

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

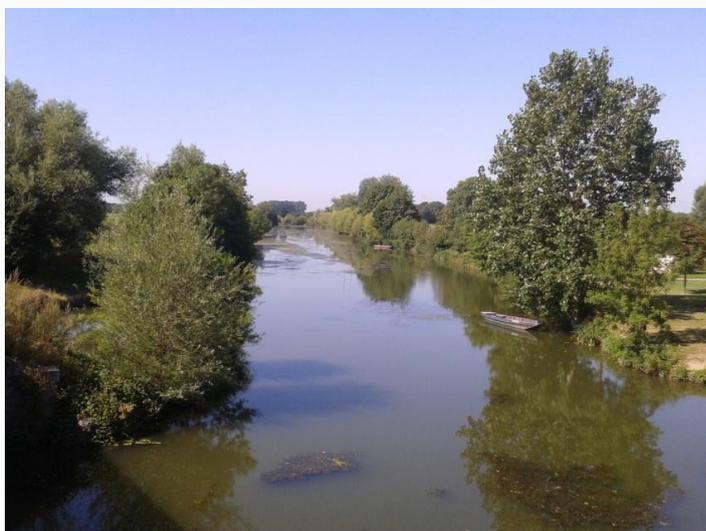
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

juin 2015

Rapport final - A70443/F



**Entente Interdépartementale pour l'Aménagement
du Bassin de l'Authion et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion**
2, place de la République – BP 44
49230 BEAUFORT EN VALLEE



Présenté par



Région OUEST – SUD-OUEST

Pôle EAU

8 boulevard Einstein CS32318

44323 NANTES Cedex 3

Tél. : 02.28.01.32.32.

Avertissement

L'un des objectifs du rapport de phase 2 est de permettre aux membres du comité technique de suivi de cette étude d'acquiescer le niveau d'information et de compréhension technique nécessaire afin de pouvoir appréhender les interprétations et conclusions qui seront présentés dans les rapports de phases 3 et 4 provisoires puis définitifs. Pour cela, les outils et méthodes utilisés (modèles GARDENIA pour la définition des recharges pluviales et MARTHE pour les simulations de niveau de nappe et de débit de cours d'eau) sont détaillés et les difficultés rencontrées sont exposées pour permettre au lecteur d'évaluer la complexité des hydrosystèmes analysés et les incertitudes résiduelles inhérentes à un tel exercice de reproduction du fonctionnement des milieux aquatiques souterrains et superficiels.

Le synoptique ci-dessous présente la démarche retenue.

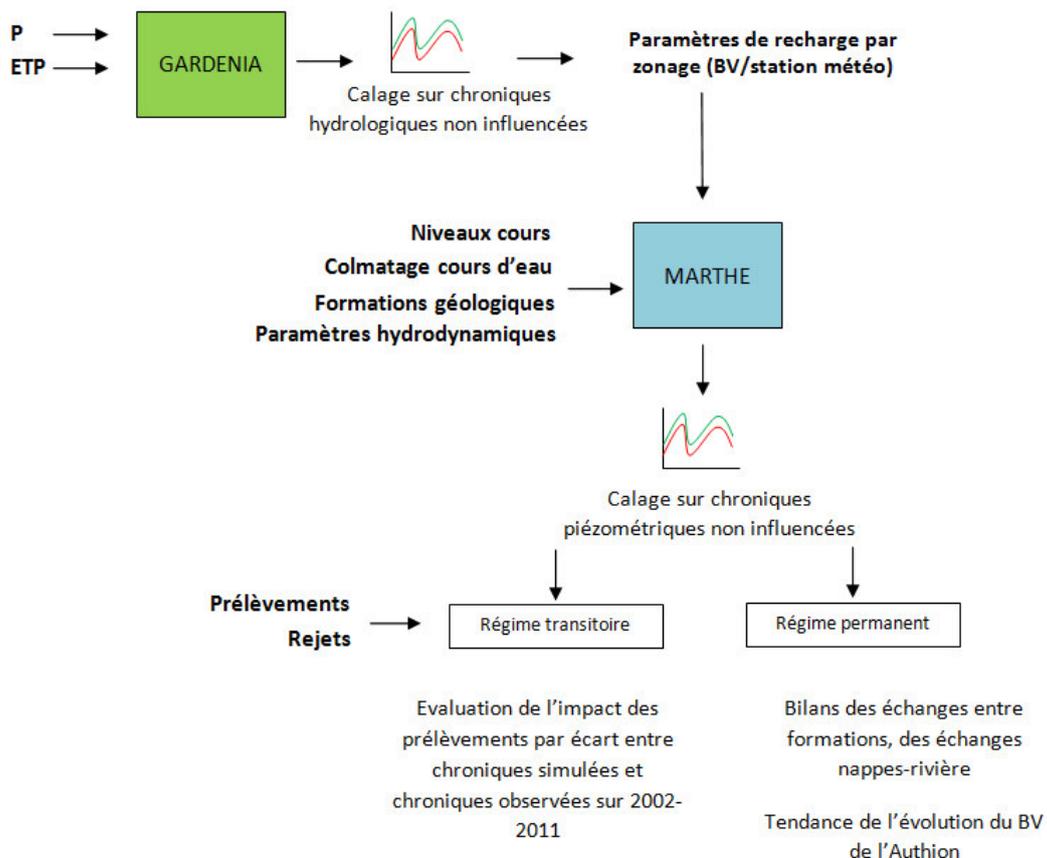


Figure 1 : Synoptique de la démarche suivie pour mener l'étude des volumes prélevables et intérêt de la modélisation

Sommaire

1. Objectifs de la phase 2	10
2. Caractérisation des ressources en eaux superficielles	11
2.1. Présentation du réseau hydrographique	11
2.1.1. Caractéristiques du réseau hydrographique de l'Authion	11
2.1.2. Historiques des aménagements et gestion des ouvrages.....	12
2.1.3. Prises d'eau dans la Loire.....	14
2.1.4. Niveaux d'eau de la Loire.....	14
2.2. Caractérisation des écoulements.....	16
2.2.1. Fonctionnement général du bassin-versant.....	16
2.2.2. Présentation du réseau de suivi hydrométrique	19
2.2.3. Analyse des pluies et des débits observés.....	20
2.3. Caractérisation du réseau hydrographique	21
2.3.1. Connaissance du réseau hydrographique.....	21
2.3.2. Détermination des débits spécifiques.....	23
2.3.3. Détermination des cotes de la lame d'eau	24
2.3.4. Difficultés rencontrées pour la caractérisation du réseau hydrographique.....	25
2.4. Reconstitution des débits naturels	26
2.4.1. Principe de base	26
2.4.2. Objectifs et présentation du code de calcul GARDENIA.....	26
2.4.3. Calage des modèles hydrologiques.....	28
2.4.4. Définition des débits de référence naturels reconstitués.....	36
2.5. Définition des Débits Minimum Biologiques	37
2.5.1. Cadre réglementaire	38
2.5.2. Etude menée sur le Lathan et le Changeon	38
2.5.3. Etude menée sur le Couason.....	42
3. Caractérisation des ressources en eaux souterraines.....	46
3.1. Identification et caractérisation des masses d'eau souterraines	46
3.1.1. Quelques notions fondamentales en hydrogéologie	46
3.1.2. Rappel du contexte géologique.....	46
3.1.3. Formations aquifères	47
3.1.4. Piézométries de référence.....	51
3.2. Elaboration du modèle de gestion quantitative des ressources en eaux souterraines	52
3.2.1. Objectifs du modèle nappe-cours d'eau	52
3.2.2. Présentation du logiciel de modélisation MARTHE.....	52
3.2.3. Construction et géométrie du modèle	53
3.2.4. Intégration des couches géologiques dans le modèle	55
3.2.5. Intégration du réseau hydrographique dans le modèle.....	59
3.2.6. Calage du modèle à l'état d'équilibre moyen en régime permanent	62
3.2.7. Calage du modèle en régime transitoire non influencé	69

4. Analyse de la dynamique de fonctionnement des hydrosystèmes.....	72
4.1. Régime permanent	72
4.1.1. Echanges entre nappes	72
4.1.2. Echanges nappe-rivières	74
4.2. Régime transitoire analysé en étiage.....	76
4.2.1. Echanges entre nappes	76
4.2.2. Echanges nappe-cours d'eau	77
4.2.3. Réflexions sur la pertinence des données	79
4.3. Synthèse du fonctionnement à l'échelle du SAGE Authion	81
4.3.1. Bilans entrée/sortie.....	81
5. Quantification des usages de l'eau et leur impact sur les ressources	85
5.1. Bilan des prélèvements et intégration dans le modèle	85
5.1.1. Prélèvements AEP	85
5.1.2. Prélèvements industriels	85
5.1.3. Prélèvements domestiques et assimilés.....	86
5.1.4. Prélèvements agricoles et assimilés.....	86
5.1.5. Prélèvements pour l'arboriculture et le maraîchage	95
5.2. Bilan des apports et intégration dans le modèle	96
5.2.1. Rejets des stations d'épuration.....	96
5.2.2. Compensations et soutiens d'étiage	96
5.3. Synthèse des prélèvements et apports	98
5.4. Analyse de l'impact des prélèvements	98
5.4.1. Par l'analyse des débits des cours d'eau en étiage.....	98
5.4.2. Par l'analyse des échanges nappes – cours d'eau en étiage	102
5.4.3. Par croisement des suivis d'assecs avec les débits d'étiage simulés	104
6. Définition des unités de gestion cohérente	106
6.1. Découpage par masses d'eaux superficielles.....	106
6.1.1. Par la gestion actuelle des arrêtés cadre sécheresse.....	106
6.1.2. Par l'état des lieux du SAGE et points nodaux du SDAGE	106
6.1.3. Par la définition de sous-bassins unitaires pour le modèle de cette étude	107
6.2. Découpage par masses d'eaux souterraines	107
6.2.1. Par les bassins versants souterrains par aquifère.....	107
6.2.2. Par les bassins versants souterrains de nappes libres affleurantes ou nappes captives.....	108
6.3. Découpage par les usages et la gestion de l'eau	108
6.3.1. Par secteurs réalimentés ou non-alimentés.....	108
6.3.2. Par répartition des niveaux de prélèvements	109
6.3.3. Par impact des prélèvements.....	110
6.3.4. Synthèse des découpages par masses d'eau et usages	111
6.4. Proposition d'unités de gestion cohérentes	112
6.5. Ajustements demandés et difficultés rencontrées.....	113
6.5.1. Prise en compte des limites communales	113
6.5.2. Création du bassin des trois rus	113
6.5.3. Limites entre Val d'Authion amont et moyen	113

6.5.4. Découpage du Val d'Authion aval.....	114
6.6. Découpage final	114
6.7. Bilan des transferts d'eau et des volumes restitués par unités de gestion cohérente	116

Annexes au présent rapport :

- Annexe 1. Graphiques des débits mesurés au niveau des stations de référence
- Annexe 2. Débits observés et simulés par modélisation (sous GARDENIA, BRGM)
- Annexe 3. Rapport sur la détermination des Débits minimum biologiques
- Annexe 4. Evaluation de la compatibilité des aménagements proposés avec la réglementation en vigueur et les peuplements piscicoles du Couasnon
- Annexe 5. Notions fondamentales en hydrogéologie
- Annexe 6. Présentation du logiciel MARTHE 7.3 (BRGM)
- Annexe 7. Caractéristiques et localisation des piézomètres de suivi complémentaires du SAGE
- Annexe 8. Note de synthèse du calage du modèle hydrogéologique de l'Authion
- Annexe 9. Calage en régime transitoire : niveaux piézométriques simulés et observés avec et sans prélèvements
- Annexe 10. Bilan entrée/sortie en régime permanent par unités de gestion et par couches géologique

Annexes séparées :

Atlas cartographique

Guide de lecture :



Prêter attention



Renvoi vers un fichier Excel



Renvoi vers une carte



Renvoi vers une table

Table des illustrations

Liste des figures :

Figure 1 : Synoptique de la démarche suivie pour mener l'étude des volumes prélevables et intérêt de la modélisation.....	2
Figure 2 : Profil en long des principaux cours d'eau du bassin versant de l'Authion.....	12
Figure 3 : Evolution des niveaux moyens mensuels interannuels de la Loire à Langeais, Saumur et aux Ponts-de-Cé sur la base des mesures de 1987 à 2013 (Source : Banque HYDRO)	15
Figure 4 : Schéma de fonctionnement du système hydrologique de l'Authion en hiver .	16
Figure 5 : Schéma de fonctionnement du système hydrologique de l'Authion en été	17
Figure 6 : Exemple de réalimentations en eau de l'aval de la Curée à certaines périodes de l'année.....	18
Figure 7 : Exemple d'arbre d'écoulement pour un sous-bassin unitaire de l'Automne ...	22
Figure 8 : Exemple de tableau de calcul du débit spécifique.....	23
Figure 9 : Représentation schématique des éléments du bilan hydrologique d'un bassin versant.....	27
Figure 10 : Principe du modèle hydrologique global GARDÉNIA pour la simulation	28
Figure 11 : Exemple de simulation pluies/débit avec Gardenia.....	31
Figure 12 : Exemple de simulation pluies/niveau avec Gardenia	35
Figure 13 : Principe de détermination d'un débit minimum biologique par la methodedite Micro-habitats.....	39
Figure 14 : Débits moyens mensuels et débits caractéristiques du Changeon à Le Paluau	41
Figure 15 : Débits moyens mensuels et débits caractéristiques dans le Lathan à « Chanteloup »	42
Figure 16 : Coupe lithostratigraphique simplifiée.....	48
Figure 17 : Limites et maillage du modèle	54
Figure 18 : Vue 3D de la géométrie des couches du modèle.....	56
Figure 19 : Zonation des niveaux d'infiltration (conditions aux limites externes du modèle)	58
Figure 20 : Niveaux moyens (en m NGF) imposés au droit de la Loire	59
Figure 21 : Géométrie du réseau hydrographique à intégrer dans le modèle	60
Figure 22 : Difficulté de prise en compte des confluences	61
Figure 23 : Piézométrie du Cénomanién supérieur en régime permanent sans prélèvements	64
Figure 24 : Perméabilités de comatage de lit des cours d'eau	65
Figure 25 : Localisation des zones d'ajustement des perméabilités hydrauliques.....	66
Figure 26 : Localisation des piézomètres utilisés pour le calage en régime transitoire ...	70
Figure 27 : Zone de débordement des nappes vers les cours d'eau en régime permanent	75
Figure 28 : Zone d'infiltration des cours d'eau vers les nappes en régime permanent... 76	
Figure 29 : Zone de débordement des nappes vers les cours d'eau en étiage hors prélèvements	78

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

Figure 30 : Zone d'infiltration des cours d'eau vers les nappes en étiage hors prélèvements	79
Figure 31 : Etat des points de suivi des assecs en août 2012	80
Figure 32 : Analyse comparative des zones humides et des débordements de nappe....	81
Figure 33 : Pertes et apports de l'aquifère des alluvions quaternaires supérieures en régime permanent	82
Figure 34 : Pertes et apports des couches modélisées en régime permanent.....	83
Figure 35 : Pertes et apports de l'aquifère des alluvions quaternaires supérieures en régime transitoire	83
Figure 36 : Pertes et apports des couches modélisées en régime transitoire	84
Figure 37 : Volumes d'eau prélevés pour l'irrigation et besoins théoriques (m ³) par hectare et par commune sur le bassin-versant de l'Authion.....	90
Figure 38 : Surfaces irriguées par communes (années 2009-2010).....	91
Figure 39 : Evolution générale des volumes prélevés sur le bassin de l'Authion entre 1990 et 2011 introduits dans le modèle	94
Figure 40 : Volumes prélevés mensuellement dans la Loire aux trois prises d'eau depuis 2007.....	96
Figure 41 : Débit moyen mensuel en sortie de la retenue de Rillé depuis 2007	97
Figure 42 : Niveau moyen du plan d'eau de Rillé depuis 2007	97
Figure 43 : Débits naturels reconstitués (hors prélèvements) simulés à août 2011	99
Figure 44: Débits influencés par les prélèvements simulés à août 2011.....	99
Figure 45 : Impact des prélèvements en terme d'influence sur les échanges entre nappes et cours d'eau en étiage (août 2011)	102
Figure 46 : Analyse comparative des débits simulés inférieurs à 2 m ³ /h en août 2011.	104
Figure 47 : Analyse comparative des débits simulés inférieurs à 2 m ³ /h en août 2011.	105
Figure 48 : Localisation du réseau hydrographique réalimenté ou soutenu en étiage ..	109
Figure 49 : Répartition par commune des volumes d'eau prélevés tous usages confondus pour le mois d'août 2011	110
Figure 50 : Superposition des découpages d'unités par masses d'eau avec la répartition des usages	111
Figure 51 : Délimitation provisoire des unités de gestion cohérente.....	112
Figure 52 : Découpage final du bassin versant de l'Authion en 10 unités de gestion cohérente.....	115

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Caractéristiques hydrographiques des principaux cours d'eau du bassin versant de l'Authion (Source : D'après BdCarthage, IGN BdAlti, SAGE Authion – Etat des lieux de la ressource en eau,	11
Tableau 2 : Débits maximaux prélevables au droit des prises d'eau en Loire	14
Tableau 3 : Stations de suivi des niveaux d'eau et débits de l'Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion	19
Tableau 4 : Valeurs de référence du coefficient de rugosité K	24
Tableau 5 : Résultats du calage de la première analyse des mesures pluie-débits	30
Tableau 6 : Paramètres déterminés pour les stations sur l'Authion à Longué-Jumelles..	32
Tableau 7 : Résultats du calage pluies-niveaux sur points ADES avec au moins trois ans de suivi piézométriques sur la période 2004-2011	33
Tableau 8 : Résultats des calculs des moyennes interannuelles de pluies et recharge....	34
Tableau 9 : Débits de référence observés et reconstitués par simulation (m ³ /s)	37
Tableau 10 : Contexte piscicole du Couason	43
Tableau 11 : Respect du débit réservé au titre de l'article L 214-18 du Code de l'environnement - Situation actuelle et future (Source : Données SIAC et SEGI) .	45
Tableau 12 : Description des conditions aux limites du modèle	57
Tableau 13 : Conditions aux limites externes	58
Tableau 14 : Perméabilités retenues pour le précalage en régime permanent	63
Tableau 15 : Perméabilités retenues pour le calage définitif en régime permanent	66
Tableau 16 : Valeurs de perméabilités ajustées sur les zones 1 et 2	67
Tableau 17 : Analyse quantitative des échanges entre masses d'eau souterraines.....	72
Tableau 18 : Analyse quantitative des échanges entre masses d'eau souterraines.....	77
Tableau 19 : Comparaison des volumes prélevés sur le bassin-versant de l'Authion en fonction des différentes sources de données pour l'année 2011	88
Tableau 20 : Volume d'eau nécessaire par cultures pour une saison d'irrigation (m ³ /ha) source observatoire Authion	89
Tableau 21 : Surfaces agricoles sur le BV Authion	90
Tableau 22 : Nombre de n°SIRET par années et par bases de données	92
Tableau 23 : Répartition des volumes prélevés annuellement sur les 6 mois d'irrigation	92
Tableau 24 : Estimation des volumes prélevés pour l'irrigation par type de ressource... 93	93
Tableau 25 : Estimation des volumes prélevés pour l'irrigation par type de ressource et selon la source des données	94
Tableau 26 : Bilan des apports et rejets considérés dans le modèle	98
Tableau 27 : Impacts des prélèvements sur les débits d'étiage aux stations de référence	101
Tableau 28 : Numérotation des unités de gestion cohérente	115
Tableau 29 : Numérotation des sous-unités par couche géologique dans le modèle	116
Tableau 30: Bilans par unités de gestion cohérente en régime permanent	117

Liste des photographies :

Photo 1 : Réservoir de Rillé, barrage des Mousseaux.....	13
--	----

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion
Rapport final A70443/F*

Liste des sigles et abréviations

BSS	: Banque de données du Sous-Sol
CTMA	: Contrat Territorial Milieux Aquatiques
DCR	: Débit de crise
DMB	: Débit minimum biologiques
DOE	: Débit d'objectifs d'étiage
DSA	: Débit de seuil d'alerte
PSA	: Piézométries Seuil d'Alerte
PSR	: Niveau Piézométrique de Crise
RFU	: Réserve en eau Facilement Utilisable
SADRAL	: Société d'Aménagement et de Développement de la Région Authion Loire

1. Objectifs de la phase 2

La phase 2 de l'étude de détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion vise d'abord à **caractériser les masses d'eau superficielles et souterraines** concernées dans le but de déterminer la dynamique de fonctionnement des hydrosystèmes en **quantifiant les ressources en eau disponibles**.

Cette quantification doit permettre, après avoir effectué un bilan exhaustif des **transferts d'eau**, d'évaluer les **impacts des prélèvements** en mettant en évidence les déséquilibres existants à l'échelle du bassin-versant globalement puis de chaque unité de gestion définie.

Cette étude passe par l'analyse du fonctionnement des masses d'eau à **l'état actuel** en comparaison avec un **état initial non influencé** par les prélèvements et réalimentations pratiqués aujourd'hui. Il s'agit donc :

- de procéder à une estimation des débits caractéristiques d'étiages actuels et à une reconstitution des débits naturels,
- d'évaluer les niveaux piézométriques historiques, ainsi que les recharges et stocks en place.

Ce travail nécessite la mise en œuvre d'une **analyse statistique des données** collectées et **l'utilisation de modélisations** pour :

- dans un premier temps, établir des débits de référence à partir de chroniques de pluies efficaces et de paramètres hydrologiques et hydrogéologiques,
- dans un second temps, évaluer les relations nappe – rivière à l'échelle du bassin-versant par la mise en œuvre d'un modèle régional intégrant les caractéristiques physiques des différents cours d'eau et permettant de calculer les transferts hydrauliques entre les aquifères présents et le réseau hydrographique.

La phase 2 doit permettre d'aboutir à un **découpage du bassin-versant en unités de gestion cohérentes** pour lesquelles des débits de référence (Débits d'Objectifs d'Etiage (DOE), Débits de Seuil d'Alerte (DSA), Débits de CRise (DCR), Débits Minimum Biologiques (DMB), Piézométrie d'Objectifs d'Etiage (POE), Piézométrie de Seuil d'Alerte (PSA) et Niveau Piézométrique de Crise (PCR)) seront déterminés. La délimitation de ces unités doit se faire sur la base **des bassins-versants topographiques et hydrogéologiques existants**, des bassins présentant des **enjeux homogènes en termes d'usages** de l'eau, des **dispositifs de mesures hydrométriques** en place.

2. Caractérisation des ressources en eaux superficielles

2.1. Présentation du réseau hydrographique

2.1.1. Caractéristiques du réseau hydrographique de l'Authion

Formé par la confluence du Lane, du Changeon, du Couasnon, du Lathan et quelques affluents mineurs, l'Authion s'écoule de façon **lentique** sur une soixantaine de kilomètres avant de rejoindre la Loire au niveau de Sainte-Gemme-sur-Loire. L'Authion est caractérisé par une **pente de talweg très faible** (0,14 ‰), accentuée par les nombreux seuils disposés tout au long du linéaire.

Sur le bassin versant de l'Authion les écoulements superficiels constituent un linéaire d'environ 800 km en cours d'eau permanents.

Neuf cours d'eau majeurs affluent en rive droite de l'Authion. Leurs caractéristiques hydrographiques sont présentées dans l'état des lieux de la ressource en eau, des milieux aquatiques et des usages et reprises ci-dessous (cf. Tableau 1) :

Tableau 1 : Caractéristiques hydrographiques des principaux cours d'eau du bassin versant de l'Authion
(Source : D'après BdCarthage, IGN BdAlti, SAGE Authion – Etat des lieux de la ressource en eau, des milieux aquatiques et des usages)

Bassin versant	Surface (km ²)	Altitude Amont (m)	Altitude aval(m)	Chemin kilométrique le plus long(m)	Pente moyenne(%)
Lathan	379,7	102	21	62 182	0,13
Couasnon	291,5	80	20	35 653	0,168
Changeon	189,1	86	29	33 311	0,171
Authion aval	184,6	21	17	32 670	0,012
Authion amont	127,3	27	21	31 987	0,019
Curée	96	97	21	24 275	0,313
Automne	63,5	99	20	15 148	0,522
Lane	58,9	38	26	27 864	0,043
Aulnaies	52,7	32	19	12 958	0,1
Loges	25,7	75	26	10 332	0,474
Anguillères	22	42	25	5 220	0,326
TOTAL	1491				

Les pentes moyennes des cours d'eau du bassin versant varient fortement d'un cours d'eau à un autre comme l'illustrent les profils en long ci-dessous (cf. Figure 2).

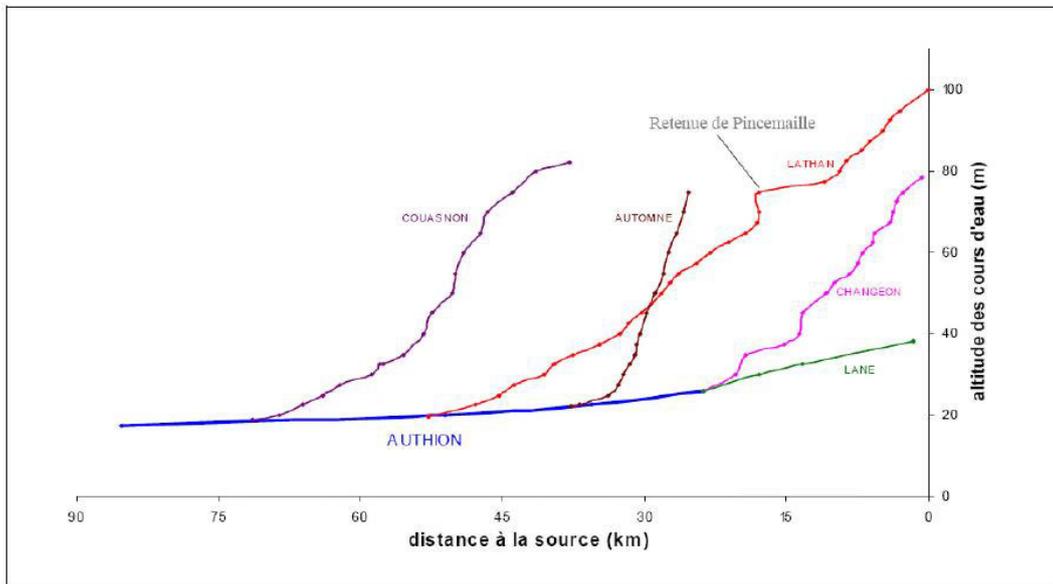


Figure 2 : Profil en long des principaux cours d'eau du bassin versant de l'Authion
 (Source : D'après BdCarthage, IGN BdAlti, SAGE Authion – Etat des lieux de la ressource en eau, des milieux aquatiques et des usages).

2.1.2. Historiques des aménagements et gestion des ouvrages

Le bassin-versant de l'Authion, comme indiqué en phase 1, se caractérise par des régimes hydrologiques fortement influencés par les aménagements construits au fil du temps sur les principaux cours d'eau et au niveau du Val d'Authion. Le paragraphe ci-dessous s'attache à préciser, sur la base de l'état initial du SAGE de 2009, les grandes étapes de l'aménagement du bassin-versant.

Ces éléments sont essentiels afin de comprendre et visualiser correctement la situation actuelle du réseau hydrographique, de la morphologie des cours d'eau et le fonctionnement hydraulique.

Les premières levées attestées en vallée d'Anjou, ont été construites à Chouzé-sur-Loire, au 11^{ème} siècle, près de Bourgueil, en amont de la confluence Loire-Vienne. En 1365, l'endiguement du val d'Authion a pratiquement été continu, de Saint-Patrice en Indre-et-Loire au Pont de Sorges (commune des Ponts-de-Cé).

Le val d'Authion, petit à petit séparé de la Loire par une grande levée, est resté humide, submergé chaque année par les inondations d'automne. Le val s'est alors progressivement envasé. A partir du 18^{ème} siècle, les travaux de curage, d'élargissement et de redressement de l'Authion, ainsi que l'assèchement de sa vallée se sont intensifiés.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

De lourdes portes ont été établies au pont de Sorges, en 1732, pour empêcher le refoulement des eaux de Loire dans la vallée. Puis en 1830, un nouveau canal a été construit depuis la roche des moulins de Sainte-Gemmes-sur-Loire jusqu'au pont Bourguignon.

A la fin du 19^{ème} siècle, la première prise d'eau dans la Loire a vu le jour à Varennes-sur-Loire. Les premières pompes de refoulement ont été utilisées pour assainir le val de la Daguinière.

L'évolution des pratiques agricoles a conduit à partir de 1950 à d'importants travaux de curage du Lane et du Changeon. Le Couasnon a été recalibré de 1976 à 1978. 220 km de fossés adjacents de l'Authion ont également été modifiés de 1968 à 1975. La station d'exhaure des Ponts-de-Cé (évacuation des eaux de l'Authion vers la Loire) s'est construite en 1974. Le barrage de Rillé (capacité de 5,3 M m³) sur le Lathan amont a été mis en eau en 1977 (cf. Photo 1).



Photo 1 : Réservoir de Rillé, barrage des Mousseaux
(Source : Google Earth)

L'agriculture est devenue l'activité économique essentielle dans la vallée de l'Authion. Afin de satisfaire les besoins en eau de cette activité, les aménagements de recalibrage de l'Authion réalisés dans les années 1970 ont été complétés progressivement par des équipements de soutien d'étiage et de réalimentation. De nombreux ouvrages hydrauliques ont ainsi été réalisés.

La **Société d'Aménagement et de Développement de la Région Authion Loire** (SADRAL) a ensuite été créée avant 1970. Elle est à l'initiative des aménagements hydro-agricoles du bassin de l'Authion. Un ambitieux **programme d'aménagement hydraulique** a été entrepris, organisé autour d'un réseau de cours d'eau, canaux et fossés dont l'Authion et le Lathan constituent les principaux émissaires dans lesquels les irrigants prélèvent l'eau. Ce réseau a permis à la vallée de l'Authion de devenir la première zone horticole de France.

L'état des lieux du SAGE recense aujourd'hui un total de **324 ouvrages hydrauliques** dont 165 ouvrages à clapets, 39 à vannes, 36 moulins et 22 barrages (recensement non exhaustif. La base OUVRAGE, recense quant à elle 232 ouvrages).

L'Entente Interdépartementale du Bassin de l'Authion est propriétaire des ouvrages hydrauliques sur l'Authion et en a délégué la gestion au Syndicat Mixte Loire Authion par l'intermédiaire d'une convention.

Le bassin de l'Authion a donc subi d'importantes modifications durant les 60 dernières années avec les modifications de son réseau hydrographique ainsi que l'augmentation importante des besoins en eau sur son territoire. Cette évolution a amené à des prélèvements plus nombreux sur ses cours d'eau ainsi que dans les nappes.

2.1.3. Prises d'eau dans la Loire

Les besoins en eau pour les différents usages étant devenu très supérieurs à la capacité propre des rivières du bassin-versant, le réseau est alimenté actuellement par **trois stations de pompage** à partir de la Loire en période estivale. Les débits maximaux prélevables sont définis par arrêté inter-préfectoral (cf. Tableau 2) :

Tableau 2 : Débits maximaux prélevables au droit des prises d'eau en Loire
(Source : arrêté d'autorisation – Mai 2010)

	1 ^{er} mai au 30 juin	1 ^{er} juillet au 31 août	1 ^{er} septembre au 30 avril	TOTAL
Saint-Martin de la Place	1 m ³ /s	2 m ³ /s	0,5 m ³ /s	
Varenes	0,8 m ³ /s	0,8 m ³ /s	0,8 m ³ /s	
Saint-Patrice	0,5 m ³ /s	0,5 m ³ /s	0,5 m ³ /s	
Volume maximum prélevable	8,55 M m ³	17,3 M m ³	8,3 M m ³	34,15 M m ³

2.1.4. Niveaux d'eau de la Loire

Les débits et niveaux d'eau de la Loire influencent fortement les niveaux d'eau du bassin-versant de l'Authion, en particulier les niveaux d'eau du réseau de fossés et de canaux dans le Val d'Authion. La Loire entre ainsi directement (par les prises d'eau) et

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

indirectement (par les transferts par la nappe alluviale) en ligne de compte dans les bilans et transferts d'eau avec les masses d'eau du bassin de l'Authion.

C'est pourquoi, il est essentiel de considérer le fonctionnement de la Loire dans l'étude des volumes prélevables sur le bassin de l'Authion, et particulièrement comme une donnée d'entrée du modèle nappe - cours d'eau. Elle apparaît comme une **condition à charge imposée et variable en limite Sud du modèle**. A partir des débits moyens mensuels de la Loire, il est possible d'estimer par interpolation linéaire la ligne d'eau mois par mois entre chaque station de mesure.

Le graphique ci-dessous (cf. Figure 2) représente l'évolution de la cote moyenne mensuelle du niveau de la Loire aux stations de Langeais (à l'amont), Saumur et Les Ponts-de-Cé (en aval) sur la base des mesures journalières faites sur la période 1987-2013.

La cote moyenne annuelle est de 34 m NGF pour Langeais, 24 m NGF pour Saumur et 16 m NGF pour Les Ponts-de-Cé. La baisse du niveau d'eau entre l'amont et l'aval est ainsi de l'ordre de 18 m. La fluctuation des niveaux au cours de l'année est globalement identique aux trois stations. Les niveaux d'eau les plus hauts s'observent en janvier, les niveaux d'eau les plus bas en août, témoignant d'un **régime hydrologique de type pluvial**.

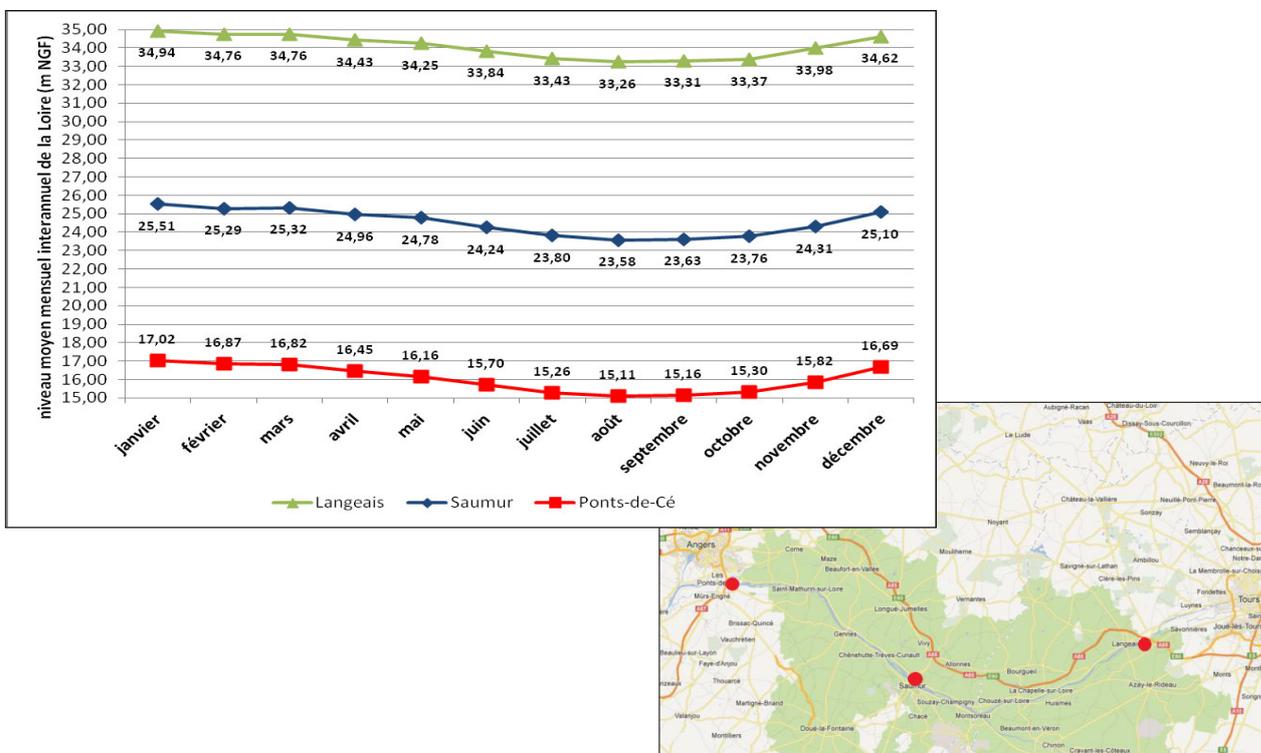


Figure 3 : Evolution des niveaux moyens mensuels interannuels de la Loire à Langeais, Saumur et aux Ponts-de-Cé sur la base des mesures de 1987 à 2013 (Source : Banque HYDRO)



Fichier Excel : Hauteur_Loire

2.2. Caractérisation des écoulements

2.2.1. Fonctionnement général du bassin-versant

Le bassin versant de l'Authion se caractérise par un fonctionnement hydrologique influencé par l'activité anthropique.

En période estivale, le barrage du complexe de Rillé est ouvert de façon à vidanger partiellement la réserve des Mousseaux pour le soutien d'étiage du Lathan, de la Curée et de l'Authion. Le Lane, l'Authion et tout un réseau de biefs secondaires sont réalimentés en eau par les trois stations de pompage en Loire selon les besoins en eau pour les usages d'irrigation et le soutien d'étiage des canaux avec l'objectif de débit minimal de 0,5m³/s au Pont Bourguignon à l'aval de l'Authion.

En période hivernale, la réserve des Mousseaux se remplit progressivement. A l'aval, la gestion des crues est assurée par des vannes de régulation de Pont-Bourguignon et une station de refoulement des eaux excédentaires de l'Authion vers la Loire.

Les deux schémas suivants synthétisent le fonctionnement global du système Authion :

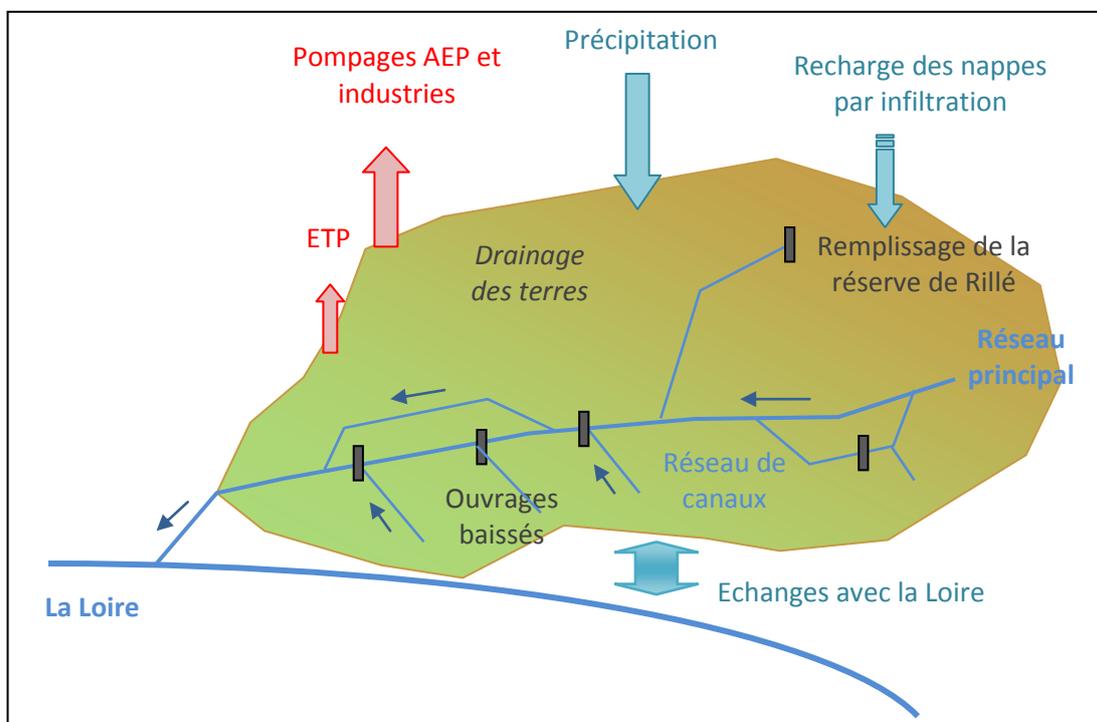


Figure 4 : Schéma de fonctionnement du système hydrologique de l'Authion en hiver
(Source : Amélioration de la gestion de l'eau dans la vallée de l'Authion – Juin 2005)

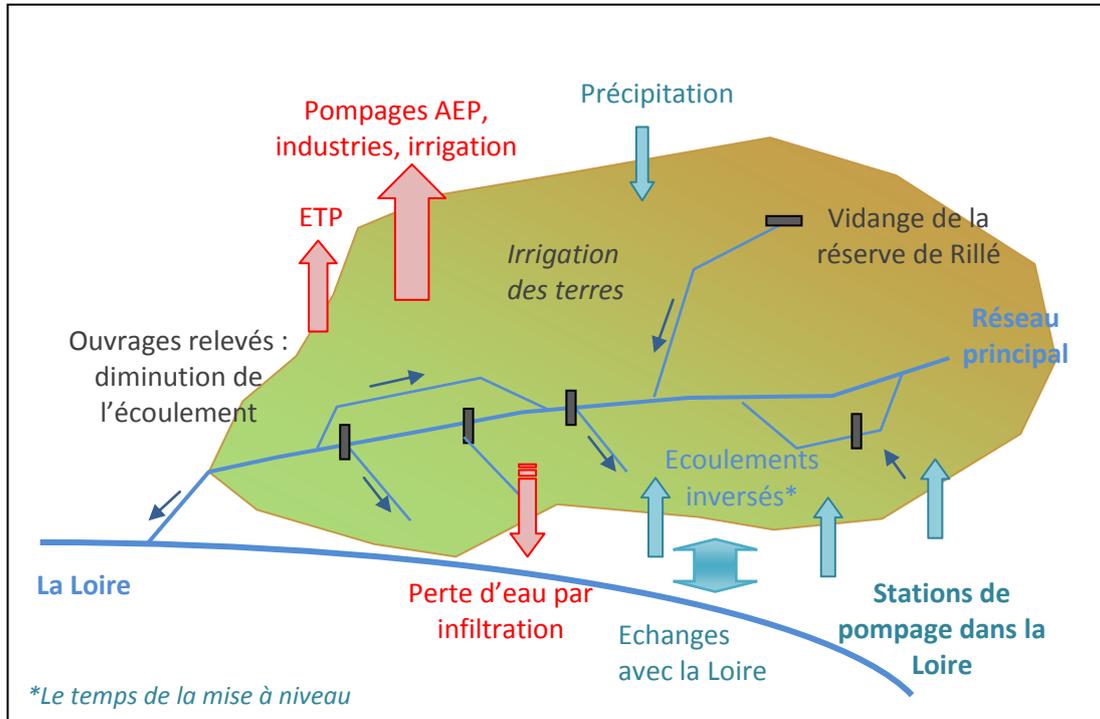


Figure 5 : Schéma de fonctionnement du système hydrologique de l'Authion en été
 (Source : Amélioration de la gestion de l'eau dans la vallée de l'Authion – Juin 2005)

Pour illustrer localement le fonctionnement hydraulique de certains canaux et fossés, la figure ci-dessous (présente le cas de la réalimentation de l'aval de la Curée par l'Authion. Le barrage de Porteaux maintient le niveau d'eau amont. Il permet aux eaux pompées en Loire de réalimenter pour partie l'aval de la Curée via le Lathan aval et le Petit Ray.



Les cartes de l'atlas cartographique permettent de visualiser les sens d'écoulement des eaux dans le réseau de canaux du val d'Authion induits par le réglage des différents ouvrages et les injections de débits d'eau par la Loire.

Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
 et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
 Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
 Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

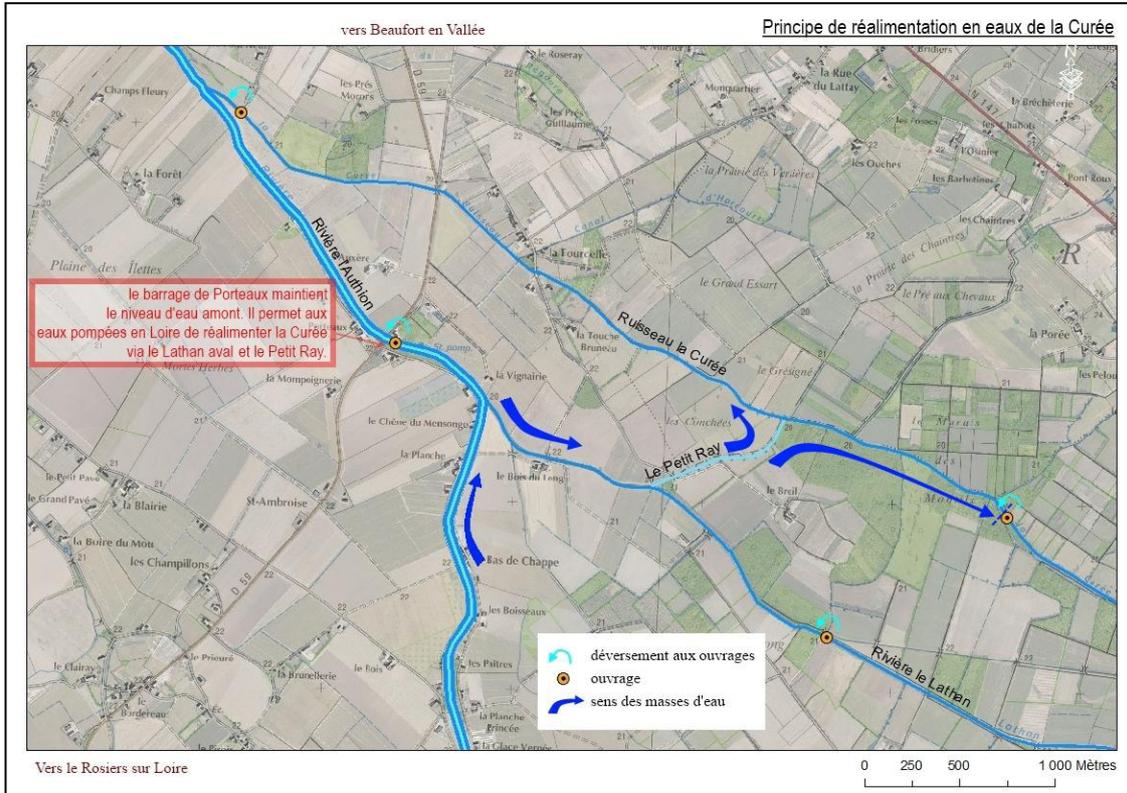


Figure 6 : Exemple de réalimentations en eau de l'aval de la Curée à certaines périodes de l'année
 (Source : Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion)

2.2.2. Présentation du réseau de suivi hydrométrique

2.2.2.1. Les stations de l'Entente

L'Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion a mis en place **5 stations hydrométriques** sur le bassin versant de l'Authion entre 2007 et 2009. Par ailleurs, les niveaux d'eau sont contrôlés sur un certain nombre d'ouvrages. Le tableau ci-dessous (cf. Tableau 3) récapitule les stations de mesures du débit et du niveau d'eau de l'Entente :

Tableau 3 : Stations de suivi des niveaux d'eau et débits de l'Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion

Nom Station	X	Y	Commune	Mesure des niveaux	Mesure des débits	Date de début de mesure
Le Grand Buzet	404713	2273758	Beaufort-en-Vallée	X		21/02/2008
L'Authion au Gué de Frêne	412779	2262780	Longué-Jumelles	X	X	22/02/2008 (niveaux) 29/07/2009 (débits)
L'Authion à Les Loges				X		21/02/2008
L'Authion à Près d'Asnières	392664	2275045	Brain-sur-Authion	X		17/02/2008
Le Changeon à Moulin Foulon	437929	2261740	Moulin-Foulon	X	X	22/10/2009
Le Couasnon à Gée	406049	2276001	Beaufort en Vallée	X	X	28/12/2009
Le Lathan au Moulin Guet			Longué-Jumelles	X	X	01/01/2010
L'Authion au Pont Bourguignon	384079	2274050	Pont de Cé	X	X	31/01/2008
Porteau	408167	2269985	Brain-sur-Authion	X		22/02/2008
Brain	392664	2275045	Brain-sur-Authion	X		23/02/2008
Daguenière	388243	2273907	La Daguenière	X		22/02/2008
La Ménitré	406468	2271739	La Ménitré	X		23/02/2008

2.2.2.2. Les stations de suivi de la Banque HYDRO

La banque HYDRO recense **12 stations hydrométriques** sur le périmètre d'étude disposant de données de débit mensuels et journaliers et de hauteur d'eau pour une période plus ou moins longue. Ces stations ne sont plus actives, notamment pour des raisons de dérive du calage liée aux aménagements apportés dans le lit des cours d'eau de l'Authion et des influences des prélèvements. Toutes les données disponibles sont antérieures à 1993.

Ces stations se localisent au niveau des principaux affluents de l'Authion.

Seules 7 stations ont été considérées comme pertinentes et représentatives pour la présente étude :

- le Tarry à Mazé – Gruteau,
- le Couasnon à Gée – pont,
- le Couasnon à Pontigné,
- le Lathan à Rillé,
- le Lathan à Vernantes – Pont des Planches,
- le Changeon à Benais – Pont de Juteau,
- le Lane à Saint-Patrice – rue Beaulieu.

Ces stations sont présentées en phase 1.

Fichier : Synthèse_Changeon_Benais
Synthèse_Couasnon_Gée
Synthèse_Couasnon_Ponyigné
Synthèse_Lane_St_Patrice
Synthèse_Lathan_Rillé
Synthèse_Lathan_Vernantes
Synthèse_Tarry_Mazé.



2.2.3. Analyse des pluies et des débits observés

Une analyse de la réaction d'un cours d'eau suite à une impulsion pluviométrique permet de caractériser son fonctionnement hydrologique.

Cette analyse a été pratiquée au niveau des stations précédemment présentées. Une corrélation a été recherchée par lecture graphique entre les précipitations et les débits.

Les graphiques sont fournis en annexe 1.

De manière générale, au vu de l'ensemble des graphiques, une corrélation relativement directe se vérifie entre le débit et la pluviométrie. Cette relation est facilement mise en évidence au niveau des stations où il n'y a pas d'influence d'ouvrages hydrauliques en amont de celle-ci. Les stations du Changeon à Benais, du Lane à Saint-Patrice, du Lathan à Rillé et du Tarry à Mazé sont ainsi concernées.

A l'inverse, les débits du Lathan à Vernantes et de l'Authion au Gué de Fresne semblent plus influencés par l'activité anthropique dans la mesure où les caractéristiques du régime pluvial sont moins facilement identifiables, le débit n'étant pas systématiquement corrélé à l'impulsion pluviométrique.



*Fichier Excel : Débits_stations_Entente
Débits_anciennes_stations*

2.3. Caractérisation du réseau hydrographique

2.3.1. Connaissance du réseau hydrographique

Pour les besoins de construction du modèle couplé nappes - cours d'eau et les déterminations de débit de référence et débits d'objectif futurs, il est nécessaire de connaître en tout point du chevelu hydrographique, le débit et la superficie drainée. Pour ce faire, il a fallu préalablement :

- digitaliser le réseau hydrographique de manière exhaustive grâce aux bases de données récentes (BD Carthage et MNT Lidar notamment),
- découper ce réseau hydrographique en **tronçons homogènes** présentant les **mêmes caractéristiques hydrauliques**,
- délimiter pour chaque tronçon son aire d'alimentation (sous-bassin-versant unitaire) et d'en définir sa superficie, son débit.

Ce découpage unitaire a du tenir également compte de :

- la présence de confluences et diffluences,
- le changement de faciès géologiques,
- la présence d'ouvrages susceptibles de modifier les charges hydrauliques entre l'amont et l'aval du tronçon.

Le bassin-versant de l'Authion présente un réseau de type dendritique avec un chevelu hydrographique dense. Le territoire du SAGE Authion a été découpé suivant 2 niveaux de sous bassins versants : **71 sous bassins de niveau 1** correspondant au découpage de chacun des affluents (ex : le Racinay, le Brocard, le Tarry,...) et **795 sous bassins unitaires de niveau 2** correspondant au bassin versant de chaque tronçon pérenne ou non, du réseau hydrographique (tel qu'il apparaît sur le fond IGN scan25) jusqu'à une confluence.

Pour chaque tronçon, ont ensuite été recherchées, calculées ou estimées les caractéristiques suivantes :

- le débit spécifique (en m^3/s) : calculé par extrapolation des débits connus aux stations de référence (cf. § précédent),
- la cote de la lame d'eau en m NGF à l'extrémité amont et à l'extrémité aval du tronçon : calculée sur la base des débits spécifiques et/ou des mesures de hauteur d'eau et cotes des ouvrages hydrauliques transversaux (cf. § suivant),
- la cote du fond du cours d'eau à l'amont et à l'aval établie à partir de mesures bathymétriques, de cote de seuil des ouvrages ou de mesures et estimations de terrain,
- la pente (en %) et la largeur (en m) du cours d'eau : définie à partir des différentes études disponibles et du MNT lidar (cf. phase 1),
- la géologie : définie sur la base de la carte hydrogéologique de Talbo et des cartes géologiques BRGM (cf. phase 1).

Un numéro de référence a été attribué à chaque grand bassin-versant découpé en plusieurs sous-bassins, eux-mêmes numérotés. Pour chaque grand bassin, un arbre des écoulements a été élaboré. L'arbre d'écoulement permet de représenter de façon synthétique et schématique le réseau et les sens d'écoulement pour chaque sous-bassins-versant.

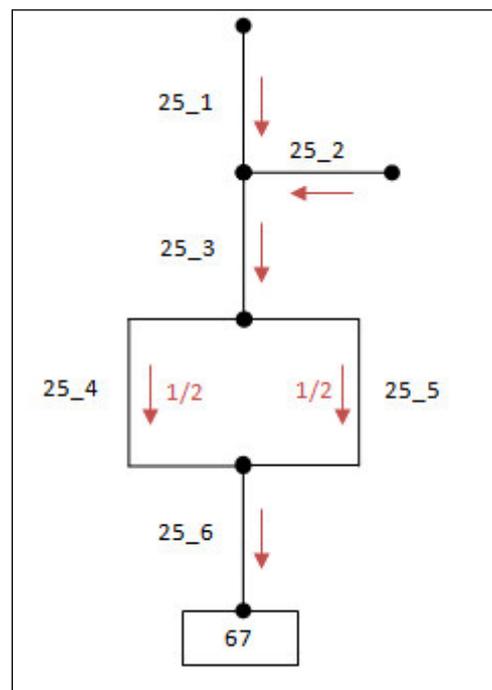


Figure 7 : Exemple d'arbre d'écoulement pour un sous-bassin unitaire de l'Automne



Fichier Word : *arbre des écoulements*

Fichier Shape : *SS_bassins_principaux*

SS_bassins_unitaires

Tronçons_hydro_ANTEA

Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

2.3.2. Détermination des débits spécifiques

Le **débit spécifique** se définit comme étant le débit qui s'écoule en moyenne chaque seconde par kilomètre carré du bassin.

Pour chaque tronçon de cours d'eau identifié, un débit spécifique a été calculé sur la base des débits spécifiques mesurés aux stations hydrométriques de référence :

avec : Q_{int} : débit interpolé = débit spécifique
 S_{int} : surface du sous bassin drainé par le point interpolé
 $Q_{réf}$: débit du point de référence (sur le même BV unitaire ou à défaut le BV voisin)
 $S_{réf}$: surface du sous bassin drainé par le point de référence

$$Q_{int} = \frac{S_{int} \times Q_{réf}}{S_{réf}}$$

La station de référence utilisée pour l'interpolation des débits est choisie pour chaque tronçon en fonction de sa localisation et des caractéristiques de son bassin-versant qui doivent être, dans la mesure du possible, proches et similaires à celles de la station de référence.

Ouvrage	Masse d'eau	Zone Hydrique	Sous BV	largeur ouvrage	Nom point de référence	Aire drainée	x	y	janvier	fevrier	mars	
		L921			TARRY A MAZE	25,37	456535,606	6713868,89	0,17	0,2	0,18	
		L922	45			52,6			0,352	0,414	0,373	
Bassin versant	Tronçon	Aire bv total	Longueur	Largeur	Pente	Zone hydrique	Répartition Q	janvier	fevrier	mars	avril	mai
45	45_1	2,67	1867	0,50		922,00		0,018	0,021	0,019	0,012	0,095
	45_2	6,62	2501	0,50		922,00		0,044	0,052	0,047	0,029	0,235
	45_3	11,29	1106	0,50		922,00		0,076	0,089	0,080	0,049	0,400
	45_4	0,45	1115	0,50		922,00		0,003	0,004	0,003	0,002	0,016
	45_5	13,82	1289	1,50		922,00		0,093	0,109	0,098	0,060	0,490
	45_6	9,48	1525	0,50		922,00	0,5	0,064	0,075	0,067	0,041	0,336
	45_7	7,07	1276	1,50		922,00	0,5	0,047	0,056	0,050	0,031	0,251
	45_8	9,87	4596	1,50		922,00		0,066	0,078	0,070	0,043	0,350
	45_9	17,23	232	1,50		922,00		0,115	0,136	0,122	0,075	0,611
	45_10	26,89	285	2,50		922,00		0,180	0,212	0,191	0,117	0,954
	45_11	6,76	2004	2,00		922,00		0,045	0,053	0,048	0,029	0,240
	45_12	40,94	3756	2,50		922,00		0,274	0,323	0,290	0,177	1,452
	45_13	22,11	1275	0,50		922,00	0,5	0,148	0,174	0,157	0,096	0,784
	45_14	20,58	601	1,50		922,00	0,5	0,138	0,162	0,146	0,089	0,730
	45_15	10,30	105	0,50		922,00	0,5	0,069	0,081	0,073	0,045	0,366
	45_16	7,48	6062	1,00		922,00		0,050	0,059	0,053	0,032	0,265
	45_18	10,32	451	2,00		922,00	0,5	0,069	0,081	0,073	0,045	0,366
	45_19	17,89	453	1,00		922,00		0,120	0,141	0,127	0,078	0,635
	45_20	52,58	1394	4,50		922,00		0,352	0,415	0,373	0,228	1,865

Figure 8 : Exemple de tableau de calcul du débit spécifique
(Source : Antea Group)

2.3.3. Détermination des cotes de la lame d'eau

Un calcul est ensuite effectué pour connaître pour chaque tronçon la cote du fil d'eau amont et aval. Il s'agit d'une donnée d'entrée nécessaire modèle nappe-cours d'eau.

Le calcul des cotes d'eau a alors été réalisé sur la base de la **formule de Manning-Strickler**. Cette formule permet d'**estimer la cote d'eau pour un débit défini** au droit des points nodaux ou complémentaires nécessaire pour caler le fil d'eau. En supposant une section rectangulaire, la formule de Manning-Strickler donne :

$$Q = K_s \times \sqrt{i} \times S \times R_h^{2/3}$$

avec : Q : débit dans la section
Ks : coefficient de Strickler
I : pente de la section
S : Surface de la section d'écoulement
Rh : Rayon hydraulique de la section d'écoulement

Ce qui donne :

$$Q = \frac{K_s \times \sqrt{i} \times (h \times L)^{5/3}}{(2 \times h + L)^{2/3}}$$

avec : h : la hauteur d'eau (m)
L : la largeur de la section (m)

La mise en application de la formule nécessite de connaître la pente et la largeur du cours d'eau. Elle prend également en compte un coefficient caractéristique d'écoulement qui intègre la rugosité du lit influençant le débit.

Les coefficients caractéristiques des écoulements ont ici été définis sur la base des connaissances acquises lors des visites détaillées dans le cadre de cette étude du terrain et confrontés et validés avec la connaissance des technicien rivière. Ils sont définis sur la base des valeurs de référence données par le tableau ci-dessous . Dans le cas présent, le coefficient de rugosité correspond dans la plupart du temps à 25.

Tableau 4 : Valeurs de référence du coefficient de rugosité K

Matériaux	Coefficient de rugosité K
Vases, boues	60
Sable fin	50
Sable moyen	45
Gros sable	40
Gravier fin	40
Terrains consistants	40
Argiles compactes	40
Gravier grossier	35
Galets	30
Cailloux moyens	25
Gros cailloux	20
Schistes et roches	20

Ce type de calcul s'est limité aux cours d'eau de l'Authion ayant globalement un écoulement plus ou moins libre, c'est-à-dire l'ensemble des cours d'eau hors val d'Authion.

Pour les canaux du Val d'Authion régulés par ouvrage, les règles de vannage des exploitants suivant les besoins d'assainissement des terres ou d'irrigation ont permis de définir les cotes du fil d'eau. Ces données sont les données les plus pertinentes pour connaître le fonctionnement de l'Authion et les hauteurs d'eau dans ces canaux à différentes périodes de l'année.

Effectivement, le calcul d'un débit spécifique pour les tronçons de cette zone n'aurait que très peu de sens, considérant :

- que la corrélation débit-hauteur d'eau n'est pas valable dans la mesure où les écoulements sont influencés par la régulation des ouvrages,
- qu'il n'est pas possible de déterminer des bassins-versant avec des aires d'alimentation sur cette topographie très plate sur des terrains ayant un fort potentiel d'infiltration et parcourus de drainages agricoles .

2.3.4. Difficultés rencontrées pour la caractérisation du réseau hydrographique

Plusieurs difficultés ont été rencontrées dans le cadre de la caractérisation du schéma de fonctionnement hydraulique du réseau hydrographique.

La première est liée au manque de données relatives aux caractéristiques de certains cours d'eau du bassin versant de l'Authion et notamment sur les petits émissaires en tête de bassin. Les études disponibles (pour certaines anciennes) ne sont pas suffisantes pour connaître avec précision l'ensemble du réseau et avoir l'assurance que le tronçon considéré n'a pas été reprofilé. Les visites de terrain supplémentaires effectuées sont loin d'assurer une exhaustivité de mesures sur le réseau hydrographique total.

L'estimation de la largeur des cours d'eau et de la cote de leur fond sont les données qui ont été les plus difficiles à déterminer. Leur estimation a d'abord été effectuée avec des outils qui ne permettent pas une forte précision (analyses sur orthophotoplans par exemple). L'apport en cours d'étude du lever topographique Lidar a nettement amélioré la précision sur le lit majeur de la Loire, c'est à dire ici sur le Val d'Authion.

Un travail de vérification et d'homogénéisation des données a ainsi été nécessaire. L'ensemble des résultats sous forme d'arbres d'écoulement schématique, de tableaux de données et de cartographies a été soumis à validation des techniciens de rivière en charge des différents cours d'eau caractérisés sur le bassin de l'Authion. Les remarques et corrections ont été intégrées.

2.4. Reconstitution des débits naturels

2.4.1. Principe de base

La détermination des volumes prélevables nécessite d'abord de **quantifier le plus précisément possible les ressources naturelles du bassin versant**. Pour cela, il est nécessaire de connaître précisément **les débits naturels** reconstitués du bassin au droit des stations hydrométriques pertinentes qui servent de base de référence aux calculs de débit sur tous les tronçons unitaire déterminés.

En effet, les chroniques de débits naturels, les plus longues, complètes et homogènes possibles, sont le point de départ pour le calcul et la détermination des volumes prélevables. L'objectif final est de **confronter la potentialité naturelle du bassin avec le niveau d'usage actuel**.

L'approche méthodologique qui a été proposée pour cette étude - citée comme outil possible dans l'annexe de la circulaire de juin 2008 – est la modélisation globale à réservoirs établissant la corrélation pluies-débit. L'outil GARDENIA est ci employé et décrit ci-après.

2.4.2. Objectifs et présentation du code de calcul GARDENIA

Le code de calcul Gardénia (modèle Global A Réservoirs pour la simulation des DÉbits et des Niveaux Aquifères) est un modèle hydrologique global de bassins versants.

À partir de la séquence des données météorologiques (précipitations, évapotranspiration potentielle) sur son bassin d'alimentation, il permet de calculer au choix :

- le débit à l'exutoire d'un cours d'eau (ou d'une source),
- le niveau en un point de la nappe libre sous-jacente.

Les calculs peuvent être réalisés au choix, au pas de temps journalier, décadaire ou mensuel.

Le modèle, une fois calé, est en mesure :

- de reconstituer, pour un bassin versant donné, les débits d'une rivière ou d'une source, ou le niveau piézométrique d'une nappe, durant une période pendant laquelle on ne possède pas de mesures,
- de simuler au choix :
 - des débits résultant de périodes de sécheresse (débits d'étiage ou dimensionnement de barrage) ou de séquences de précipitations exceptionnelles (dimensionnement de fondations, de parkings),

- des niveaux piézométriques ponctuels de nappe à partir de précipitations effectivement observées, prolongées par des scénarios de précipitations prévisionnels (sécheresses, périodes de hautes eaux).

Enfin, le logiciel GARDENIA est conçu pour enchaîner le traitement de plusieurs bassins avec des options communes. Il constitue donc un outil tout particulièrement adapté aux synthèses régionales pour lesquelles on désire réaliser, avec une certaine cohérence, l'analyse de plusieurs bassins versants.

Le modèle GARDENIA est un modèle pouvant prendre en compte jusqu'à trois réservoirs que sont le sol, la zone non saturée et la zone saturée (nappe pouvant encore être subdivisée en réservoir superficiel et profond) comme le montre les figures ci-dessous (cf. Figure 9 et Figure 10). Les données d'entrée du modèle sont les données de précipitations et d'évapotranspiration. A partir de ces dernières, et en précisant un certain nombre de critères, le code de calcul permet de définir les précipitations efficaces¹ avec la part de ruissellement et d'infiltration vers la nappe.

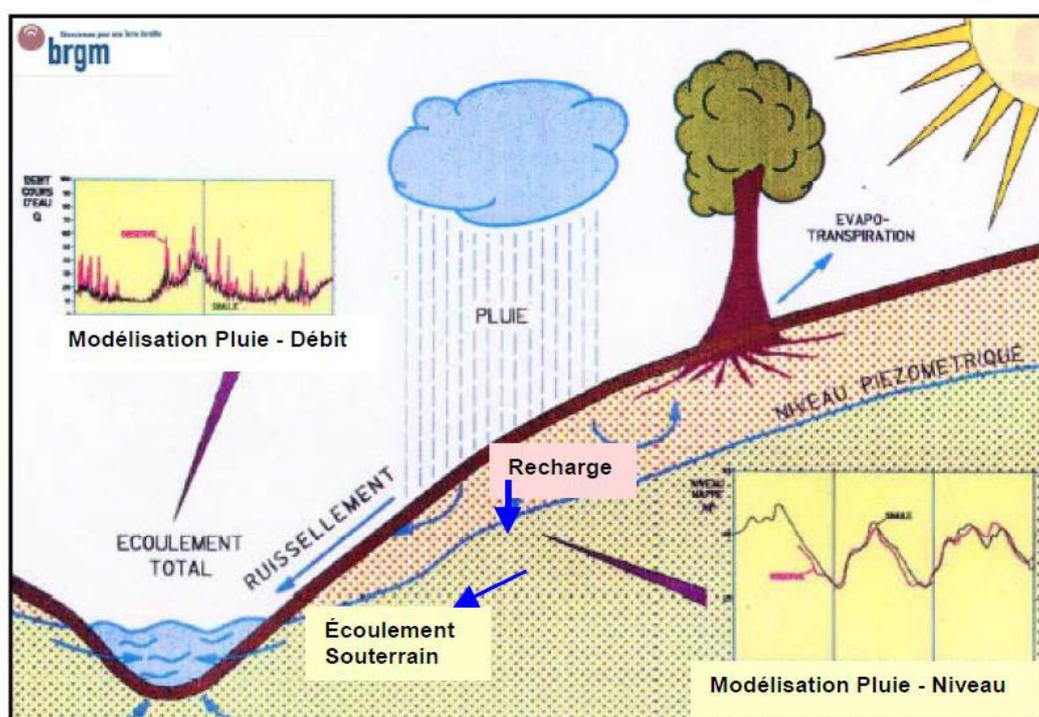


Figure 9 : Représentation schématique des éléments du bilan hydrologique d'un bassin versant

(Source : BRGM)

¹ Différence entre les précipitations et l'évapotranspiration réelle, et exprimée en mm

Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
 et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
 Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
 Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

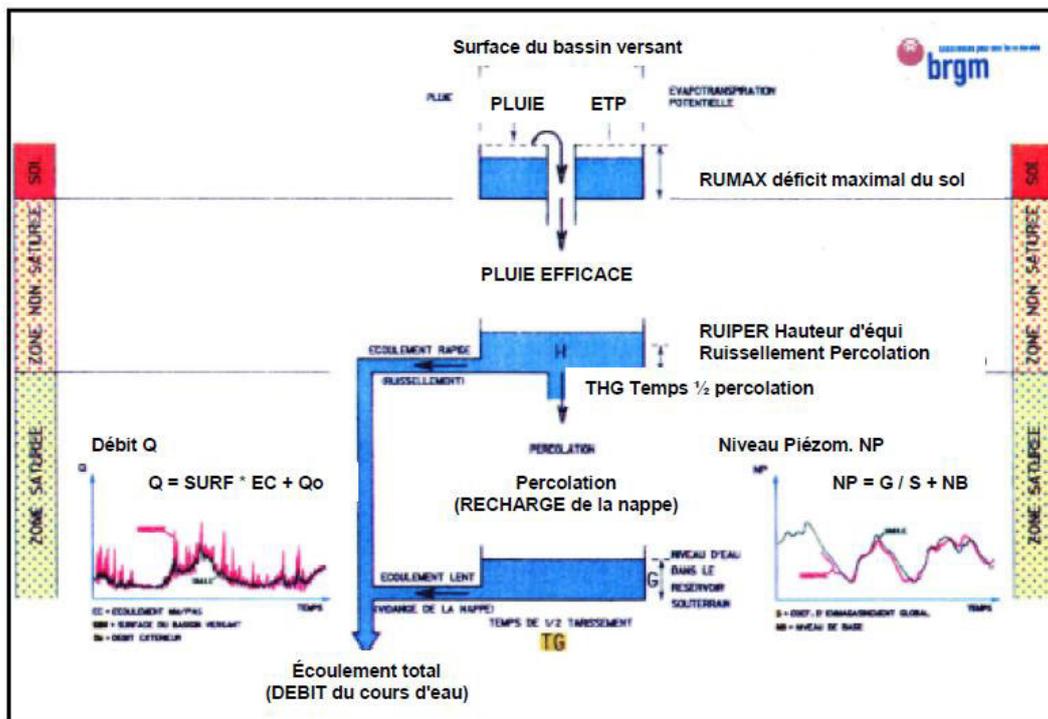


Figure 10 : Principe du modèle hydrologique global GARDÉNIA pour la simulation du débit d'un cours d'eau ou d'un niveau piézométrique

(Source : BRGM)

2.4.3. Calage des modèles hydrologiques

2.4.3.1. Données initiales

Les données disponibles pour le calage des modèles hydrologiques sont :

- les **données climatologiques** fournies par Météo France : valeurs décennales d'ETP à la station d'Angers-Beaucouzé, données pluviométriques sur les stations de Baugé, de Noyant, de Savigné-sur-Lathan, de Bourgueil et de Longué-Jumelles, ainsi que sur celles de Savigny-en-Veron, de Channay-sur-Lathan et de Fontaine-Guérin. Comme précisé en phase 1, la station de Longué-Jumelles n'a pas été retenue car les mesures ne sont pas suffisantes dans le cadre de l'étude (station de niveau 4 sans mesures automatisées).
- les **données piézométriques** fournies par le portail ADES : mesures journalières sur une quinzaine de forages et de piézomètres sur la zone d'étude captant la nappe du Cénomaniens, celle du Séno-Turonien ou celle des alluvions de la Loire,
- les **données de débit** fournies par la Banque HYDRO : données mensuelles sur les stations de Mazé, de Gée, de Pontigné, de Vernantes, de Rillé, de Benais et de Saint-Patrice,

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

- les **données de débit et de pluviométrie fournies par l'Entente** : données journalières sur les stations de Longué-Jumelles, du Moulin Foulon, de Gée, de Vernantes et des Ponts-de-Cé.

Une première analyse de ces données a été nécessaire pour obtenir une bonne cohérence entre les différentes valeurs à entrer dans chaque modèle : fréquence des mesures, période de suivi, absence ou problème de validité de certaines données (cf. phase 1).

Pour obtenir une validité correcte des résultats, il était important d'**avoir des données sur plusieurs années complètes** (2 à 3 ans minimum). Cette condition n'est pas encore satisfaite pour la majorité des points de suivi piézométrique ou pour la plupart des stations hydrométriques suivis aujourd'hui par l'Entente.

Le calage a donc été effectué de la façon suivante :

1. Analyse des mesures pluies-débits sur la sélection, des stations hydrométriques de la Banque Hydro, à partir des données disponibles sur la période 1967-1993, où les régimes des cours d'eau sont supposés avoir été moins influencés par les activités anthropiques.

Rq : Si 90% des ouvrages étaient déjà réalisés en 1993, les volumes prélevés n'ont cessé d'augmenter sur le 20 dernières années. La plus longue durée possible de chroniques hydrométriques a été privilégiée par rapport au risque d'influence de prélèvements sur certaines stations.

Pour information, les périodes prises en compte sont :

- Baugé : 1970-1983,
 - Beaucozéz : 1967-1993,
 - Bourgueil : 1967-1982,
 - Noyant : 1967-1982,
 - Savigné : 1967-1993.
2. Analyse des mesures pluies-débits sur les stations hydrométriques de l'Entente, à partir des données disponibles sur la période 2009-2012,
 3. Analyse des mesures pluies-niveaux sur les points ADES disposant d'au moins trois ans de suivis piézométriques sur la période 2004-2011.

2.4.3.2. Résultats du calage

Comme indiqué dans la présentation du logiciel, il est possible de considérer le sous-sol comme composé d'un ou deux réservoirs souterrains (voire trois dans certains cas).

Etant donné le contexte hydrogéologique local, **les résultats obtenus avec l'hypothèse d'un seul réservoir souterrain pour représenter le sous-sol ont été retenus** préférentiellement à un système à deux réservoirs souterrains plus complexe et sans garantie de meilleure validité des résultats.

Dans ce modèle, les principaux paramètres de calage sont :

- **la capacité de la réserve superficielle** (RUMAX en mm) ou « réserve disponible pour l'évapotranspiration »,
- **la hauteur de répartition Ruissellement-Percolation** (RUIPER en mm) ou hauteur dans le réservoir souterrain pour laquelle il y a répartition égale entre écoulement rapide et percolation,
- **le temps de demi-montée Percolation** (THG en mois), caractérisant la vitesse de réponse entre une pluie efficace et une augmentation de la percolation,
- **le temps de demi-tarissement du réservoir 1** (TG1 en mois), correspondant au temps, en l'absence de recharge par la pluie efficace, au bout duquel le débit de percolation est divisé par deux.

Tous ces paramètres de calage sont basés sur les caractéristiques propres à chaque type de sol. Ce sont des paramètres propres à Gardenia qui se rapprochent néanmoins de certaines grandeurs connues. La capacité de la réserve superficielle peut s'apparenter à la Réserve en eau Facilement Utilisable (RFU) par exemple.

Les résultats obtenus à l'issue de l'analyse des mesures pluies-débits sur la sélection des stations hydrométriques de la Banque HYDRO, sur la période 1967-1993, sont les suivants :

Tableau 5 : Résultats du calage de la première analyse des mesures pluie-débits sur les stations hydrométriques de la Banque HYDRO pour les périodes 1967-1993

Paramètres calculés	Benais	Gée	Pontigné	Saint-Patrice	Rillé	Vernantes	Mazé
	Changeon	Couasnon	Couasnon	Lane	Lathan	Lathan	Tary
	SénoTuronien	Cénomaniens Supérieur	Miocène à Eocène	Alluvions récentes	Miocène à Eocène	Cénomaniens Inférieur	Cénomaniens sup. à moyen
Capacité de la réserve superficielle - RUMAX (mm):	89	183	89	80	91	156	176
Hauteur de répartition Ruis-Percol - RUIPER (mm):	90	35	78	49	25	57	38
Temps de demi-montée Percol - THG (mois):	0,34	1.03	4,78	1,94	3,48	0,15	0,15
Temps de demi-tarissement du réservoir souterrain – TG1 (mois):	15	12	7,09	7,07	7,37	5,39	15
R ²	0,86	0,75	0,63	0,83	0,85	0,80	0,81

² Coefficient de corrélation

Le tableau ci-dessus permet de constater des **coefficients de corrélation** assez moyens (Gée avec pluviométrie à Baugé, Pontigné avec pluviométrie à Baugé, Vernantes avec pluviométrie à Noyant) pour la plupart des stations.

Ces résultats montrent que généralement, une **bonne corrélation** n'est obtenue que pour les stations hydrométriques dont les **données pluviométriques** disponibles sont **suffisamment représentatives** du bassin versant concerné. Ainsi, les meilleurs résultats sont trouvés pour les deux stations à l'Est de la zone d'étude (Benais, Rillé) où les régimes hydrologiques semblent principalement influencés par la pluviométrie mesurée en amont au droit de la station de Savigné-sur-Lathan.

Toutefois, les graphiques des simulations effectuées (cf. annexe 2) montrent dans l'ensemble une évolution cohérente des débits calculés par rapport aux débits observés. Cela traduit le fait que le calage est globalement correct sur plusieurs années hydrologiques mais que le modèle reproduit mal les valeurs extrêmes (crues, étiages marquées) car il faudrait alors disposer de plusieurs stations hydrométriques et météorologiques sur un même bassin versant pour affiner la corrélation.

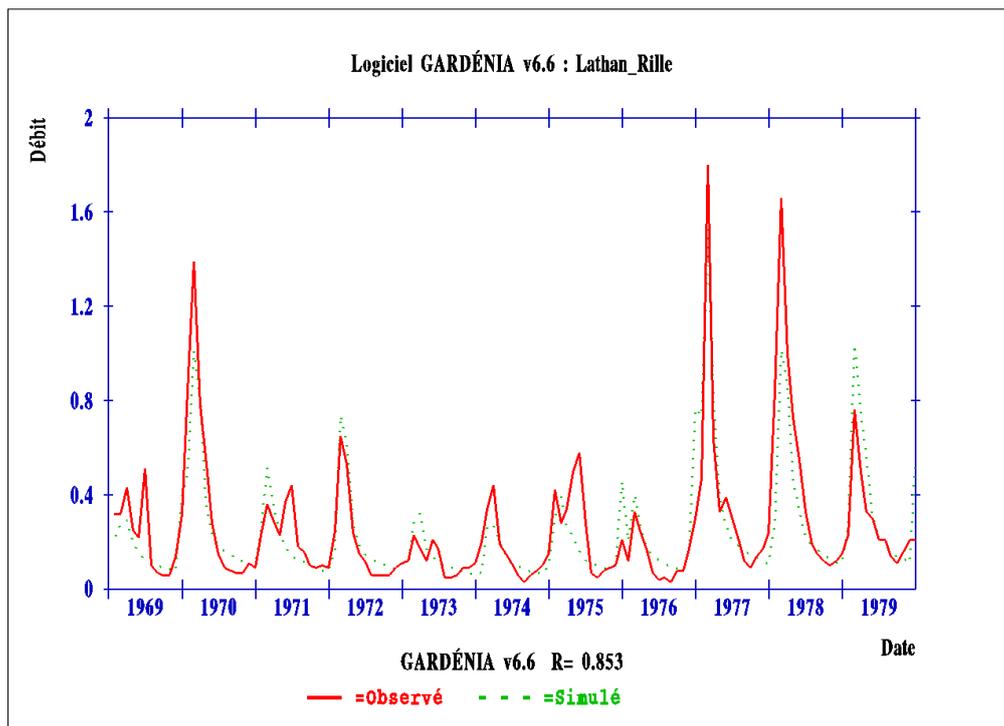


Figure 11 : Exemple de simulation pluies/débit avec Gardénia

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion
Rapport final A70443/F*

Parmi les stations hydrométriques suivies par l'Entente, trois disposent de données sur trois années au moins :

- Gué de Fresnes (Authion à Longué-Jumelles),
- Pont Bourguignon (Authion aux Ponts-de-Cé),
- Gée (Couasnon).

L'analyse de ces données journalières aboutit à une faible corrélation (coefficients inférieurs à 0,3) des valeurs de débits avec celles des pluies mesurées au droit de ces stations.

Suivant ce constat et pour comparer les résultats, il a été appliqué les valeurs obtenues suite au calage des données des stations de Banque HYDRO sur la période 1967-1983, y compris pour les stations sur l'Authion à Longué-Jumelles et aux Ponts-de-Cé dont la validité des mesures est *a priori* faible (cf. Tableau 6).

Tableau 6 : Paramètres déterminés pour les stations sur l'Authion à Longué-Jumelles et aux Ponts-de-Cé sur la base des valeurs obtenues suite au calage des données des stations de Banque HYDRO sur la période 1967-1983

Paramètres calculés	Gée	Longué-Jumelles	Ponts-de-Cé
	Couasnon	Authion	Authion
	Cénomaniens Supérieur	Alluvions récentes	Alluvions récentes
Capacité de la réserve superficielle - RUMAX(mm):	158	101	76
Hauteur de répartition Ruis-Percol - RUIPER (mm):	80	125	51
Temps de demi-montée Percol - THG (mois):	0,96	0,30	0,15
Temps de demi-tarissement du réservoir souterrain – TG1 (mois):	15,00	15,00	6,00
R (données 1967-1983)	0,80	0,73	0,68
R (données 2010-2012)	-0,46	0,60	0,40

Les plus faibles valeurs obtenues peuvent s'expliquer par la courte durée des chroniques disponibles sur la période récente, encore insuffisante pour obtenir une corrélation correcte surtout avec un pas de temps de mesure journalier.

Une plus mauvaise représentativité des pluviométries mesurées sur la période 2010-2012 pour simuler les variations de débit ou encore l'évolution des influences externes sur les régimes hydrauliques entre les deux périodes (aménagements, fonctionnement, etc.) peuvent également être à l'origine de ces faibles corrélations.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

Le même travail a été réalisé au niveau des ouvrages de suivi piézométrique. Le type d'analyse prend cette fois en compte deux autres paramètres de calage : le **niveau de base** étant le **niveau minimal de nappe** qui s'établirait en l'absence de recharge au bout d'un temps infini, et le coefficient d'emmagasinement apparent et global³.

Les interprétations présentées ci-après (cf. Tableau 7) n'intègrent pas celles des points de mesures disposant de moins de 3 années de suivi ou dont les valeurs sont influencées par un pompage (cas d'un forage AEP).

Rq : Les points de suivis de Neuillé, Ville-au-Fourier, Vivy, Fontaine Millon, Souvigné, Vaulandry qui ne sont pas traités par cette modélisation pluie/niveau piézométrique par GARDENIA ne sont pas pour autant délaissés dans cette étude. Leurs chroniques seront confrontées au calage du modèle nappes- cours d'eau en régime transitoire.

Tableau 7 : Résultats du calage pluies-niveaux sur points ADES avec au moins trois ans de suivi piézométriques sur la période 2004-2011

CODE_BSS	04553X0023/F	04248X0022/F	04854X0257/PZ	04563X0105/F	424_2X_0053F
Commune	Brion	Pontigné	Villebernier	Channay-sur-Lathan	Noyant
Profondeur	15,20	61,00	18,00	102,00	44,00
Masse d'eau souterraine	Sables et grès captifs du Cénomanién unité de la Loire	Craie du Séno-Turonien - Touraine Nord	Alluvions Loire moyenne après Blois	Craie du Séno-Turonien - Touraine Nord	Sables et grès captifs du Cénomanién unité de la Loire
Niveau de base (m NGF):	41,01	65,62	24,35	75,84	27,79
type de nappe	Libre	Libre	Libre	Inconnu	Libre
Station météoFrance retenue	Fontaine Guérin	Fontaine Guérin	Savigny Veron	Channay sur Lathan	Channay sur Lathan
Capacité de la réserve superficielle - RUMAX (mm):	154	230	25	70	12
Hauteur de répartition Ruis-Percol - RUIPER (mm):	80	280	75	90	58
Temps de demi-recharge du réservoir souterrain Percol - THG (mois):	1,09	5,61	1,15	0,67	3,00
Temps de demi-tarissement du réservoir souterrain – TG1 (mois):	15,00	14,99	2,94	3,93	20,00
Porosité cinématique (sans unité):	0,05	0,03	0,04	0,03	0,05
Indice de fiabilité de la corrélation R (%)	85%	81%	92%	89%	81%

³ Par définition, ce coefficient est différent d'un coefficient d'emmagasinement ou de la porosité efficace déduite par essai de pompage en particulier car moins spécifique à l'aquifère étudié en englobant d'autres facteurs (alimentation de la nappe par les eaux de surface en particulier).

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

Au vu des résultats, le **calage est considéré correct (R>85%)** pour les forages de Brion, Villebernier et le piézomètre de Channay-sur-Lathan, médiocre pour les forages de Pontigné et de Noyant.

A l'exception du forage de Pontigné (04248X0022/F), les graphiques des simulations effectuées (cf. annexes) montrent dans l'ensemble **une évolution assez cohérente** des niveaux piézométriques simulés par rapport aux niveaux observés.

Pour le piézomètre de Villebernier (04854X0257/PZ), on peut également observer un abaissement plus rapide et plus important des niveaux observés par rapport aux niveaux simulés en période de basses eaux sur les trois dernières années (2009-2011), pouvant correspondre à l'influence saisonnière des pompages sur ce secteur.

Les calculs précédemment décrits effectués avec GARDENIA permettent d'estimer la recharge de la nappe et son évolution sur la période considérée.

Les périodes de mesures sont différentes entre les deux types de calcul, rendant la comparaison difficile entre les résultats obtenus. Les calculs n'ont été faits que sur les périodes communes de mesures respectivement de débit (1967-1980) et de niveaux (2007-2011).

Cependant, à titre indicatif, en mettant en correspondance, par colonne, les résultats du point de suivi piézométrique avec ceux obtenus pour la station hydrométrique la plus proche, les moyennes interannuelles de pluies et recharge sont les suivantes :

Tableau 8 : Résultats des calculs des moyennes interannuelles de pluies et recharge

Résultats des calculs pluies-débits sur la période 1967-80	Gée	Pontigné	St Patrice	Rillé	Vernantes
	Couasnon	Couasnon	Lane	Lathan	Lathan
	Cénomaniens Supérieur	Miocène à Eocène	Alluvions récentes	Miocène à Eocène	Cénomaniens Inférieur
Précipitations (mm)	641,4	641,4	639,9	588,9	636,9
Pluies efficaces (mm)	131,4	211,0	187,4	158,0	128,7
Recharge (mm)	81,9	94,1	85,0	66,3	93,9
Ratio (recharge/pluies)	13%	15%	13%	11%	15%
Résultats des calculs pluies-niveaux sur la période 2007-2011	04553X 0023/F	04248X 0022/F	04854X 0257/PZ	04563X 0105/F	04242X 0053/F
	Brion	Pontigné	Villebernier	Channay-sur-Lathan	Noyant
	Sables et grès captifs du Cénomaniens unité de la Loire	Craie du Séno-Turonien - Touraine Nord	Alluvions Loire moyenne après Blois	Craie du Séno-Turonien - Touraine Nord	Sables et grès captifs du Cénomaniens unité de la Loire
Précipitations (mm)	625,6	686,8	569,4	611	595
Pluies efficaces (mm)	78,2	39,8	170,4	161,6	232,6
Recharge (mm)	65,6	39,8	107,4	126,2	113,8
Ratio (recharge/pluies)	10%	6%	19%	21%	19%

Les résultats des calculs en pluies/débits sont en principe plus représentatifs de l'ensemble d'un bassin versant que ceux obtenus pour les calculs en pluies/niveaux car les niveaux piézométriques peuvent être influencés par des apports souterrains (drainance entre aquifères) en plus des infiltrations directes depuis la surface.

Ceci explique les pourcentages plus proches obtenus pour le rapport recharge/pluies dans les calculs pluies-débits, compris entre 11 et 15%, alors que ceux obtenus pour les pluies-niveaux varient de 6 à 21 % sur une période où la pluviométrie a été aussi plus contrastée selon les secteurs.

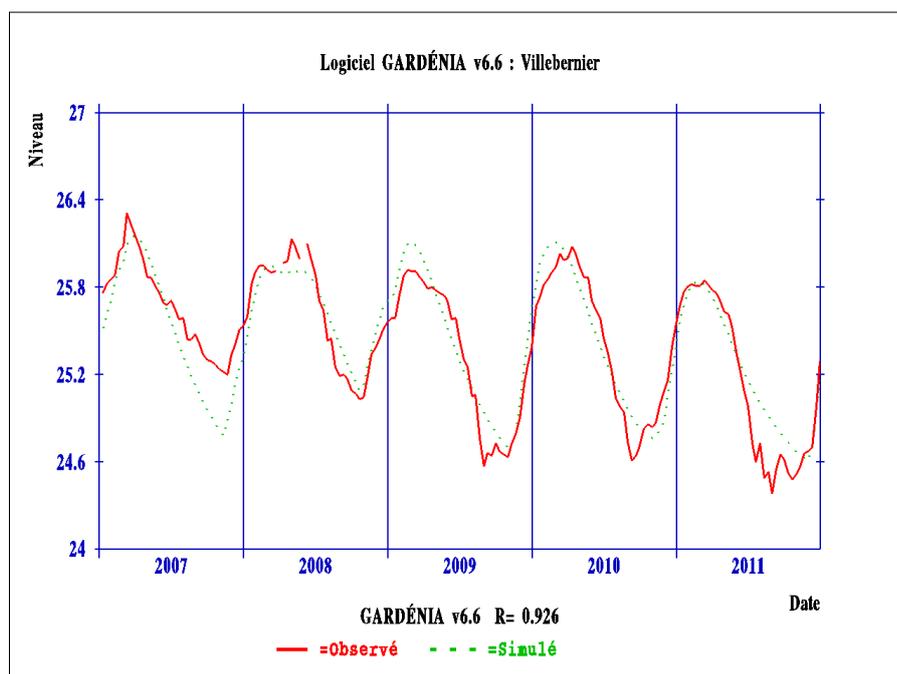


Figure 12 : Exemple de simulation pluies/niveau avec Gardénia

De plus, les valeurs estimées à partir des calculs pluies/débits pour les cumuls annuels de recharge sont plus cohérentes par rapport à celles de pluies efficaces (42 à 73 % des pluies efficaces), que pour les calculs en pluies/niveaux (49 à 100%).

En conclusion, en tenant compte des différentes réserves décrites précédemment, les valeurs de recharge les plus représentatives de la zone d'étude sont celles obtenues par les calculs pluies-débit des cours d'eau, malgré des corrélations parfois moyennes.

Pour des pluviométries importantes sur la période 1973-1979, supérieures à 600 mm/an (578 mm en moyenne à Angers sur la période 1946-1976⁴), on peut donc considérer des moyennes interannuelles de **pluies efficaces comprises entre 129 et 211 mm/an** (114 mm à Angers et jusqu'à plus de 150 mm sur le bassin versant de l'Authion en moyenne sur la période 1946-1976), et des moyennes interannuelles de **recharge des nappes comprises entre 66 et 94 mm/an**.

⁴ BRGM- M LOUVRIER et J.MARGAT -Rapport 83 SGN 003 EAU – Janvier 1983

2.4.4. Définition des débits de référence naturels reconstitués

2.4.4.1. Définition de quelques débits de référence

En hydrologie, le **module** correspond au débit moyen inter annuel, c'est une synthèse des débits moyens annuels (QMA) d'un cours d'eau sur une période de référence (au moins 20 ans de mesures consécutives).

Les débits d'étiage des cours d'eau du bassin sont dépendants :

- de la pluviométrie naturelle,
- des écoulements naturels éventuellement soutenus par les résurgences/sources des nappes libres,
- des réalimentations artificielles pour les cours d'eau classés en MEFM (masses d'eau fortement modifiées).

L'analyse des débits d'étiage est souvent opérée à partir d'une série de débits annuels (une valeur extraite par an). Cependant, parmi ces débits, tous ne sont pas représentatifs d'une situation hydrologique extrême, notamment dans le cas d'années très humides. Les débits annuels d'étiage sont ainsi classiquement ajustés à une loi statistique afin de leur assigner une fréquence de retour et pour permettre le calcul de débits fréquentiels, aussi appelés débits caractéristiques.

Les débits d'étiage peuvent être caractérisés par :

- le **QMNA 5** : débit moyen mensuel sec de récurrence 5 ans. Il s'agit du débit d'étiage de référence pour l'application de la police de l'eau. Le QMNA 5 de fréquence quinquennale sèche est également retenu par le SDAGE Loire Bretagne 2010-2015 pour la définition des débits objectifs d'étiage (DOE),
- le **VCN n** : débit d'étiage minimal enregistré pendant n jours consécutifs avec une fréquence de retour considérée. Par exemple, le VCN 30 est le débit moyen minimal calculé sur 30 jours consécutifs le plus faible qui apparaît sur une période donnée. Il est proche du QMNA 5 sauf que sa valeur ne tient pas compte des mois calendaires.

Les valeurs de débits simulées par Gardénia pour les stations de référence de la Banque HYDRO ont ainsi été exploitées statistiquement afin de déterminer le module et les débits caractéristiques d'étiage en situation non influencées par les prélèvements.



L'Agence de l'Eau Adour-Garonne, dans sa méthodologie sur la définition des volumes prélevables d'avril 2011, préconise de déterminer les volumes prélevables en reconstituant les débits naturels journaliers sur une période d'au moins 15 ans. Cet objectif n'est pas toujours atteignable faute de chroniques suffisantes.

Les valeurs de référence ainsi obtenus sont données dans le tableau ci-dessous (cf. Tableau 9).

Tableau 9 : Débits de référence observés et reconstitués par simulation (m³/s)

	Période statistique de calcul				Module		QMNA 2		QMNA 5		VCN 30
	Obs.	Durée obs.	Sim.	Durée sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.	Sim.
Changeon à Benais	1967-1993	27	1969-1983	14	0,60	0,64	0,32	0,47	0,24	0,35	0,26
Lane à Saint-Patrice	1967-1982	16	1969-1983	14	0,16	0,21	0,02	0,11	0,01	0,06	0,04
Couason à Pontigné	1967-1983	17	1972-1983	11	0,22	0,30	0,06	0,16	0,04	0,12	0,08
Couason à Gée	1967-1983	17	1973-1983	10	0,93	1,09	0,21	0,37	0,13	0,28	0,25
Lathan à Rillé	1967-1980	14	1969-1980	11	0,27	0,32	0,06	0,11	0,04	0,08	0,06
Lathan à Vernantes	1967-1982	16	1967-1983	16	1,23	1,41	0,28	0,58	0,14	0,42	0,20
Tarry à Mazé	1967-1982	17	1973-1983	10	0,10	0,14	0,02	0,08	0,01	0,05	0,04

La comparaison des débits observés au débit simulés ne peut s'effectuer pour une période commune dans la mesure où les valeurs observées sont tirées de l'analyse statistique de la banque hydro fournie par la fiche synthétique.

Rq : Les modèles hydrologiques GARDENIA ont été calculés à partir de données d'entrée au pas de temps décadaire, cela ne permet pas d'obtenir comme donnée de sortie des débits simulés journaliers. Il n'est donc pas possible de déterminer statistiquement à partir de ces résultats, le VCN 3 et le VCN 5.

2.5. Définition des Débits Minimum Biologiques

Plusieurs études relatives à la détermination des Débits Minimum Biologiques (DMB) ont été menées récemment sur le bassin-versant de l'Authion. Les paragraphes suivants présentent les résultats de ces investigations qui ont permis de définir les exigences en termes de continuité écologique et de maintien des espèces vivantes sur les cours du Lathan, du Changeon et du Couason.

L'annexe 3 présente le rapport d'évaluation des DMB réalisé en 2012 par le bureau d'étude Aquascop pour le Lathan et le Changeon dans le cadre de cette étude.

L'annexe 4 concerne l'étude menée par la Fédération pour la Pêche et la Protection des Milieux aquatiques de Maine et Loire en 2012 pour l'évaluation de la compatibilité des aménagements proposés dans le cadre du Contrat Territorial Milieux Aquatiques du Couason avec la réglementation en vigueur et les peuplements piscicoles du Couason.

2.5.1. Cadre réglementaire

La Loi sur l'Eau définit le débit minimum biologique comme étant le **débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans le cours d'eau.**

La réglementation prévoit des valeurs « plancher » de l'ordre du 1/10^e du module ou 1/20^e du module pour les cours d'eau dont le débit est supérieur à 80 m³/s.

Le 1/10^e du module est une valeur réglementaire servant de minimum tangible pour la protection et la préservation du milieu aquatique, basée sur des études scientifiques.

La détermination de ce débit minimum biologique doit faire l'objet d'une étude particulière analysant les incidences d'une réduction des valeurs de débit à l'aval de l'ouvrage sur les espèces vivant dans les eaux, et ce conformément à la circulaire du 5 juillet 2011 relative à l'application de l'article L. 214-18 du code de l'environnement sur les débits réservés à maintenir en cours d'eau. Un DMB doit préférentiellement être défini par cours d'eau.

2.5.2. Etude menée sur le Lathan et le Changeon

2.5.2.1. Démarche de définition du Débit Minimum Biologique

La méthode utilisée pour le calcul des débits minimum biologiques est celle dite des « **micro-habitats** ». Ce modèle intervient pour **traduire**, sur un site donné et en tenant compte de la morphologie de ce site, **les valeurs et les variations de débits en termes hydrauliques et en termes de surface d'habitat disponible pour une espèce donnée ou un stade de développement de celle-ci** (juvénile, adulte).

Il permet ainsi de quantifier comment des différences de débits entre la situation naturelle, la situation actuelle et les scénarii de gestion proposés se traduisent en perte et/ou en gain d'habitat hydraulique favorable, au vu de ce que l'on connaît des exigences hydrauliques de l'espèce et de son cycle de vie.

La proposition de débits doit intervenir sur la base de l'examen des étapes suivantes :

- l'impact des prélèvements sur les débits non ou peu influencés,
- le contexte environnemental général,
- l'identification de caractéristiques du régime importantes,
- les variations d'habitat hydraulique en fonction des débits, permettant d'apprécier l'efficacité relative potentielle de différentes hypothèses de débits minimaux.

Le modèle qui a été proposée et validée par le comité technique est la méthode **Estimhab**, qui est un modèle statistique associant un modèle hydraulique à un modèle biologique.

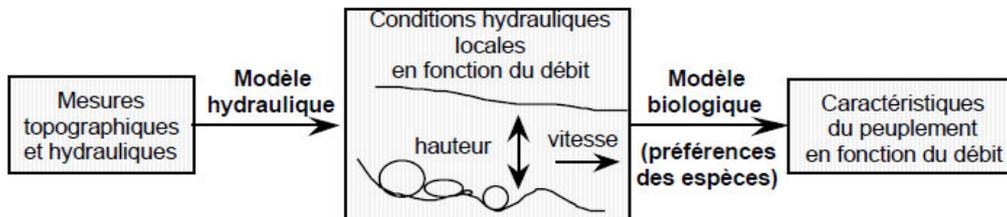


Figure 13 : Principe de détermination d'un débit minimum biologique par la méthode des Micro-habitats

(Source : Aquascop)

Le traitement des données se base sur des moyennes de profondeurs, de largeurs et de taille de substrats, sur les deux débits calculés et sur les préférences d'habitats qui ont été établies pour un certain nombre d'espèces pisciaires.

Les mesures topographiques et hydrauliques sont donc saisies dans une application permettent d'obtenir des **courbes de Surfaces Potentiellement Utiles** (SPU / 100 m) aux différentes phases de vie des poissons, pour les espèces (ou les guildes, c'est-à-dire des groupes d'espèces) choisies, à différents débits.

De façon générale, un **point d'inflexion** sur ces courbes est recherché. En dessous de ce point, les débits deviennent défavorables aux espèces cibles, en particulier lors de certaines périodes (reproduction et premières semaines après l'éclosion essentiellement).

2.5.2.2. Validité du DMB

Le DMB est calculé sur la base des caractéristiques d'une station donnée. Ainsi, sur un même cours d'eau, un DMB à l'aval peut être supérieur ou inférieur à un DMB calculé à l'amont. Le DMB varie en tout point du cours d'eau en fonction du profil de ce dernier.

Dans le cadre de notre étude, il est possible d'extrapoler un DOE aval sur la base d'un DMB calculé plus en amont (par simple règle de trois en fonction de la superficie drainée) mais le débit obtenu sera une base de travail pour déterminer entre autre les volumes prélevables mais non un débit de référence *stricto sensu* comme peut l'être le 1/10^e du module.

2.5.2.3. Espèces ciblées

D'après les espèces trouvées dans les stations par inventaire piscicole et le classement en seconde catégorie piscicole du Changeon et du Lathan, l'habitat est modélisé par « guildes », c'est-à-dire par groupes de poissons partageant les mêmes types d'habitats. Quatre guildes existent :

- la guildes « **radier** » (loche franche, chabot, barbeau de taille inférieure à 9 cm),
- la guildes « **chenal** » (barbeau de taille supérieure à 9 cm),
- la guildes « **mouille** » (anguille, perche, gardon, chevaine de taille supérieure à 17 cm),
- et la guildes « **berge** » (goujon, chevaine de taille inférieure à 17 cm).

2.5.2.4. Stations de mesures

La station de mesure sur le Changeon a été choisie au lieu dit Le Paluau, en raison de la configuration du Changeon à cet endroit. Il présente une alternance de séquences d'écoulements qui permet de modéliser de façon optimale les habitats disponibles. De plus, des données hydrologiques sont disponibles dans cette station.

La station de mesure sur le Lathan a été choisie en aval du lieu-dit « Chanteloup » dans les communes de Mouliherne et Vernantes. Le choix de la station s'est fait en rapport avec la morphologie quasi-naturelle et l'alternance de faciès présents dans ce linéaire du Lathan. La station est située en aval du lac de Rillé. Enfin, des données hydrologiques sont disponibles.

Le rapport en annexe 3 présente ces stations. La surface drainée par le Changeon au Paluau est de 96 km², tandis qu'elle est de 137 km² au niveau du Lathan à Chanteloup.

2.5.2.5. Résultats de la modélisation Estimhab

❖ Pour le Changeon à Le Paluau

Au module, les valeurs de SPU, comparées aux SPU maximales, sont très bonnes pour les guildes « radier » et « rive ». La valeur de SPU pour la guildes « chenal » est globalement assez faible.

Au QMNA5 et au VCN3, les valeurs de SPU restent bonnes pour les guildes « radier » et « rive », comparativement aux SPU maximales.

En dessous du débit correspondant au **point d'inflexion** des courbes (**0,155 m³/s**), les pertes de SPU deviennent importantes, en particulier pour la guildes « chenal » (à ce débit, il ne reste que 60 % de la SPU par rapport à la SPU de cette guildes au module). Cette valeur de **0,15 m³/s** peut donc **être considérée comme le Débit Minimum Biologique**. D'après l'hydrologie naturelle reconstituée, ce débit n'est que rarement atteint naturellement.

❖ Pour le Lathan à Chanteloup

L'analyse porte sur le secteur situé entre Chanteloup et Chants d'oiseaux.

Au module, la valeur de SPU comparée à la SPU maximale est très bonne pour la guilde « radier ». La valeur de SPU de la guilde « chenal » est assez moyenne (122 m²).

Pour la guilde « chenal », en dessous du débit correspondant au point d'inflexion (0,23 m³/s), les pertes de SPU deviennent importantes : à ce débit il ne reste que 75 % de la SPU par rapport à la SPU de cette guilde au module. Les débits inférieurs sont pénalisants pour cette guilde, mais naturellement observés tous les étés (en année d'hydrologie moyenne) : le cours d'eau n'est naturellement pas favorable aux poissons de la guilde « chenal ».

Au QMNA5 et au VCN3 (débits d'étiage sévère dans le Lathan), la SPU de la guilde « radier » reste correcte, comparativement à la SPU maximale, alors que celle de la guilde « chenal » montre, en revanche, une diminution importante d'environ 50 % par rapport à la SPU au module.

En conclusion, le **QMNA 5 peut être considéré comme le Débit Minimum Biologique**, en particulier en période d'étiage (juillet à octobre) dans le Lathan à Chanteloup soit **0,07 m³/s**.

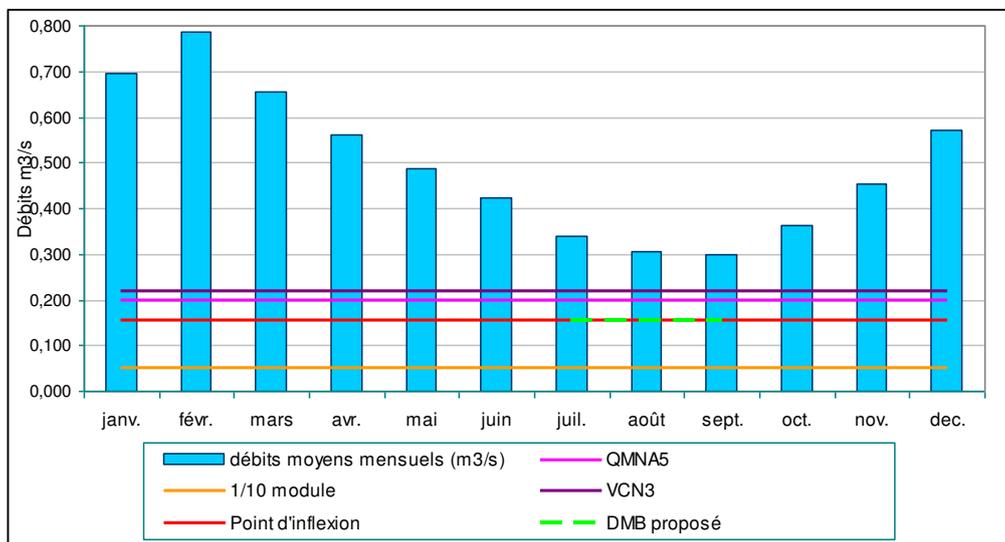


Figure 14 : Débits moyens mensuels et débits caractéristiques du Changeon à Le Paluau
(Source : Aquascop)

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

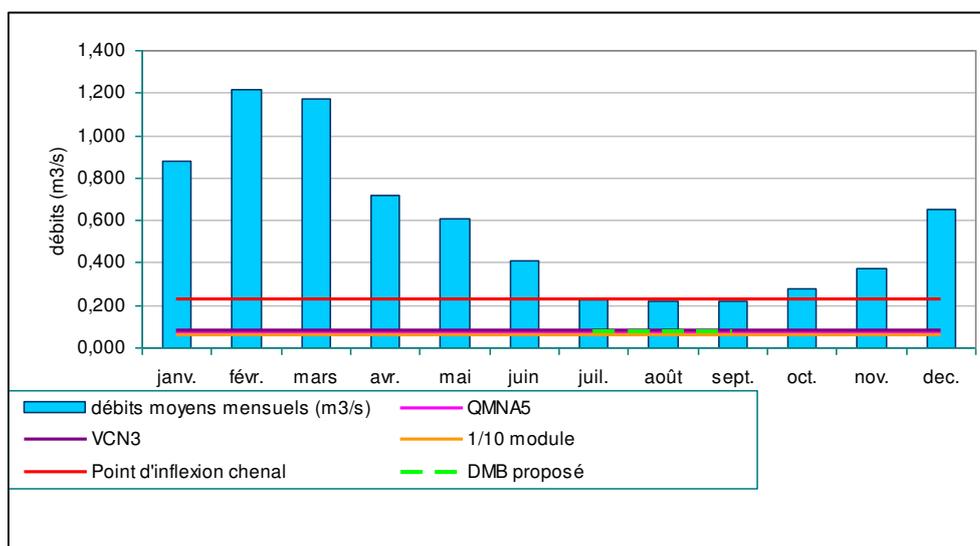


Figure 15 : Débits moyens mensuels et débits caractéristiques dans le Lathan à « Chanteloup »
(Source : Aquascop)

2.5.3. Etude menée sur le Couasnon

2.5.3.1. Contexte de l'étude

Le Contrat Restauration Entretien du Couasnon a vu le jour entre 2004 et 2009. Il a permis de restaurer et d'entretenir la végétation, de diversifier les habitats aquatiques et d'améliorer la continuité écologique et les écoulements sur 27 kilomètres.

Le bilan de cette opération a été réalisé en 2009-2010. Il a montré que le Couasnon retrouvait peu à peu son fonctionnement naturel mais qu'un niveau de restauration plus important devait être mis en œuvre.

En 2010, un nouveau programme de restauration, le Contrat Territorial Milieux Aquatiques du bassin du Couasnon a été mis en place. Dans ce cadre, le bureau d'étude SEGI (Société d'Etudes Générales et d'Infrastructures) a défini les aménagements nécessaires à réaliser pour poursuivre l'objectif de restauration du Couasnon.

Afin d'évaluer la compatibilité des aménagements proposés avec la réglementation en vigueur sur les débits et les exigences écologiques des peuplements piscicoles du Couasnon, la Fédération de Maine et Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique a réalisé l'expertise des travaux jugés nécessaires par le bureau d'étude.

2.5.3.2. Classement et peuplements piscicoles du Couasnon

Le Couasnon est classé en 1ère catégorie de sa source jusqu'au pont des Fées, sur la commune de Baugé, la où la pente est la plus marquée puis en 2^{ème} catégorie piscicole jusqu'à sa confluence avec l'Authion.

Le Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles de Maine et Loire (49), validé en 2001, fait état de 2 contextes piscicoles différents sur le bassin versant du Couasnon et de ses affluents.

Alors que la partie aval du Couasnon fait partie du contexte « Authion », le contexte « Couasnon » est lui constitué de la partie du cours d'eau située en amont de Baugé.

Tableau 10 : Contexte piscicole du Couasnon

Contexte	Code	Type	Espèce repère	Etat fonctionnel
Couasnon	L92-30-ID	Intermédiaire	Truite fario	Dégradé
Authion	L91-29-CD	Cyprinicole	Brochet	Dégradé

L'étude a permis de définir les peuplements piscicoles théoriques du Couasnon à partir des caractéristiques du cours d'eau et de faire le bilan des travaux mis en œuvre dans le cadre du Contrat Restauration Entretien du Couasnon. L'objectif était de comparer les peuplements observés suite aux pêches électriques au peuplement attendu.

Le bilan a mis en évidence :

- qu'à la station n°1 (Couasnon à « La Butte »), le peuplement observé en 2008 se rapprochait du peuplement théorique mais qu'il manquait encore les cyprinidés rhéophiles et la Lamproie de Planer,
- qu'à la station n°2 (Couasnon au niveau du plan d'eau communal de Baugé), le peuplement piscicole était composé des espèces les moins sensibles du peuplement théorique,
- qu'à la station n° 3 (Couasnon au pont de Bois Fou), le peuplement est assez diversifié mais les espèces ne sont pas celles attendues.

2.5.3.3. Proposition d'aménagements et effets attendus

Pour réduire l'écart entre espèces observées/espèces attendues, un nouveau programme d'aménagement prévoit :

- le reprofilage des berges,
- la mise en place de banquettes végétalisées et radier,
- le reméandrage,

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion
Rapport final A70443/F*

- et la mise en place de plusieurs aménagements :
 - o création d'un nouvel ouvrage franchissable par les poissons sur le radier du Pont de Singé,
 - o abaissement des clapets de la STEP de Mazé et du Coudray,
 - o arasement partiel du seuil fixe, remplacement du clapet par deux vannes à guillotine, mise en place d'une passe à poisson de type rivière de contournement au niveau du Moulin de Laveau,
 - o mise en place d'une passe à poisson au Moulin de Fontaine,
 - o arasement du seuil fixe, remplacement du clapet par une succession de radiers au répartiteur du Pin,
 - o arasement du seuil fixe, enlèvement de la vanne et mise en place d'une succession de seuils au répartiteur de Ribard.

Les aménagements retenus au niveau des ouvrages pour améliorer la continuité écologique ont été dimensionnés à l'aide du logiciel CASSIOPEE. Ce dimensionnement, au niveau des débits transitant et des vitesses d'écoulement dans les passes, a été calculé afin de permettre la circulation de toutes les espèces piscicoles.

2.5.3.4. Définition des DMB

Aujourd'hui, la répartition des débits favorise l'alimentation des bras de dérivation du Couasnon ou anciens biefs. On constate ainsi qu'à l'étiage le débit transitant dans le Couasnon dit « naturel » est inférieur au 10^{ème} du module, soit au débit minimal à respecter.

Dans le souci de conserver un patrimoine lié à l'eau, de garantir de l'eau dans les biefs des moulins tout en favorisant le cours « naturel » et de respecter la réglementation, les aménagements permettront une révision de la répartition des débits entre le cours naturel et les bras de dérivation **afin de favoriser le bras naturel.**

Il a été notamment convenu :

- de garantir tout de même un débit dans les biefs et de ne pas entraîner un assèchement de ces bras, tant que cela ne nuit pas au milieu (lit naturel), qu'à partir du moment où le débit du Couasnon atteindrait la moitié du 10^{ème} du module en période d'étiage sévère, tout le débit sera dirigé dans le cours naturel,
- que pour les dispositifs de franchissement des répartiteurs du Moulin de Laveau, du Pin, et de Ribard, le débit transitant dans les passes sera variable sur l'année. Ainsi toute augmentation du débit du cours d'eau, entraînera une augmentation du débit dans la passe afin que celle-ci reste toujours attractive pour le poisson,
- que pour le moulin de Fontaine, la passe à poissons sera aménagée sur le bief afin d'alimenter le bras le plus biogène, et le débit y transitant sera fixe et égal à 51 l/s, soit inférieur au 10^{ème} du module calculé avec les anciennes données (66 l/s) mais largement supérieur au 10^{ème} du module actualisé qui est de 36 l/s.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

Ainsi, pour les répartiteurs du moulin de Laveau, du Pin et de Ribard :

- la moyenne annuelle du débit dans la passe sera supérieure au 10^{ème} du module,
- le débit minimum à Laveau restera supérieur à la moitié du 10^{ème} du module.

Les évolutions attendues sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 11 : Respect du débit réservé au titre de l'article L 214-18 du Code de l'environnement -
Situation actuelle et future (Source : Données SIAC et SEGI)

Nom de l'ouvrage	Situation actuelle cours "naturel"						Situation future cours "naturel"					
	Répartition actuelle entre le cours "naturel" et le bief	Débit actuel cours "naturel" - Etiage passé (1967-1983)	Débit actuel cours "naturel" - Etiage actualisé (2004-2012)	Débit actuel cours "naturel" -Module passé (1963-1983)	Débit actuel cours "naturel" - Module actualisé (2004-2012)	Débit moyen annuel du cours "naturel" ou du dispositif de franchissement dans le cas du moulin de Fontaine	Répartition future entre le cours "naturel" et le bief	Débit futur cours "naturel" - Etiage passé (1967-1983)	Débit futur cours "naturel" - Etiage actualisé (2004-2012)	Débit futur cours "naturel" -Module passé (1967-1983)	Débit futur cours "naturel" - Module actualisé (2004-2012)	Débit moyen annuel du cours "naturel" ou du dispositif de franchissement dans le cas du moulin de Fontaine
Répartiteur du Moulin de Laveau	Initialement, il était prévu 2/3 du débit dans le bief et 1/3 dans le cours "naturel". Des mesures de débit ont montré que la répartition actuelle variait au fil de l'année. Elle est de 2/3 dans le cours "naturel" et 1/3 dans le bief, l'hiver et de ¼ dans le cours "naturel" et ¾ dans le bief, l'été.	0,06	0,025	0,31	0,17	0,141	40% bief, 60% cours naturel - si débit total < 0,06 m3/s 100% cours naturel	0,07	0,035	0,44	0,21	0,189
Moulin de Fontaine	La quasi-totalité du débit passe au niveau du moulin.	0	0	0	0	0	Un débit constant de 51 l/s passera dans le dispositif de franchissement. Le reste du débit passera au niveau du moulin et rejoindra ensuite le cours "naturel".	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Répartiteur du Pin	Initialement, il était prévu 2/3 du débit dans le bief et 1/3 dans le cours "naturel". Actuellement, la répartition varie en fonction du débit à l'amont et de la gestion de l'ouvrage. L'été, on observe ¼ du débit dans le bief et ¾ dans le Couason "naturel". L'hiver, on a en revanche 4/5 du débit dans le bief et 1/5 dans le Couason "naturel".	0,05	0,03	0,45	0,22	0,1875	40% bief, 60% cours naturel -Si débit total < 0,05 m3/s 100% cours naturel	0,048	0,029	0,403	0,215	0,174
Répartiteur du Moulin de Ribard	Des mesures de débit ont montré que la répartition est de 4/5 dans le bief et 1/5 dans le Couason "naturel". Elle devrait être théoriquement de 2/3 dans le bief et 1/3 dans le couason "naturel".	0,016		0,08		0,048	40% bief, 60% cours "naturel"	0,024		0,12		0,072

Débit > au 1/10 du module passé
 Débit > à la moitié du 1/10 du module passé
 Débit < au débit minimum autorisé par le L214-18 du CE

3. Caractérisation des ressources en eaux souterraines

3.1. Identification et caractérisation des masses d'eau souterraines

3.1.1. Quelques notions fondamentales en hydrogéologie

La présente étude repose essentiellement sur une approche méthodologique par modélisation des eaux souterraines couplées aux eaux de surface. Les notions d'hydrogéologie et d'hydraulique souterraine sur lesquelles sont fondées la modélisation mathématique sont souvent méconnues et difficiles à se représenter physiquement car le milieu étudié est sous la surface du sol. L'annexe 5 a pour objectif de présenter ou rappeler quelques notions fondamentales en hydrogéologie afin de mieux assimiler les termes et démonstrations à suivre.

3.1.2. Rappel du contexte géologique

Composé en grande partie des formations sédimentaires de l'Ere secondaire de la bordure occidentale du Bassin Parisien, le bassin de l'Authion présente des couches avec un pendage orienté général vers l'Est.

Sa bordure Ouest est marquée par l'amorce de l'affleurement du socle rocheux du Massif Armoricaïn. Ces formations primaires du Paléozoïque sont essentiellement de schiste, de grès et de quartzites.

Dans le reste du bassin de l'Authion, le Jurassique, qui constitue l'assise des formations secondaires, n'affleure qu'en de rares endroits mais peut se situer proche de la surface à la faveur de plis anticlinaux, failles ou zone d'érosion par la Loire.

Du Secondaire, apparaissent donc principalement sur la zone étudiée, les formations du Crétacé :

- le Sénonien et le Turonien, visibles principalement sur la partie Nord-Est du bassin-versant, et composés respectivement de couches essentiellement sableuses sur 30 m d'épaisseur, et de tuffeaux sableux puis crayeux sur 20 à 40 m d'épaisseur,
- le Cénomaniën d'épaisseur supérieure à 40 m, composé de haut en bas de marnes à huitres, d'argiles sableuses puis de sables grossiers et graviers.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion
Rapport final A70443/F*

Les formations de l'Ere tertiaire recouvrent au Nord-Ouest les couches précédentes, sous formes principalement de calcaires massifs et de calcaires jaunes de l'Eocène et du Miocène.

Dans la partie Sud du territoire qui borde la Loire, constituée du Val d'Authion, les formations affleurantes se compose d'alluvions récentes à anciennes.

Les alluvions récentes sont structurées en deux niveaux, supérieur et inférieur, à dominante sableuse et séparés localement par une couche d'argile appelée « Jalle ».

Les alluvions anciennes formant les basses terrasses, sont composées par des sables et des graviers plus ou moins argileux.

Ces formations alluvionnaires se retrouvent en partie remaniées avec les sables cénomaniens sous-jacents dans les vallées du Lathan et du Couason.

3.1.3. Formations aquifères

Certaines formations décrites précédemment renferment des ressources en eau souterraine importantes et relativement facilement exploitables. Leurs géométries et leurs caractéristiques hydrodynamiques sont généralement bien connues⁵.

Ainsi les principaux aquifères du bassin de l'Authion sont :

- les alluvions ligériennes,
- les sables sénoniens,
- les formations sablo-graveleuses du Cénomaniens inférieur.

Dans une moindre mesure, peuvent être considérées comme aquifères les formations suivantes :

- les tuffeaux du Turonien supérieur,
- les faluns du Miocène,
- les calcaires lacustres de l'Eocène,
- les couches argilo-sableuses du Cénomaniens moyen.

⁵ Rapport BRGM – 71 SGN 004 BPL – Etude hydrogéologique du bassin de l'Authion – Février 1971

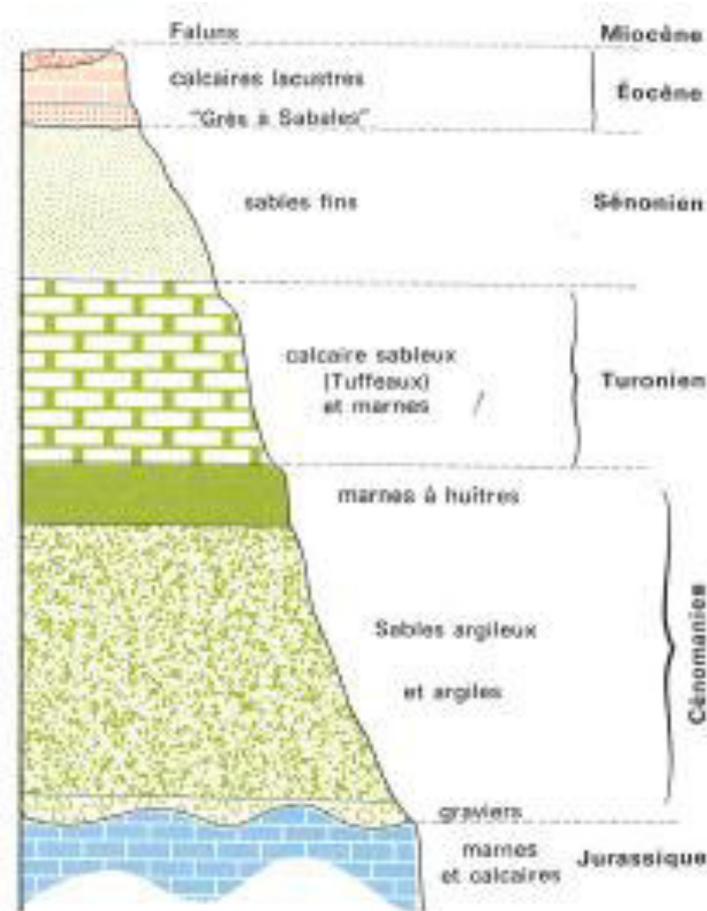


Figure 16 : Coupe lithostratigraphique simplifiée
 (source BRGM 1971)

3.1.3.1. Aquifère des alluvions de Loire

Recouvrant les autres formations géologiques et épaisses d'une dizaine de mètres, les formations alluvionnaires peuvent être plus ou moins connectées hydrauliquement avec d'autres aquifères.

Elles sont principalement constituées par un niveau supérieur moyennement perméable mais ayant un fort emmagasinement et par un niveau inférieur ayant une forte perméabilité mais avec un plus faible coefficient d'emmagasinement.

D'après les données disponibles sur les forages existants, on peut estimer la transmissivité des alluvions inférieures comprise entre $5 \cdot 10^{-3}$ à $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ pour un coefficient d'emmagasinement compris entre $3 \cdot 10^{-5}$ et $2,3 \cdot 10^{-4}$.

La transmissivité des alluvions supérieures est plus variable, comprise entre $2 \cdot 10^{-5}$ et $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ pour un coefficient d'emmagasinement compris entre $3 \cdot 10^{-3}$ et 11%.

L'écoulement dans la nappe alluviale est globalement parallèle à celui de la Loire.

3.1.3.2. Aquifère des sables sénoniens

L'aquifère des sables sénoniens repose principalement sur les niveaux imperméables du Turonien supérieur (marnes et calcaires marneux) et est protégé localement par les calcaires de l'Eocène inférieur.

Epais de 25 à 35 m, cette formation de sables légèrement argileux est présente sur une grande partie du bassin.

Ses caractéristiques hydrodynamiques sont moins bien connues, mais on peut estimer que la perméabilité de cette couche est comprise entre $1 \cdot 10^{-5}$ à $1,3 \cdot 10^{-4}$ m/s pour un coefficient d'emmagasinement de l'ordre de $1,2 \cdot 10^{-2}$.

L'écoulement dans cette nappe globalement libre à l'échelle de la zone étudiée est surtout influencé localement par le drainage des cours d'eau.

3.1.3.3. Aquifère des sables graveleux du Cénomaniens basal

L'aquifère des sables cénomaniens repose principalement sur les formations imperméables du Jurassique supérieur (marnes oxfordiennes en particulier) et est protégé par les couches du Cénomaniens moyen et surtout supérieur.

D'épaisseur très variable, comprise entre 1 et 16 m, cette couche est présente sur l'ensemble de la zone étudiée.

Cependant les limites au Sud de la zone étudiée sont incertaines, en fonction de la structure faillée ou plissée des couches sous-jacentes.

On peut estimer la transmissivité de cette couche comprise entre $5,5 \cdot 10^{-4}$ à $4,7 \cdot 10^{-3}$ m²/s pour un coefficient d'emmagasinement compris entre $3 \cdot 10^{-4}$ et $4,4 \cdot 10^{-3}$.

L'écoulement dans cette nappe est difficile à définir à l'échelle de la zone étudiée, mais on peut envisager un écoulement des zones affleurantes globalement au Sud vers les autres secteurs où elle devient captive.

3.1.3.4. Aquifère du tuffeau turonien

L'aquifère du tuffeau turonien est séparé de celui, sous-jacent des sables du Cénomaniens par les marnes à huitres imperméables du Cénomaniens supérieur. Par contre, cette séparation est moins nette avec l'aquifère sus-jacent des sables sénoniens, les niveaux marneux formant le toit de la couche turonienne n'assurant pas toujours une discontinuité hydraulique.

D'épaisseur très variable, comprise entre 1 et 16 m, cette couche est présente sur une grande partie de la zone étudiée.

On peut estimer la transmissivité de cette couche est comprise entre $2,8 \cdot 10^{-4}$ à $8,3 \cdot 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$.

Comme pour la nappe sénonienne à laquelle est liée, l'écoulement dans cette nappe globalement libre à l'échelle de la zone étudiée est surtout influencé localement par le drainage des cours d'eau.

3.1.3.5. Aquifère des sables argileux du Cénomaniens moyen

L'aquifère du complexe sablo-argileux du Cénomaniens moyen est séparé de celui du tuffeau turonien par les niveaux marneux du Cénomaniens supérieur. Constitué par des lentilles sableuses, son mur est par contre difficile à définir par rapport au toit de l'aquifère du Cénomaniens inférieur car il ya souvent une variation progressive de faciès de sables ou argiles vers des sables grossiers à gravier (« gros sel ») du Cénomaniens basal.

D'épaisseur très variable, comprise entre 15 et 60 m, cette couche est présente sur une grande partie de la zone étudiée.

Peu de données sont disponibles concernant les caractéristiques hydrodynamiques de cette nappe captive ou sa piézométrie. Plusieurs forages captent vraisemblablement la totalité des horizons sableux moyens et inférieurs du Cénomaniens qui ont pu être considérés localement comme une seule entité aquifère.

3.1.3.6. Aquifère des calcaires de l'Eocène

L'aquifère des « calcaires lacustres » de l'Eocène comprend des niveaux sableux, séparé de celui des sables sénoniens par les couches de l'Eocène inférieur. Cependant, sa limite supérieure avec l'aquifère miocène est plus difficile à définir, en fonction d'une perméabilité de fissuration plus ou moins importante dans les calcaires mais ceci ne concerne que des secteurs peu étendus.

D'épaisseur très variable, cette couche est présente essentiellement au Nord-Est de la zone étudiée.

Très peu de données sont disponibles concernant les caractéristiques hydrodynamiques de cette nappe perchée ou encore son écoulement (même s'il est supposé suivre globalement les pentes topographiques).

3.1.3.7. Aquifère des faluns du Miocène

L'aquifère des faluns miocènes n'est présente que très localement au-dessus de calcaires de l'Eocène supérieur.

Dans la partie Nord-Est, cette couche affleurante n'est véritablement aquifère que dans les secteurs où elle est suffisamment épaisse.

Peu de données sont disponibles (quelques extraits d'études dans le Savignéen) concernant les caractéristiques hydrodynamiques de cette nappe perchée. De par sa nature et des données existantes dans d'autres zones du département, on peut toutefois estimer que cette couche est très perméable. Sa piézométrie suit globalement les pentes topographiques et la nappe est drainée par les cours d'eau et thalwegs.

3.1.4. Piézométries de référence

La piézométrie des masses d'eau souterraines identifiées sur le bassin-versant de l'Authion précédemment présentés peut-être déterminée à partir des données bibliographiques, de niveaux ponctuels dans la BSS et des réseaux de mesures piézométriques. En effet, une sélection de piézomètres de référence a permis d'interpoler la surface piézométrique de chaque formation aquifère en hautes eaux et basses eaux. L'interpolation a été effectuée manuellement puis digitalisée sous Mapinfo.

Les piézométries de référence sont présentées en phase 1.

Ces cartographies montrent que les niveaux piézométriques des alluvions anciennes et récentes varient de 32,5 m à 17,5 m de Saint-Patrice aux Ponts-de-Cé. L'axe de drainage principal des aquifères du bassin-versant de l'Authion, autres que les alluvions, est dirigé vers le Sud-Ouest, avec un coefficient hydraulique de l'ordre de $2,30.10^{-3}$ à $1,7.10^3$ m/s. Les écoulements souterrains se superposent globalement sur les écoulements superficiels.

Les cartes ont permis de caler la piézométrie de référence (régime permanent) du modèle MARTHE, en ajustant certains paramètres hydrodynamiques. Ce calage, établi en deux étapes, est explicité dans le chapitre 3.2.6. ci-après. Les données de piézométrie obtenues par calage ont ensuite été exportées du modèle vers le SIG pour présenter les cartes piézométriques plus précises et plus visuelles avec des équidistances homogènes entre isopièzes⁶.



Fichier Excel : *Tableau_récapitulatif_des_ouvrages_piézométriques_1972_1985*
Chronique_ADES
Piezo_SAGE_anciens
Piezo_SAGE_récents



L'atlas cartographique présente les cartes piézométriques de référence issues des données de la BSS et du modèle MARTHE.

⁶ Lignes d'égal niveau piézométrique

3.2. Elaboration du modèle de gestion quantitative des ressources en eaux souterraines

3.2.1. Objectifs du modèle nappe-cours d'eau

Les prélèvements en nappe, s'ils sollicitent en général majoritairement l'aquifère capté (un seul selon la réglementation), peuvent cependant également solliciter le cours d'eau proche dès lors que le forage se situe suffisamment près de la rivière et que le lit de cette dernière n'est pas colmaté (ce cas peut se présenter en val d'Authion et autres nappes d'accompagnement), il est exposé en annexe 5). Ceci peut entraîner une diminution significative du débit du cours d'eau en étiage.

La seule observation de la cote du fil d'eau dans les canaux ne peut servir de critère d'évaluation d'impact puisque l'alimentation artificielle de ces biefs par régulations d'ouvrages et réalimentation par la Loire compense quasi-instantanément la baisse de niveau due à un prélèvement direct ou indirect : Le modèle couplé nappes - cours d'eau permet de quantifier par des bilans entrées – sorties l'apport par réinjection, le transfert d'eau permanent vers les nappes, la diminution de débit du cours d'eau par pertes depuis le fond et les volumes prélevés.

Les échanges nappes-cours d'eau à l'échelle du bassin et plus particulièrement dans le Val d'Authion ne peuvent être évalués globalement que par la mise en œuvre d'un modèle couplant ces masses d'eaux superficielles et souterraines, intégrant les caractéristiques physiques des différents cours d'eau et aquifères.

Ce couplage eaux superficielles –eaux souterraines est possible avec le logiciel MARTHE disposant de fonction intégrant explicitement les cours d'eau dans le modèle hydrogéologique. Cette mise en œuvre et les contraintes géométrique qu'elle nécessite sont détaillées au chapitre 3.2.5.

Une fois calé, un tel modèle permet alors de définir les débits et niveaux de références et volumes mobilisables et - par différence avec les niveaux et débits constatés et les volumes prélevés- les unités de gestion déficitaires, excédentaires ainsi que les volumes associés, répondant à l'un des objectifs finaux de cette phase d'étude: la mise en évidence des déséquilibres et les impacts sur la ressource et les milieux.

3.2.2. Présentation du logiciel de modélisation MARTHE

L'outil mis en œuvre est le logiciel MARTHE v7.3 (Modélisation d'Aquifères avec maillage Rectangulaire, Transport et Hydrodynamique), standard français bien reconnu, développé par le BRGM. Ce logiciel permet notamment de simuler les écoulements souterrains et le transport de soluté.

Le code de calcul en différences finies utilise un maillage de type écossais (colonnes et lignes de largeurs variables), monocouche (en plan ou en coupe verticale), multicouche ou 3D, avec possibilité de maillages gigognes pour une représentation précise des géométries.

MARTHE permet la simulation de l'hydrodynamisme et du transport hydrodispersif en régime permanent ou transitoire. Des fonctions plus complexes permettent en outre de modéliser les écoulements densitaires, thermiques, en zone non saturée, éventuellement couplés avec le réseau hydrographique.

Dans le logiciel MARTHE, la plupart des paramètres sont spatialisés, c'est-à-dire qu'ils sont définis maille par maille ou en zones homogènes de mailles, contigües ou non. Sont notamment traités de cette manière les perméabilités, coefficients d'emménagement, débits pompés et injectés, recharge pluviale, porosités cinématiques, dispersivités longitudinales et transversales, facteurs de retard, etc.

L'interpolation des données géométriques est réalisée grâce au logiciel SURFER, tandis que des représentations graphiques plus élaborées peuvent être réalisées sous MAPINFO, après export (fichiers MIF, MID) depuis MARTHE.

La fiche de présentation du logiciel MARTHE 7.3 éditée par le BRGM en 2012 est fournie en annexe 6.

3.2.3. Construction et géométrie du modèle

3.2.3.1. Construction du modèle

a. Limites

En considérant les caractéristiques géologiques, hydrogéologiques et topographiques extraites des données exploitées, des limites cohérentes du modèle ont été définies, en considérant :

- que les limites externes du modèle correspondent aux limites du bassin versant de l'Authion,
- que les conditions spécifiques aux eaux de surface et à l'infiltration des eaux pluviales, sont appliquées directement au droit de la première couche depuis la surface.

Le territoire modélisé s'étend sur 78,8 km selon la direction Est-Ouest pour 44,8 km selon la direction Nord-Sud, englobant l'ensemble de la zone à étudier et couvrant une surface totale de l'ordre de 1 500 km².

b. Maillage

Le maillage est défini dans les trois directions X, Y et Z. Il tient compte des contraintes inhérentes à la topographie, à la géologie et aux données de forages. Il a été calé suivant le système de géoréférencement **Lambert 93**. Le nombre total de maille est de 55 509.

❖ Point de référence

Le point de base « point 0 » du quadrillage du maillage, est fixé à l'extrême Sud-Ouest du quadrillage, dont les coordonnées sont $X_0= 428\ 000$ m et $Y_0= 6\ 682\ 000$ m.

❖ Taille des mailles

Pour tenir compte à la fois de l'étendue de la zone modélisée et des temps de calculs potentiellement très importants, un maillage carré en X et Y a été défini avec **une taille constante de 400 m** (cf.

Figure 17).

Le maillage en Z a été défini en fonction des différentes formations géologiques présentes, du réseau hydrographique complexe et de la nécessité d'estimer finement les écoulements au droit de certains talwegs avec une topographie réaliste.

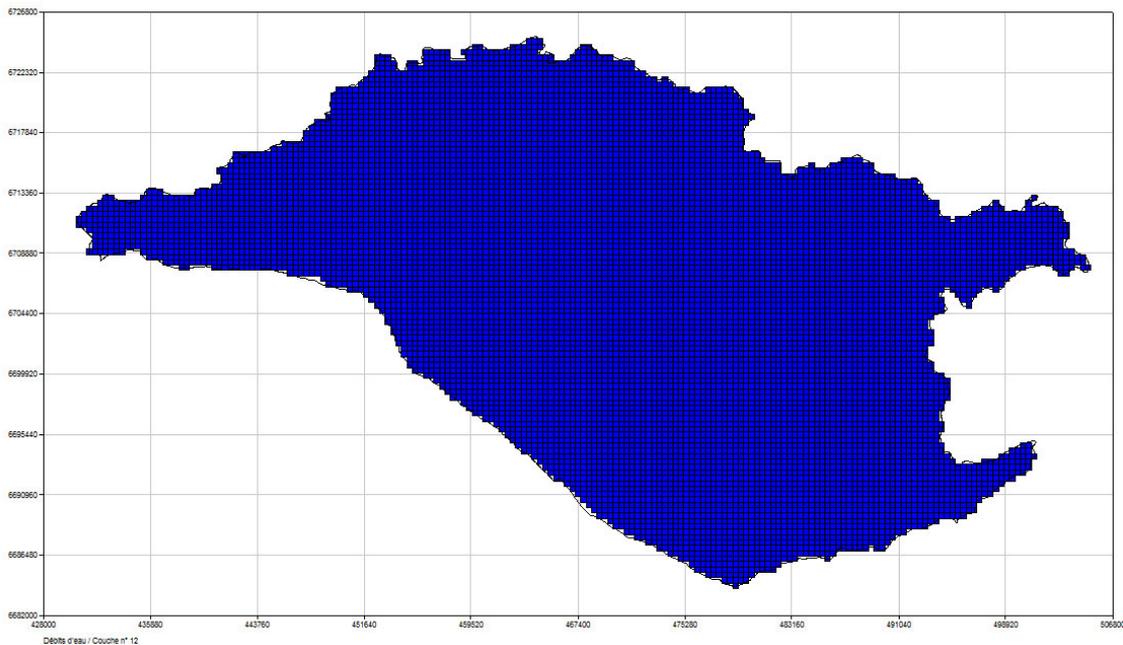


Figure 17 : Limites et maillage du modèle

3.2.4. Intégration des couches géologiques dans le modèle

3.2.4.1. Couches modélisées – Mur du système hydrogéologique

Le nombre de couches à prendre en compte dans le modèle dépend de la lithologie, de la forme géométrique des différentes couches aquifères et du fonctionnement hydrodynamique des écoulements souterrains.

Compte tenu des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques connues sur le bassin versant de l'Authion, **douze couches correspondant à 12 formations géologiques ont été intégrées dans le modèle** :

- 1- Formation alluvionnaire récente,
- 2- Formation alluvionnaires ancienne,
- 3- Formations miocène-oligocène, principalement représentées par des faluns,
- 4- Formations de l'Eocène supérieur avec essentiellement des calcaires lacustres,
- 5- Formations de l'Eocène inférieur avec des argiles silto-sableuses,
- 6- Formations argilo-sableuses du Sénonien,
- 7- Formations sableuses et de tuffeau du Turonien supérieur,
- 8- Formations crayeuses et de tuffeau du Turonien inférieur,
- 9- Formations sableuses et marneuses du Cénomaniens supérieur,
- 10- Formations de sables argileux du Cénomaniens moyen,
- 11- Formations sableuses du Cénomaniens inférieur,
- 12- Formations marno-calcaires du Jurassique et du socle primaire (assise du modèle).

La côte du mur de chaque couche géologique est établie à partir d'une interpolation des isopaques de cette couche fournis par les coupes de 167 forages (logs stratigraphiques validés en BSS), par les limites d'affleurement et par quelques ajustements ponctuels au niveau des failles connues ou supposées de forages (coupes lithologiques interprétatives validées BRGM).

Les caractéristiques hydrodynamiques des formations géologiques sont déterminées par des pompages d'essai en forage ou estimées partir de synthèses bibliographiques régionales ou issues de calage de modèles précédents.

La figure ci-dessous présente une vue 3D de la géométrie des couches du modèle.

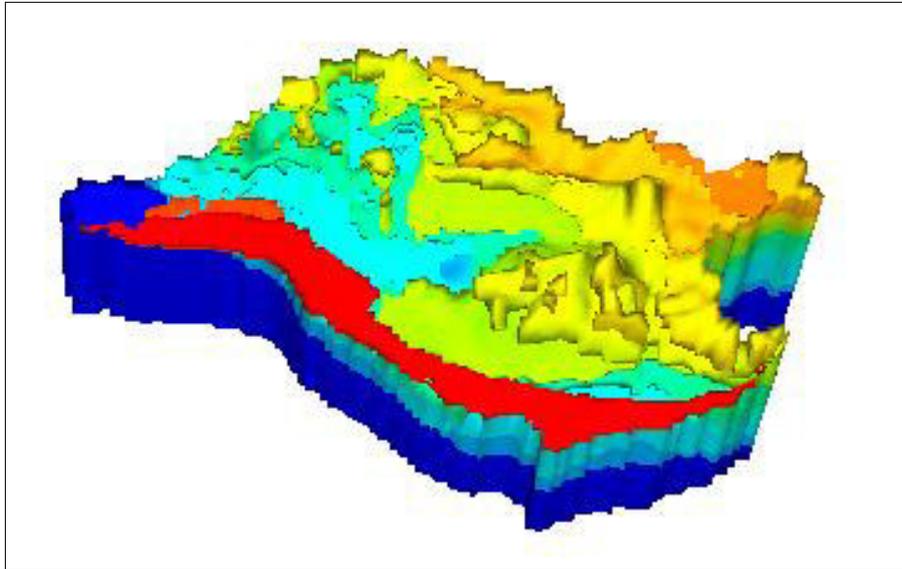


Figure 18 : Vue 3D de la géométrie des couches du modèle

La topographie appliquée sur le modèle géologique est issue du Modèle Numérique de terrain (MNT) de la BD TOPO (IGN). Le relief de la zone appliquée au modèle comprend des cotes comprises entre 17 et 112 m NGF du Sud au Nord.

Du fait de la structure géologique locale, faillée et à pendage vers le Sud, l'assise du système hydrogéologique considérée dans le modèle est différent d'est en ouest.

Ainsi, **un horizon théorique supposé quasi imperméable a été défini correspondant au toit de la couche inférieure, entre les cotes -109 m NGF et + 8,5 m NGF**. La base de cette couche composite dans le modèle correspond au toit marneux de la formation jurassique marno-calcaire à l'Est et aux formations paléozoïques du socle armoricain à l'Ouest, a été fixée arbitrairement à -120,0 m NGF. Ces deux formations étant réputées très peu perméables, cette variation d'est en ouest est sans grande incidence dans la modélisation (peu prises en compte dans les échanges entre formations aquifères du fait de leur localisation et leur caractère peu perméable).

3.2.4.2. Conditions hydrogéologiques aux limites

Les conditions aux limites d'un modèle visent à représenter les facteurs qui peuvent influencer sur les niveaux piézométriques à l'intérieur et en bordure du modèle.

Plusieurs types de conditions sont utilisés en particulier :

- limite imperméable : les flux d'eau y sont nuls au droit des mailles considérées,
- limite à charge imposée : un niveau d'eau est imposé au droit des mailles considérées,
- limite à flux imposé : un débit transite au travers des mailles considérées.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion
Rapport final A70443/F*

D'après la description des limites du modèle et sur la connaissance du fonctionnement de la nappe, les conditions aux limites du modèle peuvent être fixées. Une limite à flux imposé pour les couches aquifères 11 (Cénomaniens basal) et 7 (Turonien) dans l'extrême nord-est a été fixée pour prendre en compte les apports de l'extrémité amont des bassins versants hydrogéologiques de ces couches dépassant légèrement les limites de l'Authion.

Une limite à potentiel imposé en limite aval (fixe en permanent, variable en transitoire) correspond à la Loire.

Les conditions internes au modèle sont la recharge établie par les modèles GARDENIA (moyenne interannuelle en permanent, mensuelle et discrétisée en transitoire), les prélèvements (AEP, IRRIG, IND, ELEV) et rejets continus de STEP (non intégrés en permanent, intégrés en transitoire).

Les conditions aux limites choisies sont détaillées ci-après (cf. Tableau 12) :

Tableau 12 : Description des conditions aux limites du modèle

Nom	Type condition	Observations
Limite supérieure du modèle au niveau des zones affleurantes	Flux imposé par l'infiltration	Infiltration des eaux pluviales déduite des données existantes disponibles sur la Publithèque de Météo France
Limite Sud correspondant au lit de la Loire	Charge imposée par le niveau du fleuve	Valeurs déduites des données existantes disponibles sur la Banque Hydro de la DREAL
Autres limites extérieures du modèle	Flux imposé par l'écoulement souterrain dans certaines masses d'eau captives	Ces flux sont notamment possibles au travers des aquifères contenant une nappe captive dont le bassin d'alimentation souterrain s'étend à l'amont du BV Authion (par exemple le Cénomaniens basal)

De plus, une condition de débordement potentiel a été appliquée à la limite supérieure du modèle, au niveau de toutes les zones affleurantes, pour représenter les zones où la nappe peut affleurer ou déborder (sources), zones humides, thalwegs et cours d'eau.

Les **conditions aux limites externes** désignent les interactions qui existent entre le modèle et ses bordures. Dans le cas présent, la plupart des limites a été définie comme étant à **flux nul**, c'est-à-dire assimilée à une limite imperméable. Dans ce cas, aucune spécification particulière n'est entrée dans les mailles.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion
Rapport final A70443/F*

Pour quelques mailles, un flux ou un niveau a été imposé. Les valeurs utilisées, particulier pour le calage du modèle, sont données ci-dessous (cf. Tableau 13) :

Tableau 13 : Conditions aux limites externes

Localisation	Type	Valeur Initiale
Surface au droit des terrains affleurant	Flux imposé	66 à 94 mm/an
Limite Sud	Charge imposée au droit de l'aquifère alluvial	16,0 à 32,5 m NGF

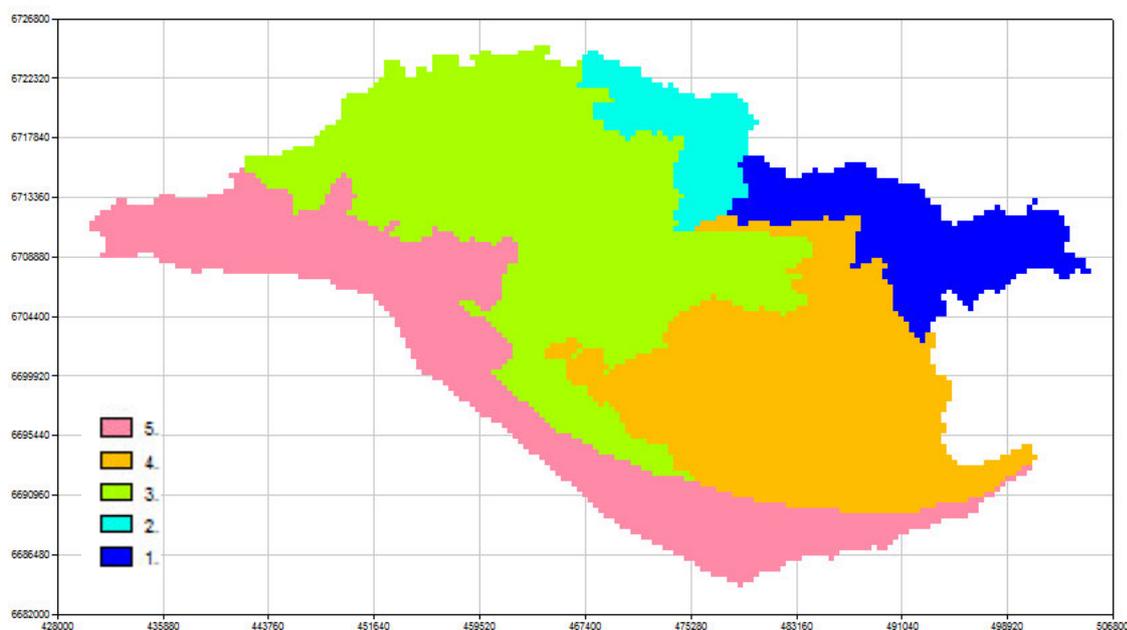


Figure 19 : Zonation des niveaux d'infiltration
(conditions aux limites externes du modèle)

Cinq zones ont été distinguées pour l'infiltration des eaux pluviales en fonction de la nature plus ou moins infiltrante des sols et des valeurs de pluies efficaces, issues de l'analyse des données climatiques au moyen du logiciel GARDENIA telle que décrite précédemment dans ce rapport :

- zone 1 : terrains tertiaires au Nord-Est : 66 mm/an,
- zone 2 : terrains tertiaires au Nord : 94 mm/an,
- zone 3 : terrains secondaires au centre-Ouest : 82 mm/an,
- zone 4 : terrains secondaires au centre-Est : 94 mm/an,
- zone 5 : terrains alluvionnaires au Sud : 85 mm/an.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

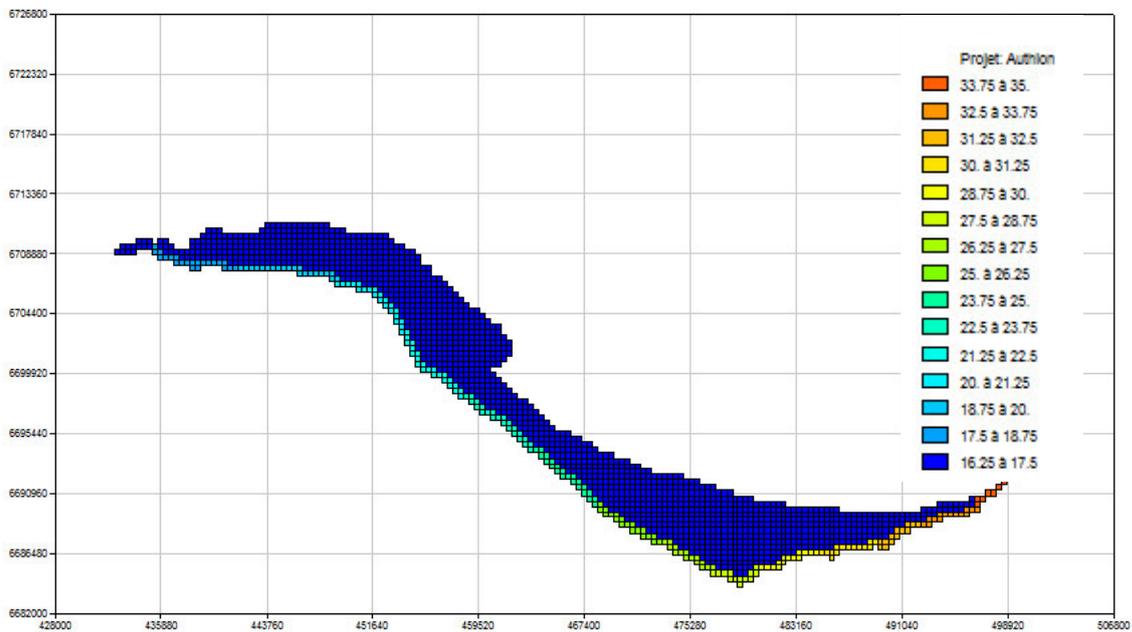


Figure 20 : Niveaux moyens (en m NGF) imposés au droit de la Loire

La ligne d'eau moyenne de la Loire a été définie à partir des cotes moyennes connues aux différentes stations sur la zone d'étude. Deux sections se détachent ainsi avec des cotes moyennes de hautes eaux suivantes :

- « Loire amont », entre Saumur et Langeais avec des cotes comprises entre 25,51 et 34,94 m NGF,
- « Loire aval », entre Les Ponts-de-Cé et Saumur avec des cotes comprises entre 17,02 et 25,51 m NGF.

3.2.5. Intégration du réseau hydrographique dans le modèle

Le logiciel Marthe définit, sur la base d'une cartographie du réseau hydrographique, des mailles auxquelles sera affecté un écoulement superficiel.

La difficulté d'intégrer le réseau hydrographique dans sa géométrie exacte tient au fait que le modèle de nappe Marthe ne peut associer **qu'un seul tronçon hydrographique à une maille de 400m**, autrement dit qu'un seul cours d'eau. La figure ci-dessous (cf. Figure 21) fournit un exemple (cf. ❶). De même, le modèle n'intègre les confluences (cf. ❷) que si elle est affectée au bord contigu de deux mailles.

Chaque cours d'eau est ainsi découpé en **affluent**, puis en **tronçon** (cf. ❸). Un affluent correspond à une partie de cours d'eau comprise entre deux confluences. Un tronçon est un morceau d'affluents homogènes en termes de cote du niveau d'eau et de géologie (cf. § 2.3.2).

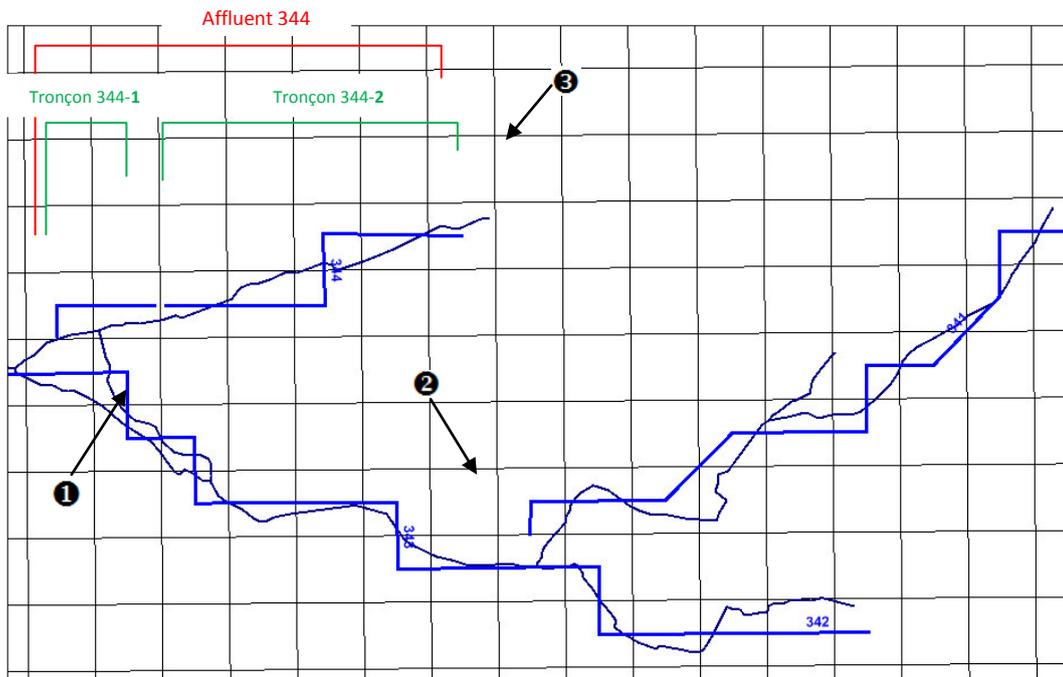


Figure 21 : Géométrie du réseau hydrographique à intégrer dans le modèle

Un tronçon est défini par son numéro d'affluent et par son numéro de tronçon. Dans un affluent, les tronçons ont des **numéros croissants de l'amont vers l'aval**. Les affluents peuvent prendre n'importe quel numéro dans le désordre.

Chaque affluent peut avoir jusqu'à trois affluents amont et se jette dans un affluent aval au maximum. Si un affluent n'a pas d'affluent aval, son extrémité aval est un exutoire. Si un affluent n'as pas d'affluent amont, son extrémité amont est une source. Le réseau hydrographique pris en charge par le modèle est donc forcément constitué par un **réseau hiérarchisé** de l'amont vers l'aval.

Ainsi, sur ce réseau hydrographique, l'Authion constitue le collecteur principal sur lequel se connectent toutes les autres branches du réseau. Un **arbre des écoulements** permet au code de calcul de comprendre comment s'organise le réseau. Par exemple, pour la figure suivant, le modèle comprend :

- l'affluent 341 se jette dans l'affluent 345,
- l'affluent 342 se jette dans l'affluent 345,
- l'affluent 344 se jette dans l'affluent 346, 344-1 se jetant dans 344-2,
- l'affluent 345 se jette dans l'affluent 346, etc.



Les tronçons entrés dans le modèle diffèrent sensiblement des tronçons découpés selon le réseau hydrographique réel. Ils n'ont de ce fait pas exactement la même géométrie, ni la même dénomination. Ces variations n'impactent pas significativement les résultats de calculs de débit et hauteurs d'eau car, si la position géographique est légèrement modifiée, les autre caractéristiques (hauteur, largeur, rugosité,...) sont préservées.

Selon cette logique d'arbre hydrologique, le modèle ne peut pas intégrer directement les **difffluences** (particularité des biefs de moulins et canaux interconnectés) et le dédoublement des cours d'eau, comme la figure ci-dessous le met en avant. La solution a donc consisté, soit à faire abstraction d'un bras diffluent s'il était mineur, soit à créer artificiellement un affluent sans extrémité amont (donc une source) et de reporter le débit amont sur l'affluent aval et le nouvel affluent créé.

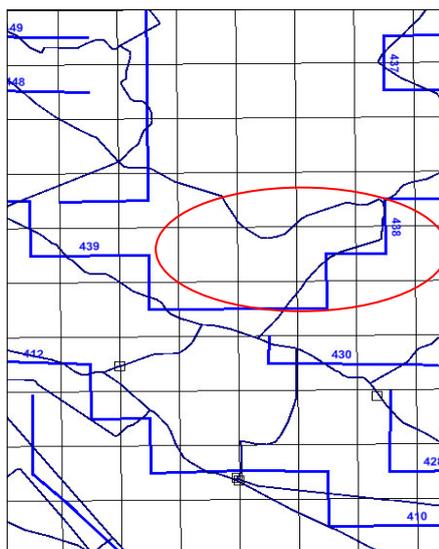


Figure 22 : Difficulté de prise en compte des confluences

L'inversion des sens d'écoulement des eaux dans le Val d'Authion entre les basses eaux et les hautes eaux, est considéré comme une étape transitoire de durée courte et quasi instantanée par rapport au pas de temps du modèle entre le moment où les ouvrages sont rehaussés ou abaissés et la mise à niveau des fossés, canaux et différents cours d'eau en amont de ces aménagements. Ainsi, dans le cadre de la modélisation, pour tous les tronçons pour lesquels il était observé un rehaussement de la cote du fil d'eau en période de basses eaux, il a été convenu de fixer la cote du fil d'eau à l'aval égale à celle de la cote amont, c'est-à-dire à ne pas considérer d'écoulement libre transitoire.

Ces cas de figure particuliers concernent uniquement les biefs du val d'Authion.

Toutes les données recueillies pour chaque tronçon (cf. § 2.3.2) ont ensuite été entrées dans le modèle. Sur la base des données d'entrée, le modèle peut ainsi reconstituer **une cote de fil d'eau au droit de chaque maille portant un cours d'eau** par interpolation linéaire sur les tronçons de cours d'eau.



Fichier Excel : *Tronçon_modele*

Table Shape : *Réseau_hydro_modele*

3.2.6. Calage du modèle à l'état d'équilibre moyen en régime permanent

Le calage du modèle sur un état initial permanent permet d'ajuster les conditions géométriques, hydrodynamiques ainsi que les conditions aux limites de façon à ce qu'elles soient les plus représentatives possibles de la réalité moyenne observable.

Le calage en régime permanent⁷ a été approché à partir d'une piézométrie définie en période de hautes eaux d'après les mesures décrites dans les chapitres précédents et pour un état piézométrique connu au début des années 1970 (études et cartes Talbo et suivis SADRAL les années suivantes). Cette période est supposée moins influencée qu'aujourd'hui par les prélèvements même s'il en existait déjà, notamment en val d'Authion.

Les étapes de ce calage sont détaillées ci-après.

3.2.6.1. Hypothèses de calage

Le calage en régime permanent permet de déterminer les variations spatiales de la perméabilité des formations.

En première approche, les données de perméabilités moyennes couche par couche établies lors de l'analyse des données bibliographiques en phase 1 de l'étude sont entrées dans le modèle. La reconstitution de la piézométrie est réalisée afin d'observer si les gradients et les niveaux sont cohérents avec la réalité. Dans le cas négatif, les perméabilités doivent être réajustées globalement couche par couche dans la limites de valeurs plausibles pour le type de formation géologique considérée ou sectorisées si on dispose de suffisamment des valeurs de perméabilités.

Les conditions aux limites, décrites dans les paragraphes précédents et qui ont été entrées dans le modèle, ont été déterminées pour un contexte de période de hautes eaux de la Loire qui a une influence directe sur les niveaux de nappe des alluvions et du cénomaniens basal.

⁷ Régime dans lequel toutes les grandeurs physiques sont indépendantes du temps –cf détails en annexe 5

A l'issue de la première phase de calage du modèle sous Marthe en régime permanent (ou pré-calage, un calage globalement satisfaisant avec une convergence⁸ a été obtenu en considérant les perméabilités (ou conductivités hydrauliques) suivantes (cf. Tableau 14) :

Tableau 14 : Perméabilités retenues pour le précalage en régime permanent

Période géologique	Formation	Perméabilité (m/s)
Quaternaire	1 – Alluvions de Loire récentes	$1,0 \cdot 10^{-4}$
	2 – Alluvions de Loire anciennes	$3,0 \cdot 10^{-3}$
	3 – Faluns miocènes	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Tertiaire	4 – Calcaires de l'Eocène supérieur	$4,0 \cdot 10^{-4}$
	5 – Argiles sableuses de l'Eocène inférieur	$5,0 \cdot 10^{-5}$
Secondaire (Crétacé)	6 – Sables argileux du Sénonien	$2,0 \cdot 10^{-4}$
	7 – Tuffeau sableux du Turonien supérieur	$4,0 \cdot 10^{-4}$
	8 – Tuffeau marno-crayeux du Turonien inférieur	$1,0 \cdot 10^{-5}$
	9 – Marnes sableuses du Cénomaniens supérieur	$1,0 \cdot 10^{-7}$
	10 – Sables argileux du Cénomaniens moyen	$2,0 \cdot 10^{-4}$
	11 – Sables graveleux du Cénomaniens inférieur	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Secondaire (Jurassique)	12 – Substratum jurassique ou primaire	$1,0 \cdot 10^{-9}$

3.2.6.2. Résultats du pré-calage en régime permanent

A l'issue de ce premier calage en régime permanent, les niveaux piézométriques d'état d'équilibre moyen (sans prise en compte des pompages de prélèvements ni du réseau hydrographique réalimenté du val d'Authion), ont été établis au droit de chaque couche aquifère.

A partir de cet état initial, il sera alors possible d'effectuer des simulations en injectant dans le modèles les données relatives aux prélèvements et rejets afin d'observer la réponse hydrologique et hydrogéologique du bassin versant de l'Authion.

⁸ temps de calcul pour aboutir à une solution cohérente

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

Les données extraites du modèle ont permis d'élaborer des cartes piézométriques comme celle présentée ci-dessous représentant la nappe du Cénomanien inférieur (sables et graviers de Jumelles) présente sous la quasi-totalité de la surface du territoire du SAGE Authion . Les cartes piézométriques des autres nappes, moins étendues, sont fournies dans l'atlas cartographique en annexe séparée.

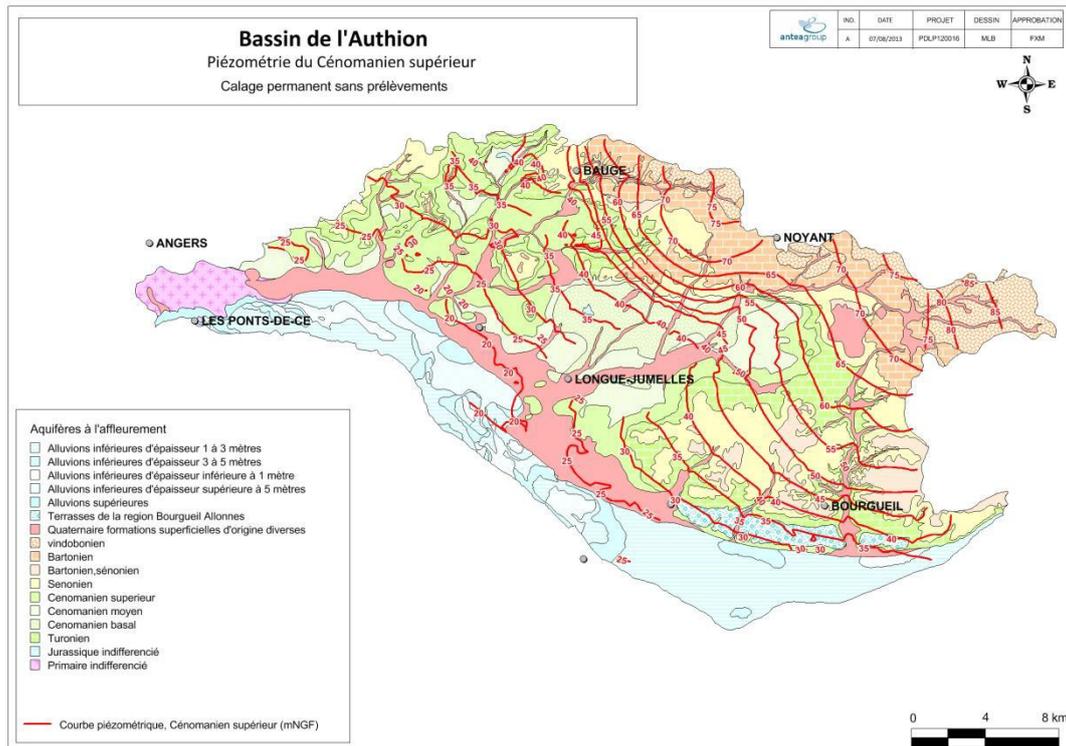


Figure 23 : Piézométrie du Cénomanien supérieur en régime permanent sans prélèvements
(cotes en m NGF)

L'analyse de cette carte piézométrique permet d'observer que les écoulements simulés au niveau de la nappe du cénomanien inférieur est cohérente avec celle établie par l'atlas hydrogéologique de 1971 (Talbo, BRGM) avec les données piézométriques de référence en hautes eaux avec :

- un écoulement général du Nord-Est vers le Sud-Ouest,
- le drainage des nappes par la Loire et dans les vallons.

Cependant, il est apparu que sur certains secteurs, notamment sur le Haut Couasnon et le Changeon, les écarts en piézométrie simulée et observée restaient significatifs et nécessitaient d'être réduits. Par ailleurs, pour les formations tertiaires les perméabilités moyennes établie en première phase du calage ont été estimées sur bases d'informations générales bibliographiques hors contexte du bassin de l'Authion, elles sont donc susceptibles d'être surestimées ou sous-estimées.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

*Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

Enfin, à ce stade, le réseau hydrographique n'avait pas été intégré au modèle de nappes. Il est vraisemblable que certains secteurs ont un niveau d'échanges entre nappes et cours d'eau dans un sens ou dans l'autre, susceptible d'influencer la piézométrie de certaines nappes (notamment en tête de bassins versants).

Sur la base de ce constat, il a été proposé, avec la validation du comité technique de suivi de l'étude de procéder à une seconde phase de calage du modèle en régime permanent avec :

- l'intégration du réseau hydrographique et notamment l'exploitation des données sur le colmatage du lit des cours d'eau fournis par les techniciens des syndicats de rivière sur le bassin versant de l'Authion,
- des tests de sensibilité permettant d'ajuster les perméabilités sur certaines formations géologiques et certains secteurs du bassin versant.

Les valeurs de colmatage prises en compte au niveau des mailles « cours d'eau » sont définies sur la base de diagnostics établis dans le cadre des contrats territoriaux des milieux aquatiques. Dans le modèle, cela se traduit concrètement par une discrimination des valeurs de perméabilité de fond des cours d'eau suivant la nature des matériaux présents et leur épaisseur. La carte ci-dessous illustre cette discrimination sur l'ensemble des mailles contenant un cours d'eau.

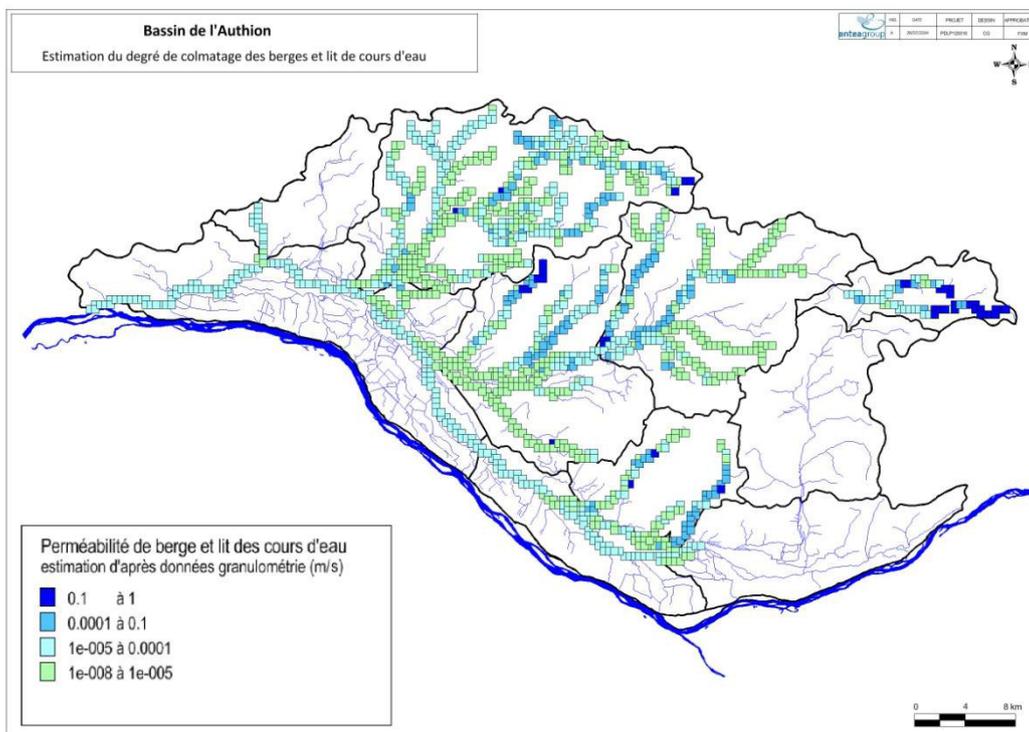


Figure 24 : Perméabilités de colmatage de lit des cours d'eau

Les valeurs suivantes de perméabilité ont été retenues après plusieurs tests de sensibilité successifs :

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

Tableau 15 : Perméabilités retenues pour le calage définitif en régime permanent

Formation	Perméabilité (m/s)
1 – Alluvions de Loire récentes	1,00E-04
2 – Alluvions de Loire anciennes	3,00E-03
3 – Faluns miocènes	1,00E-05
4 – Calcaires de l'Eocène supérieur	1,00E-04
5 – Argiles sableuses de l'Eocène inférieur	5,00E-06
6 – Sables argileux du Sénonien	1,00E-05
7 – Tuffeau sableux du Turonien supérieur	1,00E-04
8 – Tuffeau marno-crayeux du Turonien inférieur	1,00E-05
9 – Marnes sableuses du Cénomaniens supérieur	1,00E-07
10 – Sables argileux du Cénomaniens moyen	2,00E-04
11 – Sables graveleux du Cénomaniens inférieur	1,00E-03
12 – Substratum jurassique ou primaire	1,00E-09

Seules les valeurs en gras ont été modifiées par rapport au pré-calage

La carte ci-après indique les deux zonations de perméabilité pour améliorer le calage de la piézométrie simulée avec la piézométrie mesurée :

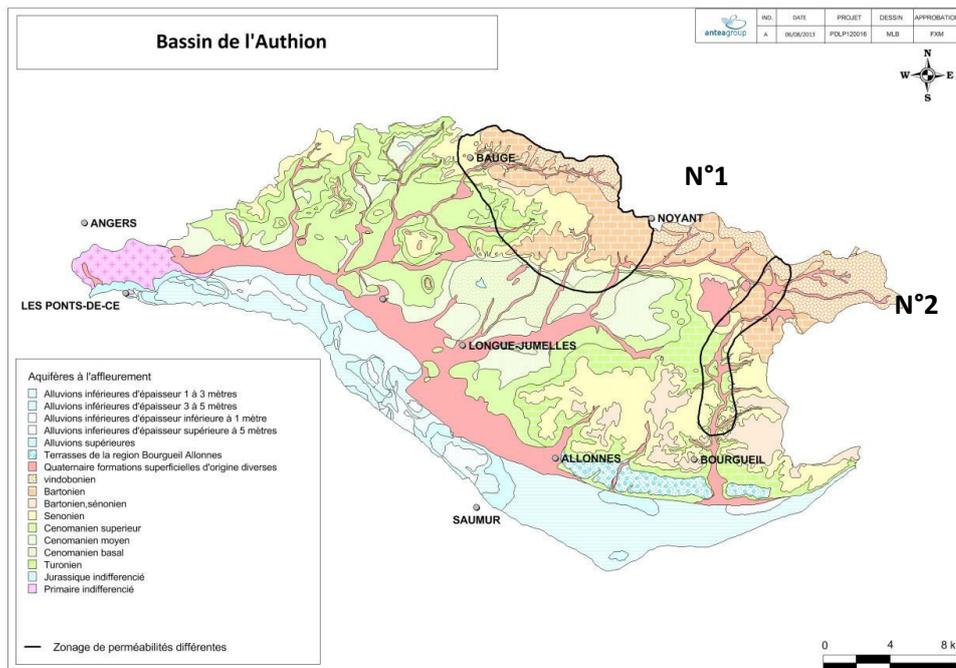


Figure 25 : Localisation des zones d'ajustement des perméabilités hydrauliques

Le tableau ci-dessous présente les valeurs de perméabilités ajustées pour certaines couches de ces deux zones :

Tableau 16 : Valeurs de perméabilités ajustées sur les zones 1 et 2

	Couche Géologique	Perméabilité retenue (m/s)
Zone de géométrie N°1	12	1.10^{-10}
	11	1.10^{-4}
	10	1.10^{-5}
	9	1.10^{-8}
Zone de géométrie N°2	12	1.10^{-8}
	11	1.10^{-2}
	10	1.10^{-3}
	9	1.10^{-6}
	8	1.10^{-4}
	7	1.10^{-3}
	6	1.10^{-4}

3.2.6.3. Résultats du calage définitif en régime permanent

La simulation des niveaux piézométriques moyens pour les différents aquifère et notamment ceux disposant de cartes piézométriques de référence (Turonien et Cénomaniens) a été sensiblement améliorée avec ce nouveau jeu de perméabilités.

Une différenciation des perméabilités au sein des couches géologiques précitées au niveau des vallées du Changeon, du Lathan et du Haut Couasnon a été également profitable au calage du modèle

Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

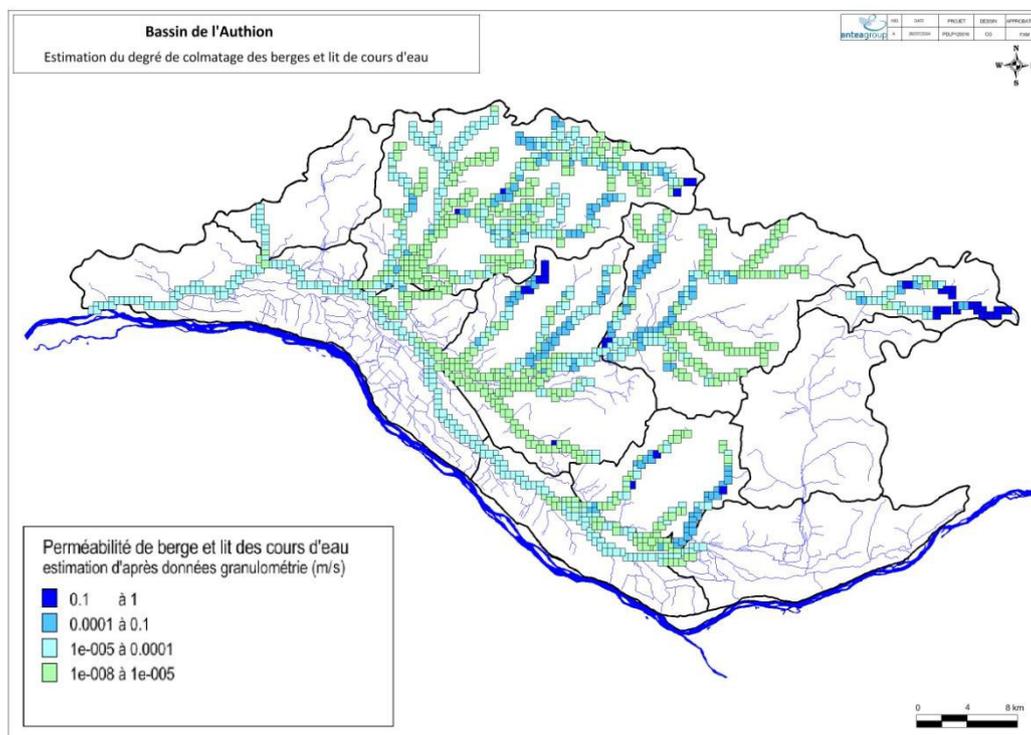


Figure 24 : Perméabilités de colmatage de lit des cours d'eau).

Enfin, le rôle des cours d'eau, majoritairement drainants par rapport aux nappes, est bien géré avec le couplage cours d'eau-nappe de ce nouveau calage en régime permanent.

L'atlas cartographique en annexe séparée du présent rapport fournit :

- les cartes piézométriques anciennes (période non influencées) digitalisées,
- les cartes piézométriques simulées après calage du modèle.



Table Shape : Colmatage

3.2.7. Calage du modèle en régime transitoire

3.2.7.1. Période de simulation

Le calage en régime transitoire a été mis en œuvre sur la période 2003-2012. Il permet à minima d'évaluer les premiers résultats sur une période de 10 ans, compatible avec l'objectif réglementaire de pouvoir déterminer les objectifs de débits et de niveaux à respecter 8 années/10.

Le pas de temps du calcul en régime transitoire est le pas de temps mensuel au niveau de précision disponible concernant les données climatologiques et celui obtenu par estimations pour les volumes prélevés, notamment pour l'irrigation.

3.2.7.2. Données de référence piézométriques

Afin de déterminer le meilleur calage en régime transitoire, l'ensemble des données fournies au début de l'étude et acquises en cours d'étude ont été intégrées ou traitées :

- Chroniques piézométriques de 1972 à 1975,
- Chroniques piézométriques des piézomètres de référence ADES sélectionnés en phase 1. Ces chroniques pour les plus anciennes remontent à 1993,
- Données piézométriques du réseau de suivi du SADRAL. Il s'agit de relevés piézométriques sur une vingtaine de piézomètres dont les mesures remontent environ aux années 2000 pour les plus anciens. Ces derniers sont présentés dans le rapport de phase 1,
- Données piézométriques du réseau de suivi complémentaire du SAGE Authion : la localisation et les caractéristiques de ces piézomètres sont données en annexe 7. Leur cartographie est présentée dans le rapport de phase 3. Ces données sont relativement récentes. La durée des chroniques est variable : de quelques données ponctuelles à des séries de données de plusieurs années.

3.2.7.1. Résultat du calage en régime transitoire



Pour plus de détails sur les modalités techniques de calage du modèle en régime permanent puis en régime transitoire, on se reportera à l'annexe 8.

L'enjeu d'un calage transitoire est d'obtenir la meilleure adéquation possible entre les différentes données piézométriques observées et simulées. Le pré-calage a été réalisé sur la base de 16 piézomètres (cf. figure ci-dessous).

3.2.7.2. Améliorations du-calage en régime transitoire

L'optimisation du calage en régime transitoire a été obtenue à partir de trois voies d'amélioration :

- l'ajustement des valeurs de perméabilité dans le calage final en régime permanent,
- l'intégration du réseau hydrographique dans le modèle de nappes,
- des adaptations sur la répartition des zones de recharge pluviométrique,
- l'application d'une reprise évaporative estivale pour les nappes sub-affleurantes du Cénomaien basal réhaussé sur les bassins versants du Couasnon et du Lathan moyen et des faluns du Micoène sur le Lathan amont
- la prise en compte de l'emmagasinement spécifique et non de l'emmagasinement.

Ce dernier paramètre physique, difficile à appréhender, concerne les aquifères captifs. Il se substitue à la porosité efficace des aquifères libres. Le fait de prendre en compte l'emmagasinement spécifique (emmagasinement/épaisseur saturée) permet de bien prendre en compte la variabilité d'épaisseur de certaines couches et donc la variabilité de charge piézométrique que cela peut induire suivant les secteurs pour une même formation géologique à perméabilité constante.

3.2.7.3. Impact des valeurs de prélèvements et de rejet

Un fois le modèle calé en régime transitoire influencé par les prélèvements, ces derniers peuvent être retirés du modèle pour évaluer leur impact, de même que les rejets ou apports aux cours d'eau.

Les données relatives au prélèvements sont présentées au paragraphe en partie 5 : « Quantification des usages de l'eau et leur impact sur les ressources ».

L'année 2011 est considérée comme l'année de référence pour ces prélèvements.

4. Analyse de la dynamique de fonctionnement des hydrosystèmes

4.1. Régime permanent

4.1.1. Echanges entre nappes

Dans le cadre des premières opérations de calage du modèle en régime permanent présentées ci-avant, un bilan des échanges entre les différentes couches du modèle a été établi dans des conditions d'équilibre moyen interannuel.

Ce bilan ne tient pas compte à ce stade des influences extérieures que peuvent constituer les apports aux nappes par les pertes depuis le réseau hydrographique ou encore les prélèvements qui peuvent ralentir ou inverser les flux entre nappes superposées.

Le tableau croisé ci-dessous (cf. Tableau 17) représente quantitativement les échanges entre couches géologiques. Les flèches indiquent le sens de lecture.

Tableau 17 : Analyse quantitative des échanges entre masses d'eau souterraines en régime permanent

Débits d'échange en m3/h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 - Alluvions quaternaires supérieures	*	2249,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1518
2 - Alluvions quaternaires inférieures	-2249	*	0	0	0	0	41,103	-4,123	-20,46	2195,5	-22,2	0,1425
3 - Faluns miocènes	0	0	*	52,197	0	0	0	0	0	0	0	0
4 - Calcaires de l'Eocène supérieur	0	0	-52,2	*	603,89	-14,32	0	0	0	0	0	0
5 - Argiles sableuses de l'Eocène inférieur	0	0	0	-603,9	*	-1122	-9,287	-17,92	-4,479	-3,039	0	0
6 - Sables sénoniens	0	0	0	14,318	1121,9	*	-1767	-78,38	-21,89	-87,34	-35,39	0
7 - Tuffeux sableux du Turonien supérieur	0	-41,1	0	0	9,2869	1767,2	*	-1679	-1,708	0	0	0
8 - Tuffeux crayeux du Turonien inférieur	0	4,1227	0	0	17,924	78,38	1679	*	-2000	0	0	0
9 - Marnes du Cénomaniens supérieur	0	20,46	0	0	4,4789	21,891	1,7079	1999,7	*	-2984	0	-0,065
10 - Sables argileux du Cénomaniens supérieur	0	-2196	0	0	3,0389	87,336	0	0	2984,3	*	153,2	0
11 - Sables du Cénomaniens inférieur	0	22,195	0	0	0	35,386	0	0	0	-153,2	*	0,5794
12 - Substratum du jurassique ou primaire	-0,1518	-0,1425	0	0	0	0	0	0	0,065	0	-0,5794	*

L'essentiel des flux entre couches géologiques s'effectue verticalement entre couches superposées.

Par définition les échanges entre masses d'eaux souterraines ne peuvent se produire qu'entre couches géologiques en contact l'une de l'autre, soit par superposition verticale soit par contact latéral (couches présentant des biseaux stratigraphiques, des anciennes surfaces d'érosion, des limites à l'affleurement). Le tableau ci-dessus intègre les deux composantes possibles verticales et horizontales des transferts entre couches adjacentes.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion
Rapport final A70443/F*

A l'échelle du bassin de l'Authion et de chaque couche prise dans sa globalité, les transferts d'eau souterraine s'effectuent essentiellement gravitairement des couches géologiquement les plus jeunes et topographiquement les plus hautes vers les couches les plus anciennes et les plus basses.

Pour autant, dans le détail, sur certains secteurs comprenant des couches profondes captives, des transferts d'eau du bas vers le haut (drainance ascendante) peuvent exister entre une nappe captive et son éponte (couche supérieure semi-perméable ou peu perméable) qui elle-même peut transmettre ce flux vers la couche aquifère sus-jacente.

Rq : Ces flux ascendants sont surtout observables en régime transitoire lorsque les niveaux des nappes sont en constante évolution et avec des amplitudes différentes entre nappes captives et nappes libres ou encore sous l'influence de prélèvements qui provoquent des variations piézométriques locales très importantes.

Dans le détail de chaque couche, on peut remarquer que la couche des alluvions supérieures de Loire (couche n°1) échange avec la couche des alluvions inférieures de Loire (couche n°2) avec un bilan ayant tendance à l'équilibre étant donné que les deux masses d'eau sont en continuité hydraulique, souvent peu dissociables et sous influence forte du réseau hydrographique.

La couche des alluvions inférieures (couche n°2) alimente fortement la couche des sables du Cénomaniens moyen (couche n°10) dans le Val d'Authion. Elle reçoit les apports des aquifères profonds (couches du Turonien et du Cénomaniens supérieur à moyen (couches 11 à 7) par flux ascendants et débordements sous le Val d'Authion et en pied de coteau.

Pour les autres couches situées essentiellement sur les parties moyennes et hautes du bassin de l'Authion, les échanges se font de façon relativement homogène en intensité entre couches adjacentes et se suivant stratigraphiquement. Les échanges sont logiquement plus importants entre deux couches aquifères ou relativement perméables qu'entre couche aquifère et couche peu perméable.

La couche des argiles sableux de l'Eocène inférieur (couche n°5) alimente l'aquifère des sables fins du Sénonien. L'aquifère des sables sénoniens (couche n°6) alimente en partie l'aquifère sous-jacent du Turonien Supérieur (couche n°7).

L'aquifère du tuffeau sableux du Turonien supérieur (couche n°7) est donc alimentée par la couche supérieure et de façon marginale par la recharge des infiltrations des eaux pluviales car les surfaces d'affleurement du tuffeau (présentes à flanc de coteaux) sont limitées.

La couche du Turonien inférieur (couche n°8) est surtout alimentée par l'aquifère sus-jacent du tuffeau turonien, plus marginalement par la recharge des eaux pluviales sur les zones affleurantes. Elle alimente les Marnes du Cénomaniens supérieur et la couche 2 des alluvions inférieures lorsque celles-ci la recouvrent dans le val d'Authion.

Les débits échangés au niveau des Marnes à Huitres du Cénomanien supérieur (couche n°9) sont plus faibles que pour les autres couches sédimentaires car il s'agit d'une formation réputée très peu perméable (mais pas pour autant totalement étanche surtout quand elle est désaturée). On retrouve tout de même un flux global vers l'aquifère sous-jacent du Cénomanien moyen et vers l'aquifère des alluvions supérieures.

Les sables argileux du Cénomanien moyen (couche n°10) échangent essentiellement avec les sables et graviers du Cénomanien inférieur sous-jacents et dans une moindre mesure avec les alluvions supérieures de la Loire (couche n°2).

La couche des sables et graviers du Cénomanien inférieur (couche n°11) est alimentée par les couches qui la recouvre : en partie alluvions supérieures de la Loire (couche n°2) et sables cénomaniens moyens (couche 10) dans le val d'Authion et en partie sables cénomaniens moyens (couche 10) sous les coteaux et plateaux en moitié nord du territoire du SAGE Authion. Les échanges avec les sables argileux du Cénomanien moyen peuvent s'inverser même si au global le bilan est positif au profit des sables et graviers du Cénomanien basal.

La dernière couche géométrique du modèle (couche n°12) représentant essentiellement le socle marno calcaire jurassique (et pour une faible part le socle armoricain à l'ouest), les échanges peuvent être considérés comme négligeables car il s'agit de formations considérés globalement comme très peu perméables. Les 2 ou trois forages captant le Jurassique sont allés chercher plus profondément les horizons calcaires captifs. Ils n'interviennent pas dans les bilans présentés ici et ont un poids marginal dans les prélèvements effectués sur le territoire du SAGE Authion.

4.1.2. Echanges nappe-rivières

4.1.2.1. Zones de débordement

Les transferts d'eau entre les eaux souterraines et les eaux superficielles se font principalement au niveau des thalwegs qui sont le siège et l'exutoire des écoulements gravitaires. Le sens de ces transferts est le plus souvent depuis les masses d'eau souterraines affleurantes vers le réseau hydrographique de surface. Localement, dans certains contextes naturels de cours d'eau perchés sur un fond colmaté ou très peu perméable ou en contexte influencé lorsque la nappe est déprimée par des prélèvements ou encore lorsque le cours d'eau est maintenu à une cote artificiellement haute, les transferts peuvent s'effectuer depuis le réseau de surface vers la nappe par des pertes ponctuelles ou diffuses depuis le fond et les berges du cours d'eau.

La carte ci-dessous illustre les zones où les nappes sont susceptibles de déborder, pour un calage du modèle de nappes en régime permanent, avec des recharges moyennes et hors apports ou prélèvements.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

Les différents couleurs illustrent ces zones de débordement potentiel des nappes par couche géologique.

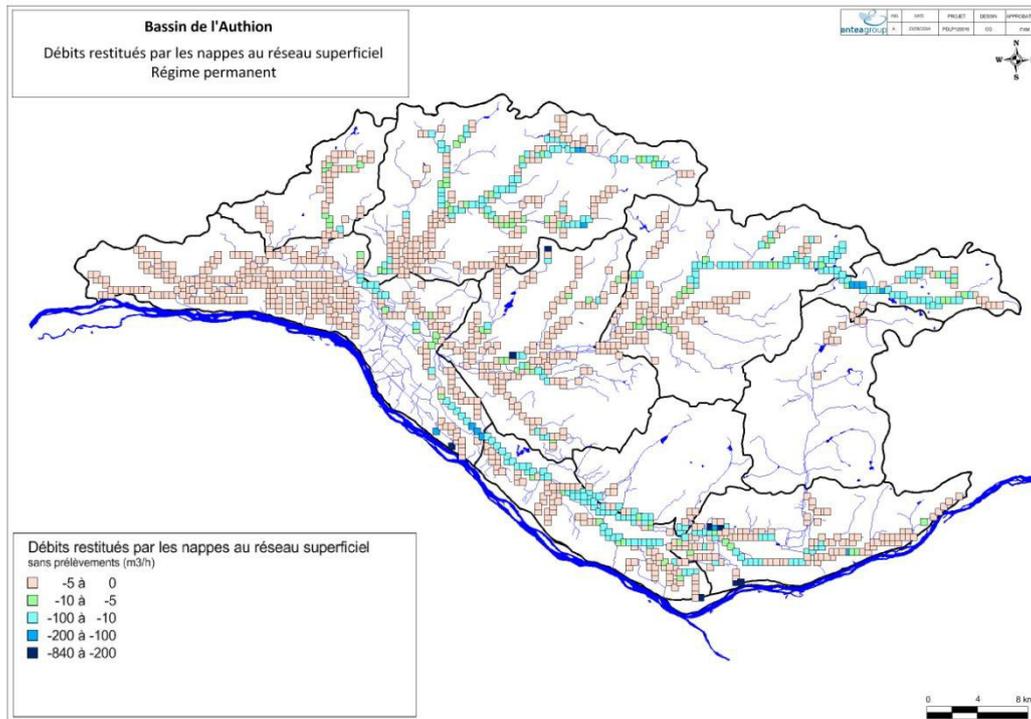


Figure 27 : Zone de débordement des nappes vers les cours d'eau en régime permanent

Les zones de débordement potentiel se répartissent de façon assez homogène sur tout le réseau hydrographique du territoire du SAGE Authion car il possède plusieurs nappes superposées assez également réparties sur le territoire et un réseau hydrographique très développé (le second étant la conséquence du premier) avec les pentes assez marquées sur la majorité du territoire. Le Couasnon

Néanmoins, on peut observer quelques particularités :

- des nappes affleurantes en position topographique intermédiaire et prenant le relais de débits de débordement dans les cours d'eau : ce sont typiquement les nappes du Senonien et Turonien,
- des nappes débordant plus en pied de pentes, ce sont les nappes du Cénomaniens et du Turonien à l'Est,
- des zones de débordement potentiel dans le val d'Authion : ces débordements de nappe alluviale restent théoriques avec ce calage en régime permanent qui ne peut reproduire l'état transitoire en perpétuelle évolution et sous influence des niveaux d'eau modifiés dans le réseau hydrographique et des variations de niveau de la Loire. Ce secteur sera reprécisé avec le calage en régime transitoire du modèle couplé nappes – cours d'eau.

4.1.2.2. Zones d'infiltration

Les zones d'infiltration depuis les cours d'eau vers les nappes se localisent majoritairement au droit des têtes de bassins-versants. Ces zones seraient potentiellement les premières à souffrir d'un abaissement durable de ces nappes (naturel ou influencé, comme il est constaté sur les faluns du Miocène ou les sables sénoniens).

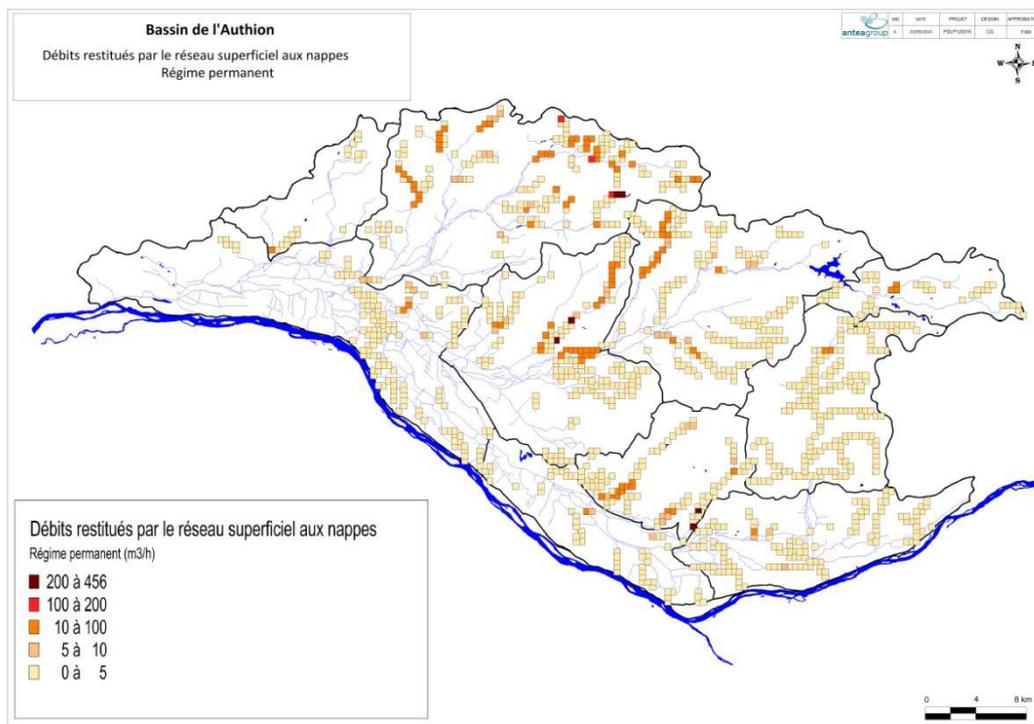


Figure 28 : Zone d'infiltration des cours d'eau vers les nappes en régime permanent

4.2. Régime transitoire analysé en étiage

4.2.1. Echanges entre nappes

Sur la base du calage du modèle en régime transitoire, un bilan des échanges entre les différentes couches du modèle a été établi pour un mois d'étiage de référence (août 2011).

Comme pour le précédent bilan effectué pour le régime permanent, le présent bilan ne tient pas compte à ce stade des influences extérieures (apports aux nappes par les pertes par le réseau hydrographique, prélèvements, etc...).

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion
Rapport final A70443/F*

Le tableau croisé ci-dessous représente quantitativement les échanges entre couches géologiques. Cette analyse quantitative suit les tendances fournies par le régime permanent mais dans des proportions moindres.

Tableau 18 : Analyse quantitative des échanges entre masses d'eau souterraines en régime transitoire pour le mois d'août 2011

Débites d'échange en m3/h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 - Alluvions quaternaires supérieures	*	2299,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3933
2 - Alluvions quaternaires inférieures	-2299	*	0	0	0	0	42,347	-2,008	-20,64	1292,7	840,53	3,474
3 - Faluns miocènes	0	0	*	33,187	0	0	0	0	0	0	0	0
4 - Calcaires de l'Eocène supérieur	0	0	-33,19	*	1416,6	-11,97	0	0	0	0	0	0
5 - Argiles sableuses de l'Eocène inférieur	0	0	0	-1417	*	1218,1	-1,156	-1,72	-0,6753	-0,3626	0	0
6 - Sables sénoniens	0	0	0	11,966	-1218	*	1150,8	-37,56	-21,81	-44,8	-9,416	0
7 - Tuffeaux sableux du Turonien supérieur	0	-42,35	0	0	1,1556	-1151	*	-237,6	-0,5426	0	0	0
8 - Tuffeaux crayeux du Turonien inférieur	0	2,0078	0	0	1,7201	37,557	237,61	*	-1141	0	0	0
9 - Marnes du Cénomaniens supérieur	0	20,64	0	0	0,6753	21,812	0,5426	1141,3	*	-1214	0	-0,0597
10 - Sables argileux du Cénomaniens supérieur	0	-1293	0	0	0,3626	44,805	0	0	1214,3	*	298,54	0
11 - Sables du Cénomaniens inférieur	0	-840,5	0	0	0	9,4158	0	0	0	-298,5	*	81,617
12 - Substratum du jurassique ou primaire	-0,3933	-3,474	0	0	0	0	0	0	0,0597	0	-81,62	*

4.2.2. Echanges nappe-cours d'eau

4.2.2.1. Zones de débordement

Les zones de débordement suite au calage en régime transitoire hors prélèvement et pour le mois d'août 2011 figurent sur la carte ci-dessous.

Le Lathan et le Couason drainent globalement les nappes en étiage.

Ce constat resterait à approfondir et à corroborer avec la situation de surcreusement localisés de ces deux cours d'eau.

Les nappes dans le val d'Authion contribuent globalement à soutenir les débits des cours d'eau et canaux de l'Authion mais dans des proportions assez faibles au regard des débits potentiellement convergents vers les points d'exutoire naturels que constituent le réseau hydrographique du val d'Authion.

On peut supposer que ce fait tient à trois causes : les nappes libres d'accompagnement des cours d'eau sont au plus bas naturellement en étiage. La Loire impose un potentiel hydraulique aval également bas.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

Enfin, les cotes maintenues artificiellement hautes dans les canaux gérés par les ouvrages hydrauliques du Val atténuent voire inversent les différences de charge hydraulique entre cours d'eau et nappes.

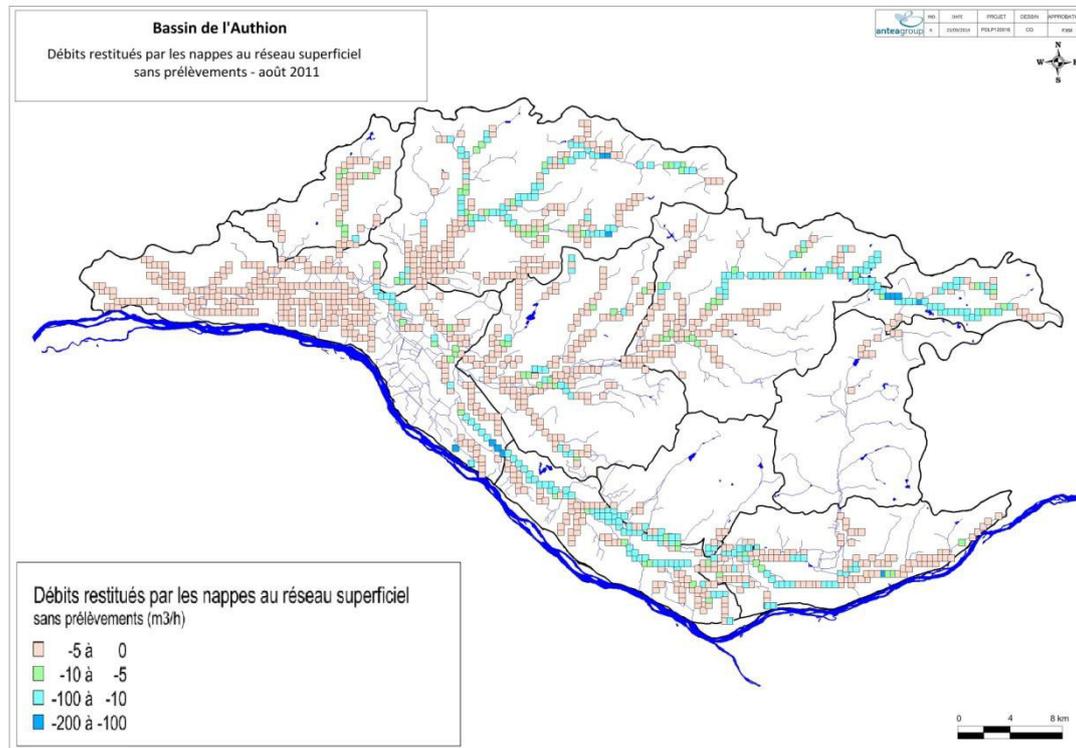


Figure 29 : Zone de débordement des nappes vers les cours d'eau en étiage hors prélèvements

4.2.2.1. Zones d'infiltration

Les zones d'infiltration sont logiquement moins nombreuses en étiage qu'en régime permanent (moyennes eaux). Les secteurs concernés restent néanmoins les mêmes.

La figure ci-dessous présente les mailles du modèle pour lesquelles il est observé une infiltration du réseau d'eau superficiel vers les niveaux aquifères. L'infiltration se produit principalement au niveau du bassin du haut Couason, du Lathan médian, des trois rus (Loges anguillère, Automne) et au niveau du val d'Authion médian.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

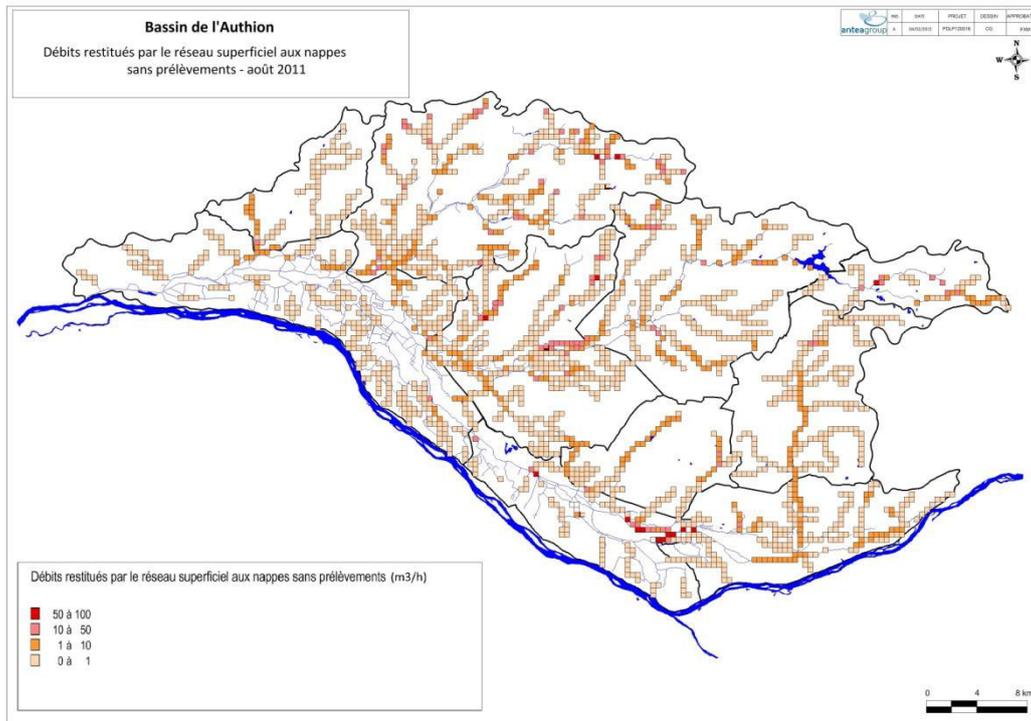


Figure 30 : Zone d'infiltration des cours d'eau vers les nappes en étiage hors prélèvements

4.2.3. Réflexions sur la pertinence des données

4.2.3.1. Comparaison avec les assecs

La qualité du calage peut être appréciée par comparaison entre les niveaux piézométriques observés et simulés mais aussi par comparaison entre les mailles de débordement et les données de suivi du réseau des assecs. Les stations présentant un débit nul en période d'étiage ne devraient pas se localiser en zone de débordement.

Attention : A contrario, des écoulements peuvent être observés hors des zones de débordement considérant que le cours d'eau n'est pas alimenté par la nappe directement à cet endroit précis. Un cours d'eau peut être localement perché (lit colmaté) et alimenté uniquement par des rejets (STEP, lachers des retenues, réalimentation) ou du ruissellement (théoriquement très limité en absence de précipitations estivales).

La figure ci-dessous présente l'état des cours d'eau au niveau du réseau d'assecs suivi par le SAGE Authion en 2012. L'année 2012 a été prise en compte car elle recense un plus grand nombre de valeurs comparativement à l'année 2011.

Une corrélation directe est difficile à établir entre les deux niveaux d'information car le pas de temps considéré n'est pas le même : observations ponctuelles journalières contre

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

simulation moyenne mensuelle. La cohérence des assecs est néanmoins examinée dans ce rapport au chapitre évaluation des impacts et sur les bilans par unité de gestion pour déterminer les secteurs déficitaires à cause de prélèvements.

La connaissance historique et la densification des observations des assecs est une information essentielle.

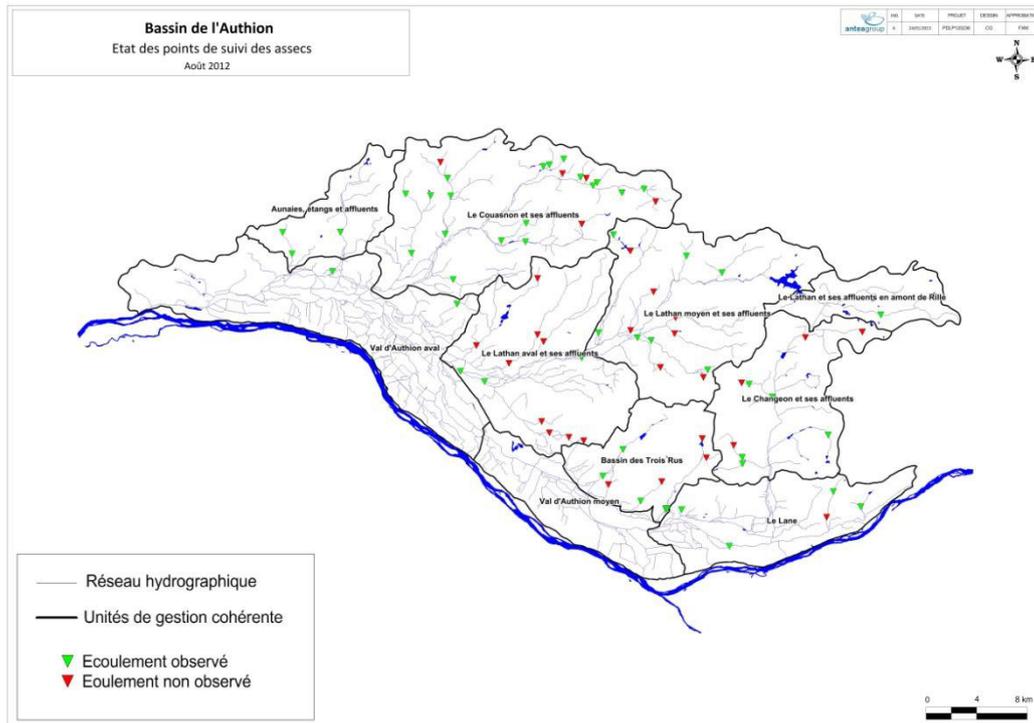


Figure 31 : Etat des points de suivi des assecs en août 2012

4.2.3.2. Comparaison avec les zones humides

La comparaison a été effectuée entre les zones de débordement de nappe en régime permanent (régime d'équilibre moyen interrannuel) et les zones humides effectivement pré-localisées par l'étude d'inventaire des zones humides réalisées sur tout le territoire du SAGE Authion et présentée fin 2012. La définition de zone humide acceptant une large gamme de typologie de sols avec présence de nappe temporaire de sub-surface, l'enveloppe présentée sur la figure ci-dessous peut être sans doute majorante en termes de superficie globale par rapport à la notion de zone de débordement en régime permanent. A l'inverse, certaines zones humides peuvent se développer sur des terrains imperméables en l'absence de soutien de nappes.

Enfin, une zone de débordement de nappe ne donne pas naissance systématiquement à une zone humide, notamment dans les terrains filtrants et avec des pentes permettant un drainage des émergences de nappes.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

Ces réserves d'interprétation étant établies, on peut observer une assez bonne corrélation entre zones humides pré-localisées (en bleu) et zones de débordement moyen de nappes, notamment sur le Couason amont et le Lathan amont.

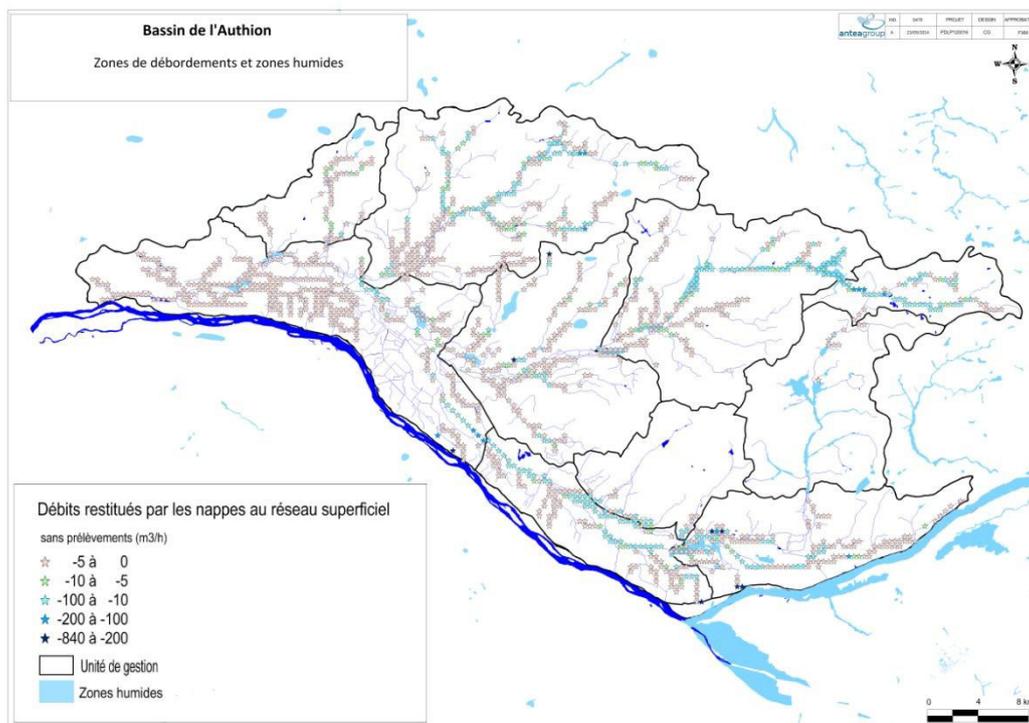


Figure 32 : Analyse comparative des zones humides et des débordements de nappe

4.3. Synthèse du fonctionnement à l'échelle du SAGE Authion

4.3.1. Bilans entrée/sortie

Les bilans hydriques fournis par le modèle visent à mettre en perspective les flux d'eau au sein des couches géologiques et du réseau hydrographique du modèle et d'ainsi contrôler si ce bilan est équilibré.

Les bilans suivants tiennent compte des précipitations réelles introduites indirectement grâce aux fils et tranches d'eau et débits dans le réseau hydrographique et de la recharge des nappes mais non des prélèvements dans un premier temps.

4.3.1.1. Régime permanent

Le bilan des pertes et apports c'est-à-dire des flux et échanges d'eau au sein des différents aquifères est présenté ci-dessous et donné de manière quantitative en annexes 10 et 11.

Le bilan en régime permanent illustre notamment les points suivant :

- les alluvions quaternaires sont nettement drainées par le réseau hydrographique (histogramme bleu clair),
- les apports de la Loire au niveau des alluvions quaternaires supérieures sont bien marqués (histogramme bleu foncé),
- les échanges entre aquifères vont crescendo des faluns du Miocène aux tuffeaux turoniens,
- les sables du Cénomaniens moyen ont tendance à être drainés par les cours d'eau,
- des flux sont apportés en limite nord pour les couches profondes du modèle dont les bassins d'alimentation souterrains se prolongent au-delà des limites hydrographique du territoire du SAGE Authion, ils sont conséquents pour la nappe des sables du Cénomaniens inférieur et nettement moindres pour le Turonien dont les limites de bassin souterrain sont supposées quasi superposées avec celles du bassin topographique du territoire du SAGE Authion.

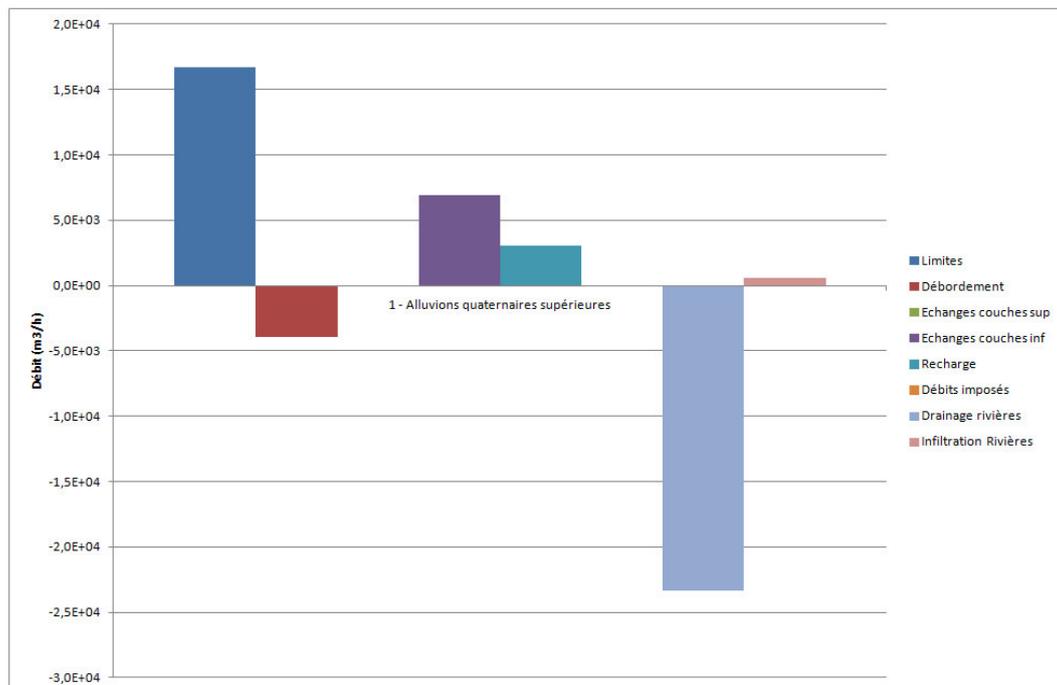


Figure 33 : Pertes et apports de l'aquifère des alluvions quaternaires supérieures en régime permanent

Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
 et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
 Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
 Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

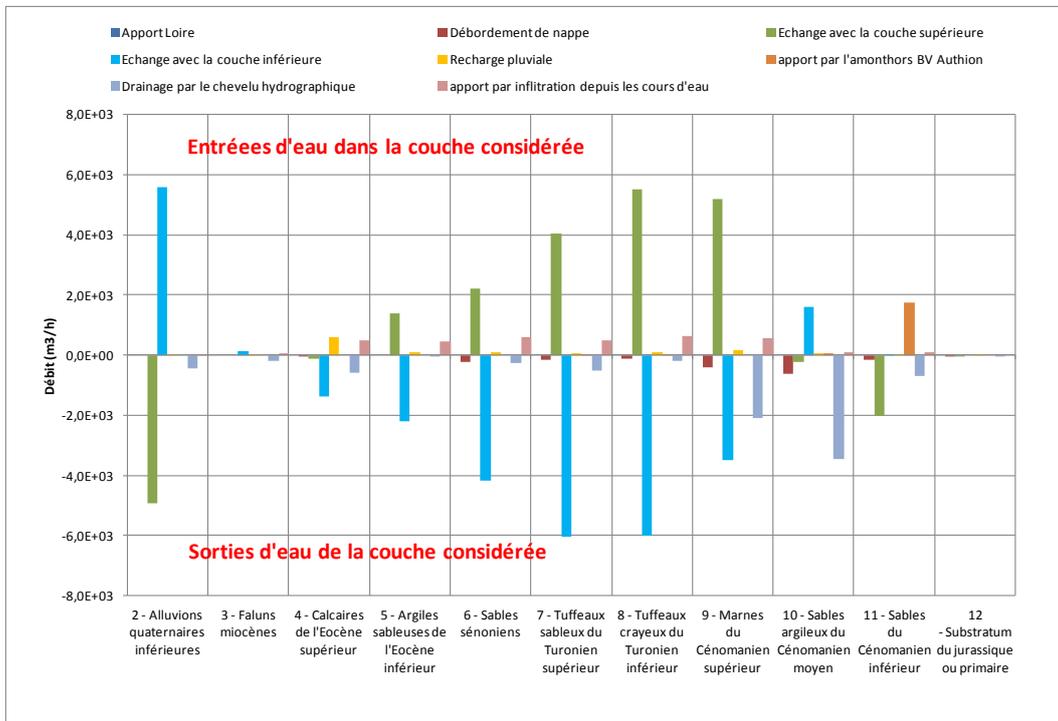


Figure 34 : Pertes et apports des couches modélisées en régime permanent

4.3.1.2. Régime transitoire

Ce même bilan a été effectué pour le mois de septembre après calage du modèle en régime transitoire sur 10 ans (cf. annexe 9 et 10 et figure ci-dessous) :

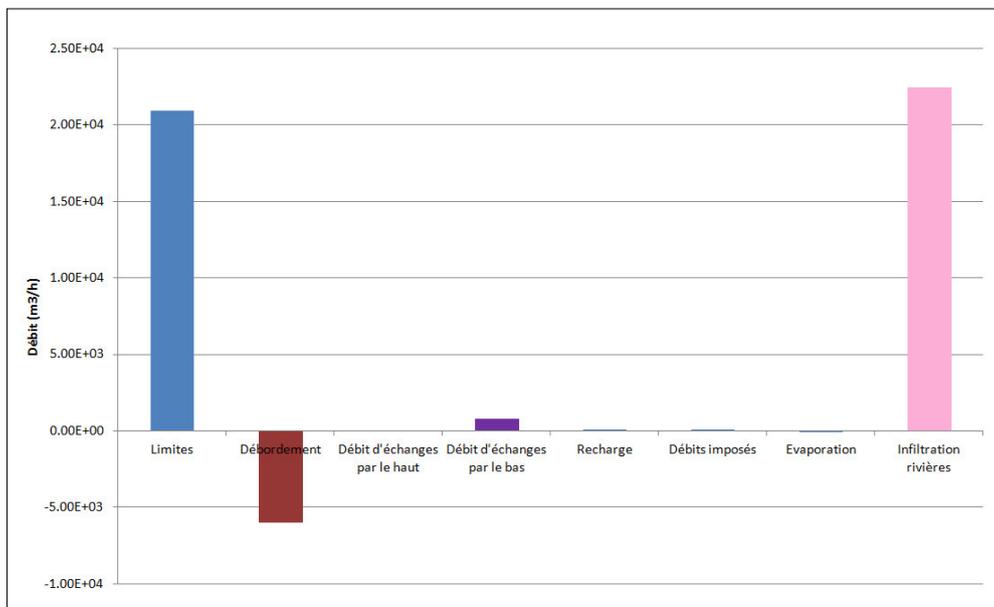


Figure 35 : Pertes et apports de l'aquifère des alluvions quaternaires supérieures en régime transitoire

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

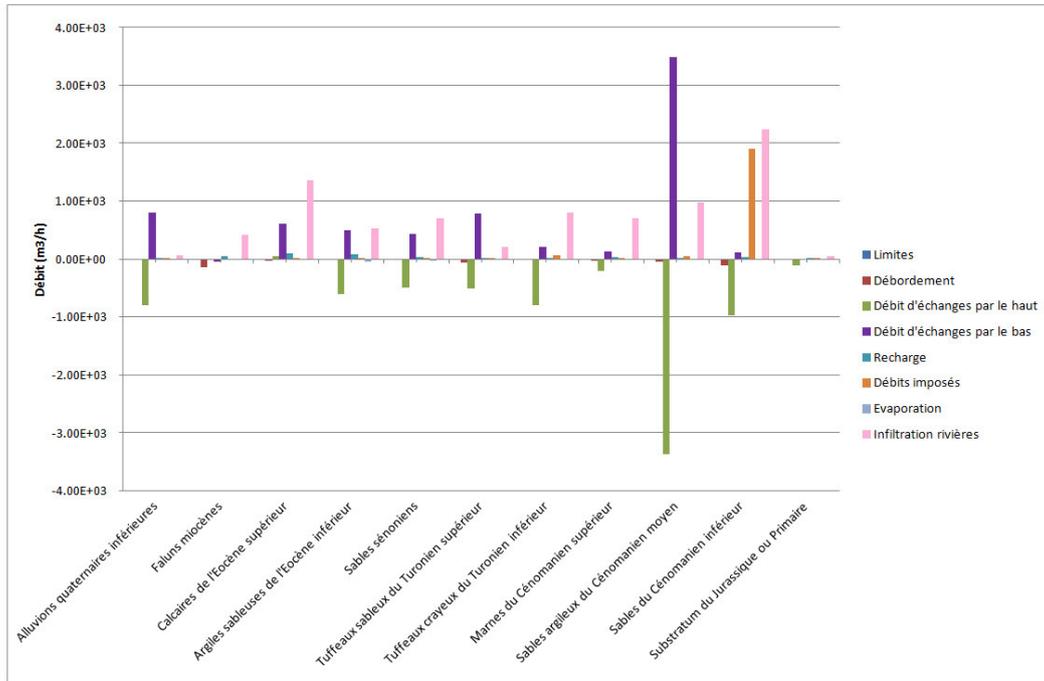


Figure 36 : Pertes et apports des couches modélisées en régime transitoire

5. Quantification des usages de l'eau et leur impact sur les ressources

5.1. Bilan des prélèvements et intégration dans le modèle

5.1.1. Prélèvements AEP

5.1.1.1. Bilan des prélèvements pour l'AEP

Le bilan des **prélèvements pour l'Alimentation en Eau Potable** est présenté dans le rapport de phase 1. Les prélèvements représentent **environ 5 millions de m³ pour l'année 2011**. Les aquifères captés sont principalement le Turonien et le Cénomaniens.

Eu égard à l'évolution des besoins en eau potable, le scénario tendanciel du SAGE de 2011 précise que « les consommations sont stables et ne présentent pas d'évolution significative depuis plus de 10 ans. La consommation en eau potable ne devrait pas évoluer de manière significative à l'échéance 15-20 ans : les baisses de consommations unitaires associées à une amélioration des rendements moyens des réseaux, viendront compenser l'augmentation modérée de la population ».

5.1.1.2. Données intégrées dans le modèle

Les volumes prélevés mensuellement pour l'AEP sont connus pour la période 2002 à 2011. Les données utilisées dans la modélisation couvrent la période de 1995 à 2011. Pour les années 1995 à 2001 (période de rodage du modèle), les volumes ont été estimés sur la base de l'évolution observée entre 2002 et 2011. La donnée a été entrée dans le modèle par point de prélèvement et par couche. Les prélèvements concernent les 12 mois de l'année.



Fichier Excel : Captage AEP

5.1.2. Prélèvements industriels

5.1.2.1. Bilan des prélèvements industriels

Le **bilan des prélèvements pour les activités industrielles** est fourni dans le rapport de phase 1. Les prélèvements en eau pour les activités industrielles représentent près de **700 000 m³** en 2011 répartis sur 21 forages qui prélèvent préférentiellement les alluvions de la Loire et le Cénomaniens.

5.1.2.1. Données intégrées dans le modèle

Les données disponibles couvrent la période 2002 à 2011. Pour rôder le modèle, l'année 2001 a été répétée de 1995 à 2001. La donnée a été entrée dans le modèle par point de prélèvement et par couche. Les prélèvements concernent tous les mois de l'année.



Fichier Excel : industrie

5.1.3. Prélèvements domestiques et assimilés

5.1.3.1. Bilan des prélèvements pour les usages domestiques

Les prélèvements domestiques ont été intégrés au modèle. La donnée brute correspond au volume prélevé par commune en m³ pour l'année 2011. **Le volume prélevé par les particuliers pour les usages domestiques représente environ 4 000 000 de m³.**

5.1.3.2. Données intégrées dans le modèle

Les volumes prélevés par commune ont été divisés par le nombre de mailles couvrant la commune correspondante et l'aquifère capté a été attribué systématiquement à la formation affleurante. Les prélèvements concernent les mois d'avril à septembre inclus.

5.1.4. Prélèvements agricoles et assimilés

5.1.4.1. Traitement de la donnée

Les volumes prélevés pour l'usage agricole regroupent les volumes d'eau utilisés pour l'irrigation majoritairement, mais aussi pour l'abreuvement. Les prélèvements sont effectués dans les nappes mais aussi dans les masses d'eau superficielles comme les cours d'eau (notamment l'Authion) et les plans d'eau.

Les volumes prélevés pour l'usage agricole sont connus grâce à 3 bases de données distinctes :

- Les données déclarées à **l'Observatoire de l'eau pour les usages agricoles** : elles sont issues de l'enquête réalisée en 2012 pour les volumes prélevés en 2011. Au stade de cette étude, **l'enquête est complète à 71%. Les points de prélèvements ne sont pas positionnés avec des coordonnées géographiques mais par lieu-dit et/ou parcelle cadastrale.**

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

- Les données déclarées à la **DDT 37 et 49**. Les données déclarées à la DDT 37 sont regroupées par bassins-versants (Changeon, Lane et Lathan) et par type de ressource. Les données déclarées à la DDT 49 sont classées par types d'ouvrages (prises d'eau/forages/plan d'eau) rattachés à une parcelle cadastrale (DDT 49) ou à des coordonnées géographiques (DDT 37). Un traitement cartographique a permis d'extraire les coordonnées des centroïdes des parcelles cadastrales et ainsi d'avoir une position approximative des ouvrages. **Les bases de données sont complètes à 66% environ.**
- Les données déclarées à **l'Agence de l'Eau Loire Bretagne**. Les ouvrages possèdent des coordonnées géographiques (ou à défaut le centroïde de la commune), l'origine de l'eau est également indiquée (cours d'eau, nappe alluviale, nappe profonde, etc.).

La base de données fournie par l'Agence de l'eau rassemble des volumes annuels allant de 2008 à 2011. La base de données de la DDT 49 affiche un seul volume par ouvrage, le plus élevé des trois dernières années entre 2009 et 2011. La base de la DDT 37 affiche quant à elle un volume annuel et mensuel pour les années allant de 2009 à 2012. Enfin, la base de l'Observatoire rassemble des données depuis l'année 2003 jusqu'à l'année 2012.

La difficulté a résidé dans la compilation des trois bases de données afin de disposer du recensement des prélèvements pour l'irrigation le plus exhaustif possible. Plusieurs analyses ont été effectuées.

Le travail de synthèse de la donnée de prélèvements a consisté en :

- 1- Une comparaison des différentes bases de données sur la base du volume cumulé par commune ;
- 2- Une estimation des volumes prélevés pour l'irrigation à partir des surfaces classées irriguées dans le dernier Registre Parcellaire Graphique disponible (2009). Ce calcul a été réalisé en appliquant un volume prélevé par hectare par type de culture irriguée. Nous avons utilisé des ratios d'irrigation moyens théoriques par type de culture fournis par l'Observatoire de l'eau. Pour ce travail, la difficulté a résidé dans le fait que :
 - a. la typologie des cultures diffère en fonction des banques de données. L'Observatoire de l'eau prend en considération 46 types contre 24 pour le RPG ;
 - b. les données RPG ne sont pas uniformes entre le département 37 et le département 49.
- 3- Une comparaison des forages et volumes prélevés associés sur la base d'un champ commun aux trois bases de données : le numéro de SIRET.

5.1.4.2. Comparaison des différentes bases de données par volume cumulé par commune

La première analyse a consisté en une **comparaison des différentes bases de données** peut se faire par **volume cumulé par commune**. Les volumes totaux calculés sur le bassin sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les données de l'observatoire et de l'Agence de l'Eau intègrent de façon certaine les volumes prélevés sur les réseaux d'irrigation sous pression. Les données de la DDT ne les intègrent pas entièrement. Ces volumes prélevés sur les différents réseaux d'irrigation sous pression sont de l'ordre de 5 millions de m³.

Tableau 19 : Comparaison des volumes prélevés sur le bassin-versant de l'Authion en fonction des différentes sources de données pour l'année 2011

Base de données	Observatoire	DDTs	AE Loire Bretagne
Volume totaux sur le bassin de l'Authion (m³)	25 270 180	24 585 734	26 735 046

5.1.4.3. Besoins théoriques d'après les surfaces et grands types de culture

Les volumes prélevés issus de ces trois bases de données ont été comparés aux types de cultures irriguées à partir des surfaces irriguées déclarées à l'Observatoire de l'eau de l'Authion (année 2011) et au Registre Parcellaire Graphique (RPG) 2009 (dernière année où le caractère irrigué ou non d'une parcelle est déclaré). Le RPG n'est pas une source de données exhaustive en matières de cultures pratiquées sur le bassin versant de l'Authion. En effet, des productions spécialisées telles le maraîchage, l'arboriculture, l'horticulture ou encore certaines semences ne sont pas soumises à déclaration PAC et ainsi non comprises dans le RPG.

Un volume moyen à l'hectare a été appliqué à chaque type de cultures afin d'estimer un volume total des besoins théoriques en eau pour irriguer les cultures à partir des surfaces irriguées. Les valeurs retenues pour les grands types de cultures sont établies pour un besoin moyen et pour une fourchette haute proche du maximum hors conditions pédoclimatiques particulières pour quelques cultures spécialisées. Les sources d'informations sont les référentiels CA49 et 37 retransmis par mail du SAGE Authion le 14/05/2014, complétés avec volumes déclarés 2011 du rapport de synthèse observatoire de l'eau Authion 2012).



La typologie des cultures diffère en fonction des banques de données. L'Observatoire de l'eau prend en considération 46 types contre 24 pour le RPG. Des regroupements ont été nécessaires de façon à pouvoir comparer les deux sources de données.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

Le tableau ci-dessous présente l'estimation des besoins (moyens et fourchette haute) par cultures sur le bassin de l'Authion (RPG 2009, Observatoire 2011).

Tableau 20 : Volume d'eau nécessaire par cultures pour une saison d'irrigation (m³/ha) source observatoire Authion

CULTURES	SURFACES IRRIGUEES (HA) *	besoins moyens (m3/ha)	besoins fourchette haute (m3/ha)	IRRI_THEORIQUE moyenne (M3/AN)	IRRI_THEORIQUE fourchette haute (M3/AN)
AUTRES CEREALES	696	400	600	278 504	417 756
AUTRES CULTURES INDUSTRIELLES	72	500	700	35 945	50 323
AUTRES OLEAGINEUX	22	600	600	13 002	13 002
BLE TENDRE	2 020	400	600	808 120	1 212 180
COLZA	161	600	600	96 756	96 756
DIVERS	786	1 000	1000	786 110	786 110
MARAICHAGE *	1 160	2 500	3000	2 899 250	3 479 100
MAIS GRAIN ET ENSILAGE	6 494	1 250	2200	8 117 500	14 286 800
ORGE	130	400	600	51 824	77 736
PRAIRIES PERMANENTES	638	800	1000	510 312	637 890
PRAIRIES TEMPORAIRES	723	800	1000	578 064	722 580
PROTEAGINEUX	358	700	750	250 600	268 500
SEMENCES	6 169	2 000	2500	12 338 000	15 422 500
TOURNESOL	180	400	600	72 188	108 282
ARBORICULTURE*	692	2 000	3000	1 383 280	2 074 920
HORTICULTURE ET PEPINIERS*	627	2 500	5000	1 568 500	3 137 000
	20 928			29 787 955	42 791 435
	*RPG et observatoire				

On obtient un volume nécessaire compris entre 29 et 43 millions de m³ qui s'avère du même ordre de grandeur que le volume global recensé par les deux DDT. Les bases des DDT étant de l'avis général les plus complètes, il a été décidé de prendre comme base de travail les volumes recensés par les DDT.



Fichier Excel : RPG

A titre de comparaison, l'évolution de la SAU sur le bassin de l'Authion (tableau ci-dessous) sur les 20 dernières années montre une stabilité voire une érosion de la SAU avec un concentration du nombre de sièges exploitation. La part des terres labourables a cru inversement.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

**Tableau 21 : Surfaces agricoles sur le BV Authion
(source AGRESTE au prorata des surfaces communales)**

Données Agreste 2010	Nbre exploitations/commune	UTH en unité de travail annuel	SAU (en ha)	SAU / UTH	Cheptel (en UGB)	Superficies en terres labourables (en ha et en % de SAU)		Superficies en cultures permanentes (en ha et en % de SAU)		Superficies toujours en herbe (en ha et en % de SAU)		Autres superficies (en ha)
1988	4107	8038	82557	10,3	52717	56022	68%	3886	5%	20643	25%	2007
2000	2235	5983	74355	12,4	44356	58329	78%	4136	6%	10803	15%	1087
2010	1427	5083	72420	14,2	42005	55485	77%	3429	5%	10811	15%	2694

5.1.4.4. Répartition communale des prélèvements pour l'irrigation sur la base de la première analyse

En l'état actuel des bases de données existantes sur les volumes et points d'eau pour l'irrigation, les systèmes de localisation (parcellaire, lieu-dit, XY Lambert 93) ne permettent pas d'établir de représentation comparative plus précise que l'échelle communale.

Les cartes ci-dessous présentent les volumes d'eau prélevés pour l'irrigation et besoins théoriques moyens (m³) par hectare et par commune sur le bassin-versant de l'Authion. Les cartes ont été établies sur la base des premières estimations faites.

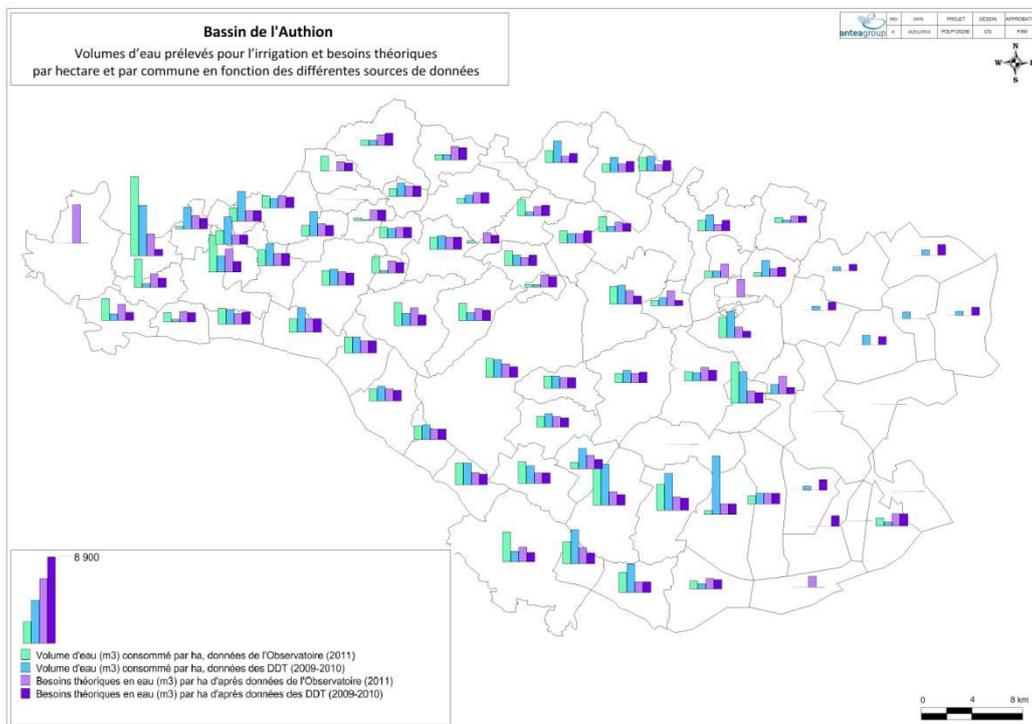


Figure 37 : Volumes d'eau prélevés pour l'irrigation et besoins théoriques (m³) par hectare et par commune sur le bassin-versant de l'Authion

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

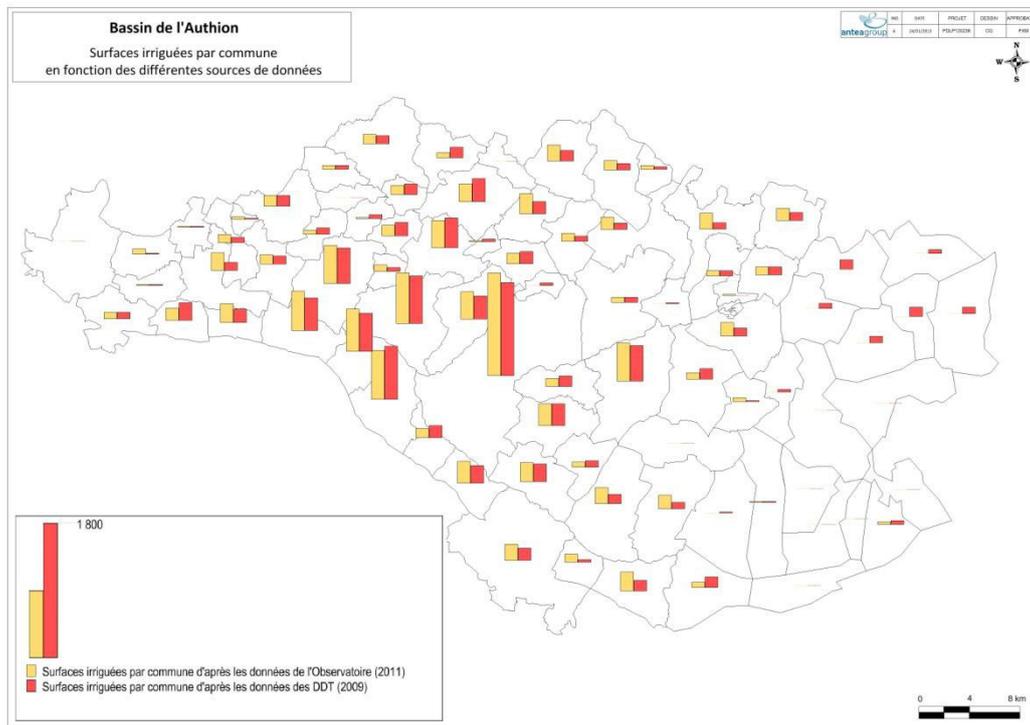


Figure 38 : Surfaces irriguées par communes (années 2009-2010)

5.1.4.5. Estimation des volumes réels prélevés pour l'irrigation en 2011

Après constat par le groupe de travail que les données fournies pour la première analyse ne permettaient pas d'introduire des données consolidées et spatialisées dans le modèle, les 3 organismes ont transmis leurs nouvelles bases de données respectives à la structure du SAGE Authion.

Les 4 bases de données n'ayant pas les mêmes finalités, elles ne sont pas construites de la même manière et possèdent donc peu d'informations se recoupant les unes par rapport aux autres. Leur exhaustivité est également différente. Par exemple pour l'année 2011, l'Agence de l'Eau répertorie 1431 ouvrages de captages (forages, puits, prises d'eau, retenues) quand les deux DDT réunies répertorient 2905 ouvrages et l'Observatoire de l'Eau 1981. Le volume global d'eau prélevé sur le bassin de l'Authion s'en trouve évidemment modifié suivant la base utilisée. Toujours pour l'année 2011, si l'on additionne l'ensemble des volumes prélevés par les ouvrages, bases de données par bases de données, on obtient un volume de 27 606 138 m³ avec les données de l'Agence de l'Eau, on obtient un volume annuel de 33 649 087 m³ avec les données des deux DDT réunies et enfin 25 744 617 m³ avec les données de l'Observatoire de l'Eau. La DDT37 ne comptabilise pas les prélèvements en régime de liberté.

Afin de vérifier la cohérence des données entre les bases et corriger les incohérences, dans les cas où cela se présente, il a été décidé de les comparer à partir d'un champ supposé commun qu'est le n°SIRET des exploitations (sauf pour la base de la DDT 37 où cette information n'est pas connue). Le traitement a d'abord été réalisé pour les années

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

2008 à 2011 avec les bases de données de l'Agence de l'Eau et de l'Observatoire de l'Eau.

Les premiers éléments de comparaison concernant les nombre de SIRET sont repris ci-dessous :

Tableau 22 : Nombre de n°SIRET par années et par bases de données

	2008	2009	2010	2011
AE Loire Bretagne	634	608	585	574
Observatoire de l'Eau	660	660	657	652
Nombre de SIRET communs	388	396	406	414

Il s'avère que le champ supposé commun du numéro de SIRET ne présente pas de similitude complète entre les deux bases de données comparées. Une autre comparaison a été effectuée avec la base de données de la DDT 49 en prenant l'année 2011 comme année de comparaison entre les 3 bases.

La DDT 49 a répertorié 768 n° SIRET différents dans sa base de données. Sur ces 768 n°SIRET, 400 sont communs avec la base de l'Agence de l'Eau et 450 sont communs avec la base de l'Observatoire de l'Eau. Enfin, la concordance des n°SIRET entre les trois bases est réelle pour 350 d'entre eux. Le nombre cumulé de n° de SIRET entre les 3 bases confondues pour l'année 2011 est de 1080 numéros. La comparaison des volumes totaux prélevés par numéro de SIRET entre les différentes bases de données ne s'avère pas concluante non plus.

Les bases de données des DDT et en particulier celles de la DDT 49 ont été complétées de leurs données manquantes avec les deux autres bases de données. La localisation des prélèvements étant faite au niveau de la parcelle pour la DDT 49 il a été nécessaire de croiser le fichier avec le cadastre afin de pouvoir associer des coordonnées aux différents ouvrages. Un travail minutieux de localisation a été effectué pour les points non renseignés automatiquement suite à des erreurs de localisation cadastrales.

Afin de répartir les prélèvements donnés en volumes annuels sur les 6 mois d'irrigation s'étalant d'avril à septembre, des données de relèves mensuelles des compteurs effectuées par la DDT 37 ont été utilisés. Ainsi les prélèvements ont été répartis de cette façon.

Tableau 23 : Répartition des volumes prélevés annuellement sur les 6 mois d'irrigation

	avril	mai	juin	juillet	août	septembre
Répartition moyenne des volumes (en %)	4	11	14	31	33	7

Afin d'estimer les volumes prélevés sur les 10 dernières années, les données de l'agence de l'eau Loire Bretagne, en particulier les variations des volumes globaux prélevés annuellement depuis 2002, ont été utilisés et rapportés proportionnellement au volume de l'année de référence 2011 défini à partir des données des deux DDT.

Ce travail a conduit à une nouvelle estimation des volumes prélevés pour les besoins agricoles pour l'année de référence 2011.

5.1.4.6. Bilan des prélèvements pour les usages agricoles

La synthèse des prélèvements conduit à l'estimation des volumes prélevés suivants :

Tableau 24 : Estimation des volumes prélevés pour l'irrigation par type de ressource et selon la source des données

type de ressource	max sur dernières années (source DDT49-37)	max sur 3 dernières années (volumes 2010 source AELB)	moyenne volumes DDT-AELB	chiffres déclarés 2011 rapport observatoire 2012
agricole sur Eau souterraine	17 788 241	15 213 773	16 501 007	12 081 017
agricole sur cours d'eau	12 839 057	8 556 010	10 697 533	7 764 169
agricole reseaux collectifs	4 580 463	4 580 463	4 580 463	4 477 617
agricole sur plan d'eau	1 944 866	2 570 350	2 257 608	1 713 408
total *	37 152 627	30 772 996	34 036 611	26 036 211

* hors lutte antigel (arboriculture, viticulture, autres)

Cette synthèse intègre les prélèvements effectués dans le cadre des réseaux collectifs (réseaux BBJ, SIERIB, etc.).

La structure du questionnaire d'enquête DDT 49 a pu conduire certains des déclarants à fournir un volume maximal connu sur les dernières années sans doute supérieur au volume de 2011 considéré comme référence. C'est pourquoi le volume total apparaît supérieur aux volumes déclarés à l'Agence de l'eau et à l'observatoire de l'eau.

Après arrondi des valeurs et pour tenir compte des meilleures estimations de chacune des bases pour les différents types de ressources, nous proposons de retenir les valeurs moyennes entre volumes DDT consolidé et volumes Agence de l'Eau.

Cela nous a conduit à appliquer des coefficients correctifs aux séries de valeurs précédemment introduites dans le modèle basés sur les chiffres DDT49 et 37.

Ces coefficients (indiqués en dernière colonne) s'appliqueront sur toutes les séries de valeurs de débit prélevé par ouvrage individuel pour 2011 et toutes les années antérieures suivant la tendance générale établie d'après les volumes annuels déclarés à l'Agence de l'Eau depuis 1990 (graphique ci-après avec comparaison avec la tendance de volumes déclarés au niveau de l'observatoire de l'eau).

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

Tableau 25 : Estimation des volumes prélevés pour l'irrigation par type de ressource et selon la source des données

type	volumes (m3) enquêtes DDT	volumes 2010 AELB	moyenne (DDT - AELB)	coefficient correctif proposé
agricole sur Eau souterraine	17 790 000	15 210 000	16 500 000	93%
agricole sur cours d'eau	12 840 000	8 560 000	10 700 000	83%
agricole reseaux collectifs	4 580 000	4 580 000	4 580 000	100%
agricole sur plan d'eau	1 940 000	2 570 000	2 255 000	116%
total	37 150 000	30 920 000	34 035 000	

5.1.4.1. Données intégrées dans le modèle

Afin d'estimer les volumes prélevés sur les 10 dernières années, les données de l'agence de l'eau Loire Bretagne, en particulier les variations des volumes globaux prélevés annuellement depuis 1995, ont été utilisés et rapportés proportionnellement au volume de l'année de référence 2011 défini à partir des données des deux DDT.

La donnée a été entrée dans le modèle par point de prélèvement et par couche. Les prélèvements concernent les mois d'avril à septembre inclus.

Le graphique ci-dessous présente l'évolution générale des volumes prélevés sur le bassin de l'Authion entre 1990 et 2011 et traduit également l'amélioration de la connaissance des prélèvements.

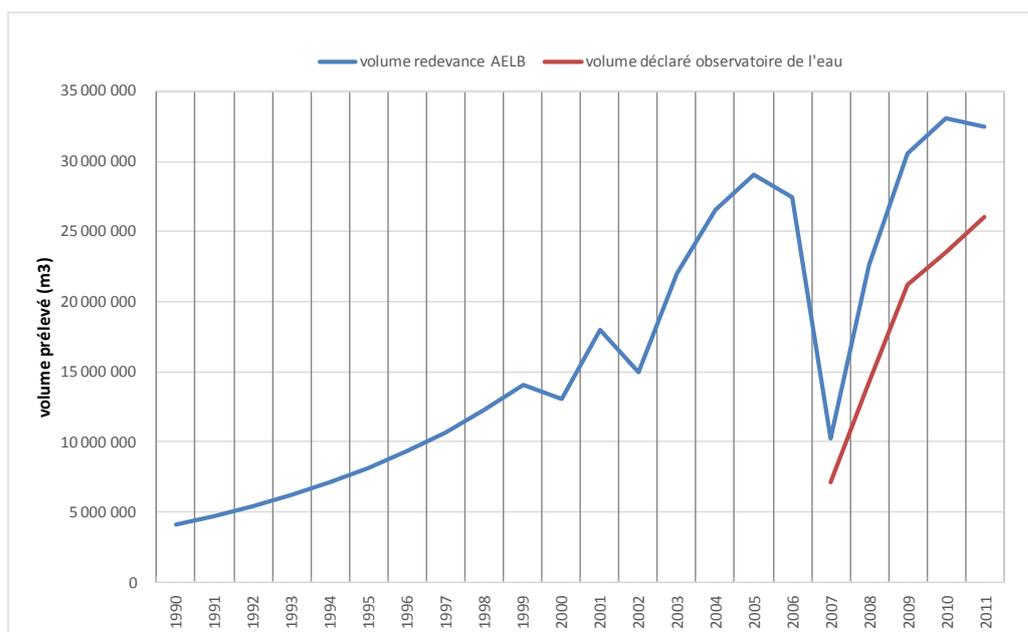


Figure 39 : Evolution générale des volumes prélevés sur le bassin de l'Authion entre 1990 et 2011 introduits dans le modèle

5.1.5. Prélèvements pour l'arboriculture et le maraîchage

Les volumes prélevés pour l'irrigation des arbres fruitiers et des maraîchers ne sont pas recensés en tant que tels par l'Agence de l'Eau (le terme générique arboriculture ne couvre pas tous ces prélèvements). Pour autant ils méritent d'être pris en considération eu égard aux superficies dédiées à ces activités dans le bassin versant de l'Authion.

Les chambres d'agricultures ne disposent pas à ce jour de base de données recensant et localisant précisément les ouvrages prélevant dans les eaux superficielles et les eaux souterraines pour ces usages.

Une étude a néanmoins été menée sur le bassin versant de l'Authion, destinée à définir globalement les besoins en irrigation pour le maraîchage, l'arboriculture et l'horticulture.

Afin de définir les volumes d'eau prélevés pour l'arboriculture et le maraîchage, nous avons choisi l'approche suivante qui semblait être la plus pertinente :

- Pour le maraîchage : identification des îlots RPG pour lesquels une superficie est dédiée au maraîchage, calcul des besoins en eau en fonction des coefficients issus de l'étude précitées et des superficies dédiées au maraîchage, répartition égale de ces volumes sur les mailles correspondant à l'îlot RPG. Attention : les superficies dédiées au maraîchage ne sont pas définies à l'échelle de l'îlot RPG, cela nous conduit donc à répartir les volumes prélevés sur l'ensemble de l'îlot.
- Pour l'arboriculture : identification des zones dédiées à l'arboriculture grâce aux superficies dédiées aux arbres fruitiers dans Corine Land Cover (code 222, situation pour l'année 2006) puis comparaison avec les orthophotoplans.

Ce travail nous permet d'obtenir les volumes prélevés en moyenne pour les mois de mai à septembre pour l'irrigation des zones maraîchères et des vergers pour l'année 2006. Nous n'avons effectivement pas de données sur l'évolution des superficies destinées à ces usages sur les dix dernières années. Cela nous conduit à considérer les mêmes volumes mensuels tous les ans.

Par ailleurs, nous ne disposons d'aucune information concernant l'aquifère capté. Il peut même s'agir de prélèvements dans le réseau hydrographique. Par défaut, nous ne pouvons que considérer que le prélèvement se fait dans la formation aquifère affleurante au niveau de l'îlot RPG. Les risques de se tromper sont d'autant plus élevés lorsqu'un îlot RPG est localisé au niveau de plusieurs couches affleurantes.

Ainsi, les données relatives à l'arboriculture et au maraîchage doivent être traitées avec beaucoup de prudence.

5.2. Bilan des apports et intégration dans le modèle

5.2.1. Rejets des stations d'épuration

Les rejets des stations d'épuration dans le réseau hydrographique du bassin versant de l'Authion ont été considérés dans la modélisation. Ils correspondent en effet à des apports d'eau supplémentaires alimentant les cours d'eau.

Ainsi, les rejets d'eau provenant de 65 stations d'épuration ont été pris en compte. Les débits connus pour 2011 ont été utilisés sur l'ensemble des années considérées dans la modélisation (1995-2011).

Les volumes en jeu représentent environ 9 700 000 m³ sur l'année 2011.

5.2.2. Compensations et soutiens d'étiage

Les compensations et soutiens d'étiage dans les secteurs alimentés par le réservoir de Rillé ou les prises d'eau en Loire représentent des volumes conséquents qui modifient sensiblement les bilans qui seraient obtenus sans ces apports. Si le réservoir de Rillé se remplit à partir de volumes d'eau de surface et de nappe incluses provenant de masses d'eau incluses dans le territoire du SAGE Authion et donc ne modifient pas globalement le bilan « naturel » sur le bassin mais ne font que différer dans le temps les volumes disponible de la période hivernale à la période estivale, il en va différemment des apports depuis la Loire dont les volumes proviennent d'une autre masse d'eau.

Les graphiques ci-après illustrent les volumes en jeu et leurs variations saisonnières et annuelles sur les années de suivi disponibles au niveau des prises d'eau. **Les apports provenant de la Loire par l'intermédiaire des trois prises d'eau représentent pour l'année 2011 environ 21 300 000 m³.**

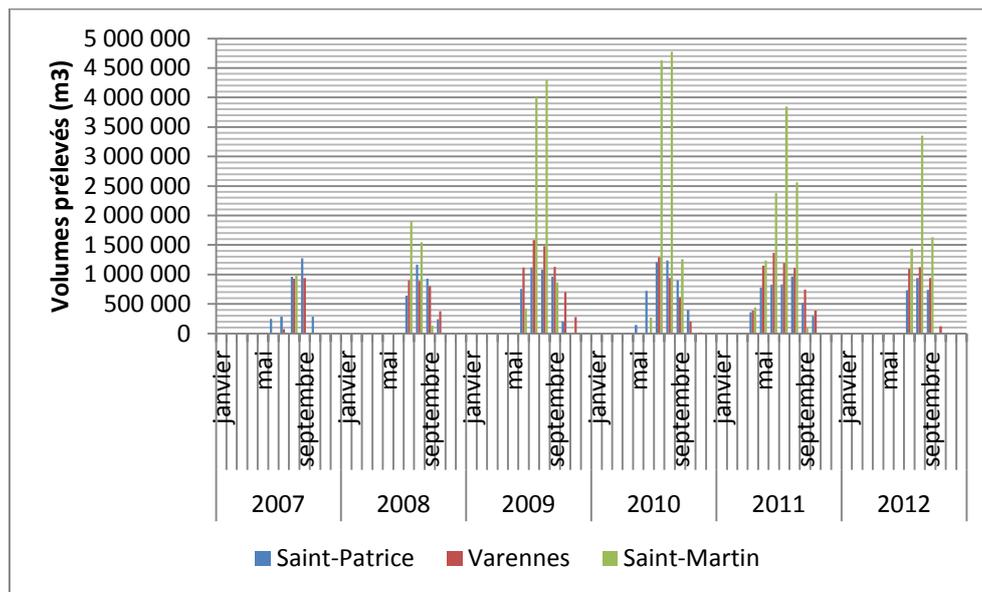


Figure 40 : Volumes prélevés mensuellement dans la Loire aux trois prises d'eau depuis 2007

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

Les graphiques ci-dessous illustrent les débits restitués par la retenue des Mousseaux depuis 2007 et les variations des cotes du plan d'eau correspondants :

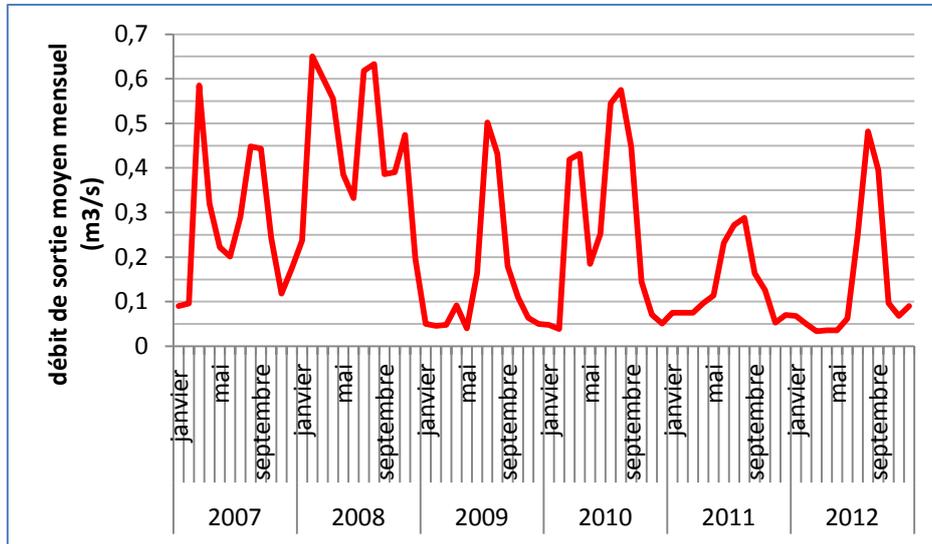


Figure 41 : Débit moyen mensuel en sortie de la retenue de Rillé depuis 2007

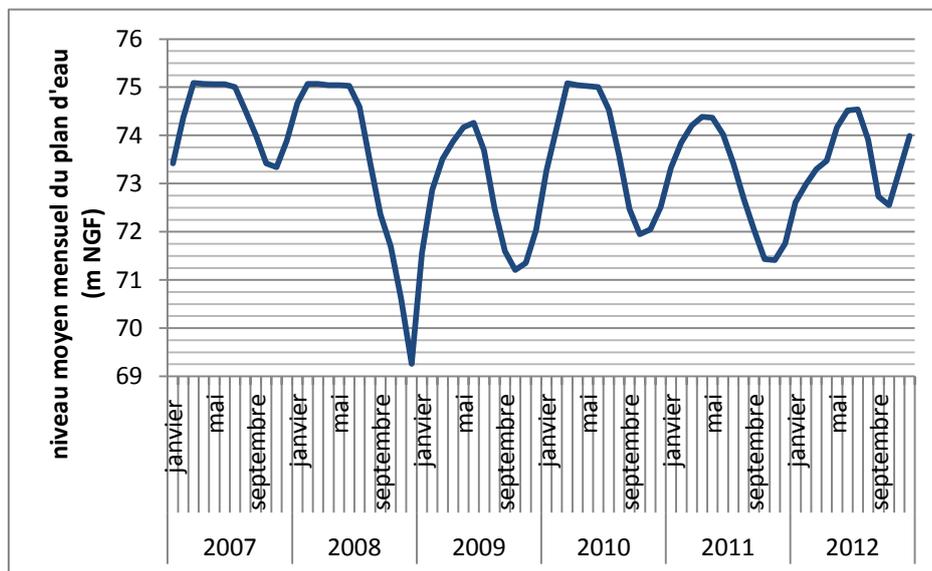


Figure 42 : Niveau moyen du plan d'eau de Rillé depuis 2007

5.3. Synthèse des prélèvements et apports

Le tableau ci-dessous synthétise les prélèvements et apports considérés dans le modèle pour l'année de référence qu'est 2011.

Tableau 26 : Bilan des apports et rejets considérés dans le modèle

Type		Volumes 2011 (m ³)
Prélèvements	Usage industriel	777 451
	Usage AEP	5 018 349
	Usage domestique	3 987 598
	Usage agricole sur les eaux souterraines	17 788 241
	Usage agricole sur les cours d'eau	12 839 057
	Usage agricole sur les réseaux collectifs	4 580 463
	Usage agricole sur les plans d'eau	1 944 866
Total prélèvements		46 936 025
Apports	Lachers de Rillé*	700 000
	Rejets STEP	9 700 000
	Apports de Loire (3 prises d'eau)	21 300 000
Total apports		31 700 000
Bilan		- 15 236 025

*: les apports par les lachers du réservoir de Rillé sont calculés à partir des débits estivaux mesurés dépassant le débit réservé de 0,175 m³/s

5.4. Analyse de l'impact des prélèvements

L'impact des prélèvements peut être évalué à plusieurs échelles de temps et d'espace au travers de plusieurs indicateurs.

5.4.1. Par l'analyse des débits des cours d'eau en étiage

Les simulations effectuées pour le mois d'août 2011 permettent d'établir pour tout point du réseau hydrographique les débits « naturels » reconstitués qu'on observerait en l'absence de tout prélèvement et ceux que l'on simule en appliquant les prélèvements connus pour le mois d'août 2011 (et tous ceux des mois et années antérieurs qui peuvent avoir un effet cumulé à long terme sur le niveau des nappes d'accompagnement).

A titre indicatif, on obtient les volumes suivants appliqués sur le mois d'irrigation d'août.

Cette analyse croisée est illustrée et spatialisée par les cartes sur les deux figures suivantes, également fournies dans l'atlas cartographique hors texte.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

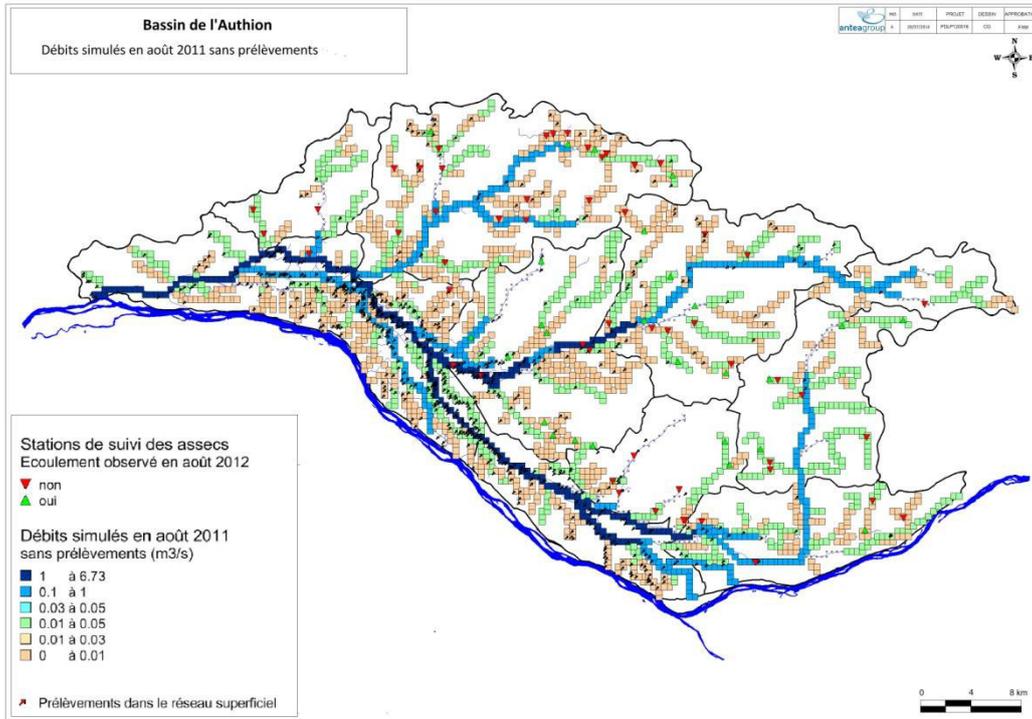


Figure 43 : Débits naturels reconstitués (hors prélèvements) simulés à août 2011

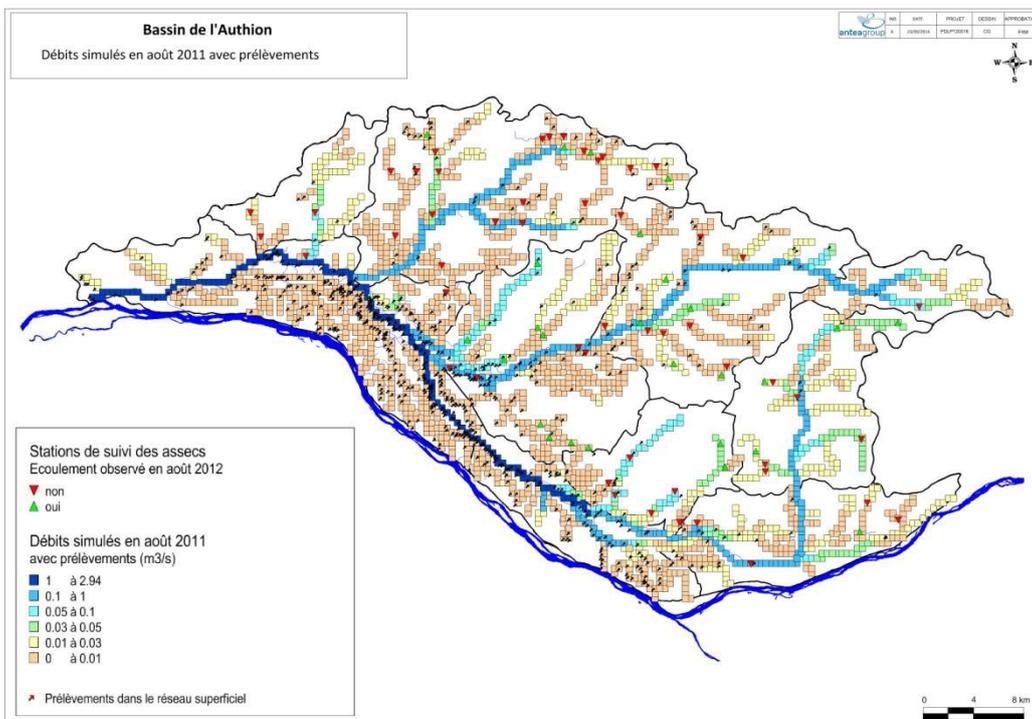


Figure 44: Débits influencés par les prélèvements simulés à août 2011

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion
Rapport final A70443/F*

L'examen comparatif de ces deux figures fait ressortir des baisses significatives sur les cours d'eau non réalimentés (Changeon, Couasnon) mais également sur le Lathan dont les lâchers de Rillé ne suffisent pas à compenser les baisses de débit. L'axe de l'Authion principal dans le val d'Authion enregistre aussi des baisses de débit mais l'interprétation est complexe en raison du grand nombre d'ouvrages hydrauliques maintenant artificiellement les cotes de fil d'eau en étiage.

Le tableau ci-après exprime ces résultats en pourcentage de baisse de débit par rapports aux débits naturels reconstitués sur les stations hydrométriques de référence.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion –
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Tableau 27 : Impacts des prélèvements sur les débits d'étiage aux stations de référence

Station	Sup. BV (km ²)	Unité de gestion	periode de mesures	1/10e module (m ³ /s) influencé mesuré	QMNA 5 (m ³ /s) ou Q mensuel (m ³ /s) influencés mesuré	période de calcul	QMNAS (m ³ /s)	1/10e module désinfluencé (m ³ /s)	1/10e module influencé (m ³ /s)	impact prélèvements et rejets	DB ou DMB (m ³ /s) retenu
							simulé MARTHE	Simulé MARTHE	Simulé MARTHE	en%	
L'Authion à Pont Bourguignon	1499	Authion aval	1967-1972 et 2009-2014	0,57	0,6	2003-2012	0,41	1,50	0,70	-53%	0,5*
L'Authion aval du Gué de Fresne	477	Authion moyen	2009-2012	0,19		2003-2012	0,10	0,28	0,09	-70%	0,28
L'Authion à l'amont du Gué de Fresne (=Authion+ canal 100 + Authionceau)	477	Authion moyen				2003-2013	0,40	0,76	0,23	-66%	0,50
Le Lane à Pont de Malheur et affluent sud	129	Lane				2003-2012	0,17	0,26	0,22	-16%	0,26
Aulnaies à Montevroult et Etang à Les Gannes	57	Aulnaies, Etang et affluents				2003-2012	0,05	0,06	0,05	-19%	0,06
Le Couasnon à Gée	222	Couasnon et affluents	2009-2012	0,09	0,126	2003-2012	0,12	0,11	0,08	-27%	0,11
Le Tarry à Mazé	28	Couasnon et affluents				2003-2012	0,00	0,02	0,02	-18%	0,02
La Curée à la Fourcelle	473	Lathan aval et affluents				2003-2012	0,00	0,05	0,04	-22%	0,05
Le Lathan à Bois du Long		Lathan aval et affluents				2003-2012	0,31	0,20	0,16	-19%	0,20
Le Lathan à Vernantes /Moulin Guet	291	Lathan moyen et affluents	2009-2012	0,19	0,41	2003-2012	0,34	0,17	0,13	-19%	0,17
Le Lathan sur la digue des Mousseaux	60	Lathan Amont de Rillé	juil-11		0,18	2003-2012	0,04	0,04	0,02	-48%	0,04
Les Loges RD10	74	Bassin des 3 rus				2003-2012	0,06	0,03	0,02	-15%	0,03
L'Anguillère RD10	21	Bassin des 3 rus				2003-2012	0,10	0,02	0,01	-1%	0,02
L'Automne RD10 (2 bras)	29	Bassin des 3 rus				2003-2012	0,15	0,03	0,03	-7%	0,03
Le Changeon au Moulin Boutard	146	Chageon et affluents				2003-2012	0,26	0,06	0,05	-20%	0,25
Le Changeon au Paluau	96	Changeon et affluents				2003-2012	0,17	0,04	0,03	-28%	0,16

*selon arrêté

Les impacts de prélèvements exprimés en % du 1/10^e du module interannuel s'établissent entre 6% et 30% pour les affluents en secteurs non réalimentés avec une moyenne de 24%. Sur le Val d'Authion, les impacts apparents s'établissent au-delà de 50%. Ces impacts ne sont pas significatifs étant donné la situation artificialisée des canaux.

5.4.2. Par l'analyse des échanges nappes – cours d'eau en étiage

Il s'agit de quantifier l'évolution avec et sans influence des prélèvements en étiage de référence (août 2011) de deux phénomènes inverses :

- les débits de drainage des nappes d'accompagnement par les cours d'eau en étiage,
- les débits d'infiltration des cours d'eau vers les nappes sous-jacentes au lit de cours d'eau.

Cette analyse est illustrée ci-dessous en termes d'évolution soit dans le sens d'une aggravation de l'infiltration ou dans le sens d'une diminution du débordement des nappes dans les cours d'eau.

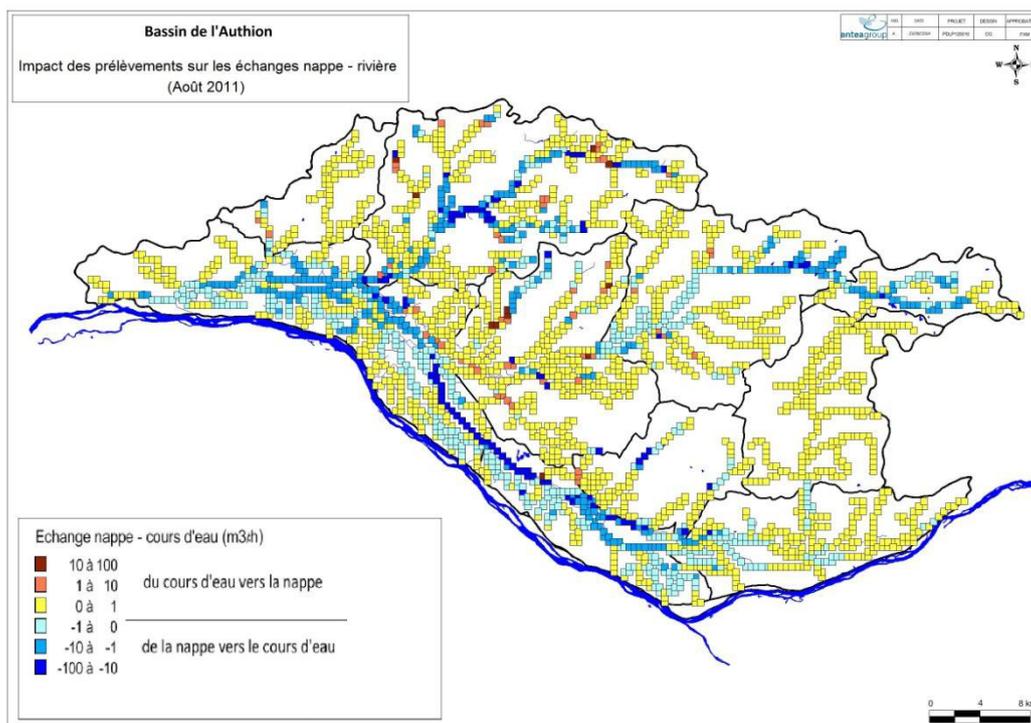


Figure 45 : Impact des prélèvements en terme d'influence sur les échanges entre nappes et cours d'eau en étiage (août 2011)

L'examen de cette carte, qui ne constitue qu'un « **cliché** » **instantané représentatif d'une situation d'étiage particulière** (et moyennement prononcée) permet de mettre en évidence que la majorité des tronçons de cours d'eau sont impactés dans le sens d'un accroissement des pertes de débit par infiltration vers la nappe sous-jacente et pour une minorité dans le sens d'une réduction des apports de nappes d'accompagnement.

La majorité des secteurs concernés voient un impact sur les débits de débordement ou d'infiltration inférieur à $1 \text{ m}^3/\text{h}$ (en orange clair et en bleu sur la figure ci-dessus).

Sur certains secteur du Val d'Authion, du Couason ou du Lathan moyen et aval, les impacts sont en revanche supérieurs à $1 \text{ m}^3/\text{h}$.

Pour ces secteurs, seul le soutien artificiel (lâchers de Rillé, réalimentation par la Loire, rejets de STEP) permet d'éviter une rupture potentielle d'écoulement.

En valeur absolue et au global de tous les tronçons de cours d'eau concernés, cela représente :

- des diminutions de débit de débordement représentant un total $2100 \text{ m}^3/\text{h}$ soit un déficit d'apports pour les cours d'eau sur un mois d'août 2011 de l'ordre de $1\,500\,000 \text{ m}^3$ environ,
- des augmentations de l'infiltration des cours d'eau vers les nappes représentant environ $14 \text{ m}^3/\text{h}$ soit une perte supplémentaire de débit des cours d'eau de $10\,400 \text{ m}^3$.

Par ailleurs, des zones de débordement de nappe peuvent exister hors réseau hydrographique des cours d'eau, par exemple des zones sourceuse diffuses ou alimentant des zones humides hors cours d'eau. Elles ne sont pas représentées sur la carte précédente.

Au total, le volume de déficit net global de débit pour les cours d'eau sur tout le territoire du bassin du SAGE Authion est d'environ $260\,000 \text{ m}^3$ pour un mois d'août 2011.

Les prélèvements cumulés pour l'irrigation consolidés en août 2011 représentent $10\,445\,830 \text{ m}^3$ et ceux pour l'AEP et l'industrie représentent $498\,800 \text{ m}^3$ soit au total $10\,944\,630 \text{ m}^3$. Le déficit net calculé pour le débit des cours d'eau représente donc 11.3 % du volume total prélevé pour l'irrigation et 10% du volume total des prélèvements.

A noter que, pour une situation d'étiage plus prononcé, les tendances d'évolution n'ont pas de raison de s'inverser, sauf modification significative des conditions de réalimentation anthropique, mais plutôt de s'amplifier : les cours d'eau s'infiltreraient encore plus vers des nappes d'accompagnement plus basses.

5.4.3. Par croisement des suivis d'assecs avec les débits d'étiage simulés

Les assecs partiels ou totaux de cours d'eau mis observés sur le terrain depuis quelques années sont l'expression d'un phénomène pouvant résulter :

- du tarissement naturel lié à un déficit pluviométrique prolongé (cas surtout rencontré en tête de bassin versant pour des substrats géologiques peu aquifères,
- de l'infiltration d'amont vers l'aval du cours d'eau vers une nappe dont le niveau est déprimé par des prélèvements,
- de la disparition des flux de débordement de nappe(s) par abaissement général de celle(s)-ci.

Les figures ci-dessous illustrent pour les deux situations - avec prélèvements/sans prélèvements - les points de suivi d'assec (situation à août 2011 et août 2012 confondue) aux mailles de cours d'eau pour lesquelles le modèle simule un débit moyen mensuel inférieur à $2 \text{ m}^3/\text{h}$ pour le mois d'août 2011.

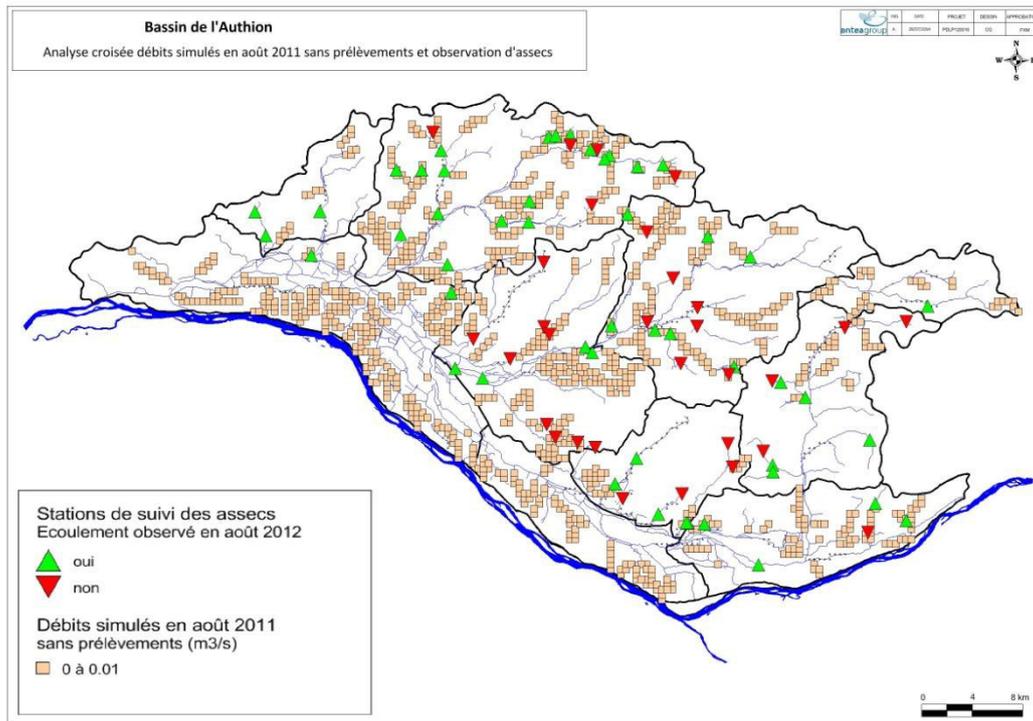


Figure 46 : Analyse comparative des débits simulés inférieurs à $2 \text{ m}^3/\text{h}$ en août 2011 et des observations d'assecs – situation sans prélèvements

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

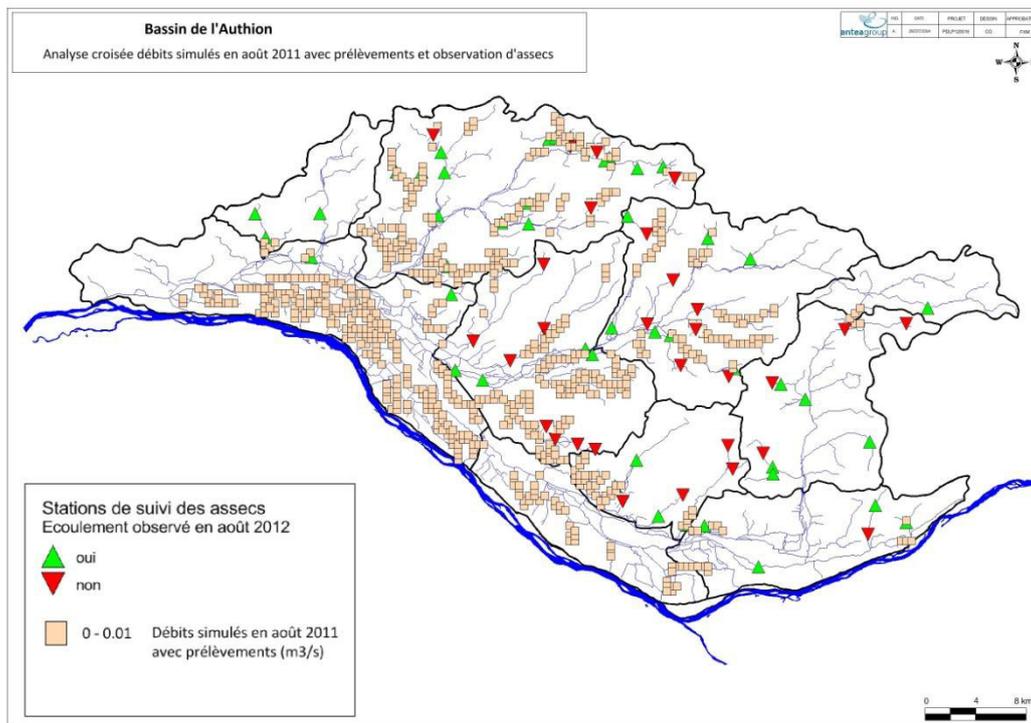


Figure 47 : Analyse comparative des débits simulés inférieurs à 2 m³/h en août 2011 et des observations d'assecs – situation avec prélèvements

La comparaison des deux cartes permet de visualiser l'impact des prélèvements sur les débits les plus faibles. En situation non influencée par le modèle, il semble que les cours d'eau ne tarissent que faiblement et ce, principalement en tête de bassin versant. A contrario, en considérant les prélèvements, certains affluents du Lathan et du Couason et toute la partie aval de l'Authion présente des débits faibles sur les anaux secondaires.

La concordance débits simulés à août 2011 et ses points d'assecs observés à l'été 2012 confondus n'est pas évidente en première analyse.

Dans les faits, les observations d'assecs ne sont pas suivies en continu sur un mois ni sur tous le linéaire de tous les cours d'eau et le modèle simulant un débit moyen nul est une hypothèse extrême dûe au pas de temps de calcul mensuel.

Cette approche montre qu'un grand nombre de tronçons de cours d'eau ont un débit simulé très faible en étiage qui peuvent se corrélent ponctuellement avec des observations d'assecs. Cependant, le modèle ne peut appréhender plus finement des conditions d'écoulement aussi ténues observables seulement sur le terrain et fortement conditionnés par la nature du lit mineur des cours d'eau, l'intensité des prélèvements pouvant se concentrer sur quelques jours (notamment pour les semences spécialisées) et sous l'influence de la régulation d'ouvrages hydraulique sur le Val d'Authion.

6. Définition des unités de gestion cohérente

6.1. Découpage par masses d'eaux superficielles

6.1.1. Par la gestion actuelle des arrêtés cadre sécheresse

Les arrêtés cadre sécheresse ont établis des sous-bassins principaux (calés à l'échelle départementale) pour l'application de débits d'alerte induisant des restrictions d'usage. Ces sous-bassins ont une justification hydrologique basée sur le réseau hydrographique de surface et les limites de bassins-versants topographiques. Cette première échelle de découpage a le mérite d'appliquer des règles claires et facilement assimilables par un large public concerné. Elle a pour inconvénient d'imposer unilatéralement des règles et restrictions pour des secteurs qui peuvent présenter des différences de contextes paysagers, morphologiques, hydrologiques ou hydrogéologiques significatifs.

Actuellement, le bassin-versant de l'Authion est découpé en 6 sous-bassins pour la gestion des arrêtés cadre sécheresse :

- Maine et Loire : bassins versants de l'Authion, du Couasnon et du bas Lathan,
- Indre et Loire : bassins versants du Changeon, du Lane et du haut Lathan.

6.1.2. Par l'état des lieux du SAGE et points nodaux du SDAGE

Le découpage suivant l'état des lieux du SAGE Authion reprenant la définition des points nodaux du SDAGE Loire-Bretagne est cohérent, à quelques découpages de sous-bassins mineurs près, avec le découpage des masses d'eaux superficielles comprend 14 sous-bassins sur le territoire du SAGE Authion.

Ce niveau de découpage apparaît relativement pertinent en première analyse du point de vue hydrologique :

- les superficies de ces sous-bassins sont relativement homogènes,
- leurs réalités morphologiques et hydrographiques sont relativement discriminantes,
- leur fonctionnement hydraulique est relativement homogène (cours d'eau réalimentés ou non, écoulement libre ou non),
- leurs contextes géologiques sont mieux circonscrits qu'avec le niveau de découpage précédent.



L'atlas cartographique présente le découpage des masses d'eau superficielles identifiées par le SDAGE Loire-Bretagne.

6.1.3. Par la définition de sous-bassins unitaires pour le modèle de cette étude

Le découpage systématique en sous-bassins et tronçons unitaires exposé précédemment dans l'analyse hydrologique a abouti à un nombre de 715 sous-bassins unitaires. Ce nombre serait encore démultiplié si on considère les variations de substrat géologique (ce découpage a d'ailleurs été nécessaire pour les besoins de l'outil de modélisation nappes-cours d'eau).

Un tel niveau de découpage n'apparaît pas pertinent ni réaliste dans l'optique d'une gestion efficace d'un nombre réaliste de points de contrôle de suivi des actions sur les nappes et les cours d'eau.

S'ils ne définiront pas *in fine* des unités de gestion cohérentes, ces sous-bassins et tronçons unitaires peuvent néanmoins être utilisés pour des études pilote ou de contrôle des actions engagées (ou en tant qu'unité hydraulique cohérente pour la gestion des ouvrages). En effet, il est possible de disposer localement :

- de données piézométriques ou débitométriques de référence précises,
- d'une échelle d'analyse dans le modèle également relativement bien définie (maille de 400 m de côté et réseau hydrographique à représenter dans ses dimensions et cotes réelles).

Par ailleurs le croisement avec les autres typologies de découpage ci-après peuvent amener à regrouper et dissocier certains de ces sous-bassins unitaires au sein de l'une ou l'autre des unités de gestion cohérentes qui seront retenues si une logique commune les relie.



L'atlas cartographique présente le premier niveau de découpage des masses d'eau superficielles pour la modélisation. Un second découpage à plus grande échelle a également été réalisé.

6.2. Découpage par masses d'eaux souterraines

6.2.1. Par les bassins versants souterrains par aquifère

Le découpage par bassins versants souterrains a été établi à partir de la piézométrie au sein de chaque couche géologique dans le modèle de nappes en régime permanent qui a été calé sur des cartes et points de mesures piézométriques les plus anciennes connues. Chaque couche géologique, même les couches réputées peu perméables possèdent une charge piézométrique. Seules les piézométries de nappe des couches désignées aquifères ou semi-perméables sont représentées dans l'atlas cartographique car ce sont les plus importantes en termes d'enjeux et de volumes mobilisables. Pour chaque nappe, la piézométrie moyenne a permis de délimiter des sous bassins versants souterrains suivant les lignes de partage des eaux souterraines (lignes de crêtes piézométriques).

6.2.2. Par les bassins versants souterrains de nappes libres affleurantes ou nappes captives

Le découpage suivant l'état captif ou libre des nappes contenues dans les différents aquifères et suivant le caractère affleurant ou non des formations ne s'avère pas être très pertinent et discriminant en première analyse au regard des piézométries moyennes de chaque nappe.

En effet, le drainage général des nappes sur la totalité du territoire du SAGE Authion et notamment de plusieurs nappes successivement affleurantes à flanc de coteaux impose des axes d'écoulements souterrains globalement superposés avec les principaux cours d'eau de l'Authion : Changeon, Lathan, Couasnon, Aulnaies puis Authion et Loire.

Par la suite, les simulations du modèle en régime transitoire intégrant tous les prélèvements pourraient induire des modifications des conditions d'écoulements souterraines (tant dans les échanges horizontaux que verticaux entre couches géologiques) pouvant nuancer ou revoir cette première analyse et justifier des découpages plus fins pour agir localement sur des déficits ou désordres identifiés.

6.3. Découpage par les usages et la gestion de l'eau

6.3.1. Par secteurs réalimentés ou non-alimentés

Le réseau hydrographique de l'Authion, dans sa configuration hydrologique actuelle peut être décomposé en deux grands réseaux :

- un réseau « naturel » dont les débits évoluent proportionnellement au niveau de précipitations efficaces et aux soutiens des nappes en étiage,
- un réseau « modifié », comprenant le Lathan à l'aval du complexe des Mousseaux et le val d'Authion réalimenté par la Loire, dont les débits ne sont plus directement corrélables avec les conditions hydroclimatiques.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

La carte ci-dessous illustre le réseau réalimenté en Val d'Authion et le Lathan aval de Rillé :



Figure 48 : Localisation du réseau hydrographique réalimenté ou soutenu en étiage
(Source état des lieux SAGE Authion)

Cette distinction dans les conditions hydrologiques est importante pour évaluer l'aptitude du réseau hydrographique à passer les épisodes de déficit hydrique dus aux conditions climatiques et il est également utile pour la compréhension et l'analyse fine des déficits qui peuvent être masqués par une réalimentation importante.

6.3.2. Par répartition des niveaux de prélèvements

Les niveaux de prélèvements sont globalement connus pour le territoire du SAGE Authion depuis plusieurs années avec les fichiers de redevance de l'Agence de l'Eau. Ils ont été encore affinés avec les actions menées par l'Observatoire sur l'Eau de l'Authion, notamment pour l'usage agricole. Enfin, la DDT 49 a entrepris une mise à niveau de la base de données Loi sur l'Eau dont le croisement avec les autres bases restent encore à travailler.

En attente de cette optimisation portant sur le géoréférencement, l'unité d'analyse possible reste l'échelle communale. Dans l'optique d'évaluer des grandes zones par intensité des prélèvements sans discriminer les ressources précisément, ce niveau d'échelle est suffisant.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

Il permet ainsi de dégager principalement 3 grandes zones : le cœur du val d'Authion autour de Beaufort-en-Vallée avec des volumes de prélèvements toutes ressources et usages confondus très importants, une vaste zone périphérique à celle-ci remontant le Val d'Authion, le Lathan aval et quelques autres affluents et enfin une zones à l'est et au nord avec des niveaux de prélèvements plus limités.

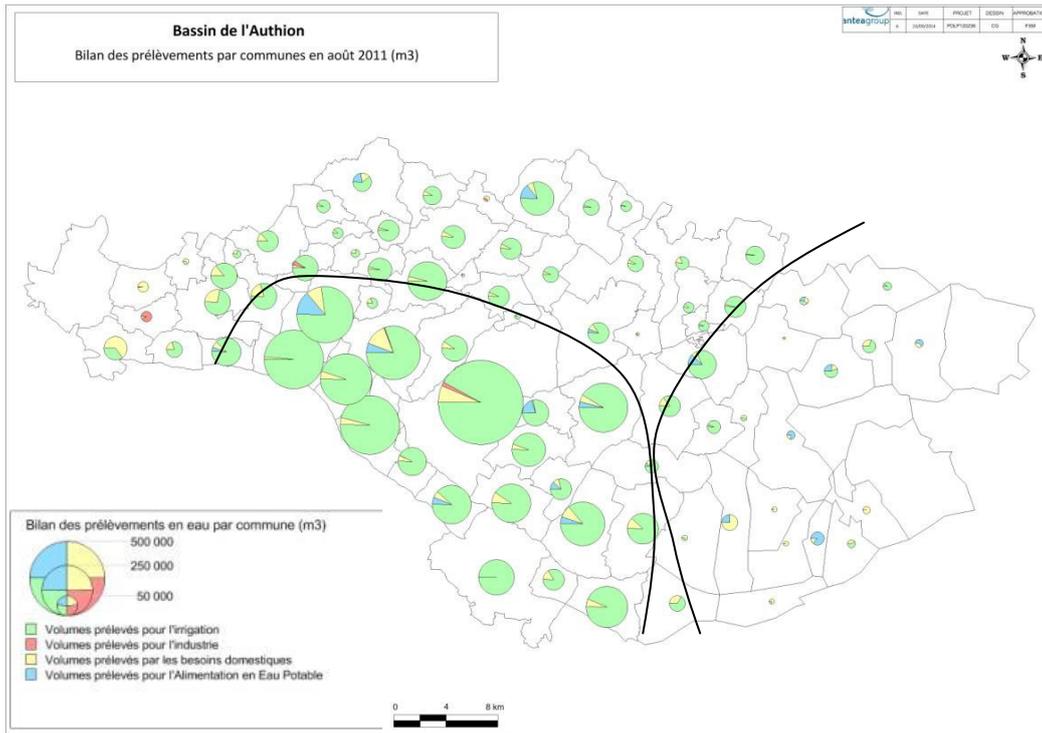


Figure 49 : Répartition par commune des volumes d'eau prélevés tous usages confondus pour le mois d'août 2011

6.3.3. Par impact des prélèvements

D'après l'analyse comparative des débits d'étiage d'août 2011 reconstitués sans prélèvements et avec prélèvements, il ressort que le Val d'Authion moyen et aval, le Couason, le Lathan moyen et aval et dans une moindre mesure le Changeon et le Lane sont les secteurs les plus impactés par les prélèvements.

Par ailleurs, il faut souligner que l'impact réel des prélèvements sur les débits des cours d'eau du Val d'Authion serait bien supérieur si les débits (et les niveaux) n'étaient pas soutenus par les prélèvements en Loire.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

6.3.4. Synthèse des découpages par masses d'eau et usages

La carte ci-dessous, également fournie en plus grand format dans l'atlas en annexe séparée superpose les découpages des principales unités identifiables par masses d'eau avec les usages cumulés en volume annuel.

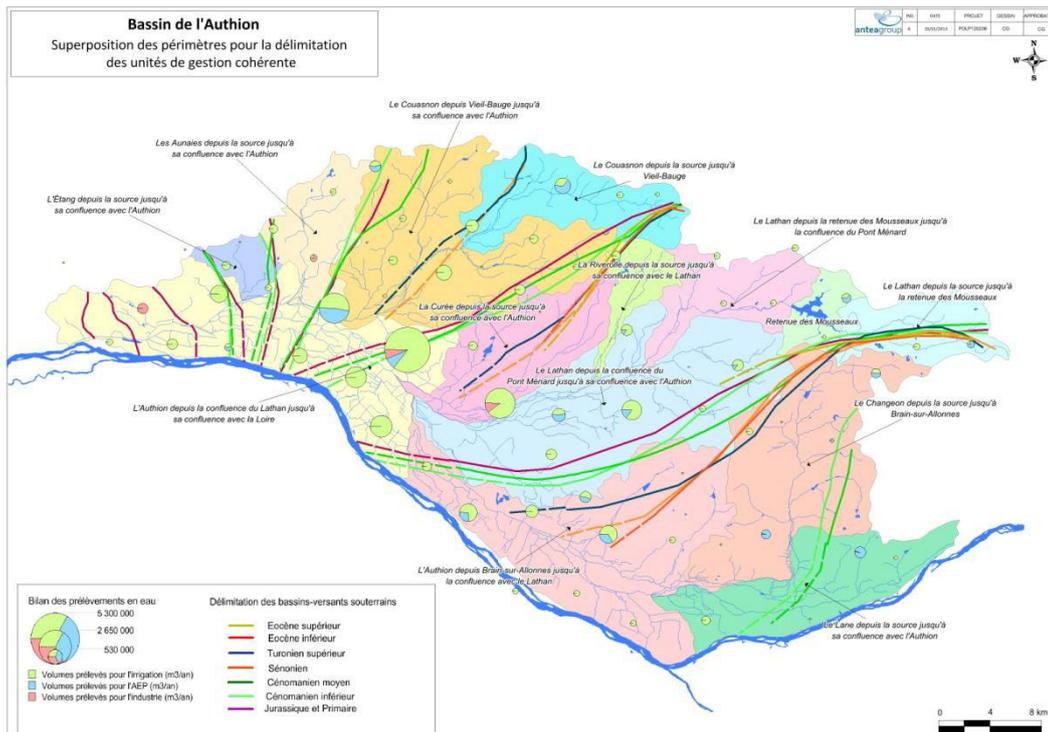


Figure 50 : Superposition des découpages d'unités par masses d'eau avec la répartition des usages

Cette représentation cartographique permet de tirer quelques enseignements :

- les découpages de sous-bassins versants souterrains principaux n'introduisent pas de différences majeures quand on les superpose aux bassins versants hydrographiques au niveau des affluents de l'Authion,
- quelques lignes de partages des eaux souterraines se distinguent néanmoins des contours de bassins versants hydrographiques principaux qui peuvent justifier un découpage différent en unités de gestion,
- la répartition des prélèvements suit une logique de développement des populations et de l'agriculture dans les parties basses et les moins pentues, cela induit une certaine superposition avec les découpages hydrographiques et également avec la limite entre secteur réalimenté et non réalimenté.

6.4. Proposition d'unités de gestion cohérentes

La proposition provisoire de découpage en unités de gestion cohérentes s'appuie sur les découpages précédemment présentés pour les masses d'eau superficielles et souterraines et le niveau de pression des prélèvements. Il a été également tenu compte dans la mesure du possible des points nodaux et stations de mesures actuelles du SAGE et notamment les points de suivi des débits de cours d'eau et des niveaux de nappe.

La carte suivante présente une proposition de contours des unités de gestion cohérente (en lignes noires) et leur proposition d'intitulé sur le fond coloré des principaux bassins versants hydrographiques qui sont un repère visuel aisé pour localiser les contours proposés.



Figure 51 : Délimitation provisoire des unités de gestion cohérente



Cette proposition d'unités de gestion est une base de travail qui a été soumise à réflexion du comité technique du 26/06/2013 et a conduit à la définition des unités de gestion définitives présentées ci-après après ajustements à la marge.

6.5. Ajustements demandés et difficultés rencontrées

6.5.1. Prise en compte des limites communales

Une des volontés exprimées lors de la réunion du Comité Technique de Suivi des Etudes du SAGE Authion (CTSE) a été d'étudier la possibilité de procéder au découpage des unités de gestion en respectant les limites communales de manière à faciliter leur suivi. Après analyse, il a été conclu que celles-ci ne pouvaient pas toujours être respectées car certaines se sont avérées non concordantes avec les découpages en bassins-versants souterrains et superficiels. Il a néanmoins été décidé de prendre en considération certaines des limites départementales dans le découpage des unités de gestion.

6.5.2. Création du bassin des trois rus

Les réflexions menées sur la base du premier découpage en unités de gestion à conduire à la création d'une nouvelle unité de gestion cohérente sur le bassin-versant de l'Authion. Il s'agit du bassin dit des trois Rus. Cette unité intégrée initialement au Val d'Authion moyen, possède trois affluents naturels qui se jettent directement dans le Val d'Authion sans confluer vers les cours d'eau principaux du bassin versant tel que le Changeon ou le Lathan. La partie Sud du bassin des trois Rus est délimitée par le pied de pente (lit majeur ou plaine alluviale de l'Authion).

Il s'agit d'une zone où l'environnement agricole est peu intensif, sur les parties amont notamment, contrairement à d'autres unités de gestion. C'est d'ailleurs avec son isolement, une des raisons qui a abouti au choix de sa création.

6.5.3. Limites entre Val d'Authion amont et moyen

Les limites entre le Val d'Authion amont et moyen ont été sujet à échange avec les services techniques du SAGE Authion et du SMLA. Les difficultés liées à ce découpage tenaient au fait qu'il fallait tenir compte :

- de la spécificité de l'alimentation à l'amont par le Lane,
- de l'influence des prises d'eau de Saint-Patrice et de Varennes,
- de la difficulté de cibler la limite non influencée du Changeon,
- de la difficulté d'appréhender finement les répartitions de l'eau dans le réseau hydrographique de secteur de Chanzé/Varennes.
- de la valorisation de la station de suivi des débits existante au Gué de Fresne.

6.5.4. Découpage du Val d'Authion aval

De la même manière, pour le découpage du Val d'Authion aval, il a fallu tenir compte :

- de la difficulté de délimitation avec les bassins versants du Lathan, de la Curée et du Couasnon ;
- de la présence de nombreux ouvrages transversaux et de bras de dérivation sur l'Authion et le réseau de canaux principaux et secondaires ;

6.6. Découpage final

Suite à la révision du découpage provisoire, 10 unités de gestion ont été délimitées :

- Aulnaies, Etang et affluents,
- Val d'Authion aval,
- Bassin des trois Rus,
- Lathan et ses affluents en amont de Rillé,
- Couasnon et ses affluents,
- Val d'Authion moyen,
- Lane et Changeon aval,
- Lathan moyen et ses affluents,
- Lathan aval et ses affluents,
- Le Changeon et ses affluents.

La carte ci-dessous présente le nouveau découpage définitif composé de 10 unités de gestion cohérente.

Certains membres du groupe technique de pilotage ont émis la remarque que dix unités de gestion pouvait représenter un nombre trop important à gérer, notamment si on doit appliquer plusieurs règles et actions concernant les débits et les niveaux de nappes par unité de gestion.

Une variante répondant à cette inquiétude pourrait consister à regrouper certaines unités de gestion. Ceci est illustré sur la carte ci-après par les contours en pointillés rouges délimitant 6 unités de gestion cohérente :

- le Couasnon et les Aulnaies,
- le val d'Authion aval, moyen, Lane et bassin des 3 rus,
- le Changeon,
- le Lathan moyen et aval (Lathan 49)
- le Lathan amont de Rillé (Lathan 37)

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F



Figure 52 : Découpage final du bassin versant de l'Authion en 10 unités de gestion cohérente

Dans la suite du rapport, une numérotation arbitraire a été adoptée pour faciliter la désignation des unités de gestion :

Tableau 28 : Numérotation des unités de gestion cohérente

Unité de gestion cohérente	Numéro associé
Val d'Authion aval	1
Val d'Authion moyen	2
Le Lane et Changeon aval	3
Aunaies, Etang et affluents	4
Le Couason et ses affluents	5
Le Lathan aval et ses affluents	6
Le Lathan moyen et ses affluents	7
Le Lathan et ses affluents en amont de Rillé	8
Bassin des Trois Rus	9
Le Changeon et ses affluents	10

Cette numérotation sert d'index pour décrire au sein de chaque unité de gestion les échanges entre couches géologiques par un index se décomposant ainsi : numéro de couche géologique_numéro d'unité de gestion (par exemple : le socle dans l'unité de gestion « Aunaies, Etang et affluents » est désigné par 124).

L'indexation est fournie dans le tableau ci-dessous :

Tableau 29 : Numérotation des sous-unités par couche géologique dans le modèle

N° des unités de gestion	Couche géologique											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	11	21				61	71	81	91	101	111	121
2	12	22						82	92	102	112	122
3	13	23			53	63	73	83	93	103	113	123
4		24				64	74	84	94	104	114	124
5				45	55	65	75	85	95	105	115	125
6	16	26		46	56	66	76	86	96	106	116	126
7			37	47	57	67	77	87	97	107	117	127
8			38	48	58	68	78	88	98	108	118	128
9					59	69	79	89	99	109	119	129
10			310	410	510	610	710	810	910	100	110	1210

6.7. Bilan des transferts d'eau et des volumes restitués par unités de gestion cohérente

Les bilans dans le tableau ci-après sont extraits des résultats de modélisation en régime permanent hors influences des prélèvements et rejets. Il s'agit donc d'un bilan « naturel » théorique en régime d'équilibre moyen interrannuel permettant de présenter les équilibres et débits/ volumes échangés entre masses d'eau hors influences externes.

Les transferts d'eau « naturels » concernent les échanges entre aquifères et les échanges entre aquifères et cours d'eau.

Les transferts artificiels de volumes d'eau entre masses d'eau non inclus dans ce bilan concernent les lachers estivaux de la retenue de Rillé, les prises d'eau en Loire vers l'Authion, les transferts vers la nappe alluviale depuis les canaux (même s'ils sont en partie naturels), les rejets de stations d'épuration, les transferts vers les réseaux collectifs d'irrigation sous conduites.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

Tableau 30: Bilans par unités de gestion cohérente en régime permanent

Type de flux	flux entrant (m3/h)	flux sortant (m3/h)	bilan (m3/h)	bilan (m3/an)
Unité de gestion 1 : Val d'Authion aval				
Débites /Charges imposées en Loire	14540	-27	14520	127 195 200
Débites /Limites de l'UG	2809	-896	1913	16 757 880
Débites recharge nappes	2636	0	2636	23 091 360
Débites Débordement nappes (hors rivière)	0	-779	-779	6 820 536
Débites Rivières -> Nappe	145	-18430	-18290	160 220 400
Bilan global	20130	-20131	0,40	3504,00
Unité de gestion 2 : Val d'Authion moyen				
Débites /Charges imposées en Loire	1665,00	-15,23	1650	14 454 000
Débites /Limites de l'UG	3381,00	-353,40	3028	26 525 280
Débites recharge nappes	1154,00	0,00	1154	10 109 040
Débites Débordement nappes (hors rivière)	0,00	-1793,00	-1793	15 706 680
Débites Rivières -> Nappe	221,90	-4261,00	-4039	35 381 640
Bilan global	6421,90	-6422,63	0,00	0,00
Unité de gestion 3 : Le Lane amont				
Débites /Charges imposées en Loire	972,50	-675,80	296,6	2 598 216
Débites /Limites de l'UG	3113,00	-766,10	2347	20 559 720
Débites recharge nappes	1517,00	0,00	1517	13 288 920
Débites Débordement nappes (hors rivière)	0,00	-2063,00	-2063	18 071 880
débit rivière->nappe (+) ou nappe-<rivière (+)	872,60	-2969,00	-2097	18 369 720
Bilan global	6475,10	-6473,90	0,60	5256,00
Unité de gestion 4 : Aulnaies, étangs et affluents				
Débites /Limites de l'UG	887,40	-1048,00	-160,60	1 406 856
Débites recharge nappes	805,90	0,00	805,90	7 059 684
Débites Débordement nappes (hors rivière)	0,00	-168,30	-168,30	1 474 308
débit rivière->nappe (+) ou nappe-<rivière (+)	170,30	-647,40	-477,10	4 179 396
Bilan global	1863,60	-1863,70	-0,10	-876,00
Unité de gestion 5 : Le Couaon et ses affluents				
Débites /Limites de l'UG	1434,00	-3006,00	-1572,00	13 770 720
Débites recharge nappes	3064,00	0,00	3064,00	26 840 640
Débites Débordement nappes (hors rivière)	0,00	-468,80	-468,80	4 106 688
débit rivière->nappe (+) ou nappe-<rivière (+)	1807,00	-2830,00	-1023,00	8 961 480
Bilan global	6305,00	-6304,80	0,20	1752,00
Unité de gestion 6 : Le Lathan aval et ses affluents				
Débites /Limites de l'UG	2841,00	-2833,00	8,00	70 080
Débites recharge nappes	2263,00	0,00	2263,00	19 823 880
Débites Débordement nappes (hors rivière)	0,00	-910,90	-910,90	7 979 484
débit rivière->nappe (+) ou nappe-<rivière (+)	709,10	-2069,00	-1359,90	11 912 724
Bilan global	5813,10	-5812,90	0,20	1752,00
Unité de gestion 7 : Le Lathan moyen et ses affluents				
Débites /Limites de l'UG	3080,00	-2548,00	532,00	4 660 320
Débites recharge nappes	2329,00	0,00	2329,00	20 402 040
Débites Débordement nappes (hors rivière)	0,00	-1255,00	-1255,00	10 993 800
débit rivière->nappe (+) ou nappe-<rivière (+)	1265,00	-2871,00	-1606,00	14 068 560
Bilan global	6674,00	-6674,00	0,00	0,00
Unité de gestion 8 : Le Lathan et ses affluents en amont de Rillé				
Débites /Limites de l'UG	1421,00	-4592,00	-3171,00	27 777 960
Débites Imposés (flux amont SAGE Authion)	1826,18	0,00	1826,18	15 997 302
Débites recharge nappes	686,60	0,00	686,60	6 014 616
Débites Débordement nappes (hors rivière)	0,00	0,00	0,00	-
débit rivière->nappe (+) ou nappe-<rivière (+)	749,00	-91,75	657,25	5 757 510
Bilan global	4682,78	-4683,75	-0,97	-8532,24
Unité de gestion 9 : Bassin des Trois Rus				
Débites /Limites de l'UG	2552,00	-4201,00	-1649,00	14 445 240
Débites recharge nappes	1096,00	0,00	1096,00	9 600 960
Débites Débordement nappes (hors rivière)	0,00	0,00	0,00	-
débit rivière->nappe (+) ou nappe-<rivière (+)	581,30	-28,67	552,63	4 841 039
Bilan global	4229,30	-4229,67	-0,37	-3241,20
Unité de gestion 10 : Le Changeon et ses affluents				
Débites /Limites de l'UG	4220,00	-5497,00	-1277,00	11 186 520
Débites recharge nappes	1767,00	0,00	1767,00	15 478 920
Débites Débordement nappes (hors rivière)	0,00	-2416,00	-2416,00	21 164 160
débit rivière->nappe (+) ou nappe-<rivière (+)	1992,00	-65,88	1926,12	16 872 811
Bilan global	7979,00	-7978,88	0,12	1051,20
			0,08	665,76

légende bilan global : unité de gestion en léger excédent naturel

Unité de gestion en léger déficit naturel

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

Sur les 10 unités de gestions cohérentes, trois unités seraient en léger déficit sur un régime permanent : le Lathan moyen, le Lathan aval et les Aulnaies et affluents. Ces déficits sont minimes et ne concernent que les échanges souterrains et avec les cours d'eau : les échanges par les apports de surface (ruissellements hivernaux) ne sont pas intégrés).

Rq : Au total des 10 unités, ce bilan est légèrement excédentaire du fait d'apports externes au bassin versant de l'Authion par certaines zones d'alimentation souterraines se prolongeant en amont du bassin de l'Authion au nord et nord est.

Les mêmes bilans ont été produits pour chacune des couches au sein de chacune des unités de gestion cohérente suivant l'indexation des zones et couches indiquées au tableau n°30. Ces bilans sont fournis en annexe n°10.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion
Rapport final A70443/F*

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne saurait engager la responsabilité de celles-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

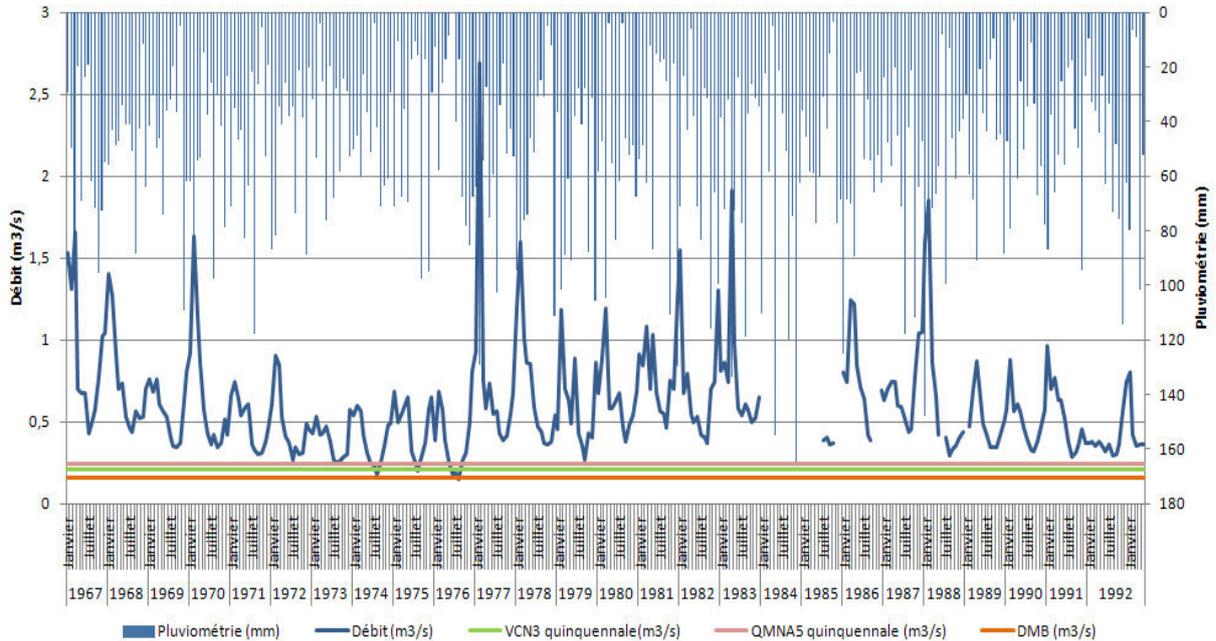
Annexe 1 : Graphiques des débits mesurés au niveau des stations de référence

(12 pages)

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

Débit du Changeon à Besnais (station L9004010)



Commentaires :

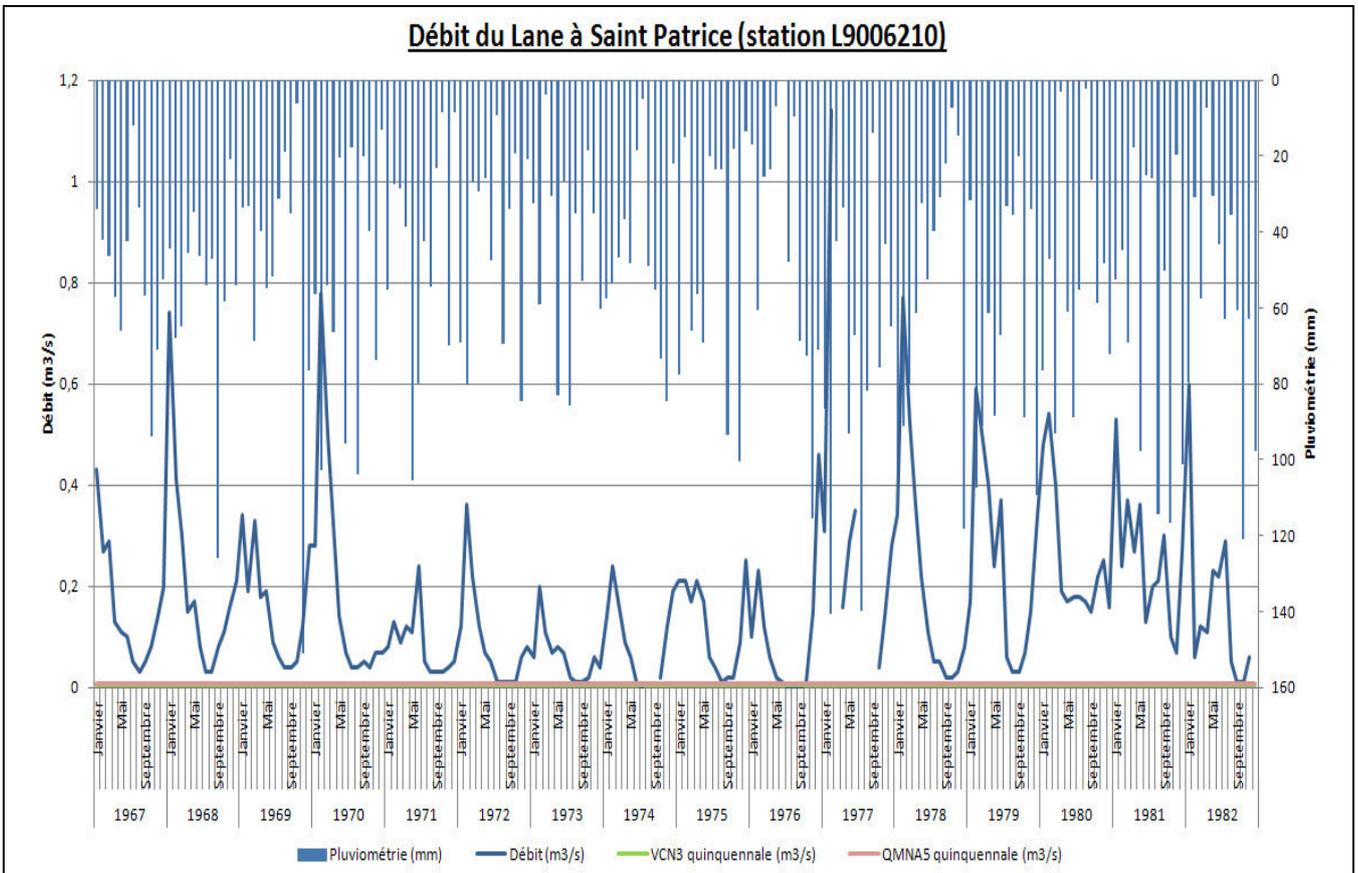
On remarque qu'il existe une nette corrélation entre la pluviométrie et le débit.

Le débit moyen interannuel, calculé à partir des débits moyens annuels (QMA), est d'environ $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Si l'on observe les autres débits caractéristiques, à savoir le VCN3 quinquennal et QMNA5 et $1/10^{\text{e}}$ module assimilé au DMB ($0,06 \text{ m}^3/\text{s}$), on peut remarquer qu'à plusieurs reprises le débit du Changeon est inférieur à ces débits : lors des mois d'été en 1974, 1975 et 1976. Le débit n'a toutefois été inférieur au DMB qu'une seule fois, au mois d'août 1976. Les données de débits sont sur 26 ans, on peut donc considérer que ces épisodes sont peu fréquents et n'ont donc pas de réelles influences sur le fonctionnement global du cours d'eau.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F



Commentaires :

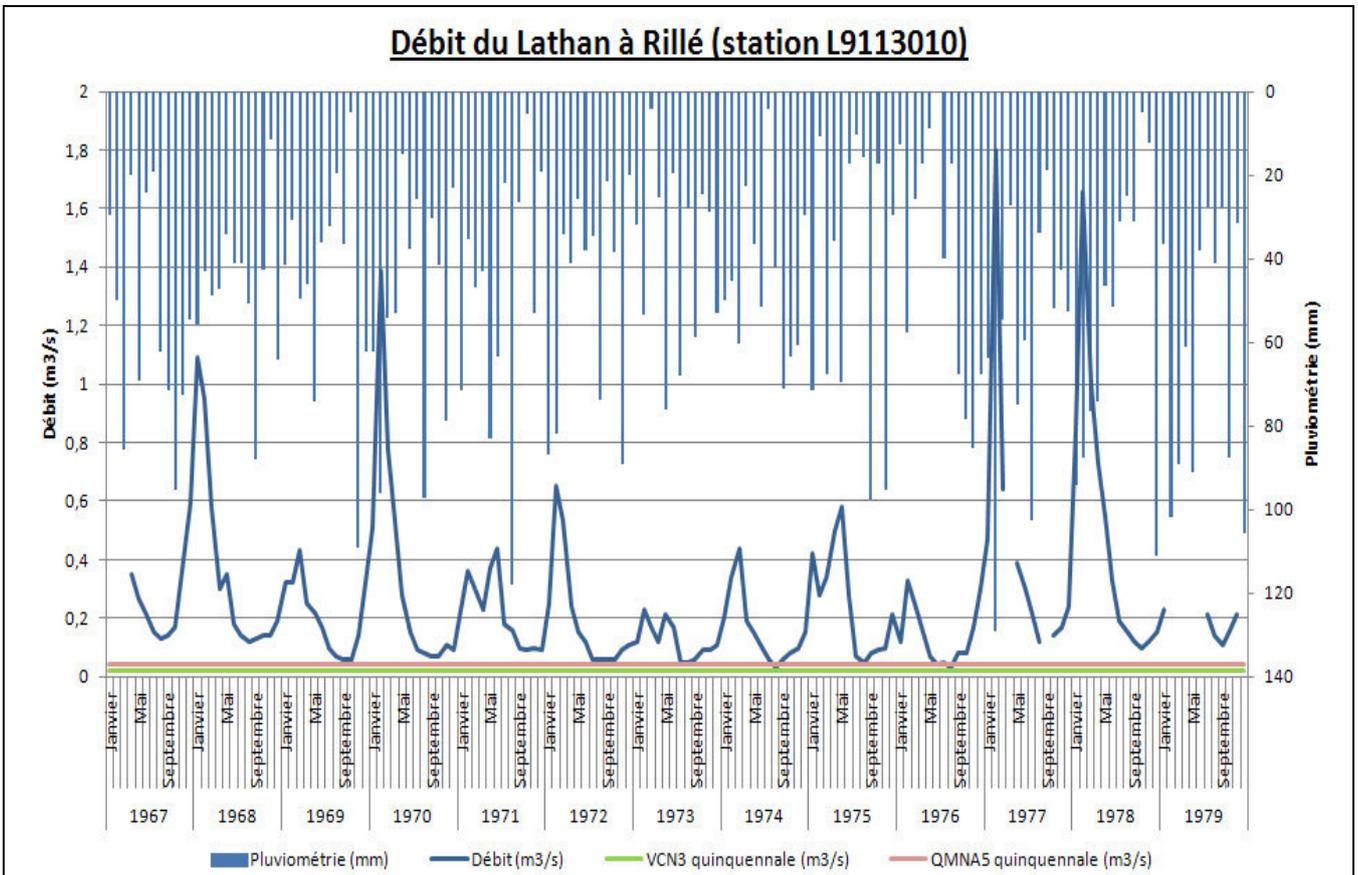
On remarque que les débits caractéristiques sont très faibles.

Le débit moyen interannuel sur ce cours d'eau est d'environ $0,17 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le VCN3 quinquennal n'est que de $0,005 \text{ m}^3/\text{s}$ et le QMNA5 est de $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$. Ces faibles valeurs s'expliquent par un débit du cours d'eau très faible en été jusqu'en début d'automne (de juillet à octobre), celui-ci n'est parfois que de $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$, surtout entre les années 1971 et 1976. En conséquence, il est rare que le débit du cours d'eau passe en dessous des débits caractéristiques.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F



Commentaires :

Le débit moyen interannuel du Lathan en amont de la retenue des Mousseaux à Rillé est d'environ $0,26 \text{ m}^3/\text{s}$.

Si l'on regarde le VCN3 quinquennal, on remarque que celui-ci est faible, en effet il n'est que de $0,021 \text{ m}^3/\text{s}$; tous comme le QMNA5 qui est de $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$. Ces faibles débits s'expliquent par une forte baisse des débits en périodes estivales. Cependant, c'est seulement à deux reprises (en août 1974 et 1976) que le débit de la rivière est devenu inférieur au QMNA5.

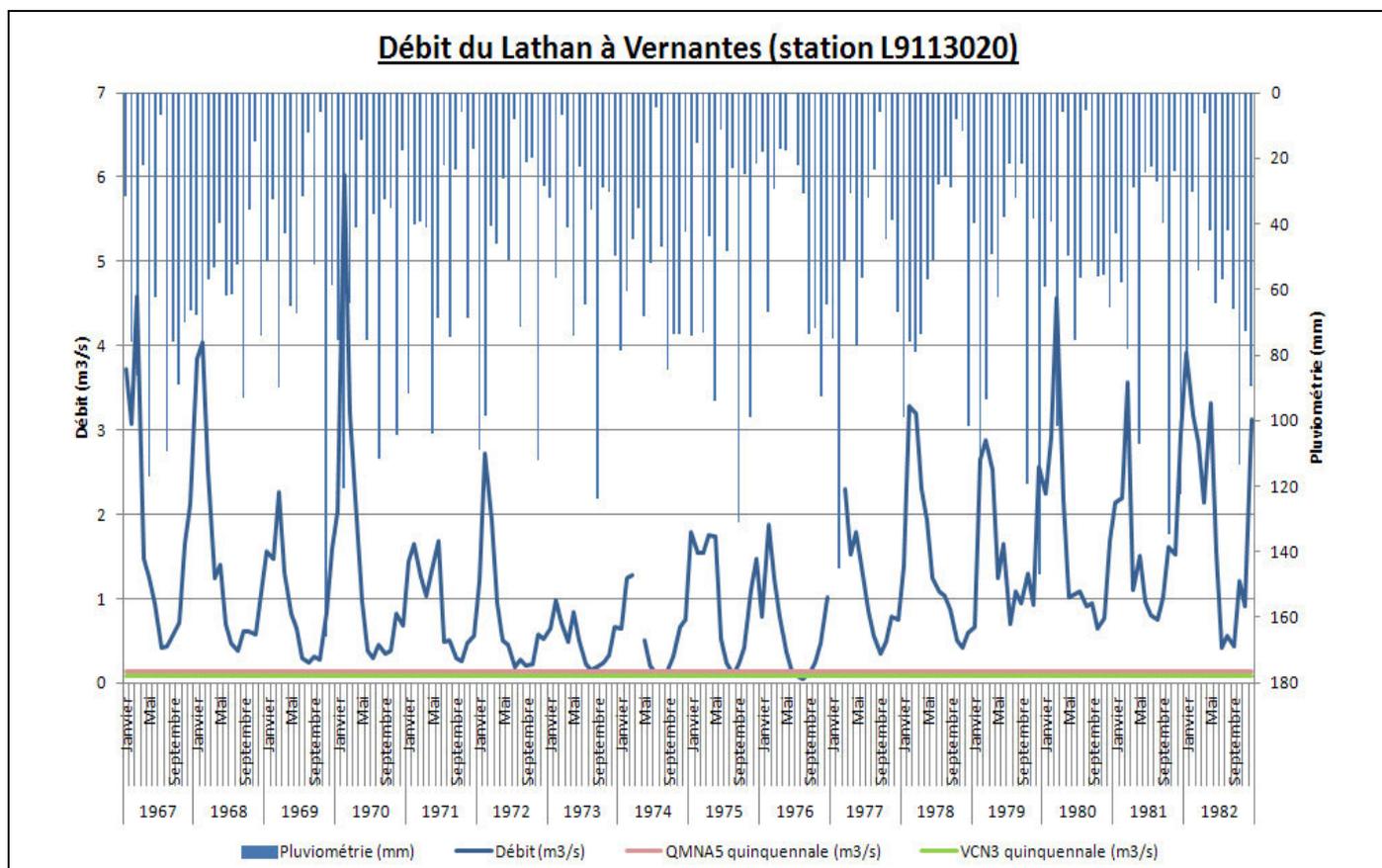
Une douzaine d'ouvrages hydrauliques sont présents sur le Lathan à l'amont de Rillé.

Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F



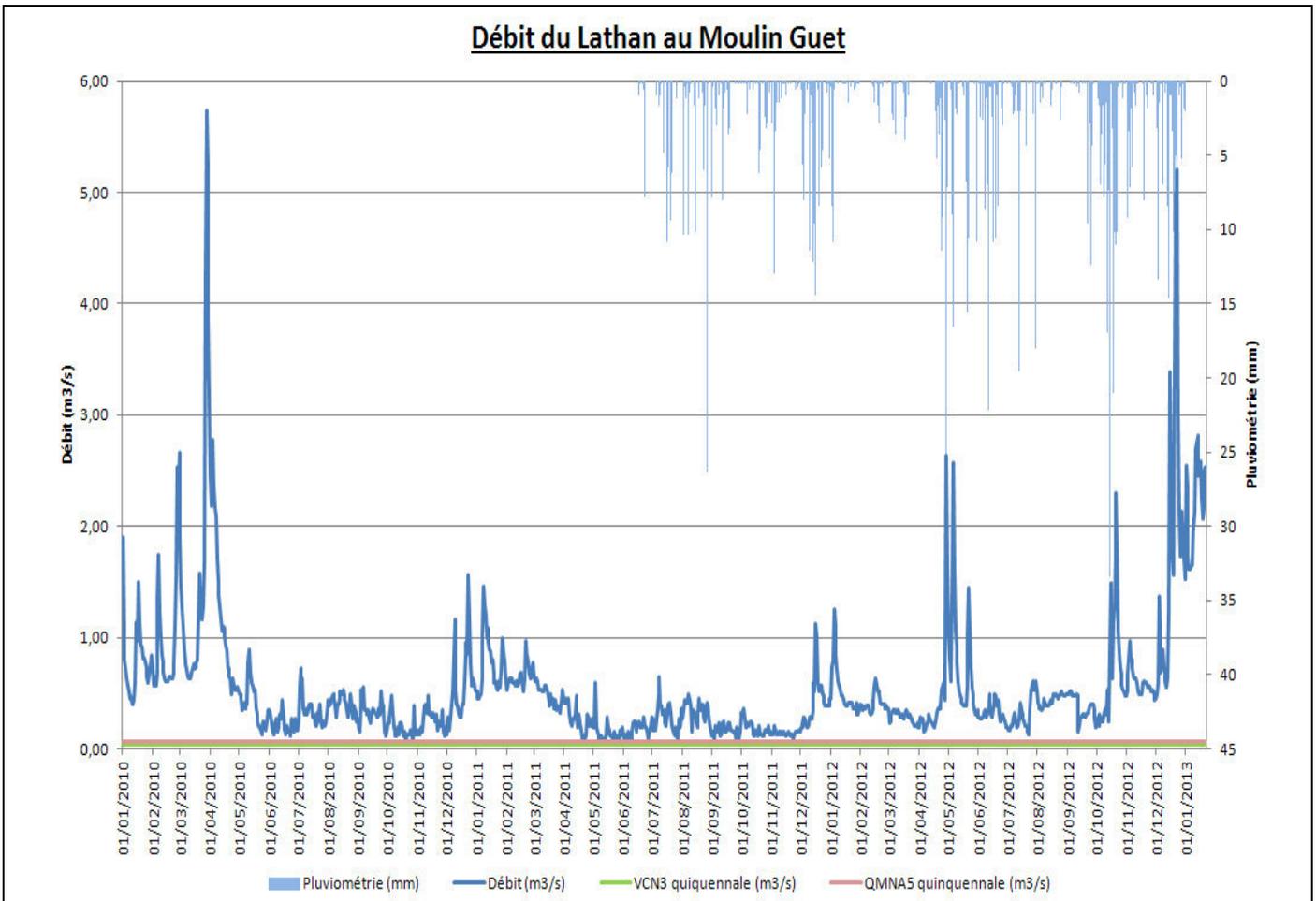
Commentaires :

Les débits caractéristiques d'ordinaire très proches sont ici un peu plus éloignés. En effet, le VCN3 quinquennal est de $0,021 \text{ m}^3/\text{s}$ alors que le QMNA5 est de $0,14 \text{ m}^3/\text{s}$. Le débit du Lathan à Vernantes n'est pas souvent inférieur à ces débits caractéristiques, seulement durant les étés 1974 à 1976.

Le débit moyen interannuel à cet endroit est d'environ $1,22 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui fait de ce cours d'eau l'un des plus importants. Sur les 16 années de données présentées ci-dessus, le DMB qui est établi plus en amont (Chanteloup/chantoiseaux) à $0,07 \text{ m}^3/\text{s}$, ou si on prend le $1/10^{\text{e}}$ du module à cette station à $0,12$ aurait toujours été respecté sauf en août 1976.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F



Commentaires :

Au niveau de Moulin Guet, le débit est susceptible de fluctuer en période estivale en fonction des lachers d'eau de la retenue de Rillé pour le soutien d'été.

Le débit moyen interannuel calculé sur trois années complètes (de 2010 à 2012) est de 0,50 m³/s en données brutes et de 0,6 m³/s en données consolidées.

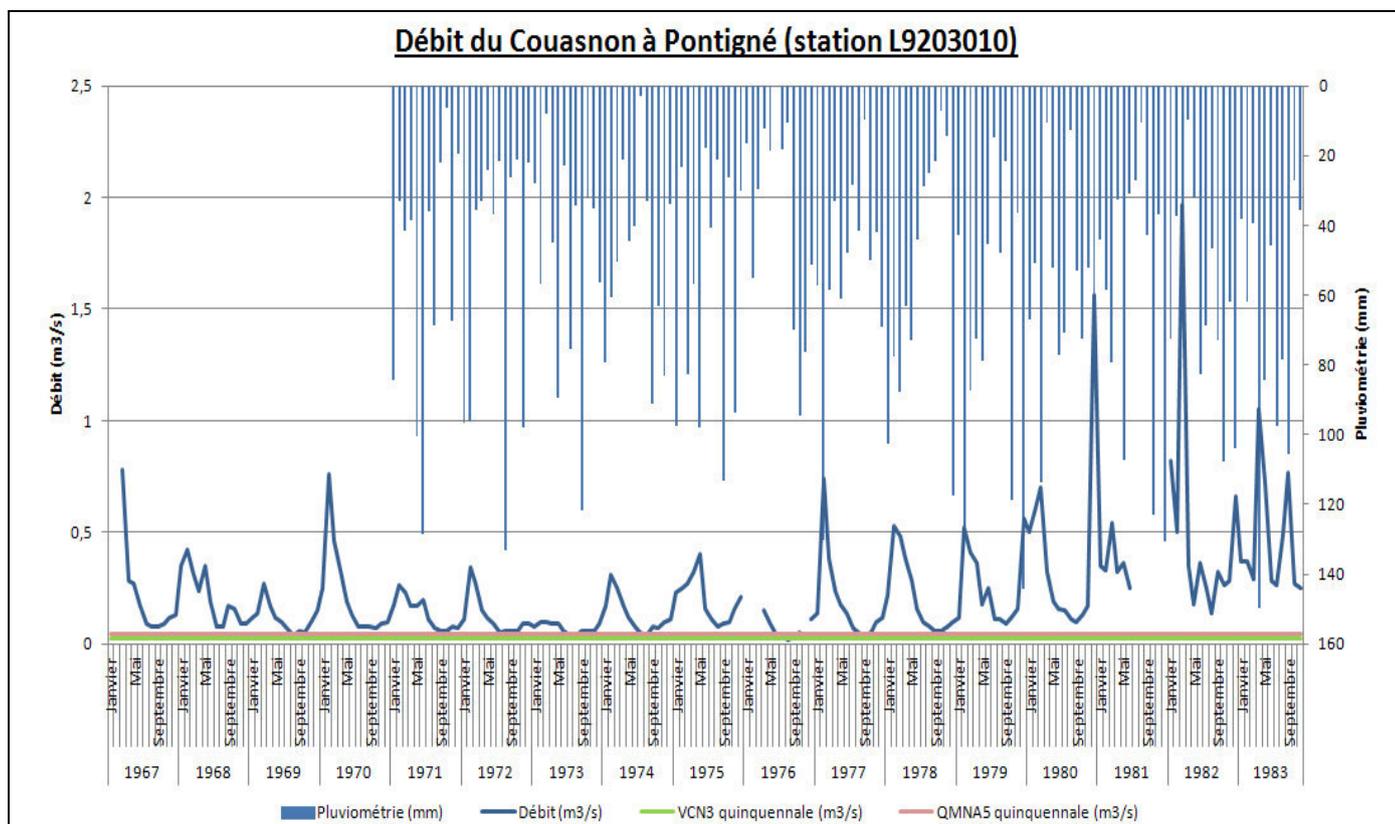
Le VCN3 quinquennal et le QMNA5 sont faibles, respectivement de 0,04 m³/s et de 0,06 m³/s. Sur ces trois années de données, le débit du Lathan au Moulin Guet ne descend que rarement sous les valeurs des débits caractéristiques.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F



Commentaires :

Sur cette station, le débit du cours d'eau a été relevé sur 17 ans, de 1967 à 1983, cependant les données pluviométriques ne sont disponibles que depuis 1971.

On remarque que c'est en mars 1982 que le débit a été le plus important, avec une valeur de 1,97 m³/s sur l'ensemble du mois. Le niveau de pluviométrie relevée sur ce mois est de 45,3 mm, ce qui représente une très faible valeur au vu du débit relevé.

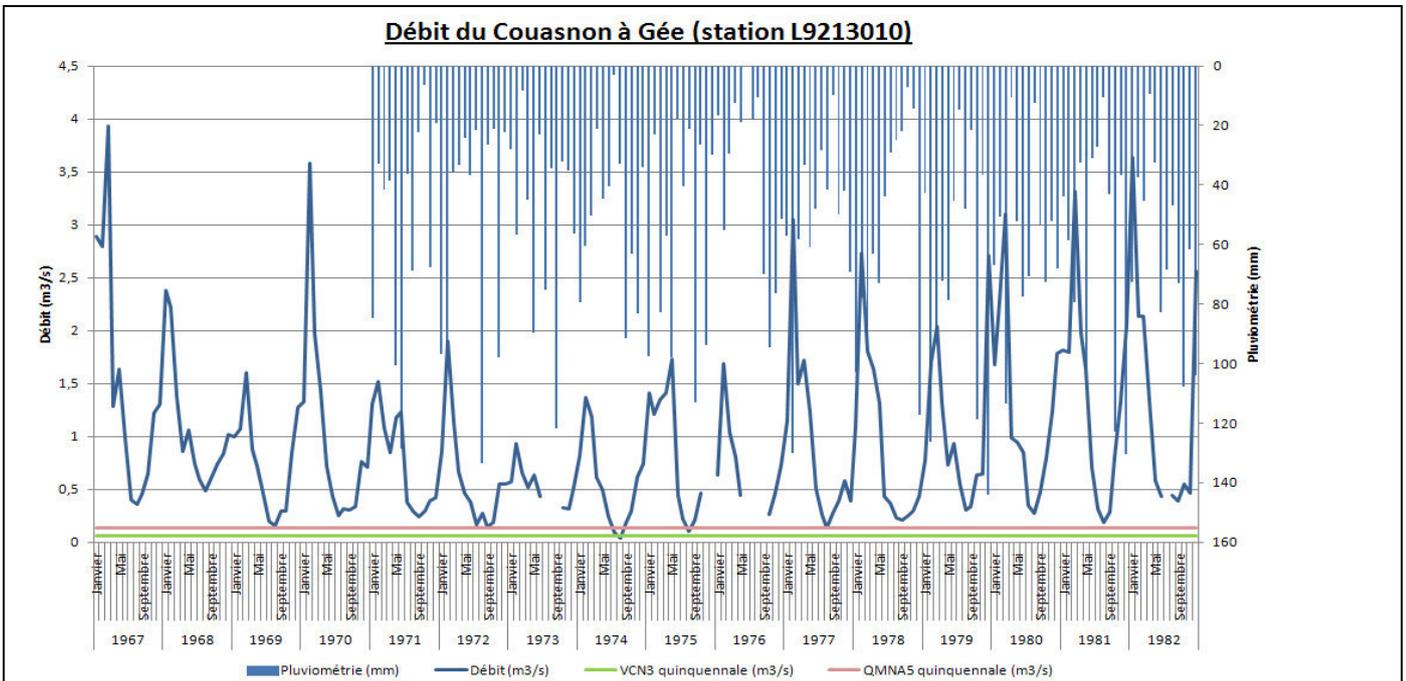
A l'inverse, le mois de juin 1976 a été celui ayant la plus faible précipitation, avec un niveau nul. Le débit relevé à cette période est le deuxième plus faible de la période totale observée, avec une valeur de 0,04 m³/s.

Les débits caractéristiques ont été calculés, le VCN3 quinquennal est de 0,024 m³/s et le QMNA5 est de presque le double, soit de 0,043 m³/s. Le débit du cours d'eau ne descend quasiment jamais en dessous du VCN3, en revanche on compte 5 années où le débit du Couason à Pontigné est descendu en dessous du QMNA5.

Le débit moyen interannuel calculé à partir des QMA, est d'environ 0,23 m³/s.

Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
 et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
 Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
 Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

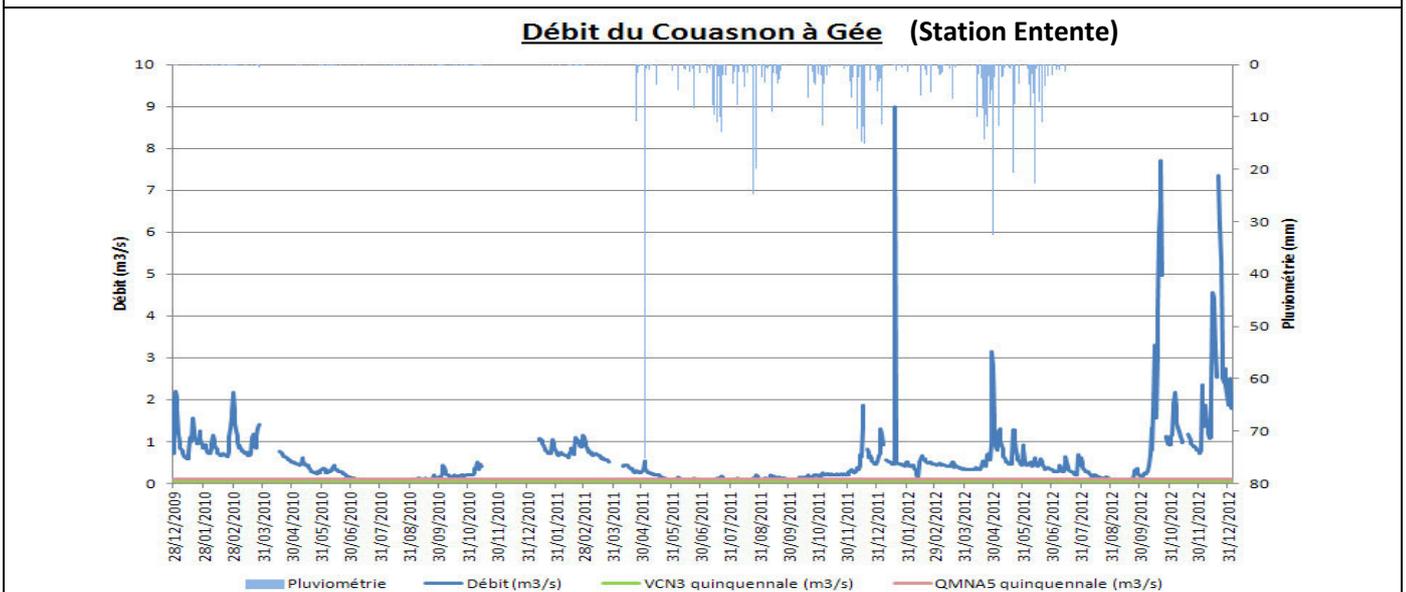
Rapport final A70443/F



Commentaires :

Le VNC3 quinquennal est de $0,062 \text{ m}^3/\text{s}$, le débit du Couason à Gée n'est descendu qu'une seule fois en dessous de cette valeur, en août 1974. Le QMNAS est lui deux fois plus important soit $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$. Le débit du cours d'eau est descendu en dessous du QMNAS seulement à deux reprises.

Le débit moyen interannuel est de $0,95 \text{ m}^3/\text{s}$ soit un DMB estimé au $1/10^{\text{e}}$ du module à $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$. Un faible débit suffit au bon développement écologique du cours d'eau. Ce débit minimum a été assuré sur les 16 années de données, sauf en août 1974 où le débit moyen du cours d'eau n'était que de $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$.

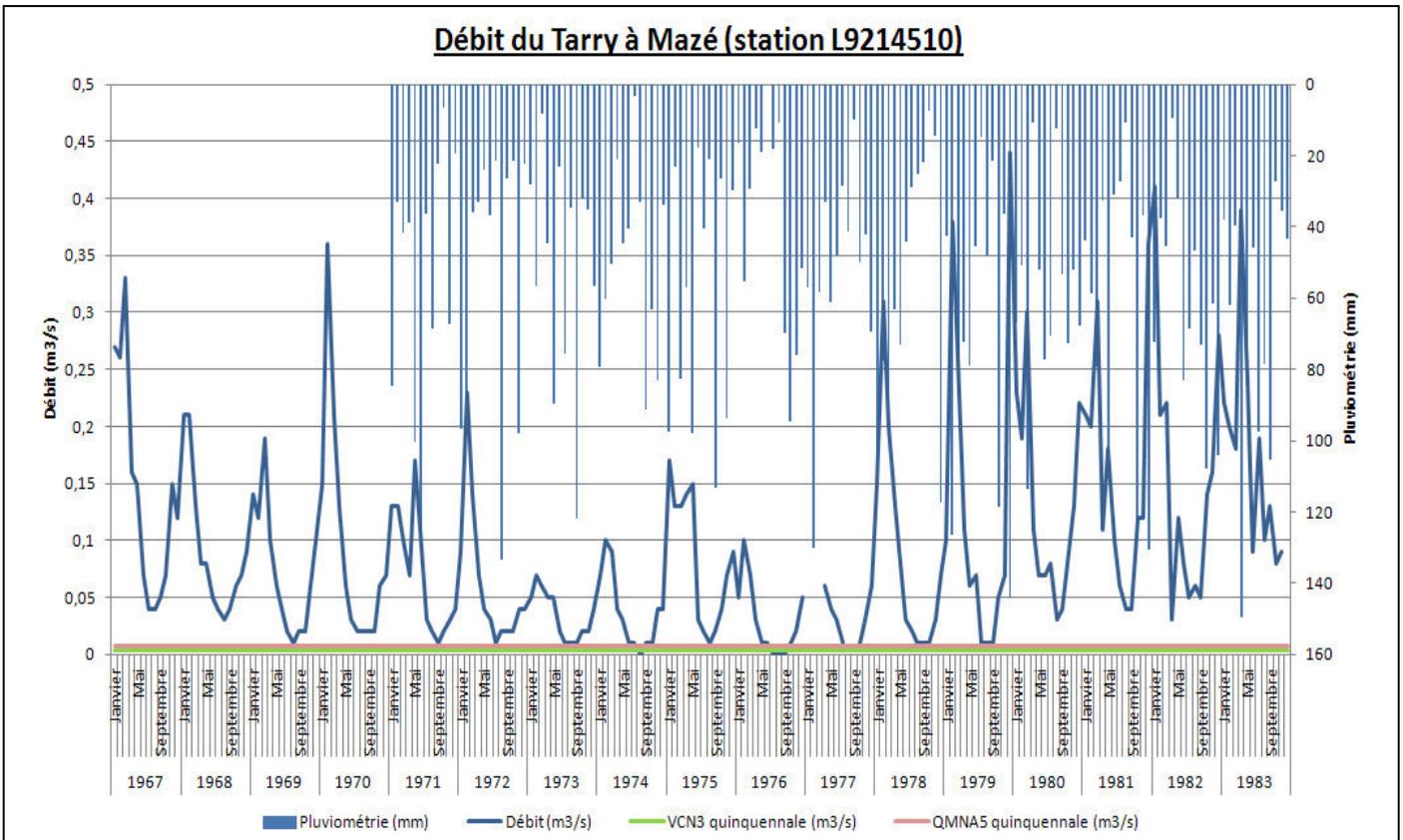


Commentaires :

Le débit moyen interannuel calculé sur les trois années complètes est d'environ $0,53 \text{ m}^3/\text{s}$. Le VCN3 quinquennal et le QMNAS5 sont respectivement de $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ et de $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$. Le débit du Couason n'est que rarement en dessous de ces débits caractéristiques, seulement durant quelques périodes estivales.

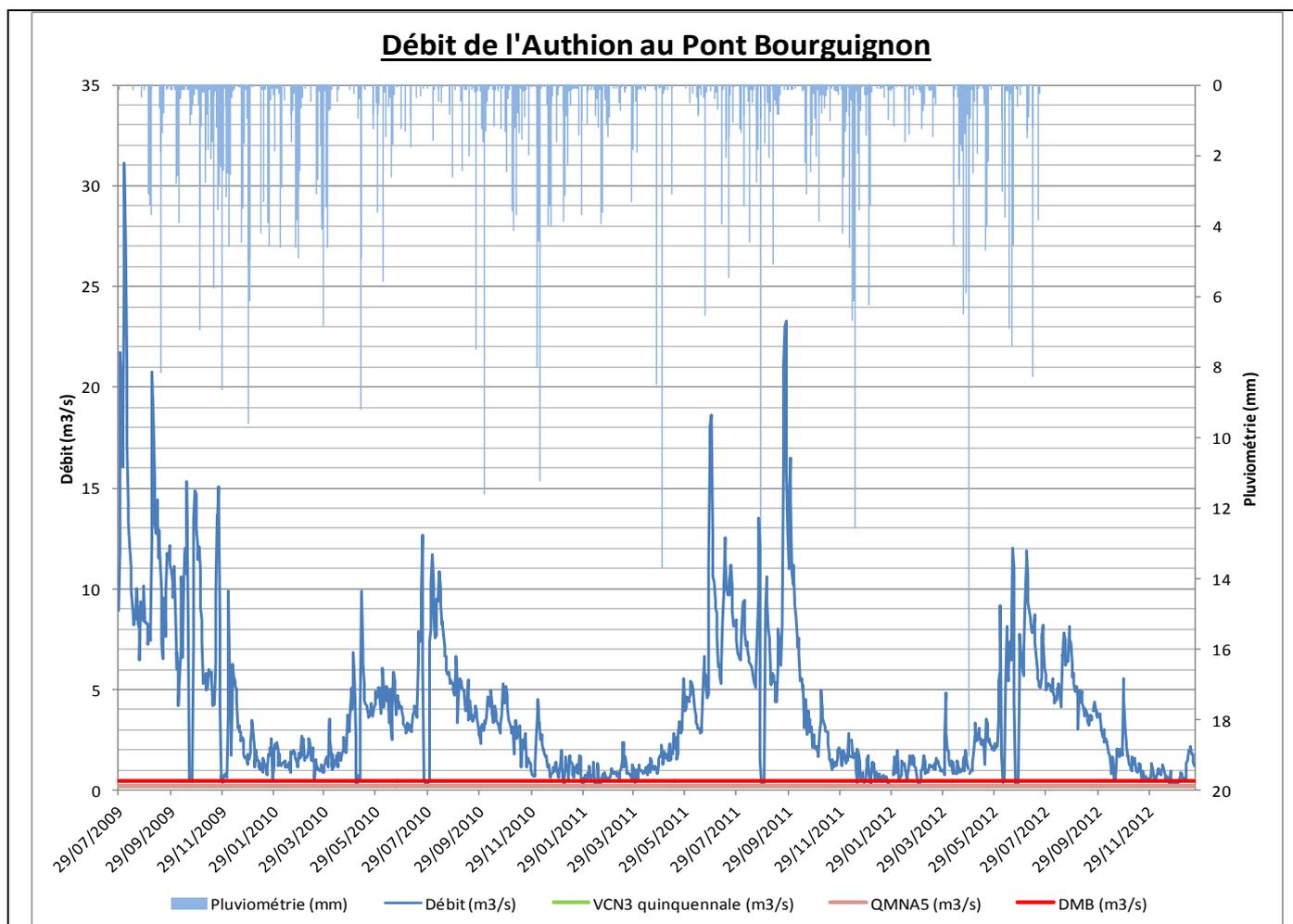
*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F



Commentaires :

Le VCN3 quinquennal est de 0,003 m³/s et le QMNA5 est de 0,007 m³/s. Ces deux débits caractéristiques sont faibles. Cela peut s'expliquer par un débit moyen interannuel relativement faible, de l'ordre de 0,09 m³/s. C'est seulement durant l'été 1974 et 1976 que le débit du Tarry à Mazé est passé en dessous du VNC3 et du QMNA5.

**Commentaires :**

L'Authion étant influencé par de nombreux affluents eux-mêmes perturbés par des ouvrages hydrauliques, il est logique de penser, qu'en période de réalimentation, la variation des débits est davantage liée à la gestion des ouvrages qu'à la pluviométrie.

Le débit moyen interannuel, calculé sur six années consécutives (2008 à 2013) est d'environ 3,75 m³/s.

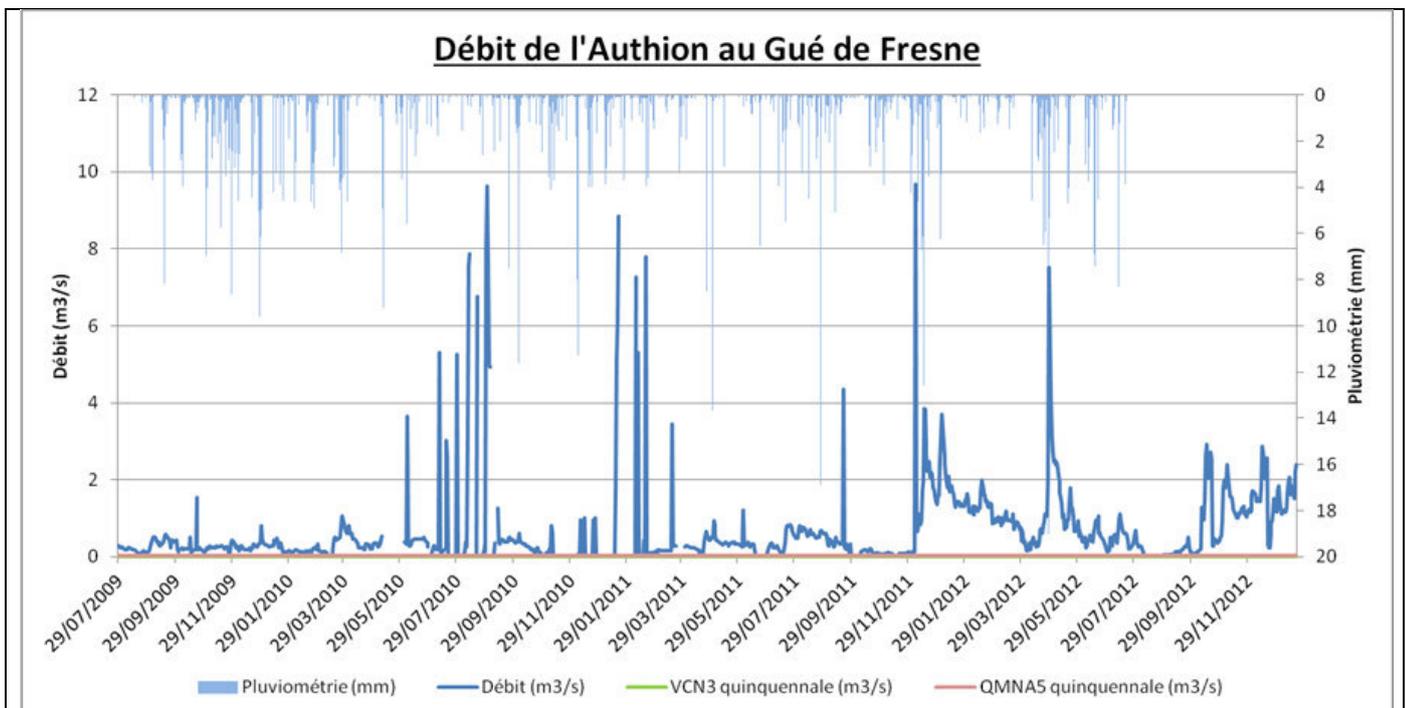
Le VCN3 quinquennal et le QMNA5 sont respectivement de 0,19 m³/s et de 0,23 m³/s. Ces valeurs de débits sont faibles comparativement au débit minimum qui a été fixé par arrêté pour le cours d'eau de l'Authion au Pont Bourguignon à 0,5 m³/s. Si on exploite les valeurs de débits d'étiage sur les deux dernières années (2013 et 2014), le QMNA5 passe alors à environ 0,75 m³/s (valeurs de débit en cours de validation par le gestionnaire des données). Cela montre que cette station, comme les autres stations gérées par l'Entente, manquent encore de recul statistiquement.

Malgré tout sur cinq années de données complètes, le débit de l'Authion au Pont Bourguignon est ponctuellement inférieur au débit réservé de 0,5 m³/s. Actuellement, le respect de ce débit est observé réglementairement sur un pas de temps hebdomadaire et non mensuel.

Le non respect de ce débit minimum est problématique car il remet en cause la capacité d'oxygénation des biefs et donc la stabilité écologique du cours d'eau ainsi que la vie et la reproduction des espèces aquatiques (« Prises d'eau en Loire et dans l'Authion – Dossier de demande d'autorisation, dossier SCE, 2007 »).

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F



Commentaires :

Les données de débit consolidées issues des données brutes ne sont disponibles que pour 3 années complètes. En effet les caractéristiques spécifiques de cette station obligent à corriger les valeurs brutes. Plusieurs artéfacts de mesure sont consignés dans les enregistrements présentés dans ce graphique. Ainsi, les valeurs au-delà de 20 m³/s ne sont pas à prendre en compte.

Au niveau de Gué de Fresne, les débits d'étiage fluctuent en fonction de la gestion de l'alimentation des autres canaux adjacents (canal 100, les Courants et canal 900). Cet ouvrage régule en particulier la répartition de l'alimentation en eau des bras principaux de l'Authion suivant les besoins d'assainir ou d'alimenter pour l'irrigation des différents îlots de culture. Le débit de l'Authion à cet endroit est donc directement influencé par le mode de gestion du Val d'Authion et ne se traduit donc pas par un hydrogramme « classique » de cours d'eau libre.

Le débit moyen interannuel calculé sur la période 2009-2012 corrigé des artéfacts est de 1,93 m³/s.

Les débits caractéristiques tels que le QMNA5 et VCN3 quinquennal sont respectivement de 0,03 m³/s et de 0,01 m³/s.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

Annexe 2 : Débits observés et simulés par GARDENIA

(6 pages)

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

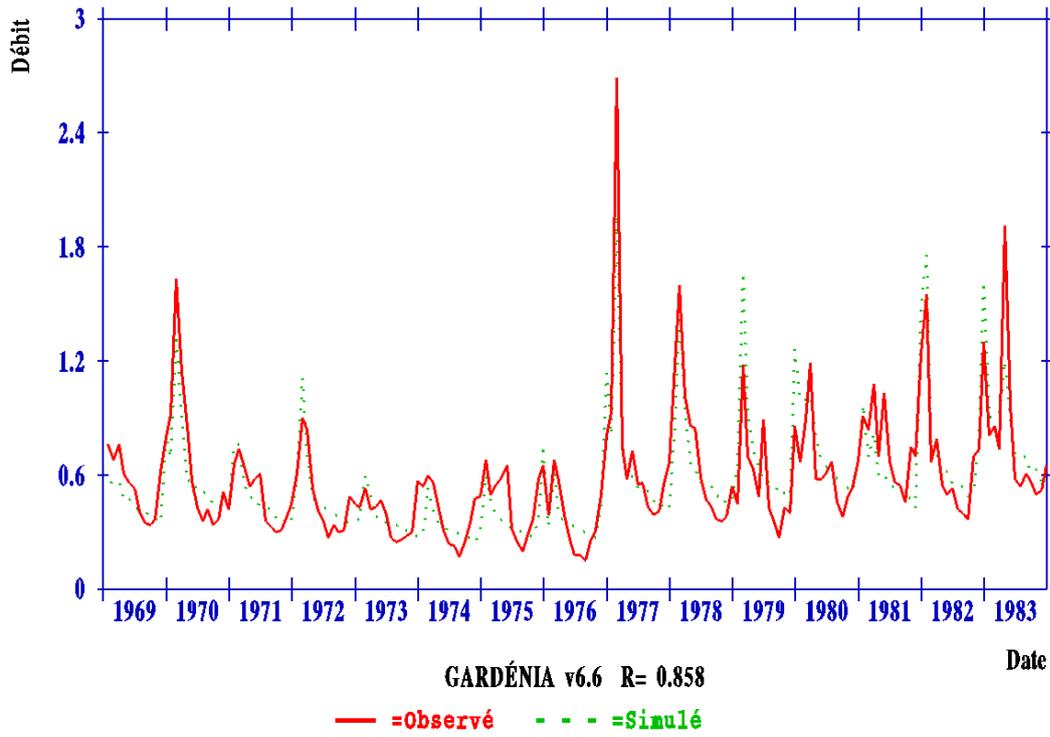
Annexe 2-1 : Calages pluie-débit

(4 pages)

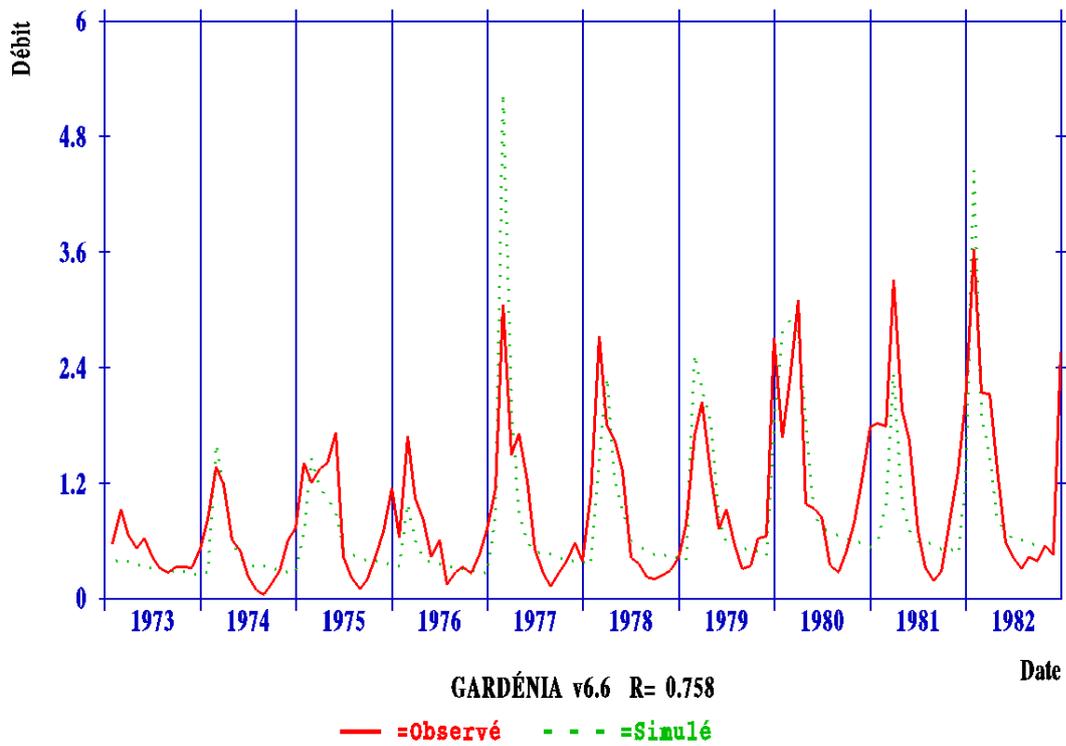
Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

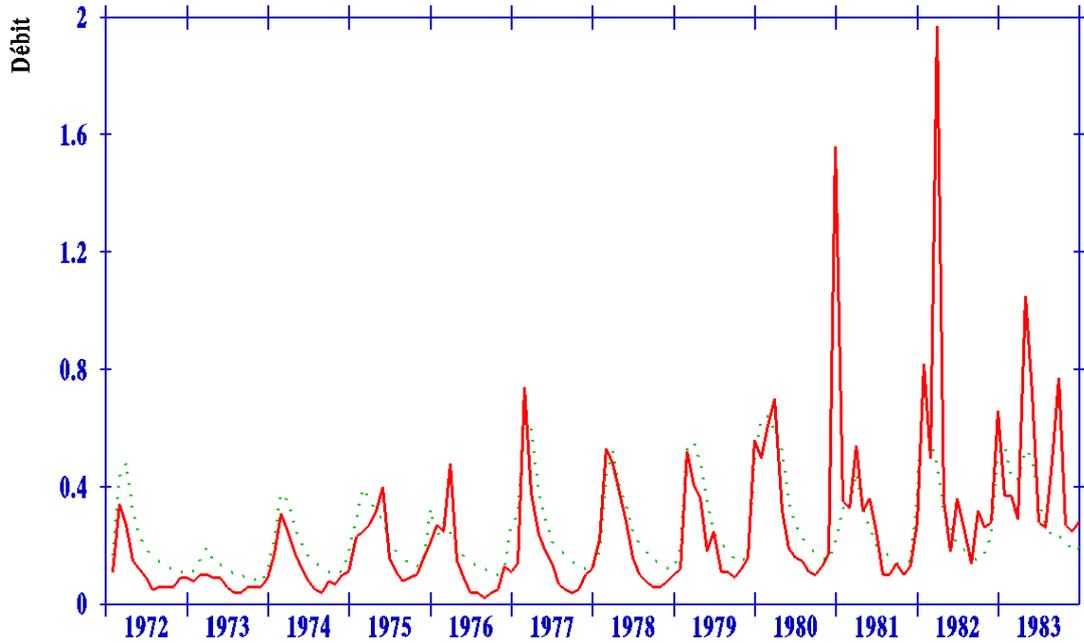
Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Changeon_Benais



Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Couasnon_Gee



Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Couasnon_Pontigne

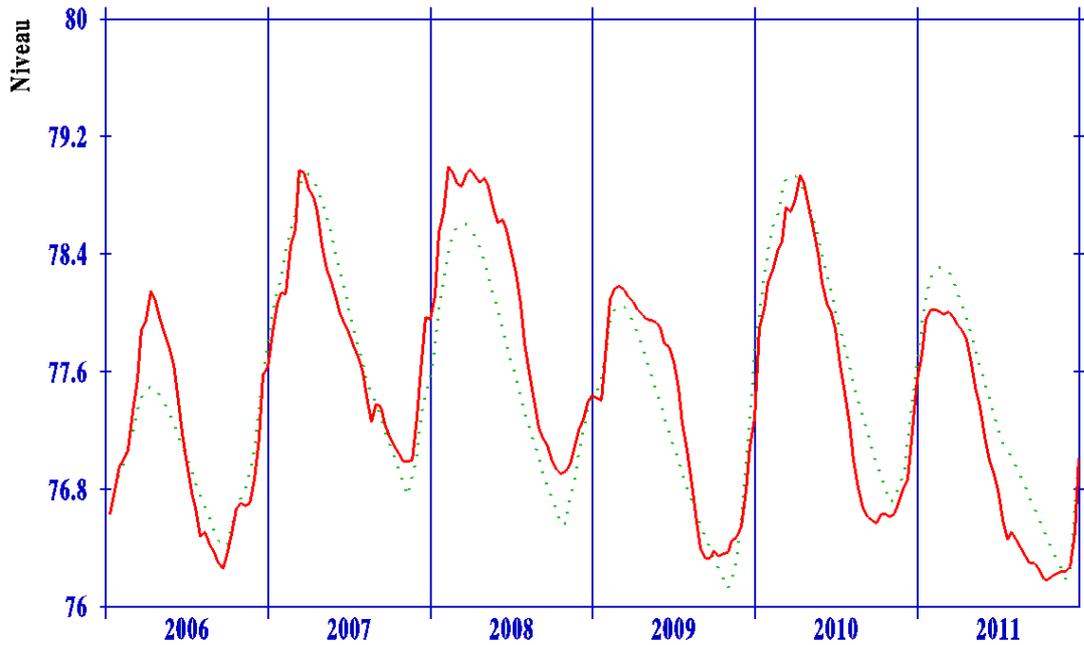


GARDÉNIA v6.6 R= 0.632

Date

— =Observé - - - =Simulé

Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Channay-Lathan_Lessay



GARDÉNIA v6.6 R= 0.922

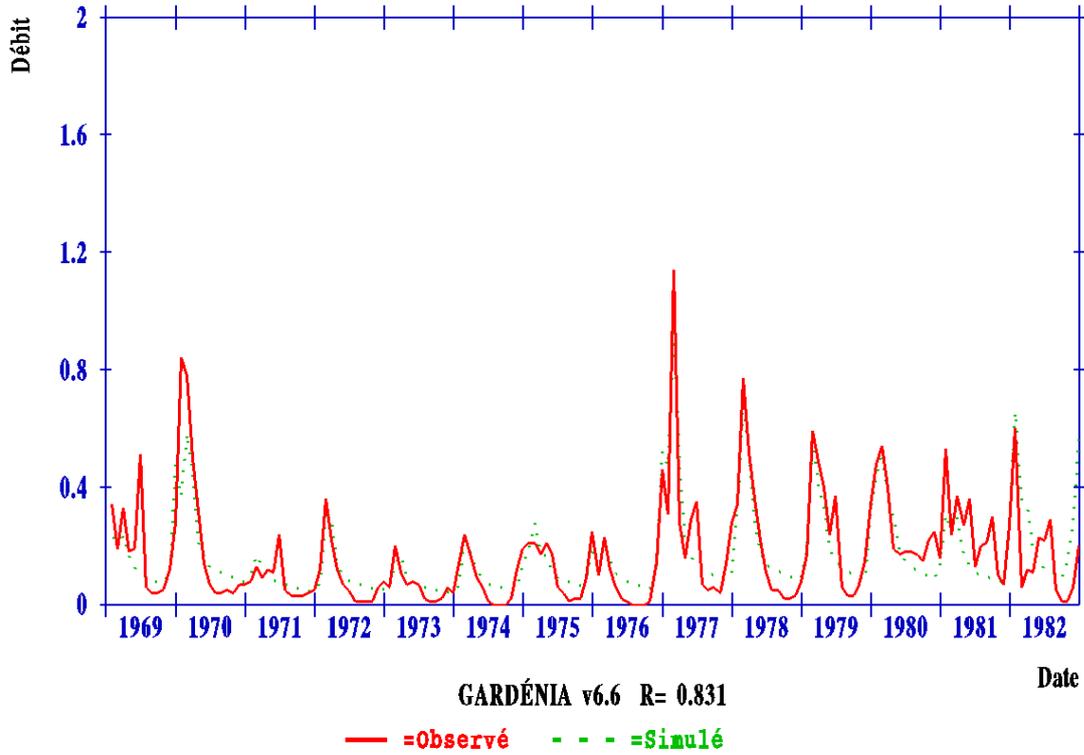
Date

— =Observé - - - =Simulé

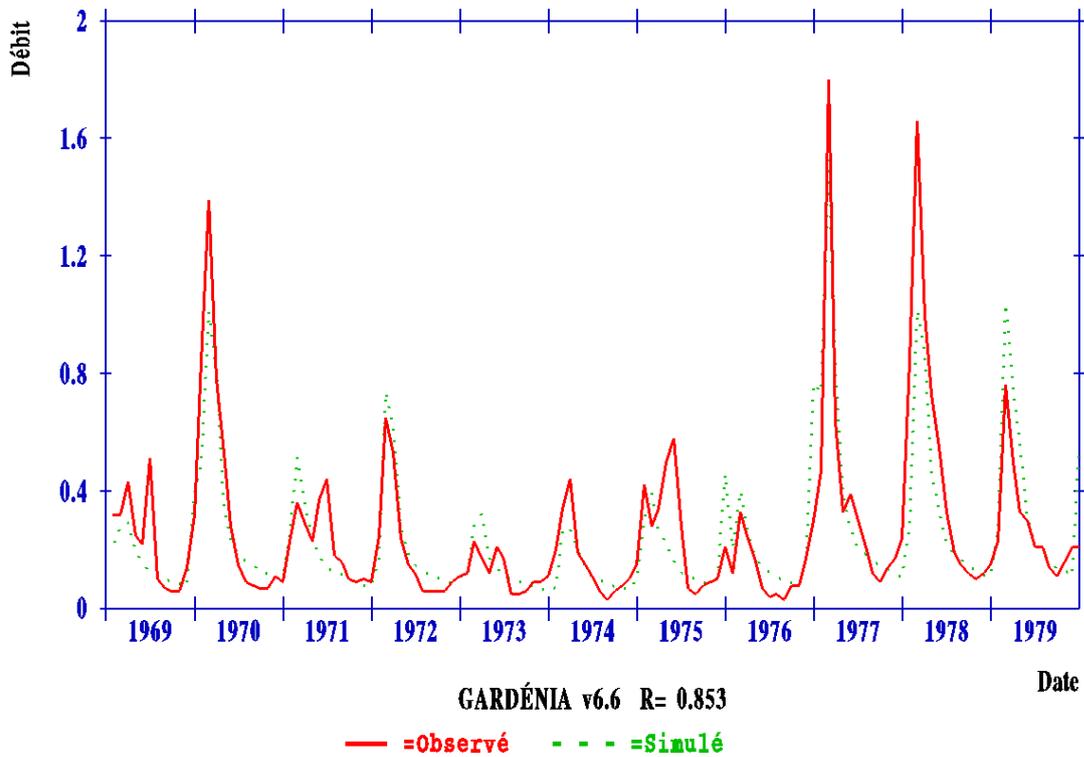
Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Lane_StPatrice



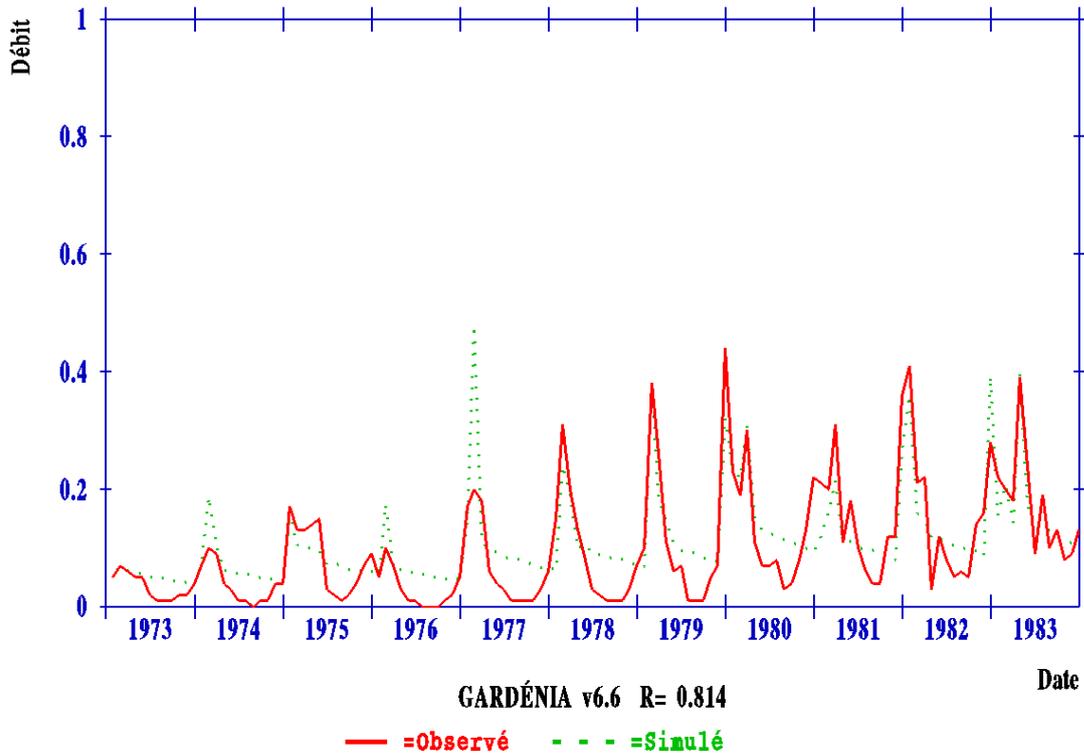
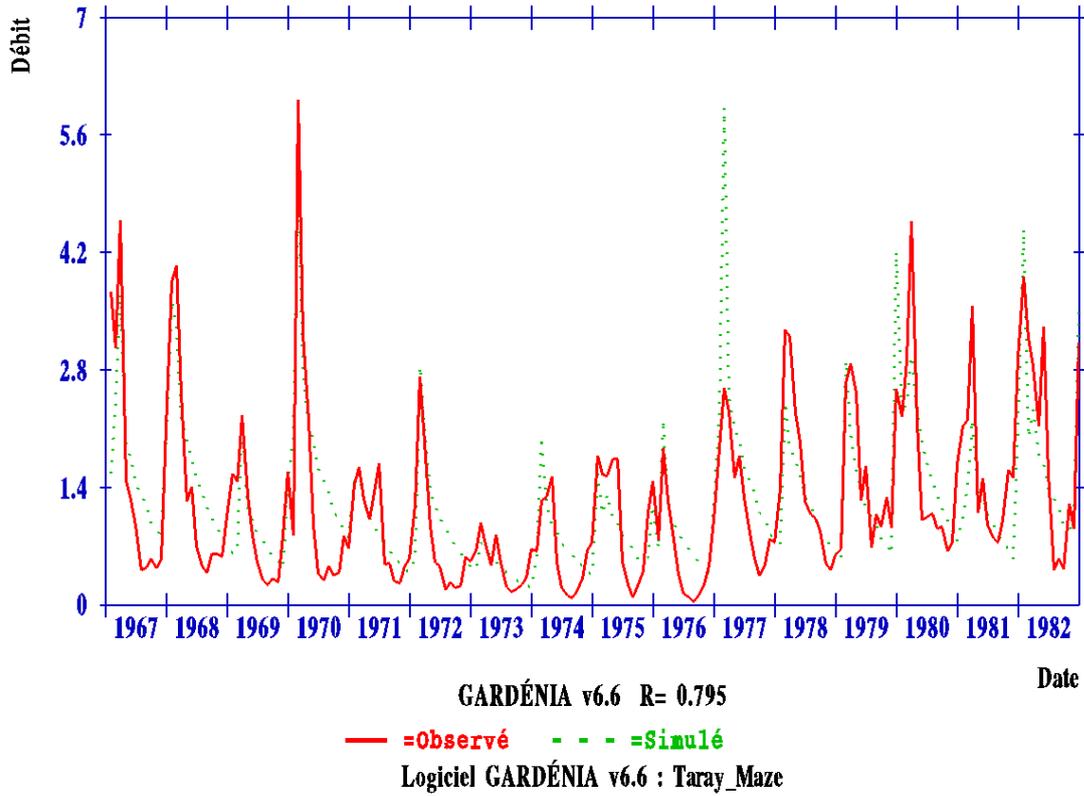
Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Lathan_Rille



Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F

Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Lathan_Vernantes



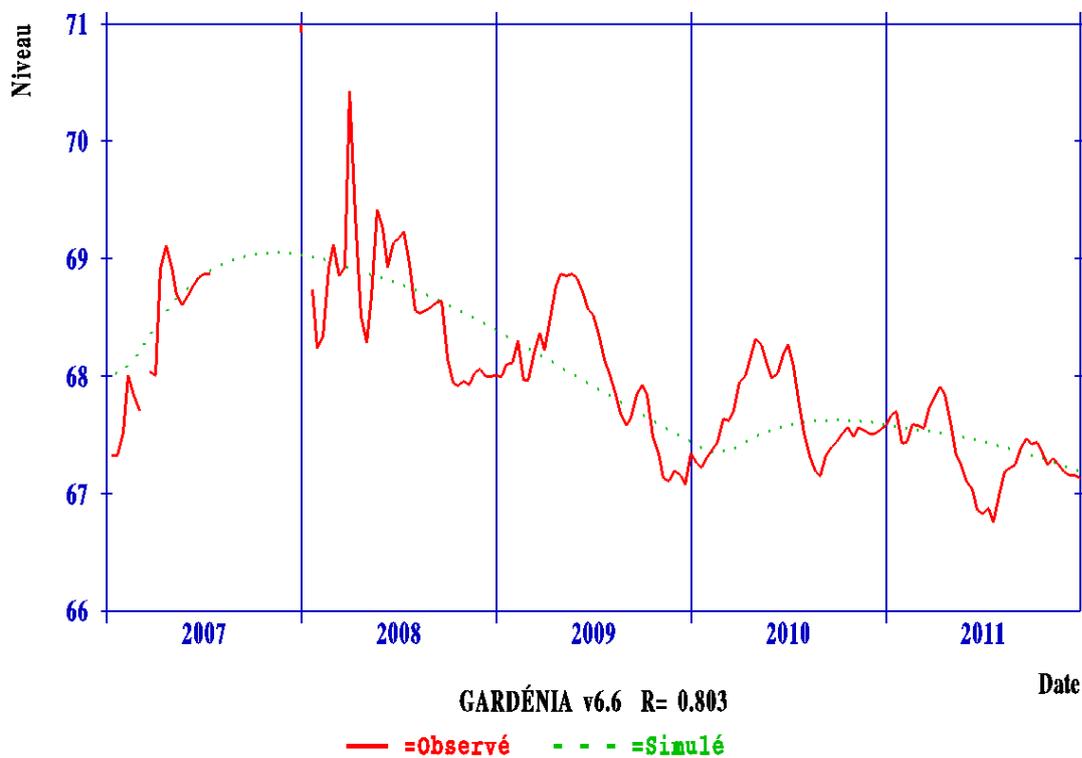
*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

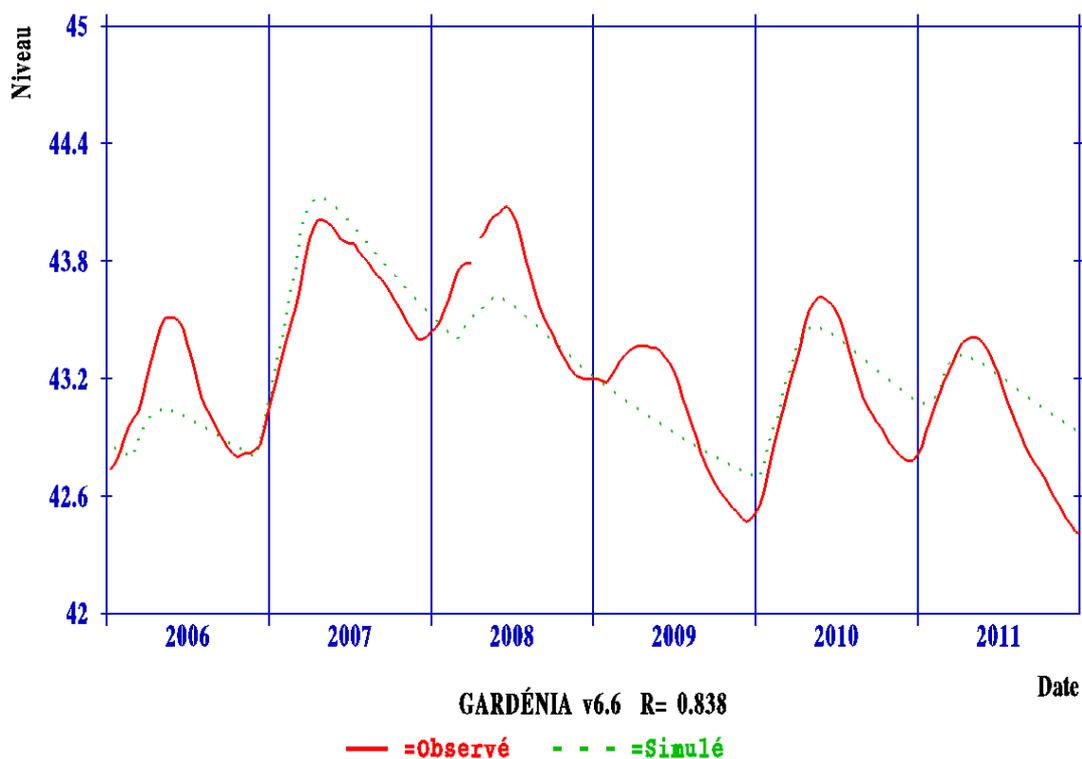
Annexe 2-2 : Calages pluie – niveau piézométrique

(2 pages)

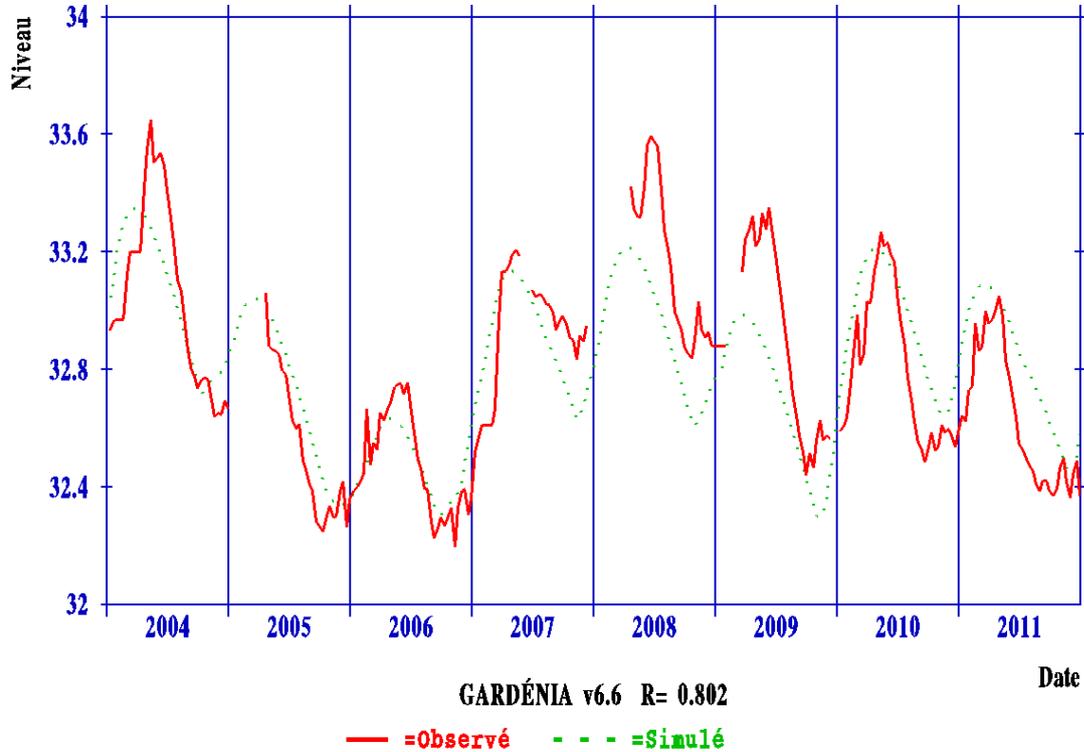
Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Pontigné



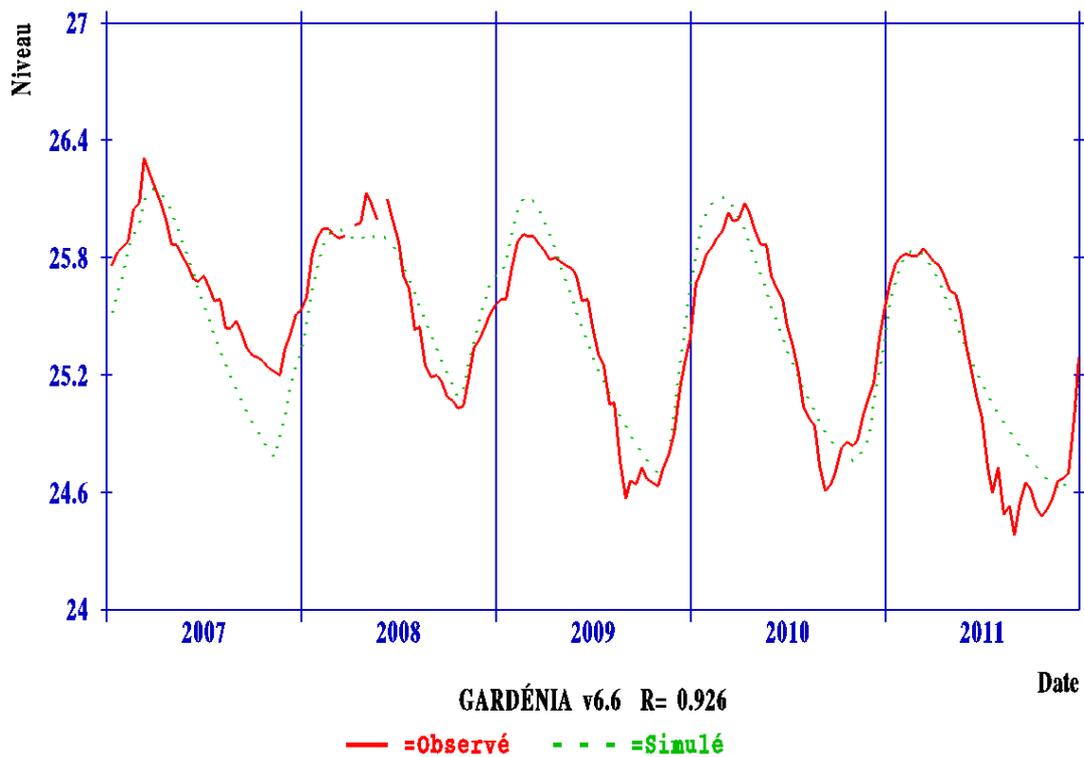
Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Brion



Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Noyant



Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Villebernier



*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

Annexe 3 : Rapport sur la détermination des DMB

(16 pages)

Détermination des volumes prélevables dans l'Authion : Evaluation des débits biologiques dans le Changeon et le Lathan

Février 2013



Détermination des volumes prélevables dans l'Authion : Evaluation des débits biologiques dans le Changeon et le Lathan

Février 2013

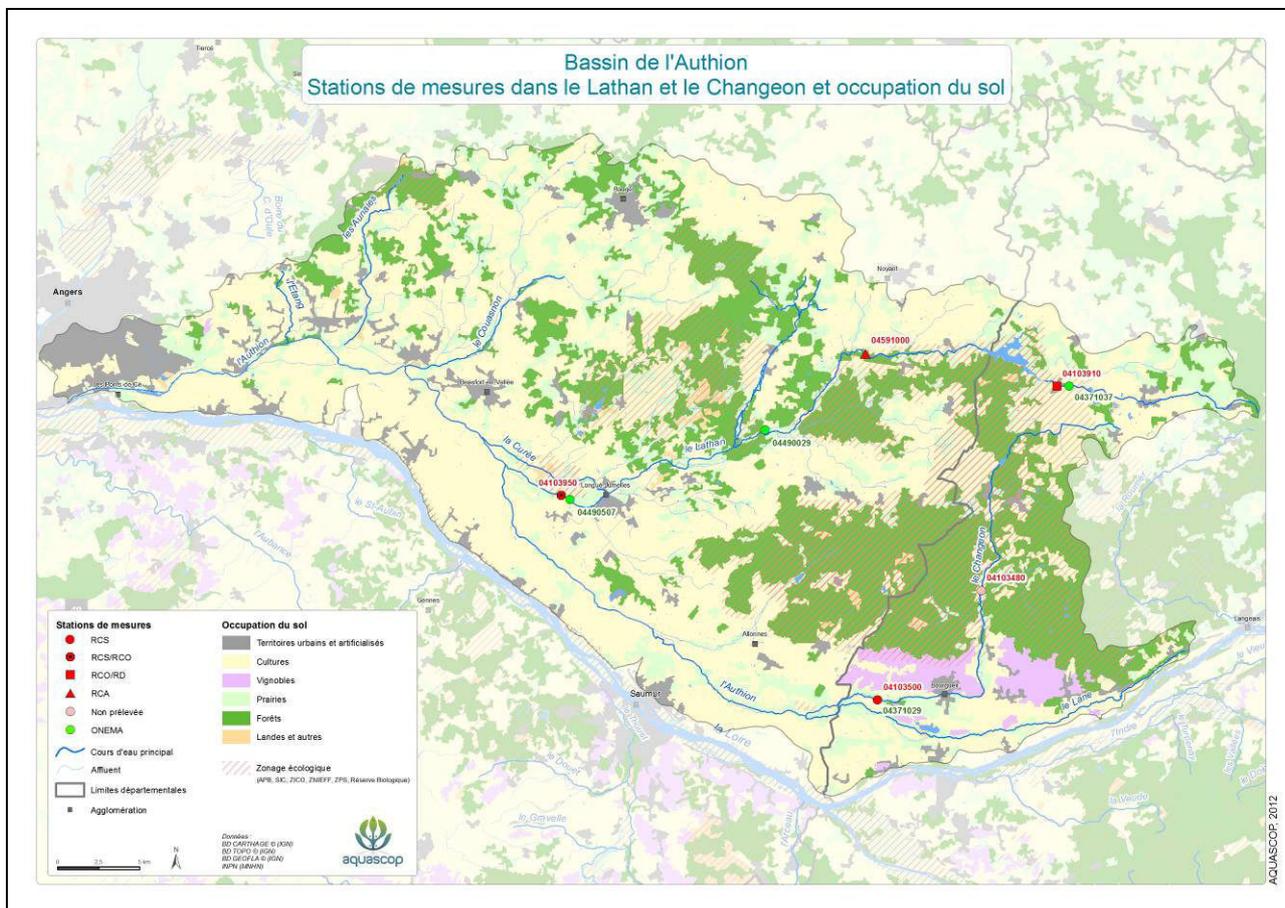
Version	Date	Nom et signature du (des) rédacteur(s)	Nom et signature du vérificateur
1	25/01/2013	J.B. Hansmann	D. Levet
2	26/02/2013	D. Levet	M. Saget

Sommaire

1. CARACTERISTIQUES GENERALES DU CHANGEON ET DU LATHAN	4
1.1. Localisation des stations de mesure de la qualité de l'eau	4
1.2. Données de qualité chimique de l'eau	4
1.2.1. Le Changeon	4
1.2.2. Le Lathan.....	5
1.3. Données de qualité biologique	5
1.3.1. Le Changeon	5
1.3.2. Le Lathan.....	5
2. PROPOSITIONS DE DEBITS BIOLOGIQUES.....	6
2.1. Principes de la méthode	6
2.2. Espèces ciblées	6
2.2.1. Données de pêche dans le Changeon.....	6
2.2.2. Espèces remarquables ou à intérêt patrimonial dans le bassin du Changeon.....	7
2.2.3. Données de pêche dans le Lathan	7
2.2.4. Choix des poissons ciblés	8
2.3. Débits biologiques dans le Changeon	8
2.3.1. Débits naturels reconstitués	8
2.3.2. Station de mesure.....	9
2.3.3. Modélisation	9
2.3.4. Débit minimum biologique proposé	11
2.4. Débits biologiques dans le Lathan	12
2.4.1. Débits naturels reconstitués	12
2.4.2. Station de mesure.....	12
2.4.3. Modélisation	12
2.4.4. Débit minimum biologique proposé	14
3. ANNEXES : LOCALISATION DES STATIONS DE MESURES	15

1. CARACTERISTIQUES GENERALES DU CHANGEON ET DU LATHAN

1.1. LOCALISATION DES STATIONS DE MESURE DE LA QUALITE DE L'EAU



Localisation des stations de mesure de la qualité de l'eau dans le bassin de l'Authion

1.2. DONNEES DE QUALITE CHIMIQUE DE L'EAU

1.2.1. Le Changeon

Une station de prélèvement d'eau du Réseau de Contrôle et de Surveillance de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne est présente à St Nicolas de Bourgueil (le Changeon à St Nicolas de Bourgueil - 04103500). Les paramètres suivants sont pris en compte dans l'évaluation de la qualité chimique : les matières organiques et oxydables (MOOX), la matière azotée hors nitrates (AZOT), les nitrates (NO3) et les matières phosphorées (PHOS). Pour la période de 2009 à 2012, les classes de qualité du SEQ-eau pour les paramètres cités précédemment sont résumées ci-dessous :

St Nicolas de B **MOOX** **AZOT** **NO3** **PHOS**

La classe de qualité des nitrates est moyenne pour la période de 2009 à 2012. Les pollutions par les nitrates ont majoritairement lieu durant l'hiver dans le Changeon à St Nicolas de Bourgueil.

Les données rassemblées par l'Entente Interdépartementale tous les mois en 2011 et 2012 indiquent parfois une situation plus favorable en matières organiques, déterminant une très bonne qualité de l'eau.

1.2.2. Le Lathan

Deux stations de prélèvement d'eau du Réseau de Contrôle et de Surveillance (le Lathan à Longué-Jumelles – 04103950) et du Réseau de Contrôle Opérationnel (le Lathan à Rillé - 04103910) de l'Agence de l'eau Loire Bretagne se trouvent sur le Lathan. Ces deux stations présentent, pour la période de 2009 à 2012, les classes de qualité du SEQ-eau suivantes pour les matières organiques et oxydables (MOOX), la matière azotée hors nitrates (AZOT), les nitrates (NO3) et les matières phosphorées (PHOS) :

Rillé	MOOX	AZOT	NO3	PHOS	
Longué-Jumelles	MOOX	AZOT	NO3	PHOS	PEST

Les pollutions par la matière organique sont trouvées en fin d'été. Les pollutions par les nitrates ont lieu à la fin de l'hiver. Des pollutions par la matière azotée et les matières phosphorées sont ponctuelles. Les quantités en pesticides sont aussi mesurées sur le Lathan à Longué-Jumelles. Des pollutions par ces composés sont régulièrement notées.

1.3. DONNEES DE QUALITE BIOLOGIQUE

1.3.1. Le Changeon

Des prélèvements de macroinvertébrés et de diatomés et des observations des macrophytes sont effectués en deux stations : le Changeon à St Nicolas de Bourgueil et le Changeon à Benais (04103480). Ils permettent de calculer les indices biologiques suivants : IBGN et IBG-DCE pour les macroinvertébrés, IBD pour les diatomées et IBMR pour les macrophytes. A partir de la synthèse des données disponibles de 2009 à 2012, les classes de qualité définies sont les suivantes :

Benais	IBG DCE	IBD	
St Nicolas de B	IBG DCE	IBD	IBMR

L'indice le plus déclassant est l'IBMR qui définit un niveau trophique fort dans le Changeon à St Nicolas de Bourgueil.

1.3.2. Le Lathan

Des prélèvements de macroinvertébrés et de diatomés et des observations des macrophytes sont effectués dans les deux mêmes stations que les prélèvements d'eau, à Rillé et Longué-Jumelles. Ils permettent de calculer les indices biologiques suivants : IBGN et IBG-DCE, IBD et IBMR. Sur la période de 2009-2011, les classes de qualité sont les suivantes :

Rillé	IBG DCE	IBD	
Longué-Jumelles	IBG DCE	IBD	IBMR

L'IBG-DCE calculé dans le Lathan donne une qualité biologique de l'eau médiocre à Rillé. Cependant cette valeur est celle calculée pour l'année 2010 ; en 2011, l'indice était meilleur et indiquait une qualité moyenne. L'IBMR est ici aussi l'indice le plus déclassant : il définit un niveau trophique très élevé dans le Lathan à Longué-Jumelles.

2. PROPOSITIONS DE DEBITS BIOLOGIQUES

2.1. PRINCIPES DE LA METHODE

La méthode utilisée pour le calcul des débits minimum biologiques est celle dite des « micro-habitats ». Le modèle utilisé ici est Estimhab, qui est un modèle statistique associant un modèle hydraulique à un modèle biologique. La méthode est utilisable dans des tronçons de cours d'eau à la morphologie au minimum relativement préservée.

Estimhab nécessite de réaliser des mesures de hauteurs d'eau, largeurs, taille du substrat à deux débits différents (mesures hydrauliques à l'étiage et à un débit au moins deux fois supérieur). Les mesures sont effectuées sur un minimum de 100 points répartis dans un minimum de 15 transects. L'espacement inter-transects est régulier et lié à la largeur moyenne en eau. De même, la largeur moyenne en eau sert de base pour calculer la distance inter-points dans les transects.

Cette méthode ne nécessite pas de topographie, ni de géolocalisation, mais les « compense » par un grand nombre de données mesurées, ce qui permet de travailler de manière « statistique ». Cela dans l'optique de limiter le temps de travail sur le terrain, toujours coûteux.

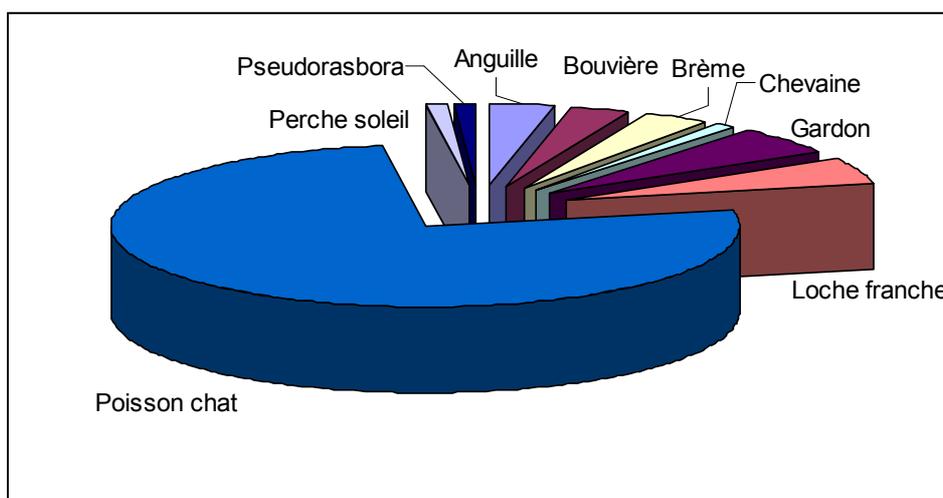
Le traitement des données est fondé sur la répartition des faciès aux deux débits observés, et sur les préférences d'habitats qui ont été établies pour un certain nombre d'espèces pisciaires. Les mesures sont donc saisies dans une application permettant d'obtenir des courbes de « surfaces potentiellement utiles » (SPU / 100 m) aux différents stades de vie des poissons, pour les espèces (ou les guildes, c'est-à-dire des groupes d'espèces) choisies, à différents débits. De façon générale, un point d'inflexion sur ces courbes est recherché. En dessous de ce point, chaque diminution de débit entraîne une forte réduction des habitats favorables à l'espèce ciblée.

2.2. ESPECES CIBLEES

2.2.1. Données de pêche dans le Changeon

D'après les SDVP et PDPG de Maine-et-Loire et d'Indre-et-Loire, l'état fonctionnel du cours d'eau est complètement dégradé. L'espèce repère est le brochet.

Un inventaire piscicole dans le cadre du Réseau de Contrôle et de Surveillance a été effectué en 2009 en la station de St Nicolas de Bourgueil, peu avant la confluence avec le Lane. L'Indice Poisson Rivière calculé à partir des données récoltées indique en effet un peuplement de poissons fortement perturbé par rapport au peuplement théorique attendu. Le peuplement est notamment dominé par des espèces de cours d'eau lenticules, et une espèce indésirable, le poisson-chat.



Poissons pêchés dans le Changeon à St Nicolas de Bourgueil
(effectif total : 98/1000 m² - données ONEMA 10/06/2009)

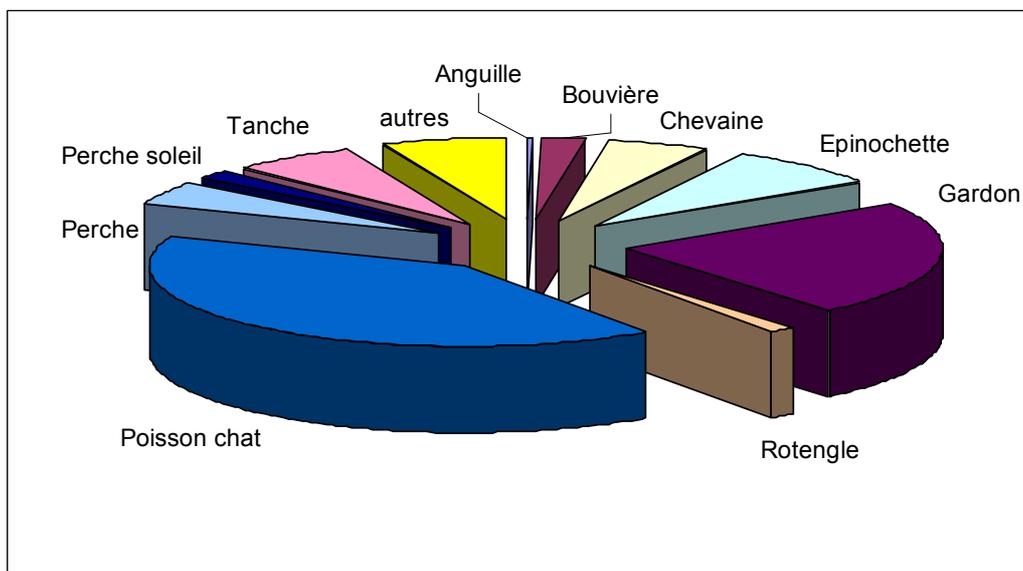
2.2.2. Espèces remarquables ou à intérêt patrimonial dans le bassin du Changeon

Le DOCOB du Changeon et de la Roumer recense des espèces d'intérêt patrimonial présentes à l'annexe II de la Directive Habitat vivant en cours d'eau. Ces espèces sont le chabot (*Cottus gobio*), la bouvière (*Rhodeus amarus*), la lamproie de Planer (*Lempetra planeri*) et l'écrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*). Une espèce d'odonate, l'agrion de Mercure (*Coenagrion mercuriale*), est aussi à noter dans le haut-bassin du Changeon.

2.2.3. Données de pêche dans le Lathan

D'après les SDVP et PDPG de Maine-et Loire et d'Indre-et-Loire, l'état fonctionnel du cours d'eau est complètement dégradé. L'espèce repère est le brochet.

Un inventaire piscicole dans le cadre du Réseau de Contrôle et de Surveillance a été effectué en 2009 dans le Lathan à Longué-Jumelles. L'Indice Poisson Rivière calculé à partir des données récoltées donne en effet un peuplement de poissons fortement perturbé comparativement au peuplement théorique attendu. Le peuplement trouvé est typique des milieux lenticques. De même que dans le Changeon, de nombreux poisson-chats ont été trouvés.



Poissons pêchés dans le Lathan à Longué-Jumelles
(effectif total : 311/1000 m2 - données ONEMA 19/06/2009)

2.2.4. Choix des poissons ciblés

D'après les espèces trouvées dans les stations par inventaire piscicole et du classement en seconde catégorie piscicole du Changeon et du Lathan, l'habitat est modélisé par « guildes », c'est-à-dire par groupes de poissons partageant les mêmes types d'habitats. Quatre guildes existent selon le faciès d'écoulement : la guilde « radier¹ » (loche franche, chabot, barbeau de taille inférieure à 9 cm), la guilde « chenal² » (barbeau de taille supérieure à 9 cm, hotu, vandoise), la guilde « mouille³ » (anguille, perche, gardon, chevaine de taille supérieure à 17 cm) et la guilde « berge » (goujon, chevaine de taille inférieure à 17 cm).

2.3. DEBITS BIOLOGIQUES DANS LE CHANGEON

2.3.1. Débits naturels reconstitués

Les débits caractéristiques calculés par ANTEA et utilisés ci-dessous ont un caractère « pseudo-naturel » :

	Aire bassin versant	Module m ³ /s	Q50 m ³ /s	QMNA5 m ³ /s	VCN 10 m ³ /s	VCN3 m ³ /s
Le Changeon à le Paluau	96 km ²	0,49	0,41	0,20	0,18	0,17

A ce jour, il s'agit de l'exploitation des statistiques de débits de la période 1967-1982, dans l'attente de pouvoir exploiter les premiers résultats de la modélisation hydrogéologique maillée et des modèles globaux pluie-débit (notamment en exploitant la répartition des prélèvements sur les bassins versants concernés pour identifier si les volumes prélevés peuvent impacter les débits à proportion de certains « décrochages » estivaux qu'on peut observer sur les courbes de tarissement de débit récentes).

Pour autant, sur cette période ancienne, ces débits devaient être nettement moins influencés qu'aujourd'hui sur le Changeon et ils doivent être proches des débits naturels.

¹ On trouvera la description détaillée des faciès d'écoulement dans la publication de J.R. MALAVOI et Y. SOUCHON (2002) : Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observable en rivière - Bull. Fr. Pisc. (365/366), 357-372.

Radier : profondeur < 60 cm, vitesses > 30 cm/s, rupture de pente et turbulence

² Chenal : profil symétrique, profondeur > 60 cm, vitesses < 30 cm/s, souvent en amont d'un obstacle ou d'un faciès rapide

³ Mouille : profil asymétrique, profondeur > 60 cm, vitesses < 30 cm/s – généralement dans une concavité de méandre

2.3.2. Station de mesure

La station de mesure a été choisie au lieu dit Le Paluau (voir carte en annexe), en raison de la configuration du Changeon : en amont se trouvent des moulins, et à l'aval, une grande partie du cours du Changeon a été mise en bief. Cette station présente une alternance de séquences d'écoulements qui permet de modéliser de façon optimale les habitats disponibles. De plus, des données hydrologiques sont disponibles dans cette station.



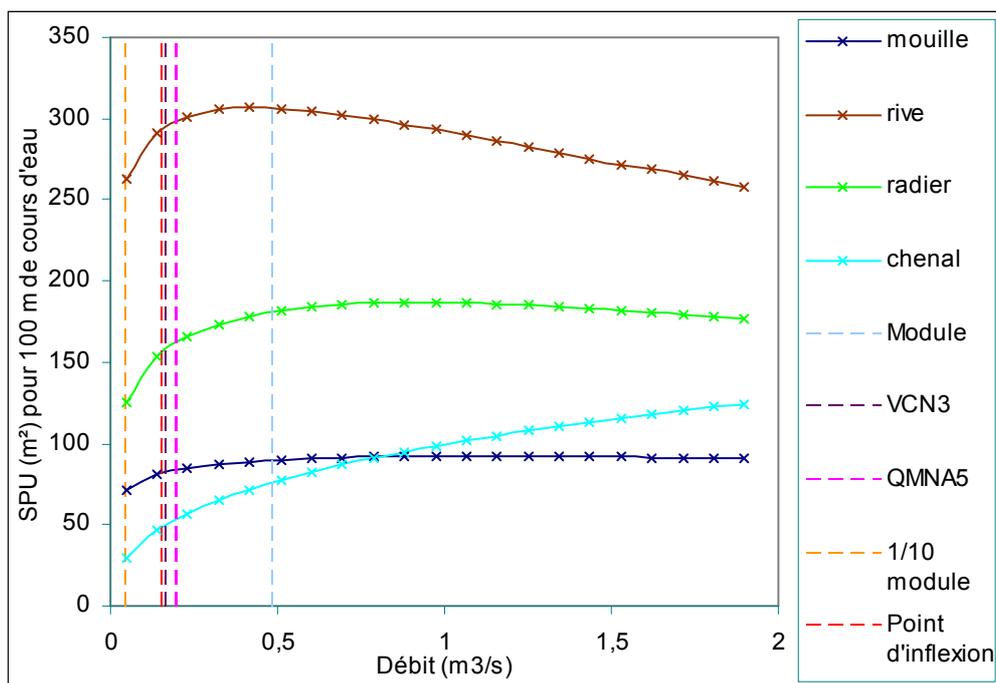
Vue générale du Changeon à Le Paluau en octobre et en décembre 2012

Récapitulatif des données utilisées dans Estimhab pour le Changeon à « Le Paluau »

	Campagne 1 (Q1)	Campagne 2 (Q2)
Dates d'intervention	26/10/2012	19/12/2012
Débit mesuré (m³/s)	0,46	0,98
Largeur moyenne (m)	5,6	6,2
Hauteur moyenne (m)	0,31	0,40
Taille moyenne du substrat (cm)	2,6	

2.3.3. Modélisation

Les résultats de la modélisation sont les suivants :



Surfaces Potentielles Utiles pour 100 m de cours d'eau en fonction du débit dans le Changeon à Le Paluau pour les différentes guildes de poissons

Les courbes de SPU de la guild « mouille » ne présentent pas de valeurs élevées ni de grandes variations en fonction du débit : le cours d'eau présente en effet globalement très peu de mouilles. Cette guild n'est donc pas utilisée dans l'interprétation des données fournies par le modèle.

Les autres courbes présentent plus de variations. La gamme de modélisation d'Estimhab ne permettant pas de voir le maximum de la courbe de la guild « chenal », c'est le module (0,49 m³/s) qui est choisi afin de calculer les variations de SPU en fonction du débit.

Un point d'inflexion est commun aux quatre courbes au débit de 0,155 m³/s. En deçà de ce débit, les valeurs de SPU diminuent fortement.

Synthèse des résultats obtenus par Estimhab dans le Changeon à Le Paluau

Gamme de débits	Débit en m ³ /s	Guild radier		Guild chenal		Guild rive	
		Valeur réelle SPU (m ²)/100m	% de la SPU max/100m	Valeur réelle SPU (m ²)/100m	% de la SPU au module/100m	Valeur réelle SPU (m ²)/100m	% de la SPU _{max} /100m
Module	0,490	181	97 %	76	100 %	306	100 %
QMNA5	0,200	162	87 %	54	71 %	299	98 %
VCN3 /5 ans⁴	0,170	158	85 %	50	66 %	296	97 %
1/10 module	0,049	127	68 %	30	39 %	265	87 %

⁴ Débit d'étiage minimal enregistré pendant 3 jours consécutifs avec une fréquence de retour de 5 ans. On note qu'il est peu inférieur au QMNA5, lequel est très supérieur au 1/10 du module, ce qui s'explique par des étiages toujours soutenus, grâce à des apports d'eau de nappes souterraines.

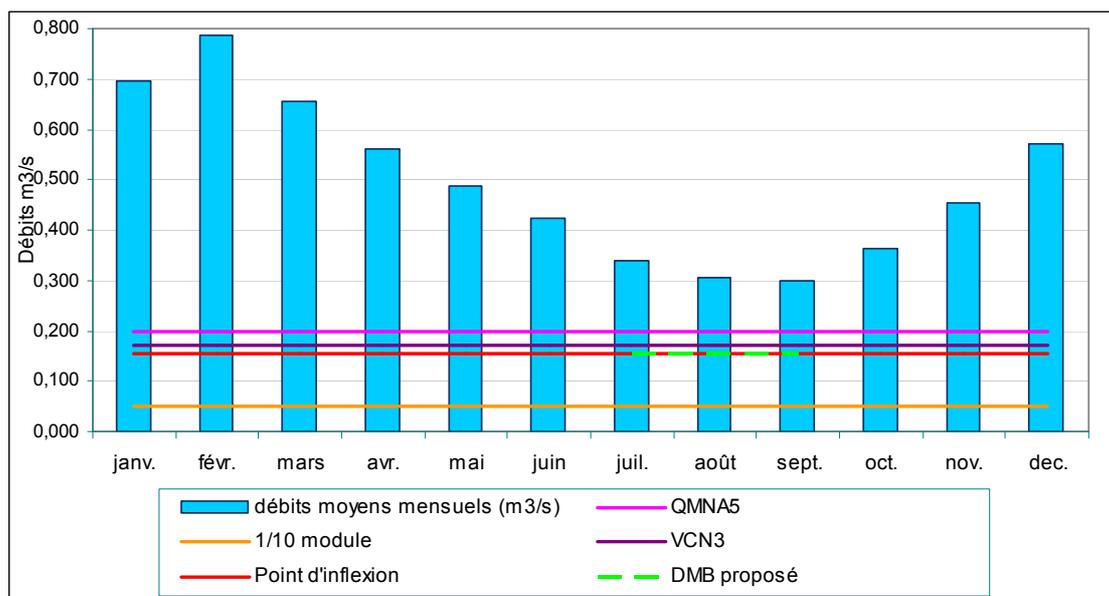
Débit minimal modélisable	0,046	126	67 %	30	39 %	263	86 %
Débit point inflexion	0,155	156	83 %	49	64 %	294	96 %
100% SPU guilde radier	0,940	187	100 %	97	128 %	294	96 %
100% SPU guilde rive	0,430	179	96 %	72	95 %	306	100 %

L'examen des données fournies par Estimhab permet de tirer les conclusions suivantes :

- Au module, les valeurs de SPU, comparées aux SPU maximales, sont très bonnes pour les guildes « radier » et « rive ». La valeur de SPU pour la guilde « chenal » est globalement assez faible.
- Au QMNA5 et au VCN3 (débits d'étiage), les valeurs de SPU restent bonnes pour les guildes « radier » et « rive », comparativement aux SPU maximales ;
- En dessous du débit correspondant au point d'inflexion des courbes (0,155 m³/s), les pertes de SPU deviennent importantes, en particulier pour la guilde « chenal » (à ce débit, il ne reste que 60 % de la SPU par rapport à la SPU de cette guilde au module). Ce débit peut donc être considéré comme le débit minimum biologique. D'après l'hydrologie naturelle reconstituée, ce débit n'est que rarement atteint.
- Au 1/10 du module (0,049 m³/s, soit un étiage très sévère du Changeon), les valeurs de SPU de la guilde « chenal » deviennent très faibles (baisse de plus de 60 % de la SPU par rapport à la SPU au module), et subissent aussi une baisse notable pour la guilde « radier » (plus de 30 % de diminution). Ce débit ne peut donc pas être proposé comme débit minimum biologique.

2.3.4. Débit minimum biologique proposé

Proposition de débit biologique dans le
Changeon à Le Paluau
0,155 m³/s



Débits moyens mensuels et débits caractéristiques du Changeon à Le Paluau

2.4. DEBITS BIOLOGIQUES DANS LE LATHAN

2.4.1. Débits naturels reconstitués

Les débits caractéristiques calculés par ANTEA et utilisés ci-dessous ont un caractère « pseudo-naturel ».

	Aire bassin versant	Module m ³ /s	Q50 m ³ /s	QMNA5 m ³ /s	VCN 10 m ³ /s	VCN3 m ³ /s
Le Lathan à Chants d'Oiseaux	137 km ²	0,58	0,38	0,07	0,05	0,04

Il s'agit de l'exploitation des statistiques de débits de la période 1967-1982. Cette période comporte la mise en service des lâchers du réservoir de Rillé sur le Lathan au cours des dernières années. Cela peut impacter les débits d'étiage, mais sans doute à la marge sur une moyenne sur 15 ans.

2.4.2. Station de mesure

La station de mesure a été choisie en aval du lieu-dit « Chanteloup » dans les communes de Mouliherne et Vernante (voir carte en annexe). Le choix de la station s'est fait en rapport avec la morphologie quasi-naturelle et l'alternance de faciès présents dans ce linéaire du Lathan. La station est située en aval du lac de Rillé. Enfin, des données hydrologiques (débits) sont disponibles.



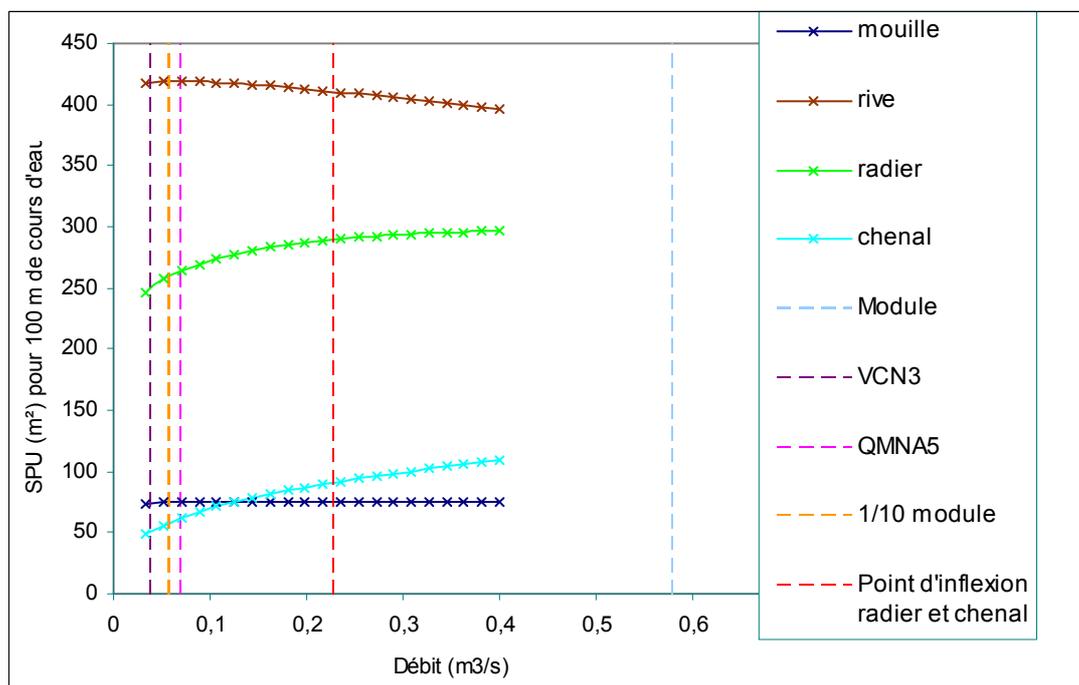
Vue générale du Lathan à Chanteloup en octobre et en décembre 2012

Récapitulatif des données utilisées pour le Lathan à Chanteloup

	Campagne 1 (Q1)	Campagne 2 (Q2)
Dates d'intervention	26/10/2012	19/12/2012
Débit mesuré (m³/s)	0,34	0,84
Largeur moyenne (m)	7,1	7,2
Hauteur moyenne (m)	0,20	0,25
Taille moyenne du substrat (cm)	8,7	

2.4.3. Modélisation

Les résultats de la modélisation sont les suivants :



Surfaces Potentielles Utiles pour 100 m de cours d'eau en fonction du débit dans le Lathan à Chanteloup pour les différentes guildes de poissons

Les courbes de SPU de la guildes « mouille » ne présentent pas de valeurs élevées ni de grandes variations en fonction des différents débits. Cela est dû à la pauvreté du cours d'eau en ce type de faciès. La SPU de la guildes « rive » ne diminue pas quand le débit diminue : les habitats de berges restent présents même à faible débit et les vitesses de courant deviennent plus favorables aux espèces. Ces deux guildes ne sont donc pas utilisées dans l'interprétation des données.

La gamme de modélisation d'Estimhab ne permet pas de voir le maximum de la courbe de la guildes « chenal » : le module (0,580 m³/s) est donc choisi pour calculer les variations de SPU en fonction du débit. Un point d'inflexion est commun aux courbes des guildes « radier » et « chenal » au débit de 0,23 m³/s. En deçà de ce débit, les valeurs de SPU diminuent fortement.

Synthèse des résultats du modèle Estimhab dans le Lathan à Chanteloup

Gamme de débits	Débit en m ³ /s	Guildes radier		Guildes chenal	
		Valeur réelle SPU (m ²)/100m	% de la SPU max/100m	Valeur réelle SPU (m ²)/100m	% de la SPU au module/100m
Module	0,580	297	100 %	122	100 %
QMNA5	0,070	264	89 %	62	51 %
VCN3 / 5 ans⁵	0,040	250	84 %	51	42 %
1/10 module	0,058	259	87 %	58	48 %

⁵ Le VCN3 nettement inférieur au QMNA5 et au 1/10 module, ce qui montre que les étiages sont sévères.

Débit minimal modélisable	0,034	246	83 %	49	40 %
Débit point inflexion chenal	0,230	(290)	(97 %)	91	75 %
Débit point inflexion radier	0,089	269	91 %	(67)	(55%)
100% SPU guilde radier	0,510	298	100 %	118	97 %

L'examen des données fournies par Estimhab permet de tirer les conclusions suivantes :

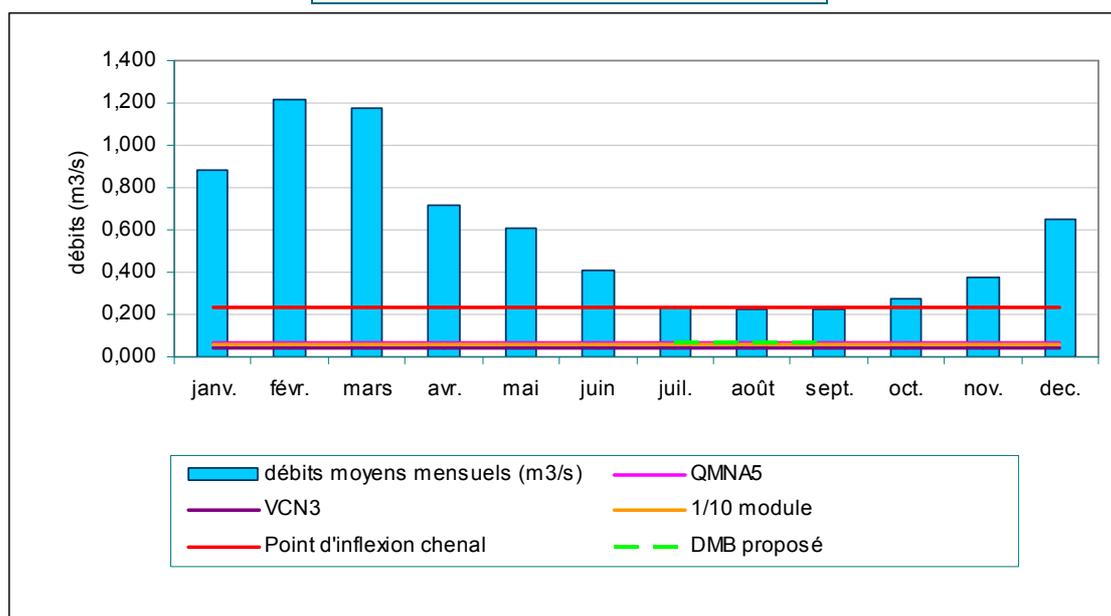
- Au module, la valeur de SPU comparée à la SPU maximale est très bonne pour la guilde « radier ». La valeur de SPU de la guilde « chenal » est assez moyenne (122 m²) ;
- Pour la guilde « chenal », en dessous du débit correspondant au point d'inflexion (0,23 m³/s), les pertes de SPU deviennent importantes : à ce débit il ne reste que 75 % de la SPU par rapport à la SPU de cette guilde au module. Les débits inférieurs sont pénalisants pour cette guilde, mais naturellement observés tous les étés (en année d'hydrologie moyenne) : le cours d'eau n'est naturellement pas favorable aux poissons de cette guilde.
- Au QMNA5 (débit d'étiage sévère dans le Lathan), la SPU de la guilde « radier » reste correcte, comparativement à la SPU maximale, alors que celle de la guilde « chenal » montre, en revanche, une diminution importante d'environ 50 % par rapport à la SPU au module.
- A partir du 1/10 du module, la diminution de SPU est significative également pour la guilde « radier ».
- Comme l'objectif n'est pas de rendre le cours d'eau favorable à un groupe de poissons au-delà de la situation naturelle, c'est alors la guilde radier qui est prise en considération : au dessus du QMNA5 (débit d'étiage sévère dans le Lathan), sa SPU est correcte. Ce débit peut donc être considéré comme le minimum biologique en période d'étiage (juillet à octobre), dans le Lathan à Chanteloup.

2.4.4. Débit minimum biologique proposé

Le DMB proposé en étiage correspond au QMNA 5 :

DMB dans le Lathan à Chanteloup (QMNA5)

0,070 m³/s



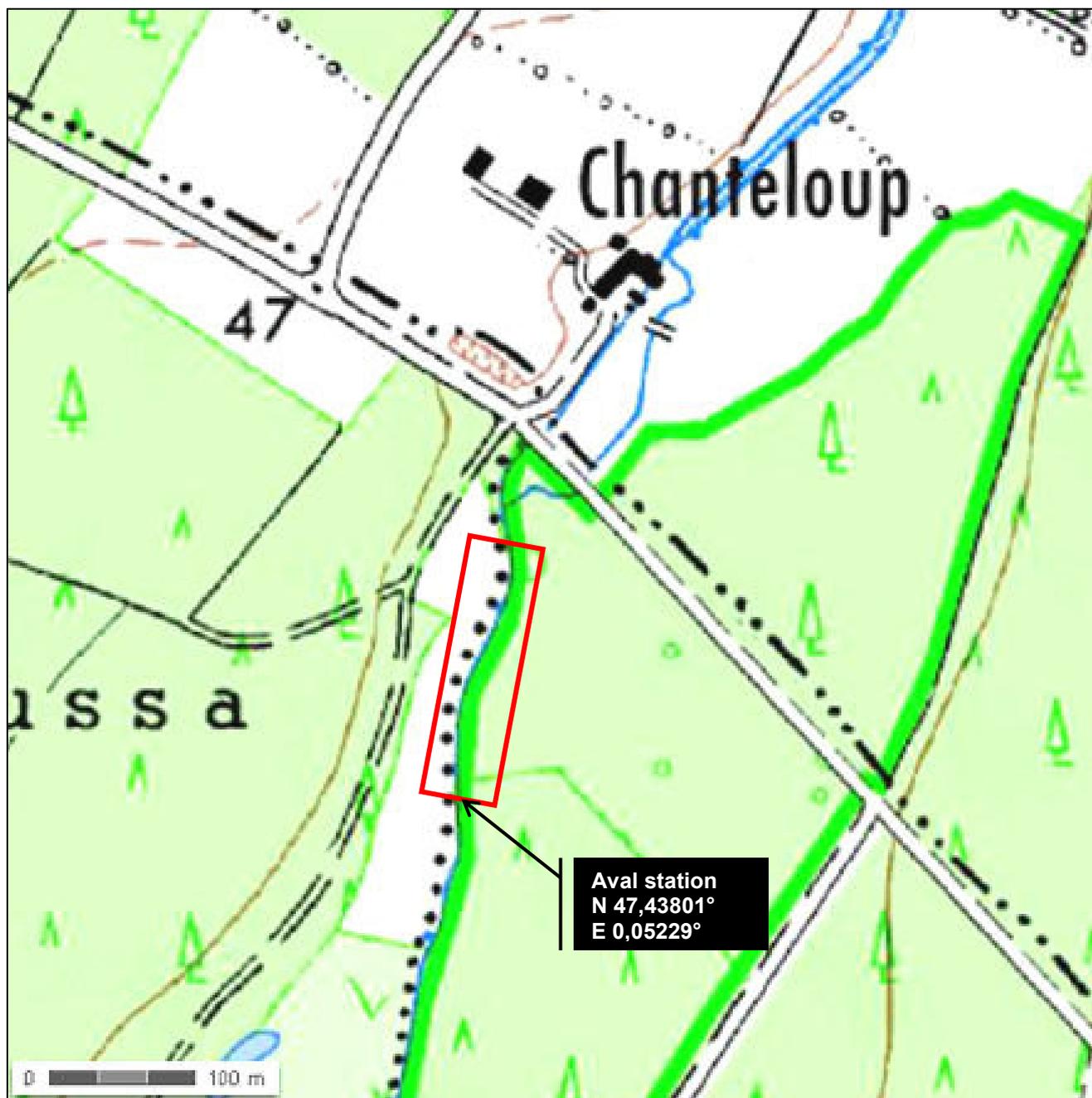
Débits moyens mensuels et débits caractéristiques dans le Lathan à Chanteloup

3. ANNEXES : LOCALISATION DES STATIONS DE MESURES

Le Changeon à Le Paluau (carte IGN n°1622 Est Longué 1/25 000 agrandie)



Le Lathan à Chanteloup (carte IGN n°1722 Ouest Noyant 1/25 000 agrandie)



*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

Annexe 4 : Evaluation de la compatibilité des aménagementés proposés avec la réglementation en vigueur et les peuplements piscicoles du Couasnon

(16 pages)

TRAVAUX DE RENATURATION ET D'AMÉLIORATION DE LA CONTINUITÉ ECOLOGIQUE SUR LE COUASNON

EVALUATION DE LA COMPATIBILITÉ DES AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS AVEC LA RÉGLEMENTATION EN VIGUEUR ET LES PEUPELEMENTS PISCICOLES DU COUASNON



**Fédération de Maine et Loire pour la Pêche et la
Protection du Milieu Aquatique**

14 allée du Haras 49100 Angers

Tél. 02-41-87-57-09 – Courriel : fede.peche.49@wanadoo.fr

Sommaire

Introduction	1
1. La réglementation sur les ouvrages s’appliquant au projet	2
A. Le classement des cours d’eau au titre du L214-17 du Code de l’environnement	2
B. L’article L.214-18 du Code de l’Environnement sur le débit réservé	2
2. Approche ichtyologique du projet	3
A. Le classement piscicole	3
B. Le Plan Départemental de Protection du milieu aquatique et de Gestion des ressources piscicoles (PDPG).....	3
C. Peuplements piscicoles théoriques et observés	4
▪ Les peuplements attendus sur le Couasnon	4
▪ Les peuplements observés sur le Couasnon	6
D. Les espèces visées par les aménagements.....	8
3. Analyse des compatibilités du projet de restauration du Couasnon.....	9
A. Les aménagements prévus.....	9
B. Evaluation de la compatibilité des aménagements proposés avec la Réglementation.....	10
▪ Classement des cours d’eau :	10
▪ Article L214-18 du code de l’environnement :	10
C. Evaluation de la compatibilité des aménagements avec les peuplements piscicoles.....	11
Conclusion.....	12
Annexe 1 : Localisation des futurs travaux sur le cours du Couasnon dans le cadre du Contrat Territorial Milieu Aquatique (Carte SIAC)	13
Annexe 2 : Respect du débit réservé au titre de l'article L 214-18 du Code de l'environnement - Situation actuelle et future (Données SIAC et SEGI)	14

Introduction

Le Syndicat Intercommunal pour l'Aménagement du Couasnon a été fondé en 1971. A la base, ses actions étaient principalement d'ordre hydraulique. C'est ainsi que le Couasnon a été recalibré et rectifié dans les années 70-80 sur la quasi-totalité de son linéaire pour assainir les terres et que des barrages ont été installés pour permettre l'irrigation des terres agricoles.

Depuis maintenant plusieurs années, une prise de conscience s'est opérée et, avec l'émergence des préoccupations environnementales et l'apparition de la Directive européenne Cadre sur l'Eau, le Syndicat Intercommunal pour l'Aménagement du Couasnon a progressivement fait évoluer le mode de gestion du Couasnon. Il s'attache désormais à restaurer son fonctionnement naturel tout en tenant compte des usages en vigueur.

Un premier programme de travaux a ainsi vu le jour entre 2004 et 2009 : Le Contrat Restauration Entretien du Couasnon. Il a permis de restaurer et d'entretenir la végétation, de diversifier les habitats aquatiques et les écoulements sur 27 kilomètres et enfin d'améliorer la continuité écologique en effaçant 22 ouvrages.

Le bilan de cette opération a été réalisé en 2009-2010. Il a montré que le Couasnon retrouvait peu à peu son fonctionnement naturel mais qu'un niveau de restauration plus important devait être mis en œuvre.

Aussi, le 12 juillet 2010, le Syndicat a signé un nouveau programme de restauration : le Contrat Territorial Milieux Aquatiques du bassin du Couasnon.

Dans ce cadre, une étude a été lancée en octobre 2010. Réalisée par le bureau d'étude SEGI (Société d'Etudes Générales et d'Infrastructures), elle a permis de définir les aménagements nécessaires à la restauration de la morphologie du Couasnon et à l'amélioration de la continuité écologique au niveau des derniers ouvrages problématiques.

Afin d'évaluer la compatibilité des aménagements proposés avec la réglementation en vigueur sur les débits et les exigences écologiques des peuplements piscicoles du Couasnon, la Fédération de Maine et Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique a été désignée comme "expert" par un groupe de travail réunissant des membres du Syndicat du Couasnon, du SAGE Authion, de la DREAL des Pays de la Loire et de la DDT de Maine et Loire et des représentants des différents usagers également.

La note qui suit présente les résultats de cette expertise.

1. La réglementation sur les ouvrages s'appliquant au projet

A. Le classement des cours d'eau au titre du L214-17 du Code de l'environnement

La loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006 (LEMA) et sa traduction dans le Code de l'Environnement ont engendré une réforme du classement des cours d'eau en l'adaptant aux exigences de la Directive Cadre sur l'Eau et en remplacement des deux anciens classements :

- "rivières réservées" au titre de l'article 2 de la loi de 1919 qui interdisait la construction de nouveaux obstacles,
- "rivières classées" au titre de l'article L 432-6 qui obligeait l'équipement de passes à poissons afin d'assurer la libre circulation des espèces piscicoles (essentiellement les grands migrateurs).

Désormais, selon l'article L 214-17 du Code de l'Environnement, les cours d'eau peuvent être classés en :

- Liste 1 : Cette liste comprend les cours d'eau, ou parties de cours d'eau qui :
 - soit sont en très bon état écologique
 - soit sont identifiés par les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) comme jouant le rôle de réservoir biologique nécessaire au maintien ou à l'atteinte du bon état écologique
 - soit nécessitent une protection totale des poissons migrateurs et sur lesquels aucune autorisation ou concession ne peut être accordée pour la construction de nouveaux ouvrages s'ils constituent un obstacle à la continuité écologique.
- Liste 2 : Cette liste comprend les cours d'eau parmi lesquels il est nécessaire d'assurer le transport suffisant des sédiments et la circulation des poissons. Tout ouvrage doit y être géré, entretenu et équipé selon des règles définies par l'autorité administrative, en concertation avec le propriétaire ou, à défaut, l'exploitant. Les ouvrages existants devront être mis en conformité dans un délai de 5 ans après la publication de l'arrêté de classement.

Les arrêtés de classement des cours d'eau en liste 1 et en liste 2 au titre de l'article L.214-17 du Code de l'environnement ont été signés le 10 juillet 2012 par le Préfet coordonnateur de bassin Loire-Bretagne et publiés au journal officiel le 22 juillet.

Le Couason est classé en liste 1 sur tout son linéaire et en liste 2, de la confluence avec le brocard à sa confluence avec l'Authion (uniquement le bras "naturel"). Le classement en liste 2 vise l'anguille et les migrateurs holobiotiques dont une liste est en cours d'élaboration dans un groupe de travail piloté par la DREAL des Pays de la Loire et comprenant les services de l'Onema ainsi que les Fédérations de Pêche.

B. L'article L.214-18 du Code de l'Environnement sur le débit réservé

L'article L. 214-18 du code de l'environnement, modifié par la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006 (LEMA), prévoit que les obligations qu'il établit en matière de débit réservé sont applicables aux ouvrages existants, à la date de renouvellement de leur titre, et au plus tard au 1er janvier 2014.

L'obligation principale consiste à maintenir dans le cours d'eau à l'aval de l'ouvrage un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage. Ce débit minimum "biologique", appelé ci-après "débit réservé", ne doit pas être inférieur à un plancher qui est fixé au 10^e du module interannuel du cours d'eau, pour l'essentiel des installations, et au 20^e de ce module pour les ouvrages situés sur un cours d'eau dont le module est supérieur à 80 m³/s, ou pour les ouvrages hydroélectriques contribuant à la production d'électricité en période de pointe de consommation, listés par décret. Si le débit à l'amont immédiat de l'ouvrage est inférieur à ce plancher, c'est ce débit entrant qui doit être respecté à l'aval.

Par ailleurs, l'article L. 214-18 CE prévoit des possibilités de déroger au débit plancher, dans le cas de cours d'eau à fonctionnement atypique ou d'étiage naturel exceptionnel.

Il prévoit enfin la possibilité, tout en respectant en moyenne sur l'année le débit réservé, de moduler celui-ci selon les différentes périodes de l'année, le débit le plus bas devant cependant rester supérieur à la moitié du débit réservé. On parle alors d'un "régime hydraulique réservé".

2. Approche ichtyologique du projet

A. Le classement piscicole

Le classement en catégories piscicoles est un classement administratif départemental sur lequel s'appuie la réglementation halieutique. Il est fondé sur des critères abiotiques : typologie et, en particulier, pente de la section du cours d'eau.

On distingue :

- les cours d'eau de première catégorie, en général en tête de bassin des rivières, où le peuplement piscicole dominant est constitué de salmonidés (truite, ombre) et de petites espèces d'accompagnement (chabot, vairon, ...)
- les cours d'eau de seconde catégorie qui abritent majoritairement des populations de Cyprinidés (carpe, barbeau, gardon, *etc.*) et les carnassiers (brochet, perche, ...).

Le Couasnon est classé en 1^{ère} catégorie de sa source jusqu'au pont des Fées, sur la commune de Baugé, là où la pente est la plus marquée puis en 2^{ème} catégorie piscicole jusqu'à sa confluence avec l'Authion.

B. Le Plan Départemental de Protection du milieu aquatique et de Gestion des ressources piscicoles (PDPG)

Le Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles (PDPG) est un document réalisé par la Fédération visant à mettre en place une politique de restauration des cours d'eau. Il repose sur une analyse des milieux, de leurs perturbations et de leurs peuplements piscicoles afin de définir leur qualité globale. La première étape consiste à déterminer le domaine piscicole du cours d'eau (salmonicole, intermédiaire, cyprinicole) et à définir une espèce "repère" (la plus sensible du peuplement), qui peut être respectivement la truite fario, l'ombre commun ou les cyprinidés rhéophiles et le brochet. En fonction des facteurs limitant recensés et de leur impact sur les trois phases de son cycle vital (pont, reproduction, croissance), on détermine le degré de

satisfaction ou de perturbation des exigences biologiques de l'espèce "repère" et on en déduit l'état du peuplement piscicole qui peut être conforme, perturbé ou dégradé.

Le Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles de Maine et Loire (49), validé en 2001, fait état de 2 contextes piscicoles différents sur le bassin versant du Couasnon et de ses affluents.

Alors que la partie aval du Couasnon fait partie du contexte "Authion", le contexte "Couasnon" est lui constitué de la partie du cours d'eau située en amont de Baugé.

Contexte	Code	Type	Espèce repère	Etat fonctionnel
Couasnon	L92-30-ID	Intermédiaire	Truite fario	Dégradé
Authion	L91-29-CD	Cyprinicole	Brochet	Dégradé

Les préconisations de gestion faites dans le PDPG sont :

- l'effacement d'une majorité des ouvrages hydrauliques barrant le cours du Couasnon et de ses affluents, afin qu'ils retrouvent une dynamique hydro-sédimentaire "naturelle" et une libre circulation piscicole,
- la renaturation des lits mineurs et majeurs des cours d'eau afin qu'ils retrouvent leurs fonctionnalités aussi bien écologiques que biologiques (en focalisant sur certains points particuliers comme l'importance des surfaces de radiers et l'aménagement de zones humides submersibles lors des crues).

C. Peuplements piscicoles théoriques et observés

▪ Les peuplements attendus sur le Couasnon

Les peuplements piscicoles théoriques sont déterminés d'abord par les conditions physico-chimiques et géomorphologiques des cours d'eau ou portion de cours d'eau.

Les besoins des différentes espèces vis à vis de la température, de l'oxygène, et surtout leur capacité nataoire et leur aptitude à se maintenir dans une eau courante conduisent en effet à une répartition spatiale des espèces, les espèces rhéophiles se rencontrant plutôt sur l'amont des cours d'eau, tandis que les espèces limnophiles sont davantage inféodées aux cours aval de moindre pente (classification de Verneaux). La vitesse du courant et la hauteur d'eau apparaissent comme les variables d'habitat les plus discriminantes pour la répartition des poissons dans les cours d'eau.

Au voisinage des sources, sur le chevelu amont où abondent les radiers, on observe couramment la truite fario, le chabot, la lamproie de Planer, et leurs espèces d'accompagnement, la loche franche ou le vairon. Les cyprinidés rhéophiles caractérisent la zone moyenne, ou zone "à barbeau" : barbeau, vandoise, spirlin, goujon, chevaine, hotu. Dans les cours aval plus lents, on trouve la bouvière, la brème bordelière, le rotengle, l'ablette, le gardon, le brochet, le sandre, la perche, la carpe... En complément, on rencontre parfois un petit nombre d'espèces amphihalines, des espèces introduites accidentellement ou volontairement, et, sur les rivières où ils peuvent encore circuler, quelques poissons migrateurs (anguille). Il est rare qu'une pêche électrique recense plus d'une dizaine d'espèces différentes, avec une diversité inter-station généralement forte tenant à la distribution fragmentée des espèces en fonction des conditions environnementales locales.

Les biotypes, au nombre de 10, se répartissent le long d'une rivière abstraite. Ils abritent des structures biologiques typiques constituées d'espèces présentant des exigences écologiques voisines. Les 3 composantes fondamentales des milieux aquatiques que sont la thermie, la trophie et la morphodynamique qui permettent de définir le niveau typologique ou biotype théorique d'une station.

$$B_{th} = 0.45 T1 + 0.30 T2 + 0.25 T3$$

Facteur thermique $T1 = 0.55 * T_{max} - 4.34$

Facteur trophique $T2 = 1.17 * [\ln(d0 * D / 100)] + 1.50$

Facteur morphodynamique $T3 = 1.75 * [\ln(Sm / p * l^2) * 100] + 3.92$

Avec T_{max} : moyenne des températures maximales des 30 jours consécutifs les plus chauds

$d0$: distance à la source (km)

D : dureté calco-magnésienne (mg/l)

Sm : section mouillée à l'étiage

P : pente du lit (‰)

l : largeur du lit mineur

Le niveau typologique théorique T_{th} peut être calculé ce qui permet alors de prédire une composition référentielle de la communauté piscicole. Le peuplement théorique ainsi établi tient compte de la variété optimale du biotype (Verneaux, 1976). Les espèces devant être présentes sont définies à partir de leur présence, actuelle ou passée, dans le bassin versant et le cours d'eau prospecté.

Depuis, les travaux de Verneaux, le peuplement théorique pour chaque niveau typologique a été calculé à partir des données de pêches électriques réalisées dans le cadre du suivi du Réseau Hydrobiologique et Piscicole (Genet, 2000), en tenant compte des spécificités éco-régionales.

A noter qu'à partir des densités, on peut exprimer le peuplement théorique en classes d'abondance.

- Classe d'abondance 0,5 = présence
- Classe d'abondance 1 = abondance très faible
- Classe d'abondance 2 = abondance faible
- Classe d'abondance 3 = abondance moyenne
- Classe d'abondance 4 = abondance forte
- Classe d'abondance 5 = abondance très forte

Pour chacune des stations de pêche du Couason, le niveau typologique théorique a été calculé afin de définir les peuplements théoriques. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

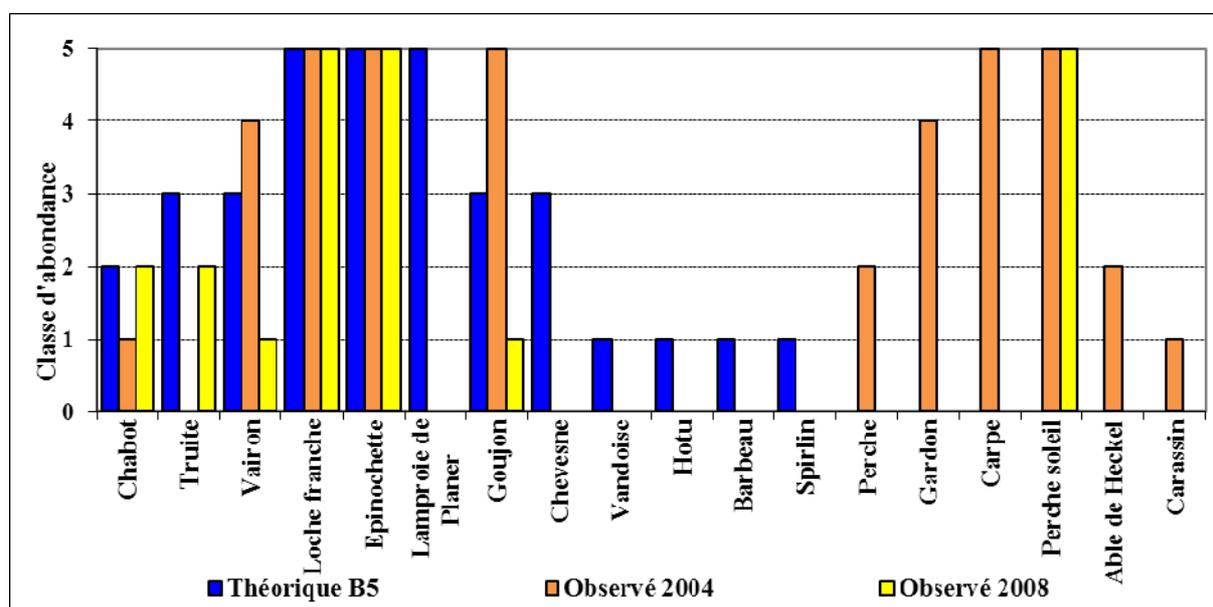
Variable	"La Butte" - Lasse	"école de musique" - Baugé	"Bois Fou" - Beaufort en Vallée
Do	5,400 km	13,870 km	32,200 km
P	2,15%	1,9%	0,51 %
l	2,5 m	4 m	4.7 m
Sm	0,75 m ²	1.24 m ²	1,28 m ²
D	182 mg/l	182 mg/l	182 mg/l
Tm	16°C	20°C	20,2°C
Niveau B_{th}	5	6	7

▪ Les peuplements observés sur le Couasnon

Dans le cadre de l'état des lieux puis du suivi des travaux du SIA Couasnon, la Fédération de Pêche a réalisé plusieurs pêches électriques. Des données piscicoles sur trois stations proches des secteurs géographiques où doivent être mis en place les aménagements sont par conséquent disponibles (cf. carte en annexe) :

- Station n°1 : Le Couasnon, au lieu dit "La butte", sur la commune de Lasse

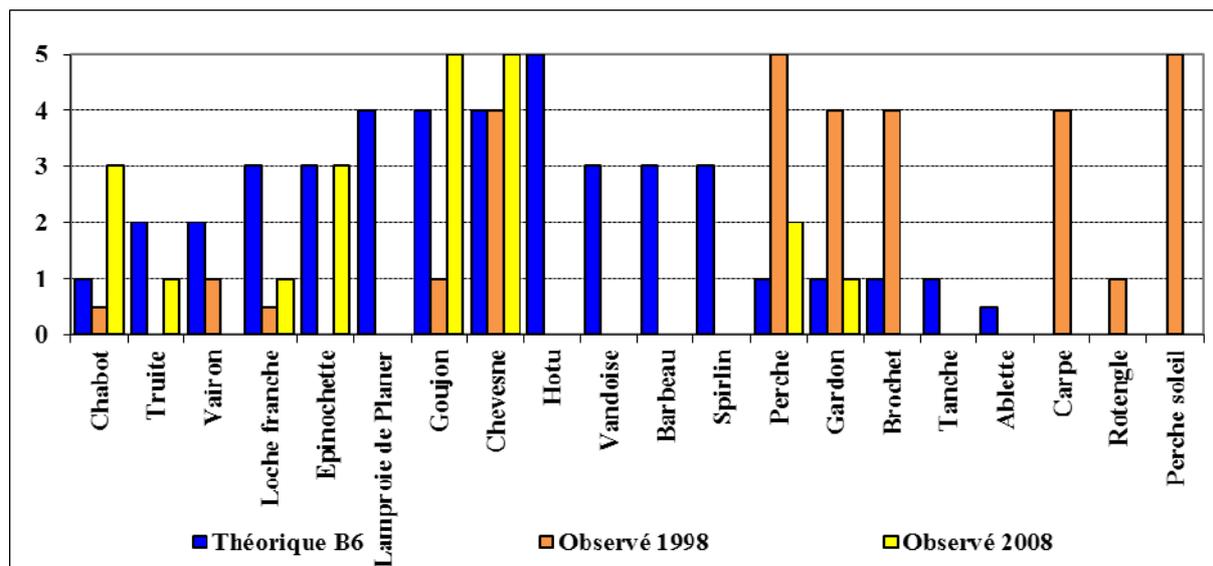
Elle est située à 5,4 km de la source et à 3,735 km en amont du secteur 5, futur site de reméandrage. Son niveau typologique théorique est égal à 5. Les espèces qui devraient dominer le peuplement sont des espèces d'eau courante comme la loche franche, l'épinochette et la lamproie de Planer, accompagnées de la truite, du vairon, du goujon et du chevesne.



Avant les travaux (2004), les espèces qui dominaient le peuplement étaient des espèces d'eau calme et chaude (carpes, gardons et carassins). Après les travaux du premier programme (effacement du barrage et diversification des habitats et écoulement), suivis par la réintroduction de truitelles, on a pu constater la quasi disparition des espèces d'eau calme. Le peuplement observé en 2008 se rapproche donc du peuplement théorique. Seuls manquent la lamproie de Planer et les cyprinidés rhéophiles qui ne pourront recoloniser ce secteur amont que lorsque tous les ouvrages auront été rendus franchissables. Autrement des opérations de réintroduction seront nécessaires. A noter qu'en 2009, suite vraisemblablement à des prélèvements agricoles excessifs ce secteur s'est retrouvé en assec, provoquant la disparition de toutes les truites et d'une partie de la population de chabots.

- Station n°2 : Le Couasnon, au niveau du plan d'eau communal de Baugé

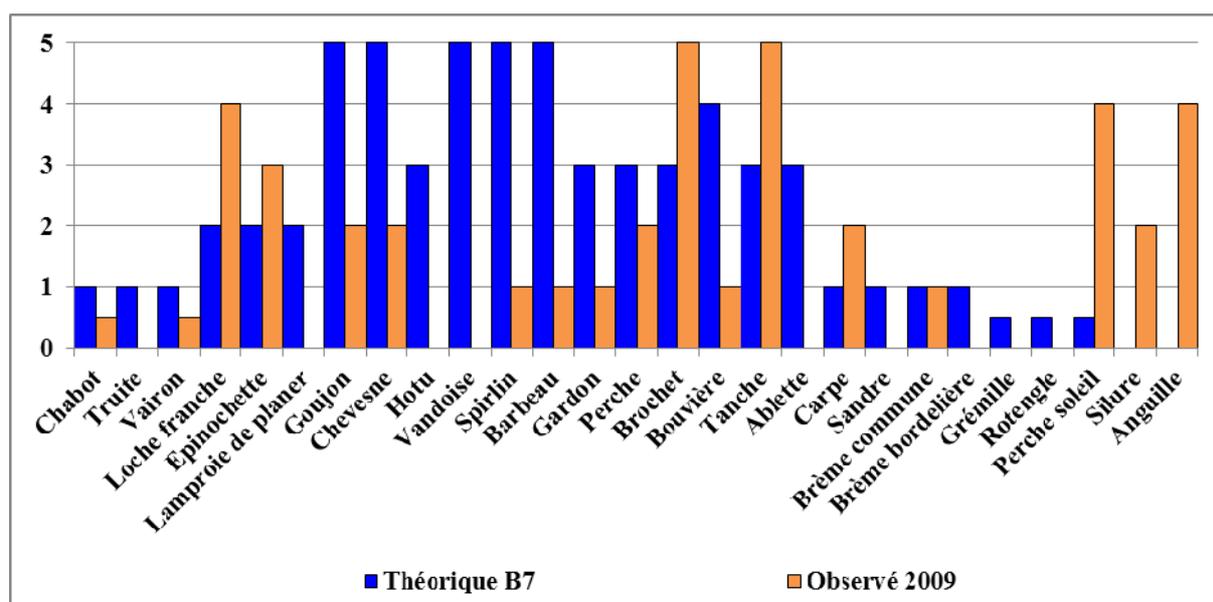
Elle est localisée au niveau du secteur 3 du camping de Baugé, juste en amont de la fin de la partie classée en première catégorie piscicole. Le niveau typologique théorique de la station y est de 6. Le peuplement piscicole devrait y être constitué d'espèces d'eau vive et de quelques espèces d'eau calme mais en quantité modérée.



Des pêches électriques assez anciennes (1997 et 1998) ont mis en évidence un peuplement piscicole principalement composé par les espèces les moins sensibles du peuplement théorique (chevesne, gardon, perche), accompagnées d'espèces d'eau calme (perche soleil, carpe, rotengle). Les travaux mis en place dans le cadre du premier programme ont permis de diversifier les habitats et ont ainsi favorisé les espèces d'eau vive dont les densités ont sensiblement augmenté. Même si la lamproie de Planer et les cyprinidés rhéophiles sont toujours absents, le peuplement observé se rapproche du peuplement théorique.

- **Station n°3 : Le Couason, au pont de Bois Fou, sur la commune de Beaufort en Vallée**

Elle est située sur la partie aval du Couason, au niveau du secteur 1, à 2,3 km en aval du secteur et à 4 km du répartiteur de Laveau, à Beaufort en Vallée. Son niveau typologique théorique est égal à 7.



Le peuplement piscicole devrait ici être très riche, avec au moins 25 espèces différentes. Les espèces d'eau courante (goujon, chevesne, vandoise, spirin et barbeau) devraient encore dominer mais les espèces d'eau calme (bouvière, gardon, ablette, tanche; perche et brochet) devraient être plus nombreuses qu'en amont.

La pêche électrique de 2009 a mis en évidence un peuplement assez diversifié même si certaines espèces sont absentes (1 spirilin et 2 barbeaux ont tout de même été capturés). Mais le niveau de perturbation du milieu s'exprime dans les abondances des différentes espèces qui sont rarement celles attendues.

D. Les espèces visées par les aménagements

Sur le Couasnon, les travaux de recalibrage, de rectification et de mise en place d'ouvrages hydrauliques, réalisés dans les années 70-80, ont eu pour effet de modifier profondément la morphologie du Couasnon ce qui a engendré un glissement typologique des peuplements piscicoles. Les populations des espèces d'eau vive sur le Couasnon ont ainsi fortement diminué, voire disparu au profit d'espèces d'eau calme, peu sensibles quant à la qualité des habitats et le plus souvent pollu-résistantes.

Les actions mises en place dans le cadre du Contrat Restauration Entretien entre 2004 et 2009, ont permis le retour de certaines espèces d'eau vive (chabot), ou leur maintien après réintroduction expérimentale (truite).

Toutefois, plusieurs facteurs conjugués font que l'on observe encore un écart entre les populations observées et les peuplements théoriques: altération de la qualité physico-chimique, altération de la morphologie, habitats aquatiques dégradés, présence de quelques ouvrages hydrauliques encore problématiques.

Les aménagements proposés par le bureau d'étude SEGI devraient donc permettre à terme de retrouver des peuplements piscicoles proches de ceux attendus sur les différentes stations.

Sur la partie amont du Couasnon classée en 1^{ère} catégorie piscicole, entre la source et la commune de Baugé, où le niveau typologique maximum ne dépasse pas B6, l'objectif est de favoriser la truite et les espèces d'eau vive qui l'accompagnent (chabot, lamproie de Planer, vairon, vandoise, hotu, barbeau et spirilin).

Sur la partie aval du Couasnon classée en deuxième catégorie piscicole, de Baugé à la confluence avec l'Authion, où les niveaux typologiques sont plus élevés (de B6 à B8), on cherchera à favoriser le brochet et les espèces d'accompagnement ainsi que les cyprinidés rhéophiles déjà cités précédemment.

Rappelons que les espèces "repères" retenues sont comme le préconise le PDPG, la truite fario sur la partie amont et le brochet sur la partie aval. Ces espèces aux exigences écologiques élevées sont en effet un gage de bonne santé et de fonctionnalité du cours d'eau.

Les aménagements devront également prendre en compte l'anguille, espèce amphihaline encore présente sur le Couasnon, pour laquelle un plan européen de sauvegarde a été mis en place.

Enfin, bien que l'amélioration des habitats et de la continuité permettent le retour de certaines espèces attendues, la réintroduction d'autres espèces pourrait s'avérer nécessaire, dans le cas de l'impossibilité d'une recolonisation par les affluents proches du Couasnon (Lamproie de Planer par exemple).

3. Analyse des compatibilités du projet de restauration du Couasnon

A. Les aménagements prévus

Plusieurs types d'aménagements ont été définis par le bureau d'étude SEGI :

• **Le reprofilage :**

Le reprofilage des berges est une technique simple qui vise à adoucir la pente actuelle des berges abruptes sans avoir recours à des techniques de protection de berges.

• **Les banquettes :**

Les banquettes végétalisées installées dans le lit mineur du cours d'eau, souvent après reprofilage des berges, visent à resserrer ce lit et à accélérer localement les écoulements. Ces banquettes ne seront pas disposées de façon identique sur toute la longueur du cours d'eau afin de diversifier au maximum les écoulements. Chaque aménagement sera réalisé en fonction des contraintes de son lieu d'implantation.

• **Les radiers**

La mise en place de radiers consiste à recouvrir le fond du lit d'une couche de moins de 50 cm d'épaisseur de graviers et de petites pierres sur une longueur de quelques mètres à quelques dizaines de mètres. Ceci permet d'augmenter la diversité des écoulements et des habitats pour la faune aquatique (macro invertébrés), éventuellement de servir de zone de frayère pour les espèces de poissons lithophiles (truites, chabots, Lamproie, cyprinidés rhéophiles).

• **Le reméandrage :**

Le reméandrage consiste à redonner au cours d'eau la possibilité de trouver son équilibre naturel entre la sédimentation et l'érosion. Cela consiste à créer un nouveau cours d'eau sinueux ou méandriforme correspondant au type fluvial naturel, dans le respect des lois morphologiques connues (géométrie en plan, en long et en travers). Les profils en travers se rapprocheront des profils caractéristiques des rivières sinueuses avec un lit plutôt symétrique dans les portions rectilignes et les points d'inflexion des sinuosités et dissymétrique dans les courbes.

• **Les aménagements permettant l'amélioration de la continuité :**

Ces opérations visent à rétablir la libre circulation du poisson et des sédiments au niveau d'ouvrages hydrauliques, anciens moulins ou clapets, et de certains points de blocage particuliers. Là encore, différents types d'aménagements sont prévus :

- Radier du Pont de Singé : Mise en place d'un nouvel ouvrage franchissable par les poissons conjointement à l'opération de reméandrage.
- Clapets de la STEP de Mazé et du Coudray : Simple abaissement.
- Répartiteur du Moulin de Laveau : Arasement partiel du seuil fixe, remplacement du clapet par deux vannes à guillotine, mise en place d'une passe à poisson de type rivière de contournement.
- Moulin de Fontaine : Mise en place d'une passe à poisson.
- Répartiteur du Pin : Arasement du seuil fixe, remplacement du clapet par une succession de radiers.
- Répartiteur de Ribard : Arasement du seuil fixe, enlèvement de la vanne et mise en place d'une succession de seuils.

B. Evaluation de la compatibilité des aménagements proposés avec la Réglementation

▪ Classement des cours d'eau :

Les aménagements qui visent à renaturer le Couasnon (retalutage, radier, banquettes, remédrage) n'auront pas d'incidence sur la continuité. Ils permettront au contraire de recréer un lit d'étiage dans le lit anciennement recalibré et d'augmenter ainsi légèrement la ligne d'eau sur certains secteurs. Le déplacement des espèces piscicoles s'en trouvera même facilité.

Les aménagements retenus au niveau des ouvrages pour améliorer la continuité ont été dimensionnés à l'aide du logiciel CASSIOPEE. Ce dimensionnement, au niveau des débits transitant et des vitesses d'écoulement dans les passes, a été calculé afin de permettre la circulation de toutes les espèces piscicoles. Les aménagements permettront ainsi **d'améliorer la continuité piscicole** non seulement de l'anguille mais aussi des migrateurs holobiotiques sur la portion du Couasnon classée en liste 2 et ainsi de **répondre à l'obligation réglementaire du classement des cours d'eau.**

▪ Article L214-18 du code de l'environnement :

D'après le L214-18 du Code de l'environnement un débit minimal doit être maintenu dans un cours d'eau à l'aval d'un ouvrage. Ce débit doit garantir en permanence la vie, la reproduction et la circulation des espèces vivant dans les eaux.

- ce débit minimal ne doit **pas être inférieur au 10^{ème} du module** du cours d'eau,
- au cas où ce débit minimal ne pourrait être maintenu toute l'année au dessus du dixième du module, alors **la moyenne annuelle de ce débit ne doit pas être inférieure au dixième du module,**
- le débit le plus bas doit rester **supérieur à la moitié du dixième du module.**

Aujourd'hui, la répartition des débits favorise l'alimentation des bras de dérivation du Couasnon ou anciens biefs. On constate ainsi qu'à l'étiage le débit transitant dans le Couasnon dit "naturel" est inférieur au 10^{ème} du module, soit au débit minimal à respecter (que ce soit pour des débits calculés à partir de données anciennes ou de données actualisées de 2004 à 2012 ; cf. tableau en annexe).

- Pour le répartiteur de Ribard, dans le Couasnon "naturel", le débit à l'étiage (0,016 m³/s) est inférieur au dixième du module (0,02 m³/s), même si la moyenne annuelle est supérieure au 10^{ème} du module.

- Pour le répartiteur du Pin, le débit à l'étiage (0,05 m³/s) dans le bras "naturel" ne respecte pas le 10^{ème} du module (0,058 m³/s), mais la moyenne annuelle est supérieure au 10^{ème} du module.

- Pour le moulin de Fontaine qui est totalement infranchissable, tout le débit passe dans le bief (turbine) et le débit dans le cours "naturel" est le plus souvent nul (sauf en période de forte crue, bras de décharge). Lors du premier programme, les travaux de diversification des habitats ont été réalisés préférentiellement sur le bras en aval du Moulin de Fontaine qui présente une capacité biogénique bien supérieure à celle du bras dit "naturel".

- Pour le moulin de Laveau :

- ✓ le débit à l'étiage (0,06 m³/s) est inférieur au dixième du module (0,07 m³/s),
- ✓ le débit minimum (0,025 m³/s) est inférieur à la moitié du dixième du module (0,035 m³/s).

La répartition au droit de ces ouvrages ne respecte donc pas toujours la réglementation. Mis à part le moulin de Fontaine, les moulins n'utilisent pourtant plus la force hydraulique de l'eau.

Dans le souci de conserver un patrimoine lié à l'eau, de garantir de l'eau dans les biefs des moulins tout en favorisant le cours "naturel" et de respecter l'article L214-18, le syndicat a décidé de revoir la répartition du débit entre le cours naturel et les bras de dérivation **afin de favoriser le bras naturel**, d'araser les ouvrages et de mettre en place des passes à poissons ou d'aménager ces ouvrages pour permettre la continuité écologique.

Il a également été convenu :

- de garantir tout de même un débit dans les biefs et de ne pas entrainer un assec de ces bras, tant que cela ne nuit pas au milieu (lit naturel),
- qu'à partir du moment où le débit du Couasnon atteindrait la moitié du 10^{ème} du module **en période d'étiage sévère, tout le débit sera dirigé dans la cours naturel**,
- que pour les dispositifs de franchissement des répartiteurs du Moulin de Laveau, du Pin, et de Ribard, le débit transitant dans les passes sera variable sur l'année. Ainsi toute augmentation du débit du cours d'eau, entraînera une augmentation du débit dans la passe afin que celle-ci reste toujours attractive pour le poisson,
- que pour le moulin de Fontaine, la passe à poissons sera aménagée sur le bief afin d'alimenter le bras le plus biogène, et le débit y transitant sera fixe et égal à 51 l/s, soit inférieur au 10^{ème} du module calculé avec les anciennes données (66 l/s) mais largement supérieur au 10^{ème} du module actualisé qui est de 36 l/s (cf. tableau en annexe).

Pour les répartiteurs du moulin de Laveau, du Pin et de Ribard, on constate que (cf. tableau en annexe) :

- la moyenne annuelle du débit dans la passe sera supérieure au 10^{ème} du module,
- le débit minimum à Laveau restera supérieur à la moitié du 10^{ème} du module.

Pour le Moulin de Fontaine, on constate que la moyenne annuelle du débit dans la passe restera inférieure au 10^{ème} du module mais que le débit minimum sera toujours supérieur à la moitié du dixième du module. Cette situation n'est pas "dramatique" puisque le dimensionnement envisagé de la passe permettra tout de même la libre circulation piscicole. Toutefois, la solution pourrait être de **redimensionner la passe à poisson pour un débit transitant 66 l/s**, soit le 10^{ème} du module.

Par conséquent, **les aménagements et modifications apportés aux ouvrages permettront de répondre à la réglementation en vigueur.**

C. Evaluation de la compatibilité des aménagements avec les peuplements piscicoles

Les aménagements vont permettre d'améliorer la diversité écologique en reconstituant un profil en long plus intéressant pour la faune piscicole et un profil en travers moins large, augmentant les vitesses d'écoulement et limitant ainsi le réchauffement de l'eau, facteur d'eutrophisation.

Ils vont également permettre de diversifier les habitats rivulaires et aquatiques. Certains habitats seront restaurés ce qui permettra d'offrir de zones de refuge, de reproduction ou d'alimentation aux peuplements piscicoles théoriques attendus. Les graviers, galets et blocs présentent également un intérêt pour la diversification des écoulements, l'oxygénation de l'eau, la diversification des

habitats piscicoles, en particulier pour la reproduction de nombreuses espèces (la truite en premier lieu, le vairon, le chevesne, le barbeau, ...).

Le rehaussement du lit mineur et l'augmentation de la répartition du débit vers le cours naturel entraîneront une augmentation de la hauteur de la lame d'eau tout en maintenant un écoulement permanent. La faune piscicole bénéficiera ainsi de conditions plus favorables notamment en période d'étiage et la circulation de la faune piscicole sera facilitée.

Les travaux de restauration morphologique vont permettre une amélioration considérable de la qualité physique du cours d'eau, mais aussi de sa qualité physicochimique et donc de sa qualité biologique. La restauration morphologique devrait permettre la dynamisation des populations des espèces d'eau courantes, voire même la réapparition de certaines espèces disparues suite à la banalisation des habitats (modification des substrats, disparition des séquences mouilles/radiers, des zones de refuge, des frayères, etc...) après les travaux d'hydraulique agricole.

Les aménagements et les travaux prévus vont enfin permettre d'améliorer la libre circulation des espèces piscicoles et notamment des espèces visées par le classement en liste 2 (anguille et migrateurs holobiotiques). Le tableau suivant indique pour chaque ouvrage aménagé le gain en linéaire de cours d'eau réouvert aux poissons.

Ouvrage	Gain en linéaire amont (km)
Clapet de Mazé – secteur 1	1,27
Clapet de Bois Fou – secteur 1	0,69
Répartiteur de Laveau – secteur 2	2,54
Clapet de Coudray – secteur 2	2,89
Moulin de Fontaine – secteur 2	7,05
Répartiteur du Pin – secteur 2	4,16
Répartiteur de Ribard – secteur 3	1,17
Chaussée de Baugé – secteur 3	4,35

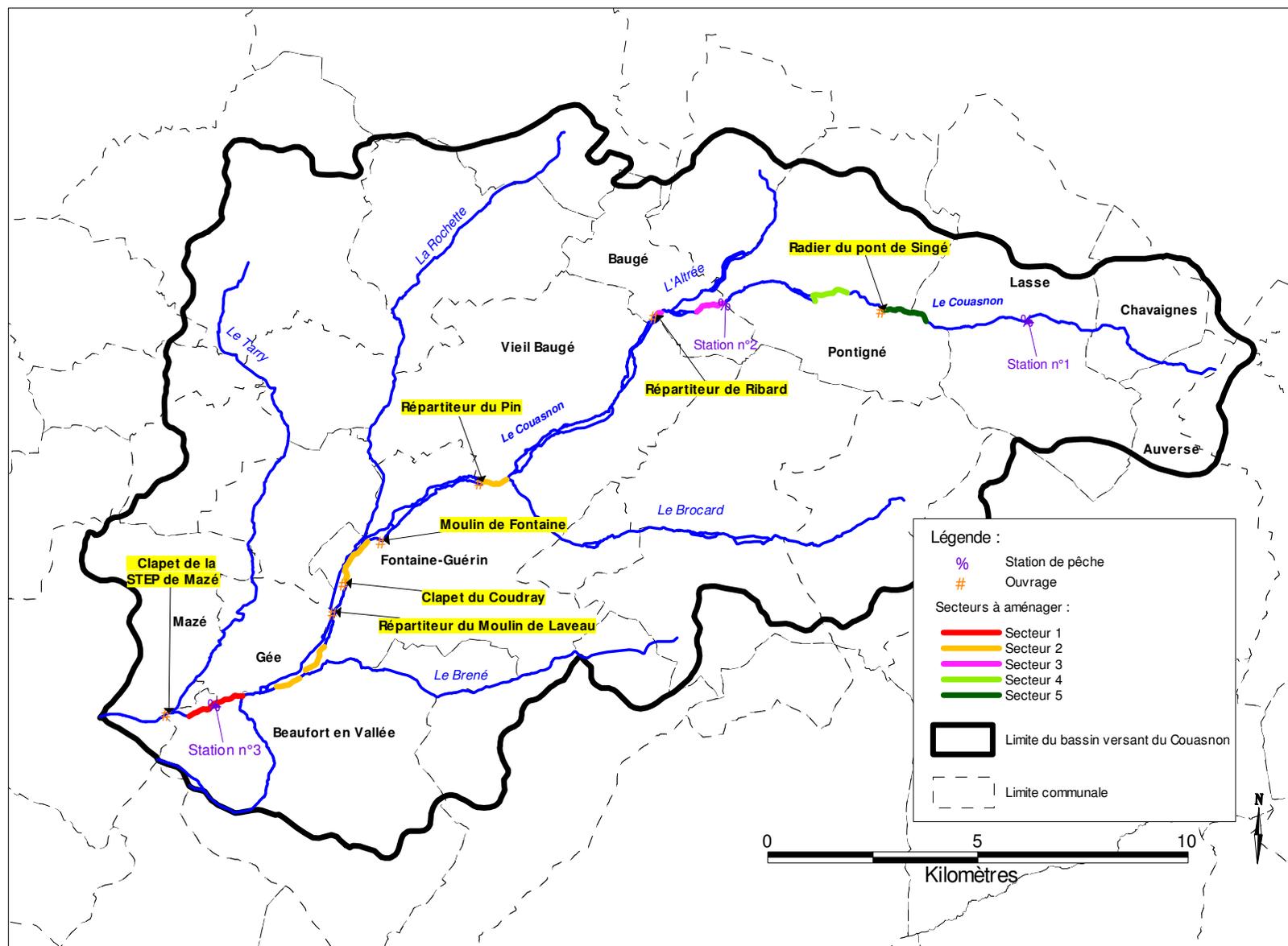
La suppression et l'arasement des ouvrages accompagnés de la restauration ou de la diversification du lit, vont permettre de retrouver une dynamique naturelle dans le cours naturel avec une alternance de radiers et de mouilles, idéal en termes d'habitats piscicoles, ainsi qu'un transport sédimentaire sans entrave.

Conclusion

Après analyse, il s'avère que **les aménagements proposés**, dans le cadre du Contrat Territorial Milieu Aquatique du Couasnon, pour sa restauration morphologique et le rétablissement de la continuité écologique **sont compatibles avec la réglementation** en vigueur et seront bénéfiques aux peuplements piscicoles attendus.

A noter qu'au terme des travaux, il ne restera plus qu'un seul ouvrage impactant la continuité écologique sur le cours du Couasnon (hormis les moulins sur les biefs), le moulin de Baugé situé en plein centre du bourg et dont l'aménagement apparaît assez complexe.

Annexe 1 : Localisation des futurs travaux sur le cours du Couasnon dans le cadre du Contrat Territorial Milieu Aquatique (Carte SIAC)



Annexe 2 : Respect du débit réservé au titre de l'article L 214-18 du Code de l'environnement - Situation actuelle et future (Données SIAC et SEGI)

Nom de l'ouvrage	Débit amont ouvrage				Situation actuelle cours "naturel"					Situation future cours "naturel"										
	Donnée débit passé (1967-1983)		Donnée débit actualisé (2004 -2011)		Répartition actuelle entre le cours "naturel" et le bief	Débit actuel cours "naturel" - Etiage passé (1967-1983)	Débit actuel cours "naturel" - Etiage actualisé (2004-2012)	Débit actuel cours "naturel" -Module passé (1963-1983)	Débit actuel cours "naturel" - Module actualisé (2004-2012)	Débit moyen annuel du cours "naturel" ou du dispositif de franchissement dans le cas du moulin de Fontaine	Répartition future entre le cours "naturel" et le bief	Débit futur cours "naturel" - Etiage passé (1967-1983)	Débit futur cours "naturel" - Etiage actualisé (2004-2012)	Débit futur cours "naturel" -Module passé (1967-1983)	Débit futur cours "naturel" - Module actualisé (2004-2012)	Débit moyen annuel du cours "naturel" ou du dispositif de franchissement dans le cas du moulin de Fontaine				
Etiage passé (1967-1983)	Module passé (1967 - 1983)	1/10 Module passé (1967-1983)	Moitié du débit réservé passé (1967-1983)	Etiage actualisé (2004-2012)													Module actuel (2004-2012)	1/10 Module actuel (2004-2012)	Moitié du débit réservé actualisé	
Répartiteur du Moulin de Laveau	0,11	0,7	0,07	0,035	0,05	0,36	0,036	0,018	Initialement, il était prévu 2/3 du débit dans le bief et 1/3 dans le cours "naturel". Des mesures de débit ont montré que la répartition actuelle variait au fil de l'année. Elle est de 2/3 dans le cours "naturel" et 1/3 dans le bief, l'hiver et de 3/4 dans le cours "naturel" et 1/4 dans le bief, l'été.	0,06	0,025	0,31	0,17	0,141	40% bief, 60% cours naturel - si débit total < 0,06 m3/s 100% cours naturel	0,07	0,035	0,44	0,21	0,189
Moulin de Fontaine	0,1	0,66	0,066	0,033	0,05	0,36	0,036	0,018	La quasi-totalité du débit passe au niveau du moulin.	0	0	0	0	0	Un débit constant de 51 l/s passera dans le dispositif de franchissement. Le reste du débit passera au niveau du moulin et rejoindra ensuite le cours "naturel".	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Répartiteur du Pin	0,09	0,58	0,058	0,029	0,04	0,32	0,032	0,016	Initialement, il était prévu 2/3 du débit dans le bief et 1/3 dans le cours "naturel". Actuellement, la répartition varie en fonction du débit à l'amont et de la gestion de l'ouvrage. L'été, on observe 1/4 du débit dans le bief et 3/4 dans le Couasnon "naturel". L'hiver, on a en revanche 4/5 du débit dans le bief et 1/5 dans le Couasnon "naturel".	0,05	0,03	0,45	0,22	0,1875	40% bief, 60% cours naturel -Si débit total < 0,05 m3/s 100% cours naturel	0,048	0,029	0,403	0,215	0,174
Répartiteur du Moulin de Ribard	0,04	0,2	0,02	0,01					Des mesures de débit ont montré que la répartition est de 4/5 dans le bief et 1/5 dans le Couasnon "naturel". Elle devrait être théoriquement de 2/3 dans le bief et 1/3 dans le couasnon "naturel".	0,016		0,08		0,048	40% bief, 60% cours "naturel"	0,024		0,12		0,072

Débit > au 1/10 du module passé

 Débit > à la moitié du 1/10 du module passé

 Débit < au débit minimum autorisé par le L214-18 du CE

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

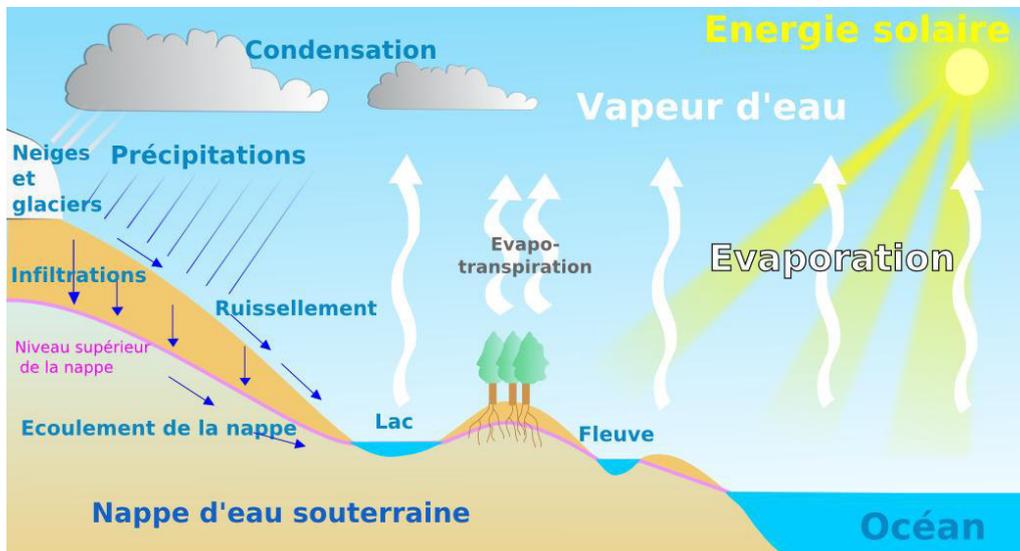
Rapport final A70443/F

Annexe 5 : Notions fondamentales d'hydrogéologie

(8 pages)

Cycle de l'eau

La circulation des eaux souterraines s'inscrit dans le cycle global de l'eau. Ils se décomposent au minimum de deux temps : un temps d'infiltration au travers des horizons de sols non saturés et de remplissage de leurs réserves facilement utilisables (RFU) puis un temps de recharge de la nappe portée par la première formation géologique perméable rencontrée depuis la surface. Le parcours souterrain peut se complexifier et s'allonger dans le temps lorsqu'il y a plusieurs terrains perméables superposés avec des échanges possibles au travers de formations semi-perméables.



Notions de masses d'eaux souterraines, d'aquifère et de nappes

L'hydrogéologie, science qui étudie les eaux souterraines, distingue clairement les notions de contenant et de contenu. Ainsi l'aquifère (littéralement qui porte l'eau) est la roche dont les propriétés physiques la rendent susceptible de contenir et laisser circuler l'eau tandis qu'une nappe est l'eau contenue et circulant de façon continue et diffuse dans l'épaisseur saturée de cette roche. La directive Cadre sur l'Eau a cherché à classer les aquifères et nappes qu'ils contiennent pour en définir les contours géographiques et pouvoir agir réglementairement sur des entités clairement identifiées. Elle a ainsi introduit la notion de masse d'eaux souterraines par analogie avec les masses d'eau superficielles plus explicites (cours d'eau et plans d'eau). Cette notion de masses d'eau souterraine intègre à la fois le contenant et le contenu : l'aquifère et la nappe. Ainsi, une masse d'eau peut englober une partie d'aquifère saturé et contenant une nappe et une partie désaturée ne contenant pas ou temporairement une nappe (par exemple les sables sénoniens sur certains points hauts du bassin versant). Par ailleurs, le terme masse d'eau souterraine s'applique à des contextes aquifères très divers avec des terrains meubles (sables), des roches poreuses (grès, craie) et des roches massives fracturées (schistes, granites,...). Dans le chapitre ci-après, nous expliquons par ailleurs que le terme aquifère est défini précisément en hydrogéologie et qu'il ne devrait pas être systématiquement utilisé pour toute roche contenant de l'eau souterraine.

Notions de perméabilité ou conductivité hydraulique, de transmissivité et de drainance

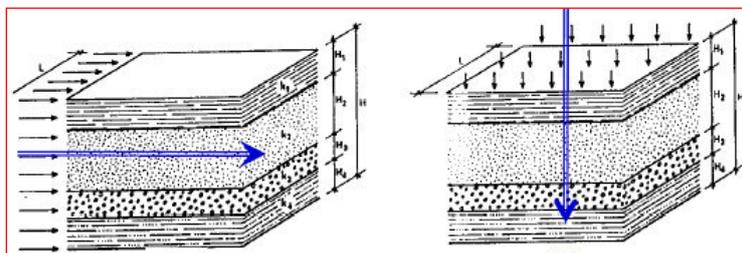
Pour qualifier ou non une formation géologique d'aquifère, il faut mesurer sa perméabilité hydraulique. **La perméabilité** ou **conductivité hydraulique** K (en m/s) est une mesure de vitesse qui exprime l'aptitude d'un sol à se laisser traverser par un fluide (ici l'eau libre) au travers de ses pores ou fissures.

Cette perméabilité dépendant de la perméabilité intrinsèque au matériau est supposée par défaut homogène dans toutes les dimensions du terrain.

Dans la pratique, les couches géologiques étant parfois stratiformes et hétérogènes (alternance de sables et argiles comme le Cénomaniens moyen par ex.), on peut être amené à distinguer généralement deux perméabilités pour les formations géologiques : la perméabilité horizontale (déterminée par tests de pompage en forage) et la perméabilité verticale (déterminés par tests d'infiltration depuis la surface lorsque la couche géologique affleure). Ceci est illustré ci-dessous.

Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
 et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
 Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
 Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final A70443/F



Le tableau ci-dessous indique les limites conventionnelles⁹ de perméabilité pour considérer une formation comme aquifère, aquitard¹⁰ ou aquiclude¹¹. Cette perméabilité peut être liée à une forte porosité ou à une forte fracturation dans le cas de roches compactes ou massives.

K (en m/s)	10^{-11}	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
granulométrie	homogène		gravier pur		sable pur		sable très fin		silts		argile		
	variée		gravier gros et moyen		gravier et sable		sable et argile-limons						
degrés de perméabilité			très bonne		bonne		mauvaise				nulle		
types de formations			perméables				semi-perméables				impermeables		
	Aquifères					Aquitards			Aquicludes				

Appliqué au territoire du SAGE Authion, voici présentées dans le tableau ci-dessous, les perméabilités hydrauliques moyennes des formations géologiques en présence :

Formation géologique	Perméabilité hydraulique (m/s)
1 – Alluvions récentes	$1,0 \cdot 10^{-4}$
2 – Alluvions anciennes	$3,0 \cdot 10^{-3}$
3 – Faluns miocènes	$1,0 \cdot 10^{-5}$
4 – Calcaires de l'Eocène supérieur	$4,0 \cdot 10^{-4}$
5 – Argiles sableuses de l'Eocène inférieur	$5,0 \cdot 10^{-5}$
6 – Sables argileux du Sénonien	$2,0 \cdot 10^{-4}$
7 – Tuffeau sableux du Turonien supérieur	$4,0 \cdot 10^{-4}$

⁹ D'après Castany, 1982

¹⁰ Couche géologique semi-perméable contenant une quantité d'eau non négligeable assez peu mobilisable

¹¹ couche géologique très peu perméable à l'eau contenant une faible quantité d'eau et très peu mobilisable

8 – Tuffeau crayeux du Turonien inférieur	$1,0 \cdot 10^{-5}$
9 – Marnes sableuses du Cénomanién supérieur	$1,0 \cdot 10^{-7}$
10 – Sables glauconieux du Cénomanién moyen	$2,0 \cdot 10^{-4}$
11 – Sables et graviers du Cénomanién inférieur	$1,0 \cdot 10^{-3}$
12 – Substratum marno-calcaire jurassique ou socle armoricain primaire	$1,0 \cdot 10^{-9}$

On peut ainsi constater que seules les alluvions de la Loire et les sables et graviers de base du Cénomanién peuvent théoriquement être qualifiées de formations aquifères. D'autres formations comme les sables glauconieux du Cénomanién moyen, le tuffeau turonien, les faluns miocènes ou les sables sénoniens s'en approchent et sont souvent définis comme tels car ils peuvent présenter localement des valeurs de perméabilité plus fortes.

La transmissivité (T en m²/s) d'un aquifère est définie comme étant le produit de la porosité hydraulique par l'épaisseur saturée de l'aquifère. Elle peut donc varier avec les fluctuations de niveau de nappe. Elle se détermine par des tests de pompage en forage qui captent tout ou partie de cette épaisseur saturée. Cette unité de grandeur moyenne, obtenue par calcul, peut ainsi masquer des réalités diverses si l'aquifère est hétérogène sur toute son épaisseur.

La drainance (d en m/s) est définie comme le flux d'eau souterraine, à composante essentiellement verticale (ascendante ou descendante), passant d'un aquifère à un autre. Elle est diffuse et d'autant plus lente que la ou les couches séparant les deux aquifères sont peu perméables. La cinétique de la drainance est également régie par la différence de pression hydrostatique entre les deux nappes contenues dans ces aquifères. La drainance peut ainsi s'arrêter, s'accélérer et s'inverser suivant les états piézométriques des deux nappes. La drainance participe à la recharge des nappes captives et au soutien d'étiage des nappes libres.

Notions de porosité efficace ou cinématique et d'emmagasinement

Le coefficient d'emmagasinement (S sans unité) est le rapport entre le volume d'eau libéré par une baisse de la surface libre de 1 m et le volume des pores de la matrice rocheuse : $S = \text{Volume eau libéré} / \text{Volume milieu poreux}$.

Le terme d'emmagasinement est plutôt utilisé en hydrogéologie pour les nappes captives.

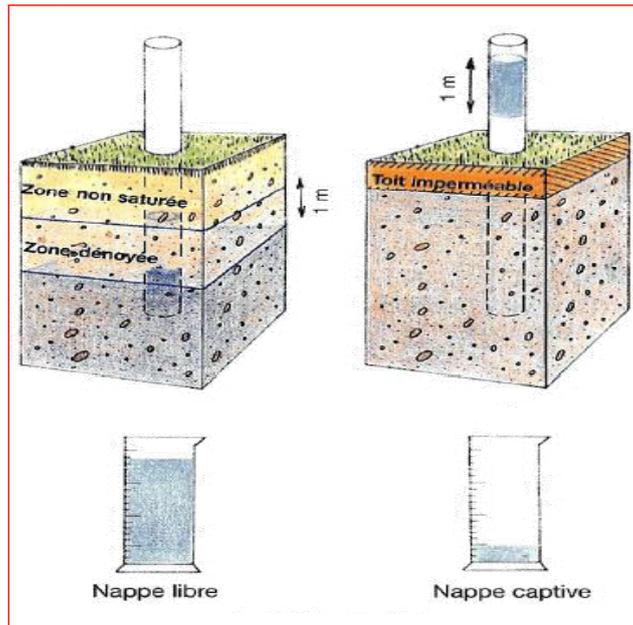
Pour une nappe libre, le coefficient d'emmagasinement est assimilable à **la porosité dite « efficace »** ou cinématique $S = S_w = \text{Volume eau gravitaire} / \text{Volume milieu poreux}$.

Quelques ordres de grandeur de porosité efficace :

Galets	Graviers	Sables	Alluvions	Sables argileux	Calcaire fissuré	Craie	Argiles
30%	25 %	5 à 20%	8 à 10 %	2 à- 5 %	2 à 10 %	2 à 5 %	0 à 1 %

Ordre de grandeur de coefficient d'emmagasinement de nappes captives : 1‰ à 1.10^{-6} ou plus pour les aquifères très profonds.

Les schémas ci-après illustrent, qu'à volumes et natures de roche identiques, le volume d'eau libéré par abaissement d'1 mètre du niveau piézométrique est nettement plus important pour une nappe libre que pour une nappe captive.



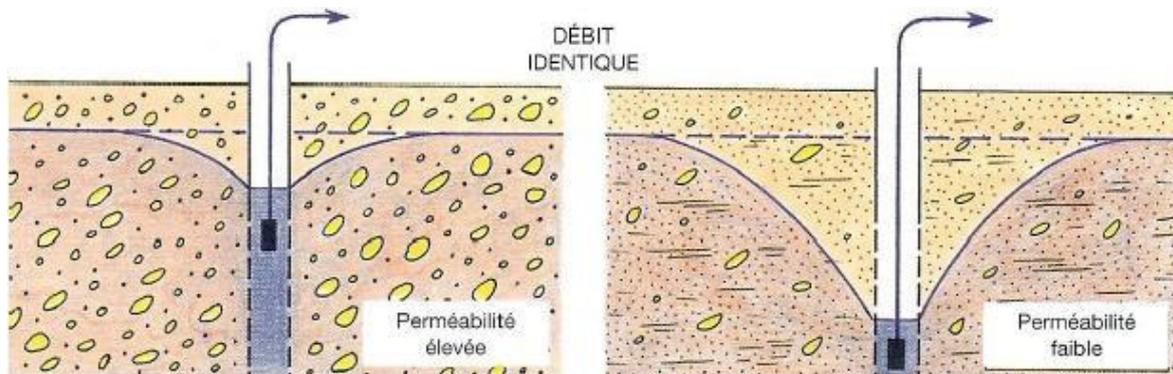
Notion de débits et rabattement de nappe

La loi de Darcy définit le débit ou flux s'écoulant naturellement au sein d'une nappe sous l'action gravitaire. Il s'établit par la formule suivante s :

$$Q \text{ (m}^3\text{/s ou m}^3\text{/h)} = K S i \quad \text{avec } K : \text{conductivité hydraulique, } s : \text{section d'aquifère saturé, } i : \text{gradient hydraulique}$$

Ce débit peut être calculé pour n'importe quel profil de terrain aquifère pris perpendiculairement au sens d'écoulement de la nappe ou encore dans le sens vertical pour évaluer une drainance au travers de terrain peu perméable. Ces débits sont notamment calculés par le modèle mis en œuvre pour cette étude pour établir les bilans hydrique d'échanges entre masses d'eau.

Des débits sont également mobilisés dans les nappes par les pompages par forage. Ces flux qui s'expriment avec la même unité que les flux de Darcy sont généralement bien supérieurs à ces derniers puisque l'objectif est de soutirer instantanément un volume nettement plus important que ce qui s'écoulerait gravitairement du terrain par le flux de Darcy. Ce débit de pompage occasionne ainsi un abaissement (rabattement) du niveau de la nappe proportionnel à la perméabilité du terrain comme illustré ci-dessous pour le cas d'une nappe libre.

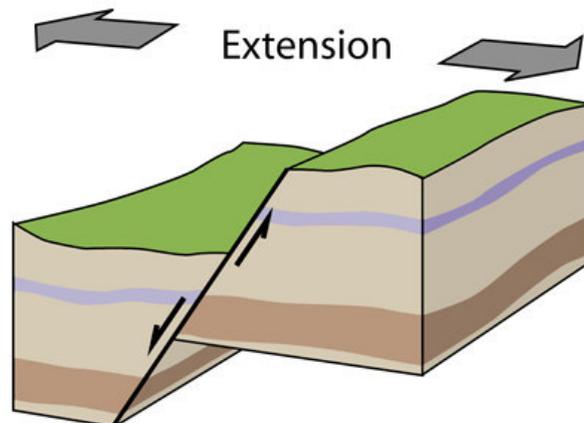


Nb : il est à noter que pour une même perméabilité intrinsèque d'un terrain aquifère et à même débit, un pompage en nappe captive occasionne un rabattement beaucoup plus important qu'un pompage en nappe libre. Cela tient à l'écart entre porosité libre >> emmagasinement captif et peut se lire sur les mêmes schémas en bloc diagramme présentés si avant: si on soustrait le même volume d'eau (au lieu d'appliquer le même abaissement d'1 mètre) alors l'abaissement de nappe est plus important en nappe captive.

Notion de limite alimentée ou étanche et relation entre nappe et cours d'eau

Une formation géologique aquifère n'est pas un bloc parallélépipédique horizontal et régulier en épaisseur. Elle a subi des déformations et cassures (pour les roches les moins ductiles) au cours des temps géologiques. Pour certaines couches géologiques portées certaines couches géologiques à l'affleurement en surface, elles ont subi une érosion importante qui a façonné le relief topographique actuel.

Il en résulte que les couches géologiques peuvent présenter des réductions d'épaisseur, des limites d'extension (par affleurement, par failles décalant les couches) qui sont autant de perturbations potentielles des écoulements souterrains voire des limites étanches.

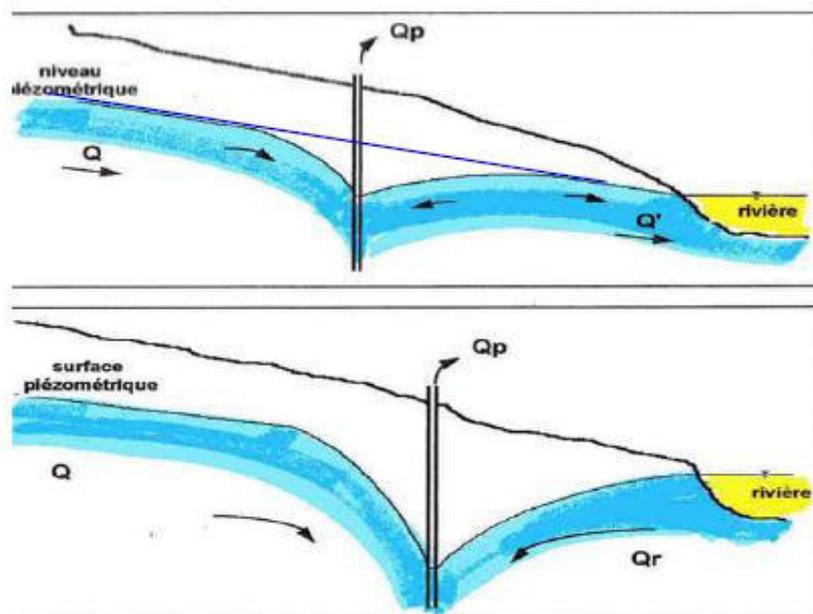


Faïlle provoquant une limite étanche dans l'aquifère (en gris) du compartiment gauche abaissé

Par ailleurs, le réseau hydrographique de surface interagit avec les nappes souterraines qu'il draine ou alimente suivant les configurations et les saisons. Lorsque le cours d'eau représente un flux important comme c'est le cas de la Loire, il peut constituer une limite dite alimentée car il est en mesure de fournir un flux théorique (si la berge n'est pas colmatée) nettement supérieur à ce que fournirait un aquifère sur une section équivalente.

Cette situation est illustrée par les deux schémas ci-dessous. Dans le premier schéma, un pompage en forage à débit modéré rabat la nappe localement mais ne change pas globalement le sens d'écoulement vers la rivière.

Dans le deuxième schéma, un pompage en forage plus important et plus proche de la rivière provoque un rabattement plus fort mais aussi et surtout provoque une inversion du sens d'écoulement initial entre la nappe et la rivière avec un retour d'eau provenant de celle-ci. C'est le phénomène de limite alimentée, qui donne l'illusion que l'aquifère fournit une quantité d'eau inépuisable alors que c'est l'eau du cours d'eau qui est indirectement prélevée (jusqu'à assèchement si celui-ci présente un débit de l'ordre de grandeur du débit du forage).



Notions de régime permanent et de régime transitoire

Dans la nature, les écoulements des nappes au sein des couches géologiques sont en constante évolution sous l'influence des variations hydroclimatiques (pluies, évapotranspiration) saisonnières et interannuelles d'une part et sous l'action des prélèvements et apports anthropiques d'autre part. En hydrologie, on peut déterminer à partir de chronique de débit ou par calcul à partir de chroniques hydroclimatiques, un débit moyen annuel de référence (le module) pour un cours d'eau en un point donné.

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

Par analogie, en hydrogéologie, on peut déterminer un état piézométrique moyen d'une nappe au sein d'une couche aquifère ou d'un ensemble de nappes au sein de plusieurs aquifères. En modélisation hydrogéologique, ce travail consiste à établir un calage du modèle en régime permanent. Ce régime permanent constitue un état d'équilibre moyen théorique pour des conditions hydroclimatiques moyennes. Ce régime permanent se traduit par des flux moyens et des niveaux piézométriques moyens.

Ce régime permanent, même s'il est théoriquement proche de la réalité moyenne observable sur le terrain en particulier sur une durée statistiquement robuste (20 ans et plus) et pour des nappes profondes très inertielles, n'est dans les faits jamais totalement vérifié lorsque les prélèvements ou apports sont importants et lorsque les nappes ont une faible inertie. C'est pourquoi, l'étape suivante en modélisation hydrogéologique consiste à réaliser un calage puis des simulations en régime transitoire.

Comme son nom l'indique ce régime transitoire est un état temporaire des nappes calculé à un pas de temps défini au préalable (l'heure, la journée, le mois, l'année...) suivant le degré de précision voulu et la qualité des données disponibles. Les variables introduites pour ce régime transitoire sont d'une part les variables hydroclimatiques (par ex les pluies moyennes mensuelles ou les niveaux moyens mensuels de la Loire) et d'autres part les influences anthropiques (prélèvements constants ou variables suivant les usages, apports ponctuels ou réguliers).

Par ailleurs, le régime transitoire peut être simulé pour une période datée bien précise (par exemple de l'été 2011 à l'été 2012) quand on dispose de chroniques précises et pour des problématiques ciblées ou il peut être simulé sur les statistiques moyennes pour des problématiques plus globales à l'échelle de masses d'eau ou encore pour des simulations prédictives (par exemple répétition d'années sèches, tendances climatiques sur les 20 prochaines années).

Les résultats de simulations par modélisation en régime permanent et en régime transitoire peuvent donc sensiblement diverger suivant la durée prise en compte, le pas de temps utilisé et le niveau d'influences externes.

A noter également qu'il est possible de simuler un régime permanent avec des prélèvements et apports en ramenant les volumes et débits réels à un débit moyen fictif instantané. Cet exercice est acceptable en termes de volumes globaux et si on ne dispose d'aucun état de référence non influencé mais il n'est pas représentatif de la réalité en termes d'incidence des prélèvements (un pompage de 100m³/h sur quelques semaines à l'étiage n'a pas le même impact que s'il est ramené à quelques m³/h toute l'année)

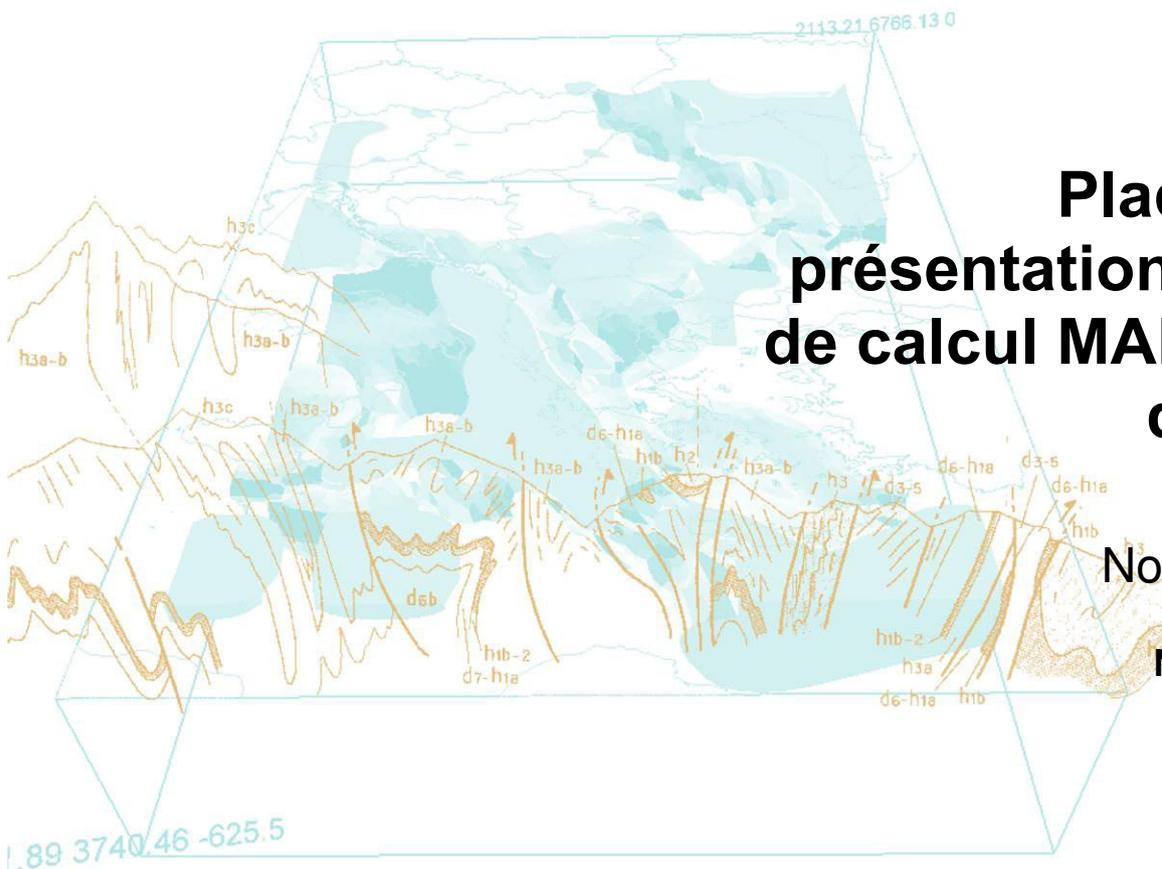
*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

Annexe 6 : Présentation du logiciel MARTHE 7.3 édité par le BRGM en 2012

(7 pages)

Document public



Plaquette de présentation du code de calcul MARTHE 7.3 du BRGM

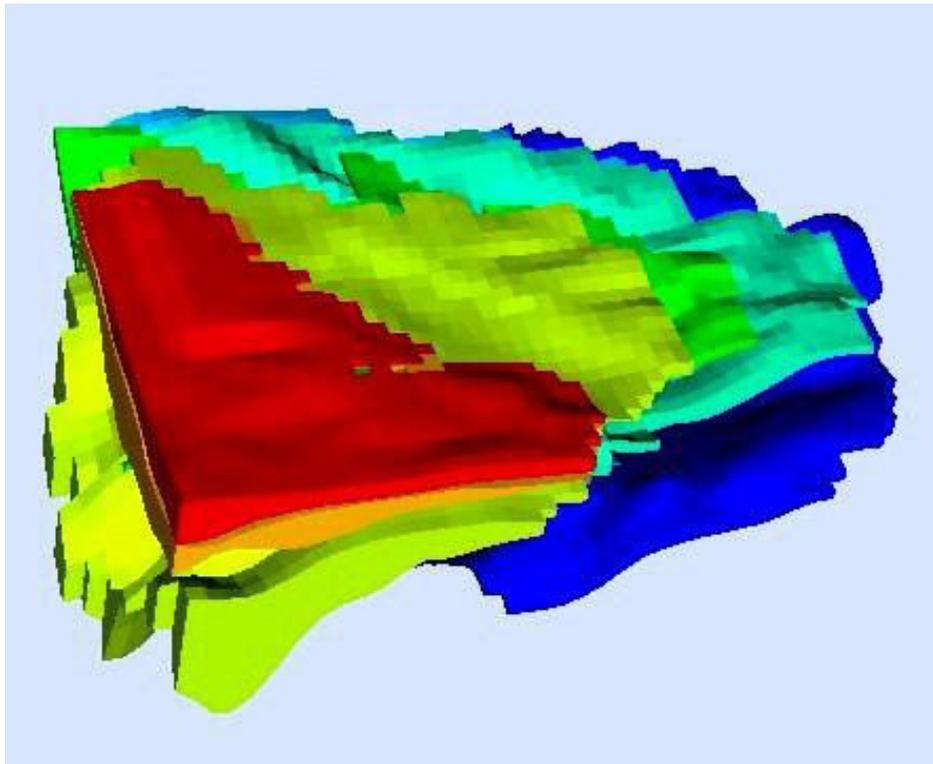
Note technique

NT EAU 2012/02
avril 2012

Dominique THIÉRY

Synthèse

Cette note présente les principales caractéristiques du code de calcul MARTHE 7.3 et de ses préprocesseurs et post-processeurs pour la modélisation des écoulements et du transport de masse et d'énergie en milieu poreux.



Modélisation avec le code MARTHE des écoulements du système aquifère Nord-Aquitain avec 7 couches aquifères

MARTHE

MODÉLISATION D'AQUIFÈRES AVEC MAILLAGE RECTANGULAIRE, TRANSPORT ET HYDRODYNAMIQUE

DOMAINE D'APPLICATION

Conçu et réalisé au groupe BRGM pour la **modélisation hydrodynamique et hydrodispersive des écoulements souterrains en milieu poreux**, le code de calcul MARTHE est destiné à modéliser les problèmes d'écoulement rencontrés dans des contextes variés :

- Gestion des ressources aquifères :
 - Évaluation des termes du bilan hydraulique d'un système aquifère : recharge par infiltration pluviale, apports latéraux par les bassins versants, circulations souterraines et flux associés, fluctuations annuelles, stockages-déstockages saisonniers ...
 - Impacts hydrodynamiques d'aménagements existants ou à créer : pompages, irrigation, drainage, gravières, bassins d'infiltration ...
 - Gestion et optimisation de champs captants.
 - Étude de l'influence de la variabilité climatique et des effets prévus du changement climatique.
- Génie civil :
 - Assèchement de fouilles.
 - Effets hydrauliques de parois étanches.
 - Travaux souterrains (métros, parking, tunnels, ...).
- Environnement :
 - Infiltration d'un polluant en zone non saturée, percolation jusqu'à la nappe, puis migration souterraine.
 - Simulation du panache de pollution s'échappant d'une zone contaminée : trajectoires, vitesses de déplacement, concentrations atteintes à l'aval. Modélisation de scénarios hydrauliques de confinement ou de décontamination.
 - Impacts de décharges domestiques et industrielles sur les eaux souterraines.
 - Étude du confinement de stockages souterrains.
- Exploitation minière :
 - Calcul de débits d'exhaures miniers et des rabattements associés.

REFERENCES

Au cours des 20 dernières années, MARTHE a été utilisé pour modéliser plus de 250 contextes aquifères répartis dans une vingtaine de pays, sur des financements français, nationaux et internationaux.

Manuels d'utilisation : Rapports BRGM : R 32210, R 37762, R 38018, R 38085, R 38149	Ordinateurs : Micro-ordinateurs PC sous Windows (Également environnement LINUX)
Langage de programmation : Fortran 95 Pré-post processeurs : C++	Langues : Français, Anglais

M A R T H E

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

MARTHE permet de simuler de nombreux types d'écoulement en milieu poreux, en zones saturées et non saturées, en milieux monophasiques et diphasiques. Plusieurs niveaux d'utilisation sont distingués :

- **Hydrodynamique classique :**

- Maillages 2D (en plan, en coupe verticale, en coordonnées cylindriques) ou 3D.
- Aquifères monocouches ou multicouches (empilement d'aquifères séparés par des épontes semi-perméables).
- Nappes libres, captives ou semi-captives en régime hydraulique permanent ou transitoire.
- Prise en compte de discontinuités telles que plans d'eau à surface libre (lacs, gravières), assèchements locaux de nappe (et remise en eau), y compris en aquifères multicouches, débordements de nappe (cours d'eau, sources, drains), parois étanches (palplanches, ...).
- Limitation automatique du débit des pompes en fonction du dénoisement des crépines
- Couplage total avec les réseaux hydrographiques.
- Bilan hydro-climatique couplé.
- Anisotropies horizontale et verticale des perméabilités.
- Calcul de trajectoires (directes et inverses) en régime hydraulique permanent ou transitoire.

- **Transport hydrodispersif :**

- Migration hydro-dispersive d'un effluent dans la nappe et la zone non saturée.

- **Zone Non Saturée, Densité, Température :**

- Traitement continu de la zone saturée et de la zone non saturée.
- Transferts d'énergie.
- Effets densitaires induits par des salinités et/ou des températures hétérogènes.
- Variation de viscosité avec la température.

- **Calage automatique, Optimisation :**

- Calage automatique du modèle, selon des zones homogènes ou maille par maille.
- Analyse de sensibilité aux paramètres de calage.

- **Utilisations spéciales :**

- Fractures verticales par transmissivités équivalentes ; Réseaux de galeries.
- Transport avec interactions physico-chimiques entre eau, effluents et matrice poreuse.
- Écoulements diphasiques : eau douce et eau salée, eau et air, eau et "huile".
- Écoulements de gaz.
- Prise en compte du développement de la végétation.

- **Maillages :**

Le domaine à modéliser est discrétisé selon un maillage rectangulaire de type "écossais" : chaque ligne et chaque colonne de mailles a une largeur constante, mais l'utilisateur est libre d'adapter la largeur de chacune de ces lignes et colonnes en fonction des hétérogénéités locales, de la densité des informations disponibles, et de la précision recherchée.

Il est possible d'affiner localement le maillage par des sous-maillages emboîtés (gigognes).

Selon les configurations, il est possible de gérer des maillages de plus de 2 millions de mailles sur un ordinateur PC de 32 bits (1.5 millions de mailles avec transport).

M A R T H E

Les données des maillages peuvent être définies maille par maille, ou bien par zones, par couches ou globalement pour tout le maillage.

• **Représentations graphiques :**

Les mailles du modèle sont automatiquement associées à des coordonnées géographiques, ce qui permet de superposer les données initiales et les résultats des simulations à des fonds cartographiques préalablement digitalisés.

Les résultats de modélisation sont édités dans des fichiers texte. Ils peuvent être édités et représentés graphiquement : Post-processeur WinMarthe, Model3D, exportations Mapinfo®, VRML, VTK, Paraview®.

Les débits calculés (débits aux potentiels imposés, débits résiduels de convergence) peuvent être présentés maille par maille, ou bien par zones, par couches, ou encore pour tout le modèle.

• **Contrôle de la convergence des calculs :**

La convergence des calculs est contrôlée par plusieurs critères : écarts de charge (moyen et maximal entre deux itérations successives) et débits résiduels d'erreur (global sur l'ensemble du modèle, et ponctuel dans chacune des mailles).

SCHÉMAS DE CALCULS

Calcul des écoulements

Les calculs hydrodynamiques sont effectués selon une méthode aux volumes finis (Différences Finies Intégrées). Plusieurs algorithmes de résolution par gradients conjugués sont proposés (gradients conjugués avec pré-conditionnement de Choleski, méthode Eisenstat).

Calcul du transport

Selon le type de problème posé (dominance de la convection ou de la dispersion), l'utilisateur peut choisir entre trois techniques de calcul pour optimiser le schéma de transport mis en oeuvre :

- méthode TVD (Total Variation Diminishing) à limiteur de flux ;
- volumes finis ;
- méthode des caractéristiques (MOC) utilisant des particules ;
- méthode des déplacements aléatoires (Random Walk), dite aussi méthode des particules ;

Le transport en nappe est simulé sous ses composantes convective, diffusive et dispersive. Plusieurs options sont proposées pour le transport réactif :

- décroissance exponentielle de l'effluent en fonction du temps (fonction de la teneur en eau et de la température ;
- dégradation en chaîne ;
- facteur de retard avec coefficient de partage K_d (phénomènes d'adsorption-désorption) ;
- prise en compte de la double porosité (avec cinétique ou en équilibre) ;
- isothermes de Freundlich ou de Langmuir.

Interactions géochimiques

MARTHE a été couplé avec deux solveurs géochimiques : Le module hydrogéochimique REACT du code de calcul TOUGHREACT (Lawrence Berkeley National Laboratory) et les modules hydrogéochimiques IPHREEQC de l'USGS. Les interactions physico-chimiques entre eau, effluents et matrice peuvent être simulées au choix par une de ces versions couplées. [Diffusion restreinte]

M A R T H E

AVANTAGES DE MARTHE PAR RAPPORT À D'AUTRES CODES

MARTHE présente un certain nombre d'avantages par rapport à des codes de calcul de référence.

Avantage	MODFLOW	FEFLOW	TOUGH2
Dialogues, entrées-sorties en français	N	N	N
Couches qui peuvent se biseauter et disparaître, comme les vraies couches géologiques.	N		
Modifications de n'importe quel champ (géométrie, perméabilités, cours d'eaux, conditions aux limites) en cours de calcul, à n'importe quel pas de temps.	N	N	N
Réseau hydrographique (rivières) totalement couplé avec les aquifères.		N*	N
Bilan hydroclimatique (Pluie, ETP, fonte de neige, ruissellement vers les cours d'eau, infiltration).	N	N	N
Maillages gigognes couplés.	N*		
Transferts d'énergie (géothermie) simultané au transport de masse et de salinité : permet la prise en compte de la température sur la densité et la salinité.	N		
Transport de masse et d'énergie totalement couplé, dans un même exécutable ce qui évite des fichiers très volumineux et permet une bonne efficacité.	N		
Transferts d'énergie avec une solution analytique (Vinsome) dans les épontes : ce qui réduit considérablement le nombre de mailles.	N	N	
Vraie modélisation du continuum Zone Non Saturée – Zone Saturée (Loi de Richards).	N		
Modélisations en « nappe libre » par utilisation de charge hydraulique, de cotes de débordement.			N
En nappe libre : assèchement (dénoisement de mailles), et re-saturation ultérieure sans aucun problème.	N*		
Limitation des débits de pompages par rapport aux dénoisements et altitudes de crêpines.	N	N	N
Calcul des charges au puits en fonction du diamètre de l'ouvrage par rapport à la dimension de la maille.	N	N	N
Transport avec dispersion (dispersivités).			N
Transport par schéma TVD et MOC.		N	N
Bilan de nitrates dans le sol (applications d'engrais, besoins des cultures, minéralisation du sol).	N	N	N
Développement de la végétation et des racines des cultures avec Évapotranspiration fonction du stress.	N	N	N
Réseaux couplé de drains en charge.	N		
Prise en compte de plus d'un million de mailles sur un ordinateur de bureau.			N

« N » = Non disponible à notre connaissance ; * = Disponible dans certaines versions.

La comparaison s'applique à la version standard des codes (ex. MODFLOW de l'USGS), et provient des informations des manuels d'utilisation officiels.

Il convient de remarquer que ces codes de références présentent par ailleurs certains avantages non disponibles dans MARTHE. Par exemple : multiphasique complexe avec changement de phase avec TOUGH2 ou discrétisation très raffinée avec FEFLOW.

M A R T H E

STRUCTURE DU LOGICIEL

Au module de calcul hydrodynamique et hydrodispersif (MARTHE proprement dit), sont associés des modules de préparation, gestion et représentation graphique des données et des résultats de modélisation ces modules sont centralisés dans l'interface WinMarthe :

WinMarthe

Définition et modification graphique, sous environnement Windows, d'un maillage écossais, en superposition à un fond cartographique digitalisé.

Visualisation des données couche par couche ou en coupe verticale Ouest-Est ou Nord-Sud

Opérations diverses sur les données de maillages :

- opérations algébriques, logiques ou géographiques sur les données d'un maillage,
- combinaisons algébriques, logiques ou géographiques entre les données de plusieurs grilles de données.

Représentation graphique des fichiers de résultats générés par MARTHE :

- courbes isovaleurs (piézométrie, rabattements, épaisseurs mouillées, Visualisation 3D, ...)

CONTACTS

Dominique THIERY : BRGM Service EAU

marthe@brgm.fr

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/F

Annexe 7 : Caractéristiques et localisation des piézomètres de suivi complémentaires du SAGE

(2 pages)

n° FID	Nom	X	Y	Alt (carte topo)	Cote repère	Profondeur	Repère	Géologie
0	La Mare	467829,627	6704937,79	28	28,1	3,45	Arase buse	Cénomaniens moyen
1	Bois le Mortier	468174,89	6705812,35	30	30,85	5,05	Arase buse	Cénomaniens basal
2	Etiau1 Cour	468516,976	6704893,65	29	29,35	5,05	Dessus plaque béton	Alluvions sur Cénomaniens basal
3	Etiau2 Pré	468604,795	6704805,83	29	29,8	4,80	Dessus plaque béton	Alluvions sur Cénomaniens basal
4	Les Groseilliers 2	468393,757	6706828,17	33		4,20	TN	Cénomaniens basal ?
5	Les Groseilliers 2	468488,156	6706870,03	33	33,2	10,35	Arase buse	Cénomaniens basal / ...
6	Monnaie 1 rive droite	470953,217	6704972,96	32	32	-4 (à confirmer)	Arase supérieure buse	
7	Monnaie 2 rives gauches	471026,967	6705043,76	32	32	-10,15	Dalle béton	
8	Plaisance AEP	475624,193	6706986,9	41	41	5,85	Dalle béton niveau TN	Cénomaniens moyen (?)
9	Plaisance Bord Route	475631,228	6706972,38	41	41	6,2 recreusé à 15,3 mètres (Ø200)	Dalle béton	Cénomaniens moyen (?)
10	Le Loroux 1 rive droite	475777,82	6706576,62	40	40,77	9,75		Cénomaniens moyen (?)
11	Le Loroux 2 rive gauche	475724,38	6706550,19	40	40	3,40		Alluvions sur Cénomaniens moyen (?)
12	Le Loroux château 1	475636,448	6706440,47	41	41,35	4,70	Margelle	Cénomaniens moyen (?)
13	Brisolles	478656,562	6706931,42	49	49	-6,97	Dessus plaque béton	
14	Chanteloup	478003,364	6708701,75	42	42	-2,67	Plaques	
15	Les Naulières	478955,872	6710293,39	54		1,20	Rebord béton	Cénomaniens basal (?)
16	L'Etang garage	477206,98	6709271,33	52		-4,18	Dalle sous-sol	
17	Les Tranchardières	478054,99	6710374,06	55	55,1	2,30	Margelle	
18	La Bruyère/Gué d'Alouette	476229,283	6708883,18	49	49	2,90	Dessus plaque béton	Cénomaniens basal
19	La Carrière	477851,213	6710744,51	60	60	-3,96		
21	Bois le Simon	479938,107	6710627,53	55	55	Env 5		
22	La Corne	479287,974	6709503,81	52	52	1,78 -> -2,00	Margelle (pierre de seuil)	Cénomaniens basal + failles
22	Linières Bouton	479808,08	6710741,9	55	55			
23	Place Mairie	479801,046	6710783,88	55	55			Cénomaniens basal
24	3 rue du 11 novembre	498087,61	6708243,03	87	87	2,06	tn	
33	La Vieillerie	476333,1	6716137,1	92	92,15	12,00	dalle puits	
34	Le Mont (Chavaignes)	478210,091	6720250,76	82	82	-3,68	dalle au niveau du sol	
35	Chateau du Bouchet (cave)	473327,963	6718773,49	74	74,5	-8,06	margelle	

n° FID	Nom	X	Y	Alt (carte topo)	Cote repère	Profondeur	Repère	Géologie
36	Chateau du Bouchet (écurie)	473297,555	6718773,49	76	76	-11,12	plaque métal au niveau du sol	
37	Maison Forestière de la Harnière	470927,348	6718405,42	90	90,32	-16,09	dalle puits	
38	La Harnière Gaudin	470883,779	6718644,37	85	85	-100 (?)		
43	La Canonnière	479164,414	6711211,4	70	70,4	25/30	Haut de la grille	Turonien + failles
53	Cimetière guédéniau	471034,91	6714273,61	71	71,5			
56	La Ville au Fourrier	479818,973	6704471,35	53,5	53,5			
57	La Goupillière	482692,381	6703439,3	65	65,31	3,22	Dalle béton	Turonien
58	Impasse du Closeau1	484619,749	6702732,78	76	76	12,00		Turonien
59	Impasse du Closeau2	484612,941	6702742,08	76	76,84	11,61	Margelle (bois)	Turonien
60	Les Planches	479487,212	6706673,97	49	49	3,41	Dalle béton	
61	La Bruzole	481612,229	6705397,65	53	53	4,12	Margelle	
62	Domaine Gambier	493489,022	6691683,8	54	54			
63	Domaine Gambier	493522,039	6691631,95	52	52			
71	Le Loroux château 2	475654,715	6706403,82	41	41,6	-7,15	Haut de la grille	Cénomaniens moyen (?)
77	L'Etang terrain	477240,791	6709256,69	52	52	-9,47	Regard béton	
91	Bellevue	474918,237	6701646,39	63	63			
92	La Poitevinière	474941,951	6701047,88	69	69			

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/E

Annexe 8 : Note de synthèse du calage du modèle hydrogéologique de l'Authion

(22 pages)

Entente AUTHION

2 Place de la république
49120 BEAUFORT EN VALLEE

Interlocuteur : David MOREL (animateur SAGE)
Tél. : 02.41.79.77.03
E-mail: david.morel@sage-authion.fr

Calage du modèle hydrodynamique pour l'étude des volumes prélevables sur le bassin de l'Authion

Note technique

du 15 juillet 2014 complétée le 27 janvier 2015

Affaire PDL120016 suivie par François-Xavier MOINET

Tél. : 02.28.01.32.32 – Port. : 06.21.06.50.02
E mail : francois-xavier.moinet@anteagroup.com

SOMMAIRE

1. Méthodologie	3
1.1. Principes	3
1.2. Logiciels utilisés	3
1.3. Spécificités nappes cours d'eau sur l'Authion et réponse apportée	3
2. Rappels sur la construction du modèle	4
2.1. Etendue et maillage.....	4
2.2. Géométrie des couches géologiques.....	4
2.3. Réseau hydrographique, topographie et ouvrages hydrauliques	4
2.4. Conditions du modèle	4
2.5. Définition des couches du modèle	5
3. Calage en régime permanent	5
3.1. Données utilisées	5
3.2. Paramètres introduits dans le modèle	6
3.3. Résultats du calage en régime permanent	7
4. Calage en régime transitoire	8
4.1. Données variables dans le temps utilisées	8
4.2. Paramètres introduits dans le modèle	9
4.3. Calage en régime transitoire.....	10
4.4. Commentaires sur les résultats du modèle en régime transitoire.....	12
5. Conclusion et perspectives	14

Illustrations :

Illustration 1 : Superposition des piézométries simulées et esquisses piézométriques interprétatives d'après mesures

Illustration 2 : Chroniques piézométriques observées et simulées

Illustrations 3 : Chroniques de débit observées et simulées

1. Méthodologie

1.1. Principes

Le principe d'utiliser un outil de modélisation hydrodynamique a été identifié comme pouvant répondre au mieux aux objectifs du marché de l' « étude des volumes prélevables sur le territoire du SAGE Authion ».

La méthodologie appliquée s'appuie sur un mode opératoire sur la modélisation hydrogéologique du manuel qualité interne Antea (Y BARTHELEMY, JY AUSSEUR).

1.2. Logiciels utilisés

Le logiciel de code de calcul retenu dans le cadre de cette modélisation est MARTHE (Modélisation d'Aquifères par un maillage Rectangulaire en régime Transitoire pour le calcul Hydrodynamique des Ecoulements) développé par le BRGM. Il utilise la méthode des différences finies, et permet le calcul des écoulements de fluides en milieux poreux tridimensionnel [THIERY D. (2006)]. Le schéma retenu prend en compte des écoulements souterrains monophasiques (eau) en zone saturée et les interactions entre cours d'eau et nappes, etc.) en régime permanent puis transitoire.

Le logiciel de calcul utilisé pour déterminer les recharges mensuelles des nappes à introduire dans le modèle MARTHE est le code de calcul par modèle global à réservoir GARDENIA développé par le BRGM. Il permet d'établir une corrélation sur un point donné dans un bassin versant entre précipitations et débit d'un cours d'eau ou niveau piézométrique d'une nappe.

1.3. Spécificités nappes cours d'eau sur l'Authion et réponse apportée

Le réseau hydrographique est partiellement et fortement aménagé ; en particulier le val Authion qui n'a plus d'écoulement libre, est réalimenté par la Loire et la retenue de Rillé et dont les sens d'écoulement peuvent être inversés au gré des besoins d'irrigation ou d'assainissement. Les affluents présentent également de nombreux ouvrages hydrauliques et des profils en longs altérés.

Les situations de drainage ou d'infiltration des cours d'eau vis-à-vis des nappes pour un même affluent sont variables suivant le degré de colmatage du lit mineur, la saison ou encore la pression des prélèvements.

2. Rappels sur la construction du modèle

2.1. Etendue et maillage

Le contour du modèle correspond au bassin versant hydrographique de l'Authion (=territoire du SAGE Authion). la recherche du meilleur compromis entre précision pour répondre aux objectifs (notamment l'enjeu nappe- cours d'eau) et des temps de calculs raisonnables a conduit à définir un maillage de 400m*400m.

2.2. Géométrie des couches géologiques

12 couches géologiques sont présentes dans le modèle depuis l'assise peu perméable du Jurassique, en passant par toutes les couches du Crétacé et du Tertiaire jusqu'aux faluns miocènes et enfin les alluvions de la Loire.

La cote du mur de chaque couche géologique est établie à partir d'une interpolation des isopaques de cette couche fournis par les coupes de 167 forages (logs stratigraphiques validés en BSS), par les limites d'affleurement et par quelques ajustements ponctuels au niveau des failles connues ou supposées de forages (coupes lithologiques interprétatives validées BRGM)

2.3. Réseau hydrographique, topographie et ouvrages hydrauliques

L'intégralité du chevelu hydrographique pérenne a été pris en compte en recoupant les BD Carthage, DDT police de l'eau et IGN25. Ce chevelu a été simplifié pour coïncider avec les mailles du modèle hydrogéologique. Pour l'altimétrie, La topographie a été calculée en moyennant le modèle numérique de terrain (MNT) de l'IGN pour chaque maille de 400 m. pour les mailles contenant une rivière ou un talweg encaissé, des ajustements manuels ont parfois été nécessaires pour assurer la cohérence des sens d'écoulement, profils en long et des tranches d'eau afin de privilégier la cohérence des échanges possibles entre nappes et rivières et les cotes des zones de débordement potentiel de nappes.

Tous les ouvrages hydrauliques structurants inventoriés sur le bassin de l'Authion ont été intégrés et définissent des tronçons hydrauliques avec hauteur d'eau amont et aval de l'ouvrage, répartition éventuelle de débits entre bras.

2.4. Conditions du modèle

Des limites à flux nul sont définies sur l'essentiel des limites amont et latérales du bassin versant. Une limite à flux imposé pour les couches aquifères 11 (Cénomaniens basal) et 7 (Turonien) dans l'extrême nord est pour prendre en compte les apports de l'extrémité amont des bassins versants hydrogéologiques de ces couches dépassant légèrement les limites de l'Authion. Une limite à potentiel imposé en limite aval (fixe en permanent, variable en transitoire) correspond à la Loire. Les conditions internes au modèle sont la recharge (établie par les modèles GARDENIA (moyenne interannuelle en permanent, mensuelle et discrétisée en transitoire), les prélèvements (AEP, IRRIG, IND, ELEV) et rejets continus de STEP (non intégrés en permanent, intégrés en transitoire).

2.5. Définition des couches du modèle

N° de couche et désignation géologique	capacité
1 - Alluvions quaternaires supérieures	aquifère
2 - Alluvions quaternaires inférieures	aquifère
3 - Faluns miocènes	aquifère
4 - Calcaires de l'Eocène supérieur	aquifère
5 - Argiles sableuses de l'Eocène inférieur	Semi-perméable
6 - Sables sénoniens	aquifère
7 - Tuffeaux sableux du Turonien supérieur	aquifère
8 - Tuffeaux crayeux du Turonien inférieur	Aquifère à semi-perméable
9 - Marnes du Cénomanien supérieur	Semi-perméable à imperméable
10 - Sables argileux du Cénomanien moyen	aquifère
11 - Sables du Cénomanien inférieur	aquifère
12 - Substratum du jurassique ou primaire	imperméable

Pour toute interrogation relative à la terminologie et aux notions hydrogéologique on se reportera à l'annexe V rapport phase II

3. Calage en régime permanent

Les paramètres et valeurs utilisés (mesures ou calculs) en régime permanent sont des valeurs statistiques moyennes ne dépendant pas du temps et invariables. Elle doivent permettre d'initialiser le modèle pour l'étape suivant : le calage en régime transitoire. Dans les cas présent où les mesures de débits ou niveau relativement récents sont potentiellement être influencés par des prélèvements variables, la précision du calage en régime permanent montre ses limites.

3.1. Données utilisées

3.1.1. Piézométrie

Les esquisses piézométriques interprétatives existantes sur le bassin de l'Authion servent de référence¹. Ces esquisses n'existent que pour les nappes des alluvions, des sables cénonaniens (indifférenciés) et de la craie séno-turonienne (indifférenciée).

3.1.2. Débit des cours d'eau

¹ Atlas hydrogéologique de l'Authion (piézométrie Cénomanien et alluvions–BRGM Talbo 1971), Esquisses interprétatives BRGM 1979 à 1981, Les nappes de la craie dans le Maine Anjou et la Touraine : esquisse provisoire de leur surface piézométrique Albinet Cottet Lecointre BRGM A1111 décembre 1964

Les stations hydrométriques anciennes sur le bassin de l'Authion et les études hydrologiques sur les affluents de l'Authion pour la recherche de site de retenues hydroélectrique (EDF) ont été retenues comme données de référence.

3.2. Paramètres introduits dans le modèle

3.2.1. Recharge

Les recharges ont été déterminées par calculs à partir des modèles réservoirs (logiciel GARDENIA) établissant la relation entre pluie et débit de cours d'eau sur les stations hydrométriques anciennes disponibles sur le BV de l'Authion. 5 zones de recharge ont ainsi été définies avec des valeurs de 66 à 94 mm/an en moyenne.

3.2.2. Prélèvements et rejets

Les prélèvements sont majoritairement représentés par les besoins pour l'irrigation. Ces besoins sont saisonniers mais peuvent potentiellement présenter une pression impactant à long terme les équilibres des ressources. En régime permanent, ces débits de prélèvements (pour la majorité saisonniers) et de rejet ne sont pas introduits.

3.2.3. Débits, niveau des cours d'eau

Le module (débit moyen interannuel) a été retenu comme valeur de référence quand il était connu. Une approche par calculs hydrauliques simples (formule de Manning Strickler, modules spécifiques) a été adoptée pour déterminer le module sur tous les petits affluents dépourvus de stations hydrométriques. Notons toutefois, que ce module est une valeur statistique moyenne qui n'est que rarement mesurée sur le terrain puisque la gestion des ouvrages et les prélèvements et rejets modifient en permanence les hauteurs d'eau naturelles.

3.2.4. Perméabilités

Une valeur initiale de perméabilité homogène par couche a été établie à partir de la moyenne des valeurs de perméabilités issues des tests de pompage sur forages (sources bibliographiques phase 1 de l'étude). 2 tests de sensibilité sur les perméabilités ont été effectués aboutissant à une valeur finale par couche retenue. Dans un second temps, deux sous-zones de perméabilité différentes ont été introduites sur les secteurs du haut Couason et du Changeon pour améliorer localement le calage permanent sur ces bassins. Des ajustements ont été effectués ultérieurement en phase de calage en régime transitoire.

n°couche et désignation	K (m/s)		Test de sensibilité sur valeur K		Zonation	Couche Géologique	Perméabilité retenue (m/s)
	initial	moyen	test 1	test 2			
1 - Alluvions quaternaires supérieures	1,00E-04		1,00E-04	inchangé		12	1.10 ⁻¹⁰
2 - Alluvions quaternaires inférieures	3,00E-03		3,00E-03	inchangé		11	1.10 ⁻⁴
3 - Faluns miocènes	1,00E-05		1,00E-05	1,00E-04		10	1.10 ⁻⁵
4 - Calcaires de l'Eocène supérieur	4,00E-04		1,00E-04	1,00E-03		9	1.10 ⁻⁸
5 - Argiles sableuses de l'Eocène inférieur	5,00E-05		5,00E-06	1,00E-06		12	1.10 ⁻⁶
6 - Sables sénoniens	2,00E-05		1,00E-05	inchangé		11	1.10 ⁻²
7 - Tuffeaux sableux du Turonien supérieur	4,00E-05		1,00E-04	1,00E-04		10	1.10 ⁻³
8 - Tuffeaux crayeux du Turonien inférieur	1,00E-05		1,00E-05	1,00E-05		9	1.10 ⁻⁶
9 - Marnes du Cénomaniens supérieur	1,00E-07		1,00E-07	1,00E-07		8	1.10 ⁻⁴
10 - Sables argileux du Cénomaniens moyen	2,00E-04		2,00E-04	1,00E-04		7	1.10 ⁻³
11 - Sables du Cénomaniens inférieur	1,00E-03		1,00E-03	1,00E-03		6	1.10 ⁻⁴
12 - Substratum du jurassique ou primaire	1,00E-09		1,00E-09	1,00E-09			

Jeu de paramètres hydrodynamiques initiaux pour le calage en régime permanent

3.3. Résultats du calage en régime permanent

4.3.1. analyse comparative des piézométries interprétatives et simulées par le modèle

Les piézométries simulées en régime permanent pour les couches 11 (cénomaniens basal) 7 (Turonien) et 1 (alluvions) ont été superposées aux esquisses piézométriques disponibles pour ces couches (ou formations assimilées par leurs auteurs). Elles sont jointes en annexe 1.

4.3.2. Echanges nappe-rivière-canaux simulés

Un travail important de préparation et validation des données d'entrée du réseau hydrographique pour les introduire dans le modèle a été effectué. Il nous a semblé préférable de ne pas introduire ces données dans le modèle en phase de précalage permanent pour ne pas perturber l'étape d'évaluation de la sensibilité du paramètre perméabilité des couches géologiques.

Les caractéristiques des cours d'eau ont été introduites au modèle dans un second temps.

Le rôle des cours d'eau, majoritairement drainant par rapport aux nappes, est apparu globalement bien géré par le couplage cours d'eau-nappe une fois introduits ces données dans le modèle en régime permanent. Cependant certaines zones présentaient des flux importants rechargeant les nappes ou à l'inverse des zones asséchant anormalement les cours d'eau.

A ce stade, il est apparu nécessaire d'introduire un facteur de colmatage du lit des cours d'eau avec 4 degrés croissant de perméabilité de lit de tronçon de cours d'eau à partir des données d'observation des syndicats de rivière du bassin de l'Authion.

Ce paramètre supplémentaire a permis d'améliorer sensiblement la cohérence des débits de cours d'eau et niveaux de nappes au voisinage ou au droit des mailles de rivière du modèle.

Ce calage permanent (invariable dans le temps) ne permet cependant pas de reproduire les variabilités saisonnières (crues, assèchs naturels ou influencés par des prélèvements) des cours d'eau.

4. Calage en régime transitoire

4.1. Données variables dans le temps utilisées

4.1.1. Précipitations, ETP

Les données sur les stations météo d'ETP décennales (Beaucouzé), et de pluies journalières (Fontaine Guerin (zones 2 et 3) Channay sur Lathan (zone 1) Savigny-Veron (zone 4 et 5) utiles aux modèles GARDENIA ont été acquises pour la période de modélisation : (2002-2011 puis 1995 à 2001 pour mieux initialiser l'état piézométrique initial) auprès du service public de MétéoFrance.

4.1.2. Prélèvements/rejets

Les prélèvements pour l'irrigation ont fait l'objet de plusieurs échanges pour mises à jour, localisation spatiale et validation de cohérence globale avec les surfaces cultivées. La répartition mensuelle a été approchée suivant une règle unique de répartition sur les mois de mai à septembre sur les 10 ans de 2002 à 2011. Il est à noter que l'année de référence jugée la plus exhaustive est l'année 2011 issue de l'enquête fin 2012. Pour les autres années, il a fallu reconstituer des chroniques en extrapolant chaque volume individuel selon les statistiques globales de volumes déclarés à l'Agence de l'Eau. Cette approche reste imparfaite car probablement erronée localement et dans le temps puisque l'exploitation des ouvrages et leur nombre peut évoluer dans le temps et que les bases de recensement n'ont cessé de s'améliorer ou d'être amendées. In fine, un travail complémentaire de validation des besoins (en hypothèse haute) par surface et type de culture a permis de confronter des volumes déclarés et théoriques permettant de tendre vers des volumes consolidés pour les grands types de ressources.

Enfin, par souci d'exhaustivité, une approche pour déterminer les volumes prélevés pour les besoins domestique ou assimilés à partir de puits a été entreprise. Cette approche s'appuie sur les données de densité de population INSEE, la consommation moyenne par habitant et une étude estimant la part moyenne de l'eau provenant de ressources souterraines privées au sein des usages domestiques².

4.1.3. Chroniques piézométriques

Les chroniques piézométriques exploitées sont celles des piézomètres du réseau de référence ADES qui présentent les plus longues durées complétées par quelques points de suivis par l'Entente ou des bénévoles, membres de la CLE (CRPF) soit 21 points au total.

² [évaluation de l'importance des prélèvements d'eau issus des forages individuels BRGM 2010](#)

4.1.4. Débits des cours d'eau

Les chroniques de stations hydrométriques existantes sont soit trop anciennes pour la période modélisée, soit trop courtes pour être significative. Par ailleurs, Le modèle hydrodynamique n'a pas le degré de précision suffisant pour effectuer des comparaisons quantifiées sur les cours d'eau et ce n'était pas sa vocation pour cette étude. Seules les données semi-quantitatives des observations d'assecs du réseau ONDE (anciennement ROCA) et du réseau complémentaire du SAGE ont été exploitées.

4.2. Paramètres introduits dans le modèle

4.2.1. Recharges

Les séries de valeurs mensuelles de recharges calculées sur les 5 zones de recharge par les modèles Gardenia ont été introduites dans le modèle sur la période 1995 – 2011.

4.2.2. Prélèvements

Les données de prélèvements mensuels de 2002 à 2011 ont été préparées en fichiers utilisables directement par le modèle : par typologie (prélèvement ou rejet) par ressource (rivière, eaux souterraines ou plan d'eau) et par couche exploitée. Certaines corrections ont dû être apportées pour l'affectation des prélèvements aux bonnes couches selon la géométrie du modèle ou pour replacer les points de prélèvement en rivière sur une maille rivière du modèle.

4.2.3. Débits et niveau des cours d'eau

Des fichiers de débits mensuels et hauteurs d'eau correspondants pour la période 2002 à 2011 ont été introduits dans le modèle. Pour le Val d'Authion, l'analyse de la gestion des ouvrages hydraulique a permis de déterminer, en année hydroclimatique « moyenne », deux grandes séquences de gestion à vocation opposée : évacuation des eaux hivernales pour l'assainissement pluvial et rétention des eaux estivales pour l'irrigation. Les sens d'écoulement fournis au modèle ont été ajustés en conséquence pour les différents mois de l'année.

4.2.4. Emmagasinerements

Les valeurs d'emmagasinement libre (porosité efficace) ou captif sont des informations rarement disponibles dans la bibliographie sur le bassin de l'Authion ou les données de forages en BSS car elles nécessitent un pompage sur un forage et un piézomètre à proximité. Des valeurs bibliographiques générales sont proposées pour des grands types de roche. Les valeurs disponibles en BSS ont été privilégiées, à défaut des valeurs bibliographiques ont été employées.

En première étape, un test de sensibilité sur l'emmagasinement a été réalisé pour quelques couches. Les résultats ont permis d'améliorer sensiblement le calage transitoire de façon globale.

En deuxième étape, nous avons eu recours à l'emmagasinement spécifique (emmagasinement/épaisseur saturée) pour les nappes captives qui permet de prendre en compte la variabilité d'épaisseur aquifère.

4.3. Calage en régime transitoire

4.3.1. Analyses comparatives chroniques simulées - mesurées

Dans un premier temps et dans l'attente des données de prélèvements traitées et validées le modèle a été pré-testé en régime transitoire sans introduire de prélèvements. Cela a permis d'observer les principaux écarts avec les chroniques ADES : décalages altimétriques et différences d'amplitudes ou de phases. certains ajustements d'emmagasinement sur certaines couches ou pu être améliorées à ce stade.

Dans un second temps, les séries de prélèvements sur l'année 2011 ont été introduites dans le modèle en régime transitoire. Peu de différences ont été constatées avec les résultats hors prélèvements. De nouveaux ajustements ont été apportés sur les emmagasinement d'autres couches puis il a été adopté l'emmagasinement spécifique pour les zones de nappes captives.

Ainsi, le déroulement de l'étude et la délivrance tardive des volumes prélevés pour l'irrigation actualisés et consolidés n'ont pas permis de les intégrer dès les premières étapes du calage en régime transitoire. Les prélèvements ont enfin pu être introduits dans une première version « exhaustive » sur les SIRET issue du traitement croisé bases DDT – AELB – observatoire pour des premiers tests de sensibilité de l'impact de ces prélèvements (printemps 2013), puis dans une version améliorée issue de croisements entre les déclarations et les besoins théoriques (juillet 2013). Enfin, ils ont encore été affinés et complétés par des traitements supplémentaires (mai-juin 2014) sur la cohérence de certains volumes par typologie de ressource ou de mode de prélèvement (cf. note explicative sur les estimations de volumes et besoins pour l'irrigation).

4.3.2. Modifications et zonations de perméabilité

Le calage encore imparfait de nombreuses chroniques simulées en régime transitoire influencé par rapport au chroniques observées (graphes joints au CR du CTSE de septembre 2013) a conclu à la non validation de résultats du modèle à ce stade et la nécessité d'améliorer encore le calage en recherchant d'autres facteurs d'erreur ou d'explication possibles internes à la conception du modèle ou externe (fiabilité des données d'entrée).

Une nouvelle phase de calage en régime transitoire a donc été engagée avec notamment comme piste d'amélioration une sectorisation des couches créacées.

De nombreux tests de sensibilité sur les paramètres et des zonations géographiques de paramètres hydrodynamiques sur une ou plusieurs couches ont été effectuées pour améliorer le calage du modèle par rapports à certaines chroniques piézométriques (.

Ces tests ont permis de mieux appréhender les phénomènes hydrogéologiques en jeu, notamment dans les zones de nappe captive du Cénomanien, du Séno-Turonien et du Tertiaire. Les échanges verticaux entre ces nappes, au travers de formation semi-perméables à imperméables (argiles sableuses ou grès du Sénonien, marnes à huitres) régissent les fluctuations et l'altimétrie des niveaux de nappes captives et indirectement sur les nappes libres à l'affleurement. (par ex sur le secteur de Neuillé –Ville au Fourrier – Vernoil et indirectement sur le compartiment cénomanien rehaussé du Lathan moyen et le val d'Authion vers Vivy).

Par ailleurs des tests de sensibilité (notamment sur l'introduction de facteur d'anisotropie verticale) ont été effectués, sans donner de résultats probants et avec le risque d'introduire un paramètre supplémentaire qui n'est pas validé par des tests et mesures de terrain). Cette piste a été laissée de côté mais peut constituer une voie d'amélioration de résultats de calage sur certains secteurs « résistants ».

4.3.3. Tests sur le degré de colmatage des cours d'eau

La sectorisation des tronçons de cours d'eau suivant les informations de nature de sédiments des cours d'eau fournis par les syndicats de rivière a été appliquées pour les premiers tests de calage en régime transitoire. Ce paramètre peut avoir un certain impact sur les secteurs où la perméabilité de l'encaissant est plus forte (par ex : le secteur du cénomanien surélevé sur le Lathan moyen) que les alluvions déposées par le cours d'eau actuel. Ailleurs, on pourra trouver un colmatage significatif en val d'Authion pour les secteurs non curés récemment et globalement à l'amont des ouvrages hydrauliques.

Considérant que les informations fournies étaient difficilement exploitable et au regard du rôle nettement plus prépondérant des paramètres hydrogéologiques de couches sur le calage piézométrique, il a été fixé un colmatage moyen de tous les cours d'eau à 10cm d'épaisseur avec $K=1.10^{-7}$.

4.3.4. Période simulée

Le modèle simule les niveaux piézométrique sur une durée de 10ans avec une initialisation sur les cotes simulées en régime permanent. Parmi les tests pour améliorer le calage et notamment vérifier si une meilleure convergence pouvait être obtenue sur les secteurs les plus difficiles à caler, la période de simulation a été allongée jusqu'à 1995, en reproduisant les mêmes règles d'extrapolation tendancielle pour les prélèvements et en introduisant des recharges calculées sur les P et ETP de ces années à partir des modèles GARDENIA retenus. L'amélioration n'apparaît pas évidente : on dispose de très peu de chroniques anciennes (Channay et Bourgueil) et les résultats simulés sur les années 1995 à 2000 ne sont pas convainquant. Cette période de calcul a néanmoins été conservée car elle permet quand même de mieux initialiser le modèle que s'il débutait seulement en 2001.

4.4. Commentaires sur les résultats du modèle en régime transitoire

4.4.1. Variabilités hydroclimatiques

on peut observer le rôle prépondérant de la recharge issue des pluies efficaces et sa variabilité sur tout le bassin versant. Les valeurs introduites reposent sur des séries climatologiques contrastées entre les différentes stations. Ces valeurs peuvent ne pas s'appliquer en tous points aux conditions hydroclimatiques régnant sur le bassin versant.

Ainsi, nous avons été amené à préféré les valeurs de recharge établie pour le Couasnon moyen plutôt que sur le Lathan moyen pour le secteur de Neuillé-Vernoil.

Ce changement de données d'entrée de recharge a sensiblement amélioré la tendance interannuelle de la chronique piézométrique simulée sur le piézomètre AEP de Neuillé par exemple (cf. illustrations 2)

4.4.2. Reprise évaporative

Dans un modèle hydrogéologique où les échanges et bilans au sein des compartiments sont l'objet principal des attentions pour le calage, le devenir des flux de nappe sortant du modèle par la surface topographique importent peu. Dans un modèle couplé nappes et cours d'eau complexe comme celui du bassin de l'Authion, ces flux revêtent une grande importance, notamment sur les périodes d'étiage et en période de développement végétatif maximal.

Par défaut, le modèle interprète tout niveau piézométrique libre dépassant la cote du sol comme un débordement de nappe. Lorsqu'un réseau hydrographique est explicitement introduit, le modèle dirige les flux de nappe vers la maille cours d'eau la plus proche. Ce « raccourci », s'il tend vers la réalité physique en hiver avec des sols saturés et du ruissellement, représente ma la réalité en période de déficit du bilan hydrique. Ces flux sont en réalité captés en tout ou partie par la végétation. MARTHE permet de spécifier cette reprise par les plantes au travers du terme « reprise évaporative » que l'on peut appliquer sur une certaine profondeur à partir du sol et en totalité ou de façon décroissante à partir d'une certaine profondeur. A partir de la valeur (P-ETP) négative en période de déficit hydrique de chaque pas de temps mensuel pour les différentes stations météo, nous avons appliqué une reprise évaporative pour tous les niveaux piézométriques à moins d'1m du sol et limitée à 2m.

Cette prise en compte de la reprise évaporative réelle a permis d'améliorer significativement les résultats de débits d'étiage simulés par rapports aux débits observés (cf. illustrations 3). Ils sont par ailleurs cohérents avec les résultats d'un modèle globale régional réalisé par l'Agence de l'Eau Loire Bretagne avec l'outil PEGASE. (illustrations 4).

4.4.3. Variabilités géologiques

La complexité structurale (failles) des couches géologiques et leur variabilité de nature lithologique (couches multi-strates pour certaines formations et variations latérales de faciès) dans l'espace est connue concernant notamment les formations du Crétacé du bassin de l'Authion. cela rend très complexe le calage d'un modèle hydrogéologique dès lors qu'on se limite à traiter ces couches de façon homogène.

Les failles sont traitées géométriquement de manière simplifiée dans le modèle par des décrochements verticaux des couches mais leur rôle hydraulique (barrière, drain) et la complexité de leur structure réelle (failles secondaires) ne peut être traité à cette échelle et faute de tests hydrauliques de terrain spécifiques sur ces failles.

Au niveau des paramètres hydrodynamiques de certaines couches, en particulier le tuffeau turonien, les valeurs trouvées dans les banques de données ou rapport présentent parfois de fortes variabilités (facteur de 1 à 100) à quelques kilomètres de distance. Soit les valeurs reposent sur des interprétations qui ne seraient pas valides, soit elles le sont et alors c'est que l'aquifère de type fissural est localement très hétérogène. Le modèle à l'échelle de l'étude ne peut reproduire une telle variabilité et cela peut peser localement sur la précision d'un calage.

4.4.4. Limites constructives du modèle

Plusieurs points particuliers sur les différents secteurs du réseau ADES et du réseau complémentaire de l'Entente ont été identifiés : particularités dans la configuration des cours d'eau (bras, surcreusements), présence de points de prélèvement à proximité, incertitude sur les horizons captés, défaut de nivellement topographique). Cela a pu être traité et corrigé dans le modèle quand cela était possible..

Pour certains cas, cela ne peut être corrigé dans le modèle en raison de la taille des mailles qui a nécessité une simplification de certains nœuds hydrauliques et de la précision altimétrique.

4.4.5. Gestion des hauteurs et débits dans les cours d'eau

MARTHE permet de gérer explicitement un réseau hydrographique. la prise en compte d'une hauteur d'eau dans les cours d'eau pour chaque tronçon se fait:

- soit en introduisant une relation dynamique hauteur/débit type formule de Manning avec tous les paramètres qu'elle nécessite,
- soit en introduisant une hauteur d'eau prédéfinie.

Nous avons opté pour la deuxième option : hauteur prédéfinie en affinant cette option avec une hauteur moyenne prédéfinie chaque pas de temps mensuel. Ces valeurs avaient été déterminées par les calculs de débits de référence (débits spécifiques et loi de Manning Strickler pour les affluents, étude des profils, cotes d'ouvrages et gestion crue-assainissement/étiage-irrigation pour le Val) pour chaque sous BV unitaire présentée aux techniciens de rivière en fin de phase 1 début de phase 2.

Nous n'avons pas retenu la première option car nous ne disposons pas de données mesurées de relation hauteur débit fiables pour la quasi totalité réseau hydrographique. De plus, il aurait fallu disposer de lois hauteur/débit en régime influencé et non influencé pour chaque tronçon. Enfin, les prélèvements directs et les manœuvres d'ouvrages sur certains tronçons faussent localement de telles lois théoriques.

Par ailleurs, les débits calculés dans les cours d'eau (notamment en étiage où les faibles débits permettent difficilement d'établir une relation hauteur/débit) auraient ainsi été

essentiellement contraints par cette relation. Nous n'aurions eu alors que peu de prise sur les débits simulés en faisant les tests de calage du modèle de nappe.

L'option retenue utilise la hauteur d'eau initialisée à chaque pas de temps mensuel pour établir la différence de charge hydraulique avec la nappe sur chaque tronçon pour calculer les flux nappe – rivière. Cela permet de prendre en compte le rôle des ouvrages hydrauliques sur le fil d'eau en étiage indépendamment du débit qui y transite.

Le débit n'est ainsi nullement précontraint par une loi hauteur-débit. Pour chaque maille, il est calculé librement à l'issue de chaque pas de temps en intégrant les apports et les prélèvements directs, les échanges nappe-rivière. Ce débit calculé est transmis à la maille de cours d'eau aval défini dans l'arbre d'écoulement.

4.4.6. Limites sur les incidences des prélèvements

Vu le travail accompli sur l'estimation des volumes prélevés, on peut considérer qu'on tend vers un volume réel pour les années récentes. En termes de débit instantané, la fiabilité des déclarations est beaucoup moindre d'une part et d'autre part le pas de temps de calcul de 1 mois a nécessité de ramener les débits instantanés à un débit moyen équivalent. Cela implique que les variations brusques de niveau piézométrique observées sur quelques jours et jusqu'à moins d'1 mois sur certains piézomètres (par ex sur Vivy ou Ville au Fourier) ne peuvent être reproduites par le modèle.

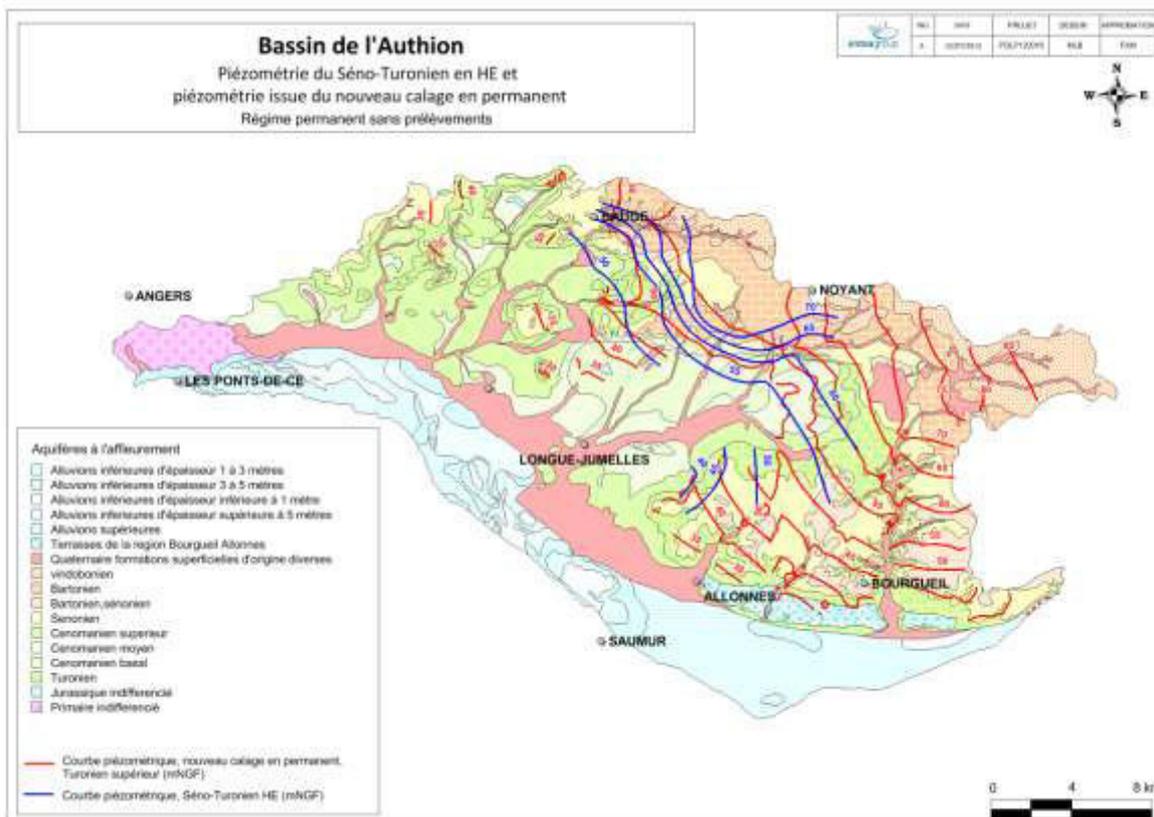
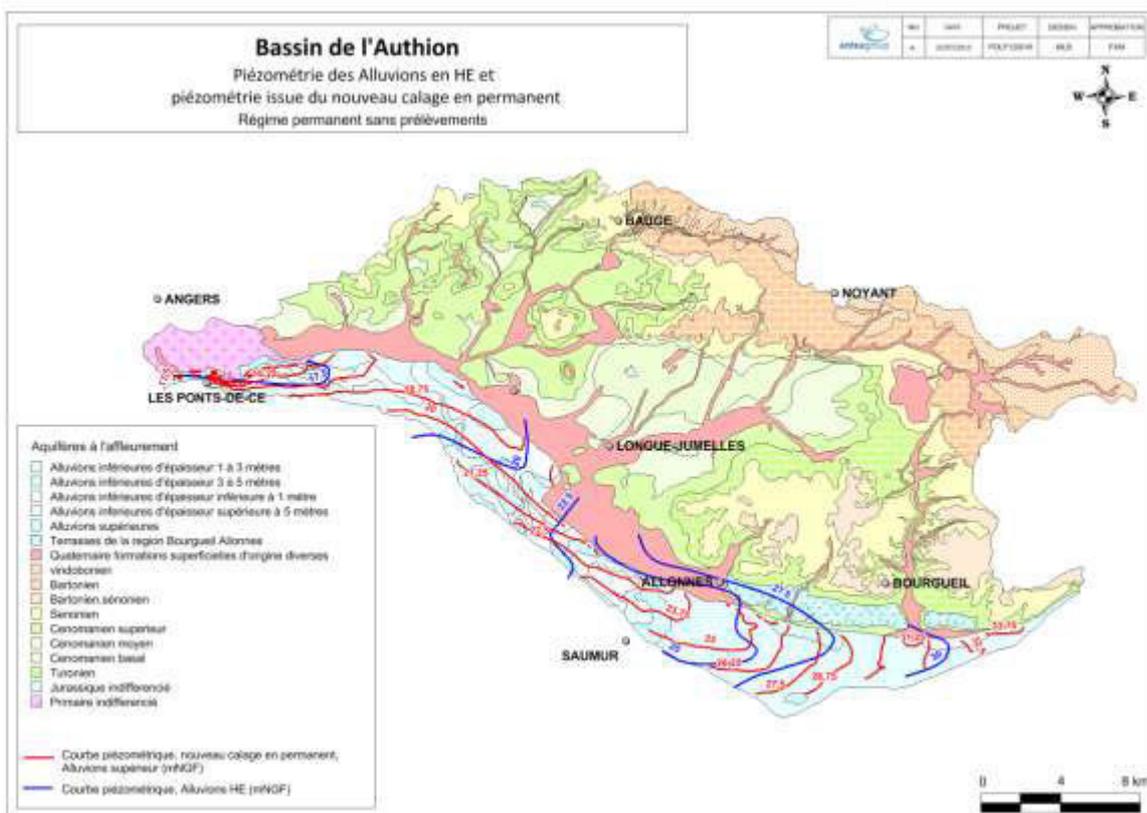
De même, les règles d'application de débit et de période de prélèvement ont dû être répliquées tous les ans de manière identiques à 2011 faute de connaissance suffisamment fines. Cela induit nécessairement des décalages entre chroniques observées et simulées lors des étiages sévères aggravés par des prélèvements pour irrigation.

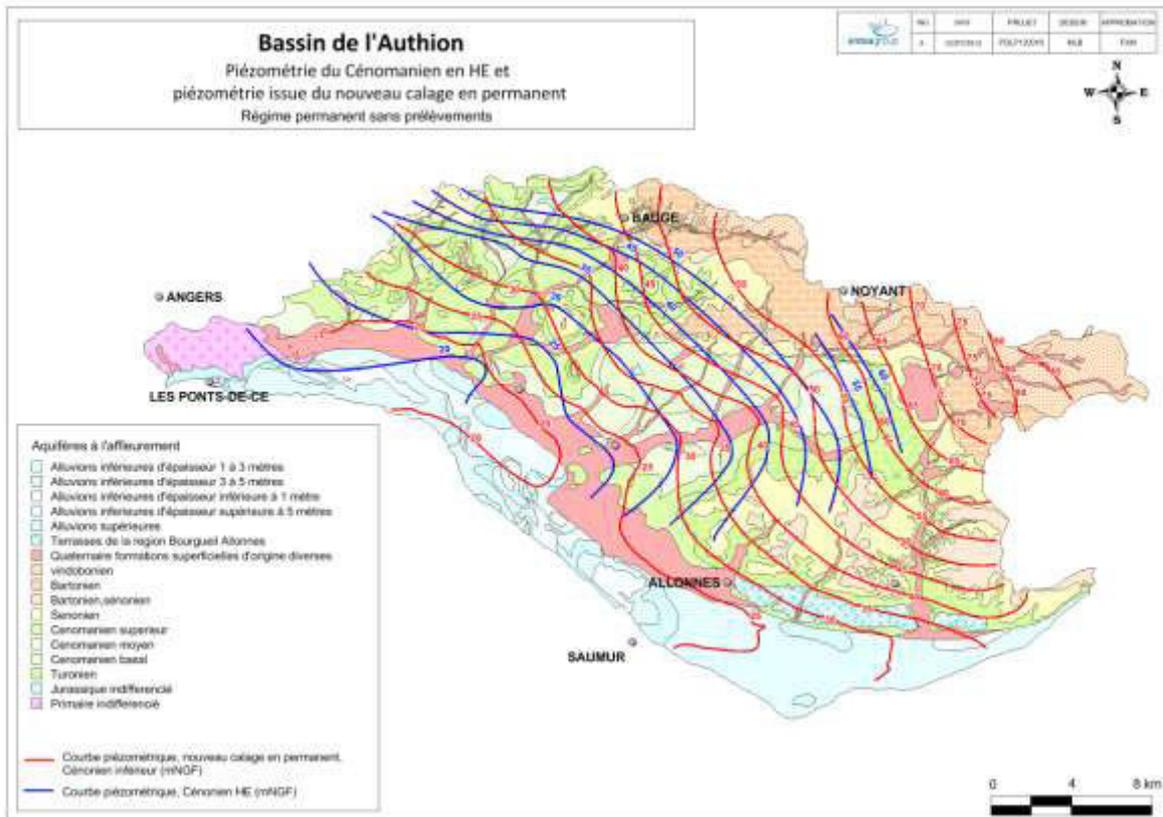
5. Conclusion et perspectives

Le calage du modèle hydrogéologique présente encore quelques écarts avec les mesures observées en certains points, il présente désormais une robustesse et un bon compromis de cohérence dans les ordres de grandeur piézométrique, dans la reproduction des échanges entre nappes et dans les débits d'étiage des cours d'eau qui permet d'analyser et quantifier les volumes d'eaux souterraines échangés et leur restitution aux milieux superficiels

ILLUSTRATIONS 1

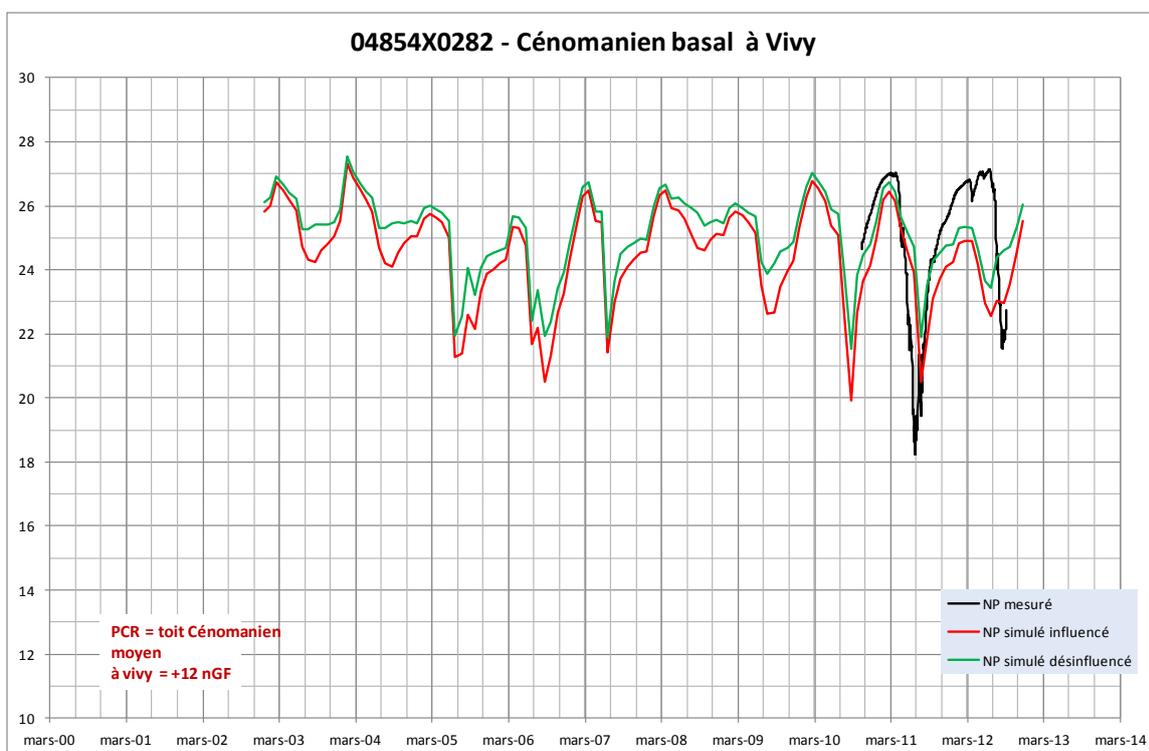
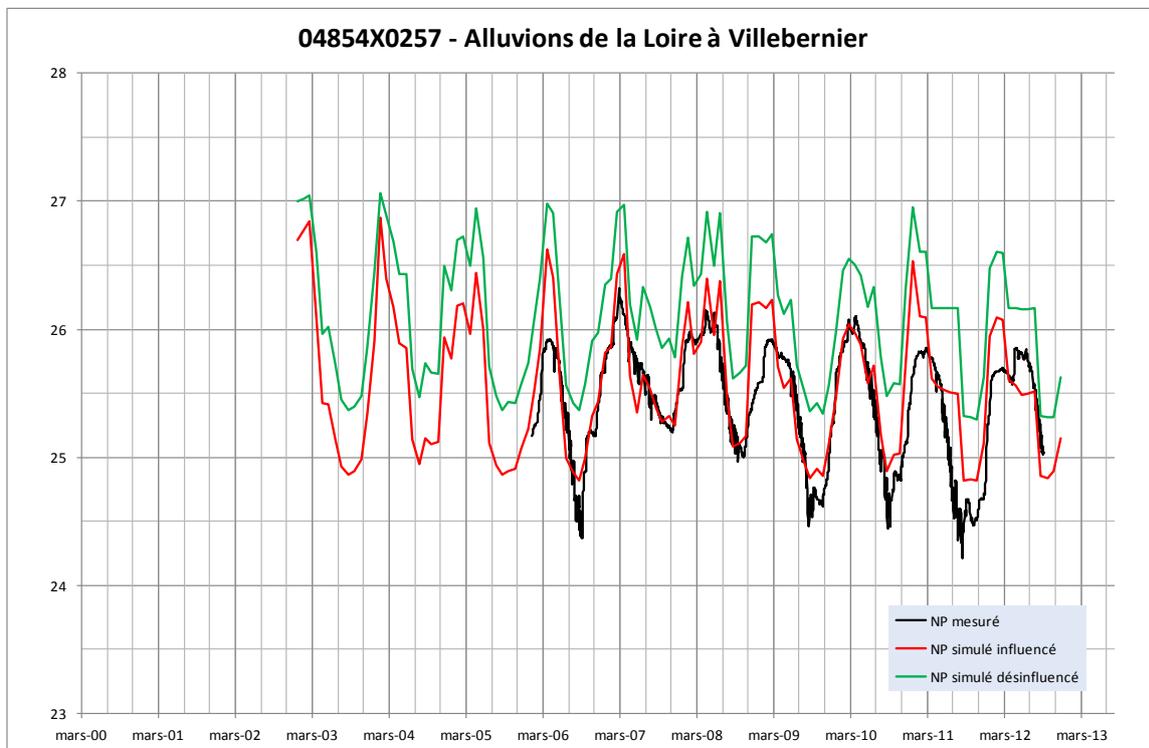
**Superposition des piézométries simulées et esquisses piézométriques interprétatives
d'après mesures**

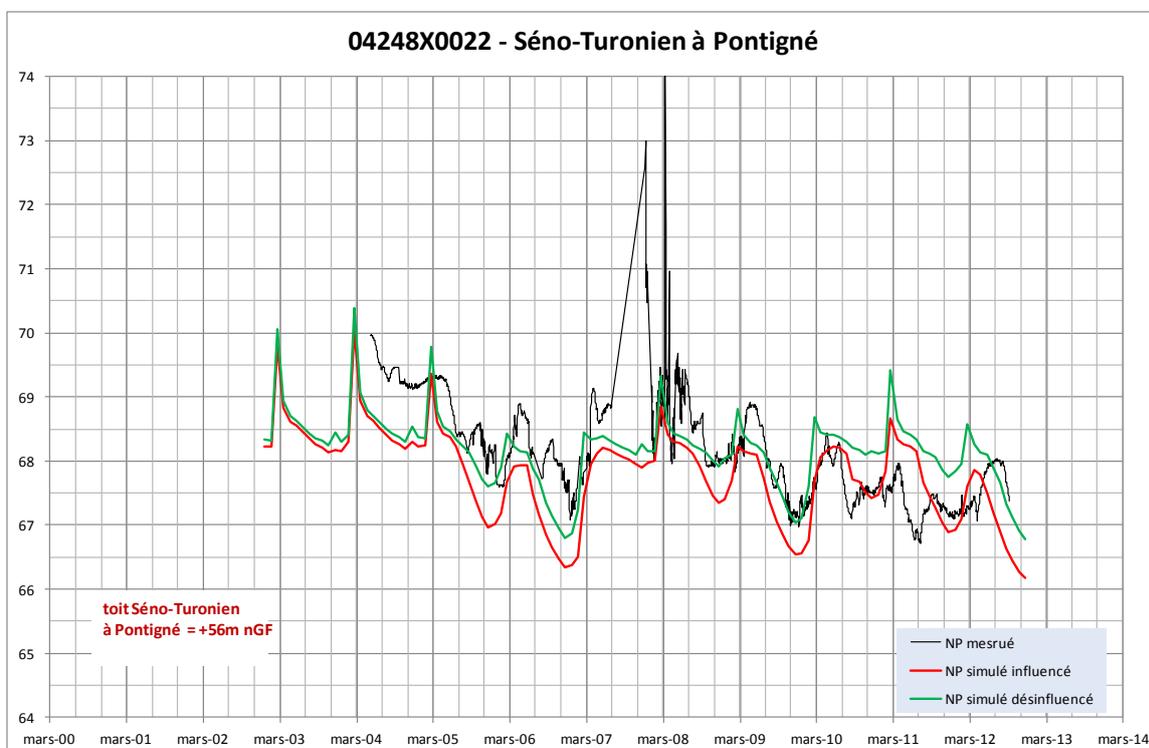
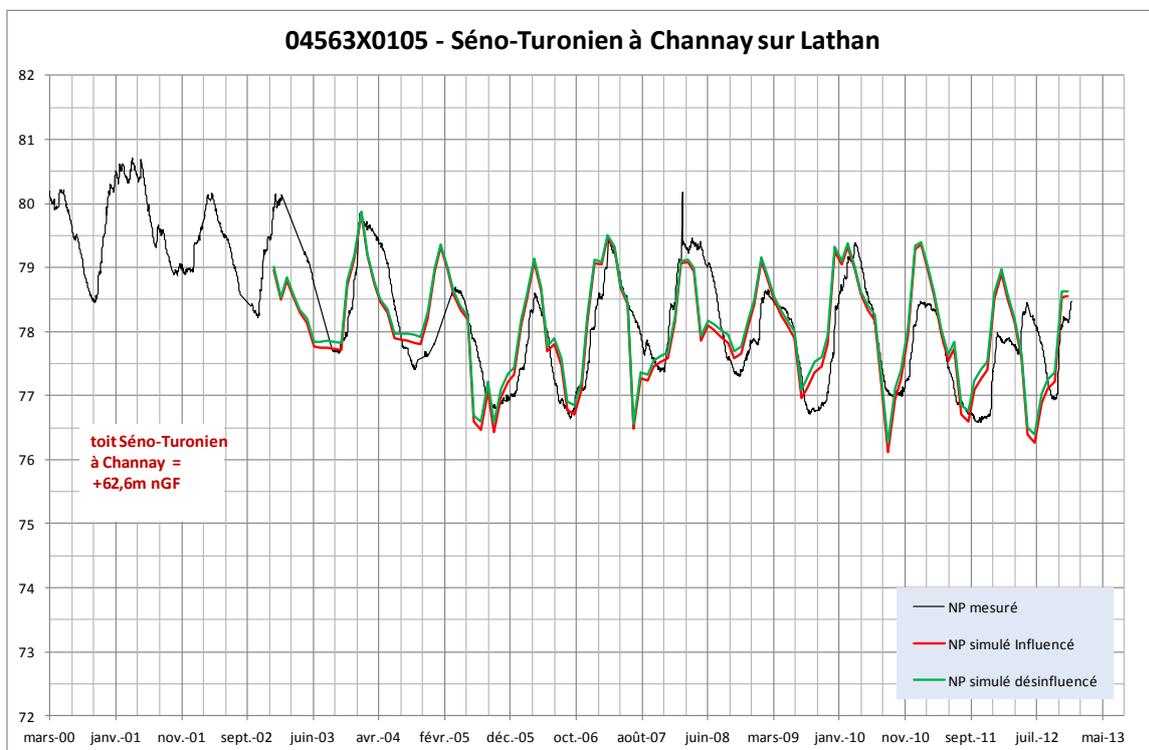




ILLUSTRATIONS 2

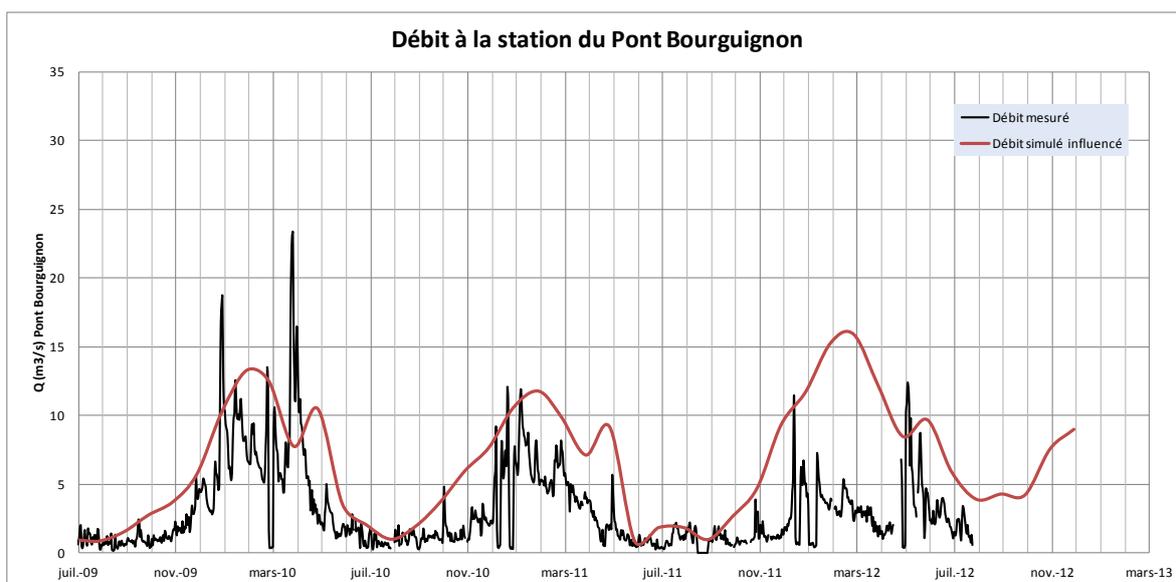
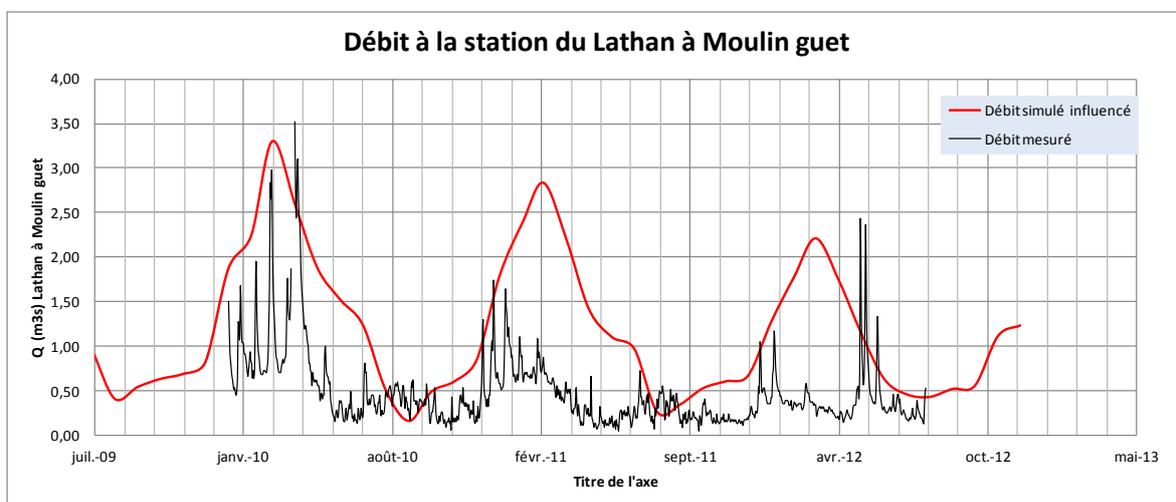
Chroniques piézométriques observées et simulées





ILLUSTRATIONS 3

Chroniques de débit observées et simulées



ILLUSTRATIONS 4

Comparaison de débits simulés de l'étude volumes prélevables sous MARTHE et sous PEGASE (Agence de l'Eau Loire Bretagne)

Entente Authion
Calage du modèle hydrodynamique pour l'étude des volumes prélevables sur le bassin de l'Authion
Note synthétique

RESULTATS DE PEGASE			RESULTATS DE MARTHE			Commentaires
Code Mesu	Nom Mesu	QMNA5 en m3/s	Code UG	Nom UG	QMNA5 en m3/s	
FRGR0448	Authion et ses affluents depuis Brain-sur-Allonnes jusqu'à la confluence avec le Lathan	0,27	2	Val d'Authion aval	1,68	Le 0,27 m3/s de Pegase est la somme des FRGR des UG 3 et 10, sans apports de la FRGR0448. D'où l'écart entre le 1,68 m3/s de Marthe et le 0,27 m3/s de Pegase ?
			9	Bassin des Trois Rus	0,28	
FRGR0449	Authion depuis la confluence du Lathan jusqu'à la confluence avec la Loire	0,56	1a	Val d'Authion aval	0,42	L'UG 1A comprend aussi une partie de la Mesu FRGR0448
FRGR0451	Lane et ses affluents depuis la source jusqu'à la confluence avec l'Authion	0,02	3	Le Lane	0,07	Cette UG comprend aussi 1/5 de la Mesu FRGR0450. Si on somme 1/5 du débit de cette Mesu à la FRGR0451, on obtient 0,11 m3/s à comparer au 0,07 m3/s de Marthe
FRGR1027	Aunaies et ses affluents depuis la source jusqu'à la confluence avec l'Authion	0,01	4	Aunaies, Etang et affluents	0,05	Cette UG a en fait deux exutoires, l'Aunaies et l'Etang. Les Mesu sont légèrement plus grandes que l'UG.
FRGR1003	Etang et ses affluents depuis la source jusqu'à la confluence avec l'Authion	0,00				
FRGR1561	Couasnon et ses affluents depuis la source jusqu'à le Vieil-Baugé	0,00	5	Le Couasnon et ses affluents	0,11	Les deux géométries collent parfaitement, le 0,11 m3/s de Marthe est à comparer directement au 0,14 m3/s de Pegase
FRGR0453	Couasnon et ses affluents depuis le Vieil-Baugé jusqu'à la confluence avec l'Authion	0,14				
FRGR1005	Curée et ses affluents depuis la source jusqu'à la confluence avec l'Authion	0,04	6	Le Lathan aval et ses affluents	0,14	Cette UG comprend aussi la partie aval de la Mesu FRGR0452. Si on prend la moitié du débit de cette Mesu, et qu'on somme avec FRGR1005, on obtient 0,11 m3/s , à comparer au 0,14 m3/s de Marthe
FRGR0452	Lathan et ses affluents depuis la confluence du Pont Menard jusqu'à la confluence avec l'Authion	0,14				
FRGR1004	Lathan et ses affluents depuis la retenue des Mousseaux jusqu'à la confluence du Pont Ménard	0,07	7	Le Lathan moyen et ses affluents	0,25	Cette UG comprend aussi la partie amont de la Mesu FRGR0452. Si on prend la moitié du débit de cette Mesu et qu'on somme avec FRGR1004 et 1006, on obtient 0,15 m3/s , à comparer au 0,25 m3/s de Marthe
FRGR1006	Riverolle et ses affluents depuis la source jusqu'à la confluence avec le Lathan	0,01				
FRGR2252	Lathan et ses affluents depuis la source jusqu'à la retenue des Mousseaux	0,03	8	Le Lathan et ses affluents en amont de Rillé	0,15	L'UG comprend aussi la Mesu FRGL089 de la retenue des Mousseaux (sans QMNA5 Pegase), avec ses apports latéraux. De plus, l'UG 8 comprend la réalimentation depuis la retenue, pas les Mesu
FRGR0450	Authion et ses affluents depuis la source jusqu'à Brain-sur-Allonnes	0,44	10	Le Changeon et ses affluents	0,2	Cette UG ne recouvre que les 4/5 de la Mesu FRGR0450. Si on applique ce ratio approximatif au débit, on obtient 0,35 m3/s , à comparer au 0,2 m3/s de Marthe

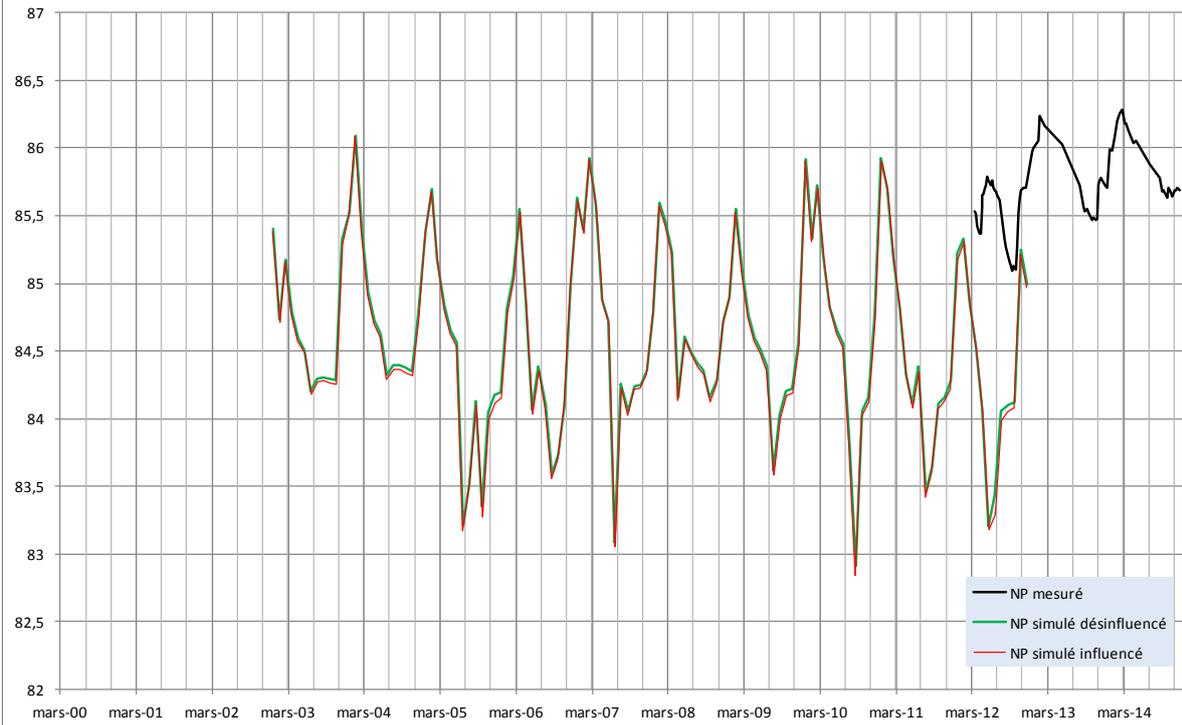
*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final A70443/E

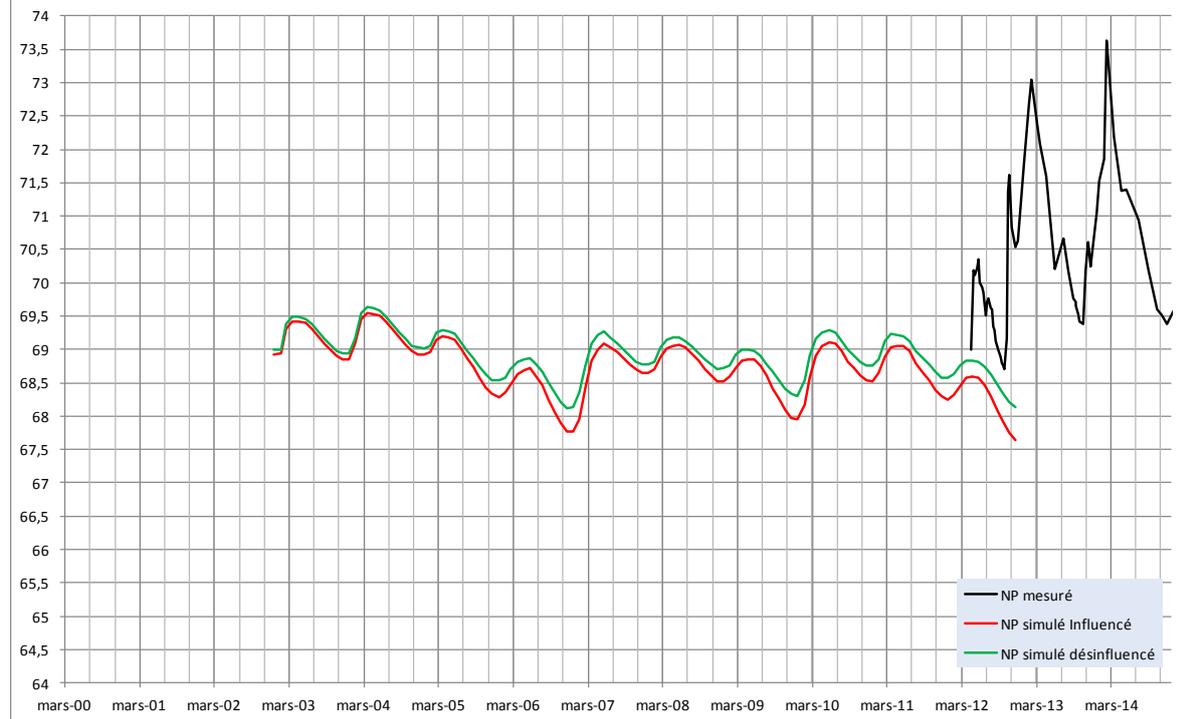
Annexe 9 : Calage en régime transitoire : niveaux piézométriques simulés et observés avec et sans prélèvements

(11 pages)

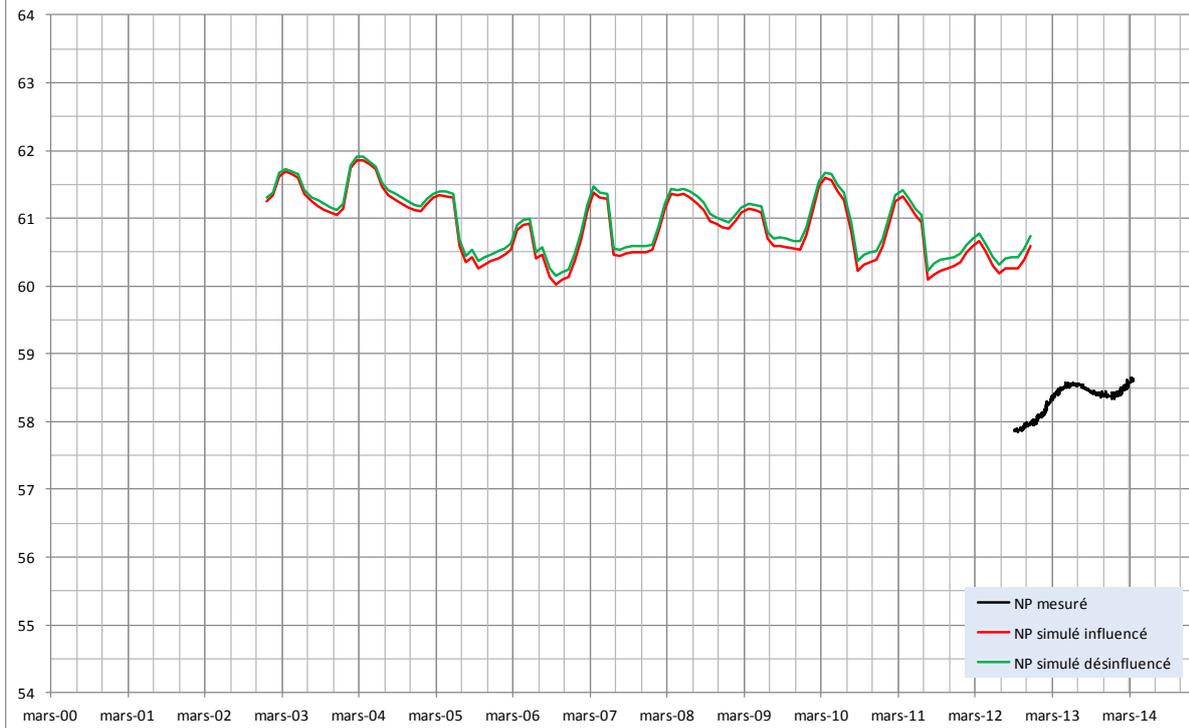
Rue 11 novembre - Faluns du Miocène à Savigné-sur-Lathan



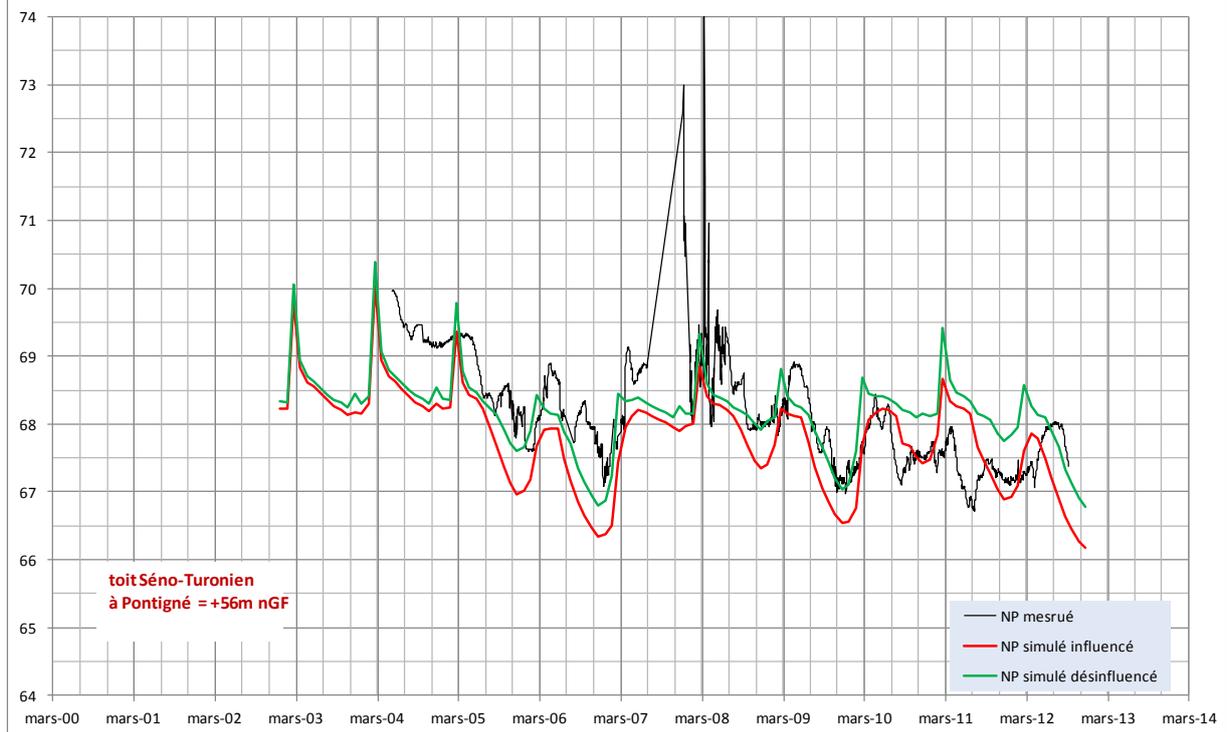
Château Bouchet - Eocène lacustre à Pontigné



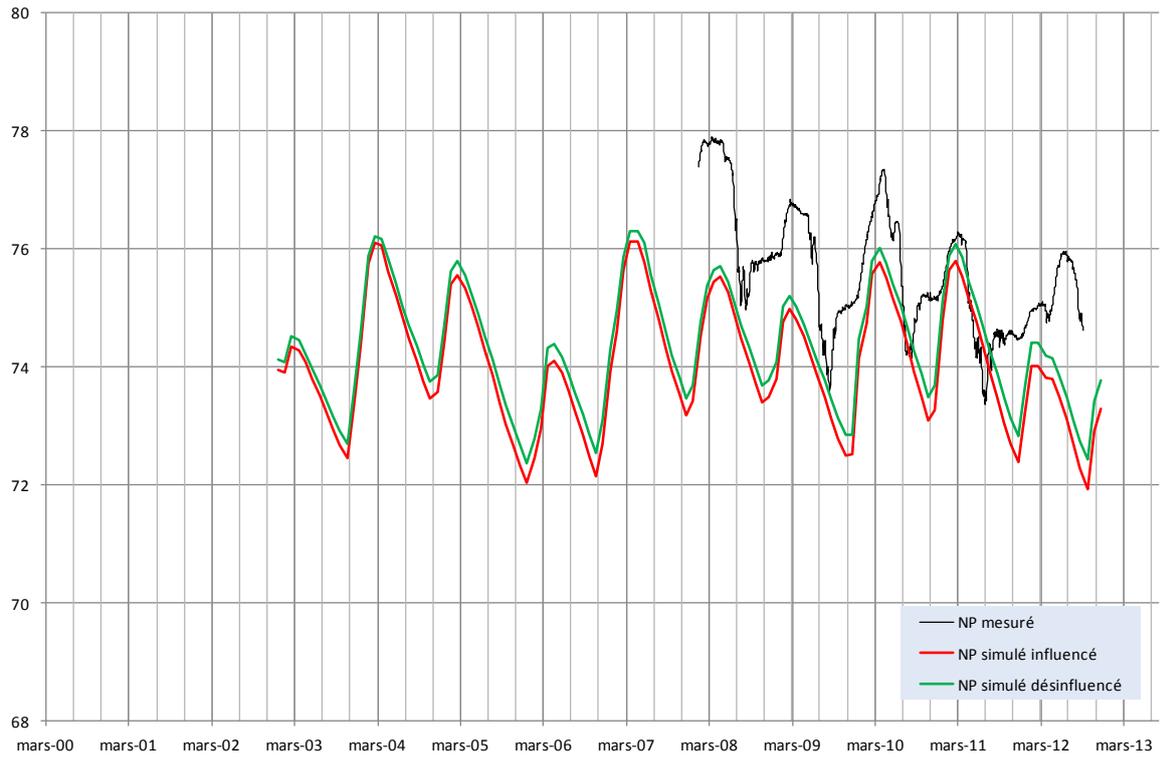
04554X0026 Séno-Turonien au Gédéniau



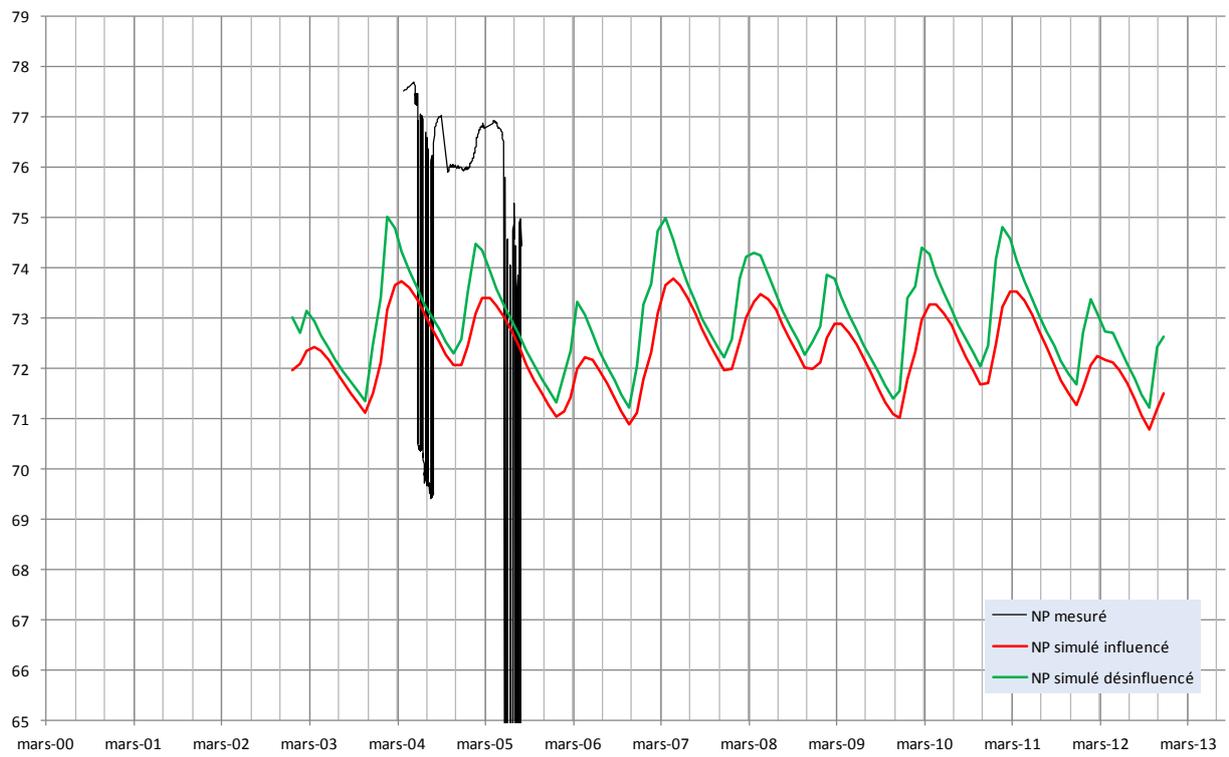
04248X0022 - Séno-Turonien à Pontigné



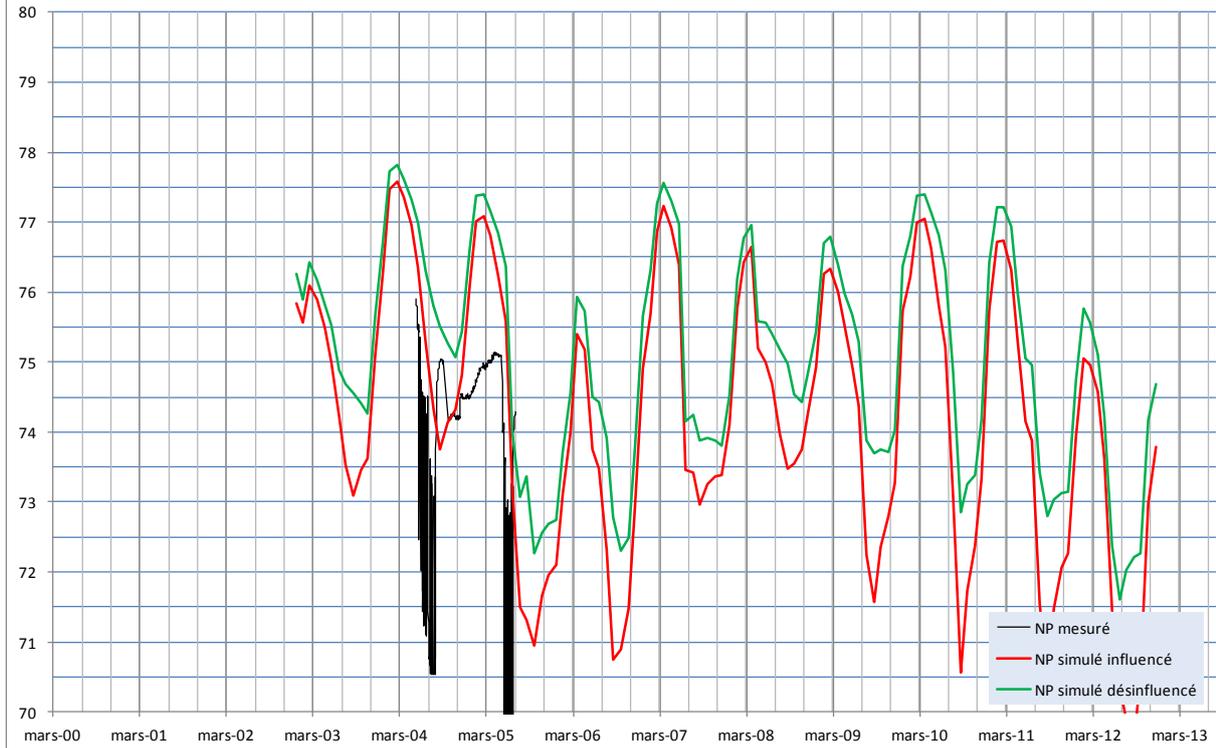
04560X0074 - Séno-Turonien à Noyant



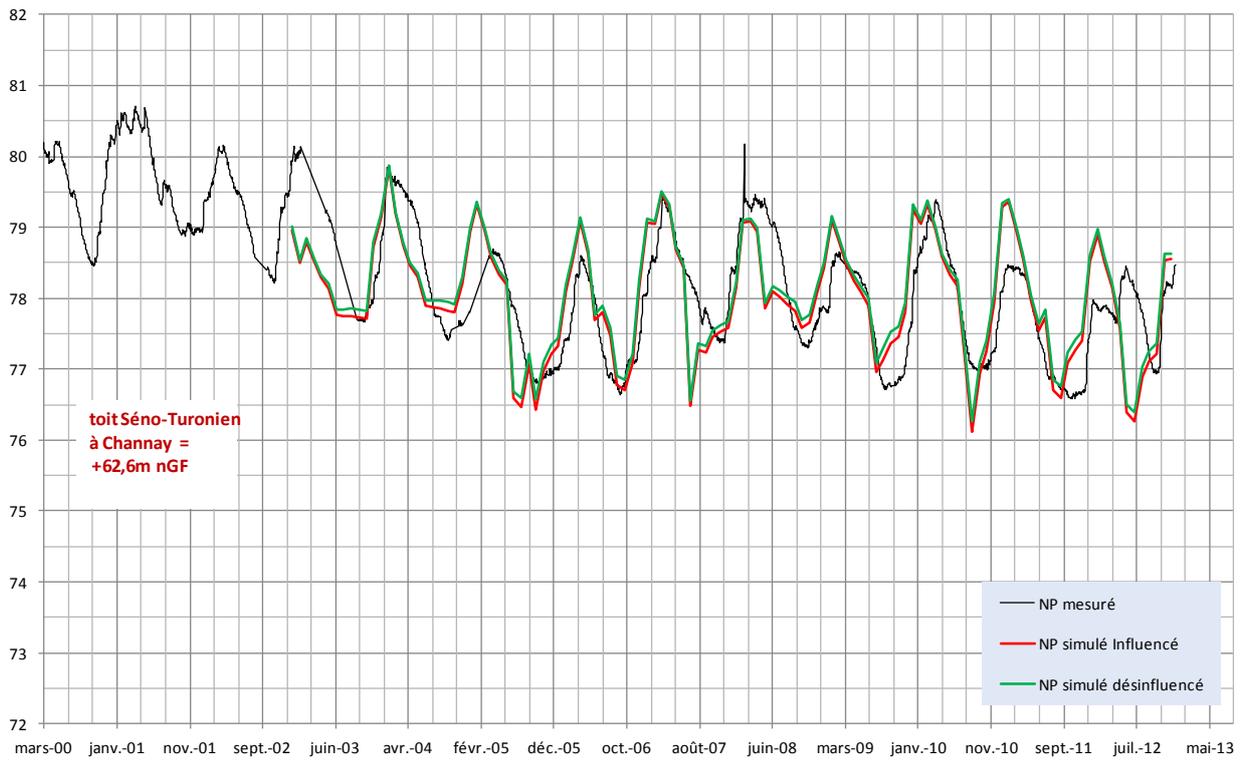
04563X0053 - Cénomannien à Noyant



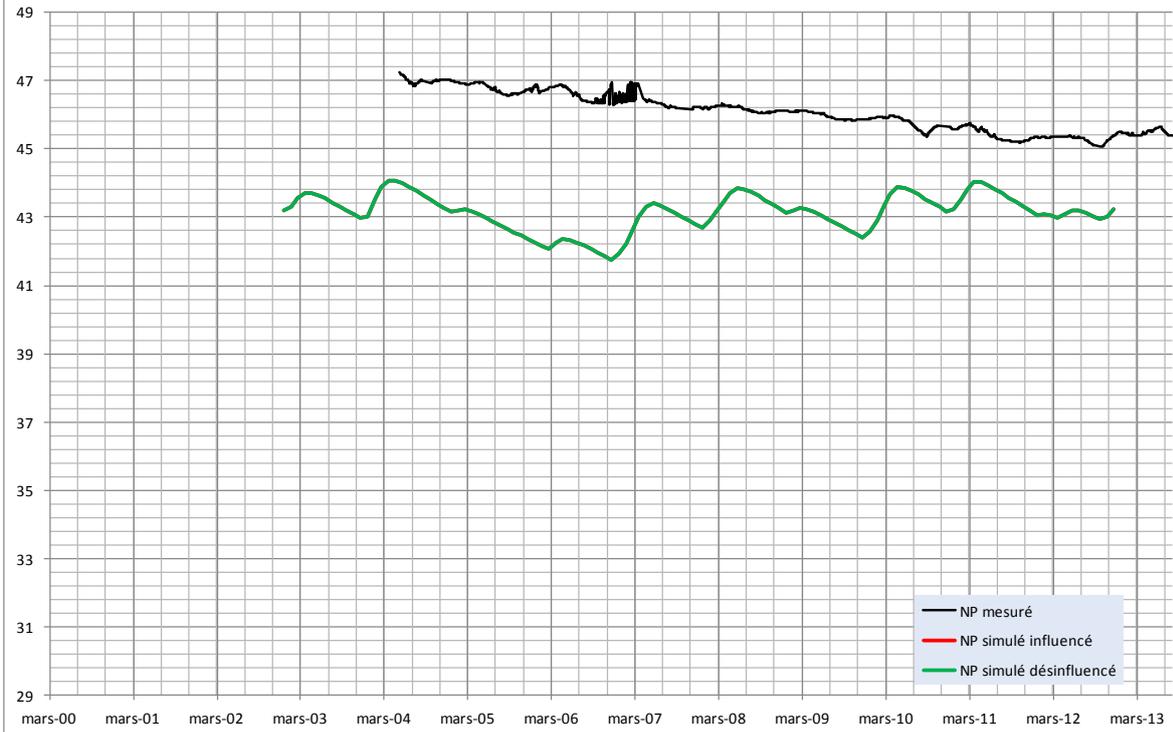
04562X0071 - Séno-Turonien à Meigné-le-Vicomte



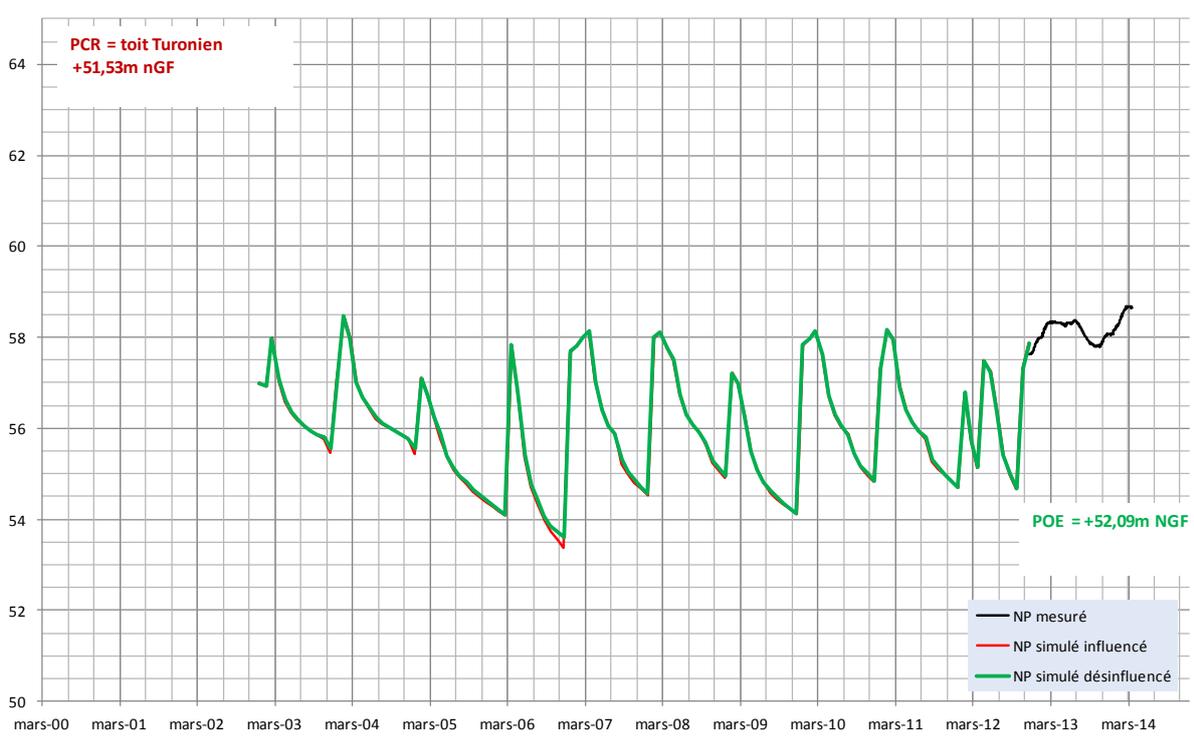
04563X0105 - Séno-Turonien à Channay sur Lathan



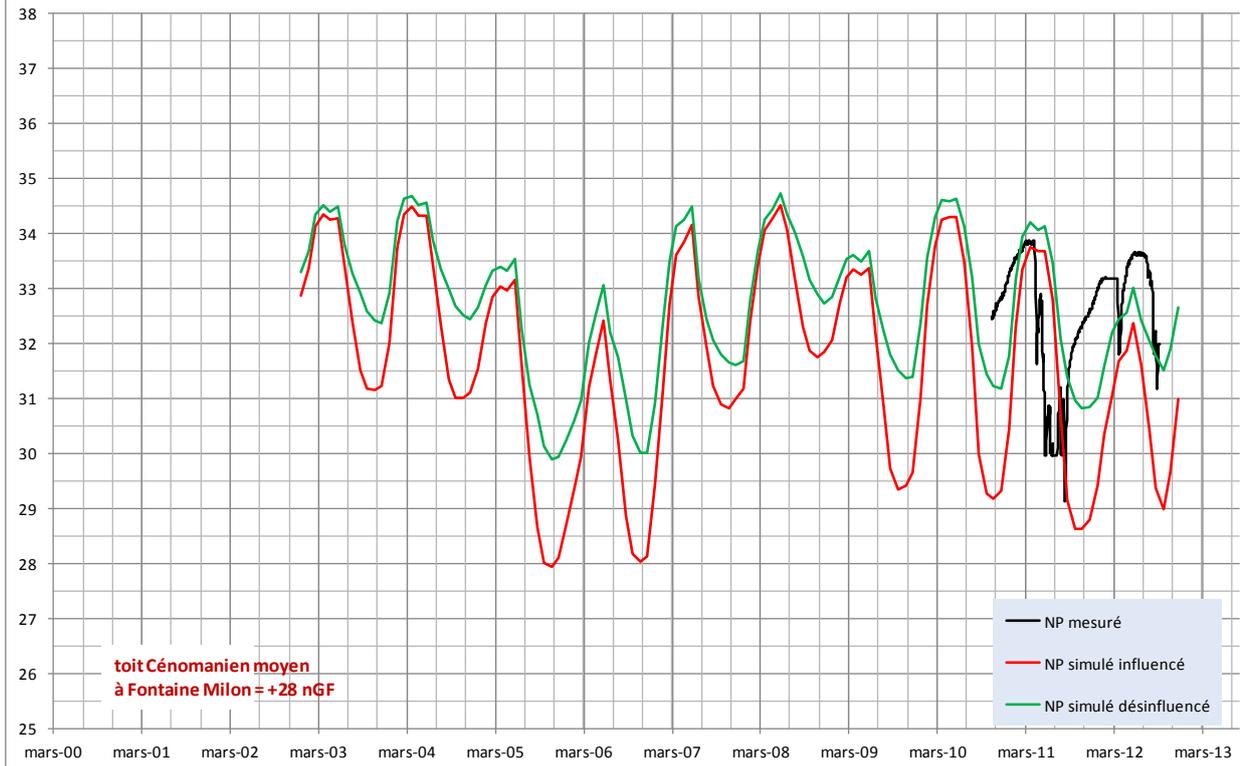
04558X0072 - Séno-Turonien à Neuillé



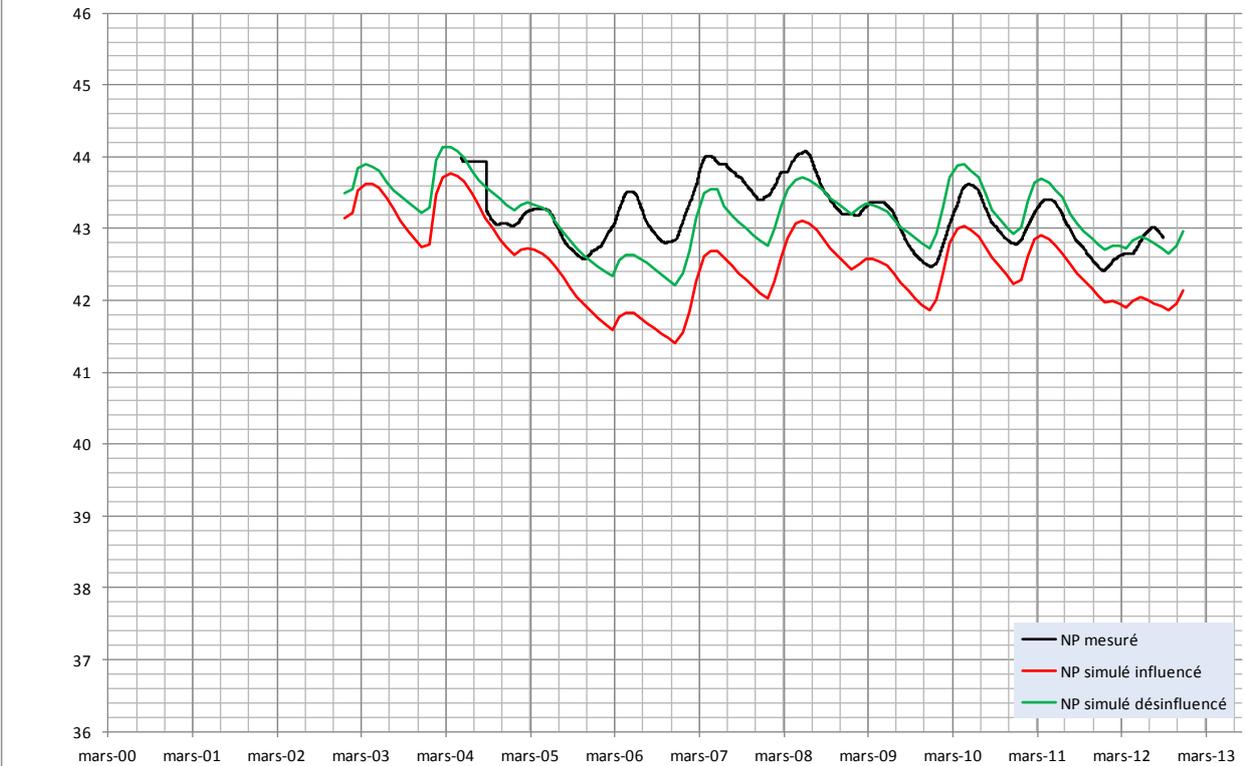
04565X0076 - Séno-Turonien à Vernuil



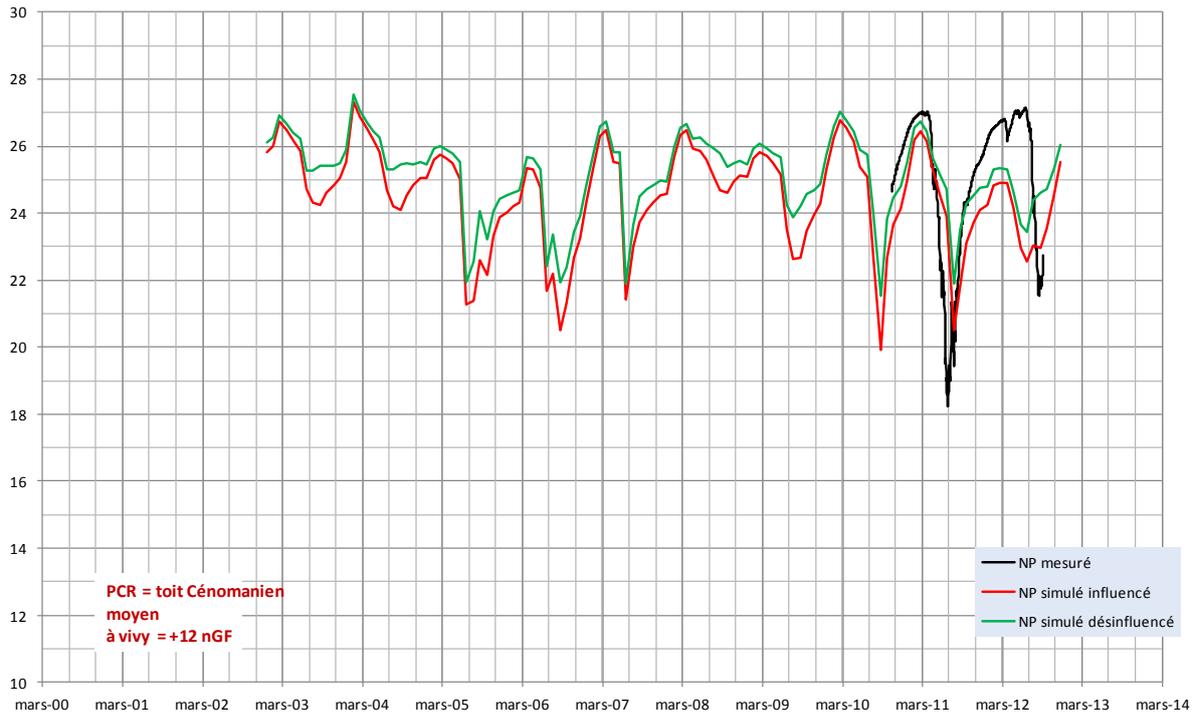
04552X0110 - Cénomaniens à Fontaine Milon



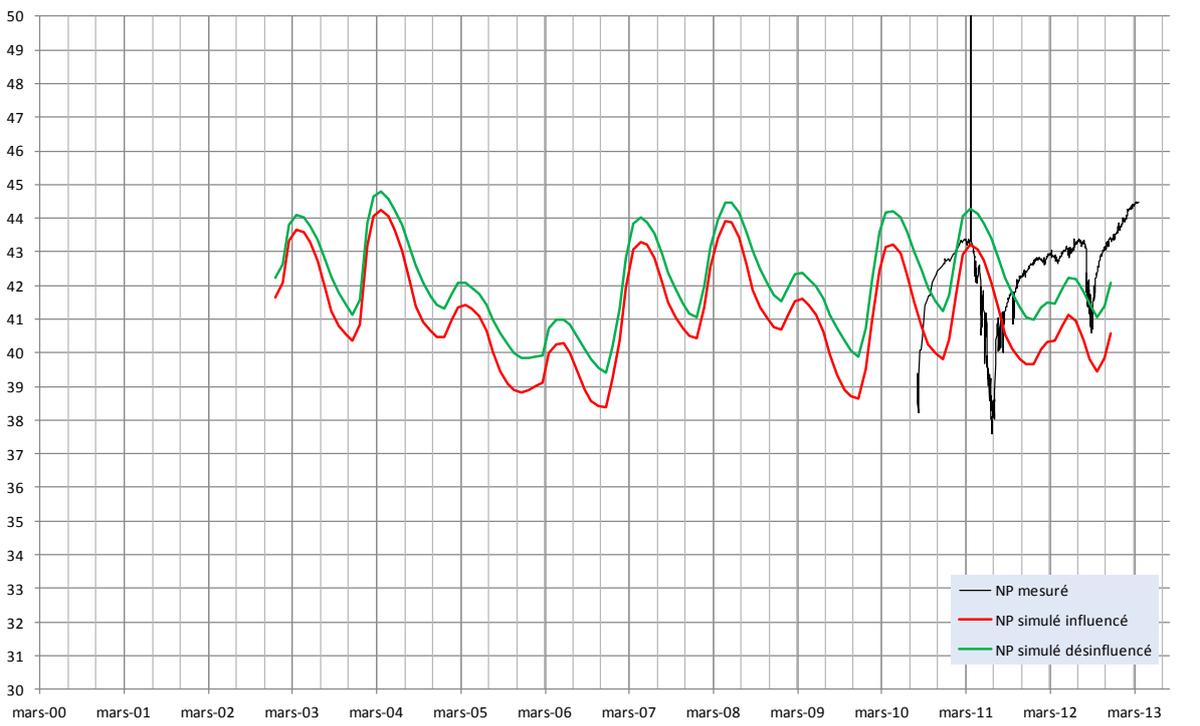
04553X0023 - Cénomaniens basal à Brion



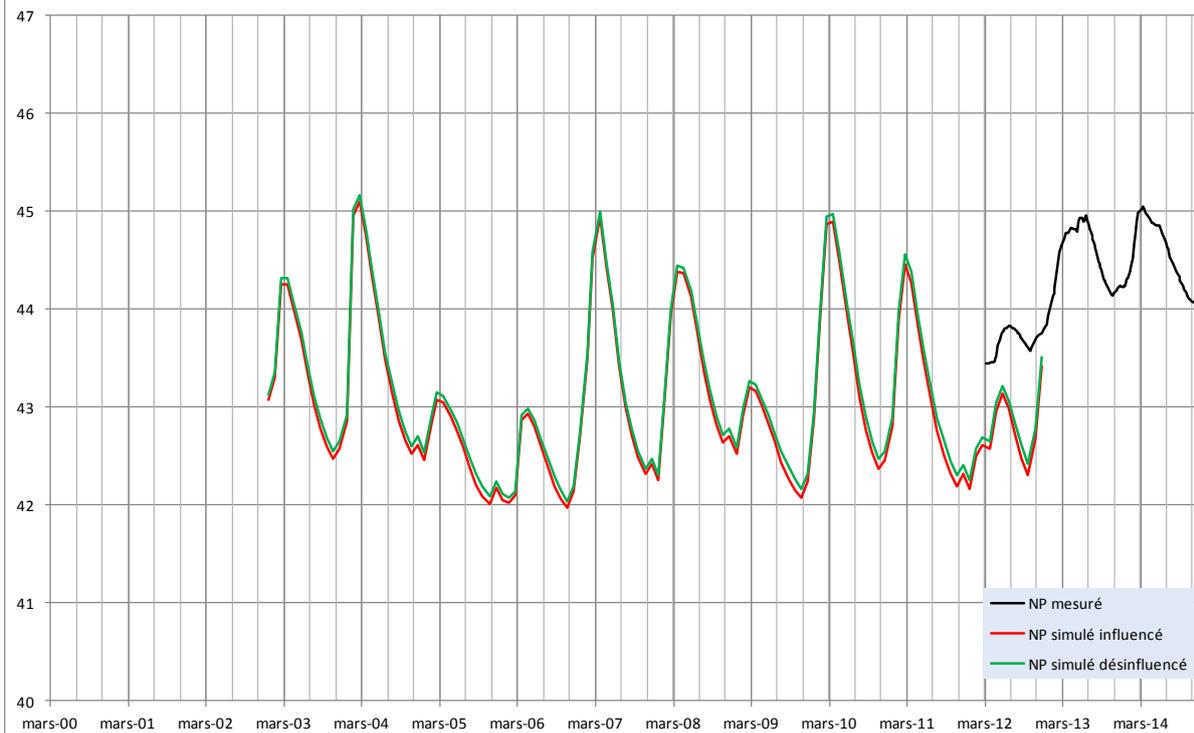
04854X0282 - Cénomaniens basal à Vivy



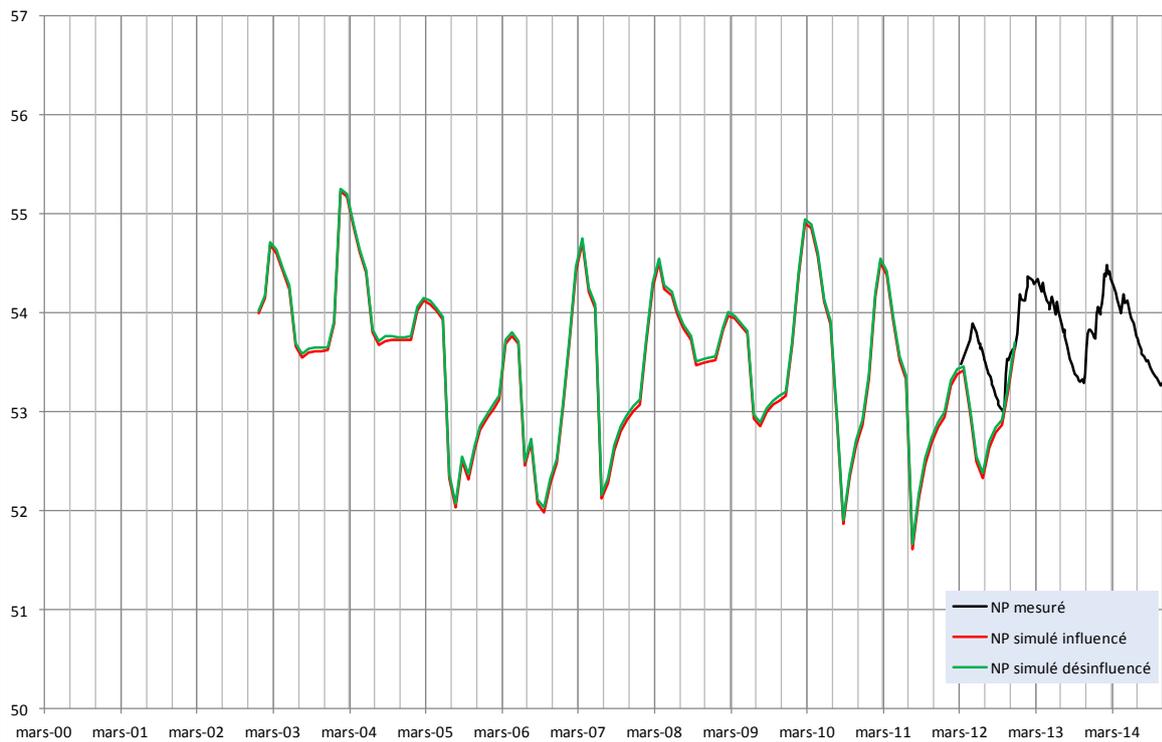
04565X0077- Cénomaniens à Ville au Fourrier Vernoil



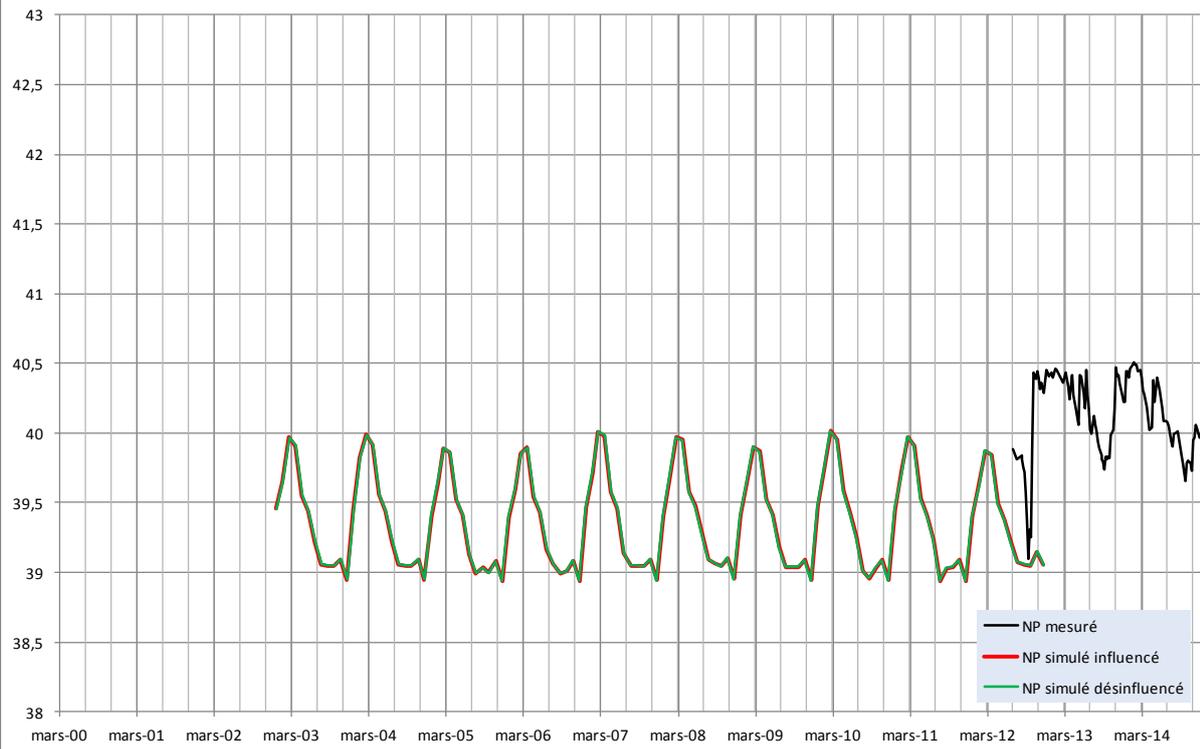
Brisolles - Cénomaniens basal à Vernantes



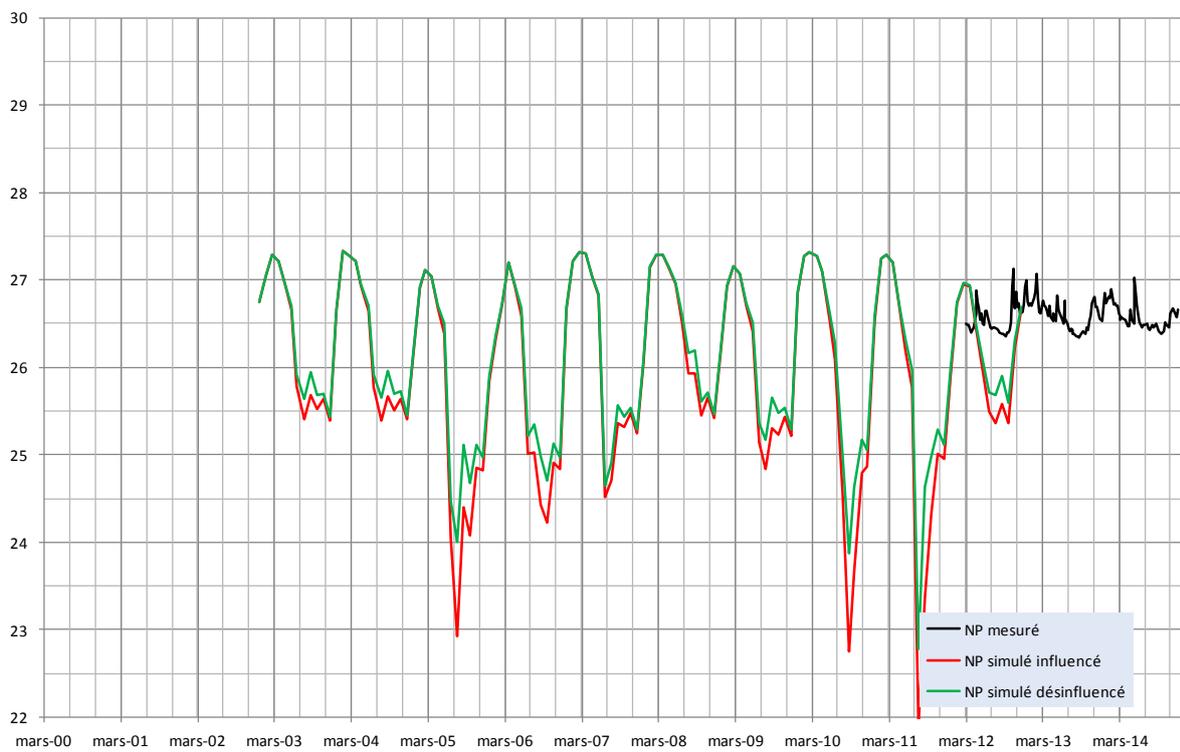
Les Tranchardières - Cénomaniens basal à Linières Bouton



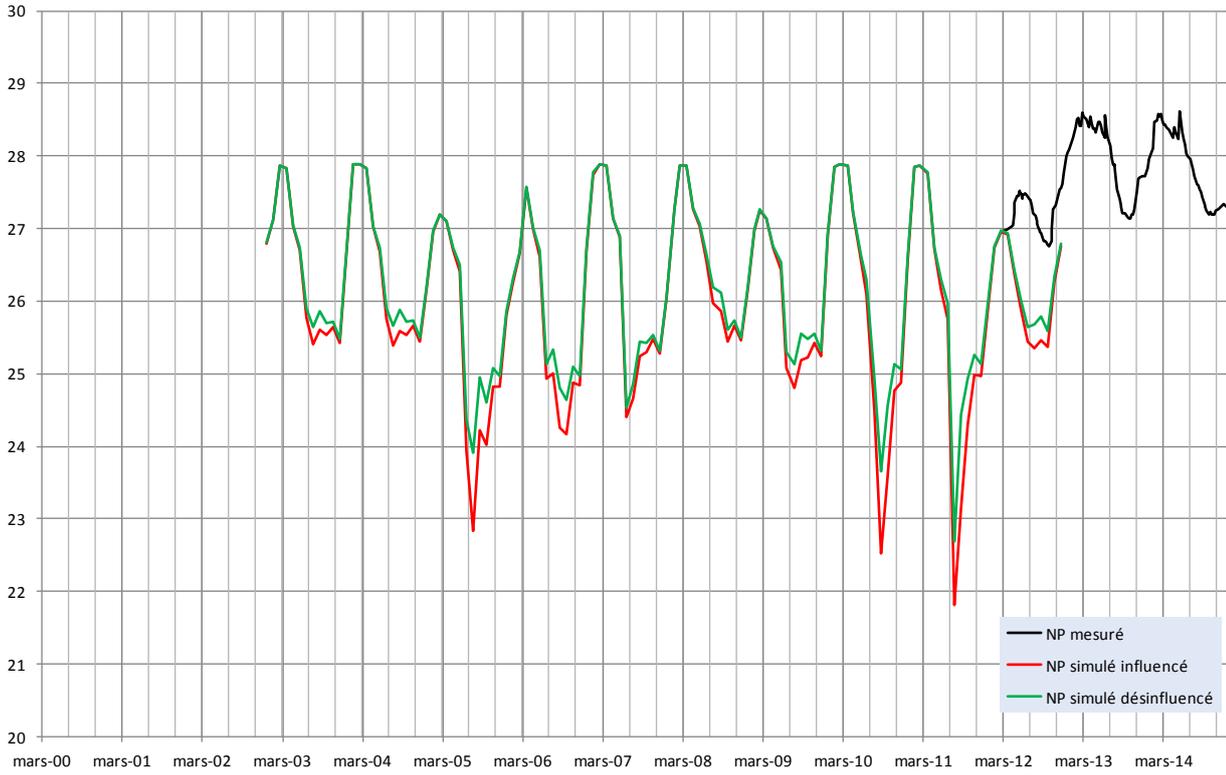
Plaisance (route) Cenomanien basal à Mouliherne



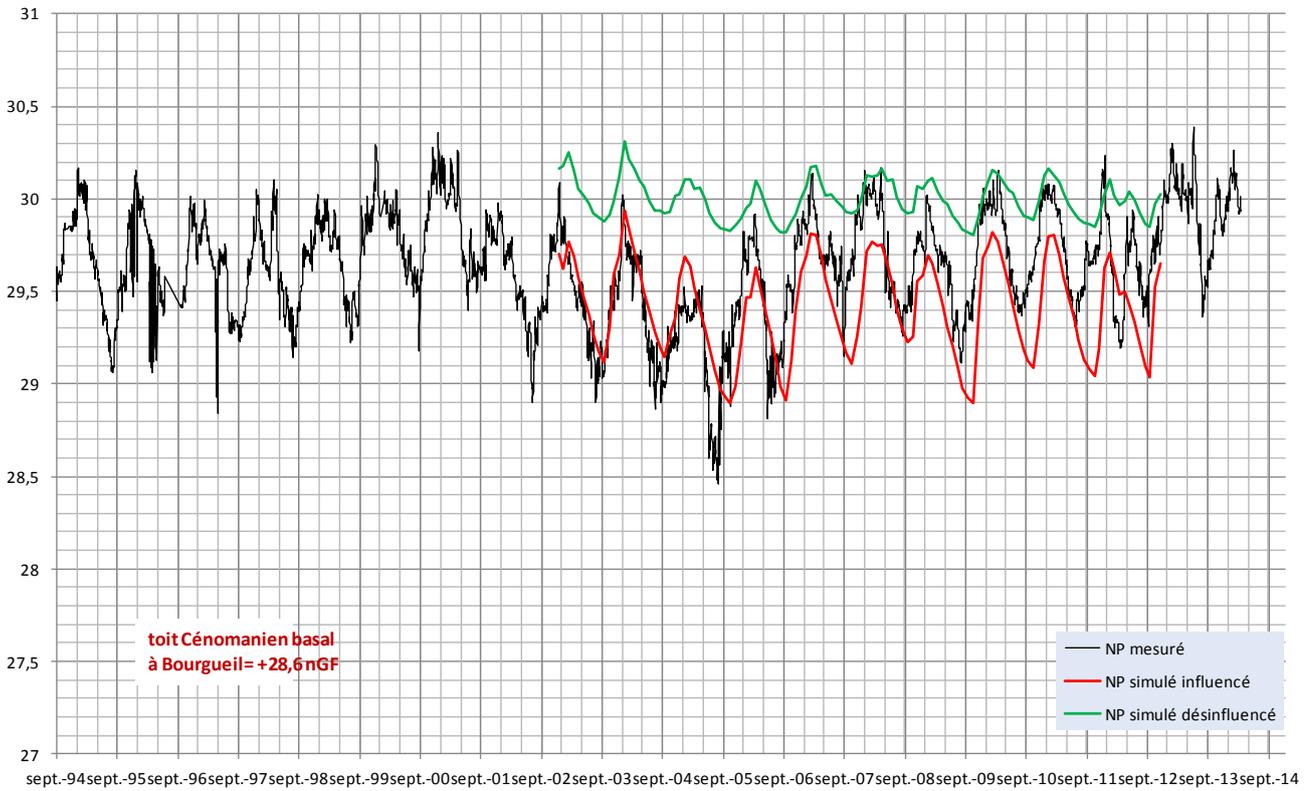
Etiau 1 cour - Cénomanién basal à Longué-Jumelles



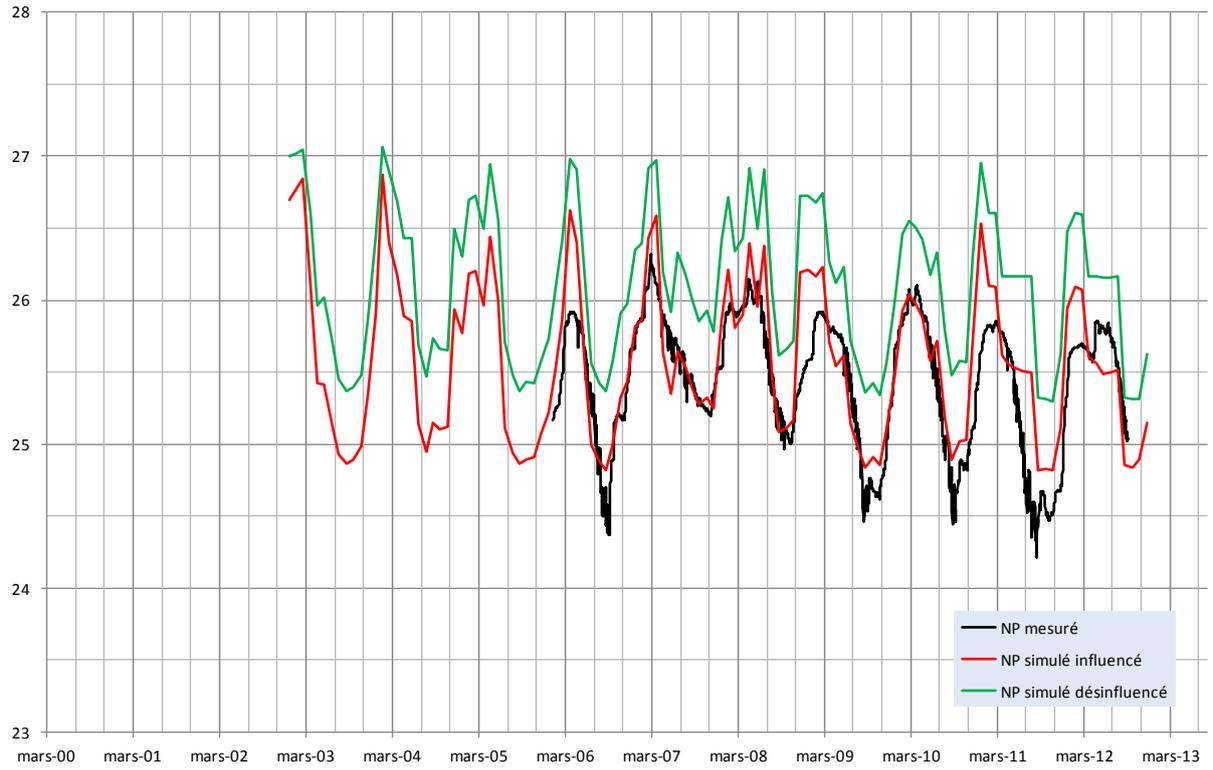
Bois le Mortier- Cénomaniens basal à Longué-jumelles



PZ ADES 04862X0003 - Cénomaniens basal à Bourgueil



04854X0257 - Alluvions de la Loire à Villebernier



*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion
Rapport final - A70443/E*

Annexe 10 : Bilan entrée/sortie entre aquifères en régime permanent

(1 page)

Flux (m ³ /h)	1 - Alluvions quaternaires supérieures	2 - Alluvions quaternaires inférieures	3 - Faluns miocènes	4 - Calcaires de l'Eocène supérieur	5 - Argiles sableuses de l'Eocène inférieur	6 - Sables sénoniens	7 - Tuffeaux sableux du Turonien supérieur	8 - Tuffeaux crayeux du Turonien inférieur	9 - Marnes du Cénomaniens supérieur	10 - Sables argileux du Cénomaniens moyen	11 - Sables du Cénomaniens inférieur	12 - Substratum du jurassique ou primaire
Débites Entrant /Charges Imposées	6 553	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Débites Sortant /Charges Imposées	157	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Débites Entrant dans les Mailles	3	0	0	0	0	2	21	13	2	50	1 777	0
Débites Sortant des Mailles	1	1	0	0	1	2	2	3	1	8	410	0
Echanges couches sup	0	2 249	0	52	604	1 136	1 735	1 779	2 048	879	96	1
Echanges couches inf	2 249	2 190	52	590	1 157	1 990	1 681	2 000	2 984	153	1	0
Recharge	2 548	139	432	906	1 762	1 374	499	877	2 234	973	1 709	441
Débordement	2 548	57	205	154	8	691	304	355	580	1 243	1 982	336
Infiltration Rivières	8 937	45	601	2 203	935	1 504	678	1 944	1 275	2 891	6 937	105

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion
Rapport final - A70443/E*

Annexe 11 : Bilan entrée/sortie en régime permanent par unités de gestion et par couches géologique

(21 pages)

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final - A70443/F

Bilan par couches géologiques de l'unité de gestion n°1 : Val d'Authion aval

Bilan des débits de la zone : 11 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Charges imposées	3,58E+03	-8,051E+01	3,50E+03
Débits /Limites de la zone	2,89E+03	-3,837E+03	-9,48E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	1,20E+03	0,000E+00	1,20E+03
Débits Résiduels dans mailles	1,114	-2,653E-02	1,088
Débits Débord/Suintem , Transit	-1,81E+02	0,000E+00	-1,81E+02
Débits Rivières -> Nappe	2,66E+01	-3,605E+03	-3,58E+03
Débits /Lim. Bas de la zone	2888,718	-3836,763	-948,046
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-1,088	-1,22E-11
Bilan des débits de la zone : 21 :			
Débits /Limites de la zone	6,70E+03	-6,757E+03	-5,95E+01
Débits Recharge , Évapora. napp	1,37E+02	0,000E+00	1,37E+02
Débits Résiduels dans mailles	9,11E-02	-0,1410	-4,99E-02
Débits Débord/Suintem , Transit	-5,54E+01	0,000E+00	-5,54E+01
Débits Rivières -> Nappe	1,17E+01	-3,371E+01	-2,21E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	3836,711	-2888,514	948,197
Débits /Lim. Bas de la zone	2860,803	-3868,575	-1007,772
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		4,99E-02	-3,90E-11
Bilan des débits de la zone : 61 :			
Débits /Limites de la zone	0,002195	-3,726	-3,723
Débits Infiltration,Évapo. napp	3,723	0	3,723
Débits Résiduels dans mailles	0,000009478	-0,000002508	0,000006969
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-3,726	-3,726
Bilan_Global , Bilan_Contrôle	-0,000006969	5,695E-14	
Bilan des débits de la zone : 71 :			
Débits /Limites de la zone	3,827	-5,689	-1,862
Débits Infiltration,Évapo. napp	1,862	0	1,862
Débits Résiduels dans mailles	0	-0,00002163	-0,00002163
Débits /Lim. Haut de la zone	3,726	0	3,726
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-5,689	-5,689
Bilan_Global , Bilan_Contrôle	0,00002163	-3,436E-13	
Bilan des débits de la zone : 81 :			
Débits /Limites de la zone	5,733	-82,78	-77,05
Débits Infiltration,Évapo. napp	57,71	0	57,71
Débits Résiduels dans mailles	0	-0,0001988	-0,0001988
Débits Rivières -> Nappe	19,33	0	19,33
Débits /Lim. Haut de la zone	5,689	0	5,689
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-82,756	-82,756
Bilan_Global , Bilan_Contrôle	0,0001988	1,512E-13	

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final - A70443/F

Bilan des débits de la zone : 91 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	1,87E+01	-1,018E+02	-8,31E+01
Débits Infiltration,Évapo. napp	1,12E+02	0,000E+00	1,12E+02
Débits Résiduels dans mailles	8,07E-03	-6,619E-04	7,41E-03
Débits Débord/Suintem , Transit	-8,09E+00	0,000E+00	-8,09E+00
Débits Rivières -> Nappe	0,00E+00	-2,121E+01	-2,12E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	11,885	-2,796	9,089
Débits /Lim. Bas de la zone	6,765	-98,979	-92,214
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-7,41E-03	-1,15E-13
Bilan des débits de la zone : 101 :			
Débits /Limites de la zone	2,20E+03	-1,852E+03	3,53E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	1,49E+02	0,000E+00	1,49E+02
Débits Résiduels dans mailles	6,21E-02	-0,2745	-0,2124
Débits Débord/Suintem , Transit	-9,74E+01	0,000E+00	-9,74E+01
Débits Rivières -> Nappe	3,63E+01	-4,405E+02	-4,04E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	156,256	-1528,403	-1372,148
Débits /Lim. Bas de la zone	1958,365	-293,906	1664,459
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		0,2124	9,43E-12
Bilan des débits de la zone : 111 :			
Débits /Limites de la zone	5,00E+03	-3,943E+03	1,05E+03
Débits Infiltration,Évapo. napp	2,23E+02	0,000E+00	2,23E+02
Débits Résiduels dans mailles	0,6253	-0,5548	7,05E-02
Débits Débord/Suintem , Transit	-1,87E+02	0,000E+00	-1,87E+02
Débits Rivières -> Nappe	2,79E+01	-1,118E+03	-1,09E+03
Débits /Lim. Haut de la zone	4092,481	-3293,747	798,734
Débits /Lim. Bas de la zone	0,4249	-0,1906	0,2343
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-7,05E-02	-4,61E-11
Bilan des débits de la zone : 121 :			
Débits /Limites de la zone	1,20E+00	-1,677E+00	-4,78E-01
Débits Infiltration,Évapo. napp	3,72E+02	0,000E+00	3,72E+02
Débits Résiduels dans mailles	2,42E-04	-2,431E-03	-2,19E-03
Débits Débord/Suintem , Transit	-3,02E+02	0,000E+00	-3,02E+02
Débits Rivières -> Nappe	0,00E+00	-7,014E+01	-7,01E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	1,081	-1,615	-0,5347
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		2,19E-03	7,59E-13

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final - A70443/F

Bilan par couches géologiques de l'unité de gestion n°2 : Val d'Authion moyen

Bilan des débits de la zone : 12 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Charges imposées	2,36E+03	0,000E+00	2,36E+03
Débits /Limites de la zone	6,25E+03	-2,893E+03	3,36E+03
Débits Infiltration,Évapo. napp	8,27E+02	0,000E+00	8,27E+02
Débits Résiduels dans mailles	1,443	-0,5390	0,9035
Débits Débord/Suintem , Transit	-1,87E+03	0,000E+00	-1,87E+03
Débits Rivières -> Nappe	6,51E+01	-4,740E+03	-4,68E+03
Débits /Lim. Bas de la zone	6249,443	-2892,720	3356,723
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-0,9035	-8,46E-12
Bilan des débits de la zone : 22 :			
Débits /Limites de la zone	9,10E+03	-9,102E+03	3,33E-01
Débits Résiduels dans mailles	5,69E-02	-0,3894	-0,3325
Débits /Lim. Haut de la zone	2892,72	-6249,443	-3356,723
Débits /Lim. Bas de la zone	6206,247	-2851,223	3355,024
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		0,3325	-1,75E-11
Bilan des débits de la zone : 82 :			
Débits /Limites de la zone	0,08393	-13,48	-13,39
Débits Infiltration,Évapo. napp	9,506	0	9,506
Débits Résiduels dans mailles	0,000000761	-0,000006299	-0,000005538
Débits Rivières -> Nappe	3,887	0	3,887
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-13,475	-13,475
Bilan_Global , Bilan_Contrôle	0,000005538	-8,39E-14	
Bilan des débits de la zone : 92 :			
Débits /Limites de la zone	1011	-1004	6,896
Débits Infiltration,Évapo. napp	152,4	0	152,4
Débits Résiduels dans mailles	0,00004062	-0,00004288	-0,000002264
Débits Débord/Suintem , Transit	-20,07	0	-20,07
Débits Rivières -> Nappe	9,453	-148,7	-139,3
Débits /Lim. Haut de la zone	126,145	-750,068	-623,923
Débits /Lim. Bas de la zone	884,831	-254,13	630,701
Bilan_Global , Bilan_Contrôle	0,000002264	-3,872E-13	
Bilan des débits de la zone : 102 :			
Débits /Limites de la zone	8,17E+02	-8,688E+02	-5,14E+01
Débits Recharge , Évapora. napp	5,09E+01	0,000E+00	5,09E+01
Débits Résiduels dans mailles	1,73E-03	-1,989E-03	-2,64E-04
Débits Rivières -> Nappe	5,57E-01	0,000E+00	5,57E-01
Débits /Lim. Haut de la zone	4,624	-736,158	-731,534
Débits /Lim. Bas de la zone	729,58	-121,264	608,316
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		2,64E-04	-3,42E-11

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final - A70443/F

Bilan des débits de la zone : 112 :			
Débits /Limites de la zone	7,23E+03	-6,665E+03	5,63E+02
Débits Recharge , Évapora. napp	8,23E+01	0,000E+00	8,23E+01
Débits Résiduels dans mailles	1,15	-0,6731	0,4766
Débits Débord/Suintem , Transit	-5,16E+02	0,000E+00	-5,16E+02
Débits Rivières -> Nappe	1,38E+02	-2,672E+02	-1,29E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	2967,863	-6199,669	-3231,806
Débits /Lim. Bas de la zone	6,87E-02	-2,451E-02	4,42E-02
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-0,4766	2,90E-11
Bilan des débits de la zone : 122 :			
Débits /Limites de la zone	7,32E-02	-7,315E-02	-2,00E-06
Débits Résiduels dans mailles	3,19E-05	-2,993E-05	2,00E-06
Débits /Lim. Haut de la zone	2,45E-02	-6,867E-02	-4,42E-02
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-2,00E-06	-4,28E-15

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final - A70443/F

Bilan par couches géologiques de l'unité de gestion n°3 : Le Lane amont

Bilan des débits de la zone : 13 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Charges imposées	6,08E+02	-7,655E+01	5,31E+02
Débits /Limites de la zone	7,96E+02	-9,382E+02	-1,42E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	5,01E+02	0,000E+00	5,01E+02
Débits Résiduels dans mailles	6,86E-03	-0,4398	-0,433
Débits Débord/Suintem , Transit	-4,97E+02	0,000E+00	-4,97E+02
Débits Rivières -> Nappe	5,36E+01	-4,459E+02	-3,92E+02
Débits /Lim. Bas de la zone	796,414	-938,220	-141,806
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		0,433	4,58E-12
Bilan des débits de la zone : 23 :			
Débits /Limites de la zone	1,72E+03	-1,724E+03	-5,47E-02
Débits Résiduels dans mailles	6,64E-02	-1,166E-02	5,47E-02
Débits /Lim. Haut de la zone	938,22	-796,414	141,806
Débits /Lim. Bas de la zone	784,894	-924,797	-139,903
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-5,47E-02	2,15E-11
Bilan des débits de la zone : 53 :			
Débits /Limites de la zone	1,36E-02	-1,719E+02	-1,72E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	1,68E+02	0,000E+00	1,68E+02
Débits Résiduels dans mailles	2,02E-02	-2,594E-03	1,77E-02
Débits Rivières -> Nappe	4,31E+00	0,000E+00	4,31E+00
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-171,830	-171,83
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-1,77E-02	2,63E-13
Bilan des débits de la zone : 63 :			
Débits /Limites de la zone	1,72E+02	-3,520E+02	-1,80E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	1,62E+02	0,000E+00	1,62E+02
Débits Résiduels dans mailles	0,3402	-0,3967	-5,65E-02
Débits Rivières -> Nappe	1,85E+01	0,000E+00	1,85E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	171,83	0,000	171,83
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-350,773	-350,773
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		5,65E-02	-1,37E-11
Bilan des débits de la zone : 73 :			
Débits /Limites de la zone	3,47E+02	-3,351E+02	1,14E+01
Débits Infiltration,Évapo. napp	1,97E+01	0,000E+00	1,97E+01
Débits Résiduels dans mailles	7,64E-02	-9,321E-02	-1,69E-02
Débits Rivières -> Nappe	4,90E-01	-3,162E+01	-3,11E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	345,058	-41,103	303,954
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-283,546	-283,546
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		1,69E-02	-5,93E-12

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final - A70443/F

Bilan des débits de la zone : 83 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	2,94E+02	-4,067E+02	-1,13E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	1,59E+02	0,000E+00	1,59E+02
Débits Résiduels dans mailles	0,3648	-0,3305	3,43E-02
Débits Débord/Suintem , Transit	-2,81E+01	0,000E+00	-2,81E+01
Débits Rivières -> Nappe	3,45E+00	-2,083E+01	-1,74E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	293,461	-7,655E-02	293,384
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-406,511	-406,511
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-3,43E-02	8,00E-13
Bilan des débits de la zone : 93 :			
Débits /Limites de la zone	4,13E+02	-5,125E+02	-9,94E+01
Débits Infiltration,Évapo. napp	1,18E+02	0,000E+00	1,18E+02
Débits Résiduels dans mailles	5,51E-02	-6,360E-02	-8,52E-03
Débits Débord/Suintem , Transit	-1,62E+01	0,000E+00	-1,62E+01
Débits Rivières -> Nappe	1,14E+01	-1,396E+01	-2,52E+00
Débits /Lim. Haut de la zone	410,937	-0,6356	410,302
Débits /Lim. Bas de la zone	2,109	-511,836	-509,727
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		8,52E-03	-5,10E-13
Bilan des débits de la zone : 103 :			
Débits /Limites de la zone	7,24E+02	-7,243E+02	-1,55E-03
Débits Résiduels dans mailles	3,88E-02	-3,725E-02	1,55E-03
Débits /Lim. Haut de la zone	513,448	-7,710	505,739
Débits /Lim. Bas de la zone	7,502	-704,503	-697,002
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-1,55E-03	4,03E-11
Bilan des débits de la zone : 113 :			
Débits /Limites de la zone	2,92E+03	-2,156E+03	7,66E+02
Débits Recharge , Évapora. napp	4,04E+01	0,000E+00	4,04E+01
Débits Résiduels dans mailles	0,742	-0,8361	-9,41E-02
Débits Rivières -> Nappe	3,60E+01	-8,424E+02	-8,06E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	1619,062	-744,979	874,082
Débits /Lim. Bas de la zone	4,68E-02	-7,476E-03	3,93E-02
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		9,41E-02	-3,35E-10
Bilan des débits de la zone : 123 :			
Débits /Limites de la zone	5,35E-02	-5,364E-02	-1,00E-04
Débits Résiduels dans mailles	1,88E-04	-8,832E-05	1,00E-04
Débits /Lim. Haut de la zone	7,48E-03	-4,675E-02	-3,93E-02
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-1,00E-04	-4,98E-16

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final - A70443/F

Bilan par couches géologiques de l'unité de gestion n°4 : Aunaies, étangs et affluents

Bilan des débits de la zone : 24 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	7,36E-03	-1,118E-01	-1,04E-01
Débits Infiltration,Évapo. napp	1,55E+00	0,000E+00	1,55E+00
Débits Résiduels dans mailles	-1,45E+00	0,000E+00	-1,45E+00
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-6,118E-03	-6,12E-03
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		4,44E-16	4,44E-16
Bilan des débits de la zone : 64 :			
Débits /Limites de la zone	0,03471	-137,8	-137,8
Débits Infiltration,Évapo. napp	131,1	0	131,1
Débits Résiduels dans mailles	0,00003575	-0,0002453	-0,0002095
Débits Rivières -> Nappe	6,683	0	6,683
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-137,826	-137,826
Bilan_Global , Bilan_Contrôle	0,0002095	1,173E-13	
Bilan des débits de la zone : 74 :			
Débits /Limites de la zone	2,78E-01	-1,065E+02	-1,06E+02
Débits Recharge , Évapora. napp	1,05E+02	0,000E+00	1,05E+02
Débits Résiduels dans mailles	0,4648	-1,852E-02	0,4463
Débits Rivières -> Nappe	1,06E+00	0,000E+00	1,06E+00
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-106,484	-106,484
Bilan Global :		-0,4463	-9,58E-14
Bilan des débits de la zone : 84 :			
Débits /Limites de la zone	1,15E+02	-2,431E+02	-1,28E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	1,51E+02	0,000E+00	1,51E+02
Débits Résiduels dans mailles	4,29E-02	-0,4639	-0,421
Débits Débord/Suintem , Transit	-1,58E+01	0,000E+00	-1,58E+01
Débits Rivières -> Nappe	6,97E-01	-7,563E+00	-6,87E+00
Débits /Lim. Haut de la zone	106,484	0,000	106,484
Débits /Lim. Bas de la zone	8,523	-243,061	-234,538
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		0,421	-1,85E-14
Bilan des débits de la zone : 94 :			
Débits /Limites de la zone	4,65E+02	-4,257E+02	3,93E+01
Débits Infiltration,Évapo. napp	3,34E+02	0,000E+00	3,34E+02
Débits Résiduels dans mailles	0,1133	-1,968E-02	9,36E-02
Débits Débord/Suintem , Transit	-2,30E+02	0,000E+00	-2,30E+02
Débits Rivières -> Nappe	1,50E+00	-1,449E+02	-1,43E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	243,061	-8,523	234,538
Débits /Lim. Bas de la zone	221,896	-417,139	-195,243
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-9,36E-02	1,30E-12

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final - A70443/F

Bilan des débits de la zone : 104 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	7,85E+02	-5,574E+02	2,28E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	6,80E+01	0,000E+00	6,80E+01
Débits Résiduels dans mailles	2,84E-02	-0,1379	-0,1095
Débits Débord/Suintem , Transit	-2,09E+02	0,000E+00	-2,09E+02
Débits Rivières -> Nappe	2,70E+00	-8,930E+01	-8,66E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	417,139	-221,896	195,243
Débits /Lim. Bas de la zone	305,565	-280,617	24,947
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		0,1095	-1,35E-10
Bilan des débits de la zone : 114 :			
Débits /Limites de la zone	3,57E+02	-3,777E+02	-2,03E+01
Débits Recharge , Évapora. napp	4,49E+00	0,000E+00	4,49E+00
Débits Résiduels dans mailles	6,15E-02	-2,961E-02	3,19E-02
Débits Rivières -> Nappe	1,58E+01	0,000E+00	1,58E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	280,617	-305,565	-24,947
Débits /Lim. Bas de la zone	0,1611	-0,2328	-7,18E-02
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-3,19E-02	-3,15E-10
Bilan des débits de la zone : 124 :			
Débits /Limites de la zone	2,93E-01	-2,387E-01	5,46E-02
Débits Recharge , Évapora. napp	7,48E+00	0,000E+00	7,48E+00
Débits Résiduels dans mailles	1,81E-04	-1,250E-04	5,55E-05
Débits Débord/Suintem , Transit	-1,50E+00	0,000E+00	-1,50E+00
Débits Rivières -> Nappe	0,00E+00	-6,031E+00	-6,03E+00
Débits /Lim. Haut de la zone	0,2389	-0,1611	7,79E-02
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-5,55E-05	3,77E-15

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final - A70443/F

Bilan par couches géologiques de l'unité de gestion n°5 : Le Couason et ses affluents

Bilan des débits de la zone 35			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	1,49E+02	-2,377E+02	-8,92E+01
Débits Recharge , Évapora. napp	1,41E+02	0,000E+00	1,41E+02
Débits Résiduels dans mailles	0,1823	-1,453E-02	0,1678
Débits Rivières -> Nappe	1,11E+02	-1,625E+02	-5,16E+01
Débits /Lim. Bas de la zone	148,508	-237,673	-89,165
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-0,1678	3,09E-13
Bilan des débits de la zone : 45 :			
Débits /Limites de la zone	3,83E+02	-9,480E+02	-5,65E+02
Débits Recharge , Évapora. napp	2,69E+02	0,000E+00	2,69E+02
Débits Résiduels dans mailles	2,94E-02	-0,1358	-0,1065
Débits Rivières -> Nappe	3,04E+02	-7,835E+00	2,96E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	237,673	-148,508	89,165
Débits /Lim. Bas de la zone	145,258	-798,096	-652,838
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		0,1065	-1,82E-11
Bilan des débits de la zone : 55 :			
Débits /Limites de la zone	1,08E+03	-1,289E+03	-2,11E+02
Débits Recharge , Évapora. napp	1,30E+02	0,000E+00	1,30E+02
Débits Résiduels dans mailles	6,71E-02	-7,615E-02	-9,01E-03
Débits Rivières -> Nappe	2,39E+02	-1,580E+02	8,08E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	783,778	-145,258	638,52
Débits /Lim. Bas de la zone	294,385	-1143,544	-849,159
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		9,012E-03	1,35E-10
Bilan des débits de la zone : 65 :			
Débits /Limites de la zone	1,83E+03	-1,714E+03	1,14E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	2,65E+02	0,000E+00	2,65E+02
Débits Résiduels dans mailles	0,1162	-8,627E-02	3,00E-02
Débits Rivières -> Nappe	1,24E+02	-5,041E+02	-3,80E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	1157,862	-294,385	863,477
Débits /Lim. Bas de la zone	654,81	-1399,447	-744,637
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-3,00E-02	-1,63E-10
Bilan des débits de la zone : 75 :			
Débits /Limites de la zone	2,89E+03	-2,671E+03	2,20E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	1,47E+02	0,000E+00	1,47E+02
Débits Résiduels dans mailles	1,725	-0,5286	1,197
Débits Débord/Suintem , Transit	-6,53E+00	0,000E+00	-6,53E+00
Débits Rivières -> Nappe	7,85E+01	-4,404E+02	-3,62E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	1396,648	-654,810	741,838
Débits /Lim. Bas de la zone	1087,593	-1677,781	-590,189
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-1,197	3,72E-10

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final - A70443/F

Bilan des débits de la zone : 85 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	2,10E+03	-2,111E+03	-8,65E+00
Débits Infiltration,Évapo. napp	2,89E+02	0,000E+00	2,89E+02
Débits Résiduels dans mailles	3,522	-1,740	1,782
Débits Débord/Suintem , Transit	-2,24E+02	0,000E+00	-2,24E+02
Débits Rivières -> Nappe	7,76E+02	-8,345E+02	-5,83E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	1677,475	-1087,593	589,883
Débits /Lim. Bas de la zone	144,747	-819,231	-674,484
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-1,782	7,55E-10
Bilan des débits de la zone : 95 :			
Débits /Limites de la zone	1,64E+03	-1,844E+03	-2,05E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	1,03E+03	0,000E+00	1,03E+03
Débits Résiduels dans mailles	0,7977	-0,1786	0,6191
Débits Débord/Suintem , Transit	-2,82E+02	0,000E+00	-2,82E+02
Débits Rivières -> Nappe	2,13E+02	-7,562E+02	-5,43E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	822,336	-144,747	677,589
Débits /Lim. Bas de la zone	816,996	-1699,382	-882,385
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-0,6191	7,77E-12
Bilan des débits de la zone : 105 :			
Débits /Limites de la zone	2,95E+03	-2,184E+03	7,67E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	2,26E+02	0,000E+00	2,26E+02
Débits Résiduels dans mailles	0,1436	-3,395	-3,251
Débits Débord/Suintem , Transit	-6,25E+02	0,000E+00	-6,25E+02
Débits Rivières -> Nappe	6,59E+02	-1,024E+03	-3,64E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	1699,317	-816,996	882,32
Débits /Lim. Bas de la zone	1160,885	-1229,367	-68,482
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		3,251	-2,50E-10
Bilan des débits de la zone : 115 :			
Débits /Limites de la zone	1,36E+03	-1,425E+03	-6,60E+01
Débits Recharge , Évapora. napp	3,59E+01	0,000E+00	3,59E+01
Débits Résiduels dans mailles	0,1822	-3,247E-02	0,1497
Débits Débord/Suintem , Transit	-2,03E+01	0,000E+00	-2,03E+01
Débits Rivières -> Nappe	6,41E+01	-1,384E+01	5,02E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	1229,367	-1160,885	68,482
Débits /Lim. Bas de la zone	1,06	-0,6843	0,3761
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-0,1497	3,05E-10
Bilan des débits de la zone : 125 :			
Débits /Limites de la zone	8,14E-01	-1,176E+00	-3,62E-01
Débits Recharge , Évapora. napp	1,95E+01	0,000E+00	1,95E+01
Débits Résiduels dans mailles	5,44E-04	-8,403E-04	-2,96E-04
Débits Débord/Suintem , Transit	-1,62E+01	0,000E+00	-1,62E+01
Débits Rivières -> Nappe	0,00E+00	-2,916E+00	-2,92E+00
Débits /Lim. Haut de la zone	0,7493	-1,060	-0,3111
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		2,96E-04	4,38E-14

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion*

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final - A70443/F

Bilan par couches géologiques de l'unité de gestion n°6 : Le Lathan aval et ses affluents

Bilan des débits de la zone : 16 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	1,17E-02	-1,741E+01	-1,74E+01
Débits Recharge , Évapora. napp	1,85E+01	0,000E+00	1,85E+01
Débits Résiduels dans mailles	2,83E-04	-5,690E-05	2,27E-04
Débits Débord/Suintem , Transit	-4,26E-02	0,000E+00	-4,26E-02
Débits Rivières -> Nappe	0,00E+00	-1,057E+00	-1,06E+00
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-17,386	-17,386
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-2,27E-04	-1,23E-12
Bilan des débits de la zone : 26 :			
Débits /Limites de la zone	1,75E+01	-1,745E+01	8,70E-04
Débits Résiduels dans mailles	6,06E-05	-9,309E-04	-8,70E-04
Débits /Lim. Haut de la zone	17,386	0,000	17,386
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-17,348	-17,348
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		8,70E-04	1,54E-11
Bilan des débits de la zone : 46 :			
Débits /Limites de la zone	15,25	-152,7	-137,4
Débits Infiltration,Évapo. napp	96,98	0	96,98
Débits Résiduels dans mailles	0	-0,0007807	-0,0007807
Débits Rivières -> Nappe	40,42	0	40,42
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-145,786	-145,786
Bilan_Global , Bilan_Contrôle	0,0007807	2,333E-13	
Bilan des débits de la zone : 56 :			
Débits /Limites de la zone	2,62E-02	-1,158E+02	-1,16E+02
Débits Recharge , Évapora. napp	8,08E+01	0,000E+00	8,08E+01
Débits Résiduels dans mailles	6,61E-03	-4,298E-02	-3,64E-02
Débits Rivières -> Nappe	3,51E+01	0,000E+00	3,51E+01
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-115,811	-115,811
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		3,64E-02	-4,34E-13
Bilan des débits de la zone : 66 :			
Débits /Limites de la zone	1,29E+02	-3,598E+02	-2,31E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	1,57E+02	0,000E+00	1,57E+02
Débits Résiduels dans mailles	9,27E-02	-6,514E-02	2,76E-02
Débits Rivières -> Nappe	7,38E+01	0,000E+00	7,38E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	115,811	0,000	115,811
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-353,385	-353,385
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-2,76E-02	-6,92E-11

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final - A70443/F

Bilan des débits de la zone : 76 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	7,11E+02	-7,391E+02	-2,85E+01
Débits Recharge , Évapora. napp	2,84E+01	0,000E+00	2,84E+01
Débits Résiduels dans mailles	0,1167	-7,179E-02	4,49E-02
Débits /Lim. Haut de la zone	263,756	0,000	263,756
Débits /Lim. Bas de la zone	101,451	-466,781	-365,33
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-4,49E-02	-1,27E-09
Bilan des débits de la zone : 86 :			
Débits /Limites de la zone	7,88E+02	-5,929E+02	1,96E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	6,58E+01	0,000E+00	6,58E+01
Débits Résiduels dans mailles	0,8902	-3,457E-02	0,8556
Débits Débord/Suintem , Transit	-4,16E-01	0,000E+00	-4,16E-01
Débits Rivières -> Nappe	7,39E-01	-2,625E+02	-2,62E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	466,781	-101,451	365,33
Débits /Lim. Bas de la zone	11,401	-306,443	-295,041
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-0,8556	-3,34E-09
Bilan des débits de la zone : 96 :			
Débits /Limites de la zone	3,34E+02	-5,731E+02	-2,39E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	3,28E+02	0,000E+00	3,28E+02
Débits Résiduels dans mailles	1,10E-02	-7,715E-02	-6,62E-02
Débits Débord/Suintem , Transit	-3,85E+01	0,000E+00	-3,85E+01
Débits Rivières -> Nappe	7,24E+00	-5,712E+01	-4,99E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	314,023	-11,401	302,621
Débits /Lim. Bas de la zone	19,647	-561,543	-541,896
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		6,62E-02	3,21E-12
Bilan des débits de la zone : 106 :			
Débits /Limites de la zone	1,08E+03	-9,819E+02	9,27E+01
Débits Infiltration,Évapo. napp	2,96E+02	0,000E+00	2,96E+02
Débits Résiduels dans mailles	3,68E-02	-0,8170	-0,7801
Débits Débord/Suintem , Transit	-1,81E+02	0,000E+00	-1,81E+02
Débits Rivières -> Nappe	6,46E+01	-2,723E+02	-2,08E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	650,969	-19,647	631,322
Débits /Lim. Bas de la zone	343,538	-803,988	-460,451
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		0,7801	-4,54E-11
Bilan des débits de la zone : 116 :			
Débits /Limites de la zone	1,97E+03	-1,752E+03	2,14E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	8,04E+02	0,000E+00	8,04E+02
Débits Résiduels dans mailles	50,387	-5,621	44,766
Débits Débord/Suintem , Transit	-1,11E+03	0,000E+00	-1,11E+03
Débits Rivières -> Nappe	1,17E+03	-1,115E+03	5,01E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	813,959	-343,538	470,421
Débits /Lim. Bas de la zone	1,232	-1,210	2,21E-02
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-44,766	-1,17E-09

Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

Rapport final - A70443/F

Bilan des débits de la zone : 126 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	1,35E+00	-1,370E+00	-2,39E-02
Débits Recharge , Évapora. napp	4,19E+01	0,000E+00	4,19E+01
Débits Résiduels dans mailles	4,39E-03	-1,841E-03	2,54E-03
Débits Débord/Suintem , Transit	-1,64E+01	0,000E+00	-1,64E+01
Débits Rivières -> Nappe	0,00E+00	-2,547E+01	-2,55E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	1,21	-1,232	-2,21E-02
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-2,54E-03	-2,19E-14

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final - A70443/F

Bilan par couches géologique de l'unité de gestion n°7 : Le Lathan moyen et ses affluents

Bilan des débits de la zone : 37 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	1,57E+01	-7,560E+01	-5,99E+01
Débits Recharge , Évapora. napp	7,47E+01	0,000E+00	7,47E+01
Débits Résiduels dans mailles	3,43E-03	-1,433E-03	2,00E-03
Débits Rivières -> Nappe	4,72E+00	-1,948E+01	-1,48E+01
Débits /Lim. Bas de la zone	15,67	-75,596	-59,925
Bilan Global :		-2,00E-03	1,98E-13
Bilan des débits de la zone : 47 :			
Débits /Limites de la zone	2,61E+02	-3,906E+02	-1,29E+02
Débits Recharge , Évapora. napp	2,96E+02	0,000E+00	2,96E+02
Débits Résiduels dans mailles	1,05E-02	-4,678E-02	-3,63E-02
Débits Débord/Suintem , Transit	-1,29E+00	0,000E+00	-1,29E+00
Débits Rivières -> Nappe	4,45E+01	-2,102E+02	-1,66E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	75,596	-15,670	59,925
Débits /Lim. Bas de la zone	172,951	-367,429	-194,479
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		3,63E-02	1,37E-12
Bilan des débits de la zone : 57 :			
Débits /Limites de la zone	6,93E+02	-1,049E+03	-3,56E+02
Débits Recharge , Évapora. napp	3,60E+02	0,000E+00	3,60E+02
Débits Résiduels dans mailles	7,49E-02	-0,2708	-0,1959
Débits Rivières -> Nappe	1,63E+02	-1,677E+02	-4,34E+00
Débits /Lim. Haut de la zone	367,429	-172,951	194,479
Débits /Lim. Bas de la zone	324,062	-875,208	-551,146
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		0,1959	6,69E-11
Bilan des débits de la zone : 67 :			
Débits /Limites de la zone	1,47E+03	-1,508E+03	-4,08E+01
Débits Infiltration,Évapo. napp	1,45E+02	0,000E+00	1,45E+02
Débits Résiduels dans mailles	0,5606	-0,2297	0,3309
Débits Débord/Suintem , Transit	-4,03E+02	0,000E+00	-4,03E+02
Débits Rivières -> Nappe	4,55E+02	-1,570E+02	2,98E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	862,913	-324,062	538,851
Débits /Lim. Bas de la zone	534,77	-1150,436	-615,666
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-0,3309	9,01E-11
Bilan des débits de la zone : 77 :			
Débits /Limites de la zone	1,64E+03	-1,744E+03	-1,03E+02
Débits Recharge , Évapora. napp	4,06E+01	0,000E+00	4,06E+01
Débits Résiduels dans mailles	0,2454	-7,476E-02	0,1706
Débits Rivières -> Nappe	6,25E+01	0,000E+00	6,25E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	1036,231	-534,770	501,461
Débits /Lim. Bas de la zone	559,903	-1022,805	-462,901
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-0,1706	5,39E-10

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final - A70443/F

Bilan des débits de la zone : 87 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	1,37E+03	-1,473E+03	-1,07E+02
Débits Recharge , Évapora. napp	1,02E+02	0,000E+00	1,02E+02
Débits Résiduels dans mailles	1,99	-5,681E-02	1,933
Débits Rivières -> Nappe	4,23E+00	-6,158E-01	3,62E+00
Débits /Lim. Haut de la zone	1088,198	-559,903	528,295
Débits /Lim. Bas de la zone	222,709	-658,182	-435,473
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-1,933	-9,66E-10
Bilan des débits de la zone : 97 :			
Débits /Limites de la zone	9,05E+02	-1,166E+03	-2,61E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	2,35E+02	0,000E+00	2,35E+02
Débits Résiduels dans mailles	1,159	-0,1386	1,021
Débits Débord/Suintem , Transit	-1,15E+00	0,000E+00	-1,15E+00
Débits Rivières -> Nappe	2,96E+01	-3,186E+00	2,64E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	683,155	-222,709	460,446
Débits /Lim. Bas de la zone	221,674	-943,213	-721,539
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-1,021	5,48E-12
Bilan des débits de la zone : 107 :			
Débits /Limites de la zone	1,37E+03	-1,503E+03	-1,36E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	1,44E+02	0,000E+00	1,44E+02
Débits Résiduels dans mailles	0,1544	-3,232	-3,078
Débits Débord/Suintem , Transit	-1,32E+02	0,000E+00	-1,32E+02
Débits Rivières -> Nappe	1,47E+02	-1,951E+01	1,27E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	948,518	-221,674	726,844
Débits /Lim. Bas de la zone	226,393	-1184,813	-958,42
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		3,078	-7,90E-10
Bilan des débits de la zone : 117 :			
Débits /Limites de la zone	1,53E+03	-1,321E+03	2,08E+02
Débits Recharge , Évapora. napp	4,46E+02	0,000E+00	4,46E+02
Débits Résiduels dans mailles	0,6142	-0,4653	0,1489
Débits Débord/Suintem , Transit	-1,46E+02	0,000E+00	-1,46E+02
Débits Rivières -> Nappe	1,00E+02	-6,091E+02	-5,09E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	1215,641	-226,393	989,248
Débits /Lim. Bas de la zone	1,108	-1,067	4,05E-02
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-0,1489	-2,08E-09
Bilan des débits de la zone : 127 :			
Débits /Limites de la zone	1,23E+00	-1,225E+00	1,68E-04
Débits Résiduels dans mailles	4,71E-04	-6,394E-04	-1,68E-04
Débits /Lim. Haut de la zone	1,067	-1,108	-4,05E-02
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		1,68E-04	2,49E-16

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final - A70443/F

Bilan par couches géologiques de l'unité de gestion n°8 : Le Lathan et ses affluents en amont de Rillé

Bilan des débits de la zone : 38 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	4,24E+02	-2,000E+02	2,23E+02
Débits Recharge , Évapora. napp	1,95E+02	0,000E+00	1,95E+02
Débits Résiduels dans mailles	0,1109	-1,081E-02	0,1001
Débits Débord/Suintem , Transit	-2,05E+02	0,000E+00	-2,05E+02
Débits Rivières -> Nappe	4,49E+01	-2,581E+02	-2,13E+02
Débits /Lim. Bas de la zone	423,461	-200,032	223,43
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-0,1001	-4,64E-11
Bilan des débits de la zone : 48 :			
Débits /Limites de la zone	2,14E+03	-7,433E+02	1,40E+03
Débits Recharge , Évapora. napp	1,87E+02	0,000E+00	1,87E+02
Débits Résiduels dans mailles	0,1289	-0,1672	-3,84E-02
Débits Débord/Suintem , Transit	-1,52E+02	0,000E+00	-1,52E+02
Débits Rivières -> Nappe	9,63E+01	-1,528E+03	-1,43E+03
Débits /Lim. Haut de la zone	200,032	-423,461	-223,43
Débits /Lim. Bas de la zone	1923,26	-301,620	1621,64
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		3,84E-02	1,11E-10
Bilan des débits de la zone : 58 :			
Débits /Limites de la zone	2,34E+03	-2,399E+03	-5,67E+01
Débits Recharge , Évapora. napp	1,90E+02	0,000E+00	1,90E+02
Débits Résiduels dans mailles	7,02E-02	-6,850E-02	1,67E-03
Débits Débord/Suintem , Transit	-7,87E+00	0,000E+00	-7,87E+00
Débits Rivières -> Nappe	1,11E+01	-1,368E+02	-1,26E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	301,62	-1923,260	-1621,64
Débits /Lim. Bas de la zone	2040,078	-474,625	1565,453
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-1,67E-03	-1,10E-10
Bilan des débits de la zone : 68 :			
Débits /Limites de la zone	2,43E+03	-2,431E+03	-2,73E-02
Débits Résiduels dans mailles	7,08E-02	-4,356E-02	2,73E-02
Débits /Lim. Haut de la zone	474,625	-2040,078	-1565,453
Débits /Lim. Bas de la zone	1927,834	-338,074	1589,76
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-2,73E-02	3,58E-10
Bilan des débits de la zone : 78 :			
Débits /Limites de la zone	2,17E+03	-2,183E+03	-1,57E+01
Débits Imposés (fixés)	15,84	0,000	15,84
Débits Résiduels dans mailles	6,85E-02	-0,2331	-0,1646
Débits /Lim. Haut de la zone	338,074	-1927,834	-1589,76
Débits /Lim. Bas de la zone	1727,51	-123,697	1603,812
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		0,1646	-4,28E-09

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final - A70443/F

Bilan des débits de la zone : 88 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	1,83E+03	-1,830E+03	-1,02E+00
Débits Imposés (fixés)	1,056	0,000	1,056
Débits Résiduels dans mailles	0,1684	-0,2086	-4,02E-02
Débits /Lim. Haut de la zone	123,697	-1727,510	-1603,812
Débits /Lim. Bas de la zone	1679,609	-69,445	1610,164
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		4,02E-02	2,55E-09
Bilan des débits de la zone : 98 :			
Débits /Limites de la zone	1,75E+03	-1,749E+03	7,00E-02
Débits Résiduels dans mailles	5,46E-03	-7,541E-02	-7,00E-02
Débits /Lim. Haut de la zone	69,445	-1679,609	-1610,164
Débits /Lim. Bas de la zone	1679,691	-69,402	1610,289
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		7,00E-02	-7,19E-14
Bilan des débits de la zone : 108 :			
Débits /Limites de la zone	1,81E+03	-1,857E+03	-4,96E+01
Débits Imposés (fixés)	49,28	0,000	49,28
Débits Résiduels dans mailles	0,3163	-2,794E-02	0,2884
Débits /Lim. Haut de la zone	69,402	-1679,691	-1610,289
Débits /Lim. Bas de la zone	1705,135	-16,703	1688,432
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-0,2884	-4,14E-10
Bilan des débits de la zone : 118 :			
Débits /Limites de la zone	3,57E+01	-1,796E+03	-1,76E+03
Débits Imposés (fixés)	1760	0,000	1760
Débits Résiduels dans mailles	5,27E-03	-7,045E-02	-6,52E-02
Débits /Lim. Haut de la zone	16,703	-1705,135	-1688,432
Débits /Lim. Bas de la zone	0,1477	-0,1810	-3,33E-02
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		6,52E-02	5,28E-11
Bilan des débits de la zone : 128 :			
Débits /Limites de la zone	1,90E-01	-1,895E-01	1,98E-05
Débits Résiduels dans mailles	7,68E-05	-9,654E-05	-1,98E-05
Débits /Lim. Haut de la zone	0,181	-0,1477	3,33E-02
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		1,98E-05	3,96E-14

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final - A70443/F

Bilan par couches géologiques de l'unité de gestion n°9 : Bassin des Trois Rus

Bilan des débits de la zone : 59 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	5,76E-02	-2,363E+02	-2,36E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	2,35E+02	0,000E+00	2,35E+02
Débits Résiduels dans mailles	1,77E-02	-4,495E-03	1,32E-02
Débits Rivières -> Nappe	1,36E+00	0,000E+00	1,36E+00
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-236,251	-236,251
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-1,32E-02	8,07E-13
Bilan des débits de la zone : 69 :			
Débits /Limites de la zone	2,38E+02	-5,377E+02	-3,00E+02
Débits Infiltration,Évapo. napp	2,50E+02	0,000E+00	2,50E+02
Débits Résiduels dans mailles	0,5718	-0,5664	5,39E-03
Débits Rivières -> Nappe	5,08E+01	-6,862E-01	5,02E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	236,251	0,000	236,251
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-536,722	-536,722
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-5,39E-03	1,93E-12
Bilan des débits de la zone : 79 :			
Débits /Limites de la zone	5,34E+02	-6,270E+02	-9,33E+01
Débits Infiltration,Évapo. napp	6,73E+01	0,000E+00	6,73E+01
Débits Résiduels dans mailles	2,316	-0,1070	2,209
Débits Rivières -> Nappe	2,38E+01	0,000E+00	2,38E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	533,579	0,000	533,579
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-626,969	-626,969
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-2,209	2,09E-13
Bilan des débits de la zone : 89 :			
Débits /Limites de la zone	6,30E+02	-7,126E+02	-8,23E+01
Débits Infiltration,Évapo. napp	6,28E+01	0,000E+00	6,28E+01
Débits Résiduels dans mailles	4,483	-0,3589	4,124
Débits Rivières -> Nappe	1,57E+01	-3,312E-01	1,54E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	630,112	0,000	630,112
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-712,505	-712,505
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-4,124	-4,62E-14
Bilan des débits de la zone : 99 :			
Débits /Limites de la zone	7,13E+02	-8,002E+02	-8,77E+01
Débits Recharge , Évapora. napp	7,78E+01	0,000E+00	7,78E+01
Débits Résiduels dans mailles	8,73E-02	-0,1724	-8,52E-02
Débits Débord/Suintem , Transit	-3,28E+00	0,000E+00	-3,28E+00
Débits Rivières -> Nappe	1,43E+01	-9,958E-01	1,33E+01
Débits /Lim. Haut de la zone	712,505	0,000	712,505
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-800,197	-800,197
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		8,52E-02	-1,08E-12

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final - A70443/F

Bilan des débits de la zone : 109 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	9,83E+02	-1,154E+03	-1,70E+02
Débits Recharge , Évapora. napp	3,89E+01	0,000E+00	3,89E+01
Débits Résiduels dans mailles	0,1685	-6,661E-02	0,1019
Débits Rivières -> Nappe	1,34E+02	-2,236E+00	1,31E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	800,197	0,000	800,197
Débits /Lim. Bas de la zone	50,64	-1090,443	-1039,803
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-0,1019	-2,04E-10
Bilan des débits de la zone : 119 :			
Débits /Limites de la zone	2,85E+03	-3,901E+03	-1,05E+03
Débits Recharge , Évapora. napp	7,33E+01	0,000E+00	7,33E+01
Débits Résiduels dans mailles	4,417	-0,3012	4,116
Débits Rivières -> Nappe	9,79E+02	-3,194E+00	9,75E+02
Débits /Lim. Haut de la zone	1090,443	-50,640	1039,803
Débits /Lim. Bas de la zone	8,63E-02	-4,888E-02	3,75E-02
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-4,116	-2,95E-09
Bilan des débits de la zone : 129 :			
Débits /Limites de la zone	1,31E-01	-1,308E-01	8,75E-05
Débits Résiduels dans mailles	1,17E-04	-2,044E-04	-8,75E-05
Débits /Lim. Haut de la zone	4,89E-02	-8,633E-02	-3,75E-02
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		8,75E-05	-1,06E-14

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final - A70443/F

Bilan par couches géologiques de l'unité de gestion n°10 : Le Changeon et ses affluents

Bilan des débits de la zone : 310 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	0,0335	-34,1	-34,06
Débits Infiltration,Évapo. napp	28,91	0	28,91
Débits Résiduels dans mailles	0,00005907	-0,0007344	-0,0006753
Débits Rivières -> Nappe	5,152	0	5,152
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-34,096	-34,096
Bilan_Global , Bilan_Contrôle	0,0006753	-1,647E-10	
Bilan des débits de la zone : 410 :			
Débits /Limites de la zone	84,52	-667	-582,5
Débits Infiltration,Évapo. napp	341,9	0	341,9
Débits Résiduels dans mailles	0,001712	-0,06263	-0,06092
Débits Rivières -> Nappe	240,6	0	240,6
Débits /Lim. Haut de la zone	34,096	0	34,096
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-660,231	-660,231
Bilan_Global , Bilan_Contrôle	0,06092	3,409E-10	
Bilan des débits de la zone : 510 :			
Débits /Limites de la zone	660,5	-1958	-1297
Débits Infiltration,Évapo. napp	949,1	0	949,1
Débits Résiduels dans mailles	0,03667	-0,0152	0,02148
Débits Rivières -> Nappe	347,9	0	347,9
Débits /Lim. Haut de la zone	660,231	0	660,231
Débits /Lim. Bas de la zone	0	-1957,468	-1957,468
Bilan_Global , Bilan_Contrôle	-0,02148	1,361E-11	
Bilan des débits de la zone : 610 :			
Débits /Limites de la zone	2527	-3491	-963,9
Débits Infiltration,Évapo. napp	397,4	0	397,4
Débits Résiduels dans mailles	0,07944	-0,007462	7,197E-02
Débits Débord/Suintem , Transit	-544,9	0	-544,9
Débits Rivières -> Nappe	1147	-35,94	1111
Débits /Lim. Haut de la zone	1957,468	0	1957,468
Débits /Lim. Bas de la zone	552,444	-3481,69	-2929,247
Bilan_Global , Bilan_Contrôle	-0,07197	8,112E-10	
Bilan des débits de la zone : 710 :			
Débits /Limites de la zone	5048	-3766	1282
Débits Infiltration,Évapo. napp	28,82	0	28,82
Débits Résiduels dans mailles	0,0653	-0,02582	0,03948
Débits Débord/Suintem , Transit	-1529	0	-1529
Débits Rivières -> Nappe	217,9	0	217,9
Débits /Lim. Haut de la zone	3481,69	-552,444	2929,247
Débits /Lim. Bas de la zone	1218,323	-3029,748	-1811,424
Bilan_Global , Bilan_Contrôle	-0,03948	4,518E-10	

*Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion
et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion
Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion*

Rapport final - A70443/F

Bilan des débits de la zone : 810 :			
	Bilan entrant+sortant	Flux sortant (m3/h)	Flux entrant (m3/h)
Débits /Limites de la zone	4483	-4164	319,2
Débits Infiltration,Évapo. napp	20,59	0	20,59
Débits Résiduels dans mailles	0,01373	-0,03056	-0,01683
Débits Débord/Suintem , Transit	-342,6	0	-342,6
Débits Rivières -> Nappe	32,78	-29,94	2,837
Débits /Lim. Haut de la zone	3029,748	-1218,323	1811,424
Débits /Lim. Bas de la zone	1437,412	-2916,909	-1479,497
Bilan_Global , Bilan_Contrôle	0,01683	2,248E-09	
Bilan des débits de la zone : 910 :			
Débits /Limites de la zone	4353	-4353	0,003735
Débits Résiduels dans mailles	0,0008346	-0,00457	-0,003735
Débits /Lim. Haut de la zone	2916,909	-1437,412	1479,497
Débits /Lim. Bas de la zone	1436,026	-2915,389	-1479,363
Bilan_Global , Bilan_Contrôle	0,003735	-3,458E-12	
Bilan des débits de la zone : 100 :			
Débits /Limites de la zone	1,11E+03	-1,106E+03	1,71E-01
Débits Résiduels dans mailles	9,13E-02	-0,2621	-0,1708
Débits /Lim. Haut de la zone	943,585	-92,147	851,438
Débits /Lim. Bas de la zone	30,153	-638,949	-608,796
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		0,1708	-1,17E-09
Bilan des débits de la zone : 110 :			
Débits /Limites de la zone	8,25E+02	-8,250E+02	-2,73E-01
Débits Résiduels dans mailles	0,3978	-0,1244	0,2734
Débits /Lim. Haut de la zone	638,949	-30,153	608,796
Débits /Lim. Bas de la zone	0,1204	-0,2298	-0,1094
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-0,2734	2,89E-10
Bilan des débits de la zone : 210 :			
Débits /Limites de la zone	2,79E-01	-2,786E-01	-7,06E-05
Débits Résiduels dans mailles	2,44E-04	-1,730E-04	7,06E-05
Débits /Lim. Haut de la zone	0,2298	-0,1204	0,1094
Bilan_Global , Bilan_Contrôle		-7,06E-05	-1,20E-14

Rapport

Titre :	Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion – Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion – Rapport final
Numéro et indice de version :	A70443/F
Date d'envoi : 15 juin 2015	Nombre d'annexes dans le texte : 11
Nombre de pages : 117	Nombre d'annexes en volume séparé : 1
Diffusion (nombre et destinataires) :	4 ex. client (dont 1 reproductible) + 1 pdf 1 ex. auteur

Client

Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion

2, place de la République – B.P. 44
49230 BEAUFORT EN VALLEE

Téléphone : 02.41.79.77.03
Télécopie : 02.41.79.77.04

Nom et fonction des interlocuteurs : Mme Marie-Pierre MARTIN, Présidente de la CLE
M. David MOREL, Animateur du SAGE Authion

Antea Group

Unité réalisatrice : Agence Ouest – Sud-Ouest implantation de
Nantes

Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :

Interlocuteur commercial et responsable de projet : François-Xavier MOINET

Auteurs : Jérémie DOUSSIN, Charlotte GUY, François-Xavier MOINET

Secrétariat : Martine BERTERAUT

Qualité

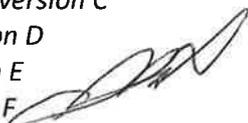
Contrôlé par : *François-Xavier MOINET*

Date : *Septembre 2014 - version C*

Janvier 2015 version D

Mai 2015 version E

Juin 2015 version F



N° du projet : *PDLP120016*

Références et date de la commande : *MPM/CM/MNB 45-2012 du 30 avril 2012*

Mots clés : évaluation, bassin-versant, modélisation.