Document public

# DEMETER : développement du modèle hydrologique de prévision des écoulements sur le territoire de l'EPTB Seine-Grands-Lacs

Phase 1

Rapport final

**BRGM/RP-68121-FR**
Mars 2019

Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document public

# DEMETER : développement du modèle hydrologique de prévision des écoulements sur le territoire de l'EPTB Seine-Grands-Lacs

Phase 1

Rapport final

**BRGM/RP-68121-FR**
Mars 2019

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM

**H. Bessière**

| **Vérificateur :** | **Approbateur :** |
|---|---|
| Nom L. ARNAUD | Nom : E. GOMEZ |
| Fonction : Hydrogéologue | Fonction : Directeur régional Ile-de-France |
| Date : 14/03/2019 | Date : 29/03/2019 |
| Signature : | Signature : |

**Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.**
**Contact** : qualite@brgm.fr

Géosciences pour une Terre durable
brgm

**Mots-clés** : modélisation hydrologique semi-distribuée, prévision, étiage, gestion des lacs-réservoirs, relation nappe-rivière, Marne.

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

**Bessière H.** (2019) – DEMETER : développement du modèle hydrologique de prévision des écoulements sur le territoire de l'EPTB Seine-Grands-Lacs. Rapport de la phase 1. BRGM/RP-68121-FR, 90 p., 39 ill., 2 annexes

© BRGM, **2019**, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

# Synthèse

L'Etablissement public territorial de bassin Seine Grands Lacs ou EPTB SGL a pour mission l'écrêtement des crues et le soutien d'étiage sur tout le bassin de la Seine en amont de Paris. Pour mieux assurer sa mission de soutien d'étiage, EPTB SGL fait appel au BRGM depuis 2005 pour la réalisation d'outils d'aide à la gestion en étiage. Ces outils, modèles globaux et semi-global, permettent, à partir d'une situation hydrologique donnée (date d'émission de la prévision), d'émettre pour les n mois à venir (durée de la prévision) une prévision statistique (ou prédétermination) des débits. Ces outils ont été améliorés et recalibrés depuis 2005 et le modèle semi-global EROS a été reconfiguré au pas de temps journalier en 2012. L'EPTB SGL a sollicité le BRGM en 2017, pour vérifier l'apport du compartiment souterrain dans ce modèle EROS journalier.

L'objectif de l'étude consiste à intégrer les données piézométriques dans le modèle EROS Marne, grâce aux nouvelles fonctionnalités du code EROS, afin d'évaluer l'amélioration du calage notamment en période d'étiage (phase 1). Les modifications envisagées ont comporté les étapes suivantes :

- collecte, analyse et sélection des données ;
- élaboration du modèle conceptuel ;
- actualisation et modification du modèle sur la période 2012 – 2018 (intégration de la piézométrie et ajout de sous-bassins) ;
- analyse de l'amélioration du calage du modèle après intégration de la piézométrie ;
- validation du calage et actualisation des prévisions (dernières prévisions début juin 2018).

Le nouveau modèle inclut 11 sous-bassins dont 3 stations hydrométriques supplémentaires par rapport à l'ancienne version. La station hydrométrique de Chamouilley a été ajoutée comme point de contrôle au modèle afin de s'affranchir de l'influence des prélèvements à la station de Saint-Dizier ; puis deux stations tout en amont du bassin : Marnay et Mussey.

Le calage du modèle montre une restitution satisfaisante à la fois des débits et des niveaux piézométriques. Les coefficients d'ajustement sur les niveaux piézométriques sont un peu moins bons que ceux obtenus sur les débits mais restent tout de même satisfaisants. En effet, les résultats de calage des niveaux piézométriques sont moins bons dans les secteurs karstiques où peu de longues séries piézométriques sont disponibles.

Les valeurs des débits minimums simulés sont améliorées par l'intégration des piézomètres dans le modèle notamment pour les bassins dont le débit minimal observé est supérieur à 10 $m^3/s$.

D'autres améliorations ont été apportées au modèle suite à l'évolution du code de calcul depuis la dernière version. Elles concernent principalement les paramètres suivants :

- intégration de nouveaux coefficients d'ajustement favorisant les étiages ;
- ajout d'un temps de propagation amont – aval au sein d'un bassin élémentaire ;

- prise en compte des transferts souterrains entre bassins élémentaires sous forme d'un facteur d'échange externe, pertinent pour les bassins karstiques en amont du bassin de la Marne (la Blaise à Louvemont et La Saulx à Vitry-en-Perthois).

Le bilan hydrologique est également plus significatif car l'hydrosystème est pris en compte dans sa globalité. On peut noter une plus forte contribution des eaux souterraines pour certains bassins (la Marne à Frignicourt notamment).

Des pistes d'amélioration peuvent toutefois être soulevées :

- Le modèle est assez sensible à la distribution des pluies. Lorsque les données étaient disponibles (stations pluviométriques contenant une longue série), une combinaison de plusieurs postes a été faite pour simuler la pluviométrie et homogénéiser la donnée à l'échelle du sous bassin versant. La prise en compte de données de pluie spatialisées, sous forme de grille, dans le modèle EROS permettrait probablement d'améliorer la représentativité des pluies dans le modèle.
- Une connaissance plus poussée des débits prélevés améliorerait probablement les résultats du modèle et particulièrement les débits d'étiage des bassins de la Marne à Marnay et a fortiori de la Marne à Gournay résultante de tous les bassins amonts.

Des scénarios prévisionnels rétrospectifs ont été effectués et les résultats obtenus ont permis de valider le calage du modèle. Le nouveau modèle EROS Marne, incluant la composante souterraine, est ainsi plus robuste et meilleur pour la simulation des étiages.

Des prévisions ont été réalisées et transmises avant la période d'étiage de 2018 pour l'analyse de la situation d'étiage et la proposition d'ajustements de gestion lors du CO.TE.CO (Comité Technique de Coordination des études et travaux de Grands Lacs de Seine) par l'EPTB Seine-Grands-Lacs.

Une formation au modèle a également été assurée auprès du personnel en octobre 2018 afin qu'ils puissent réaliser à l'avenir eux-mêmes les prévisions d'étiage et gérer au mieux la restitution du lac-réservoir. A l'issue du stage, le logiciel EROS, nouvelle version, sa notice d'utilisation, les fichiers de données et de prétraitement ainsi que le diaporama, support pédagogique du stage et le modèle calé ont été remis aux stagiaires de l'EPTB Seine-Grands-Lacs.

# Sommaire

**1. Introduction .....11**

1.1. HISTORIQUE DES TRAVAUX REALISES .....11

1.2. OBJECTIFS DU PROJET .....13

**2. Actualisation du modèle EROS Marne .....15**

2.1. RAPPEL : CONCEPTION ET CALAGE DU MODELE EROS .....15

2.2. COLLECTE ET ANALYSE DES DONNEES DE BASE : REALISATION DU MODELE CONCEPTUEL .....18

2.2.1. Le réseau hydrographique et les aménagements hydrauliques.....18

2.2.2. Choix des stations hydrométriques .....22

2.2.3. La pluviométrie .....23

2.2.4. Données climatologiques .....26

2.2.5. Le contexte hydrogéologique .....27

2.2.6. Choix des données piézométriques .....29

2.2.7. Identification des échanges de chaque bassin avec l'extérieur .....32

2.2.8. Bilan modèle conceptuel .....39

**3. Calage du modèle .....41**

3.1. LE PRINCIPE DU CALAGE .....41

3.2. LES FICHIERS DU MODELE .....42

3.3. PROPRIETES DU MODELE .....44

3.3.1. Propriétés génériques .....44

3.3.2. Modifications majeures par rapport à l'ancien modèle.....45

3.4. SYNTHESE DES DONNEES RETENUES APRES CALAGE DU MODELE ....45

3.5. COMPARAISON ENTRE L'ANCIENNE ET LA NOUVELLE VERSION D'EROS .....49

3.6. ANALYSE DE L'AMELIORATION DU MODELE AVEC L'INTEGRATION DE LA PIEZOMETRIE .....52

3.6.1. Comparaison des valeurs minimales, moyennes et maximales.....52

3.6.2. Comparaison des coefficients d'ajustement du modèle.....55

3.6.3. Comparaison des bilans hydrologiques.....55

3.7. RESULTATS DU CALAGE .....58

3.8. DISCUSSIONS ET PISTES D'AMELIORATION .....71

**4. Scénarios prévisionnels ..... 73**

4.1. PRINCIPE DE LA PREVISION DANS EROS ..... 73

4.2. MODIFICATION A APPORTER AU MODELE ..... 74

4.3. SCENARIOS RETROSPECTIFS ..... 76

4.4. PREVISIONS ETIAGE 2018 ..... 81

4.4.1. Prévisions sans restitution des barrages ..... 81

4.4.2. Prévisions avec restitution ..... 83

4.5. VERIFICATION A POSTERIORI ..... 85

**5. Conclusion ..... 89**

**6. Bibliographie ..... 91**

# Liste des figures

Figure 1 Carte de localisation et d'extension du modèle Marne ..... 13

Figure 2 Exemple d'application d'un bassin complexe décomposé en 9 sous bassins ..... 16

Figure 3 Schéma de fonctionnement pour un sous bassin, modèle hydrologique global à réservoirs ..... 17

Figure 4 Schéma de fonctionnement pour un (à gauche) ou deux (à droite) réservoirs souterrains ..... 17

Figure 5 Carte générale du réseau hydrologique et des aménagements hydrauliques (d'après BRGM/RP-60944) ..... 20

Figure 6 Carte du réseau hydrologique et hydraulique de l'environnement du lac - réservoir Marne (d'après BRGM/RP-60944) ..... 21

Figure 7 Stations hydrométriques de la banque Hydro sur l'ensemble du bassin de la Marne .. 23

Figure 8 Grille Aurelhy Météo France et localisation des stations pluviométriques ..... 25

Figure 9 Localisation de la zone d'étude et grands ensembles hydrogéologiques ..... 28

Figure 10 Carte de localisation des stations hydrométriques principales et des masses d'eau d'ordre 1. ..... 30

Figure 11 Carte de localisation des masses d'eau d'ordre 1, des stations hydrométriques, des postes pluviométriques et des piézométriques ..... 31

Figure 12 Répartition des points de prélèvements par usage d'après une extraction de la BNPE36

Figure 13 Schématisation du modèle semi distribué EROS Marne ..... 39

Figure 14 Principe de fonctionnement du logiciel EROS ..... 41

Figure 15 Exemple de fichier E=Eros_Marne.rer ..... 42

Figure 16 Exemple du fichier Eros_Marne.arbros ..... 43

Figure 17 Détail du dossier contentant les fichiers d'entrée et de sortie du modèle EROS Marne44

Figure 18 Localisation des données utilisées pour le modèle EROS Marne ..... 48

Figure 19 Comparaison des performances du modèle entre l'ancienne version (figures du haut) et la nouvelle version d'EROS (figures du bas) pour les débits minimums et moyens calculés pour chaque bassin élémentaire ..... 51

Figure 20 Comparaison des performances du modèle avec piézomètres (figures du haut) et sans piézomètres (figures du bas) pour les débits minimums et moyens calculés pour chaque bassin élémentaire ..... 54

Figure 21 Résultats de calage pour le bassin de la Marne à Marnay ..... 60

Figure 22 Résultats de calage pour le bassin de la Marne à Mussey ..... 61

Figure 23 Résultats de calage pour le bassin de la Marne à Chamouilley ..... 62

Figure 24 Résultats de calage pour le bassin de la Marne à Saint-Dizier ..... 63

Figure 25 Résultats de calage pour le bassin de la Blaise à Louvemont ..... 64

Figure 26 Résultats de calage pour le bassin de la Marne à Frignicourt ..... 65

Figure 27 Résultats de calage pour le bassin de la Saulx à Vitry ..... 66

Figure 28 Résultats de calage pour le bassin de la Marne à Châlons-sur-Marne ..... 67

Figure 29 Résultats de calage pour le bassin de la Marne à la Ferté-sous-Jouarre ..... 68

Figure 30 Résultats de calage pour le bassin du Grand Morin à Pommeuse ..... 69

Figure 31 Résultats de calage pour le bassin de la Marne à Gournay ..... 70

Figure 32 Exemple du fichier Eros_Marne_Previ.rer listant les fichiers nécessaires au lancement des scénrios de prévision ..... 75

Figure 33 Scénario rétrospectif de prévisions des débits à Gournay (en haut) et Chamouilley (en bas) en date du 1 juin 2017 ..... 78

Figure 34 Scénario rétrospectif des prévisions des débits à Gournay (figure du haut) et Chamouilley (figure du bas) en date du 1 mai 2009 ..... 79

Figure 35 Scénario rétrospectif des prévisions des débits à Gournay (figure du haut) et Chamouilley (figure du bas) en date du 1 mai 2006 ..... 80

Figure 36 Prévisions des débits à Gournay, Châlons-sur-Marne et Chamouilley sans restitution des réservoirs ..... 82

Figure 37 Scénario de restitution envisagé à partir de début juillet 2018. ..... 83

Figure 38 Prévisions avec restitution des débits à Gournay et Châlons-sur-Marne à partir du 1 juin 2018 ..... 84

Figure 39 Vérifications à postériori des prévisions avec restitution lancées au 1 juin 2018 des débits à de la Marne à Gournay, à Châlons-sur-Marne et à Chamouilley ..... 86

# Liste des tableaux

Tableau 1 Liste des stations hydrométriques de la banque Hydro prioritaires sur le bassin de la Marne pour la modélisation ..... 22

Tableau 2 Liste des stations hydrométriques de la banque Hydro optionnelles sur le bassin de la Marne pour la modélisation ..... 23

Tableau 3 Synthèse de la pluviométrie (postes pluviométriques disponibles et moyenne Aurelhy) pour chaque sous bassins de la Marne ..... 24

Tableau 4 Signification du type de station météorologique Météo France ..... 26

Tableau 5 Liste des stations pluviométriques du modèle ..... 26

Tableau 6 Liste des stations d'évapotranspiration du modèle ..... 27

Tableau 7 Comblement des lacunes réalisées entre postes pluviométriques ..... 27

Tableau 8 Liste des masses d'eau d'ordre 1 du secteur d'étude (en surbrillance celles principalement concernées)..... 30

Tableau 9 Liste des piézomètres associés aux différents sous bassins versants modélisés par masses d'eau souterraine, avec la période des donnée disponibles ..... 32

Tableau 10 Synhtèse des échanges pris en compte dans l'ancien modèle EROS ..... 33

Tableau 11 Tableau de synthèse des données des prélèvements de la BNPE par usage et par bassin élémentaire..... 38

Tableau 12 Synthèse des données utilisées pour le modèle EROS Marne ..... 47

Tableau 13 Comparaison des performances du modèle entre l'ancienne version (en haut) et la nouvelle version (en bas) d'EROS..... 50

Tableau 14 Comparaison des performances du modèle calé avec intégration des piézomètres (en haut) et sans piézomètres (en bas) ..... 53

Tableau 15 Comparaison des coefficients d'ajustement sans piézomètres (à gauche) et avec piézomètres (à droite)..... 55

Tableau 16 Comparaison des bilans hydrologiques pour les modèles avec (en haut) et sans piézomètres (en bas) ..... 57

Tableau 17 Seuils de vigilance du bassin de la Marne amont (source Bulletin de suivi des étiages – DREAL Grand Est)..... 76

# Liste des annexes

Annexe 1 Liste des stations climatologiques sur le bassin de la Marne ..... 93

Annexe 2 Etude des prélèvements sur la Marne ..... 101

# 1. Introduction

L'EPTB Seine Grands Lacs agit à l'échelle du bassin versant amont de la Seine, facilite et coordonne l'action publique des collectivités territoriales sur l'ensemble du territoire à travers ses missions :

- gérer le risque lié aux inondations dans le bassin de la Seine en écrêtant les crues ;
- soutenir le débit des rivières pendant la saison sèche ;
- agir pour la réduction de la vulnérabilité aux inondations ;
- assurer un rôle de conseil, d'animation et de coordination auprès des collectivités du bassin ;
- préserver l'environnement.

Pour mieux assurer sa mission de soutien d'étiage, voire de prévision des crues, l'EPTB Seine-Grands-Lacs a demandé au BRGM de lui fournir une proposition incluant :

- les différentes possibilités d'amélioration, à court ou moyen terme, du modèle hydrologique de la Marne (phase 1),
- à moyen terme, les possibilités d'extension de ce modèle à l'ensemble du bassin versant de la Seine en amont de Paris (phase2).

## 1.1. HISTORIQUE DES TRAVAUX REALISES

Les études réalisées **en 2003** par le BRGM (rapport BRGM/RP-52582-FR) ont montré l'importance de la contribution des eaux souterraines aux débits des cours d'eau du bassin amont de la Seine et l'intérêt de mettre en œuvre des modèles de prévision des débits des cours d'eau en étiages prenant en compte l'état de remplissage des réservoirs souterrains contributifs. Suite à ces travaux, l'EPTB Seine-Grands-Lacs a souhaité disposer d'outils d'aide à la gestion d'étiage pour répondre au mieux à sa mission de soutien d'étiage des cours d'eau.

Dans le cadre d'une convention de Recherche et Développement partagés, le BRGM a réalisé **en 2005** une étude (rapport BRGM/RP-53922-FR) visant à élaborer des outils d'aide à la gestion en étiage du lac réservoir Marne prenant en compte les eaux souterraines. Les quatre outils élaborés, mis à disposition de l'EPTB SGL pour une utilisation interne, sont :

- Un outil d'appréciation de la période de retour de l'hydraulicité mensuelle du débit naturel de la Marne en amont de la prise pour l'alimentation du lac du Der Chantecoq : il s'agit d'une analyse fréquentielle de la série mensuelle des débits naturels reconstitués de la Marne à Saint-Dizier La Noue sur une période de 56 ans allant de 1949 à 2004.
- Trois modèles hydrologiques globaux pluie - débit des rivières prenant en compte implicitement l'état de remplissage des aquifères contributifs. Ils permettent d'établir notamment des prévisions des débits d'étiage, apports potentiels au lac – réservoir :
    - deux modèles hydrologiques globaux du type GARDENIA permettent de prévoir les débits naturels des deux rivières alimentant le lac - réservoir, respectivement la Marne à Saint-Dizier (86,5 % des apports) et la Blaise.à Pont-Varin-Louvemont (13,5 % des apports). Ces modèles peuvent aussi être utilisés hors des périodes d'étiage. Ils permettent alors de prévoir, en fonction de l'état de remplissage des aquifères contributifs et de séries prévisionnelles de pluies, les apports de ces

rivières en amont de la prise d'eau. Toutefois, ces modèles ne semblent plus utilisés ;

- un modèle hydrologique global spatialisé du type EROS[1] de l'ensemble du bassin de la Marne représenté par 7 bassins élémentaires. Il permet de prévoir les débits influencés à l'exutoire de chacun de ces bassins et plus particulièrement à la station de Gournay située en amont immédiat de la confluence de la Marne avec la Seine. Ce modèle prend en compte les principaux débits d'échange naturels et/ou anthropiques entre les bassins élémentaires et avec les bassins adjacents (prélèvements pour les usines de production d'eau potable, canaux de navigation, canal de l'Ourcq, transferts d'eau souterraine d'un bassin à un autre par les réseaux karstiques, etc.). Il permet également de tester l'impact de différents scénarios de lâchers du lac - réservoir sur les débits prévisionnels à l'aval.

Ces modèles ont été utilisés par l'EPTB Seine-Grands-Lacs à partir de 2006, mais le calage du modèle EROS ne s'est pas révélé satisfaisant pour les campagnes 2008 et 2009 (réunion du CO.TE.CO du 23/06/09).

**En 2010**, l'EPTB Seine-Grands-Lacs, constatant une dérive des prévisions réalisées, a demandé au BRGM de vérifier la validité du modèle EROS, d'ajuster son calage et d'assurer une formation au personnel afin qu'ils puissent réaliser à l'avenir eux-mêmes ce type d'opérations.

Après une première série de tests, il a été décidé, en accord avec l'EPTB, d'utiliser le modèle global spatialisé EROS au pas de temps journalier.

A partir des données climatologiques (pluie et évapotranspiration), hydrologiques (débit des cours d'eau) et des débits d'échanges (prélèvements eau potable et/ou industriels), ce modèle permet d'émettre des prévisions statistiques pour les *n* mois à venir. Ce type de modèle prend en compte les échanges entre les bassins et permet aussi de simuler l'impact sur les débits en aval pour différents scénarios de lâchers du lac réservoir et/ou des autres débits d'échanges. Les objectifs de l'étude étaient donc :

- de vérifier et/ou actualiser le calage de ce modèle et, une fois calé, l'utiliser pour faire de la prévision des débits d'étiage ;
- d'assurer une formation, qui s'est déroulée en mai 2011, permettant au personnel EPTB SGL de réaliser, à l'avenir, eux-mêmes ce type d'opérations.

[1] Le logiciel EROS (Ensemble de Rivières Organisé en sous bassins) est une généralisation de GARDÉNIA. Il permet de modéliser un bassin versant hétérogène sous forme d'une grappe hiérarchisée de modèles GARDÉNIA. Chaque modèle GARDÉNIA étant appliqué à un sous bassin.

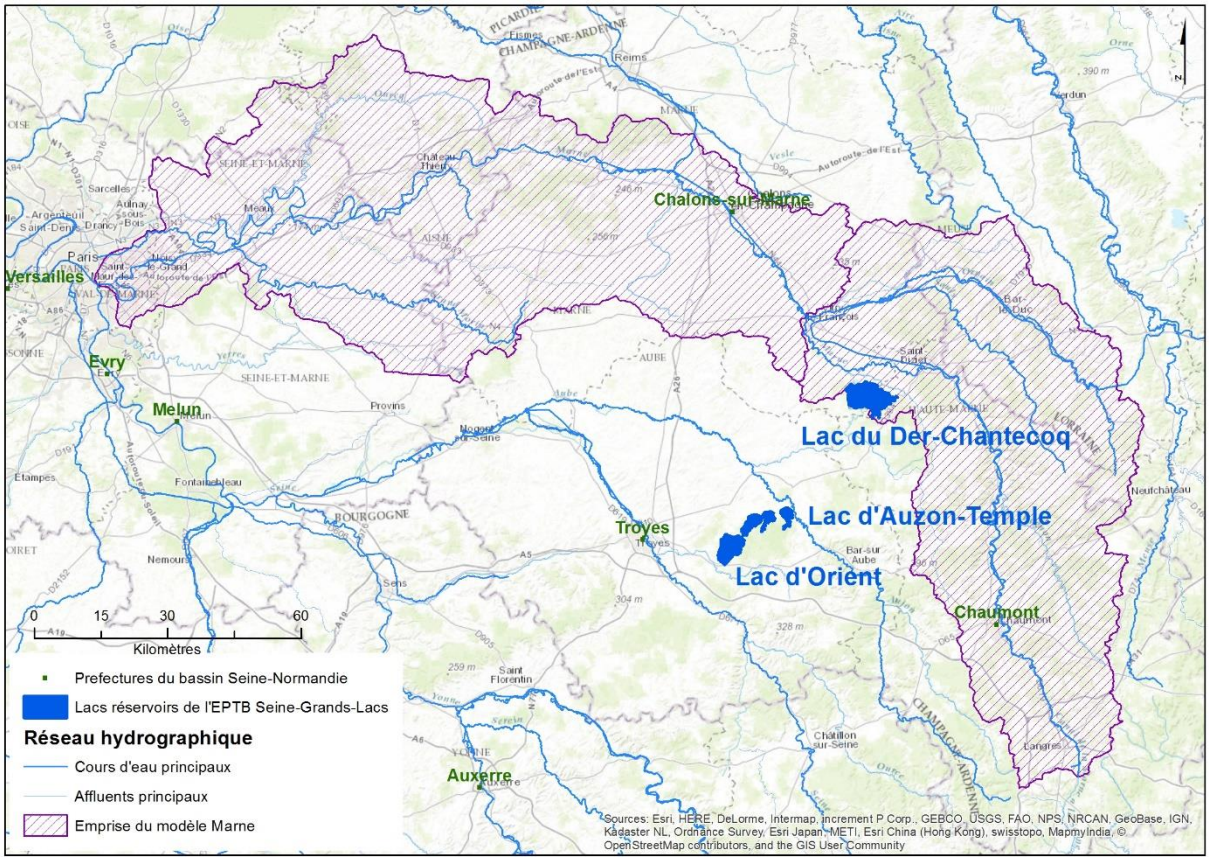



*Figure 1 Carte de localisation et d'extension du modèle EROS Marne*

## 1.2. OBJECTIFS DU PROJET

L'objectif de l'étude est de tester l'intégration de la piézométrie au modèle Marne afin de monter l'amélioration du calage notamment en période d'étiage (phase 1). Ce complément permettra de fiabiliser le modèle utilisé par l'EPTB Seine-Grands-Lacs, notamment pour l'analyse de la situation d'étiage et la proposition d'ajustements de gestion lors des CO.TE.CO.

Le modèle serait donc complété avec l'intégration des niveaux piézométriques permettant d'améliorer la représentativité hydrologique du modèle ainsi que sa robustesse. A l'issue de l'étude, le nouveau modèle Marne sera mis à la disposition de l'EPTB Seine-Grands-Lacs.

# 2. Actualisation du modèle EROS Marne

Les modifications envisagées comprennent les étapes suivantes :

- actualisation du modèle sur la période 2012 – 2018;
- intégration de la piézométrie ;
- analyse de l'amélioration du calage du modèle après intégration de la piézométrie ;
- actualisation des prévisions (dernières prévisions début juin 2018).

## 2.1. PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DU MODELE EROS

Dans la continuité du modèle Marne, afin de prendre en compte l'hétérogénéité des lames d'eau précipitées et évapotranspirées et des contributions des aquifères aux débits des cours d'eau, le modèle hydrologique global EROS (Ensemble de Rivières Organisées en Sous-bassins) du BRGM est utilisé. Au cours de l'étude la version d'EROS a évolué de la 6.2 à la 7.1. Les évolutions du code sont présentées au paragraphe 3.3.2.

Le code de calcul EROS (Ensemble de Rivières Organisées en Sous bassins) est un modèle hydrologique global « pluie – débit - niveau » spatialisé dédié à la simulation de grands bassins. Il permet la modélisation des débits des cours d'eau et des niveaux piézométriques des aquifères de bassins versants hétérogènes (différences de pluviométrie et d'ETP, d'occupation du sol, de taux de ruissellement et donc d'infiltration, de débits d'échanges, etc.) par une grappe de modèles hydrologiques globaux emboîtés modélisant chacun un sous bassin versant (Thiéry, 2018).

La zone d'étude est décomposée en un certain nombre de sous bassins composant une grappe et reliés entre eux par une relation d'arborescence. On affecte à chaque sous bassin un numéro d'ordre et on définit pour chacun les bassins amont qui sont au nombre de 0 (sous bassin sans affluent), 1 (sous bassin en série) ou 2 (2 sous bassins affluents).

La Figure 2 présente un exemple schématique d'un bassin formé de 9 sous bassins (numérotés de 1 à 9).

La partie gauche est un plan du bassin versant et la partie droite montre l'arborescence correspondante. Dans cet exemple, on dispose de 5 points d'observations : à l'exutoire des sous bassins n° 1, 2, 3, 6 et 9. On remarque que 3 bassins fictifs supplémentaires ont été introduits : en aval du sous bassin 7 et en aval du sous bassin 8. Ces sous bassins fictifs (de superficie égale à zéro, appelés "points de jonction") ont été introduits pour respecter la règle selon laquelle un sous bassin ne peut avoir que 2 sous bassins directement en amont.

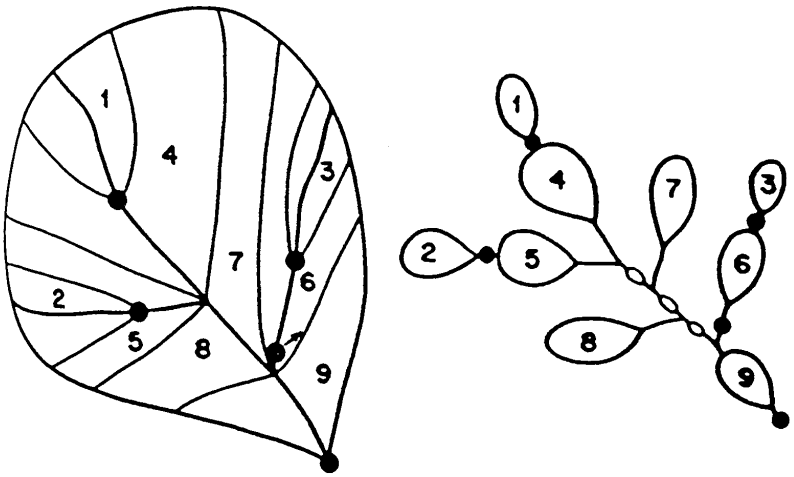



*Figure 2 Exemple d'application d'un bassin complexe décomposé en 9 sous bassins (Thiéry, 2018)*

Chaque sous bassin est schématisé par un modèle hydrologique global avec ses paramètres propres. Le débit calculé à l'exutoire des sous bassins amont arrive directement dans le sous bassin aval et chaque exutoire peut être :

- un point d'observation : on y dispose d'une chronique de débits d'observation et/ou de chroniques de niveaux piézométriques ;
- un point d'édition : on ne connaît pas le débit mais on veut le déterminer ;
- un point intermédiaire.

Le comportement d'un sous bassin est représenté par un ensemble de réservoirs se vidant les uns dans les autres.

Ce modèle simule le cycle de l'eau par un système de 3 à 4 réservoirs en cascade (modèle GARDÉNIA ; Thiéry, 2014 ; Thiéry, 2015) :

- les premières dizaines de centimètres du sol dans lesquelles se produit l'évapotranspiration (zone d'influence des racines de la végétation) ;
- une zone intermédiaire qui produit un écoulement rapide ;
- une ou deux zones aquifères qui produisent l'écoulement lent.

Les transferts d'un réservoir à l'autre sont :

- régis par des lois simples ou fonctions de transfert non linéaires (particulières à chaque réservoir) ;
- contrôlés par les paramètres des modèles (réserve utile, temps de transferts, seuils de débordement, etc.).

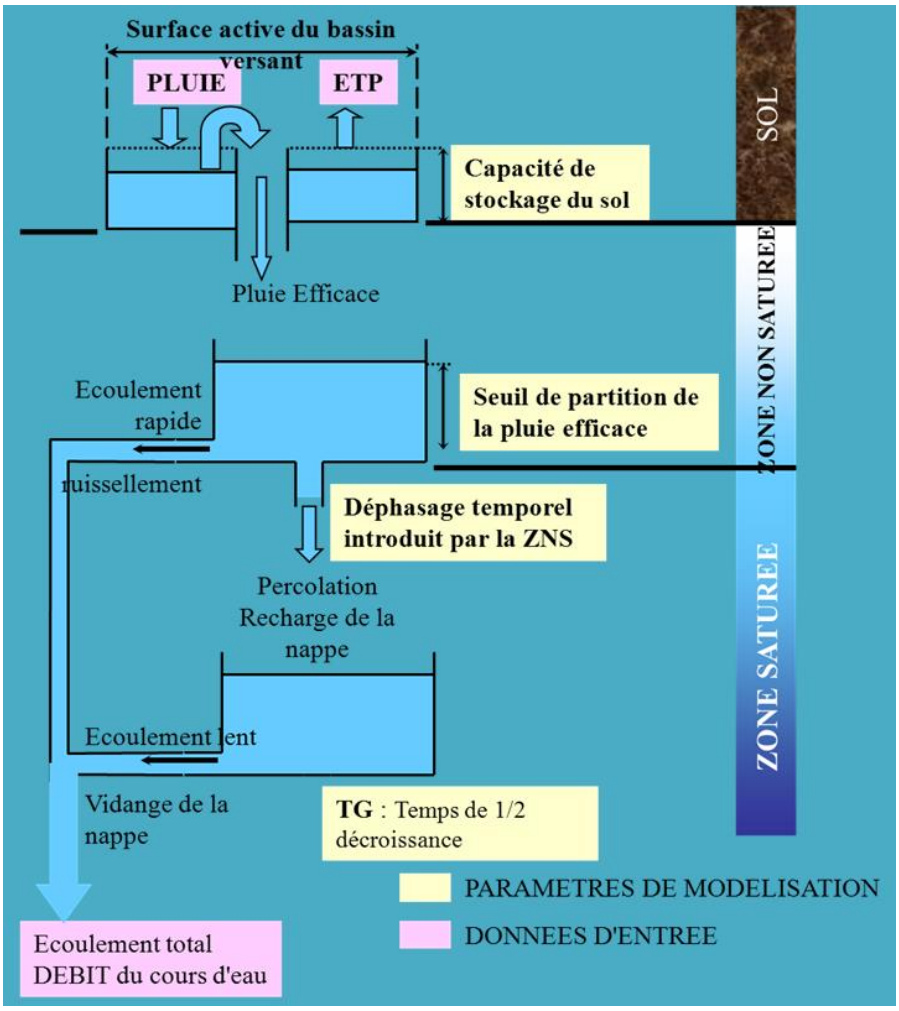



*Figure 3 Schéma de fonctionnement pour un sous bassin, modèle hydrologique global à réservoirs*

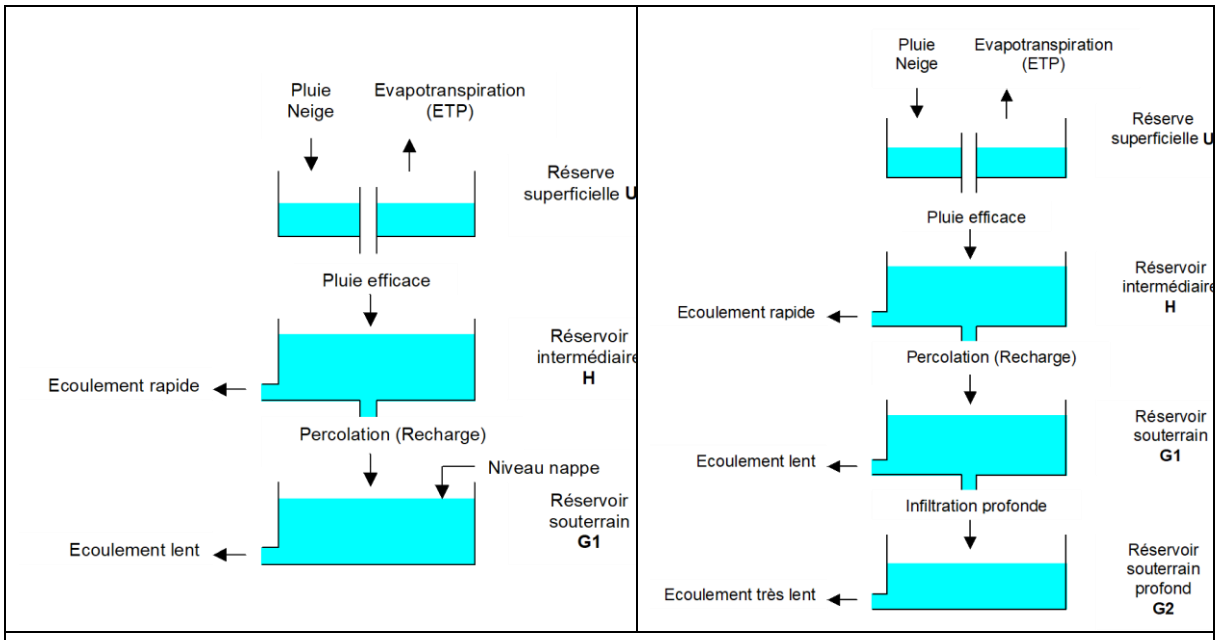



*Figure 4 - Schéma de fonctionnement pour un (à gauche) ou deux (à droite) réservoirs souterrains (Thiéry, 2018)*

Notons que dans ce type de modèle, comme pour le modèle GARDENIA, toutes les données d'entrée (données météorologiques, débits d'exportations, débits d'importations) doivent être sans lacune d'observation. Par contre, il est possible d'avoir des lacunes dans les données de sortie (débits des cours d'eau). Cette souplesse permet de prendre en compte de longues périodes de calage donc représentatives des grandes fluctuations interannuelles climatiques (notamment pluviométriques) et des potentialités des aquifères (effet « mémoire »).

Dans ce type de modèle, on prend en compte implicitement mais globalement, par le biais du débit global des rivières, les apports par les principaux aquifères contributifs aux débits des cours d'eau.

## 2.2. COLLECTE ET ANALYSE DES DONNEES DE BASE : REALISATION DU MODELE CONCEPTUEL

Le modèle conceptuel est réalisé en fonction des bassins versants topographiques, du réseau hydrographique et de ses aménagements, des entités hydrogéologiques (masses d'eau souterraines, BDLisa[2]) ainsi que des données disponibles au sein de ces entités.

Les paragraphes suivants décrivent les caractéristiques hydrologiques, hydrogéologiques (géologie et entités hydrogéologiques BDLisa) et climatiques des sous bassins versants étudiés. Ils présentent également une synthèse et analyse des données disponibles.

Le principe est de découper le bassin versant en un certain nombre de bassins élémentaires homogènes qui seront associés par une relation d'arborescence.

### 2.2.1. Le réseau hydrographique et les aménagements hydrauliques

La superficie du bassin versant topographique de la Marne à sa confluence avec la Seine est de 12679 km². La station hydrométrique la plus aval, celle de Gournay, contrôle un bassin versant topographique de 12659 km² dont l'altitude varie entre 38 et 520 m NGF autour d'une valeur moyenne de 207 m NGF. La longueur du thalweg le plus long est de 525 km. La Figure 5 représente le réseau hydrographique et hydraulique du bassin versant de la Marne avec la position des principales stations hydrométriques de la DREAL et les limites des sous-bassins versants topographiques correspondants.

Le bassin de la Marne a été aménagé à partir du 19ème siècle avec la construction de barrages et de canaux de navigation le long de la Marne la reliant avec les bassins adjacents de la Saône, de la Meuse et de l'Aisne. En 1908, le canal de l'Ourcq reliant la Marne au bassin de la Villette à Paris est mis en service. Initialement prévu pour l'alimentation en eau potable, il sert actuellement à l'alimentation en eau non potable pour le nettoyage des voies publiques. Une usine hydroélectrique EDF a fonctionné à Condé-sur-Marne, à 16 km en aval de Châlons-en-Champagne, jusqu'en 1989. La centrale thermique EDF de Vaires-sur-Marne a utilisé l'eau de la Marne comme eau de refroidissement jusqu'en mars 2005, date de son arrêt définitif. Des prélèvements d'eau de surface sont actuellement effectués en Marne pour l'alimentation en eau potable des villes riveraines (Meaux, Saint-Maur-les-Fossés) et de Paris (usines d'Annet-sur-Marne, de Neuilly-sur-Marne et Joinville-le-Pont).

Un premier réservoir, celui de Champaubert-aux-Bois, dérivant l'eau de la Blaise a été mis en service en 1938. Le lac réservoir Marne ou lac du Der Chantecoq dérivant l'eau de la Blaise

[2] https://bdlisa.eaufrance.fr/

et de la Marne (Capacité de 350 millions de $m^3$) a été mis en service en novembre 1973. La Figure 6 représente un agrandissement de l'environnement du lac - réservoir Marne.

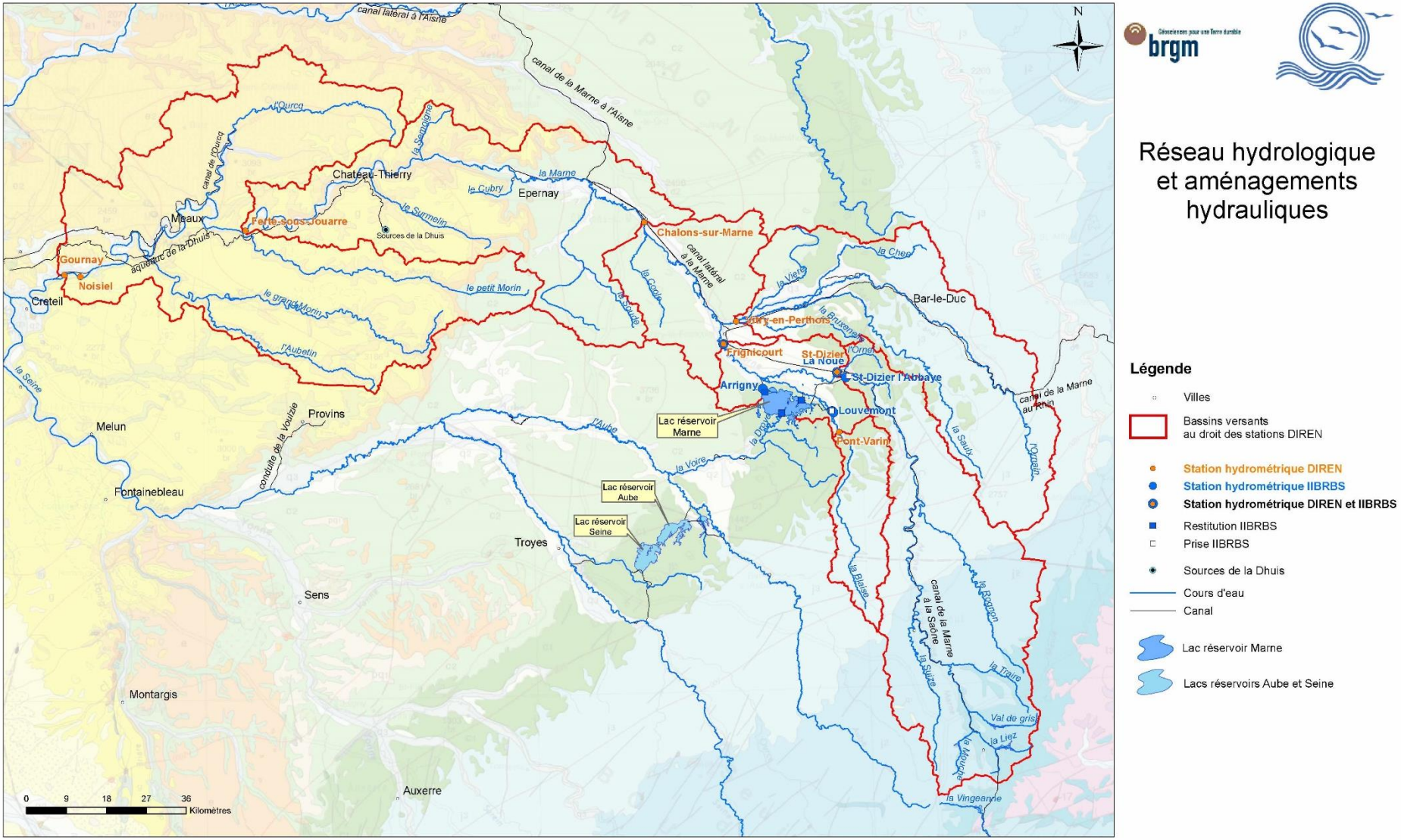



*Figure 5 Carte générale du réseau hydrologique et des aménagements hydrauliques (d'après rapport BRGM/RP 53922)*

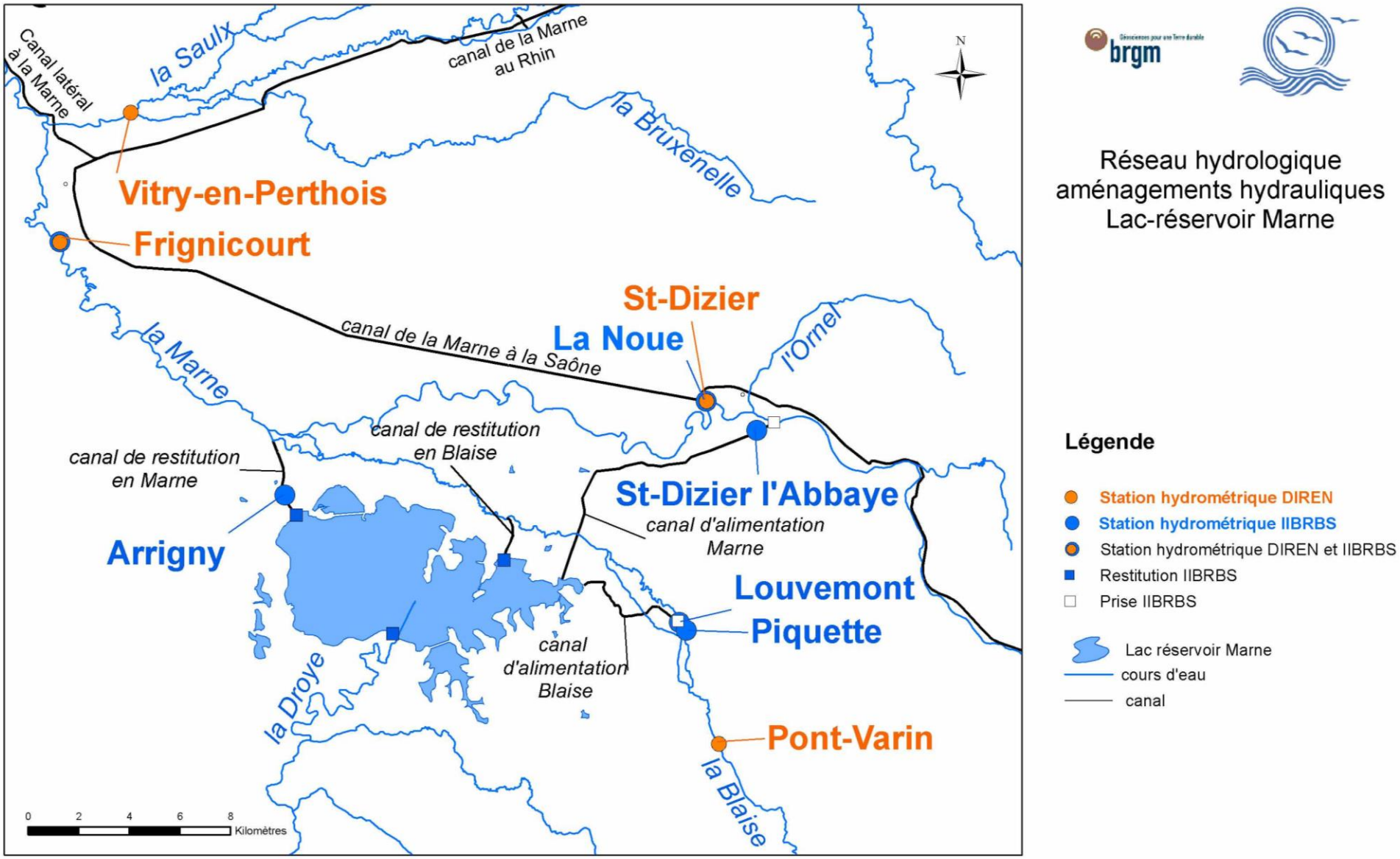



*Figure 6 Carte du réseau hydrologique et hydraulique de l'environnement du lac - réservoir Marne (d'après rapport BRGM/RP 53922)*

### 2.2.2. Choix des stations hydrométriques

Une liste des toutes les stations hydrométriques du bassin étudié a été dressée. Une classification a été faite principalement selon un critère de superficie des bassins : les stations prioritaires (Tableau 1) pour la modélisation et les stations optionnelles (Tableau 2). Les stations optionnelles seront éventuellement ajoutées au modèle si le calage n'est pas satisfaisant avec uniquement les stations prioritaires.

La Figure 7 présente la localisation de toutes les stations hydrométriques du bassin de la Marne.

| Code de la station | Libellé de la station | Département de localisation de la station | Hauteurs Données disponibles | Débits Données disponibles | Superficie km² |
|---|---|---|---|---|---|
| **H5011020** | La Marne à Marnay-sur-Marne | Haute-Marne (52) | 1983 - 2018 | 1983 - 2018 | 360 |
| **H5071010** | La Marne à Saint-Dizier | Haute-Marne (52) | 1983 - 2018 | 1948 - 2018 | 2380 |
| **H5071040** | La Marne à Chamouilley | Haute-Marne (52) | 1999 - 2018 | 1999 - 2018 | 2213 |
| **H5071050** | La Marne à Mussey-sur-Marne | Haute-Marne (52) | 2001 - 2018 | 2001 - 2018 | 1870 |
| **H5083050** | La Blaise à Louvemont [Pont-Varin] | Haute-Marne (52) | 1987 - 2017 | 1987 - 2017 | 480 |
| **H5091010** | La Marne à Frignicourt [après création grand lac] | Marne (51) | 1983 - 2018 | *1959 -* 1974 - 2018 | 3290 |
| **H5172010** | La Saulx à Vitry-en-Perthois | Marne (51) | 1983 - 2018 | 1957 - 2018 | 2100 |
| **H5201010** | La Marne à Châlons-sur-Marne [depuis 02/89] | Marne (51) | 1989 - 2018 | *1957 -* 1989 - 2018 | 6280 |
| **H5321010** | La Marne à la Ferté-sous-Jouarre | Seine-et-Marne (77) | 1993 - 2018 | 1993 - 2018 | 8818 |
| **H5732010** | Le Grand Morin à Pommeuse | Seine-et-Marne (77) | 1988 - 2018 | 1969 - 2018 | 770 |
| **H5841020** | La Marne à Gournay-sur-Marne | Seine-Saint-Denis (93) | 1983 - 1996 - 2018 | 1968 - 1996 - 2018 | 12660 |

*Tableau 1 : Liste des stations hydrométriques de la banque Hydro prioritaires sur le bassin de la Marne pour la modélisation (http://www.hydro.eaufrance.fr/)*

| Code de la station | Libellé de la station | Département de localisation de la station | Hauteurs Données disponibles | Débits Données disponibles | Superficie km² |
|---|---|---|---|---|---|
| H5062010 | Le Rognon à Doulaincourt-Saucourt | Haute-Marne (52) | 1968 - 2017 | 1968 - 2017 | 614 |
| H5102030 | La Saulx à Mognéville | Meuse (55) | *1967 -* 1988 - 2017 | *1968 -* 1989 - 2017 | *477* |
| H5122350 | L'Ornain à Val-d'Ornain [Varney] | Meuse (55) | *1968 -* 1997 - 2016 | *1968 -* 1997 - 2016 | *840* |
| H5142620 | La Chée à Bettancourt-la-Longue | Marne (51) | 1984 - 2017 | 1971 - 2017 | 215 |
| H5153010 | La Vière à Val-de-Vière | Marne (51) | 1985 - 2016 | 1971 - 2011 | 166 |
| H5173110 | Le Bruxenelle à Brusson | Marne (51) | 1984 - 2017 | 1969 - 2017 | 136 |
| H4180411 | La Blaise à Aunay-sous-Crécy | Eure-et-Loir (28) | 2014 - 2017 | 2014 - 2017 | 374 |
| H5412020 | Le Petit Morin à Jouarre [Vanry] | Seine-et-Marne (77) | 1985 - 2017 | 1962 - 2017 | 605 |
| H5302010 | Le Surmelin à Saint-Eugène | Aisne (02) | 1983 - 2017 | 1961 - 2017 | 454 |
| H5522010 | L'Ourcq à Chouy | Aisne (02) | 1988 - 2017 | 1988 - 2017 | |

*Tableau 2 : Liste des stations hydrométriques de la banque Hydro optionnelles sur le bassin de la Marne pour la modélisation (http://www.hydro.eaufrance.fr/)*

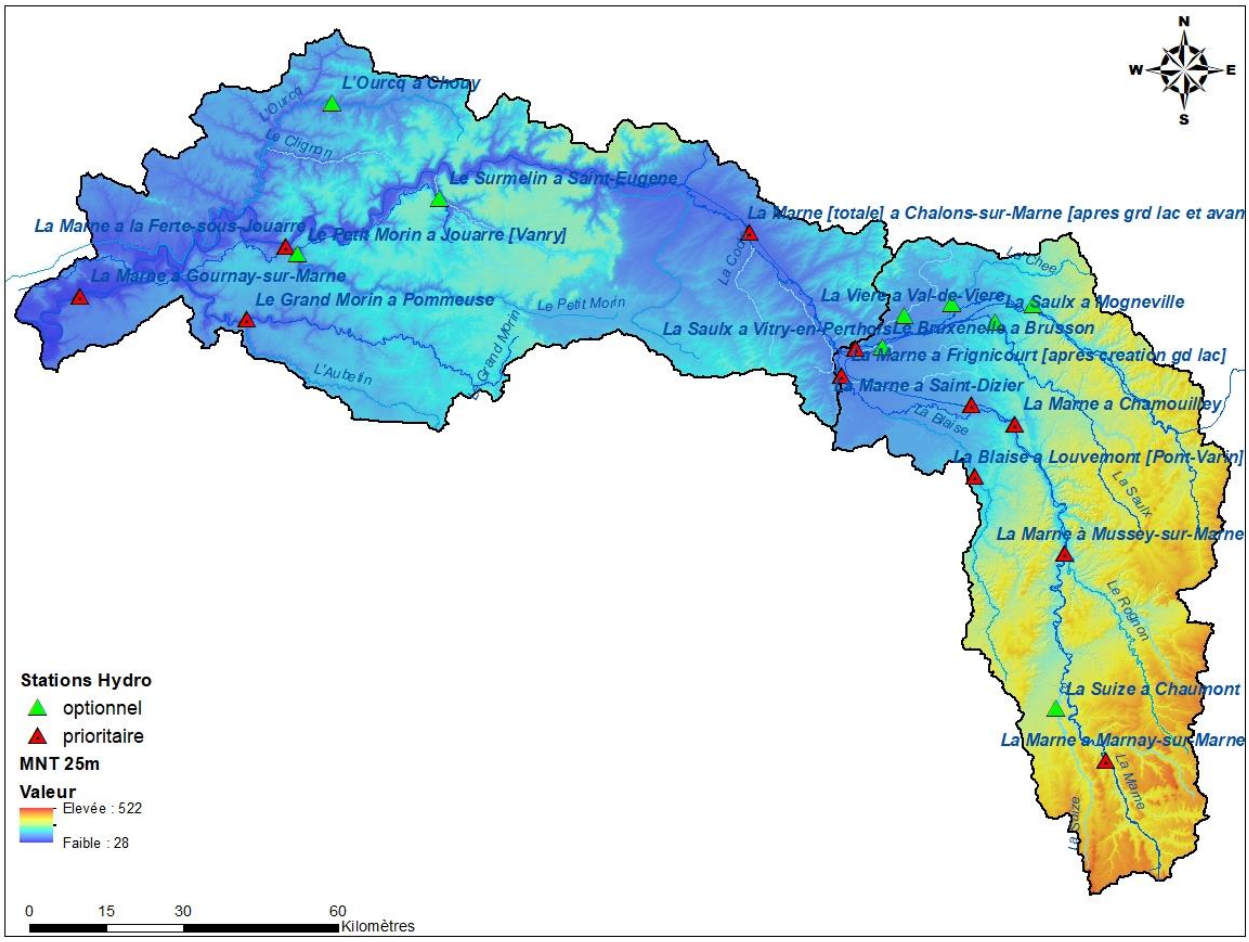



*Figure 7 : Stations hydrométriques de la banque Hydro sur l'ensemble du bassin de la Marne*

### 2.2.3. La pluviométrie annuelle moyenne

Les normales climatiques spatialisées sont calculées par Météo-France pour la période 1981-2010 à la résolution kilométrique sur la France métropolitaine. Ces normales en points de grille, appelées normales Aurelhy (Analyse Utilisant le RELief pour l'HYdrométéorologie, Bénichon et Le Breton 1986), sont obtenues à partir des normales de référence aux postes de mesures, par

une méthode d'interpolation qui prend en compte l'influence du relief sur la distribution des paramètres météorologiques ((Figure 8). La méthode d'interpolation Aurelhy prend en compte la reconnaissance automatique de la liaison statistique existant entre le paramètre à étudier (ici la pluviométrie) et le relief environnant les points de mesure. Cette liaison statistique est utilisée pour reconstituer les valeurs aux points où l'on ne dispose pas de données mesurées. La carte du champ ainsi obtenue intègre au mieux les effets du relief.

La carte des isohyètes montre un fort contraste entre la zone est du bassin fortement arrosée en amont de Vitry-en-Perthois (Bassin de la Saulx à Vitry-en-Perthois avec 1029 mm/an) et en amont de Saint-Dizier (entre 959 et 1032 mm/an) et la zone ouest beaucoup moins pluvieuse (entre 725 et 829 mm/an pour les sous-bassins versants en aval de Frignicourt).

Les pluies moyennes ont été déterminées à l'aide d'un outil SIG, en faisant la moyenne arithmétique des n valeurs de toutes les cellules de la grille Aurelhy contenues dans la zone sélectionnée. Le Tableau 3 fournit la pluviométrie moyenne pour chaque sous-bassin modélisé dans EROS (c'est-à-dire la partie comprise entre deux stations hydrométriques). En d'autres termes, pour les sous-bassins amont (la Marne à Marnay, la Blaise à Louvemont, la Saulx à Vitry-en-Perthois et le Grand Morin à Pommeuse), le bassin élémentaire correspond à un véritable sous-bassin versant topographique. Par contre pour les autres bassins élémentaires, portant le nom de la station hydrométrique qui constitue la limite aval, le modèle prend en compte la portion propre au sous-bassin sans considérer les parties amont communes. Ainsi pour ces bassins élémentaires, la surface à considérer est obtenue en soustrayant à la surface totale d'alimentation du sous-bassin versant topographique complet les surfaces des sous-bassins versants amont.

| | Nom des sous bassins du modèle EROS (sans la partie amont) | **pluie moyenne Aurhely** |
|---|---|---|
| **1** | **La Marne à Marnay-sur-Marne** | 959.0 |
| **2** | **La Marne à Mussey-sur-Marne** | 1012.0 |
| **3** | **La Marne à Chamouilley** | 1032.0 |
| **4** | **La Marne à Saint-Dizier** | 1025.0 |
| | **La Blaise à Louvemont [Pont-Varin]** | 969.7 |
| **6** | **La Marne à Frignicourt [après création grand lac]** | 829.0 |
| **7** | **La Saulx à Vitry-en-Perthois** | 1029.0 |
| **8** | **La Marne à Châlons-sur-Marne [depuis 02/89]** | 725.4 |
| **9** | **La Marne à la Ferté-sous-Jouarre** | 748.1 |
| **10** | **Le Grand Morin à Pommeuse** | 765.3 |
| **11** | **La Marne à Gournay-sur-Marne** | 744.6 |

*Tableau 3 : Synthèse de la pluviométrie (stations hydrométriques et moyenne Aurelhy) pour chaque sous bassin de la Marne*

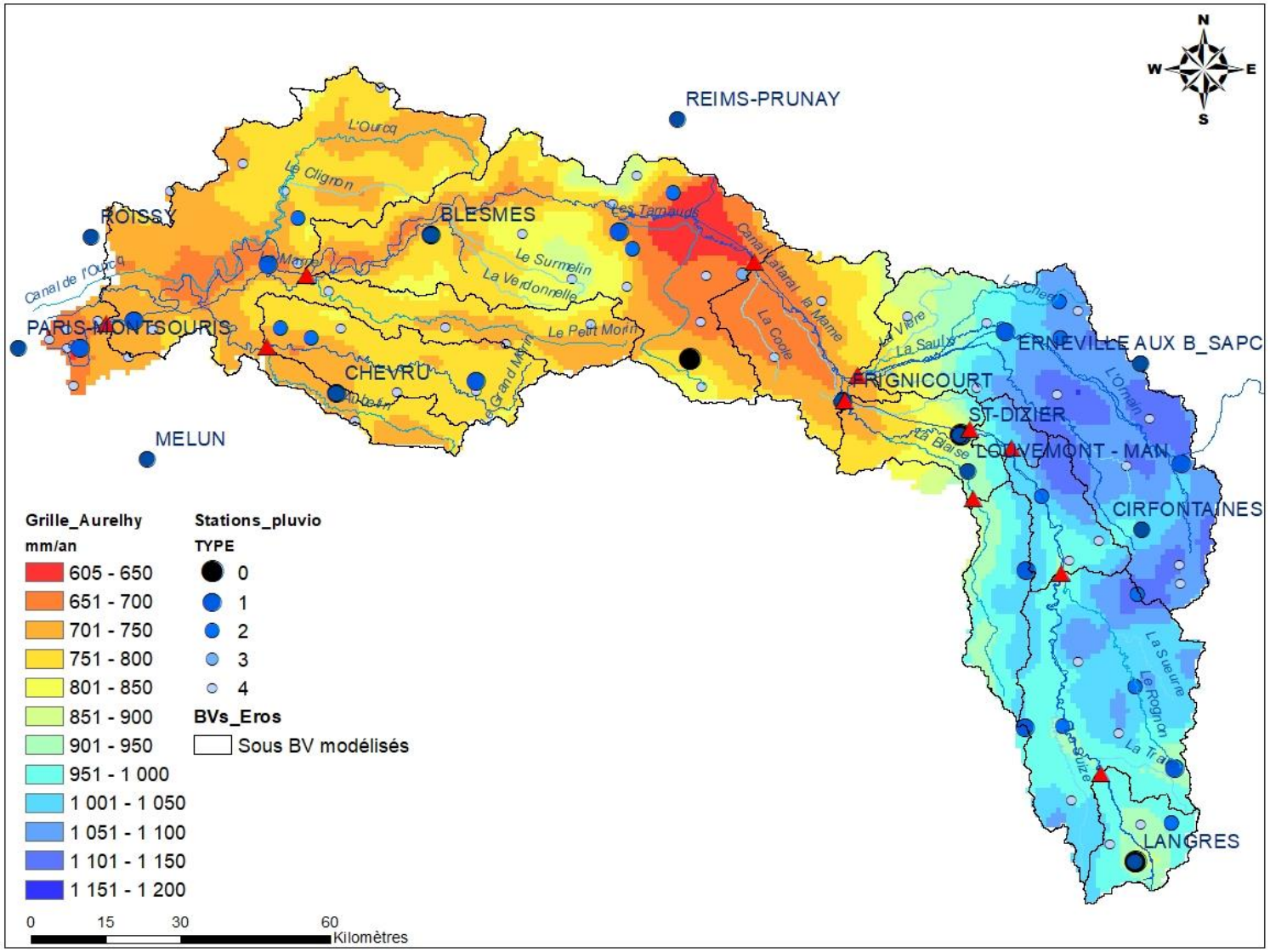



*Figure 8 : Grille Aurelhy Météo France et localisation des stations pluviométriques*

### 2.2.4. Données climatologiques

Les données pluviométriques et ETP proviennent de Météo-France. Une analyse de ces données climatologiques sur la période récente ainsi qu'une vérification du maintien en activité des stations utilisées et de l'homogénéité de ces données ont été menées. Les stations de type synoptique et automatique ont été privilégiées mais celles-ci ne sont pas toujours disponibles pour chaque bassin modélisé. La signification du type de station Météo France est donnée dans leTableau 4. Les listes des données pluie et ETP du modèle se trouvent dans le Tableau 5 et Tableau 6. Pour certaines d'entre elles, EPTB SGL possédait déjà un abonnement pour d'autres non ; ils ainsi ont été rajoutés.

| Type de station | | Disponibilité des données |
|---|---|---|
| 0 | Station synoptique, acquisition temps réel, expertise à J+1 | Horaire |
| 1 | Station automatique Radome-Resome, acquisition temps réel, expertise à J+1 | |
| 2 | Station automatique NON Radome-Resome, acquisition temps réel, expertise à J+1 | |
| 3 | Station automatique, acquisition temps réel, expertise temps différé (à M+21jours maxi) | Vers le 20 du mois pour les données du mois précédent |
| 4 | Poste climatologique manuel ou station automatique, acquisition temps différé, expertise temps différé (à M+21jours maxi) | |
| 5 | Station avec acquisition temps réel ou différé, non expertisée ou expertise des données non garantie | Occasionnelle |

*Tableau 4 : Signification du type de station météorologique Météo France*

| Numéro | nom de station | altitude | type | etat | latitude | longitude | EPTB | Moyenne sur la période modélisée (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2094001** | BLESMES | 0222 m | 1 | O | 49.009 | 3.462 | non | 749 |
| **77113002** | CHEVRU | 0158 m | 1 | O | 48.726 | 3.203 | oui | 720 |
| **52131002** | CIRFONTAINES_SAPC | 0379 m | 2 | O | 48.456 | 5.394 | oui | 943 |
| **51262001** | FRIGNICOURT | 0105 m | 1 | O | 48.71 | 4.595 | non | 704 |
| **52269001** | LANGRES | 0466 m | 0 | O | 47.843 | 5.337 | oui | 900 |
| **77306001** | MELUN | 0091 m | 0 | O | 48.61 | 2.679 | oui | 679 |
| **95527001** | ROISSY | 0108 m | 0 | O | 49.015 | 2.534 | non | 695 |
| **52448001** | ST-DIZIER | 0139 m | 0 | O | 48.631 | 4.903 | oui | 844 |
| **52294001** | LOUVEMONT | 146 m | 4 | O | 48.5667 | 4.9167 | non | 913 |
| **55179001** | ERNEVILLE | 313 m | 2 | O | 48.75 | 5.4 | non | 1052 |

*Tableau 5 : Liste des stations pluviométriques du modèle*

| Numéro | nom de station | altitude | type | etat | latitude | longitude | EPTB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **77306001** | MELUN | 0091 m | 0 | O | 48.61 | 2.679 | oui |
| **51449002** | REIMS-PRUNAY | 0095 m | 0 | O | 49.209 | 4.155 | oui |
| **52448001** | ST-DIZIER | 0139 m | 0 | O | 48.631 | 4.903 | oui |

*Tableau 6 Liste des stations d'évapotranspiration du modèle*

Dans le modèle EROS, les séries de pluie et ETP doivent être sans lacune sur l'ensemble de la période de calcul. Afin de combler les trous dans les chroniques, une analyse de corrélation entre les stations a été menée.

Le Tableau 7 ci-dessous récapitule les comblements de lacunes réalisés entre postes pluviométriques et les coefficients de corrélation associés.

| Postes avec lacunes | Postes utilisées pour combler les lacunes | Coefficient utilisé |
|---|---|---|
| Erneville | Cirfontaines | 0.97 |
| Blesnes | Saint-Dizier | 0.89 |
| Cirfontaines | Saint-Dizier | 1.11 |
| Chevru | Saint-Dizier | 0.86 |

*Tableau 7 : Comblement des lacunes réalisés entre postes pluviométriques*

### 2.2.5. Le contexte hydrogéologique

Le lac réservoir Marne est situé sur les formations imperméables de l'Albien (Figure 9).

Au point de vue hydrogéologique, la partie du bassin versant située en amont du lac réservoir Marne comporte essentiellement les aquifères des calcaires du Jurassique. Karstifiés en zone d'affleurement, leur perméabilité diminue rapidement sous couverture, sauf pour les calcaires du Barrois (Tithonien) concernés par un paléokarst. Ces aquifères sont peu capacitifs avec des temps de transfert rapides (ruissellement de surface et transit souterrain rapide dans les karsts).

La partie du bassin versant située en aval du lac réservoir Marne comporte essentiellement l'aquifère de la Craie du Crétacé et dans une moindre proportion l'aquifère des Calcaires de Champigny, des calcaires de Brie et sables de l'Eocène. Ces aquifères, et notamment celui de la Craie, sont très capacitifs avec de longs temps de transfert souterrains. Des captages notamment pour l'alimentation en eau potable exploitent ces aquifères soit directement, soit par l'intermédiaire des nappes alluviales comme dans le cas du champ captant de Chalons-en-Champagne.

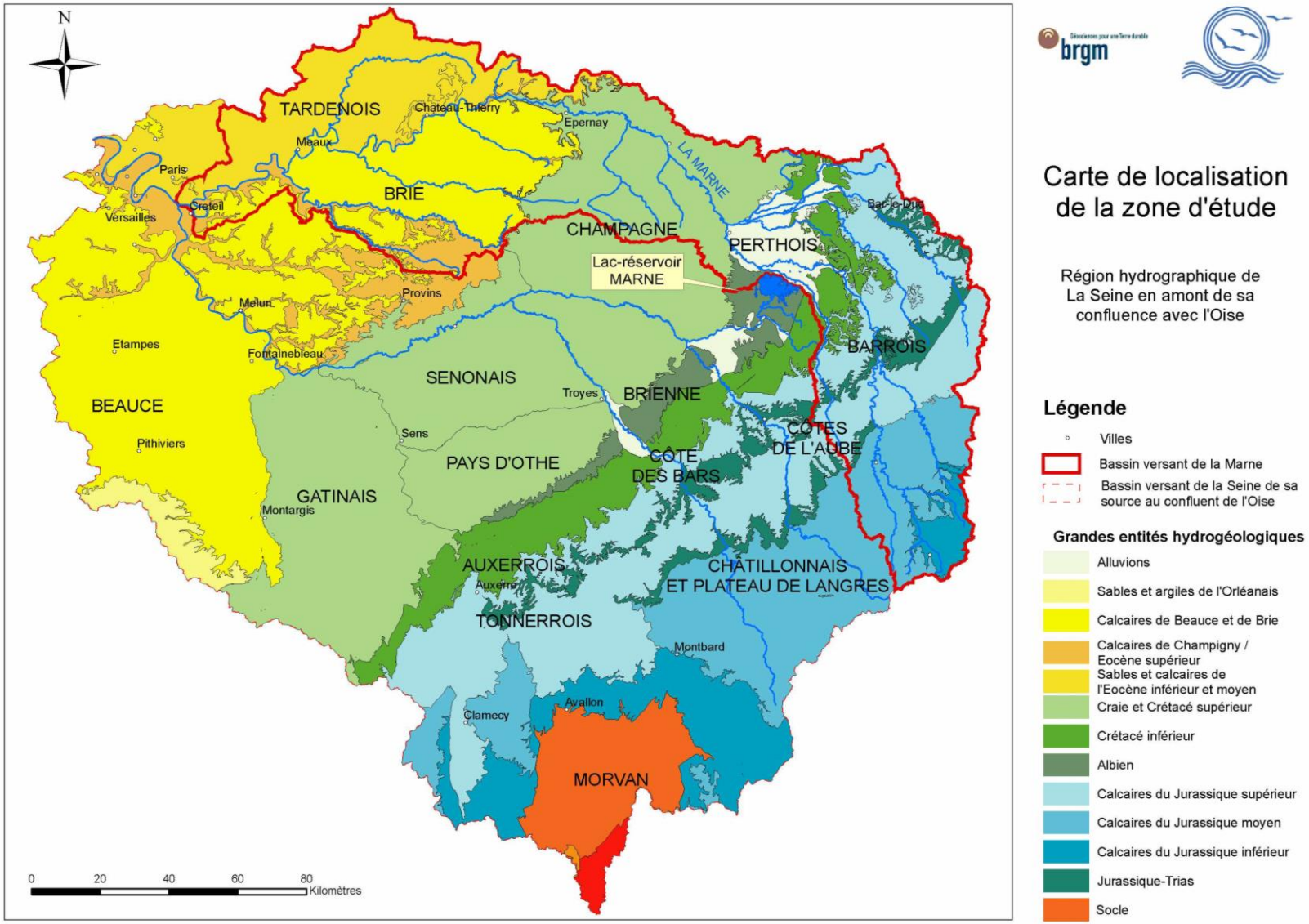



*Figure 9 Localisation de la zone d'étude et grands ensembles hydrogéologiques (BRGM/RP 53922)*

### 2.2.6. Choix des données piézométriques

Le travail de sélection des piézomètres représentatifs de l'état de remplissage des principaux aquifères a été réalisé par masse d'eau souterraine d'ordre 1 (masse d'eau superficielle en contact avec le cours d'eau - Figure 10 et Tableau 8). Celles-ci intègrent les différentes entités hydrogéologiques de la BDLisa et sont plus simples à exploiter pour les besoins de cette étude de modélisation semi-globale du bassin versant de la Marne.

Le choix des piézomètres s'est fait selon les étapes suivantes :

- extraction de tous les piézomètres de la zone d'étude par masse d'eau d'ordre 1 à partir de la base de données ADES[3]. La Figure 11 présente leur localisation,
- tri en fonction de la longueur des chroniques disponibles : au moins 10 ans de données,
- tracé et analyse de l'allure générale de la chronique piézométrique par appréciation visuelle et par comparaison avec les débits à la station.

Le Tableau 9 synthétise la liste des piézomètres associés aux différents sous bassins versants modélisés et masses d'eau souterraines associées. Un seul piézomètre peut être pris en compte par sous bassin dans le modèle. C'est donc le piézomètre le plus représentatif de la masse d'eau majoritaire (celle occupant la plus grande superficie) du sous bassin modélisé qui est choisi prioritairement pour le calage du modèle. Les piézomètres des autres masses d'eau seront testés si le calage n'est pas satisfaisant.

[3] https://ades.eaufrance.fr/

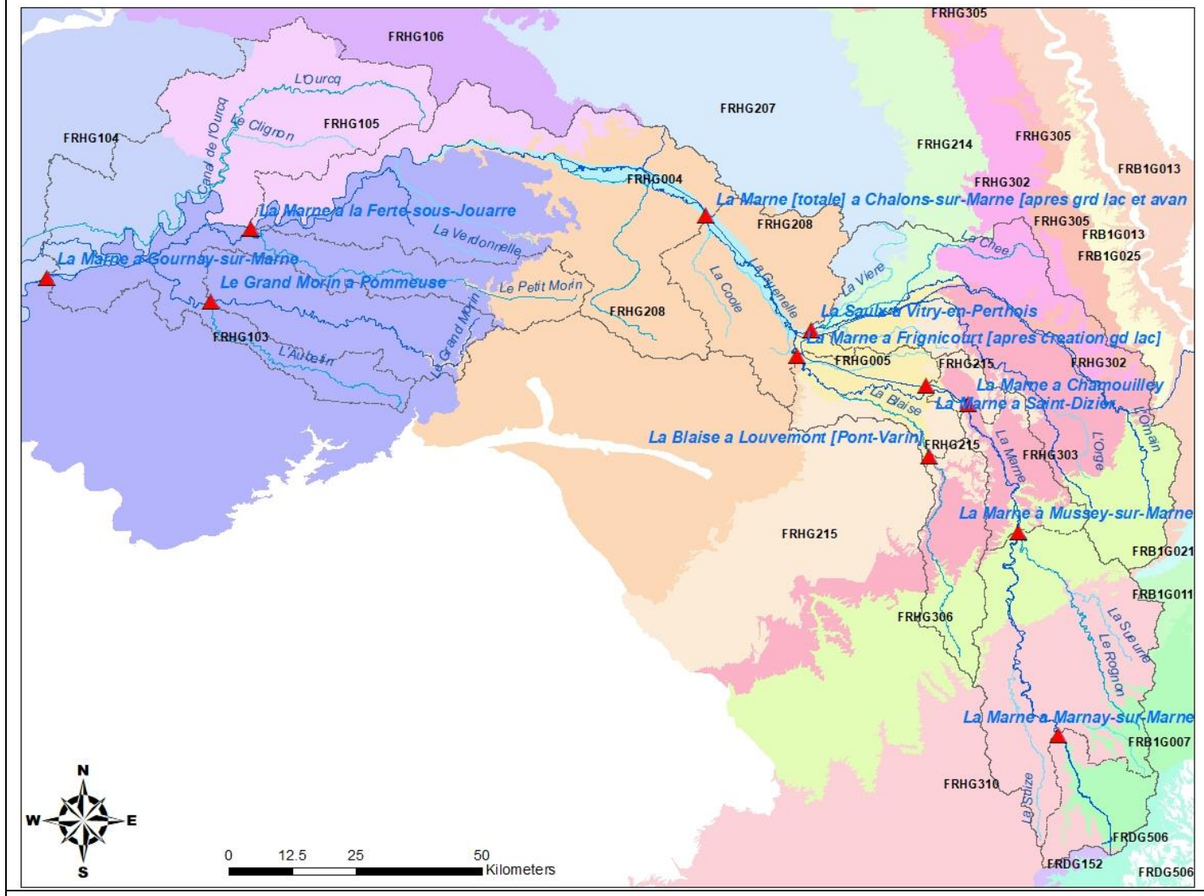



*Figure 10 Carte de localisation des stations hydrométriques principales et des masses d'eau d'ordre 1.*

| CdEu-MasseDeau | NomMasseDEau |
|---|---|
| FRB1G007 | Plateau lorrain versant Meuse |
| FRB1G011 | Calcaires du Dogger du plateau de Haye |
| FRB1G013 | Calcaires oxfordiens |
| FRB1G021 | Argiles du Callovo-Oxfordien de Bassigny |
| FRB1G025 | Argiles du Kimméridgien |
| FRDG152 | Calcaires jurassiques du châtillonnais et seuil de Bourgogne entre Ouche et Vingeanne |
| FRDG506 | Domaine triasique et liasique de la bordure vosgienne sud-ouest BV Saône |
| FRHG004 | Alluvions de la Marne |
| FRHG005 | Alluvions du Perthois |
| FRHG103 | Tertiaire - Champigny - en Brie et Soissonnais |
| FRHG104 | Eocène du Valois |
| FRHG105 | Eocène du bassin versant de l'Ourcq |
| FRHG106 | Lutétien - Yprésien du Soissonnais-Laonnois |
| FRHG207 | Craie de Champagne nord |
| FRHG208 | Craie de Champagne sud et centre |
| FRHG214 | Albien-néocomien libre entre Ornain et limite de district |
| FRHG215 | Albien-néocomien libre entre Seine et Ornain |
| FRHG302 | Calcaires tithonien karstique entre Ornain et limite du district |
| FRHG303 | Calcaires tithonien karstique entre Seine et Ornain |
| FRHG305 | Calcaires kimmeridgien-oxfordien karstique nord-est du district (entre Ornain et limite de district) |
| FRHG306 | Calcaires kimmeridgien-oxfordien karstique entre Seine et Ornain |
| FRHG310 | Calcaires dogger entre Armançon et limite de district |

*Tableau 8 Liste des masses d'eau d'ordre 1 du secteur d'étude (en surbrillance celles principalement concernées)*

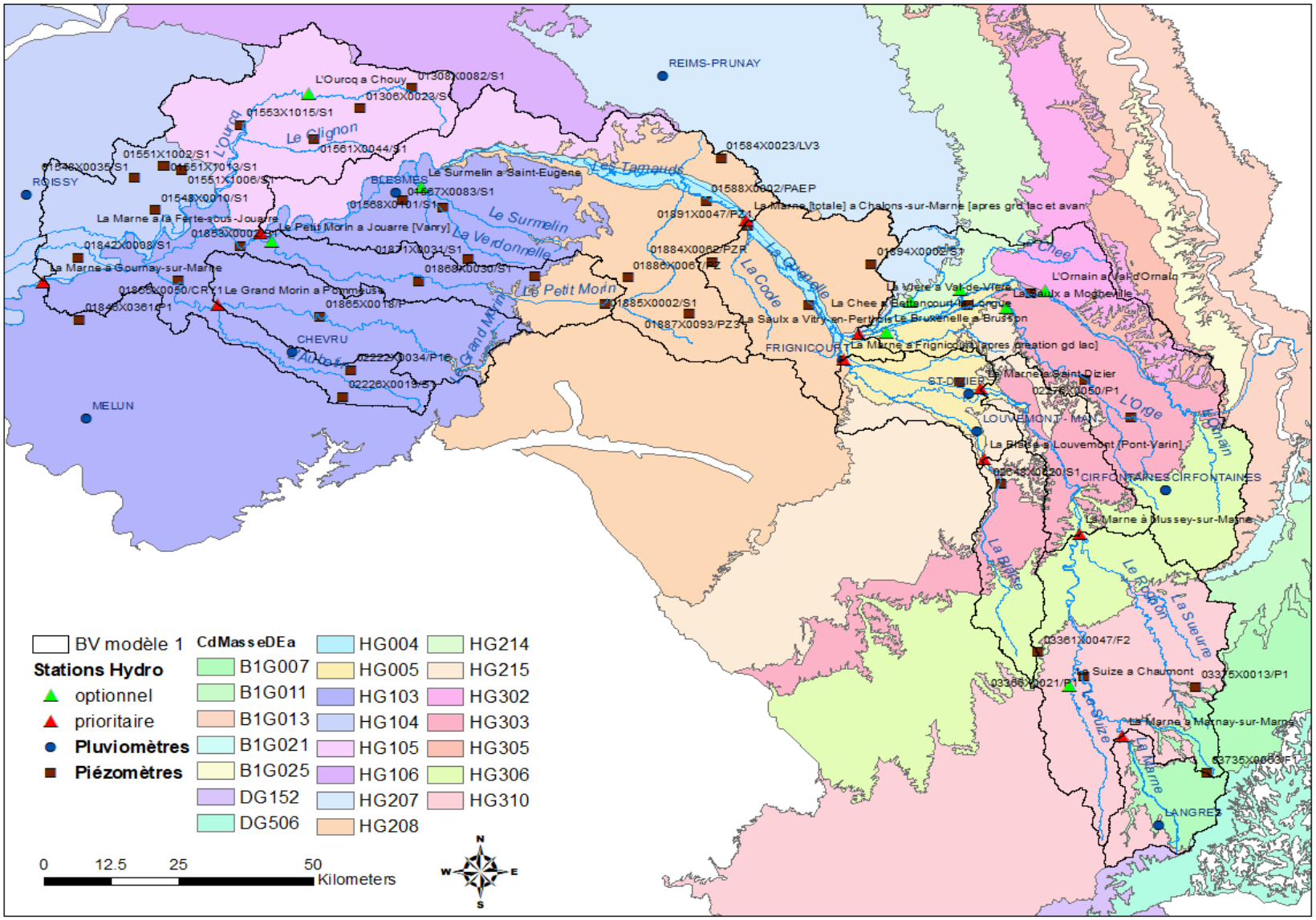



*Figure 11 Carte de localisation des masses d'eau d'ordre 1, des stations hydrométriques, des postes pluviométriques et des piézomètres disponibles*

| | | stations piézométriques | | |
|---|---|---|---|---|
| | | code BSS | MESO | période |
| 1 | La Marne à Marnay-sur-Marne | **03732X0002/F1** | B1G007 | 2002-2018 |
| | | 03735X0063/F1 | B1G007 | 2013-2018 |
| 2 | La Marne à Mussey-sur-Marne | 03361X0047/F2 (à sec ou Karst) | HG306 | 2011-2018 |
| | | **03712X0012/P1** | HG306 | 1976-2014 |
| 3 | La Marne à Chamouilley | **02648X0020/S1** | HG303 | 1971-2018 (1992-1994) |
| 4 | La Marne à Saint-Dizier | **02648X0020/S1** | HG303 | 1971-2018 (1992-1994) |
| | | si calage insatisfaisant | HG306 | |
| 5 | La Blaise à Louvemont [Pont-Varin] | **02648X0020/S1** | HG303 | 1971-2018 (1992-1994) |
| | | 03361X0047/F2<br>03712X0012/P1 | HG306 | |
| 6 | La Marne à Frignicourt [après création grand lac] | **02267X0030/S1** | HG005 | 1967-2017 |
| | | 02994X0092/D07L | HG215 | 1985-2016 |
| | | 02645X0038/D601 | HG215 | 1986-2016 |
| 7 | La Saulx à Vitry-en-Perthois | 02653X0001/F1<br>**02648X0020/S1** | HG303 | 1971-2017 (1992-1994) |
| | | 03361X0047/F2<br>03712X0012/P1 | HG306 | |
| 8 | La Marne à Châlons-sur-Marne [depuis 02/89] | **01584X0023/LV3** | HG208 | |
| | | 02982X0028 | HG208 | 1969-2018 |
| 9 | La Marne à la Ferté-sous-Jouarre | 0106X0023 | HG105 | |
| | | **01868X0030/S1** | HG103 | 1969-2018 |
| 10 | Le Grand Morin à Pommeuse | **01868X0030/S1** | HG103 | 1969-2018 |
| 11 | La Marne à Gournay-sur-Marne | 01543X0028 | HG104 | 1974-2018 |
| | | **01287X0017/S1** | HG104 | |
| | | 01551X1013/S1 | HG104 | 1973-2018 |

*Tableau 9 : Liste des piézomètres associés aux différents sous bassins versants modélisés par masse d'eau souterraine, avec la période des donnée disponibles (en jaune, les piézomètres sélectionnés pour le modèle)*

### 2.2.7. Identification des échanges de chaque bassin avec l'extérieur

Dans le modèle, les échanges peuvent être des prélèvements (signe négatif) ou des apports (signe positif). C'est la somme arithmétique par bassin élémentaire qui est prise en compte. Il est donc possible de simuler des aménagements qui introduisent des modifications de débits comme par exemple des prélèvements en rivière pour l'alimentation en eau potable et/ou l'alimentation d'un barrage - réservoir ou de canaux.

NB : Les prélèvements en rivière sont retranchés au niveau du point exutoire et ceux en nappe interviennent au niveau du réservoir souterrain. Dans les deux cas, jusqu'au seuil de disponibilité des débits.

Le Tableau 10 illustre les différents échanges pris en compte dans le modèle EROS initial.

| | Apports | Prélèvements | Formule d'estimation d'échange |
|---|---|---|---|
| **La Marne à Saint Dizier** | - **Sources de Cousance (est. 0,24 m3/s)** | - **Prise en Marne (IIBRBS, 85-03 10,4 m³/s)**<br>- **Fuite canal vers la Saône (est. 0,25 m³/s)**<br>- **Fuite canal vers l'aval (est. 0,25 m³/s)**<br>- Industrie Bayard-sur-Marne (Saint Gobain, prise 0,14 m³/s, consommé 0,01 à 0,02 m³/s) | - **0,21** - **Chronique Prise en Marne (IIBRBS)** |
| **Blaise Louvemont** | **Aucun significatif (0 m³/s)** | - **Pertes karstiques (est. -1,27 m³/s)** | - **1,27** |
| **La Marne à Frignicourt** | - **Restitution en Marne (IIBRBS, 85-03 10,1 m³/s)**<br>- **Restitution en Blaise (IIBRBS, 85-03 0,4 m³/ss**<br>- **Apport amont du canal latéral (est. 0.25 m³/s)**<br>- Source de la Lonne (est. 0,05 m³/s) | - **Prise en Blaise (IIBRBS, 85-03 1,7 m³/s)**<br>- **Fuite canal vers bief triple (est. 0,25 m³/s)** | **Chronique Restitution en Marne + Chronique Restitution en Blaise - Chronique Prise en Blaise** |
| **La Saulx à Vitry-en-Perthois** | **Aucun significatif (0 m³/s)** | - **Perte karstiques du Barrois (est. 0,29 m³/s)**<br>- **Fuite canal vers la Meuse (est. 0,25 m³/s)**<br>- **Fuite canal vers Châlons (est. 0,25 m³/s)**<br>- Nappe alluviale de Vitry (est. 0,1 à 0,15 m³/s) | - **0,79**<br>Estimation. Nécessiterait probablement d'être modulé dans le temps. |
| **La Marne à Châlons** | - Nappe alluviale de Vitry (est. 0,1 à 0,15 m³/s)<br>- **Apport amont du canal latéral (est. 0.25 m³/s)** | - Prise en compte partielle des débits de la station hydrométrique de Châlons (Canal Louis XII et canal du Jard)<br>- **Fuite canal vers La Ferté (est. 0,25 m³/s)** | **0**<br>**(probablement très surestimé et devrait être modulé dans le temps** : non prise en compte débit du canal Louis XII et de la prise pour la dérivation de Condé et le canal latéral) |
| **La Marne à la Ferté-sous-Jouare** | - **Apport venant de la Vesle (VNF, 0.3 m³/s de décembre à avril, 0 les autres mois)**<br>- **Apport amont par Canal latéral (est. 0,25 m³/s)**<br>- Apport par Canal Saint-Martin (Débit inconnu ?) | - **Fuite du canal vers l'Aisne (VNF, 0,9 m³/s de mai à nov., 0 les autres mois)**<br>- **Prise AEP Acqueduc de la Dhuys (SAGEP, 0,23 à 0,29 m³/s)** | - **0,85 m³/s de mai à nov.**<br>**+ 0,35 m³/s de déc. à avril**<br>**(Probablement très sous-estimé** par la non prise en compte de l'apport du canal Saint-Martin, de plus **à moduler dans le temps)** |
| **La Marne à Gournay** | **Aucun significatif (0 m³/s)** | - **Canal de l'Ourcq (Ville de Paris, 78-03 3,93 m³/s)**<br>- **Prise AEP Annet (CGE, 89-03 1,09 m³/s)**<br>- **AEP Meaux + irrigation + industriels (est. 0,2 m³/s)**<br>- Prise centrale thermique de Vaires (EDF, dérivé 2 à 14 m³/s, consommé 0,1% ?)<br>- **Canal de Chelles (VNF, est. 0,23 m³/s)** | - **Chronique Prise Canal de l'Ourcq - Prise AEP Annet - 0,43** |

*Tableau 10 : Synhtèse des échanges pris en compte dans l'ancien modèle EROS (BRGM/RP 53922)*

### *Les données fournies par l'EPTB Seine Grands Lacs*

Une synthèse sur les prélèvements du bassin de la Marne a été transmise par EPTB Seine Grands Lacs (annexe 2).

Les prélèvements d'eau sont disponibles jusqu'en 2014. Depuis 2014, une règle générale de prélèvement est appliquée en prenant des prélèvements moyens sur une année-type et en prenant en compte les plus gros préleveurs connus. Il est nécessaire de différencier les prélèvements bruts des prélèvements nets. Le taux de prélèvement net appliqué sur le bassin s'établit généralement comme suit :

- 7% pour l'industrie
- 24% pour l'AEP
- 100 % pour l'irrigation, cependant la répartition des prélèvements agricoles n'est pas connue au cours d'une année

En conclusion de cette synthèse il est écrit :

> Au vu de la très faible pression des prélèvements pour l'irrigation, l'industrie et l'AEP hors région parisienne il ne nous semble pas judicieux d'en tenir compte.
>
> Nous proposons de ne retenir pour le projet DEMETER que les prélèvements suivants :
>
> - Canal Marne-Aisne avec un prélèvement constant de 0.9 m3/s à l'amont de Châlons-sur-Marne et un retour de 0.2 m3/s à l'aval ;
> - Canal de l'Ourcq avec deux prélèvements de 0.8 et 0.884 m3/s suivant la répartition temporelle vue plus haut ;
>
> Usine d'Annet avec un prélèvement constant de 1.25 m3/s.

Les grandeurs encadrées en rouge dans le Tableau 10 ont été fournies par EPTB Seine Grands Lacs :

- les chroniques des débits prélevés et restitués par le lac - réservoir (prélèvement et restitution en Blaise, prélèvement et restitution en Marne),
- les prélèvement du canal de la Marne à l'Aisne,
- ceux du canal de l'Ourcq,
- les prélèvement de l'usine d'Annet.

### *Les données de la BNPE*

Les données de la BNPE[4] (Banque Nationale des Prélèvements en Eau) ont été extraites et redistribuées par sous bassin modélisé. Des débits très forts ont été constatés notamment pour les usages « barrages hydrauliques ». Lors d'une réunion du comité de pilotage du projet, l'EPTB SGL a confirmé que ces débits sont ensuite restitués et ne sont pas à prendre en considération dans le modèle.

[4] https://bnpe.eaufrance.fr/

Un travail de classification de ces prélèvements a été fait par usage afin de distinguer ces forts débits des autres. Les différents usages existants dans la BNPE sont : AEP (Alimentation en Eau Potable), irrigation, canaux, barrages hydrauliques et industrie (Figure 12).

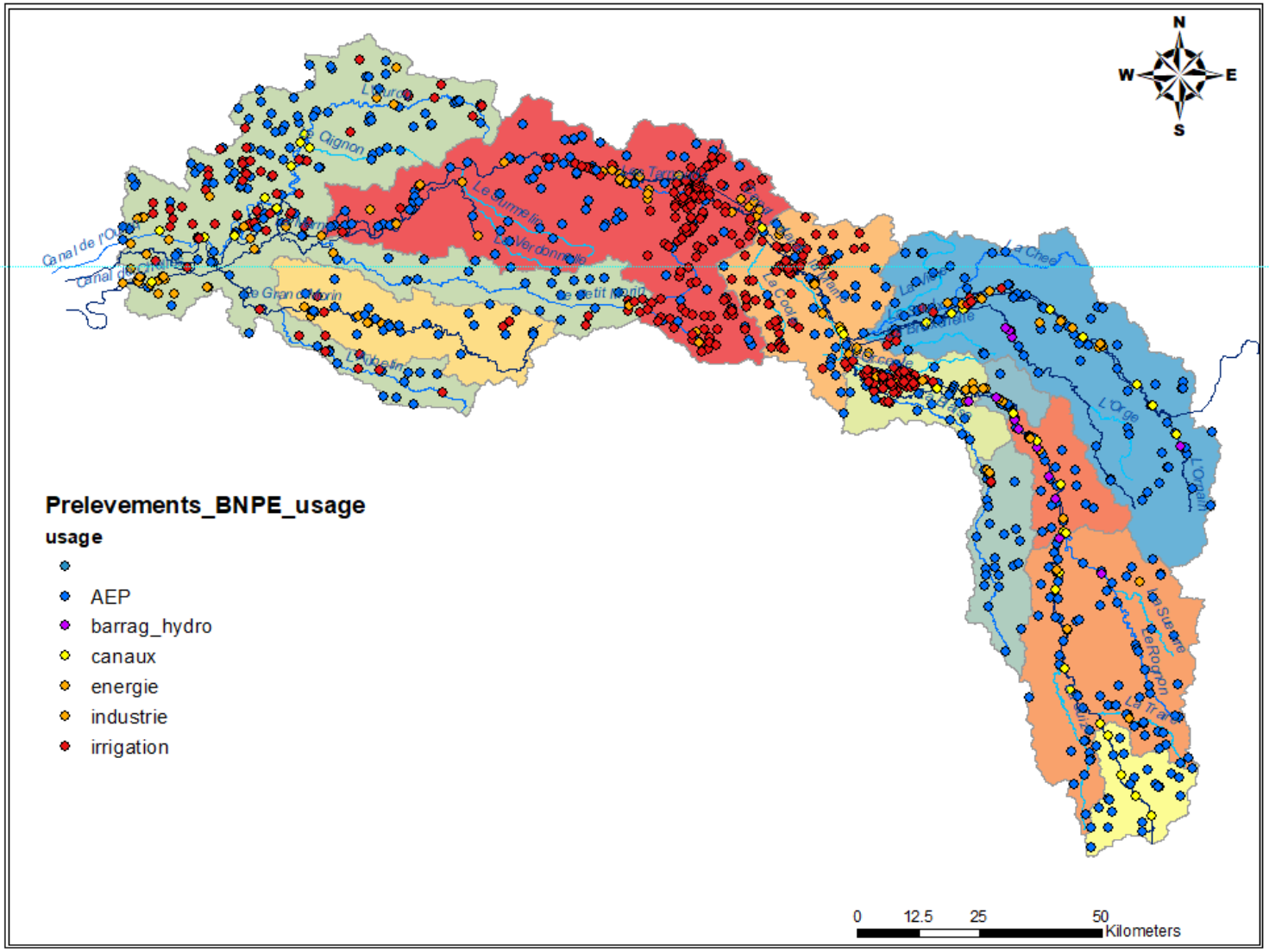



*Figure 12 : Répartition des points de prélèvements par usage d'après une extraction de la BNPE*

### *Analyse des données de prélèvements de la BNPE par sous bassin élémentaire*

Une analyse des prélèvements de la BNPE a été faite par usage et par sous bassin modélisé, dans l'ordre : AEP, canaux, barrages, irrigation et industriel.

Le Tableau 11 synthétise quelques grandeurs caractéristiques et met en évidence (en surbrillance) des volumes anomaliques (soit trop fort soit trop faible comparativement aux autres années) ou des débits élevés par rapport au QMNA5.

Sont reportés dans ce tableau :

- le module et le QMNA5 de chaque station modélisée,
- les volumes totaux en $m^3$ tout usage confondu par année.

Et pour chaque usage :

- les volumes totaux moyens,
- le pourcentage en eau de surface associé,
- le débit moyen sur la période de données disponibles (de 2012 à 2015) et celui de 2015 pour comparaison, plus le débit de 2015 net pour l'AEP,
- enfin les ratios du débit moyen sur QMNA5 et débit net AEP sur QMNA5. Ces ratios permettent de juger de l'importance des volumes prélevés par rapport au débit du cours d'eau en période d'étiage et donc de la nécessité de les prendre en compte dans le modèle ou pas.

On peut déduire que les volumes totaux dus à l'irrigation et à l'industrie sont faibles (en bas du tableau). Ils n'ont donc pas d'intérêt à être intégrés au modèle.

Les prélèvements majoritaires sont ceux relatifs au barrage mais, comme discuté lors de la réunion du comité de pilotage, ceux-là sont restitués donc ils ne doivent pas apparaitre dans la modélisation.

Concernant les prélèvements « canaux », des interrogations se posent sur les bassins de la Marne à Marnay et à Mussey car les débits sont importants (cellules surlignées en jaune vif dans le tableau). Les débits de l'année 2015 sont retenus car il y a soit des volumes aberrants en 2012 (sous bassin de la Marnay), soit des volumes trop faibles toujours en 2012 (sous bassin de Mussey).

Pour l'AEP, nous retrouvons les mêmes ordres de grandeur que les valeurs déjà prises en compte dans le modèle pour les bassins de la Marne à Gournay et le Grand Morin. Il est éventuellement possible de rajouter un débit de prélèvement pour l'AEP dans le sous bassin de la Marne à Marnay bien que leur impact resterait faible.

L'essentiel des prélèvements s'effectue en eau de surface ; seul le bassin du Grand Morin est concerné par les prélèvements en eau souterraine.

| Nom_BV_1 | 1_Marne_Marnay | 2_Marne_Mussey | 3_Marne_Chamouilley | 4_Marne_St_Dizier | 5_Blaise_Louvemont | 6_Marne_Frignicourt | 7_Saulx_Vitry | 8_Marne_Chalons | 9_Marne_Ferté | 10_Grand_Morin_Pommeuse | 11_Marne_Gournay |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Module (m3/s) | 3.73 | 24.2 | 31.1 | 25.6 | 4.79 | 40.4 | 25.9 | 71.8 | 89.8 | 5.4 | 108 |
| QMNA5 (m3/s) | 1.2 | 3.99 | 4.96 | 5.07 | 0.648 | 11.8 | 3.94 | 20.6 | 33.6 | 2.54 | 43.7 |
| | | | | | | | | | | | |
| Total_2012 (m3) | 196 304 833 | 397 983 575 | 3 703 177 388 | 840 059 546 | 1 800 318 | 701 194 243 | 497 238 121 | 114 815 229 | 111 202 355 | 3 041 800 | 141 628 359 |
| Total_2013 (m3) | 38 359 893 | 780 372 830 | 4 053 234 147 | 857 065 667 | 1 748 568 | 990 733 382 | 1 105 858 215 | 115 144 278 | 71 200 547 | 4 509 812 | 491 942 039 |
| Total_2014 (m3) | 51 753 078 | 708 836 578 | 3 392 149 240 | 751 754 586 | 1 375 182 | 654 524 765 | 929 845 445 | 115 261 674 | 70 583 357 | 3 832 224 | 315 550 321 |
| Total_2015 (m3) | 49 996 155 | 640 751 081 | 3 361 621 891 | 694 827 959 | 1 399 330 | 666 210 645 | 862 243 044 | 116 230 369 | 44 663 054 | 4 502 342 | 208 057 898 |
| | | | | | | | | | | | |
| total_aep_moy (m3) | 2 476 990 | 4 406 866 | 964 101 | 2 368 512 | 1 119 841 | 1 295 796 | 7 190 453 | 8 366 344 | 15 185 173 | 2 521 171 | 61 183 350 |
| % eau surface | 68% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 73% |
| debit_moy_aep (m3/s) | 0.078 | 0.140 | 0.031 | 0.075 | 0.035 | 0.041 | 0.228 | 0.265 | 0.481 | 0.080 | 1.939 |
| debit_aep_2015 (m3/s) | 0.078 | 0.128 | 0.029 | 0.074 | 0.034 | 0.036 | 0.218 | 0.267 | 0.453 | 0.097 | 1.821 |
| net_aep_2015 (m3/s) | 0.019 | 0.031 | 0.007 | 0.018 | 0.008 | 0.009 | 0.052 | 0.064 | 0.109 | 0.023 | 0.437 |
| Q_net_aep_2015/ QMNA5 | 2% | 1% | 0% | 0% | 1% | 0% | 1% | 0% | 0% | 1% | 1% |
| Q_aep_2015/ QMNA5 | 6% | 3% | 1% | 1% | 5% | 0% | 6% | 1% | 1% | 4% | 4% |
| | | | | | | | | | | | |
| total_canaux_moy (m3) | 81 626 500 | 50 222 378 | 24 869 514 | | | 10 658 363 | 62 070 241 | 102 693 361 | 49 171 098 | | 222 513 959 |
| % eau surface | 100% | 100% | 100% | | | 100% | 100% | 100% | 100% | | 100% |
| debit_moy_canaux (m3/s) | 2.59 | 1.59 | 0.79 | 0.00 | 0.00 | 0.34 | 1.97 | 3.25 | 1.56 | 0.00 | 7.05 |
| debit_canaux_2015 (m3/s) | **1.51** | **2.28** | 1.13 | 0.00 | 0.00 | 0.48 | **1.84** | 3.25 | 0.56 | 0.00 | 4.54 |
| Q_canaux_2015/ QMNA5 | **126%** | **57%** | **23%** | 0% | 0% | 4% | **47%** | 16% | 2% | 0% | 10% |
| | | | | | | | | | | | |
| total_barag_moy (m3) | | 575 723 823 | 3 599 926 369 | 783 451 594 | | 740 259 552 | 778 615 643 | | | | |
| % eau surface | | 100% | 100% | 100% | | 100% | 100% | | | | |
| debit_moy_barag (m3/s) | 0 | 18.24 | 114.07 | 24.83 | 0.00 | 23.46 | 24.67 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| debit_barag_2015 (m3/s) | 0 | 17.85 | 105.33 | 21.94 | 0.00 | 20.53 | 25.23 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| | | | | | | | | | | | |
| total_irrig_moy (m3) | | | | | 6 685 | 682 903 | 218 521 | 1 555 070 | 3 216 534 | 52 435 | 2 783 274 |
| % eau surface | | | | | 100% | 16% | 61% | 0% | 8% | 25% | 15% |
| debit_moy_irrig (m3/s) | | | | | 0.000 | 0.022 | 0.007 | 0.049 | 0.102 | 0.002 | 0.088 |
| debit_irrig_2015 (m3/s) | | | | | 0.001 | 0.032 | 0.011 | 0.067 | 0.134 | 0.003 | 0.146 |
| Q_irrig_2015/ QMNA5 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | | | | | | | | | | | |
| total_indus_moy (m3) | | 1 632 949 | 1 785 683 | 106 834 | 454 324 | 269 146 | 701 350 | 2 748 114 | 6 839 525 | 1 397 939 | 2 814 071 |
| % eau surface | | 99% | 99% | 97% | 0% | 85% | 8% | 32% | 1% | 0% | 10% |
| debit_moy_indus (m3/s) | | 0.052 | 0.057 | 0.003 | 0.014 | 0.009 | 0.022 | 0.087 | 0.217 | 0.044 | 0.089 |
| debit_indus_2015 (m3/s) | | 0.050 | 0.030 | 0.005 | 0.009 | 0.024 | 0.022 | 0.096 | 0.266 | 0.042 | 0.088 |
| Q_indus_2015/ QMNA5 | 0% | 1% | 1% | 0% | 1% | 0% | 1% | 0% | 1% | 2% | 0% |

*Tableau 11 Tableau de synthèse des données des prélèvements de la BNPE par usage et par bassin élémentaire*

## 2.3. BILAN MODELE CONCEPTUEL

Le modèle conceptuel inclut 11 sous-bassins (Figure 13) dont 3 stations hydrométriques supplémentaires par rapport à l'ancienne version. La station hydrométrique de Chamouilley a été ajoutée comme point de contrôle au modèle afin de s'affranchir de l'influence des prélèvements à la station de Saint-Dizier.

Les bassins élémentaires sont contrôlés à l'aval par les stations hydrométriques suivantes :

- La Marne à Marnay-sur-Marne
- La Marne à Mussey-sur-Marne
- La Marne à Saint-Dizier La Noue
- La Blaise à Louvemont
- La Marne à Frignicourt
- La Saulx à Vitry-en-Perthois
- La Marne à Châlons-en-Champagne
- La Marne à La Ferté-sous-Jouarre
- Le Grand Morin à Pommeuse
- La Marne à Gournay-sur-Marne

Ce nouveau modèle intègre le domaine souterrain ; chaque bassin possède donc une chronique de débits et de niveaux piézométriques.

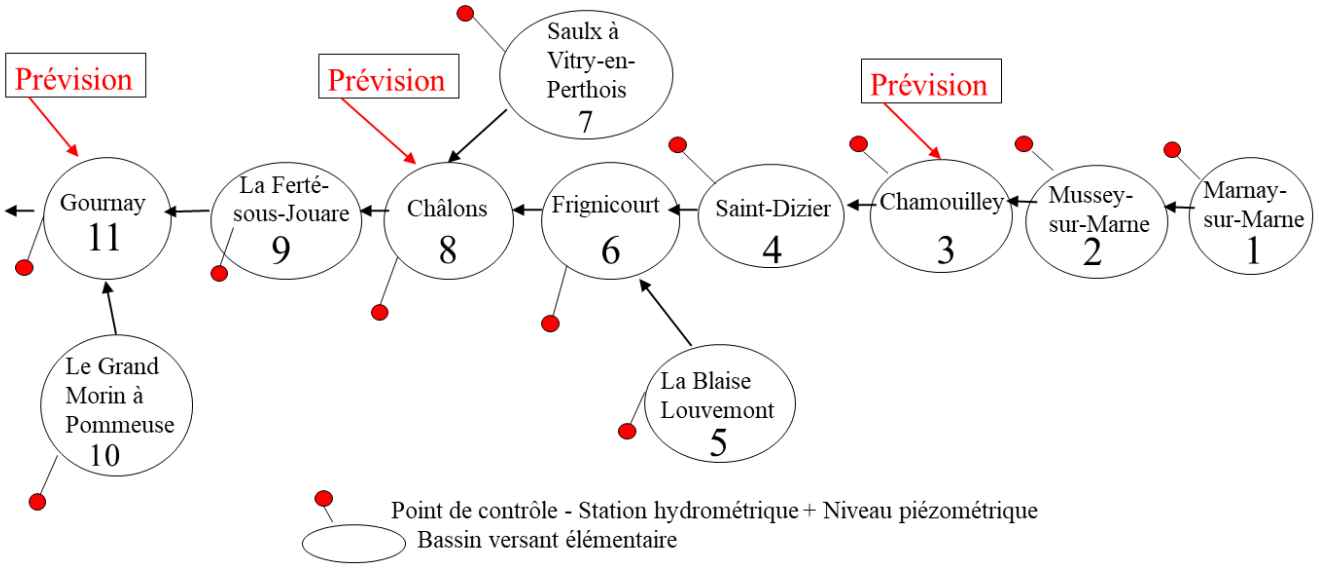



*Figure 13 : Schématisation du modèle semi distribué EROS Marne 2018*

# 3. Calage du modèle

## 3.1. LE PRINCIPE DU CALAGE

Une fois validées, les différentes données d'entrée sont utilisées pour réaliser un calage sur l'ensemble de la période disponible. La Figure 14 montre l'organisation des fichiers nécessaires à une modélisation EROS tant pour le calage que pour la prévision des débits :

- fichiers d'entrée : commande, données d'entrée et paramètres de calage ;
- fichiers et graphiques de sortie : paramètres ajustés et données calculées.

Les données d'entrée doivent être sans lacunes d'observation. Les données de sortie peuvent comporter des lacunes d'observation.

Le calage est un ajustement des différents paramètres afin de reproduire au mieux les débits et les niveaux piézométriques observés. La procédure d'optimisation utilisée est non linéaire. Elle est basée sur la méthode de Rosenbrock. Le critère maximisé est la somme des coefficients de détermination. Ainsi un poids identique est attribué aux différents bassins élémentaires quelle que soit leur taille.

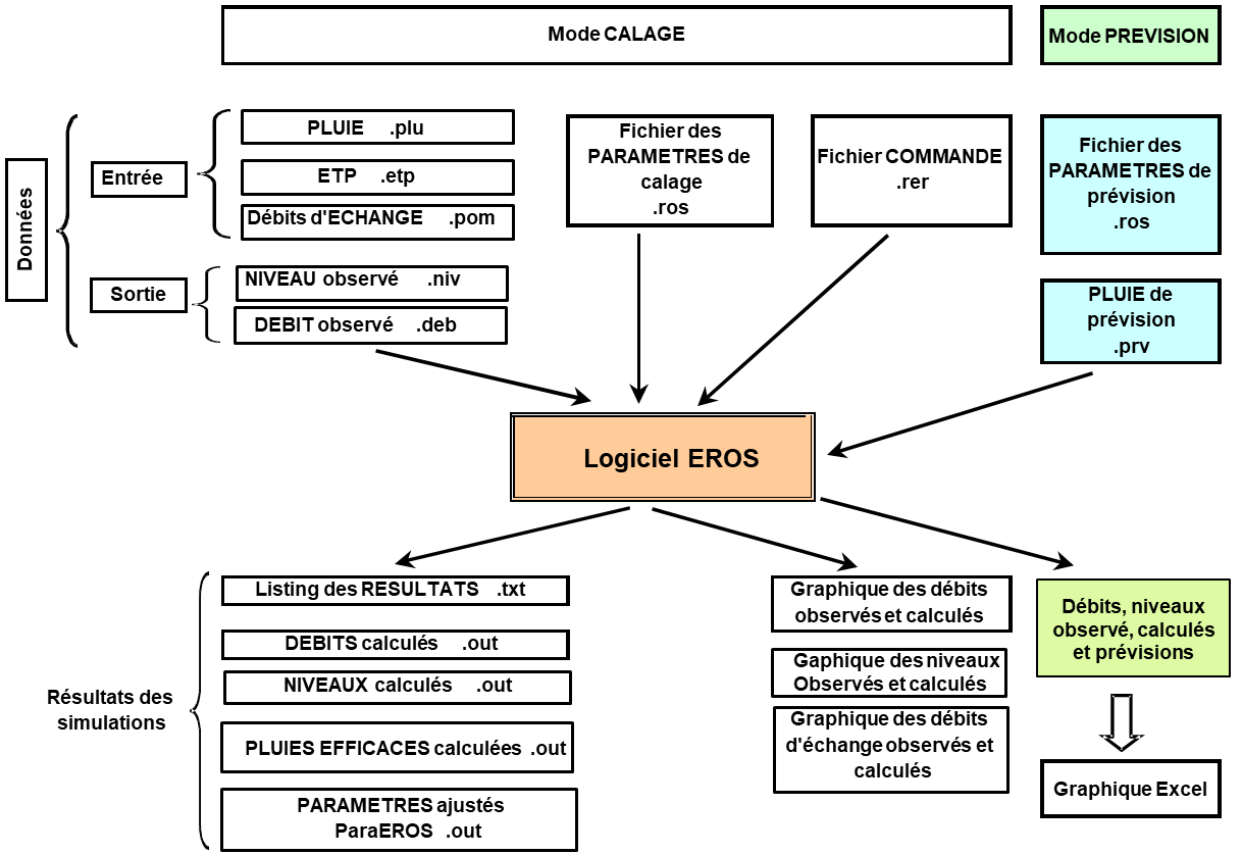



*Figure 14 : Principe de fonctionnement du logiciel EROS (d'après rapport BRGM/RP 63922-FR)*

## 3.2. LES FICHIERS DU MODELE

Pour fonctionner le modèle EROS doit disposer des fichiers suivants :

- des fichiers généraux :
  - un fichier « Arbre de branchement » d'extension [.arbros] : Eros_Marne.arbros,
  - un « Fichier des Paramètres et Options » qui contient les options et les paramètres physiques du modèle. Il a pour extension de fichier [.ros] : Eros_Marne.ros.
- de 5 fichiers contenant les séries temporelles suivantes :
  - un fichier de Pluies : PJ_Marne.txt
  - un fichier d'ETP : ETPJ_Marne.txt
  - un fichier de débits :QJ_Marne.txt
  - un fichiers de piézométrie : PZ_Marne.txt
  - un fichier d'échanges : QJPRELEV_Marne.txt

  Chaque fichier de séries temporelles comprend 11 blocs mis bout à bout chacun étant associé à un bassin élémentaire du modèle.

Tous ces fichiers sont listés dans le « Fichier projet », d'extension [.rer]. L'exemple du fichier Eros_Marne.rer est donné sur la Figure 15.

```
Eros_Marne.rer ×
Fichier projet du code ÉROS (Répertoire des Fichiers)
 #<V7.1># --- Fin du texte libre --- ; Ne pas modifier/retirer cette ligne
Eros_Marne                                                  = Nom générique pour les résultats
Eros_Marne.arbros                                           = Branchement des sous-bassins
Eros_Marne.ros                                              = Paramètres et Options
PJ_Marne.txt                                                = Pluies
ETPJ_Marne.txt                                              = Évapo-Transpirations Potentielles (ETP)
QJ_Marne.txt                                                = Débits de rivières observés
PZ_Marne.txt                                                = Niveaux de nappe observés
                                                            = Températures de l'air
                                                            = Précipitations Neigeuses
                                                            = Pluies pour Prévision
                                                            = Températures pour Prévision
QJPRELEV_Marne.txt                                          = Injections/Prélèvements (en Rivière ou en Nappe)
                                                            = État du Réservoir Sol progressif
                                                            = Applications (épandages) d'engrais
                                                            = Besoins en NO3 des cultures
                                                            = Résidus en NO3 après récolte
                                                            = Minéralisations du sol
                                                            = Concentrations en NO3 dans les rivières
                                                            = Concentrations en NO3 dans les nappes
                                                            = Mailles météo et Pondérations
                                                            = États initiaux
```

*Figure 15 : Exemple de fichier E=Eros_Marne.rer*

La structure du fichier de paramètres d'extension ".ros" est la suivante :

**1** données générales (nom du projet, période de calage, pas de temps des données, coefficient de pondération utilisé pour le calage…)

Ci-dessous quelques lignes extraites des données générales du fichier Eos_Marne.ros :

```
        ***  Paramètres généraux de la simulation : Paragraphe 1 ***
1979=Date de la première année des données (par ex. 2015)
```

6=Nombre d'années de démarrage
*** Paramètres généraux de la simulation : Paragraphe 2 ***
97=Pondération pour la calibration (0=Non ; 99= Racine_Débit; 97= Logar_Débits ; 96=Autre)

**2** bornes des paramètres : elles sont fixées pour l'ensemble des bassins élémentaires, il n'est donc pas possible de les moduler d'un bassin à l'autre

**3** un bloc pour chaque bassin élémentaire avec les paramètres que l'on peut soit fixer, soit optimiser indépendamment soit optimiser en égalant les paramètres de deux bassins élémentaires.

Le fichier d'extension [.arbros] est unique pour l'ensemble des sous-bassins, il décrit les interactions entre les sous-bassins et les séries de données disponibles. Dans le modèle EROS Marne, il y a des observations de débits et de niveaux piézométriques dans tous les sous bassins. Les prélèvements (pompage) sont tous en rivière (code 1) sauf pour le bassin du Grand Morin à Pommeuse (code 2). L'exemple du fichier Eros_Marne.arbros est donnée sur la Figure 16.

#<V7.0># --- Fin du texte libre --- ; Ne pas modifier/retirer cette ligne

| # Num_Ord | Num_BV | Num_Aval | Jonction | Obs_Deb | Obs_Niv | Obs_No3_De | Obs_No3_Ni | Pompage | Nom_Bassin |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | Marnay |
| 2 | 0 | 3 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | Mussey |
| 3 | 0 | 4 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | Chamouilley |
| 4 | 0 | 6 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | St_Dizier |
| 5 | 0 | 6 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | Blaise_Louvem |
| 6 | 0 | 8 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | Compl_Frignic |
| 7 | 0 | 8 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | Saulx_Vitry |
| 8 | 0 | 9 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | Compl_Chalons |
| 9 | 0 | 11 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | Compl_Ferté |
| 10 | 0 | 11 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | Grand_Morin |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | Compl_Gournay |

*Figure 16 : Exemple du fichier Eros_Marne.arbros*

Tous les fichiers doivent être placés dans le même dossier (Figure 17).

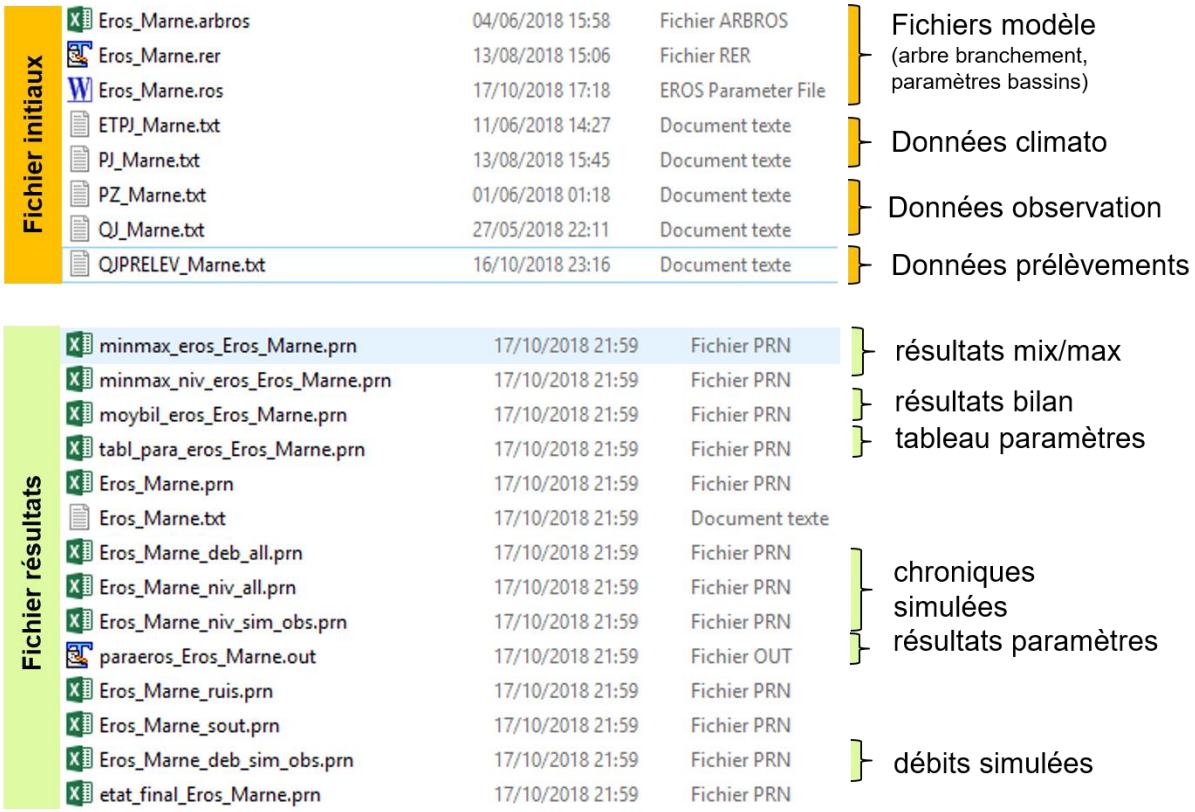



*Figure 17 : Détails du dossier contentant les fichiers d'entrée et de sortie du modèle EROS Marne*

## 3.3. PROPRIETES DU MODELE

### 3.3.1. Propriétés génériques

Le modèle fonctionne au pas de temps journalier. Compte tenu des diverses données disponibles, la période totale considérée s'étend de 1979 à fin septembre 2018 avec :

- une période d'initialisation de 6 ans de 1979 à 1984,
- une période de calage de 19 ans de 1985 à fin décembre 2017.

La période d'initialisation a pour but d'initialiser l'état de remplissage des réservoirs. Elle a été fixée à 6 ans pour prendre en compte l'inertie de certains des systèmes aquifères contributifs concernés.

Selon les sous bassins modélisés, l'intégration du compartiment souterrain est représentée par 1 ou 2 réservoir(s) souterrain(s) ; ce qui implique l'introduction de deux ou quatre paramètres de calage supplémentaires par bassin pour la piézométrie.

Les prélèvements se font essentiellement en cours d'eau sauf pour le Grand Morin pour lequel les prélèvements sont affectés à la nappe (cf. fichier Eros_Marne.arbros).

Les temps de propagation amont - aval sont maintenant considérés dans la version actuelle d'EROS 2018 en nombre de pas de temps contrairement à l'ancienne version.

### 3.3.2. Modifications majeures par rapport à l'ancien modèle

Les modifications majeures apportées par rapport à l'ancienne version sont :

- l'introduction des niveaux piézométriques dans le calage,
- un poids plus important accordé aux périodes d'étiage pour le calage.

La nouvelle version d'EROS permet de nouvelles pondérations appliquées sur les écarts de débits de rivière pour la calibration (cf. fichier Eros_Marne.ros) :

- 99 = Minimisation des écarts sur la racine carrée des débits : (***Valeur conseillée***).

  *Favorise les débits moyens (et les étiages). Donne moins d'importance aux forts débits.*

- 97 = Minimisation des écarts sur le logarithme (décimal) des débits.

  *Favorise fortement les étiages*.

  C'est cette option qui a été choisie pour la modèle EROS Marne.

## 3.4. SYNTHESE DES DONNEES RETENUES APRES CALAGE DU MODELE

Chaque bassin élémentaire possède des paramètres, des séries climatiques (pluie et évapotranspiration) et des prélèvements (en nappe ou en rivière) qui lui sont propres. Ainsi le modèle permet de prendre en compte l'hétérogénéité du bassin versant en terme climatique (Pluie et ETP), de fonctionnement hydraulique (répartition entre le ruissellement superficiel et l'infiltration, contribution des aquifères aux débits des rivières) et de débits d'échange (débits de fuite souterrain et/ou de prélèvements ou apports naturels ou anthropiques).

Les différents paramètres et toutes les données d'entrée disponibles ont été testées pour chaque bassin élémentaire afin d'obtenir le meilleur calage possible. Les données utilisées pour la modélisation EROS sont synthétisés dans le Tableau 12 et sur la Figure 20.

<u>Piézométrie</u>

Si plusieurs piézomètres sont disponibles à l'intérieur ou à proximité du sous bassin, ils ont été testés à un à un et celui apportant le meilleur coefficient d'ajustement a été retenu.

<u>Climatologie</u>

Pour chaque bassin élémentaire, soit une seule série pluviométrique, soit une combinaison simple (moyenne arithmétique) de deux voire trois séries pluviométriques ont été utilisées de façon à être le plus représentatif possible de la pluviométrie moyenne sur la surface considérée. De plus des coefficients de « correction globale », appliqués au poste pluviométrique ou à la moyenne des postes utilisés, ont été ajustés dans le modèle dans des plages de variations plausibles (de 0 à ± 20%) afin de se rapprocher au mieux de cette pluviométrie moyenne sur le sous bassin. A titre indicatif, pour chaque bassin élémentaire, la moyenne interannuelle obtenue sur la période 1979-2017 pour les postes pluviométriques ou leurs combinaisons a été comparée à la pluviométrie moyenne calculée à partir de la carte AURELHY de Météo France (Tableau 12).

Pour l'évapotranspiration potentielle, une seule station météorologique a été affectée par bassin élémentaire en raison du faible nombre de stations calculant l'ETP Penman à l'échelle du bassin. De façon similaire à la pluie, un coefficient de correction a été utilisé pour l'ETP afin d'être le plus représentatif de l'ETP globale et d'améliorer le calage.

Débits d'échange

Une analyse des débits d'échange a été faite et ils ont été recensés par bassin élémentaire afin de créer un fichier de prélèvements. Tous les prélèvements sont en rivière sauf pour le bassin du Grand Morin pour lequel les prélèvements se font dans la nappe.

Rappelons le rôle essentiel du lac réservoir du Der Chantecoq qui présente des débits d'échange importants :

- des prélèvements en Marne et en Blaise ;
- des restitutions en Marne, en Blaise.

Les deux autres prélèvements majeurs en amont de Gournay-sur-Marne sont ceux du canal de l'Ourcq et de l'usine de production d'eau potable d'Annet-sur-Marne.

Les formules d'estimation du débit d'échange ont été reprises de l'ancien modèle pour certains bassins : la Marne à Saint-Dizier, la Marne à Frignicourt, la Marne à la Ferté-sous-Jouarre et la Marne à Gournay en actualisant les valeurs.

Pour d'autres, notamment les bassins versants karstiques de la Blaise à Louvemont et de la Saulx à Vitry-en-Perthois, les valeurs n'ont pas été conservées car les pertes ont été directement intégrées dans le modèle via un facteur d'échange souterrain externe.

Dans le cas d'une perte de débit, ce facteur d'échange souterrain est négatif. Le débit perdu apparaît dans un bassin voisin. Les échanges souterrains affectent la composante souterraine du débit calculé mais n'affectent pas le niveau du réservoir souterrain. Ils n'affectent donc pas le niveau de la nappe calculé.

La formule utilisée dans le modèle est la suivante :

Q_Echang_Souterr = Fact_Echang . QG1_Avant_Echange

d'où :

Q_Echang_Souterr = QG1_résult x Fact_Echang / (1 + Fact_Echang)

| | calage 1985-2017 | stations hydrométriques | | | | stations piézométriques | | | stations pluviométriques | | | pluie Aurhely | stations ETP | | prélèvements |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | données 1979-2017 | Superficie (km²) | surf EROS (km²) | code station module | période | code BSS | MESO | période | nom | code | Moyenne (mm/an) | moy BV EROS (mm/an | nom | code | type données |
| 1 | **La Marne à Marnay-sur-Marne** | 360 | 362.0 | H5011020 3.73 m³/s | 1983 - 2018 | 03732X0002/F1 Val-De-Meuse | B1G007 | 2002-2018 | Langres | 52269001 type 0 | 900 | 959.0 | Saint-Dizier | 52448001 type 0 | |
| 2 | **La Marne à Mussey-sur-Marne** | 1870 | 1500.0 | H5071050 24.2 m3/s | 2001 - 2018 | 03712X0012/P1 Silvarouvres | HG306 | 1976-2014 | Langres | 52269001 type 0 | 900 | 1012.0 | Saint-Dizier | 52448001 type 0 | |
| | | | | | | | | | Cirfontaines | 52131002 type 2 | 943 | | | | |
| 3 | **La Marne à Chamouilley** | 2213 | 384.0 | H5071040 | 1999 - 2018 | 02648X0020/S1 Vaux-Sur-Blaise | HG303 | 1971-2018 (1992-1994) | Cirfontaines | 52131002 type 2 | 943 | 1032.0 | Saint-Dizier | 52448001 type 0 | |
| 4 | **La Marne à Saint-Dizier** | 2380 | 125.0 | H5071010 25.6 m3/s | 1948 - 2018 | 02648X0020/S1 Vaux-Sur-Blaise | HG303 | 1971-2018 (1992-1994) | Saint-Dizier | 52448001 type 0 | 844 | 1025.0 | Saint-Dizier | 52448001 type 0 | -0.21 m3/s - prise à St dizier |
| | | | | | | | | | Louvemont | 52294001 type 4 | 913 | | | | |
| 5 | **La Blaise à Louvemont [Pont-Varin]** | 480 | 463.0 | H5083050 4.79 m3/s | 1987 - 2017 | 02648X0020/S1 Vaux-Sur-Blaise | HG303 | 1971-2018 (1992-1994) | Louvemont | 52294001 type 4 | 913 | 969.7 | Saint-Dizier | 52448001 type 0 | |
| 6 | **La Marne à Frignicourt [après création grand lac]** | 3290 | 458.0 | H5091010 40.4 m3/s | *1959* - 1974 - 2018 | 02267X0030/S1 Hallignicourt | HG005 | 1967-2018 | Louvemont | 52448001 type 0 | 913 | 829.0 | Saint-Dizier | 52448001 type 0 | restitution Marne + restitution Blaise - prise en Blaise |
| 7 | **La Saulx à Vitry-en-Perthois** | 2100 | 2100.0 | H5172010 25.9 m3/s | 1957 - 2018 | 02648X0020/S1 Vaux-Sur-Blaise | HG303 | 1971-2018 (1992-1994) | Frignicourt | 51262001 type 1 | 704 | 1029.0 | Saint-Dizier | 52448001 type 0 | |
| | | | | | | | | | Erneville | 55179001 type 2 | 1052 | | | | |
| | | | | | | | | | Cirfontaines | 52131002 type 2 | 943 | | | | |
| 8 | **La Marne à Châlons-sur-Marne [depuis 02/89]** | 6280 | 901.0 | H5201010 71.8 m3/s | *1957* - 1989 - 2018 | 01584X0023/LV3 Grandes-Loges | HG208 | 1969-2018 | Frignicourt | 51262001 type 1 | 704 | 725.4 | Reims | 51449002 type 0 | |
| 9 | **La Marne à la Ferté-sous-Jouarre** | 8818 | 2472.0 | H5321010 89.8 m3/s | 1993 - 2018 | 01868X0030/S1 Mécringes | HG103 | 1969-2018 | Blesmes | 20944001 type 1 | 749 | 748.1 | Reims | 51449002 type 0 | prl ferté |
| 10 | **Le Grand Morin à Pommeuse** | 770 | 772.0 | H5732010 5.4 m3/s | 1969 - 2018 | 01868X0030/S1 Mécringes | HG103 | 1969-2018 | Chevru | 77113002 type 1 | 720 | 765.3 | Melun | 77306001 type 0 | Prl Grand Morin |
| | | | | | | | | | Blesmes | 20944001 type 1 | 749 | | | | |
| | | | | | | | | | Melun | 77306001 type 0 | 679 | | | | |
| 11 | **La Marne à Gournay-sur-Marne** | 12660 | 3061.0 | H5841020 | *1968* - 1996 - 2018 | 01287X0017/S1 Fresnoy-Le-Luat | HG104 | 1974-2018 | Melun | 77306001 type 0 | 679 | 744.6 | Melun | 77306001 type 0 | - prise canal ourcq - prise AEP Annet - 0.43 m3/s |
| | | | | | | | | | Roissy | 95527001 type 0 | 695 | | | | |

*Tableau 12 : Synthèse des données utilisées pour le modèle EROS Marne*

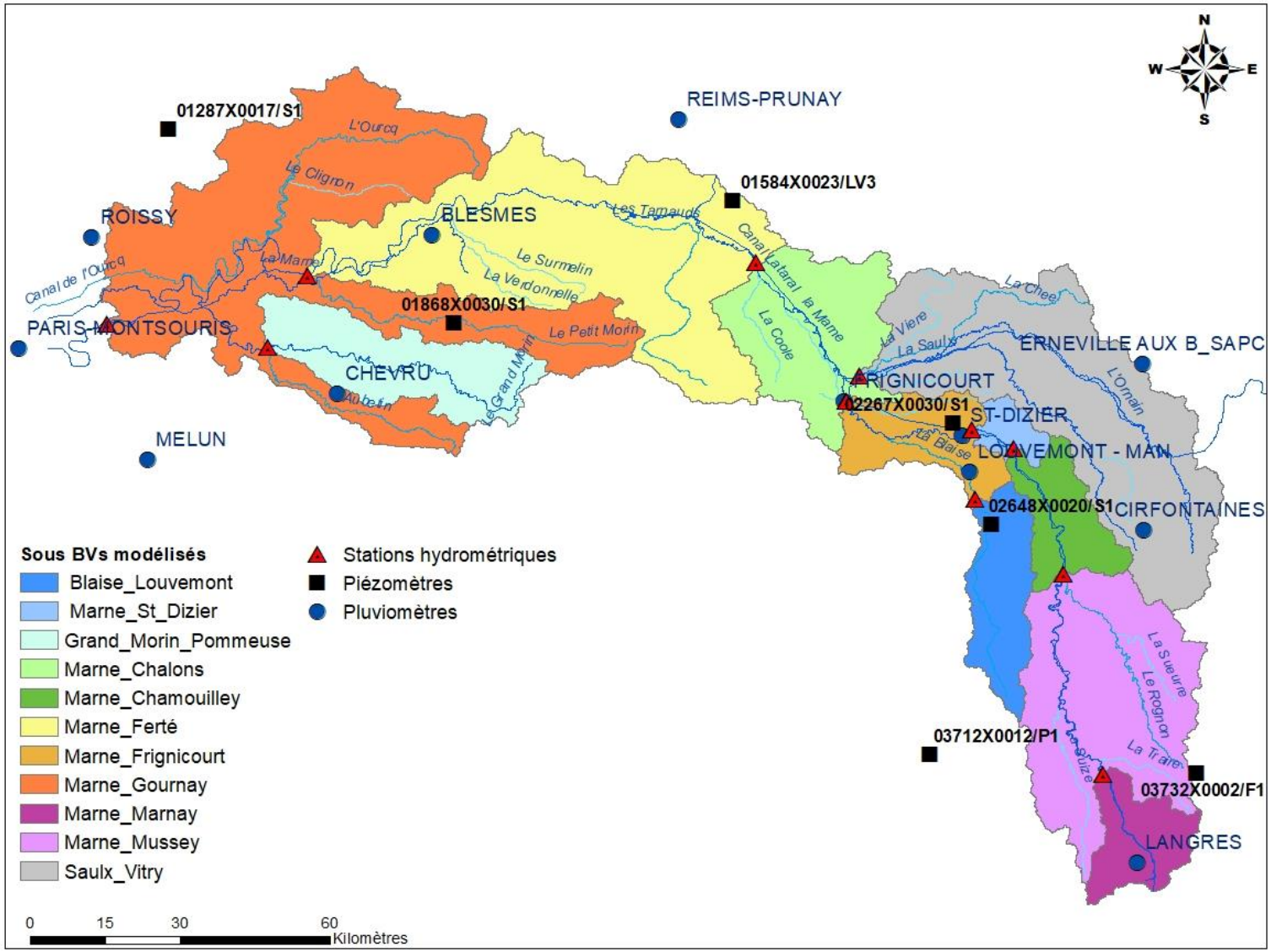



*Figure 18 : Localisation des données utilisées pour le modèle EROS Marne*

## 3.5. COMPARAISON ENTRE L'ANCIENNE ET LA NOUVELLE VERSION DU CODE DE CALCUL EROS

La nouvelle version de EROS (v7.1) plus performante a été retenue pour ce nouveau modèle. Cette version intègre de nouveaux développements notamment des coefficients d'ajustement plus appropriés au calage des étiages ou encore la possibilité de simuler les transferts de nitrates dans la nappe.

Le Tableau 13 et la Figure 19 ci-dessous présentent des résultats obtenus pour un calage intermédiaire permettant d'évaluer les améliorations de la performance de calage entre l'ancienne et la nouvelle version d'EROS.

Les grandeurs exprimées dans les tableaux de comparaison de performance entre l'ancienne version d'EROS et la nouvelle version sont définies ci-dessous ; ces valeurs font référence uniquement aux débits calculés :

- Min_Obser , Min_Simul = Valeurs minimales sur la période de calibration
- Max_Obser , Max_Simul = Valeurs maximales sur la période de calibration
- Moy_Obser , Moy_Simul = Valeurs moyennes sur la période de calibration
- ÉcTyp_Obser , ÉcTyp_Simul = Écarts-types sur la période de calibration
- Biais_m3/s = Biais (moyenne simulée - moyenne observée) du débit
- Biais_% = Biais exprimé en % de la moyenne [moyenne observée , moyenne simulée]
- Biais_%_Abs = Valeur absolue du Biais exprimé en %
- Biais_Rapp = Biais exprimé par le rapport (moyenne simulée) / (moyenne observée)
- Biais/Ety_% = Biais exprimé en % de l'écart-type [Écart-type observé , Écart-type simulé]
- Nbre_Obs = Nombre d'observations retenues (entre les bornes) sur la période de calibration
- Coef_correl = coefficient de corrélation utilisé pour le calage du modèle

Les valeurs maximales apparaissent à titre indicatif car le calage est orienté plutôt sur les périodes d'étiages.

Les graphiques de la Figure 19 présentent les nuages de points et les ajustements linéaires réalisés pour les débits minimums et moyens simulés vs observés pour chaque bassin élémentaire. On voit que les ajustements sont meilleurs pour la nouvelle version d'EROS. Le coefficient directeur de la droite d'ajustement et le coefficient de corrélation pour la nouvelle version d'EROS est plus proche de 1 pour les valeurs minimales. Le même constat est fait pour les valeurs moyennes.

Les valeurs améliorées dans la nouvelle version d'EROS sont mises en évidence en couleur dans le Tableau 13. Les débits minimums sont nettement améliorés pour les bassins de la Marne à la Ferté sous-Jouarre et de la Marne à Gournay. Les débits moyens simulés sont tous meilleurs dans la nouvelle version d'EROS (sauf pour le Grand Morin où les valeurs sont équivalentes) ainsi que les biais calculés.

**old eros piezo**

| Nom | Min_Obser | Min_Simul | Max_Obser | Max_Simul | Moy_Obser | Moy_Simul | ÉcTyp_ Obser | ÉcTyp_ Simul | Biais_m3s | Biais_% | Nbr_Obs | coef_correl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Marnay | 0.38 | 0.78 | 48.40 | 47.53 | 3.73 | 3.36 | 4.39 | 3.63 | -0.37 | -10.42 | 12052.00 | 0.87 |
| Mussey | 1.51 | 1.16 | 276.00 | 219.40 | 24.63 | 21.15 | 30.16 | 24.57 | -3.48 | -15.21 | 6188.00 | 0.91 |
| Chamouilley | 0.43 | 1.17 | 370.00 | 250.65 | 30.64 | 24.83 | 38.18 | 28.70 | -5.81 | -20.94 | 6611.00 | 0.90 |
| St_Dizier | 0.00 | 0.00 | 190.00 | 227.75 | 21.76 | 18.08 | 27.88 | 24.17 | -3.68 | -18.45 | 11957.00 | 0.83 |
| Blaise_Louvem | 0.11 | 0.00 | 42.20 | 49.71 | 4.78 | 4.07 | 6.08 | 5.43 | -0.71 | -16.09 | 10429.00 | 0.91 |
| Compl_Frignic | 0.00 | 0.00 | 236.00 | 293.09 | 40.98 | 38.71 | 35.96 | 33.56 | -2.27 | -5.69 | 11659.00 | 0.89 |
| Saulx_Vitry | 0.34 | 0.00 | 210.00 | 208.67 | 27.04 | 22.49 | 30.56 | 24.43 | -4.55 | -18.35 | 11601.00 | 0.91 |
| Compl_Chalons | 2.20 | 2.26 | 466.00 | 507.41 | 69.82 | 68.12 | 66.59 | 61.40 | -1.70 | -2.47 | 10498.00 | 0.93 |
| Compl_Ferté | 12.10 | 10.47 | 474.00 | 581.41 | 91.99 | 85.70 | 73.92 | 68.82 | -6.30 | -7.09 | 8945.00 | 0.91 |
| Grand_Morin | 1.07 | 0.82 | 95.00 | 88.36 | 5.24 | 4.94 | 6.19 | 4.69 | -0.30 | -5.96 | 12053.00 | 0.89 |
| Compl_Gournay | 14.29 | 18.17 | 544.00 | 611.56 | 106.62 | 95.87 | 86.94 | 71.16 | -10.75 | -10.62 | 11995.00 | 0.91 |

**new eros piezo**

| Nom_Bassin | Min_Obser | Min_Simul | Max_Obser | Max_Simul | Moy_Obser | Moy_Simul | ÉcTyp_ Obser | ÉcTyp_ Simul | Biais_m3s | Biais_% | Nbr_Obs | coef_correl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Marnay | 0.38 | 0.85 | 48.40 | 52.30 | 3.73 | 3.78 | 4.39 | 4.12 | 0.05 | 1.34 | 12052.00 | 0.88 |
| Mussey | 1.51 | 1.28 | 276.00 | 247.31 | 24.63 | 23.13 | 30.16 | 26.67 | -1.50 | -6.29 | 6188.00 | 0.92 |
| Chamouilley | 0.43 | 1.29 | 370.00 | 266.19 | 30.64 | 27.38 | 38.18 | 31.30 | -3.27 | -11.25 | 6611.00 | 0.92 |
| St_Dizier | 0.00 | 0.00 | 190.00 | 242.57 | 21.76 | 20.27 | 27.88 | 26.43 | -1.49 | -7.07 | 11957.00 | 0.85 |
| Blaise_Louvem | 0.11 | 0.00 | 42.20 | 55.55 | 4.78 | 4.36 | 6.08 | 5.87 | -0.41 | -9.08 | 10429.00 | 0.91 |
| Compl_Frignic | 0.00 | 0.00 | 236.00 | 289.69 | 40.98 | 41.29 | 35.96 | 36.09 | 0.31 | 0.77 | 11659.00 | 0.89 |
| Saulx_Vitry | 0.34 | 0.00 | 210.00 | 219.80 | 27.04 | 24.20 | 30.56 | 25.74 | -2.84 | -11.07 | 11601.00 | 0.92 |
| Compl_Chalons | 2.20 | 2.28 | 466.00 | 519.36 | 69.82 | 72.81 | 66.59 | 65.49 | 2.99 | 4.19 | 10498.00 | 0.93 |
| Compl_Ferté | 12.10 | 11.64 | 474.00 | 558.11 | 91.99 | 90.81 | 73.92 | 70.82 | -1.19 | -1.30 | 8945.00 | 0.92 |
| Grand_Morin | 1.07 | 0.95 | 95.00 | 113.72 | 5.24 | 5.65 | 6.19 | 5.45 | 0.40 | 7.42 | 12053.00 | 0.91 |
| Compl_Gournay | 14.29 | 14.43 | 544.00 | 641.85 | 106.62 | 108.45 | 86.94 | 81.87 | 1.83 | 1.70 | 11995.00 | 0.93 |

*Tableau 13 : Comparaison des performances du modèle entre l'ancienne version (en haut) et la nouvelle version (en bas) d'EROS*

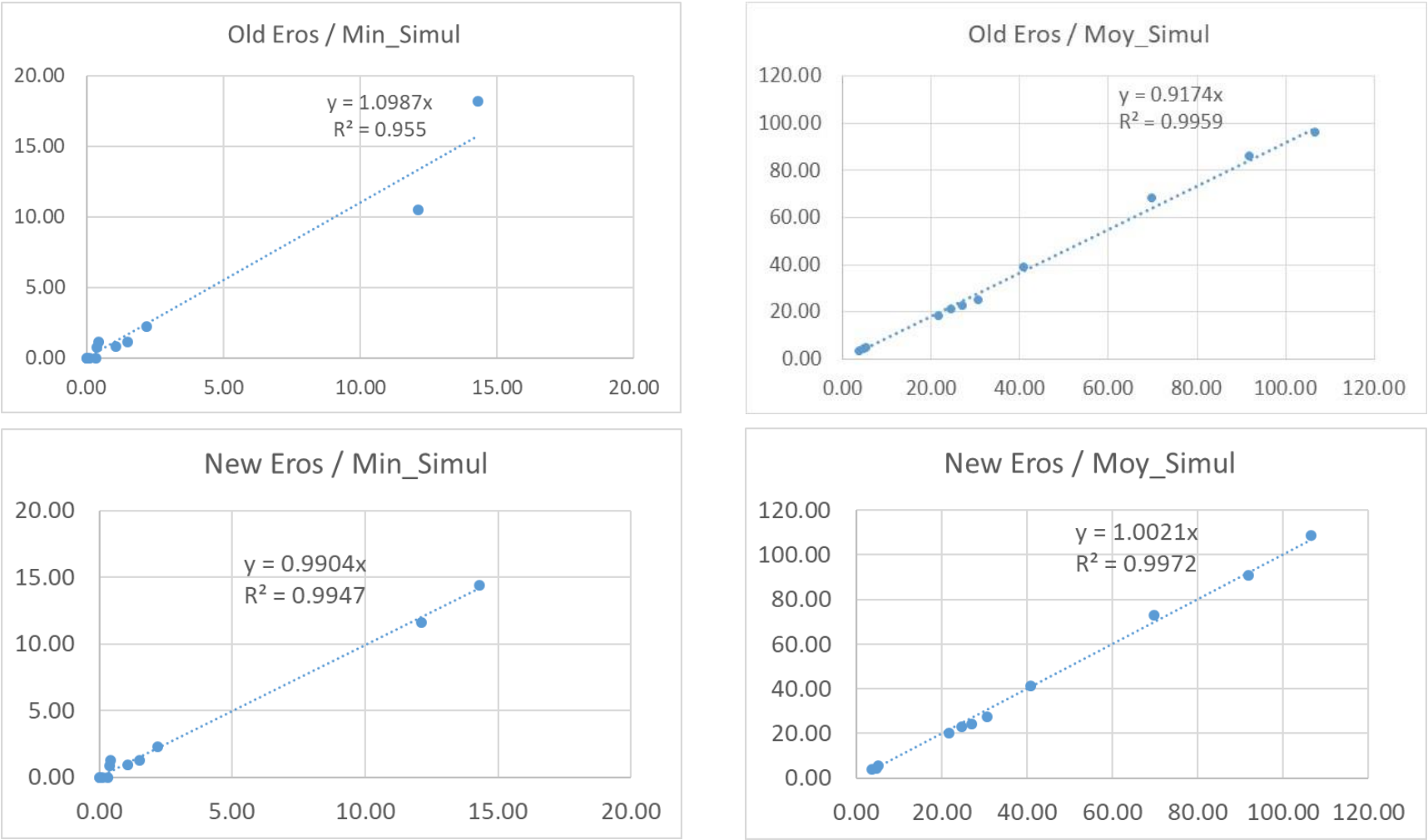



*Figure 19 : Comparaison des performances du modèle entre l'ancienne version (figures du haut) et la nouvelle version d'EROS (figures du bas) pour les débits minimums et moyens calculés pour chaque bassin élémentaire – en m3/s*

## 3.6. ANALYSE DE L'AMELIORATION DU MODELE AVEC L'INTEGRATION DE LA PIEZOMETRIE

### 3.6.1. Comparaison des valeurs minimales, moyennes et maximales

Une comparaison des résultats des calages « avec ou sans piézométrie » a été réalisée pour chaque bassin élémentaire. Elle est présentée dans le Tableau 14.

Les valeurs simulées minimales sont améliorées par l'intégration des piézomètres notamment pour les bassins dont le débit minimal observé est supérieur à 10 $m^3/s$. Pour les bassins de la Marne à la Ferté et la Marne à Gournay, le modèle simule des débits minimums trop faibles sans la prise en compte des piézomètres. En intégrant la piézométrie, le coefficient directeur de la loi d'ajustement passe de 0.59 à 0.99 (Figure 20).

Concernant les débits moyens, les performances sont quasiment équivalentes pour le modèle avec et sans piézomètres (Figure 20).

**new eros piezo**

| Nom_Bassin | Min_Obser | Min_Simul | Max_Obser | Max_Simul | Moy_Obser | Moy_Simul | MenMn _Obs. | MenMn _Sim. | ÉcTyp _Obser | ÉcTyp _Simul | Biais_m3s | Biais_% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Marnay | 0.38 | 0.82 | 48.40 | 52.19 | 3.73 | 3.75 | 1.18 | 1.29 | 4.39 | 4.12 | 0.02 | 0.65 |
| Mussey | 1.51 | 1.19 | 276.00 | 256.84 | 24.63 | 22.59 | 4.08 | 4.02 | 30.16 | 26.72 | -2.04 | -8.64 |
| Chamouilley | 0.43 | 1.20 | 370.00 | 270.81 | 30.64 | 27.47 | 11.98 | 10.70 | 38.18 | 31.65 | -3.17 | -10.91 |
| St_Dizier | 0.00 | 0.00 | 190.00 | 252.12 | 21.76 | 19.66 | 6.13 | 3.64 | 27.88 | 26.29 | -2.10 | -10.16 |
| Blaise_Louvem | 0.11 | 0.01 | 42.20 | 55.04 | 4.78 | 4.74 | 0.86 | 0.81 | 6.08 | 5.52 | -0.04 | -0.81 |
| Compl_Frignic | 0.00 | 0.00 | 236.00 | 310.49 | 40.98 | 41.45 | 12.94 | 13.18 | 35.96 | 35.31 | 0.47 | 1.15 |
| Saulx_Vitry | 0.34 | 0.05 | 210.00 | 250.24 | 27.04 | 26.20 | 5.15 | 5.11 | 30.56 | 28.31 | -0.84 | -3.15 |
| Compl_Chalons | 2.20 | 2.71 | 466.00 | 530.07 | 69.82 | 75.43 | 21.88 | 24.97 | 66.59 | 66.66 | 5.61 | 7.72 |
| Compl_Ferté | 12.10 | 11.12 | 474.00 | 700.03 | 91.99 | 92.21 | 48.29 | 52.55 | 73.92 | 73.25 | 0.22 | 0.24 |
| Grand_Morin | 1.07 | 1.35 | 95.00 | 126.11 | 5.24 | 5.21 | 2.40 | 2.45 | 6.19 | 5.82 | -0.03 | -0.62 |
| Compl_Gournay | 14.29 | 14.94 | 544.00 | 787.41 | 106.62 | 108.04 | 43.91 | 49.31 | 86.94 | 82.55 | 1.42 | 1.32 |

**new eros sans piezo**

| Nom_Bassin | Min_Obser | Min_Simul | Max_Obser | Max_Simul | Moy_Obser | Moy_Simul | MenMn _Obs. | MenMn _Sim. | ÉcTyp _Obser | ÉcTyp _Simul | Biais_m3s | Biais_% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Marnay | 0.38 | 0.12 | 48.40 | 54.21 | 3.73 | 3.60 | 1.18 | 0.82 | 4.39 | 4.13 | -0.13 | -3.52 |
| Mussey | 1.51 | 0.60 | 276.00 | 246.01 | 24.63 | 24.27 | 4.08 | 4.68 | 30.16 | 26.74 | -0.36 | -1.47 |
| Chamouilley | 0.43 | 0.60 | 370.00 | 264.51 | 30.64 | 28.34 | 11.98 | 11.15 | 38.18 | 31.79 | -2.30 | -7.80 |
| St_Dizier | 0.00 | 0.00 | 190.00 | 244.33 | 21.76 | 20.48 | 6.13 | 4.32 | 27.88 | 26.79 | -1.28 | -6.08 |
| Blaise_Louvem | 0.11 | 0.01 | 42.20 | 56.03 | 4.78 | 4.65 | 0.86 | 0.74 | 6.08 | 5.70 | -0.13 | -2.73 |
| Compl_Frignic | 0.00 | 0.00 | 236.00 | 283.52 | 40.98 | 41.93 | 12.94 | 13.43 | 35.96 | 35.59 | 0.95 | 2.30 |
| Saulx_Vitry | 0.34 | 0.01 | 210.00 | 244.72 | 27.04 | 25.80 | 5.15 | 4.81 | 30.56 | 28.99 | -1.24 | -4.69 |
| Compl_Chalons | 2.20 | 2.02 | 466.00 | 506.31 | 69.82 | 73.88 | 21.88 | 24.88 | 66.59 | 65.68 | 4.06 | 5.66 |
| Compl_Ferté | 12.10 | 5.86 | 474.00 | 561.27 | 91.99 | 91.69 | 48.29 | 51.01 | 73.92 | 73.87 | -0.30 | -0.33 |
| Grand_Morin | 1.07 | 1.33 | 95.00 | 126.44 | 5.24 | 5.27 | 2.40 | 2.46 | 6.19 | 5.77 | 0.03 | 0.56 |
| Compl_Gournay | 14.29 | 9.63 | 544.00 | 657.48 | 106.62 | 106.76 | 43.91 | 44.75 | 86.94 | 85.34 | 0.13 | 0.12 |

*Tableau 14 : Comparaison des performances du modèle calé avec intégration des piézomètres (en haut) et sans piézomètres (en bas)*

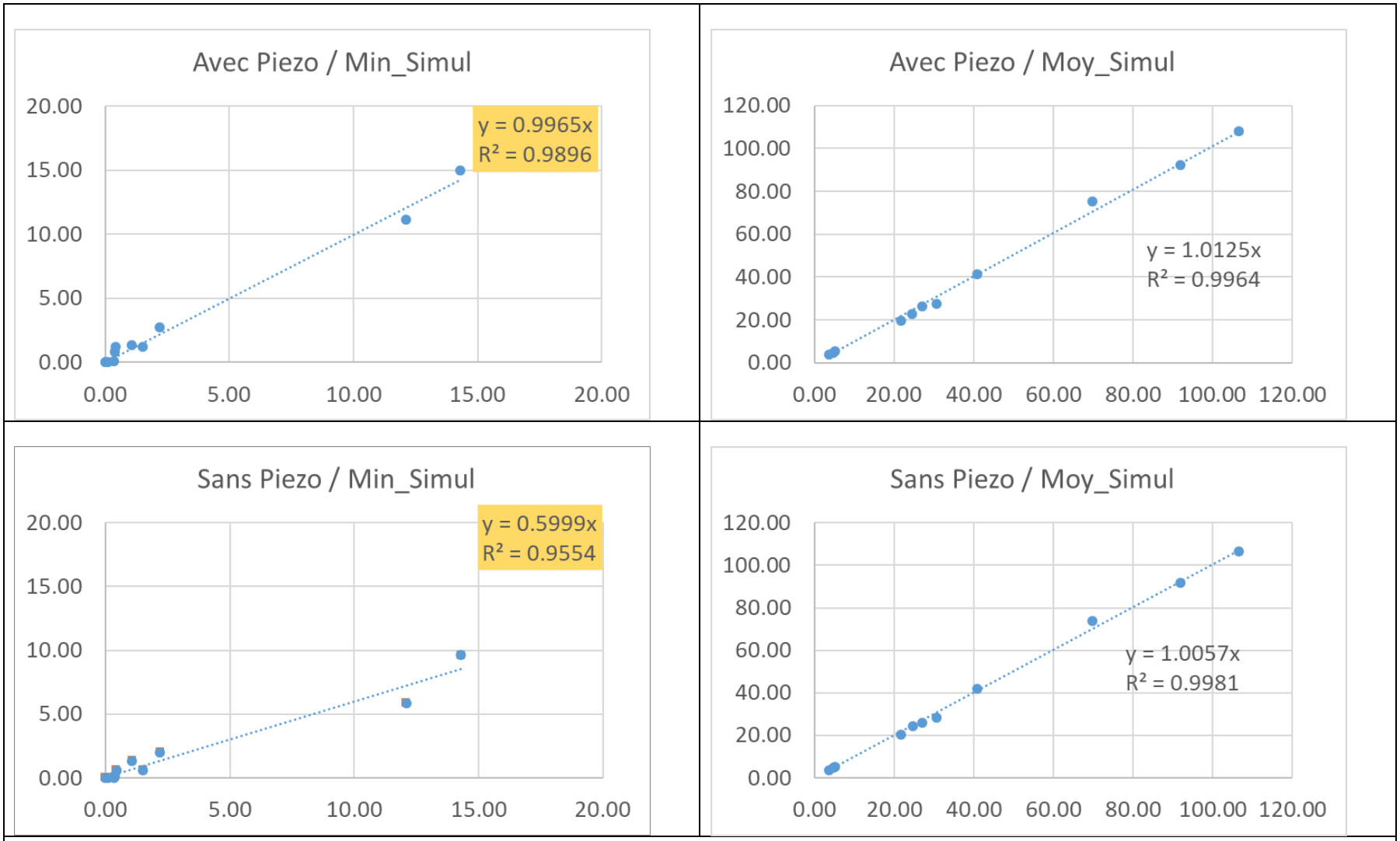



*Figure 20 : Comparaison des performances du modèle avec piézomètres (figures du haut) et sans piézomètres (figures du bas) pour les débits minimums et moyens calculés pour chaque bassin élémentaire – en m3/s*

### 3.6.2. Comparaison des coefficients d'ajustement du modèle

Le calage du modèle montre une restitution satisfaisante à la fois des débits et des niveaux piézométriques. Les coefficients d'ajustement obtenus sans piézomètre (uniquement pour les débits) et avec piézomètres (débits et niveaux piézométriques) sont présentés dans le Tableau 15. Le modèle Marne, incluant la composante souterraine, est ainsi plus robuste et permet de dresser des bilans hydrologiques à l'échelle des sous-bassins. Le rôle de soutien, d'étiage par les eaux souterraines est mieux retranscrit.

Les résultats de simulation des niveaux piézométriques sont cependant moins bons dans les secteurs comportant des zones karstiques. Dans ces secteurs, il y a peu de piézomètres présentant de longues séries continues ; le choix est donc restreint et la reproduction de ces chroniques plus complexe. Le comportement atypique de ces piézomètres, ayant une représentativité très locale, est très difficile à reproduire dans un modèle pluie-débit-niveau semi-distribué.

En conclusion, les coefficients d'ajustement des débits sont équivalents avec et sans piézomètres. Les coefficients d'ajustement sur les piézomètres sont un peu moins bons par rapport à ceux obtenus sur les débits mais restent tout de même satisfaisants. L'introduction du compartiment souterrain permet alors d'obtenir un modèle plus robuste et un jeu de paramètres plus unique.

| | **sans piézo** | | **avec piézomètres** | |
|---|---|---|---|---|
| Nom_Bassin | coef_correl | | coef_correl_Débits | coef_correl_niveaux |
| Marnay | 0.89 | | 0.88 | 0.85 |
| Mussey | 0.92 | | 0.92 | 0.83 |
| Chamouilley | 0.93 | | 0.93 | 0.83 |
| St_Dizier | 0.85 | | 0.85 | 0.87 |
| Blaise_Louvem | 0.92 | | 0.92 | 0.88 |
| Compl_Frignic | 0.89 | | 0.89 | 0.89 |
| Saulx_Vitry | 0.95 | | 0.95 | 0.87 |
| Compl_Chalons | 0.94 | | 0.93 | 0.91 |
| Compl_Ferté | 0.93 | | 0.92 | 0.88 |
| Grand_Morin | 0.92 | | 0.92 | 0.87 |
| Compl_Gournay | 0.94 | | 0.94 | 0.91 |
| Moyenne | 0.91 | | 0.91 | 0.87 |

*Tableau 15 : Comparaison des coefficients d'ajustement sans piézomètres (à gauche) et avec piézomètres (à droite)*

### 3.6.3. Comparaison des bilans hydrologiques

Le Tableau 16 présente un comparatif des différents termes du bilan hydrologique pour un calage avec et sans piézomètres.

A Chamouilley et à Châlons-sur-Marne, la pluie efficace est plus forte dans la modélisation avec piézomètres, de l'ordre de 20% supplémentaire. A Chamouilley, cela est dû au fait que le

coefficient correcteur sur l'ETP est moins élevé donc moins d'ETR et donc plus de pluie efficace. A Châlons-sur-Marne, la réserve utile « progressive » est moins élevé dans le nouveau calage ; ce qui a pour conséquence d'augmenter la pluie efficace.

A Saint-Dizier et Frignicourt, la répartition entre écoulement souterrain et écoulement rapide n'est pas la même pour les simulations avec et sans piézomètres. On obtient une plus forte contribution des eaux souterraines dans les deux cas pour la simulation avec piézomètres.

**new eros piezo**

| Nom_Bassin | Superfic Cor (km²) | Pluie | ETP | ETR | Pluie Effic | Q_rapide | Qsout1 | Qsout2 | Qéchang | Di_Stock | Alim Sout1 | Alim Sout2 | %Qsout | %Qéchang | %Qrapide |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Marnay | 360 | 873 | 720 | 545 | 328 | 222 | 24 | 82 | 0 | 0 | 106 | 82 | 32 | 0 | 68 |
| Mussey | 1500 | 1071 | 746 | 612 | 459 | 366 | 72 | 0 | -21 | 0 | 93 | 0 | 16 | -5 | 80 |
| Chamouilley | 384 | 904 | 799 | 599 | 305 | 74 | 280 | 0 | 49 | 0 | 231 | 0 | 79 | 16 | 24 |
| St_Dizier | 125 | 1026 | 790 | 633 | 393 | 41 | 351 | 0 | 0 | 1 | 352 | 0 | 90 | 0 | 10 |
| Blaise_Louvem | 463 | 981 | 786 | 617 | 364 | 98 | 233 | 0 | -33 | 1 | 266 | 0 | 70 | -9 | 27 |
| Compl_Frignic | 458 | 1074 | 788 | 626 | 448 | 155 | 11 | 280 | 0 | 1 | 292 | 280 | 65 | 0 | 35 |
| Saulx_Vitry | 2100 | 1045 | 785 | 644 | 400 | 68 | 320 | 0 | -11 | 1 | 332 | 0 | 82 | -3 | 17 |
| Compl_Chalons | 901 | 785 | 752 | 495 | 291 | 247 | 42 | 0 | 0 | 1 | 42 | 0 | 15 | 0 | 85 |
| Compl_Ferté | 2472 | 738 | 755 | 526 | 212 | 20 | 192 | 0 | 0 | 0 | 192 | 0 | 91 | 0 | 9 |
| Grand_Morin | 772 | 776 | 706 | 555 | 221 | 86 | 94 | 34 | 0 | 2 | 135 | 35 | 60 | 0 | 39 |
| Compl_Gournay | 3061 | 771 | 798 | 614 | 157 | 112 | 15 | 27 | 0 | 3 | 45 | 31 | 27 | 0 | 71 |

**new eros sans piezo**

| Nom_Bassin | Superfic Cor (km²) | Pluie | ETP | ETR | Pluie Effic | Q_rapide | Qsout1 | Qsout2 | Qéchang | Di_Stock | Alim Sout1 | Alim Sout2 | %Qsout | %Qéchang | %Qrapide |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Marnay | 360 | 873 | 720 | 558 | 316 | 185 | 60 | 70 | 0 | 0 | 130 | 70 | 41 | 0 | 59 |
| Mussey | 1500 | 1064 | 746 | 608 | 457 | 363 | 115 | 0 | 22 | 0 | 93 | 0 | 24 | 5 | 79 |
| Chamouilley | 384 | 904 | 940 | 655 | 250 | 57 | 224 | 0 | 32 | 0 | 192 | 0 | 80 | 13 | 23 |
| St_Dizier | 125 | 1026 | 790 | 632 | 394 | 104 | 290 | 0 | 0 | 0 | 290 | 0 | 74 | 0 | 26 |
| Blaise_Louvem | 463 | 981 | 786 | 614 | 367 | 97 | 226 | 0 | -43 | 1 | 270 | 0 | 70 | -12 | 26 |
| Compl_Frignic | 458 | 1074 | 788 | 643 | 431 | 241 | 3 | 185 | 0 | 1 | 188 | 185 | 44 | 0 | 56 |
| Saulx_Vitry | 2100 | 1045 | 785 | 642 | 403 | 46 | 336 | 0 | -20 | 1 | 356 | 0 | 88 | -5 | 11 |
| Compl_Chalons | 901 | 785 | 752 | 549 | 236 | 189 | 46 | 0 | 0 | 1 | 46 | 0 | 19 | 0 | 80 |
| Compl_Ferté | 2472 | 687 | 755 | 465 | 222 | 1 | 220 | 0 | 0 | 1 | 221 | 0 | 99 | 0 | 1 |
| Grand_Morin | 772 | 776 | 706 | 556 | 221 | 81 | 59 | 75 | 0 | -1 | 139 | 73 | 62 | 0 | 37 |
| Compl_Gournay | 3061 | 771 | 880 | 621 | 150 | 97 | 17 | 32 | 0 | 3 | 53 | 36 | 34 | 0 | 65 |

*Tableau 16 : Comparaison des bilans hydrologiques pour les modèles avec (en haut) et sans piézomètres (en bas) (termes du bilan exprimés en mm)*

## 3.7. RESULTATS DU CALAGE

Les résultats du calage sont présentés pour chaque bassin élémentaire de la façon suivante :

- comparaison des débits observés (en rouge) et simulés (en bleu) au pas de temps journalier sur toute la plage des débits et toute la période de simulation,
- comparaison des débits observés (en rouge) et simulés (en bleu) pour la plage des faibles débits sur toute la période de simulation,
- comparaison des niveaux piézométriques observés et simulés.

Les débits simulés de la Marne à Marnay sont généralement supérieurs aux débits observés en période d'étiage. On observe un écart pouvant atteindre 0.5 $m^3/s$ certaines années (Figure 21). Ce biais entre simulation et observation pourrait être réduit en introduisant des prélèvements en cours d'eau mais cela nécessite une meilleure connaissance des prélèvements sur ce bassin. Dans la BNPE, les débits prélevés pour l'AEP pour l'année 2015 dans ce bassin s'élève à 0.078 $m^3/s$ ce qui revient à un débit net de 0.019 $m^3/s$ (Tableau 11). Cela est insuffisant pour compenser l'écart de simulation. Il apparaît dans la BNPE des volumes attribués aux canaux mais ceux-ci ne sont pas précisément connus.

Les débits d'étiage de la Marne à Mussey sont bien restitués (Figure 22).

De même, les débits à la station de Chamouilley, station non influencée par les prélèvements du lac-réservoir juste en aval, sont bien simulés par le modèle (Figure 23).

Les débits à la station de Saint-Dizier sont clairement influencés par les prélèvements du lac-réservoir. Les débits simulés sont parfois nuls car les volumes prélevés sont plus importants que ceux simulés dans le cours d'eau (Figure 24).

Le piézomètre de Vaux-sur-Blaise 02648X0020/S1 (utilisé pour les bassins de la Marne à Saint-Dizier, de la Marne à Chamouilley de la Blaise à Louvemont et de la Saulx à Vitry) semble influencé par les prélèvements (Figure 24). Ceci n'est pas bien restitué dans le modèle car tous les prélèvements sont attribués directement au cours d'eau. Malheureusement, il n'y a pas d'autre piézomètre dans le secteur.

Les débits d'étiage de la Blaise à Louvemont ont été largement amélioré en retirant les prélèvements qui étaient attribués aux fuites karstiques et en les remplaçant par un débit de fuite directement dans le modèle comme paramètre de calibration (Figure 25).

Les débits d'étiage de la Marne à Frignicourt sont trop faibles, ceci est dû à l'impact trop fort des prélèvements attribués au cours d'eau (somme des restitutions en Marne et en Blaise moins la prise en Blaise). La chronique piézométrique 02267X0030/S1 d'Hallignicourt affectée à ce bassin est très bien restituée (Figure 26).

Les débits d'étiage de la Saulx à Vitry sont relativement bien simulés (Figure 27). Comme pour le bassin de la Blaise, le fait de changer le mode d'attribution des pertes karstiques dans la modélisation a amélioré la simulation des faibles débits.

Les débits d'étiage de la Marne à Châlons-sur-Marne et à la Ferté-sous-Jouarre sont relativement bien représentés par le modèle (Figure 28 et Figure 29).

Le bassin du Grand Morin est un bassin versant crayeux, on peut observer un soutien au débit d'étiage par la nappe très marqué. Les débits d'étiage sont bien simulés par le modèle (Figure 30).

Le piézomètre 01287X0017/S1 de Fresnoy-Le-Luat du bassin de la Marne à Gournay est marqué par de grands cycles pluriannuels difficiles à reproduire en modélisation si la période d'observation n'est pas assez longue (Figure 31).

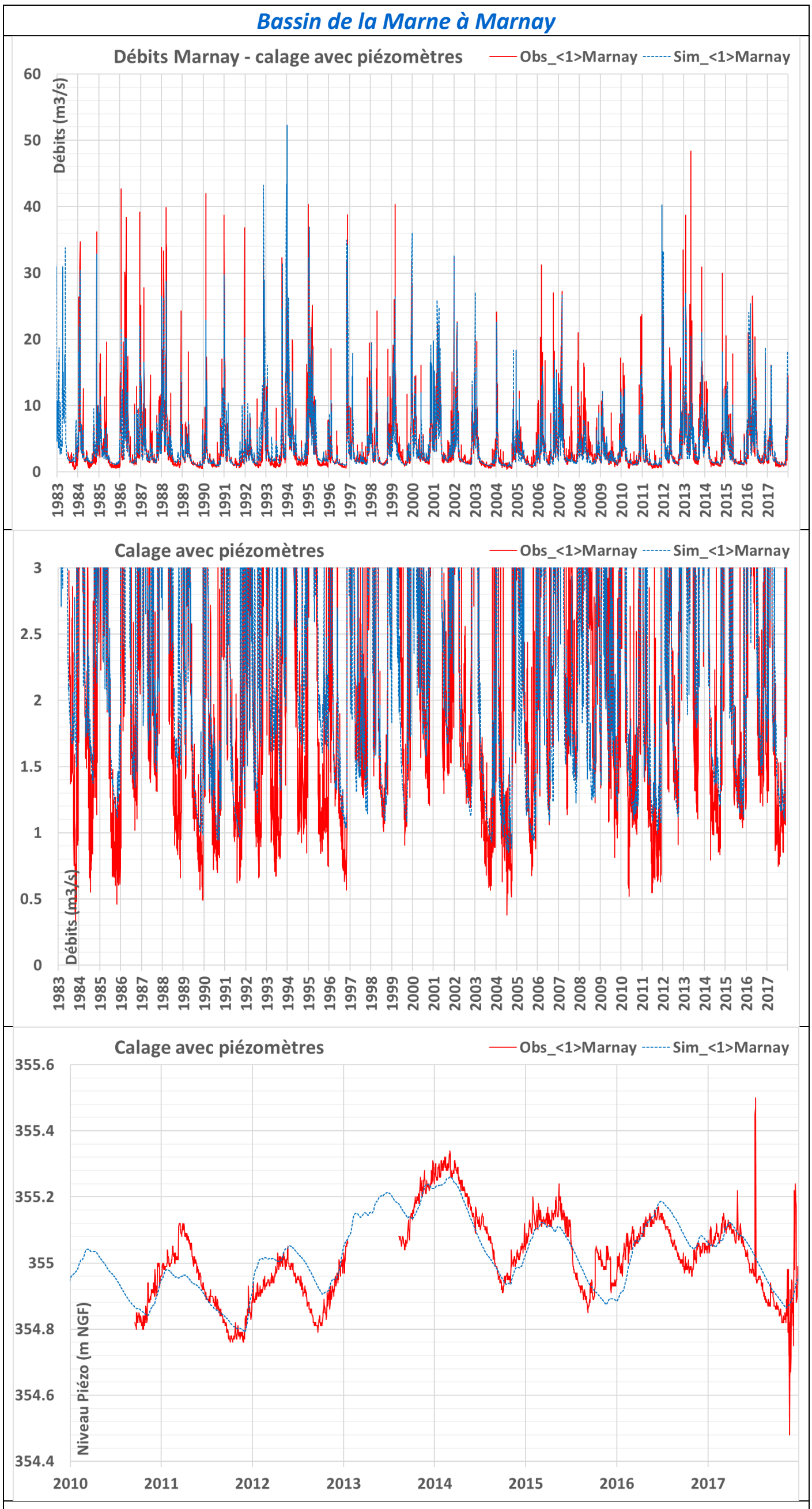



*Figure 21 : Résultats de calage pour le bassin de la Marne à Marnay*

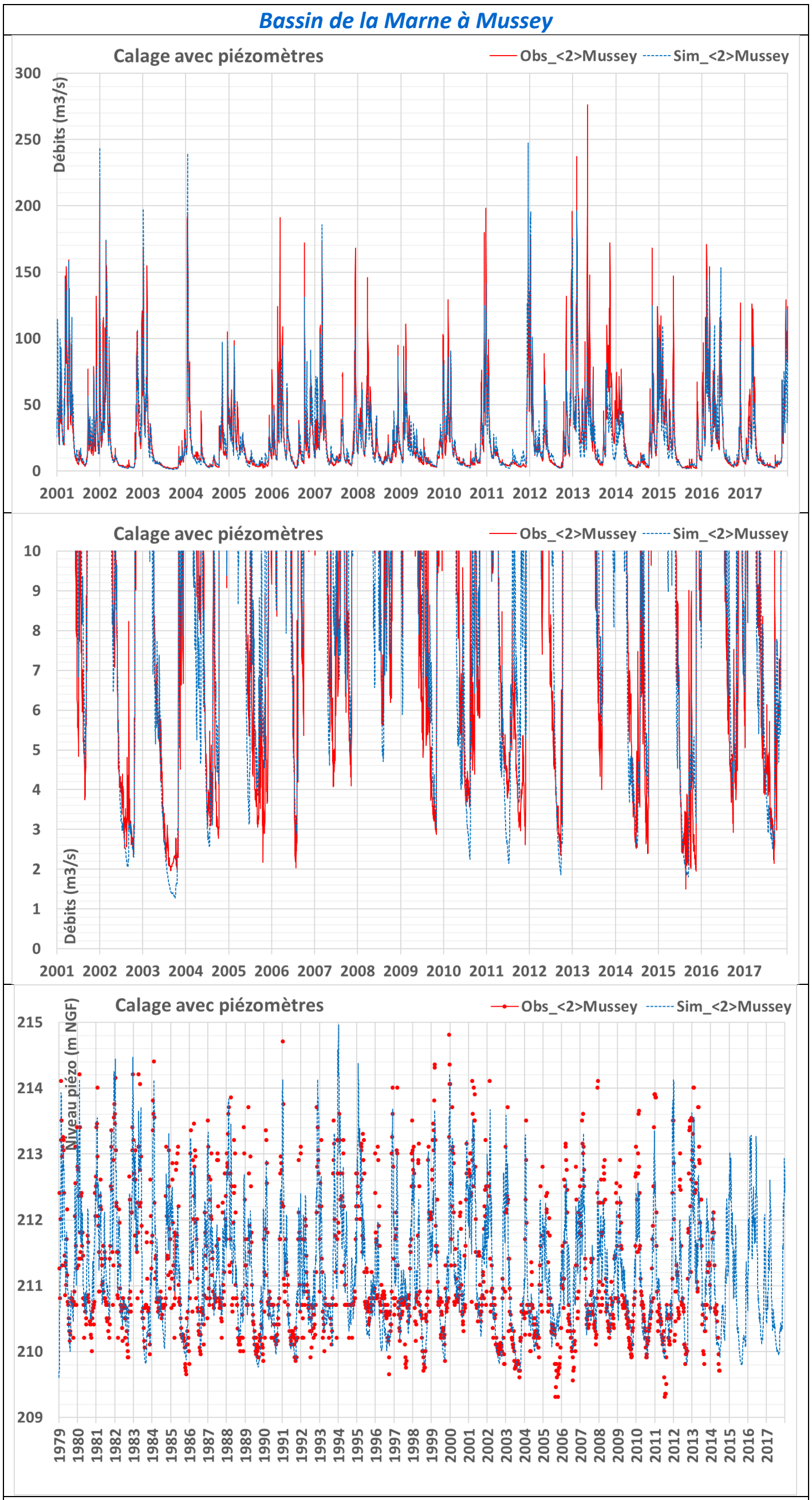



*Figure 22 : Résultats de calage pour le bassin de la Marne à Mussey*

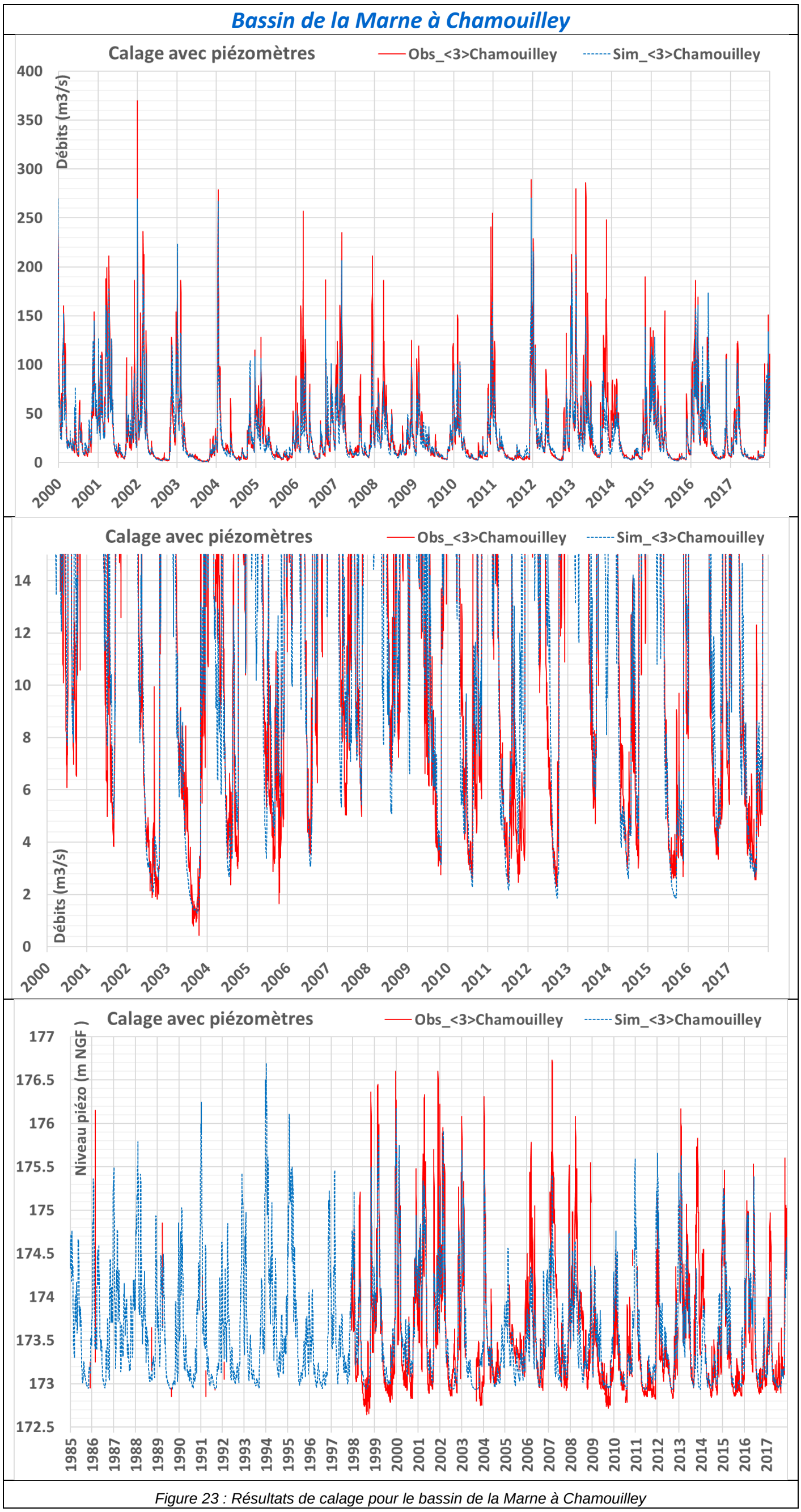



*Figure 23 : Résultats de calage pour le bassin de la Marne à Chamouilley*

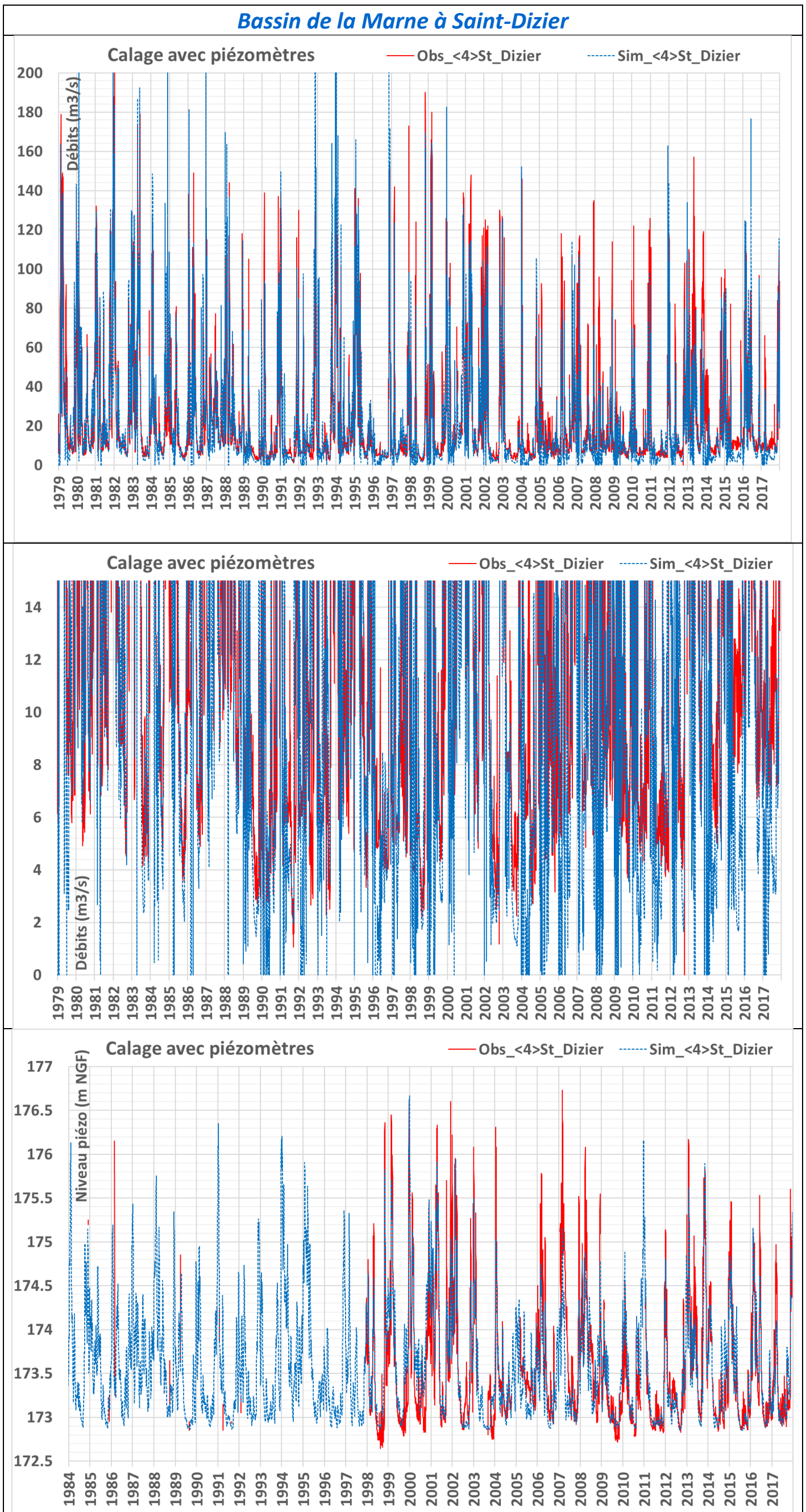



*Figure 24 : Résultats de calage pour le bassin de la Marne à Saint-Dizier*

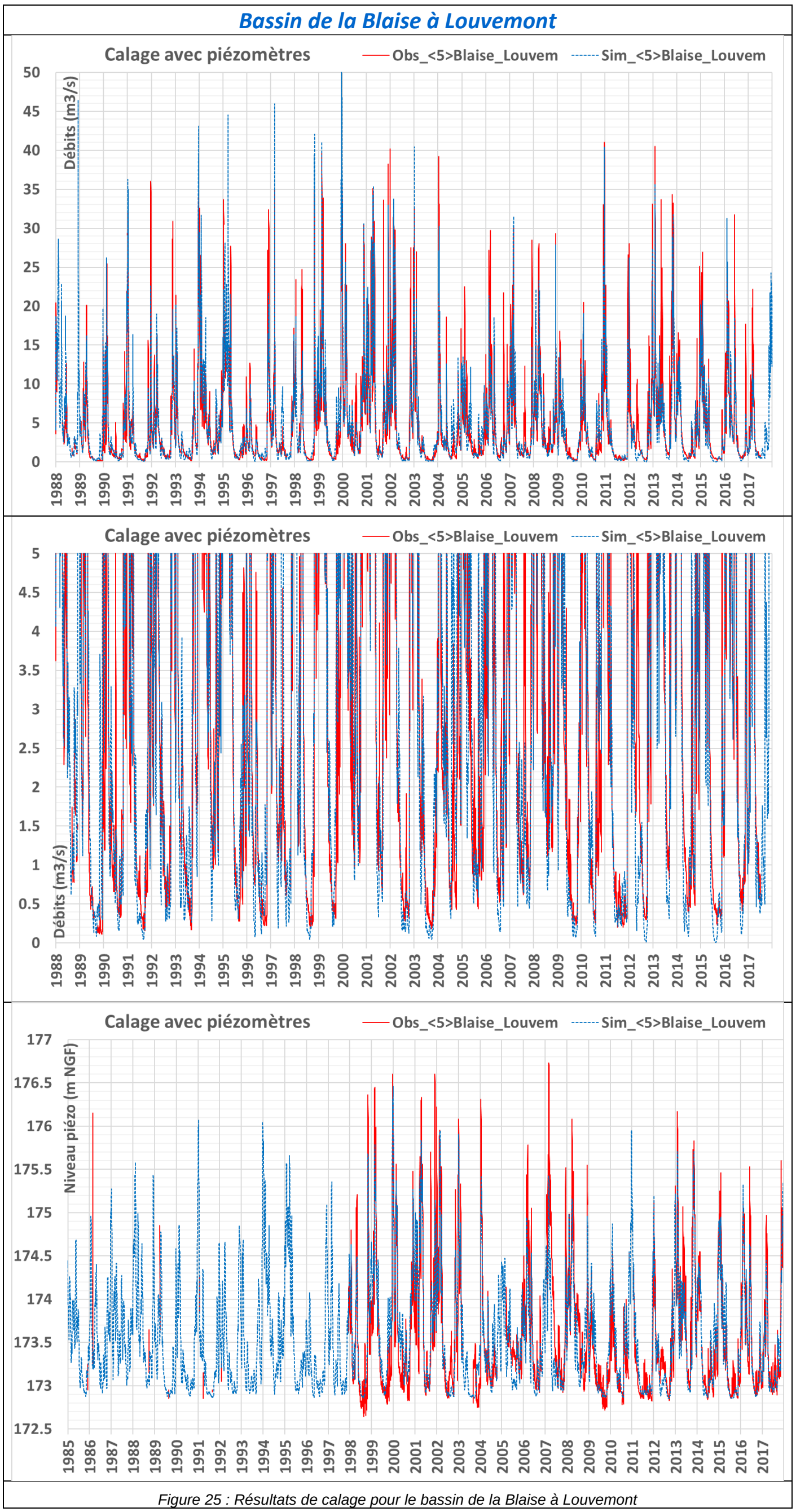



*Figure 25 : Résultats de calage pour le bassin de la Blaise à Louvemont*

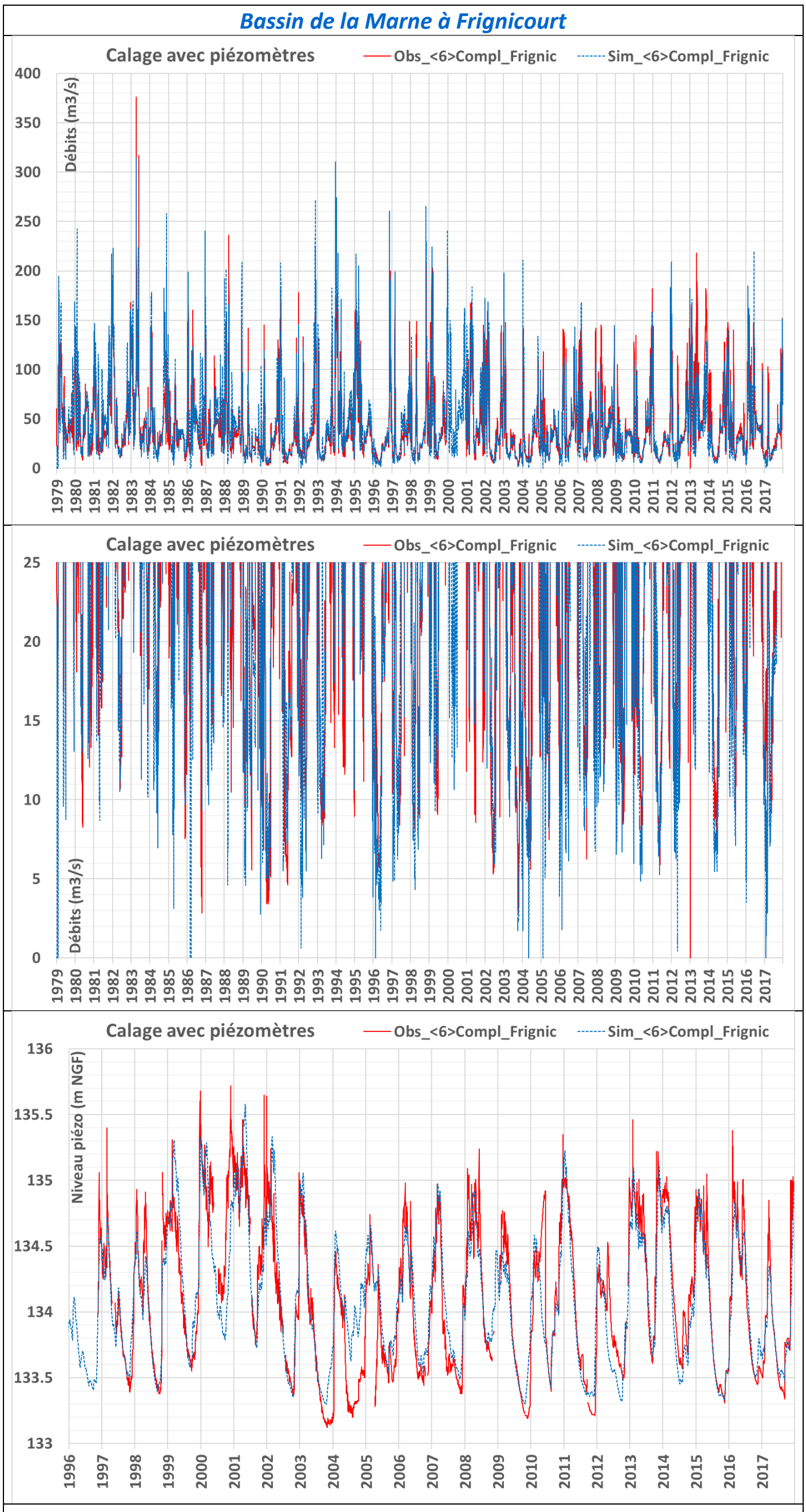



*Figure 26 : Résultats de calage pour le bassin de la Marne à Frignicourt*

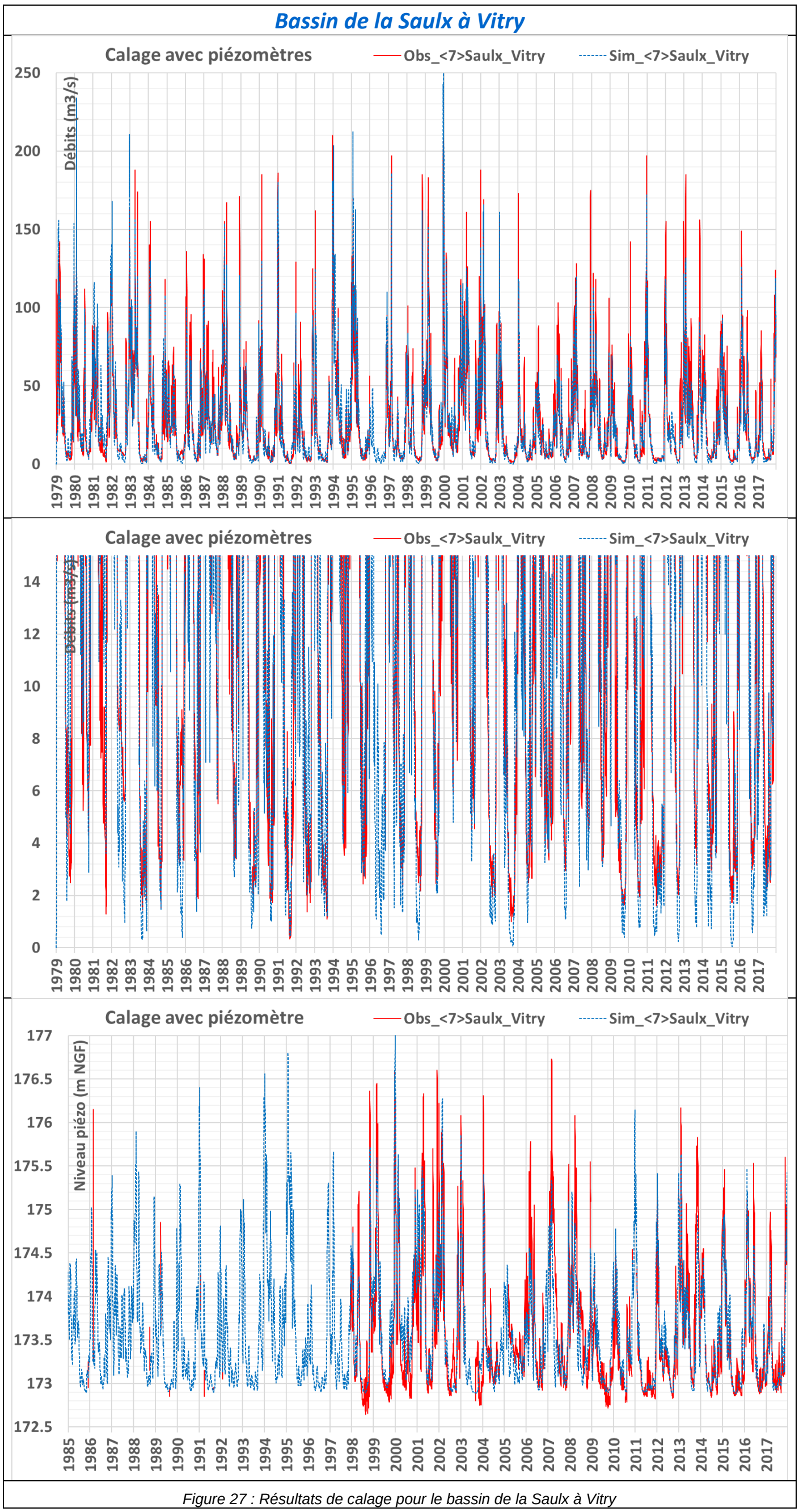



*Figure 27 : Résultats de calage pour le bassin de la Saulx à Vitry*

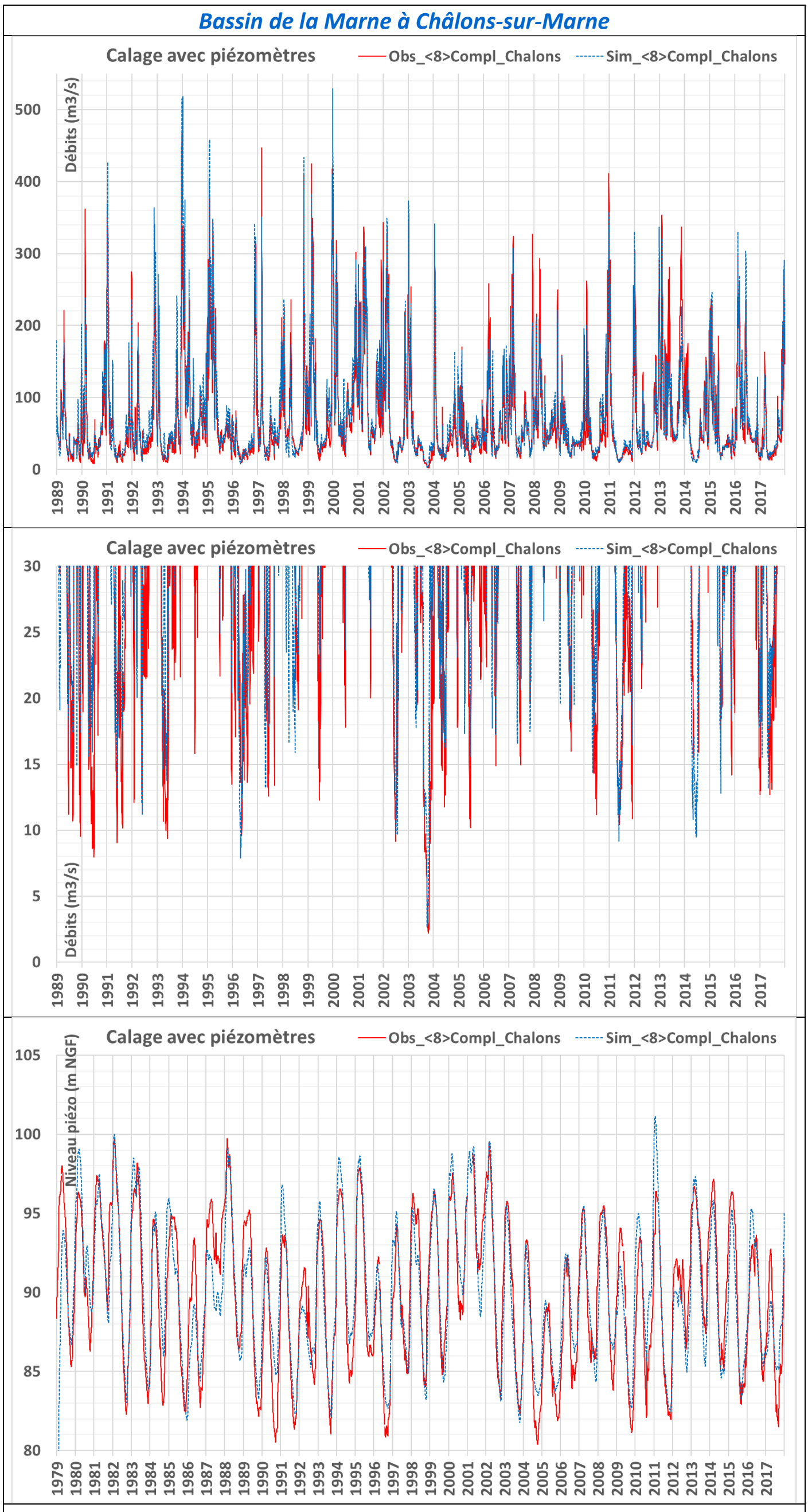



*Figure 28 : Résultats de calage pour le bassin de la Marne à Châlons-sur-Marne*

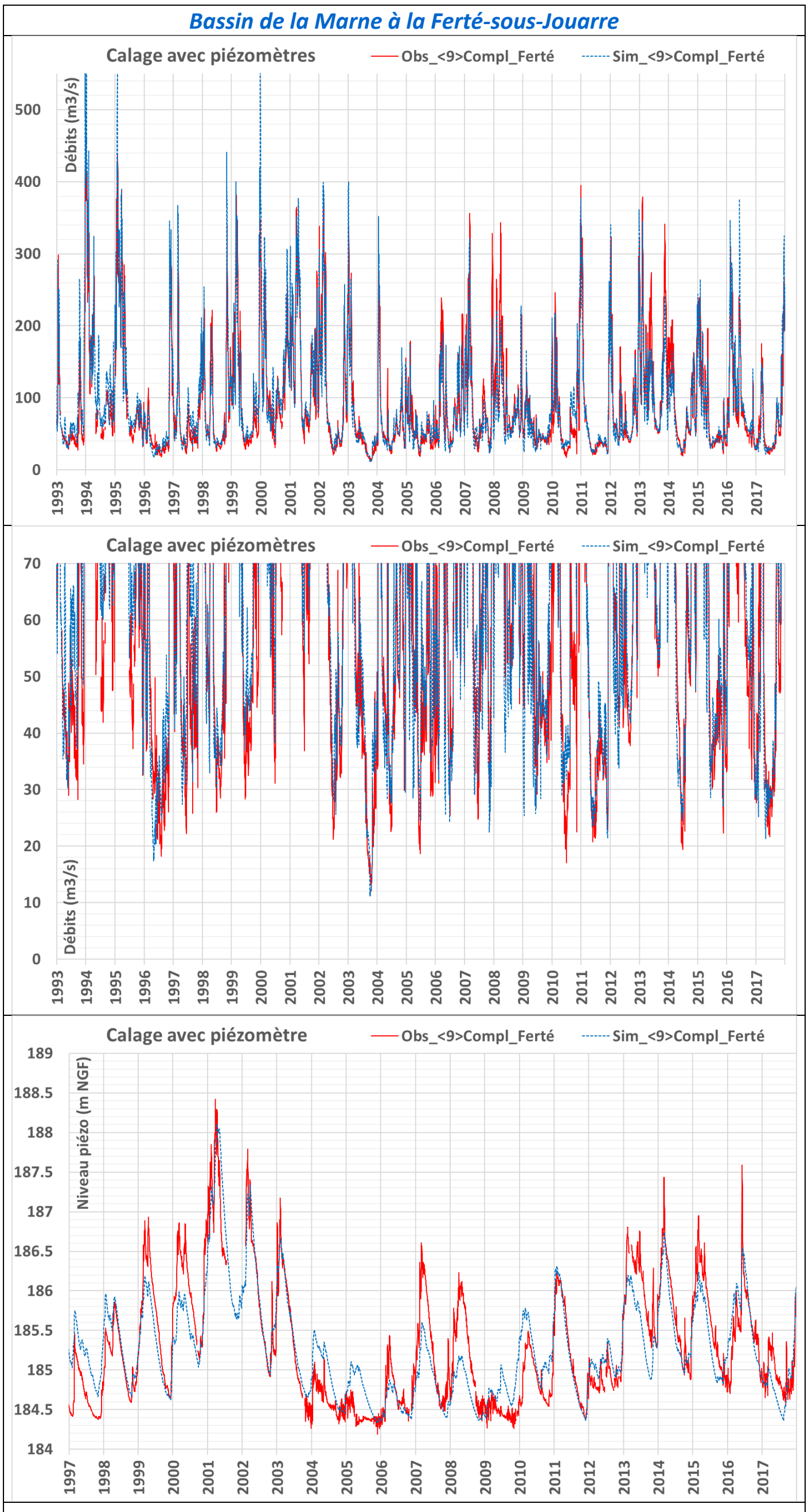



*Figure 29 : Résultats de calage pour le bassin de la Marne à la Ferté-sous-Jouarre*

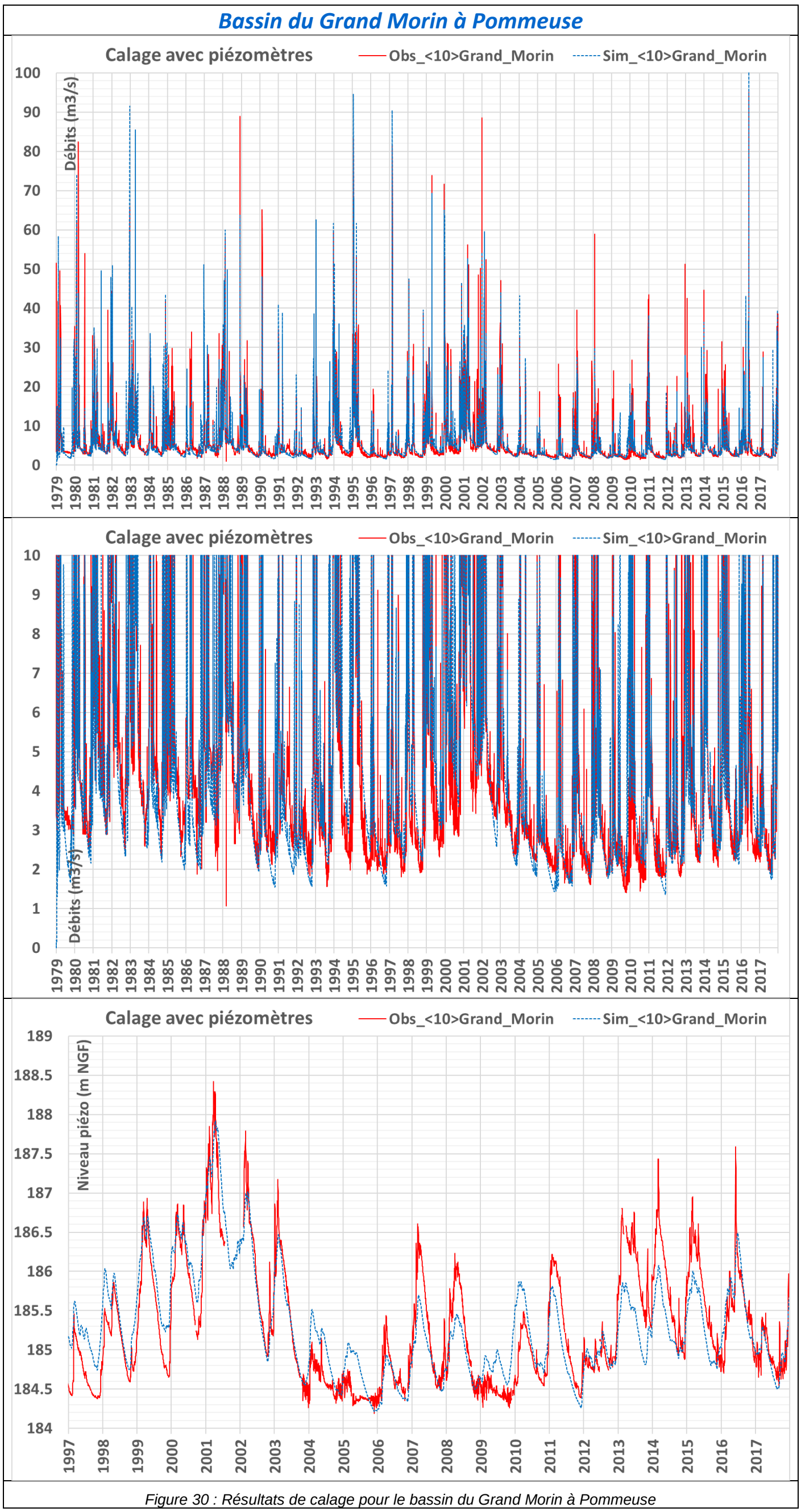



*Figure 30 : Résultats de calage pour le bassin du Grand Morin à Pommeuse*

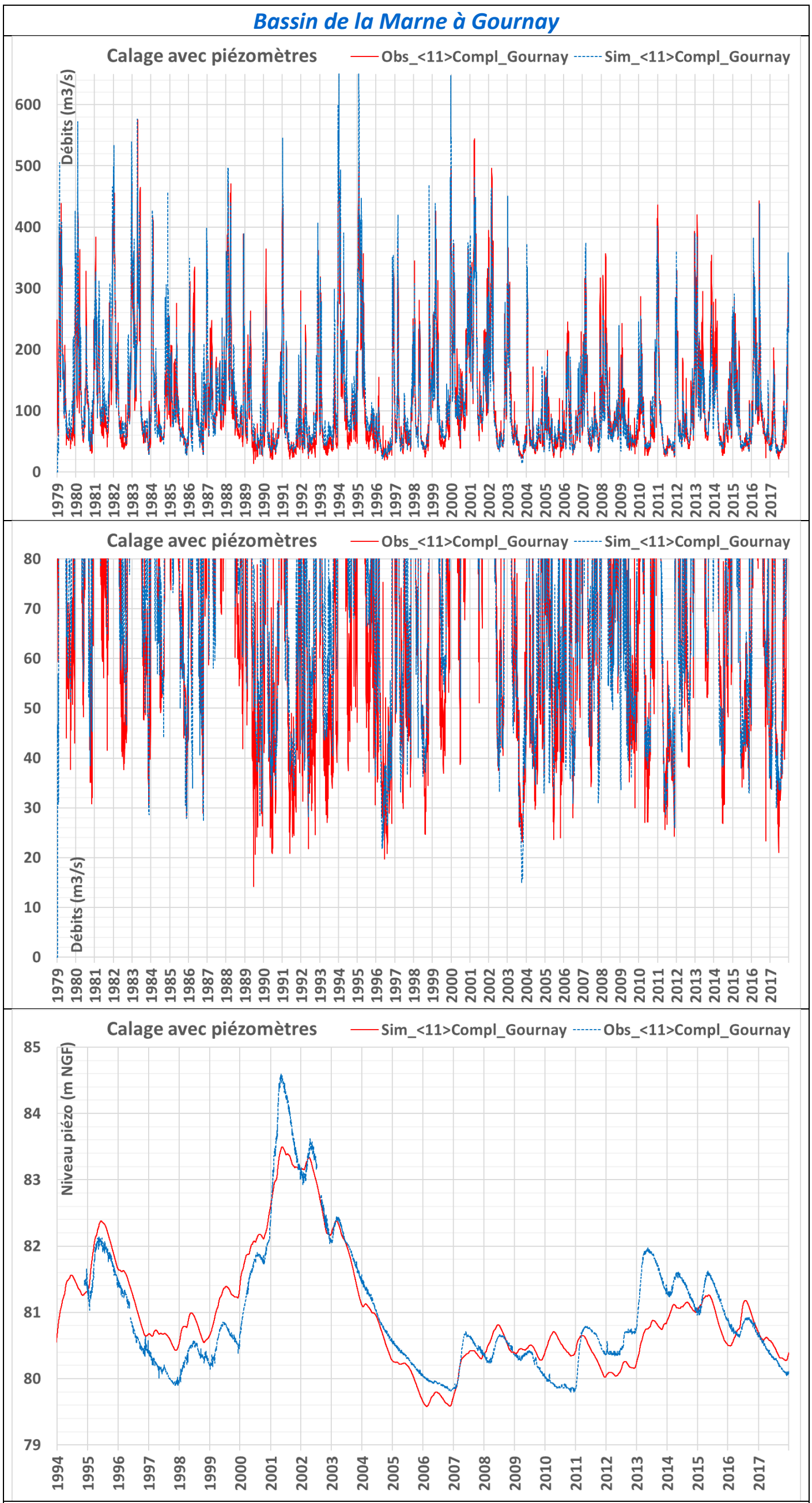



*Figure 31 : Résultats de calage pour le bassin de la Marne à Gournay*

## 3.8. DISCUSSIONS ET PISTES D'AMELIORATION

Après le travail de calage, des pistes d'amélioration peuvent être soulevées. Elles concernent essentiellement la plus ou moins forte sensibilité du modèle à certains paramètres (comme les données climatiques) et la réduction de l'incertitude sur certaines données (notamment les prélèvements).

Le modèle est sensible à la distribution des pluies. Lorsque les données étaient disponibles (stations pluviométriques contenant une longue série), une combinaison de plusieurs postes (généralement deux) a été faite pour simuler la pluviométrie et homogénéiser la donnée à l'échelle du sous bassin versant.

L'introduction des pluies spatialisées dans EROS permettrait sans doute d'améliorer la représentativité du modèle. La version d'EROS 7.1 permet de lire directement les grilles SAFRAN de Météo France (pluie et ETP).

Enfin une connaissance plus poussée des débits prélevés améliorerait probablement les résultats du modèle et particulièrement les débits d'étiage des bassins de la Marne à Marnay et a fortiori de la Marne à Gournay résultante de tous les bassins amonts.

# 4. Scénarios prévisionnels

## 4.1. PRINCIPE DE LA PREVISION DANS EROS

Le principe de prévisions de débits ou niveaux piézométriques avec EROS est le même que dans GARDENIA. La méthode de prévision, décrite dans la note technique de Thiéry, 2004 et mise à jour en 2018, est la suivante :

- On rassemble un certain nombre d'années de précipitations réellement observées, de l'ordre de 30 à 50 ans si possible (par exemple les années 1951 à 2000 mais il n'est pas nécessaire d'avoir des années contiguës).
- On suppose qu'après la date d'émission de la prévision (le 1er septembre 2003 par exemple) les précipitations des 4 mois suivants (septembre à décembre) ont une égale probabilité d'être les précipitations des mois de septembre à décembre de 1951 ou 1952 etc. ou 2000.
- A partir des états du modèle (niveaux de ses réservoirs), GARDÉNIA réalise une simulation par année de précipitations disponible (50 scénarios dans notre exemple correspondant aux 50 années de précipitations).
- On dispose alors de 50 débits calculés pour le 2 septembre, de 50 débits calculés pour le 3 septembre … 50 débits calculés pour le 31 décembre.
- Pour un jour donné on dispose donc de 50 réalisations et GARDÉNIA calcule le débit de probabilité de non-dépassement X % en classant tout simplement les 50 réalisations et en calculant le quantile X %. Ce calcul est fait séparément pour chaque pas de temps (pour chacun des 120 jours de la période du 2 septembre au 31 décembre dans notre exemple).
- Pour une probabilité de non-dépassement donnée (de 90 % par exemple) on dispose chaque jour d'un débit (qui correspond à des années différentes). GARDÉNIA édite alors ces débits et les dessine. Ce sont des débits probabilistes.
- La courbe tracée donne pour chaque jour le débit ayant une probabilité de non-dépassement donnée (de 90 % dans notre exemple).
- Le modèle réalise également une prévision sans aucune précipitation après la date d'émission de la prévision. Cette prévision donne les débits correspondant à la « prévision garantie ».

Pour émettre une prévision fiable et utilisable il est nécessaire de minimiser au mieux l'écart de simulation initial (à la date de lancement de la prévision). GARDÉNIA permet de réaliser des prévisions adaptatives, avec correction élaborée des écarts de simulation du début de la prévision. En fait pour obtenir des résultats fiables le modèle ne corrige pas uniquement l'écart initial mais corrige régulièrement les éventuels écarts précédant l'émission de la prévision, au fur et à mesure qu'ils apparaissent. Compte tenu de la spatialisation, les prévisions réalisées avec ÉROS ne peuvent utiliser qu'une méthode simplifiée avec un simple décalage pour faire coïncider la simulation à l'observation du jour d'émission de la prévision.

Le modèle va générer plusieurs prévisions définies de la façon suivante :

- Prév_Garan ou Prev_No_Rain = Prévision « garantie » : c'est à dire réalisée en considérant qu'aucune précipitation ne surviendra après la date d'émission de la prévision. Ce sont les débits simulés les plus bas possibles, d'où le terme de « garanti ». Tout modèle étant approché, il ne faut pas considérer les valeurs calculées comme garanties à 100 %.
- Prév_10 % ou Prev_90%_Dry= Prévision ayant une probabilité de non-dépassement de 10 %, c'est à dire que pour chaque pas de temps on a une probabilité de 10 % d'observer un débit inférieur (donc une probabilité de 90 % d'observer un débit supérieur ou égal.).
- Prév_50 % = Prévision ayant une probabilité de non-dépassement de 50 %, c'est la valeur médiane.
- Prév_90 % ou Prev_10%_Wet = Prévision ayant une probabilité de non-dépassement de 90 %, c'est à dire que pour chaque pas de temps on a une probabilité de 90 % d'observer un débit inférieur (donc une probabilité de 10 % d'observer un débit supérieur ou égal).
- Prév_X % = Prévision ayant une probabilité de non-dépassement de X %.

Les probabilités de non-dépassement sont calculées à partir des différents scénarios simulés (un scénario par année de précipitations de prévision). Il faut donc utiliser un nombre d'années de prévision suffisant. Pour calculer un débit de probabilité de non-dépassement de 90 % il faut disposer d'au moins 30 ou 40 années surtout si la période contient des années exceptionnelles ou perturbées.

Le lecteur peut se référer à la note technique de Thiéry (2015) pour avoir plus de détails sur le mode prévisionnel de EROS ou GARDENIA.

## 4.2. MODIFICATION A APPORTER AU MODELE

Afin de lancer le modèle en mode prévisionnel, il est nécessaire d'ajouter un fichier de données pluviométriques de prévision (fichier [.prv]). Ce sont des données pluviométriques au même pas de temps que les données de pluies utilisées pour la modélisation (fichier [.plu]).

Ce fichier doit apparaître dans le fichier [.rer] comme l'exemple du fichier suivant Eros_Marne_Previ.rer (Figure 32).

```
Eros_Marne_Previ.rer ×
Fichier projet du code ÉROS (Répertoire des Fichiers)
 #<V7.1># --- Fin du texte libre --- ; Ne pas modifier/retirer cette ligne
Eros_Marne_Previ                                                    = Nom générique pour les résultats
Eros_Marne.arbros                                                   = Branchement des sous-bassins
Eros_Marne_Previ.ros                                                = Paramètres et Options
PJ_Marne.txt                                                        = Pluies
ETPJ_Marne.txt                                                      = Évapo-Transpirations Potentielles (ETP)
QJ_Marne.txt                                                        = Débits de rivières observés
PZ_Marne.txt                                                        = Niveaux de nappe observés
                                                                    = Températures de l'air
                                                                    = Précipitations Neigeuses
PJ_Marne.prv                                                        = Pluies pour Prévision
                                                                    = Températures pour Prévision
QJPRELEV_01_06_2018_avecrest.txt                                    = Injections/Prélèvements (en Rivière ou en Nappe)
                                                                    = État du Réservoir Sol progressif
                                                                    = Applications (épandages) d'engrais
                                                                    = Besoins en NO3 des cultures
                                                                    = Résidus en NO3 après récolte
                                                                    = Minéralisations du sol
                                                                    = Concentrations en NO3 dans les rivières
                                                                    = Concentrations en NO3 dans les nappes
                                                                    = Mailles météo et Pondérations
                                                                    = États initiaux
```

*Figure 32 : Exemple du fichier Eros_Marne_Previ.rer listant les fichiers nécessaires au lancement des scénarios de prévision*

Dans le fichier [.ros], (exemple du fichier Eros_Marne_Previ.ros) les paramètres relatifs à la prévision doivent être configurés. Dans le paragraphe relatif aux paramètres généraux de la simulation les paramètres suivants doivent être renseignés :

*** Paramètres généraux de la simulation : Paragraphe 1 ***

39=Nombre d'années de données pour la Prévision

1=Prévision avec scénarios de pluie : (0=Non ; 1=Oui)

2=Correction de l'écart de Prévision : (0=Écart initial constant ; 2=Écart décroissant)

1=Jour d'émission de la prévision (1-31) (Si pas de temps journalier sinon : 0)

6=Numéro du mois [si journalier ou mensuel] (ou du pas de temps) d'émission de la Prévision

155=Portée de la prévision (Nombre de pas de temps de la prévision)

1=Taux de réajustement pour la prévision (0 à 1) (conseillé = 1)

Portée de la prévision

C'est la durée de la prévision exprimée en nombre de pas de temps.

Taux de réajustement de la prévision

Ce paramètre définit le taux de correction des écarts de simulation constatés à la date d'émission de la prévision. Dans cette version du code de calcul ÉROS, cette correction est réalisée par un simple décalage des séries prévues après la date d'émission de la prévision. Il n'est pas toujours opportun de décaler totalement les séries calculées. Ce taux est compris entre : 0 (pas de réajustement) et 1 (réajustement total).

## 4.3. SCENARIOS RETROSPECTIFS

Le modèle permet d'émettre des prévisions statistiques d'évolution des débits pour les mois à venir au niveau de chaque station hydrométrique modélisée.

Afin de cerner et valider la qualité du calage, des scénarios rétrospectifs prévisionnels ont été réalisés. Ils ont été sélectionnés dans le but de représenter certains étiages particulièrement sévères.

Des premiers tests réalisés dans le cadre de cette étude ont montré des restitutions correctes dans l'ensemble hormis quelques étiages très faibles qui n'avaient pu être encadrés par les prévisions car la décroissance des débits simulés n'est pas suffisante et aboutissait à un débit résiduel non nul. Des modifications ont été apportées au niveau du logiciel EROS afin d'améliorer cette décroissance des débits jusqu'aux valeurs les plus faibles à l'étiage.

Les paramètres suivants ont été ajoutés dans le fichier [Eros_Marne_previ.ros] des prévisions :

- 2=Correction de l'écart de Prévision : (0=Écart initial constant ; 2=Écart décroissant)
- 20.00000=Temps de 1/2 annulation de l'écart de prévision (pas)

Les débits sont ensuite simulés selon les scénarios définis plus haut. Ils sont comparés aux seuils sécheresse. Ceux-ci sont définis par arrêté et apparaissent également dans les bulletins de suivi des étiages pour les stations de la Marne amont (Tableau 17 source : DRIEE et DREAL Grand Est).

Pour les scénarios rétrospectifs réalisés, les échanges « réels » ont été pris en compte, c'est-à-dire les prélèvements et les restitutions effectivement réalisés après la date de lancement des prévisions.

Les résultats ne sont présentés qu'aux stations de la Marne à Gournay (exutoire du bassin) et à Chamouilley (en amont des lac réservoirs).

| Bassin | Station | Rivière | Seuil de Vigilance (m3/s) | Seuil d'Alerte (m3/s) | Seuil d'Alerte renforcée (m3/s) | Seuil de Crise (m3/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Marne Amont | CHAMOUILLEY | La MARNE | 11,00 | 4,30 | 2,70 | 1,20 |
| | CHAUMONT | La SUIZE | 0,07 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| | CONDES | La MARNE | 2,60 | 0,62 | 0,30 | 0,10 |
| | LACRETE | Le ROGNON | 0,41 | 0,10 | 0,03 | 0,02 |
| | LOUVIERES | La TRAIRE | 0,38 | 0,10 | 0,05 | 0,02 |
| | MARNAY | La MARNE | 1,60 | 0,90 | 0,68 | 0,62 |
| | MUSSEY | La MARNE | 9,10 | 3,60 | 2,40 | 2,00 |
| | SAUCOURT | Le ROGNON | 3,10 | 1,30 | 0,82 | 0,52 |
| | SAINT DIZIER | La MARNE | 9,00 | 4,50 | 2,50 | 1,30 |
| | VILLIERS | La SUIZE | 0,20 | 0,06 | 0,03 | 0,02 |

*Tableau 17 : Seuils de vigilance du bassin de la Marne amont (source Bulletin de suivi des étiages – DREAL Grand Est)*

En date du 01/06/2017 - Figure 33

A Gournay, les observations suivent le scénario moyen jusqu'à mi-juillet puis se situent entre la prévision moyenne et la prévision ayant une probabilité de non-dépassement de 10% avant d'atteindre la prévision ayant une probabilité de non-dépassement de 90% (assimilable au scénario 10 ans humide) à la mi-septembre. Courant juillet les débits atteignent le seuil de vigilance. En août on observe un écart de 25 $m^3/s$ entre le scénario sans pluie et le scénario 10 ans humide pour un débit observé de 27 $m^3/s$ environ.

A Chamouilley, les scénarios encadrent bien les observations. Elles suivent le scénario moyen et passent en dessous après septembre pour atteindre le seuil de d'alerte renforcée de mi-août à mi-septembre et se raccrochent plutôt au scénario 5 ans sec (probabilité de non-dépassement de 20%). On observe un écart de 6 $m^3/s$ en août entre le scénario sans pluie et le scénario 10 ans humide (entre 2 $m^3/s$ et 8 $m^3/s$). On observe ensuite un pic mi-septembre pour lequel les observations s'apparentent au scénario 10 ans humide.

En date du 01/05/2009 - Figure 34

Les scénarios rétrospectifs encadrent bien les débits observés à Gournay et Chamouilley. Les débits observés oscillent autour du scénario moyen et se rapproche des scénarios de période de retour 5 ans et 10 ans sec après août 2009 pour Gournay et après septembre pour Chamouilley. On observe également un premier pic à mi-mai pour Chamouilley et mi-juin 2009 et un second fin juillet aux deux stations frôlant ou dépassant le scénario 10 ans humide

En date du 01/05/2006 - Figure 35

A Gournay, après le pic de débit début mai qui dépasse le scénario 10 ans humide, les débits observés sont bien contenus dans la plage des prévisions. En particulier, entre mi-juin à mi-juillet, période pendant laquelle les débits sont très bas et atteignent le scénario sans pluie puis se situent autour des scénarios de période de retour 5 à 10 ans sec de mi-juillet à mi-août avant de remonter.

A Chamouilley, les débits suivent une belle décroissance après le pic de mai 2006. Ils se raccrochent aux prévisions de période de retour 5 à 10 ans sec entre juillet (niveau d'alerte attient) et août (niveau d'alerte renforcé atteint).

Conclusions

Bien que l'écart entre les différentes prévisions semble important en relatif, celles-ci sont cohérentes car les débits observés se situent effectivement en majorité dans les plages de variation des débits prévisionnels (prévision « garantie » et prévision ayant une probabilité de non-dépassement de 90%).

Ces résultats permettent de valider le calage du modèle ainsi que sa robustesse.

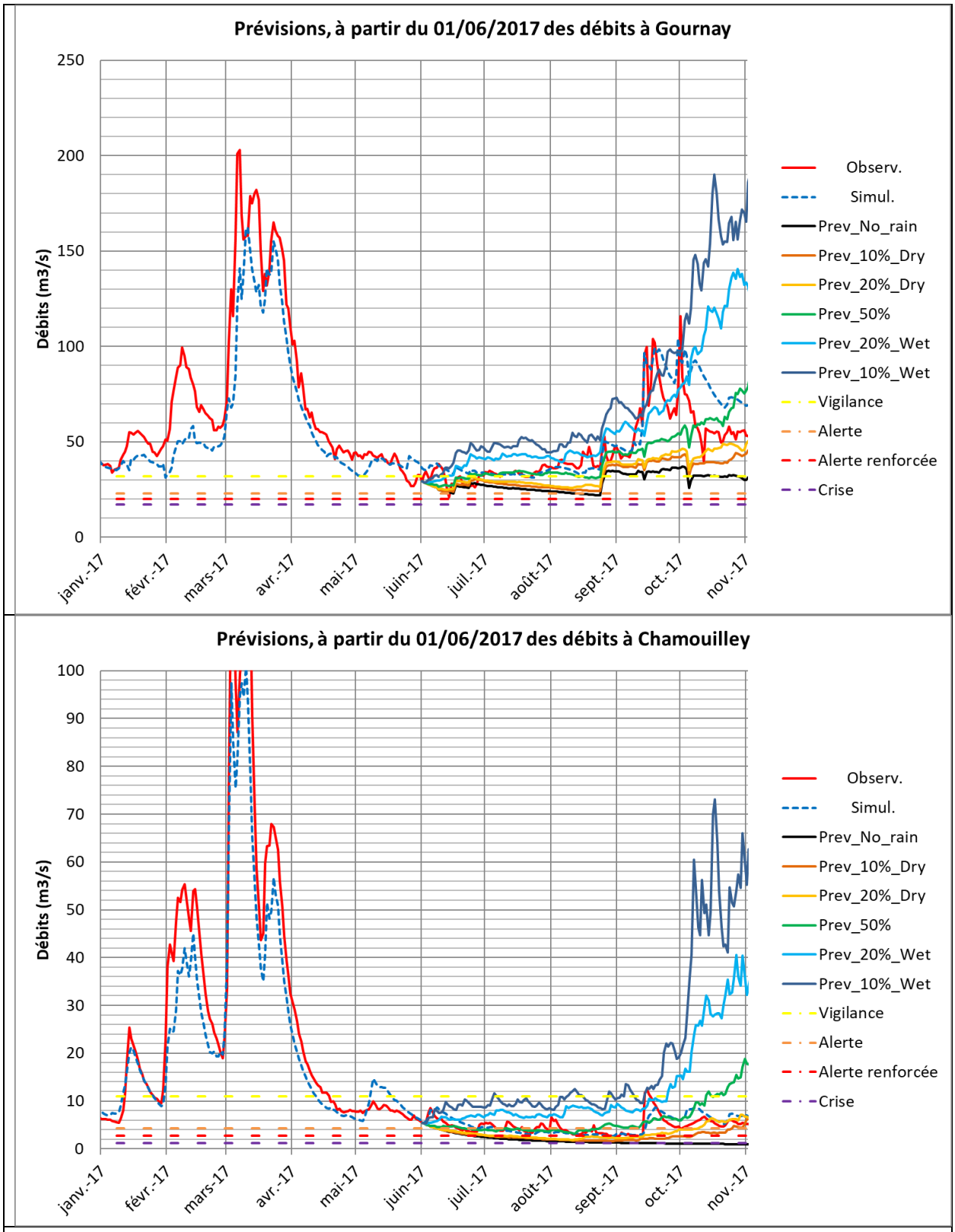



*Figure 33 : Scénario rétrospectif de prévisions des débits à Gournay (en haut) et Chamouilley (en bas) en date du 1 juin 2017*

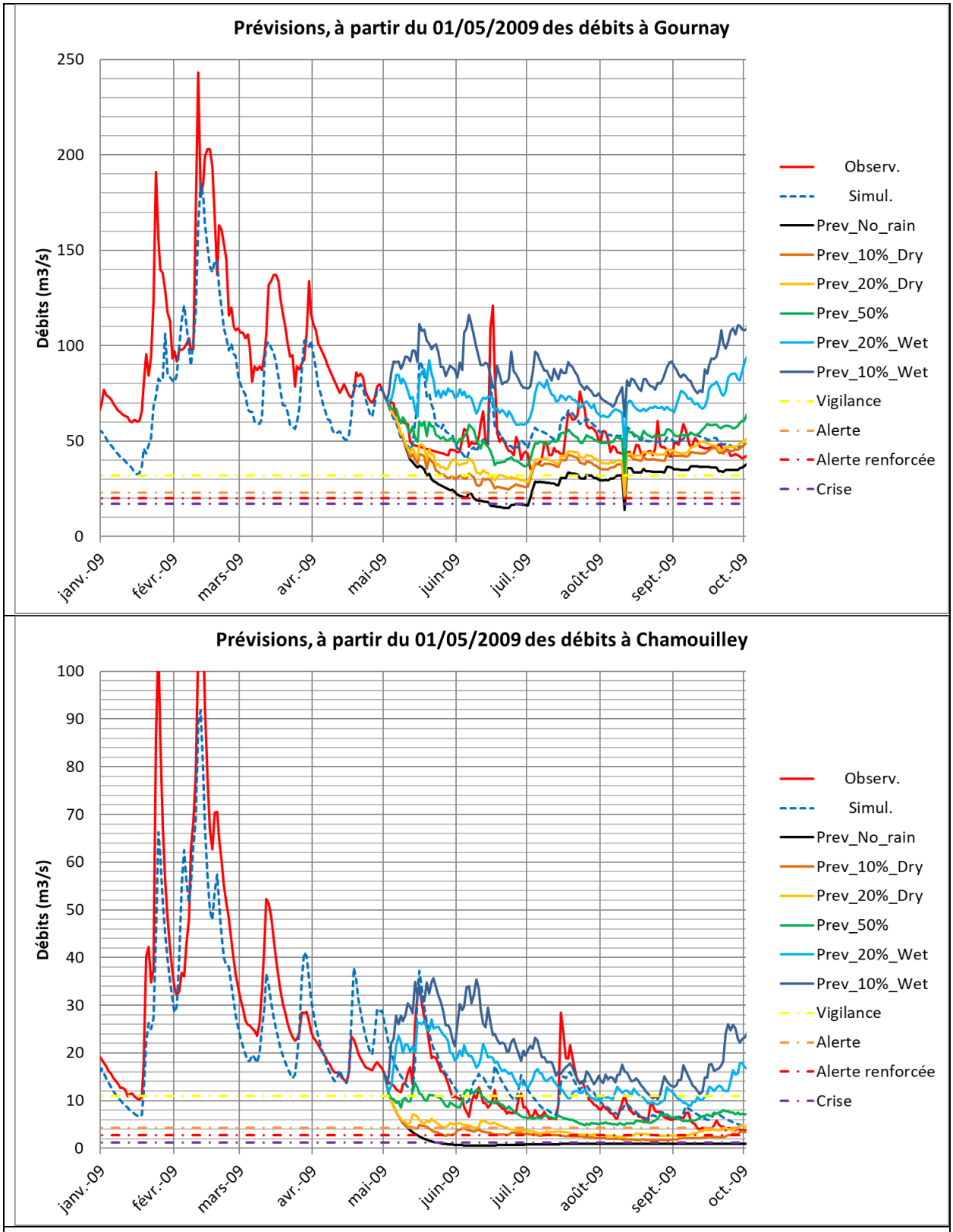



*Figure 34 Scénario rétrospectif des prévisions des débits à Gournay (figure du haut) et Chamouilley (figure du bas) en date du 1 mai 2009*

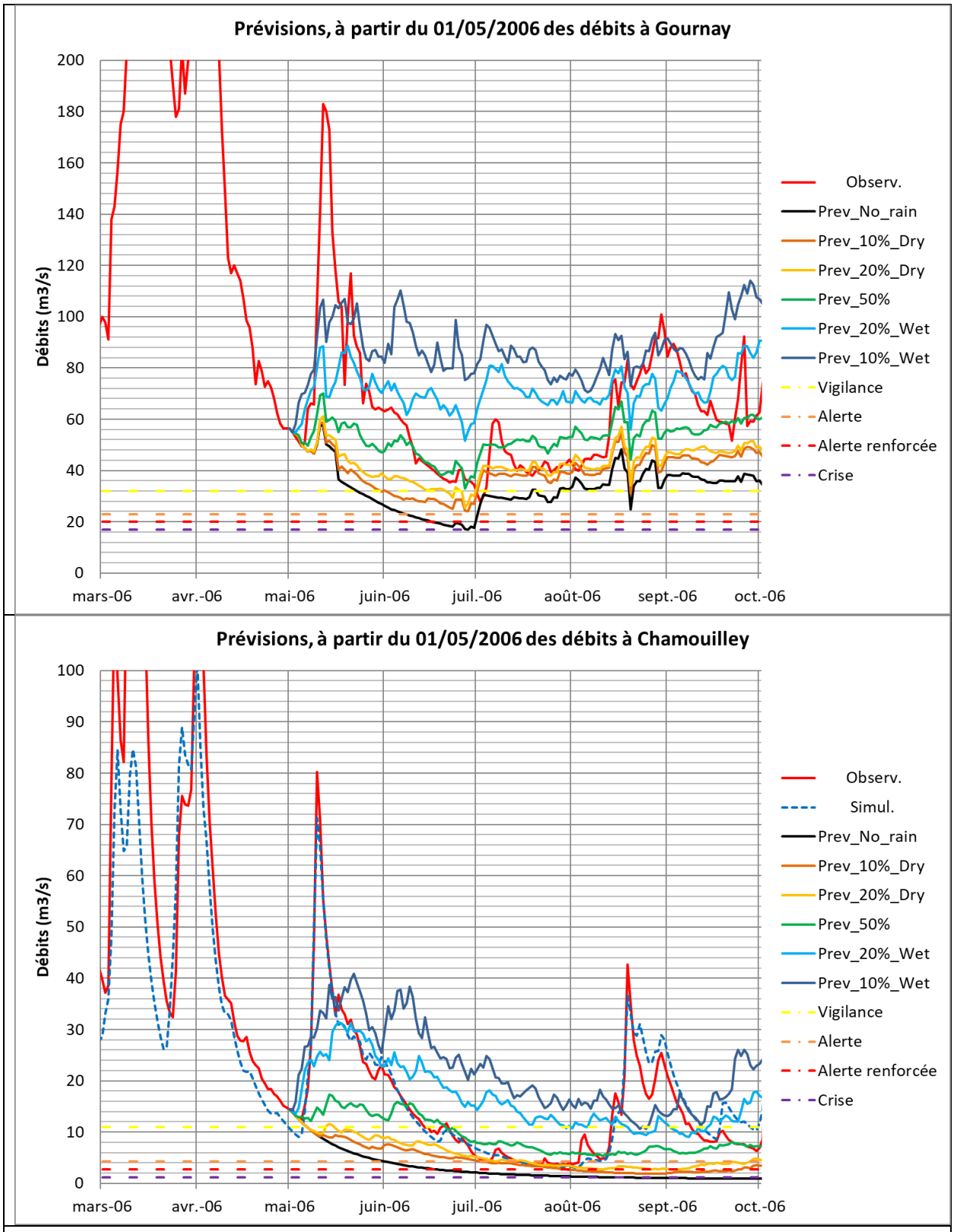



*Figure 35 Scénario rétrospectif des prévisions des débits à Gournay (figure du haut) et Chamouilley (figure du bas) en date du 1 mai 2006*

## 4.4. PREVISIONS ETIAGE 2018

Les scénarios rétrospectifs ont permis de valider le calage du modèle et le mode prévisionnel. Les prévisions statistiques d'évolution des débits de la Marne à Gournay, à Châlons-sur-Marne et à Chamouilley ont été lancées à partir du 1 juin 2018 pour 5 mois à venir. Les résultats de ces prévisions ont été présentés à la réunion CO.TE.CO de juin 2018. Deux scénarios sont proposés : un sans restitution des barrages et un second avec restitution.

### 4.4.1. Prévisions sans restitution des barrages

A Gournay

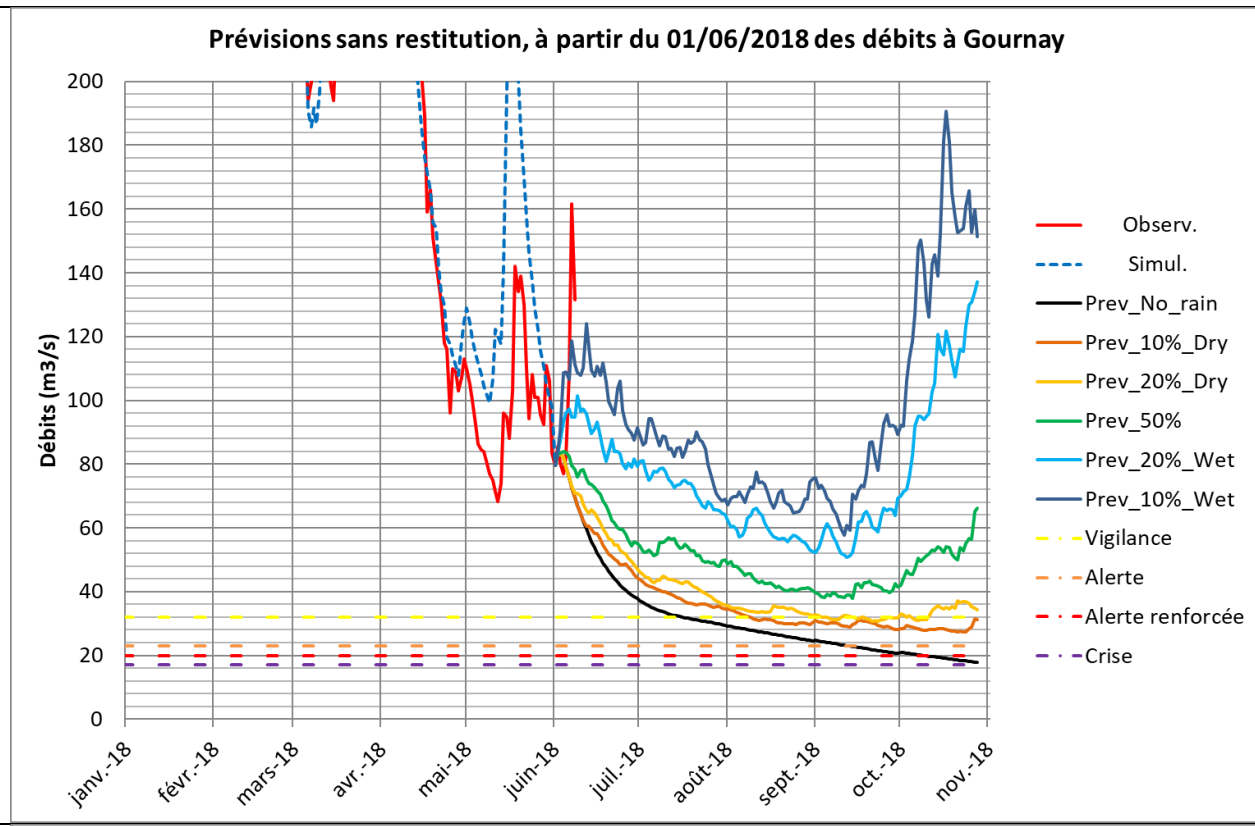
Les prévisions sans restitution des barrages présentent un risque d'atteindre le niveau d'alerte à la mi-juillet pour le scénario sans pluie ; à la mi-août p ou début septembre avec des occurrences inférieures à 20%. Pour ces deux dernières prévisions, le débit se stabiliserait autour du seuil de vigilance sans atteindre le seuil d'alerte jusqu'à fin octobre tandis que pour le scénario sans pluie, le seuil d'alerte serait atteint début septembre et celui d'alerte renforcé à la fin septembre.

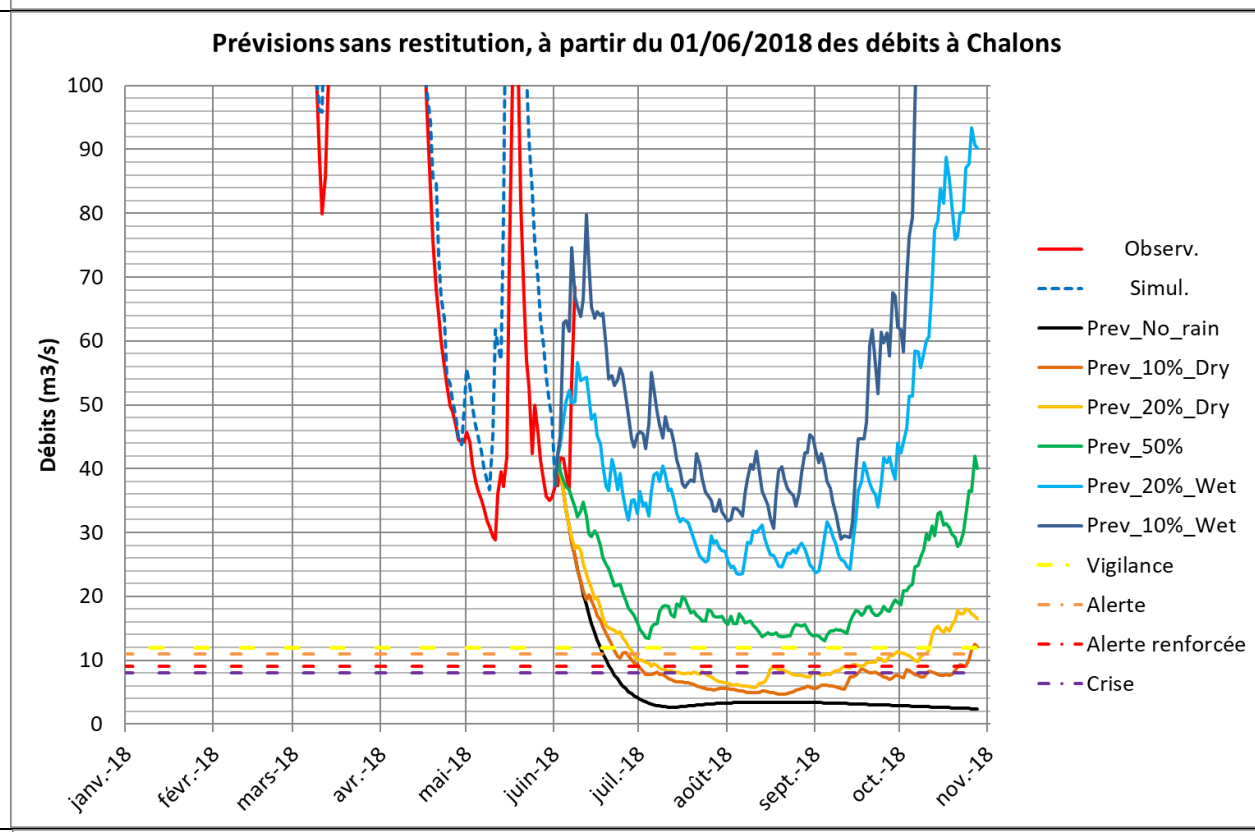
A Châlons-sur-Marne

Les prévisions sans restitution sont plus alarmantes. Le seuil de vigilance serait atteint dès la mi-juin pour le scénario sans pluie, et à la fin juin avec une probabilité de 20%. Les débits présentent un risque de passer en dessous du seuil de crise fin juin pour le scénario sans pluie ou début juillet avec des occurrences inférieures à 10% ou à la mi-juillet avec des occurrences inférieures à 20%.

A Chamouilley

L'éventuelle restitution des barrages n'aura pas d'impact sur les débits à Chamouilley car ils interviennent en aval de la station. De mi-juin à mi-août les débits se situent en dessous du seuil d'alerte renforcée avec une probabilité de 20% et en dessous du seuil de crise avec une probabilité de 10%. Pour la prévision moyenne (scénario de pluie moyenne), le seuil d'alerte est atteint début juillet.



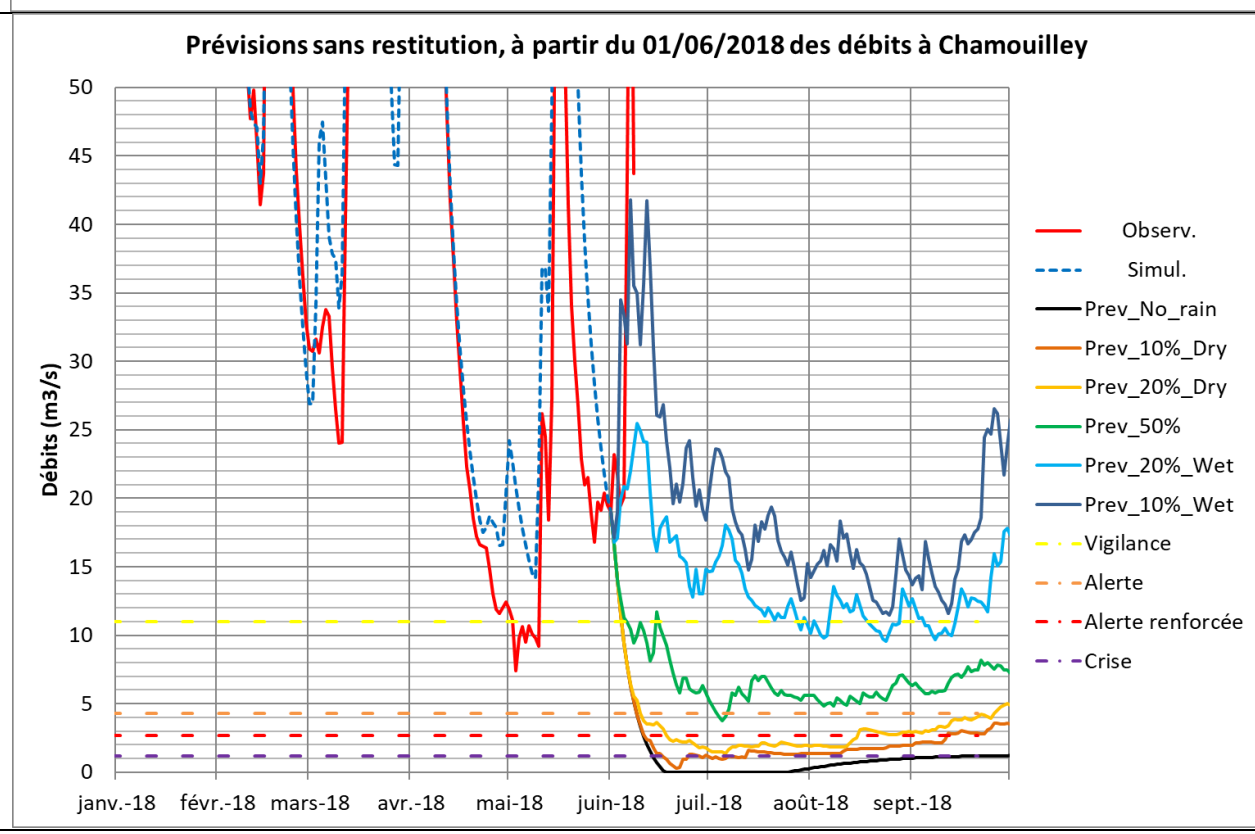




*Figure 36 : Prévisions des débits à Gournay, Châlons-sur-Marne et Chamouilley sans restitution des réservoirs*

### 4.4.2. Prévisions avec restitution

L'EPTB SGL a fourni un scénario de restitution des lacs réservoirs au BRGM, en vue du CO.TE.CO du 19 juin 2018. Les restitutions démarrent début juillet avec un débit à Frignicourt de 27.8 $m^3/s$ jusqu'à fin octobre 2018. Lorsqu'on observe la courbe des débits restitués à Frignicourt, le débit de restitution estimé est dans le même ordre de grandeur que les débits restitués en 2016 et 2015.

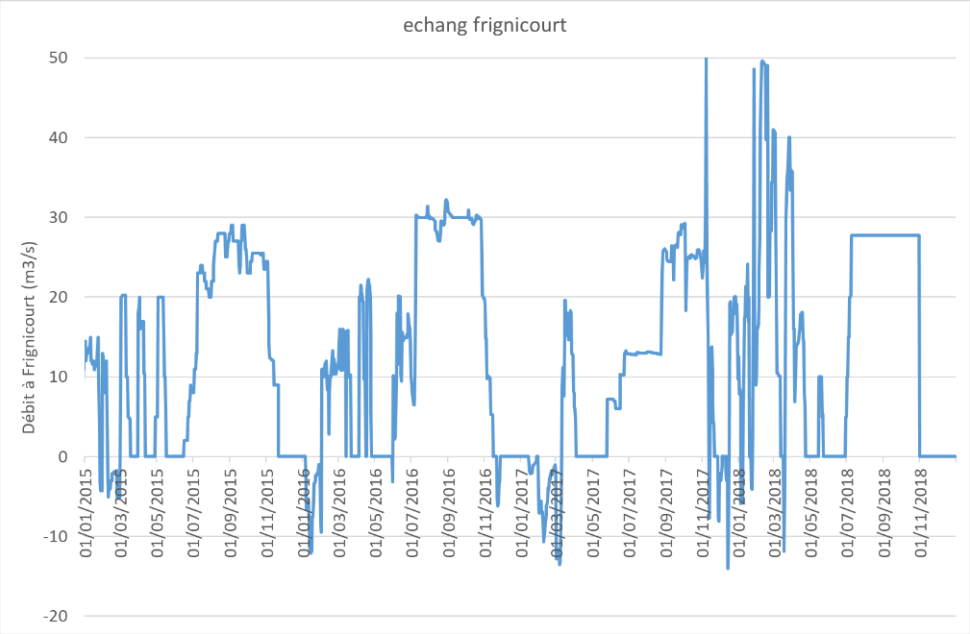



*Figure 37 : Scénario de restitution envisagé à partir de début juillet 2018.*

Les hypothèses pour les autres débits d'échange sont les suivantes :

- les débits prélevés pour le Canal de l'Ourcq et pour l'usine AEP d'Annet ont été pris égaux aux valeurs de 2017,
- Faute d'indications, les autres débits d'échanges ont été pris comme constants comme pendant la période de calage.

Selon ce scénario de restitution, les débits à Gournay ne présentent plus de risque de passer sous le seuil de vigilance pour toute la période de prévision (même pour le scénario sans pluie).

A Châlons-sur-Marne, les débits présentent un risque de passer sous le seuil d'alerte avant le début des lâchers avec des occurrences inférieures à 20% (scénario assimilable à une période de retour 5 ans sec). Le seuil de crise pourrait être atteint pour un scénario sans pluie avant la restitution des barrages.

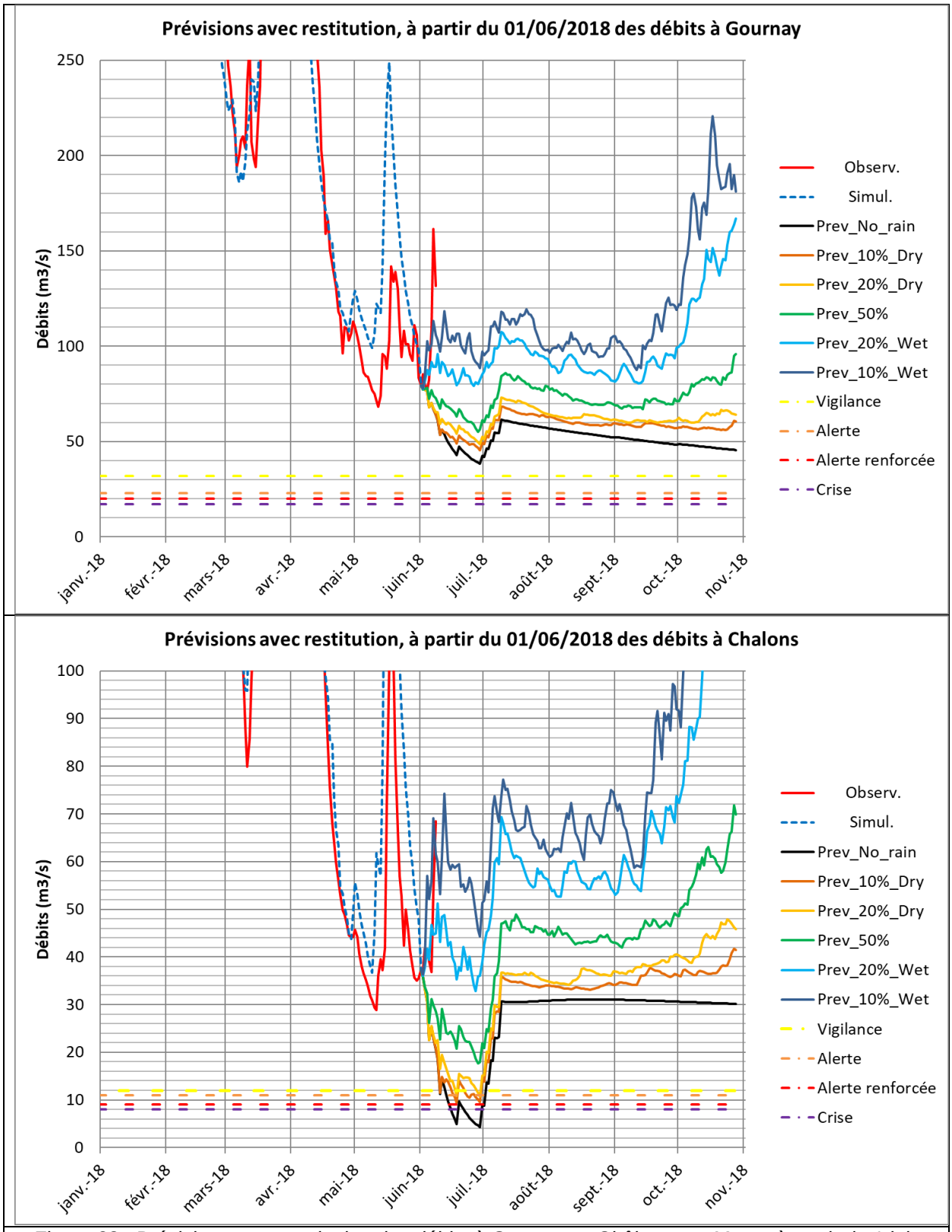



*Figure 38 : Prévisions avec restitution des débits à Gournay et Châlons-sur-Marne à partir du 1 juin 2018*

## 4.5. VERIFICATION A POSTERIORI

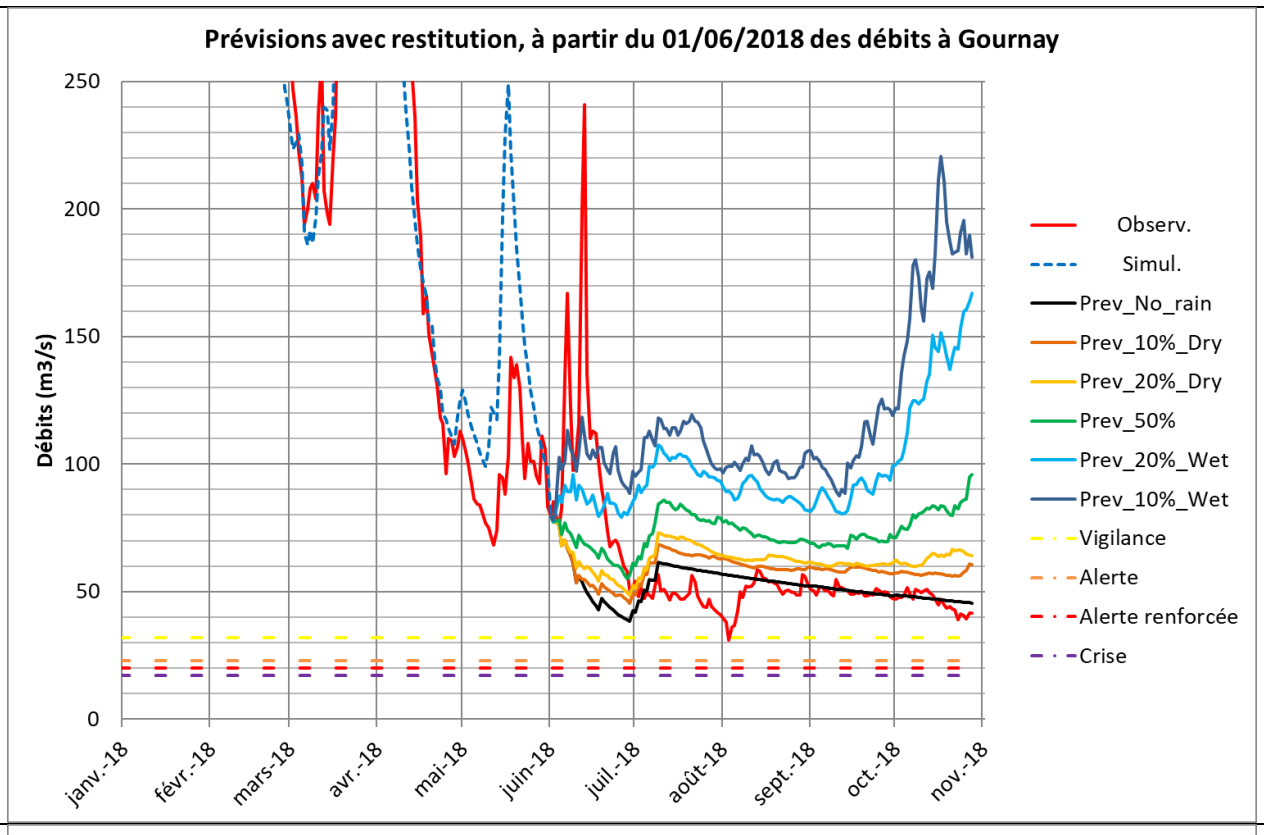
Une vérification des prévisions a été faite a postériori. La période d'été 2018 a été très sèche, il y a eu très peu de précipitation après le mois de juin.

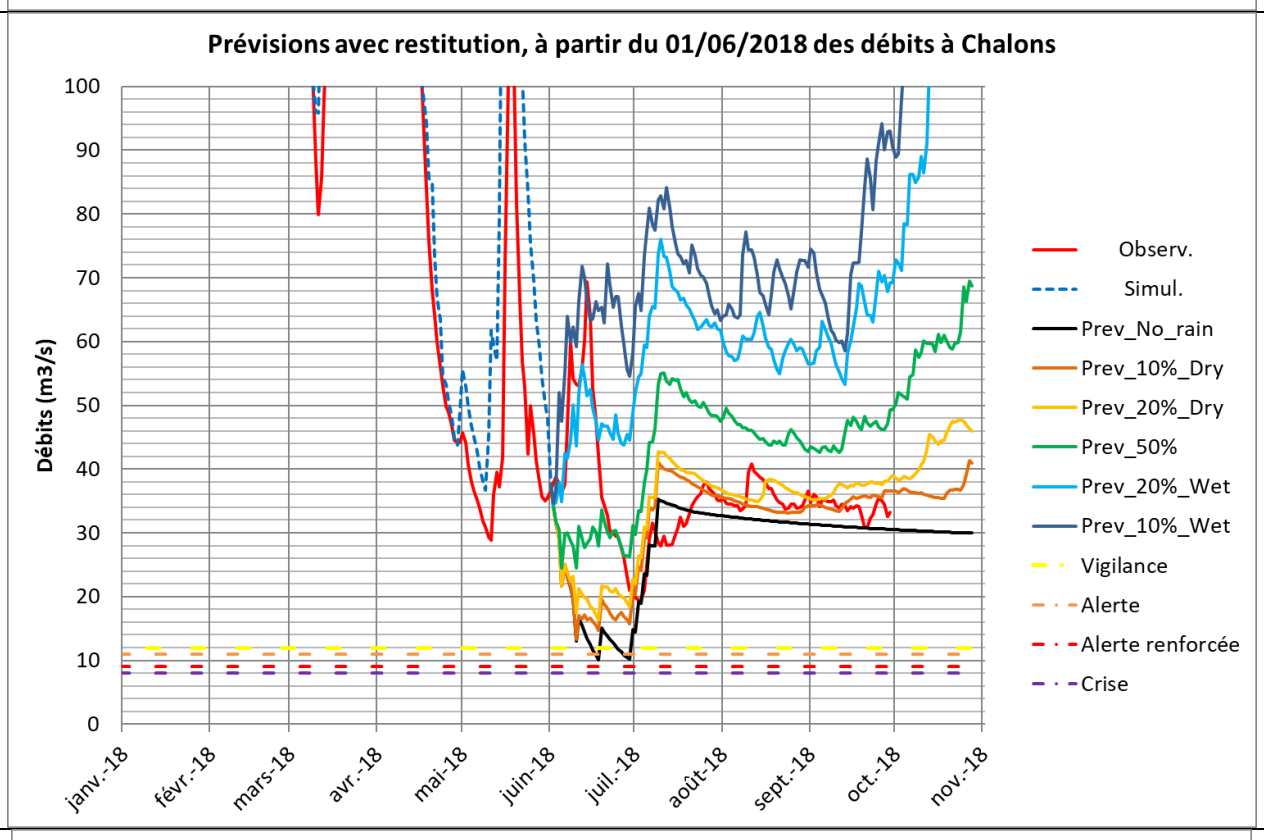
Début juin, les débits observés suivent le scénario de probabilité de non dépassement de 90% atteignent un pic et ils décroissent rapidement pour rejoindre le scénario sans pluie après juillet. Le rôle du soutien d'étiage assuré par le lâcher des barrages (selon le scénario prévisionnel) est clairement observé sur l'hydrogramme de Châlons-sur-Marne. On voit que la restitution dans le scénario prévisionnel se fait dès début juillet alors que cela n'a pas l'air d'être le cas dans la réalité où le lâcher serait plutôt intervenu en août et ensuite les débits s'alignent bien sur le scénario sans pluie. Cela demande à être confirmé pour confirmer que le modèle prévisionnel est bien fiable.

A Gournay, entre juillet et août les débits observés sont plus faibles que le scénario sans pluie. On observe un décrochage de fin juillet à mi-août. Les volumes de lâcher de barrage n'ont probablement pas été les mêmes que ceux pris en compte dans le scénario prévisionnel de restitution.

A Chamouilley, après le pic de juin, les débits observés suivent plutôt le scénario moyen et décrochent début août pour atteindre le scénario sans pluie puis remontent brutalement mi-août jusqu'au scénario de probabilité de non-dépassement de 80% et enfin décroissent à nouveau.

Les prévisions de juin dernier ont donc été relativement fidèles.



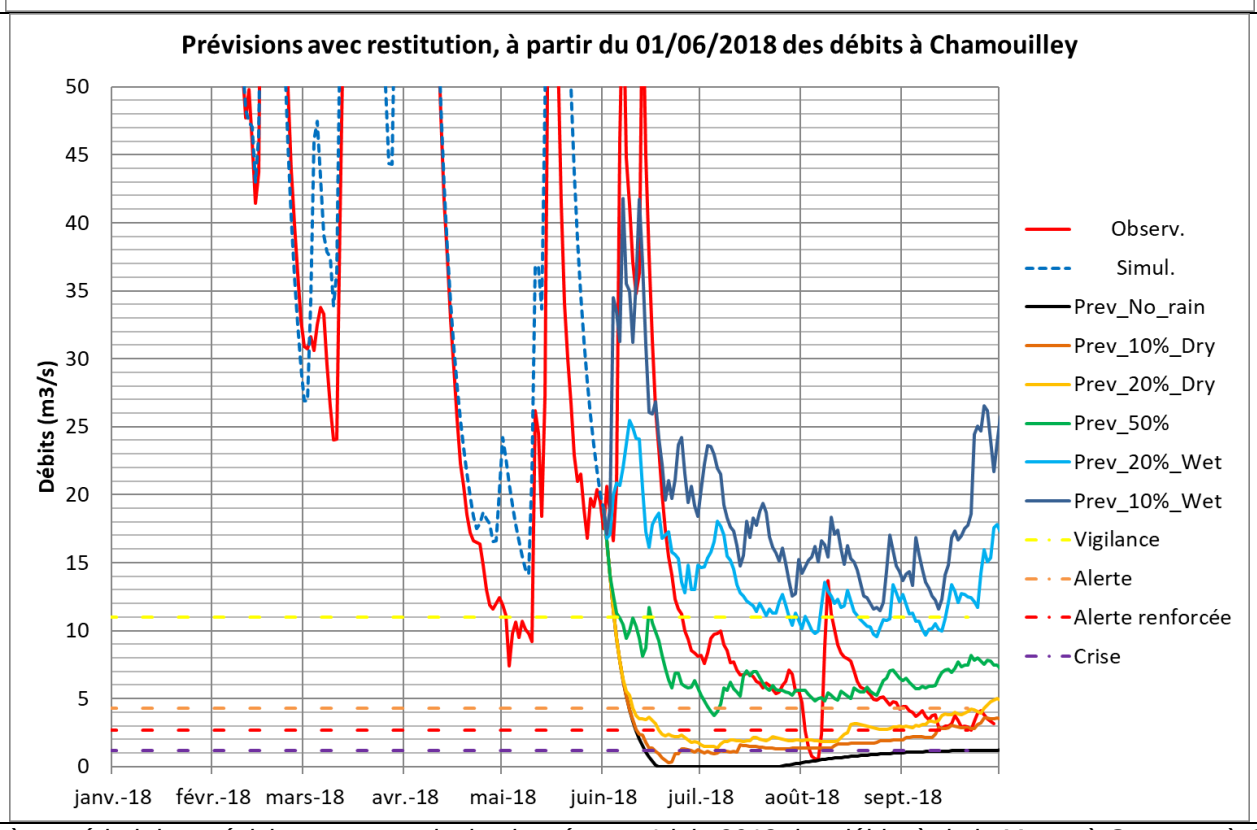




*Figure 39 Vérifications à postériori des prévisions avec restitution lancées au 1 juin 2018 des débits à de la Marne à Gournay, à Châlons-sur-Marne et à Chamouilley*

# 5. Conclusion

Le nouveau modèle EROS Marne inclut 11 sous-bassins dont 3 stations hydrométriques supplémentaires par rapport à l'ancienne version : la Marne à Marnay, à Mussey et à Chamouilley. A l'issue du calage, le modèle permet de restituer de manière satisfaisante les débits et les niveaux piézométriques observés. Les coefficients d'ajustement sur les niveaux piézométriques sont un peu moins bons que ceux obtenus sur les débits, en particulier dans les secteurs karstiques où peu de piézomètres longues séries sont disponibles et présentent des comportements atypiques avec une représentativité très locale.

Les valeurs des débits minimums simulés sont améliorées par l'intégration des piézomètres dans le modèle notamment pour les bassins dont le débit minimal observé est supérieur à 10 $m^3/s$.

D'autres améliorations ont été apportées au modèle suite à l'évolution du code de calcul depuis la dernière version. Elles concernent principalement :

- l'intégration de nouveaux coefficients d'ajustement favorisant les étiages ;
- l'ajout d'un temps de propagation amont – aval au sein d'un bassin élémentaire ;
- la prise en compte de transfert sous terrain sous forme d'un facteur d'échange externe, pertinent pour les bassins karstiques en amont du bassin de la Marne (la Blaise à Louvemont et La Saulx à Vitry-en-Perthois).

Le bilan hydrologique est également plus significatif car l'hydrosystème est pris en compte dans sa globalité. On peut noter une plus forte contribution des eaux souterraines pour certains bassins (la Marne à Frignicourt notamment).

Le nouveau modèle EROS Marne, incluant la composante souterraine, est plus robuste et meilleur pour la simulation des étiages.

Après le travail de calage, des pistes d'amélioration peuvent toutefois être soulevées :

- Le modèle est assez sensible à la distribution des pluies. Lorsque les données étaient disponibles (stations pluviométriques contenant une longue série), une combinaison de plusieurs postes a été faite pour simuler la pluviométrie et homogénéiser la donnée à l'échelle du sous bassin versant. La prise en compte de données de pluie spatialisées, sous forme de grille, dans le modèle EROS permettrait probablement d'améliorer la représentativité des pluies dans le modèle. Cela est possible dans la version d'EROS 7.1.
- Une connaissance plus poussée des débits prélevés améliorerait probablement les résultats du modèle et particulièrement les débits d'étiage des bassins de la Marne à Marnay et à fortiori de la Marne à Gournay résultante de tous les bassins amonts.

Le modèle a été testé en mode prévisionnel. Il permet d'émettre des prévisions statistiques d'évolution des débits pour les mois à venir au niveau de chaque station hydrométrique modélisée. Afin de cerner et valider la qualité du calage sur les prévisions, des scénarios rétrospectifs prévisionnels ont été réalisées. Ils ont été sélectionnés dans le but de représenter certains étiages particulièrement sévères. Ces résultats obtenus ont permis de valider le calage du modèle ainsi que sa robustesse.

Des prévisions ont été lancées, avec et sans restitution des barrages, et les résultats ont été présentés à trois stations hydrométriques : la Marne à Chamouilley, à Châlons-sur-Marne et à Gournay

Des prévisions ont été réalisée et transmises avant la période d'étiage de 2018 pour l'analyse de la situation d'étiage et la proposition d'ajustement de gestion lors du CO.TE.CO (Comité Technique de Coordination des études et travaux de Grands Lacs de Seine) par l'EPTB Seine-Grands-Lacs. La vérification faite a postériori des prévisions lancées au mois de juin 2018 ont ont mis en évidence la fiabilité de celles-ci.

Une formation au modèle a été assurée auprès du personnel en octobre 2018 afin qu'ils puissent réaliser à l'avenir eux-mêmes les prévisions d'étiage et gérer au mieux la restitution du lac-réservoir. A l'issue du stage, le logiciel EROS, nouvelle version, sa notice d'utilisation, les fichiers de données et de prétraitement ainsi que le diaporama, support pédagogique du stage et le modèle calé ont été remis aux stagiaires de l'EPTB Seine-Grands-Lacs.

Les bons résultats de ce nouveau modèle encourage, à moyen terme, ses possibilités d'extension à l'ensemble du bassin versant de la Seine en amont de Paris dans une seconde phase.

# 6. Bibliographie

BENICHON P, LE BRETON O. – 1986 – AURHELY : Prise en compte de la topographie pour la cartographie de champs pluviométriques statistiques : la méthode d'Analyse Utilisant le Relief pour les besoins de l'Hydrométéorologie, Météorologie.

LEDOUX M. et GOMEZ E. – 2003 – Bassin de la Seine en amont de Paris. Etude de l'influence des nappes sur les débits (étiages et crues). Ecole de Mine de Paris, Centre d'Informatique Géologique de Fontainebleau. Rapport provisoire, janvier 2003.

NEGRE E. - 2005 - Etude hydrologique, hydraulique et hydrogéologique du bassin - versant de la Marne. Modélisations hydrologiques globales Gardenia et Eros pour une prédétermination des débits d'étiage. Formation postgrade en Gestion des ressources en eau Hydrologie & Hydrogéologie, travail de diplôme Cycle de spécialisation en hydrogéologie, Centre d'hydrogéologie Université de Neuchâtel (Suisse).

NORMAND M., MARDHEL V. et SCHOMBURCK S. - 2003 - Influence des eaux souterraines sur le débit des cours d'eau sur le bassin amont de la Seine. Rapp. BRGM/RP-52582-FR, octobre 2003.

NORMAND M., D. THIERY. - 2005 – Elaboration d'outils d'aide à la gestion en étiage du lac-réservoir Marne prenant en compte les eaux souterraines – Prévision des débits. Rapp. BRGM/RP-53922-FR, août 2005.

STOLLSTEINER P. – 2012 - Analyse et ajustement du modèle hydrologique de prévision des écoulements de la Marne, BRGM/RP-60944-FR - Rapport final.

THIERY D., 2003 - Logiciel GARDENIA version 6.0, Guide d'utilisation, Rap. BRGM/RP-52832-FR.

THIERY D. – 2003 - Logiciel GARDENIA. Modèle global à réservoirs pour la simulation des débits et des niveaux aquifères. Nouvelle version 6.0c du logiciel, BRGM/RP-52832-FR, décembre 2003.

THIERY D., 2004 - Description succincte du modèle GARDENIA, Note technique, NT EAU 2004/03, février 2004.

THIERY D., 2004 - Prévision de débits ou de niveaux avec le modèle hydrologique global GARDÉNIA 8.3, Note technique NT EAU 2004/02 mai 2004 - Mise à jour décembre 2015.

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

Thiéry, D. (2015) - Validation du code de calcul GARDÉNIA par modélisations physiques comparatives. Rapport BRGM/RP-64500-FR, 48 p., 28 fig.

THIERY D. (2018) - Logiciel ÉROS version 7.1. Guide d'utilisation. Rapport BRGM/RP-67704-FR, 173 p., 82 fig.

Service de Prévention des Risques Naturels et Hydrauliques / Service Eau, Biodiversité, Paysages - Bulletin de suivi d'étiage région Grand Est - Bassins hydrographiques de la Seine, de la Meuse, de la Moselle et du Rhin.

PRÉFECTURE DE LA RÉGION D'ILE-DE-France - ARRÊTÉ N° 2015103 – 0014 préconisant des mesures coordonnées de gestion de l'eau sur le réseau hydrographique du bassin Seine-Normandie en période de sécheresse et définissant des seuils sur certaines rivières du bassin entraînant des mesures coordonnées de limitation provisoire des usages de l'eau et de surveillance sur ces rivières et leur nappe d'accompagnement.

# Annexe 1

# Liste des stations climatologiques sur le bassin de la Marne

| STATION | COMMUNE | ALT-ITUDE | NOM_USUEL | PROPRIETE | TYPE | Lat | Long_ | CdStation |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 55041001 | BEHONNE | 301 | BEHONNE_SAPC | AUTRES | 2 | 48.8 | 5.1833 | 55041001 |
| 55041001 | BEHONNE | 301 | BEHONNE_SAPC | METEO FRANCE | 2 | 48.8 | 5.1833 | 55041001 |
| 55051001 | BIENCOURT-SUR-ORGE | 295 | BIENCOURT-SUR-O | AUTRES | 4 | 48.5667 | 5.35 | 55051001 |
| 55067001 | BOVIOLLES | 270 | BOVIOLLES | METEO FRANCE | 4 | 48.65 | 5.4167 | 55067001 |
| 55035001 | BAZINCOURT-SUR-SAULX | 300 | BAZINCOURT | AUTRES | 4 | 48.7 | 5.1667 | 55035001 |
| 55123002 | LES HAUTS-DE-CHEE | 265 | CONDE_SAPC | AUTRES | 2 | 48.8667 | 5.1833 | 55123002 |
| 55123002 | LES HAUTS-DE-CHEE | 265 | CONDE_SAPC | METEO FRANCE | 2 | 48.8667 | 5.1833 | 55123002 |
| 55248001 | HOUDELAINCOURT | 390 | HOUDELAINCOURT | METEO FRANCE | 1 | 48.5667 | 5.5 | 55248001 |
| 55427001 | REVIGNY-SUR-ORNAIN | 143 | REVIGNY-SUR-ORNAIN | METEO FRANCE | 4 | 48.8333 | 4.9833 | 55427001 |
| 55479001 | SEIGNEULLES | 275 | SEIGNEULLES | METEO FRANCE | 4 | 48.85 | 5.2333 | 55479001 |
| 55531001 | VASSINCOURT | 187 | VASSINCOURT | METEO FRANCE | 1 | 48.8167 | 5.0333 | 55531001 |
| 93050001 | NEUILLY-SUR-MARNE | 45 | NEUILLY-SUR-M. | METEO FRANCE | 4 | 48.8667 | 2.55 | 93050001 |
| 2585001 | PARCY-ET-TIGNY | 148 | PARCY-ET-TIGNY | METEOFRANCE | 4 | 49.2833 | 3.3333 | 2585001 |
| 2094001 | BLESMES | 226 | BLESMES | METEOFRANCE | 1 | 49.0167 | 3.4667 | 2094001 |
| 88212001 | GRAND | 390 | GRAND | AUTRES | 4 | 48.3833 | 5.4833 | 88212001 |
| 75112001 | PARIS-12E | 50 | ILE DE BERCY | METEO FRANCE | 4 | 48.8333 | 2.4167 | 75112001 |
| 60069001 | BETZ | 98 | BETZ | METEOFRANCE | 4 | 49.15 | 2.95 | 60069001 |
| 60500003 | LE PLESSIS-BELLEVILLE | 117 | LE-PLESSIS-BELLEVILLE | METEOFRANCE | 4 | 49.1 | 2.75 | 60500003 |
| 93048001 | MONTREUIL | 110 | MONTREUIL | METEO FRANCE | 4 | 48.85 | 2.4667 | 93048001 |
| 94042001 | JOINVILLE-LE-PONT | 37 | JOINVILLE | METEO FRANCE | 4 | 48.8167 | 2.4667 | 94042001 |
| 94044001 | LIMEIL-BREVANNES | 45 | LIMEIL | METEO FRANCE | 4 | 48.75 | 2.4833 | 94044001 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 94068001 | SAINT-MAUR-DES-FOSSES | 50 | ST-MAUR | METEO FRANCE | 1 | 48.8167 | 2.5 | 94068001 |
| 77033001 | BEZALLES | 163 | BEZALLES | METEO FRANCE | 4 | 48.6833 | 3.25 | 77033001 |
| 77042001 | BOISSY-LE-CHATEL | 133 | BOISSY-LE-CHAT. | AUTRES | 2 | 48.8333 | 3.1333 | 77042001 |
| 77058001 | BUSSY-SAINT-GEORGES | 125 | BUSSY | METEO FRANCE | 4 | 48.85 | 2.7 | 77058001 |
| 77066002 | CERNEUX | 183 | CERNEUX | AUTRES | 4 | 48.7333 | 3.3667 | 77066002 |
| 77084001 | CHANGIS-SUR-MARNE | 70 | CHANGIS | METEO FRANCE | 1 | 48.9667 | 3.0167 | 77084001 |
| 77113002 | CHEVRU | 158 | CHEVRU | METEO FRANCE | 1 | 48.7333 | 3.2 | 77113002 |
| 77148002 | CROUY-SUR-OURCQ | 62 | CROUY-SUR-OURCQ | METEO FRANCE | 4 | 49.1 | 3.0667 | 77148002 |
| 77320002 | MOUROUX | 148 | MOUROUX_SAPC | METEO FRANCE | 2 | 48.85 | 3.05 | 77320002 |
| 77390001 | ROISSY-EN-BRIE | 103 | ROISSY-EN-BRIE | METEO FRANCE | 4 | 48.8 | 2.6333 | 77390001 |
| 77405001 | SAINT-CYR-SUR-MORIN | 63 | ST-CYR/MORIN-BG | METEO FRANCE | 4 | 48.9167 | 3.1833 | 77405001 |
| 77406002 | SAINT-DENIS-LES-REBAIS | 147 | ST-DENIS-LES-R. | AUTRES | 4 | 48.85 | 3.2167 | 77406002 |
| 77468001 | TORCY | 43 | TORCY | METEO FRANCE | 1 | 48.8667 | 2.65 | 77468001 |
| 77478001 | USSY-SUR-MARNE | 69 | USSY-SUR-MARNE | METEO FRANCE | 4 | 48.9667 | 3.1 | 77478001 |
| 77490001 | VENDREST | 118 | VENDREST | AUTRES | 2 | 49.05 | 3.1 | 77490001 |
| 51029003 | AVIZE | 113 | AVIZE | AUTRES | 2 | 48.9833 | 4.0167 | 51029003 |
| 51079001 | BOUZY | 177 | BOUZY | AUTRES | 2 | 49.0833 | 4.1333 | 51079001 |
| 51129001 | CHARLEVILLE | 205 | CHARLEVILLE | METEOFRANCE | 4 | 48.8167 | 3.6667 | 51129001 |
| 51153001 | CHOUILLY | 174 | CHOUILLY | METEOFRANCE | 1 | 49.0167 | 3.9833 | 51153001 |
| 51210001 | DIZY | 93 | DIZY | METEOFRANCE | 4 | 49.0667 | 3.9667 | 51210001 |
| 51237001 | ESTERNAY | 175 | ESTERNAY-MAN | METEOFRANCE | 4 | 48.7333 | 3.5833 | 51237001 |
| 51237002 | ESTERNAY | 185 | ESTERNAY | METEOFRANCE | 1 | 48.75 | 3.5833 | 51237002 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 51242001 | FAGNIERES | 105 | FAGNIERES-INRA | AUTRES | 3 | 48.9333 | 4.3167 | 51242001 |
| 51244001 | FAUX-VESIGNEUL | 132 | FAUX-VESIGNEUL | METEOFRANCE | 4 | 48.7833 | 4.4 | 51244001 |
| 51259001 | FRANCHEVILLE | 98 | FRANCHEVILLE | METEOFRANCE | 4 | 48.8833 | 4.5333 | 51259001 |
| 51262001 | FRIGNICOURT | 105 | FRIGNICOURT | METEOFRANCE | 1 | 48.7 | 4.5833 | 51262001 |
| 51266001 | GERMAINE | 210 | GERMAINE | METEOFRANCE | 4 | 49.1167 | 4.0333 | 51266001 |
| 51298001 | IGNY-COMBLIZY | 225 | IGNY-COMBLIZY | METEOFRANCE | 4 | 49.0167 | 3.7167 | 51298001 |
| 51381003 | MONTMORT-LUCY | 192 | MONTMORT-MAN | METEOFRANCE | 4 | 48.9333 | 3.85 | 51381003 |
| 51460001 | RIEUX | 146 | RIEUX | METEOFRANCE | 4 | 48.85 | 3.5 | 51460001 |
| 51545001 | SOMMESOUS | 167 | SOMMESOUS | METEOFRANCE | 4 | 48.7333 | 4.2 | 51545001 |
| 51556001 | SOUDRON | 121 | SOUDRON | METEOFRANCE | 4 | 48.85 | 4.2 | 51556001 |
| 51566001 | THIBIE | 97 | THIBIE | METEOFRANCE | 4 | 48.9333 | 4.2167 | 51566001 |
| 51583001 | TROIS-FONTAINES-L'ABBAYE | 204 | TROIS-FONTAINES | METEOFRANCE | 4 | 48.7167 | 4.95 | 51583001 |
| 51590002 | VANAULT-LES-DAMES | 134 | VANAULT | METEOFRANCE | 4 | 48.85 | 4.7667 | 51590002 |
| 51595002 | VATRY | 179 | VATRY-AERO | METEOFRANCE | 0 | 48.7833 | 4.1667 | 51595002 |
| 51611001 | VERT-TOULON | 153 | VERT TOULON | METEOFRANCE | 4 | 48.85 | 3.9 | 51611001 |
| 51612002 | VERTUS | 115 | VERTUS | METEOFRANCE | 4 | 48.9167 | 4 | 51612002 |
| 52003001 | AILLIANVILLE | 422 | AILLIANVILLE | METEOFRANCE | 4 | 48.35 | 5.4833 | 52003001 |
| 52050001 | BIESLES | 387 | BIESLES | METEOFRANCE | 4 | 48.0833 | 5.3 | 52050001 |
| 52055001 | BLECOURT | 346 | BLECOURT | METEOFRANCE | 1 | 48.3833 | 5.0667 | 52055001 |
| 52061002 | BOURDONS-SUR-ROGNON | 309 | BOURDONS_SAPC | AUTRES | 2 | 48.1667 | 5.35 | 52061002 |
| 52061002 | BOURDONS-SUR-ROGNON | 309 | BOURDONS_SAPC | METEOFRANCE | 2 | 48.1667 | 5.35 | 52061002 |
| 52084002 | BUSSON | 385 | BUSSON | AUTRES | 2 | 48.3333 | 5.3667 | 52084002 |
| 52084002 | BUSSON | 385 | BUSSON | METEOFRANCE | 2 | 48.3333 | 5.3667 | 52084002 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 52108002 | CHARMES | 332 | CHARMES LES LAN | METEOFRANCE | 4 | 47.9167 | 5.35 | 52108002 |
| 52121007 | CHAUMONT | 317 | CHAUMONT | AUTRES | 2 | 48.1 | 5.15 | 52121007 |
| 52123003 | CHEVILLON | 170 | CHEVILLON | AUTRES | 2 | 48.5167 | 5.1167 | 52123003 |
| 52123003 | CHEVILLON | 170 | CHEVILLON | METEOFRANCE | 2 | 48.5167 | 5.1167 | 52123003 |
| 52131002 | CIRFONTAINES-EN-ORNOIS | 374 | CIRFONTAINES | AUTRES | 2 | 48.45 | 5.3833 | 52131002 |
| 52131002 | CIRFONTAINES-EN-ORNOIS | 374 | CIRFONTAINES | METEOFRANCE | 2 | 48.45 | 5.3833 | 52131002 |
| 52248002 | IS-EN-BASSIGNY | 402 | IS-EN-BASSIGNY | METEOFRANCE | 1 | 48.0167 | 5.45 | 52248002 |
| 52269001 | LANGRES | 466 | LANGRES | METEOFRANCE | 0 | 47.85 | 5.3333 | 52269001 |
| 52282001 | LEFFONDS | 380 | LEFFONDS | METEOFRANCE | 4 | 47.9667 | 5.1667 | 52282001 |
| 52294001 | LOUVEMONT | 146 | LOUVEMONT - MAN | METEOFRANCE | 4 | 48.5667 | 4.9167 | 52294001 |
| 52348003 | NEUILLY-L'EVEQUE | 353 | NEUILLY-L'EVEQUE_SAPC | AUTRES | 2 | 47.9167 | 5.4333 | 52348003 |
| 52348003 | NEUILLY-L'EVEQUE | 353 | NEUILLY-L'EVEQUE_SAPC | METEOFRANCE | 2 | 47.9167 | 5.4333 | 52348003 |
| 52428001 | ROCHEFORT-SUR-LA-COTE | 353 | ROCHEFORT | METEOFRANCE | 4 | 48.2167 | 5.2 | 52428001 |
| 52443001 | SAILLY | 275 | SAILLY | METEOFRANCE | 4 | 48.4333 | 5.2667 | 52443001 |
| 52447001 | SAINT-CIERGUES | 354 | ST-CIERGUES | METEOFRANCE | 4 | 47.8833 | 5.2667 | 52447001 |
| 52448001 | SAINT-DIZIER | 139 | ST-DIZIER | METEOFRANCE | 0 | 48.6333 | 4.9 | 52448001 |
| 52456001 | SAINT-URBAIN-MACONCOURT | 220 | ST-URBAIN | METEOFRANCE | 4 | 48.4 | 5.1833 | 52456001 |
| 52469001 | SEMOUTIERS-MONTSAON | 300 | CHAUMONT-SEMOUTIERS | METEOFRANCE | 1 | 48.1 | 5.05 | 52469001 |
| 55179001 | ERNEVILLE | 313 | ERNEVILLE AUX B_SAPC | AUTRES | 2 | 48.75 | 5.4 | 55179001 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 55179001 | ERNEVILLE | 313 | ERNEVILLE AUX B_SAPC | METEO FRANCE | 2 | 48.75 | 5.4 | 55179001 |

# Annexe 2

# Etude des prélèvements sur la Marne

*Septembre 2017*

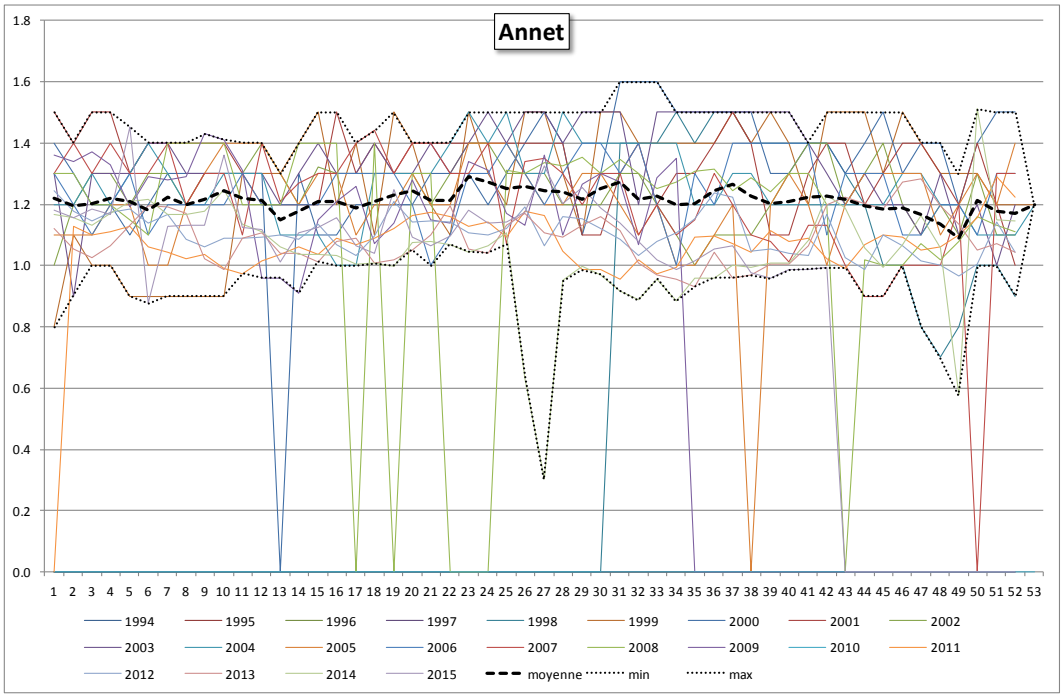
SEINE GRANDS LACS
ÉTABLISSEMENT PUBLIC TERRITORIAL DE BASSIN

# 1. Données disponibles

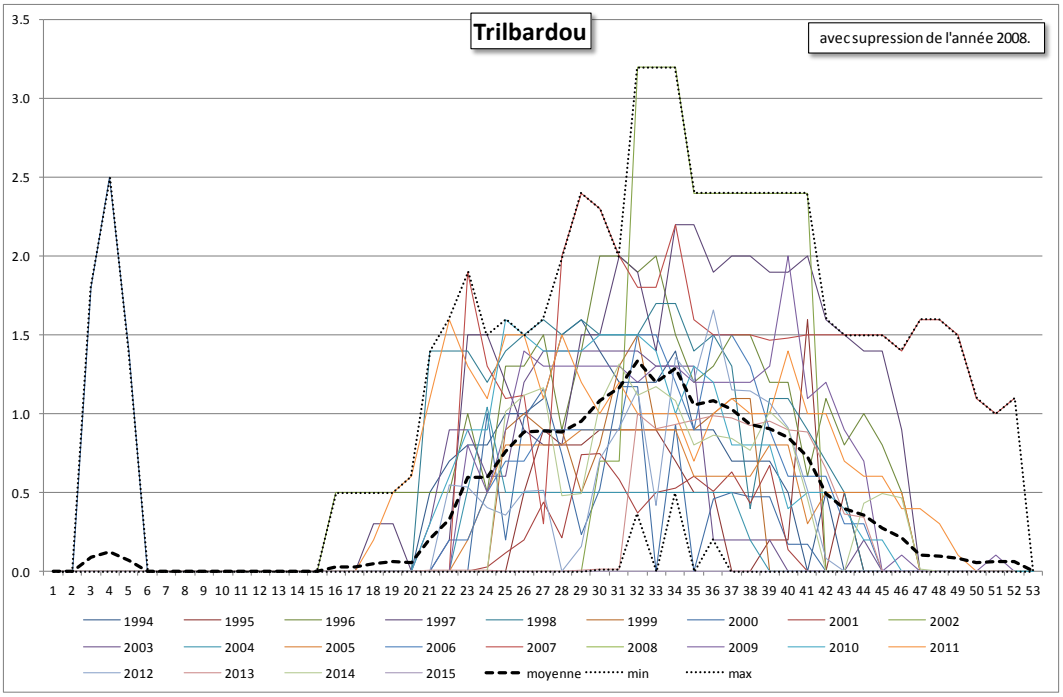
## 1.1. BASE DE DONNEES DE LA SITHYD

Les données des préleveurs que l'on recevait toutes les semaines de manière plus ou moins régulière sont disponibles sur la période 1994-2015.

Le modèle du BRGM (EROS) ayant pour station aval la station de Gournay, seuls sont étudiés les prélèvements à l'amont de cette station. Les principales stations de pompage sur la Marne des producteurs d'eau en région parisienne sont situées à l'aval de Gournay, il ne reste comme préleveurs d'on nous ayons les données que la station d'Annet et celle de Trilbardou pour l'alimentation du canal de l'Ourq.

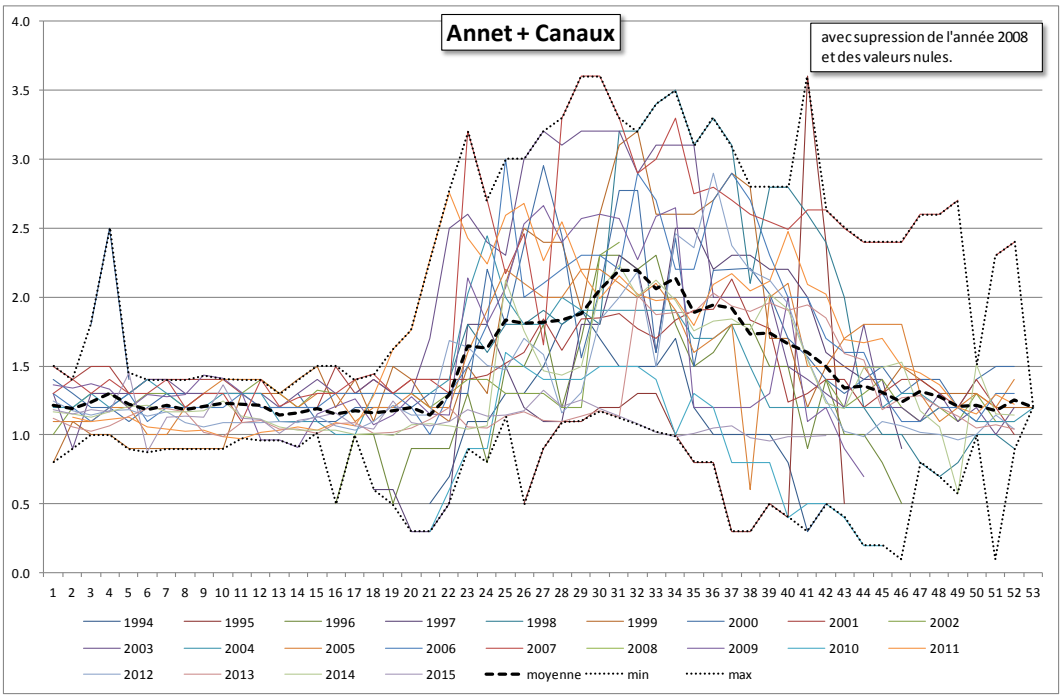



Les prélèvements de la station d'Annet sont quasiment constants toute l'année entre 1 et 1.5 $m^3/s$ avec une valeur moyenne de l'ordre d'1.2 $m^3/s$. Les valeurs nulles dans le graphique correspondent à des absences de données.




On note que les prises d'eau en rivière pour l'alimentation du canal de l'Ourq se produisent principalement entre les semaines 20 et 47 (15 mai au 20 novembre environ). Il existe de très fortes disparités de débit prélevé suivant les années, toutefois celles-ci restent inférieures à 2.5 $m^3/s$. Le débit moyen maximum de prélèvement est de l'ordre de 1.3 $m^3/s$.

Dans les graphiques ci-dessus et ci-dessous a été retirée l'année atypique de 2008 qui présente une alimentation du canal tout au long de l'année, y compris en hiver.



## 1.2. LA BASE DE DONNEES DU LOGICIEL PEGASE

La base de données des prélèvements du logiciel Pégase a été mise à jour en 2012 en grande partie à partir des données de l'AESN sur la période 2000-2007. Les valeurs retenues sont celles de l'année de référence, dont le choix s'est porté sur l'année 2007 *« qui correspond au niveau d'équipement le plus récent et n'est pas une année climatiquement exceptionnelle »*. Sauf pour les valeurs de l'irrigation qui sont la moyenne des constations 2000-2007.

*BV du logiciel Pégase et repérage des points de tronçons*

| | | | irrigation | industrie | TIRU | thermique | nucléaire | AEP hors région parisienne | AEP région parisienne | STEP région parisienne | navigation | canal Ourcq | eau non potable Paris | total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| marne | | MA00MA01 | 58 072 | | | | | | | | | | | |
| | | MA12MA01 | | | | | | | | | | | | |
| | | MA11MA02 | | | | | | | | | 28 382 400 | | | |
| | **chalons** | | **58 072** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **28 382 400** | **0** | **0** | **28 440 472** |
| | | MA02MA03 | 92 903 | | | | | | | | -7 095 600 | | | |
| | | MA03MA04 | 48 400 | 921 | | | | | | | | | | |
| | | MA04MA05 | 589 133 | 54 084 | | | | 1 338 622 | | | | 25 223 500 | | |
| | | MA05MA55 | | | | | | | | | | | | |
| | | MA55MA06 | 451 701 | | | | | | 37 958 570 | | | 27 862 280 | | |
| | **gournay** | | **1 240 209** | **55 005** | **0** | **0** | **0** | **1 338 622** | **37 958 570** | **0** | **21 286 800** | **53 085 780** | **0** | **114 964 986** |
| | | MA06MA07 | | 207 964 | | | | 121 184 | 169 080 416 | -12 579 172 | | | | |
| | *confluence* | | *1 240 209* | *262 969* | | *0* | *0* | *1 459 806* | *207 038 986* | *-12 579 172* | *21 286 800* | *53 085 780* | *0* | *271 795 378* |

*Prélèvements en mètres cubes par an*

| | | | irrigation | industrie | TIRU | thermique | nucléaire | AEP hors région parisienne | AEP région parisienne | STEP région parisienne | navigation | canal Ourcq | eau non potable Paris | total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| marne | | MA00MA01 | 0.002 | | | | | | | | | | | |
| | | MA12MA01 | | | | | | | | | | | | |
| | | MA11MA02 | | | | | | | | | 0.900 | | | |
| | **chalons** | | **0.002** | **0.000** | **0.000** | **0.000** | **0.000** | **0.000** | **0.000** | **0.000** | **0.900** | **0.000** | **0.000** | **0.902** |
| | | MA02MA03 | 0.003 | | | | | | | | -0.225 | | | |
| | | MA03MA04 | 0.002 | 0.000 | | | | | | | | | | |
| | | MA04MA05 | 0.019 | 0.002 | | | | 0.042 | | | | 0.800 | | |
| | | MA05MA55 | | | | | | | | | | | | |
| | | MA55MA06 | 0.014 | | | | | | 1.204 | | | 0.884 | | |
| | **gournay** | | **0.039** | **0.002** | **0.000** | **0.000** | **0.000** | **0.042** | **1.204** | **0.000** | **0.675** | **1.683** | **0.000** | **3.646** |
| | | MA06MA07 | | 0.007 | | | | 0.004 | 5.362 | -0.399 | | | | |
| | *confluence* | | *0.039* | *0.008* | | *0.000* | *0.000* | *0.046* | *6.565* | *-0.399* | *0.675* | *1.683* | *0.000* | *8.619* |

*Prélèvements annuels en mètres cubes secondes*

Ces prélèvements sont des « prélèvements net » donc des consommations. Les ratios consommation/prélèvement suivants ont été appliqués :

- Irrigation, consommation égale prélèvements ;
- Industrie, consommation de 7 % des prélèvements ;
- AEP hors région parisienne, consommation de 24 % des prélèvements (il est considéré que les usines rejettent dans le même tronçon de rivière qu'elles prélèvent) ;
- AEP région parisienne, consommation égale prélèvements (les rejets se faisant via les STEP à l'aval de la région).

L'étude des prélèvements indique une valeur moyenne de 1.2 $m^3/s$ pour l'AEP en région parisienne (usine d'Annet), ce qui est la même valeur que la moyenne des observations décrites précédemment. Par contre la valeur indiquée pour le canal de l'Ourq est très nettement supérieure aux constatations transmises pour la SitHyd. La moyenne des prélèvements aboutie à un volume annuel de 12.8 M de $m^3$, à comparer avec les 53 M de $m^3$ indiquées. A noté que l'étude Pégase indique deux prélèvements de 25 à 28 M de $m^3$. Le premier correspond à l'usine de Villers-le-Rigault (dont la valeur de prélèvement est égale à 0, l'usine n'est plus en activité) et à la prise d'eau d'alimentation du canal à Mareuil-sur-Ourcq, la seconde correspond de à l'usine Trilbardou. L'étude Pégase indique que la prise d'eau d'alimentation du canal à Mareuil-sur-Ourcq n'était pas prise en compte dans les études précédentes.

Le cumul des prélèvements maximums transmis pour la SitHyd pour l'usine de Trilbardou et celle d'Annet aboutit à un volume d'environ 42 M de $m^3$, le volume moyen étant lui d'environ 13 M de $m^3$.

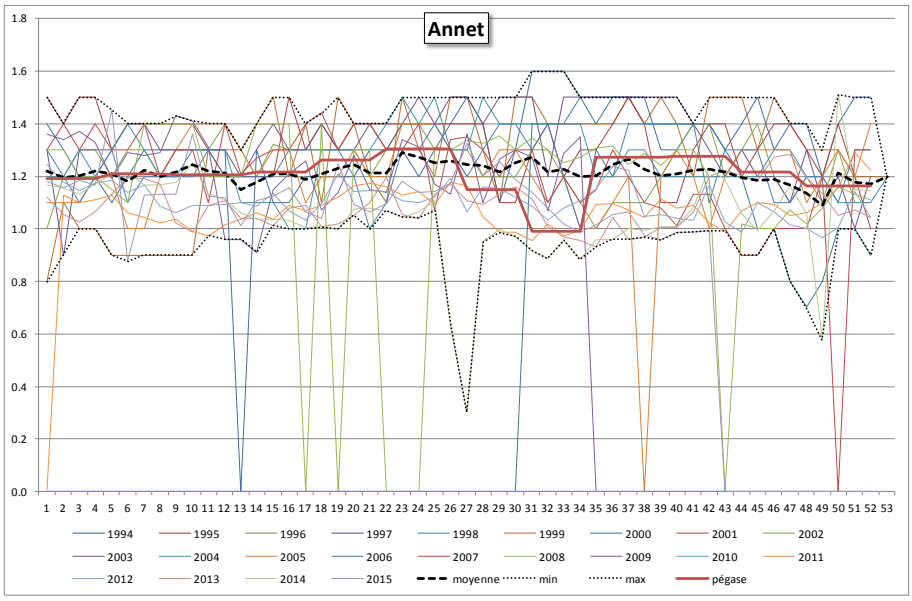
Le prélèvement pour la navigation correspond à l'alimentation du canal Marne-Aisne. Seul 25 % de ce prélèvement retourne à l'aval vers le bassin de la Marne.

### 1.2.1. Etude des ratios de l'étude Pégase

| Ratios | AEP | Industriel | Energie | Irrigation | navigation (Nivernais) | navigation (Marne) | canal Ourcq |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Janvier | 8.40% | 8.60% | 9.00% | 0.00% | 0.00% | 8.50% | 0.80% |
| Février | 7.70% | 8.00% | 8.30% | 0.00% | 0.00% | 7.70% | 0.80% |
| Mars | 8.50% | 8.60% | 9.10% | 0.00% | 3.10% | 8.50% | 1.30% |
| Avril | 8.30% | 8.60% | 10.00% | 7.50% | 11.20% | 8.20% | 1.20% |
| Mai | 8.90% | 8.60% | 9.10% | 15.00% | 12.60% | 8.50% | 3.40% |
| Juin | 8.90% | 8.60% | 8.30% | 20.00% | 13.20% | 8.20% | 17.80% |
| Juillet | 8.10% | 7.90% | 6.60% | 25.00% | 14.70% | 8.50% | 21.70% |
| Août | 7.00% | 7.00% | 5.80% | 25.00% | 14.70% | 8.50% | 24.00% |
| Septembre | 8.70% | 8.40% | 6.60% | 7.50% | 14.30% | 8.20% | 18.00% |
| Octobre | 9.00% | 8.60% | 9.10% | 0.00% | 11.60% | 8.50% | 7.50% |
| Novembre | 8.30% | 8.60% | 9.10% | 0.00% | 4.60% | 8.20% | 2.30% |
| Décembre | 8.20% | 8.50% | 9.00% | 0.00% | 0.00% | 8.50% | 1.20% |

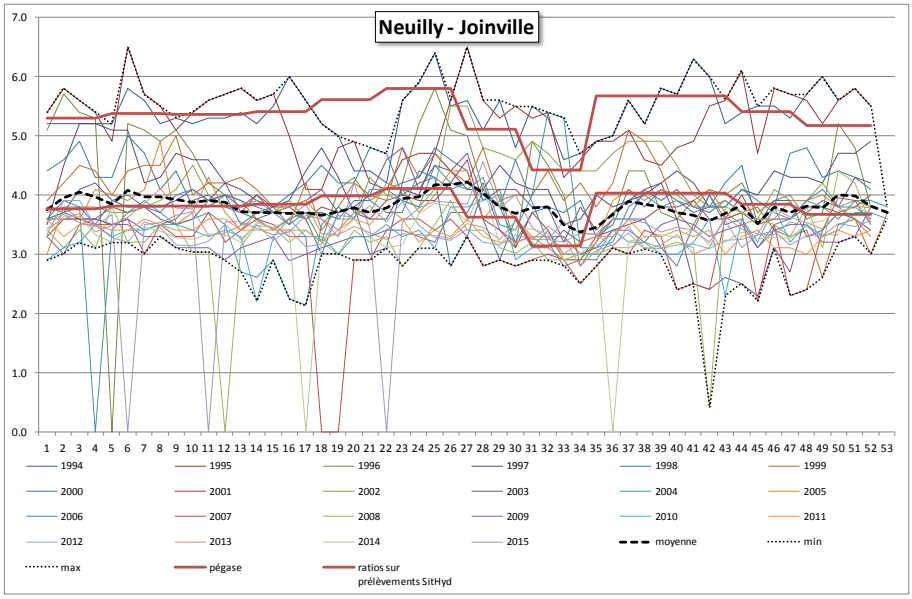
L'étude Pégase définie des ratios mensuels à appliquer sur les prélèvements annuels.

Si l'on applique les ratios de l'AEP pour les prélèvements de l'usine d'Annet, voici ce que l'on obtient :



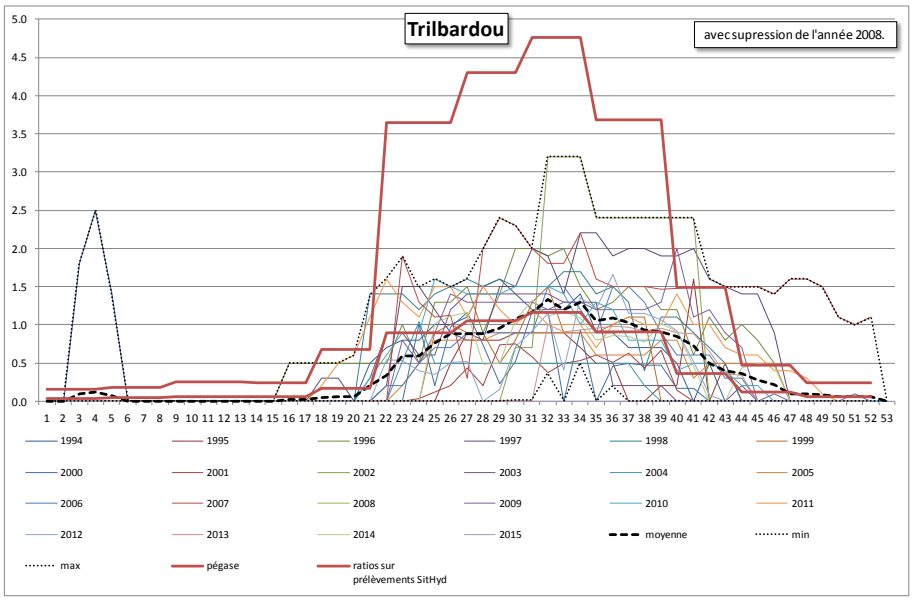

Il est immédiatement visible que ceux-ci ne peuvent s'appliquer à la station d'Annet. La différence est particulièrement notable pour les mois de juillet et août (semaines 27 à 34).

Une vérification a été faite sur les deux autres stations de prélèvement AEP sur la Marne en aval de Gournay.




La valeur de prélèvement annuel est nettement surestimée par rapport à la moyenne des valeurs de prélèvements de la base de données de la SitHyd, environ 169 M de $m^3$ contre 120 M de $m^3$. Si on applique les ratios au volume moyen constaté, on obtient une courbe proche de la réalité, simplement décalée dans le temps d'environ trois semaines.

Concernant le canal de l'Ourq, nous avons vu plus haut que les prélèvements indiqués dans l'étude Pégase sont largement surévalués eux aussi. Par contre, ramenée aux volumes moyens constatés, l'application des ratios mensuels est cohérente tout en étant décalée dans le temps.




## 1.3. ETUDE BIPE – HYDRATEC

L'étude BIPE – Hydratec pour l'AESN avait pour objet d'identifier les pressions ayant un impact sur la disponibilité quantitative de la ressource en eau superficielle et notamment les rivières en période d'étiage, en situation actuelle et aux horizons 2015 et 2025.

Elle indique pour l'année 2002 et pour la vallée de la Marne à l'amont de la région Ile-de-France des prélèvements AEP de 339 M de m$^3$ pour des consommations de 69 M de m$^3$. Ce chiffre nettement supérieures aux 1.34 M de m$^3$ de la base de données Pégase, et de 33.9 M de m$^3$ pour l'industrie, consommation de 6.4 M de m$^3$, contre 55 M de m$^3$ pour la base de données Pégase. Ces valeurs ne sont pas cohérentes entres elles.

Bien que cela sorte du cadre de cette étude, les mêmes constatations peuvent être faites pour la vallée de la Seine à l'amont de la région avec des prélèvements AEP de plus du double et pour l'industrie du dixième entre l'étude BIPE **–** Hydratec et la base de données Pégase.

## 1.4. LA BASE DE DONNEES DE L'AESN

La base de donnée des prélèvements de l'AESN regroupe toutes les déclarations de volumes prélevés en nappe et en rivière quel qu'en soit la finalité sur le bassin Seine-Normandie. Les données sont déclaratives de la part des préleveurs.

Il a été faite une extraction de cette base de donnée sur un tronçon de la vallée de la Marne. Nous avons choisi celui qui nous a semblé le plus représentatif en terme d'usage, celui correspondant au tronçon Pégase M04M05 (le bassin versant de Château-Thierry à Meaux). Nous avons fait des moyennes des valeurs de prélèvements de trois années (2008-2009-2010), trois années plus récentes que celle utilisée pour la base de données Pégase.

Les prélèvements de la base de données AESN sont des prélèvements bruts.

Cette base de données donne des renseignements sur la masse d'eau où sont effectués les prélèvements, mais pas toujours de manière précise. En cas d'eau de surface, le cours d'eau concerné est indiqué. En cas d'eau sous-terraine, la masse d'eau concernée peut être indiquée comme une nappe alluviale, une nappe profonde, ou une masse d'eau englobant une nappe alluviale et une nappe profonde (dénommée indéterminée ci-dessous). De plus certains captages sont indiqués comme prélevant à la fois de l'eau de surface et de l'eau sous-terraine.

Volumes prélevés annuels

| | eaux de surface | | | nappe alluviale | | | nappe profonde | | | indéterminée | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | irrigation | AEP | industrie | irrigation | AEP | industrie | irrigation | AEP | industrie | irrigation | AEP | industrie |
| 2008 | - | - | - | - | - | - | 89 972 | 3 125 320 | 174 488 | 78 048 | 4 083 558 | 36 252 |
| 2009 | - | - | - | - | - | - | 21 689 | 3 320 718 | 169 379 | 69 560 | 7 362 520 | 7 170 |
| 2010 | - | - | - | - | - | - | 84 052 | 3 666 855 | 197 883 | 22 422 | 1 392 385 | 18 110 |
| moyenne | - | - | - | - | - | - | 65 238 | 3 370 964 | 180 583 | 56 677 | 4 279 488 | 20 511 |

| | surface + nappe alluviale | | | surface + nappe profonde | | | surface + indéterminée | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | irrigation | AEP | industrie | irrigation | AEP | industrie | irrigation | AEP | industrie | total |
| 2008 | - | - | - | 174 143 | - | 23 000 | 5 610 | - | - | 7 790 390 |
| 2009 | - | - | - | 139 887 | - | 19 900 | 15 250 | - | - | 11 126 073 |
| 2010 | - | - | - | 331 740 | - | 47 780 | 9 770 | - | - | 5 770 997 |
| moyenne | - | - | - | 215 257 | - | 30 227 | 10 210 | - | - | 8 229 153 |

cumul par usage

| | irrigation | AEP | industrie |
|---|---|---|---|
| 2008 | 347 773 | 7 208 878 | 233 740 |
| 2009 | 246 386 | 10 683 238 | 196 449 |
| 2010 | 447 984 | 5 059 240 | 263 773 |
| moyenne | 347 381 | 7 650 452 | 231 321 |

valeurs Pégase

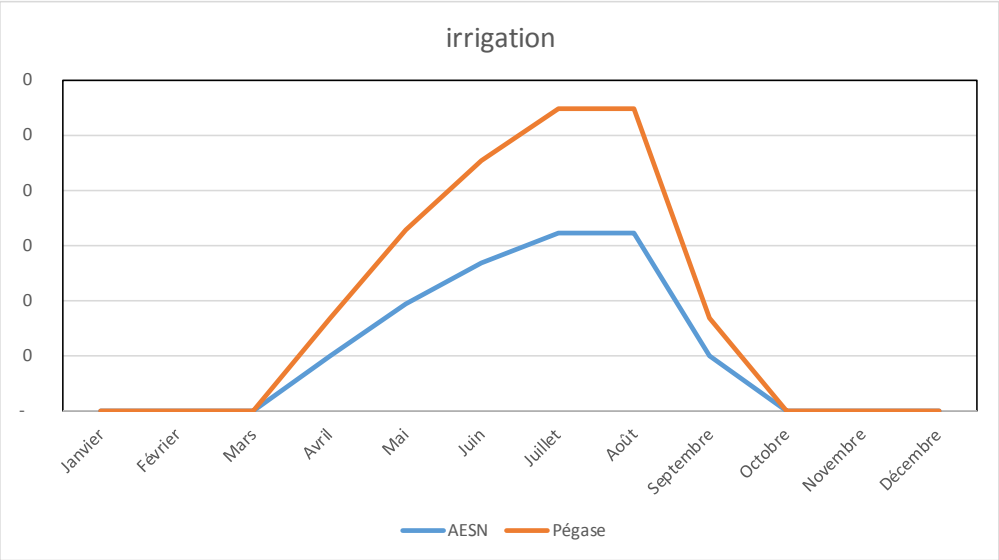
| irrigation | AEP | industrie |
|---|---|---|
| 589 133 | 1 338 622 | 54 084 |

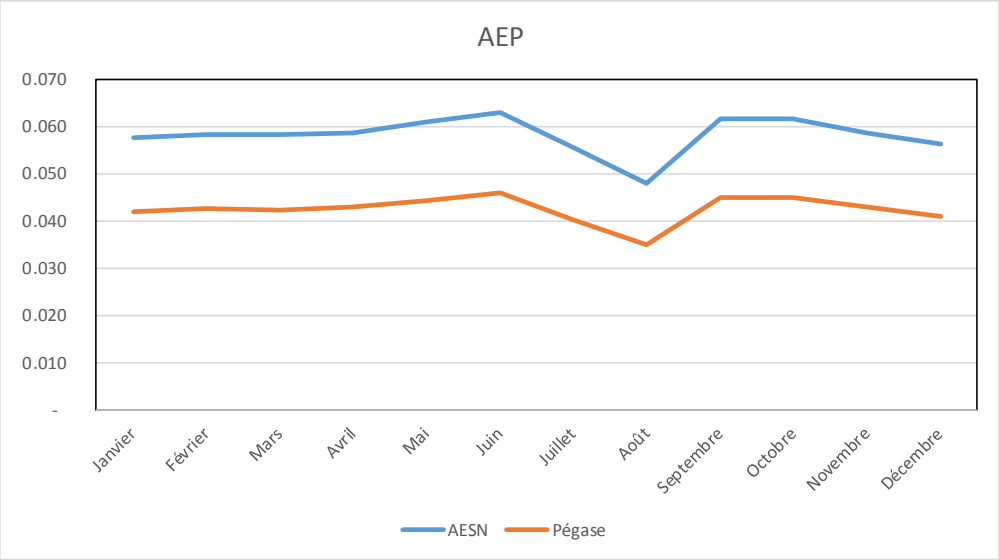
*Volumes bruts annuels prélevés suivant la base de données AESN sur le BV du tronçon M04M05 et comparaison avec la base de Pégase*

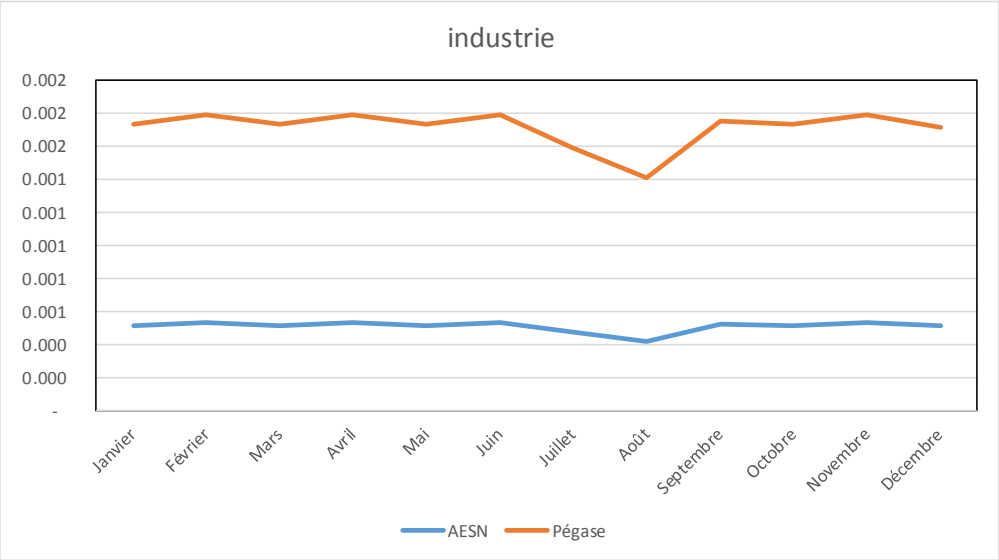
Traduit en débits moyens mensuels en tenant compte des ratios de Pégase, cela nous donne les valeurs suivantes :

| | Débits moyens (m3/s) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | irrigation | | AEP | | industrie | |
| | AESN | Pégase | AESN | Pégase | AESN | Pégase |
| Janvier | - | - | 0.058 | 0.042 | 0.001 | 0.002 |
| Février | - | - | 0.058 | 0.043 | 0.001 | 0.002 |
| Mars | - | - | 0.058 | 0.042 | 0.001 | 0.002 |
| Avril | 0.010 | 0.017 | 0.059 | 0.043 | 0.001 | 0.002 |
| Mai | 0.019 | 0.033 | 0.061 | 0.044 | 0.001 | 0.002 |
| Juin | 0.027 | 0.045 | 0.063 | 0.046 | 0.001 | 0.002 |
| Juillet | 0.032 | 0.055 | 0.056 | 0.040 | 0.000 | 0.002 |
| Août | 0.032 | 0.055 | 0.048 | 0.035 | 0.000 | 0.001 |
| Septembre | 0.010 | 0.017 | 0.062 | 0.045 | 0.001 | 0.002 |
| Octobre | - | - | 0.062 | 0.045 | 0.001 | 0.002 |
| Novembre | - | - | 0.059 | 0.043 | 0.001 | 0.002 |
| Décembre | - | - | 0.056 | 0.041 | 0.001 | 0.002 |

*Débits nets mensuels consommés suivant la base de données AESN et de la base de Pégase sur le BV du tronçon M04M05*




*Graphs des débits nets mensuels consommés suivant la base de données AESN et de la base de Pégase sur le BV du tronçon M04M05*

# 2. Conclusion et proposition

## 2.1. PROPOSITION DE PRISE EN COMPTE

Au vu de la très faible pression des prélèvements pour l'irrigation, l'industrie et l'AEP hors région parisienne il ne nous semble pas judicieux d'en tenir compte.

Nous proposons de ne retenir pour le projet DEMETER que les prélèvements suivants :

- Canal Marne-Aisne avec un prélèvement constant de 0.9 $m^3/s$ à l'amont de Châlons-sur-Marne et un retour de 0.2 $m^3/s$ à l'aval ;
- Canal de l'Ourcq avec deux prélèvements de 0.8 et 0.884 $m^3/s$ suivant la répartition temporelle vue plus haut ;
- Usine d'Annet avec un prélèvement constant de 1.25 $m^3/s$.

**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 Ile-de-France**
Tour Mirabeau
39-43 quai André Citroën
75 739 Paris Cedex 15
Tél. : 01.40.58.89.17