

Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion

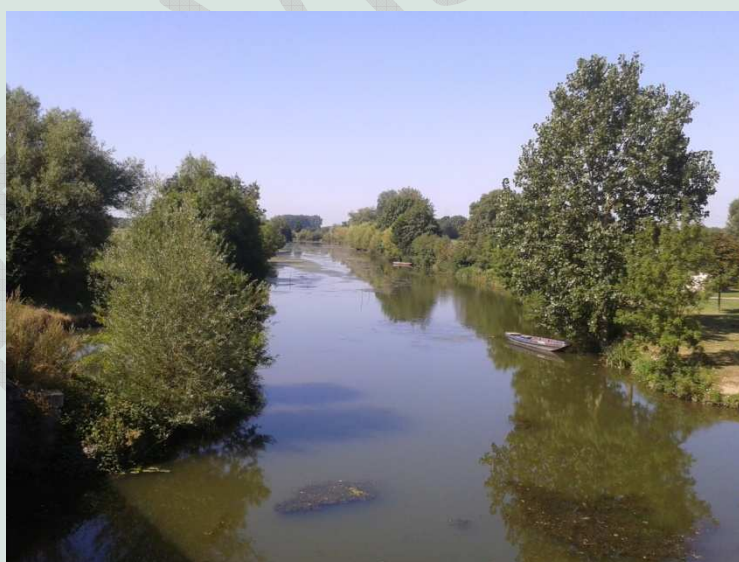
Phase 2 : Analyse des données et définition des unités de gestion

*Mars 2013
A70443/A*



**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

DOCUMENT DE TRAVAIL



AGENCE OUEST – SUD-OUEST – Implantation de Nantes
Métier EAU
8 boulevard Einstein CS32318
44323 NANTES Cedex 3
Tél. : 02.28.01.32.32
Fax : 02.28.01.30.93.

Avertissement

Ce rapport est un document de travail portant sur la phase 2 de l'étude des volumes prélevables sur le territoire du SAGE Authion. Son objectif est permettre aux membres du comité technique de suivi de cette étude d'acquérir dans un premier temps le niveau d'information et de compréhension technique nécessaire afin de pouvoir appréhender dans un deuxième temps les interprétations et conclusions qui seront présentés dans le rapport de phase 1 et 2 complet.

Ce document ne livre pas de résultats définitifs : les premières évaluations seront exposées et débattues en réunions (bureau de CLE, CLE et comité technique) puis les avis et remarques pendant et après ces réunions seront intégrées. Les chiffres présentés dans ce rapport sont donc susceptibles d'évoluer.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

Sommaire

1. Objectifs de la phase 2	9
2. Caractérisation des ressources en eaux superficielles	10
2.1. Présentation du réseau hydrographique	10
2.1.1. <i>Caractéristiques du réseau hydrographique de l'Authion</i>	10
2.1.2. <i>Historiques des aménagements et gestion des ouvrages</i>	11
2.1.3. <i>Prises d'eau dans la Loire</i>	13
2.1.4. <i>Niveaux d'eau de la Loire</i>	13
2.2. Caractérisation des écoulements.....	15
2.2.1. <i>Fonctionnement général du bassin-versant</i>	15
2.2.2. <i>Présentation du réseau de suivi hydrométrique</i>	18
2.2.3. <i>Analyse des pluies et des débits observés</i>	19
2.3. Caractérisation du réseau hydrographique	20
2.3.1. <i>Connaissance du réseau hydrographique</i>	20
2.3.2. <i>Détermination des débits spécifiques</i>	22
2.3.3. <i>Détermination des cotes de la lame d'eau</i>	23
2.3.4. <i>Difficultés rencontrées pour la caractérisation du réseau hydrographique</i>	24
2.4. Reconstitution des débits naturels	25
2.4.1. <i>Principe de base</i>	25
2.4.2. <i>Objectifs et présentation du code de calcul GARDENIA</i>	25
2.4.3. <i>Calage des modèles hydrologiques</i>	27
2.4.4. <i>Définition des débits de référence naturels reconstitués</i>	35
2.5. Définition des Débits Minimum Biologiques	36
2.5.1. <i>Cadre réglementaire</i>	37
2.5.2. <i>Etude menée sur le Lathan et le Changeon</i>	37
2.5.3. <i>Etude menée sur le Couason</i>	41
3. Caractérisation des ressources en eaux souterraines	45
3.1. Identification et caractérisation des masses d'eau souterraines	45
3.1.1. <i>Quelques notions fondamentales en hydrogéologie</i>	45
3.1.2. <i>Rappel du contexte géologique</i>	45
3.1.3. <i>Formations aquifères</i>	46
3.1.4. <i>Piézométries de référence</i>	50
3.2. Elaboration du modèle de gestion quantitative des ressources en eaux souterraines.....	51
3.2.1. <i>Objectifs du modèle nappe-cours d'eau</i>	51
3.2.2. <i>Présentation du logiciel de modélisation MARTHE</i>	51
3.2.3. <i>Construction et géométrie du modèle</i>	52
3.2.4. <i>Intégration des couches géologiques dans le modèle</i>	53
3.2.5. <i>Intégration du réseau hydrographique dans le modèle</i>	58
3.2.6. <i>Calage du modèle à l'état initial</i>	60

*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 –
Document de travail - Phase 2*

4. Analyse de la dynamique de fonctionnement des hydrosystèmes.....	63
4.1. Echanges entre nappes	63
4.2. Echanges nappe-rivière.....	66
4.3. Synthèse du fonctionnement à l'échelle du SAGE Authion	67
4.3.1. <i>Fonctionnement hydrologique et hydrogéologique.....</i>	<i>67</i>
4.3.2. <i>Bilans entrée/sortie.....</i>	<i>67</i>
4.4. Estimation des réserves renouvelables et leur variabilité saisonnière	67
5. Quantification des usages de l'eau et leur impact sur les ressources.....	68
5.1. Bilan des prélèvements.....	68
5.1.1. <i>Prélèvements AEP</i>	<i>68</i>
5.1.2. <i>Prélèvements industriels</i>	<i>69</i>
5.1.3. <i>Prélèvements pour l'usage agricole.....</i>	<i>69</i>
5.1.4. <i>Bilan de consommation des usages préleveurs</i>	<i>73</i>
5.1.5. <i>Compensations et soutiens d'étiage</i>	<i>73</i>
5.2. Bilan des volumes restitués et des transferts d'eau	75
5.3. Analyse des impacts des prélèvements	75
6. Définition provisoire des unités de gestion.....	76
6.1. Découpage par masses d'eaux superficielles.....	76
6.1.1. <i>Par la gestion actuelle des arrêtés cadre sécheresse.....</i>	<i>76</i>
6.1.2. <i>Par l'Etat des lieux du SAGE et points nodaux du SDAGE</i>	<i>76</i>
6.1.3. <i>Par la définition de sous-bassins unitaires pour le modèle de cette étude</i>	<i>77</i>
6.2. Découpage par masses d'eaux souterraines	77
6.2.1. <i>Par les bassins versants souterrains par aquifère.....</i>	<i>77</i>
6.2.2. <i>Par les bassins versants souterrains de nappes libres affleurantes ou nappes captives.....</i>	<i>78</i>
6.3. Découpage par les usages et la gestion de l'eau	78
6.3.1. <i>Par secteurs ré-alimentés ou non-alimentés</i>	<i>78</i>
6.3.2. <i>Par répartition des niveaux de prélèvements</i>	<i>79</i>
6.3.3. <i>Par impact des prélèvements.....</i>	<i>80</i>
6.3.4. <i>Synthèse des découpages par masses d'eau et usages</i>	<i>80</i>
6.4. Proposition provisoire d'unités de gestion cohérentes.....	82

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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)

Annexes séparées :

Atlas cartographique

Guide de lecture :



Prêter attention



Renvoi vers un fichier Excel



Renvoi vers une carte



Renvoi vers une table

*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 –
Document de travail - Phase 2*

Table des illustrations

Liste des figures :

Figure 1 : Profil en long des principaux cours d'eau du bassin versant de l'Authion.....	11
Figure 2 : 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	14
Figure 3 : Schéma de fonctionnement du système hydrologique de l'Authion en hiver	15
Figure 4 : Schéma de fonctionnement du système hydrologique de l'Authion en été	16
Figure 5 : Principe de réalimentation en eau de la Curée.....	17
Figure 6 : Exemple d'arbre d'écoulement pour un sous-bassin unitaire de l'Automne ...	21
Figure 7 : Exemple de tableau de calcul du débit spécifique.....	22
Figure 8 : Représentation schématique des éléments du bilan hydrologique d'un bassin versant	26
Figure 9 : Principe du modèle hydrologique global GARDÉNIA pour la simulation du débit d'un cours d'eau ou d'un niveau piézométrique.....	27
Figure 10 : Exemple de simulation pluies/débit avec Gardenia.....	30
Figure 11 : Exemple de simulation pluies/niveau avec Gardenia	34
Figure 12 : Principe de détermination d'un débit minimum biologique par la méthode dite Micro-habitats	38
Figure 13 : Débits moyens mensuels et débits caractéristiques du Changeon à Le Paluau	40
Figure 14 : Débits moyens mensuels et débits caractéristiques dans le Lathan à « Chanteloup »	41
Figure 15 : Limites et maillage du modèle	53
Figure 16 : Vue 3D de la géométrie des couches du modèle.....	54
Figure 17 : Zonation des niveaux d'infiltration (conditions aux limites externes du modèle)	56
Figure 18 : Niveaux moyens (en m NGF) imposés au droit de la Loire	57
Figure 19 : Géométrie du réseau hydrographique à intégrer dans le modèle	58
Figure 20 : Difficulté de prise en compte des confluences	59
Figure 21 : Piézométrie du Cénomaniens inférieur en régime permanent (cotes en m NGF).....	62
Figure 22 : Zone de débordement des nappes vers les cours d'eau en régime permanent.....	66
Figure 23 : Evolution des prélèvements pour l'AEP entre 2008 et 2010 pour le bassin-versant de l'Authion.....	68
Figure 24 : Types de cultures pratiqués sur le bassin-versant de l'Authion en 2009	69
Figure 25 : Volumes d'eau prélevés pour l'irrigation et besoins théoriques (m ³) par hectare et par commune sur le bassin-versant de l'Authion.....	72
Figure 26 : Surfaces irriguées par communes (années 2009-2010).....	73
Figure 27 : Volumes prélevés mensuellement dans la Loire aux trois prises d'eau depuis 2007	74

*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 –
Document de travail - Phase 2*

Figure 28 : Débit moyen mensuel en sortie de la retenue de Rillé depuis 2007	74
Figure 29 : Niveau moyen du plan d'eau de Rillé depuis 2007	75
Figure 30 : Localisation du réseau hydrographique réalimenté ou soutenu en étiage (source état des lieux SAGE Authion).....	79
Figure 31 : Répartition par commune des volumes d'eau prélevés tous usages confondus.....	80
Figure 32 : Superposition des découpages d'unités par masses d'eau avec la répartition des usages :	81
Figure 33 : Délimitation provisoire des unités de gestion cohérente	82

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Caractéristiques hydrographiques des principaux cours d'eau du bassin versant de l'Authion	10
Tableau 2 : Débits maximaux prélevables au droit des prises d'eau en Loire	13
Tableau 3 : Stations de suivi des niveaux d'eau et débits de l'Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion	18
Tableau 4 : Valeurs de référence du coefficient de rugosité K	23
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	29
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	31
Tableau 7 : Résultats du calage pluies-niveaux sur points ADES avec au moins trois ans de suivi piézométriques sur la période 2004-2011	32
Tableau 8 : Résultats des calculs des moyennes interannuelles de pluies et recharge....	33
Tableau 9 : Débits de référence observés et reconstitués par simulation	36
Tableau 10 : Contexte piscicole du Couason	42
Tableau 11 : Respect du débit réservé au titre de l'article L 214-18 du Code de l'environnement - Situation actuelle et future	44
Tableau 12 : Coupe lithostratigraphique simplifiée (source BRGM 1971).....	47
Tableau 13 : Description des conditions aux limites du modèle	55
Tableau 14 : Conditions aux limites externes	56
Tableau 15 : Perméabilités retenues pour le calage en régime permanent.....	61
Tableau 16 : Analyse semi-quantitative des échanges entre masses d'eau souterraines en régime permanent	63
Tableau 17 : Comparaison des volumes prélevés sur le bassin-versant de l'Authion en fonction des différentes sources de données	70
Tableau 18 : Volume d'eau nécessaire par cultures pour une saison d'irrigation (m ³ /ha) source observatoire Authion	71
Tableau 19 : Comparaison des surfaces irriguées sur le bassin-versant de l'Authion en fonction des différentes sources de données	72

Liste des photographies :

Photo 1 : Réservoir de Rillé, barrage des Mousseaux.....	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 –
Document de travail - Phase 2*

Liste des sigles et abréviations

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

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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) et Piézométrie d'Objectifs d'Etiage (POE)) seront déterminés. La délimitation de ces unités doit se faire sur la base **des bassins-versant topographiques et hydrogéologiques existants**, des bassins présentant des **enjeux homogènes en termes d'usages** de l'eau, des **dispositifs de mesures** hydrométriques en place.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 et quelques affluents mineurs, l'Authion s'écoule de façon **lentique** sur une soixantaine de kilomètres avant de rejoindre la Loire au niveau de Saintes-Gemmes-sur-Loire. L'Authion est caractérisé par une **penne 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) :

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				

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)

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 1).

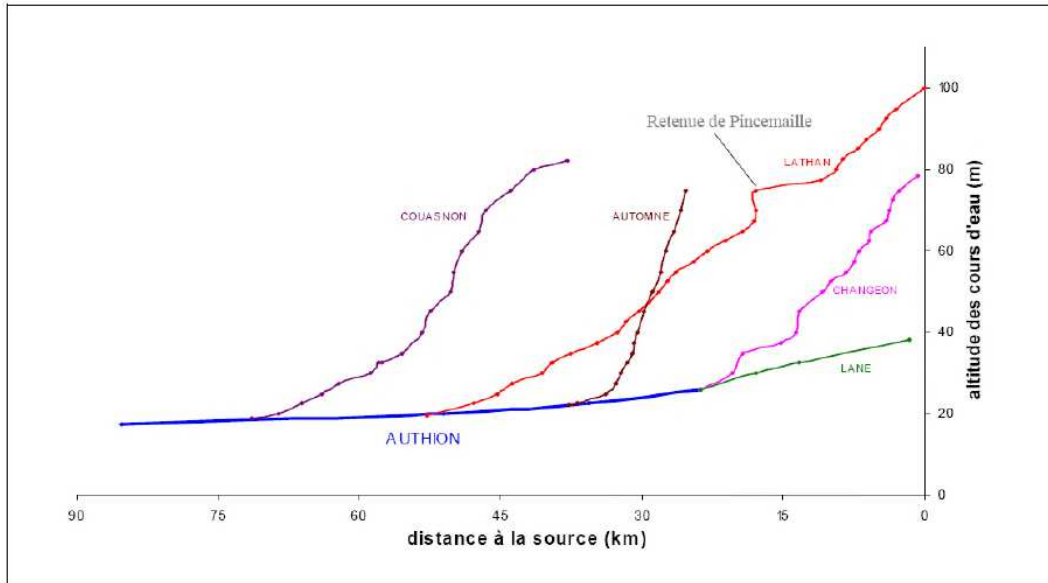


Figure 1 : Profil en long des principaux cours d'eau du bassin versant de l'Authion
(Source : D'après BdCarthage, IGN BdAlti, SAGE Authion – Etat des lieux de la ressource en eau, des milieux aquatiques et des usages).

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 –
Document de travail - Phase 2*

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 Daguenière.

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).

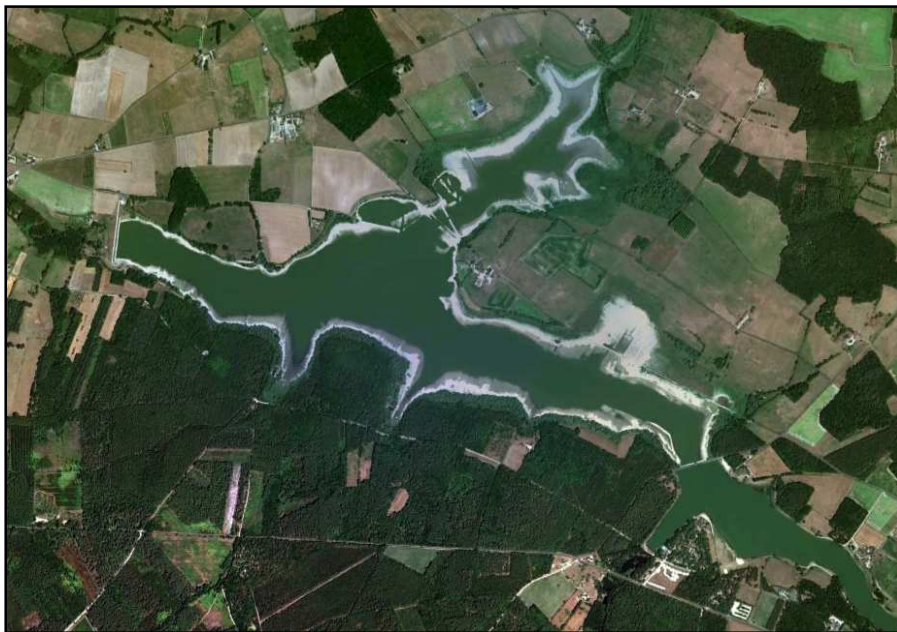


Photo 1 : Réservoir de Rillé, barrage des Mousseaux
(Source : Google Earth)

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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

La **Société d'Aménagement et de Développement de la Région Authion Loire (SADRAL)** a ensuite été créée afin de réaliser l'aménagement hydro-agricole 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 délègue la gestion du niveau des barrages dont elle est propriétaire 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) :

	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	
Varennes	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

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

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 chenaux dans le Val d'Authion. La Loire entre ainsi directement (par les prises d'eau) et indirectement (par les transferts par la nappe alluviale) en ligne de compte dans les bilans et transfert d'eau avec les masses d'eau du bassin 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 –
Document de travail - Phase 2*

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 apparait 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**.

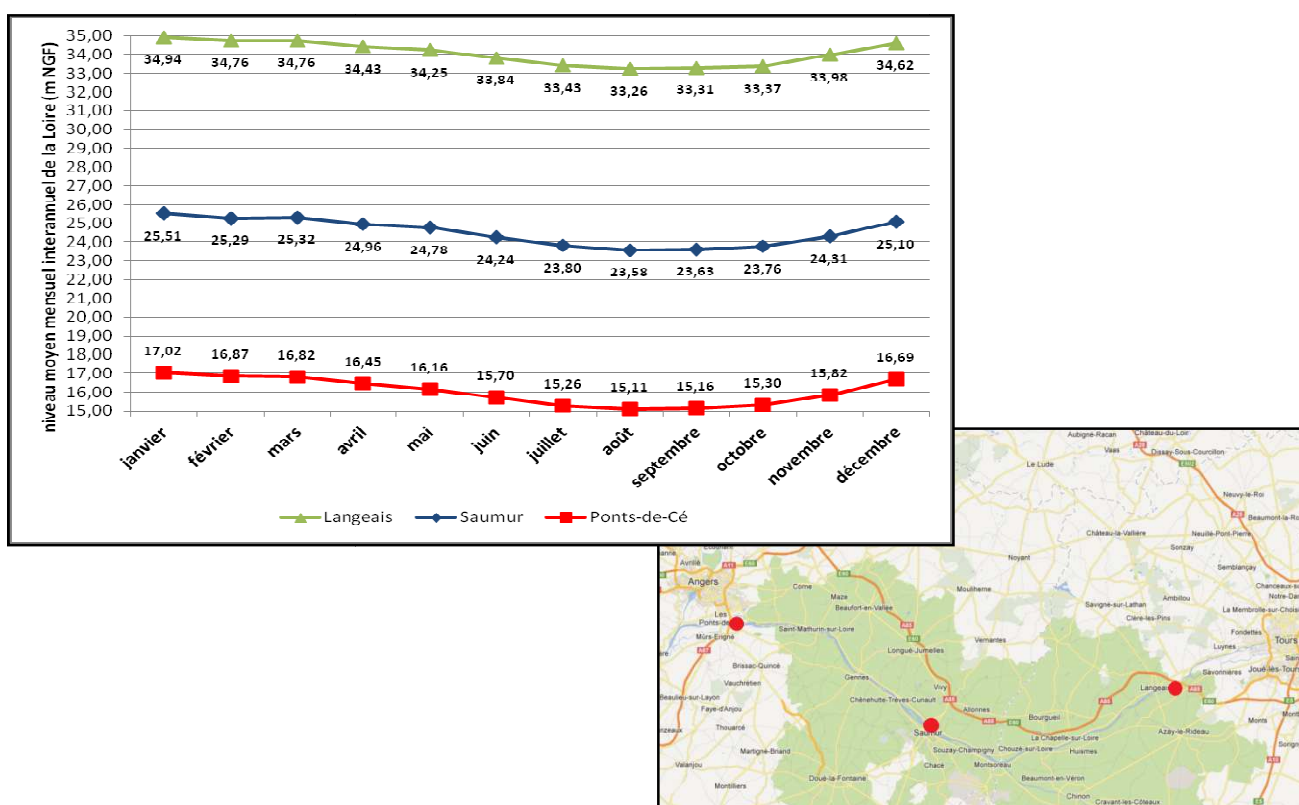


Figure 2 : Evolution des niveaux moyens mensuels interannuels de la Loire à Langeais, Saumur et aux Ponts-de-Cé sur la base des mesures de 1987 à 2013
(Source : Banque HYDRO)



Fichier Excel :

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 et la gestion des crues est assurée par des vannes de régulation 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 :

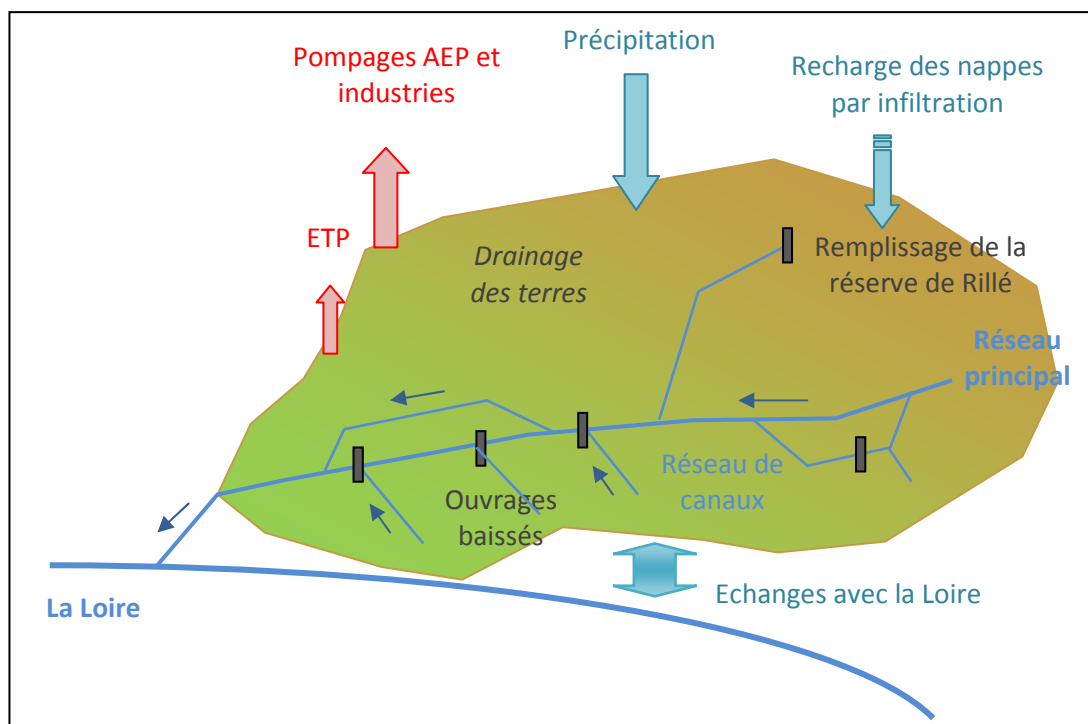


Figure 3 : Schéma de fonctionnement du système hydrologique de l'Authion en hiver
(Source : Amélioration de la gestion de l'eau dans la vallée de l'Authion – Juin 2005)

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 –
Document de travail - Phase 2

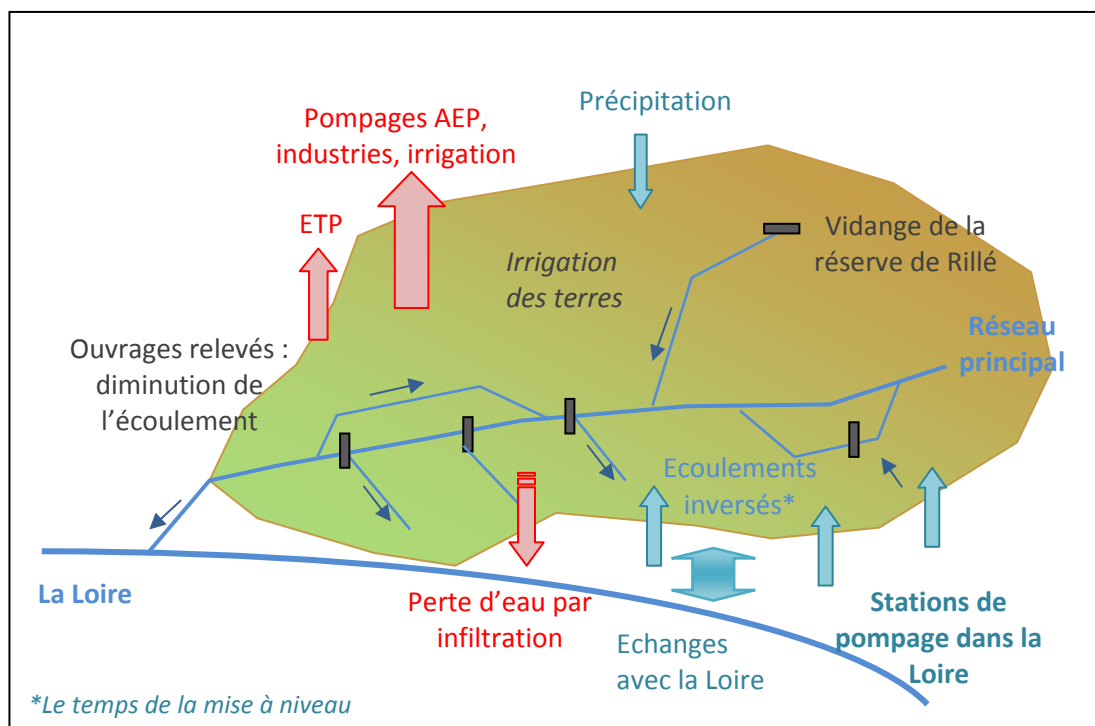


Figure 4 : Schéma de fonctionnement du système hydrologique de l'Authion en été
(Source : Amélioration de la gestion de l'eau dans la vallée de l'Authion – Juin 2005)

Pour illustrer localement le fonctionnement hydraulique de certains canaux et fossés, la figure ci-dessous (cf. Figure 5) 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 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 –
Document de travail - Phase 2

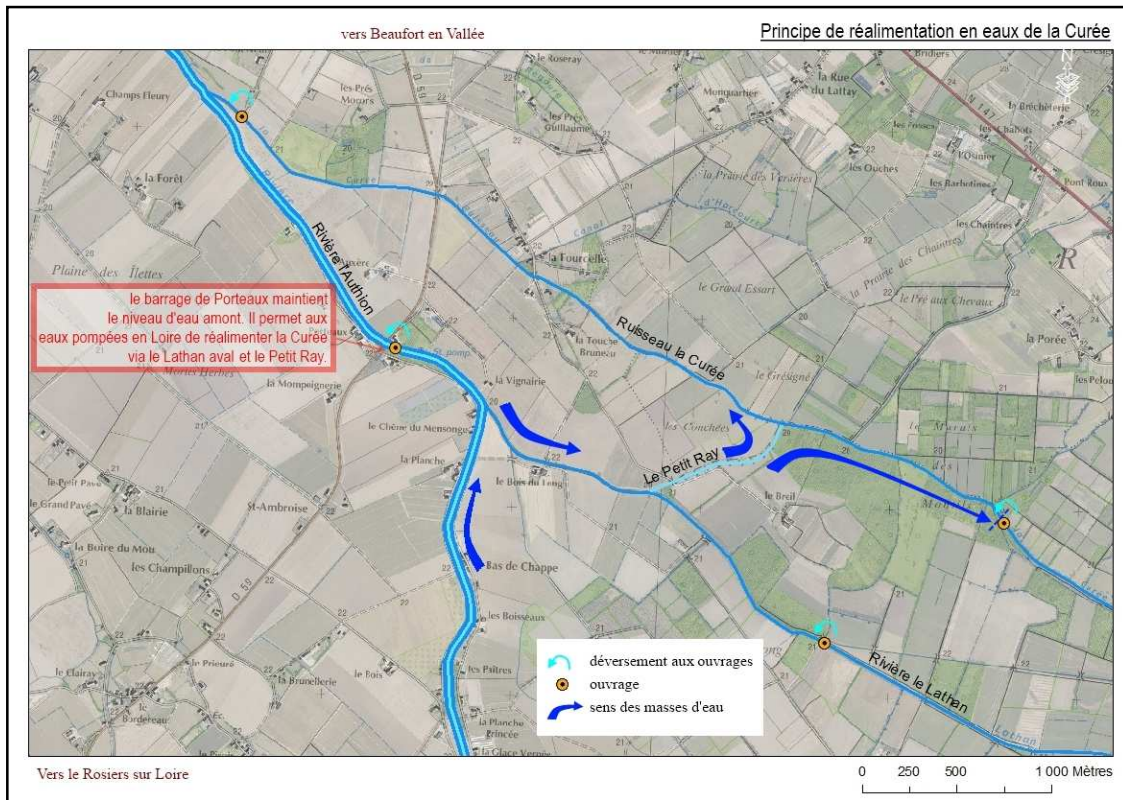


Figure 5 : Principe de réalimentation en eau de la Curée
(Source : Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin de l'Authion et la mise en valeur de la Vallée de l'Authion)

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 :

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

Tableau 3 : Stations de suivi des niveaux d'eau et débits de l'Entente Interdépartementale pour l'Aménagement du Bassin 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 –
Document de travail - Phase 2*

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 Tarray 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 Excel :

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 présence 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 Tarray à Mazé sont ainsi concernées.

A l'inverse, les débits du Lathan à Vernantes, du Couasnon à Pontigné, du Couasnon à Gée et du Changeon à Moulin Foulon semblent plus influencés par l'activité anthropique

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 :

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'objectifs 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 Laser 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. **715 tronçons** ont été définis pour la présente étude.

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,

*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 –
Document de travail - Phase 2*

- la pente (en %) et la largeur (en m) du cours d'eau : définie à partir des différentes études disponibles et du MNT laser (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.

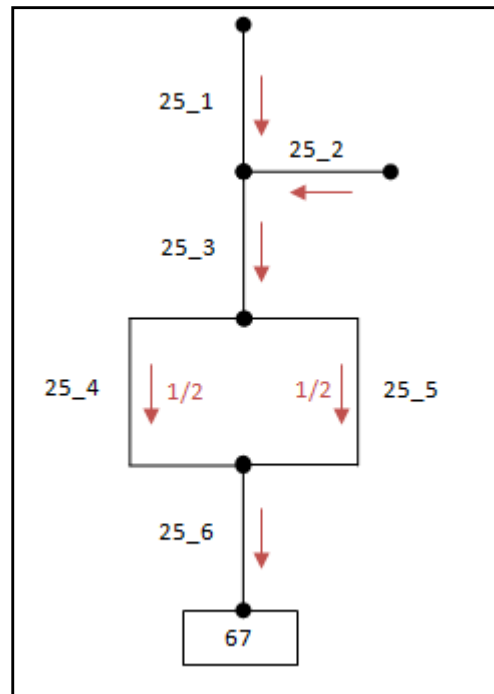


Figure 6 : Exemple d'arbre d'écoulement pour un sous-bassin unitaire de l'Automne



Fichier Word : arbre des écoulements.

Fichier Excel :

Table Shape :

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 du terrain. Ils sont définis sur la base des valeurs de référence données par le tableau ci-dessous (cf. Tableau 4). Dans le cas présent, le coefficient d'emmagasinement équivaut dans la plupart du temps 25.

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

Tableau 4 : Valeurs de référence du coefficient de rugosité K

*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 –
Document de travail - Phase 2*

Ce type de calcul s'est limité aux cours d'eau de l'Authion ayant globalement un écoulement 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 de drainage 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 Laser 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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 8 et Figure 9). 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.

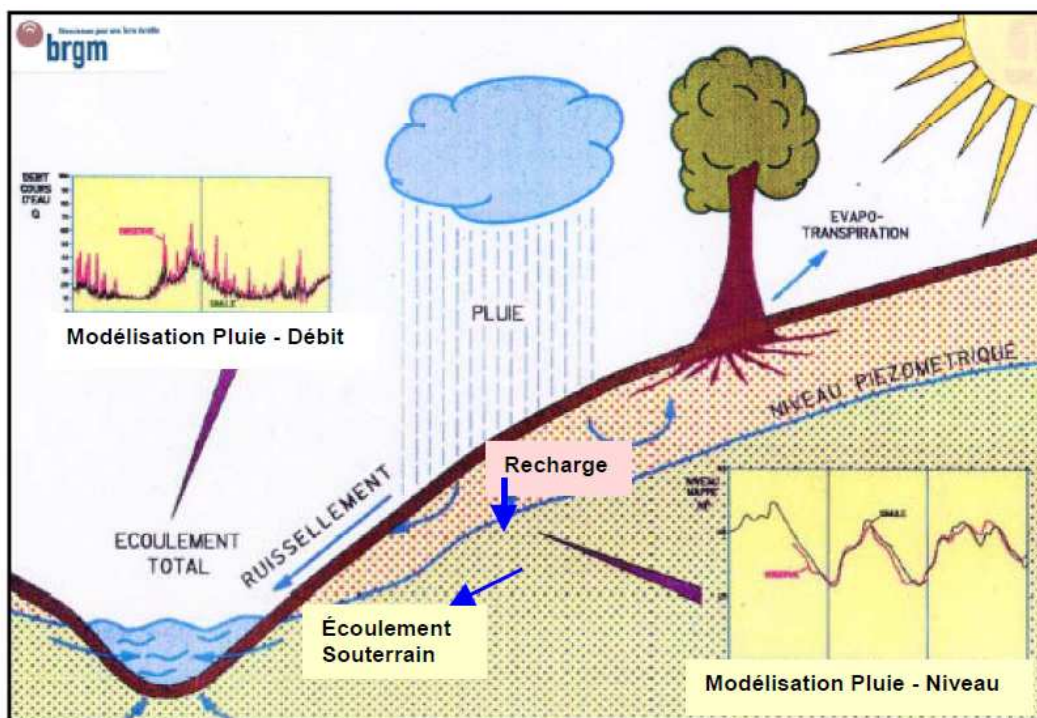


Figure 8 : Représentation schématique des éléments du bilan hydrologique d'un bassin versant
(Source : BRGM)

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 –
Document de travail - Phase 2

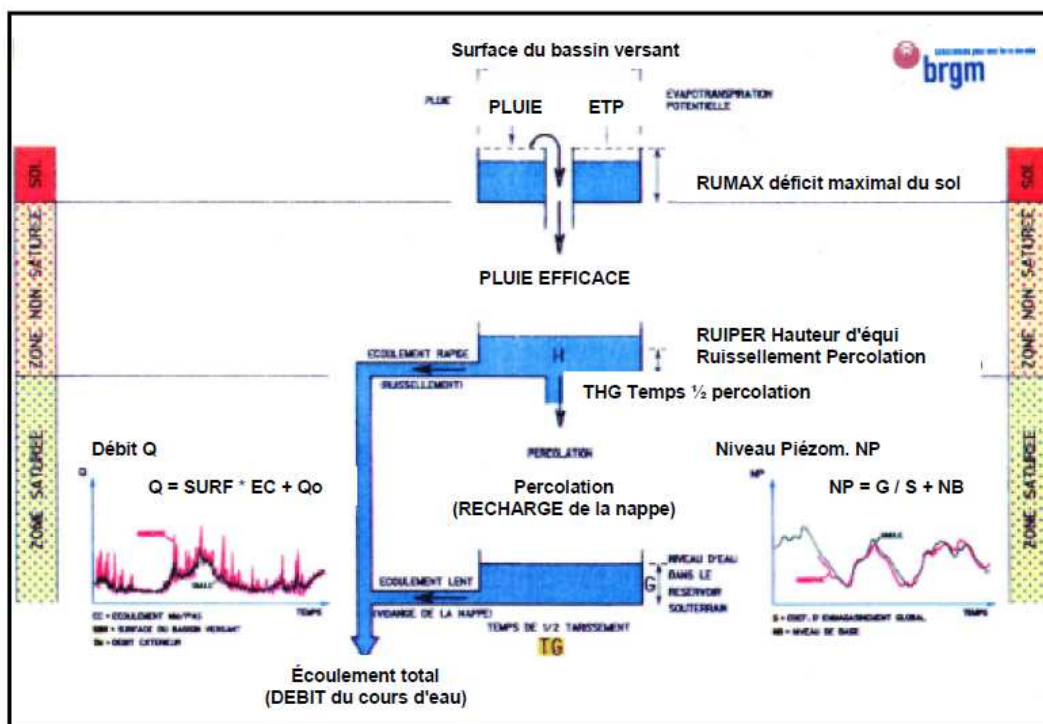


Figure 9 : Principe du modèle hydrologique global GARDÉNIA pour la simulation du débit d'un cours d'eau ou d'un niveau piézométrique
(Source : BRGM)

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 climatiques** 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 Bourgeuil et de Longué-Jumelles, ainsi que sur celles de Savigny en Veron, de Channay sur Lathan et de Fontaine-Guérin. Comme précisé en phase1, 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 –
Document de travail - Phase 2*

- 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,
2. Analyse des mesures pluies-débits sur les stations hydrométriques de l'Entente, à partir des données disponibles sur la période 2009-20012,
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,

*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 –
Document de travail - Phase 2*

- **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 la première analyse des mesures pluies-débits sur la sélection des stations hydrométriques de la Banque HYDRO, sur la période 1967-1993, sont les suivants (cf.

Tableau 5) :

Paramètres calculés	Benais	Gée	Pontigné	Saint-Patrice	Rillé	Vernantes	Mazé
	Changeon	Couasnon	Couasnon	Lane	Lathan	Lathan	Taray
	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

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

Le tableau ci-dessus permet de constater des **faibles coefficients de corrélation** (Gée avec pluviométrie à Baugé, Pontigné avec pluviométrie à Baugé, Vernantes avec pluviométrie à Noyant) voire médiocres (St Patrice avec pluviométrie à Bourgueil, Mazé avec pluviométrie à Baugé) 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

² Coefficient de corrélation

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 –
Document de travail - Phase 2

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.**

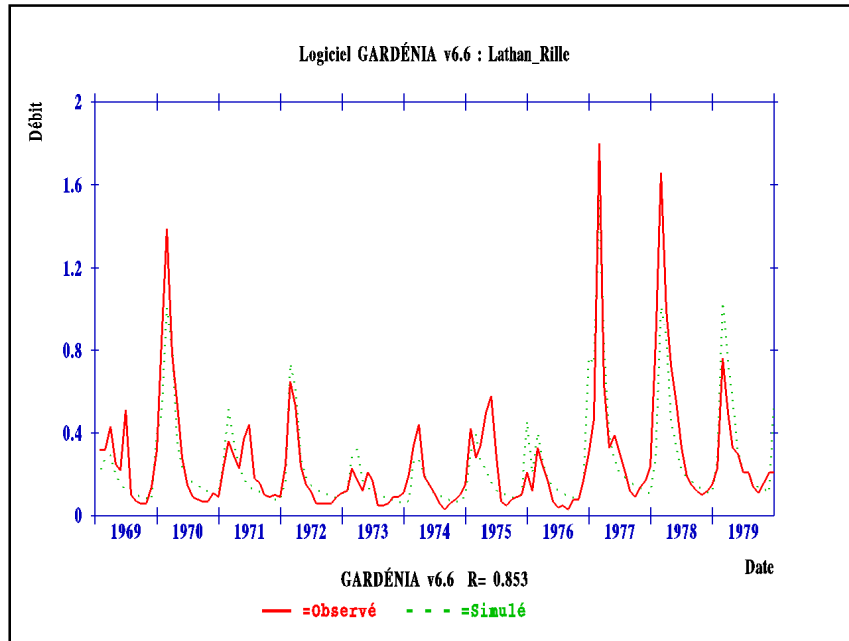


Figure 10 : Exemple de simulation pluies/débit avec Gardénia

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.

Par conséquent, à titre comparatif, il a été appliqué des 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).

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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

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

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.

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.

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 –
Document de travail - Phase 2*

Les interprétations présentées ci-après (cf. Tableau 7) n'intègrent pas celles des points de mesures disposant de moins 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.

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
TYPE DE NAPPE	Libre	Libre	Libre	Inconnu	Libre
STATIONS_METEO	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-montée 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
Niveau de base (m NGF):	41,01	65,62	24,35	75,84	27,79
Coefficient d'emmagasinement (-):	0,05	0,03	0,04	0,03	0,05
R	0.85	0.81	0.92	0,89	0,81

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

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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 (1973-1979) 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 (cf. Tableau 8) :

Résultats des calculs pluies-débits sur la période 1973-1979	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%

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

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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.

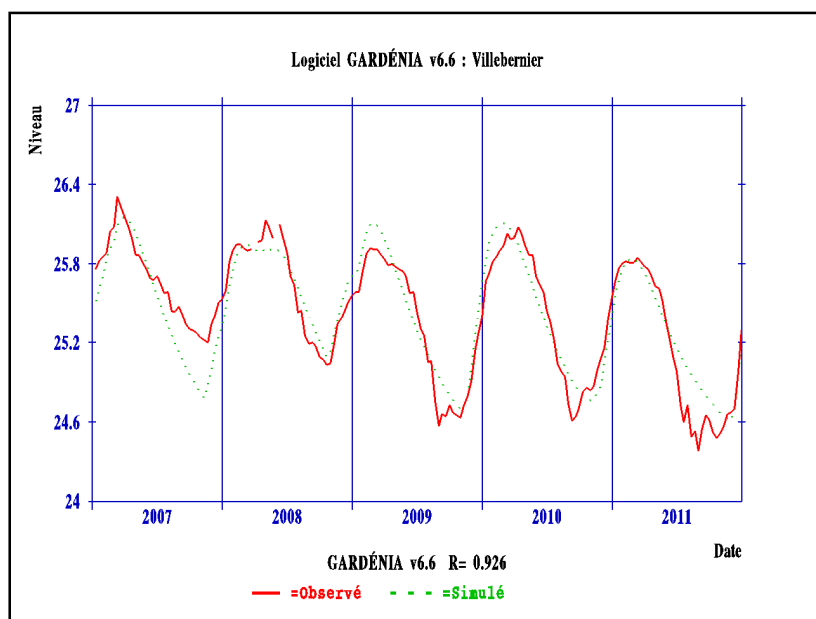


Figure 11 : Exemple de simulation pluies/niveau avec Gardénia

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

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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

	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
Couasnon à Pontigné	1967-1983	17	1972-1983	11	0,22	0,30	0,06	0,16	0,04	0,12	0,08
Couasnon 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
Tarray à Mazé	1967-1982	17	1973-1983	10	0,10	0,14	0,02	0,08	0,01	0,05	0,04

Tableau 9 : Débits de référence observés et reconstitués par simulation

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 Couasnon.

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 Couasnon avec la réglementation en vigueur et les peuplements piscicoles du Couasnon.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 règlementaire 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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

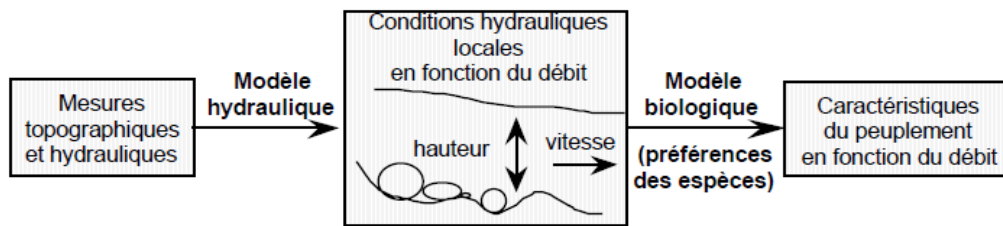


Figure 12 : Principe de détermination d'un débit minimum biologique par la méthode dite Micro-habitats
(Source : Aquascop)

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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

Quatre guildes existent :

- la guilde « **radier** » (loche franche, chabot, barbeau de taille inférieure à 9 cm),
- la guilde « **chenal** » (barbeau de taille supérieure à 9 cm),
- la guilde « **mouille** » (anguille, perche, gardon, chevaine de taille supérieure à 17 cm),
- et la guilde « **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 137 km², tandis qu'elle est de 96 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 guilde « 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 guilde « chenal » (à ce débit, il ne reste que 60 % de la SPU par rapport à la SPU de cette guilde 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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

❖ **Pour le Lathan à Chanteloup**

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**.

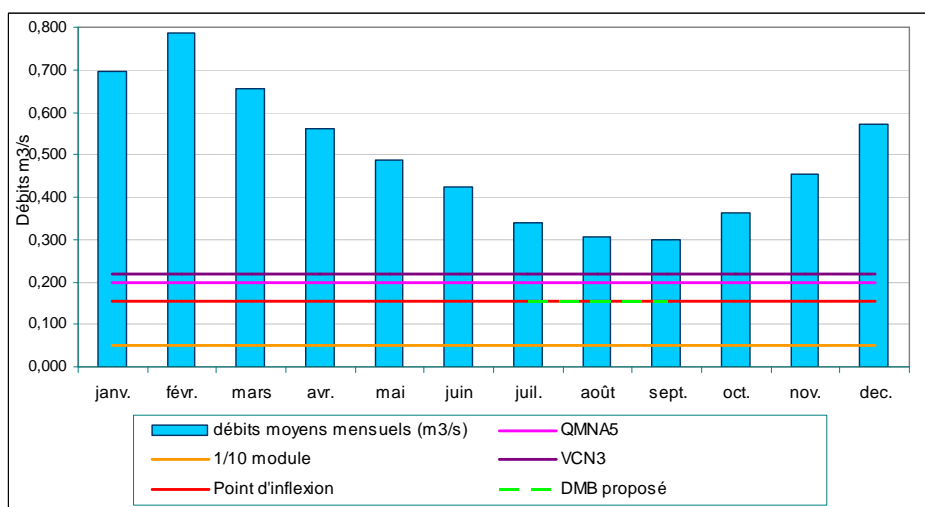


Figure 13 : Débits moyens mensuels et débits caractéristiques du Changeon à Le Paluau (Source : Aquascop)

*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 –
Document de travail - Phase 2*

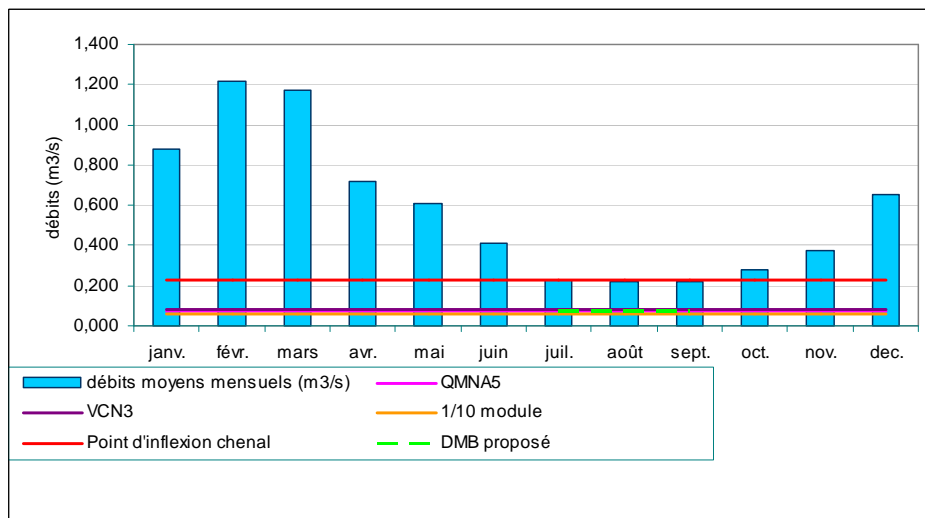


Figure 14 : Débits moyens mensuels et débits caractéristiques dans le Lathan à « Chanteloup »
(Source : Aquascop)

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 nécessaire par le bureau d'étude.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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, là où la pente est la plus marquée puis en 2ème 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.

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

Tableau 10 : Contexte piscicole du Couasnon

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 observe observée/espèces attendues, un nouveau programme d'aménagement prévoit :

- le reprofilage des berges,
- la mise en place de banquettes végétalisées et radier,
- le reméandrage,
- et la mise en place de plusieurs aménagements :
 - création d'un nouvel ouvrage franchissable par les poissons sur le radier du Pont de Singé,
 - abaissement des clapets de la STEP de Mazé et du Coudray,

*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 –
Document de travail - Phase 2*

- 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,
- mise en place d'une passe à poisson au Moulin de Fontaine,
- arasement du seuil fixe, remplacement du clapet par une succession de radiers au répartiteur du Pin,
- 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 Couason ou anciens biefs. On constate ainsi qu'à l'étiage le débit transitant dans le Couason 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 assec de ces bras, tant que cela ne nuit pas au milieu (lit naturel), qu'à partir du moment où le débit du Couason 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.

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,**

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 –
Document de travail - Phase 2

- 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 :

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 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	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

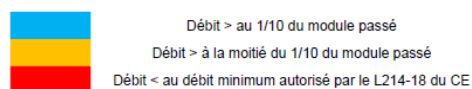


Tableau 11 : Respect du débit réservé au titre de l'article L 214-18 du Code de l'environnement - Situation actuelle et future
(Source : Données SIAC et SEGI)

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 Armoricain. 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-Ouest 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 Cénomaniens 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 –
Document de travail - Phase 2*

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

*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 –
Document de travail - Phase 2*

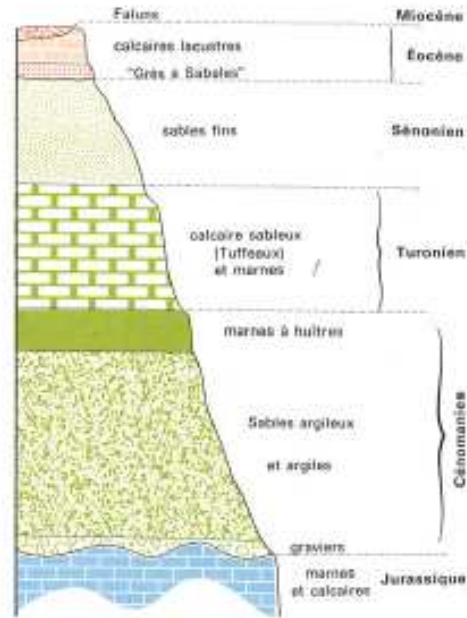


Tableau 12 : Coupe lithostratigraphique simplifiée
(source BRGM 1971)

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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 les 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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

Très peu de données sont disponibles 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 principale des aquifères du bassin-versant de l'Authion, autre que les alluvions, est dirigé vers le Sud-Ouest, avec un coefficient hydraulique de l'ordre de $2,30 \cdot 10^{-3}$ à $1,7 \cdot 10^{-3}$. Les écoulements souterrains se calquent donc 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. 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 : Piézomètres de référence



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

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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, 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 et ne peut être résolu 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.

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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 MARTHEZ

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

3.2.3.1.1. 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 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 3 500 km².

3.2.3.1.2. 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**.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

❖ 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 15).

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.

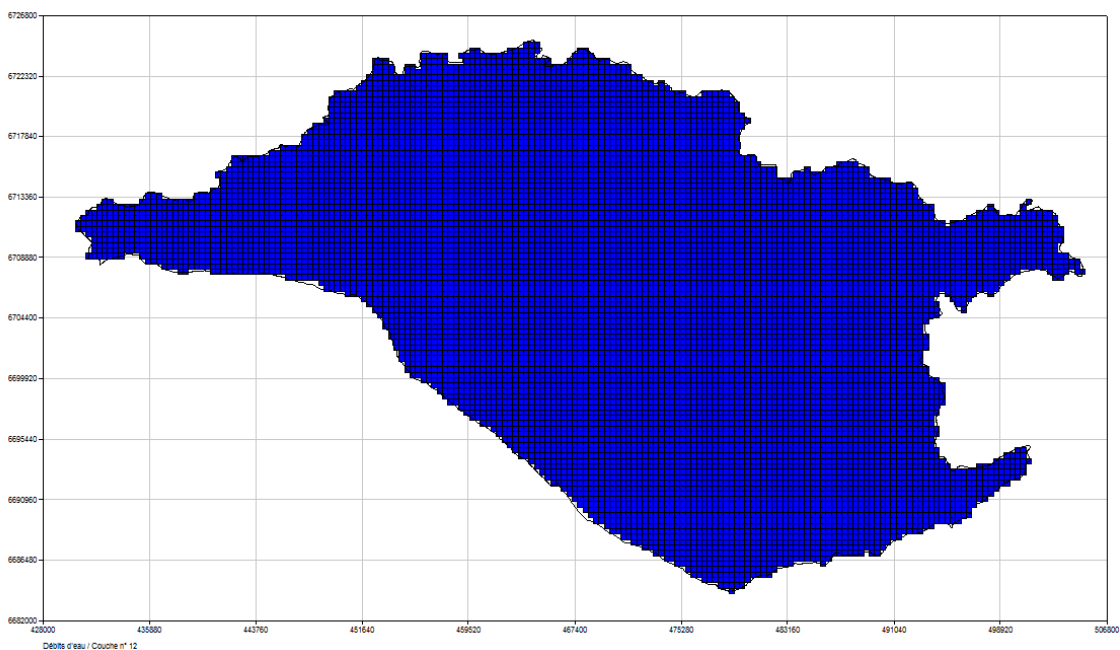


Figure 15 : Limites et maillage du modèle

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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 géométrie de ces formations est construite par interprétation et interpolation des données lithologiques de forages et sondages géotechniques existants et par campagnes géophysiques. Leurs caractéristiques hydrodynamiques 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 16 présente une vue 3D de la géométrie des couches 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 –
Document de travail - Phase 2*

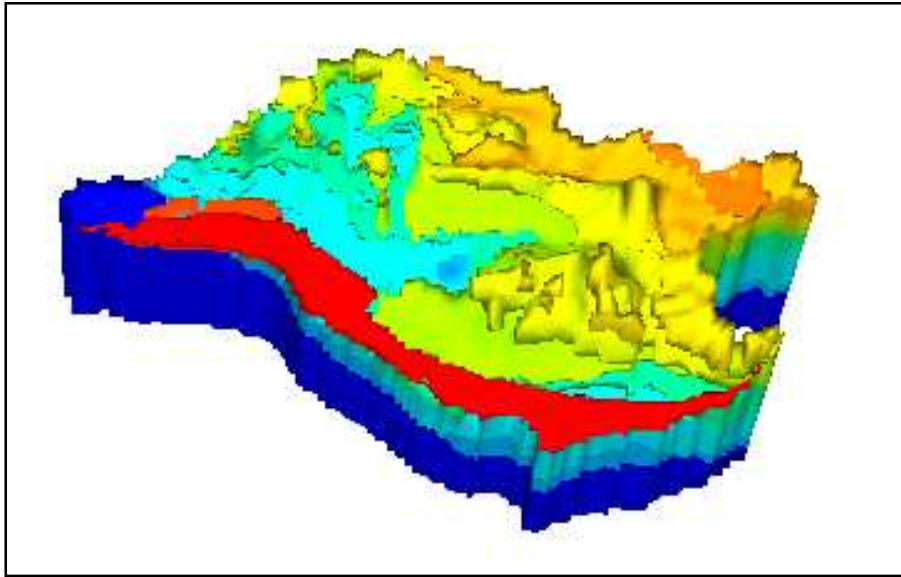


Figure 16 : Vue 3D de la géométrie des couches du modèle

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 -109,1 et + 8,5 m NGF**. La base de cette couche composite correspond aux formations jurassiques marno-calcaires à l'Est et aux formations paléozoïque 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 incidence dans la modélisation.

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 à 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 –
Document de travail - Phase 2*

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. Elles sont détaillées ci-après (cf. Tableau 13) :

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 Publiothèque 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)

Tableau 13 : Description des conditions aux limites du modèle

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.

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 14) :

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

Tableau 14 : Conditions aux limites externes

*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 –
Document de travail - Phase 2*

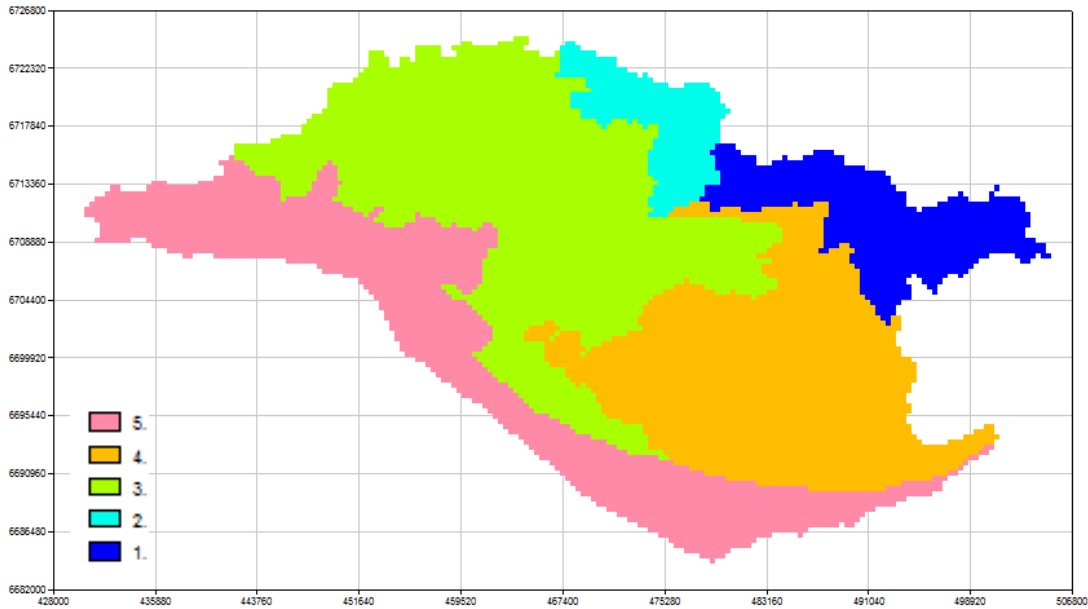


Figure 17 : Zonation des niveaux d'infiltration
(conditions aux limites externes du modèle)

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 –
Document de travail - Phase 2*

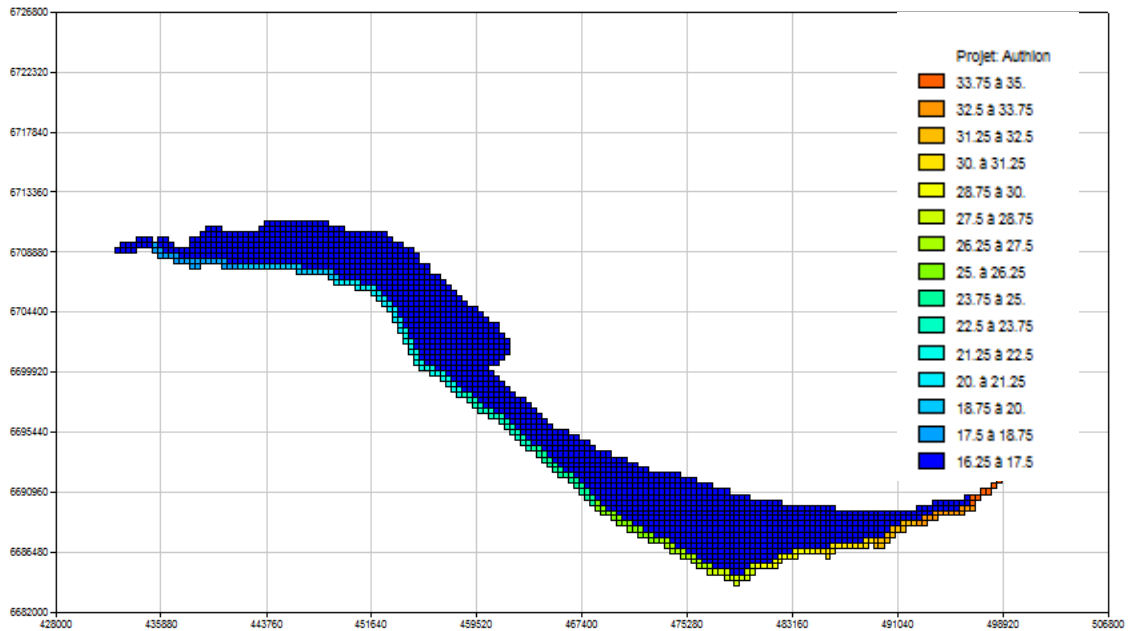


Figure 18 : Niveaux moyens (en m NGF) imposés au droit de la Loire

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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 19) 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).

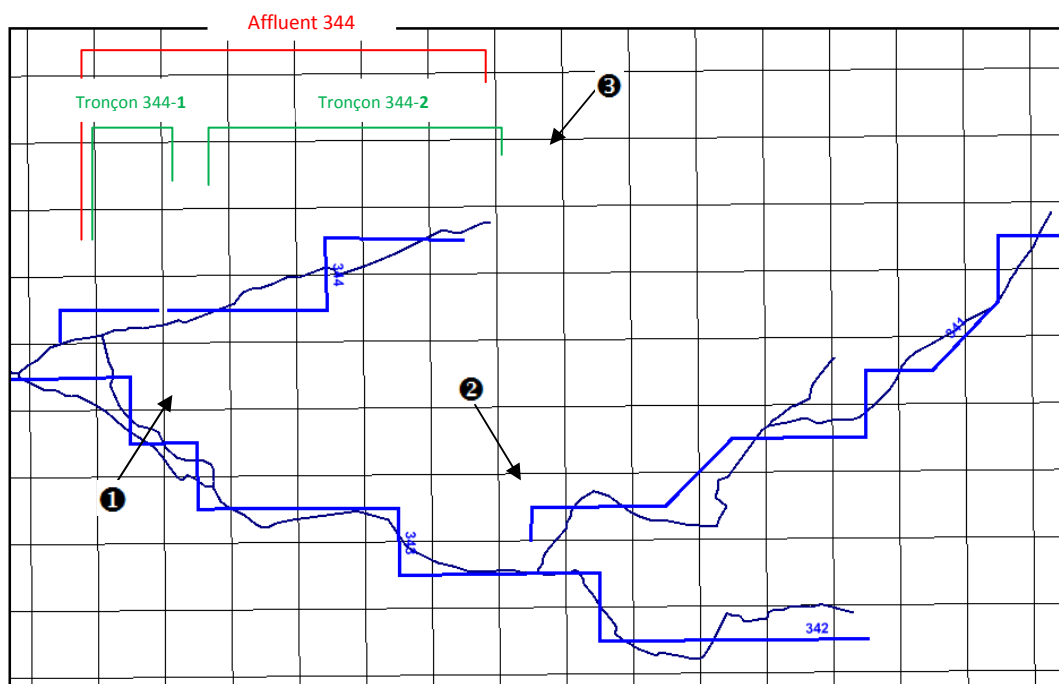


Figure 19 : Géométrie du réseau hydrographique à intégrer dans le modèle

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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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'a 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 la exactement 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 autres caractéristiques (hauteur, largeur, rugosité,...) sont préservées

Selon cette logique d'arbre hydrologique, le modèle ne peut pas intégrer directement les **diffluences** (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.

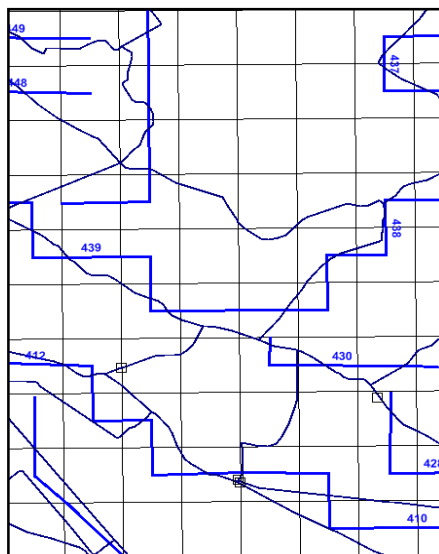


Figure 20 : Difficulté de prise en compte des confluences

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 par interpolation linéaire sur les tronçons de cours d'eau **une cote de fil d'eau au droit de chaque maille portant un cours d'eau.**



Fichier Excel :
Fichier Shape :

3.2.6. Calage du modèle à l'état initial

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 effectué pour 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.

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 définies dans les paragraphes précédents sont entrées dans le modèle. Ensuite, une reconstitution de la piézométrie hautes eaux est réalisée afin d'observer si les gradients et les niveaux sont cohérents avec la réalité. Dans le cas négatif, les perméabilités doivent être localement réajustées.

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

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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.

A l'issue du calage, le meilleur ajustement a été trouvé en considérant les perméabilités (ou conductivités hydrauliques) suivantes (cf. Tableau 15) :

Formation	Perméabilité (m/s)
1 – Alluvions de Loire récentes	$1,0 \cdot 10^{-4}$
2 – Alluvions de Loire anciennes	$3,0 \cdot 10^{-3}$
3 – Faluns miocènes	$1,0 \cdot 10^{-5}$
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	$4,0 \cdot 10^{-4}$
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	$1,0 \cdot 10^{-3}$
12 – Substratum jurassique ou primaire	$1,0 \cdot 10^{-9}$

Tableau 15 : Perméabilités retenues pour le calage en régime permanent

3.2.6.2. Résultats du calage

A l'issue de ce premier calage, les niveaux piézométriques d'état initial (sans prise en compte des pompages des prélèvements ni du réseau hydrographique réalimenté du val d'Authion), ont été établis au droit de chaque couche aquifère. Les données extraites du modèle ont permis d'élaborer des cartes piézométriques comme celle présentée ci-dessous représentant la nappe du cénomaniens 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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

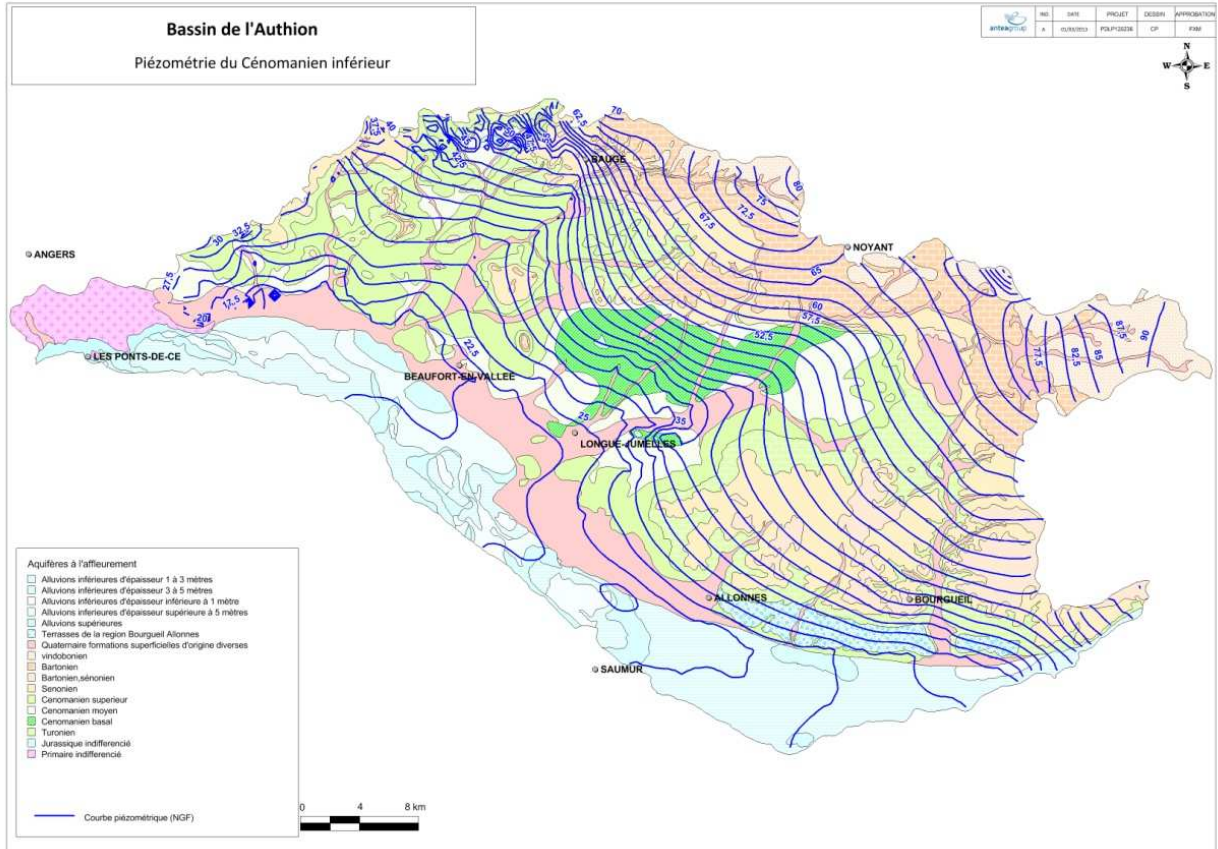


Figure 21 : Piézométrie du Cénomanien inférieur en régime permanent (cotes en m NGF)

L'analyse rapide 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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

4. Analyse de la dynamique de fonctionnement des hydrosystèmes

4.1. Echanges entre nappes

Dans le cadre des premières opérations de calage du modèle en régime permanent présentées ci-avant, un premier bilan des échanges entre les différentes couches du modèle a été établi dans des conditions de hautes eaux.

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

Le tableau croisé ci-dessous (cf. Tableau 16) représente semi-quantitativement les échanges entre couches géologiques.

Les cases en bleu avec des « + » signifient que la couche considérée en ligne reçoit de l'eau de la couche considérée en colonne.

Les cases en beige avec des « - » signifient que la couche considérée en ligne fournit de l'eau vers la couche considérée en colonne.

Les case en gris signifient qu'il n'y a pas (ou une quantité négligeable) d'échange d'eau entre les deux couches considérées

Les cases blanches sont à la croisée de la même couche en ligne et colonne et il n'y a par définition pas d'échange.

couche géologique	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
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 jurassique ou primaire											-	

Tableau 16 : Analyse semi-quantitative des échanges entre masses d'eau souterraines 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 –
Document de travail - Phase 2*

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.

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 et graviers du Cénomaniens inférieur (couche n°11) dans le Val d'Authion. Elle reçoit les apports des aquifères profonds (couches du Turonien et du Cénomaniens supérieur à moyen (couches 10 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).

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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. Par contre, en plus d'alimenter la couche inférieure du Turonien inférieur, elle alimente également la couche des alluvions inférieures qui la recouvrent directement à l'est du Val d'Authion.

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 Cénomaniens 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). On retrouve tout de même un flux global vers l'aquifère sous-jacent du Cénomaniens moyen et vers l'aquifère des alluvions supérieures.

Les sables argileux du Cénomaniens moyen (couche n°10) échangent essentiellement avec les sables et graviers du Cénomaniens 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 Cénomaniens 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 Cénomaniens moyens peuvent s'inverser même si au global le bilan est positif au profit des sables et graviers du Cénomaniens 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 considérées globalement comme très peu perméables. Les quelques 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 rôle marginal dans les prélèvements effectués sur le territoire du SAGE 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 –
Document de travail - Phase 2

4.2. Echanges nappe-rivière

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 que 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 diffuse 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

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

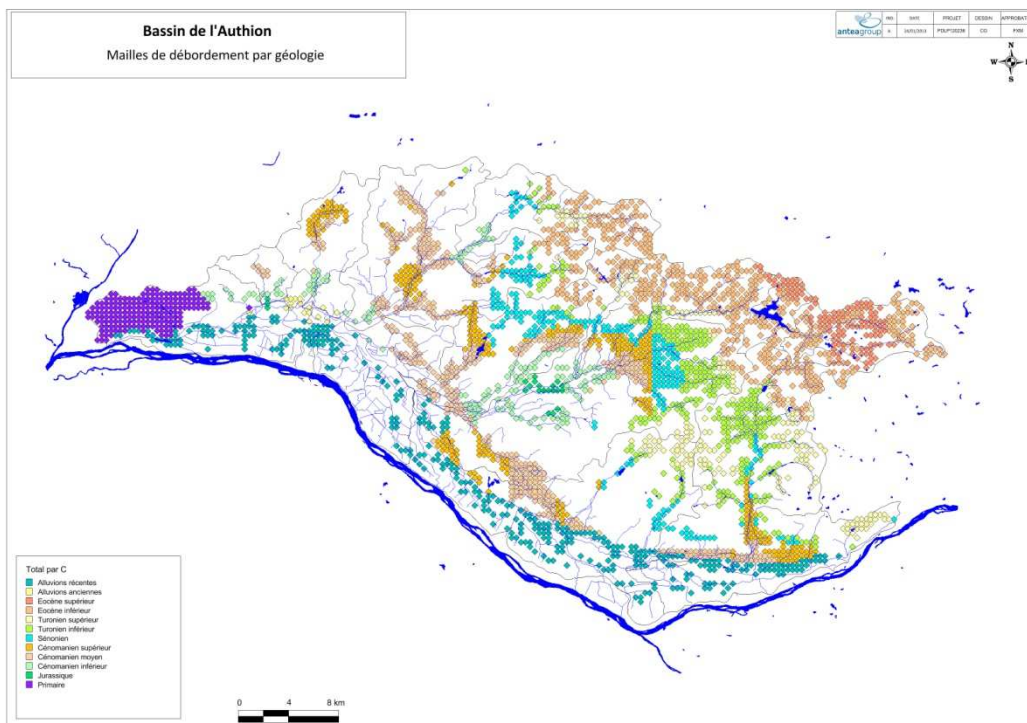


Figure 22 : Zone de débordement des nappes vers les cours d'eau en régime permanent

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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

Néanmoins, on peut observer quelques particularités :

- des nappes en points hauts du bassin de l'Authion susceptibles d'alimenter les têtes de bassin-versant hydrographique, ces zones sont les premières à souffrir d'un abaissement de ces nappes comme il est constaté sur les faluns du miocène,
- 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,
- quelques zones diffuses et ponctuelles 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.

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

4.3.1. Fonctionnement hydrologique et hydrogéologique

En attente de calage de la modélisation en régime transitoire en fin de phase 2.

4.3.2. Bilans entrée/sortie

En attente de calage de la modélisation en régime transitoire en fin de phase 2.

4.4. Estimation des réserves renouvelables et leur variabilité saisonnière

En attente de calage de la modélisation en régime transitoire en fin de phase 2.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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

5.1. Bilan des prélèvements

5.1.1. Prélèvements AEP

Le bilan des prélèvements pour l'Alimentation en Eau Potable est présenté en phase 1. Les prélèvements représentent **environ 5 millions de m³ pour l'année 2010**. **Les aquifères captés sont principalement le Turonien et le Cénomaniens**.

L'évolution des prélèvements en eau destinés à la consommation humaine sur les années 2008 à 2010 sont présentées ci-dessous (cf. Figure 23). Elle demeure quasiment identique sur les trois années données. Seule, une augmentation des volumes prélevés dans le Cénomaniens s'observe à partir de 2009.

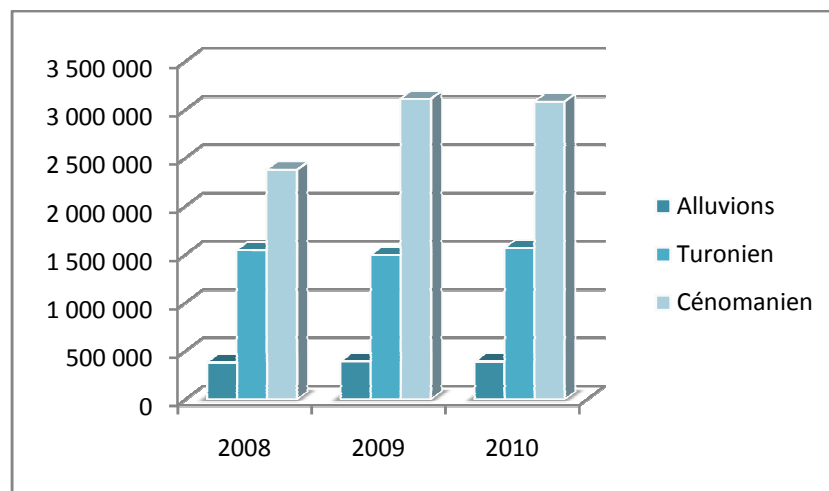


Figure 23 : Evolution des prélèvements pour l'AEP entre 2008 et 2010 pour le bassin-versant de l'Authion

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 ».

*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 –
Document de travail - Phase 2*



Fichier Excel : Captage AEP

5.1.2. Prélèvements industriels

Le bilan des prélèvements pour les activités industrielles est fourni en phase 1.



Fichier Excel :

5.1.3. Prélèvements pour l'usage agricole

5.1.3.1. Situation actuelle des prélèvements pour l'usage agricole

❖ Types de cultures pratiquées

Le graphique ci-dessous (cf. Figure 24) présente le type de cultures pratiquées au sein du bassin-versant de l'Authion sur la base des données du RPG.

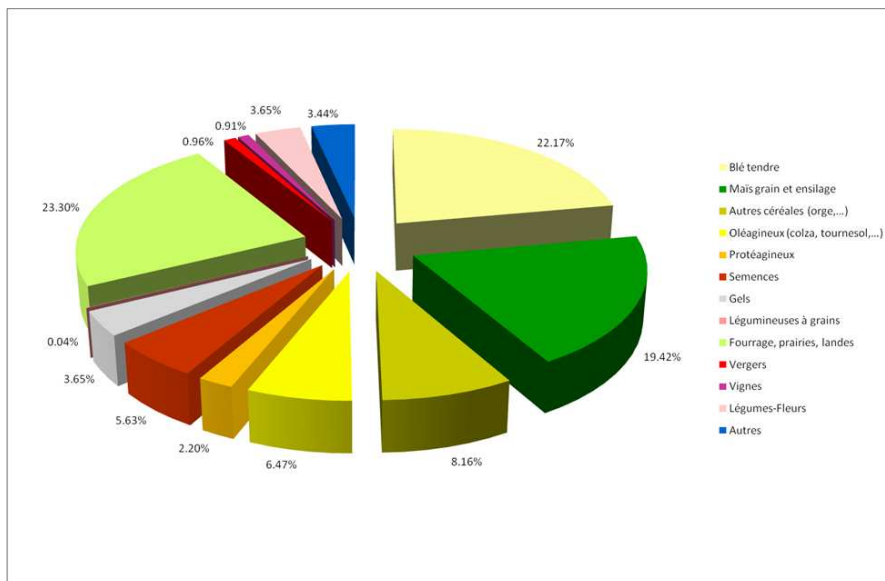


Figure 24 : Types de cultures pratiqués sur le bassin-versant de l'Authion en 2009

*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 –
Document de travail - Phase 2*

❖ Besoins en eau à l'échelle du bassin-versant

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.**
- 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. 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, l'origine de l'eau est également indiquée (cours d'eau, nappe alluviale, nappe profonde, etc.).

La **comparaison des différentes bases de données** peut se faire par **volume cumulé par commune**. Les volumes totaux calculés sur le bassin 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. Il est possible que 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.

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

Tableau 17 : Comparaison des volumes prélevés sur le bassin-versant de l'Authion en fonction des différentes sources de données

Les volumes prélevés 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).

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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. Le tableau ci-dessous présente le coefficient appliqué par type de culture.



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.

CULTURES	M3/HA	CULTURES	M3/HA
AUTRES CEREALES A ENSILER	400	NOISETIERS - NOYERS	1 000
AUTRES CULTURES	1 000	OLEAGINEUX	600
AUTRES CULTURES INDUSTRIELLES	700	PEP. FRUITIERS	750
AUTRES FRUITS	2 000	PEP. HORS SOL	6 500
AUTRES SEMENCES	500	PEP. PLEIN CHAMP	1 100
BETTERAVE, CHOU FOURRAGERS	-	PEP. ROSIERS	750
BULBES	3 500	PLANTES MEDICINALES	-
CASSIS	700	POIRIERS	2 000
CEREALES A PAILLE	400	POMMIERS	2 000
CERISIERS	2 000	PRAIRIES PERMANENTES	250
FLEURS, PL. ORN. PLEIN AIR	3 000	PRAIRIES TEMPORAIRES	250
FLEURS, PL. ORN. SOUS ABRI	5 000	PROTEAGINEUX	700
FRAISIERS	1 700	SEM. FLORALES PLEIN CHAMP	1 000
FRAMBOISIERS PLEIN CHAMP	700	SEM. FLORALES SOUS ABRI	3 000
FRICHES	-	SEM. POTAGERES PLEIN CHAMP	2 500
GEL ET JACHERES	-	SEM. POTAGERES SOUS ABRI	3 000
KIWI	2 400	SEMENCES CEREALES	500
LEGUMES PLEIN CHAMP	1 500	SEMENCES CHANVRE	500
MAÏS FOURRAGE	1 250	SEMENCES FOURRAGERES	500
MAÏS GRAIN	1 250	SEMENCES MAÏS	1 500
MARAICHAGE PLEIN CHAMP	2 500	SORGHO / MILLET	600
MARAICHAGE SOUS ABRI	3 000	TABAC	2 000
MYRTILLES	3 600	VIGNES AOC	-

Tableau 18 : Volume d'eau nécessaire par cultures pour une saison d'irrigation (m³/ha)
source observatoire Authion



Fichier Excel :

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 –
 Document de travail - Phase 2

Parcelles irriguées (ha) (observatoire)	Besoin théorique (m3) (observatoire)	Parcelles irriguées (ha) (RPG)	Besoin théorique (m3) (RPG)
16 030	22 724 940	15 002	18 108 072

Tableau 19 : Comparaison des surfaces irriguées sur le bassin-versant de l'Authion en fonction des différentes sources de données

On constate qu'avec les ratios d'irrigation moyens théoriques par type de culture fournis (source observatoire de l'Eau Authion, les volumes théoriques sont inférieurs aux volumes prélevés sur l'ensemble du territoire du SAGE Authion.

❖ Répartition communale des prélèvements pour l'irrigation

Rq : 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.

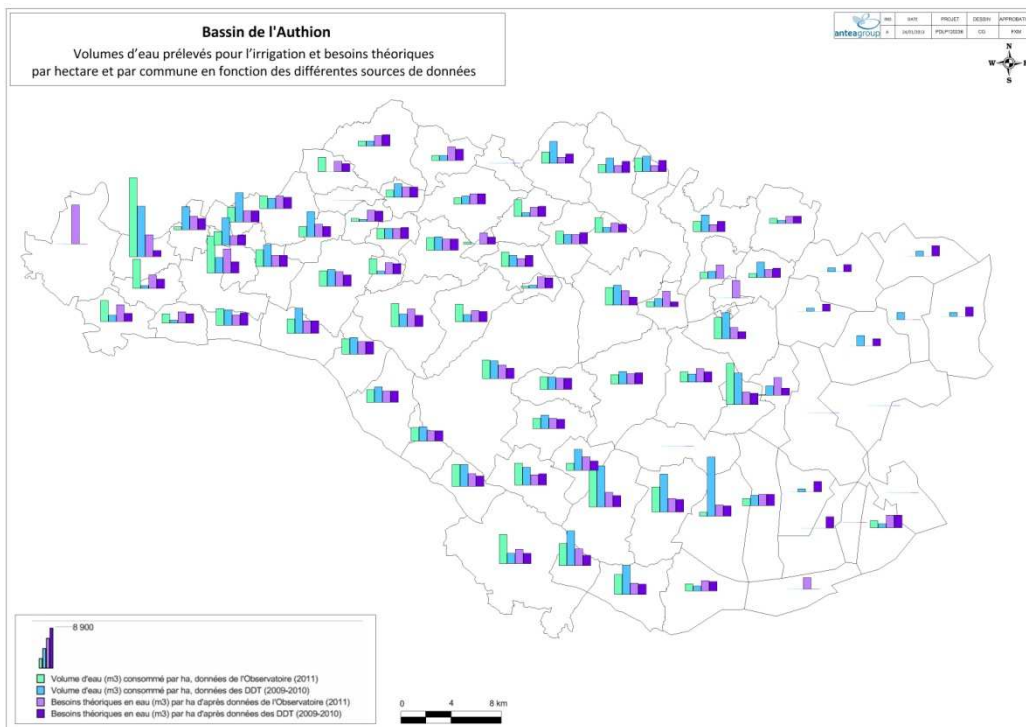


Figure 25 : Volumes d'eau prélevés pour l'irrigation et besoins théoriques (m³) par hectare et par commune sur le bassin-versant de l'Authion

*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 –
Document de travail - Phase 2*

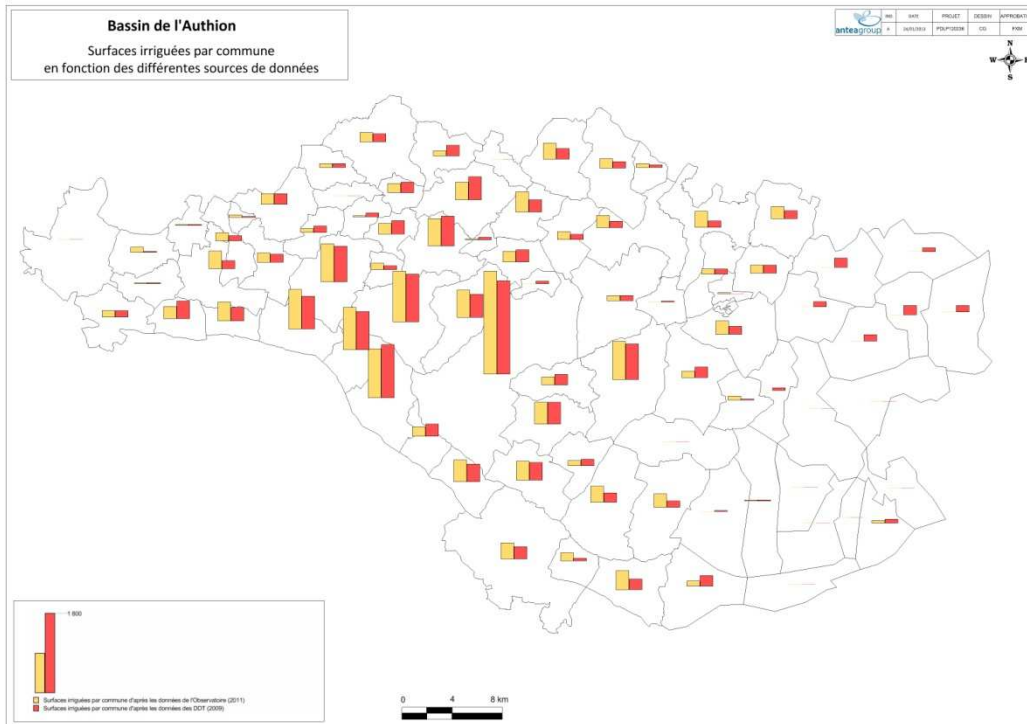


Figure 26 : Surfaces irriguées par communes (années 2009-2010)

5.1.4. Bilan de consommation des usages préleveurs

En attente de la validation des données sur les volumes à usage agricole

5.1.5. 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

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 –
Document de travail - Phase 2

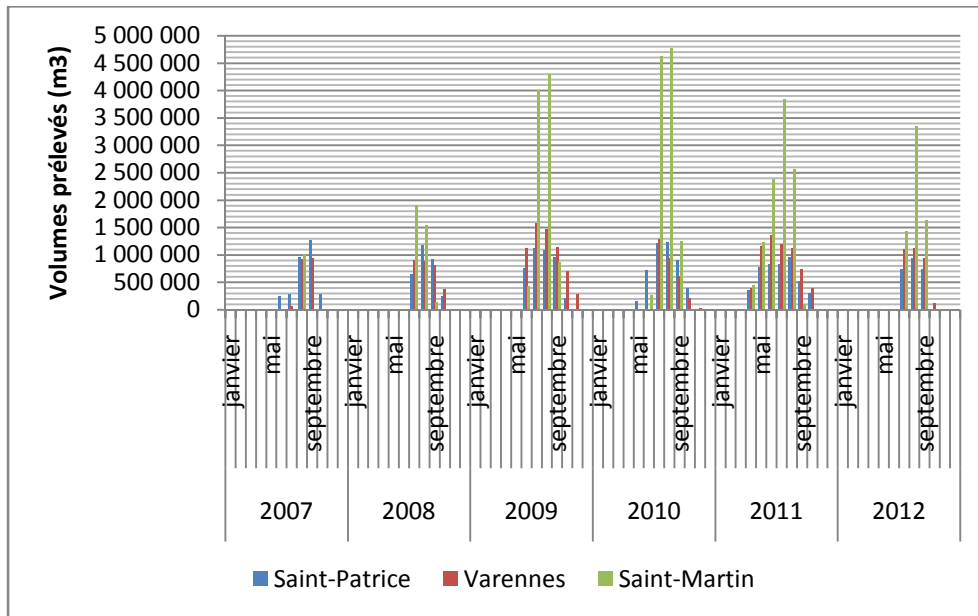


Figure 27 : Volumes prélevés mensuellement dans la Loire aux trois prises d'eau depuis 2007

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 :

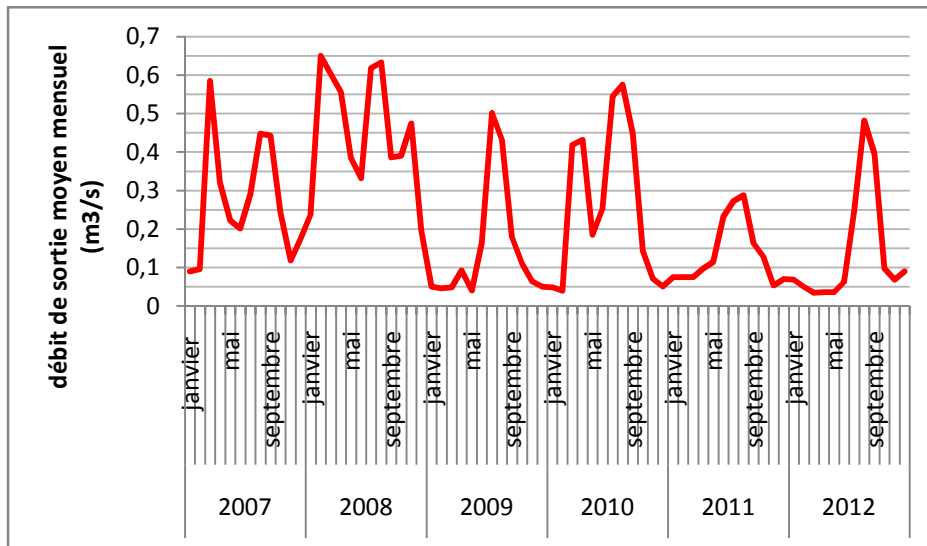


Figure 28 : Débit moyen mensuel en sortie de la retenue de Rillé depuis 2007

*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 –
Document de travail - Phase 2*

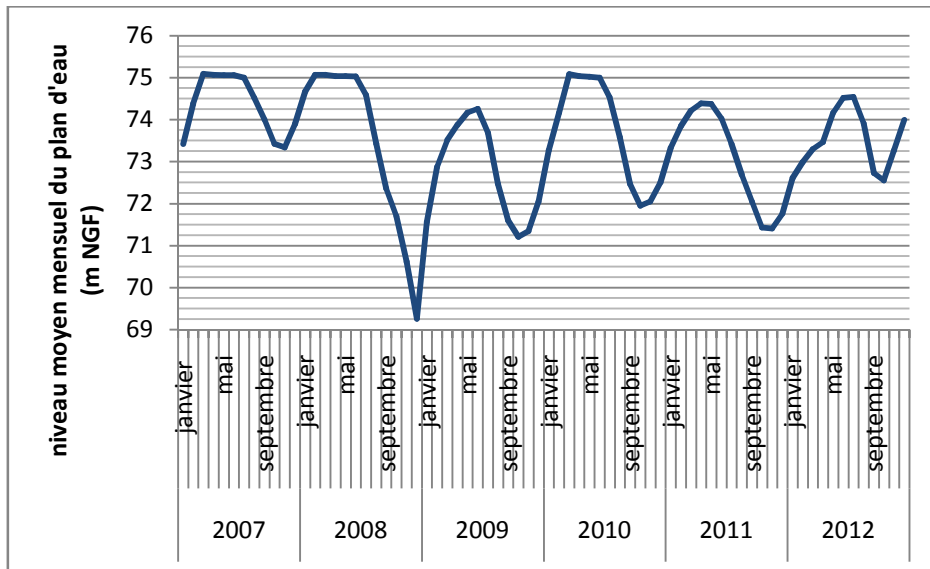


Figure 29 : Niveau moyen du plan d'eau de Rillé depuis 2007

5.2. Bilan des volumes restitués et des transferts d'eau

Les transferts artificiels de volumes d'eau entre masses d'eau concernent :

- les lâchers 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 bilans seront détaillés avec les résultats de la modélisation en régime transitoire dans le rapport phase 2 version définitive.

5.3. Analyse des impacts des prélèvements

L'impact des prélèvements sera développé dans le rapport phase 2 version définitive.

Cet impact ne peut être évalué de manière fiable et appliquée aux besoins de cette étude de définir des débits et niveaux d'objectif d'étiage que par une modélisation en régime transitoire. Ces prélèvements, lorsque leur niveau et leur localisation individuelle seront validés, seront injectés dans le modèle suivant une périodicité et une intensité réaliste de la situation actuelle.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

6. Définition provisoire des unités de gestion

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 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 identifiable et assimilables par un large public concerné. Il a pour inconvénient d'imposer unilatéralement des règles et restrictions pour des secteurs qui peuvent présenter des différences de contexte 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'Etat 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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*



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 définissent 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. 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

*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 –
Document de travail - Phase 2*

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 affleurante à flanc de coteaux impose des axes d'écoulements souterrains globalement superposés avec les principaux cours d'eau de l'Authion : Chageon, 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 ré-alimentés 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 évolue proportionnellement au niveau de précipitations efficace 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.

La carte ci-dessous illustre le réseau réalimenté en Val d'Authion et le Lathan aval 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 –
Document de travail - Phase 2*



Figure 30 : 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 sa 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. Il permet ainsi de dégager principalement 3 grandes zone : le cœur du val d'Authion autour de Beaufort en Vallée avec des volumes de prélèvements toutes ressources et usages confondus très importants, une vase zone périphérique à

*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 –
Document de travail - Phase 2*

celle-ci remontant le Val d'Authion, le Lathan aval et quelques autre affluents et enfin une zones à l'est et au nord avec des niveaux de prélèvements plus limités.

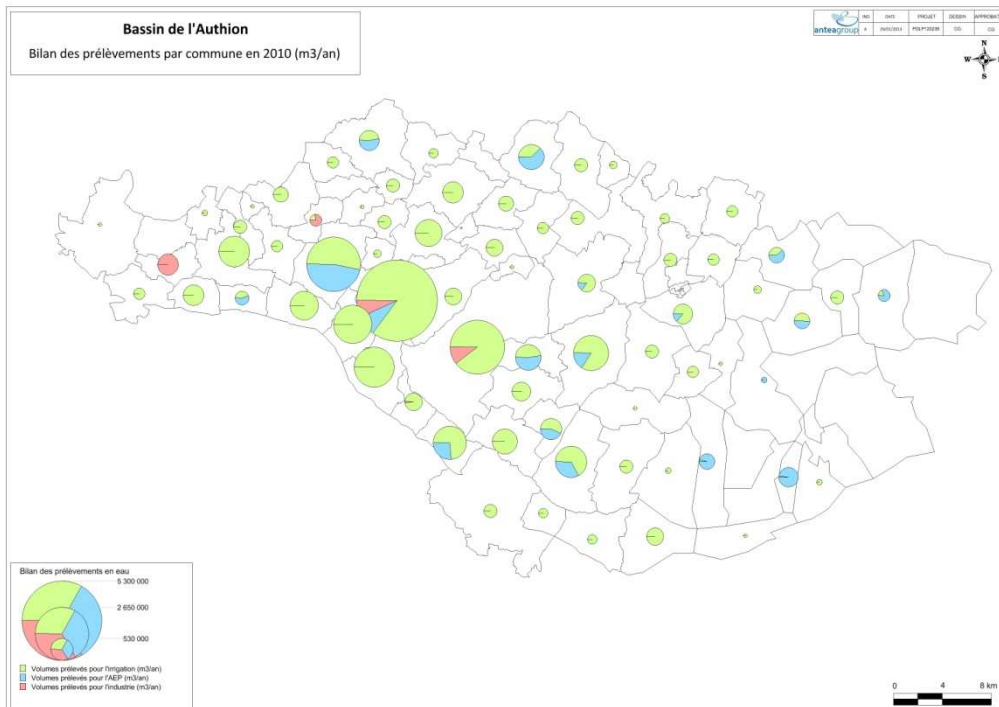


Figure 31 : Répartition par commune des volumes d'eau prélevés tous usages confondus

6.3.3. Par impact des prélèvements

Dans l'attente de validation des données de référence des prélèvements agricoles établissant les impacts notamment estivaux, les découpages selon les impacts des prélèvements ne peuvent être fournis à ce stade de l'étude. Elles feront l'objet d'un développement dans les rapports de phase 2 déficits et phase 3.

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.

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 –
Document de travail - Phase 2

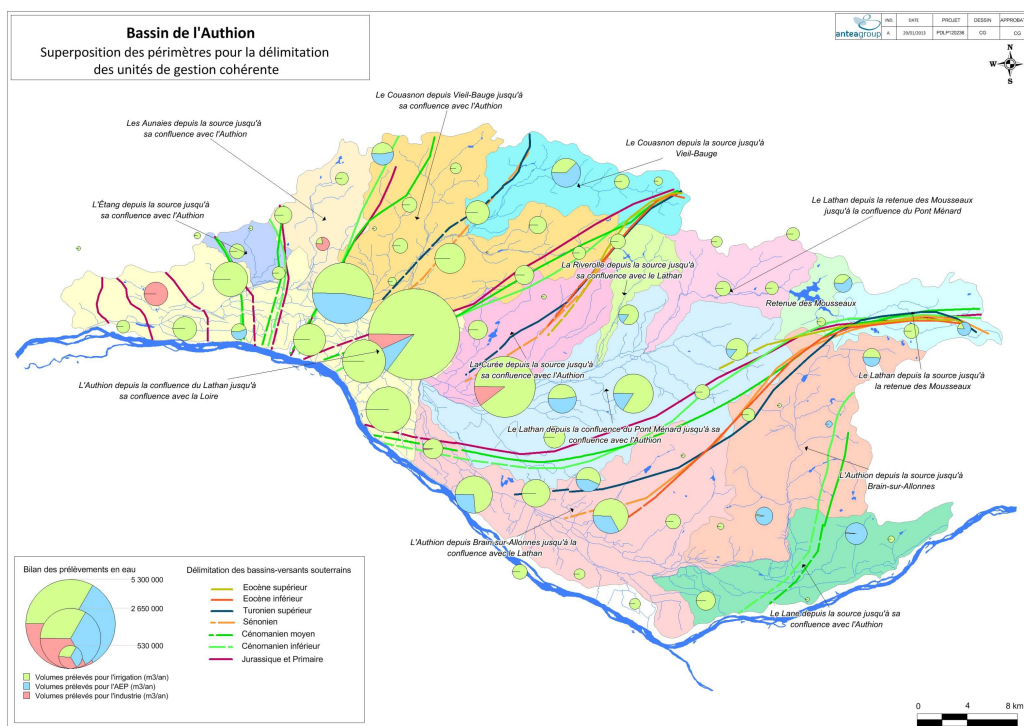


Figure 32 : Superposition des découpages d'unités par masses d'eau avec la répartition des usages :

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.

*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 –
Document de travail - Phase 2*

6.4. Proposition provisoire 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 des 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.

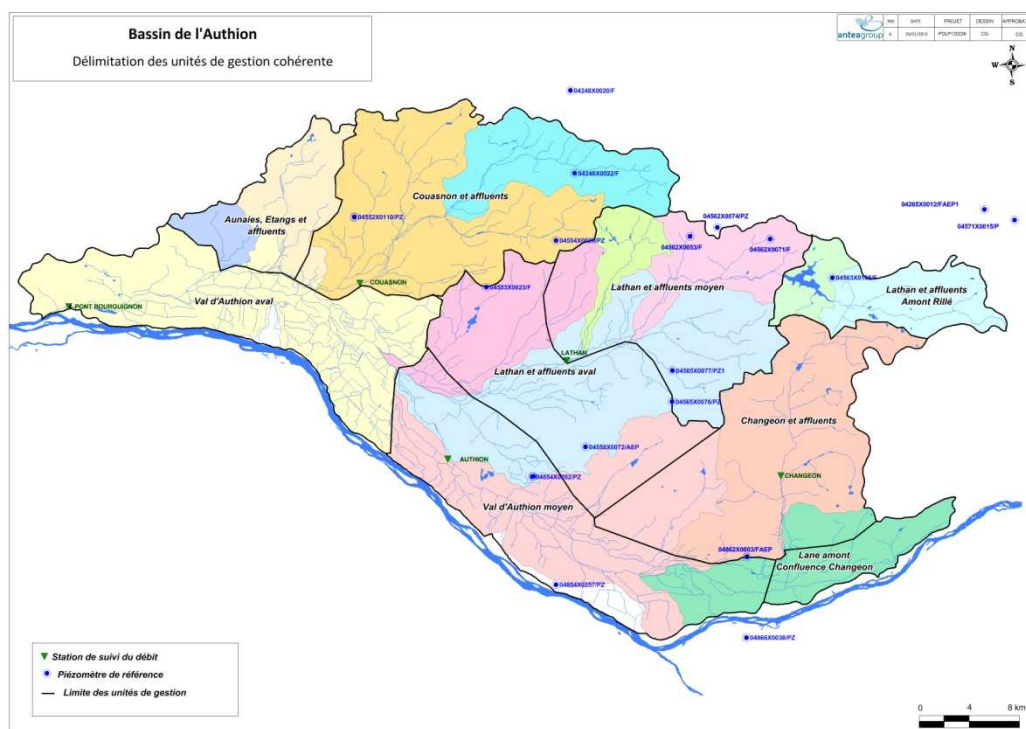


Figure 33 : Délimitation provisoire des unités de gestion cohérente



Cette proposition d'unités de gestion est une base de travail provisoire car elle n'intègre pas les impacts des prélèvements qui ne sont vus ici que par des volumes globaux non affectés aux ressources. Ce découpage est soumis à réflexion du comité technique et susceptible d'évoluer avec le calage du modèle 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 –
Document de travail - Phase 2*

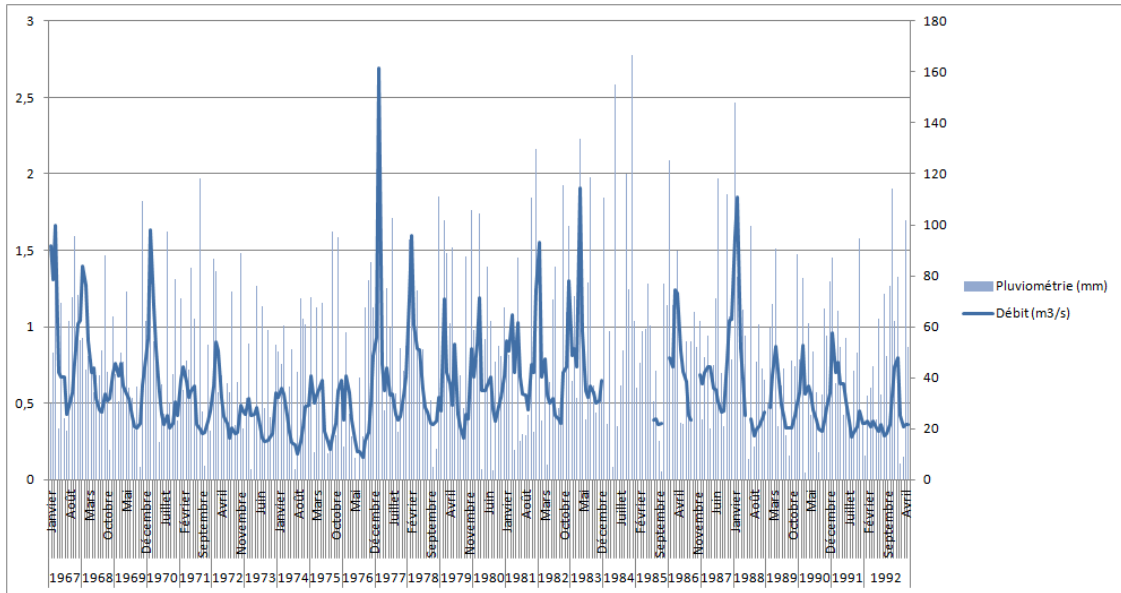
Observations sur l'utilisation du rapport

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.

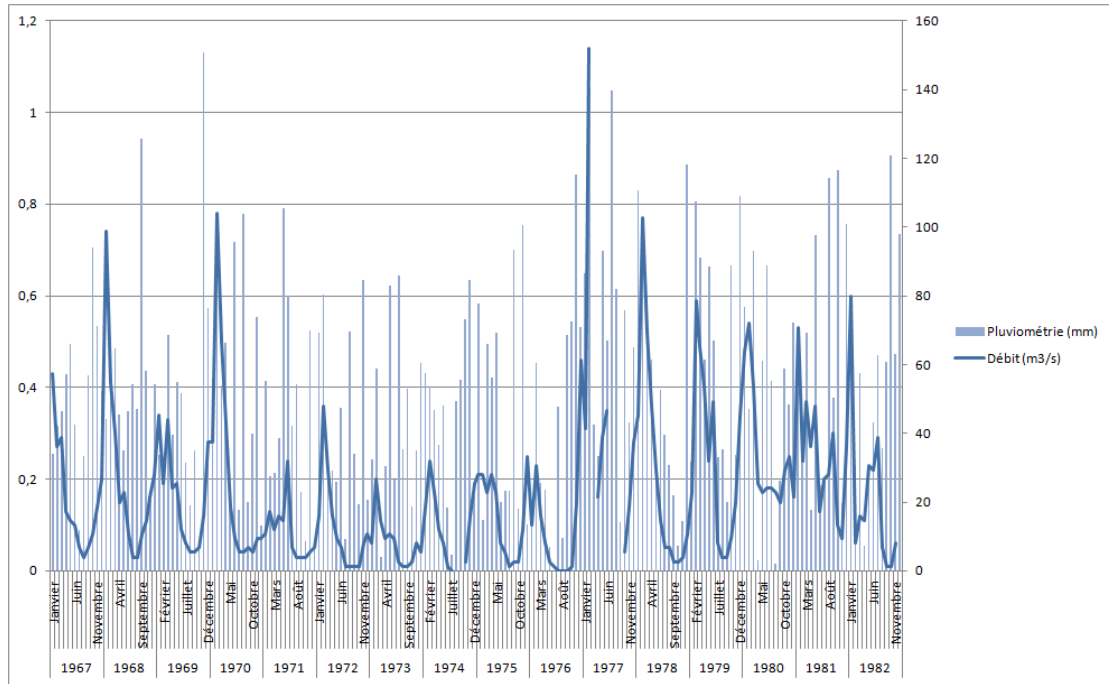
Annexe 1 : Graphiques des débits mesurés au niveau des stations de référence

(12 pages)

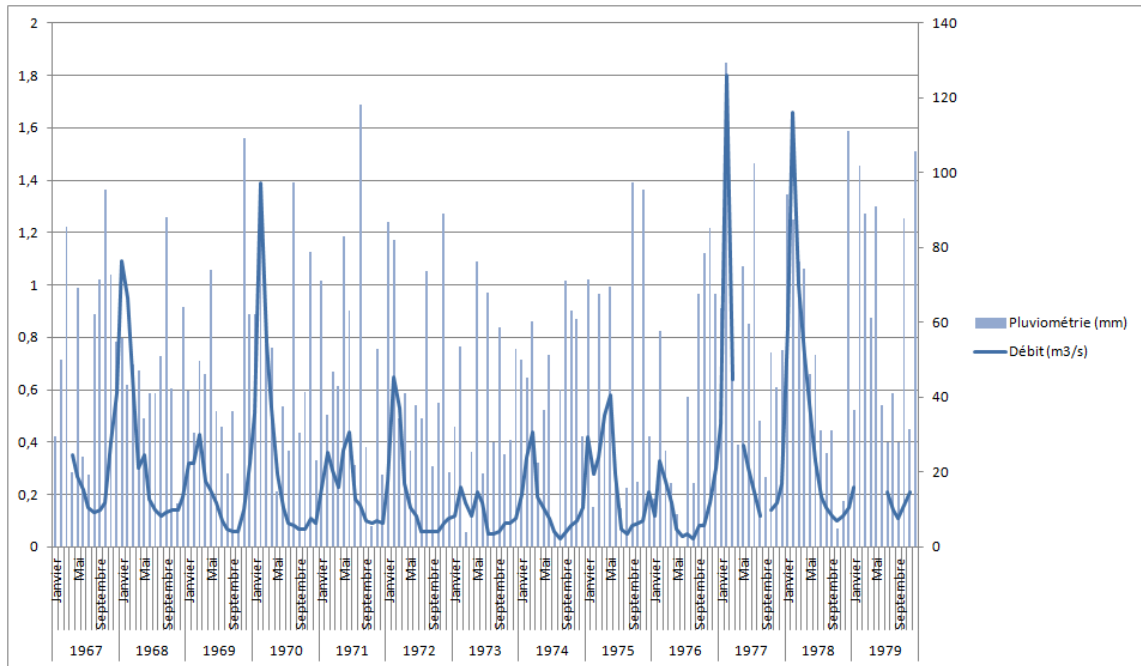
Débit du Changeon à Benais (station L9004010)



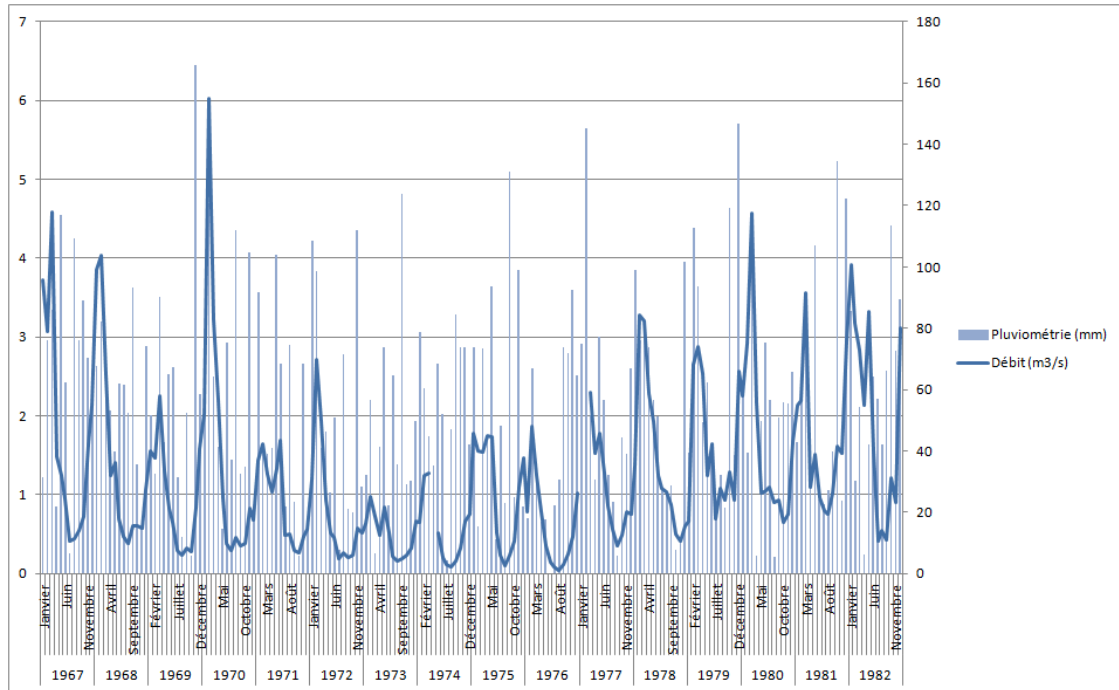
Débit du Lane à Saint-Patrice (station L9006210)



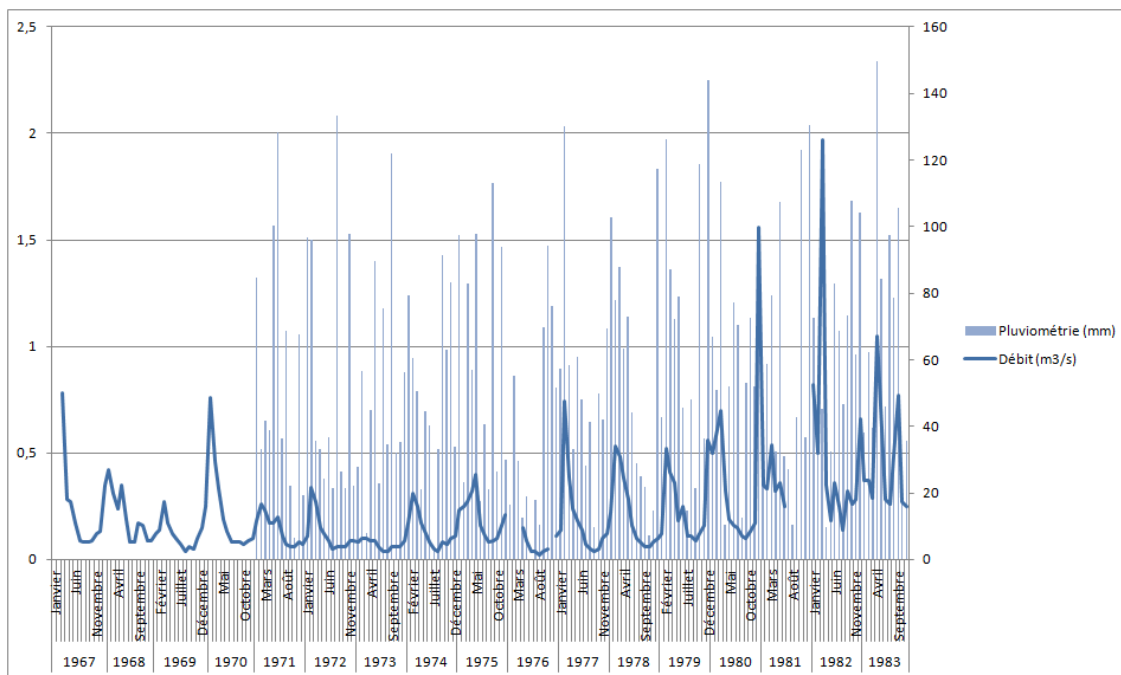
Débit du Lathan à Rillé (station L9113010)



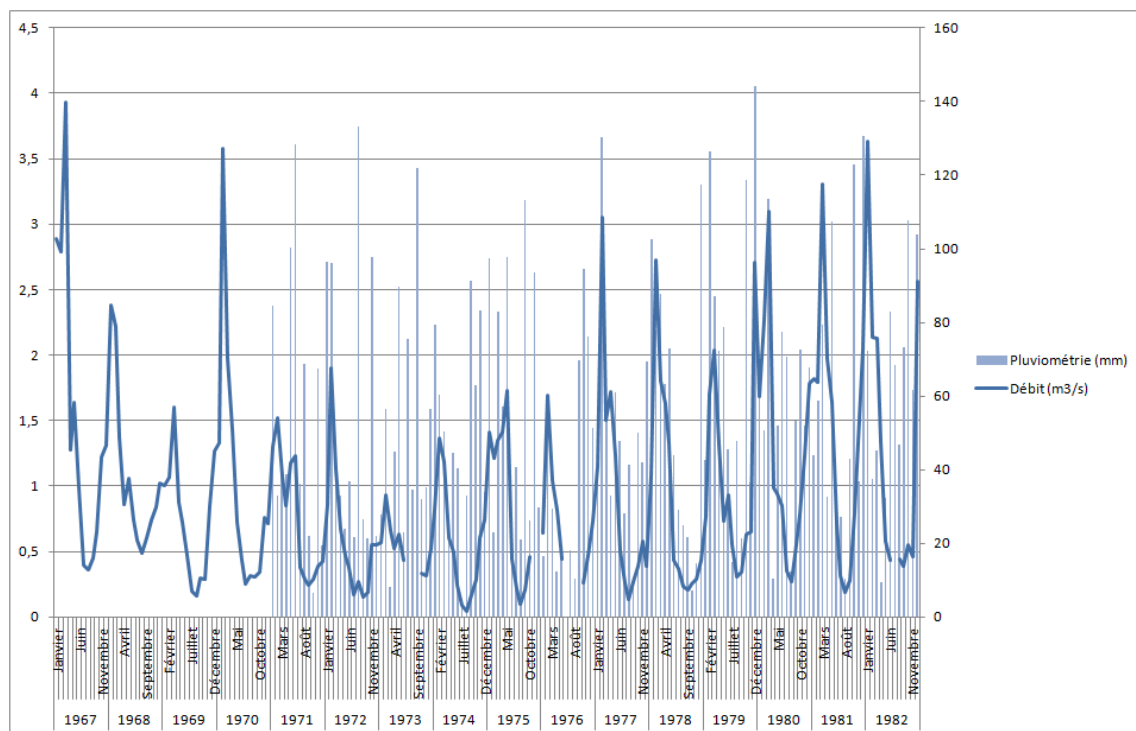
Débit du Lathan à Vernantes (station L9113020)



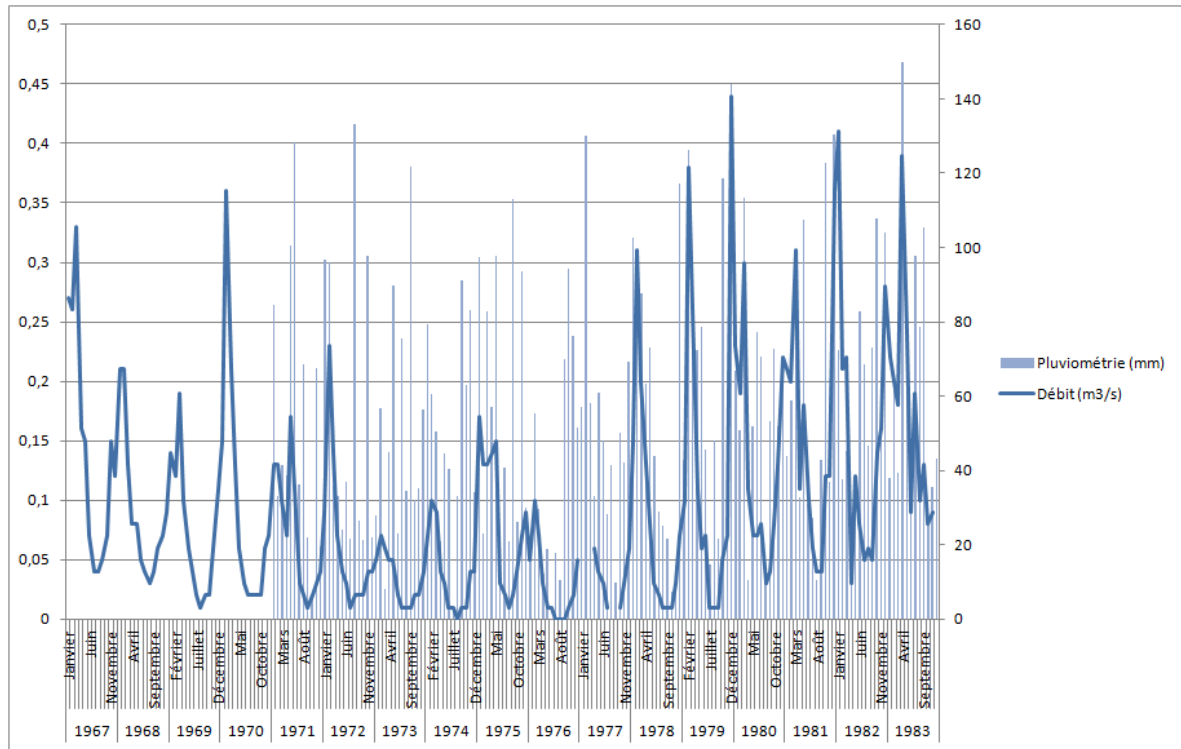
Débit du Couasnon à Pontigné (station L9203010)



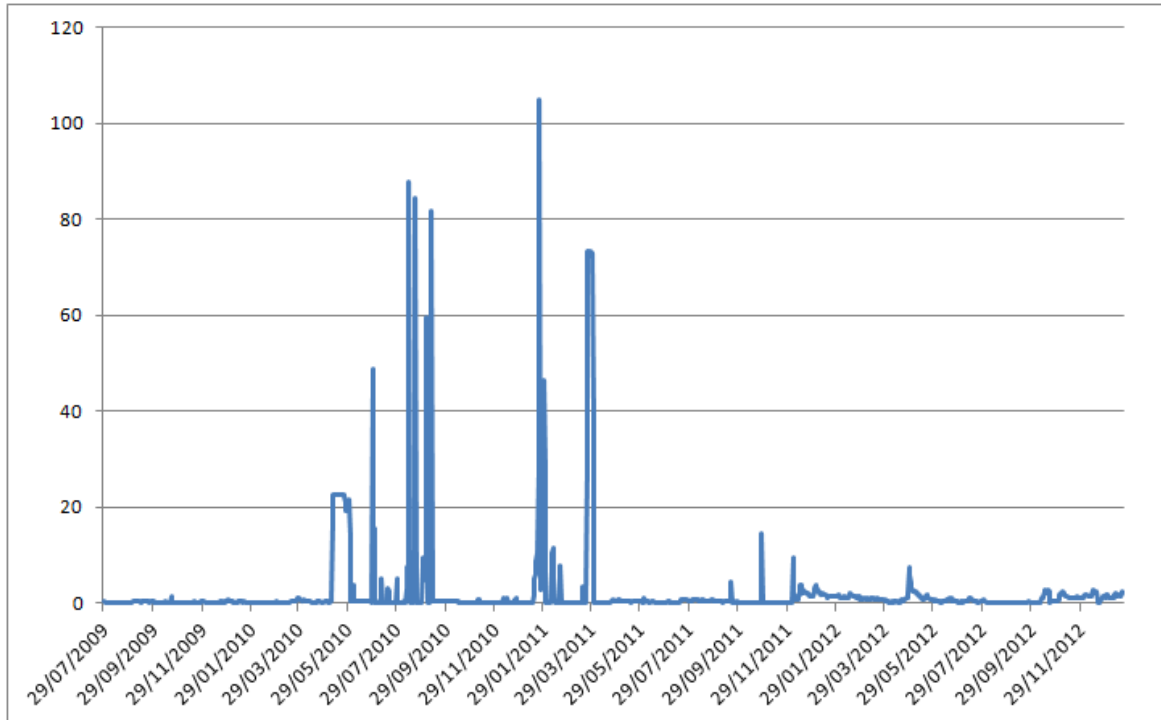
Débit du Couason à Gée (station L9213010)



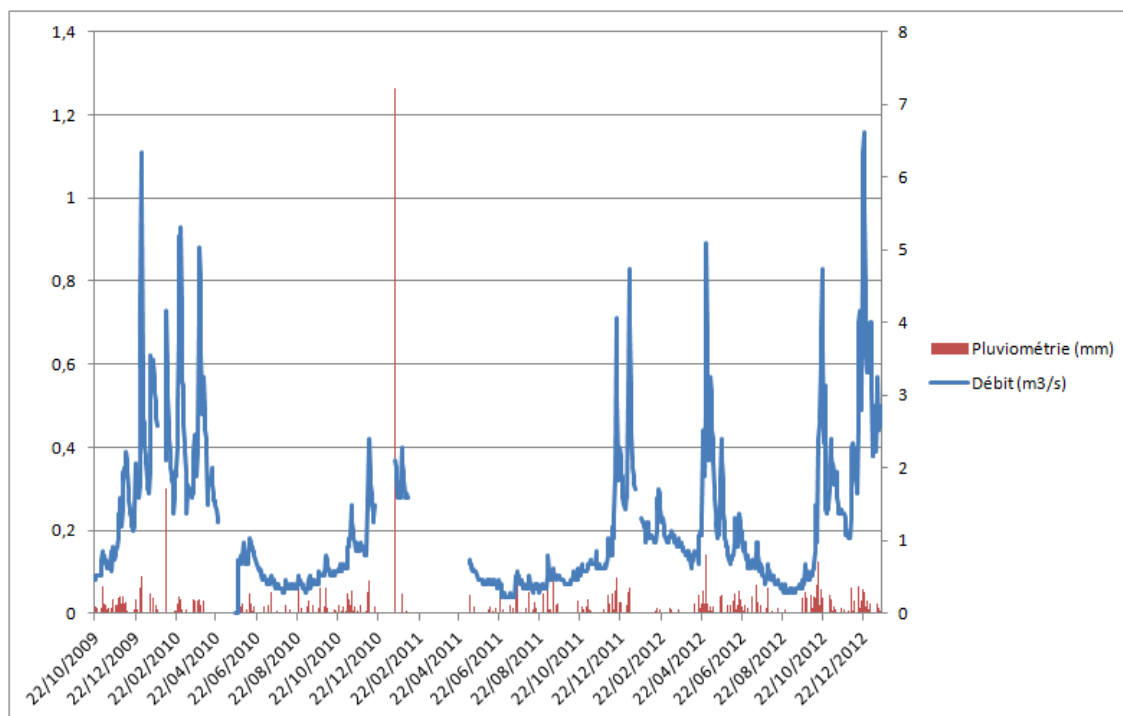
Débit du Tarray à Mazé (station L9214510)



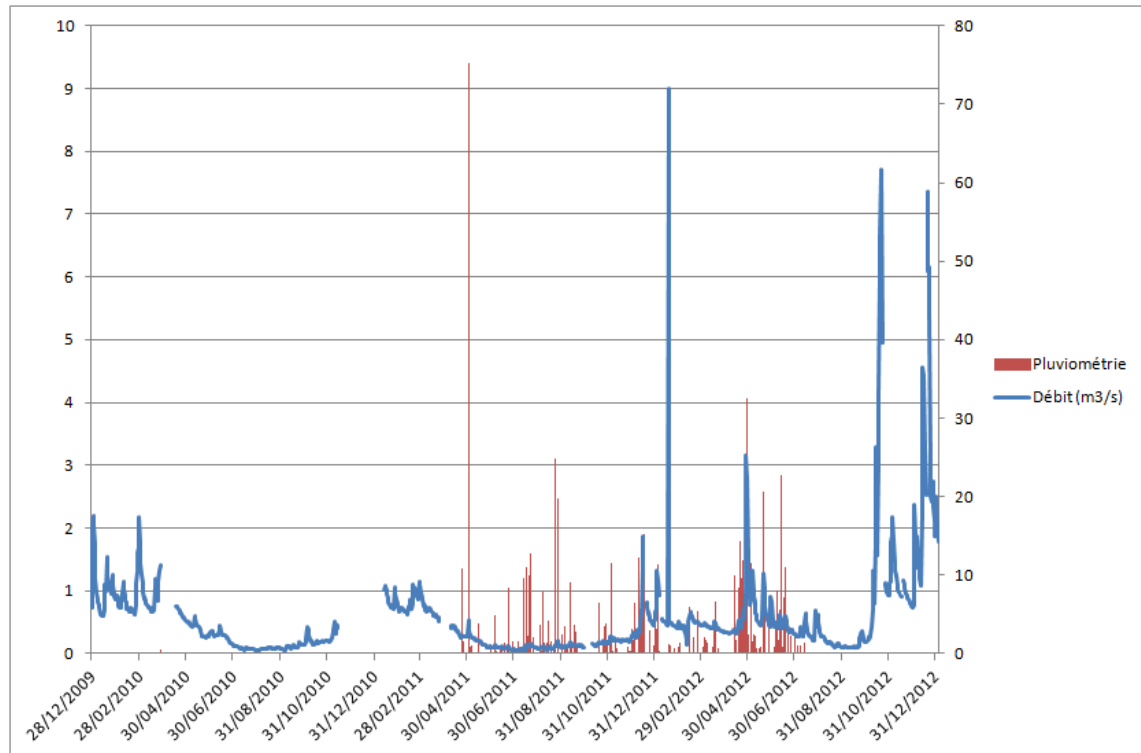
Débit de l'Authion au Gué de Fresne



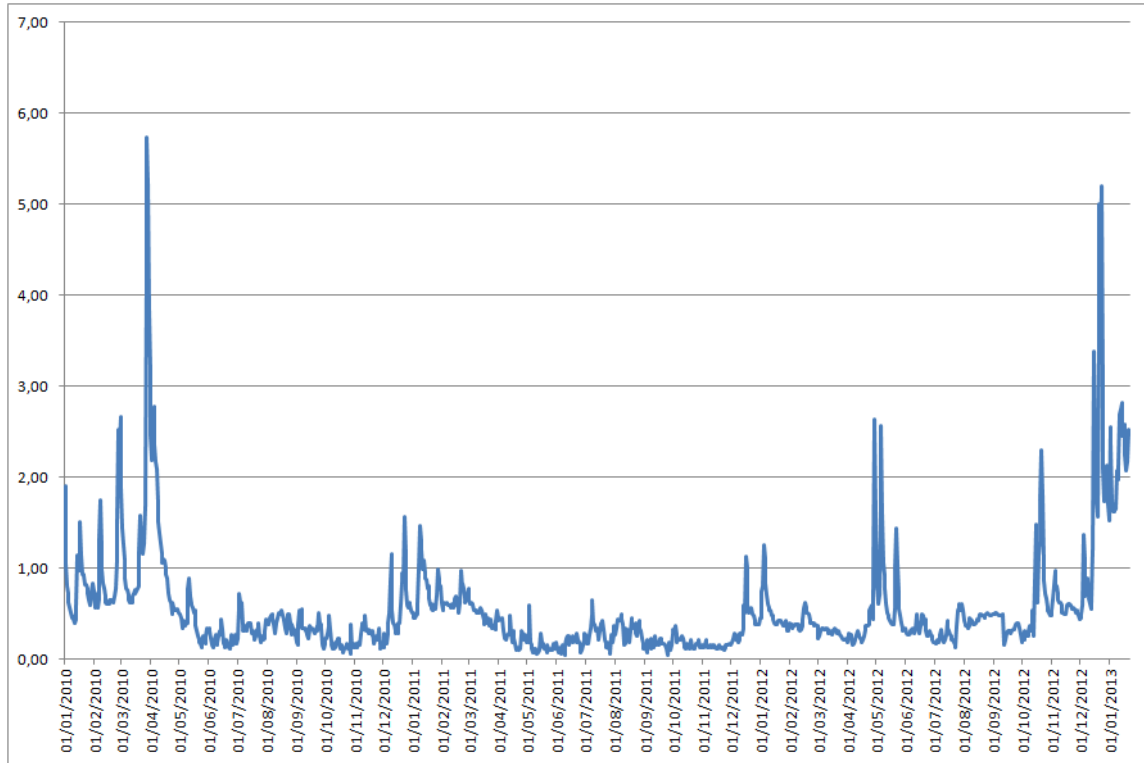
Débit du Changeon à Moulin Foulon



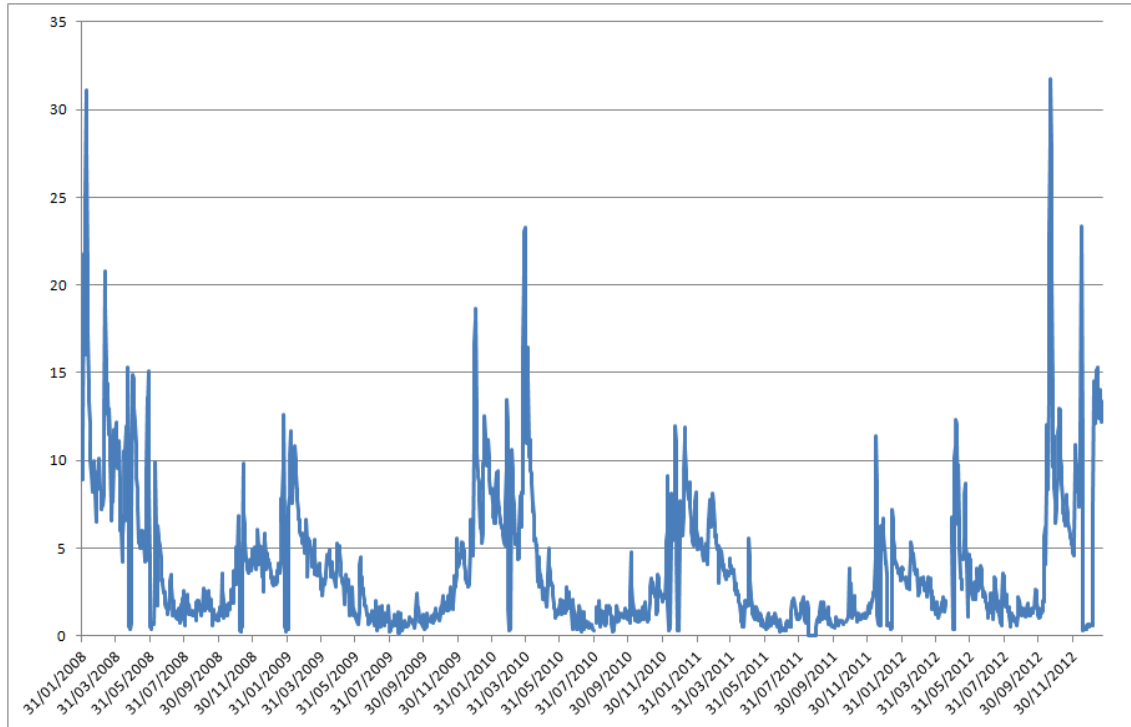
Débit du Couason à Gée



Débit du Lathan au Moulin Guet



Débit de l'Authion au Pont Bourguignon



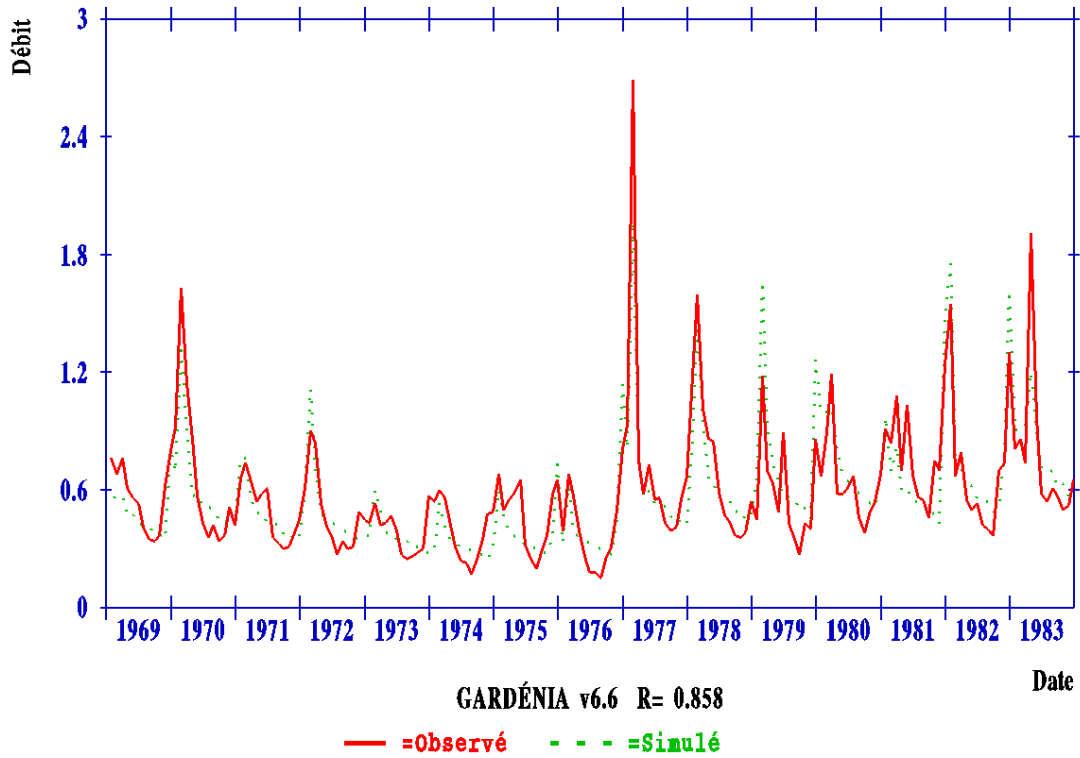
Annexe 2 : Débits observés et simulés par GARDENIA

(6 pages)

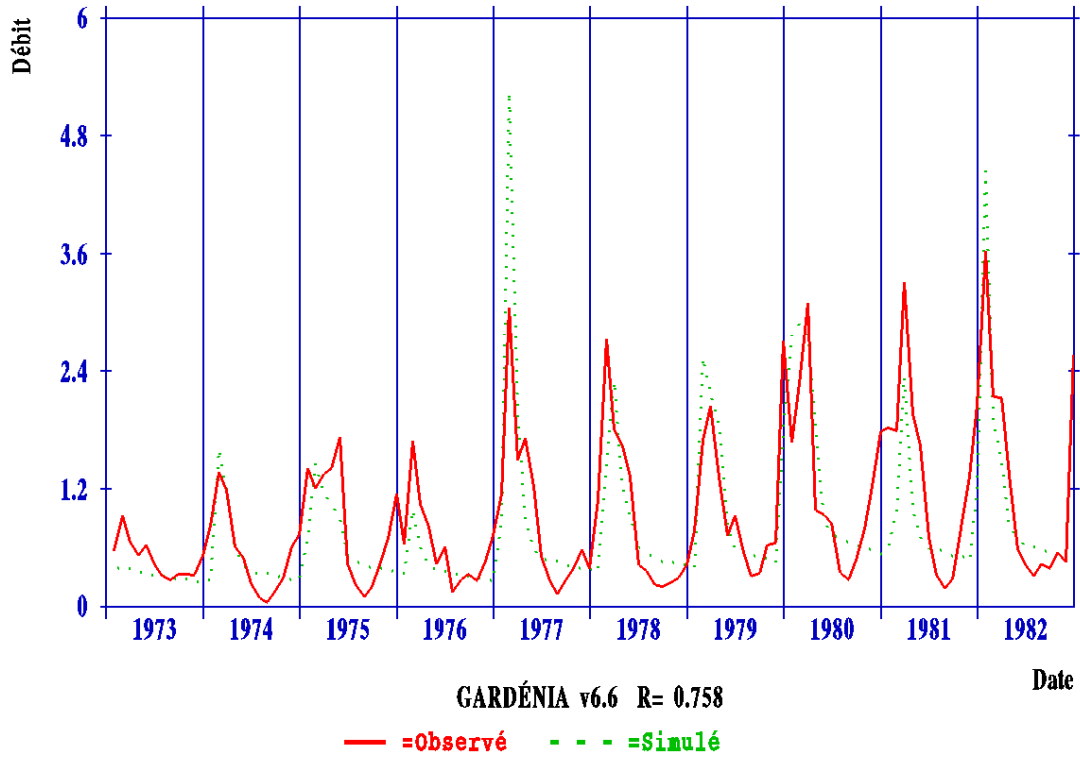
Annexe 2-1 : Calages pluie-débit

(4 pages)

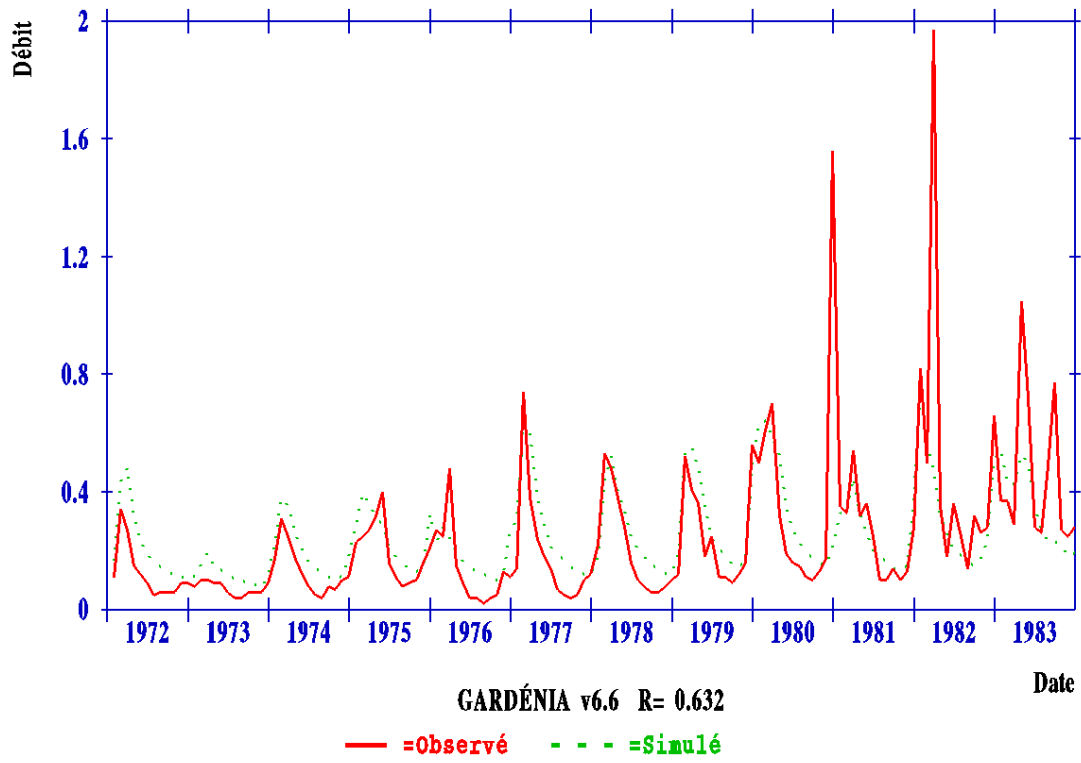
Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Changeon_Benais



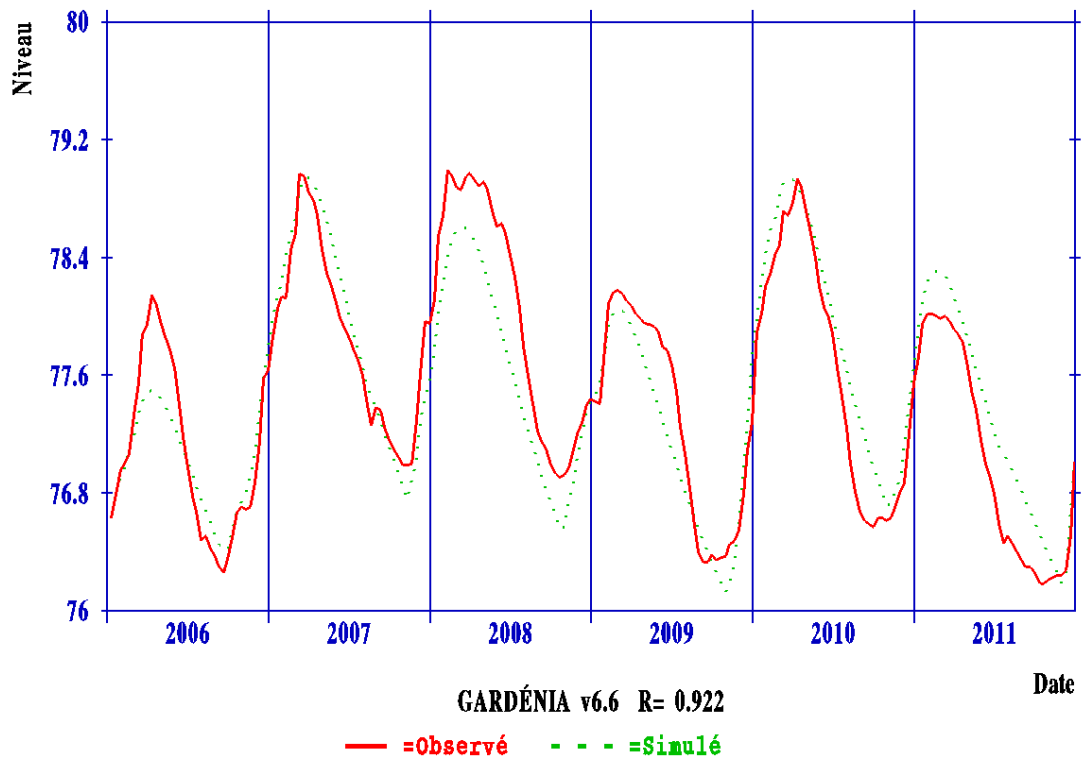
Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Couasnon_Gee



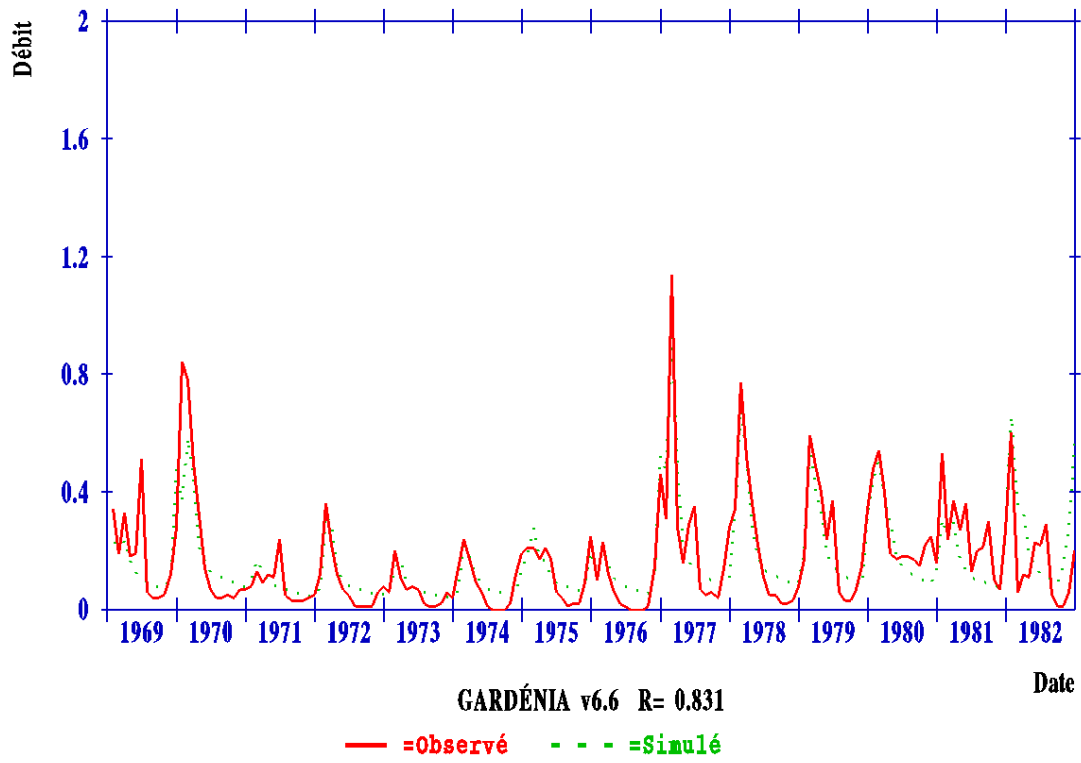
Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Couasnon_Pontigne



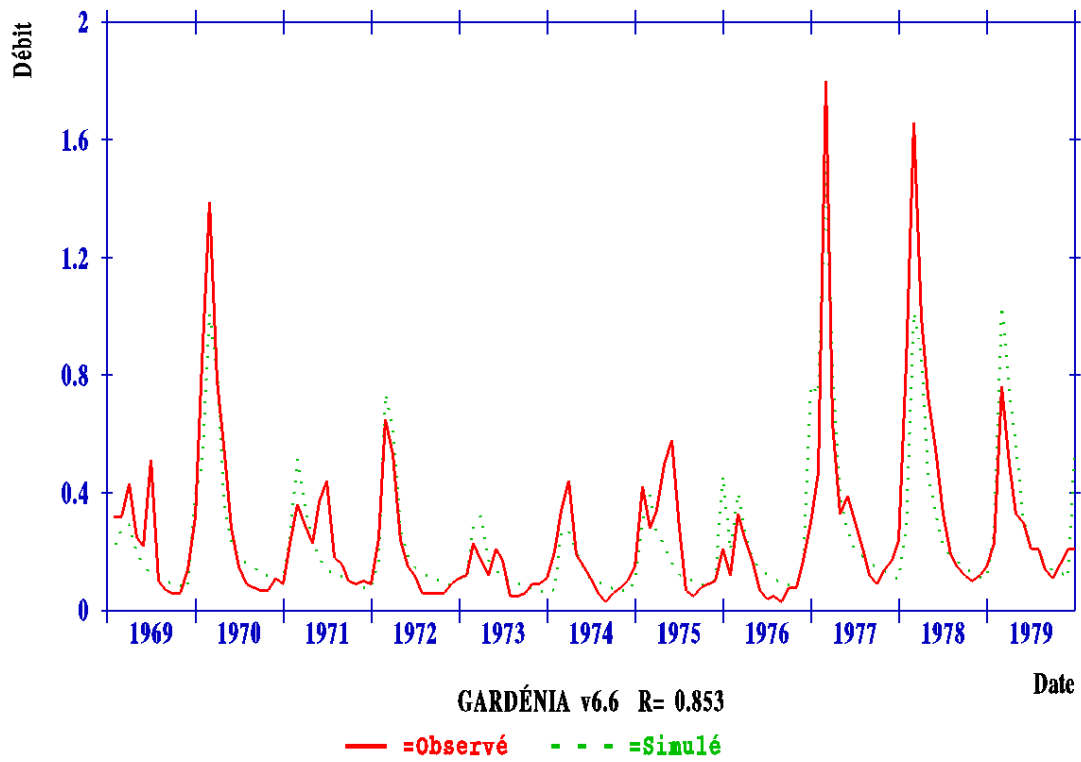
Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Channay-Lathan_Lessay



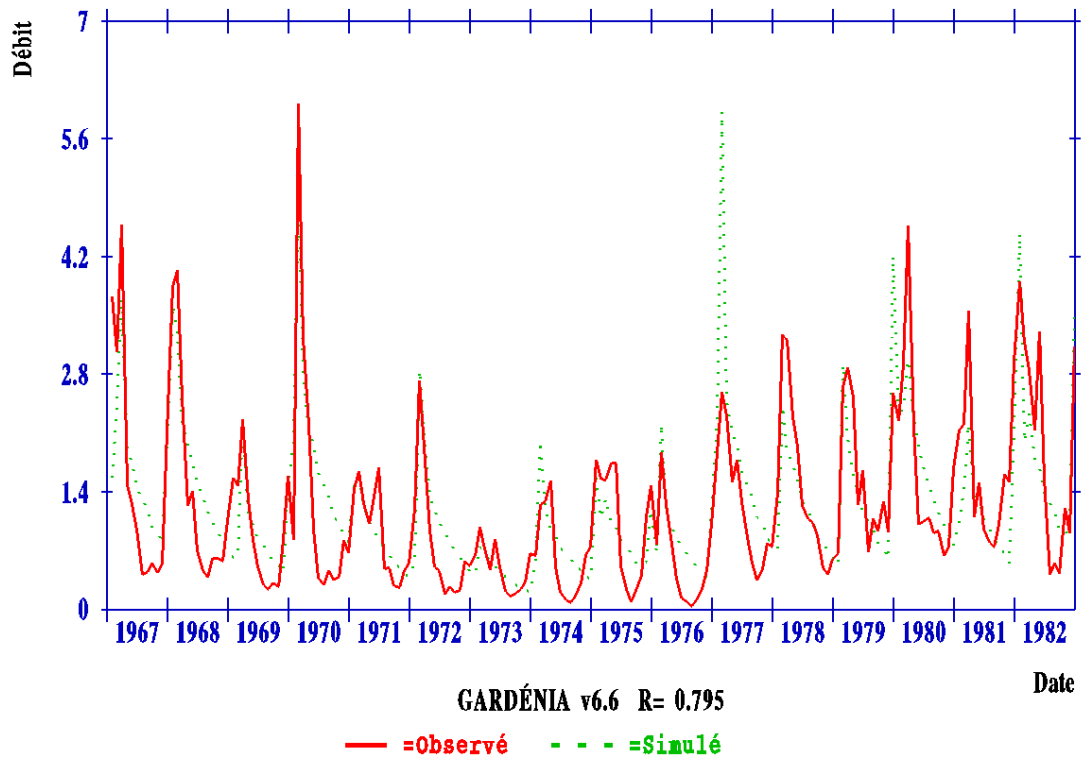
Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Lane_StPatrice



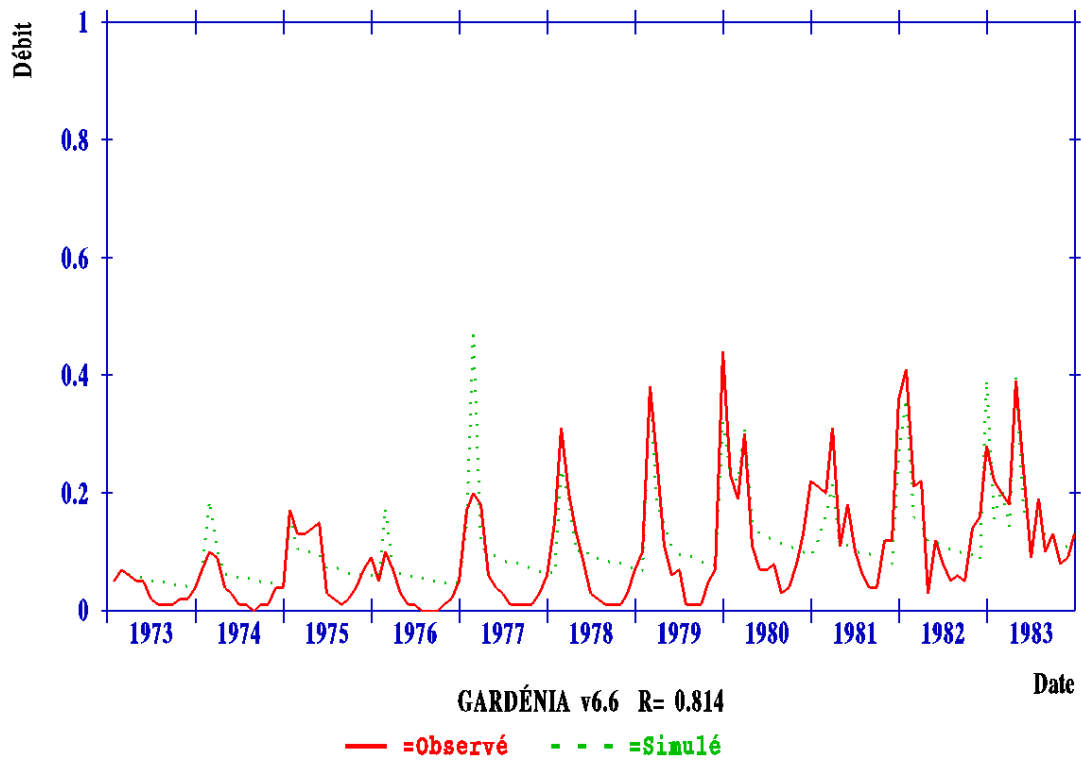
Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Lathan_Rille



Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Lathan_Vernantes



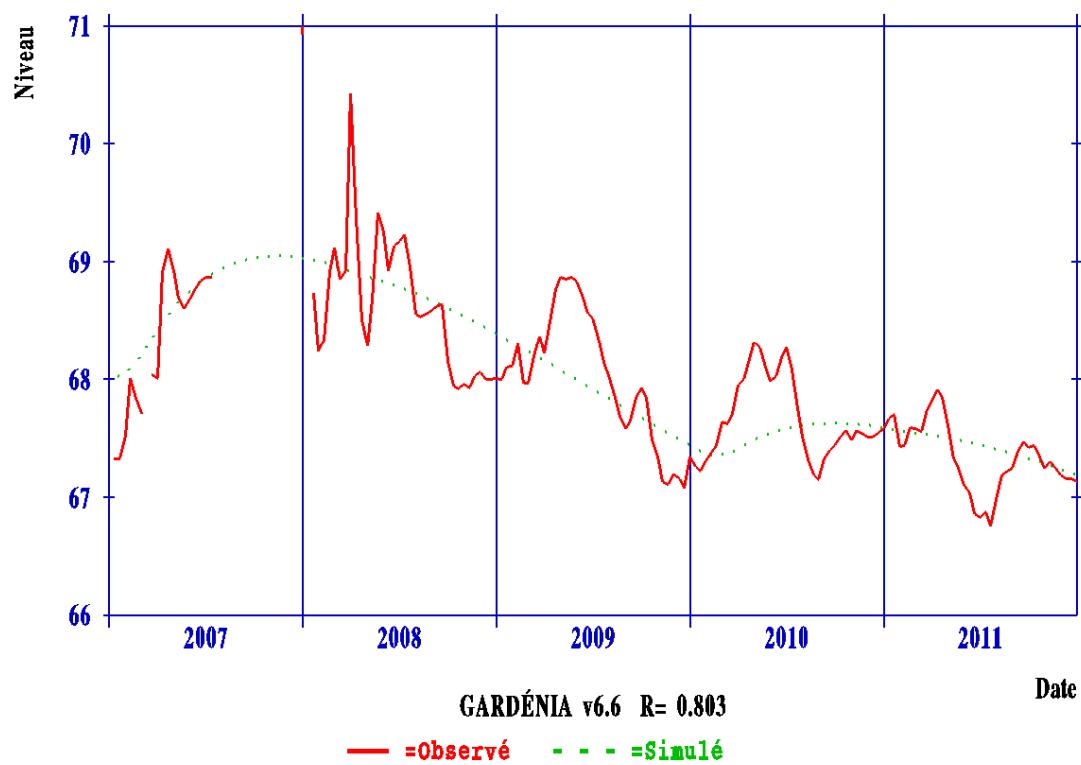
Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Taray_Maze



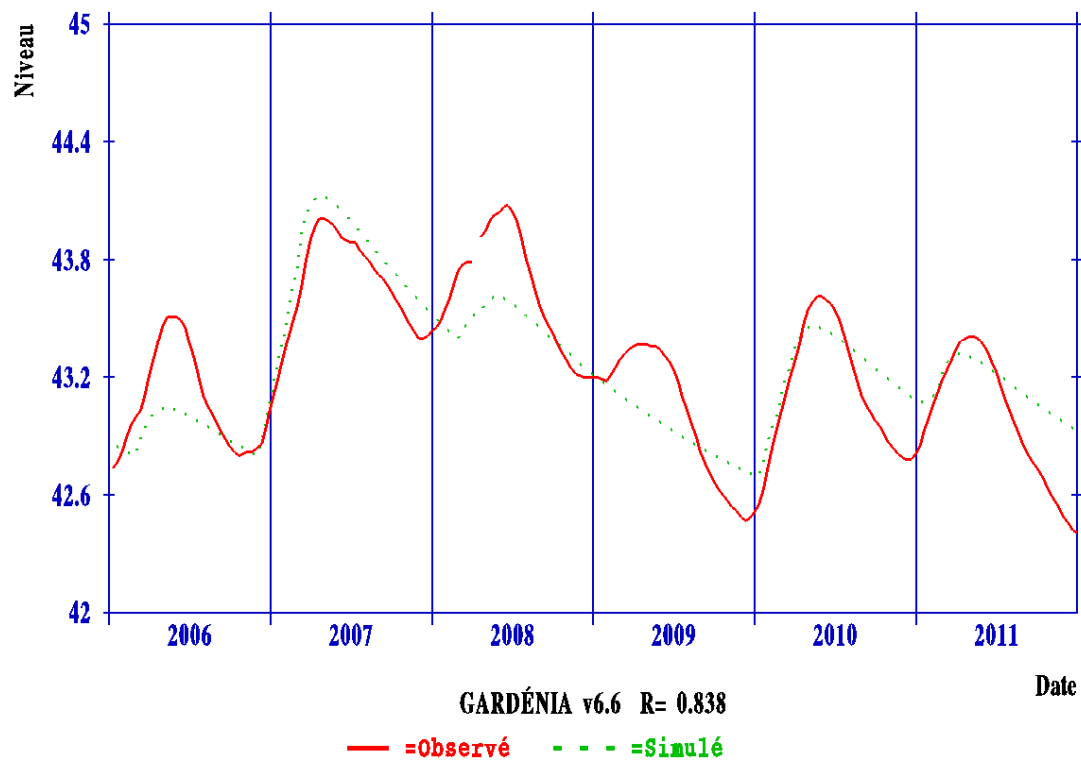
Annexe 2-2 : Calages pluie – niveau piézométrique

(2 pages)

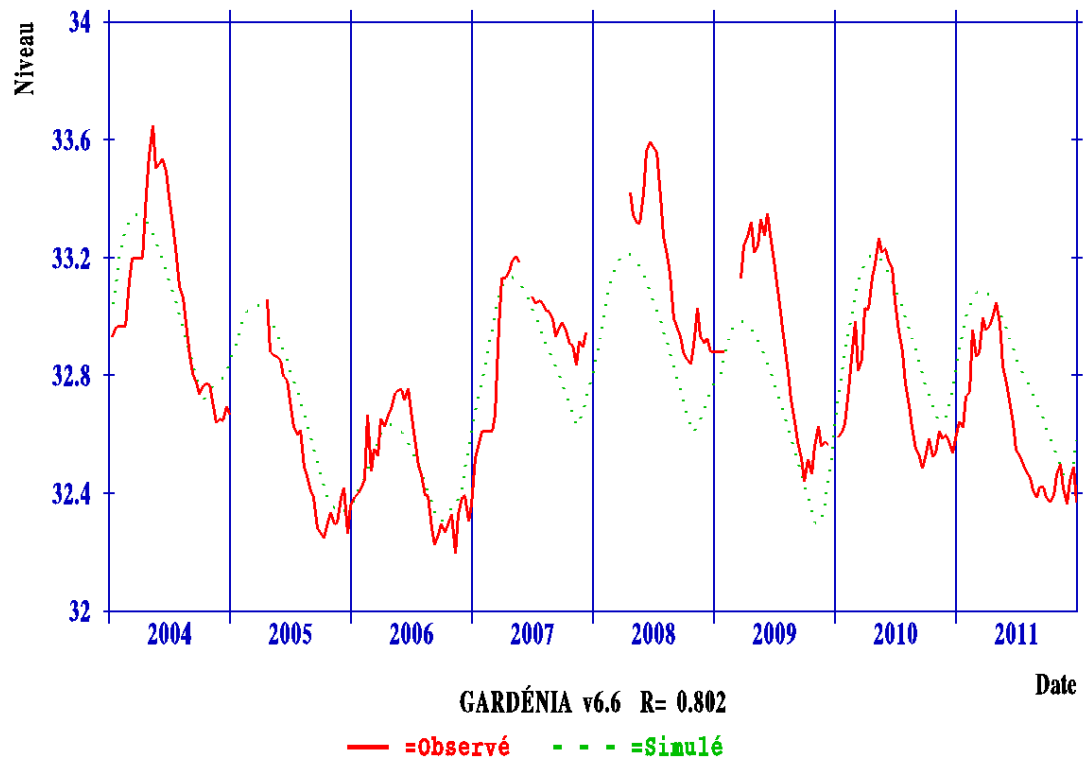
Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Pontigné



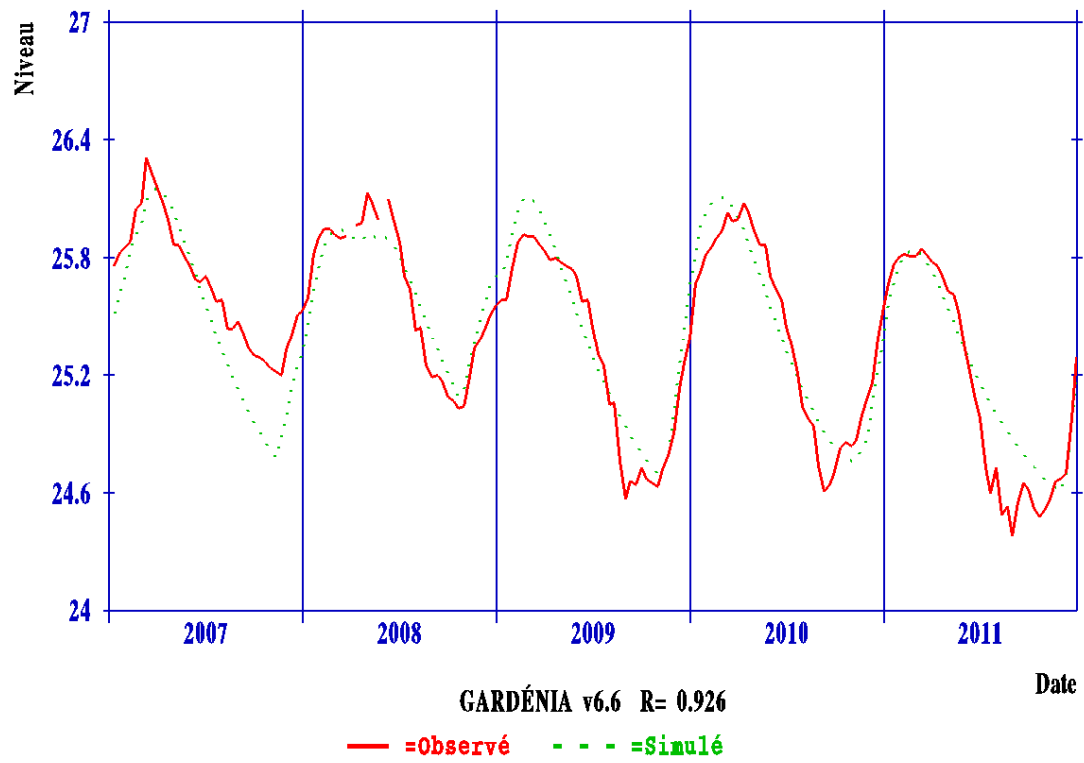
Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Brion



Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Noyant



Logiciel GARDÉNIA v6.6 : Villebernier



Annexe 3 : Rapport sur la détermination des DMB

(6 pages)

**Annexe 4 : Evaluation de la compatibilité des
aménagementés proposés avec la réglementation en vigueur
et les peuplements piscicoles du Couasnon**

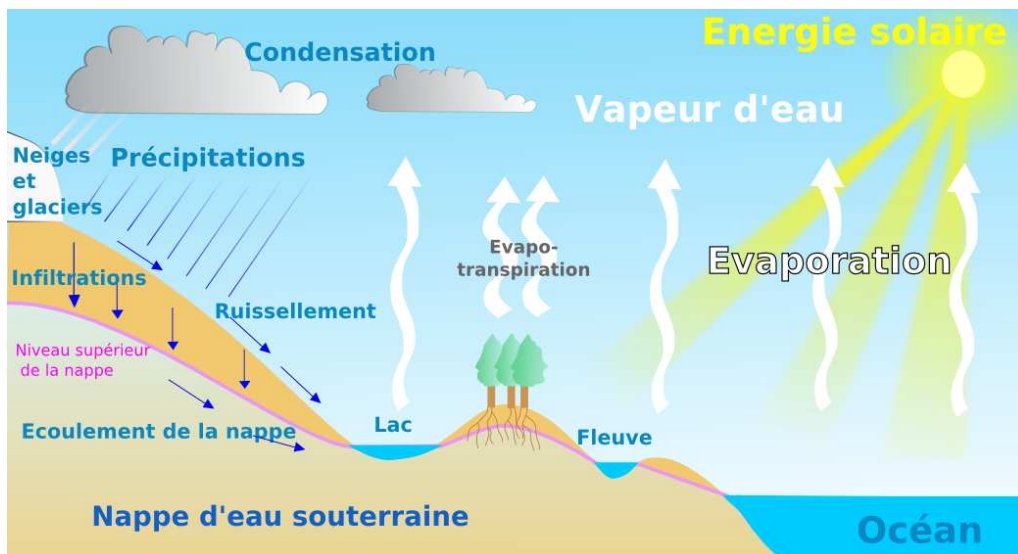
(16 pages)

Annexe 5 : Notions fondamentales d'hydrogéologie

(6 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

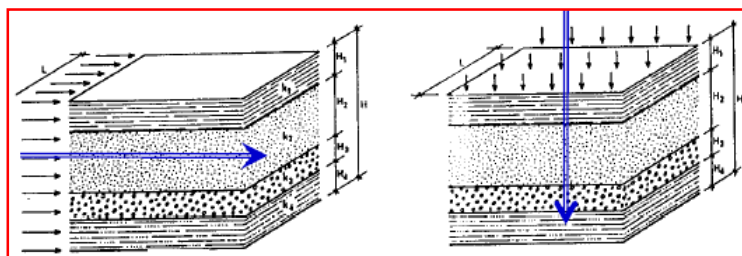
L'hydrogéologie, science qui étudie les eaux souterraines, distingue clairement les notions de contenant et de contenu. Ainsi l'aquifère (littéralement qui porte l'eau) est la roche dont les propriétés physiques la rendent susceptible de contenir et laisser circuler l'eau tandis qu'une nappe est l'eau 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.



Le tableau ci-dessous indique les limites conventionnelles⁸ de perméabilité pour considérer une formation comme aquifère, aquitard⁹ ou aquiclude¹⁰. 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	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁹	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10	
granulométrie homogène				argile	silts		sable très fin		sable pur		gravier pur			
granulométrie variée				sable et argile-limons			gravier et sable			gravier gros et moyen				
degrés de perméabilité				mauvaise			bonne		très bonne					
types de formations				semi-perméables			perméables							
				Aquitards			Aquifères							
				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	1,0.10 ⁻⁴
2 – Alluvions anciennes	3,0.10 ⁻³
3 – Faluns miocènes	1,0.10 ⁻⁵
4 – Calcaires de l’Eocène supérieur	4,0.10 ⁻⁴
5 – Argiles sableuses de l’Eocène inférieur	5,0.10 ⁻⁵
6 – Sables argileux du Sénonien	2,0.10 ⁻⁴
7 – Tuffeau sableux du Turonien supérieur	4,0.10 ⁻⁴
8 – Tuffeau crayeux du Turonien inférieur	1,0.10 ⁻⁵
9 – Marnes sableuses du Cénomanien supérieur	1,0.10 ⁻⁷
10 – Sables glauconieux du Cénomanien moyen	2,0.10 ⁻⁴
11 – Sables et graviers du Cénomanien inférieur	1,0.10 ⁻³
12 – Substratum marno-calcaire jurassique ou socle armoricain primaire	1,0.10 ⁻⁹

On peut ainsi constater que seules les alluvions de la Loire et les sables et graviers de base du Cénomanien peuvent théoriquement être qualifiées de formations aquifères. D’autres formations comme les sables glauconieux du Cénomanien moyen, le tuffeau turonien, les faluns miocènes ou les

⁸ D’après Castany, 1982

⁹ Couche géologique semi-perméable contenant une quantité d’eau non négligeable assez peu mobilisable

¹⁰ couche géologique très peu perméable à l’eau contenant une faible quantité d’eau et très peu mobilisable

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

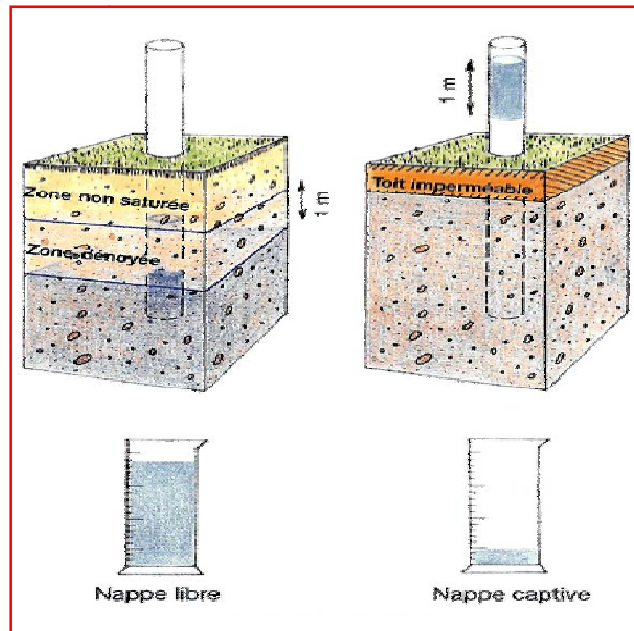
Pour une nappe libre, le coefficient d'emmagasinement est assimilable à **la porosité dite « efficace »** ou cinématique $S = S_w = \text{Volume eau gravitaire} / \text{Volume milieu poreux}$.

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.



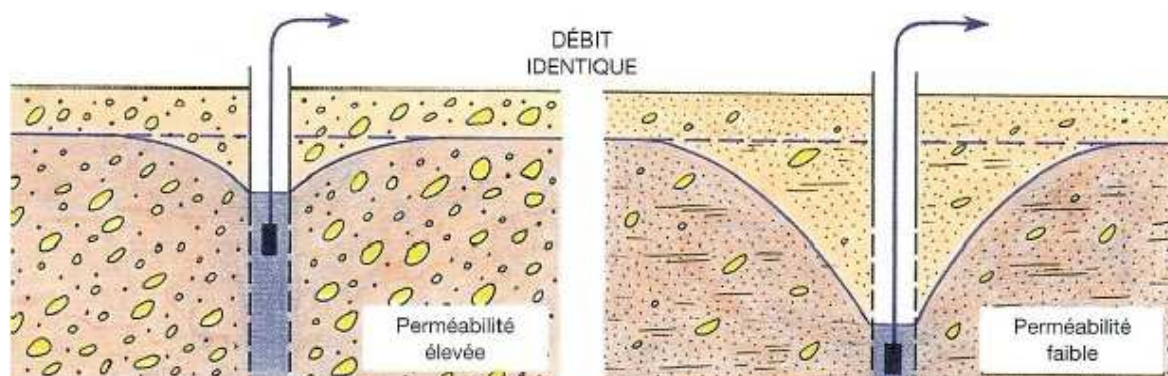
Notion de débits et rabattement de nappe

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 :

$$Q \text{ (m}^3\text{/s ou m}^3\text{/h)} = K S i \text{ avec } K : \text{conductivité hydraulique, } s : \text{section d'aquifère saturé, } i : \text{gradient hydraulique}$$

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.

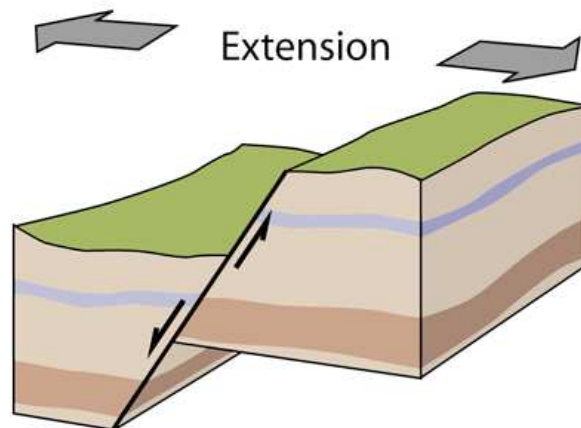


Nb : il est à noter que pour une même perméabilité intrinsèque d'un terrain aquifère et à même débit, un pompage en nappe captive occasionne un rabattement beaucoup plus important qu'un pompage en nappe libre. Cela tient à l'écart entre porosité libre >> emmagasinement captif et peut se lire sur les 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.

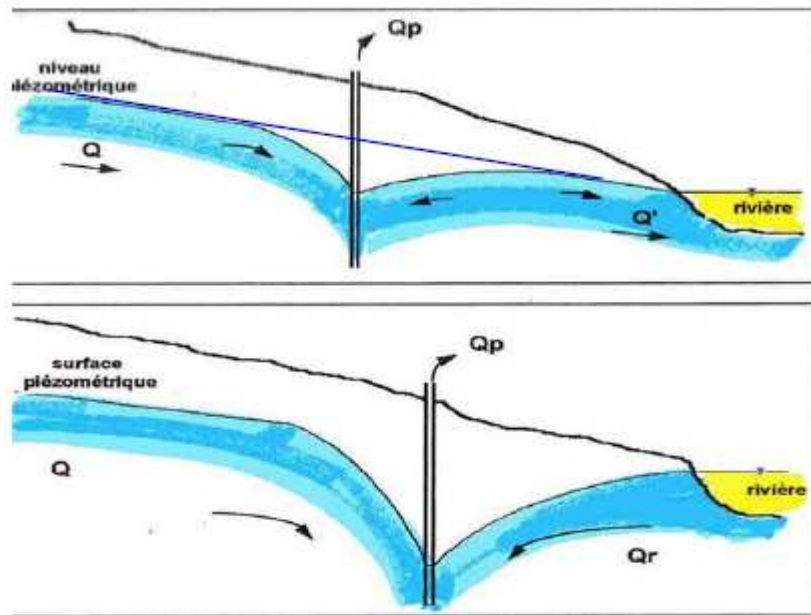
Il en résulte que les couches géologiques peuvent présenter des réductions d'épaisseur, des limites d'extension (par affleurement, par failles décalant les couches) qui sont autant de perturbations potentielles des écoulements souterrains voire des limites étanches.



Faille 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.

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'autre 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)

**Annexe 6 : Présentation du logiciel MARTHE 7.3
éditée par le BRGM en 2012**

(6 pages)



Rapport

Titre :

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

Numéro et indice de version :

A70443/A

Date d'envoi : 21 mars 2013

Nombre d'annexes dans le texte : 6

Nombre de pages : 83

Nombre d'annexes en volume séparé : 1

Diffusion (nombre et destinataires) :

1 ex. client (dont 1 reproductible)

1 ex. auteur

Client

Coordonnées complètes :

Entente Interdépartemental 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 :
de la CLE

Mme Marie-Pierre MARTIN, Présidente

M. David MOREL, Animateur de la CLE

Antea Group

Unité réalisatrice :
implantation de Nantes

Agence Ouest – Sud-Ouest

Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :

Interlocuteur commercial et responsable de projet : François-Xavier MOINET

Auteurs : Jérémie DOUSSIN, David OUARY, Charlotte GUY

Secrétariat : Chantal MANTEAU

Qualité

Contrôlé par : *François-Xavier MOINET*

Date : *21 mars 2013 - Version A*

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.