(t)$.



Supposons la fonction de transfert connue, par exemple une fonction exponentielle. Sur la période de temps considérée, subdivisée en intervalles Δt (le jour ou la décade), la fonction de transfert prend les valeurs $g_0, g_1, g_2, g_3, g_4, \dots$

Par l'intermédiaire de cette fonction, la recharge R sera convertie en une suite de réponses de la nappe : $H_0, H_1, H_2, H_3, H_4, \dots$

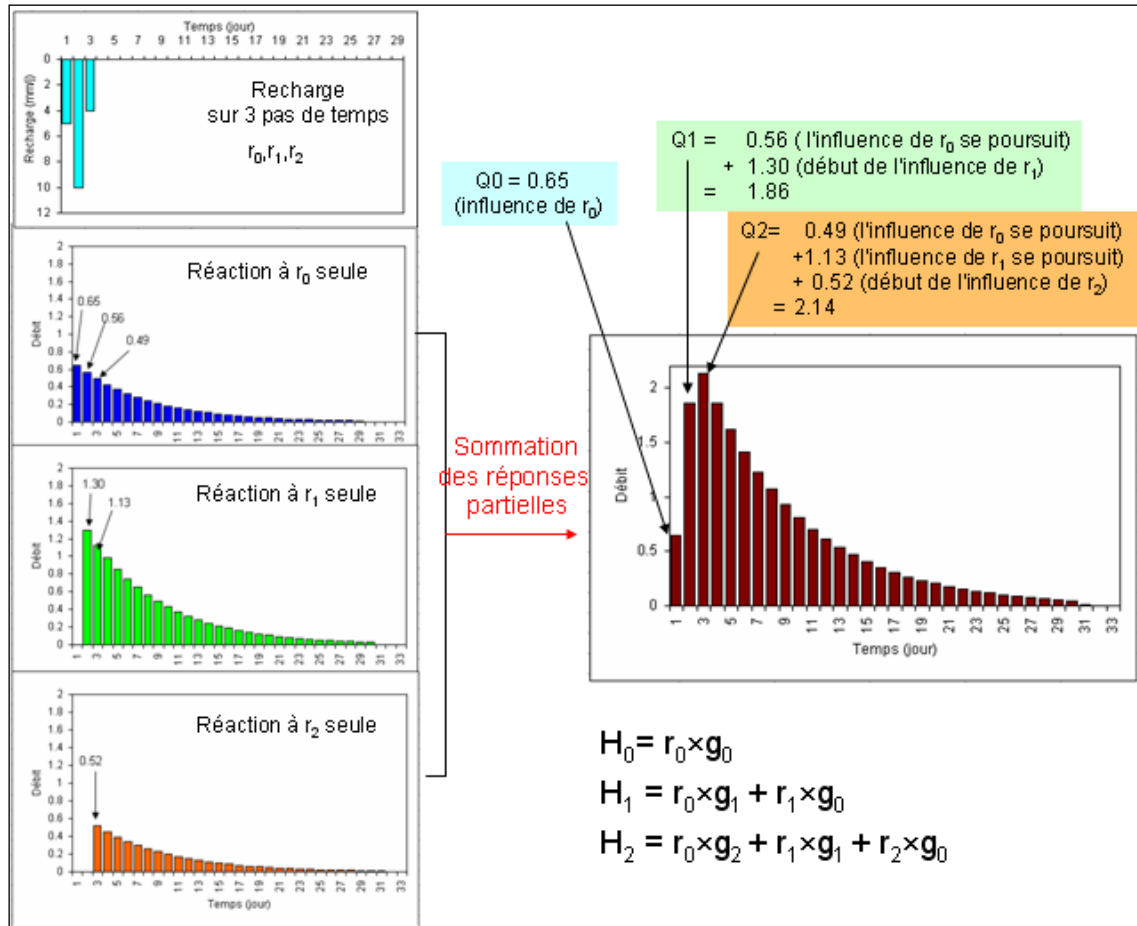
Dans ce cas très simple, les niveaux de la nappe aux dates successives t_0, t_1, t_2, t_3, t_4 , ne sont donc qu'une simple pondération de la recharge initiale par les valeurs de la fonction de transfert.



Exemple illustrant l'action de la fonction de transfert.

Deuxième exemple

Que se passe-t-il dans le cas d'une succession de recharges ? La figure ci-dessous illustre l'action de la fonction de transfert dans le cas de 3 épisodes de recharge successifs.



Autre exemple illustrant l'action de la fonction de transfert.

Chaque épisode de recharge, considéré isolément, provoque une réaction de la nappe. Dans l'exemple traité, la nappe réagit rapidement sans « temps retard ». Il y a une hausse rapide du niveau, puis une décroissance progressive qui se poursuit sur une vingtaine de jours.

Au premier pas de temps, comme dans l'exemple précédent, la hausse de niveau est : $H_0 = r_0 \cdot g_0$.

Au deuxième pas de temps, il faut tenir compte non seulement de l'influence de la recharge r_1 , mais aussi de la poursuite de l'influence de la recharge r_0 : $H_1 = r_0 \cdot g_1 + r_1 \cdot g_0$

Au troisième pas de temps, il faut tenir compte non seulement de l'influence de la recharge r_2 , mais aussi de la poursuite de l'influence des recharge r_0 et r_1 : $H_2 = r_0 \cdot g_2 + r_1 \cdot g_1 + r_2 \cdot g_0$

Et ainsi de suite...

Généralisation

A chaque pas de temps, pour obtenir la sortie s du système (par exemple le débit à l'exutoire du bassin), on superpose donc, via la fonction de transfert, les effets des « entrées » du système (par exemple la succession des recharges dans le temps), chacun de ces effets se prolongeant, en s'atténuant plus ou moins rapidement suivant l'inertie du système, au-delà de sa période de survenue. D'une façon générale, sur une période de temps où :

- le signal d'entrée est décomposé en une suite $e_0, e_1, e_2, e_3, \dots$
- et la fonction de transfert en une suite $g_0, g_1, g_2, g_3, \dots$

La sortie du système est construite comme suit:

- $s_0 = e_0 \cdot g_0 \quad t = 0 \text{ à } \Delta t$
- $s_1 = e_0 \cdot g_1 + e_1 \cdot g_0 \quad t = \Delta t \text{ à } 2\Delta t$
- $s_2 = e_0 \cdot g_2 + e_1 \cdot g_1 + e_2 \cdot g_0 \quad t = 2\Delta t \text{ à } 3\Delta t$
- $s_3 = e_0 \cdot g_3 + e_1 \cdot g_2 + e_2 \cdot g_1 + e_3 \cdot g_0 \quad t = 3\Delta t \text{ à } 4\Delta t$
- $s_4 = e_0 \cdot g_4 + e_1 \cdot g_3 + e_2 \cdot g_2 + e_3 \cdot g_1 + e_4 \cdot g_0 \quad t = 4\Delta t \text{ à } 5\Delta t$
- etc...

Une seule fonction de transfert peut-elle suffire ?

En fait, les processus étant plus complexes (coexistence d'écoulements « lents » et « rapides ») et parfois non linéaires (effets de seuils, débordements), plusieurs fonctions de transfert sont en général nécessaires pour simuler au mieux un système hydrologique.

De même, plusieurs entrées peuvent être introduites dans le processus de modélisation : ainsi, un débit à l'exutoire d'un bassin peut être reproduit à partir d'une séquence de pluies et d'ETP et à partir d'une chronique de niveaux piézométriques, permettant par exemple de prendre en compte un soutien des débits d'étiage, ou plus généralement des échanges nappe-cours d'eau.

Une fois déterminée les fonctions de transfert, les différentes contributions à l'écoulement global, à l'exutoire, sont calculées par le logiciel.

La prise en compte de plusieurs entrées rend plus complexe le système, mais les principes de modélisation restent identiques.

Comment la fonction de transfert est-elle calculée ?

Pour obtenir les valeurs $g_0, g_1, g_2, g_3, \dots$ inconnues, TEMPO© propose deux possibilités :

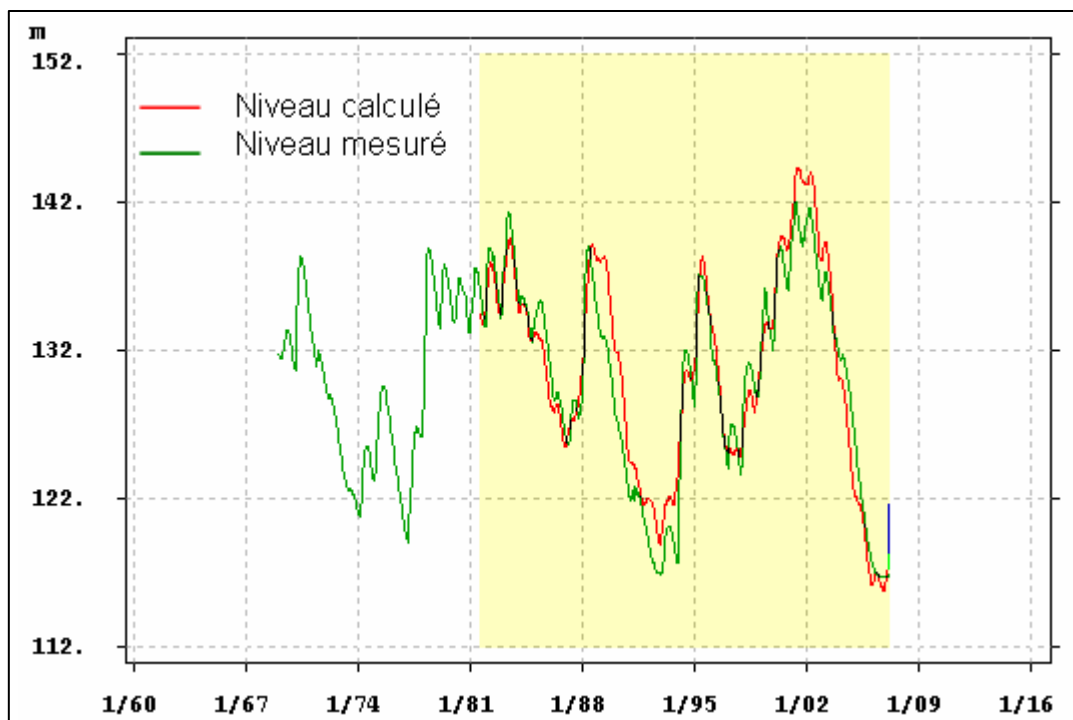
- on donne à la fonction de transfert une forme générale a priori avec des paramètres inconnus. Une fois ces paramètres identifiés, on peut calculer $g_0, g_1, g_2, g_3, \dots$ sur les intervalles de temps considérés ;
- on recherche directement $g_0, g_1, g_2, g_3, \dots$

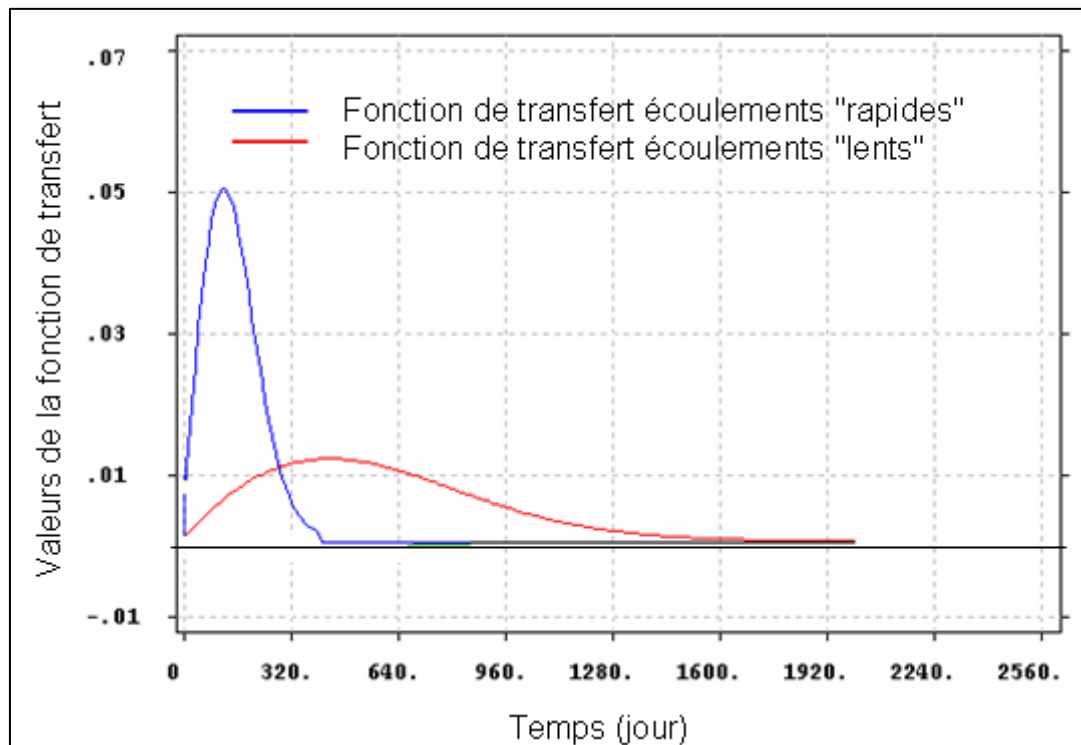
Dans les deux cas, des procédures complexes sont utilisées pour obtenir les valeurs de la fonction de transfert (pour plus de détail, voir l'annexe technique).

C'est la phase de calage (sur les observations) qui permet d'obtenir la fonction de transfert.

L'illustration suivante propose un exemple correspondant à un calage sur des niveaux d'un aquifère présentant une double porosité : porosité de fissure et porosité matricielle.

Cette double porosité conduit à 2 fonctions de transfert correspondant d'une part à un écoulement « rapide » empruntant les fissures et d'autre part à l'écoulement lent au sein de la porosité matricielle.





Exemple de résultats fournis par TEMPO© après la phase de calage.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction Régionale Picardie

Polytech de Rivery

7 rue anne Frank

80136 – Rivery – France

Tél. : 03 22 91 42 47