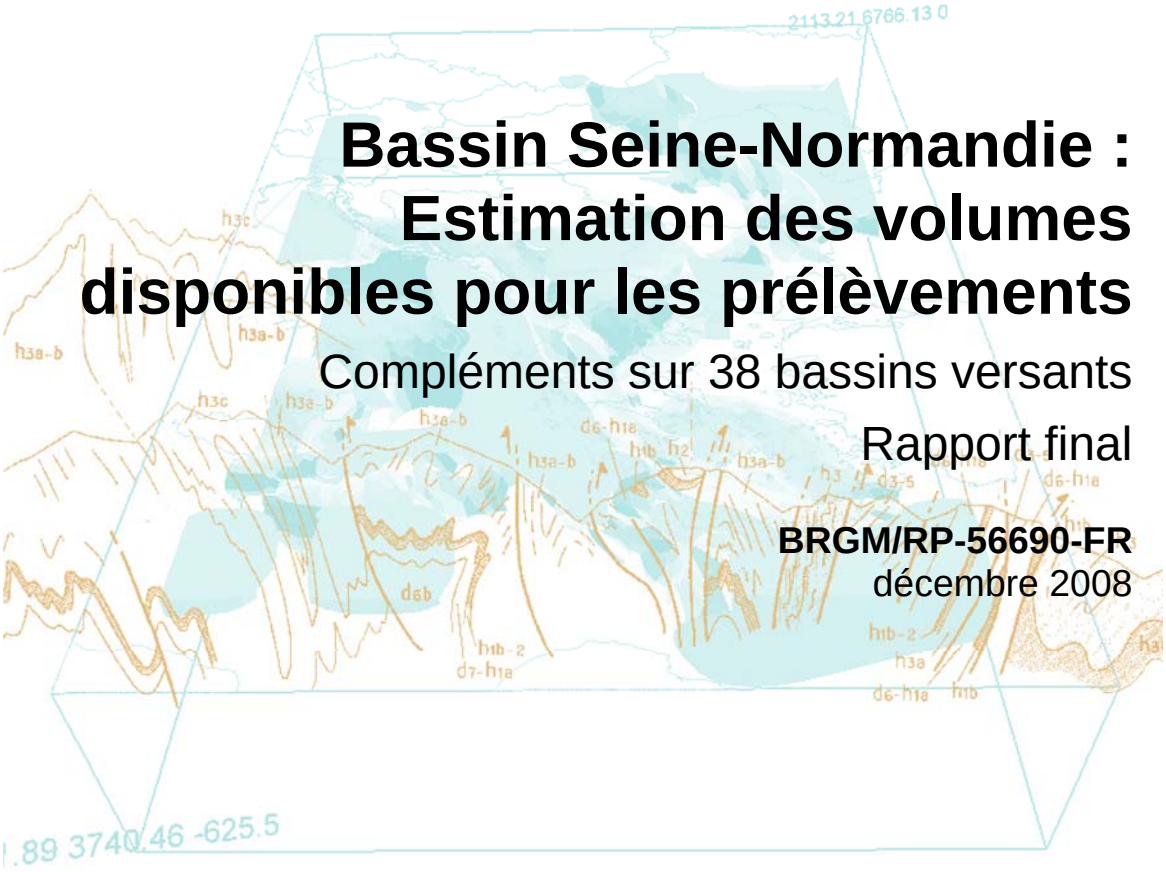
Document public



Bassin Seine-Normandie : Estimation des volumes disponibles pour les prélèvements

Compléments sur 38 bassins versants

Rapport final

BRGM/RP-56690-FR
décembre 2008

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Direction régionale de l'Environnement
ÎLE-DE-FRANCE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Bassin Seine-Normandie : Estimation des volumes disponibles pour les prélèvements

Compléments sur 38 bassins versants

Rapport final

BRGM/RP-56690-FR
décembre 2008

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2008

F. Asfirane, A. Wuilleumier, D. Allier, P. Verjus (Diren IDF)
Avec la collaboration de
L. Arnaud, P. Chrétien, M. Chabart, J.-C. Martin et J.-F. Vernoux

Vérificateur :	Approbateur :
Nom : Jean-Jacques Seguin	Nom : Max Le Nir
Date : 18/02/09	Date : 27/01/2009 Signature :
Signature :	

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

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Direction régionale de l'Environnement
ÎLE-DE-FRANCE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots clés : Nappe, Débit, Modélisation, Prévision, Analyse fréquentielle, Volumes exploitables, Bassin Seine-Normandie, Prélèvements.

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

Asfirane F., Wuilleumier A., Allier D., Verjus P. (2008) – Bassin Seine-Normandie : estimation des volumes disponibles pour les prélèvements. Rapport final. BRGM/RP-56690-FR. 443 p., 393 ill., 27 tabl., 5 ann.

© BRGM, 2008, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

L'objectif de l'étude est l'évaluation des volumes exploitables de 38 bassins versants du bassin Seine-Normandie.

Pour chaque sous bassin, l'estimation des volumes exploitables repose sur la prévision conjointe du débit du cours d'eau à l'exutoire du sous bassin et d'un niveau piézométrique à l'aide d'un logiciel (TEMPO) développé par le BRGM. TEMPO appartient à la catégorie des modèles globaux[1] de type « boîte noire » : à partir d'une chronique de débit à l'exutoire d'un bassin versant et d'un piézomètre « représentatif » du comportement de l'hydrosystème qui soit situé dans ou au voisinage du bassin, il permet, après calage, de faire de la prédétermination de niveaux, de débits, de volumes.

Un générateur de pluie intégré au logiciel TEMPO permet de construire plusieurs centaines de « réalisations climatiques ». Basées sur une approche statistique conduite avec l'ensemble des ces réalisations climatiques, les volumes estimés sont en réalité des probabilités de volumes disponibles et sont à considérer comme des indicateurs de la ressource.

Ce rapport présente la description de la méthode (calage des modèles, fonctions de transferts, simulations), les caractéristiques des bassins versants (climatologie, contexte hydrogéologique et hydrologique), la modélisation des écoulements et l'interprétation des résultats volumiques.

Contexte

En 2006, lors des travaux d'élaboration du SDAGE Seine-Normandie, 45 bassins versants dotés de stations de jaugeage et de piézomètres ont fait l'objet d'une modélisation pluie-débit-niveau piézométrique sous Tempo (rapport BRGM/RP-55232-FR). L'objectif était l'estimation du volume disponible aux prélèvements sur les petits bassins versants dont l'alimentation par les nappes repose sur un équilibre fragile.

De même, des estimations volumétriques ont été calculées pour dix bassins versants en Champagne crayeuse (rapport BRGM/RP-55087-FR).

Depuis, la mise en œuvre de la circulaire du 30 juin 2008, relative à la gestion quantitative des ressources en eau, incite à étendre cette estimation volumétrique réalisée en 2006 sur l'ensemble des bassins versants de Seine-Normandie. Toutefois, seuls les bassins versants dotés de stations de jaugeage et de piézomètres peuvent faire l'objet de cette estimation et il convient de disposer de chroniques suffisamment longues pour être représentatives de différents contextes climatiques. Ainsi, 39 bassins

[1] Par opposition aux modèles maillés, Tempo ne propose pas une spatialisation des phénomènes en jeu.

versants ont fait l'objet des nouvelles modélisations et pour 34 d'entre eux, le calage étant satisfaisant, des estimations de volumes ont été réalisées.

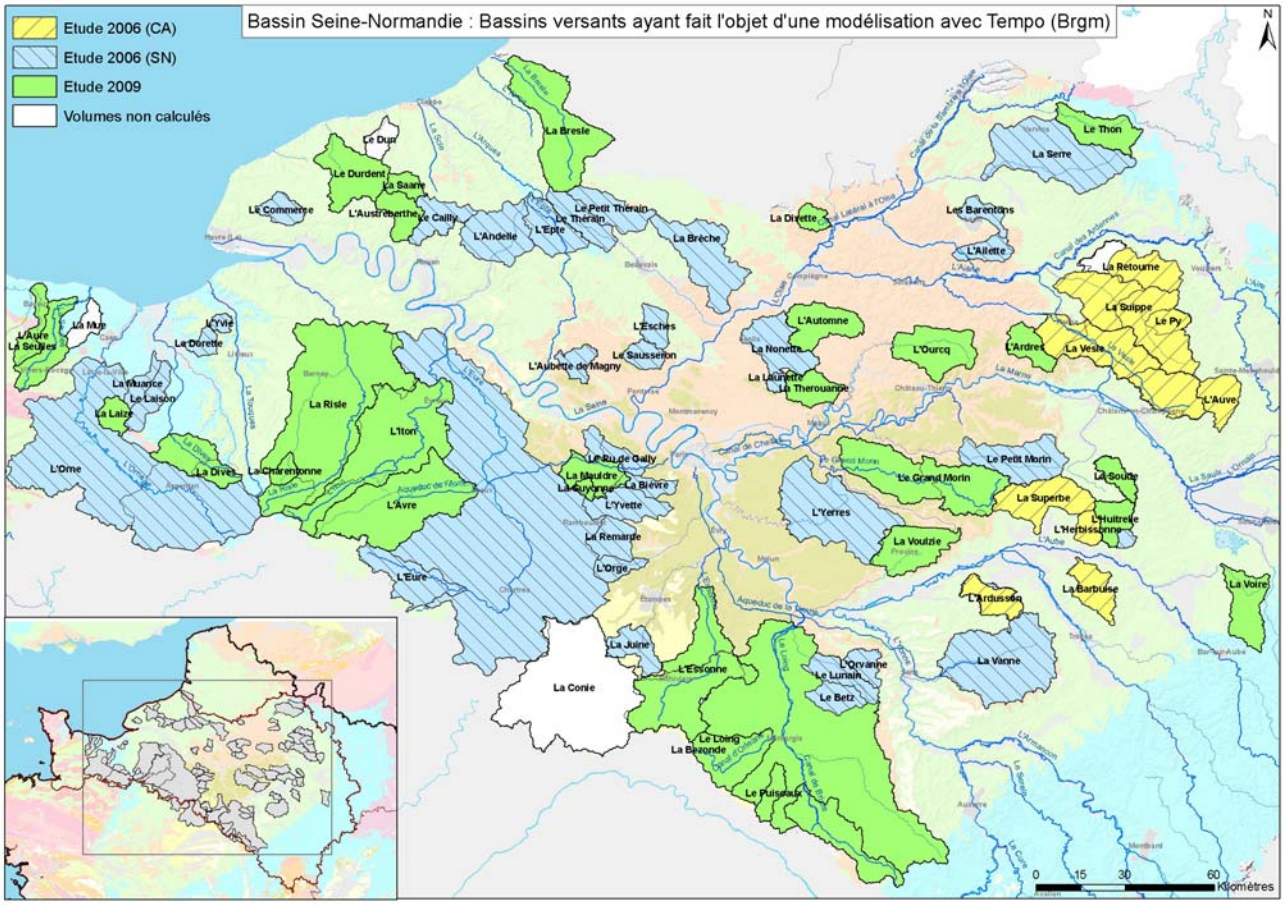


Illustration 1 : Bassins versants ayant fait l'objet d'une modélisation avec Tempo, dans le but d'estimer des volumes exploitables

Contenu du rapport

La première partie du rapport explicite la méthode d'évaluation des volumes exploitables à l'aide du logiciel Tempo, les principes et les étapes de la modélisation.

Puis, région par région, chaque bassin versant traité est décrit, de manière à interpréter les résultats du calage. La modélisation globale des écoulements est détaillée, afin que le lecteur puisse évaluer la qualité du calage et, par déduction, la fiabilité du calcul des volumes. De plus, la modélisation sous TEMPO permet d'avancer des hypothèses sur le comportement de la nappe, les échanges nappe/rivière et la répartition entre écoulements lents et rapides au niveau du bassin versant. Des graphiques issus des modélisations illustrent ces hypothèses et ont été systématiquement ajoutés au rapport.

Les résultats globaux à l'échelle du bassin Seine-Normandie sont présentés de manière synthétique ci-dessous.

Résultats généraux

Les volumes prélevables, estimés dans cette étude sont des indicateurs car le volume prélevable sur un bassin versant est tributaire de plusieurs conditions non prises explicitement en compte par Tempo qui est un modèle global : répartition géographique et temporelle, emplacement amont ou aval des prélèvements, répartition des prélèvements entre eau de surface et eaux souterraines, qualité recherchée de l'eau, etc.

Les résultats par bassin sont présentés dans cette synthèse par différentes cartes, graphiques et sont récapitulés dans un tableau en annexe du rapport. Toutefois, les modélisations réalisées avec Tempo sont le point de départ du calcul des volumes et il est nécessaire de prendre connaissance de la méthodologie (chapitre 1) et des calages des modélisations (chapitres 2 à 5 du rapport) pour interpréter au mieux ces résultats.

Les volumes exploitables retenus pour élaborer les cartes et graphiques suivants sont définis de telle sorte qu'un débit minimum égal au débit moyen mensuel sec de récurrence 5 ans (QMNA5) soit maintenu dans le cours d'eau :

- dans le cas d'une année dite « médiane » ;
- ou dans le cas d'une année dite « sèche », correspondant à une fréquence d'occurrence de 75%.

Ces deux situations climatiques sont issues d'une analyse fréquentielle par décade à partir des résultats de toutes les simulations (256 chroniques simulées sur 10 ans).

Les volumes exploitables sont calculés à long terme, pour rendre la prévision indépendante des conditions initiales de l'état des nappes. Ces volumes exploitables peuvent être comparés aux volumes déjà prélevés, qui ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. (cf. annexe 1)

Si le calage du modèle de transfert s'est fait en contexte non influencé (ou très peu), la fonction de transfert n'intègre pas les prélèvements et les prévisions volumiques faites sont globales. Pour connaître le volume réellement exploitable, il faut alors déduire les volumes déjà prélevés.

Si le calage a tenu compte des prélèvements, les volumes déjà prélevés pour l'irrigation en étiage sont à ajouter au volume exploitable, pour obtenir le volume global.

Les estimations de ce volume global disponible pour les prélevements pendant la période d'étiage sont présentées dans les illustrations suivantes pour les deux situations climatiques mentionnées ci-dessus. Ces volumes sont exprimés en lame d'eau disponible (en mm/an).

Limites

Les limites de l'évaluation des volumes présentées dans ce rapport tiennent à deux facteurs :

- Les données utilisées : un premier facteur limitant est la présence limitée de chroniques piézométriques ou débimétriques. Le calage du bassin versant du Grand Morin par exemple, a été réalisé avec des piézomètres situés en dehors de son périmètre. Un deuxième facteur est l'imprécision relative aux prélèvements (ils ne sont pas géoréférencés et la nappe captée n'est pas connue).
- La méthode elle-même, qui est globale : les volumes prélevables, estimés dans cette étude sont des indicateurs car le volume prélevable sur un bassin versant est tributaire de plusieurs conditions non prises explicitement en compte par Tempo: répartition géographique et temporelle, emplacement amont ou aval des prélèvements. Dans le cas fréquent ou les forages sont situés à proximité des cours d'eau, l'estimation basée sur le critère de non franchissement en moyenne du débit quinquennal sec mensuel peut s'avérer insuffisante. En effet, il est possible que des franchissements de ce seuil soient observés dans la réalité alors que le modèle prévoit encore une certaine ressource disponible. C'est par exemple le cas de l'Essonne à Boulancourt, du Puiseaux et de la Bezonde. Par ailleurs, dans le cas de plusieurs nappes superposées, la répartition des prélèvements et des apports à la rivière par les différentes nappes est essentielle et non prise en compte par TEMPO. De ce point de vue, la méthode sera d'autant plus adaptée que l'aquifère est unique, exploité de manière homogène spatialement. À l'inverse, les estimations sur des cours d'eau drainant plusieurs formations aquifères, dont certaines sont exploitées et pas d'autres, sont à confronter avec la réalité de l'analyse hydrogéologique. Cette dernière n'entre pas dans le champ de l'étude qui ne comporte qu'une description sommaire des bassins versants, elle relève de l'évaluation par les DIREN et services de police de l'eau.

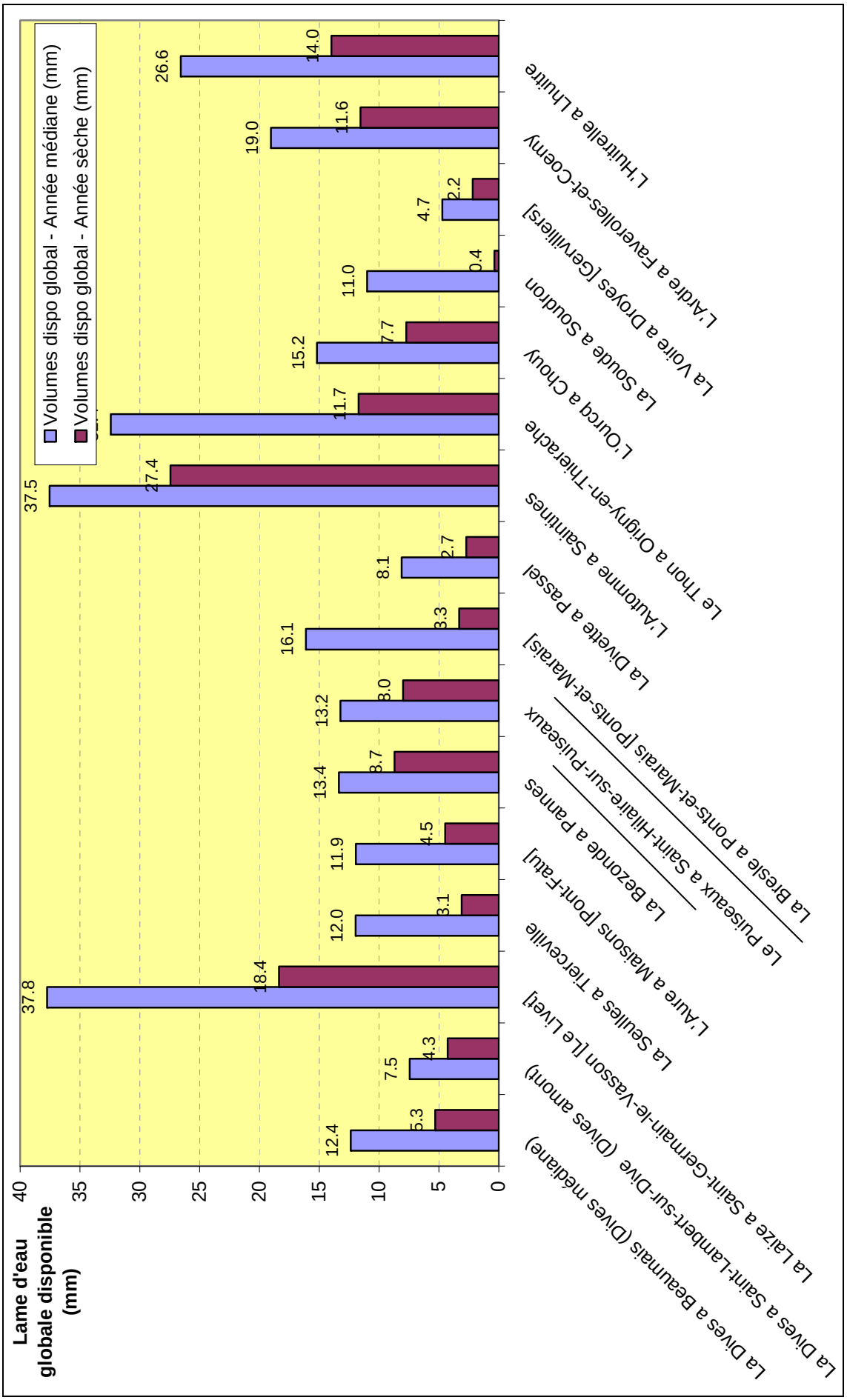


Illustration 2 : Lames d'eau globales disponibles pour les bassins versants des régions Basse-Normandie, Centre, Picardie, Champagne-Ardennes (sont soulignés les cours d'eau pour lesquels le calage intègre les prélèvements)

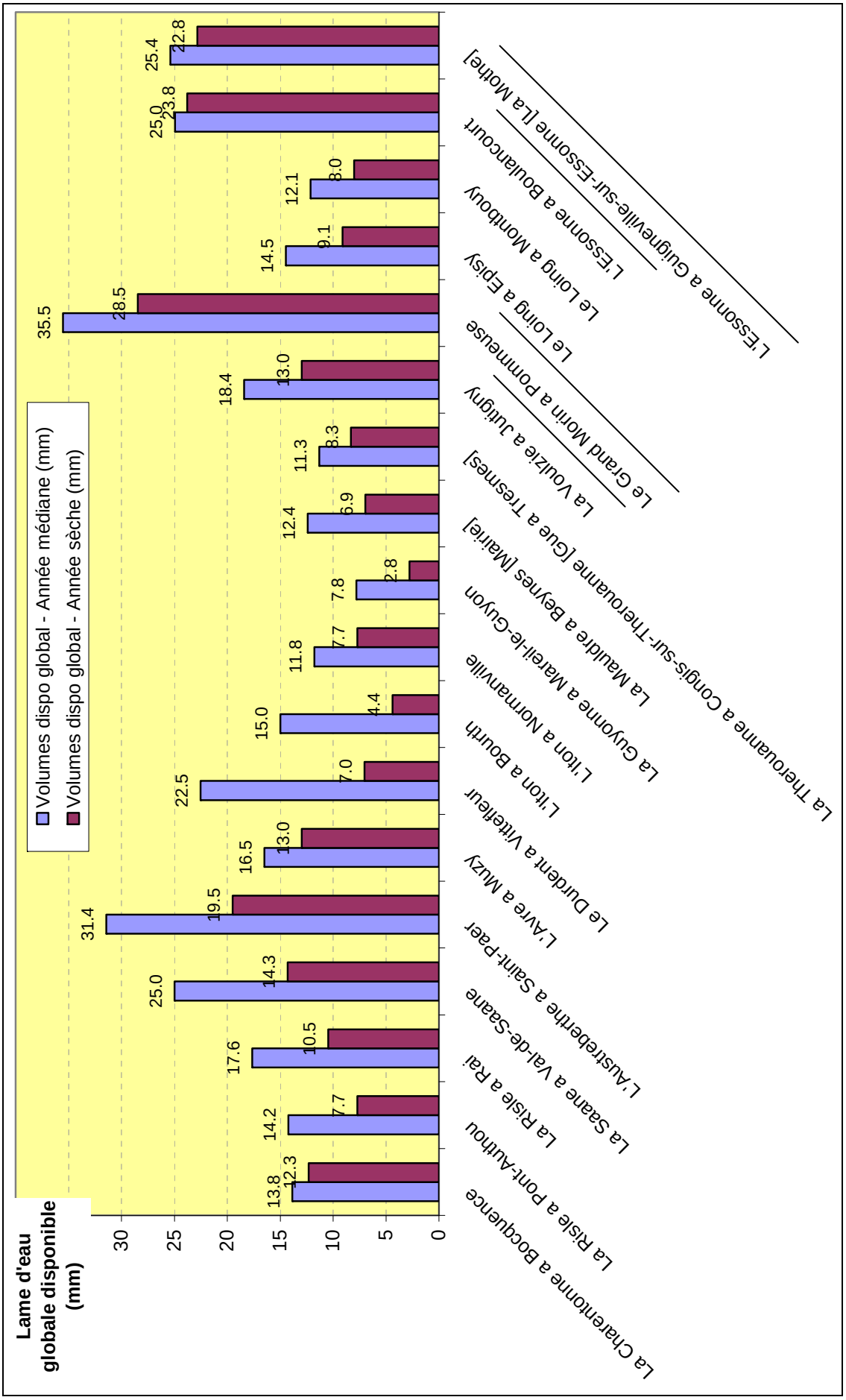


Illustration 3 : Lames d'eau globales disponibles pour les bassins versants des régions Haute-Normandie et Ile-de-France (sont soulignés les cours d'eau pour lesquels le calage intègre les prélèvements)

Ces indicateurs volumiques permettent d'établir un classement des bassins, du plus vulnérable aux prélèvements au moins vulnérable[2] :

Année Médiane

La Voire a Droyes [Gervilliers]
La Dives a Saint-Lambert-sur-Dive (Dives amont)
La Guyonne a Mareil-le-Guyon
La Divette a Passel
La Soude a Soudron
La Therouanne a Congis-sur-Therouanne [Gue a Tresmes]
L'Iton a Normanville
L'Aure a Maisons [Pont-Fatu]
La Seulles a Tierceville
Le Loing a Montbouy
La Dives a Beaumais (Dives médiane)
La Mauldre a Beynes [Mairie]
Le Puiseaux a Saint-Hilaire-sur-Puiseaux
La Bezonde a Pannes
La Charentonne a Bocquence
La Risle a Pont-Authou
Le Loing a Episy
L'Iton a Bourth
L'Ourcq a Chouy
La Bresle a Ponts-et-Marais [Ponts-et-Marais]
L'Avre a Muzy
La Risle a Rai
La Voulzie a Jutigny
L'Ardre a Faverolles-et-Coemy
Le Durdent a Vittefleur
L'Essonne a Boulancourt
La Saane a Val-de-Saane
L'Essonne a Guigneville-sur-Essonne [La Mothe]
L'Huitrelle a Lhuitre
L'Austreberthe a Saint-Paer
Le Thon a Origny-en-Thierache
Le Grand Morin a Pommeuse
L'Automne a Saintines
La Laize a Saint-Germain-le-Vasson [Le Livet]

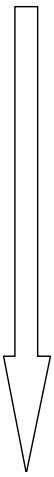
Année "sèche" (4 ans sec)

La Soude a Soudron
La Voire a Droyes [Gervilliers]
La Divette a Passel
La Guyonne a Mareil-le-Guyon
La Seulles a Tierceville
La Bresle a Ponts-et-Marais [Ponts-et-Marais]
La Dives a Saint-Lambert-sur-Dive (Dives amont)
L'Iton a Bourth
L'Aure a Maisons [Pont-Fatu]
La Dives a Beaumais (Dives médiane)
La Mauldre a Beynes [Mairie]
Le Durdent a Vittefleur
L'Iton a Normanville
La Risle a Pont-Authou
L'Ourcq a Chouy
Le Puiseaux a Saint-Hilaire-sur-Puiseaux
Le Loing a Montbouy
La Therouanne a Congis-sur-Therouanne [Gue a Tresmes]
La Bezonde a Pannes
Le Loing a Episy
La Risle a Rai
L'Ardre a Faverolles-et-Coemy
Le Thon a Origny-en-Thierache
La Charentonne a Bocquence
L'Avre a Muzy
La Voulzie a Jutigny
L'Huitrelle a Lhuitre
La Saane a Val-de-Saane
La Laize a Saint-Germain-le-Vasson [Le Livet]
L'Austreberthe a Saint-Paer
L'Essonne a Guigneville-sur-Essonne [La Mothe]
L'Essonne a Boulancourt
L'Automne a Saintines
Le Grand Morin a Pommeuse

[2] En annexe 4, ce classement est présenté pour tous les bassins de Seine-Normandie.

Ce classement des bassins, du plus vulnérable aux prélèvements au moins vulnérable peut aussi être présenté par régions :

Pour une année médiane



Ile de France	Centre	Haute Normandie	Basse Normandie	Champagne Ardennes	Picardie
				La Voire a Droyes	
La Guyonne a Mareil-le-Guyon			La Dives a St-Lambert/Dive		La Divette a Passel
La Therouanne a Congis/Therouanne		L'Iton a Normanville	L'Aure a Maisons	La Soude a Soudron	
Le Loing a Montbouy		La Charentonne a Bocquence	La Seulles a Tierceville		
La Mauldre a Beynes	Le Puiseaux a St-Hilaire/Puiseaux	La Risle a Pont-Authou	La Dives a Beaumais (Dives médiane)		
Le Loing a Episy	La Bezonde a Pannes	L'Iton a Bourth			
		L'Avre a Muzy			L'Ourcq a Chouy
La Voulzie a Jutigny		La Risle a Rai		L'Ardre a Faverolles-et-Coemy	La Bresle a Ponts-et-Marais
L'Essonne a Boulancourt		Le Durdent a Vittefleur		L'Huitrelle a Lhuitre	
L'Essonne a Guigneville/Essonne		La Saane a Val-de-Saane			
Le Grand Morin a Pommeuse		L'Austreberthe a St-Paer	La Laize a St-Germain-le-Vasson		Le Thon a Origny-en-Thierache
					L'Automne a Saintines

Pour 4 ans sec :

Ile de France	Centre	Haute Normandie	Basse Normandie	Champagne Ardennes	Picardie
La Guyonne a Mareil-le-Guyon			La Seulles a Tierceville	La Soude a Soudron	La Divette a Passel
			La Dives a St-Lambert/Dive	La Voire a Droyes	La Bresle a Ponts-et-Marais
La Mauldre a Beynes			L'Aure a Maisons		
Le Loing a Montbouy		Le Durdent a Vittefleur	La Dives a Beaumais (Dives médiane)		L'Ourcq a Chouy
La Therouanne a Congis/Therouanne	Le Puiseaux a St-Hilaire/Puiseaux	L'Iton a Normanville			
Le Loing a Episy	La Bezonde a Pannes	La Risle a Pont-Authou			
La Voulzie a Jutigny		La Risle a Rai		L'Ardre a Faverolles-et-Coemy	Le Thon a Origny-en-Thierache
		L'Iton a Bourth		L'Huitrelle a Lhuitre	
		La Charentonne a Bocquence			
		L'Avre a Muzy			
		La Saane a Val-de-Saane			
		L'Austreberthe a St-Paer	La Laize a St-Germain-le-Vasson		
L'Essonne a Guigneville/Essonne					L'Automne a Saintines
L'Essonne a Boulancourt					
Le Grand Morin a Pommeuse					

Les cartes qui suivent synthétisent pour chacun des bassins versants étudiés, dans le cas d'une **année dite « médiane »** :

- **Les volumes disponibles globaux** sur chaque bassin calculés suite aux modélisations Tempo. Cette ressource est présentée en lame d'eau disponible pour des prélèvements ayant lieu durant la période d'étiage, en mm/an. Lorsque le calage a tenu compte des prélèvements, les volumes déjà prélevés pour l'irrigation ont été ajoutés au volume exploitable, pour obtenir le volume global.
- Les volumes disponibles globaux **par rapport à l'infiltration efficace** donnée par le modèle maillé MODCOU (PIREN Seine), exprimés en pourcentage de la recharge.

Les mêmes cartes ont été produites pour chacun des bassins versants sur lesquels l'information était disponibles[3], dans le cas d'une **année de période de retour 4 ans sec**.

[3] Sur les bassins traités séparément dans l'étude « Prévision des volumes exploitables de 10 bassins versants en Champagne crayeuse », les estimations de volumes dans le scénario « 4 ans sec » n'avaient pas été calculées.

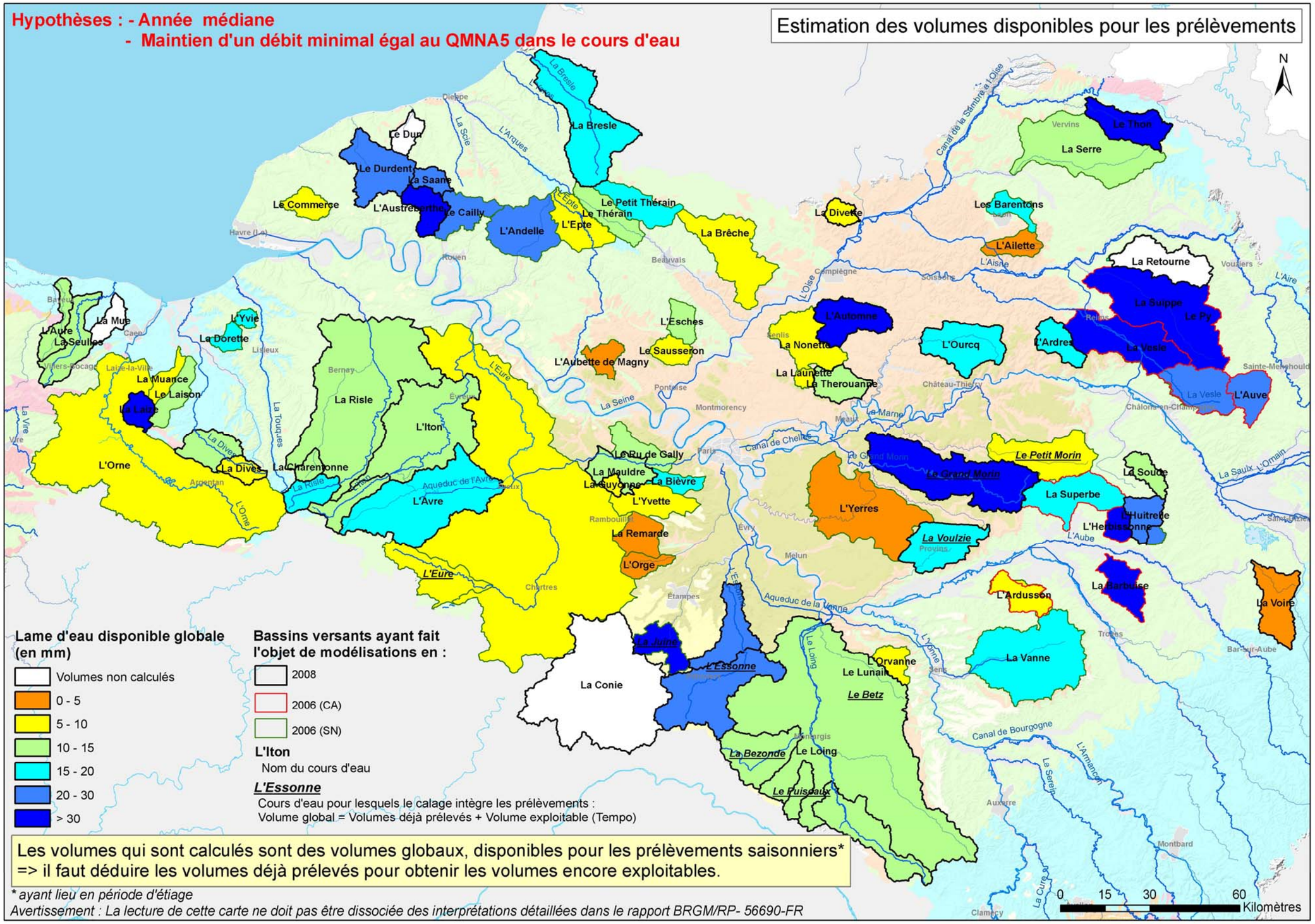


Illustration 4 : Évaluation de la lame d'eau disponible (en mm) pour les prélèvements sur les BV du Bassin Seine-Normandie modélisés avec le logiciel Tempo – Année médiane

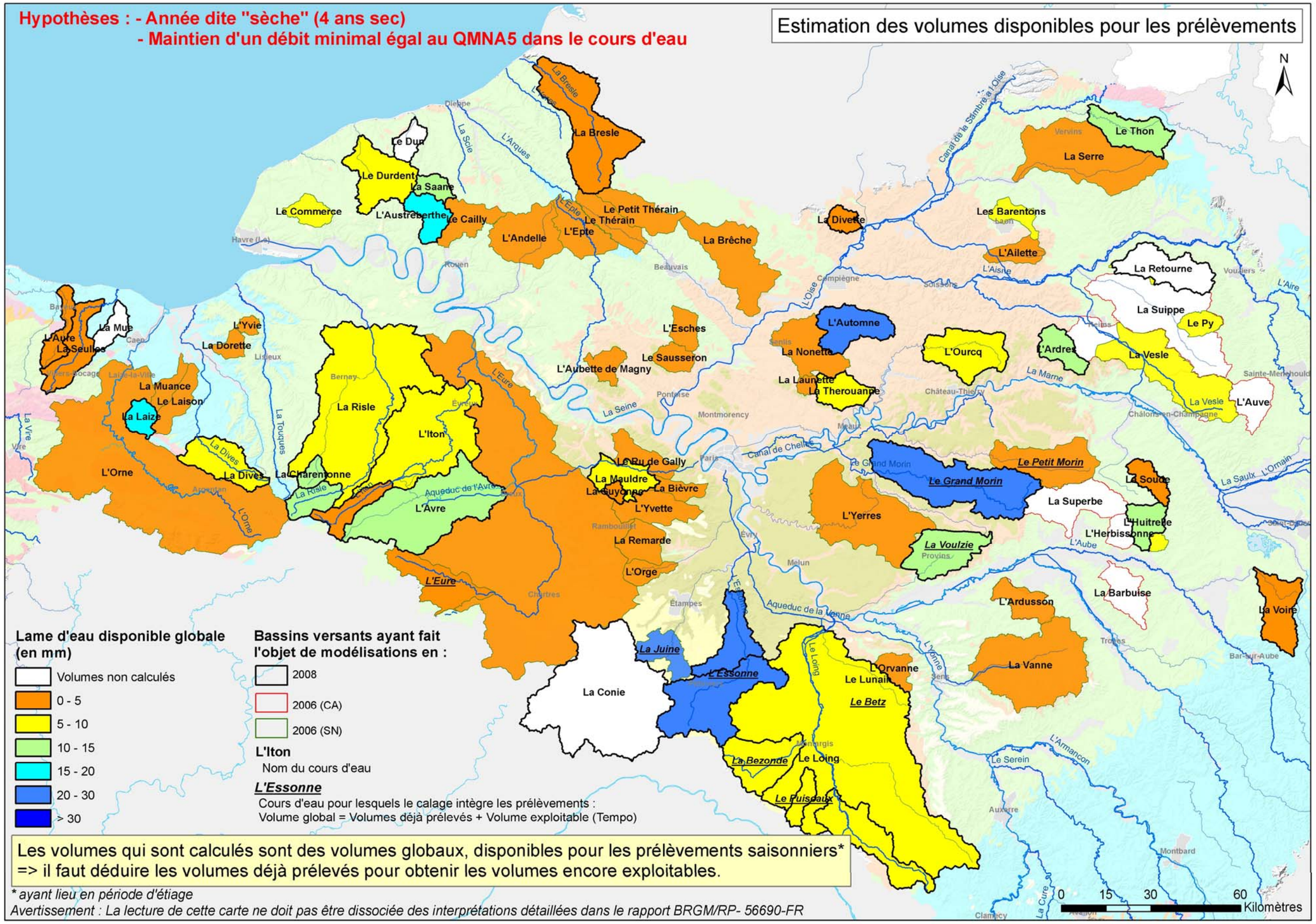


Illustration 5 : Évaluation de la lame d'eau disponible (en mm) pour les prélèvements sur les BV (SN) – Année « sèche »

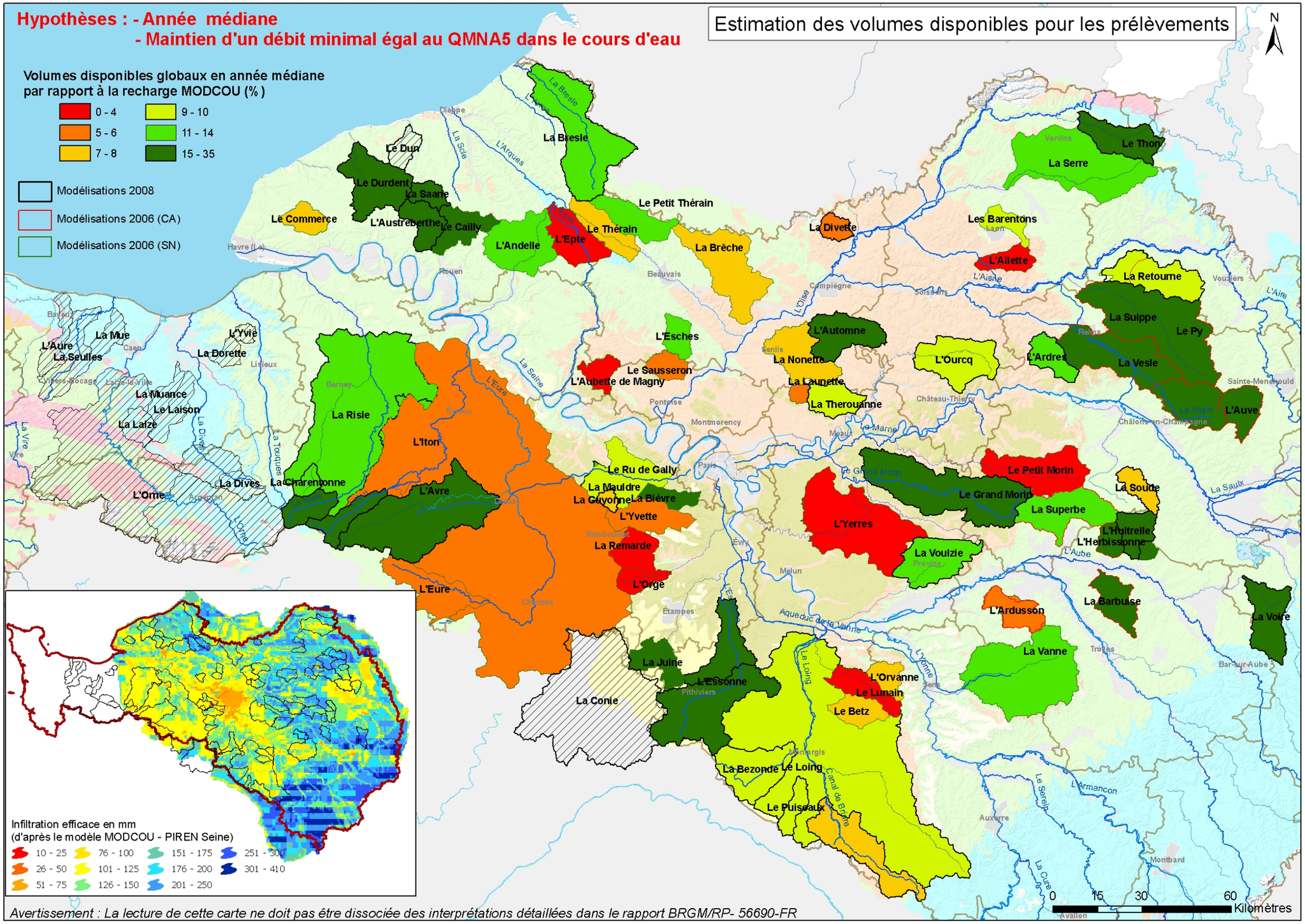


Illustration 6 : Évaluation des volumes disponibles globaux par rapport à l'infiltration efficace donnée par le modèle MOCOU sur les BV du Bassin Seine-Normandie – Année médiane

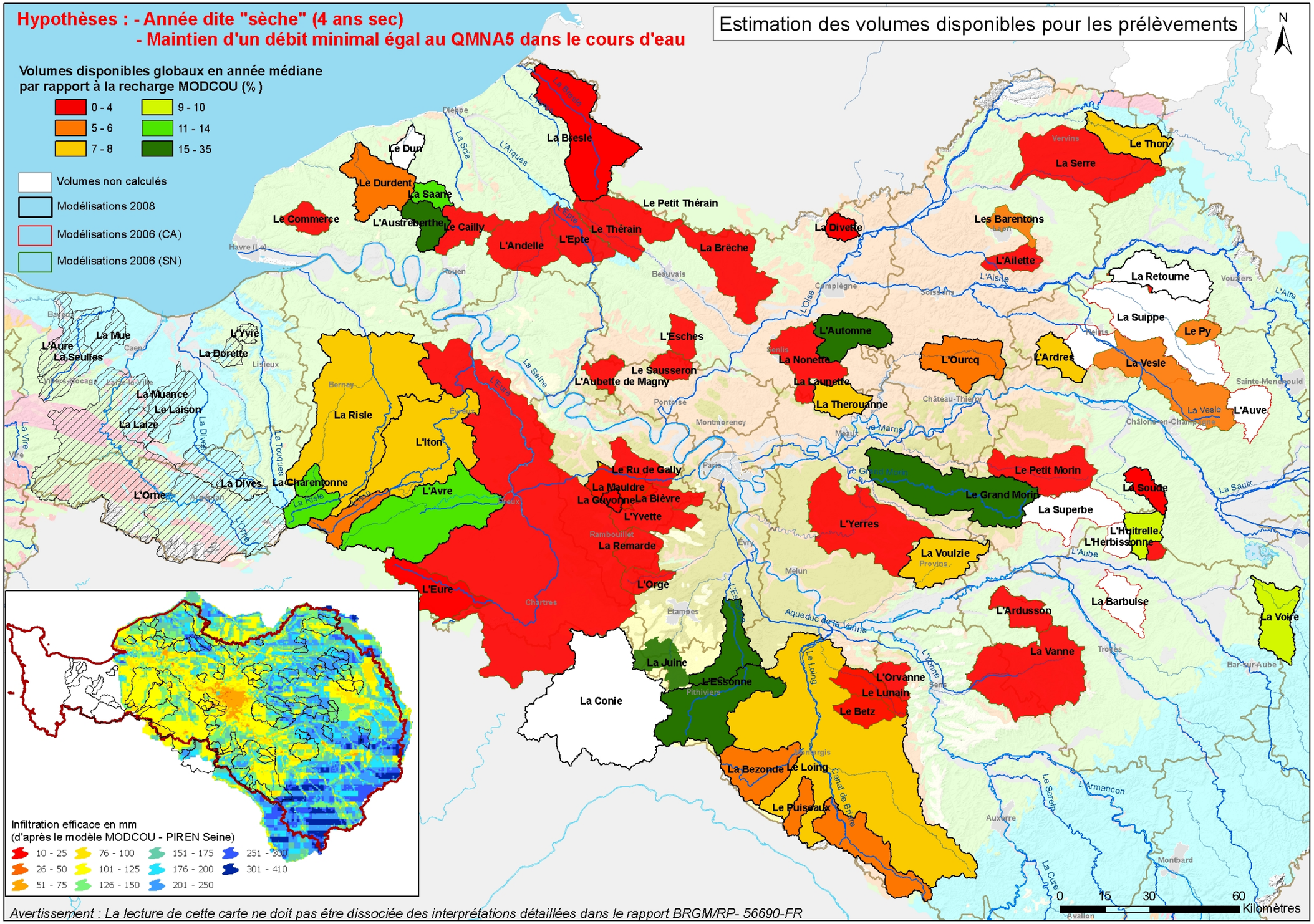


Illustration 7 : Évaluation des volumes disponibles globaux par rapport à l'infiltration efficace donnée par le modèle MOCOU sur les BV (SN) – Année sèche

Sommaire

1. Introduction.....39

2. Méthode d'évaluation des volumes de prélèvements.....41

2.1. LA MODÉLISATION DES NIVEAUX DE NAPPES ET DE DÉBITS AVEC LE LOGICIEL TEMPO.....41

2.2. LA PRÉVISION ET LE CALCUL DES VOLUMES EXPLOITABLES.....43

3. Ile-de-France.....51

3.1. BASSIN VERSANT DU GRAND MORIN.....51

3.2. BASSIN VERSANT DE LA THEROUANNE.....61

3.3. BASSIN VERSANT DE LA VOULZIE.....71

3.4. BASSIN VERSANT DU LOING.....81

3.5. BASSIN VERSANT DE L'ESSONNE.....98

3.6. BASSIN VERSANT DE LA MAULDRE ET SOUS-BASSIN DE LA GUYONNE.....114

4. Picardie.....129

4.1. BASSIN VERSANT DU THON.....129

4.2. BASSIN VERSANT DE L'OURCQ.....139

4.3. BASSIN VERSANT DE L'AUTOMNE.....149

4.4. BASSIN VERSANT DE LA DIVETTE.....159

4.5. BASSIN VERSANT DE LA BRESLE.....170

4.6. BASSIN VERSANT DE LA SERRE.....180

5. Centre.....193

5.1. BASSIN VERSANT DE LA BEZONDE.....193

5.2. BASSIN VERSANT DU PUISEAUX.....205

5.3. BASSIN VERSANT DE LA CONIE.....215

6. Basse-Normandie.....227

6.1. BASSIN VERSANT DE L'AURE.....227

6.2. BASSIN VERSANT DE LA DIVES.....238

6.3. BASSIN VERSANT DE LA LAIZE.....254

6.4. BASSIN VERSANT DE LA MUE 264
6.5. BASSIN VERSANT DE LA SEULLES 273

7. Haute-Normandie 283
7.1. BASSIN VERSANT DE LA RISLE ET LE SOUS-BASSIN DE LA CHARENTONNE 283
7.2. BASSIN VERSANT DE L'ITON 299
7.3. BASSIN VERSANT DE L'AVRE 315
7.4. BASSIN VERSANT DE L'AUSTREBERTHE 325
7.5. BASSIN VERSANT DE LA SAANE 335
7.6. BASSIN VERSANT DU DUN 344
7.7. BASSIN VERSANT DE LA DURDENT 353

8. Champagne-Ardennes 363
8.1. BASSIN VERSANT DE L'ARDRES 363
8.2. BASSIN VERSANT DE L'HUITRELLE 373
8.3. BASSIN VERSANT DE LA RETOURNE 382
8.4. BASSIN VERSANT DE LA SOUDE 391
8.5. BASSIN VERSANT DE LA VOIRE 401

9. Conclusion 413

10. Bibliographie 417

Liste des illustrations

Illustration 1 : Bassins versants ayant fait l'objet d'une modélisation avec Tempo, dans le but d'estimer des volumes exploitables 6
Illustration 2 : Lames d'eau globales disponibles pour les bassins versants des régions Basse-Normandie, Centre, Picardie, Champagne-Ardennes 9
Illustration 3 : Lames d'eau globales disponibles pour les bassins versants des régions Haute-Normandie et Ile-de-France 10
Illustration 4 : Évaluation de la lame d'eau disponible (en mm) pour les prélèvements sur les BV du Bassin Seine-Normandie modélisés avec le logiciel Tempo – Année médiane 14

Illustration 5 : Évaluation de la lame d'eau disponible (en mm) pour les prélèvements sur les BV (SN) – Année « sèche » 15
Illustration 6 : Évaluation des volumes disponibles globaux par rapport à l'infiltration efficace donnée par le modèle MOCOU sur les BV du Bassin Seine-Normandie – Année médiane 16
Illustration 7 : Évaluation des volumes disponibles globaux par rapport à l'infiltration efficace donnée par le modèle MOCOU sur les BV (SN) – Année sèche 17
Illustration 8 : Exemple d'hydrosystème modélisable par TEMPO 40
Illustration 9 : Calculs de débits à partir de scénarios climatiques 43
Illustration 10 : Calculs de niveaux à partir de scénarios climatiques 44
Illustration 11 : Courbe de fréquence cumulée 44
Illustration 12 : Exemple de prévision fournie par TEMPO dans un environnement Excel 45
Illustration 13 : Exemple de décomposition de la chronique de débit proposée par TEMPO 45
Illustration 14 : Modélisation pluie-débit avec introduction de niveaux piézométriques 46
Illustration 15 : La fonction de transfert « niveau-débit » permet de calculer la baisse des débits à l'exutoire à partir des rabattements de niveaux dus aux pompages 48
Illustration 16 : Localisation du bassin versant du Grand Morin (sources : GEOSIGNAL et IGN) 51
Illustration 17 : Altitudes des terrains dans le bassin versant du Grand Morin (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 52
Illustration 18 : Pente des terrains dans le bassin versant du Grand Morin (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 53
Illustration 19 : Carte géologique du bassin versant du Grand Morin 56
Illustration 20 : Chronique piézométrique d'Houssaye-en-Brie (indice national : 02211X0020/F1) 57
Illustration 21 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique du Grand Morin à Pommeuse (source : Banque HYDRO) 58
Illustration 22 : Modélisation de la chronique du piézomètre d'Houssaye-en-Brie 59
Illustration 23 : Modélisation du débit du Grand Morin à la station de Pommeuse 59
Illustration 24 : Composantes du débit du Grand Morin modélisé à la station de Pommeuse 60
Illustration 25 : Composantes du débit moyen mensuel du Grand Morin modélisé à la station de Pommeuse 60
Illustration 26 : Localisation du bassin versant de la Thérouanne (sources : GEOSIGNAL et IGN) 61
Illustration 27 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de la Thérouanne (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 62
Illustration 28 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Thérouanne (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 63

Illustration 29 : Carte géologique du bassin versant de la Thérouanne 65
Illustration 30 : Chronique piézométrique de Lagny-le –Sec (indice national : 01543X0023/S1)..... 67
Illustration 31 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de la Thérouanne à Congis-sur-Thérouanne (source : Banque HYDRO)..... 68
Illustration 32 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Lagny-le-Sec 69
Illustration 33 : Modélisation du débit de la Thérouanne à la station de Congis-sur-Thérouanne 69
Illustration 34 : Composantes du débit de la Thérouanne modélisé à la station de Congis-sur-Thérouanne 70
Illustration 35 : Composantes du débit moyen mensuel de la Thérouanne modélisé à la station de Congis-sur-Thérouanne..... 70
Illustration 36 : Localisation du bassin versant de la Voulzie (sources : GEOSIGNAL et IGN) 71
Illustration 37 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de la Voulzie (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 72
Illustration 38 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Voulzie (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 73
Illustration 39 : Carte géologique du bassin versant de la Voulzie..... 76
Illustration 40 : Chronique piézométrique de Saint-Martin-Chennetron (indice national : 02603X0009/S1)..... 77
Illustration 41 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de la Voulzie à Jutigny (source : Banque HYDRO)..... 78
Illustration 42 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Saint-Martin-Chennetron..... 79
Illustration 43 : Modélisation du débit de la Voulzie à la station de Jutigny..... 79
Illustration 44 : Composantes du débit de la Voulzie modélisé à la station de Jutigny 80
Illustration 45 : Composantes du débit moyen mensuel de la Voulzie modélisé à la station de Jutigny..... 80
Illustration 46 : Localisation du bassin versant du Loing (sources : GEOSIGNAL et IGN) 81
Illustration 47 : Altitudes des terrains dans le bassin versant du Loing (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 82
Illustration 48 : Pente des terrains dans le bassin versant du Loing (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 83
Illustration 49 : Carte géologique du bassin versant du Loing..... 87
Illustration 50 : Carte IDPR 88
Illustration 51 : Carte de cavités..... 89
Illustration 52 : Chronique piézométrique de Chevanne (indice national : 03298X1013/P) 90
Illustration 53 : Chronique piézométrique de Nogent-sur-Vernisson (indice national : 04003X0018/FAEP2) 90

Illustration 54 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique du Loing à Montbouy (source : Banque HYDRO) 91
Illustration 55 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique du Loing à Episy (source : Banque HYDRO) 91
Illustration 56 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Nogent-sur-Vernisson....93
Illustration 57 : Modélisation du débit du Loing à la station de Montbouy....93
Illustration 58 : Composantes du débit du modélisé à la station de Montbouy....94
Illustration 59 : Composantes du débit moyen mensuel du Loing modélisé à la station de Montbouy 94
Illustration 60 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Chevanne....95
Illustration 61 : Modélisation du débit du Loing à la station d'Episy....96
Illustration 62 : Composantes du débit du modélisé à la station d'Episy 96
Illustration 63 : Compsantes du débit moyen mensuel du Loing modélisé à la station d'Episy 97
Illustration 64 : Localisation du bassin versant de l'Essonne à Boulancourt (sources : GEOSIGNAL et IGN) 98
Illustration 65 : Localisation du bassin versant de l'Essonne à Guigneville/Essonne (sources : GEOSIGNAL et IGN) 99
Illustration 66 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de l'Essonne (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)....100
Illustration 67 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Essonne (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)....101
Illustration 68 : Carte géologique du bassin versant de l'Essonne 104
Illustration 69 : Chronique piézométrique de Mainvilliers (indice national : 02936X2005/PFAEP)....105
Illustration 70 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de l'Essonne à Guigneville (source : Banque HYDRO) 106
Illustration 71 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de l'Essonne à Boulancourt (source : Banque HYDRO)....107
Illustration 72 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Mainvilliers....108
Illustration 73 : Modélisation du débit de l'Essonne à la station de Guigneville **sans les prélèvements**....108
Illustration 74 : Modélisation du débit de l'Essonne à la station de Guigneville **avec intégration de prélèvements**....110
Illustration 75 : Composantes du débit de l'Essonne modélisé à la station de Guigneville-sur-Essonne....110
Illustration 76 : Composantes du débit mouen mensuel de l'Essonne modélisé à la station de Guigneville-sur-Essonne....111
Illustration 77 : Modélisation du débit de l'Essonne à la station de Boulancourt **après integration des prélèvements.**....112

Illustration 78 : Composantes du débit de l'Essonne modélisé à la station de Boulancourt . 112
Illustration 79 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Essonne modélisé à la station de Boulancourt ... 113
Illustration 80 : Localisation du bassin versant de la Mauldre et du sous-bassin de la Guyonne (sources : GEOSIGNAL et IGN) ... 114
Illustration 81 : Carte des altitudes (d'après le MNT au pas de 50 m) ... 115
Illustration 82 : Carte des pentes (calculée d'après le MNT au pas de 50 m) ... 116
Illustration 83 : Carte géologique du bassin versant de la Mauldre ... 119
Illustration 84 : Chronique piézométrique de Mareil-le-Guyon (indice national : 01825X0091/P1) ... 120
Illustration 85 : Débit moyen mensuel à la station hydopmétrique de la Mauldre à Beynes (source : Banque HYDRO) ... 121
Illustration 86 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de la Guyonne à Mareil-le-Guyon (source : Banque HYDRO) ... 121
Illustration 87 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Mareil-le-Guyon (BV Mauldre) ... 123
Illustration 88 : Modélisation du débit de la Mauldre à la station de Beynes ... 123
Illustration 89 : Composantes du débit de la Mauldre modélisé à la station de Beynes ... 124
Illustration 90 : Composantes du débit moyen mensuel de la Mauldre modélisé à la station de Beynes ... 124
Illustration 91 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Mareil-le-Guyon (BV Guyonne) ... 125
Illustration 92 : Modélisation du débit de la Guyonne à la station de Mareil-le-Guyon ... 125
Illustration 93 : Composantes du débit de la Guyonne à la station de Mareil-le-Guyon ... 126
Illustration 94 : Composantes du débit moyen mensuel de la Guyonne modélisé à la station de Mareil-le-Guyon ... 126
Illustration 95 : Localisation du bassin versant du Thon (sources : GEOSIGNAL et IGN) ... 129
Illustration 96 : Altitude des terrains dans le bassin versant du Thon (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) ... 130
Illustration 97 : Pente des terrains dans le bassin versant du Thon (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) ... 131
Illustration 98 : Carte géologique du bassin versant du Thon ... 133
Illustration 99 : Chronique piézométrique d'Hirson (indice national : 00516X0059/S1) ... 134
Illustration 100 : Débit moyen mensuel du Thon à la station hydrométrique d'Origny-en-Thiérache (source : Banque HYDRO) ... 135
Illustration 101 : Modélisation de la chronique du piézomètre d'Hirson ... 136
Illustration 102 : Modélisation du débit du Thon à la station d'Origny-en-Thiérache ... 137
Illustration 103 : Modélisation du débit du Thon à la station d'Origny-en-Thiérache : représentation en logarithme népérien ... 137

Illustration 104 : Composantes du débit du Thon modélisé à la station d'Originy-en-Thiérache 138
Illustration 105 : Composantes du débit moyen mensuel du Thon modélisé à la station d'Originy-en-Thiérache 138
Illustration 106 : Localisation du bassin versant de l'Ourcq (sources : GEOSIGNAL et IGN) .139
Illustration 107 : Altitude des terrains dans le bassin versant de l'Ourcq (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 140
Illustration 108 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Ourcq (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 141
Illustration 109 : Carte géologique du bassin versant de l'Ourcq 144
Illustration 110 : Chronique piézométrique d'Armentières-sur-Ourcq (indice national : 01306X0023/S1) 145
Illustration 111 : Débit moyen mensuel de l'Ourcq à la station hydrométrique de Chouy (source : Banque HYDRO) 145
Illustration 112 : Modélisation de la chronique du piézomètre d'Armentières-sur-Ourcq 146
Illustration 113 : Modélisation du débit de l'Ourcq à la station de Chouy 147
Illustration 114 : Composantes du débit de l'Ourcq modélisé à la station de Chouy 148
Illustration 115 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Ourcq modélisé à la station de Chouy 148
Illustration 116 : Localisation du bassin versant de l'Automne (sources : GEOSIGNAL et IGN) 149
Illustration 117 : Altitude des terrains dans le bassin versant de l'Automne (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 150
Illustration 118 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Automne (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 151
Illustration 119 : Carte géologique du bassin versant de l'Automne 154
Illustration 120 : Chronique piézométrique de Fresnoy-le-Luat (indice national : 01287X0017/S1) 155
Illustration 121 : Débit moyen mensuel de l'Automne à la station hydrométrique de Saintines (source : Banque HYDRO) 156
Illustration 122 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Fresnoy-le-Luat 157
Illustration 123 : Modélisation du débit de l'Automne à la station de Saintines 157
Illustration 124 : Composantes du débit de l'Automne modélisé à la station de Saintines 158
Illustration 125 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Automne modélisé à la station de Saintines 158
Illustration 126 : Localisation du bassin versant de la Divette (sources : GEOSIGNAL et IGN) 159
Illustration 127 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Divette (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 160

Illustration 128 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Divette (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 161
Illustration 129 : Carte géologique du bassin versant de la Divette..... 163
Illustration 130 : Chronique piézométrique de Chiry-Ourscamps (indice national : 00825X0107/S1)..... 165
Illustration 131 : Débit moyen mensuel de la Divette à la station hydrométrique de Passel (source : Banque HYDRO)..... 165
Illustration 132 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Chiry-Ourscamps 166
Illustration 133 : Modélisation du débit de la Divette à la station de Passel..... 167
Illustration 134 : Modélisation du débit de la Divette à la station de Passel : zoom sur la période allant du 01/01/1978 au 31/12/1992..... 167
Illustration 135 : Composantes du débit de la Divette modélisé à la station de Passel 168
Illustration 136 : Composantes du débit moyen mensuel de la Divette modélisé à la station de Passel..... 168
Illustration 137 : Localisation du bassin versant de la Bresle (sources : GEOSIGNAL et IGN) 170
Illustration 138 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Bresle (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 171
Illustration 139 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Bresle (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 172
Illustration 140 : Carte géologique du bassin versant de la Bresle (au 1/250 000 dans la partie sud et au 1/1 000 000 dans la partie nord) 174
Illustration 141 : Chronique piézométrique de Huppy (indice national : 00444X0008/S1) 175
Illustration 142 : Débit moyen mensuel de la Bresle (en m^3/s) à la station hydrométrique de Ponts-et-Marais 176
Illustration 143 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Huppy 177
Illustration 144 : Modélisation du débit de la Bresle à la station de Ponts-et-Marais 178
Illustration 145 : Modélisation du débit de la Bresle à la station de Ponts-et-Marais : représentation en logarithme népérien 178
Illustration 146 : Composantes du débit de la Bresle modélisé à la station de Ponts-et-Marais..... 179
Illustration 147 : Composantes du débit moyen mensuel de la Bresle modélisé à la station de Ponts-et-Marais..... 179
Illustration 148 : Localisation du bassin versant de la Serre (sources : GEOSIGNAL et IGN) 180
Illustration 149 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Serre (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 181
Illustration 150 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Serre (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 182
Illustration 151 : Carte géologique du bassin versant de la Serre (au 1/1 000 000) 185

Illustration 152 : Chronique piézométrique de Renneval (indice national : 00665X0016/S1)..186
Illustration 153 : Chronique piézométrique de Bois-lès-Pargny (indice national : 00675X0019/S1) 186
Illustration 154 : Débit moyen mensuel de la Serre (en m^3/s) à la station hydrométrique de Mortiers 188
Illustration 155 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Renneval 189
Illustration 156 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Bois-lès-Pargny 189
Illustration 157 : Modélisation du débit de la Serre à la station de Mortiers..... 190
Illustration 158 : Composantes du débit de la Serre modélisé à la station de Mortiers 190
Illustration 159 : Composantes du débit moyen mensuel de la Serre modélisé à la station de Mortiers 191
Illustration 160 : Localisation du bassin versant de la Bezonde (sources : GEOSIGNAL et IGN)..... 193
Illustration 161 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Bezonde (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 194
Illustration 162 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Bezonde (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 195
Illustration 163 : Carte géologique du bassin versant de la Bezonde 197
Illustration 164 : Chronique piézométrique de Villemoutiers (indice national : 03651X0107/P) 199
Illustration 165 : Débit moyen mensuel (en m^3/s) de la Bezonde à la station hydrométrique de Pannes (source : banque HYDRO) 200
Illustration 166 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Villemoutiers sans prise en compte des prélèvements..... 201
Illustration 167 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Villemoutiers avec prise en compte des prélèvements..... 201
Illustration 168 : Modélisation du débit de la Bezonde à la station de Pannes en utilisant le piézomètre de Villemoutiers 202
Illustration 169 : Modélisation du débit de la Bezonde à la station de Pannes : représentation en logarithme népérien 202
Illustration 170 : Composantes du débit de la Bezonde modélisé à la station de Pannes 203
Illustration 171 : Composantes du débit moyen mensuel de la Bezonde modélisé à la station de Pannes 203
Illustration 172 : Modélisation du débit de la Bezonde sans prise en compte d'un piézomètre 204
Illustration 173 : Localisation du bassin versant du Puiseaux (sources : GEOSIGNAL et IGN)..... 205
Illustration 174 : Altitude des terrains dans le bassin versant du Puiseaux (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 206
Illustration 175 : Pente des terrains dans le bassin versant du Puiseaux (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)..... 207

Illustration 176 : Carte géologique du bassin versant du Puiseaux 209
Illustration 177 : Chronique piézométrique de Villemoutiers (indice national : 03651X0107/P) 210
Illustration 178 : Débit moyen mensuel (en m^3/s) du Puiseaux à la station hydrométrique de Saint-Hilaire-sur-Puiseaux (source : banque HYDRO) 211
Illustration 179 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Villemoutiers 212
Illustration 180 : Modélisation du débit du Puiseaux à la station de Saint-Hilaire-sur-Puiseaux en utilisant le piézomètre de Villemoutiers 213
Illustration 181 : Composantes du débit du Puiseaux modélisé à la station de Saint-Hilaire-sur-Puiseaux 213
Illustration 182 : Composantes du débit moyen mensuel de la Bezonde modélisé à la station de Pannes 214
Illustration 183 : Localisation du bassin versant de la Conie (sources : GEOSIGNAL et IGN) 215
Illustration 184 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Conie (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 216
Illustration 185 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Conie (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 217
Illustration 186 : Évapotranspiration décadaire (en mm) calculée aux stations météorologiques de Chartres-Champhol et d'Orléans-Bricy (données MétéoFrance) 219
Illustration 187 : Carte géologique du bassin versant de la Conie 220
Illustration 188 : Fluctuations piézométriques reconstituées de l'indicateur de Beauce centrale 222
Illustration 189 : Représentation schématique de l'écoulement de la nappe des calcaires de Beauce selon les isopièzes des hautes eaux 2002 222
Illustration 190 : Débit moyen mensuel (en m^3/s) de la Conie à la station hydrométrique de Conie-Molitard (source : banque HYDRO) 223
Illustration 191 : Fluctuations du débit de la Conie à la station de Conie-Molitard (Pont-de-Bleuet) 224
Illustration 192 : Modélisation des fluctuations piézomètriques de l'indicateur de Beauce centrale 225
Illustration 193 : Essai de modélisation du débit de la Conie à la station hydrométrique de Pont-de-Bleuet 225
Illustration 194 : Localisation du bassin versant de l'Aure (sources : GEOSIGNAL et IGN) 227
Illustration 195 : Altitude des terrains dans le bassin versant de l'Aure (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 228
Illustration 196 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Aure (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 229
Illustration 197 : Carte géologique du bassin versant de l'Aure 231
Illustration 198 : Chronique piézométrique de Maisons (indice national : 01184X0021/S1) 232

Illustration 199 : Chronique piézométrique de Saint-Martin-des-Entrées (indice national : 01191X0004/S1) 233
Illustration 200 : Débit décadaire de l'Aure (en m^3/s) à la station hydrométrique de Maisons / Pont-Fatu 233
Illustration 201 : Débit moyen mensuel de l'Aure (en m^3/s) à la station hydrométrique de Maisons / Pont-Fatu (source : banque HYDRO) 234
Illustration 202 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Maisons 236
Illustration 203 : Modélisation du débit de l'Aure à la station hydrométrique de Maisons 236
Illustration 204 : Composantes du débit de l'Aure modélisé à la station de Maisons 237
Illustration 205 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Aure modélisé à la station de Maisons 237
Illustration 206 : Localisation du bassin versant de la Dives (sources : GEOSIGNAL et IGN) 238
Illustration 207 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Dives (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 239
Illustration 208 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Dives (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 240
Illustration 209 : Carte géologique du bassin versant de la Dives 243
Illustration 210 : Chronique piézométrique d'Occagnes (indice national : 01768X0022/S2) 244
Illustration 211 : Chronique piézométrique de Vieux-Fumé (indice national : 01463X0103/S1) 245
Illustration 212 : Débit moyen mensuel de la Dives (en m^3/s) à la station hydrométrique de Saint-Lambert-sur-Dives (source : banque HYDRO) 246
Illustration 213 : Débit moyen mensuel de la Dives (en m^3/s) à la station hydrométrique de Beaumais (source : banque HYDRO) 246
Illustration 214 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Occagnes 247
Illustration 215 : Modélisation du débit de la Dives à la station de Saint-Lambert-sur-Dives 248
Illustration 216 : Débits observés et débits modélisés de la Dives à Saint-Lambert-sur-Dives représentés en logarithme népérien du 01/01/1998 au 31/07/2008 248
Illustration 217 : Composantes du débit de la Dives modélisé à la station de Saint-Lambert-sur-Dives 249
Illustration 218 : Composantes du débit moyen mensuel de la Dives modélisé à la station de Saint-Lambert-sur-Dives 249
Illustration 219 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Occagnes 250
Illustration 220 : Modélisation du débit de la Dives à la station de Beaumais 251
Illustration 221 : Débits observés et débits modélisés de la Dives à Beaumais représentés en logarithme népérien du 01/01/1998 au 31/07/2008 252
Illustration 222 : Composantes du débit de la Dives modélisé à la station de Beaumais 252
Illustration 223 : Composantes du débit moyen mensuel de la Dives modélisé à la station de Beaumais 253

Illustration 224 : Localisation du bassin versant de la Laize (sources : GEOSIGNAL et IGN) 254
Illustration 225 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Laize (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 255
Illustration 226 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Laize (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 256
Illustration 227 : Carte géologique du bassin versant de la Laize 258
Illustration 228 : Chronique piézométrique de Saint-Pierre-du-Regard (indice national : 01756X0008/S1)..... 260
Illustration 229 : Débit moyen mensuel de la Laize (en m^3/s) à la station hydrométrique de Saint-Germain-le-Vasson (source : banque HYDRO)..... 260
Illustration 230 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Saint-Pierre-du-Regard 261
Illustration 231 : Modélisation du débit de la Laize à la station de Saint-Germain-le-Vasson. 262
Illustration 232 : Débits observés et débits modélisés de la Laize représentés en logarithme népérien du 01/07/1994 au 31/12/2001 262
Illustration 233 : Composantes du débit de la Laize modélisé à la station de Saint-Germain-le-Vasson 263
Illustration 234 : Localisation du bassin versant de la Mue (sources : GEOSIGNAL et IGN) . 264
Illustration 235 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Mue (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 265
Illustration 236 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Mue (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 266
Illustration 237 : Carte géologique du bassin versant de la Mue..... 268
Illustration 238 : Chronique piézométrique de Beny-sur-Mer (indice national : 01194X0069/S1)..... 269
Illustration 239 : Débit moyen mensuel de la Mue (en m^3/s) à la station hydrométrique de Reviers (source : banque HYDRO)..... 270
Illustration 240 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Beny-sur-Mer..... 272
Illustration 241 : Modélisation du débit de la Mue à la station de Reviers..... 272
Illustration 242 : Localisation du bassin versant de la Seulles (sources : GEOSIGNAL et IGN) 273
Illustration 243 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Seulles (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 274
Illustration 244 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Seulles (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 275
Illustration 245 : Carte géologique du bassin versant de la Seulles..... 277
Illustration 246 : Schéma structural extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Bayeux - Courseulles-sur-Mer..... 277
Illustration 247 : Chronique piézométrique de Martragny (indice national : 01192X0043/S1)..... 278

Illustration 248 : Débit moyen mensuel de la Seulles (en m^3/s) à la station hydrométrique de Tierceville (source : banque HYDRO) 279
Illustration 249 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Martragny....280
Illustration 250 : Modélisation du débit de la Seulles à la station de Tierceville 280
Illustration 251 : Débits observés et débits modélisés de la Seulles représentés en logarithme népérien du 01/01/1995 au 17/07/2008....281
Illustration 252 : Composantes du débit de la Seulles modélisé à la station de Tierceville....282
Illustration 253 : Composantes du débit moyen mensuel de la Seulles modélisé à la station de Tierceville....282
Illustration 254 : Localisation du bassin versant de la Risle et du sous bassin de la Charentonne (sources : GEOSIGNAL et IGN) 283
Illustration 255 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de la Risle et du sous-bassin de la Charentonne (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)....284
Illustration 256 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Risle et du sous-bassin de la Charentonne (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)....285
Illustration 257 : Carte géologique du bassin versant de la Risle et du sous-bassin de la Charentonne 288
Illustration 258 : Chronique piézométrique d'Aigle (indice national : 02144X0005/S1) 289
Illustration 259 : Chronique piézométrique de Goupillières (indice national : 01491X0009/S1)....290
Illustration 260 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de la Risle à Rai (source : Banque HYDRO) 291
Illustration 261 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de la Risle à Pont-Authou (source : Banque HYDRO)....292
Illustration 262 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de la Charentonne à Bocquencé (source : Banque HYDRO) 292
Illustration 263 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Goupillières....293
Illustration 264 : Modélisation du débit de la Risle à la station de Pont-Authou 294
Illustration 265 : Composantes du débit de la Risle modélisé à la station de Pont-Authou....294
Illustration 266 : Composantes du débit moyen mensuel de la Risle modélisé à la station de Pont-Authou....295
Illustration 267 : Modélisation de la chronique du piézomètre d'Aigle 296
Illustration 268 : Modélisation du débit de la Risle à la station de Rai....296
Illustration 269 : Composantes du débit de la Risle modélisé à la station de Rai 297
Illustration 270 : Composantes du débit moyen mensuel de la Risle modélisé à la station de Rai....297
Illustration 271 : Modélisation du débit de la Charentonne à la station de Bocquencé 298
Illustration 272 : Composantes du débit de la Charentonne modélisé à la station de Bocquencé....298

Illustration 273 : Composantes du débit moyen mensuel de la Charentonne modélisé à la station de Bocquencé 299
Illustration 274 : Localisation du bassin versant de l'Iton (sources : GEOSIGNAL et IGN)..... 300
Illustration 275 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de l'Iton (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 301
Illustration 276 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Iton (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)..... 302
Illustration 277 : Carte géologique du bassin versant de l'Iton 305
Illustration 278 : Chronique piézométrique de Montaure (indice national : 01245X0010/S1) . 306
Illustration 279 : Chronique piézométrique de Nogent-le-Sec (indice national : 01794X0035/S1)..... 307
Illustration 280 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de l'Iton à Normanville (source : Banque HYDRO)..... 308
Illustration 281 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Montaure 309
Illustration 282 : Modélisation du débit de l'Iton à la station de Normanville 309
Illustration 283 : Composantes du débit de l'Iton modélisé à la station de Normanville..... 310
Illustration 284 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Iton modélisé (piézomètre de Montaure) à la station de Normanville 310
Illustration 285 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Nogent-le-Sec 311
Illustration 286 : Modélisation du débit de l'Iton à la station de Normanville 312
Illustration 287 : Composantes du débit de l'Iton modélisé à la station de Normanville..... 312
Illustration 288 : Compsantes du débit moyen mensuel de l'Iton modélisé (piézomètre de Nogent-le-Sec) à la station de Normanville..... 313
Illustration 289 : Modélisation du débit de l'Iton à la station de Bourth..... 313
Illustration 290 : Composantes du débit de l'Iton modélisé à la station de Bourth 314
Illustration 291 : Compsantes du débit moyen mensuel de l'Iton modélisé à la station de Bourth 314
Illustration 292 : Localisation du bassin versant de l'Avre (sources : GEOSIGNAL et IGN) ... 315
Illustration 293 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de l'Avre (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 316
Illustration 294 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Avre (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 317
Illustration 295 : Carte géologique du bassin versant de l'Avre..... 319
Illustration 296 : Chronique piézométrique Moisville (indice national : 01805X0036/S1)..... 320
Illustration 297 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de lAvre à Muzy (source : Banque HYDRO)..... 321
Illustration 298 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Moisville..... 322
Illustration 299 : Modélisation du débit de l'Avre à la station de Muzy 322
Illustration 300 : Composantes du débit de l'Avre modélisé à la station de Muzy..... 323

Illustration 301 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Avre modélisé à la station de Muzy....324
Illustration 302 : Localisation du bassin versant de l'Austreberthe (sources : GEOSIGNAL et IGN) 325
Illustration 303 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de l'Austreberthe (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 326
Illustration 304 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Austreberthe (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 327
Illustration 305 : Carte géologique du bassin versant de l'Austreberthe....329
Illustration 306 : Chronique piézométrique Claville-Motteville (indice national : 00776X0096/S1) 330
Illustration 307 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de l'Austreberthe à Saint-Paër (source : Banque HYDRO) 331
Illustration 308 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Claville-Motteville....332
Illustration 309 : Modélisation du débit de l'Austreberthe à la station de Saint-Paër....333
Illustration 310 : Composantes du débit de l'Austreberthe modélisé à la station de Saint-Paër....333
Illustration 311 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Austreberthe modélisé à la station de Saint-Paër 334
Illustration 312 : Localisation du bassin versant de la Saâne (sources : GEOSIGNAL et IGN)....335
Illustration 313 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de la Saâne (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 336
Illustration 314 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Saâne (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)....337
Illustration 315 : Carte géologique du bassin versant de la Saâne....339
Illustration 316 : Chronique piézométrique Motteville (indice national : 00762X0004/S1)....340
Illustration 317 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de la Saâne à Val de Saâne (source : Banque HYDRO)....341
Illustration 318 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Motteville....342
Illustration 319 : Modélisation du débit de la Saâne à la station de Val de Saâne 342
Illustration 320 : Composantes du débit de la Saâne modélisé à la station de Val de Saâne....343
Illustration 321 : Composantes du débit moyen mensuel de la Saâne modélisé à la station de Val de Saâne 343
Illustration 322 : Localisation du bassin versant du Dun (sources : GEOSIGNAL et IGN)....344
Illustration 323 : Altitudes des terrains dans le bassin versant du Dun (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 345
Illustration 324 : Pente des terrains dans le bassin versant du Dun (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 346

Illustration 325 : Carte géologique du bassin versant du Dun 348
Illustration 326 : Chronique piézométrique Tocqueville-en-Caux (indice national : 00583X0005/S1)..... 349
Illustration 327 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique du Dun au Bourg-Dun (source : Banque HYDRO)..... 350
Illustration 328 : Modélisation de la chronique du piézomètre deTocqueville-en-Caux 351
Illustration 329 : Modélisation du débit du Dun à la station de Bourg-Dun..... 351
Illustration 330 : Composantes du débit du Dun à la station de Bourg-Dun..... 352
Illustration 331 : Composantes du débit moyen mensuel du Dun à la station Bourg-Dun 352
Illustration 332 : Localisation du bassin versant de la Durdent (sources : GEOSIGNAL et IGN) 353
Illustration 333 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de la Durdent (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 354
Illustration 334 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Durdent (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 355
Illustration 335 : Carte géologique du bassin versant de la Durdent..... 357
Illustration 336 : Chronique piézométrique Colmesnil-Manneville (indice national : 00584X0022/S1)..... 358
Illustration 337 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de la Durdent à Vittefleur (source : Banque HYDRO)..... 359
Illustration 338 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Colmesnil-Manneville 360
Illustration 339 : Modélisation du débit de la Durdent à la station de Vittefleur..... 361
Illustration 340 : Composantes du débit du Durdent modélisé à la station de Vittefleur 361
Illustration 341 : Composantes du débit moyen mensuel de la Durdent modélisé à la station de Vittefleur..... 362
Illustration 342 : Localisation du bassin versant de l'Ardres (sources : GEOSIGNAL et IGN) 363
Illustration 343 : Altitude des terrains dans le bassin versant de l'Ardres (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 364
Illustration 344 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Ardres (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 365
Illustration 345 : Carte géologique du bassin versant de l'Ardres 367
Illustration 346 : Chronique piézométrique d'Armentières-sur-Ourcq (indice national : 01306X0023/S1)..... 368
Illustration 347 : Débit moyen mensuel (en m^3/s) à la station hydrométrique de Faverolles-et-Coemy (source : banque HYDRO)..... 369
Illustration 348 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Armentières-sur-Ourcq..... 370
Illustration 349 : Modélisation du débit de l'Ardres à la station de Faverolles-et-Coemy en utilisant le piézomètre d'Armentières-sur-Ourcq 371

Illustration 350 : Composantes du débit de l'Ardres modélisé à la station de Faverolles-et-Coemy....371
Illustration 351 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Ardres modélisé à la station de Faverolles-et-Coemy....372
Illustration 352 : Localisation du bassin versant de l'Huitrelle (sources : GEOSIGNAL et IGN)....373
Illustration 353 : Altitude des terrains dans le bassin versant de l'Huitrelle (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)....374
Illustration 354 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Huitrelle (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)....375
Illustration 355 : Carte géologique du bassin versant de l'Huitrelle....377
Illustration 356 : Chronique du piézomètre de Sompuis (indice national : 02255X0003/S1)....378
Illustration 357 : Débit moyen mensuel (en m^3/s) à la station hydrométrique de Lhuitre (source : banque HYDRO)....379
Illustration 358 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Sompuis....380
Illustration 359 : Modélisation du débit de l'Huitrelle à la station de Lhuitre en utilisant le piézomètre de Sompuis....380
Illustration 360 : Composantes du débit de l'Huitrelle modélisé à la station de Lhuitre....381
Illustration 361 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Huitrelle modélisé à la station de Lhuitre....381
Illustration 362 : Localisation du bassin versant de la Retourne (sources : GEOSIGNAL et IGN)....382
Illustration 363 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Retourne (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)....383
Illustration 364 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Retourne (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)....384
Illustration 365 : Carte géologique du bassin versant de la Retourne....386
Illustration 366 : Chronique du piézomètre de Fresne-lès-Reims (indice national : 01086X0011/LS4)....387
Illustration 367 : Débit moyen mensuel (en m^3/s) à la station hydrométrique de Houdilcourt (source : banque HYDRO)....388
Illustration 368 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Fresne-lès-Reims....388
Illustration 369 : Modélisation du débit de la Retourne à la station d'Houdilcourt....389
Illustration 370 : Composantes du débit de la Retourne modélisé à la station d'Houdilcourt....390
Illustration 371 : Composantes du débit moyen mensuel de la Retourne modélisé à la station d'Houdilcourt....390
Illustration 372 : Localisation du bassin versant de la Soude (sources : GEOSIGNAL et IGN)....391
Illustration 373 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Soude (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)....392

Illustration 374 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Soude (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 393
Illustration 375 : Carte géologique du bassin versant de la Soude 395
Illustration 376 : Chronique du piézomètre de Grandes-Loges (indice national : 01584X0023/LV3) 396
Illustration 377 : Débit moyen mensuel (en m^3/s) à la station hydrométrique de Soudron (source : banque HYDRO) 397
Illustration 378 : Modélisation des fluctuations du piézomètre de Grandes-Loges 398
Illustration 379 : Modélisation du débit de la Soude à la station de Soudron 398
Illustration 380 : Modélisation du débit de la Soude à la station de Soudron : représentation en logarithme népérien 399
Illustration 381 : Composantes du débit de la Soude modélisé à la station de Soudron 399
Illustration 382 : Composantes du débit moyen mensuel de la Soude modélisé à la station de Soudron 400
Illustration 383 : Localisation du bassin versant de la Voire (sources : GEOSIGNAL et IGN) 401
Illustration 384 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Voire (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m) 402
Illustration 385 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Voire (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m) 403
Illustration 386 : Carte géologique du bassin versant de la Voire 405
Illustration 387 : Débit minimal annuel (en m^3/s) enregistré à la station hydrométrique de Droyes-Gervilliers 407
Illustration 388 : Chronique du piézomètre de Vaux-sur-Blaise (indice national : 02648X0020/S1) 407
Illustration 389 : Débit moyen mensuel (en m^3/s) à la station hydrométrique de Droyes-Gervilliers (source : banque HYDRO) 408
Illustration 390 : Modélisation des fluctuations du piézomètre de Vaux-sur-Blaise 409
Illustration 391 : Modélisation du débit de la Voire à la station de Droyes-Gervilliers 409
Illustration 392 : Composantes du débit modélisé à la station de Droyes-Gervilliers 410
Illustration 393 : Composantes du débit moyen mensuel de la Voire modélisé à la station de Droyes 411

Liste des tableaux

Tableau 1 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant du Grand Morin 54
Tableau 2 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Thérouanne..64
Tableau 3 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Voulzie 74
Tableau 4 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant du Loing à Episy ...84
Tableau 5 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant du Loing à Montbouy 84
Tableau 6 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de l'Essonne à Guigneville 102
Tableau 7 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de l'Essonne à Boulancourt.....102
Tableau 8 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Mauldre 117
Tableau 9 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de l'Ourcq.....142
Tableau 10 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de l'Automne 152
Tableau 11 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Divette 162
Tableau 12 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Bezonde 196
Tableau 13 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant du Puiseaux 208
Tableau 14 : Prélèvements pour l'AEP et l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Conie 218
Tableau 15 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de l'Aure.....230
Tableau 16 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Dives à Beaumais.....241
Tableau 17 : Caractéristiques des chroniques de débit de la Dives aux stations hydrométriques de Saint-Lambert-sur-Dives et de Beaumais 246
Tableau 18 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Laize.....257
Tableau 19 : Prélèvements (en m^3) dans le bassin versant de la Mue 267
Tableau 20 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Risle à Pont-Authou.....286
Tableau 21 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de l'Iton à Normanville.....303
Tableau 22 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de l'Austreberthe.328
Tableau 23 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Durdent 356
Tableau 24 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de l'Huitrelle 376
Tableau 25 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Retourne 385
Tableau 26 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Soude.....394
Tableau 27 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Voire.....404

Liste des annexes

Annexe 1 : Les fonctions de transfert sous TEMPO 419
Annexe 2 : L'historique des prélèvements 427
Annexe 3 : Tableaux récapitualtifs 431
Annexe 4 : Classement de tous les bassins versants de Seine-Normandie ayant fait l'objet d'une modélisation avec Tempo (2006 – 2008) 437
Annexe 5 : Appréciation globale sur les résultats des modélisations 441

1. Introduction

L'outil d'aide à la gestion mis en œuvre dans cette étude repose sur le logiciel de traitement du signal TEMPO. Celui-ci comporte des modèles de transfert « pluie – niveau piézométrique – débit » qui, pour chaque piézomètre et pour chacune des stations hydrométriques modélisés, permettent d'effectuer des prévisions. Ces dernières sont obtenues après une phase de calage sur les observations, puis en générant de très nombreuses séries climatiques (pluies et ETP) et en réalisant une analyse fréquentielle des niveaux et des débits correspondants.

Le calcul des volumes mobilisables pour les prélèvements est effectué en se fixant un débit de référence à l'exutoire du bassin versant : c'est le QMNA5 qui est utilisé. Lorsque cela s'avère nécessaire pour une bonne représentation des chroniques de débit, les données disponibles de prélèvements sont intégrées dans les modèles.

En préalable à la modélisation, un important travail de sélections des chroniques de pluie, ETP, débits et niveaux de nappe a été effectué. S'il n'est pas décrit en détails dans ce rapport, il a constitué néanmoins la pierre angulaire sur laquelle reposent les modélisations.

Après avoir exposé la méthodologie utilisée, ce rapport présente les contextes inhérents à chaque bassin versant (géographique, climatologique, hydrologique et hydrogéologique), puis les modélisations de niveaux piézométriques et de débits, ainsi que les résultats obtenus. Les volumes mobilisables calculés à partir des simulations selon les objectifs de gestion qui ont été fixés sont présentés dans le chapitre de synthèse, en début de ce rapport.

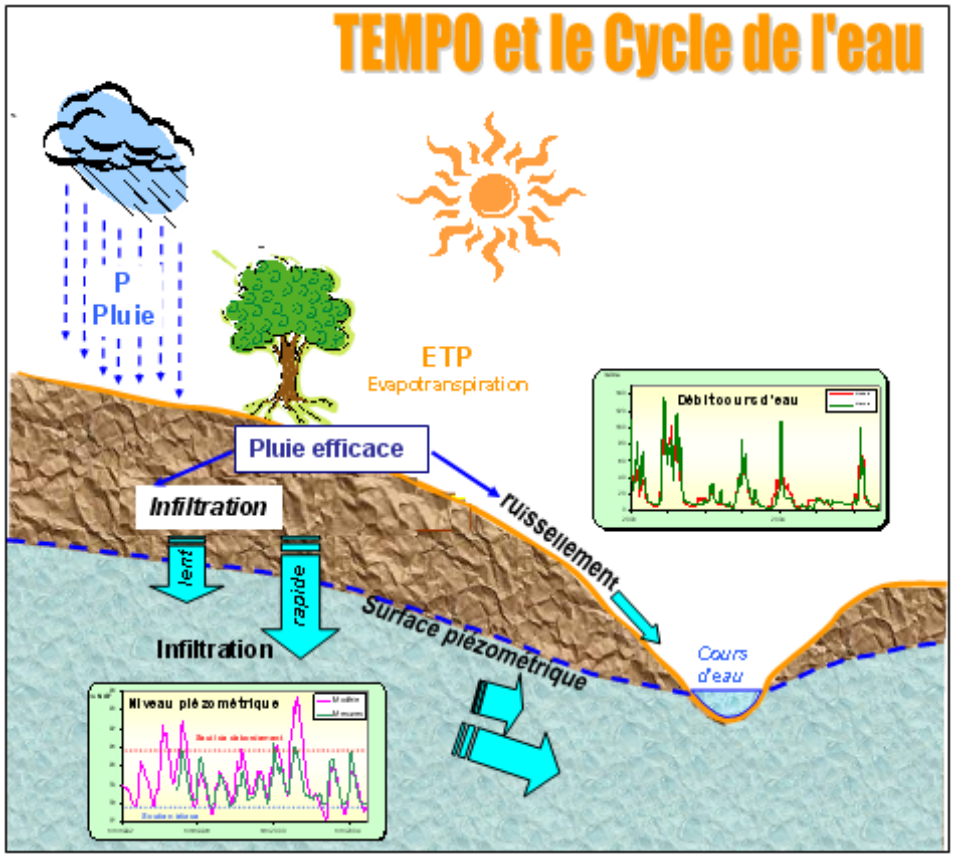


Illustration 8 : Exemple d'hydrosystème modélisable par TEMPO

2. Méthode d'évaluation des volumes de prélèvements

2.1. LA MODÉLISATION DES NIVEAUX DE NAPPES ET DE DÉBITS AVEC LE LOGICIEL TEMPO

2.1.1. Principe de la modélisation

Afin d'estimer les volumes disponibles pour les prélèvements sur un bassin versant, il est indispensable de comprendre, en vue d'en prédire le comportement son fonctionnement hydro(géo)logique : répartition entre infiltration et ruissellement de la pluie, relation nappe/rivière, temps de transfert, etc.

Or la compréhension d'un hydrosystème est facilitée par **la mise en place d'un modèle** représentant de manière schématique la réalité. Dans cette étude nous utiliserons le logiciel de modélisation TEMPO, développé par le BRGM, qui est utilisé depuis plusieurs années dans le domaine de l'hydro(géo)logie (hydrologie et hydrogéologie) pour modéliser et prévoir des **niveaux de nappes ou des débits à l'exutoire d'un bassin versant.** Il permet de modéliser le fonctionnement d'un hydrosystème, tel que celui schématisé par l'Illustration 8.

2.1.2. Modélisation globale avec le logiciel TEMPO

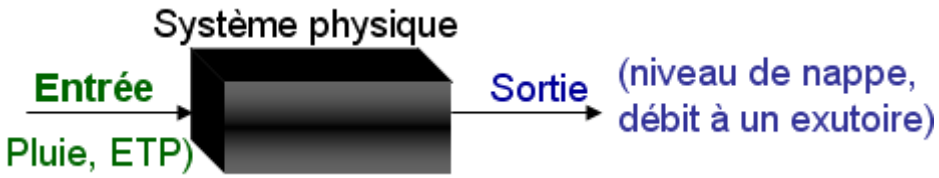
À la différence des modélisations réalisées à l'aide de « modèles maillés », qui tiennent compte explicitement des équations décrivant les écoulements, une modélisation globale avec TEMPO n'est pas basée sur de telles équations et ne nécessite pas la connaissance des caractéristiques physiques de l'hydrosystème, comme par exemple les perméabilités et les coefficients d'emmagasinement de l'aquifère avec leur variabilité spatiale.

La modélisation d'un tel hydrosystème avec TEMPO consistera à reproduire les niveaux de la nappe et/ou les débits à l'exutoire à l'aide des données climatiques, pluies et ETP.

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

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

La modélisation globale d'un hydrosystème consiste à rechercher la liaison entre l'entrée du système (pluie et ETP) et la sortie (niveaux et/ou débits).



Les modèles construits avec TEMPO sont du type « boîte noire »

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

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

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

La fonction recherchée est appelée **fonction de transfert**.

2.1.3. Modèles utilisés pour chaque bassin versant

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

- le premier permet de décrire la réponse du « *niveau piézométrique* » aux « *épisodes pluvieux* » ;
- le second relie la « *chronique de débit* » (à l'exutoire) à deux entrées : (1) « *climatologique* » (P, ETP) et (2) « *piézométrique* ».

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

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

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

2.2. LA PRÉVISION ET LE CALCUL DES VOLUMES EXPLOITABLES

2.2.1. La prévision avec TEMPO

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

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

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

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

On obtient alors n scénarios indépendants pour les niveaux ou les débits. Ceci est illustré par le graphique de l'**Illustration 9** et par l'**Illustration 10** (avec n = 5).

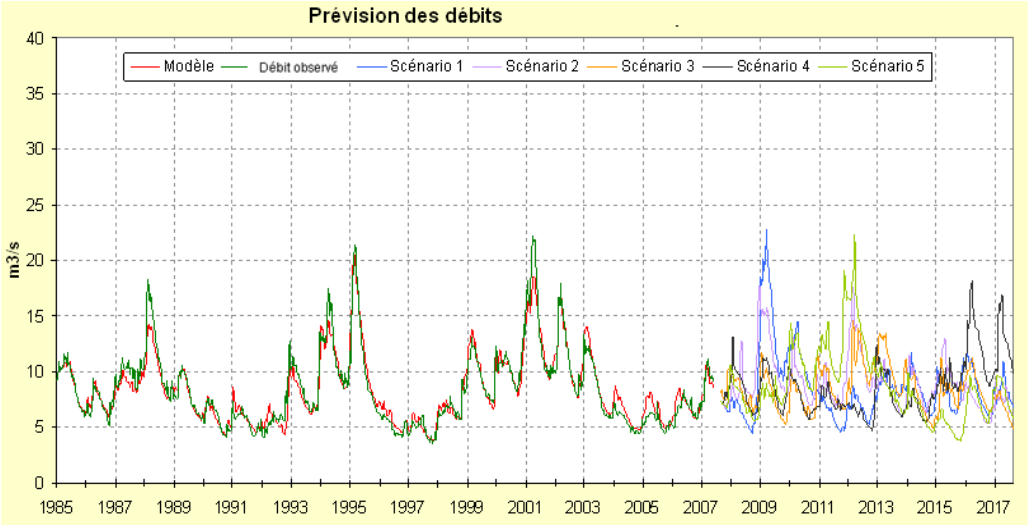


Illustration 9 : Calculs de débits à partir de scénarios climatiques

Pour que les fréquences calculées soient significatives, plusieurs centaines de scénarios sont nécessaires.

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

Sur chacun de ces intervalles de temps les niveaux sont classés par ordre croissant, ce qui revient à construire une distribution cumulée des fréquences (Illustration 11) et

permet de calculer une fréquence d'occurrence de telle ou telle valeur **dans chaque intervalle de temps** (une fréquence de dépassement ou de non dépassement).

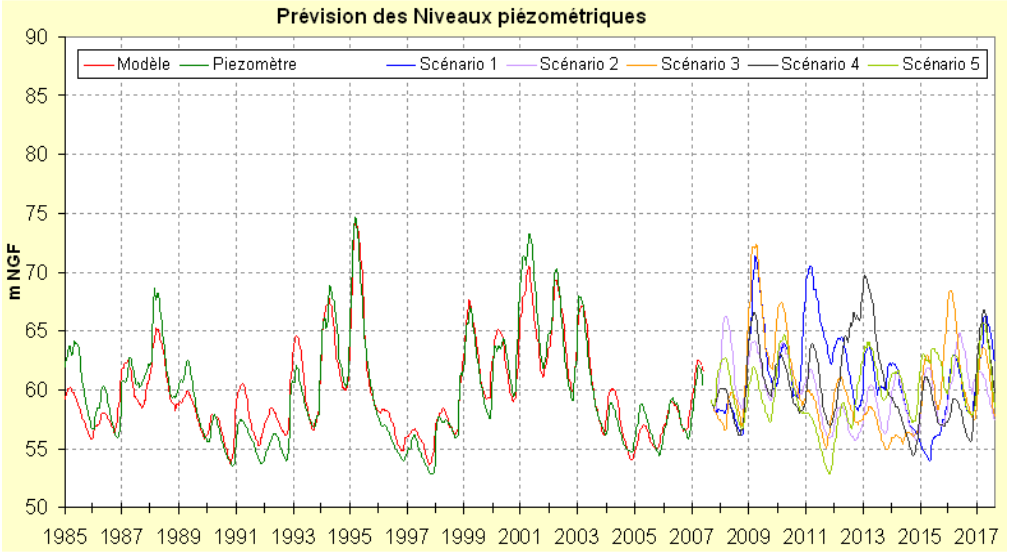
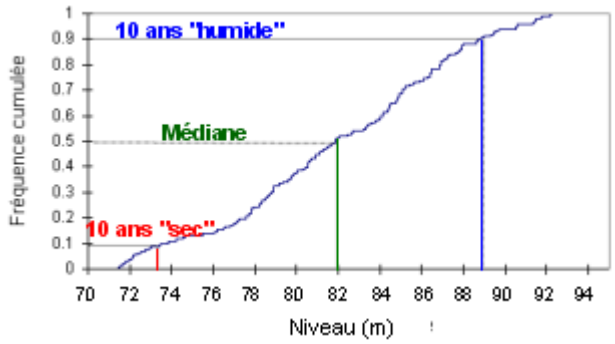


Illustration 10 : Calculs de niveaux à partir de scénarios climatiques

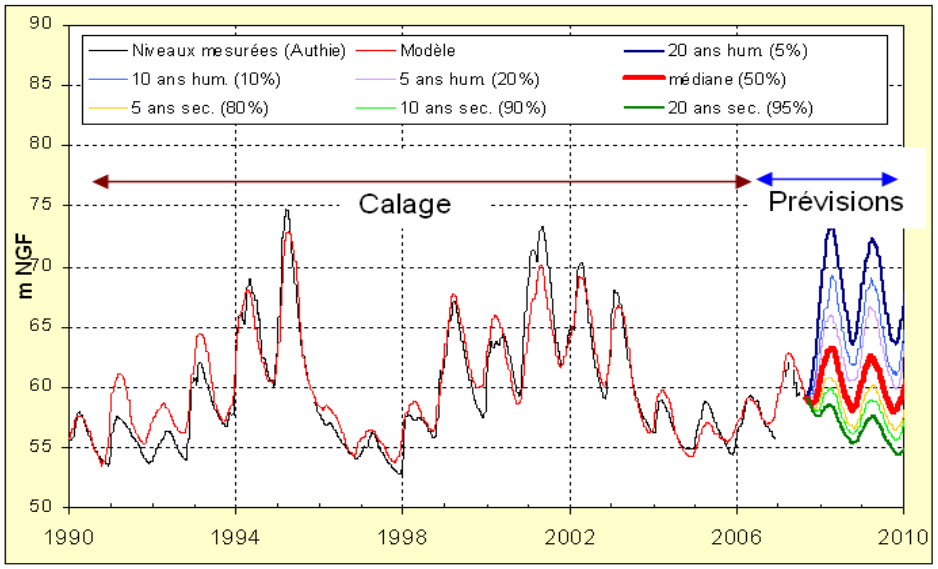


Sur ce graphique:

- la valeur H = 89 m est dépassée 1 année sur 10 (10 ans "humide");
- la valeur H = 73.5 m n'est pas dépassée 1 année sur 10 (10 ans "sec");
- la valeur H=82 m est la médiane (dépassée ou non dépassée 1 année sur 2).

Illustration 11 : Courbe de fréquence cumulée

Les valeurs correspondant à ces différentes fréquences sont calculées pas de temps par pas de temps et reportées ensuite sur un graphique (Illustration 12) où **les courbes tracées doivent s'interpréter** non pas comme représentant des chroniques continues (c'est-à-dire des courbes d'évolution possibles avec une certaine fréquence d'apparition) mais **comme des suites de valeurs correspondant chacune à une certaine fréquence d'apparition sur l'intervalle de temps considéré**. Tempo propose 7 fréquences particulières réparties en deux groupes correspondant aux années dites « humides » et aux années dites « sèches » de part et d'autre d'une valeur « médiane » correspondant à la valeur qui divise la « population » statistique sur l'intervalle de temps considéré en deux parties d'effectifs égaux; la valeur médiane est dépassée (ou non dépassée) une année sur 2.



Les "20 ans humides" s'interprètent comme la valeur de niveau ou de débit **dépassée** 1 année sur 20.

Les "20 ans secs" s'interprètent comme la valeur de niveau ou de débit qui n'est **pas dépassée** 1 année sur 20.

De même pour les autres fréquences.

Illustration 12 : Exemple de prévision fournie par TEMPO dans un environnement Excel

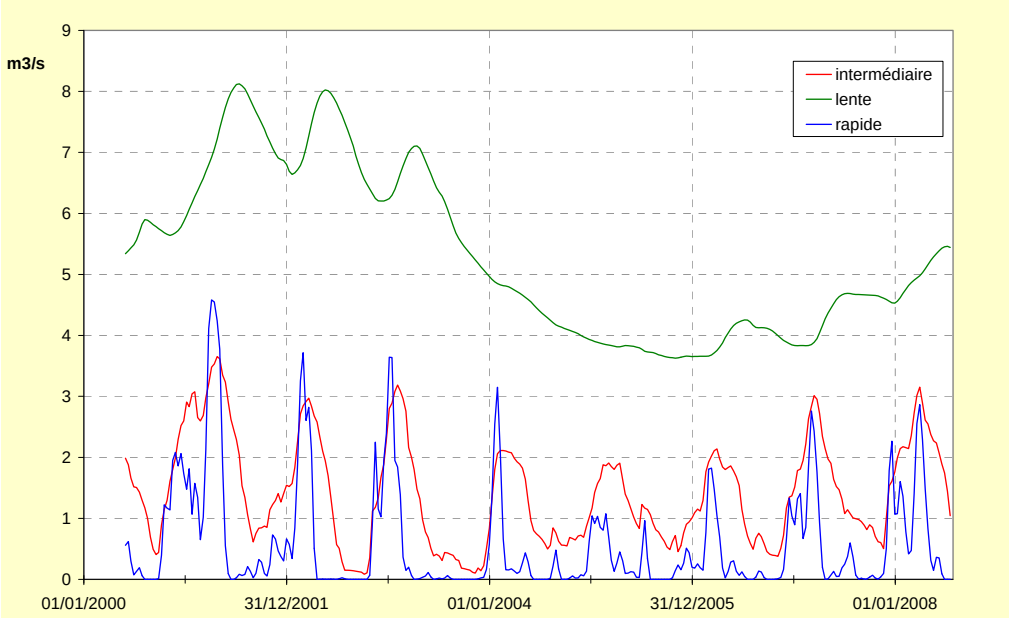


Illustration 13 : Exemple de décomposition de la chronique de débit proposée par TEMPO

TEMPO propose une décomposition du débit en tant que sous-produit du calage de la chronique de débit. Cette décomposition s'établit en trois composantes, intitulées dans la suite : lente, intermédiaire et rapide. La composante lente est le fruit de la connexion de la chronique du piézomètre avec celle du débit. La composante rapide peut être

interprétée comme le ruissellement. La composante intermédiaire réunit les signaux présents dans le débit qui ne peuvent être interprétés par les composantes lente et rapide. Elle peut donc correspondre à un ruissellement différé ou une composante souterraine plus rapide que celle caractérisée par la chronique piézométrique placée en connexion du débit (composante karstique par exemple). Son interprétation est donc délicate et ne peut se faire qu'au cas par cas, en se basant notamment sur la connaissance locale des hydrosystèmes.

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

L'Illustration 13 présente un exemple de décomposition de la chronique de débit.

2.2.2. Le calcul des volumes exploitables

Que peut-on prélever dans la nappe compte tenu de contraintes à respecter, comme par exemple maintenir un débit objectif d'étiage (DOE) dans la rivière ? La démarche mise en œuvre peut être expliquée comme suit.

1) La prévision des débits à l'exutoire du bassin est réalisée en introduisant comme entrée supplémentaire (outre la pluie et l'ETP) les niveaux mesurés sur un piézomètre représentatif de la nappe. Ceci permet de caractériser la fonction de transfert entre le niveau de la nappe et le débit à l'exutoire (Illustration 14).

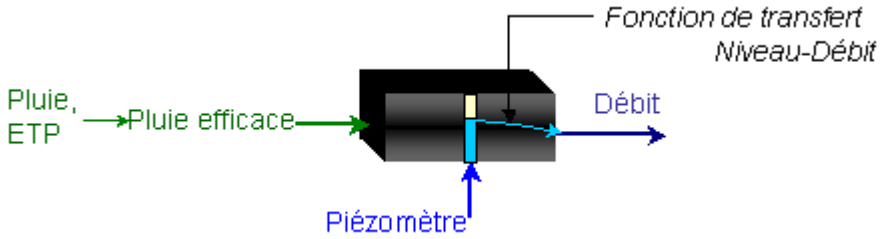


Illustration 14 : Modélisation pluie-débit avec introduction de niveaux piézométriques

2) À la phase de calage succède la phase de prévision des débits du cours d'eau. Ces prévisions sont établies aux fréquences caractéristiques mentionnées ci-dessus. Les résultats sont transférés dans un environnement Excel.

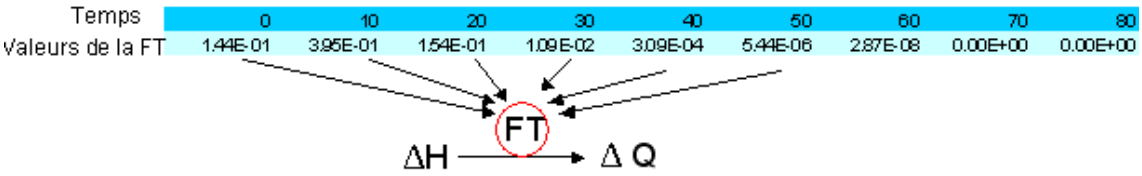
3) On se fixe un « débit objectif » à respecter : Débit Objectif d'étiage (DOE) ou Débit de Crise (DCR).

On se donne un plan de répartition des prélèvements en nappe sur la saison d'irrigation, divisée en période (mois, décade…), par exemple :

Période 1	Période 2	Période 3	Période 4	Période 5
10 %	20%	20%	50%	50%

4) Pour expliquer le processus de calcul, supposons que les rabattements induits par les prélèvements soient connus.

La fonction de transfert « Niveau de nappe-Débit », issue de la phase de calage, permet de calculer l'impact sur les débits du cours d'eau des rabattements dus aux pompages :



Un rabattement ΔH sur une période de temps Δt induira une diminution ΔQ du débit à l'exutoire (Illustration 15). Cette diminution du débit se fera avec un temps retard plus ou moins important suivant la « réactivité » de la nappe.

Connaissant les débits non « influencés » du cours d'eau (ceux issus de la prévision, pour différentes fréquences), il est alors possible d'en soustraire à chaque période p_i (et pour chaque fréquence) les baisses ΔQ_i calculées et donc de vérifier si les objectifs de débits (DOE) sont respectés ou non.

Si Qi - ΔQi < Qobj, alors le plan de gestion des prélèvements est à revoir à la baisse.

5) En fait, les rabattements ne sont pas connus (et les volumes prélevables non plus). On dispose seulement:

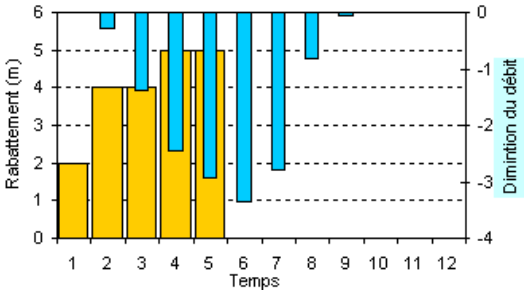
- d'un débit objectif ;
- d'un plan de répartition des prélèvements, des débits « non influencés » issus du calcul prévisionnel ;
- de la fonction de transfert permettant de passer des niveaux aux débits.

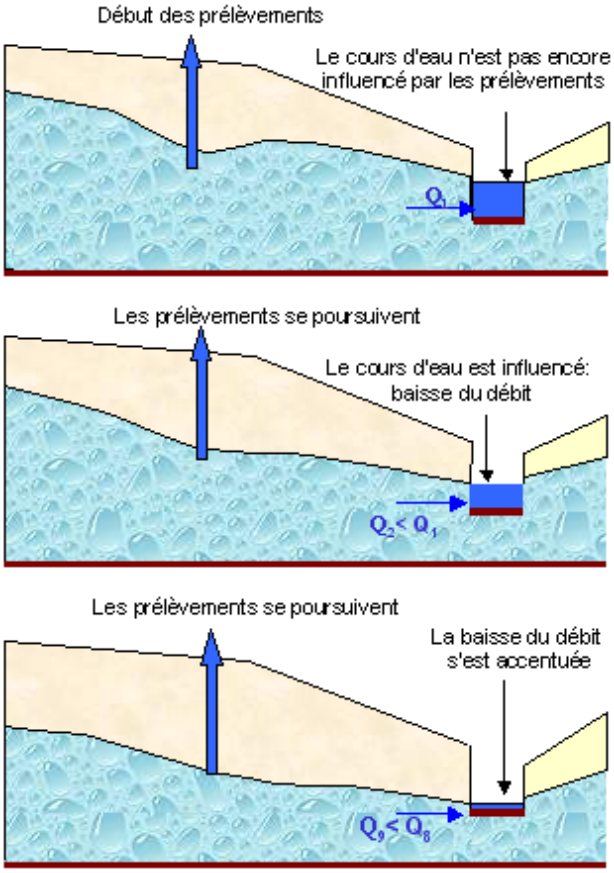
La démarche décrite ci-dessus est alors inversée : le calcul débute en prenant le débit objectif fixé comme contrainte sur toutes les périodes, puis, suivant un processus itératif automatique, recherche les rabattements ΔHi admissibles sur chaque période.

La suite des rabattements doit aussi être conforme, en %, au plan de répartition des prélèvements (par exemple, 10% en période 1, 20% en période 2…) puisqu'il y a proportionnalité entre prélèvement et rabattement induit.

Chaque rabattement, considéré isolément, provoque une baisse de débit à l'exutoire, décalée et étalée dans le temps (tableau ci-dessous). Si le débit objectif est respecté, ces baisses correspondent au volume prélevable sur chaque période.

Période Δt	ΔH (m)	ΔQ (m^3/unité temps)
1	2	0.00
2	4	-0.29
3	4	-1.37
4	5	-2.46
5	5	-2.94
6	0	-3.36
7	0	-2.79
8	0	-0.83
9	0	-0.16
10	0	0.00
11	0	0.00
12	0	0.00





Les prélèvements se font sur 5 périodes, mais la baisse des débits se prolonge sur 8 périodes

Les baisses cumulées correspondent aux prélèvements globaux effectués dans la nappe (dans cet exemple 14.2 m^3 par unité de temps).

Illustration 15 : La fonction de transfert « niveau-débit » permet de calculer la baisse des débits à l'exutoire à partir des rabattements de niveaux dus aux pompages

Période			Baisses de débit dues à		
	ΔH_1 seul	ΔH_2 seul	ΔH_3 seul	ΔH_4 seul	ΔH_5 seul
1	0	0.0	0	0	0
2	-0.3	0.0	0	0	0
3	-0.8	-0.6	0	0	0
4	-0.3	-1.6	-0.6	0	0
5	0	-0.6	-1.6	-0.7	0
6	0	0.0	-0.6	-2.0	-0.7
7	0	0.0	0	-0.8	-2.0
8	0	0.0	0	-0.1	-0.8
9	0	0.0	0	0	-0.1
10	0	0.0	0	0	0
11	0	0.0	0	0	0
12	0	0.0	0	0	0
Total	-1.4	-2.8	-2.8	-3.6	-3.6
en %	10	20	20	25	25

Les chiffres de ce tableau correspondent à l'exemple de l'Illustration 15 (total prélevable de 14,2 m^3/unité de temps), au plan de gestion mentionné au point 3) ci-dessus et à la fonction de transfert dont les valeurs sont mentionnées au point 4) ci-dessus.

2.2.3. Interprétation des volumes prélevables calculés

On calcule un état de la ressource en eau qui est exprimé en volumes prélevables, en m3/an. Ce chiffre reste néanmoins un indicateur car le volume prélevable sur un bassin versant est tributaire de plusieurs conditions non prises explicitement en compte par Tempo qui est un modèle global : répartition géographique et temporelle, emplacement amont ou aval des prélèvements, répartition des prélèvements entre eau de surface et eaux souterraines, qualité recherchée de l'eau, etc. En outre, les volumes prélevables calculés repose sur une approche statistique puisque ils sont basés sur des prévisions de débits et de niveaux piézométriques correspondant à une multitude de réalisations climatiques, ils sont de ce fait à considérer en terme probabiliste.

Ces volumes calculés peuvent être :

- soit des volumes dont il faut déduire les volumes déjà prélevés si le calage du modèle de transfert s'est fait en contexte non influencé (ou très peu) ; dans ce cas, en effet, la fonction de transfert n'intègre pas les prélèvements et les prévisions volumiques faites sont globales.
- soit des volumes que l'on peut prélever en plus de ceux qui le sont déjà si le calage a tenu compte des baisses en utilisant des piézomètres influencés.

Les volumes prélevables calculés par Tempo sont basés sur des calculs de rabattements de nappe et de leurs influences sur les débits des rivières ; ils concernent donc uniquement les eaux souterraines. Les débits des rivières sont simulés en considérant un état stationnaire des volumes prélevés en eaux superficielles.

2.2.4. Récapitulatif des étapes de calcul

Tempo est utilisé par étapes :

- Corrélations pluie-ETP / Niveau piézométrique ;
- Corrélations pluie-ETP + Niveau piézométrique / Débit ;
- Utilisation des modèles en prévisions ;
- Calcul des volumes disponibles (en fonction de l'objectif du débit souhaité du cours d'eau).

3. Île-de-France

3.1. BASSIN VERSANT DU GRAND MORIN

3.1.1. Caractéristiques du bassin versant

Le Grand Morin, principal affluent rive gauche de la Marne en Seine-et-Marne, prend sa source sur le territoire de la commune de Lachy dans le département de la Marne pour se jeter plus loin dans la rivière Marne. Son bassin versant à la station de la Pommeuse occupe une superficie de 770 km² (source banque HYDRO).

Des stations d'épuration sont situées dans la vallée du Grand Morin, dont celle la ville de Coulommiers (25 000 Equivalent Habitant).

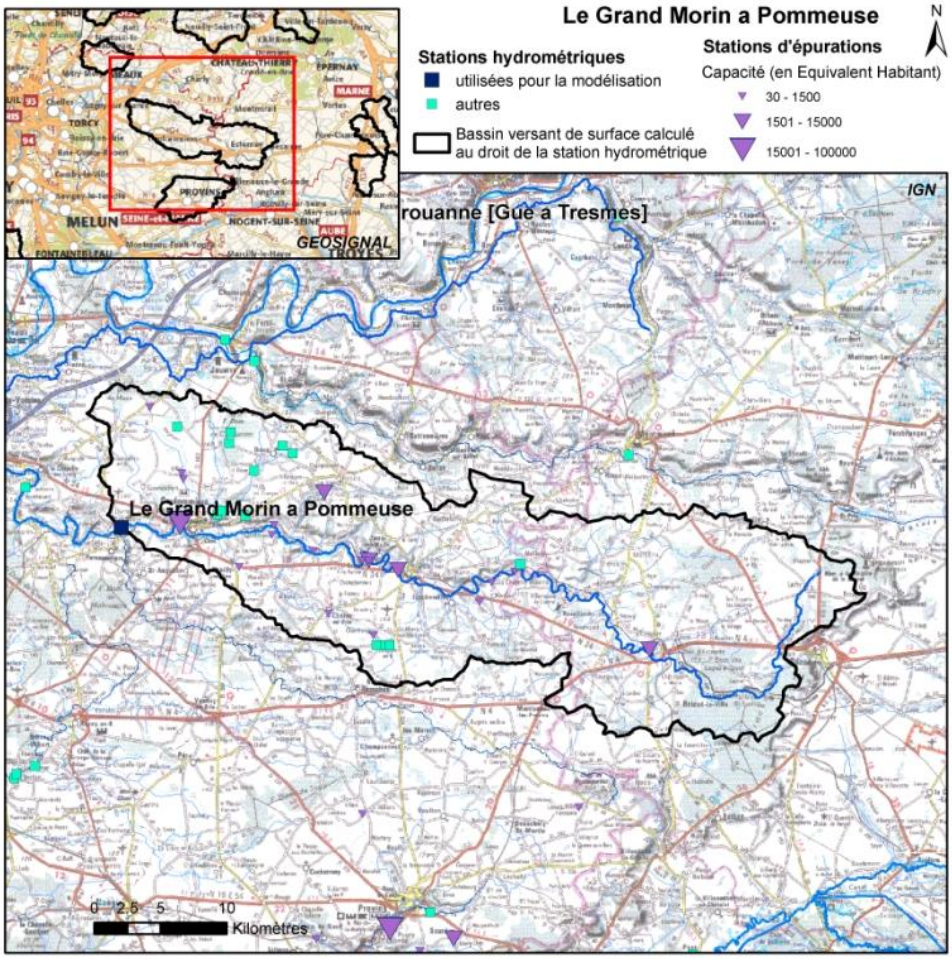


Illustration 16 : Localisation du bassin versant du Grand Morin (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude du bassin versant du Grand Morin s'échelonne de 225 à 63 m NGF avec une altitude moyenne de 165 m. Les terrains les plus élevés sont rencontrés à l'Est du bassin.

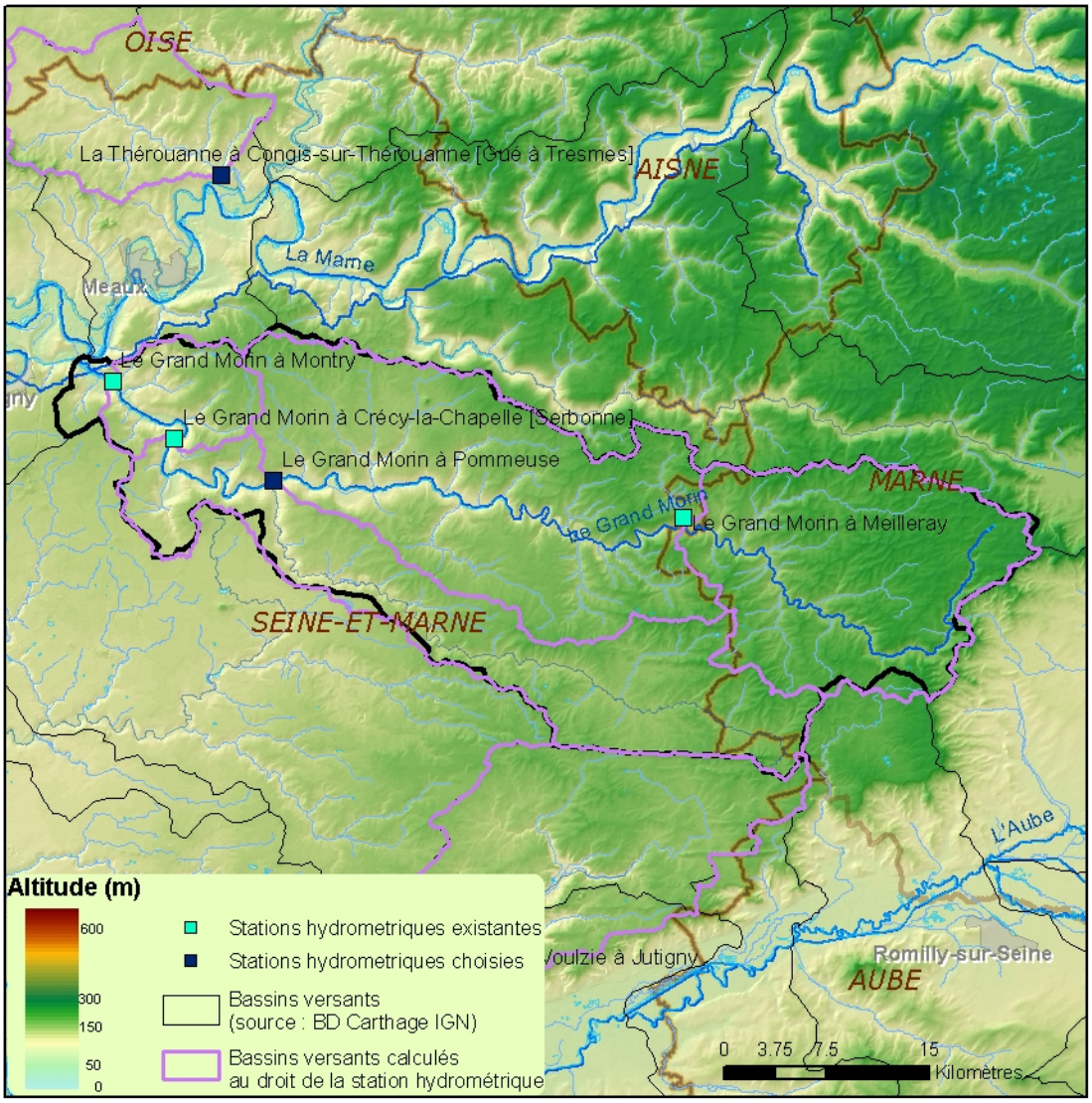


Illustration 17 : Altitudes des terrains dans le bassin versant du Grand Morin (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La carte des pentes du bassin du Grand Morin (Illustration 18) est caractérisée par un vaste plateau dans lequel est venu s'encaisser le Grand Morin. La pente moyenne sur le bassin versant est de 3,1% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), avec

une pente maximale de 41% environ. Les pentes supérieures à 5% occupent près de 17% du bassin versant.

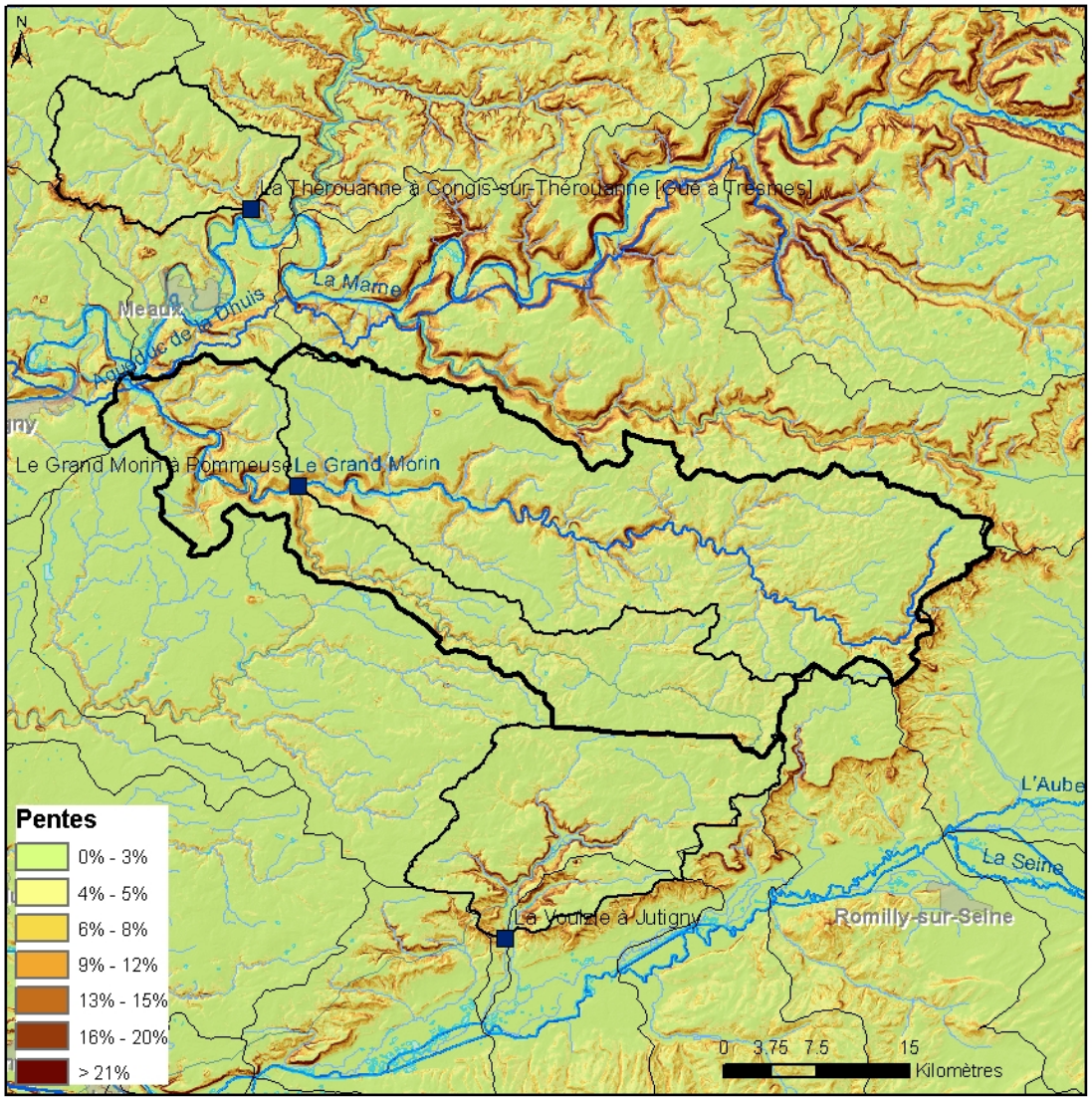


Illustration 18 : Pente des terrains dans le bassin versant du Grand Morin (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

La consultation des données de Corinne Land Cover nous donne l'occupation du sol suivante :

- à 21% par des prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbacée ;
- à 76% par des zones agricoles hétérogènes ;
- à 3% par des zones urbanisées industrialisées.

Il s'agit donc d'un bassin versant agricole à faible emprise urbaine.

L'essentiel des prélèvements sur ce bassin sont destinés à l'alimentation en eau potable. Ces prélèvements s'élèvent à environ 4,4 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 5,6 mm.

Les prélèvements pour l'industrie ont été estimés à 2,3 de m^3, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 3 mm.

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 1. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (770 km^2), ils correspondent à une lame d'eau moyenne de 0,1 mm ; en moyenne, 23% de ces prélèvements sont réalisés en rivière.

Année	Prel_Irrigation
1995	7198
1996	8975
1997	92302
1998	111086
1999	136161
2000	86887
2001	98988
2002	108990
2003	151850
2004	82171
2005	146234
2006	125406

Tableau 1 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant du Grand Morin

3.1.2. Climatologie

Le bassin versant du Grand Morin reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 771 mm environ (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Cela correspond à une pluviométrie moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de quatre stations météorologiques ont été utilisées pour la modélisation, trois pour leur chronique de pluie, une pour sa chronique d'évapotranspiration.

- Boissy-le-Chat (type 2, station créée en mai 1972), située à l'intérieur du bassin versant, à 9 km à l'Est de la station hydrométrique du Grand Morin à Pommeuse et reçoit une pluviométrie annuelle inférieure à celle du bassin versant ;
- Messy (type 2, station créée en janvier 1976), située en dehors du bassin versant, à 28 km au Nord-Ouest de la station hydrométrique et recevant une pluviométrie moyenne annuelle inférieure à celle du bassin versant ;

- Voulton (type 2, station créée en janvier 1981), située en dehors du bassin versant, à 33 km au Sud-Est de la station hydrométrique. Elle reçoit une pluviométrie moyenne annuelle légèrement inférieure à celle du bassin versant ;
- Melun (station située à Montereau-sur-le-Jard, de type 0, créée en 1947) qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman. Cette station est située en dehors du bassin versant, à 33 km au Sud-Ouest de la station hydrométrique.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des trois chroniques de pluie ci-dessus. La formule obtenue est la suivante :

0_Grandmorin = 33%.BOISSY + 34%.MESSY + 33%.VOULTON

3.1.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

La carte géologique au 1/250 000 correspondant au bassin du Grand Morin est représentée Illustration 19. Le bassin du Grand Morin couvre 6 cartes géologiques au 1/50 000 : Coulommiers (185), Montmirail (186), Montmort (187), Rozay-en-Brie (221), Esternay (222) et Sézanne (223). Ce bassin est inscrit entièrement dans des formations tertiaires éocènes et oligocènes. Le substratum tertiaire est recouvert par des limons du quaternaire. Leur épaisseur décroit du NO (épaisseur inférieure à 10 m) au SE.

Les formations géologiques du tertiaire rencontrées à l'affleurement dans ce bassin, des plus récentes au plus anciennes, sont :

- Oligocène :
  - · Sables de Fontainebleau (Stampien),
  - · Calcaires de Brie (Sannoisien supérieur),
  - · Argiles et marnes vertes (Sannoisien inférieur) ;
- Éocène :
  - · Marnes supragypseuses (Ludien supérieur),
  - · Calcaire de Champigny et Marnes infragypseuses (Ludien inférieur),
  - · Calcaire de Saint-Ouen (Marinésien).

Comme le montre la carte géologique au 1/250 000 (Illustration 19), la formation prédominante dans ce bassin correspond au Calcaire de Brie et Marnes vertes (Stampien inférieur) caractérisé par le faciès « Sannoisien », excepté dans les vallées où l'on rencontre des formations du Barthonien : Marnes supragypseuses, Calcaire de Champigny, Sables de Monceau, Calcaire de Saint-Ouen et Sables de Beauchamp.

On note la présence de trois nappes dans ce bassin versant : la nappe du Calcaire de Champigny, la nappe du Soissonnais et la nappe de la Craie. L'aquifère prédominant dans ce bassin est celui du Calcaire de Champigny.

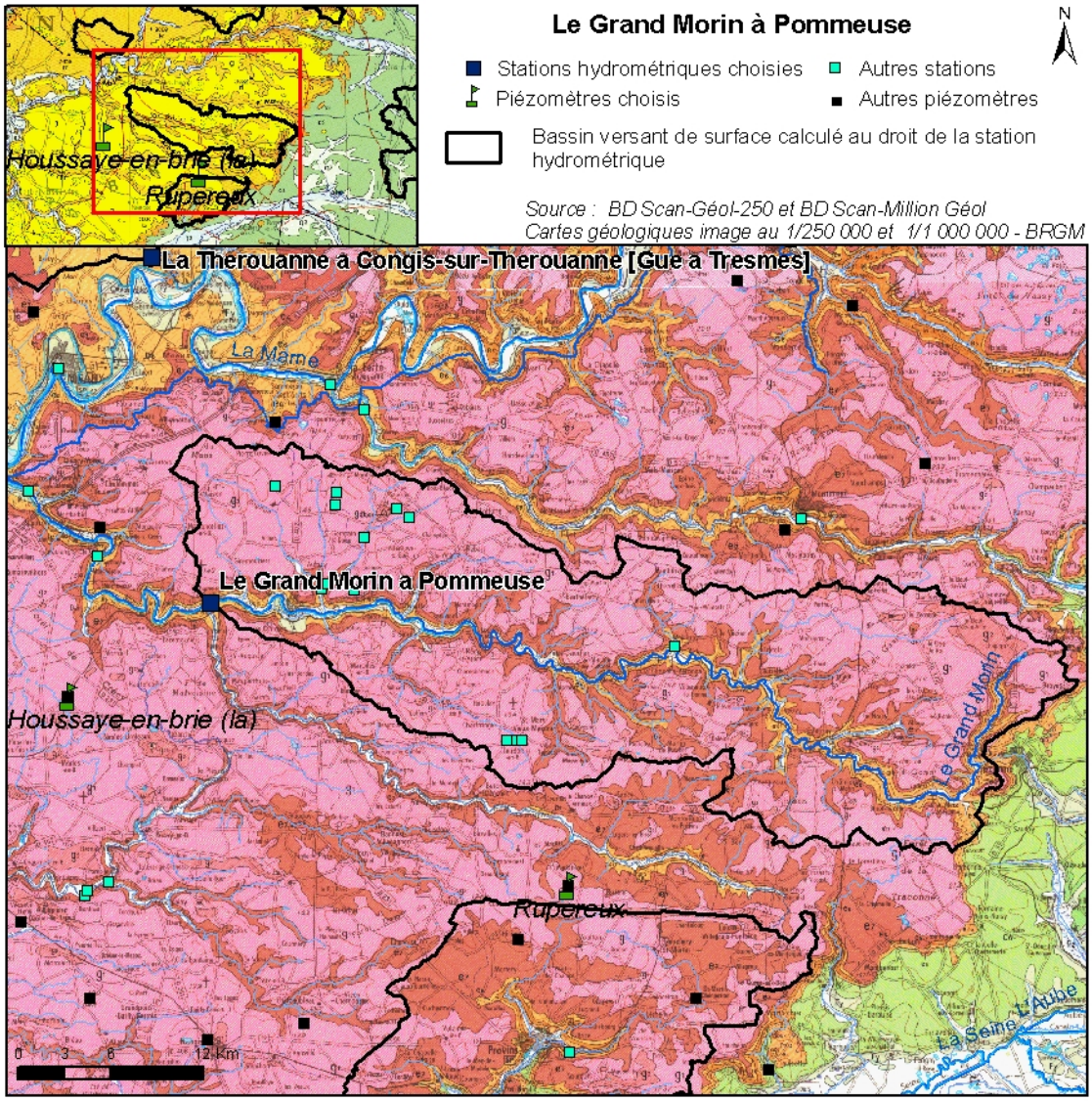


Illustration 19 : Carte géologique du bassin versant du Grand Morin

Le choix du piézomètre pour la modélisation s'est porté sur le piézomètre d'Houssaye-en-Brie (indice national : 02211X0020/F1), captant le Calcaire de Champigny, aquifère multicouches présent dans cette région. Ce piézomètre est localisé en dehors du bassin versant. Il n'existe pas de piézomètre dans ce bassin versant et les piézomètres les plus proches de ce bassin versant ne sont, soit pas représentatifs du secteur, soit avec des chroniques trop courtes.

b) Piézométrie

La chronique du piézomètre d'Houssaye-en-Brie (Calcaires de Champigny) est représentée sur l'illustration suivante, a débuté le 28/04/1981 avec un enregistrement quotidien et se poursuit actuellement.

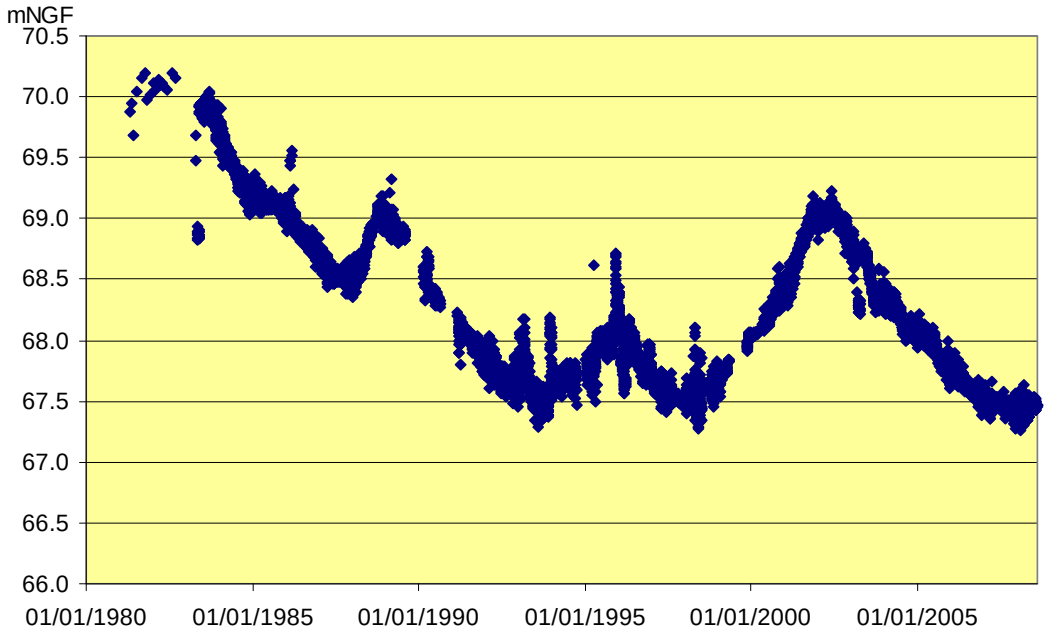


Illustration 20 : Chronique piézométrique d'Houssaye-en-Brie (indice national : 02211X0020/F1)

Cette chronique comporte 6 interruptions dont 5 de plus de 100 jours : du 01/09/1982 au 14/04/1983, du 17/08/1988 au 28/09/1988, du 10/08/1989 au 22/02/1990, du 21/08/1990 au 05/03/1991, du 28/09/1994 au 11/01/1995 et du 30/04/1999 au 14/11/1999.

La chronique présente des fluctuations interannuelles (cycle de 5 à 10 ans).

3.1.4. Hydrologie

Le Grand Morin s'écoule selon un axe SE – NW. Son débit est connu au travers de la station hydrométrique du Grand Morin à Pommeuse (code HYDRO : H5732010). La chronique de débit journalier qui a débuté le 01/01/1967 a connu une interruption sur la période : du 01/01/1976 au 31/12/1976.

Les basses eaux sont rencontrées en août–septembre et les hautes eaux en février. La lame d'eau moyenne annuelle est de 231 mm. Le débit journalier maximal connu est de 88,9 m^3/s et le minimum est de 1,62 m^3/s. L'Illustration 21 montre le débit moyen mensuel (source : banque HYDRO) et met en évidence un soutien important du cours d'eau par la nappe en période d'étiage.

Le QMNA5 est de 2,2 m^3/s pour le Bassin Versant du Grand Morin à Pommeuse, dont la surface est de 770 km^2

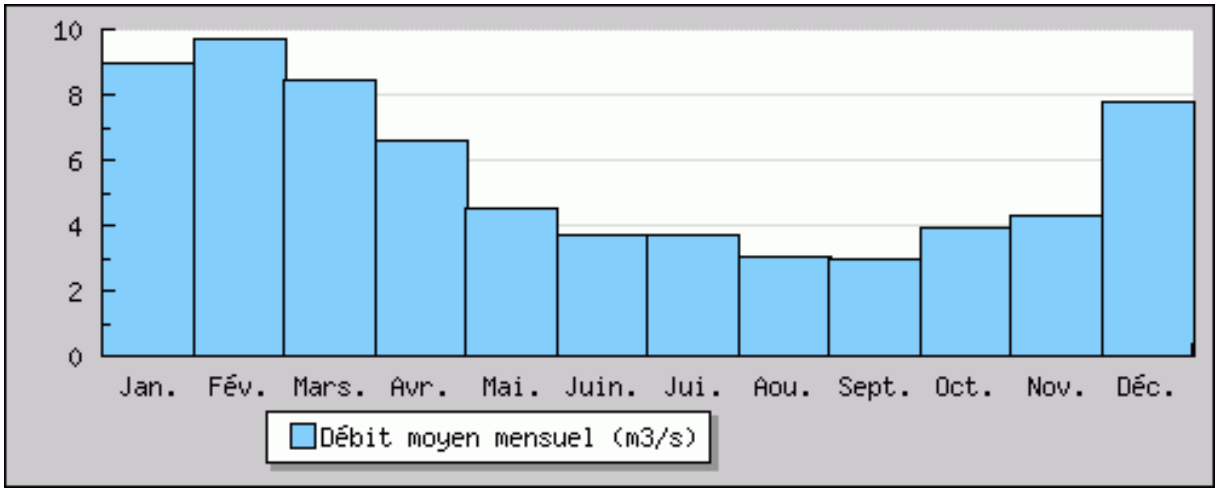


Illustration 21 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique du Grand Morin à Pommeuse (source : Banque HYDRO)

3.1.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit du Grand-Morin a été effectuée au pas décadaire en utilisant les signaux suivants :

- Pluie : pluie optimale (0_Grandmorin=33%* Boissy+34%*Messy+33%* Voulton) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Melun ;
- Piézomètres : piézomètre d'Houssaye-en-Brie.

Pour la modélisation du piézomètre, les mêmes données météorologiques ont été utilisées.

Une composante lente de 2 900 jours, cohérente avec l'allure des fluctuations, a été intégrée pour la modélisation du piézomètre d'Houssaye-en-Brie réalisée sur la période 01/05/1991 – 22/01/2008 (Illustration 22), ce qui correspond à un système fortement inertiel. Le coefficient de Nash est de 0.77, néanmoins la modélisation est moyenne.

La modélisation du débit du Grand-Morin à Pommeuse a été réalisée sur la période 16/06/1986 – 13/12/2007 (Illustration 23) en utilisant le piézomètre d'Houssaye-en-Brie. Les variations interannuelles sont reproduites par le modèle, mais les fluctuations plus courtes observées de 1992 à 2000 ne sont pas reproduites (coefficient de Nash : 0,70).

Le Grand Morin à Pommeuse est régulièrement en situation de crise en période de sécheresse. Cette situation n'est pas perceptible dans les résultas de modélisations et de calcul des volumes exploitables.

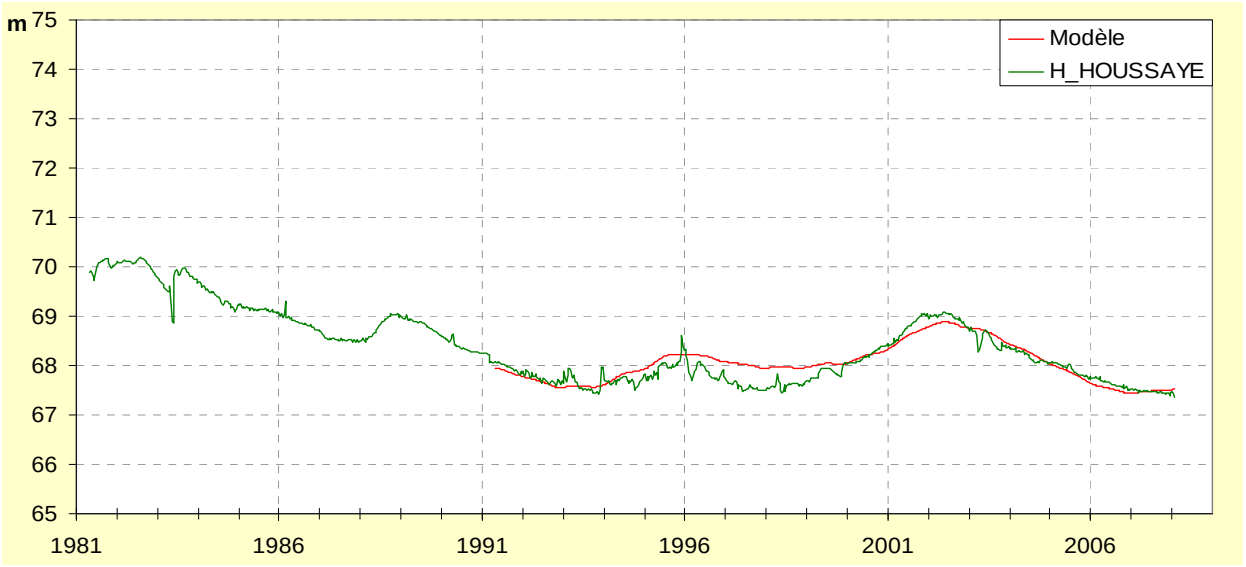


Illustration 22 : Modélisation de la chronique du piézomètre d'Houssaye-en-Brie

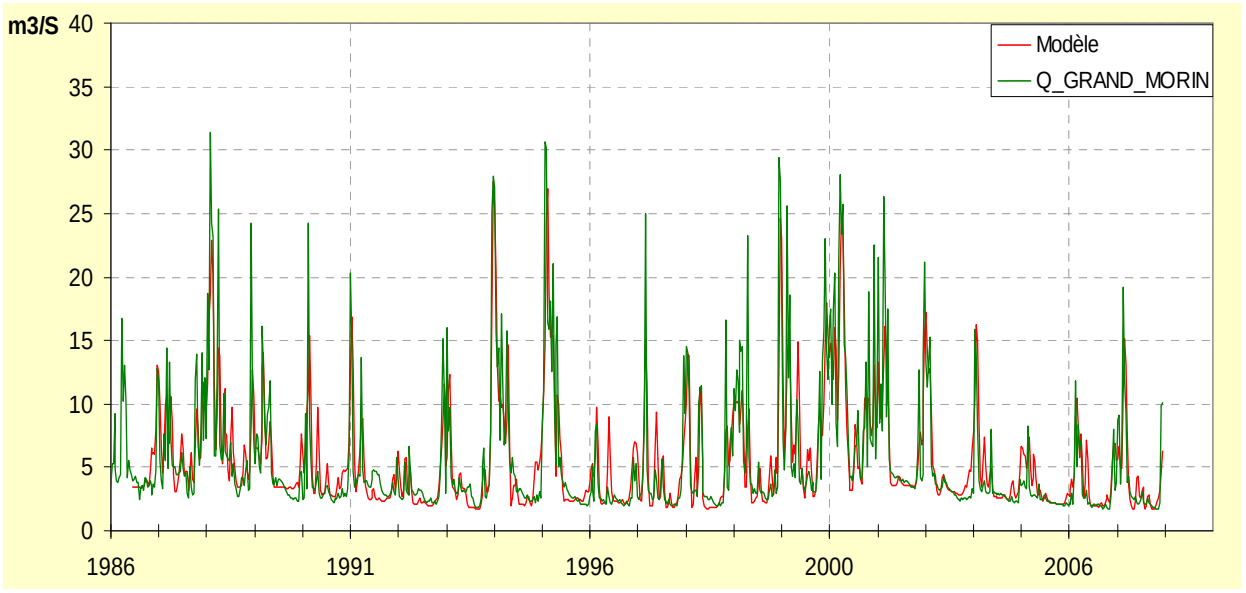


Illustration 23 : Modélisation du débit du Grand Morin à la station de Pommeuse

Les résultats obtenus (décomposition du débit en contributions rapide/lente, volumes disponibles) paraissent en accord avec ce que l'on peut attendre intuitivement du contexte hydrogéologique et de l'absence de prélèvement. Le bassin versant, de part sa taille, est hétérogène et un modèle spatialisé pourrait peut-être apporter des réponses plus précises expliquant la fréquence des situations de crise.

L'Illustration 25 présente la décomposition du débit moyen mensuel du Grand Morin modélisé à la station de la Pommeuse. On observe une assez bonne similitude avec les débits moyens mensuels fournis par la banque HYDRO (Illustration 21).

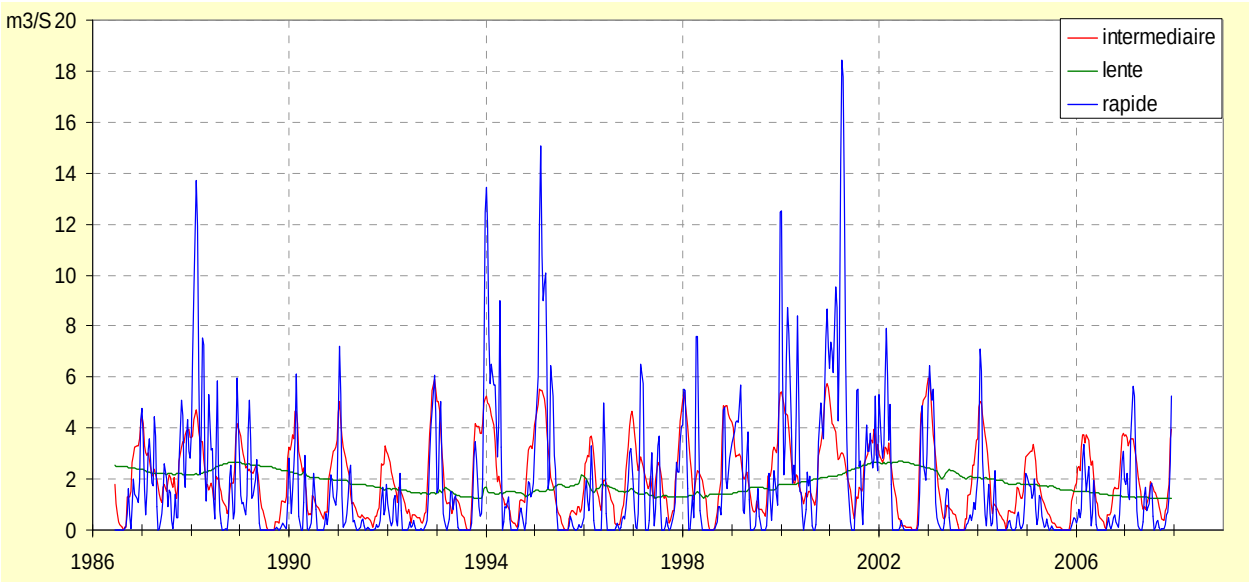


Illustration 24 : Composantes du débit du Grand Morin modélisé à la station de Pommeuse

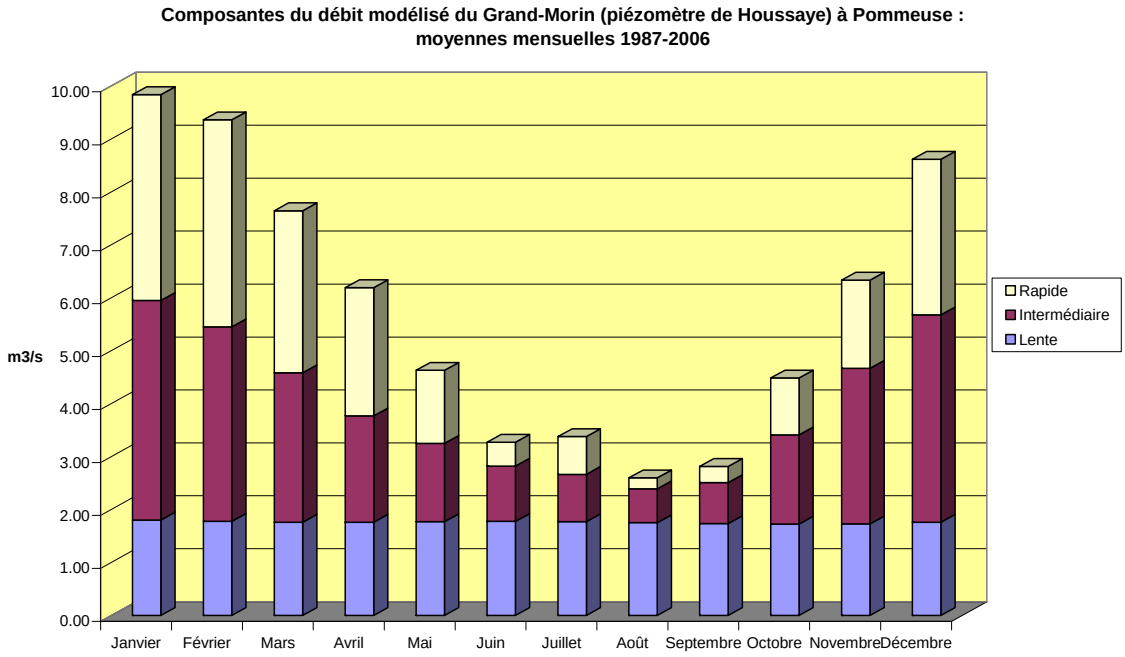


Illustration 25 : Composantes du débit moyen mensuel du Grand Morin modélisé à la station de Pommeuse

3.2. BASSIN VERSANT DE LA THEROUANNE

3.2.1. Caractéristiques du bassin versant

La Thérouanne a la particularité d'avoir un cours exclusivement seine-marnais. Elle prend sa source à Saint Pathus et conflue avec la Marne à Congis-sur-Thérouanne. Le bassin versant de la Thérouanne couvre une surface de 167 km² (source banque HYDRO).

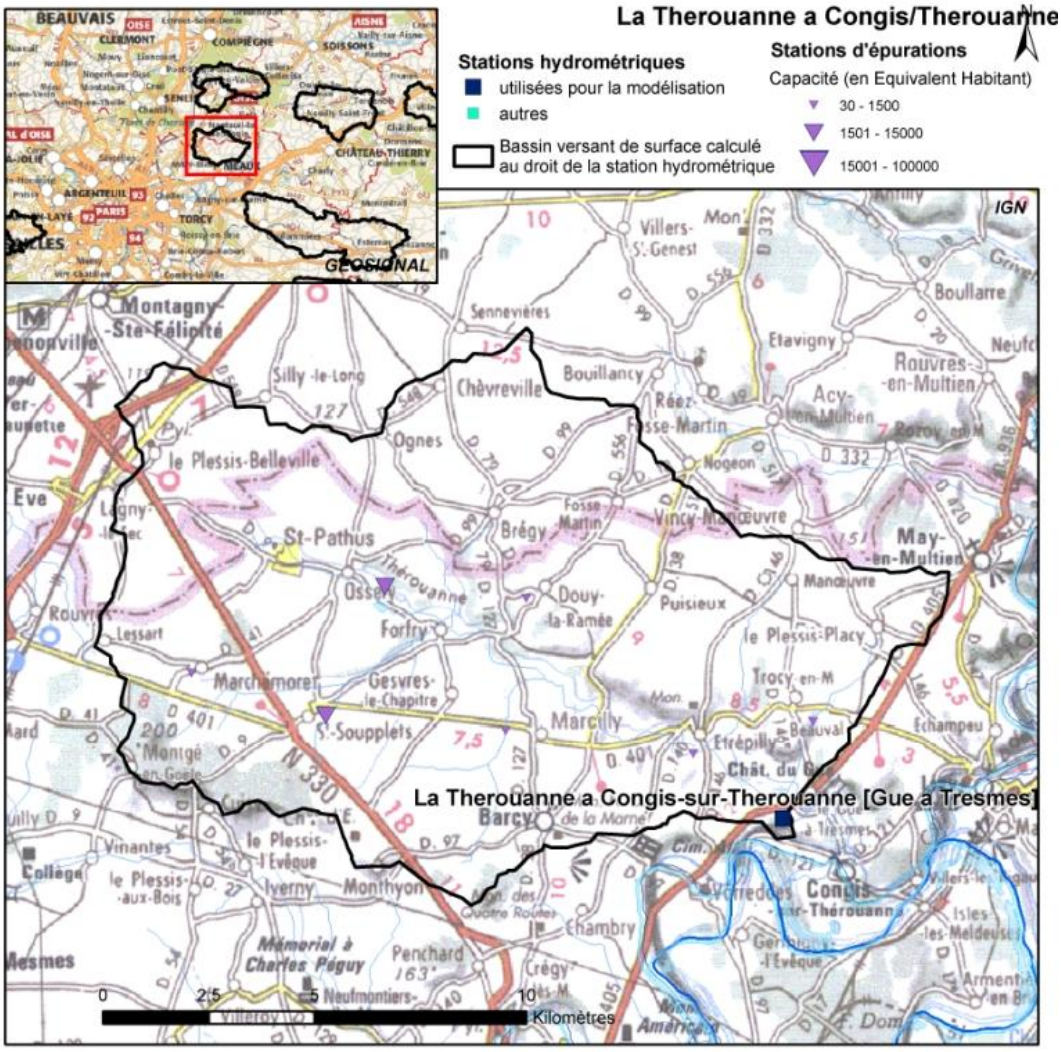


Illustration 26 : Localisation du bassin versant de la Thérouanne (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude du bassin versant de la Thérouanne varie entre 200 et 62 m NGF avec une altitude moyenne de 112,4 m. Les terrains les plus élevés sont rencontrés au Sud Ouest du bassin.

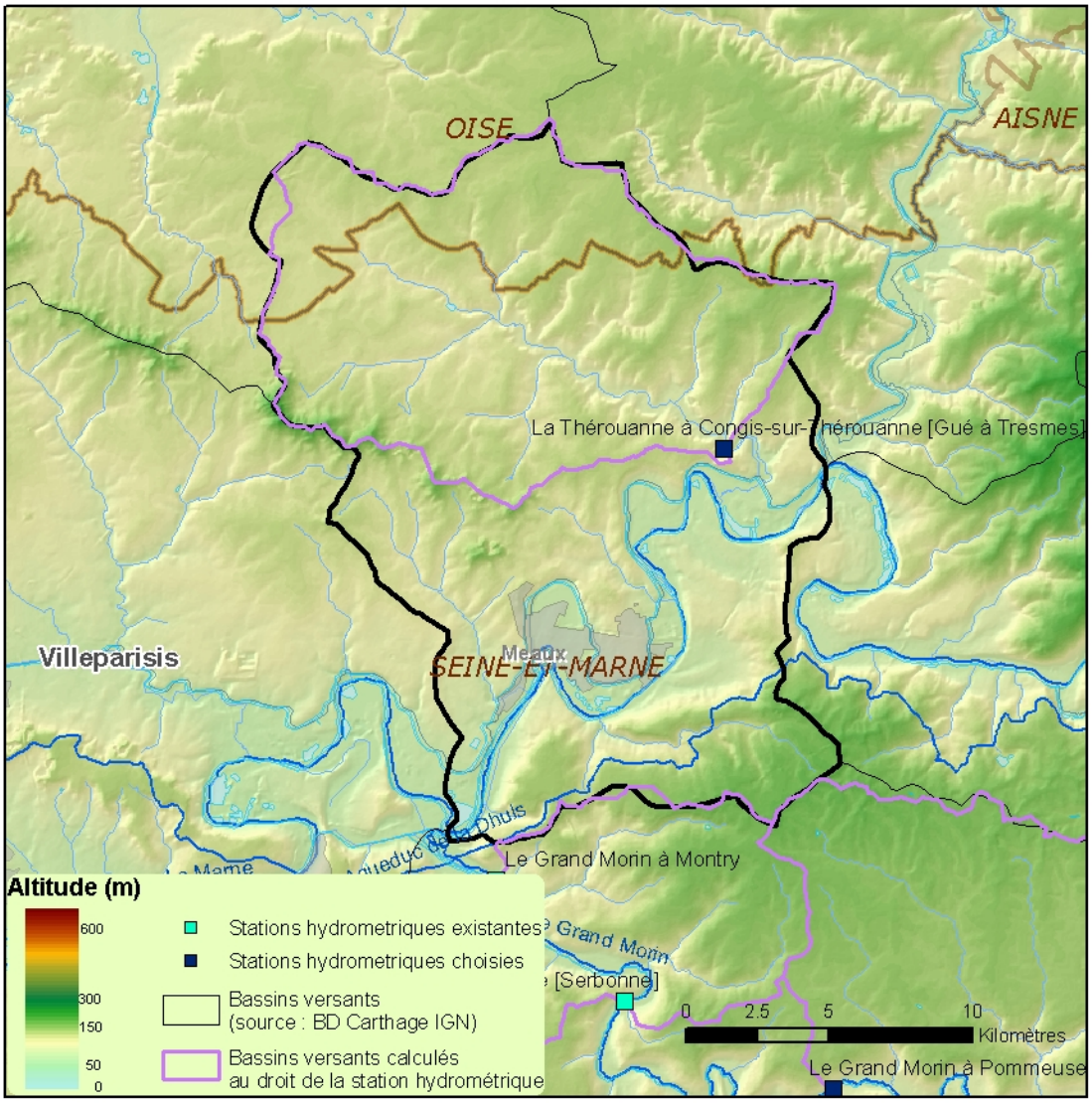


Illustration 27 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de la Thérouanne (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant de la Thérouanne est 3,1% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), avec une pente maximale de 29,5%. Les pentes supérieures à 5% occupent près de 16% du bassin versant.

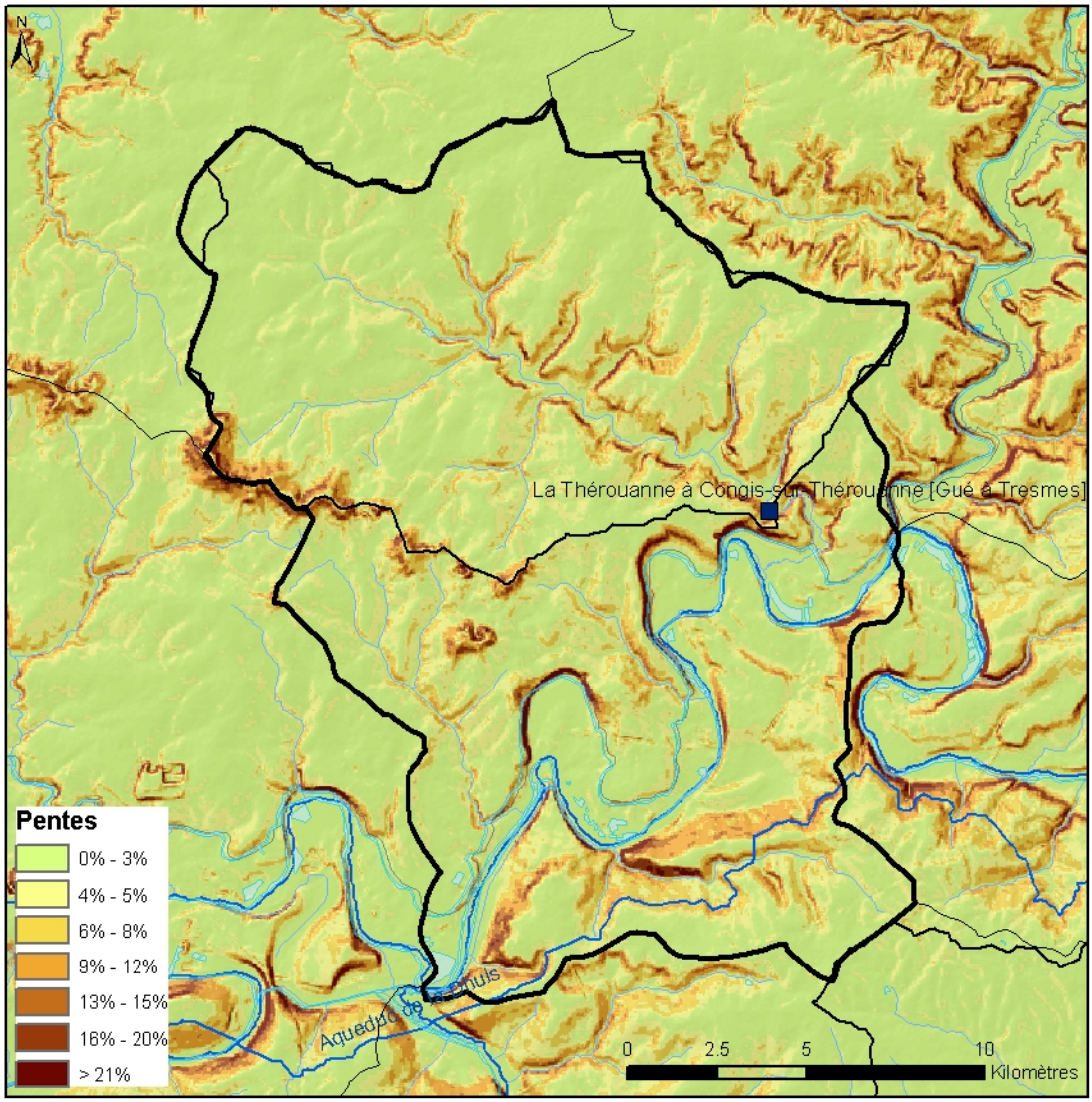


Illustration 28 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Thérouanne (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

a) Anthropisation

La consultation des données de Corinne Land Cover nous donne l'occupation du sol suivante :

- à 6% par des prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbacée ;
- à 89% par des zones agricoles hétérogènes ;
- à 4% par des zones urbanisées industrialisées.

Il s'agit donc d'un bassin versant agricole à faible emprise urbaine.

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 2. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (167 km²), ils correspondent à une lame d'eau variant de 1,2 à 6,6 mm.

Année	Prel_Irrigation
1995	204005
1996	294898
1997	540222
1998	582171
1999	646272
2000	534046
2001	552978
2002	733695
2003	1103790
2004	759412
2005	755974
2006	646994

Tableau 2 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Thérouanne

Les prélèvements pour l'eau potable s'élèvent à environ 2,2 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 13,3 mm. Les prélèvements pour l'industrie ont été estimés à 273 000 m^3, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 1,6 mm.

3.2.2. Climatologie

Le bassin versant de la Therouanne reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 729 mm environ (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance).

Les données de trois stations météorologiques ont été utilisées pour la modélisation, deux pour leur chronique de pluie, une pour sa chronique d'évapotranspiration.

- Messy (type 2, station créée en janvier 1976), située en dehors du bassin versant, à 19 km au Sud-Ouest de la station hydrométrique de la Thérouanne à Congis-sur-Thérouanne. Cette station reçoit une pluviométrie annuelle moyenne équivalente à celle du bassin versant.
- Voulton (type 2, station créée en janvier 1981), située en dehors du bassin versant à 53 km au Sud-Sud-Est de la station hydrométrique. Cette station reçoit une pluviométrie moyenne annuelle légèrement supérieure à celle du bassin versant.
- Melun (station située à Montereau-sur-le-Jard, de type 0, créée en 1947) qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman. Cette station est située à 49 km au Sud-Sud-Ouest de la station hydrométrique.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des deux chroniques de pluie ci-dessus. La formule obtenue est la suivante :

O_Therouanne=0.22*P_MESSY+0.78*P_PLESSIS

3.2.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

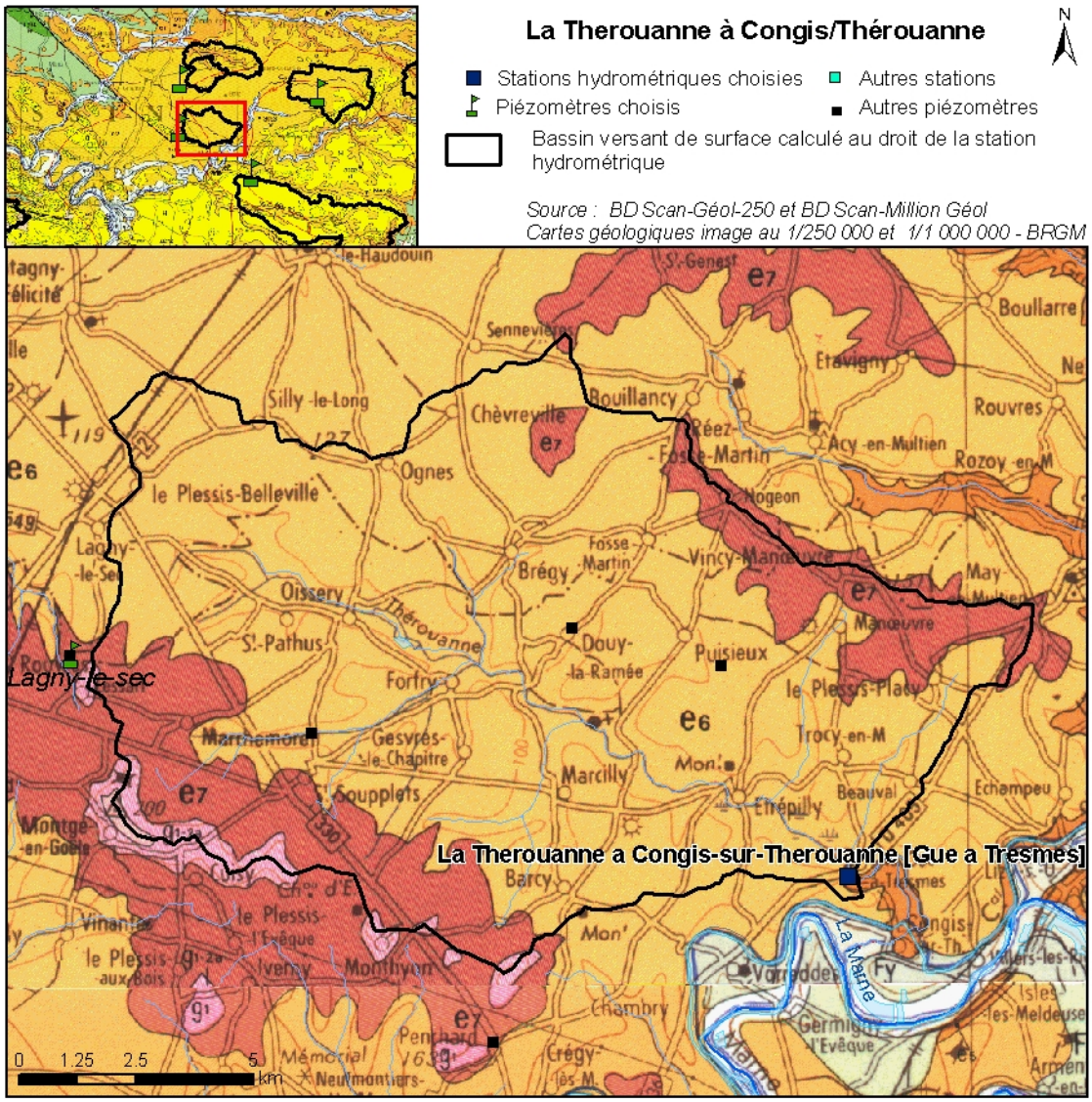


Illustration 29 : Carte géologique du bassin versant de la Thérouanne

La carte géologique au 1/250 000 correspondant au bassin de la Thérouanne est représentée en Illustration 29. Le bassin versant de la Thérouanne s'étend sur 2 cartes géologiques au 1/50 000 : Dammartin (154) et Meaux (155). Les principales formations géologiques rencontrées à l'affleurement dans ce bassin (hors formations superficielles), des plus récentes au plus anciennes, sont :

- Oligocène :
  - · Calcaire d'Étampes (Stampien),

  - · Sables de Fontainebleau (Stampien),
  - · Marnes vertes (Sannoisien inférieur) ;
- Éocène :
  - · Marnes supragypseuses (Ludien supérieur),
  - · Sables de Monceau (Marénisien),
  - · Calcaire de Saint-Ouen (Marinésien),
  - · Sables de Beauchamp (Auverisien).

L'ensemble du bassin, est caractérisé par la présence des formations du Bartonien qui sont : les Sables de Beauchamp et les marno-calcaires de Saint-Ouen (notation e6) (Illustration 29). Aux limites Sud-Ouest et Nord-est du bassin et sur de faibles zones, on rencontre des formations du Calcaire de Champigny (notation e7) et quelques affleurements d'Argile verte et Calcaire et Meulière de Brie.

Les principales nappes de ce bassin sont :

- le Calcaire de Saint-Ouen et les Sables de Beauchamp ;
- l'aquifère multicouche du Calcaire grossier et des Sables du Soissonnais (Lutétien, Yprésien).

Le piézomètre qui a été choisi pour la modélisation est Lagny-le-Sec (indice national : 01543X0023/S1). Il capte le Calcaire du Lutétien qui correspond à l'aquifère multicouche du Calcaire grossier et des Sables du Soisonnais. Ce piézomètre est situé à moins d'un km de l'extrémité ouest du bassin versant.

Le piézomètre situé sur la commune de Douy-la-Ramée, à l'intérieur du bassin versant, a aussi fait l'objet de modélisations, mais son comportement est mal compris.

b) Piézométrie

La chronique du piézomètre de Lagny-le-Sec (Calcaires du Lutétien) est représentée sur l'Illustration 30, a débuté le 19/03/1974 avec un enregistrement quotidien et se poursuit actuellement.

Cette chronique comporte 2 interruptions de plus de 100 jours : du 21/05/1990 au 31/12/1990 et du 24/05/1991 au 11/11/1991.

La chronique présente des fluctuations interannuelles. D'après l'étude réalisée en 2005 sur l'analyse critique des données piézométriques, il ressort que ce piézomètre n'est pas influencé à long terme mais présente des anomalies à court terme révélatrices d'actions anthropiques.

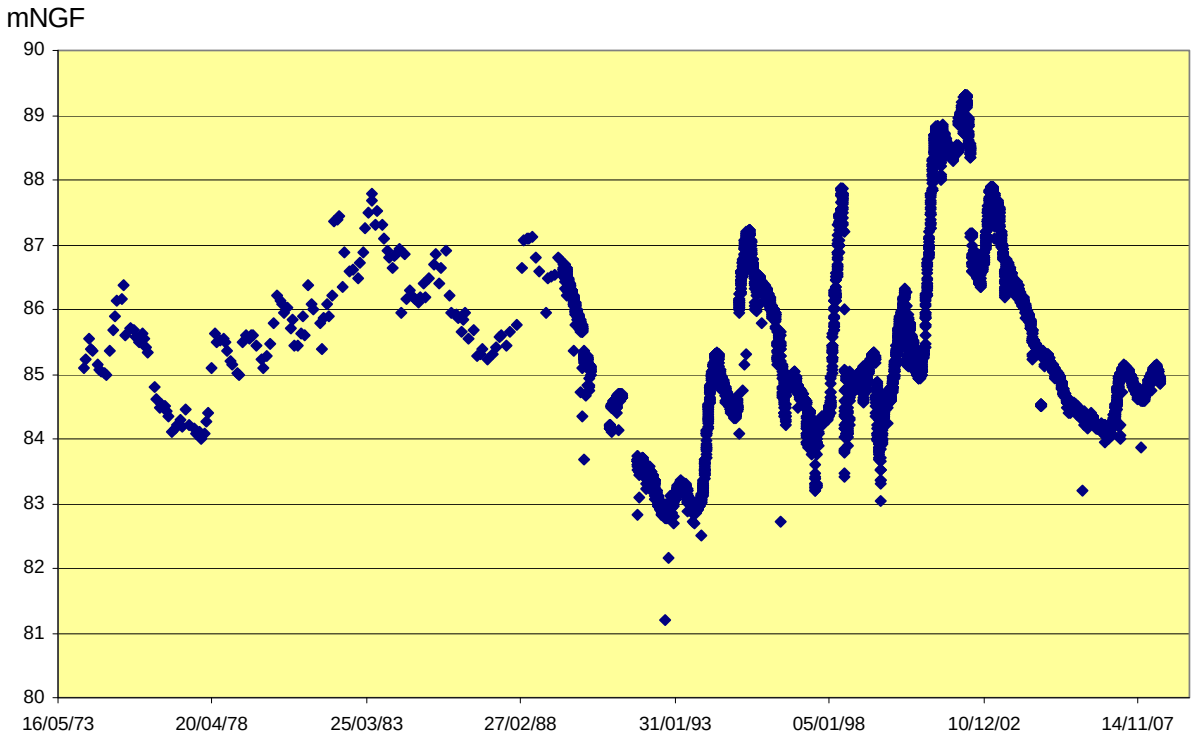


Illustration 30 : Chronique piézométrique de Lagny-le-Sec (indice national : 01543X0023/S1)

3.2.4. Hydrologie

La Thérouanne s'écoule selon un axe NO – SE. Son débit est connu au travers de la station hydrométrique de la Thérouanne à Congis-sur-Thérouanne (code HYDRO : H5613020). La chronique de débit journalier qui a débuté le 01/05/1969 a connu des interruptions de plus de 10 jours sur les périodes suivantes : du 12/12/1989 au 22/12/1989, du 24/11/1993 au 21/12/1993, du 01/12/1994 au 05/11/1996, du 05/12/1996 au 01/01/1999, du 12/08/1999 au 07/09/1999.

Les basses eaux sont rencontrées en août–septembre et les hautes eaux en février. La lame d'eau moyenne annuelle est de 113 mm, ce qui correspond à une valeur inférieure à la moyenne pour le bassin Seine-Normandie qui est d'environ 225 mm. Le débit journalier maximal connu est de 7,69 m^3/s et le minimum est de 0,178 m^3/s. L'Illustration 31 montre le débit moyen mensuel (source : banque HYDRO) et met en évidence une faible fluctuation du débit et un soutien important du cours d'eau par la nappe en période d'étiage.

Le QMNA 5 est de 0,29 m^3/s pour le Bassin versant de la Thérouanne à Congis-sur-Thérouanne, dont la surface est de 167 km^2.

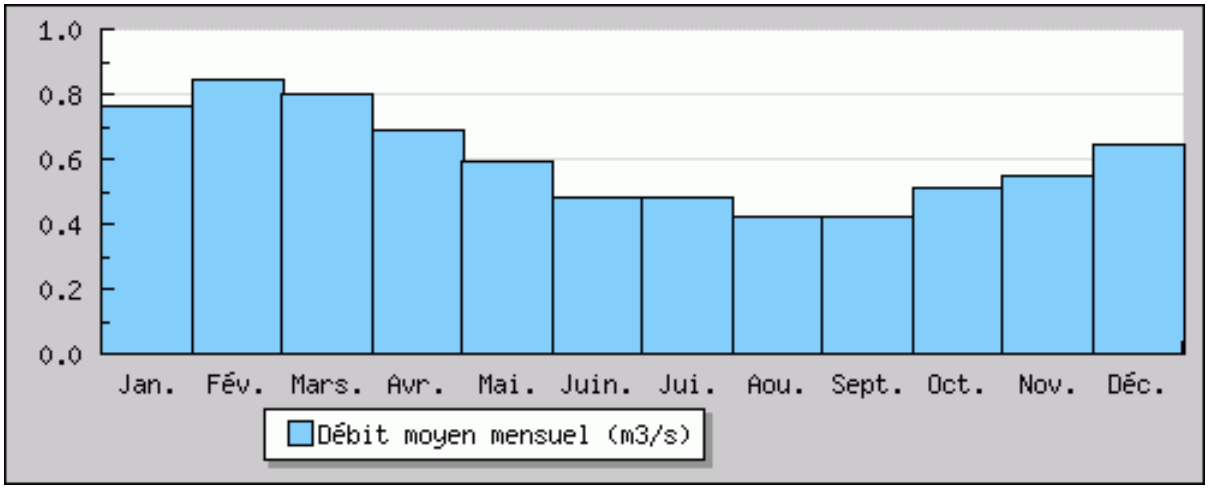


Illustration 31 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de la Thérouanne à Congis-sur-Thérouanne (source : Banque HYDRO)

3.2.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de la Thérouanne a été réalisée au pas décadaire en utilisant les signaux suivants :

- Pluie : pluie optimale (O_Therouanne=22%*Messy+78%*Plessis) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Melun ;
- Piézomètre : piézomètre de Lagny-le-Sec.

Pour la modélisation du piézomètre, les mêmes données météorologiques ont été utilisées.

La modélisation du piézomètre de Lagny-le-Sec a été réalisée sur la période 01/06/1987 – 01/05/2007 (Illustration 32), Une composante lente de 1600 jours a été intégrée pour cette modélisation, ce qui correspond à un système fortement inertiel. Le coefficient de Nash est de 0.73, néanmoins la modélisation est moyenne. Le pic de 1998 n'est pas reproduit par le modèle, il s'agit probablement d'une dérive de capteur.

La modélisation du débit de la Thérouanne à Congis-sur-Thérouanne a été réalisée sur la période 13/07/1979 – 01/05/2008 (Illustration 33). Le résultat de la modélisation est moyen avec un coefficient de Nash de 0.72).

L'Illustration 34 montre les composantes du débit modélisé à la station hydrométrique de Congis/Thérouanne. Cette décomposition du signal fait apparaître une contribution importante des eaux souterraines au débit de ce cours d'eau (courbe verte).

L'Illustration 35 fait bien apparaitre la décomposition des débits moyens mensuels modélisés. Elle confirme le fort soutien du débit par la nappe tout au long de l'année.

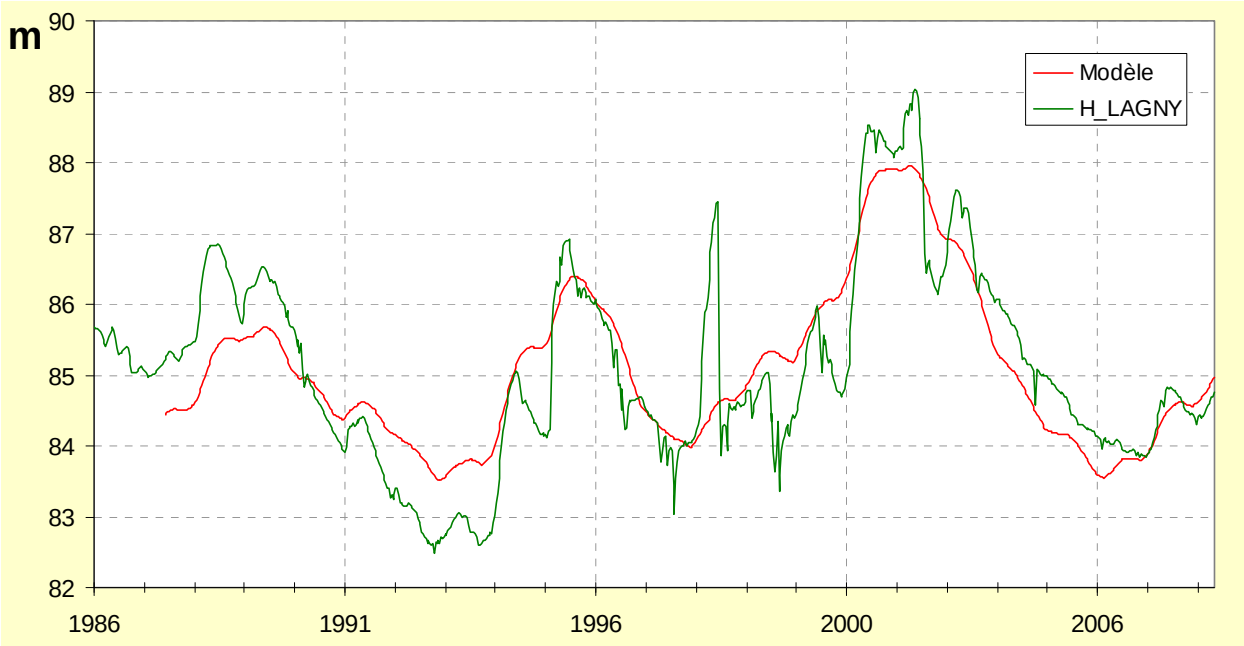


Illustration 32 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Lagny-le-Sec

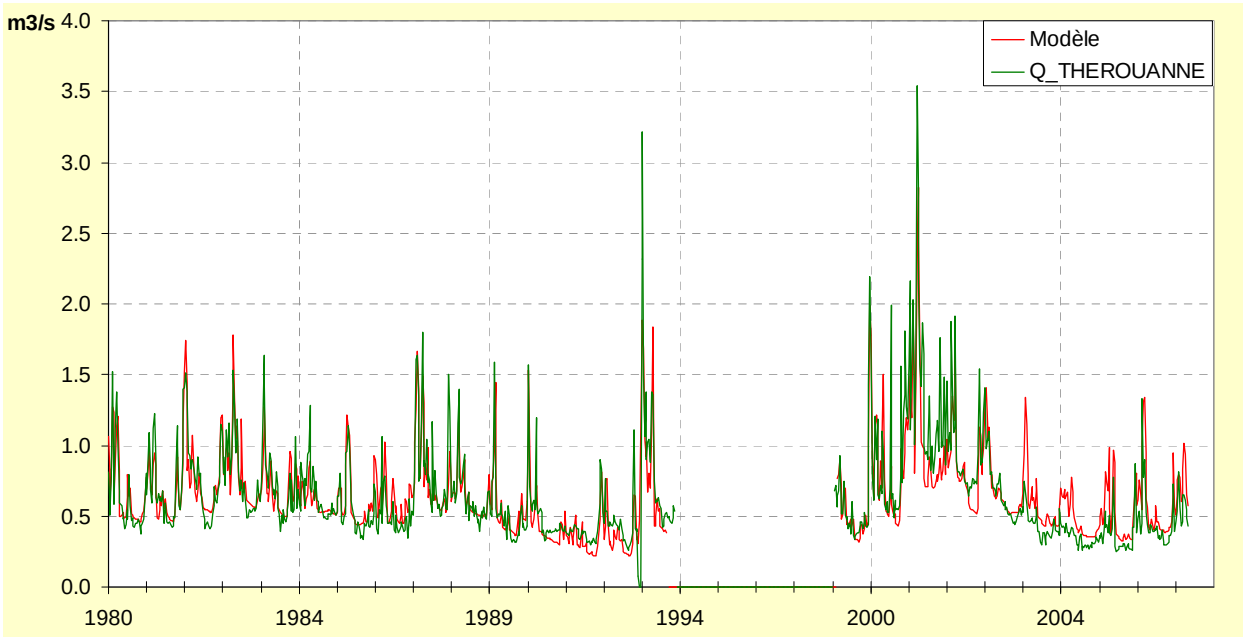


Illustration 33 : Modélisation du débit de la Thérouanne à la station de Congis-sur-Thérouanne

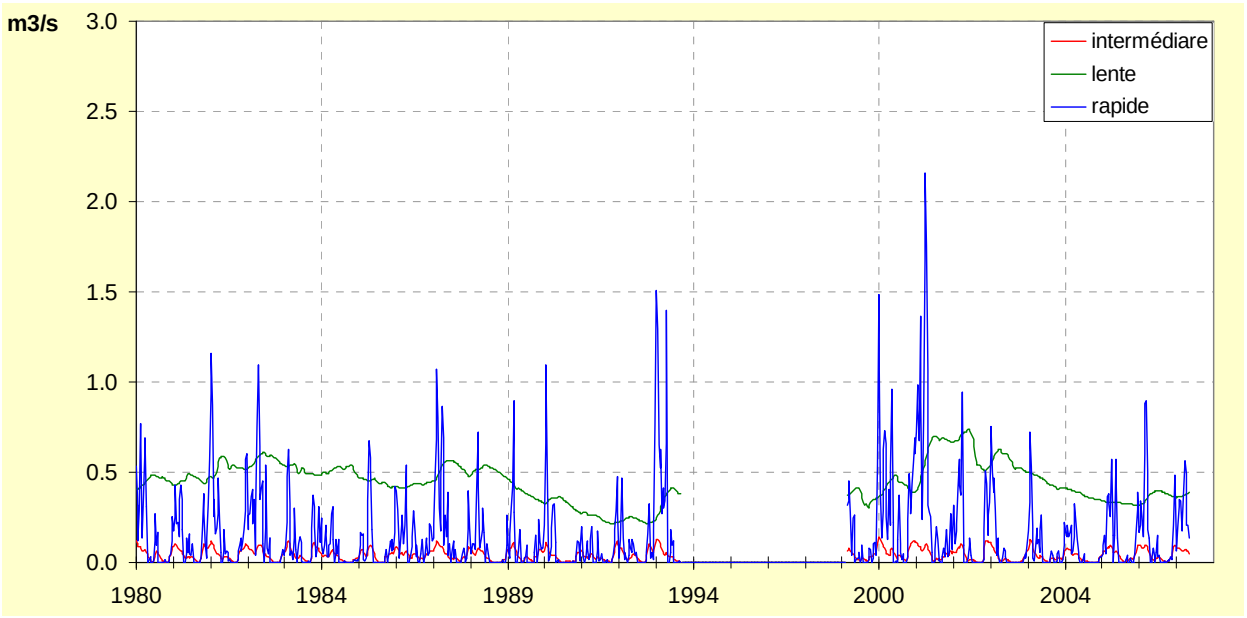


Illustration 34 : Composantes du débit de la Thérouanne modélisé à la station de Congis-sur-Thérouanne

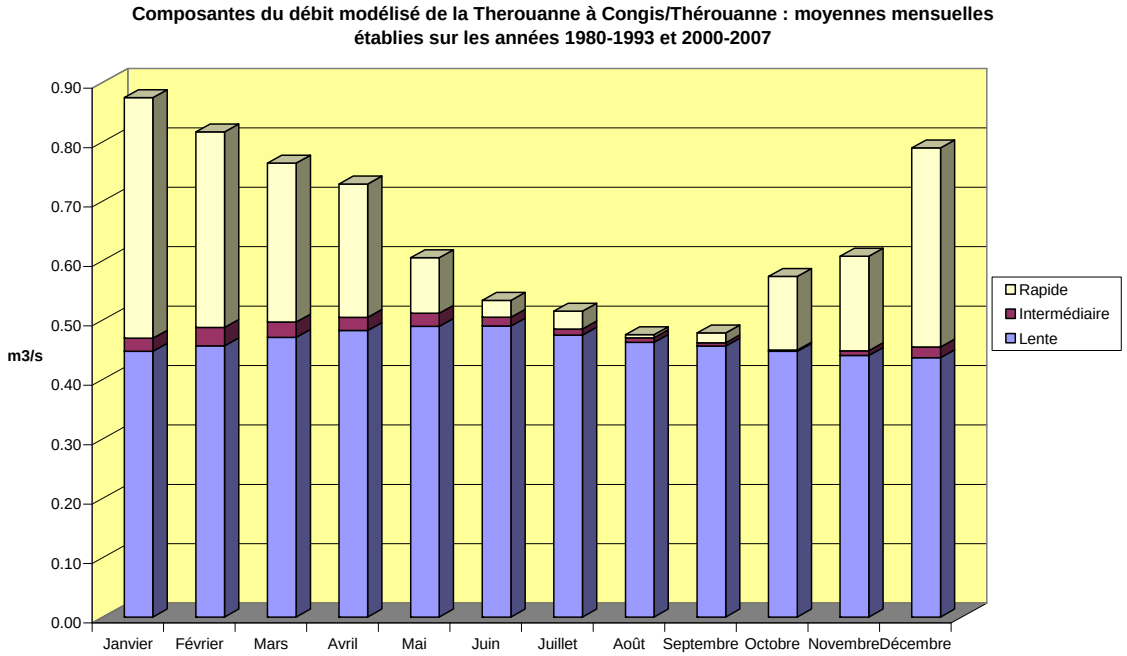


Illustration 35 : Composantes du débit moyen mensuel de la Thérouanne modélisé à la station de Congis-sur-Thérouanne

3.3. BASSIN VERSANT DE LA VOULZIE

3.3.1. Caractéristiques du bassin versant

La Voulzie est un cours d'eau du sud de la Brie qui naît sur le territoire de la commune de Voulton et rejoint la Seine en rive droite à Saint-Sauveur-lès-Bray. Le bassin versant de la Voulzie s'étend sur une surface de 280 km² (source : Banque HYDRO).

On note la présence de la station d'épuration de Provins, dans le lit majeur du cours d'eau.

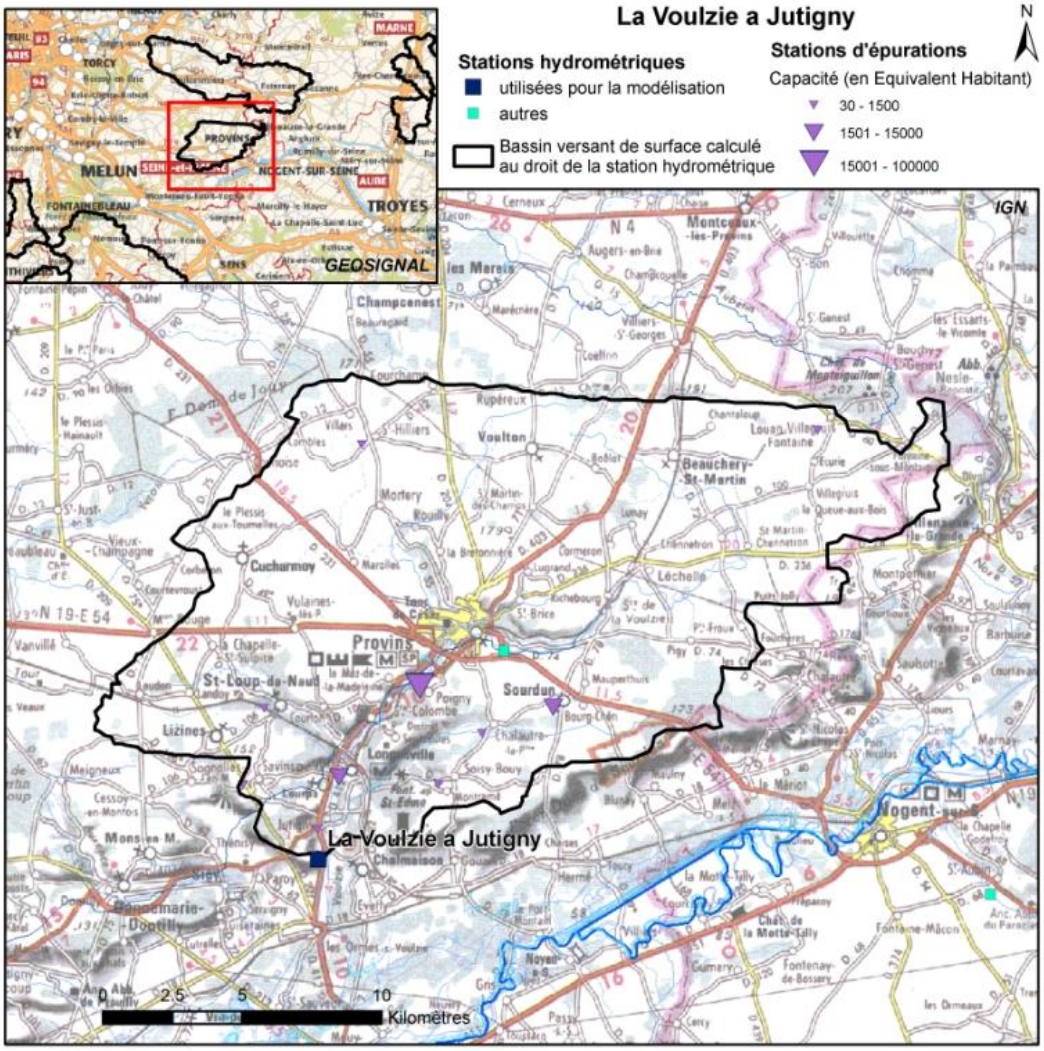


Illustration 36 : Localisation du bassin versant de la Voulzie (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

Les altitudes du bassin versant de la Voulzie sont comprises entre 204 et 62 m NGF avec une altitude moyenne de 145,5 m. Les terrains les moins élevés sont rencontrés à l'Ouest du bassin.

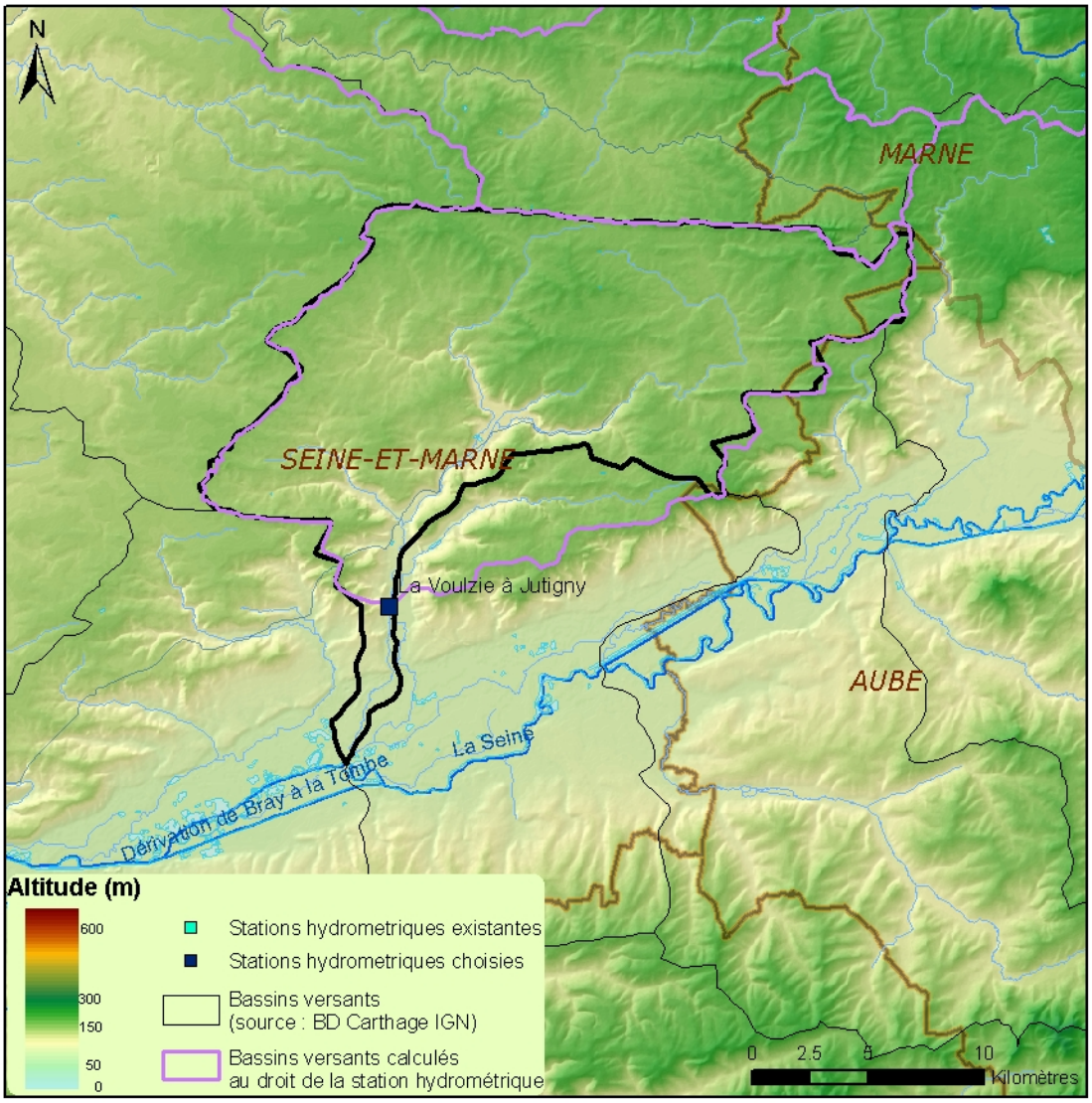


Illustration 37 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de la Voulzie (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant de la Voulzie est 3,2% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), avec une pente maximale de 41,8%. Le bassin versant

de la Voulzie est peu pentu (les pentes supérieures à 5% occupent seulement 15% du bassin versant).

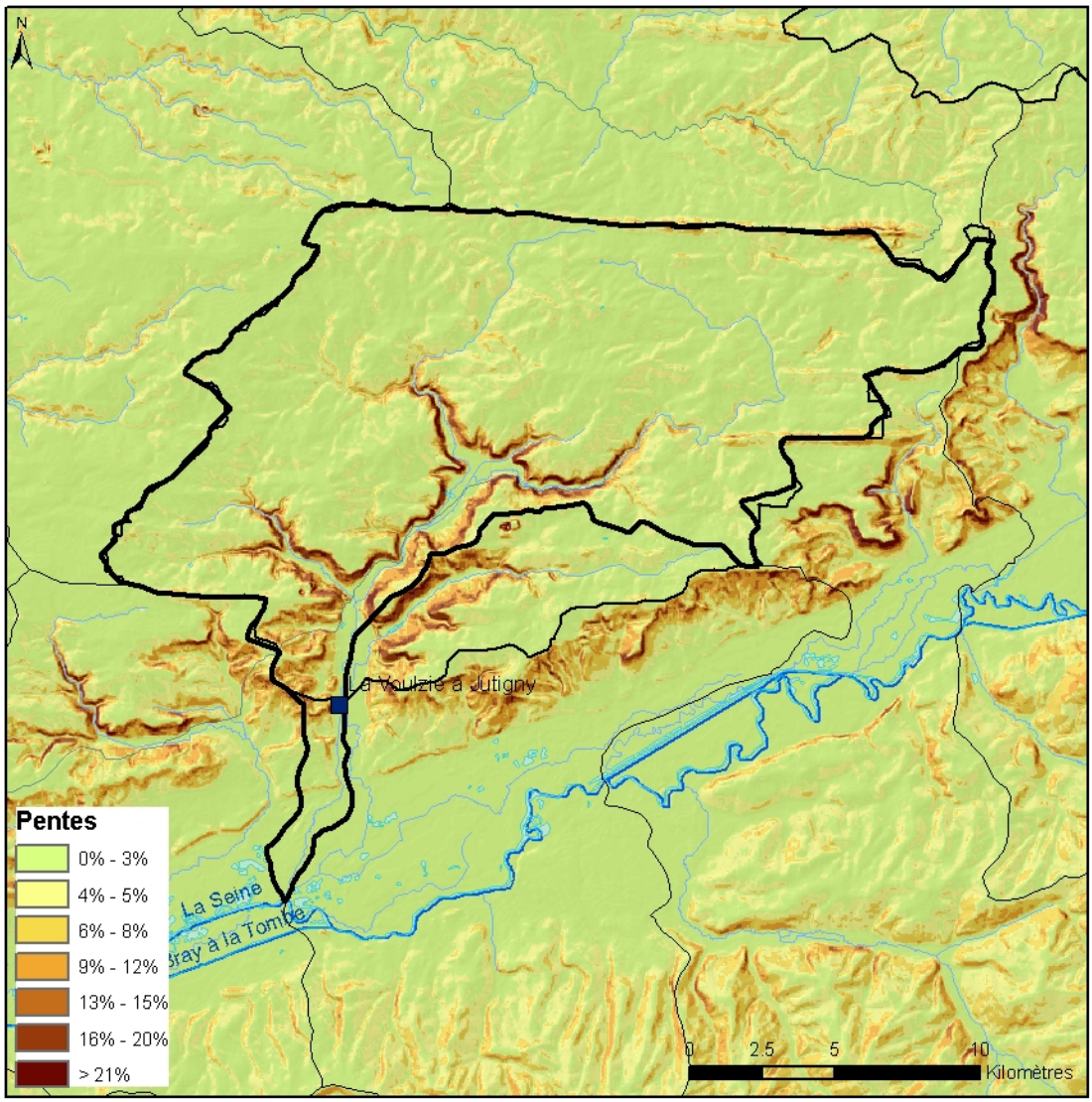


Illustration 38 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Voulzie (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

La consultation des données de Corinne Land Cover nous donne l'occupation du sol suivante :

- à 12% par des prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbacée ;
- à 83% par des zones agricoles hétérogènes ;

- à 4% par des zones urbanisées industrialisées.

Il existe de nombreux prélèvements sur ce bassin versant, principalement pour l'alimentation en eau potable.

Les prélèvements pour l'eau potable s'élèvent à environ 14,5 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle **de 52 mm**. Les sources de la Voulzie sont captées pour l'alimentation en eau potable de la ville de Paris, mais ces prélèvements d'eau de Paris sont restitués par de l'eau de la Seine à proximité des sources.

Les prélèvements pour l'industrie ont été estimés à 2 millions de m^3, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 6,7 mm.

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 3. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (280 km²), ils correspondent à une lame d'eau inférieure à 1 mm.

Année	Prel_Irrigation
1995	73834
1996	110784
1997	75245
1998	95542
1999	94263
2000	89069
2001	65002
2002	261153
2003	298651
2004	260515
2005	177384
2006	148166

Tableau 3 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Voulzie

3.3.2. Climatologie

Le bassin versant de la Voulzie reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 736 mm environ (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Cela correspond à une pluviométrie moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de quatre stations météorologiques ont été utilisées pour la modélisation, trois pour leur chronique de pluie, une pour sa chronique d'évapotranspiration.

- Bouy-sur-Orvin (type 2, station créée en janvier 1926), la station est située en dehors du bassin versant à 20 km au Sud-Est de la station hydrométrique de la Voulzie à Jutigny. Elle reçoit une pluviométrie moyenne annuelle inférieure à celle du bassin versant.

- Donnemarie (type 4, station créée en mai 1912), cette station est située en dehors du bassin versant, à 7 km au Sud-Sud-Ouest de la station hydrométrique. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne légèrement inférieure à celle du bassin versant.
- Marcilly (type 4, station créée en décembre 1959), Elle est située en dehors du bassin versant à 33 km au Sud-Est de la station hydrométrique. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne similaire à celle du bassin versant.
- Melun (station située à Montereau-sur-le-Jard, de type 0, créée en 1947) qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman. Cette station est située en dehors du bassin versant, à 43 km au Nord-Ouest de la station hydrométrique.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des trois chroniques de pluie ci-dessus. La formule obtenue est la suivante :

Op_Voulzie = 21%.BOUY + 73%.DONNEMARIE+ 5%.MARCILLY

3.3.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

La carte géologique au 1/250 000 correspondant au bassin de la Voulzie est représentée en Illustration 39. Le bassin versant de la Voulzie s'étend sur 2 cartes géologiques au 1/50 000 : Nangis (259) et Meaux (260). Les principales formations géologiques rencontrées à l'affleurement dans ce bassin (hors formations superficielles), des plus récentes au plus anciennes, sont :

- Oligocène :
  - · Sables de Fontainebleau (Stampien),
  - · Calcaire de Brie (Sannoisien supérieur),
  - · Argiles et Marnes vertes (Sannoisien inférieur) ;
- Éocène :
  - · Marnes supragypseuses (Ludien supérieur),
  - · Calcaire de Champigny (Ludien inférieur),
  - · Calcaire de Saint-Ouen (Marinésien),
  - · Calcaire grossier (Lutétien),
  - · Argile plastique (Sparnacien),
  - · Craie (Campanien).

Comme le montre l'Illustration 39, on note une prédominance du Calcaire de Brie (Stampien, notation g1), Calcaire de Champigny et Marnes supragypseuses (Ludien, notation e7) sur l'ensemble du bassin. On trouve aussi des Sables et Argiles de l'Éocène inférieur (Cuisien et Sparnacien) ainsi que de la Craie du Campanien (notation c6) au niveau des vallées.

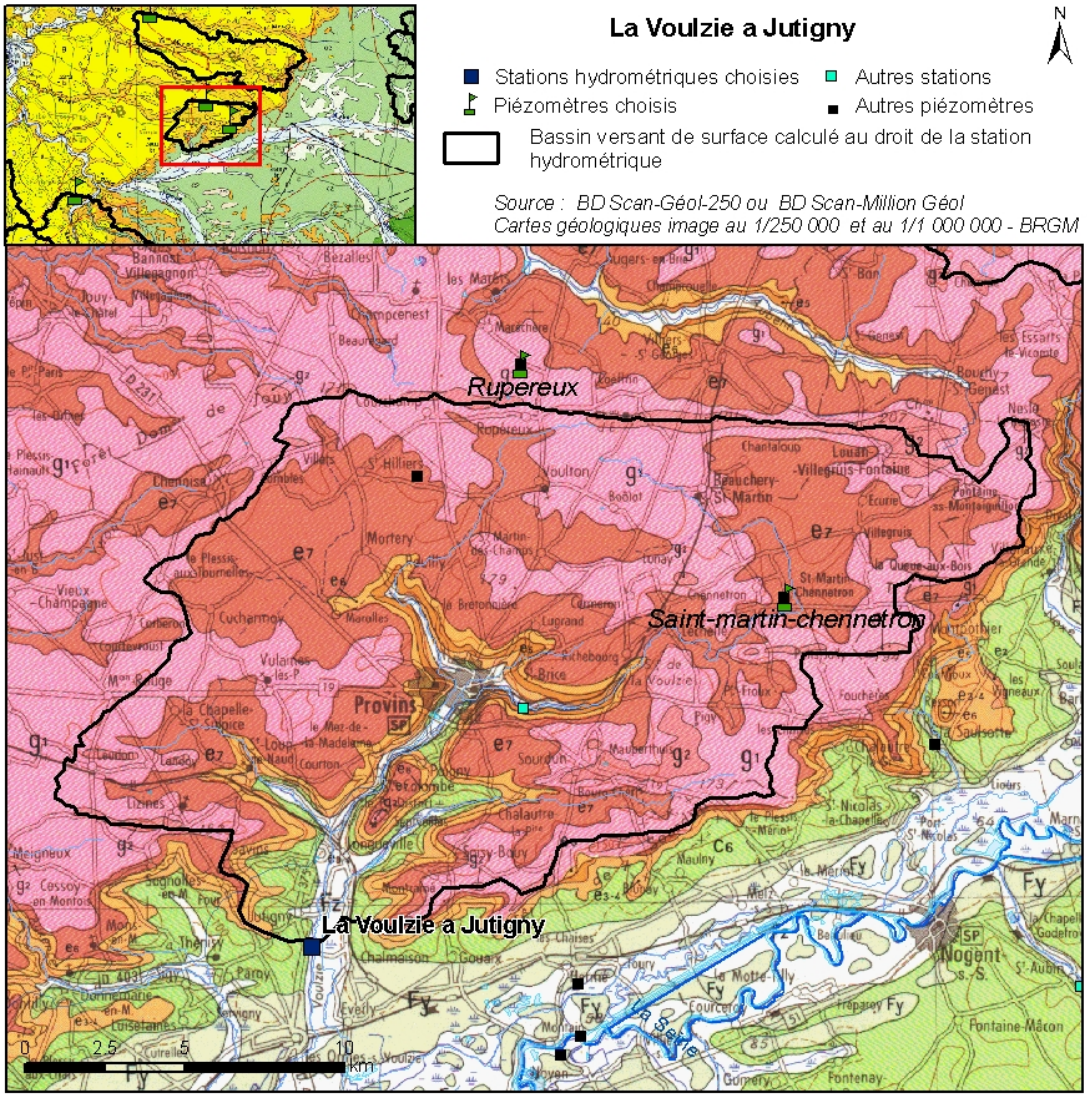


Illustration 39 : Carte géologique du bassin versant de la Voulzie

L'aquifère principal de ce bassin est constitué par le Calcaire de Champigny qui alimente la Voulzie via des sources. Les relations entre la nappe du Calcaire de Champigny et la rivière sont caractérisées par des zones de pertes dans des vallées et des zones d'alimentation de la rivière par la nappe généralement en aval. Ces pertes sont la cause d'une importante vulnérabilité de la nappe, d'où les actions de protection de la ressource engagées en 2006 sur les bassins d'alimentation, pour le bassin de la Voulzie (10 000 hectares et 70 exploitants) l'objectif étant de réduire les quantités d'intrants appliqués (azote et produits phytosanitaires).

Le choix du piézomètre pour la modélisation s'est porté sur le piézomètre de Saint-Martin-Chennetron (indice national : 02603X0009/S1), captant la nappe du Calcaire de Champigny.

a) Piézométrie

La chronique du piézomètre de Saint-Martin-Chennetron (Calcaires de Champigny) est représentée sur l'Illustration 40, a débuté le 01/01/1969 avec un enregistrement quotidien qui se poursuit actuellement, sauf entre mars 1974 et mai 1981 où l'enregistrement a été mensuel.

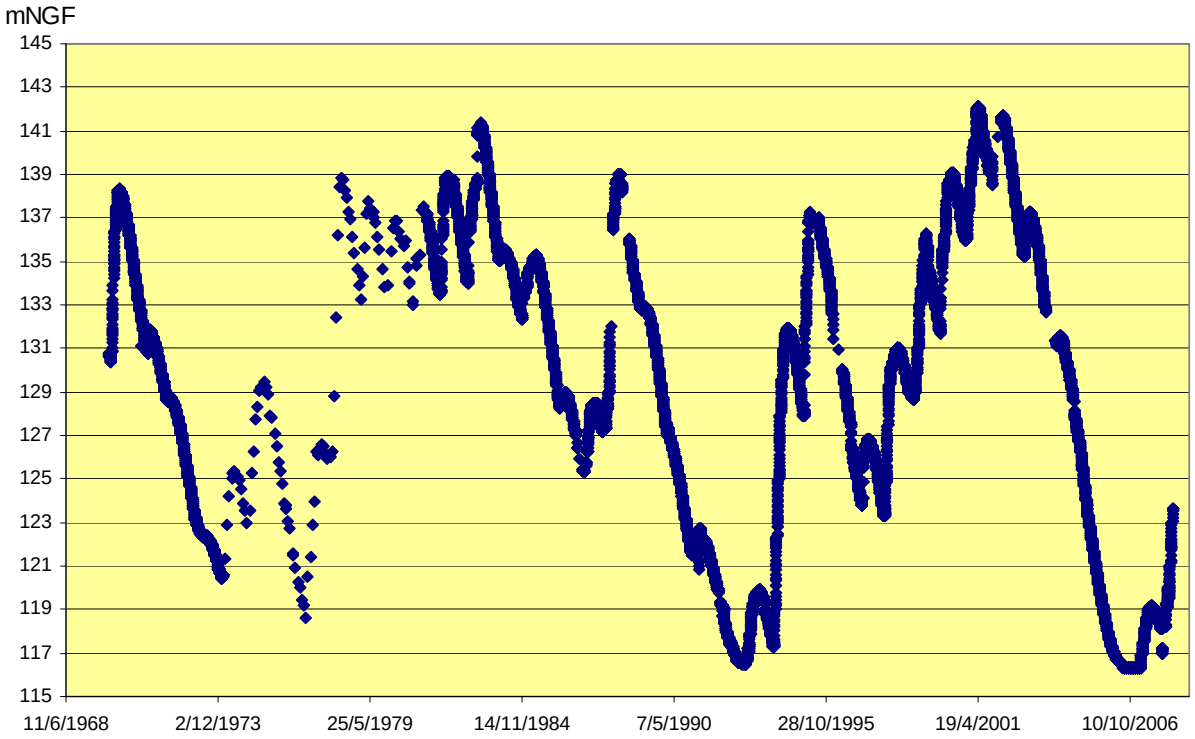


Illustration 40 : Chronique piézométrique de Saint-Martin-Chennetron (indice national : 02603X0009/S1)

Cette chronique comporte 4 interruptions de plus de 60 jours : du 07/07/1988 au 27/07/1988, du 28/01/1996 au 24/04/1996, du 31/10/2001 au 09/01/2002 et du 11/10/2003 au 09/02/2004.

La chronique présente des fluctuations saisonnières individualisées, ainsi que des fluctuations interannuelles. Ce piézomètre semble influencé par les pompages depuis le printemps 1995.

3.3.4. Hydrologie

La Voulzie s'écoule selon un axe N–S. Son débit est connu au travers de la station hydrométrique de la Voulzie à Jutigny (code HYDRO : H1932020). La chronique de débit journalier qui a débuté le 01/02/1974 a connu trois interruptions sur les périodes : du 26/01/1979 au 27/04/1979, du 19/06/1985 au 02/07/1985 et du 30/03/2005 au 09/06/2005.

Les basses eaux sont rencontrées en septembre-octobre et les hautes eaux en mars-avril. La lame d'eau moyenne annuelle est de 188 mm, ce qui correspond à une valeur inférieure à la moyenne pour le bassin Seine-Normandie. Le débit journalier maximal connu est de 13 m^3/s et le minimum est de 0,634 m^3/s. L'Illustration 41 montre le débit moyen mensuel (source : banque HYDRO) et met en évidence une très faible fluctuation du débit et un soutien important du cours d'eau par la nappe en période d'étiage.

Le QMNA5 est de 0,91 m^3/s pour le bassin versant de la Voulzie à Jutigny, dont la surface est de 280 km^2.

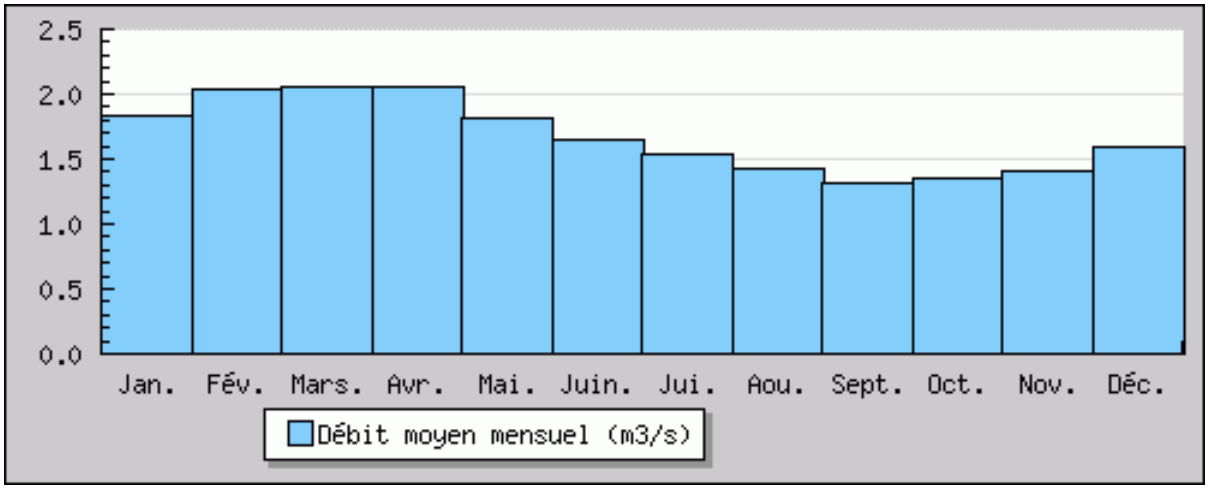


Illustration 41 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de la Voulzie à Jutigny (source : Banque HYDRO)

3.3.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de la Voulzie a été effectuée au pas décadaire en utilisant les signaux suivants :

- Pluie : pluie optimale (Op_Voulzie=21%* Bouy+73%*Donnemarie+5%* Marcilly) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Melun ;
- Piézomètre : piézomètre de Saint-Martin-Chennetron.

Pour la modélisation du piézomètre, les mêmes données météorologiques ont été utilisées.

La modélisation du piézomètre de Saint-Martin-Chennetron a été réalisée sur la période 13/03/1987 – 22/03/2008 (Illustration 42). Une composante lente de 2 000 jours a été intégrée pour réaliser cette modélisation, ce qui confirme le caractère inertiel de la nappe du Calcaire de Champigny. La modélisation obtenue est satisfaisante avec un coefficient de Nash de 0,92.

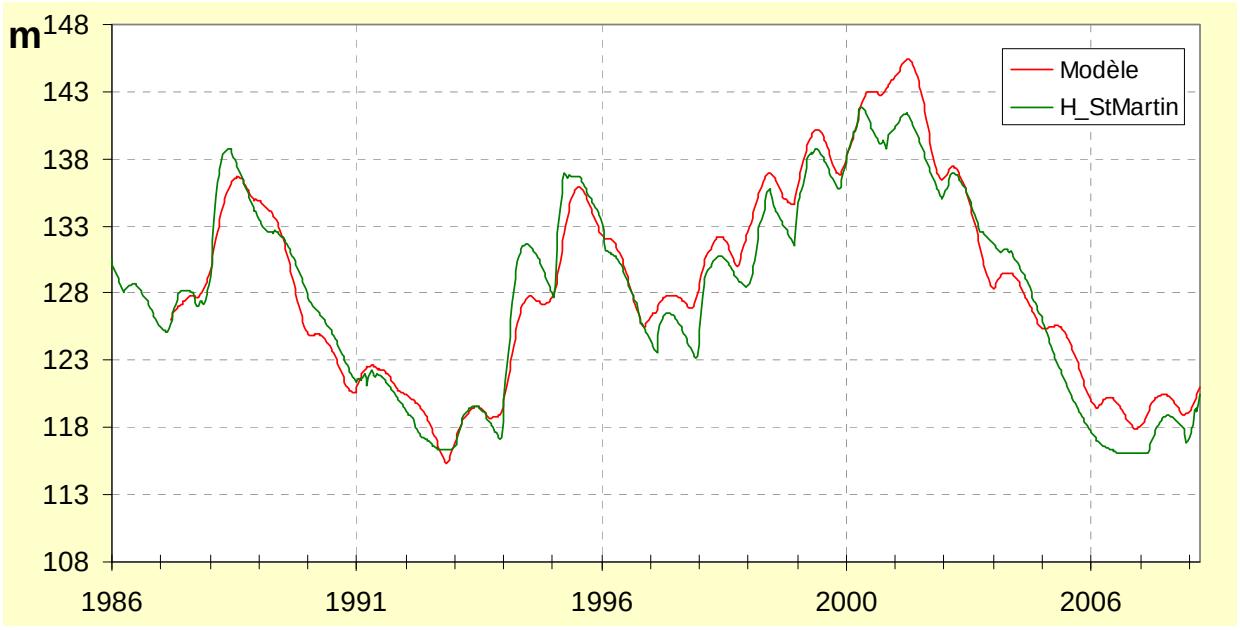


Illustration 42 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Saint-Martin-Chennetron

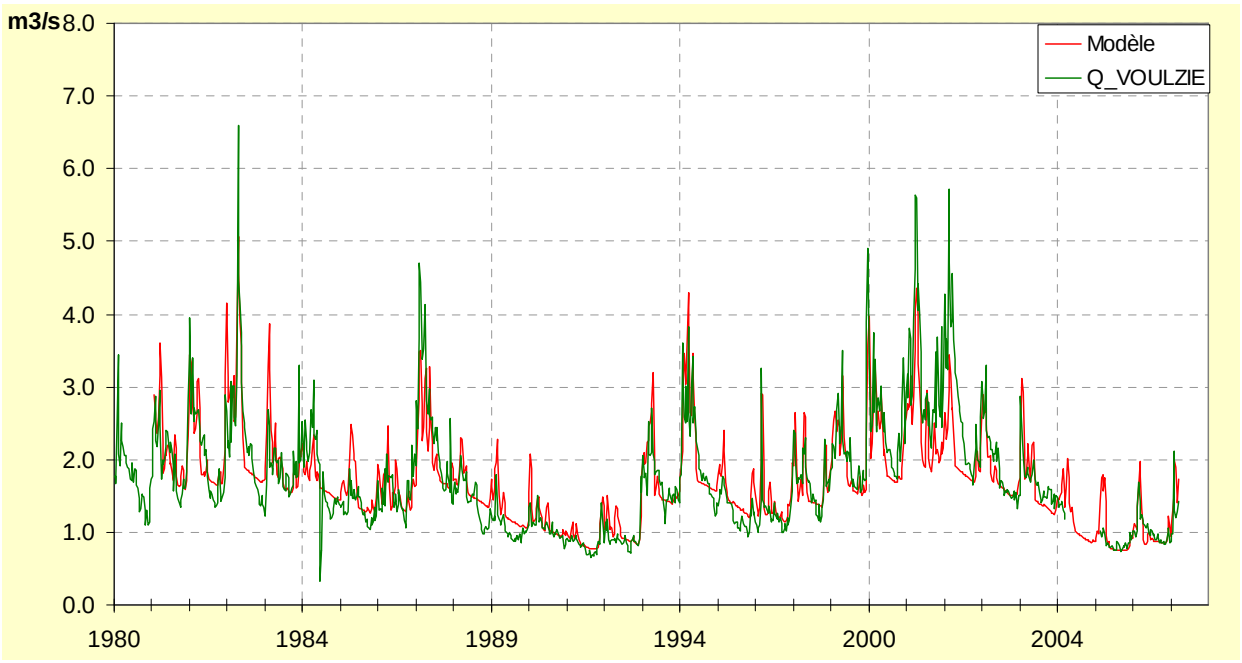


Illustration 43 : Modélisation du débit de la Voulzie à la station de Jutigny

La modélisation du débit de la Voulzie à Jutigny a été réalisée sur la période 23/01/1981 – 22/03/2008 (Illustration 43). La modélisation transcrit moyennement les variations du piézomètre (coefficient de Nash : 0,72). Cette modélisation fait apparaître un très fort soutien du débit par la nappe (courbe verte).

L'Illustration 45 montre la décomposition des débits moyens mensuels modélisés. On observe la bonne similitude de la fluctuation annuelle du débit mensuel moyen avec celle fournie par la banque HYDRO (Illustration 41), ainsi qu'un fort soutien du débit par la nappe tout au long de l'année et l'existence d'un ruissellement peu important.

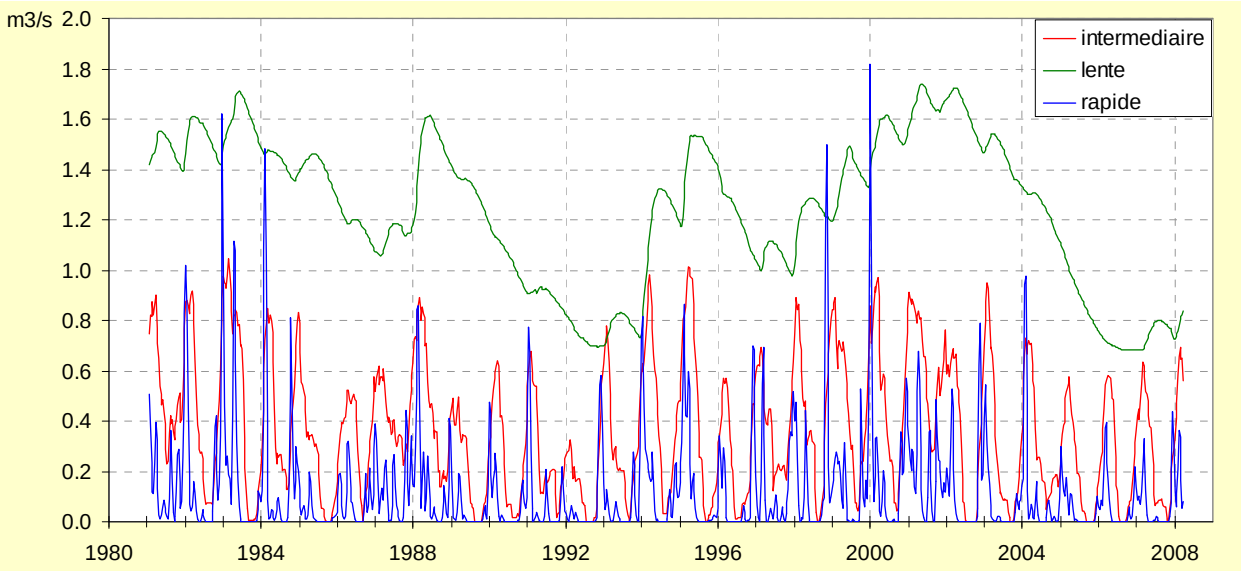


Illustration 44 : Composantes du débit de la Voulzie modélisé à la station de Jutigny

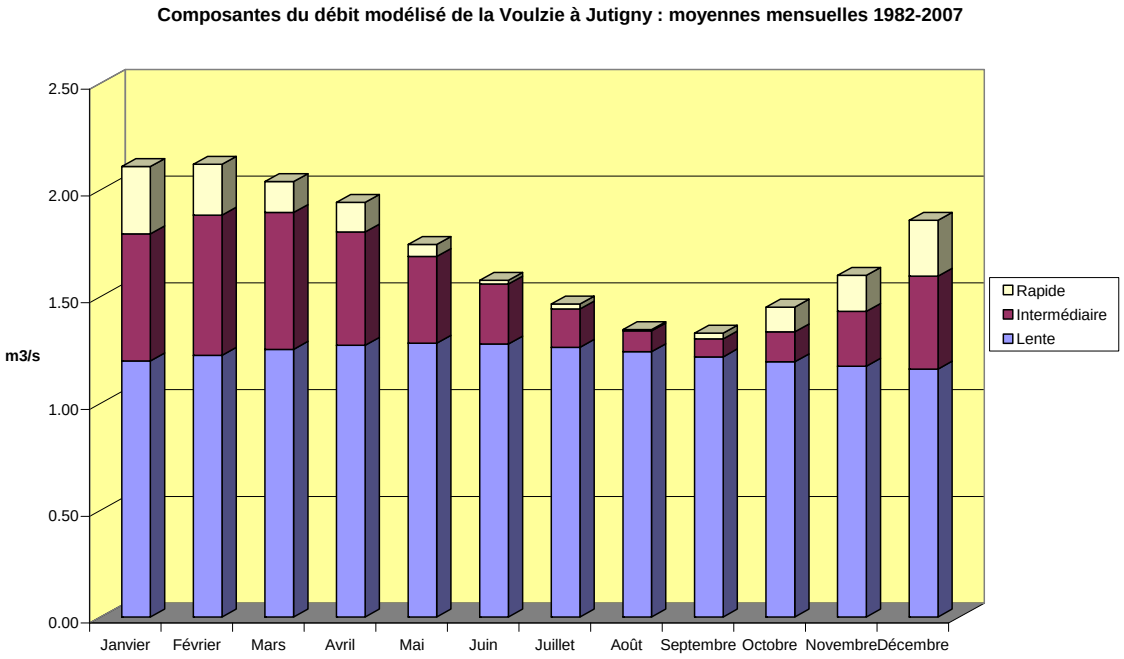


Illustration 45 : Composantes du débit moyen mensuel de la Voulzie modélisé à la station de Jutigny

3.4. BASSIN VERSANT DU LOING

3.4.1. Caractéristiques du bassin versant

Le Loing qui prend sa source à Sainte-Colombe-sur-Loing se jette dans la seine après avoir traversé un nombre important de commune dans l'Yonne, le Loiret et la Seine-et-Marne. Ici, on étudiera le Loing à Episy en Seine-et-Marne et le Loing à Montbouy dans le Loiret. Le bassin versant du Loing à Montbouy occupe une surface de 409 km², le bassin versant du Loing à Episy s'étend quant à lui sur 3 900 km² (source : banque HYDRO).

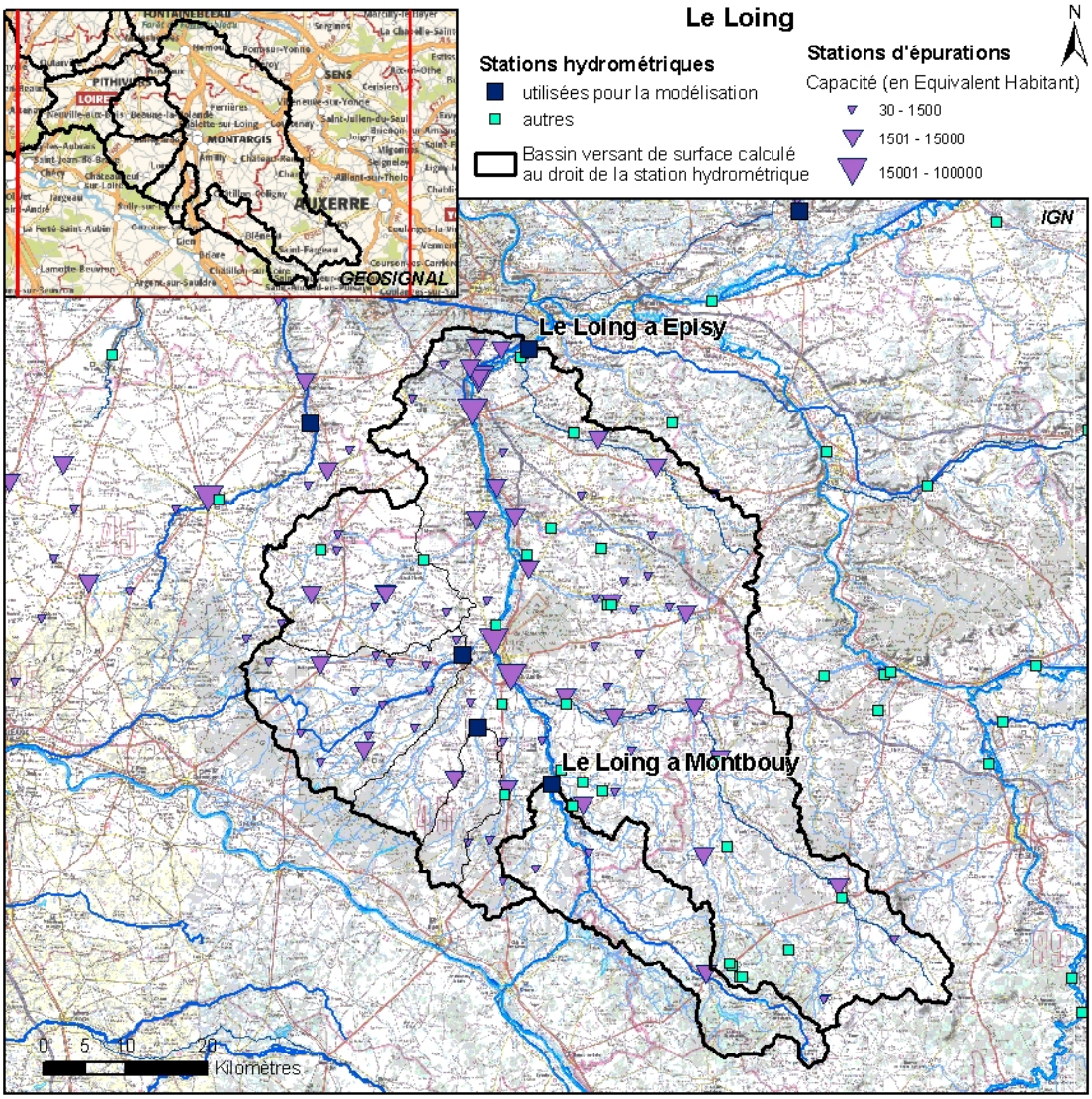


Illustration 46 : Localisation du bassin versant du Loing (sources : GEOSIGNAL et IGN)

De nombreuses stations d'épuration sont présentes sur ce bassin versant.

a) Altitudes

L'altitude du bassin versant du Loing s'échelonne de 383 à 50 m NGF avec une altitude moyenne de 153,5 m. Les terrains les plus élevés sont rencontrés à l'Est du bassin.

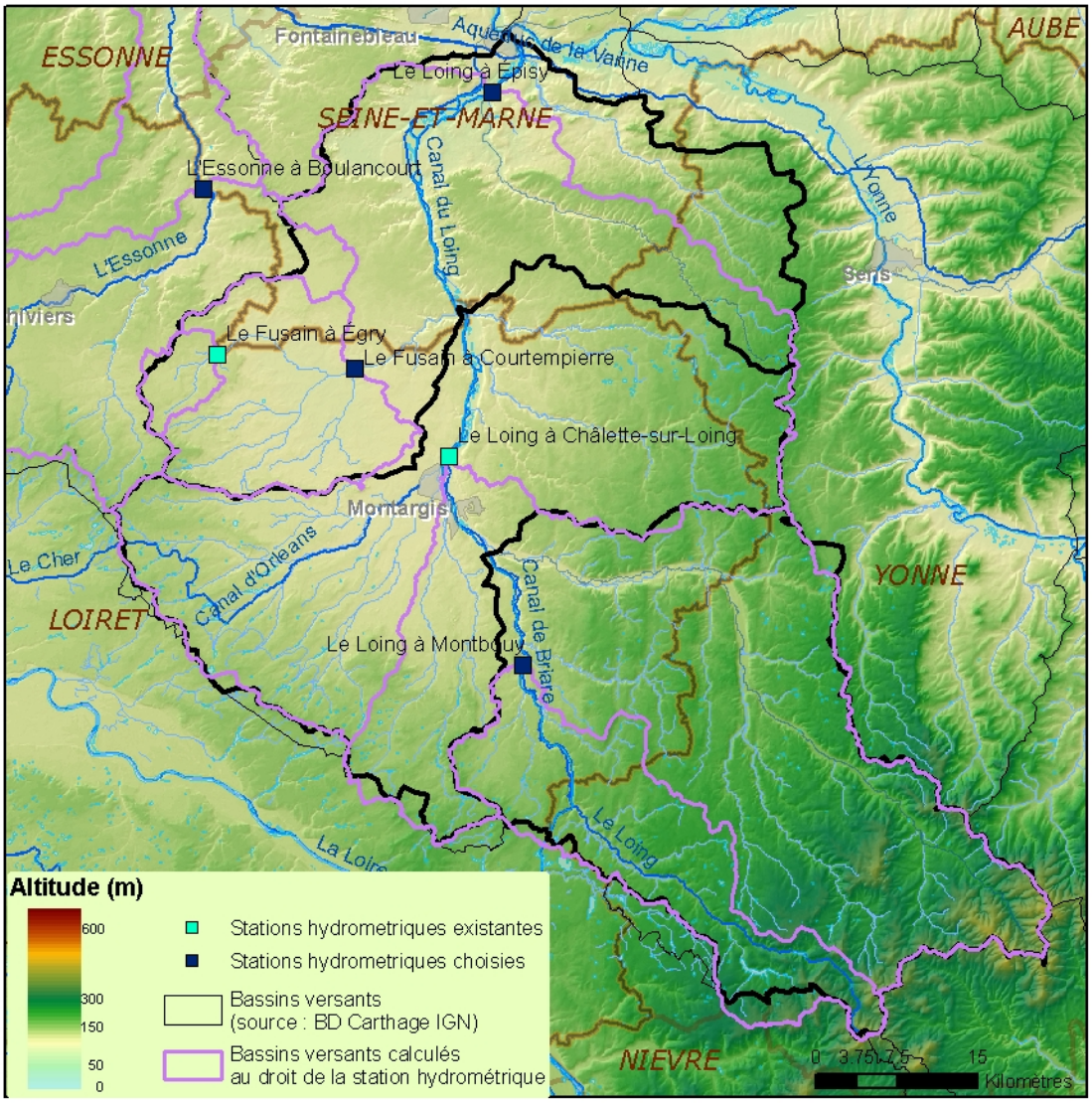


Illustration 47 : Altitudes des terrains dans le bassin versant du Loing (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant du Loing est faible : 2,8% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), avec une pente maximale de 41%.

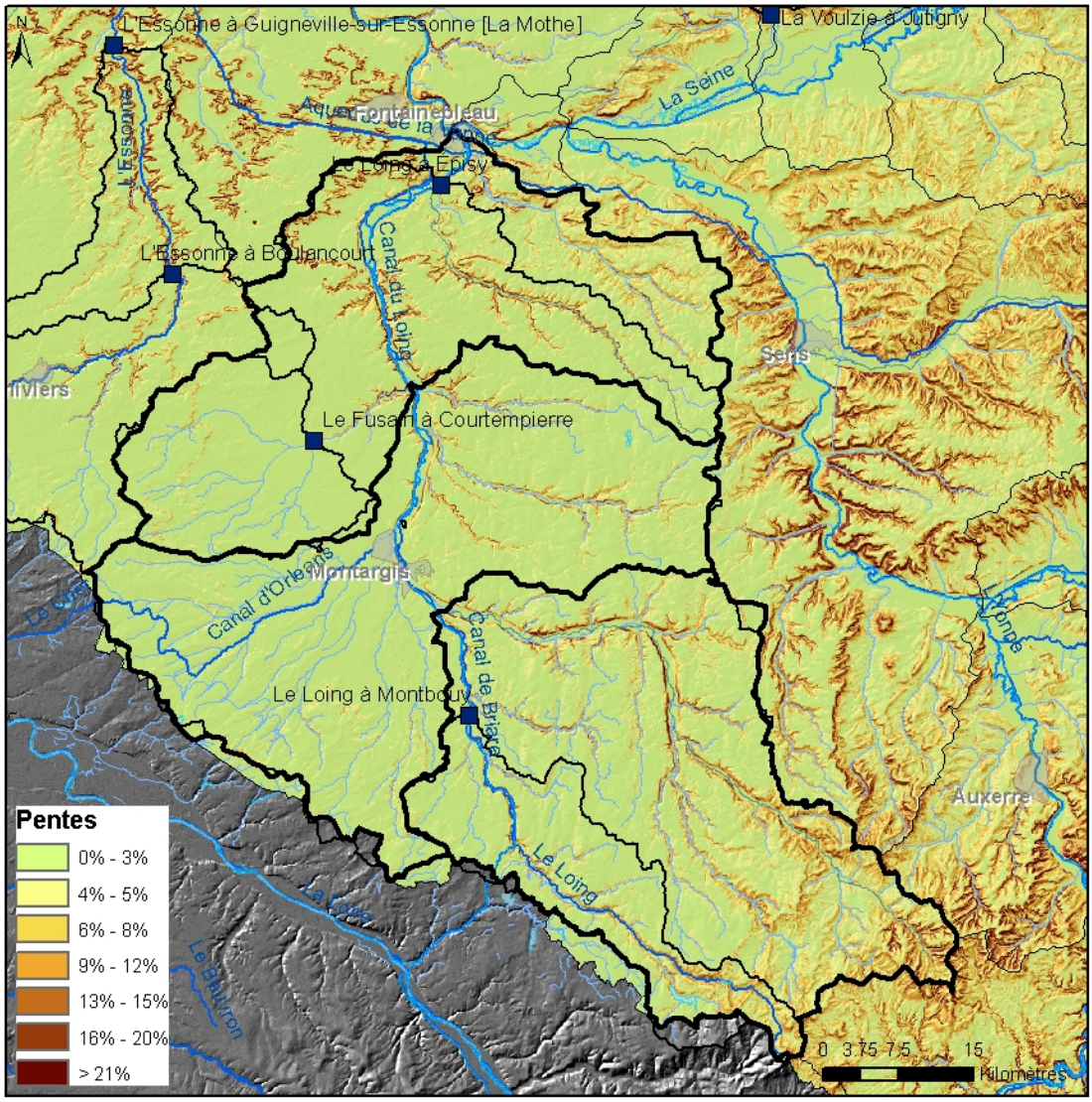


Illustration 48 : Pente des terrains dans le bassin versant du Loing
(pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

La consultation des données de Corinne Land Cover nous donne l'occupation du sol suivante :

- à 28% par des prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbacée ;
- à 67% par des zones agricoles hétérogènes ;
- à 4% par des zones urbanisées industrialisées.

Il s'agit donc d'un bassin versant agricole, avec une superficie importante occupée par la forêt d'Orléans.

- **Bassin versant du Loing à Episy**

Les prélèvements, principalement pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation, sont importants sur ce bassin versant et sont réalisés essentiellement dans les eaux souterraines.

Les prélèvements pour l'eau potable s'élèvent à environ 51 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 13,1 mm. Les prélèvements pour l'industrie ont été estimés à 5 millions de m^3, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 1,3 mm.

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 4. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (3 900 km²), ils correspondent à une lame d'eau variant de 3,9 à 11,3 mm.

Année	Prel_Irrigation
1995	15355241
1996	27874866
1997	25062778
1998	23771442
1999	22935828
2000	20277072
2001	19682520
2002	37892715
2003	44072701
2004	29769909
2005	31036569
2006	42021247

Tableau 4 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant du Loing à Episy

- **Sous-bassin du Loing à Montbouy**

Année	Prel_Irrigation
1995	591616
1996	853813
1997	1057292
1998	1063613
1999	1084655
2000	1092331
2001	821469
2002	1664255
2003	2160236
2004	1144538
2005	1473060
2006	1774879

Tableau 5 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant du Loing à Montbouy

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 5. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (409 km²), ils correspondent à une lame d'eau variant de 1,4 à 5,2 mm.

Les prélèvements pour l'eau potable s'élèvent à environ 740 000 m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 1,8 mm.

3.4.2. Climatologie

Le bassin versant du Loing à Episy reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 734 mm environ (770 mm pour le sous bassin versant du Loing à Montbouy) (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Cela correspond à la pluviométrie moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de quatre stations météorologiques ont été utilisées pour la modélisation, trois pour leur chronique de pluie, une pour sa chronique d'évapotranspiration.

- Beaune-la-Rolande (type 4, station créée en décembre 1977), cette station est située dans le bassin versant, à 41 km au Sud-Ouest de la station hydrométrique du Loing à Episy. Elle reçoit une pluviométrie moyenne annuelle inférieure à celle du bassin versant.
- Nogent-sur-Vernisson (type 4, station créée en janvier 1873), celle station est située dans le bassin versant, à 56 km au Sud de la station hydrométrique du Loing à Episy. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne proche de celle du bassin versant.
- Ladon (type 4, station créée en mars 1974). La station se trouve dans le bassin versant à 40 km au Sud-Sud-Ouest de la station hydrométrique du Loing à Episy. Elle reçoit une pluviométrie moyenne annuelle légèrement inférieure à celle du bassin versant.
- Chartres (station située à Champhol, de type 0, créée en 1921) qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman, est située en dehors du bassin versant à 96 km au Nord-Est du bassin.

La recherche des pluies optimales sur le bassin versant a été effectuée à partir des trois chroniques de pluie ci-dessus. Les formules obtenues sont les suivantes :

- O_Loing-Episy = 34%.BAUNE + 22%.LADON + 44%.NOGENT
- O_Loing-Montb = 35%.BAUNE + 65%.NOGENT

3.4.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

L'Illustration 49 correspond à un extrait de la carte géologique au 1/1 000 000 correspondant au bassin versant du Loing qui s'étend sur 11 cartes géologiques au

1/50 000, dont les 6 feuilles suivantes sont couvertes en grande partie : Fontainebleau (294), Château-Landon (329), Cheroy (330), Montargis (365), Courtenay (366) et Bleneau (401). Les principales formations géologiques rencontrées à l'affleurement dans ce bassin (hors formations superficielles), des plus récentes au plus anciennes, sont :

- Oligocène :
  - · Calcaire de Beauce – Calcaire de Pithiviers (Aquitanien),
  - · Molasse du Gâtinais (Aquitanien),
  - · Calcaires d'Étampes – Calcaire du Gâtinais (Stampien),
  - · Sables de Fontainebleau (Stampien),
  - · Calcaires de Brie (Stampien) ;
- Éocène :
  - · Calcaire de Champigny – Calcaire de Château-Landon (Ludien),
  - · Calcaire de Saint-Ouen,
  - · Argile plastique, sables et grès (Yprésien) ;
- Paléocène :
  - · Poudingue de Nemours (Paléocène–Éocène inférieur) ;
- Crétacé Supérieur :
  - · Craie blanche à silex (Campanien),
  - · Craie blanche (Santonien).

La géologie du bassin versant du Loing présente deux domaines :

- La rive droite avec une prédominance des Sables et Argiles du Cuisien et Sparnacien et quelques affleurements du Calcaire de Champigny, Marnes supragypseuses et du Calcaire d'Étampes.
- La rive gauche caractérisée par la présence du Calcaire d'Étampes sur presque l'ensemble de la rive gauche du bassin. Le Calcaire de Beauce, la Molasse du Gâtinais ainsi que les Sables et Marnes de l'Orléanais sont présents dans la partie Sud-Est de la rive gauche.

Au fond des vallées et à la limite Sud du bassin est présente la formation de la Craie.

Les principles nappes sont :

- la nappe de la Craie à l'Est ;
- la nappe de Beauce à l'Ouest.

L'IDPR[4] (Illustration 50) met en évidence des zones très infiltrantes à l'aval du bassin versant. Certaines de ces zones correspondent à une infiltration via des systèmes karstiques (Illustration 51 : carte des cavités).

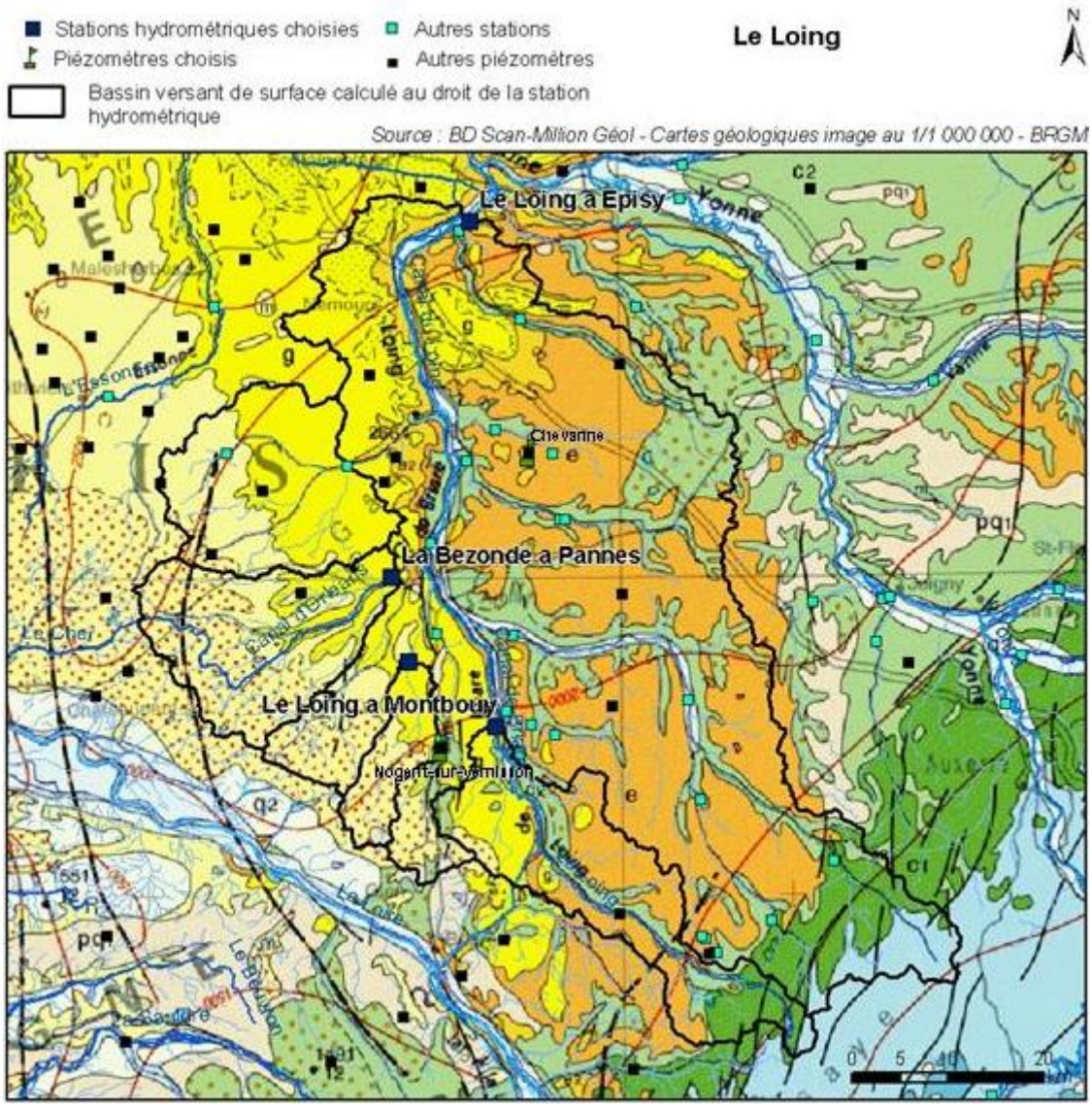


Illustration 49 : Carte géologique du bassin versant du Loing

[4] L'Indice de Persistance et de Développement des Réseaux (IDPR) a été créé par le BRGM pour réaliser des cartes nationales ou régionales de vulnérabilité. Il traduit l'aptitude des formations du sous-sol à laisser ruisseler ou s'infiltrer les eaux de surface.

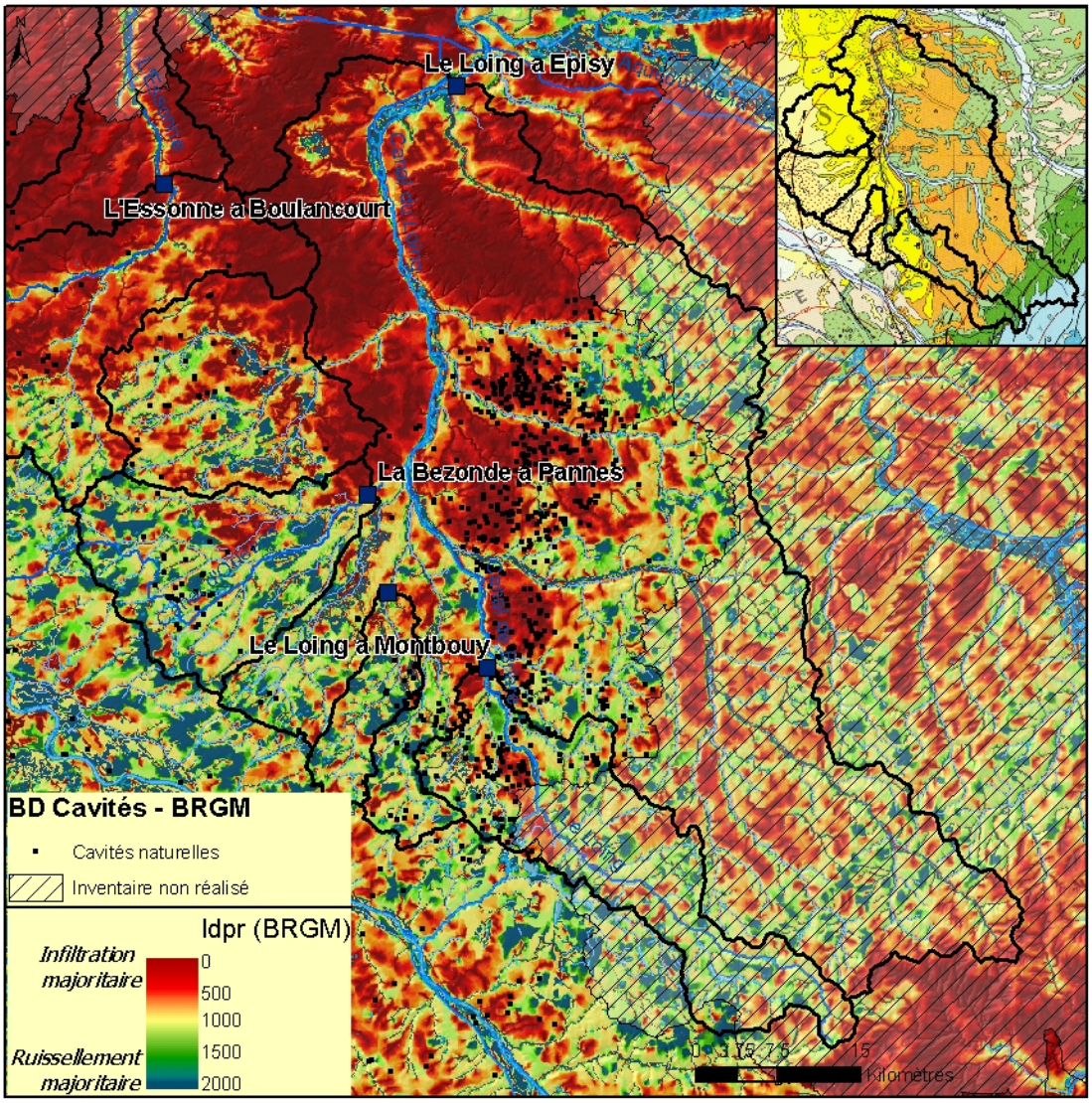


Illustration 50 : Carte IDPR

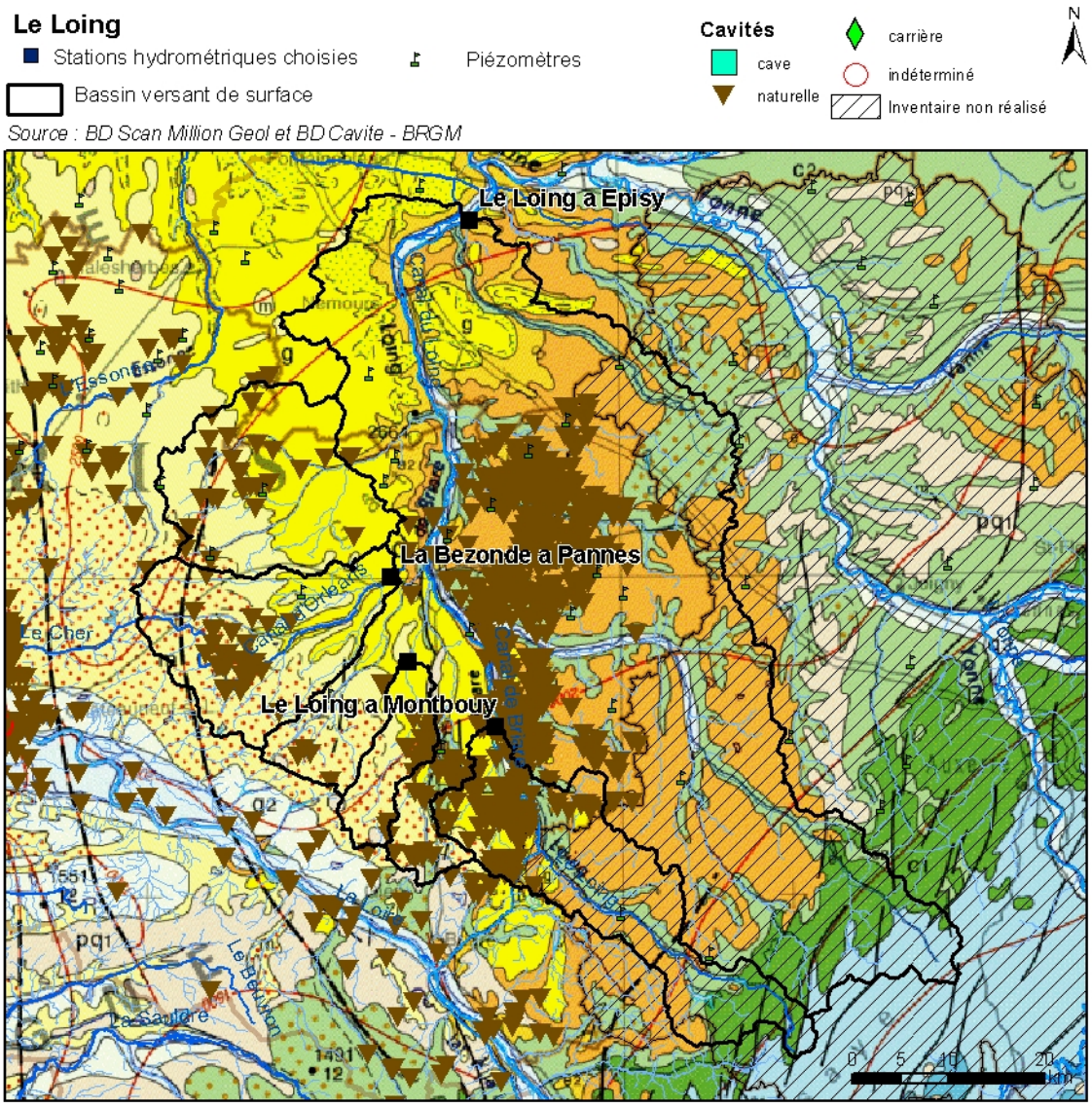


Illustration 51 : Carte de cavités

b) Piézométrie

Les Illustration 50 (carte IDPR) et Illustration 51 (carte des cavités) montrent que la partie Nord et Nord-Ouest de ce bassin sont caractérisées par une importante infiltration ainsi que par la présence de cavités dans la partie Ouest du bassin. Ce qui permet de penser que ce bassin présente un comportement karstique. Plusieurs piézomètres ont été testés pour modéliser le débit du Loing, le choix s'est porté sur l'association de deux piézomètres (Chevanne et Nogent-sur-Vernisson) pour le Loing à Episy et Nogent-sur-Vernisson pour le Loing à Montbouy.

La chronique du piézomètre de Chevanne (Craie du Gatinais) a été représentée sur l'*Illustration 52* a débuté le 06/01/1989 avec un enregistrement de 4 à 5 mesures par mois jusqu'au 28/07/1994 et quotidien depuis et se poursuit actuellement.

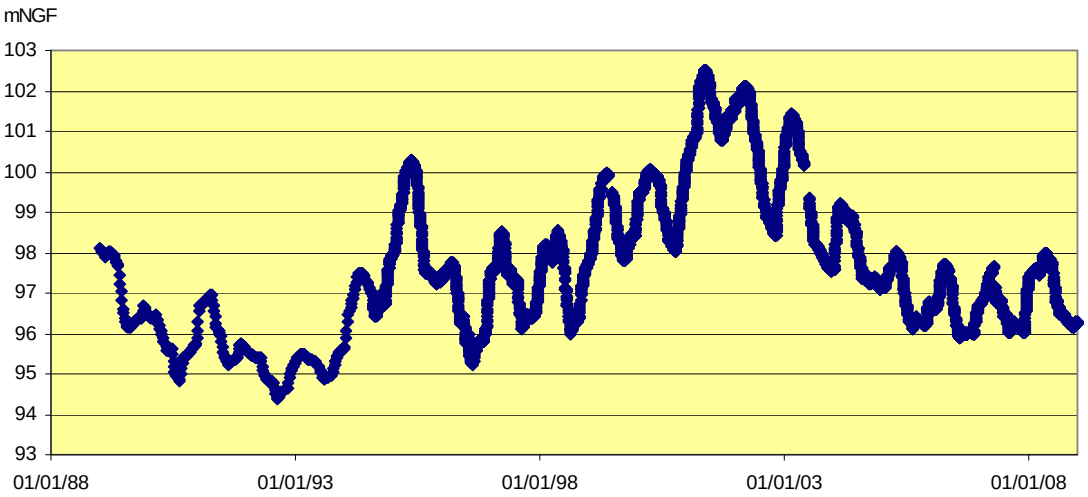


Illustration 52 : *Chronique piézométrique de Chevanne (indice national : 03298X1013/P)*

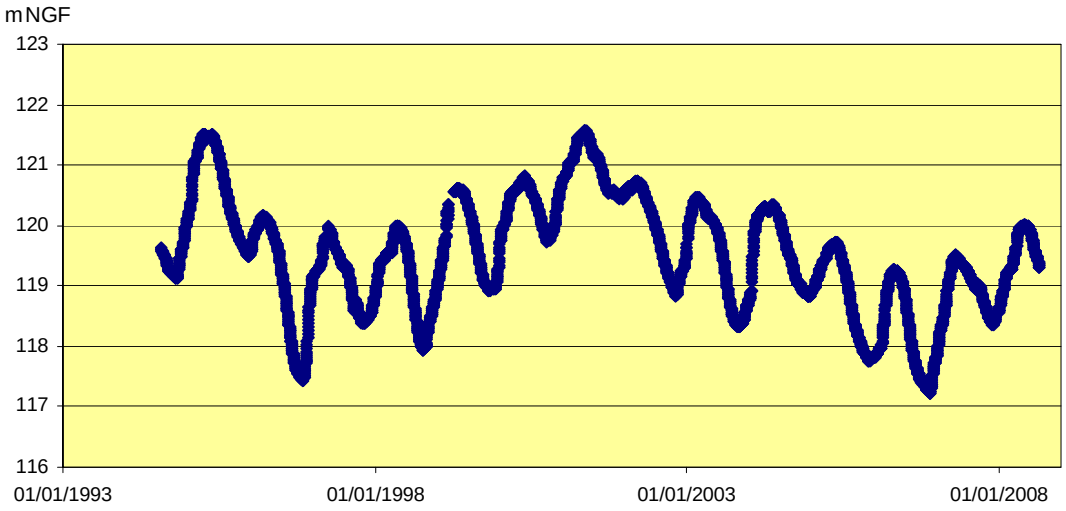


Illustration 53 : Chronique piézométrique de Nogent-sur-Vernisson (indice national : 04003X0018/FAEP2)

Cette chronique comporte 2 interruptions de plus de 20 jours : du 03/06/1999 au 25/06/1999 et du 02/06/2003 au 4/07/1999.

La chronique présente des fluctuations annuelles de l'ordre de 2 m.

La chronique du piézomètre de Nogent-sur-Vernisson (Calcaires de Beauce) est représentée sur l'Illustration 53, a débuté le 28/07/1994 avec un enregistrement de 4 à 5 mesures par mois jusqu'au 28/07/1994 et quotidien depuis et se poursuit actuellement.

Cette chronique comporte 1 interruption de plus de 20 jours : du 11/03/1999 au 05/04/1999. Elle présente des fluctuations annuelles de l'ordre de 2 m.

3.4.4. Hydrologie

Le Loing s'écoule selon un axe S-N. Son débit est connu au travers de cinq stations hydrométriques. Nous présenterons les données des stations de Montbouy (code HYDRO : H3021010) et d'Episy (code HYDRO : H3621010).

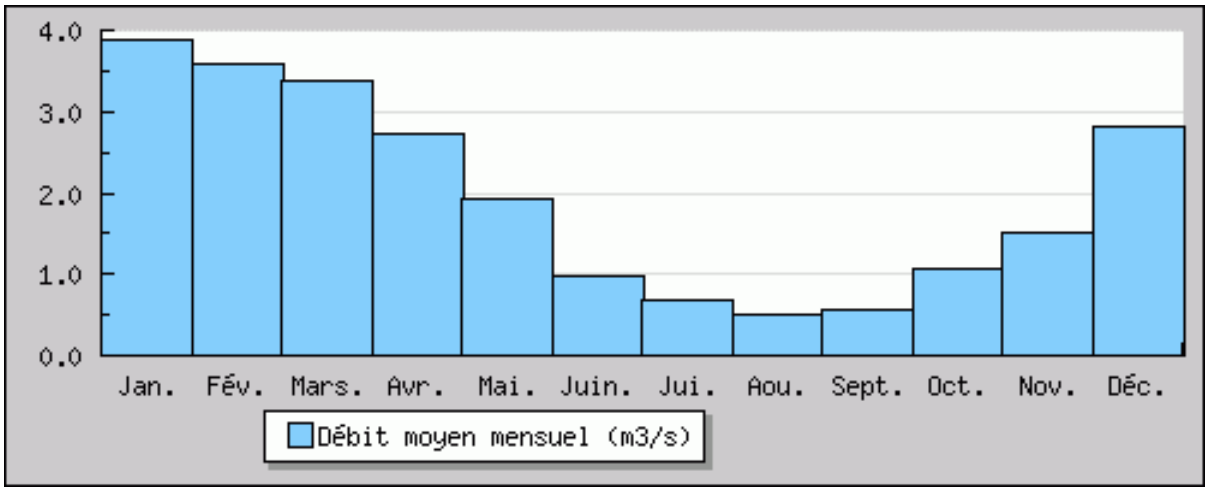


Illustration 54 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique du Loing à Montbouy (source : Banque HYDRO)

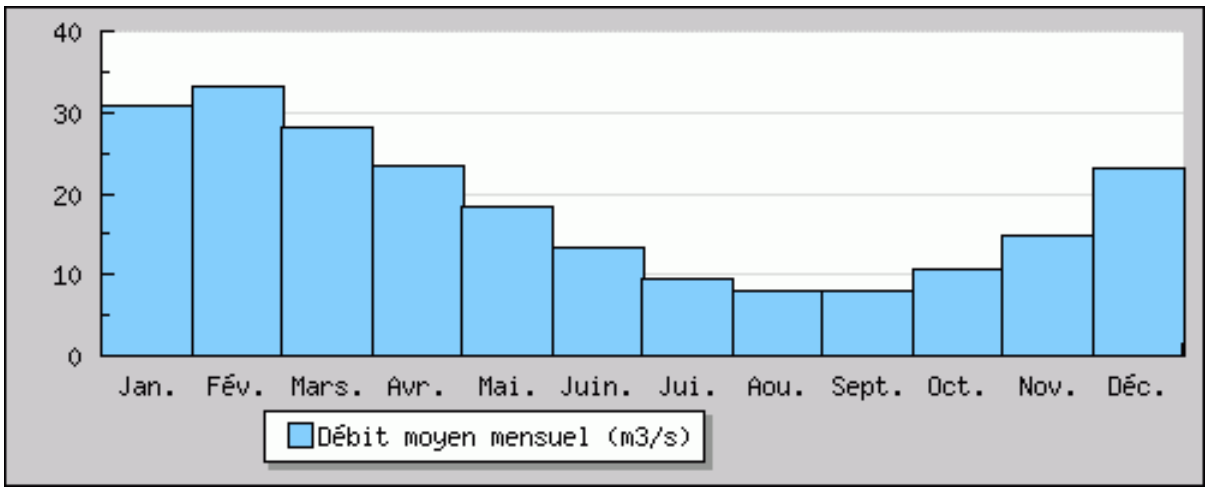


Illustration 55 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique du Loing à Episy (source : Banque HYDRO)

Le **Loing à Episy** : la chronique de débit journalier a débuté le 01/01/1949.

Le **Loing à Montbouy** : la chronique de débit journalier qui a débuté le 30/10/1980 a été interrompue de plus de 10 jours sur deux périodes : du 20/07/1988 au 09/08/1988 et du 25/07/1990 au 27/08/1990.

Les basses eaux sont rencontrées en août-septembre et les hautes eaux en janvier. Les lames d'eau moyennes annuelles sont respectivement de 148 mm pour le Loing à Episy et de 152 mm pour le Loing à Montbouy, ce qui correspond à une valeur inférieure à la moyenne pour le bassin Seine-Normandie. Le débit journalier maximal connu est de 296 m^3/s pour le Loing à Episy et de 35,9 m^3/s pour le Loing à Montbouy et le minimum est de 1,75 m^3/s pour le Loing à Episy et de 0,006 m^3/s pour le Loing à Montbouy. L'Illustration 54 et l'Illustration 55 montrent le débit moyen mensuel (source : banque HYDRO) et mettent en évidence un débit plus soutenu, par la nappe en période d'étiage, à Episy qu'à Montbouy.

Le QMNA5 est de 4,5 m^3/s pour le bassin versant du Loing à Episy, dont la surface est de 3 900 km^2.

Le QMNA5 est de 0,1 m^3/s pour le bassin versant du Loing à Montbouy, dont la surface est de 409 km^2.

3.4.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit du Loing à Montbouy a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- Pluie : pluie optimale (O_Loing-Montb =35%* Baune+65%*Nogent) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Chartres ;
- Piézomètres : piézomètre de Nogent-sur-Vernisson.

Pour la modélisation du piézomètre, les mêmes données météorologiques ont été utilisées.

La modélisation du piézomètre de Nogent-sur-Vernisson a été réalisée sur la période 03/08/1994 – 20/07/2008 (Illustration 56). Une composante lente de 610 jours a été intégrée pour réaliser cette modélisation. La modélisation obtenue est satisfaisante avec un coefficient de Nash de 0.83, sauf pour les débits d'étiage (1996-1997 et 2006-2007.

La modélisation du débit du Loing à Montbouy a été réalisée sur la période 11/12/1984 – 10/07/2008 (Illustration 57). La modélisation est moyenne avec un coefficient de Nash de seulement 0,69.

L'Illustration 59 fait apparaître la prépondérance des écoulements rapides durant la moitié de l'année (plus de 50% du débit total entre décembre et mai).

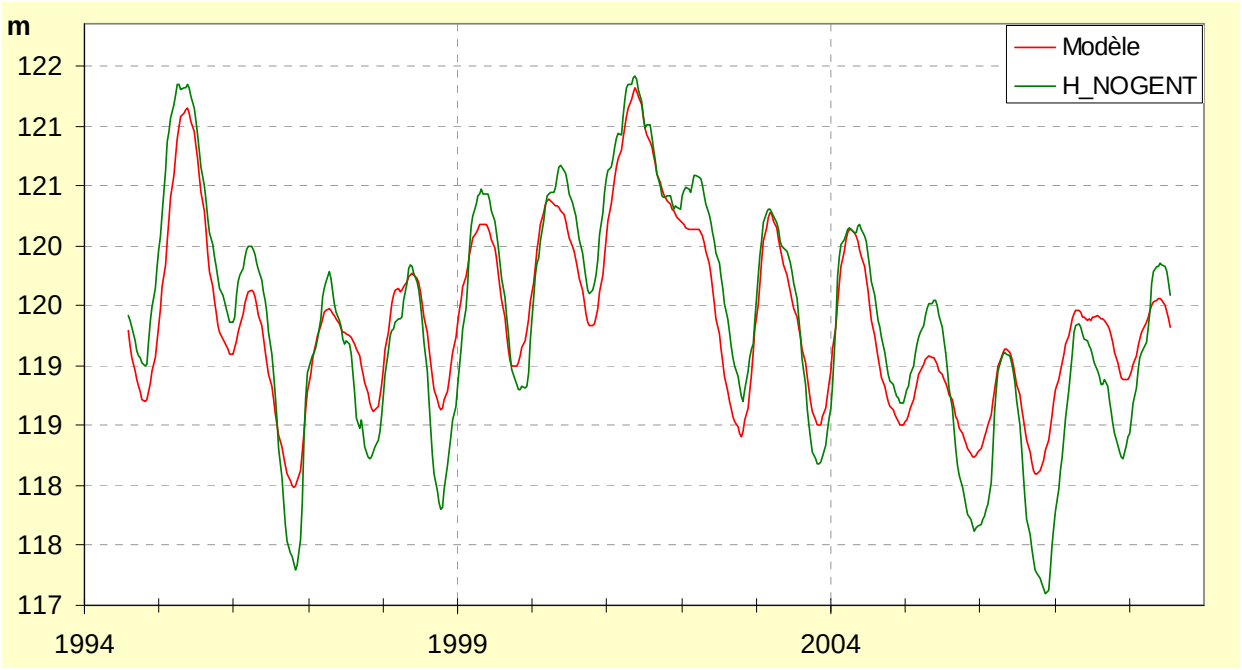


Illustration 56 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Nogent-sur-Vernisson

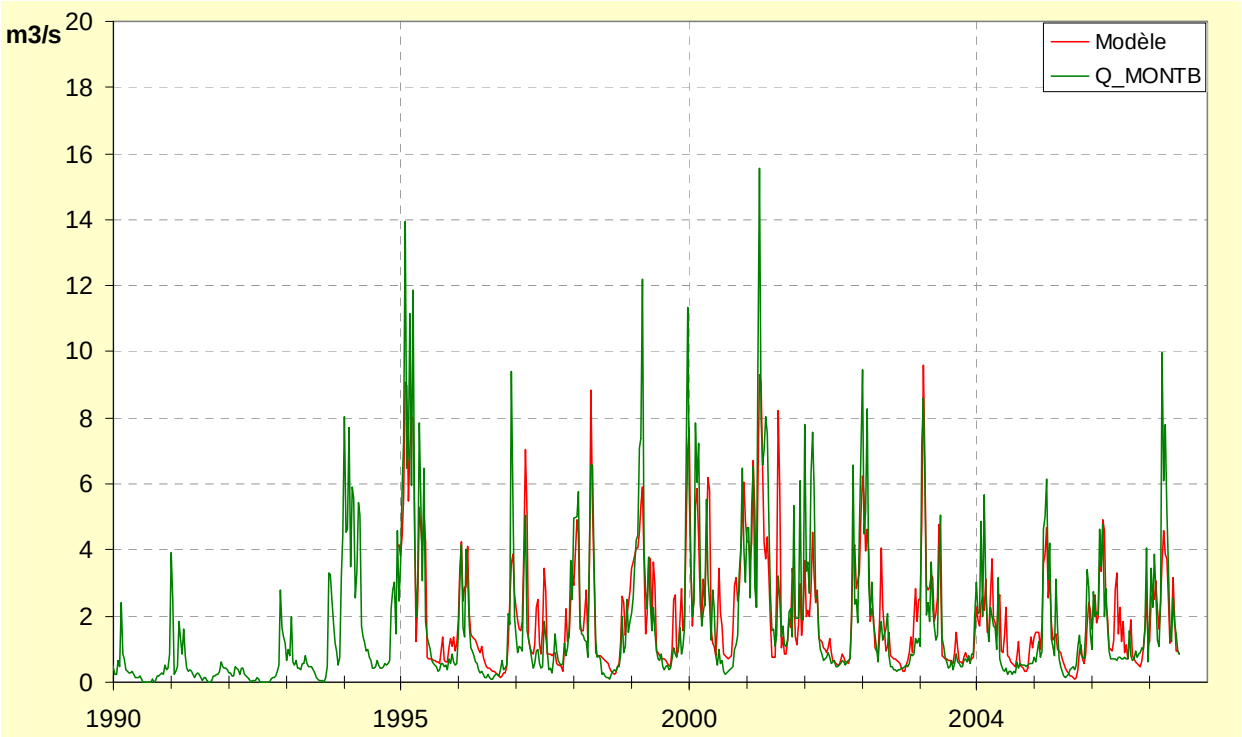


Illustration 57 : Modélisation du débit du Loing à la station de Montbouy

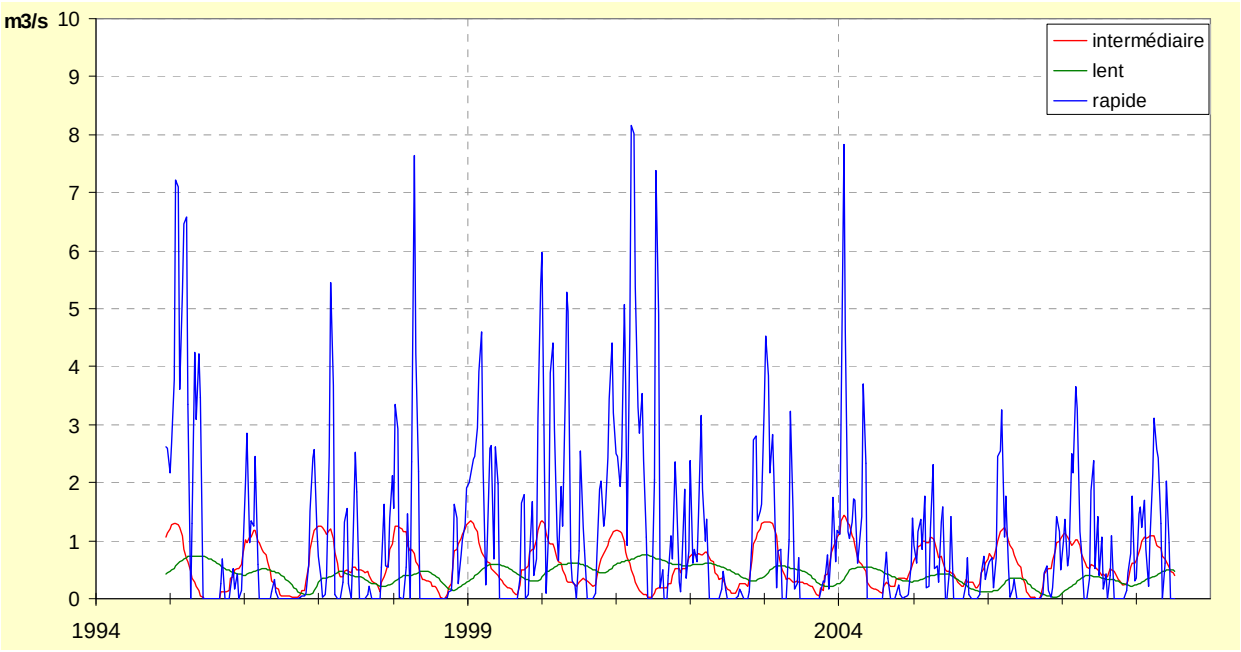


Illustration 58 : Composantes du débit du modélisé à la station de Montbouy

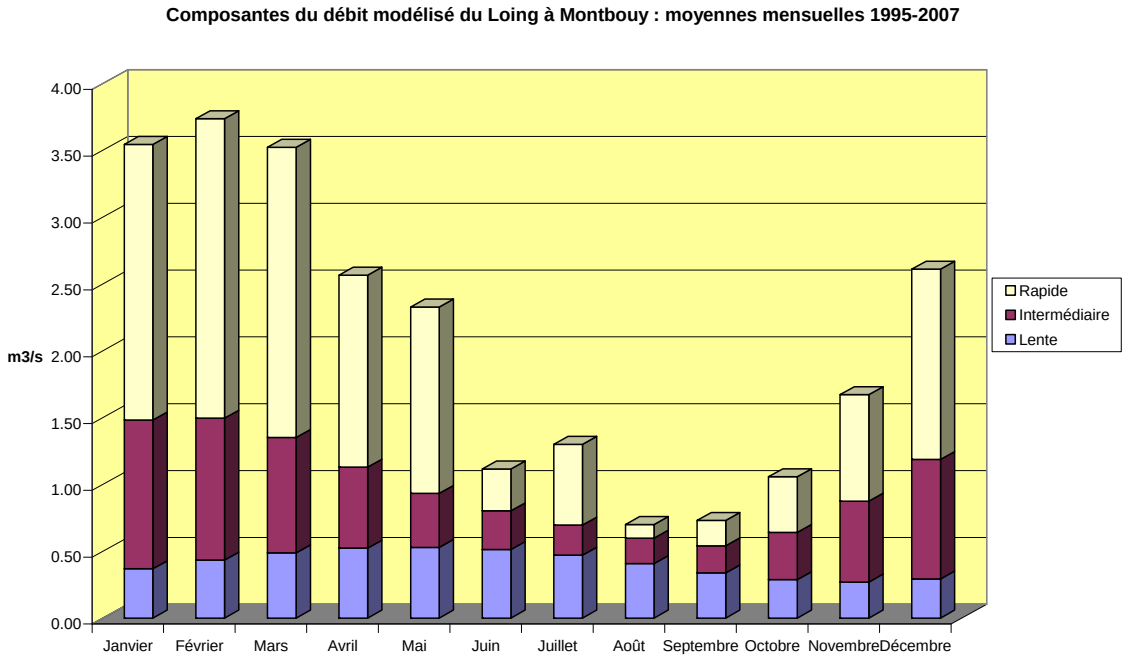


Illustration 59 : Composantes du débit moyen mensuel du Loing modélisé à la station de Montbouy

La modélisation du débit du Loing à Episy a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- Pluie : pluie optimale (O_Loing-Episy = 34% * Baune+22%*Ladon+44%* Nogent) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Chartres ;
- Piézomètres : piézomètre de Chevanne et piézomètre de Nogent-sur-Vernisson.

Pour la modélisation des piézomètres, les mêmes données météorologiques ont été utilisées.

Compte tenu du contexte géologique hétérogène du secteur et de la taille importante de ce bassin versant et de la présence de cavités, deux piézomètres ont été utilisés pour tenir compte de deux comportements différents de la craie.

La modélisation du piézomètre de Nogent-sur-Vernisson est identique à celle réalisée pour le Loing à Montbouy.

La modélisation du piézomètre de Chevanne a été réalisée sur la période 18/08/1995 – 20/06/2008 (Illustration 60). Une composante lente de 1636 jours a été intégrée pour réaliser cette modélisation, ce qui correspond à un système inertiel. La modélisation obtenue est satisfaisante avec un coefficient de Nash de 0,86.

La modélisation du débit du Loing à Episy a été réalisée sur la période 10/01/1995 – 10/07/2008 (Illustration 61). Les fluctuations du débit sont très bien retranscrites (coefficient de Nash : 0,82).

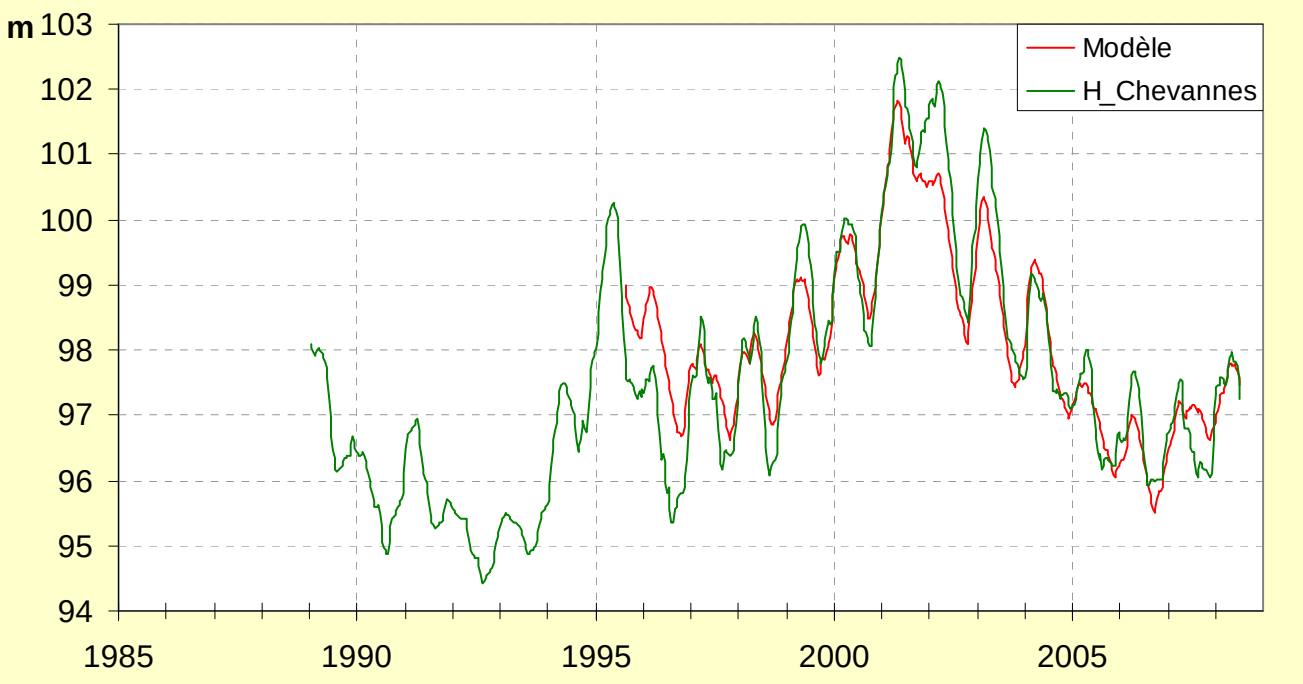


Illustration 60 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Chevanne

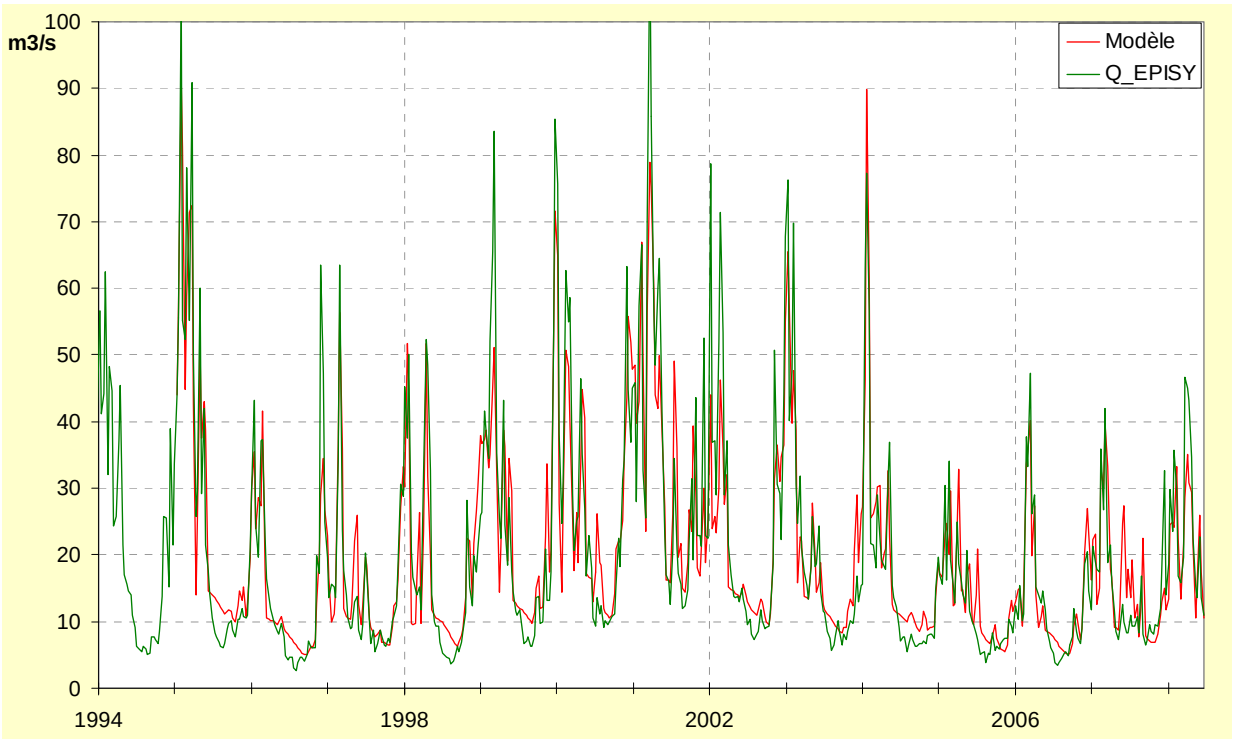


Illustration 61 : Modélisation du débit du Loing à la station d'Episy

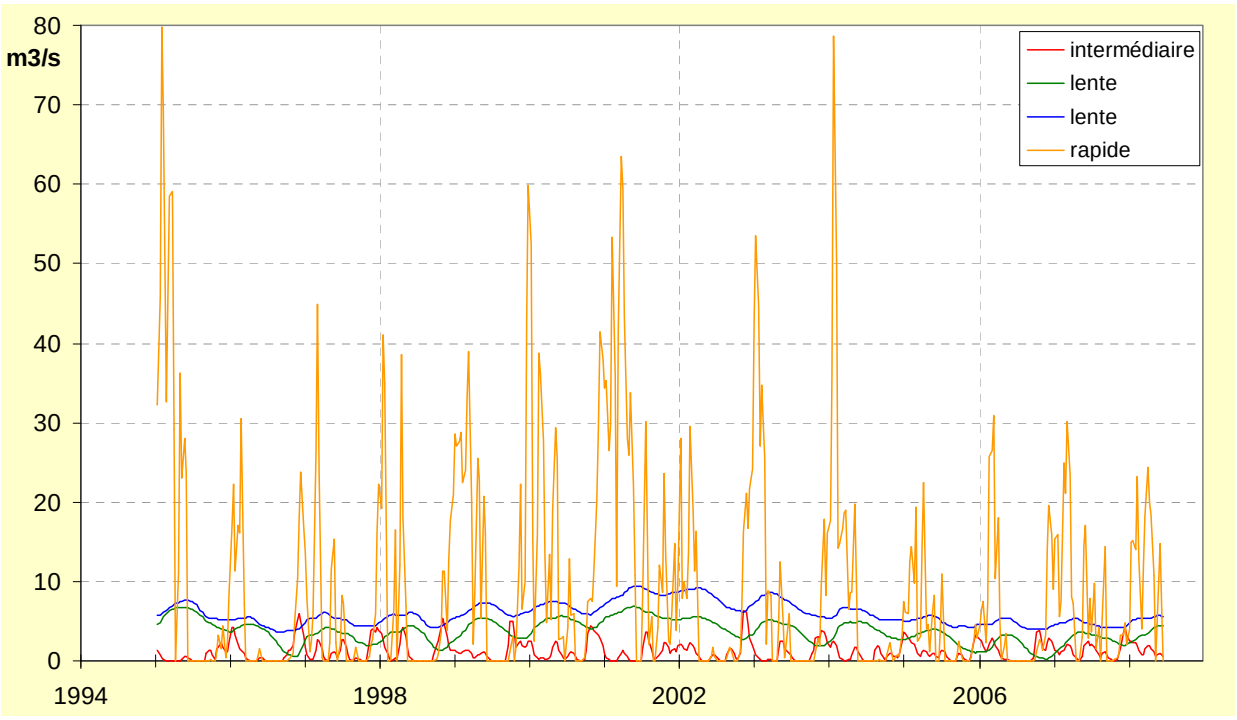


Illustration 62 : Composantes du débit du modélisé à la station d'Episy

La décomposition du flux global (Illustration 62) montre une contribution importante du ruissellement (courbe orange) en dehors des périodes d'étiage. Le débit de base est assuré par la nappe (courbe verte et bleue) ; la composante intermédiaire est très faible.

De la même manière que pour le Loing à la station de Montbouy, l'Illustration 63 montre la décomposition du débit moyen mensuel modélisé du Loing à Episy. Cette décomposition fait apparaître la prépondérance des écoulements rapides durant l'automne et l'hiver (près de 70% du débit total en janvier et février).

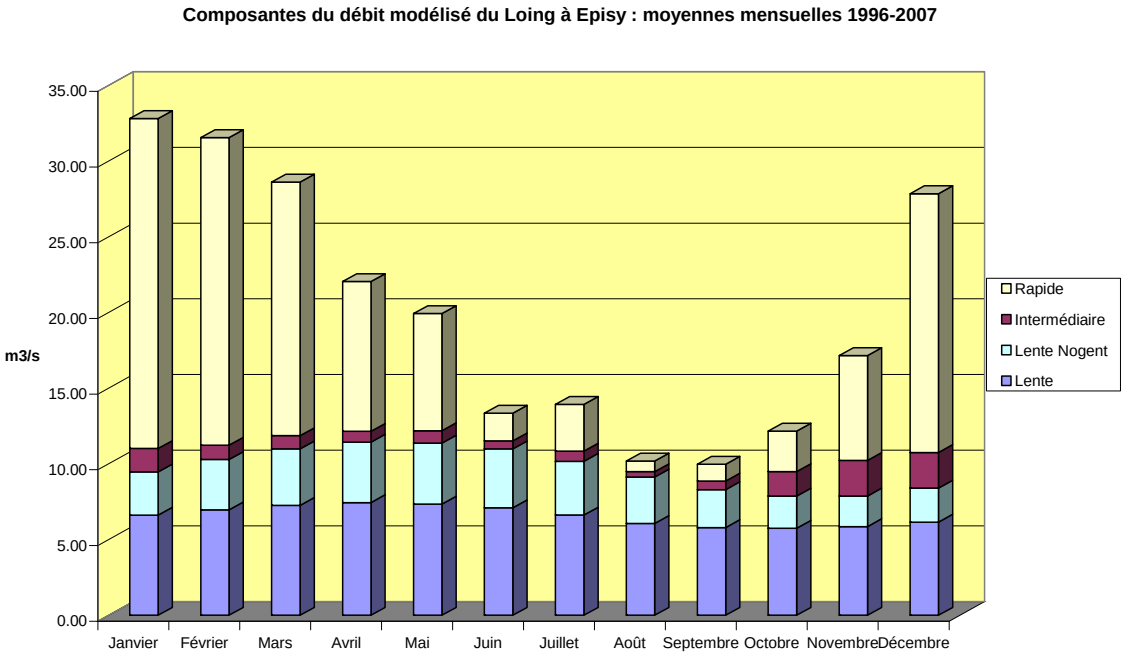


Illustration 63 : Composantes du débit moyen mensuel du Loing modélisé à la station d'Episy

3.5. BASSIN VERSANT DE L'ESSONNE

La rivière Essonne, affluent rive gauche de la Seine, prend naissance en forêt d'Orléans, à Chilleurs-aux-Bois, commune du Loiret. Elle sépare le département de Seine-et-Marne du département du Loiret et pénètre dans le département de l'Essonne où elle se jette en Seine (à Corbeil-Essonnes). Le bassin versant de l'Essonne à Guigneville-sur-Essonne occupe une superficie de 875 km². Le bassin versant de l'Essonne à Boulancourt s'étend sur 609 km² (source : banque HYDRO).

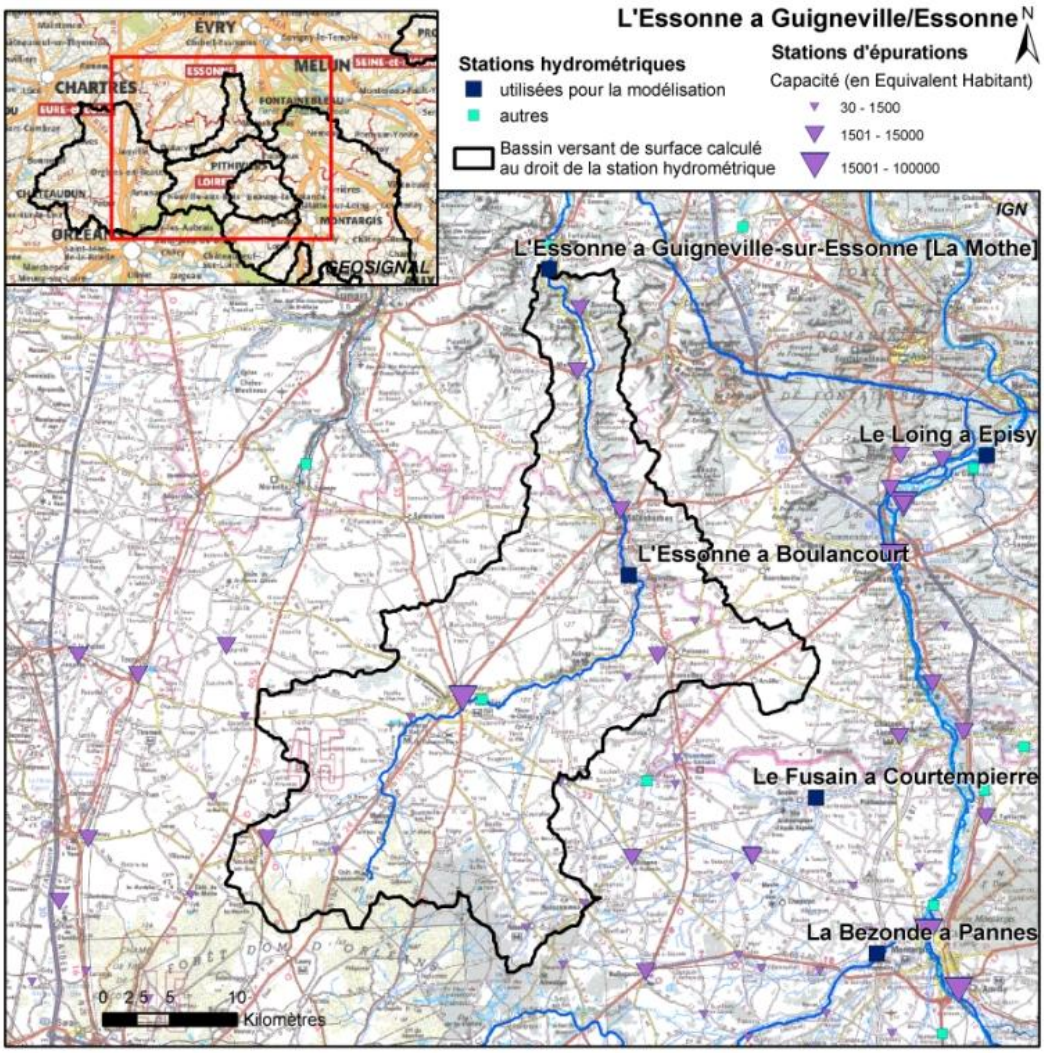


Illustration 64 : Localisation du bassin versant de l'Essonne à Boulancourt (sources : GEOSIGNAL et IGN)

On note la présence de cinq stations d'épuration dans la vallée de l'Essonne.

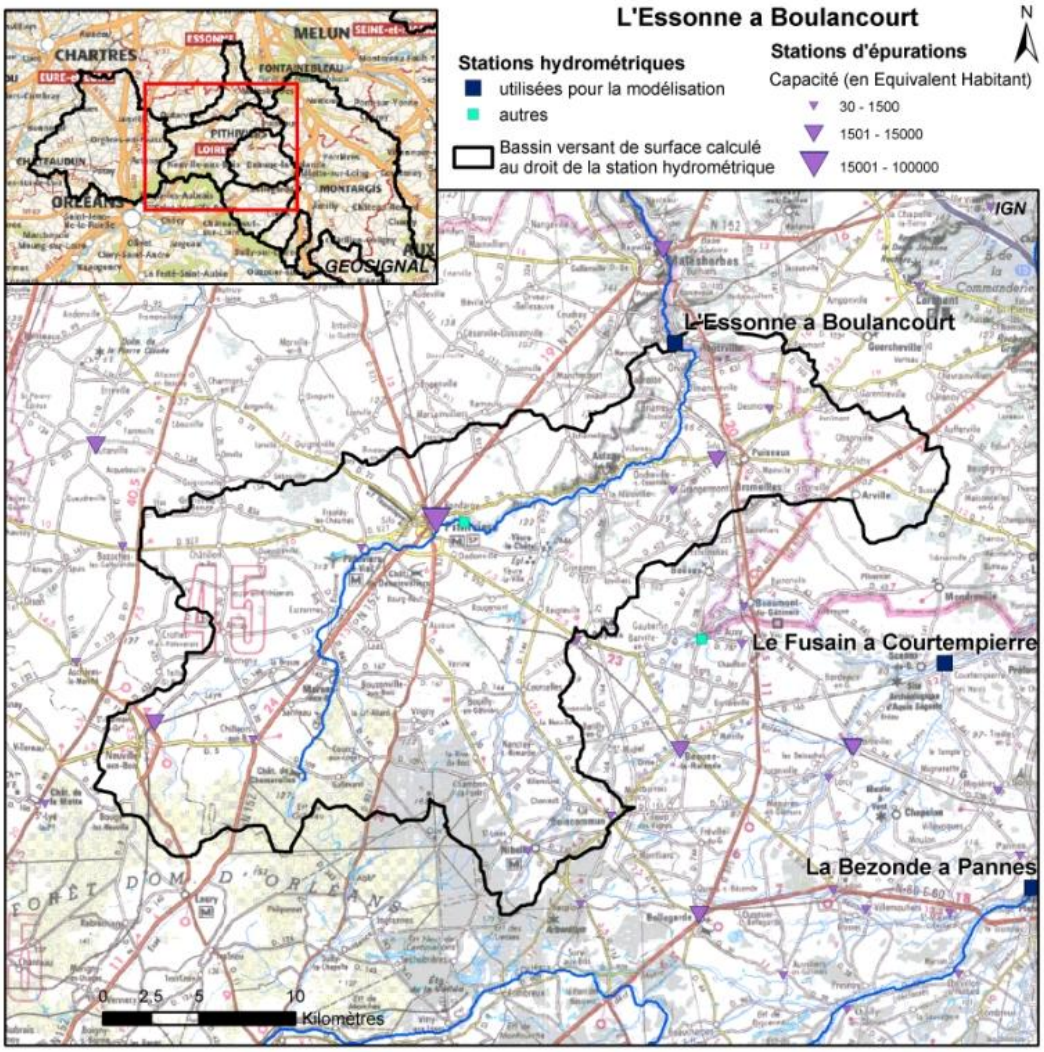


Illustration 65 : Localisation du bassin versant de l'Essonne à Guigneville/Essonne (sources : GEOSIGNAL et IGN)

3.5.1. Caractéristiques du bassin versant

a) Altitudes

Les altitudes du bassin versant de l'Essonne sont comprises entre 168 et 54 m NGF avec une altitude moyenne de 117,6 m. Les terrains les moins élevés sont rencontrés à l'Ouest du bassin.

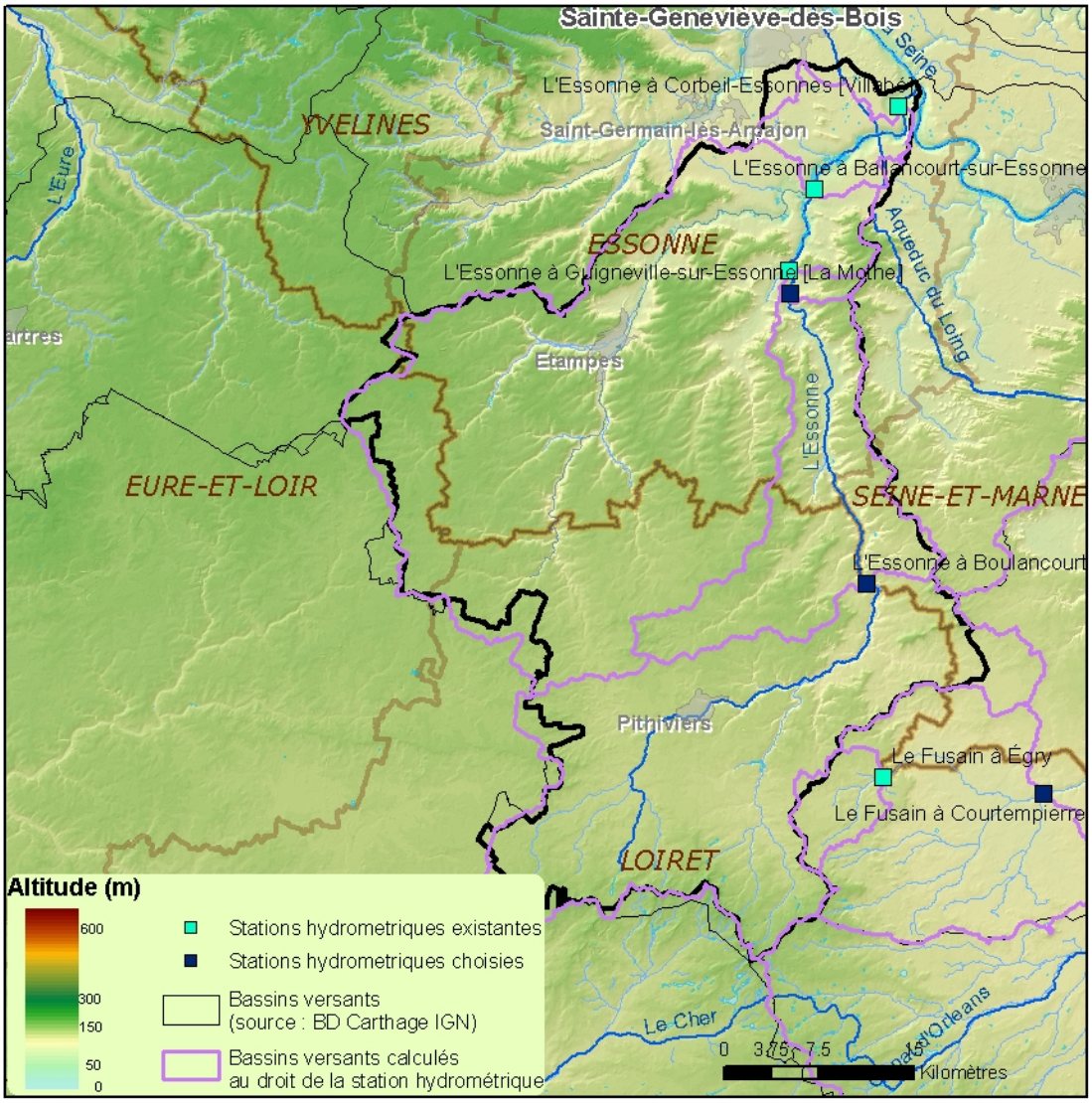


Illustration 66 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de l'Essonne (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant de l'Essonne est 2,2% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), avec une pente maximale de 48,9%. Les pentes supérieures à 5% occupent près de 10% du bassin versant, ce qui correspond à un vaste plateau.

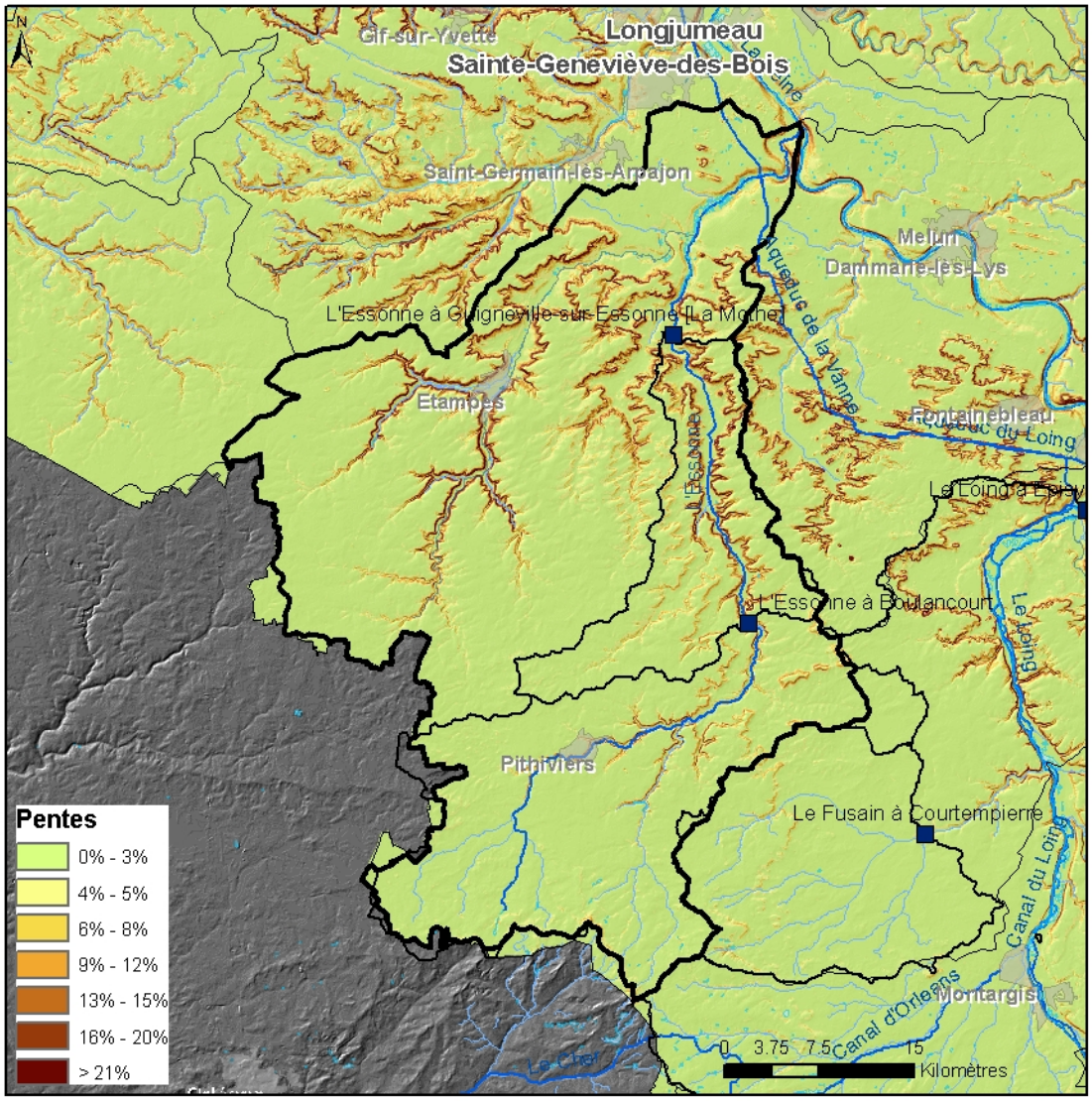


Illustration 67 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Essonne (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

La consultation des données de Corinne Land Cover nous donne l'occupation du sol suivante :

- à 17% par des prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbacée ;
- à 79% par des zones agricoles hétérogènes ;
- à 4% par des zones urbanisées industrialisées.

- **Prélèvements sur le bassin versant de l'Essonne à Guigneville**

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 6. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (875 km²), ils correspondent à une lame d'eau variant de 9,8 à 29,8 mm.

Année	Prel_Irrigation
1995	8575402
1996	18978450
1997	16153494
1998	13806753
1999	12601935
2000	9183755
2001	11513287
2002	19063792
2003	26120788
2004	18966624
2005	16787744
2006	21924772

Tableau 6 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de l'Essonne à Guigneville

Les prélèvements pour l'eau potable s'élèvent à environ 5,9 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 6,7 mm. Les prélèvements pour l'industrie ont été estimés à 1,8 millions de m^3, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 2 mm.

- **Prélèvements sur le bassin versant de l'Essonne à Boulancourt**

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 7. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (609 km²), ils correspondent à une lame d'eau variant de 10 à 31,5 mm.

Année	Prel_Irrigation
1995	6111103
1996	13708586
1997	11898993
1998	10142382
1999	9204672
2000	6869359
2001	8633626
2002	14085043
2003	19216484
2004	13747031
2005	12241055
2006	16339402

Tableau 7 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de l'Essonne à Boulancourt

Les prélèvements pour l'eau potable s'élèvent à environ 3,9 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 6,4 mm. Les prélèvements pour l'industrie ont été estimés à 1,5 millions de m^3, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 2,5 mm.

3.5.2. Climatologie

Les bassins versants de l'Essonne à Guigneville-sur-Essonne et à Boulancourt sont les bassins les moins arrosés parmi ceux traités pour cette étude. Ils reçoivent respectivement une pluviométrie moyenne annuelle de 639 mm et 633 mm (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Cela correspond à une pluviométrie inférieure à la moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de trois stations météorologiques ont été utilisées pour la modélisation, deux pour leur chronique de pluie, une pour sa chronique d'évapotranspiration.

- Manchecourt (type 4, station créée en décembre 1971), station située dans le bassin versant, 6 km à l'Ouest de la station hydrométrique de l'Essonne à Boulancourt. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne légèrement supérieure à celle du bassin versant.
- Ormoy-la-Riv (type 4, station créée en janvier 1964). Cette station est localisée en dehors du bassin versant, à 14 km au Sud-Ouest de la station hydrométrique de l'Essone à Guigneville-sur-Essone. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne légèrement supérieure à celle du bassin versant.
- Melun (station située à Montereau-sur-le-Jard, de type 0, créée en 1947) qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman, se trouve en dehors du bassin versant, à 30 km au Nord-Est de la station hydrométrique de l'Essone à Guigneville-sur-Essonne.

La recherche des pluies optimales sur les bassins versants de l'Essone à Guigneville et à Boulancourt ont été effectuées à partir des deux chroniques de pluie ci-dessus. Les formules obtenues sont les suivantes :

- Op_Guign = 52%.MANCHECOURT + 48%.ORMOY
- Op_Boul = 67%.MANCHECOURT + 33%.ORMOY

3.5.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

La carte géologique au 1/250 000 correspondant au bassin de l'Essonne est représentée en Illustration 68. Le bassin versant de l'Essonne couvre 7 cartes géologiques au 1/50 000 : Malesherbes (293), Fontainebleau (294), Neuville-aux-Bois (327), Pithiviers (328), Château-Landon (329), Orléans (363) et Bellegarde-du-Loiret (264). Les principales formations géologiques rencontrées à l'affleurement dans ce bassin (hors formations superficielles), des plus récentes au plus anciennes, sont :

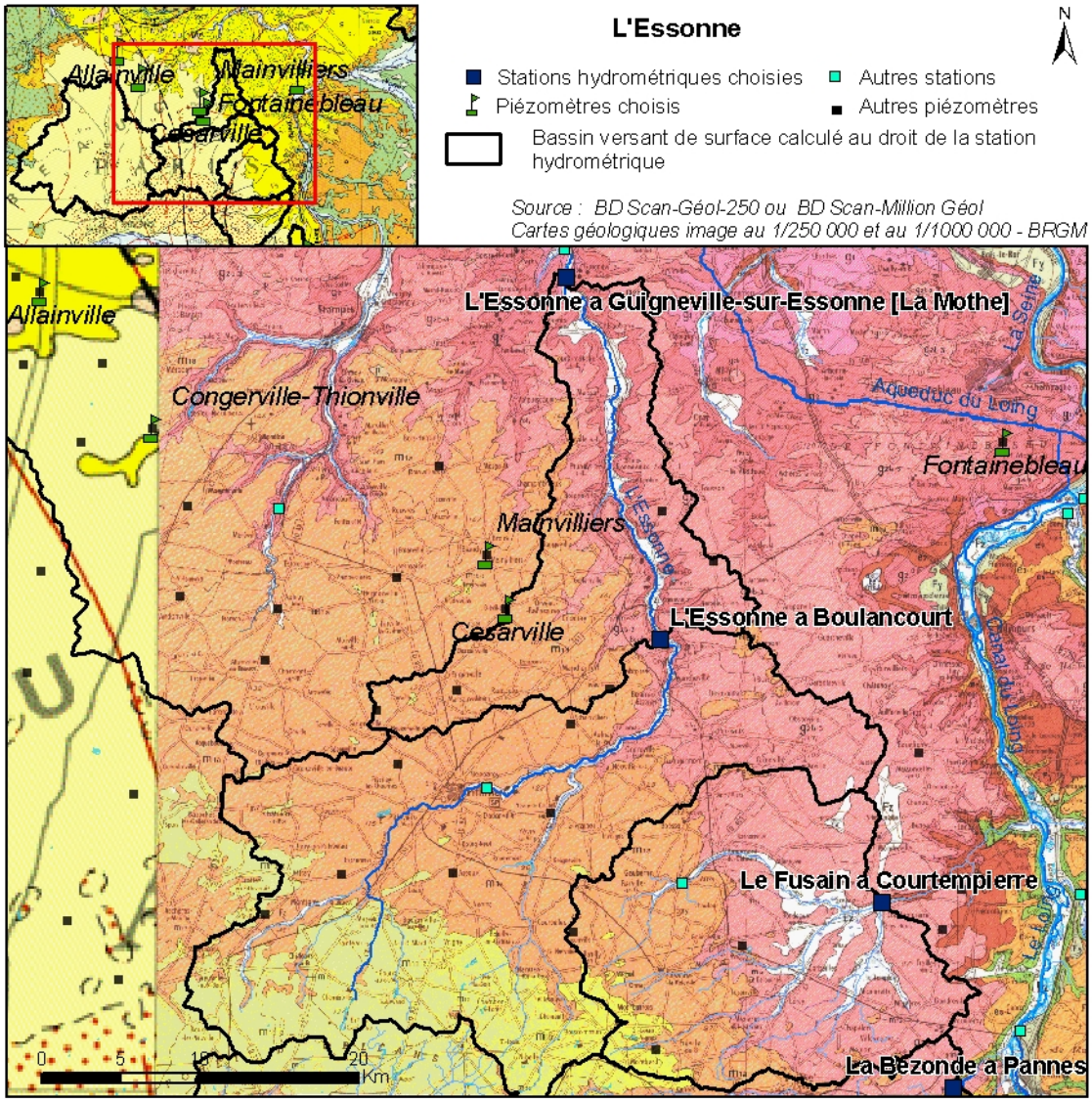


Illustration 68 : Carte géologique du bassin versant de l'Essonne

- Miocène :
  - · Calcaire de Pithiviers (Aquitanien),
  - · Molasse du Gatinais (Aquitanien) ;
- Oligocène :
  - · Calcaires d'Étampes (Stampien),
  - · Sables de Fontainebleau (Stampien),
  - · Molasse d'Etrechy (Stampien),
  - · Calcaire de Brie (Sannoisien),
  - · Marnes vertes (Sannoisien) ;

- Éocène :
  - · Marnes supragypseuses (Ludien),
  - · Calcaire de Champigny (Ludien),
  - · Calcaire de Saint-Ouen (Marinésien),
  - · Sables de Beauchamp (Auversien),
  - · Sables du Soissonais et argile plastique (Yprésien).

À l'échelle du 1/250 000, la carte géologique montre la présence du Calcaire d'Étampes (couleur rose) dans la partie Est et Nord-Ouest du bassin. On trouve le Calcaire de Beauce et Molasses du Gâtinais (orange) dans la partie Ouest et les Sables marnes de l'Orléanais (jaune) à la limite Sud du bassin. Au fond des vallées, on rencontre la formation des Sables de Fontainebleau.

Ce bassin fait partie du système aquifère multicouche du Calcaire de Beauce constitué du Calcaire par le Calcaire de Beauce, les Sables de Fontainebleau et le Calcaire de Brie.

La réalisation de la modélisation a été faite avec le piézomètre de Mainvilliers (indice national : *02936X2005/PFAEP*) qui capte le Calcaire de Beauce (aquifère multicouche du Calcaire de Beauce et des Sables de Fontainebleau). Ce piézomètre est situé en dehors du bassin versant.

b) Piézométrie

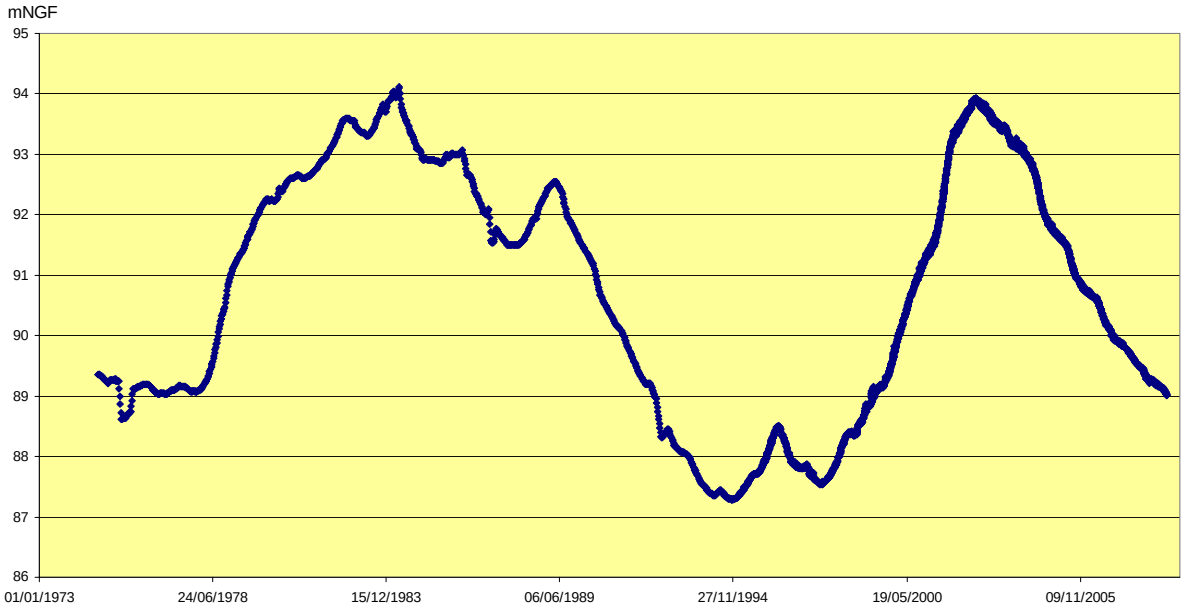


Illustration 69 : Chronique piézométrique de Mainvilliers (indice national : 02936X2005/PFAEP)

La chronique du piézomètre de Mainvilliers (Calcaires de Beauce) représentée sur l'Illustration 69, a débuté le 01/08/1967 avec un enregistrement hebdomadaire jusqu'en 1994 et quotidien depuis et se poursuit actuellement.

Cette chronique comporte une importante interruption de juin 1969 à octobre 1974.

La chronique présente des fluctuations interannuelles. Ce piézomètre a été influencé jusqu'en 1987 et stabilisé depuis, sauf entre 1994 et 1997 (années déficitaires) où il a subi l'influence des prélèvements agricoles.

3.5.4. Hydrologie

L'Essonne s'écoule selon un axe S-N. Son débit est connu au travers de trois stations hydrométriques. Nous présenterons les données de deux stations de Guigneville-sur-Essonne (code HYDRO : H4022020) et de Boulancourt (code HYDRO : H4022030).

La chronique de débit journalier de l'Essonne à Guigneville a débuté le 01/04/1974.

Celle de l'Essonne à Boulancourt (à l'amont) a débuté à la même date et est interrompue sur la période : du 28/05/1992 au 07/11/1992

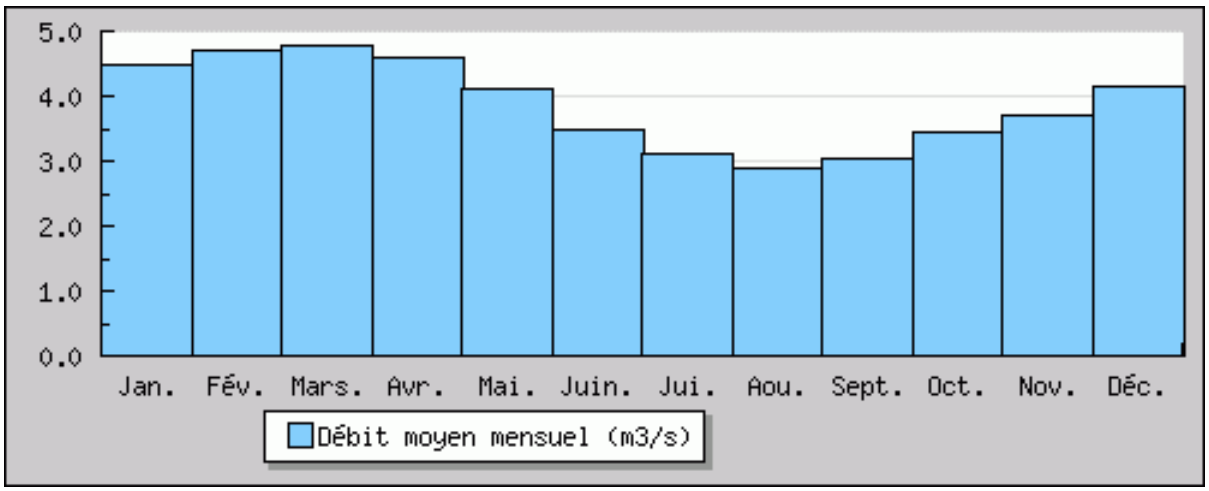


Illustration 70 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de l'Essonne à Guigneville (source : Banque HYDRO)

Les basses eaux sont rencontrées en août-septembre et les hautes eaux en février-mars. Les lames d'eau moyennes annuelles sont respectivement de 139 mm, pour l'Essonne à Guigneville/Essone et de 70 mm pour l'Essone à Boulancourt, ce qui correspond à une valeur inférieure à la moyenne pour le bassin Seine-Normandie. Le débit journalier maximal connu est de 17,8 m^3/s pour l'Essone à Guigneville-sur-Essonne et de 11,9 pour l'Essone à Boulancourt et le minimum est de 1,45 m^3/s à l'Essonne à Guigneville-sur-Essonne et de 0,004 m^3/s pour l'Essonne à Boulancourt. L'Illustration 70 et l'Illustration 71 montrent le débit moyen mensuel (source : banque

HYDRO) et souligne le très important soutien du cours d'eau par la nappe en période d'étiage pour l'Essone à Guigneville-sur-Essonne.

Le QMNA5 est de 2 m^3/s pour le bassin versant de l'Essonne à Guigneville-sur-Essonne, dont la surface est de 875 km^2.

Le QMNA5 est de 0,1 m^3/s pour le bassin versant de l'Essonne à Boulancourt, dont la surface est de 609 km^2.

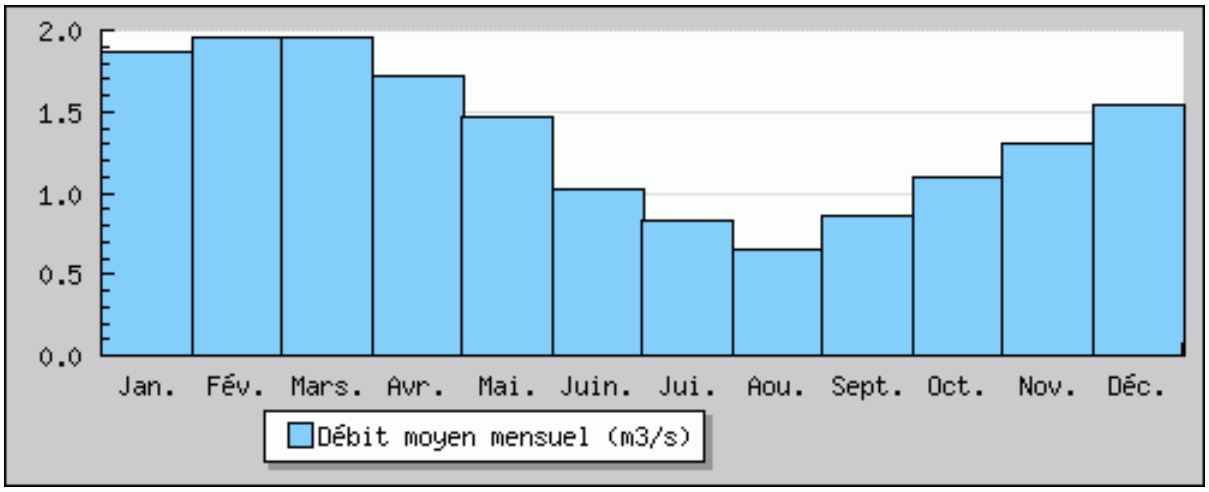


Illustration 71 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de l'Essonne à Boulancourt (source : Banque HYDRO)

3.5.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation de l'Essonne à Guigneville a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- Pluie : pluie optimale (Op_Guign=52%*Manchecourt+48%*Ormoy) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Melun ;
- Piézomètre : piézomètre de Mainvilliers.

Pour la modélisation du piézomètre, les mêmes données météorologiques ont été utilisées.

La modélisation du piézomètre de Mainvilliers a été réalisée sur la période 20/06/1991 – 14/10/2007 (Illustration 72). Une composante lente de 4300 jours a été intégrée pour réaliser cette modélisation, ce qui correspond à un système très fortement inertiel. La modélisation obtenue est satisfaisante avec un coefficient de Nash de 0,94.

Une première modélisation a été réalisée pour les deux débits de l'Essonne à Guigneville et à Boulancourt, les résultats obtenus ne sont pas satisfaisants et même médiocres pour la station de Boulancourt.

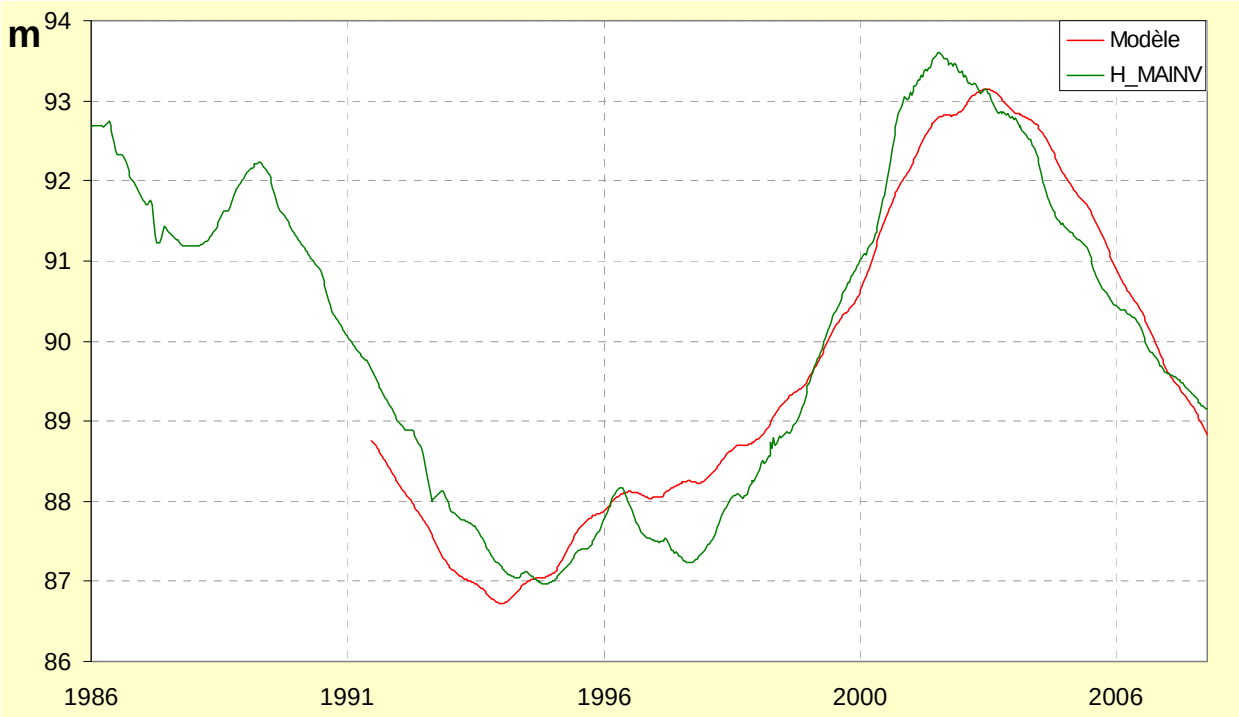


Illustration 72 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Mainvilliers

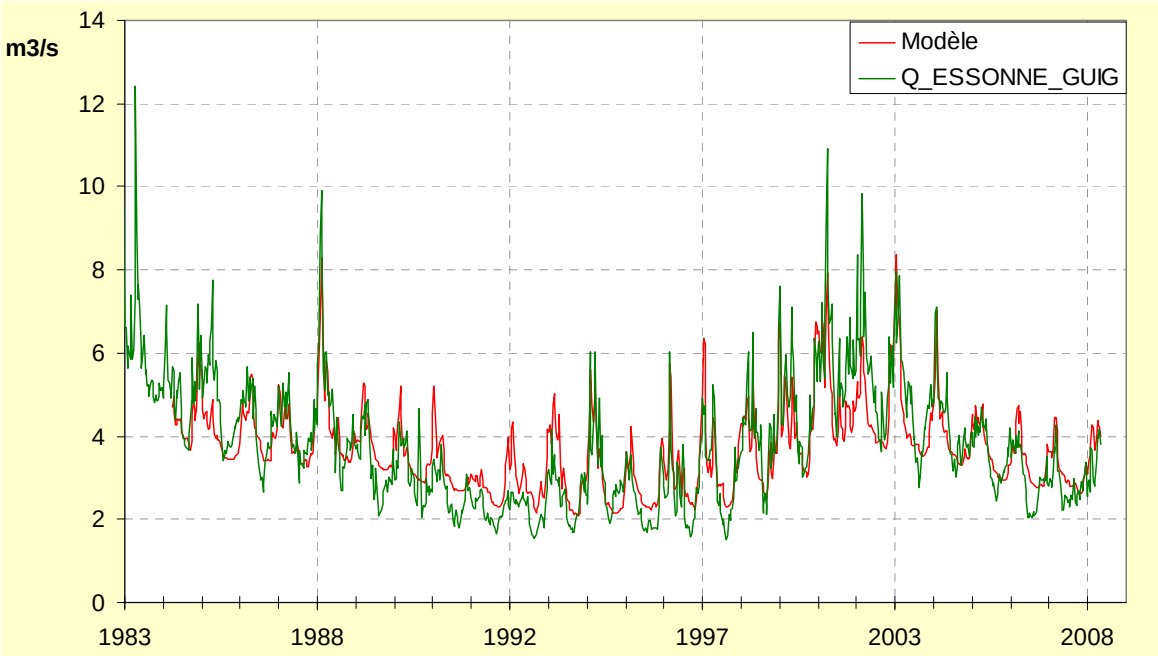


Illustration 73 : Modélisation du débit de l'Essonne à la station de Guigneville ***sans les prélèvements***

Les prélèvements ont alors été intégrés dans les calculs des modélisations.

La modélisation du débit de l'Essonne à Guigneville a été réalisée sur la période 04/02/1996 – 11/05/2008 en intégrant les prélèvements agricoles (Illustration 74). Ces prélèvements ont été intégrés sous la forme de prélèvements journaliers ; ils sont connus annuellement et ont été ramenés à un pas quotidien.

Une répartition de la valeur annuelle sur la période allant du 10 mai au 10 août, a été faite par une pondération basée sur le déficit pluviométrique par rapport aux besoins moyens estimés des plantes (2 mm par jour). La modélisation a été améliorée comparée à celle réalisée sans intégration des prélèvements, en particulier en période d'étiage. Le coefficient de Nash est de 0,78.

L'Illustration 76 présente la décomposition des débits moyens mensuels modélisés. Elle confirme le fort soutien du débit par la nappe tout au long de l'année et l'existence d'un ruissellement peu important.

La modélisation de l'Essonne à Boulancourt a été effectuée au pas décadaire en utilisant les signaux suivants :

- Pluie : pluie optimale (Op_Boul=67%*Manchecourt+33%*Ormoy) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Melun ;
- Piézomètre : piézomètre de Mainvilliers.

Pour la modélisation du piézomètre, les mêmes données météorologiques ont été utilisées.

La modélisation du débit de l'Essonne à Boulancourt a été réalisée sur la période 30/11/1996 – 01/05/2008 en intégrant les prélèvements (Illustration 77).

La modélisation est meilleure que celle obtenue sans intégration des prélèvements. Le coefficient de Nash est de 0,66.

Toutefois, l'Essonne à Boulancourt est très fortement influencée par les pompages (cf. sur l'illustration suivante la chute brutale du débit journalier en juin dû au démarrage des pompages proches de l'Essonne). Cette influence est très compliquée à modéliser avec un modèle global et une connaissance très partielle des prélèvements. **Les résultats de volumes exploitables pour l'Essone à Boulancourt sont à prendre avec une extrême précaution.**

L'Illustration 79 – qui présente la décomposition des débits moyens mensuels modélisés – confirme le fort soutien du débit par la nappe tout au long de l'année.

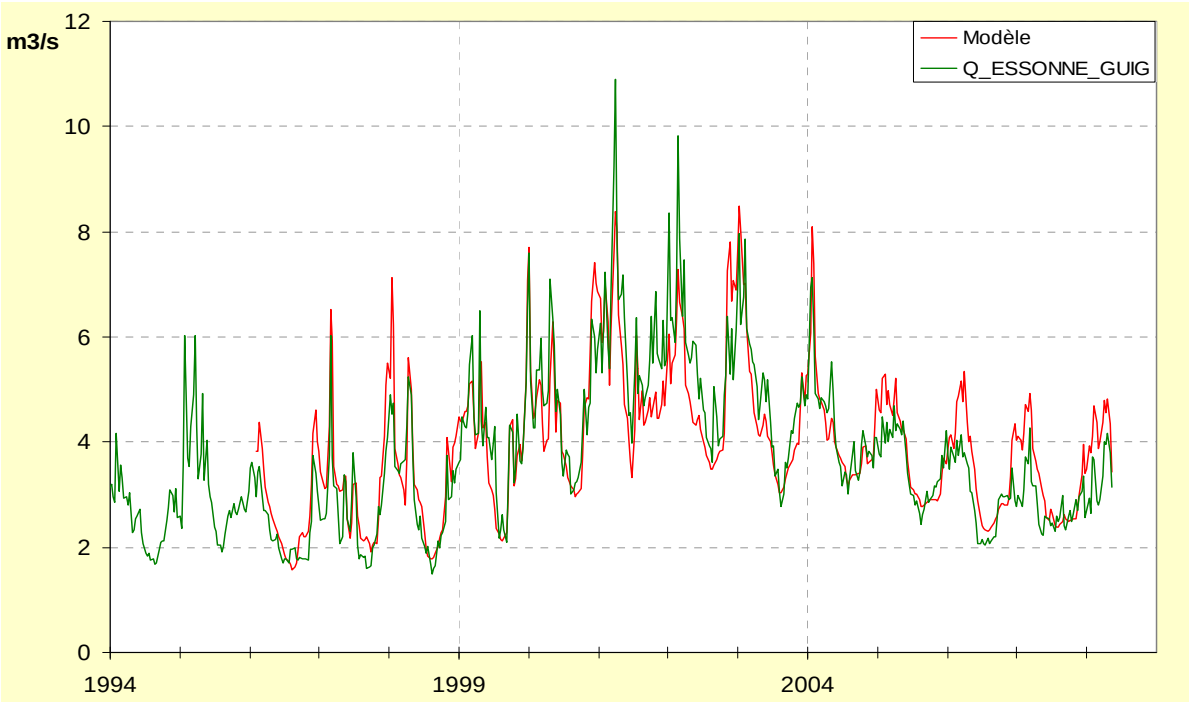


Illustration 74 : Modélisation du débit de l'Essonne à la station de Guigneville
avec intégration de prélèvements

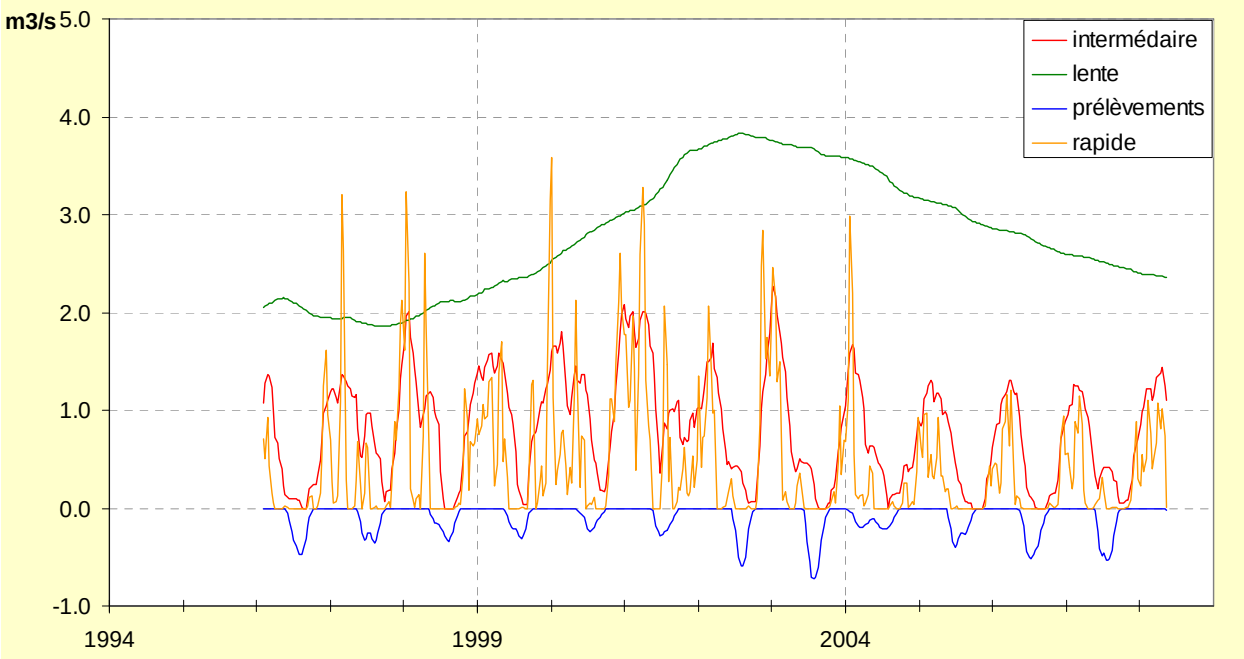


Illustration 75 : Composantes du débit de l'Essonne modélisé
à la station de Guigneville-sur-Essonne

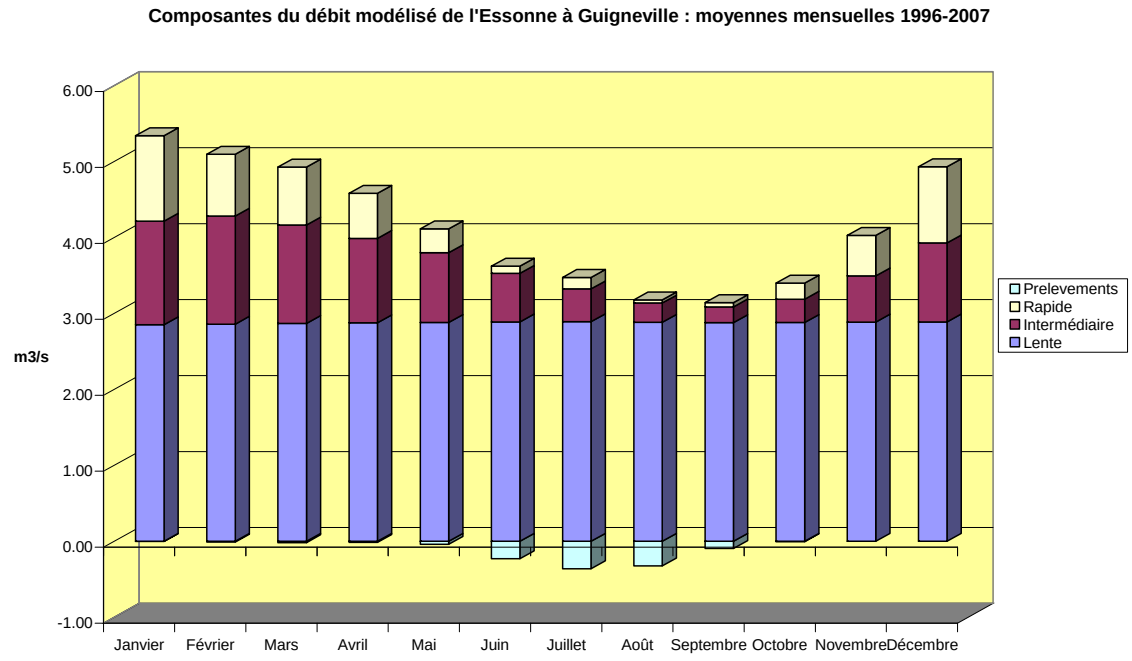


Illustration 76 : Composantes du débit mouen mensuel de l'Essonne modélisé à la station de Guigneville-sur-Essonne

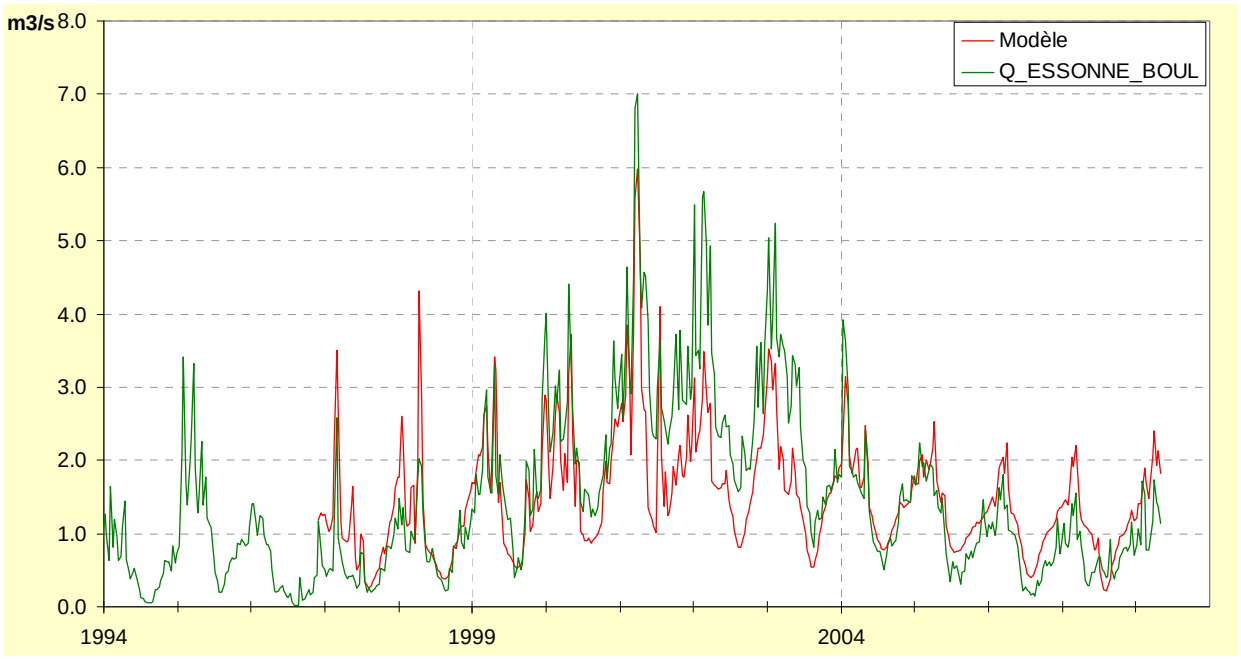


Illustration 77 : Modélisation du débit de l'Essonne à la station de Boulancourt ***après integration des prélèvements.***

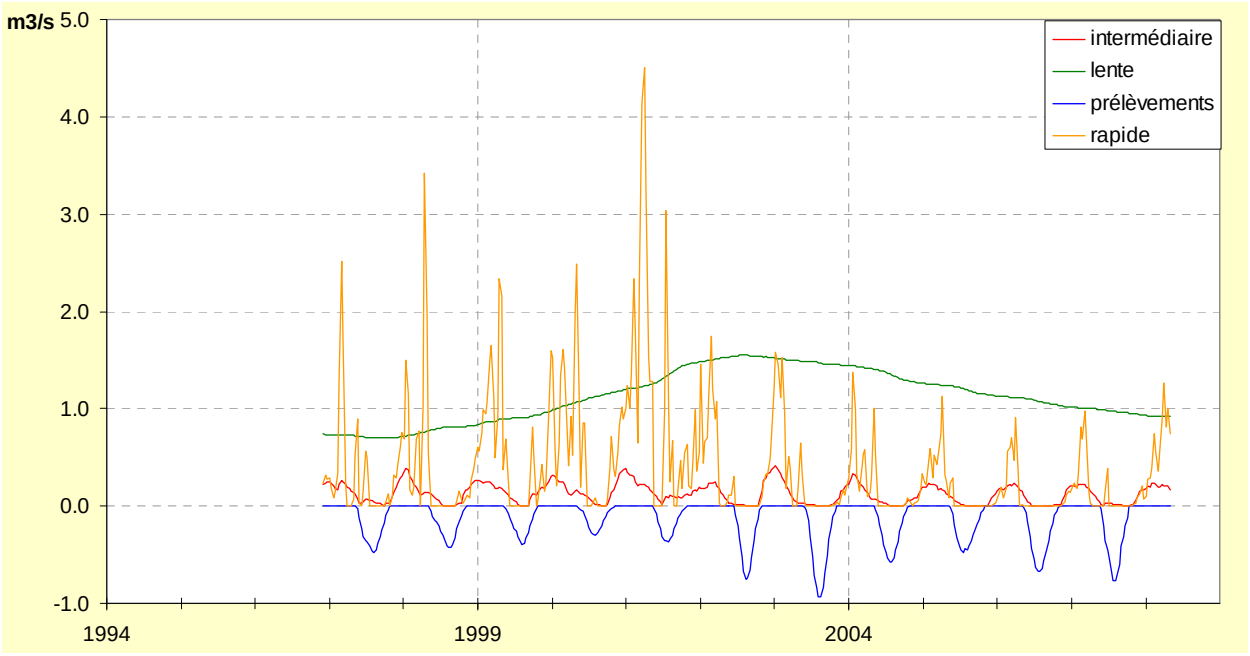


Illustration 78 : Composantes du débit de l'Essonne modélisé à la station de Boulancourt

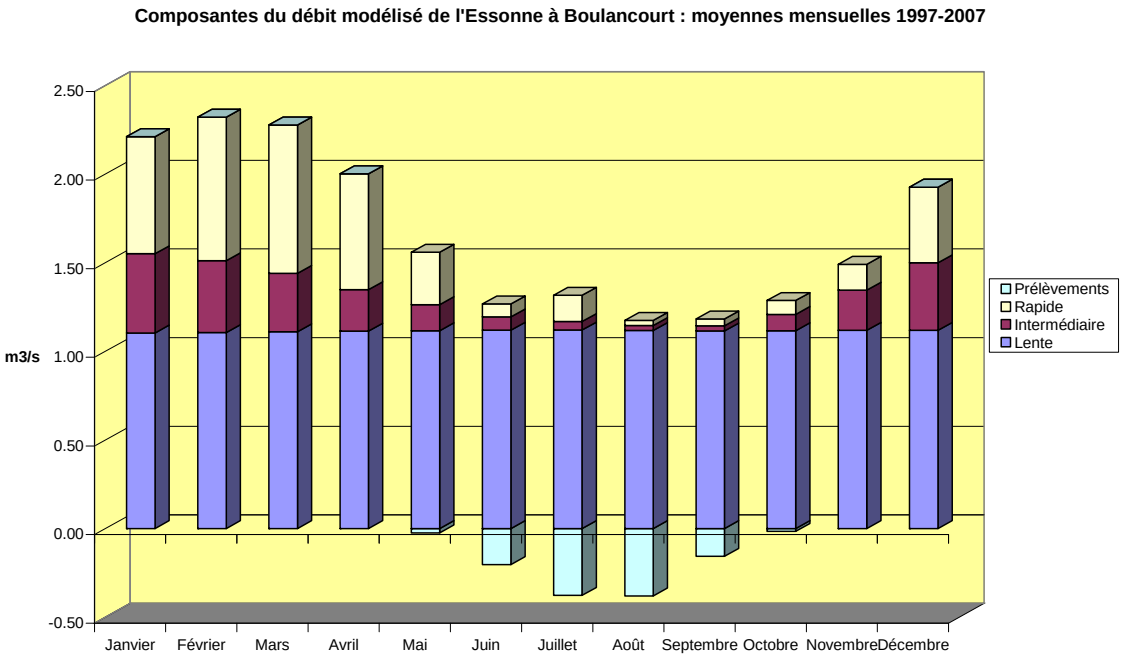


Illustration 79 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Essonne modélisé à la station de Boulancourt

3.6. BASSIN VERSANT DE LA MAULDRE ET SOUS-BASSIN DE LA GUYONNE

3.6.1. Caractéristiques du bassin versant

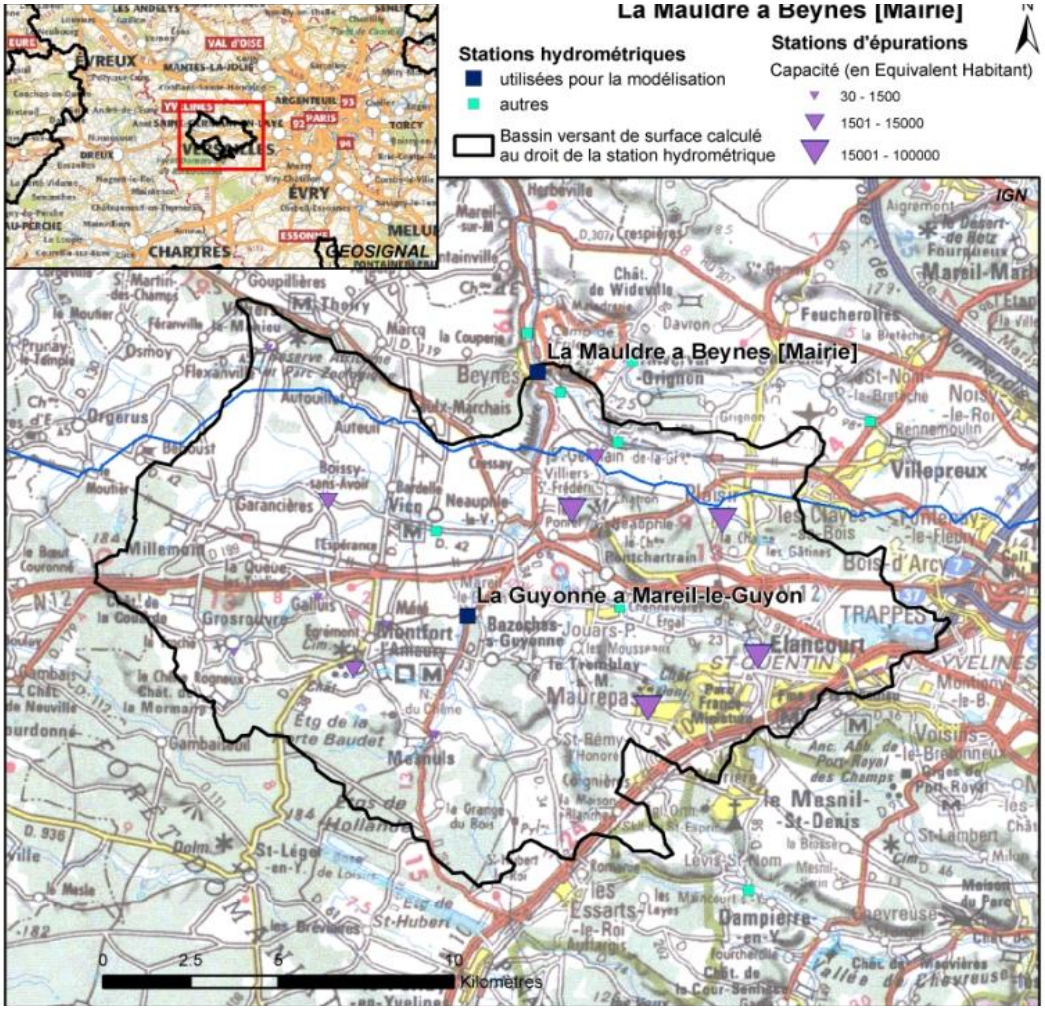


Illustration 80 : Localisation du bassin versant de la Mauldre et du sous-bassin de la Guyonne (sources : GEOSIGNAL et IGN)

La Mauldre prend sa source près du hameau de Maison Blanche à la limite des communes de Saint-Rémy-l'Honoré et de Coignières. La Guyonne qui prend sa source sur le territoire de Saint-Léger-en-Yvelines, dans le département des Yvelines rejoint la Mauldre en rive gauche, à Neauphle-le-Vieux. Le bassin versant de la Mauldre occupe une superficie de 216 km² et le bassin versant de la Guyonne une superficie de 34,1 km² (source : banque HYDRO).

On note la présence de nombreuses stations d'épuration malgré la taille réduite du bassin versant. L'influence des rejets de STEP sur la chronique de débit a été étudiée, à l'aide de

la fonction QVTAR du logiciel Hydro II5. Cette fonction permet d'analyser la variation des débits de jour par rapport à ceux de la nuit. Sur le bassin versant de la Mauldre à Beynes, des variations de 300 l/s ont été mises en évidence.

Ces rejets de STEP n'ont pas été intégrés aux modélisations globales faites par Tempo, au pas de temps décadaires. Pour ce faire, il faudrait connaître précisément les fluctuations saisonnières et interannuelles de ces rejets pour ces dix dernières années.

a) Altitudes

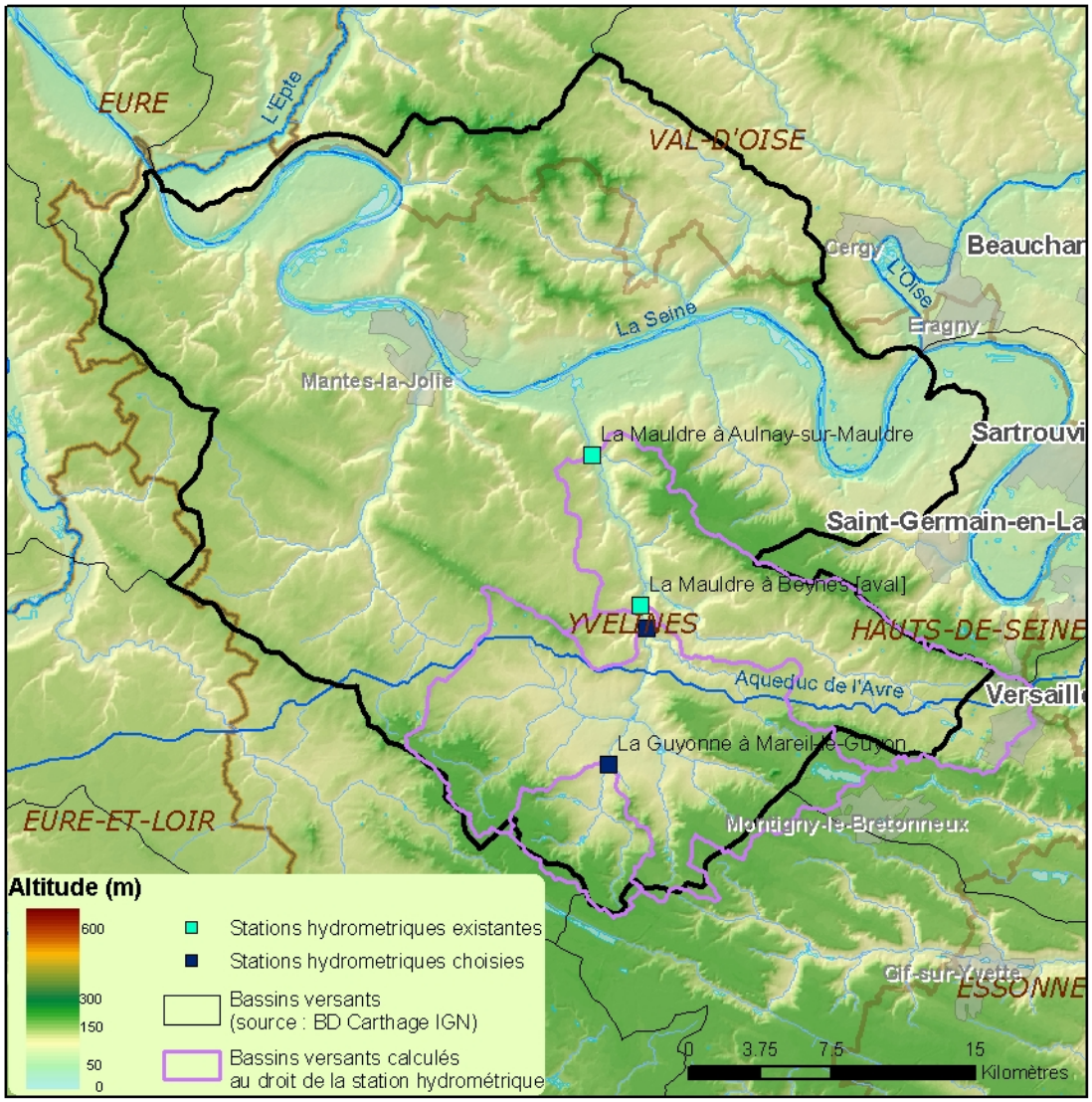


Illustration 81 : Carte des altitudes (d'après le MNT au pas de 50 m)

[5] Note, BRGM / DIREN IDF Y. Noël, 2007 : Identification de transfert potentiel d'eau des grands axes vers les petits bassins en IDF

L'altitude du bassin versant de la Mauldre varie entre 231 et 48 m NGF avec une altitude moyenne de 129,3 m. Les terrains les plus élevés sont rencontrés autour de la limite inférieure du bassin.

Trois stations contrôlent les écoulements à l'intérieur de ce bassin, deux pour la Mauldre et une pour la Guyonne.

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant de la Mauldre est 4% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), avec une pente maximale de 42%. Les pentes supérieures à 5% occupent près de 24% du bassin versant.

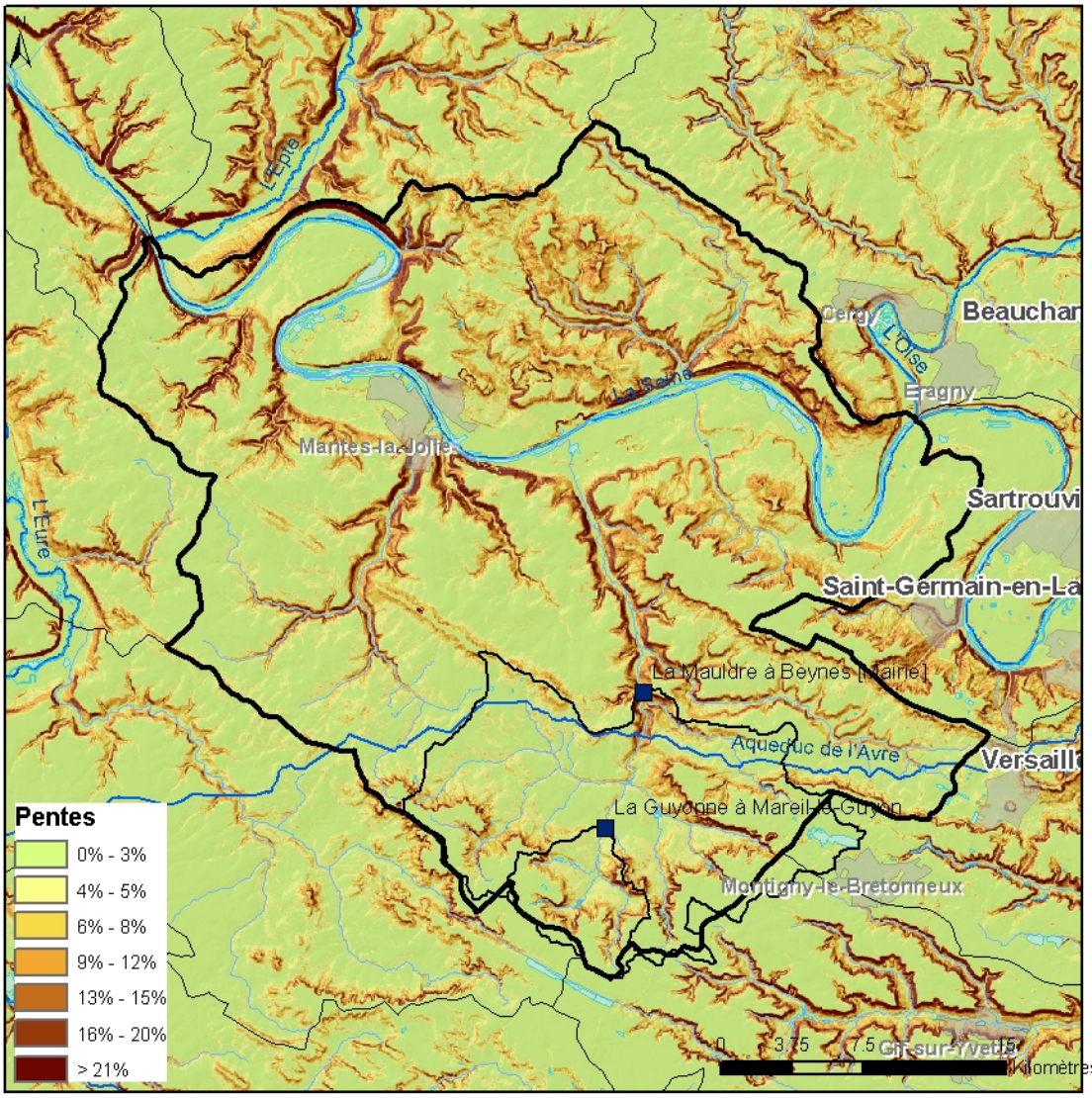


Illustration 82 : Carte des pentes (calculée d'après le MNT au pas de 50 m)

c) Anthropisation

La consultation des données de Corinne Land Cover nous donne l'occupation du sol suivante :

- à 30% par des prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbacée ;
- à 44% par des zones agricoles hétérogènes ;
- à 1% par des zones naturelles ;
- à 25% par des zones urbanisées industrialisées.

L'urbanisation est importante sur ce bassin versant.

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 8. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, ils sont principalement prélevés en eaux superficielles. Ramenés à la surface du bassin versant (216 km²), ils correspondent à une lame d'eau variant inférieure à 1 mm.

Année	Prel_Irrigation
1995	77990
1996	101299
1997	44676
1998	45885
1999	54488
2000	39965
2001	37026
2002	49875
2003	131795
2004	87791
2005	114943
2006	92198

Tableau 8 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Mauldre

Les prélèvements pour l'eau potable sont très élevés et proviennent principalement des eaux souterraines, ils s'élèvent à environ 8,3 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 38,4 mm. Les prélèvements pour l'industrie ont été estimés à 178 000 m^3, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 0,8 mm.

3.6.2. Climatologie

Les bassins versants de la Mauldre et de la Guyonne reçoivent respectivement une pluviométrie moyenne annuelle de 674 mm et 685 mm (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance).

Les données de pluie proviennent des stations météorologiques suivantes (données de la Climathèque) : Trappes, Maule et Septeuil. Les données d'ETP proviennent de la

station de Trappes. Les données ont été acquises au pas de temps décadaire du 01/11/1982 au 31/07/2008

- Trappes (type 0, station créée en janvier 1904). Cette station est située à la limite du bassin versant, à 30 km à l'Ouest de la station hydrométrique de la Guyonne à Mareil-le-Guyon. Elle reçoit une pluviométrie annuelle en moyenne légèrement supérieure à celle du bassin versant.
- Maule (type 4, station créée en novembre 1938), elle est localisée en dehors du bassin versant, à 7 km au Nord de la station hydrométrique de la Mauldre à Beynes. Cette station reçoit une pluviométrie annuelle moyenne équivalente à celle du bassin versant.
- Septeuil (type 4, station créée en octobre 1964), station située en dehors du bassin versant, à 15 km au Nord-Ouest de la station hydrométrique de la Mauldre à Beynes. Elle reçoit une pluviométrie annuelle en moyenne semblable à celle du bassin versant.

Trappes (station située à Trappes, de type 0, créée en 1904) qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman.

La recherche des pluies optimales sur le bassin versant de la Mauldre de la Guyonne ont été effectuées à partir des trois chroniques de pluie ci-dessus. Les formules obtenues son les suivantes :

- O_Mauldre = 0.47 Trappes + 0.29 Septeuil + 0.23Maule
- O_Guyonne = 0.56 Trappes + 0.44 Maule

3.6.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

La carte géologique au 1/250 000 correspondant au bassin de la Mauldre et du sous bassin de la Guyonne est représentée en Illustration 83. Le bassin de la Mauldre couvre 4 cartes géologiques au 1/50 000 : Houdan (181), Versailles (182), Nogent-le-Roi (217) et Rambouillet (218). Ce bassin est inscrit entièrement dans des formations tertiaires éocènes et oligocènes. Les formations géologiques rencontrées à l'affleurement dans ce bassin, des plus récentes au plus anciennes, sont :

- Oligocène :
  - · Sables de Lozère (Burdigalien),
  - · Meulière de Montmorency (Aquitanien à Stampien),
  - · Sables de Fontainebleau (Stampien),
  - · Calcaires de Brie (Sannoisien supérieur),
  - · Argiles et marnes vertes (Sannoisien inférieur) ;
- Éocène :
  - · Marnes supragypseuses (Ludien),

· Calcaire de Champigny (Ludien),
· Calcaire de Saint-Ouen (Marinésien),
· Sables de Beauchamp (Auversien).

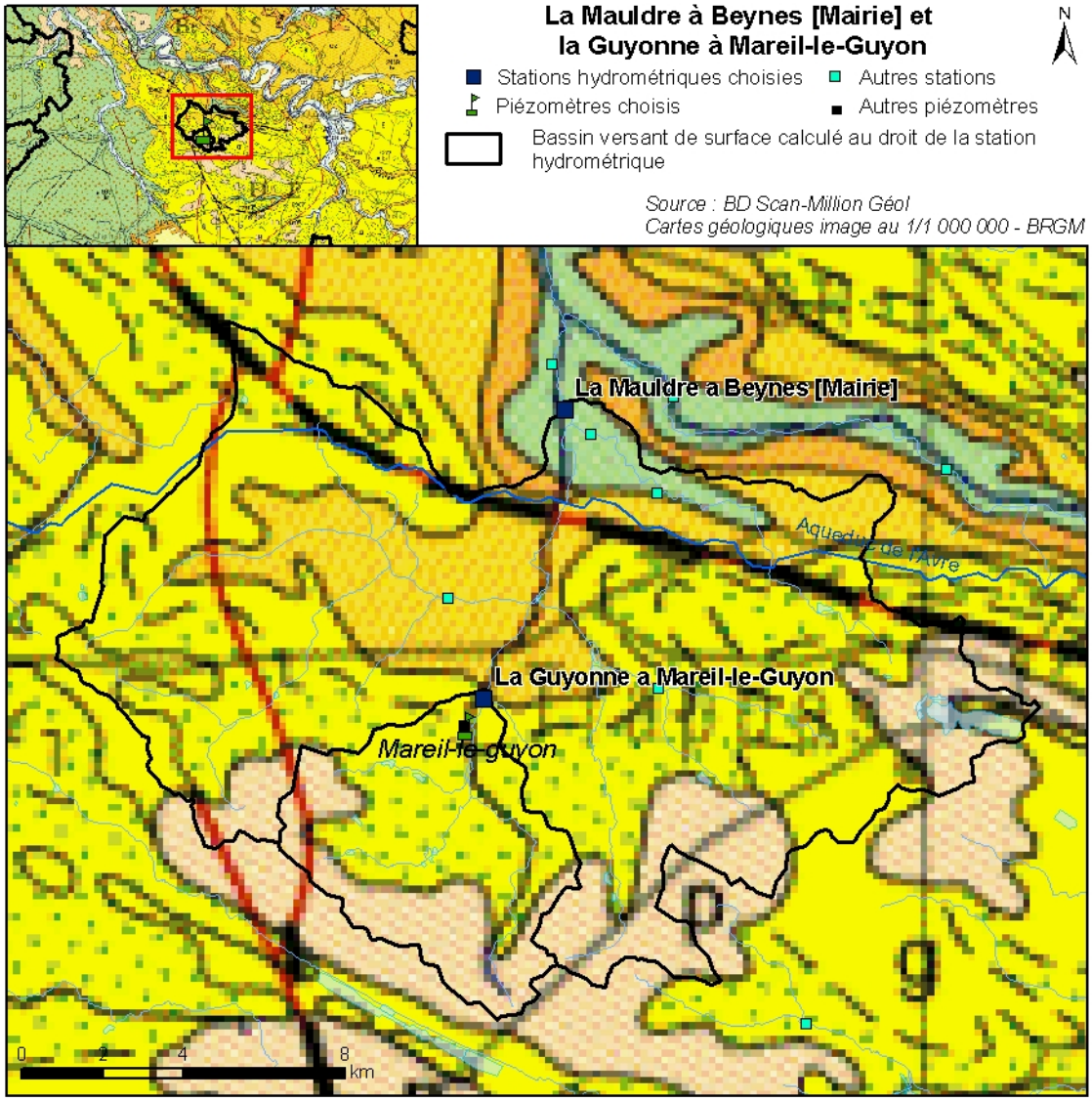


Illustration 83 : Carte géologique du bassin versant de la Mauldre

On note la présence de la Craie au Nord.

Les formations dominantes de ce bassin sont les Sables de Fontainebleau et le Calcaire grossier du Lutétien qui constituent les nappes principales de ce bassin.

Afin de réaliser la modélisation, le piézomètre Mareil-le-Guyon (indice national : 01825X0091/P1) a été choisi. Ce piézomètre capte les Calcaires du Lutétien et Sables de l'Yprésien.

b) Piézométrie

Le piézomètre de Mareil-le-Guyon (Calcaires du Lutétien et Sables de l'Yprésien) dont la chronique, représentée sur l'Illustration 84, a débuté le 10/10/1972 avec un enregistrement mensuel jusqu'en octobre 1989 et un enregistrement quotidien depuis qui se poursuit actuellement.

Cette chronique comporte 7 interruptions de plus de 60 jours dont une de plus de 100 jours : du 09/11/2005 au 22/03/2006.

La chronique présente des fluctuations saisonnières ainsi que des fluctuations interannuelles, d'une périodicité de 5 à 6 ans, et d'amplitude de 4 à 5 m.

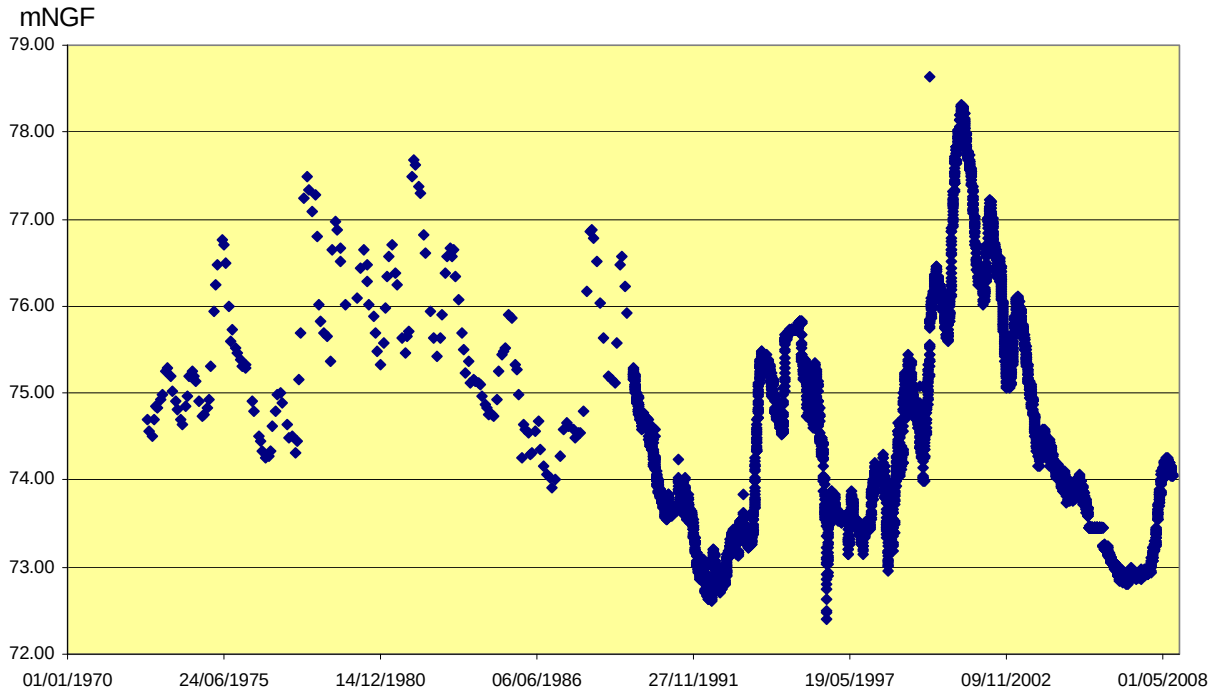


Illustration 84 : Chronique piézométrique de Mareil-le-Guyon (indice national : 01825X0091/P1)

3.6.4. Hydrologie

La Mauldre et son affluent, la Guyonne, s'écoulent selon un axe S–N. Leurs débits sont connus respectivement au travers des stations hydrométriques de la Mauldre à Beynes (code HYDRO : H7913020) et de la Guyonne à Mareil-le-Guyon (code HYDRO : H7913410). La chronique de débit journalier de la Mauldre qui a débuté le 21/08/1982 a connu deux interruptions :

- du 01/01/1987 au 15/10/1988 et du 14/09/1999 au 24/09/1999.

La chronique de débit journalier de la Guyonne qui a débuté le 21/08/1982 a connu d'importantes interruptions :

- du 09/12/1982 au 21/12/1982, du 18/11/1985 au 29/11/1985, du 22/06/1988 au 17/10/1988, du 28/06/1999 au 01/05/2002, du 15/11/2002 au 04/12/2002, du 11/04/2003 au 30/04/2004 et du 03/10/2005 au 31/07/2006.

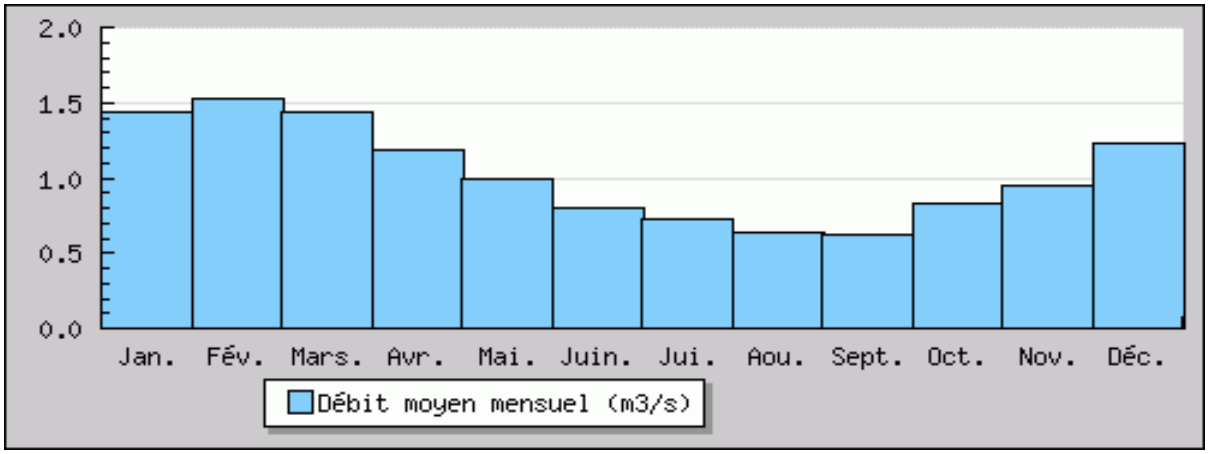


Illustration 85 : Débit moyen mensuel à la station hydopmétrique de la Mauldre à Beynes (source : Banque HYDRO)

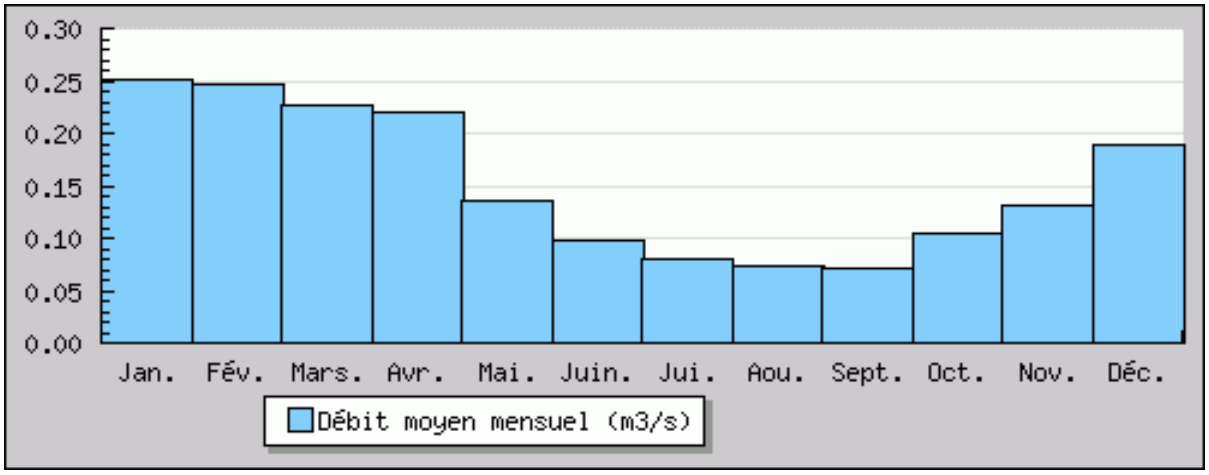


Illustration 86 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de la Guyonne à Mareil-le-Guyon (source : Banque HYDRO)

Les basses eaux sont rencontrées en aout-septembre et les hautes eaux en février. Les lames d'eau moyennes annuelles sont respectivement de 151 mm pour la Maudre et de 141 mm pour la Guyonne, ce qui correspond à une valeur très inférieure à la moyenne pour le bassin Seine-Normandie. Le débit journalier maximal connu est de 20,3 m^3/s pour la Maudre et de 3,21 m^3/s pour la Guyonne et le minimum est de 0,182 m^3/s pour la Mauldre et de 0,032 m^3/s pour la Guyonne. L'Illustration 85 et l'Illustration 86 montrent le débit moyen mensuel (source : banque HYDRO) et mettent en évidence un soutien du cours d'eau par la nappe en période d'étiage.

Le QMNA5 est de 0,44 m^3/s pour le bassin versant de la Mauldre à Beynes, dont la surface est de 216 km^2.

Le QMNA5 est de 0,052 m^3/s pour le bassin versant de la Guyonne à Mareil-le-Guyon, dont la surface est de 34 km^2.

3.6.5. Modélisation globale des écoulements

Les modélisations des débits de la Mauldre et de la Guyonne ont été effectuées au pas décadaire en utilisant les signaux suivants :

- Pluie : pluie optimale (Op_Mauldre=47%*Trappes+29%*Septeuil+23%*Maule) ;
- Pluie : pluie optimale (O_Guyonne = 56%* Trappes +44%* Maule) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Trappes ;
- Piézomètre : piézomètre de Mareil-le-Guyon.

Deux modélisations du piézomètre ont été réalisées en utilisant les mêmes données météorologiques : une modélisation pour le bassin versant de la Mauldre en utilisant la pluie optimale Op_Mauldre, et une deuxième modélisation pour le sous bassin de la Guyonne en utilisant la pluie optimale O_Guyonne.

La modélisation du piézomètre pour la Mauldre a été réalisée sur la période 01/11/1994 – 29/08/2008 (Illustration 87). Une composante lente de 1500 jours a été intégrée pour réaliser cette modélisation, ce qui correspond à un système fortement inertiel. La modélisation obtenue est satisfaisante avec un coefficient de Nash de 0,93.

La modélisation du débit de la Mauldre à Beynes a été réalisée sur la période 19/08/1989 – 20/06/2008 (Illustration 88). La modélisation restitue assez bien les débits d'étiage alors que les forts débits sont mal restitués, ce qui explique la faible valeur de 0,57 du coefficient de Nash. De plus, pour ce bassin, une étude plus approfondie **des fluctuations des rejets de stations d'épuration** permettrait d'affiner les modélisations. Les rejets (évalués à 300 l/s) contribuent dans une proportion non négligeable au débit de la Mauldre (10 – 20%). Les simulations sont faites avec Tempo en supposant des rejets constants.

La décomposition du signal (Illustration 89) montre que la contribution de la nappe est entièrement représentée par les variations piézométriques de Mareil-le-Guyon, ce qui prouve sa représentativité.

L'Illustration 90 présente la décomposition des débits moyens mensuels de la Mauldre modélisés à Beynes. Cette décomposition confirme le fort soutien du débit par la nappe tout au long de l'année.

Illustration 87 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Mareil-le-Guyon (BV Mauldre)

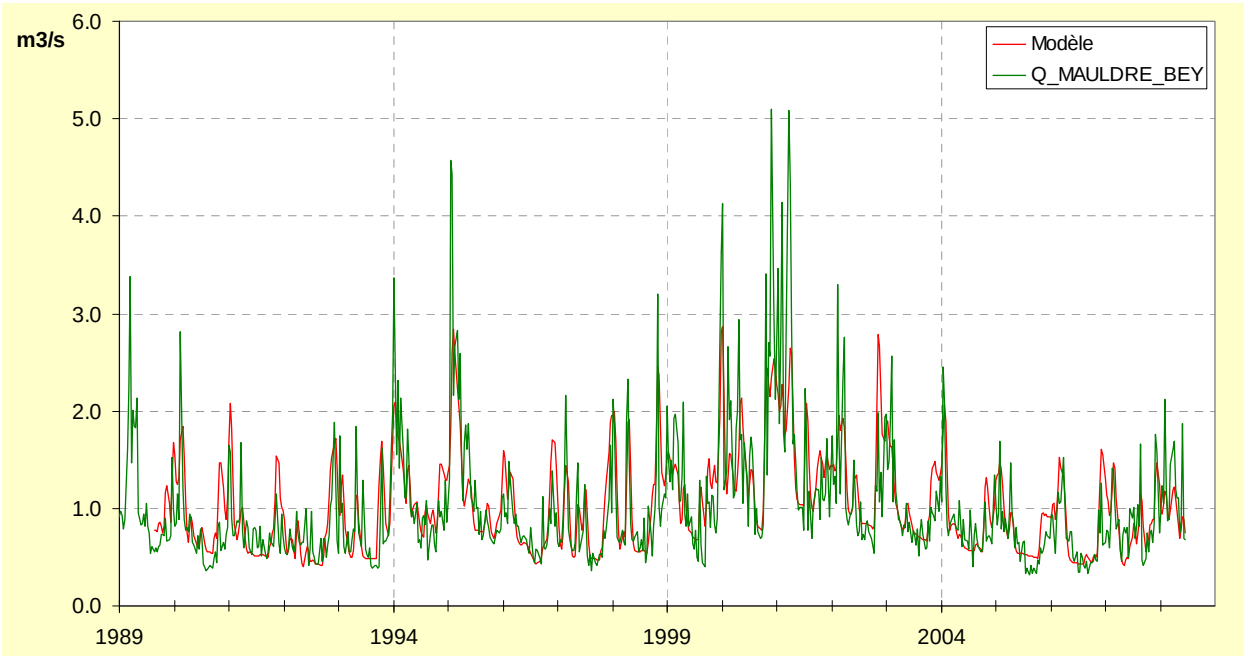


Illustration 88 : Modélisation du débit de la Mauldre à la station de Beynes

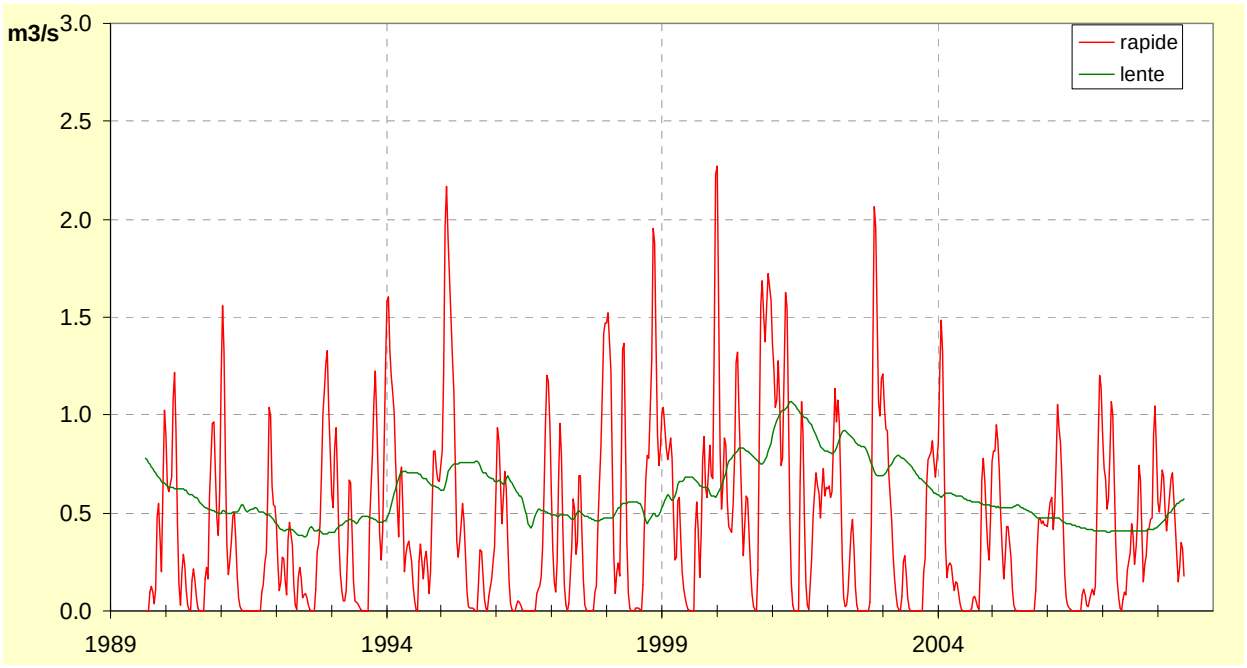


Illustration 89 : Composantes du débit de la Mauldre modélisé à la station de Beynes

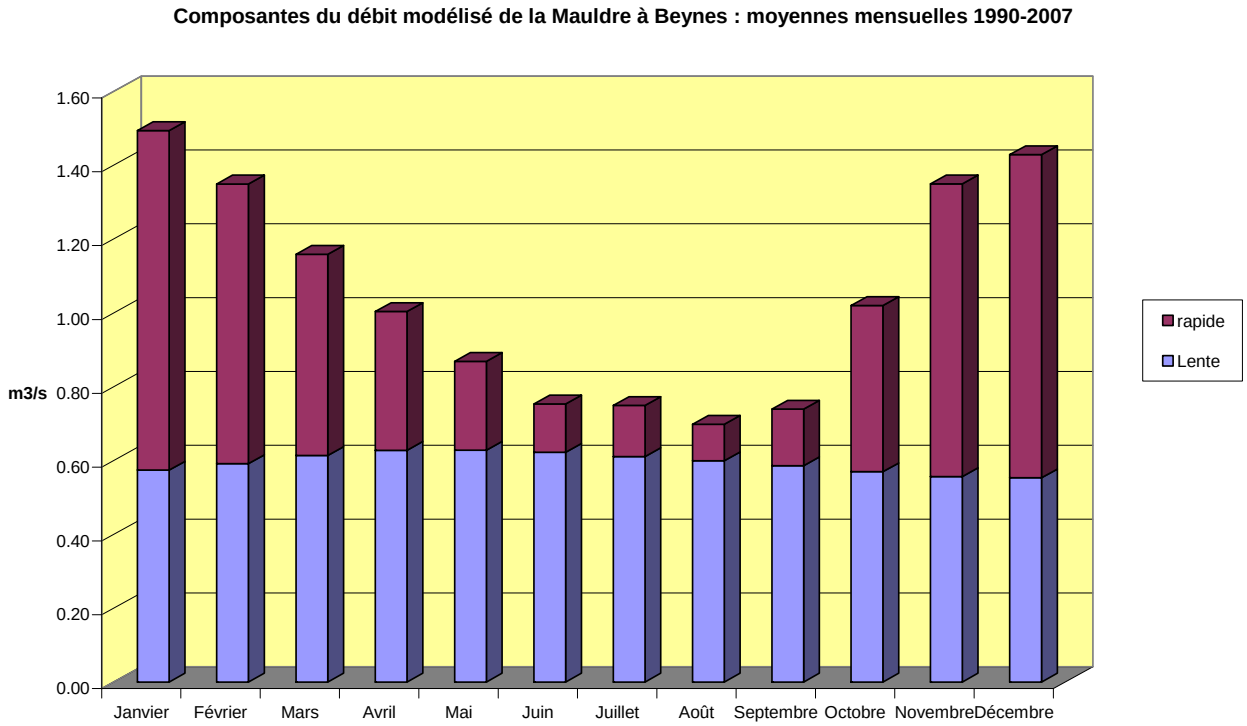


Illustration 90 : Composantes du débit moyen mensuel de la Mauldre modélisé à la station de Beynes

La modélisation du piézomètre pour la Guyonne a été réalisée sur la période 18/12/1987 – 19/10/2006 (Illustration 91). Une composante lente de 1197 jours a été intégrée pour réaliser cette modélisation, ce qui correspond à un système fortement inertiel. La modélisation obtenue est moyenne avec un coefficient de Nash de 0.74.

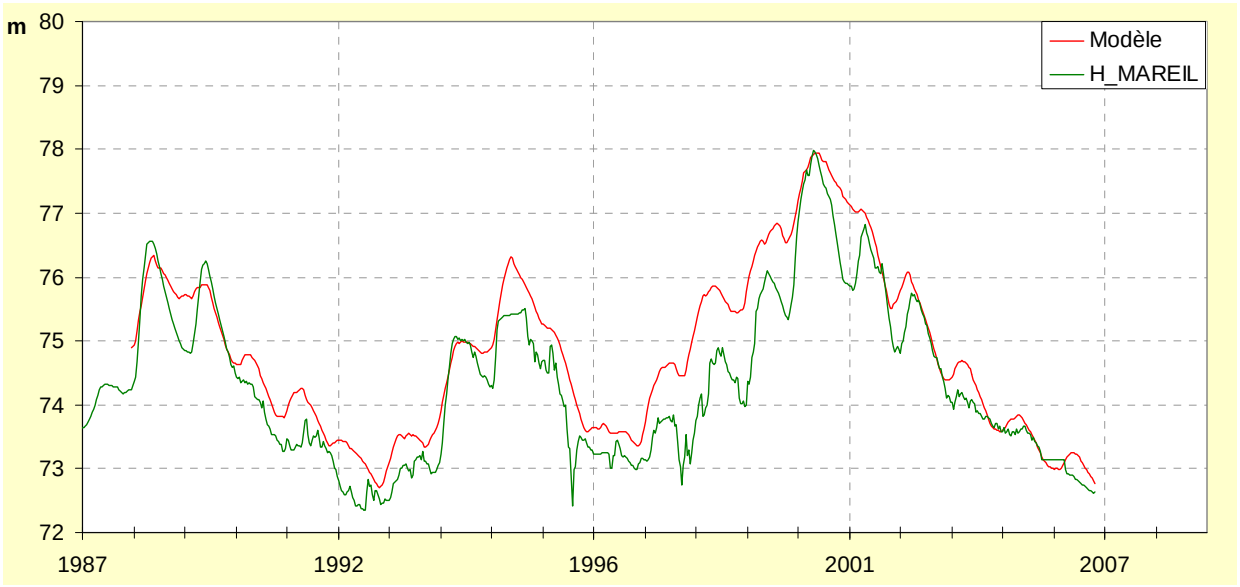


Illustration 91 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Mareil-le-Guyon (BV Guyonne)

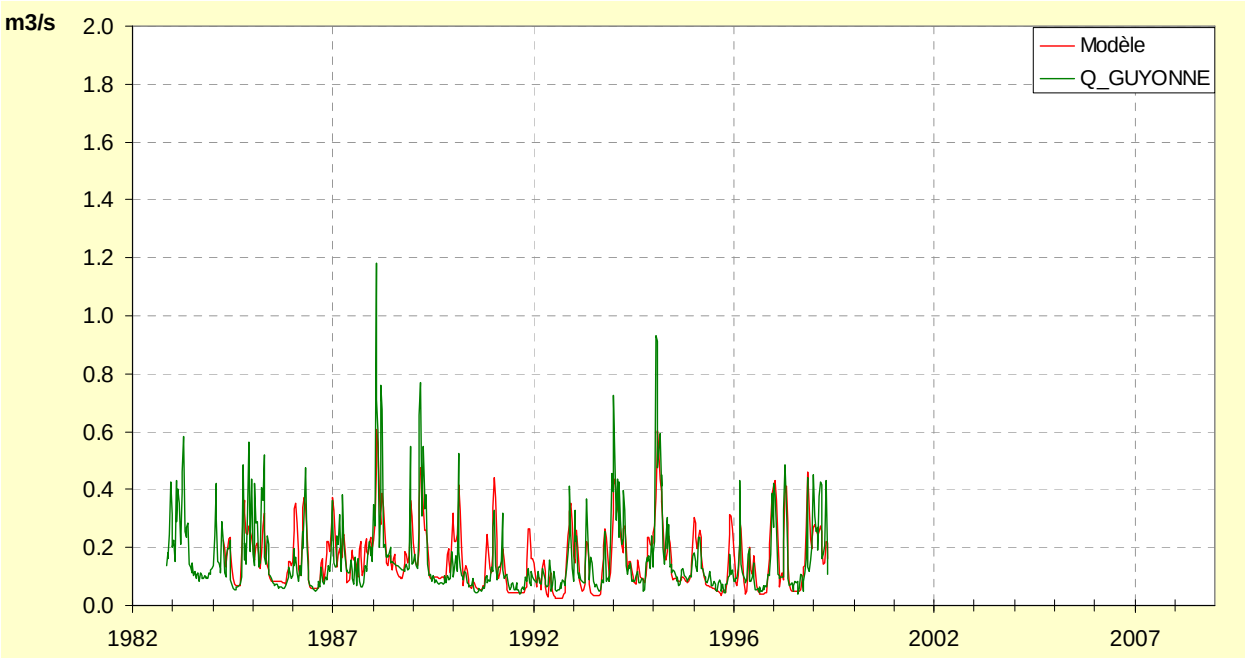


Illustration 92 : Modélisation du débit de la Guyonne à la station de Mareil-le-Guyon

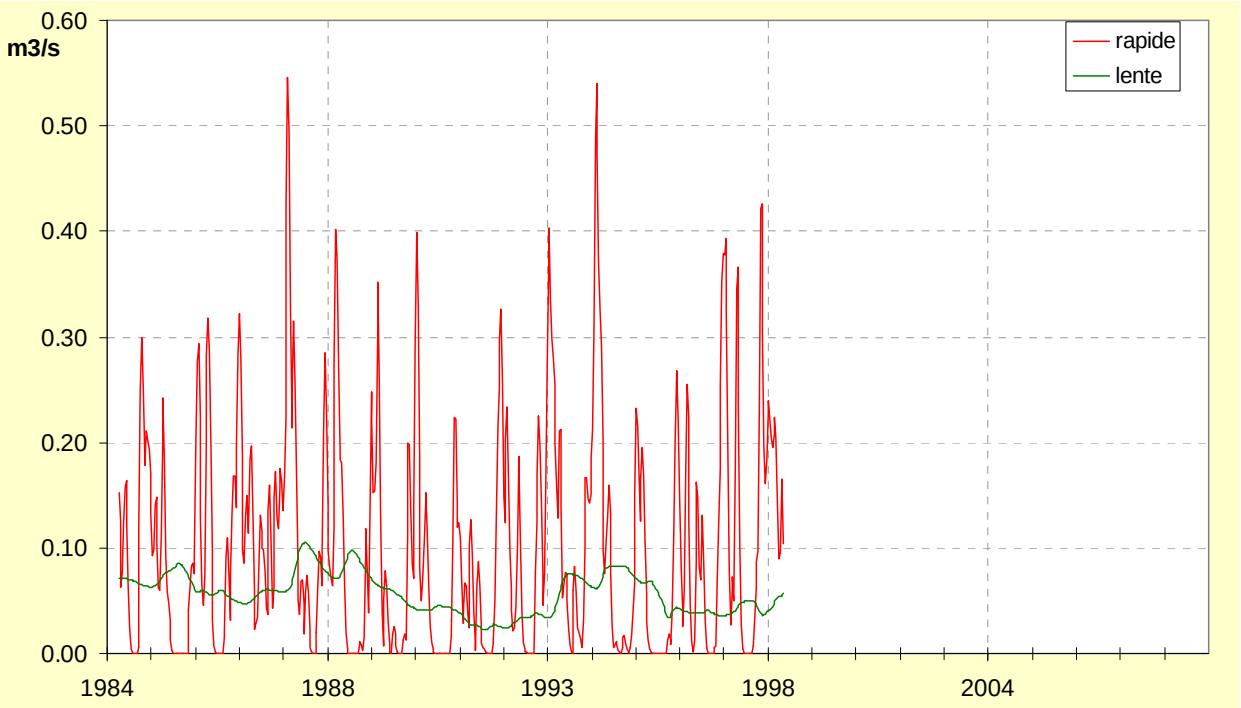


Illustration 93 : Composantes du débit de la Guyonne à la station de Mareil-le-Guyon

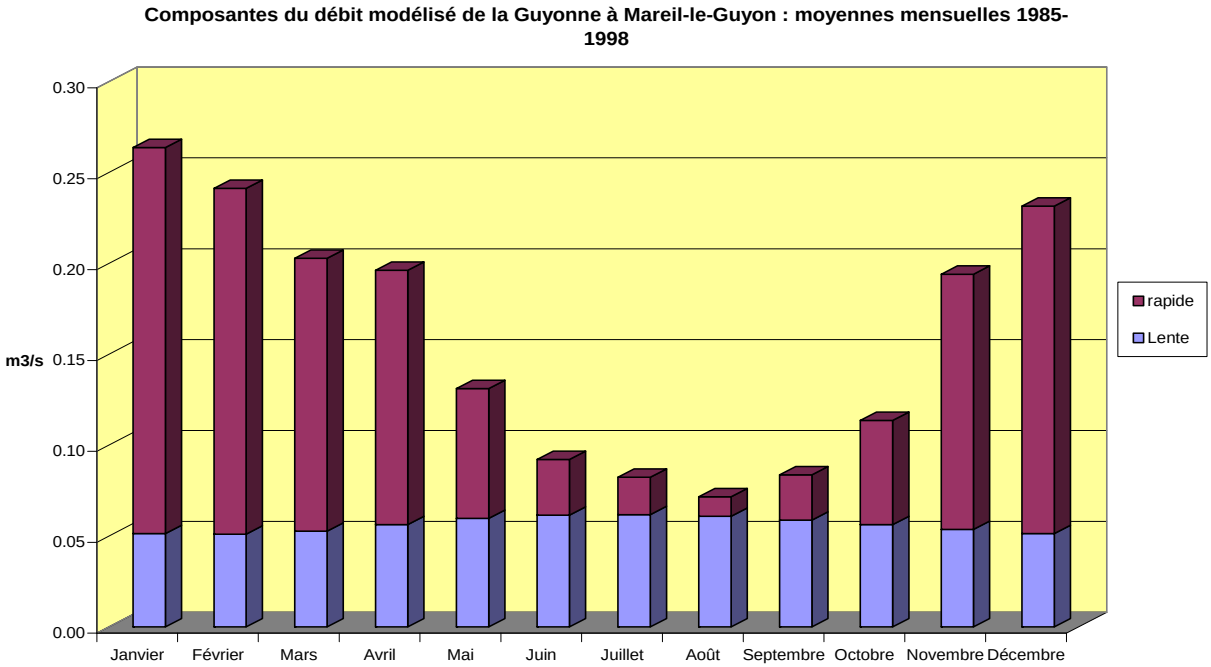


Illustration 94 : Composantes du débit moyen mensuel de la Guyonne modélisé à la station de Mareil-le-Guyon

La modélisation du débit de la Guyonne à Mareil-le-Guyon a été réalisée sur la période 07/04/1984 – 09/05/1999 (Illustration 92). La modélisation restitue bien les débits d'étiage mais les forts débits sont mal réstitués (le coefficient de Nash n'est que de 0,57).

L'Illustration 94 montre la décomposition du débit moyen mensuel modélisé de la Guyonne à Mareil-le-Guyon.

4. Picardie

4.1. BASSIN VERSANT DU THON

4.1.1. Caractéristiques du bassin versant

Le Thon prend sa source dans les Ardennes et rejoint l'Oise dans le département de l'Aisne, en rive gauche. Son bassin versant à la station d'Origny-en-Thiérache occupe une superficie de 258 km² (source banque HYDRO).

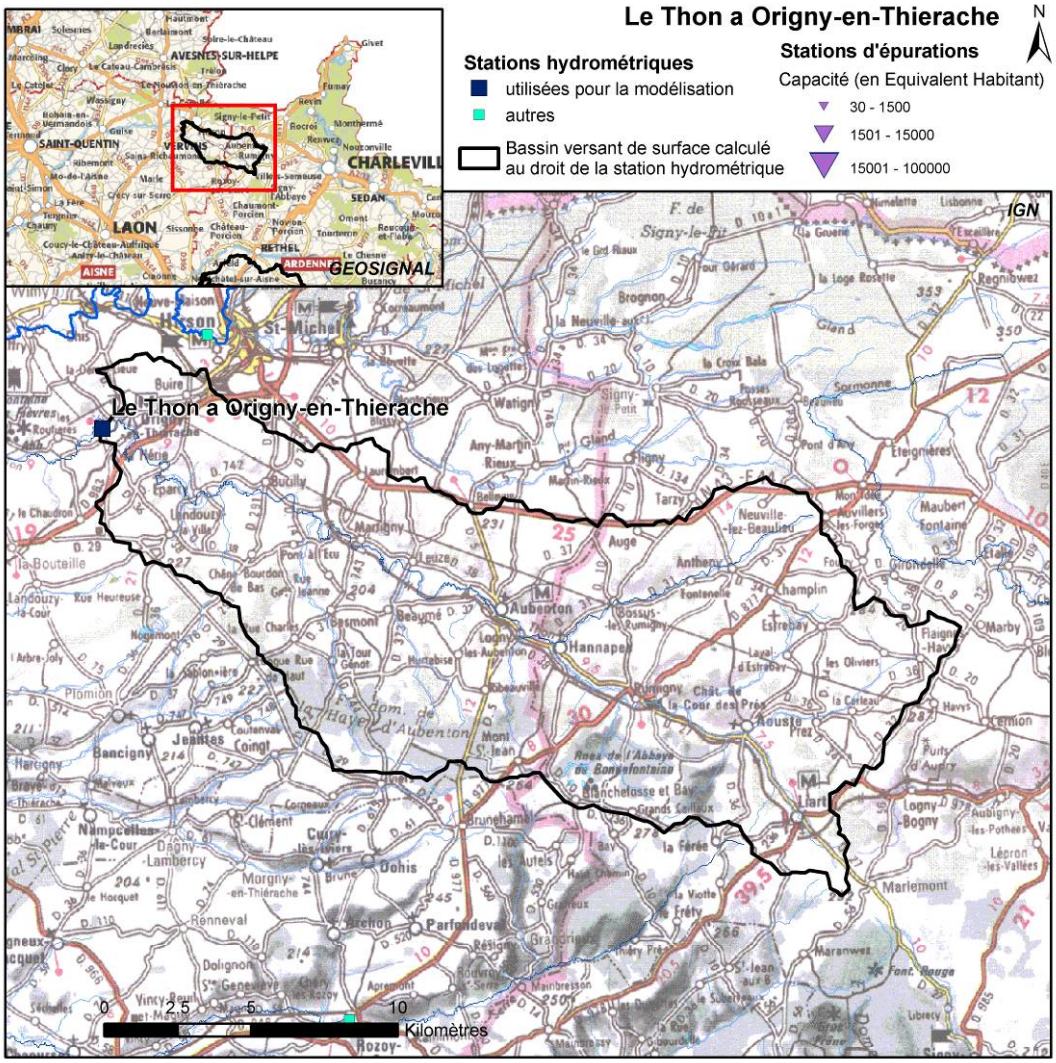


Illustration 95 : Localisation du bassin versant du Thon (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude du bassin versant du Thon s'échelonne de 297 à 139 m NGF, avec une altitude moyenne et médiane à 215 m. Les terrains les plus élevés sont rencontrés dans l'Est-Sud-Est du bassin, les terrains les plus bas étant rencontrés dans l'Ouest-Nord-Ouest.

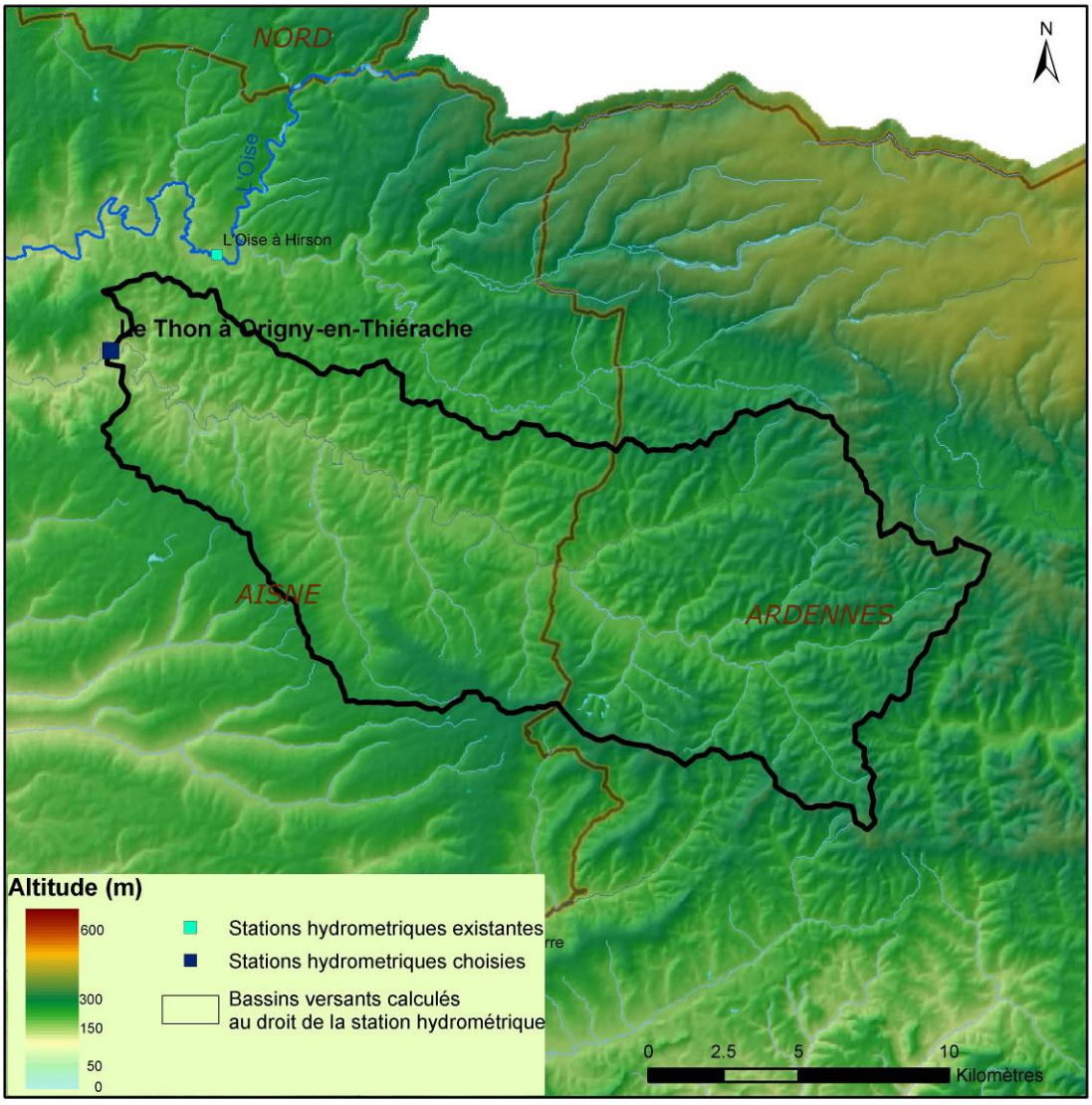


Illustration 96 : Altitude des terrains dans le bassin versant du Thon (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant est de 6,1% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), avec une pente maximale de 35% environ. Les pentes supérieures

à 5% occupent près de 60% du bassin versant, ce qui correspond à un terrain vallonné. On notera que les pentes sont plus marquées dans le nord et l'est que dans le sud du bassin versant, ceci correspondant à un changement de faciès géologiques (terrains d'âge Jurassique (calcaires notamment) au nord et à l'est, du Crétacé (craie notamment) dans le sud-est, cf. suite).

Le caractère vallonné du terrain va faciliter le ruissellement.

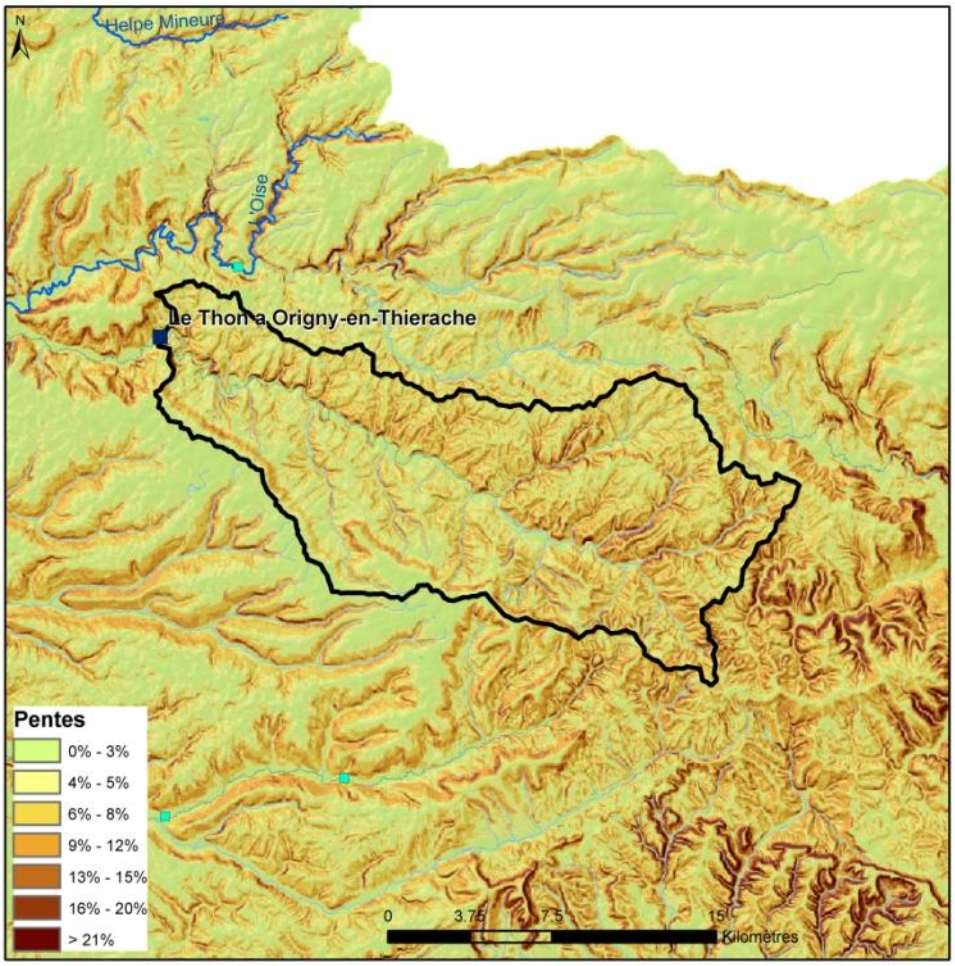


Illustration 97 : Pente des terrains dans le bassin versant du Thon (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

En suivant la classification de Corinne Land Cover, le bassin versant est occupé :

- à 66% par des prairies, forêts et végétations arbustives et/ou herbusives ;
- à 31% par des zones agricoles hétérogènes ;
- à 3% par des zones urbanisées industrialisées ;

- sur une très faible part de sa superficie (< 1%) par des vergers.

Il s'agit donc d'un bassin versant à faible emprise urbaine et dont les terrains sont majoritairement occupés par des forêts ou des prairies.

Il n'a pas été identifié de prélèvements pour l'irrigation dans ce bassin versant (d'après les données non géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie).

Les prélèvements pour l'eau potable s'élèvent à environ 2,4 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 9,3 mm.

4.1.2. Climatologie

Le bassin versant du Thon reçoit en moyenne 980 mm d'eau par an (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Il s'agit donc d'un bassin versant assez fortement arrosé (à l'échelle du bassin Seine-Normandie), notamment dans sa partie amont, à l'est.

Les données de quatre stations météorologiques ont été utilisées pour la modélisation, trois pour leur chronique de pluie et une pour l'évapotranspiration :

- Champlin (type 4, création de la station en mars 1968), située dans la partie amont du bassin versant, dans le département des Ardennes.
- Fourmies (type 4, création de la station en novembre 1961), situé au nord du bassin versant, dans le département du Nord, à 13 km de la station hydrométrique modélisée. Cette station météorologique représente un contexte moins humide que celle de Champlin.
- Fontaine-lès-Vervins (type 2, création de la station en juillet 1987), située au sud-ouest du bassin versant, à 11 km de la station hydrométrique. Elle représente un contexte moins humide que celui de Champlin.
- Saint-Quentin (station située à Fontaine-les-Clercs, de type 1, créée en 1933), qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des trois chroniques de pluie ci-dessus. La formule retenue est :

$$P_{opt} = 66\% * \text{Champlin} + 34\% * \text{Fourmies}$$

En particulier, la station de Fontaine-lès-Vervins n'est donc pas utilisée pour simuler le débit du Thon.

4.1.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

Un extrait des cartes géologiques couvrant l'extension géographique du bassin versant du Thon est présenté en Illustration 98.

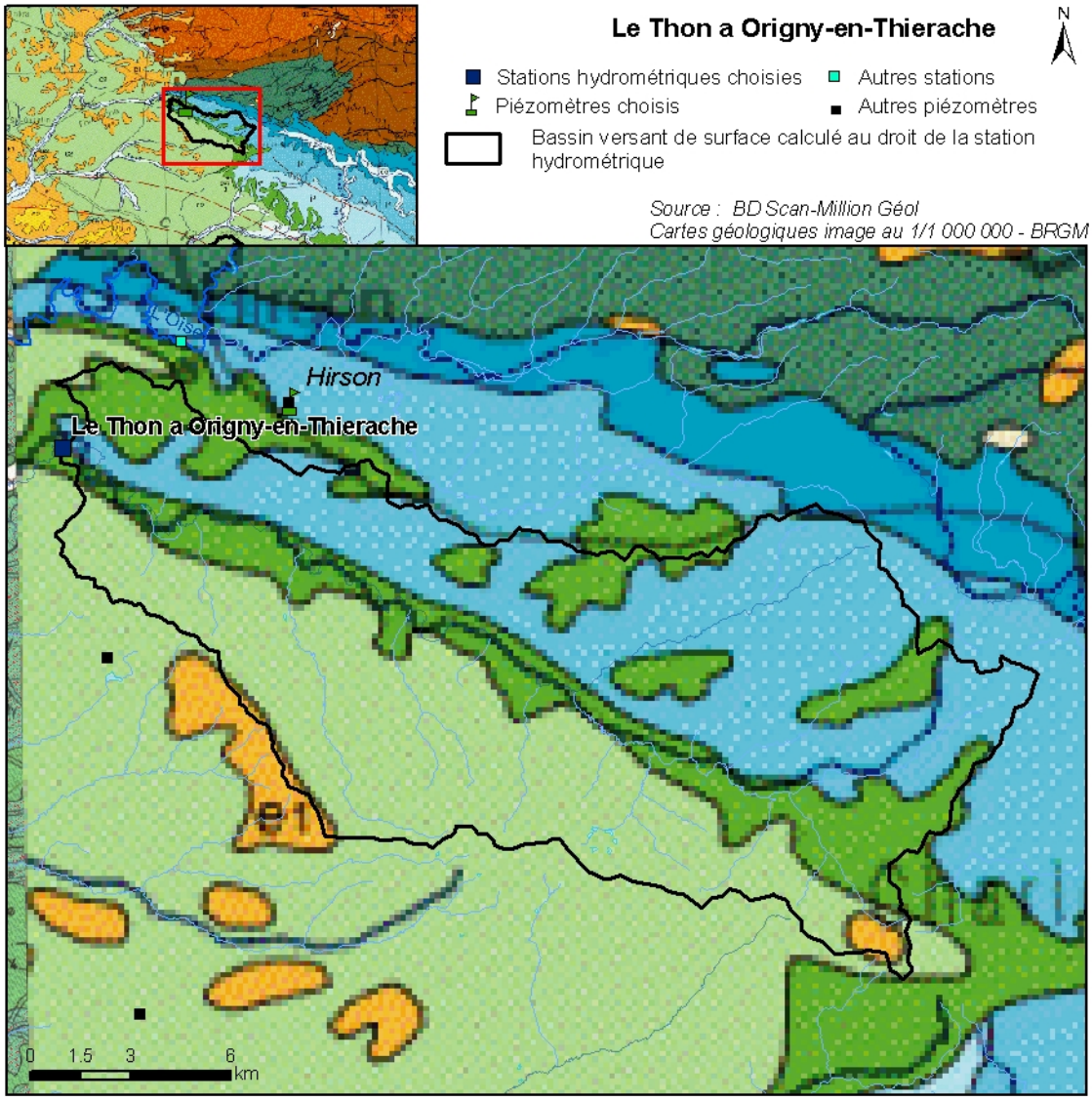


Illustration 98 : Carte géologique du bassin versant du Thon

De l'amont vers l'aval, les formations géologiques suivantes sont rencontrées à l'affleurement (liste non exhaustive) :

- les calcaires du Bathonien, qui couvrent une large partie du bassin versant (en bleu clair sur la carte) ;
- les argiles et sables de l'Albien (vert foncé) ;
- la craie et les sables argileux du Cénomanien (vert clair) ;
- la craie marneuse et les marnes vertes du Turonien (principalement sur les plateaux, en vert clair également).

Compte tenu de la prédominance des calcaires du Bathonien, notamment en fond de vallée, la modélisation a été effectuée à l'aide d'une chronique piézométrique issue de cette formation. Le piézomètre utilisé est celui d'Hirson (indice national : 00516X0059/S1).

La présence de formations à caractère peu perméable (marnes, argiles, sables argileux) va engendrer du ruissellement sur le bassin versant.

b) Piézométrie

Le piézomètre d'Hirson dispose d'une chronique en deux parties :

- du 13 février 1974 au 12 décembre 1978 ;
- du 30 mai 1996 au 31 juillet 2008 (date retenue pour la fin des calages).

La fréquence d'acquisition des données est mensuelle, puis quotidienne à partir du 16/05/2007.

La chronique présente des fluctuations saisonnières individualisées, ainsi que des fluctuations interannuelles (cf. Illustration 99 et par exemple l'évolution du niveau des basses eaux sur la période 1995-2001, puis 2001-2005). Les battements annuels sont faibles.

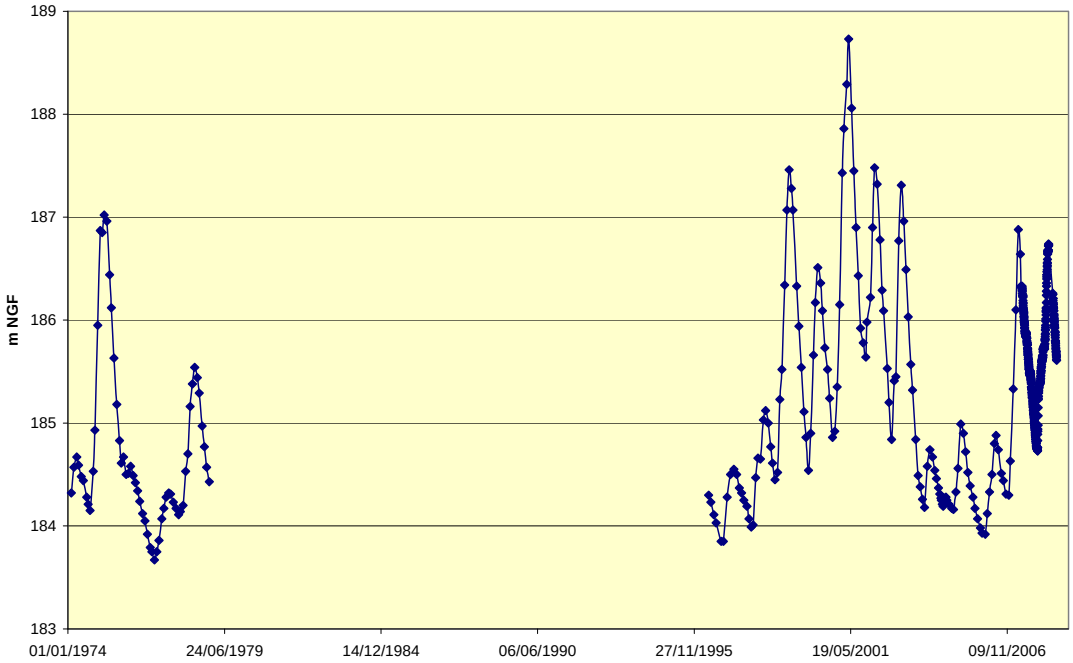


Illustration 99 : Chronique piézométrique d'Hirson (indice national : 00516X0059/S1)

4.1.4. Hydrologie

Le Thon s'écoule selon un axe ESE–ONO bien marqué. Son débit est connu au travers de la station hydrométrique d'Origny-en-Thiérache (code HYDRO : H7033010). La chronique de débit journalier démarre le 1er janvier 1967 et est continue jusqu'au 31 juillet 2008.

Les basses eaux sont rencontrées en août-septembre et les hautes eaux en janvier-février. La lame d'eau moyenne annuelle est de 455 mm, ce qui correspond à une valeur élevée à l'échelle du bassin Seine-Normandie. Les débits journaliers connus s'échelonnent de 46 m^3/s à 0,544 m^3/s, soit une variabilité élevée. L'Illustration 100, qui montre le débit moyen mensuel (source : banque HYDRO), fait apparaitre l'existence d'un soutien important en période d'étiage.

Le QMNA5 est de 1,0 m^3/s pour une superficie du bassin versant égale à 258 km^2.

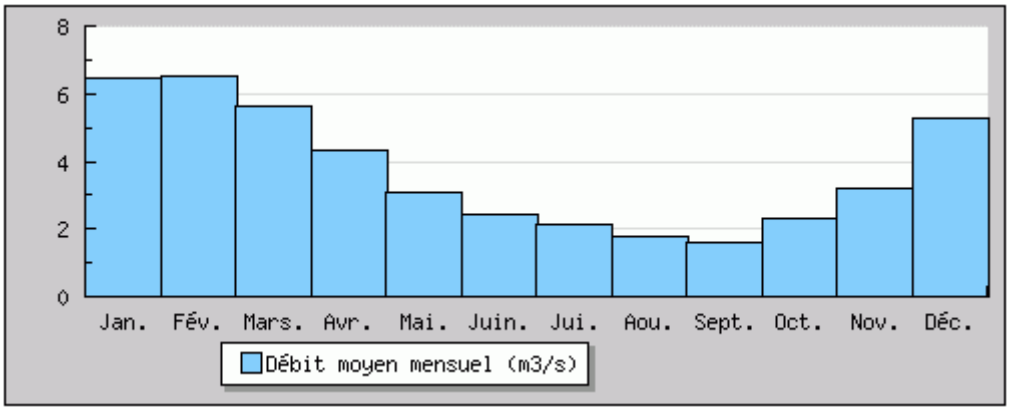


Illustration 100 : Débit moyen mensuel du Thon à la station hydrométrique d'Origny-en-Thiérache (source : Banque HYDRO)

4.1.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit du Thon a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : pluie optimale (66% * Champlin + 34% * Fourmies), calculée au pas décadaire sur la période allant du 01/01/1980 au 31/07/2008 ;
- évapotranspiration : données décadaires de la station météorologique de Saint-Quentin ;
- piézométrie : piézomètre d'Hirson, sur la période du 30 mai 1996 au 31 juillet 2008.

La modélisation du piézomètre a été effectuée en utilisant les mêmes données météorologiques. Elle fournit un très bon résultat, avec un coefficient de Nash égal à 0,93 sur la période allant du 30 mai 1996 au 31 juillet 2008 (cf. Illustration 101).

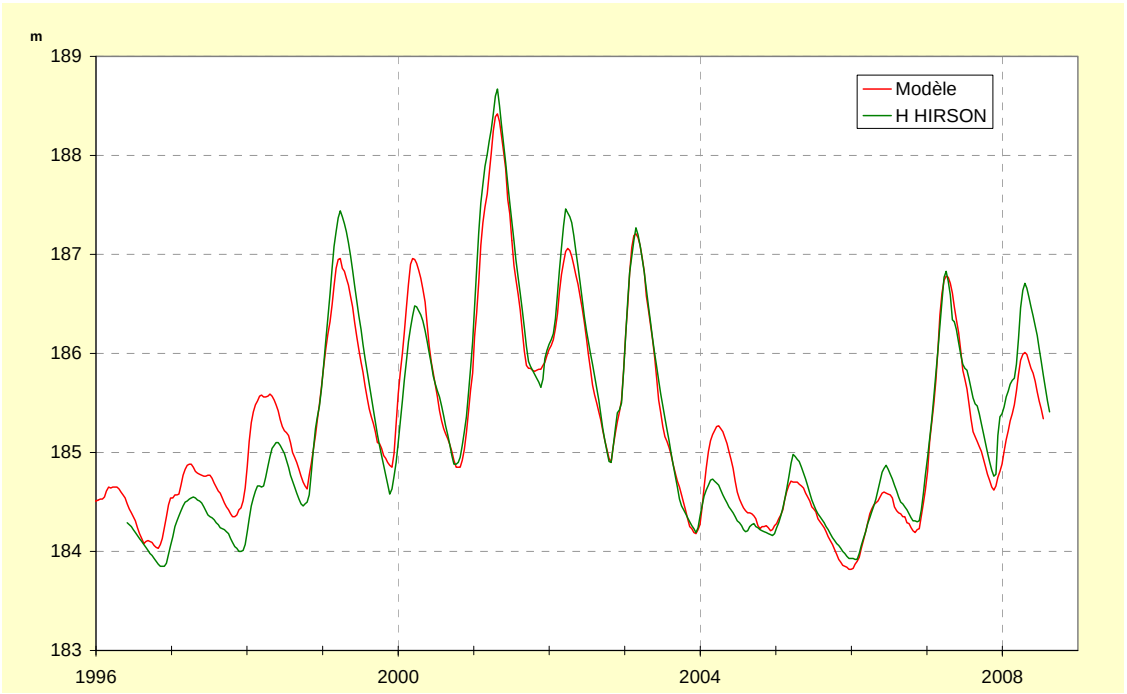


Illustration 101 : Modélisation de la chronique du piézomètre d'Hirson

Cette modélisation des fluctuations du piézomètre a été réalisée en considérant une composante « lente » à 700 jours et une composante « rapide » à 150 jours. On retrouve au travers des ordres de grandeur de ces deux valeurs les composantes interannuelles et saisonnières des fluctuations observées.

La modélisation du débit du Thon a été effectuée en s'attachant à représenter au mieux les périodes d'étiage du cours d'eau. De fait, les pics de crue sont moins bien calés (cf. Illustration 102). Au global, le coefficient de Nash est de 0,69 (du 24/07/1982 au 31/07/2008). L'Illustration 103 présente les débits modélisé et observé selon une représentation en logarithme népérien.

L'Illustration 104 montre la part des différentes composantes du débit modélisé. On retrouve bien le soutien du débit par la nappe (courbe verte « lente »), ainsi que l'existence d'un ruissellement important durant l'automne et l'hiver (courbe bleue « rapide »).

L'Illustration 105 fait apparaître la prépondérance des écoulements rapides durant l'automne et l'hiver (plus de 50% du débit total en janvier), tandis que la composante lente prend le relais durant l'été (60% du débit modélisé en juin et juillet).

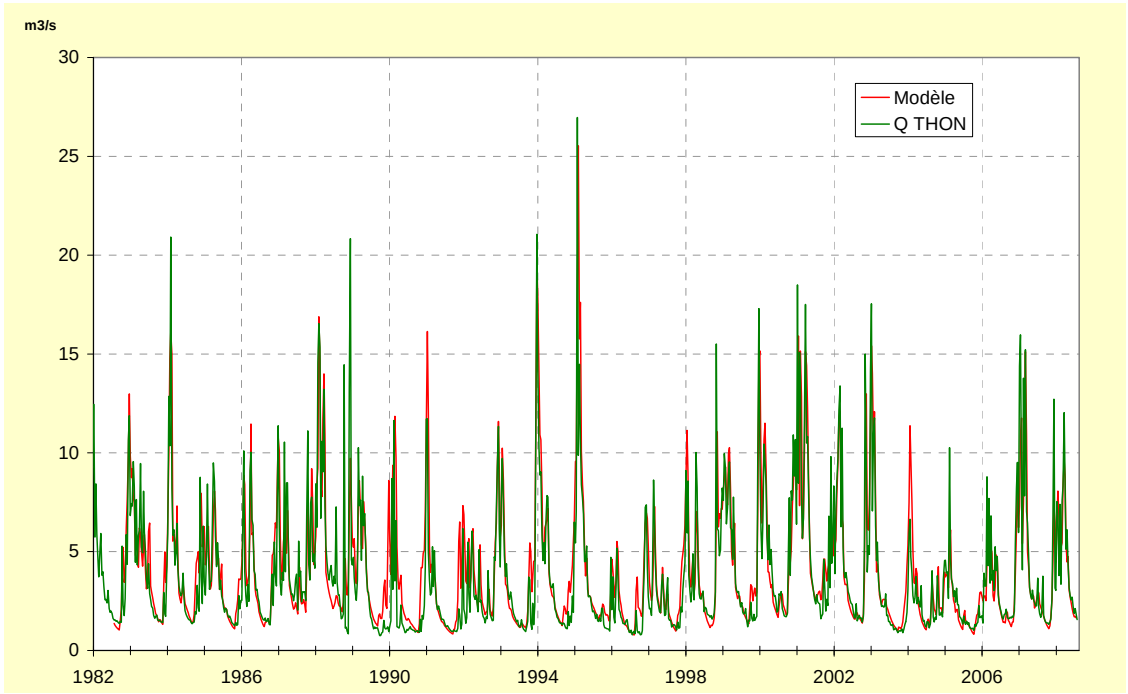


Illustration 102 : Modélisation du débit du Thon à la station d'Origny-en-Thiérache

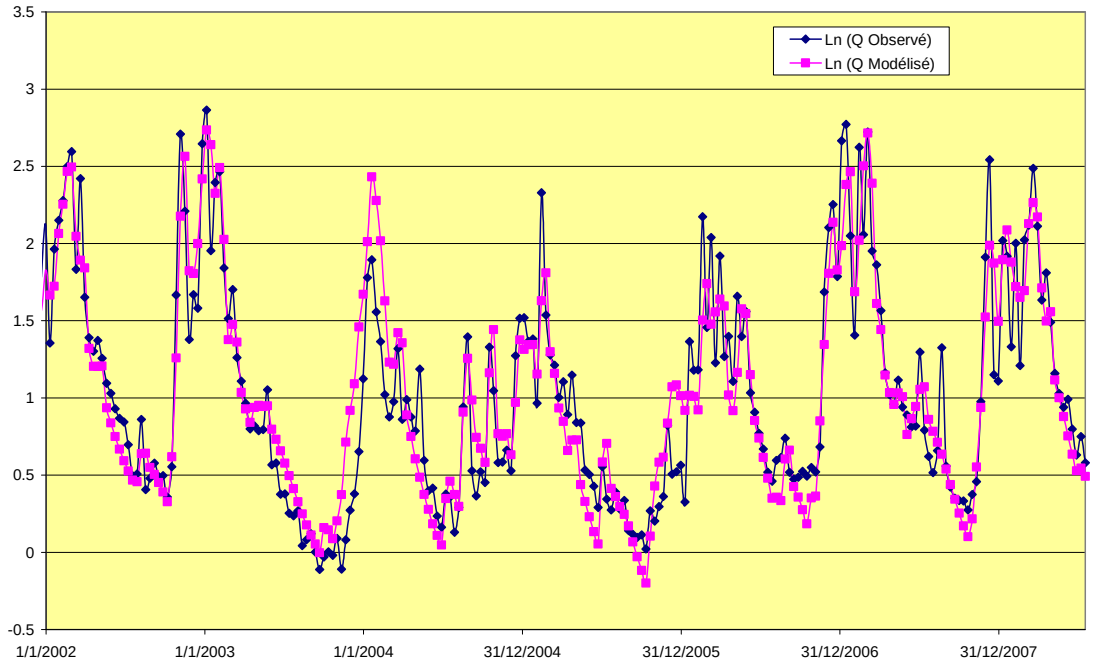


Illustration 103 : Modélisation du débit du Thon à la station d'Origny-en-Thiérache : représentation en logarithme népérien

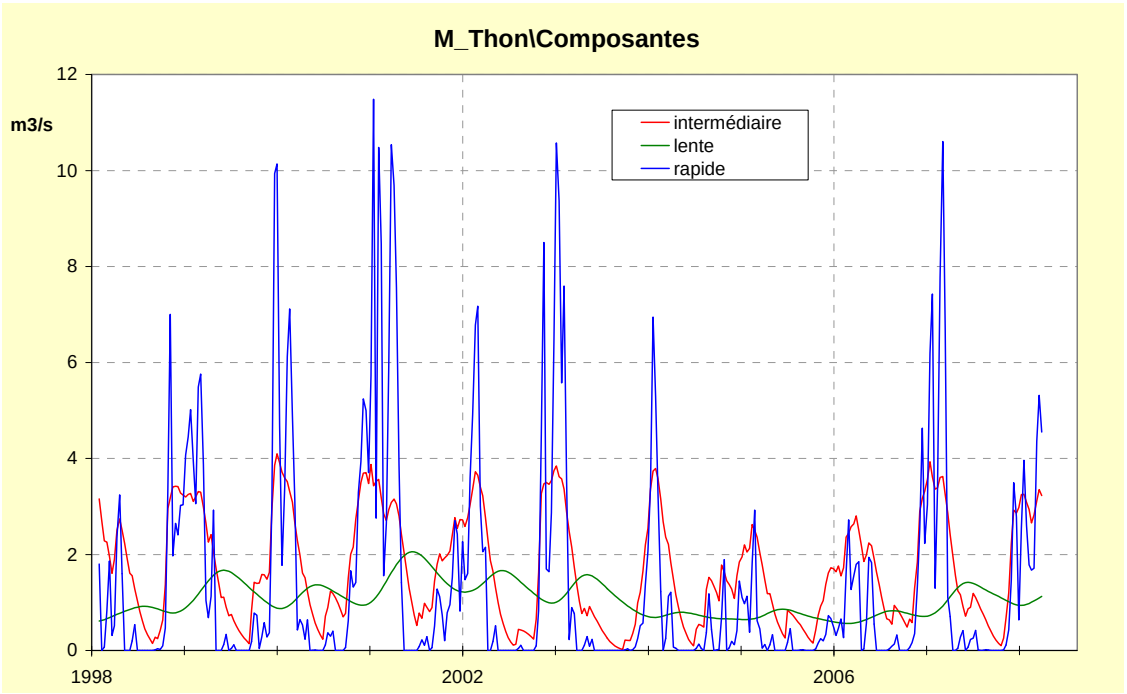


Illustration 104 : Composantes du débit du Thon modélisé à la station d'Originy-en-Thiérache

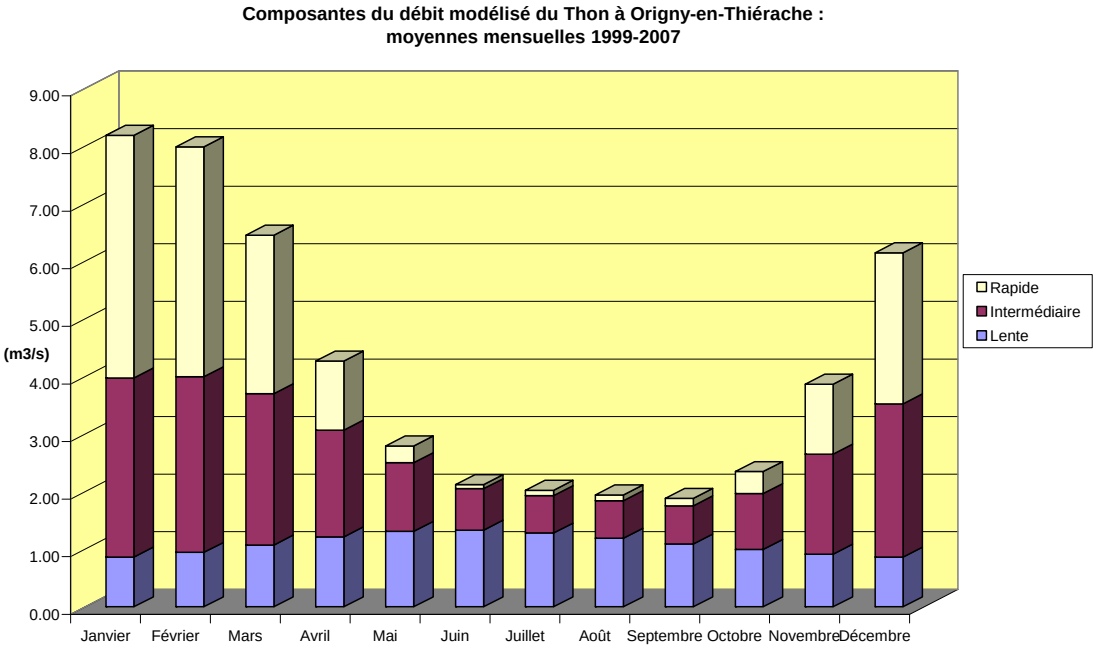


Illustration 105 : Composantes du débit moyen mensuel du Thon modélisé à la station d'Originy-en-Thiérache

4.2. BASSIN VERSANT DE L'OURCQ

4.2.1. Caractéristiques du bassin versant

L'Ourcq prend sa source dans le département de l'Aisne, dans la forêt de Ris, au sud-est de Fère-en-Tardenois. Son bassin versant s'étend sur une superficie de 349 km², (source : Banque HYDRO) dont une très faible partie se trouve dans le département de la Marne. À l'aval, il se jette dans la Marne.

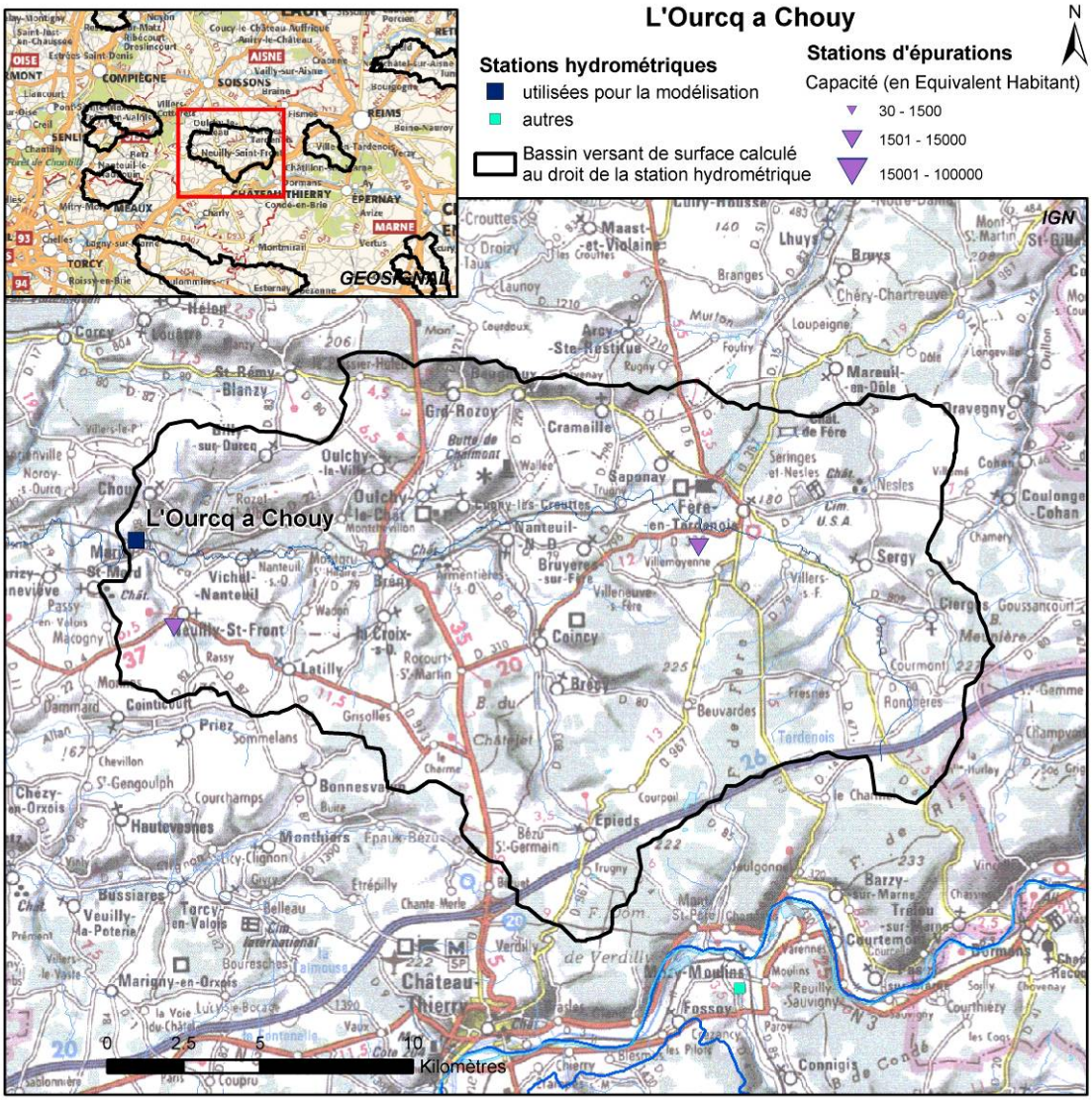


Illustration 106 : Localisation du bassin versant de l'Ourcq (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

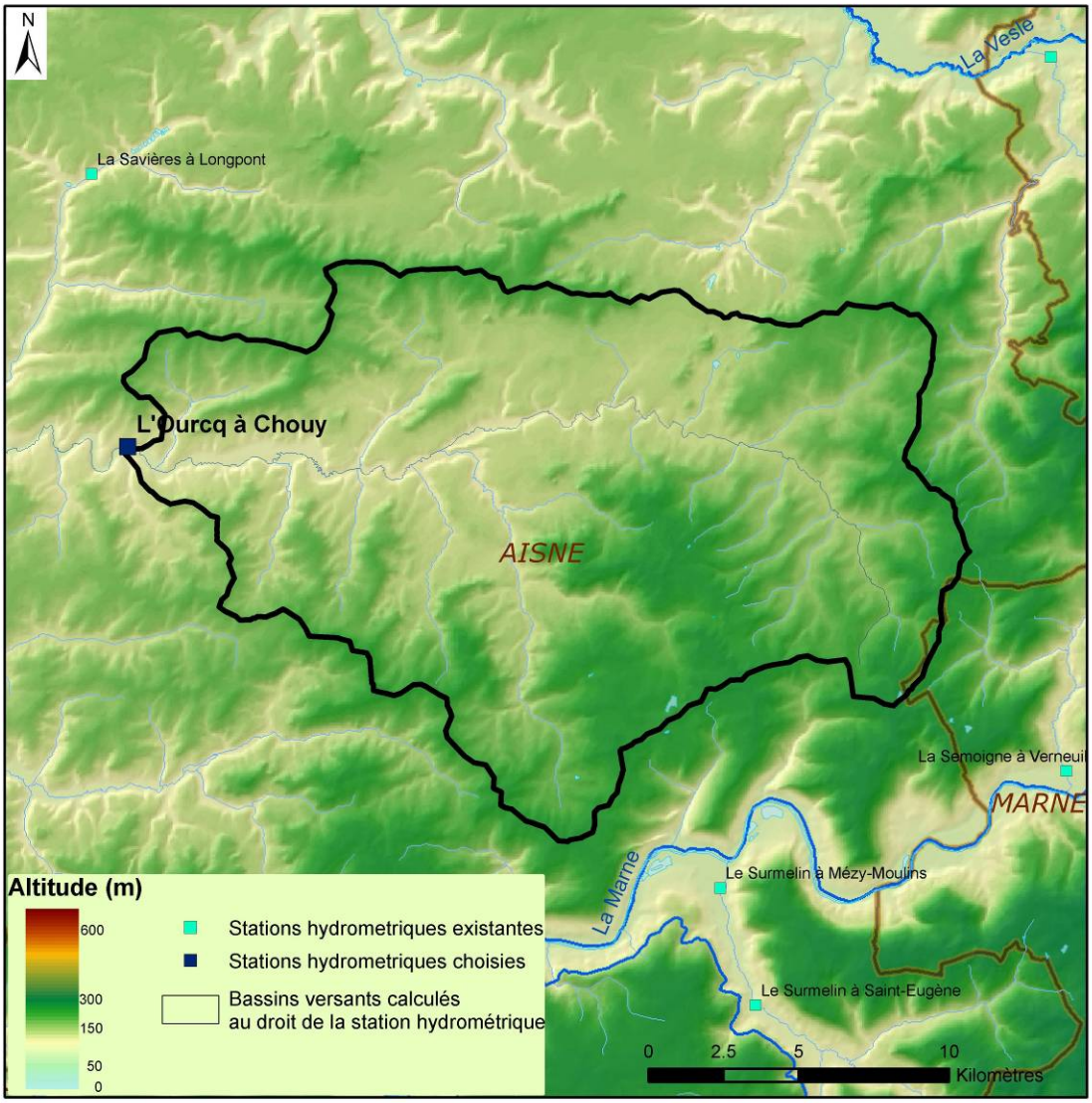


Illustration 107 : Altitude des terrains dans le bassin versant de l'Ourcq (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

L'altitude du bassin versant de l'Ourcq s'échelonne de 231 à 73 m NGF, avec une altitude moyenne et médiane de 156 m environ. Les terrains les plus élevés sont dans le sud-est du bassin.

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant est de 5% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), avec une pente maximale de 32% environ. Les pentes supérieures à 5% occupent 43% du territoire qui est donc relativement vallonné. Dans le détail, des

zones de plateaux (pente nulle à faible) apparaissent, notamment dans la partie centrale du bassin versant (cf. Illustration 108). La vallée de l'Ourcq est assez encaissée à partir de Fère-en-Tardenois.

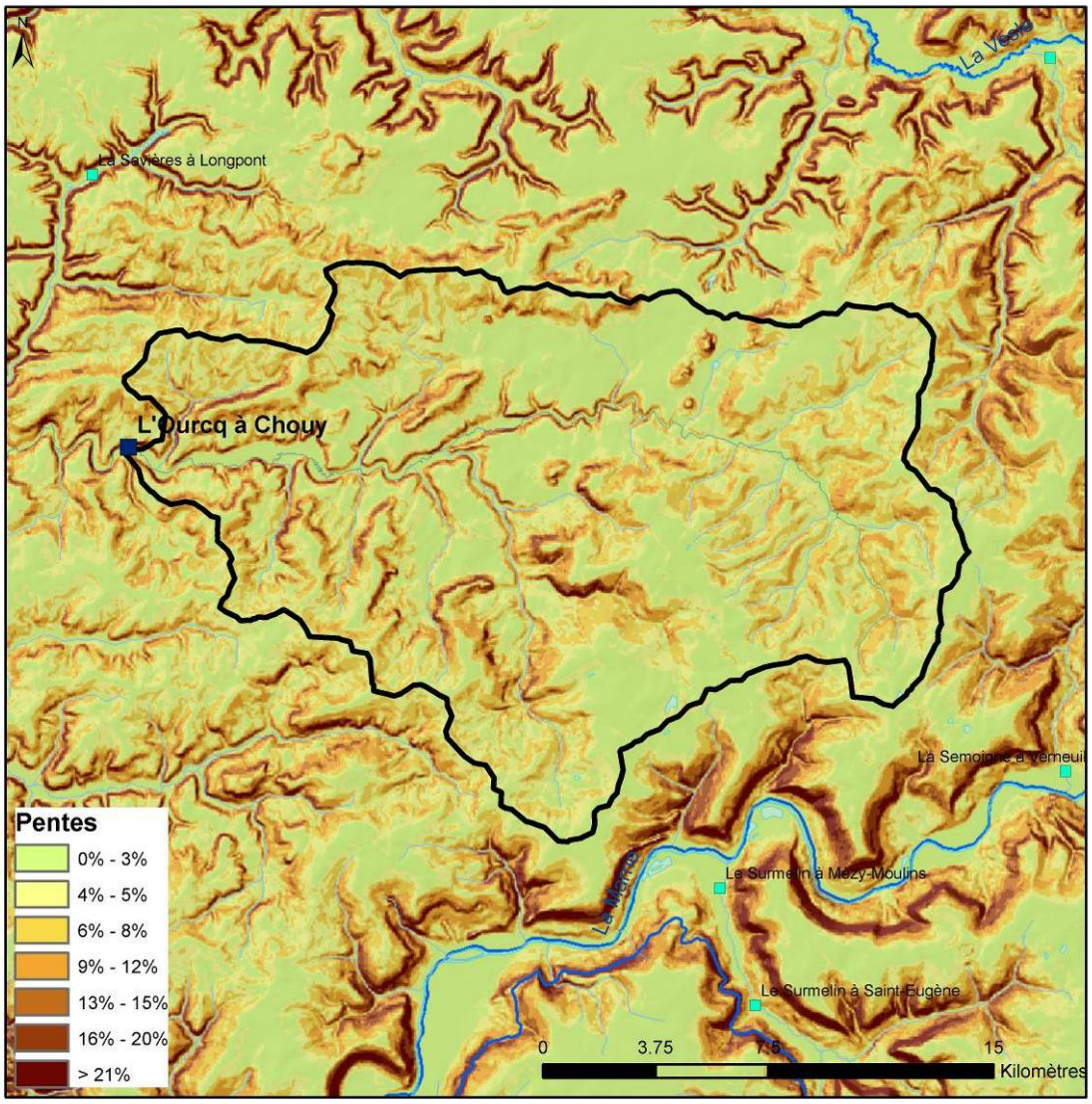


Illustration 108 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Ourcq (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- à 68% par des zones agricoles hétérogènes ;
- à 29% par des prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives ;

- à 3% par des zones urbanisées industrialisées ;
- sur une faible part de sa superficie (< 1%), par des zones naturelles et des mines, décharges et chantiers.

Il s'agit donc d'un bassin versant agricole, à faible emprise urbaine.

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 9. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (349 km²), ils correspondent à une lame d'eau variant de 0,2 à 0,7 mm.

Annee	Prel_Irrigation
1995	71 368
1996	78 293
1997	79 365
1998	100 315
1999	121 622
2000	56 804
2001	89 922
2002	122 550
2003	235 938
2004	175 191
2005	202 488
2006	226 324

Tableau 9 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de l'Ourcq

Les prélèvements pour l'AEP atteignent environ 1 million de m^3 par an, soit une lame d'eau annuelle de 2,9 mm.

4.2.2. Climatologie

Le bassin versant de l'Ourcq reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 730 mm environ (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Cela correspond à une pluviométrie moyenne pour la partie centrale-est du bassin Seine-Normandie.

Les données de trois stations hydrométriques ont été utilisées pour la modélisation, deux pour leur chronique de pluie, une pour ses chroniques d'évapotranspiration et de pluie. Il s'agit de :

- Chambrecy (type 2, création de la station en janvier 1976), située à 13 km environ à l'Est de la partie amont du bassin versant. Cette station reçoit en moyenne annuelle une pluviométrie voisine de celle du bassin versant ;
- Passy-en-Valois (type 2, création de la station en mai 1987), située à moins de 5 km au sud-ouest de la station hydrométrique modélisée. La pluviométrie y est légèrement supérieure à la pluviométrie moyenne annuelle du bassin versant. Trois décades sont manquantes : du 11 au 20 avril 2008 et du 21 mai au 10 juin 2008. La

modélisation nécessitant des chroniques continues, ces décades manquantes ont été comblées à l'aide des données de la station météorologique de Creil ;

- Creil (type 1, création de la station en janvier 1950), située à une cinquantaine de kilomètres à l'ouest de la station hydrométrique de Chouy. Cette station dispose de chroniques pluviométrique et d'évapotranspiration Penman.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des trois chroniques de pluie ci-dessus. La formule retenue est :

$$P_{opt} = 100\% * \text{Passy-en-Valois}$$

Des essais de modélisation ont été effectués en considérant une pluie optimale basée sur Passy-en-Valois et Chambrecy mais les résultats n'ont pas été concluants.

4.2.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

La carte géologique au 1/250 000 correspondant au bassin versant de l'Ourcq à Chouy est présentée en Illustration 109. Les formations géologiques rencontrées à l'affleurement dans ce secteur datent du Tertiaire.

En fond de vallée, et en dehors des formations superficielles, sont rencontrées les formations suivantes (classées des plus récentes aux plus anciennes) :

- les calcaires de Champigny (formation e7 sur la carte) ;
- les sables et calcaires du Bartonien (sables de Beauchamp et calcaires de Saint-Ouen – formation e6 sur la carte) ;
- les calcaires du Lutétien (avec un niveau de marnes et caillasses au toit de la formation – formation e5 sur la carte).

Cette dernière formation est rencontrée au niveau de la station hydrométrique de Chouy, ainsi que sur une part importante du fond de la vallée de l'Ourcq, au contact des alluvions. Il a donc été choisi d'utiliser un piézomètre captant cette formation ; le piézomètre retenu est celui d'Armentières-sur-Ourcq (01306X0023/S1).

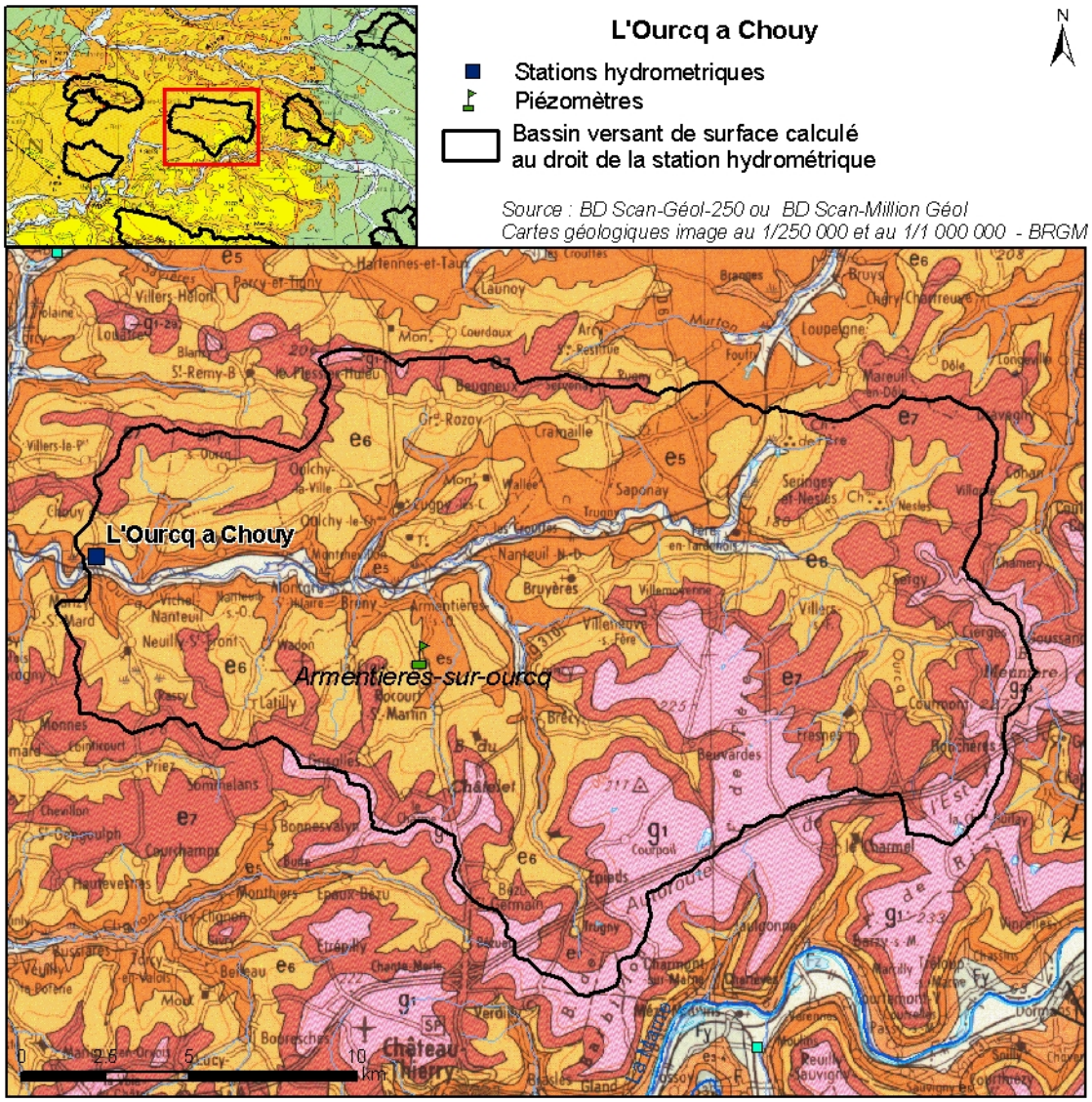


Illustration 109 : Carte géologique du bassin versant de l'Ourcq

b) Piézométrie

La chronique du piézomètre d'Armentières-sur-Ourcq démarre le 07/02/1974 et se poursuit actuellement (cf. Illustration 110). La fréquence d'acquisition des données a varié selon les époques, allant d'un rythme mensuel à quotidien.

On identifie deux périodes d'interruption supérieures à 90 jours, du 24/12/1981 au 03/05/1982 et du 21/07/2001 au 14/11/2001.

La chronique piézométrique présente des fluctuations saisonnières individualisées, ainsi que des fluctuations interannuelles.

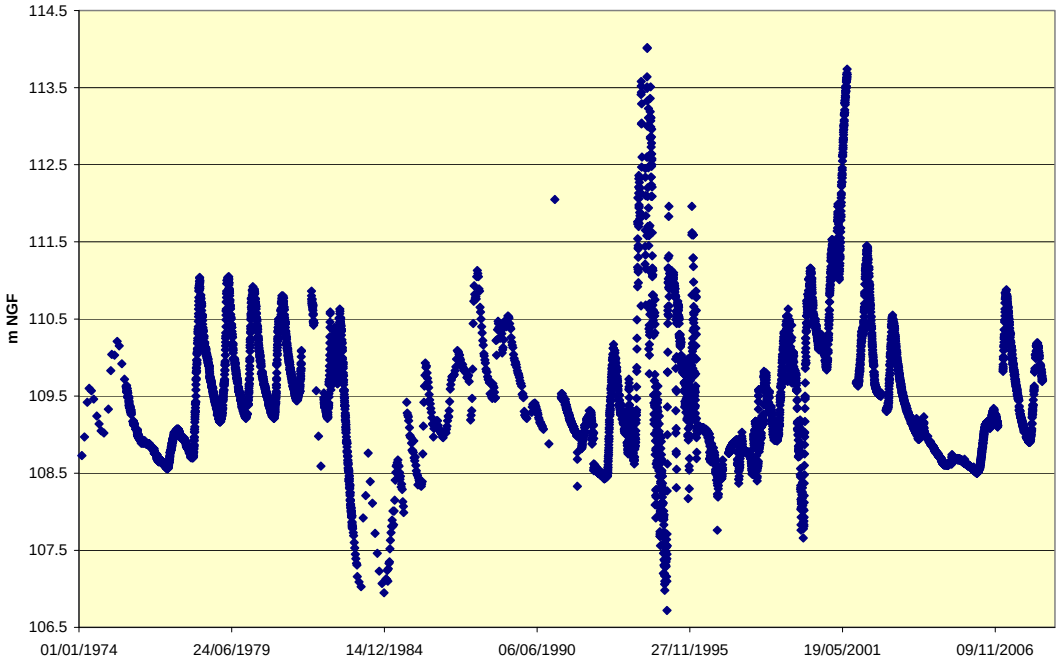


Illustration 110 : Chronique piézométrique d'Armentières-sur-Ourcq (indice national : 01306X0023/S1)

4.2.4. Hydrologie

Dans sa partie amont, l'Ourcq s'écoule globalement d'est en ouest. Pour débuter sa course, la rivière décrit un arc de cercle de tangente orientée initialement vers le nord-ouest et finalement au sud-ouest. Le débit de l'Ourcq est connu au travers de la station hydrométrique de Chouy (code HYDRO : H5522010). La chronique de débit journalier démarre le 09/07/1988 et est interrompue sur deux périodes, du 13/01/1989 au 23/03/1989 et du 09/01/1992 au 14/10/1992.

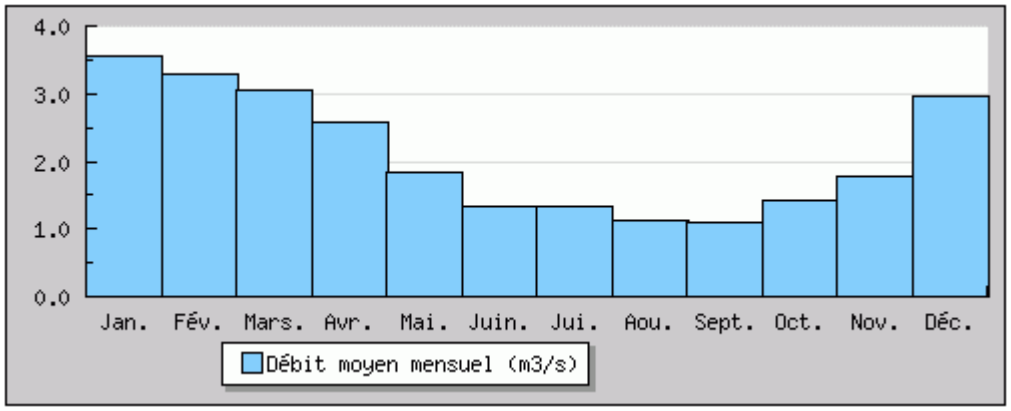


Illustration 111 : Débit moyen mensuel de l'Ourcq à la station hydrométrique de Chouy (source : Banque HYDRO)

Compte tenu de la durée de la seconde interruption, la chronique de débit a été modélisée à partir de 1993.

Les basses eaux sont rencontrées en août-septembre et les hautes eaux en janvier. La lame d'eau moyenne annuelle est de 193 mm, soit une valeur légèrement inférieure à la moyenne sur le bassin Seine-Normandie. Le débit journalier maximum connu est de 19,6 m^3/s et le minimum connu est de 0,423 m^3/s, soit une amplitude assez forte. L'Illustration 111 montre le débit moyen mensuel (source : banque HYDRO) et notamment l'existence d'un soutien du cours d'eau par la nappe en période d'étiage.

4.2.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de l'Ourcq a été effectuée en utilisant les signaux suivants :

- pluie : Passy-en-Valois ;
- évapotranspiration : données décadaires de la station météorologique de Creil ;
- piézométrie : Armentières-sur-Ourcq, sur une période de temps correspondant à celle de la chronique de débit.

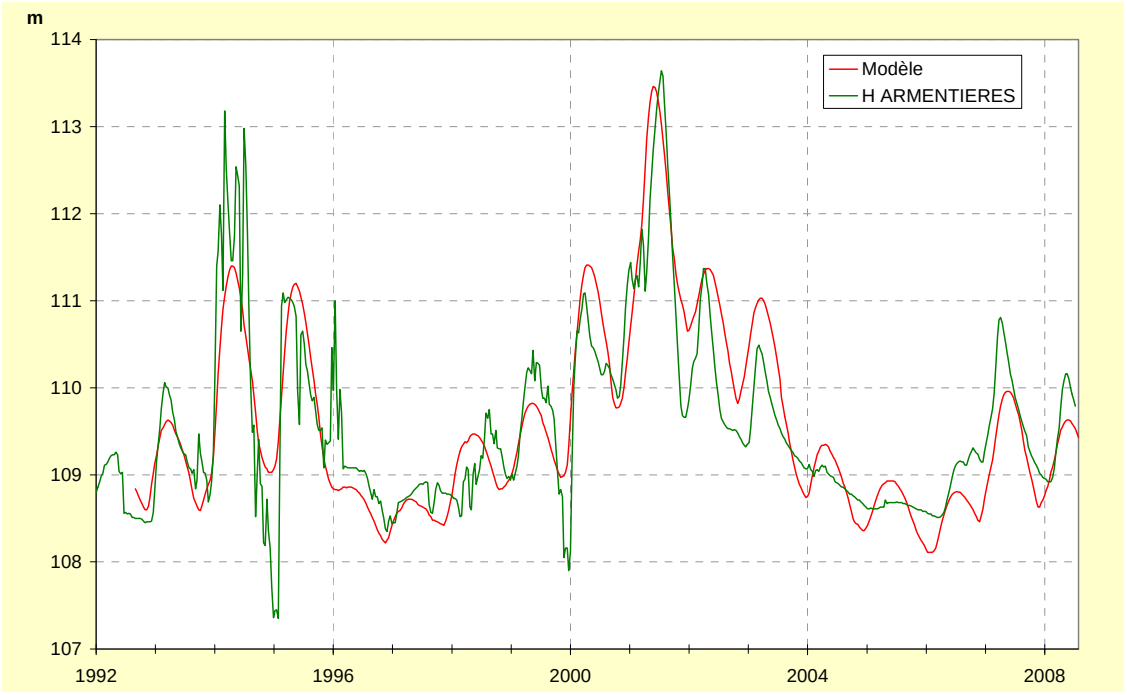


Illustration 112 : Modélisation de la chronique du piézomètre d'Armentières-sur-Ourcq

La modélisation de la chronique du piézomètre a été effectuée en utilisant la pluie de Passy-en-Valois et l'ETP de Creil. Elle donne un coefficient de Nash égal à 0,71 (cf. Illustration 112).

La modélisation a été obtenue en considérant une composante « lente » de 1150 jours et une composante « rapide » de 250 jours. L'ordre de grandeur de la composante lente évoque l'existence d'un système aquifère assez fortement à fortement inertiel. Ce résultat parait cohérent avec, par exemple, les temps de demi-décroissance calculés pour des piézomètres captant les calcaires du Lutétien dans ce secteur (cf. rapport BRGM/RP-55188-FR « exploitabilité des ressources en eau souterraine en France »).

La modélisation du débit de l'Ourcq a été effectuée en s'attachant à représenter au mieux les périodes d'étiage du cours d'eau. De fait, les pics de crue sont moins bien calés (cf. Illustration 113). Au global, le coefficient de Nash est de 0,7 (du 27/01/1993 au 31/07/2008). La répartition du débit en différentes composantes est présentée en Illustration 114. Le soutien de la nappe est représenté par la courbe verte (« lente »).

Des essais ont été effectués en imposant le poids de la contribution souterraine aux écoulements : si le coefficient de Nash en a été amélioré (0,72), la représentation des étiages en a été dégradée. Cette option n'a donc pas été retenue.

Enfin, l'Illustration 115 montre la décomposition du débit moyen mensuel modélisé de l'Ourcq à Chouy.

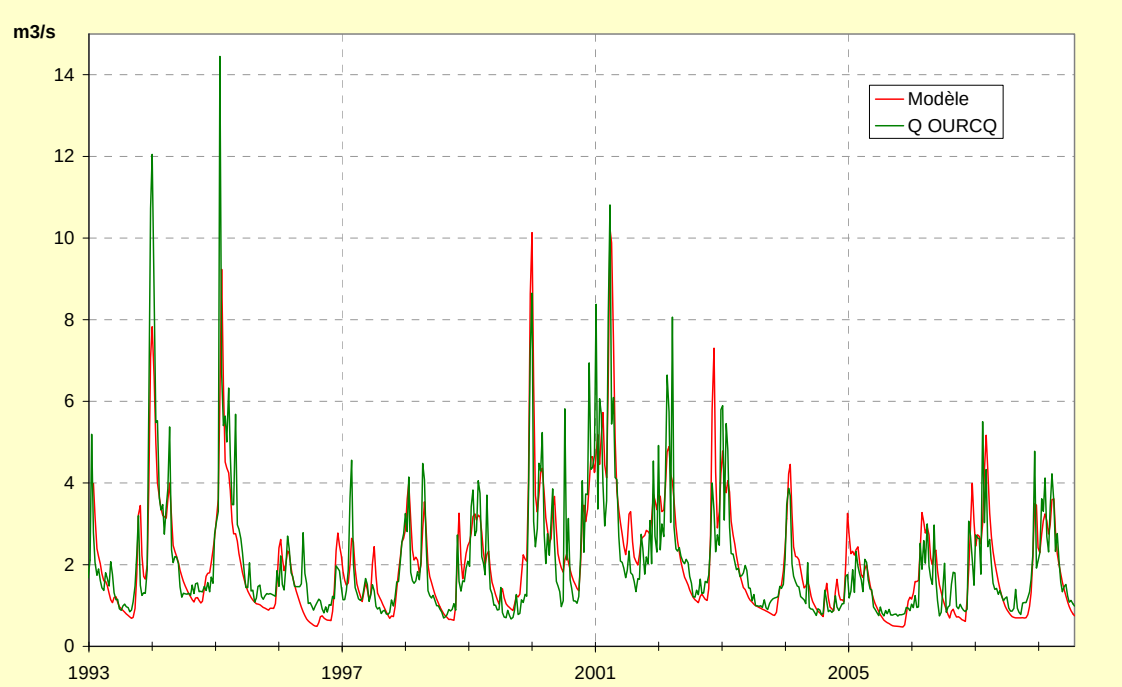


Illustration 113 : Modélisation du débit de l'Ourcq à la station de Chouy

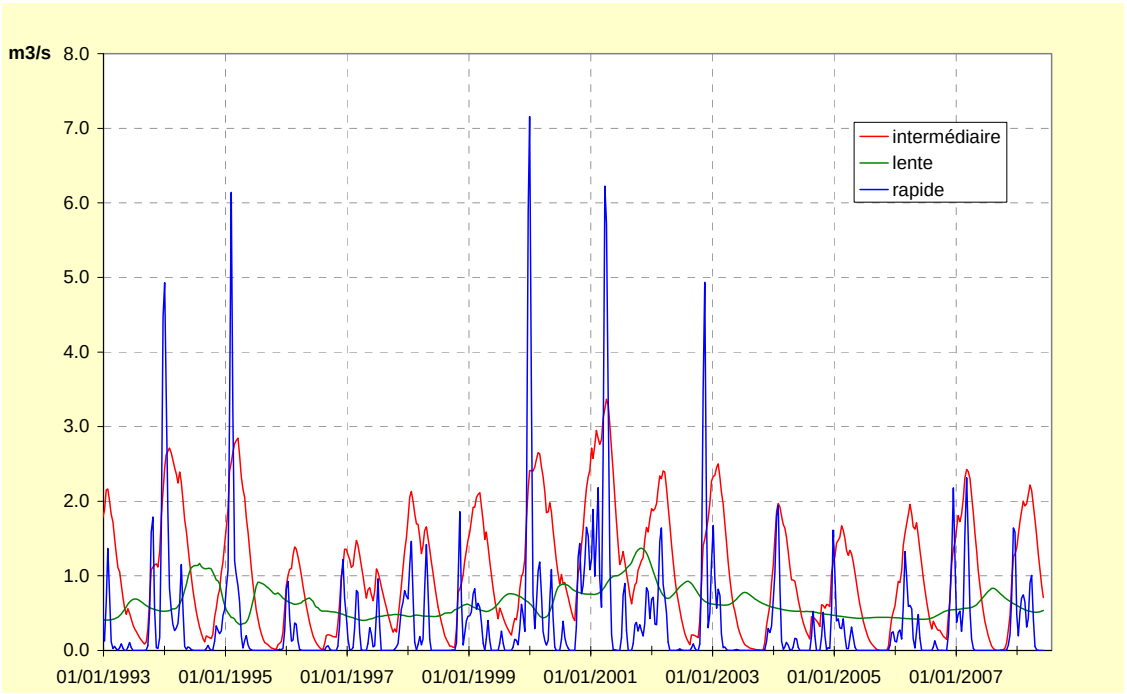


Illustration 114 : Composantes du débit de l'Ourcq modélisé à la station de Chouy

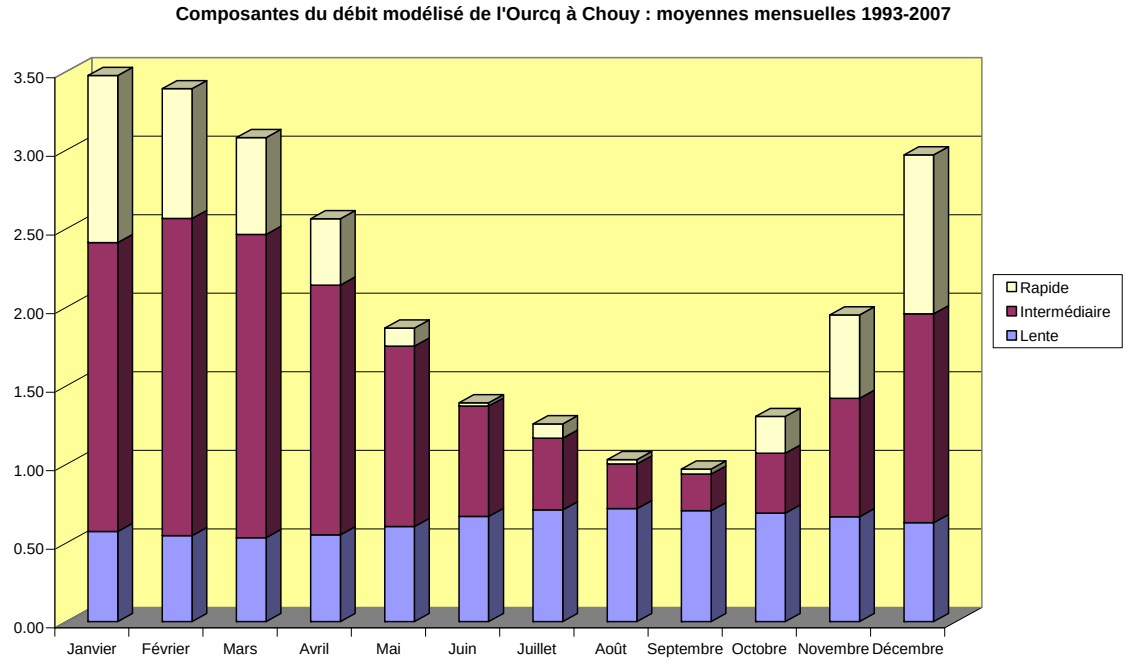


Illustration 115 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Ourcq modélisé à la station de Chouy

4.3. BASSIN VERSANT DE L'AUTOMNE

4.3.1. Caractéristiques du bassin versant

L'Automne prend sa source entre Villers-Cotterets et Pisseleux, dans le département de l'Aisne. Son bassin versant est globalement orienté Est-Ouest, à cheval sur les départements de l'Aisne et de l'Oise. L'Automne reçoit en rive gauche les apports d'un affluent, la Sainte-Marie. Son bassin versant à la station de Saintines occupe une superficie de 279 km² (source banque HYDRO). Elle se jette dans l'Oise, en rive gauche, à quelques kilomètres à l'aval de la station hydrométrique.

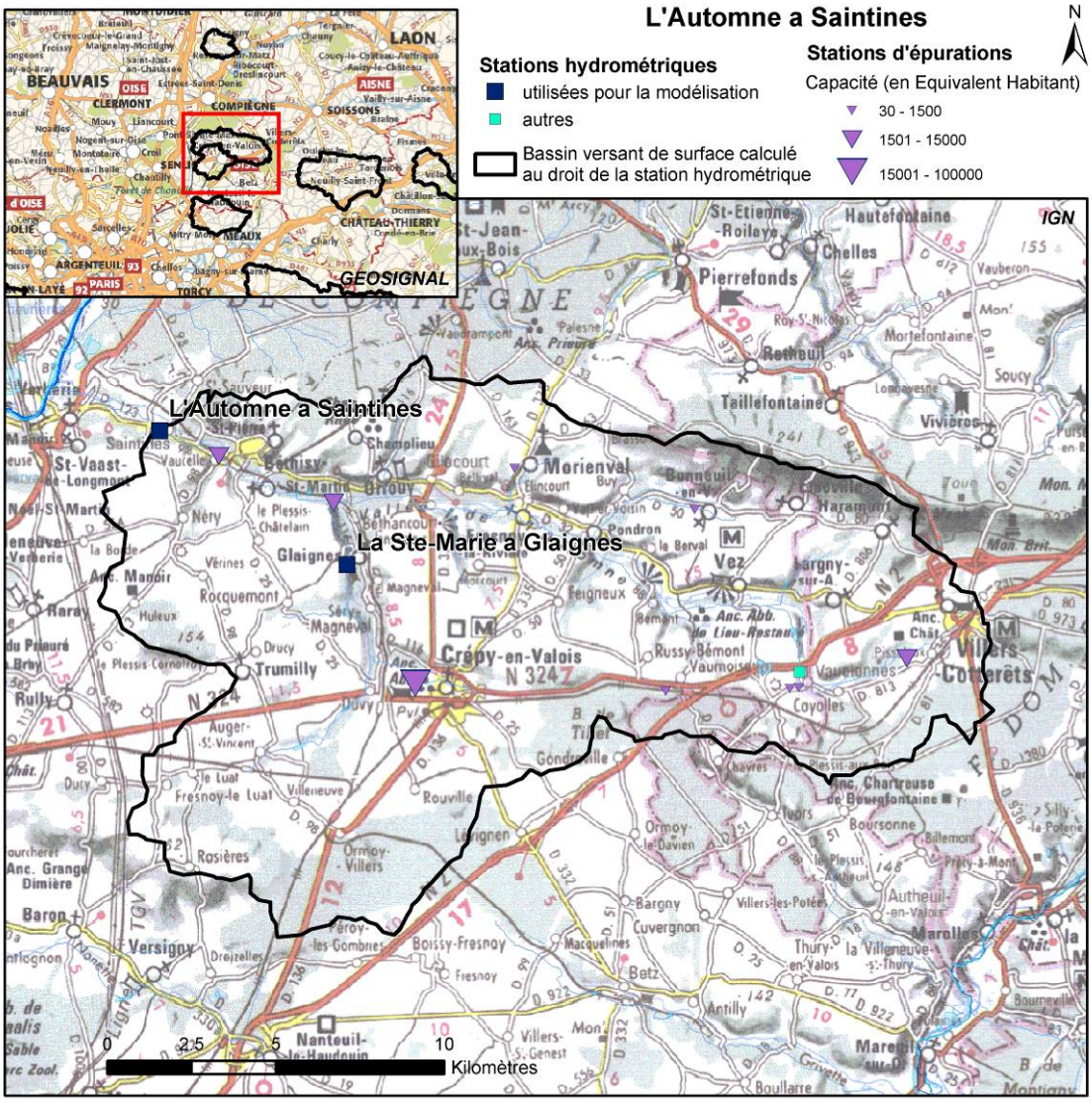


Illustration 116 : Localisation du bassin versant de l'Automne (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

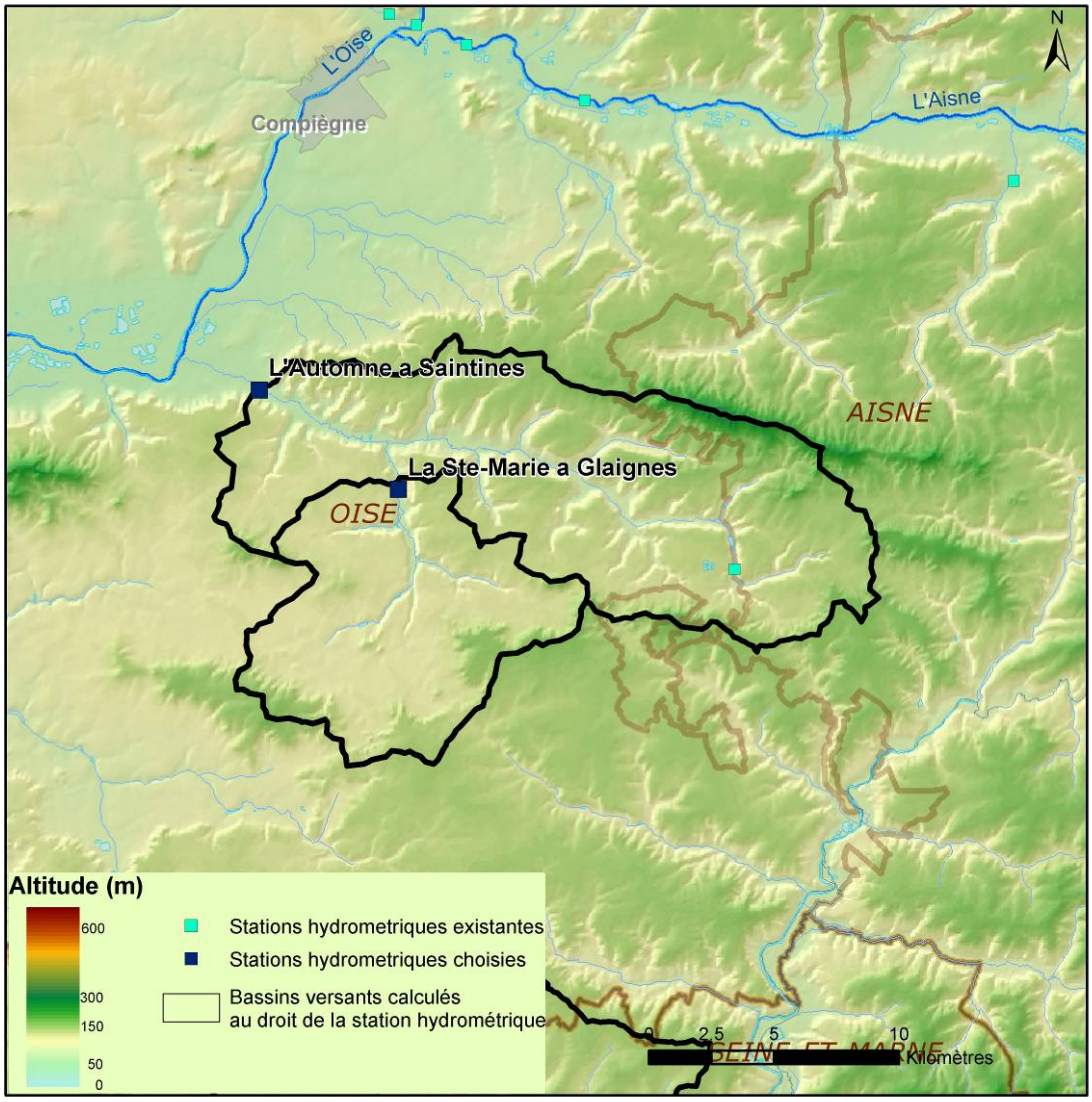


Illustration 117 : Altitude des terrains dans le bassin versant de l'Automne (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

L'altitude du bassin versant de l'Automne s'échelonne de 242 à 36 m NGF, avec une moyenne de 116 m et une médiane de 119 m environ. Les terrains les plus élevés sont dans le nord-est du bassin.

b) Pentes

La carte des pentes du bassin de l'Automne (cf. Illustration 118) fait apparaître l'existence d'un plateau d'extension importante, dans lequel l'Automne et son affluent, la Sainte-Marie, sont venus s'encaisser profondément (pentes supérieures à 20%

autour des vallées). La pente maximale atteint 42% et la pente moyenne sur le bassin versant est de 6,4%. Les fortes pentes occupent 38% du territoire.

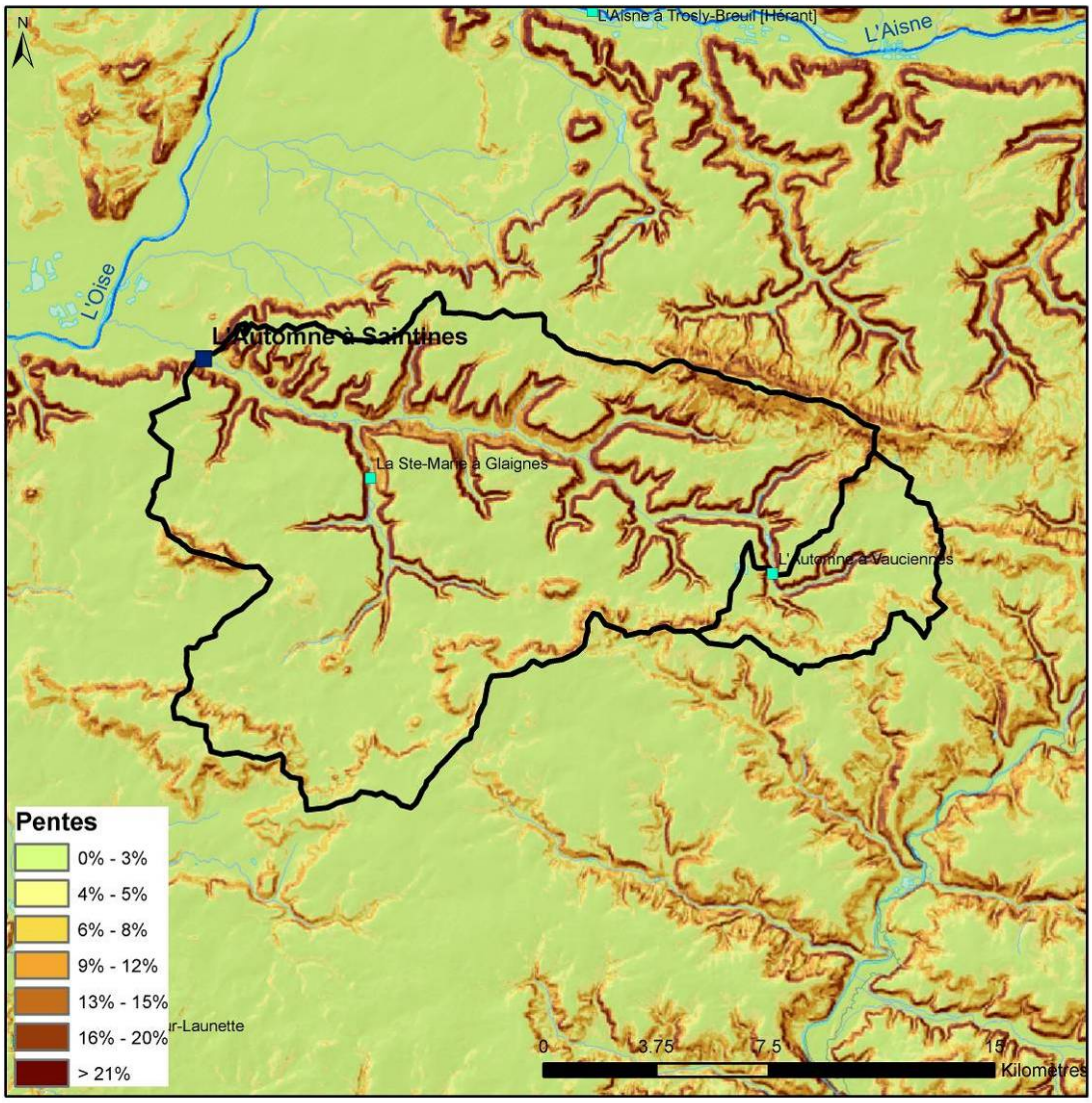


Illustration 118 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Automne (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

Cet encaissement des vallées par rapport aux zones d'infiltration vers l'aquifère qui est en lien avec les cours d'eau joue un rôle important dans la mesure où il est susceptible d'engendrer un écart de charge piézométrique élevé entre le niveau de la nappe sous les plateaux et le niveau de la nappe en fond de vallée.

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- à 59% par des zones agricoles hétérogènes ;
- à 33% par des prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives ;
- à 7% par des zones urbanisées industrialisées ;
- le reste du territoire est occupé par des zones naturelles, des vergers, ainsi que par des mines, décharges et chantiers.

Il s'agit donc globalement d'un bassin versant agricole, à emprise urbaine moyenne.

Trois stations d'épuration sont situées dans le lit majeur de l'Automne (cf. Illustration 116), dont une à moins de 2 km de la station hydrométrique de Saintines.

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 10. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (279 km²), ils correspondent à une lame d'eau variant de 0,1 à 0,6 mm.

Annee	Prel_Irrigation
1995	24 784
1996	43 770
1997	102 211
1998	110 450
1999	99 909
2000	48 849
2001	81 292
2002	89 992
2003	165 308
2004	133 760
2005	155 746
2006	120 010

Tableau 10 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de l'Automne

Les prélèvements pour l'AEP atteignent environ 4 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 14,3 mm. À cela s'ajoutent environ 500 000 m^3 de prélèvements pour l'industrie (lame d'eau moyenne annuelle de 1,8 mm).

4.3.2. Climatologie

Le bassin versant de l'Automne reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 750 mm environ (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Cela correspond à une pluviométrie moyenne pour la partie centrale est du bassin Seine-Normandie.

Les données de trois stations hydrométriques ont été utilisées pour la modélisation, deux pour leur chronique de pluie, une pour ses chroniques d'évapotranspiration et de pluie. Il s'agit de :

- Fresnoy-la-Rivière (type 4, création de la station en octobre 1932), située au cœur du bassin versant, dans la vallée ;
- Passy-en-Valois (type 2, création de la station en mai 1987), située à moins de 10 km à l'amont du bassin versant. Cette station reçoit en moyenne annuelle une pluviométrie voisine de celle du bassin versant. On dénombre trois décades manquantes : du 11 au 20 avril 2008 et du 21 mai au 10 juin 2008. La modélisation nécessitant des chroniques continues, ces décades manquantes ont été comblées à l'aide des données de la station météorologique de Creil ;
- Creil (type 1, création de la station en janvier 1950), située à une vingtaine de kilomètres à l'O-S-O de la station hydrométrique de Saintines. Cette station dispose de chroniques pluviométrique et d'évapotranspiration Penman. La pluviométrie moyenne annuelle est un peu inférieure à celle du bassin versant.

Un calcul de pluie optimale a été effectué à partir des trois chroniques pluviométriques citées précédemment. Il a conduit à ne retenir que la chronique de Fresnoy-la-Rivière.

4.3.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

La carte géologique au 1/250 000 correspondant au bassin versant de l'Automne à Saintines est présentée en Illustration 119. De même que pour le bassin de l'Ourcq à Chouy, les formations géologiques rencontrées à l'affleurement dans ce secteur datent du Tertiaire.

Les plateaux évoqués précédemment sont constitués par les calcaires du Lutétien (formation e5 sur la carte), formation géologique majoritairement présente à l'affleurement dans le bassin versant. En bordure du bassin versant, sont aussi rencontrés les sables et calcaires du Bartonien (formation e6), ainsi que des formations plus récentes en limite nord-est (formation du gypse, argile verte, sables de Fontainebleau : leur extension est très limitée).

L'Automne a profondément entaillé les calcaires lutétiens, si bien que l'on rencontre en fond de vallée les sables de Cuise (formation e3-4). Ceux-ci sont séparés des calcaires du Lutétien par un niveau appelé « argiles de Laon ». Cette formation, d'une épaisseur de 2 à 3 m maximum est constituée dans ce secteur par des « sables grossiers ou fins avec des lits d'argiles décimétriques » (extrait de la notice de la carte géologique de Villers-Cotterêts). Ces argiles de Laon sont discontinues, ayant été localement érodées. De part leur nature, leur faible épaisseur et cette extension discontinue, cette formation ne constitue pas dans ce secteur un niveau imperméable à proprement parler. Des connexions hydrauliques existent donc entre les sables du Cuisien présents en fond de vallée et les calcaires du Lutétien sus-jacent.

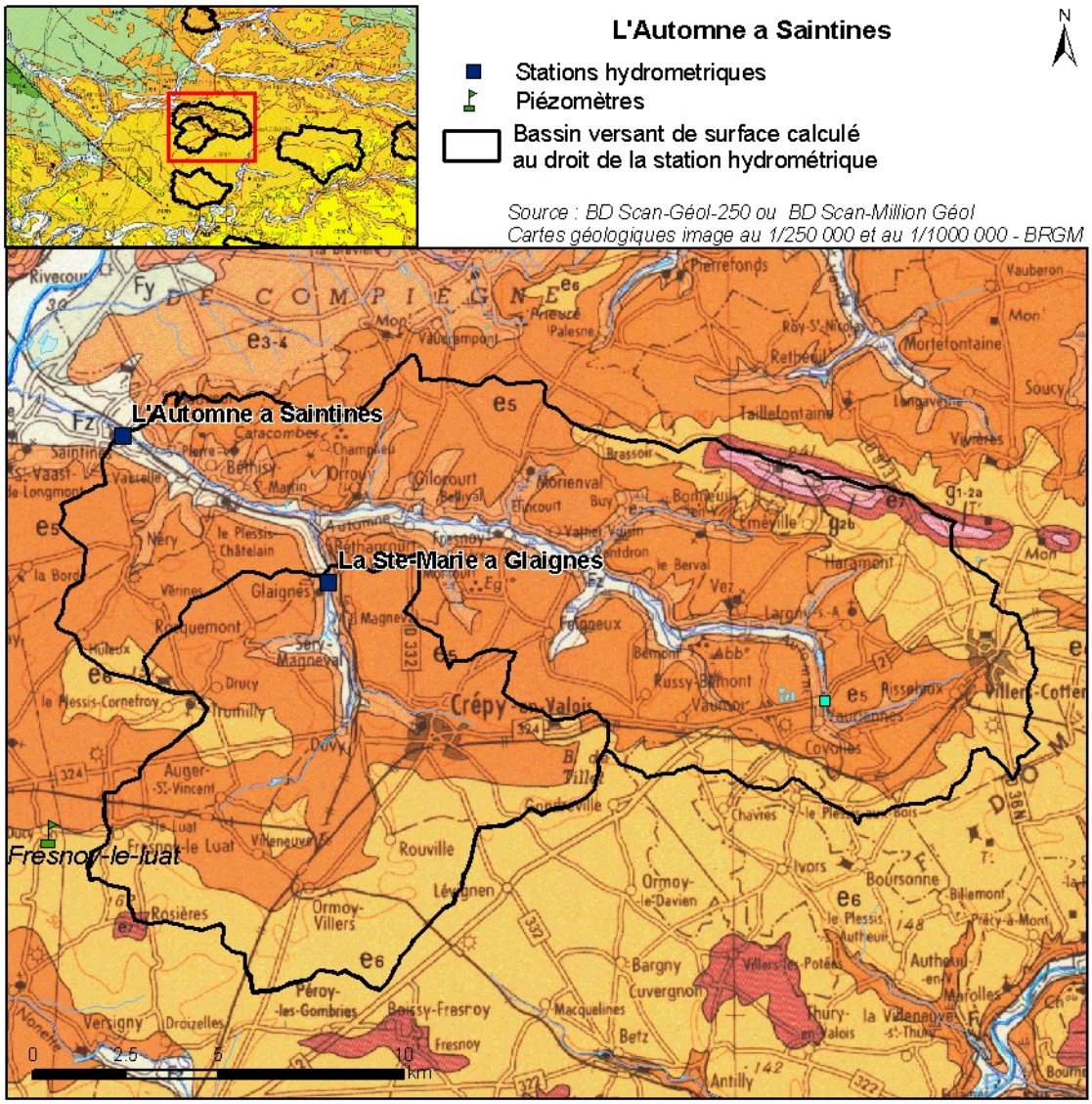


Illustration 119 : Carte géologique du bassin versant de l'Automne

Enfin, l'IDPR médian sur le bassin versant est de 353, ce qui correspond à un terrain assez fortement infiltrant.

Il a été choisi de représenter l'apport des eaux souterraines dans le débit de l'Automne en utilisant le piézomètre de Fresnoy-le-Luat (indice national : 01287X0017/S1), situé à 1 km environ au sud-ouest du bassin versant et captant les calcaires du Lutétien.

b) Piézométrie

Le piézomètre de Fresnoy-le-Luat dispose d'une chronique (cf. Illustration 120) démarrant le 14/03/1974.

Cette chronique comporte 5 interruptions de plus de 100 jours : du 10/04/1980 au 17/10/1980, du 15/09/1985 au 15/01/1986, du 04/07/1991 au 16/10/1991, du 27/05/1992 au 28/09/1992 et du 17/06/1994 au 29/09/1994.

La fréquence d'acquisition des données est mensuelle à hebdomadaire puis quotidienne à partir du 23 novembre 1994.

La chronique présente des fluctuations saisonnières assez faiblement marquées, ainsi que des fluctuations interannuelles.

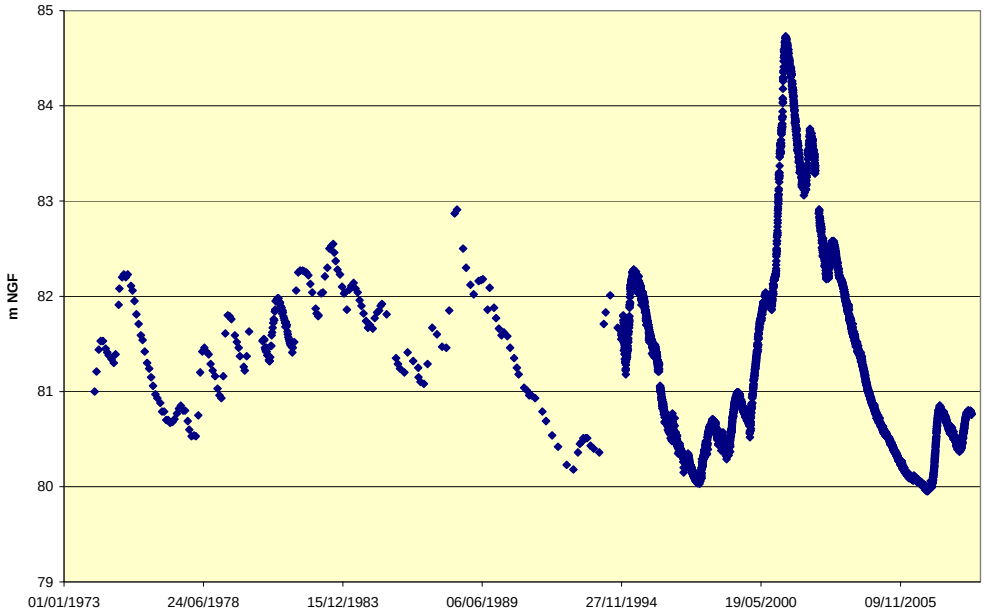


Illustration 120 : Chronique piézométrique de Fresnoy-le-Luat (indice national : 01287X0017/S1)

4.3.4. Hydrologie

L'Automne s'écoule globalement de l'ESE vers l'ONO. Son débit est connu au travers des stations hydrométriques de Vauciennes (bassin versant de 32 km² d'après la banque HYDRO, code HYDRO : H7513030) et de Saintines (bassin versant de 279 km²). Les deux stations présentent un profil de débits mensuels similaires, avec notamment une très faible amplitude de fluctuations (voir le profil de la station de Saintines en Illustration 121).

La station modélisée est celle de Saintines (code HYDRO : H7513010).

La chronique de débit journalier démarre le 15 juillet 1968 et comporte 3 interruptions de plus de 5 jours : du 17/11/1970 au 31/12/1970, du 16/11/1975 au 17/03/1976 et du 22/01/2006 au 02/04/2006.

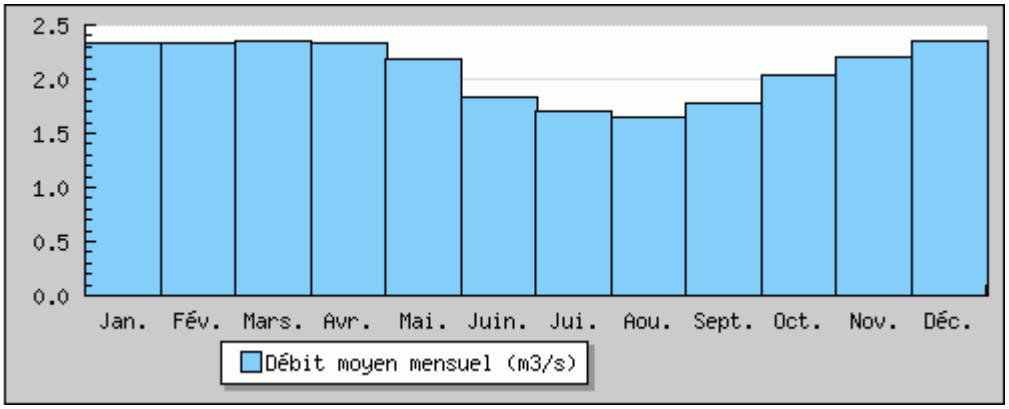


Illustration 121 : Débit moyen mensuel de l'Automne à la station hydrométrique de Saintines (source : Banque HYDRO)

La lame d'eau moyenne annuelle est de 236 mm. Les débits journaliers connus s'échelonnent de 7,04 m^3/s à 0,834 m^3/s. Le cours d'eau est peu réactif à de fortes pluviométries et est fortement soutenu par les apports de la nappe.

Le QMNA5 est de 1,3 m^3/s pour un bassin versant d'une superficie égale à 279 km^2.

4.3.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de l'Automne à Saintines a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : Fresnoy-la-Rivière ;
- évapotranspiration : Creil ;
- piézométrie : piézomètre de Fresnoy-le-Luat.

La modélisation du piézomètre a été effectuée avec les mêmes données météorologiques. Elle fournit un très bon résultat, avec un coefficient de Nash égal à 0,94 sur la période allant du 16/07/1993 au 31/07/2008 (cf. Illustration 122).

Cette modélisation a été effectuée en considérant une composante « lente » égale à 1400 jours, ce qui correspond à un système aquifère inertiel.

La modélisation du débit de la rivière (cf. Illustration 123) a été réalisée avec un coefficient de Nash de 0,72. On s'est attaché à reproduire la tendance générale des fluctuations et non les fluctuations rapides, le cas échéant influencées par l'anthropisation du cours d'eau (rejets de STEP).

L'Illustration 124 montre la part des différentes composantes du débit modélisé. On retrouve bien le soutien très important du débit par la nappe (courbe verte « lente »), ainsi que l'existence d'un ruissellement faible (courbe bleue « rapide »).

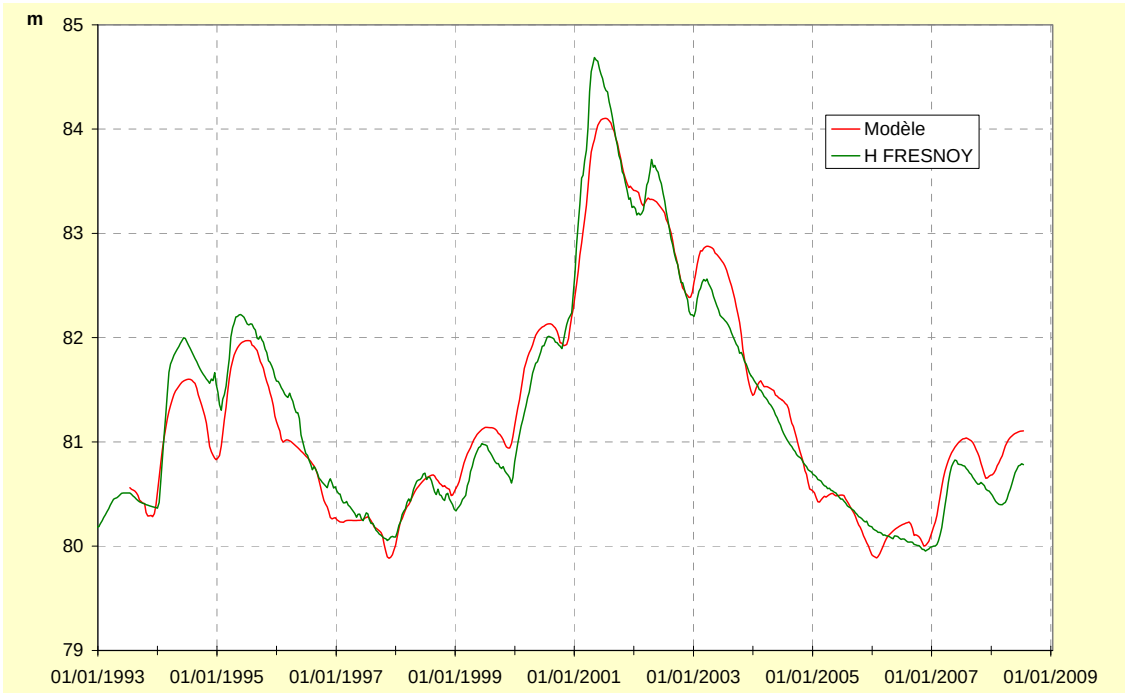


Illustration 122 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Fresnoy-le-Luat

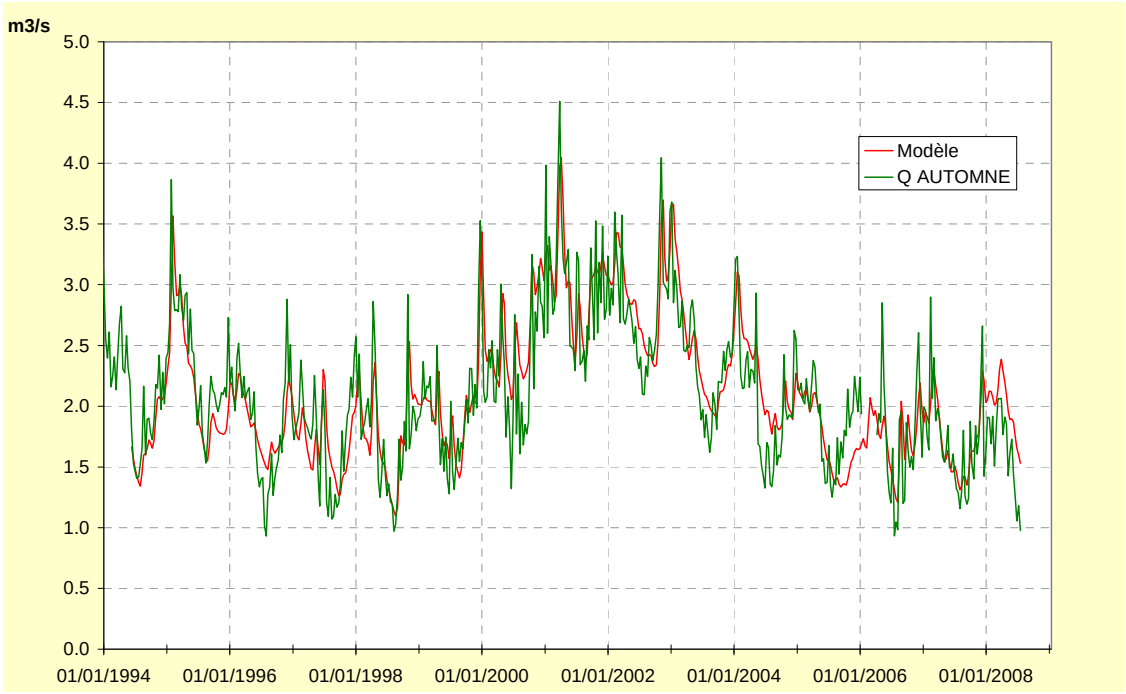


Illustration 123 : Modélisation du débit de l'Automne à la station de Saintines

L'Illustration 125 – qui présente la décomposition des débits moyens mensuels modélisés – confirme le fort soutien du débit par la nappe tout au long de l'année et l'existence d'un ruissellement faible.

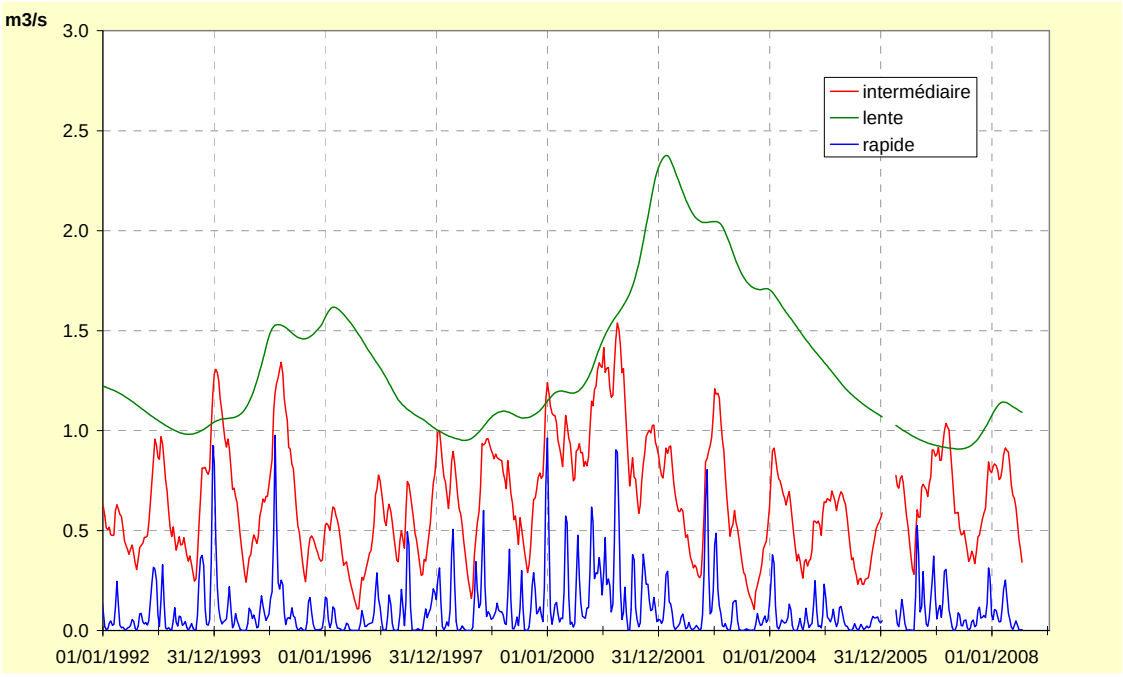


Illustration 124 : Composantes du débit de l'Automne modélisé à la station de Saintines

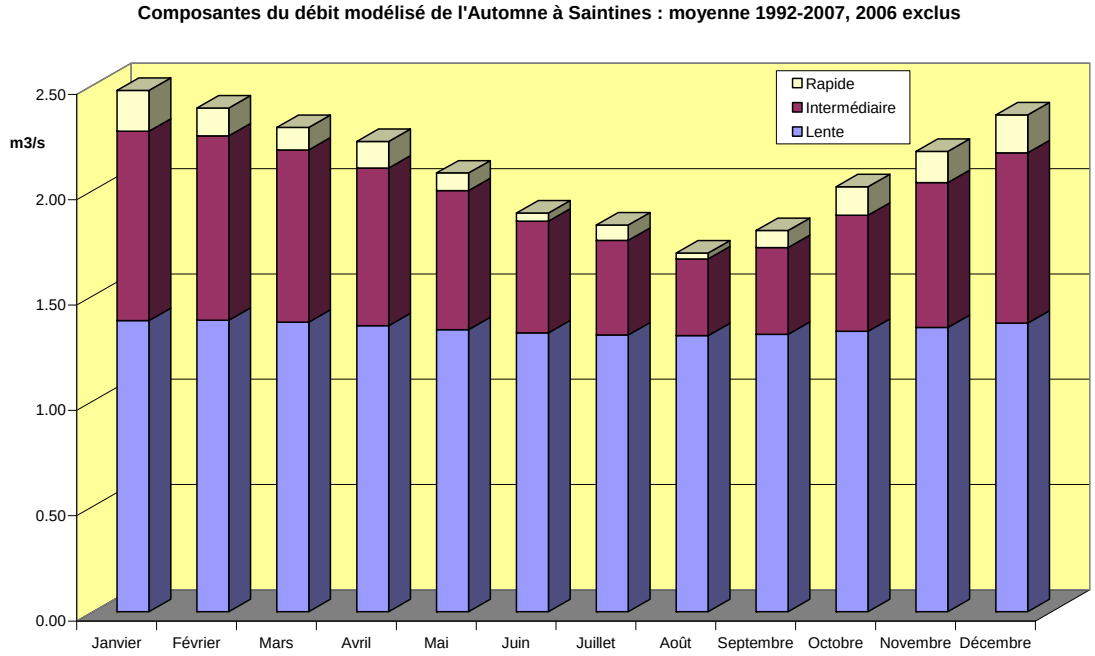


Illustration 125 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Automne modélisé à la station de Saintines

4.4. BASSIN VERSANT DE LA DIVETTE

4.4.1. Caractéristiques du bassin versant

Le bassin versant de la Divette se situe dans le département de l'Oise. Il couvre une superficie de 74 km². La Divette se jette dans l'Oise à l'amont de Compiègne, en rive droite.

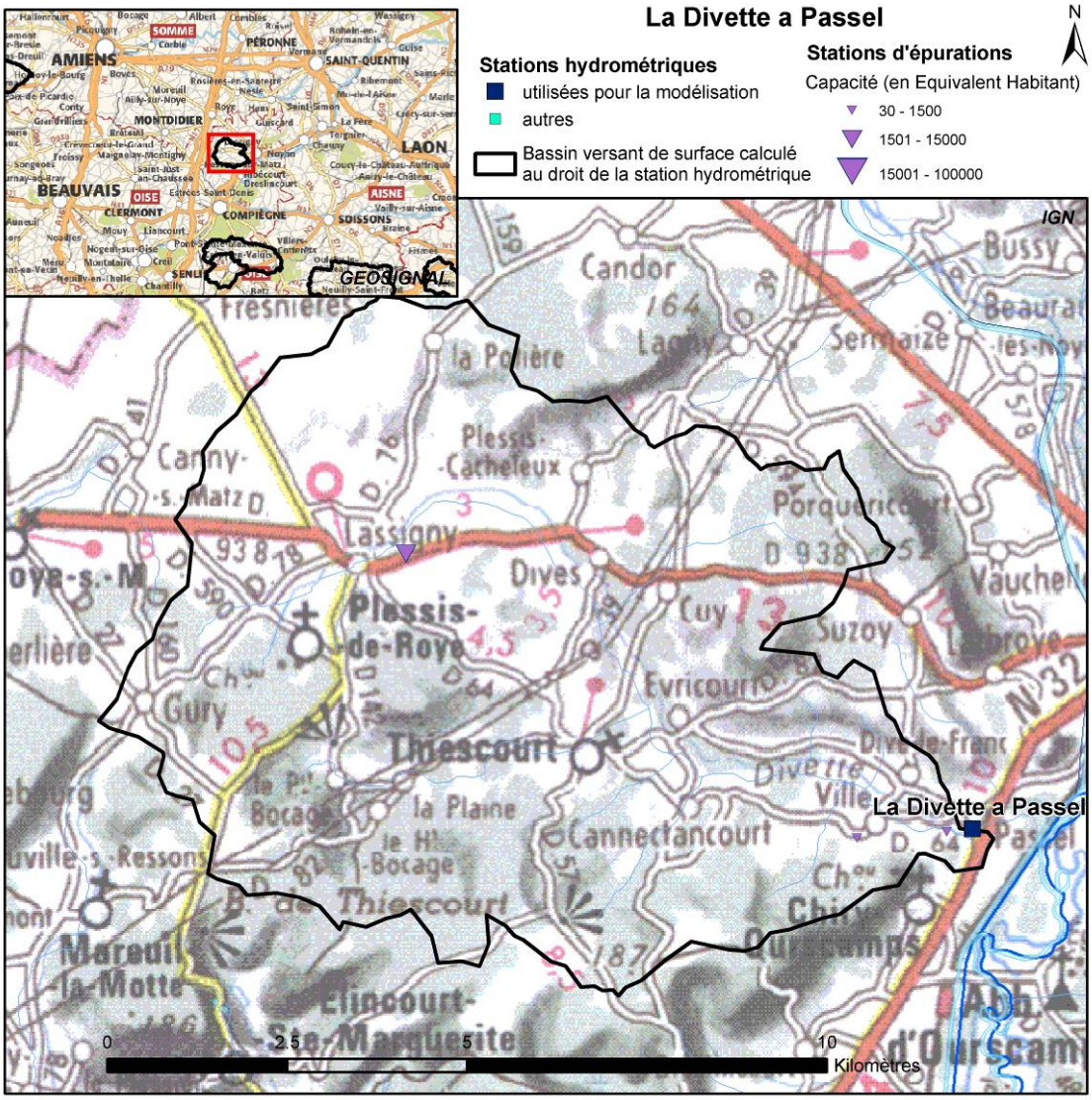


Illustration 126 : Localisation du bassin versant de la Divette (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

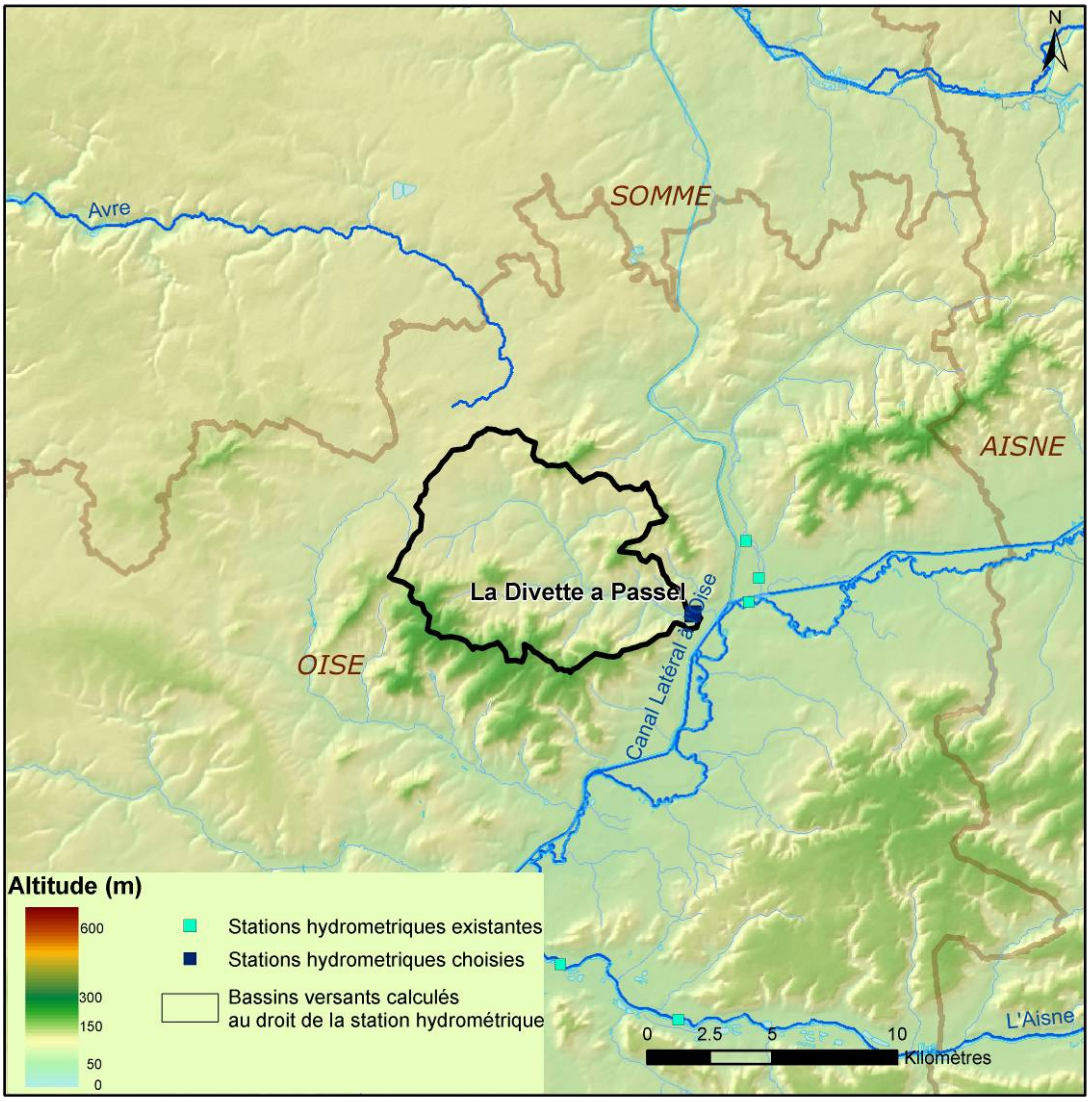


Illustration 127 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Divette (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

L'altitude des terrains dans le bassin versant de la Divette s'échelonne de 187 à 39 m NGF, avec une moyenne de 92,5 m et une médiane de 85 m. L'écart entre les valeurs moyenne et médiane fait apparaitre l'existence d'une hétérogénéité dans le bassin versant : on observe en effet un contraste important entre le relief marqué généré par les terrains de l'Éocène situés en bordures sud et nord et celui plus mou engendré par des terrains crayeux surmontés des terrains sableux du Paléocène (bordure ouest). On peut se reporter à l'Illustration 129 pour les aspects géologiques.

b) Pentes

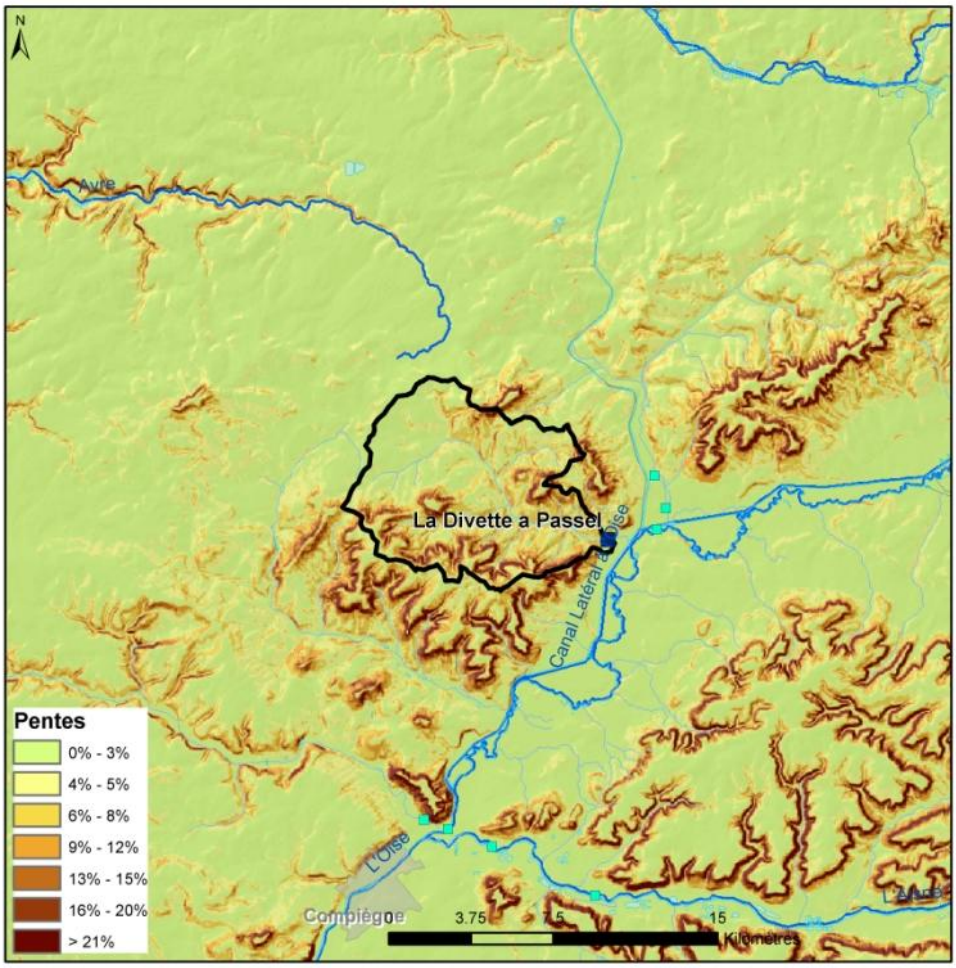


Illustration 128 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Divette (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

La pente moyenne sur le bassin versant est de 6,1% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN) avec une pente maximale de 36%. Les pentes supérieures à 5% occupent près de 50% du territoire. Ce chiffre élevé masque néanmoins la diversité du relief évoqué précédemment, les pentes les plus importantes se situant au niveau des buttes d'âge Éocène.

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- zones agricoles hétérogènes : 57% ;
- prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives : 36% ;
- zones urbanisées industrialisées : 7%.

Il s'agit donc globalement d'un bassin versant agricole, à emprise urbaine moyenne. Le haut des buttes d'âge Éocène est boisé.

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 11. Les volumes annuels ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (74 km²), ils correspondent à une lame d'eau annuelle demeurant inférieure à 0,15 mm.

Annee	Prel_Irrigation
1995	2 112
1996	1 744
1997	3 027
1998	3 080
1999	2 875
2000	804
2001	368
2002	3 819
2003	10 021
2004	4 231
2005	2 337
2006	2 292

Tableau 11 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Divette

Les prélèvements pour l'AEP atteignent environ 410 000 m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 5,5 mm. À cela s'ajoutent 430 000 m^3 par an pour l'industrie (lame d'eau moyenne annuelle de 5,8 mm).

4.4.2. Climatologie

Le bassin versant de la Divette reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 730 mm environ (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Cela correspond à une pluviométrie moyenne pour la partie nord du bassin Seine-Normandie.

Les données de trois stations hydrométriques ont été utilisées pour la modélisation, deux pour leur chronique de pluie, une pour sa chronique d'évapotranspiration. Il s'agit de :

- Ribecourt-Dreslincourt (type 2, création de la station en novembre 1970), située à 2,5 km au sud du bassin versant, dans la vallée de l'Oise. La pluviométrie moyenne annuelle est d'un ordre de grandeur équivalent à celle du bassin versant ;
- Candor (type 4, création de la station en novembre 1970), située à 2,5 km au nord du bassin versant. La pluviométrie moyenne annuelle est d'un ordre de grandeur équivalent à celle du bassin versant ;
- Fontaine-lès-Clercs (à proximité de Saint-Quentin dans l'Aisne ; station de type 1, créée en janvier 1933), située à une trentaine de kilomètres au Nord-Est du bassin

versant. Cette station dispose d'une chronique d'évapotranspiration Penman au pas décadaire.

La pluie optimale obtenue est :

$$P_{opt} = 80\% \text{ Candor} + 20\% \text{ Ribecourt-Dreslincourt}$$

4.4.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

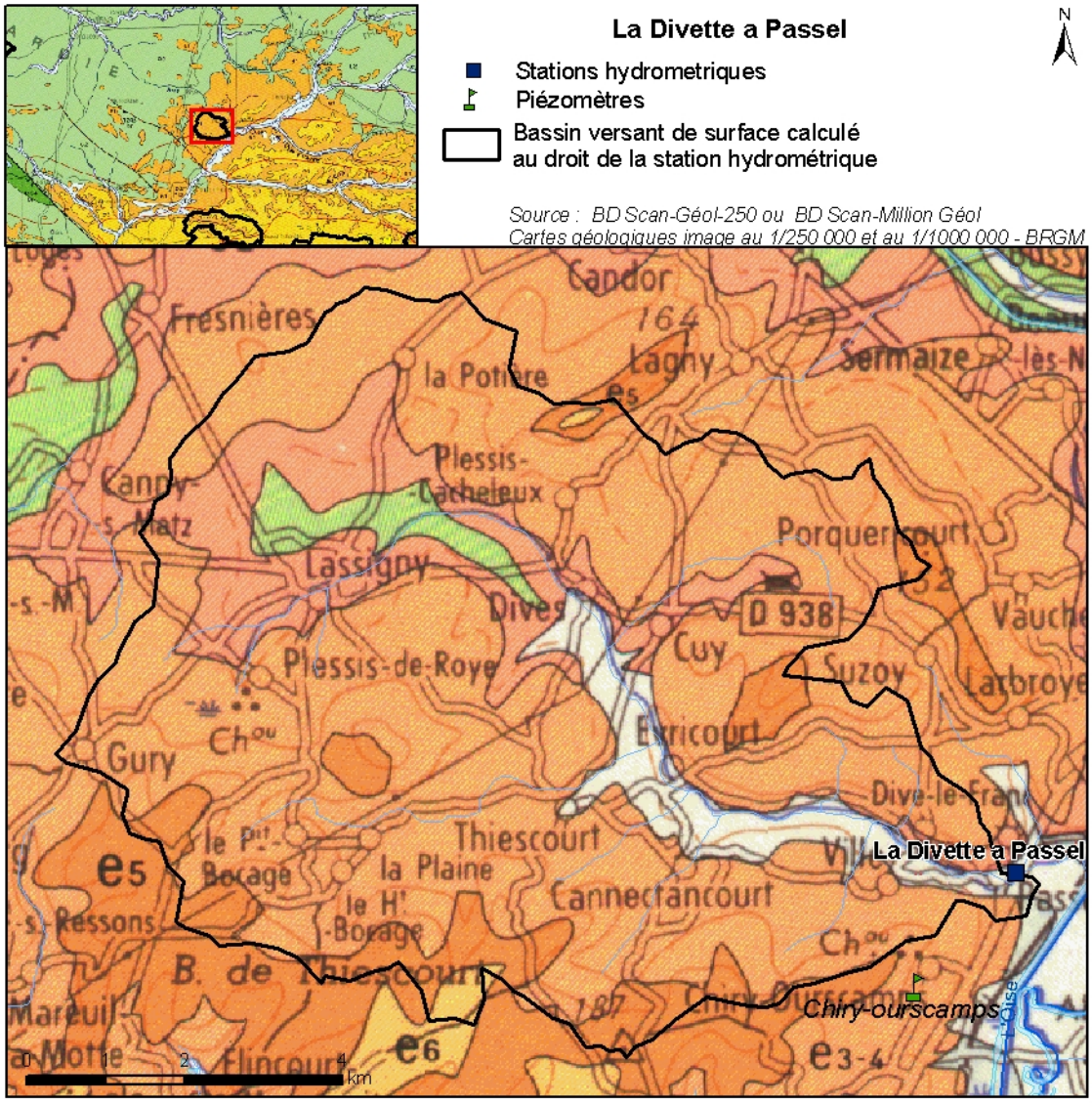


Illustration 129 : Carte géologique du bassin versant de la Divette

Le bassin versant de la Divette s'est constitué dans les terrains tertiaires du Noyonnais, en limite nord-ouest de leur présence dans le bassin de Paris. La craie sénonienne affleure néanmoins très localement, dans la partie amont du bassin versant, en fond de vallée (en vert sur la carte). Les terrains rencontrés datent du Paléocène (comme les sables de Bracheux, notamment dans la partie ouest du bassin versant) et de l'Éocène (notamment en bordures sud et nord).

Mises à part les formations superficielles et la craie sénonienne, les formations géologiques rencontrées en ou à proximité du fond de vallée sont :

- les sables de Bracheux (ou sables du Thanétien) ;
- les marnes de Sinceny (Thanétien) ;
- les argiles du Sparnacien ;
- les sables du Cuisien (non présent en zone alluviale).

Ces deux dernières formations sont représentées en un seul ensemble e3-4 sur l'Illustration 129.

Des formations plus récentes sont présentes à l'affleurement sur le haut des buttes.

Les aquifères susceptibles d'influer sur le débit de la Divette sont constitués par :

- les sables du Cuisien (bien que sus-jacents à la zone alluviale, une alimentation diffuse au travers des formations de pente étant possible) ;
- les sables de Bracheux, en connexion hydraulique avec la craie sous-jacente (absence dans ce secteur des argiles de Vaux-sous-Laon).

Il n'existe pas dans ce secteur de piézomètre captant les sables de Bracheux.

Le piézomètre de Chiry-Ourscamps (00825X0107/S1), situé à moins de 2 km de la station hydrométrique de Passel et captant les sables de Cuise, a été utilisé pour la modélisation.

b) Piézométrie

La chronique piézométrique de Chiry-Ourscamps (cf. Illustration 130) démarre le 15/03/1974 avec une fréquence mensuelle voire occasionnellement hebdomadaire, puis quotidienne à partir du 25/10/1994.

On dénombre 5 interruptions de la chronique de plus de 100 jours : du 3 avril au 5 octobre 1980, du 03/09/1985 au 11/01/1986, du 6 juillet au 17 octobre 1991, du 28 mai au 28 septembre 1992 et du 22/10/1993 au 24/10/1994.

La chronique présente des fluctuations saisonnières, ainsi que des fluctuations interannuelles. Le battement moyen annuel de la nappe est faible (0,8 m/an).

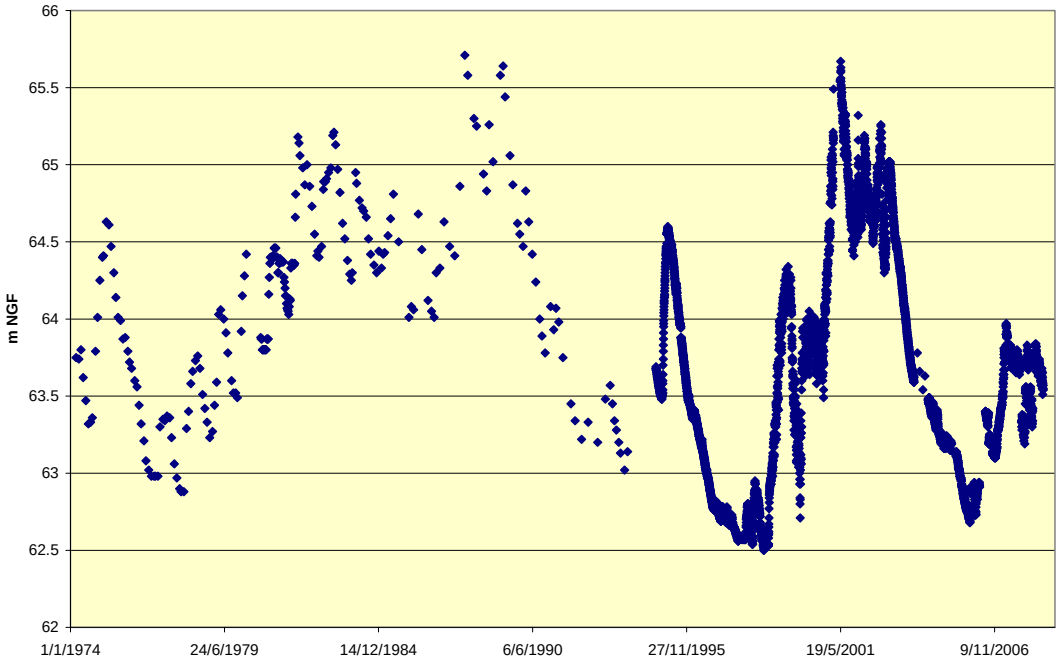


Illustration 130 : Chronique piézométrique de Chiry-Ourscamps (indice national : 00825X0107/S1)

4.4.4. Hydrologie

Le débit de la Divette est connu au travers de la station hydrométrique de Passel (code HYDRO : H7413210). La chronique de débit journalier démarre le 01/09/1971 ; elle s'interrompt du 30/07/1992 au 31/12/1999.

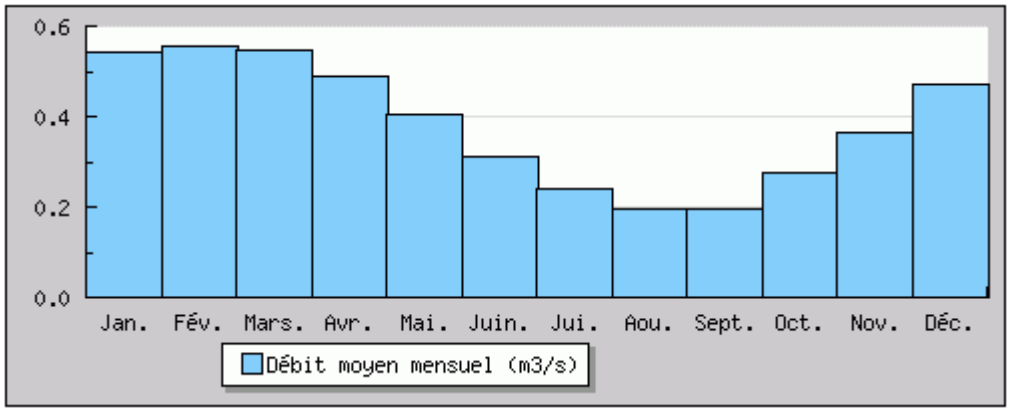


Illustration 131 : Débit moyen mensuel de la Divette à la station hydrométrique de Passel (source : Banque HYDRO)

Les basses eaux sont rencontrées en août-septembre et les hautes eaux en février. La lame d'eau moyenne annuelle est de 168 mm, soit une valeur faible par rapport à la

moyenne sur le bassin Seine-Normandie. Le débit journalier maximum connu est supérieur à 14,2 m^3/s et le minimum connu est de 0,081 m^3/s, soit une amplitude assez forte. L'Illustration 131 montre le débit moyen mensuel (source : banque HYDRO) et notamment l'existence d'un soutien du cours d'eau par la nappe en période d'étiage.

Le QMNA5 est de 0,14 m3/s pour un bassin versant d'une superficie de 74 km².

4.4.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de la Divette a été réalisée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : pluie optimale (80% Candor + 20% Ribecourt-Dreslincourt), calculée au pas décadaire sur la période allant du 01/01/1974 au 31/07/2008 ;
- ETP : données décadaires de la station de Fontaine-les-Clercs ;
- piézométrie : piézomètre de Chiry-Ourscamps.

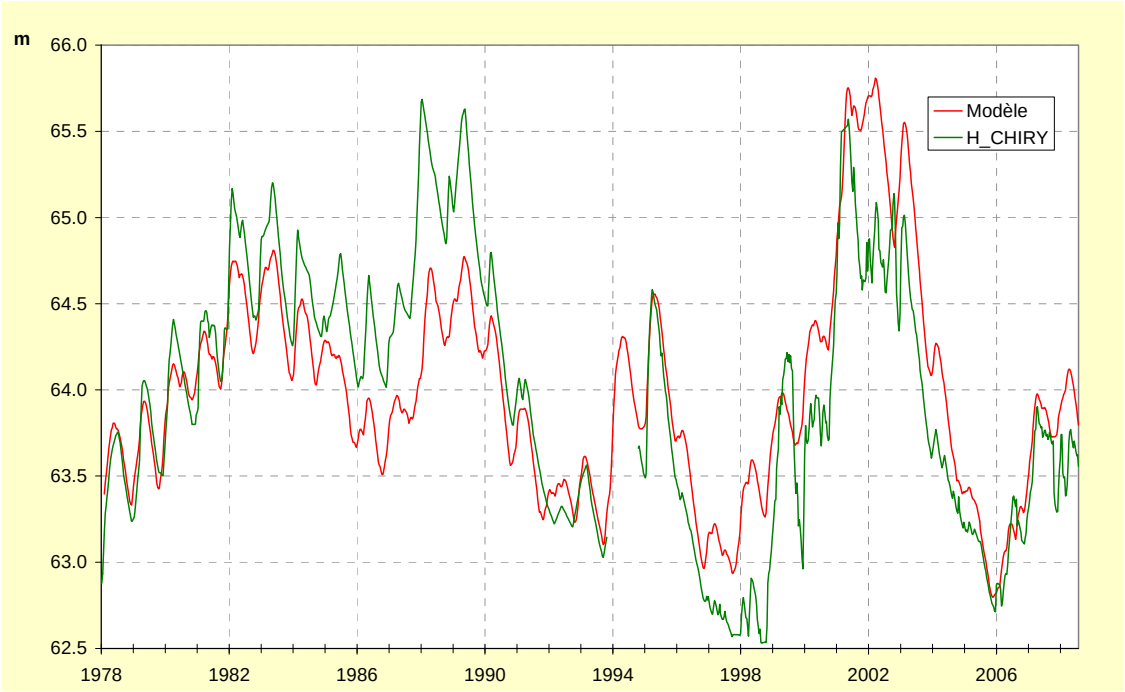


Illustration 132 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Chiry-Ourscamps

La modélisation du piézomètre a été effectuée avec les mêmes données météorologiques. Elle est obtenue avec un coefficient de Nash de 0,68 sur la période allant du 05/02/1978 au 31/07/2008 (cf. Illustration 132). La composante lente de la modélisation est de 1450 jours, ce qui correspond à un système inertiel.

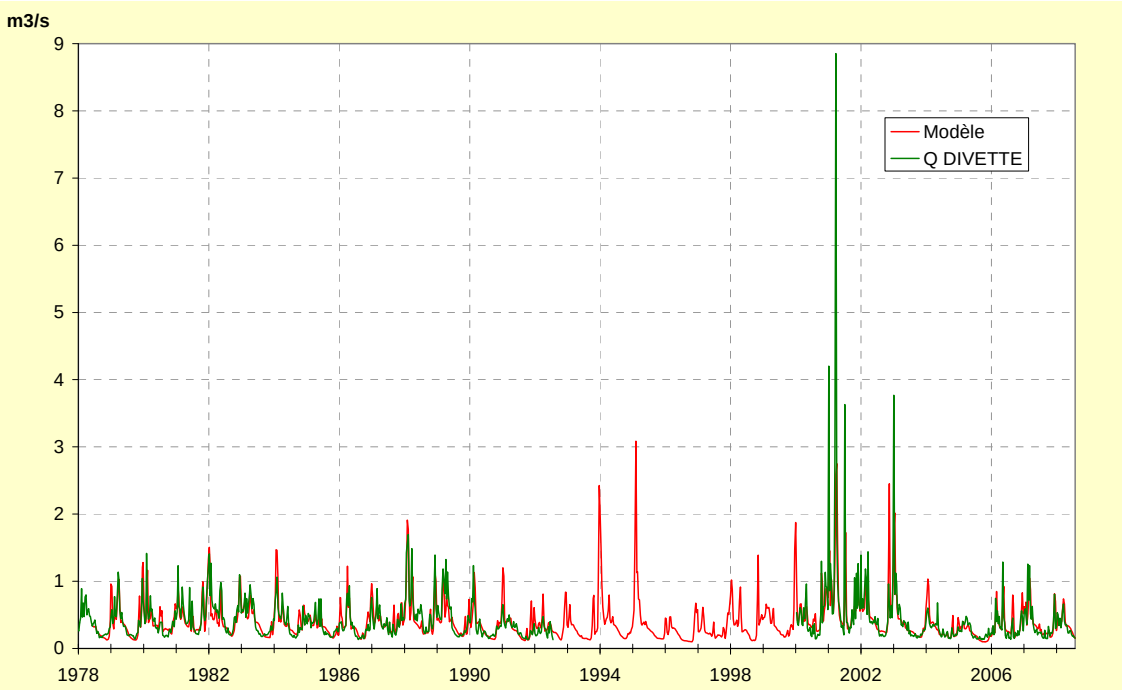


Illustration 133 : Modélisation du débit de la Divette à la station de Passel

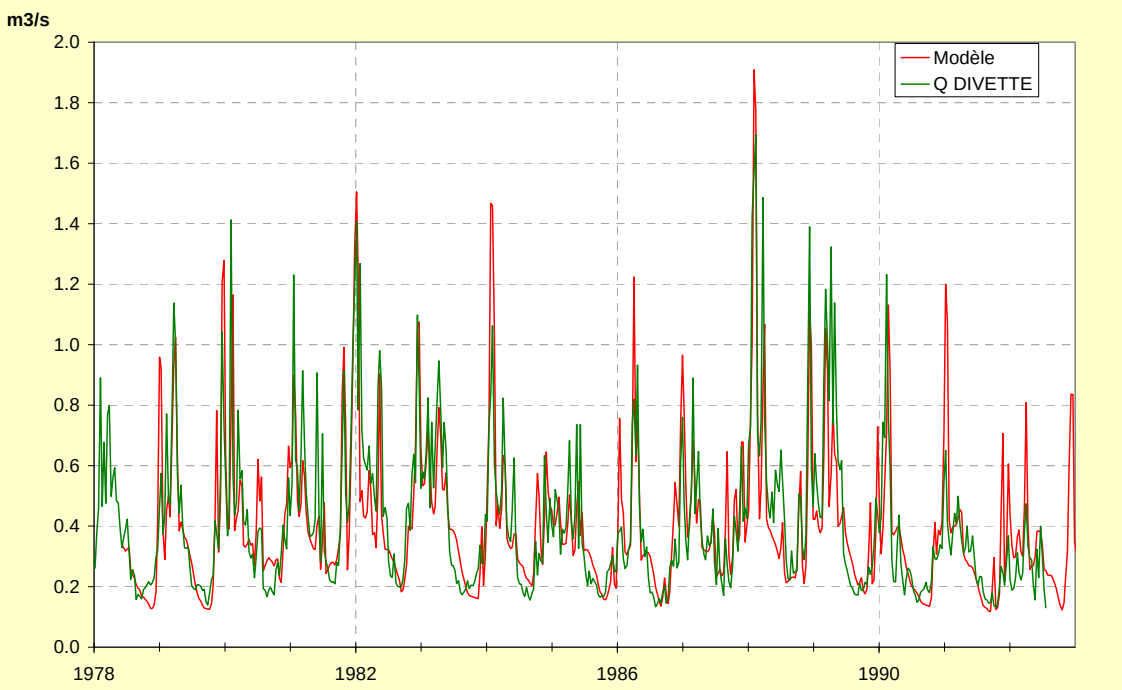


Illustration 134 : Modélisation du débit de la Divette à la station de Passel : zoom sur la période allant du 01/01/1978 au 31/12/1992

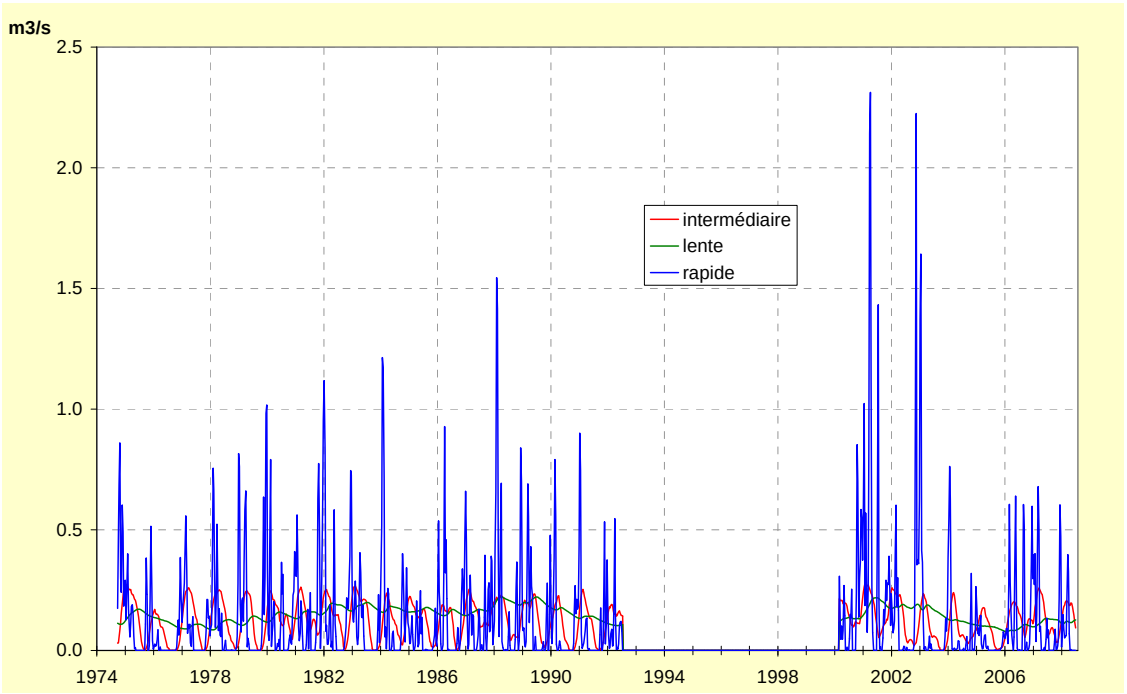


Illustration 135 : Composantes du débit de la Divette modélisé à la station de Passel

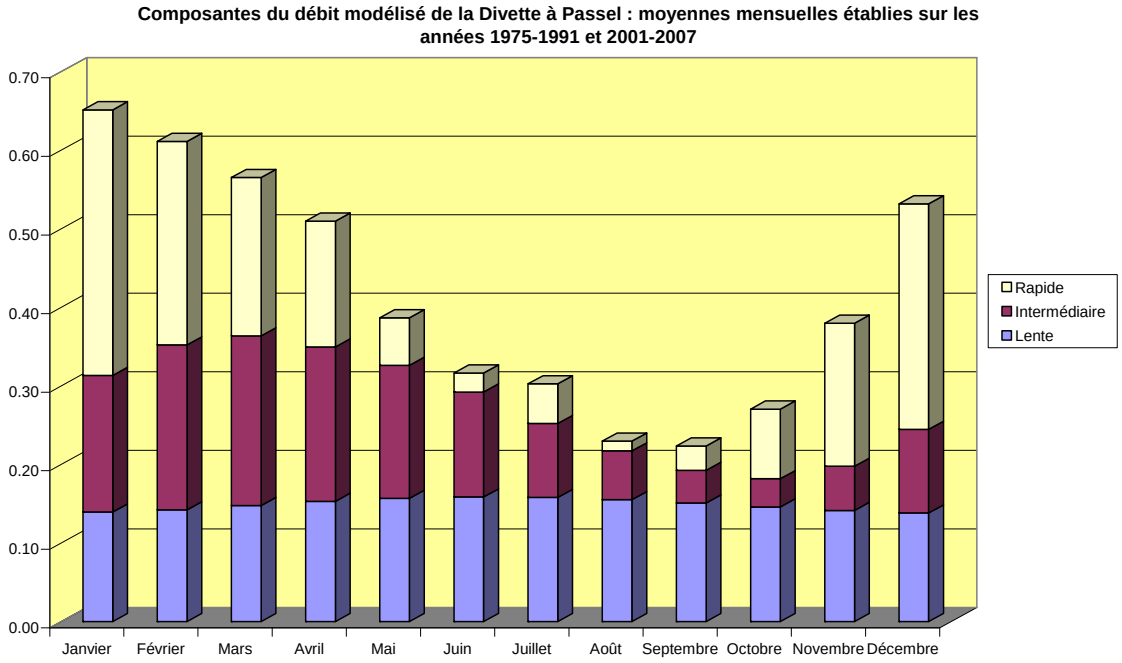


Illustration 136 : Composantes du débit moyen mensuel de la Divette modélisé à la station de Passel

Pour le débit de la Divette (cf. Illustration 133), la mauvaise représentation des pics de crue abaisse considérablement la qualité globale de la modélisation telle qu'indiquée par le coefficient de Nash (0,45 sur la période allant du 05/061978 au 31/07/2008). Néanmoins, la représentation des étiages est bien meilleure (cf. Illustration 134).

La modélisation fait apparaître la part importante du ruissellement (cf. Illustration 135, courbe bleue, « rapide ») dans le débit de la Divette ; celui-ci est néanmoins soutenu tout au long de l'année par un apport souterrain (courbe verte, « lente »).

L'Illustration 136 montre la décomposition du débit moyen mensuel modélisé à la station de Passel. Par observation des débits moyens mensuels totaux et comparaison avec les débits moyens mensuels fournis par la Banque HYDRO (cf. Illustration 131), on note une bonne représentation des étiages mais d'avantage d'écarts en période de hautes eaux. La modélisation effectuée ne saurait donc être utilisée pour représenter les périodes de hautes eaux.

4.5. BASSIN VERSANT DE LA BRESLE

4.5.1. Caractéristiques du bassin versant

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

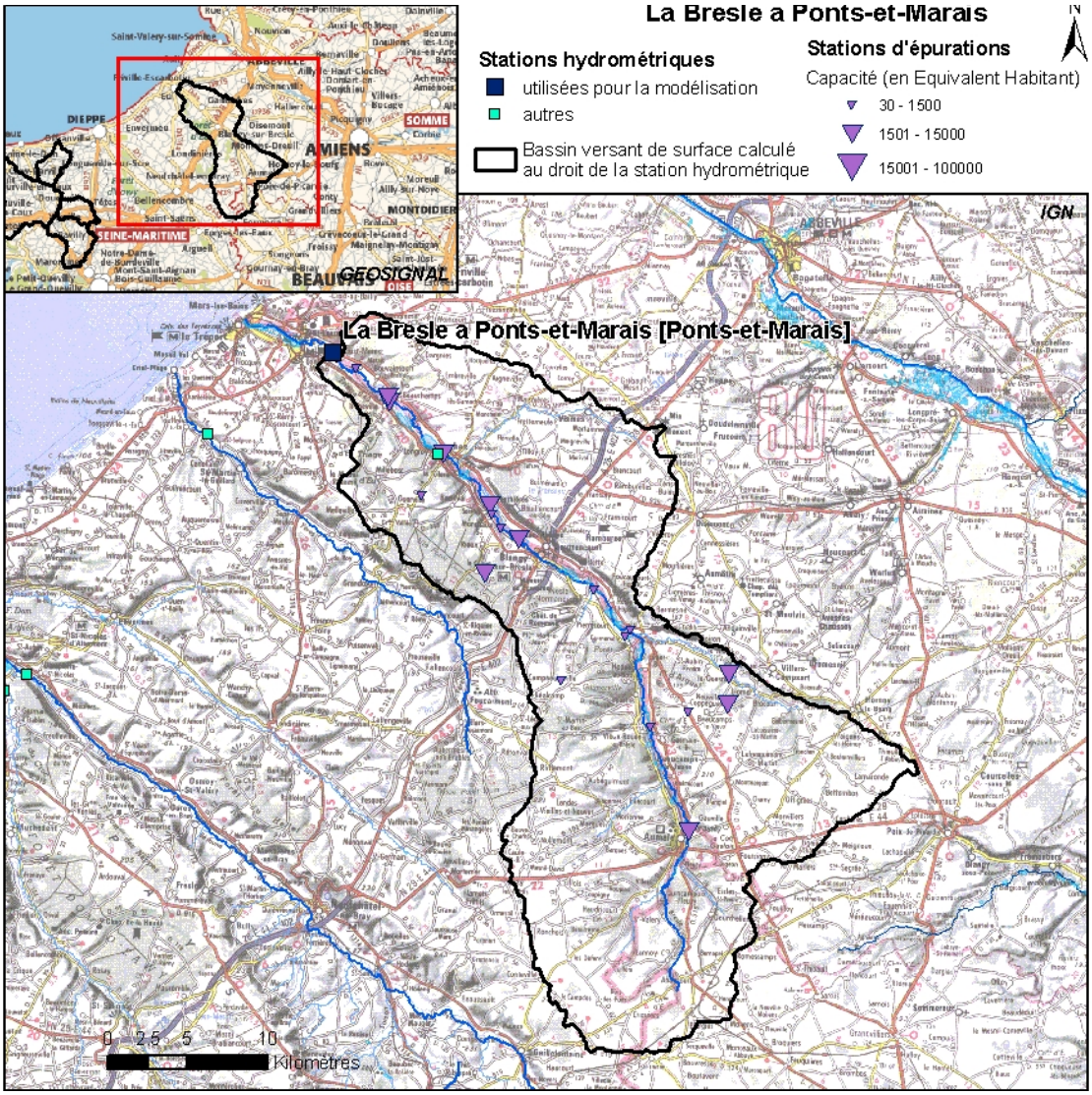


Illustration 137 : Localisation du bassin versant de la Bresle (sources : GEOSIGNAL et IGN)

La Bresle prend sa source à Abancourt dans l'Oise. Elle reçoit les apports de plusieurs petits affluents dont :

- le Liger qui la rejoint à Senarpont ;

- la Vimeuse à Gamaches.

À partir de la confluence avec le Liger, la Bresle s'écoule du SE vers le NO. Son bassin versant à la station hydrométrique de Ponts-et-Marais couvre une superficie de 693 km² (source : Banque HYDRO).

a) Altitudes

L'altitude du bassin versant s'échelonne de 246 à 7 m NGF, avec une altitude moyenne de 156 m.

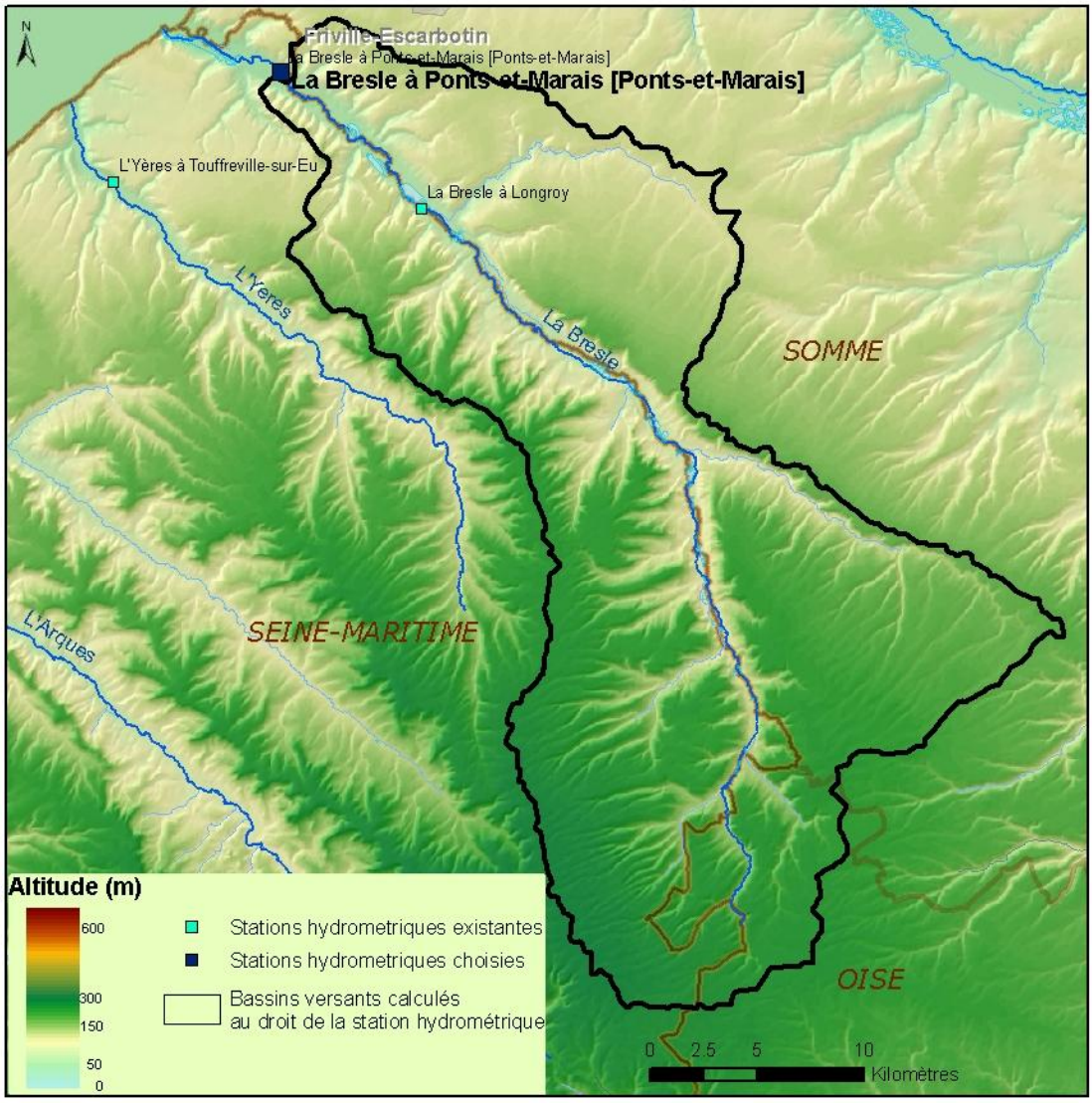


Illustration 138 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Bresle (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant est de 5,7% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN). Les fortes pentes (supérieures à 5%) occupent environ 35% du territoire mais leur répartition est inégale sur le bassin versant (cf. Illustration 139).

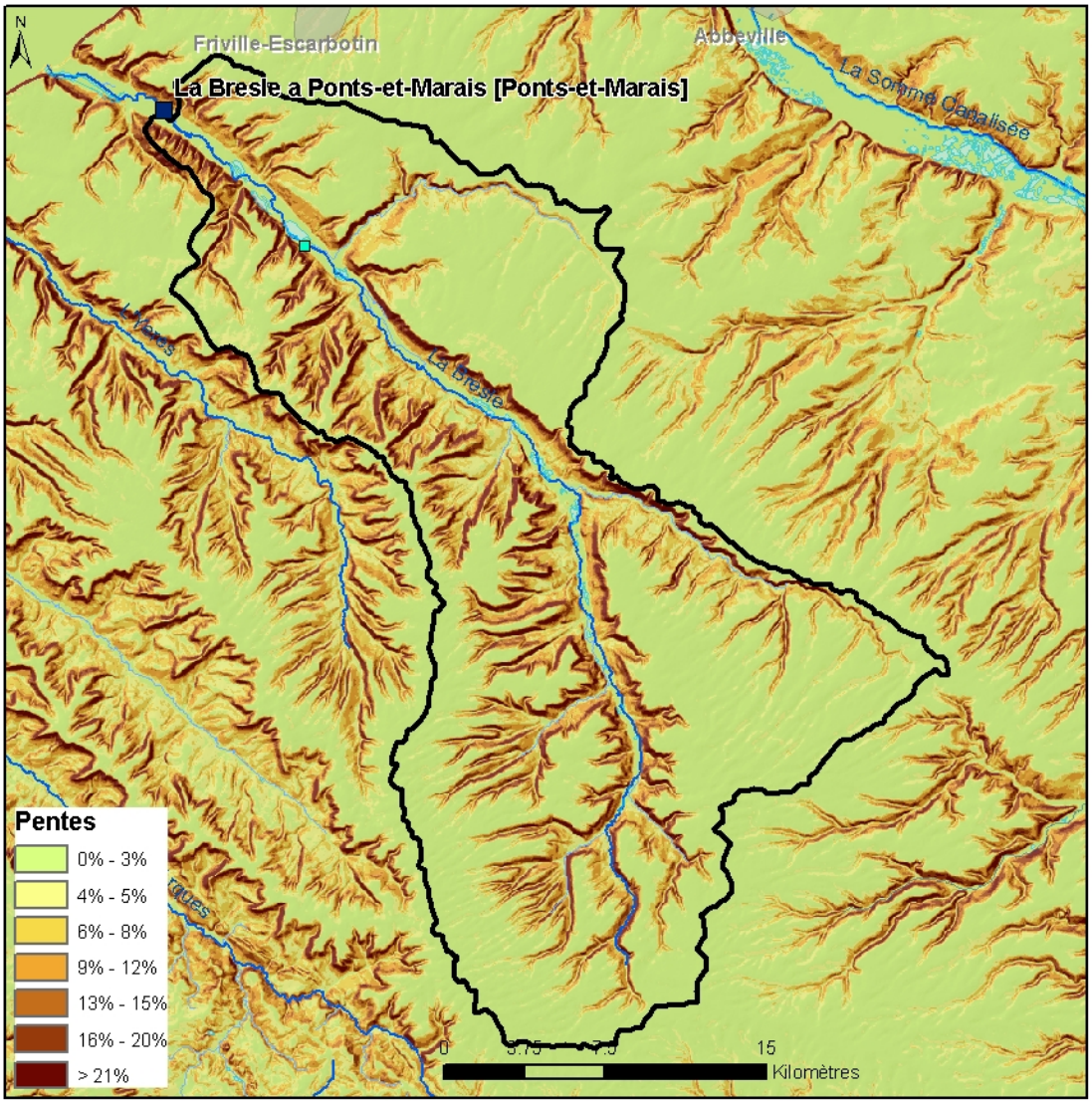


Illustration 139 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Bresle (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

Le bassin de la Bresle est dissymétrique :

- en rive droite, un relief de plateau s'est développé dans la craie du Sénonien : les cours d'eau (Liger, Vimeuse et Bresle) s'y sont encaissés assez profondément (fortes pentes très localisées le long de la vallée) ;

- en rive gauche, on n'observe pas un développement similaire des plateaux. Le relief des bassins versants des petits affluents est d'avantage marqué (les pentes supérieures à 5% occupent une superficie bien plus importante en rive gauche qu'en rive droite).

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- zones agricoles hétérogènes : 49% ;
- prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives : 45% ;
- zones urbanisées industrialisées : 5% ;
- zones naturelles : 1%.

Il s'agit donc globalement d'un bassin versant à dominante agricole mais avec une part importante de prairies et forêts, et avec une emprise urbaine assez localisée en fond de vallée et relativement faible.

Plusieurs stations d'épuration sont situées dans la vallée de la Bresle (cf. Illustration 137).

Les prélèvements pour l'AEP atteignent environ 4 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 5,8 mm. À cela s'ajoutent environ 1 900 000 m^3 prélevés pour l'industrie (soit une lame d'eau moyenne annuelle de 2,7 mm environ).

4.5.2. Climatologie

Le bassin versant de la Bresle reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 860 mm environ (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Cela correspond à une pluviométrie supérieure à la moyenne pour le bassin Seine-Normandie.

Les données de quatre stations hydrométriques ont été utilisées pour la modélisation, trois pour leur chronique de pluie, une pour ses chroniques de pluie et d'évapotranspiration. Il s'agit de :

- Morvillers-Saint-Saturnin (type 4, création de la station en janvier 1983), située en rive droite de la Bresle, sur le plateau, dans la partie amont du bassin versant. La pluviométrie moyenne annuelle est d'un ordre de grandeur équivalent à celle du bassin versant ;
- Pierrecourt (type 4, création de la station en novembre 1970), située en rive gauche de la Bresle, sur le plateau, à 15 km au NNO de la station météorologique de Morvillers-Saint-Saturnin. La pluviométrie moyenne annuelle est d'un ordre de grandeur équivalent à celle du bassin versant ;
- Buigny-les-Gamaches (type 4, création de la station en décembre 1970), située dans la partie avale du bassin versant, en rive droite, à 8,5 km à l'est de la station hydrométrique de Ponts-et-Marais ;

- Abbeville (station de type 1, créée en janvier 1921), située à une trentaine de kilomètres au Nord-Est de la station hydrométrique de Ponts-et-Marais. Cette station dispose de chroniques pluviométrique et d'évapotranspiration Penman au pas décadaire.

La pluie optimale obtenue est :

$$P_{opt} = 88\% \text{ Morvillers-Saint-Saturnin} + 12\% \text{ Pierrecourt}$$

4.5.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

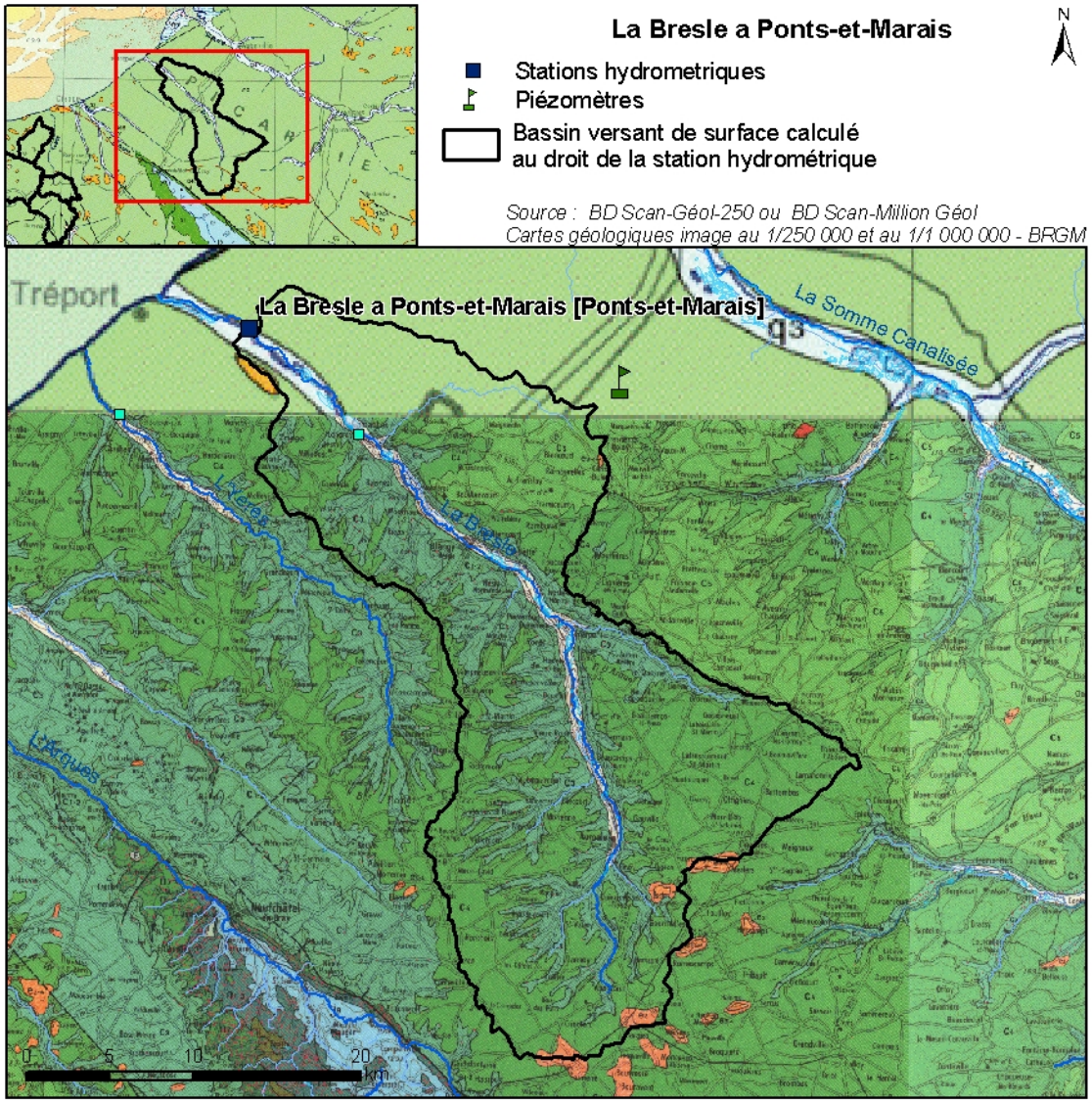


Illustration 140 : Carte géologique du bassin versant de la Bresle
(au 1/250 000 dans la partie sud et au 1/1 000 000 dans la partie nord)

Le bassin versant de la Bresle s'est développé dans la craie sénonienne (formation c4 de l'Illustration 140) et la craie marneuse du Turonien et du Cénomanien (notée c3 et c1-2). Le bassin versant est dissymétrique : on rencontre majoritairement des craies marneuses en rive gauche, tandis que la rive droite est majoritairement constituée par la craie sénonienne.

La craie séno-turonienne constitue un aquifère dont la nappe est en connexion avec le cours d'eau.

Il existe plusieurs piézomètres captant cette nappe dans le secteur. Le piézomètre de Huppy (00444X0008/S1), considéré comme représentatif des fluctuations piézométriques pour la zone du Vimeu, a été utilisé.

b) Piézométrie

La chronique piézométrique à Huppy (cf. Illustration 141) démarre le 16/04/1974. La fréquence d'acquisition des données varie de bimensuelle à hebdomadaire jusqu'au 05/05/2004, date à partir de laquelle elle devient quotidienne.

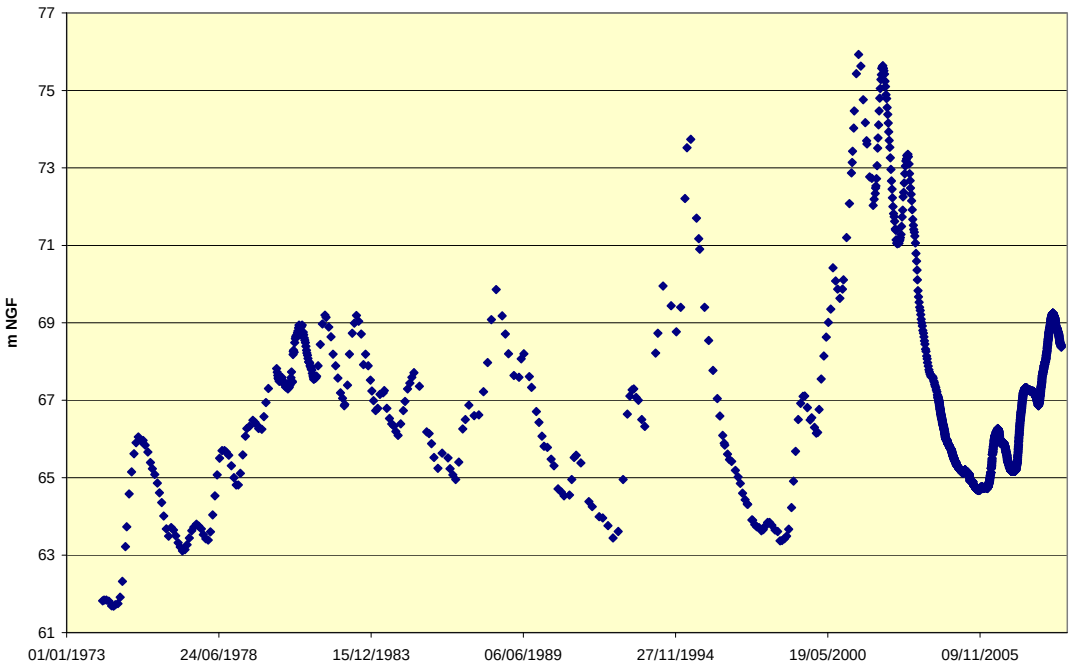


Illustration 141 : Chronique piézométrique de Huppy (indice national : 00444X0008/S1)

On dénombre 4 interruptions de plus de 100 jours : du 04/04/1980 au 19/07/1980, du 02/07/1991 au 15/10/1991, du 20/10/1993 au 08/03/1994 et du 17/06/1994 au 29/09/1994.

Les fluctuations piézométriques comportent une part saisonnière et une part interannuelle fortement marquée. Dans le cadre de l'étude sur l'exploitabilité des ressources en eau souterraine en France (BRGM/RP-55188-FR), le temps de demi-

décroissance au niveau de ce piézomètre avait été évalué à un peu plus de 10 mois : ceci correspond à un système assez fortement inertiel.

4.5.4. Hydrologie

Le débit de la Bresle est connu au travers de deux stations hydrométriques : celle de Longroy (code HYDRO : G0402010 ; taille du bassin versant : 613 km²) et celle de Ponts-et-Marais (code HYDRO : G0402020 ; taille du bassin versant : 693 km²). A Longroy, de nombreux jaugeages ont été effectués à partir du 03/01/1978 (175 jaugeages environ entre 1978 et 2002) mais il n'existe pas de chronique de débit journalier.

La station de Ponts-et-Marais dispose d'une chronique de débit journalier démarrant le 30/11/1999. Elle est sans interruption jusqu'au 31 juillet 2008.

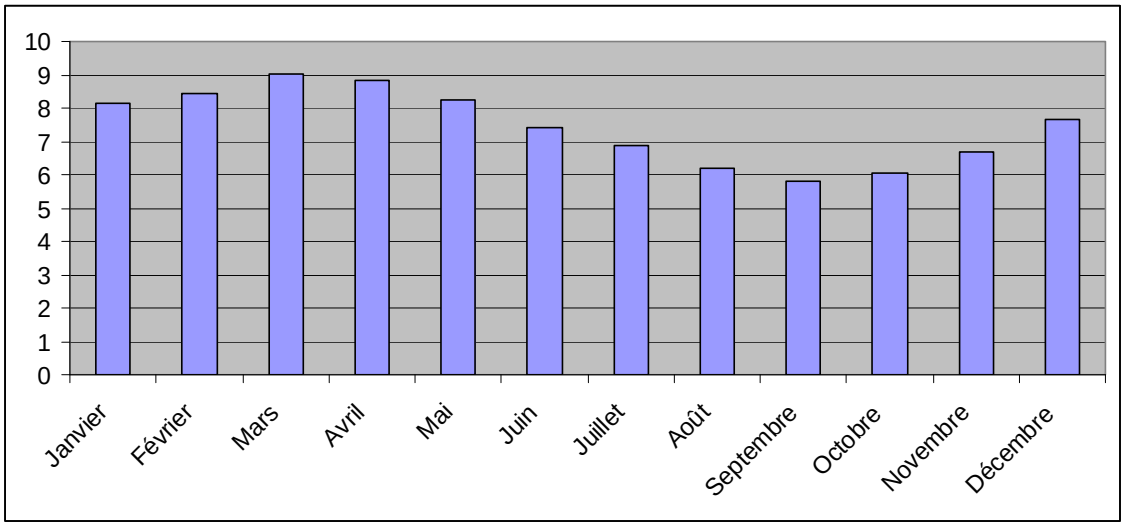


Illustration 142 : Débit moyen mensuel de la Bresle (en m^3/s) à la station hydrométrique de Ponts-et-Marais

L'histogramme des débits moyens mensuels (cf. Illustration 142), bien qu'établi sur une courte période (10 ans de données), montre l'influence de la nappe sur les écoulements de surface : les hautes eaux sont tardives (mars-avril), ainsi que les basses eaux (septembre-octobre). Par ailleurs, l'amplitude des fluctuations est faible (les débits journaliers s'échelonnent de 18,6 à 4,54 m^3/s) et l'étiage fortement soutenu.

4.5.5. Modélisation globale des écoulements

a) Résultats

La modélisation du débit de la Bresle à Ponts-et-Marais a été effectuée au pas de temps décadaire à partir des données suivantes :

- pluie : pluie optimale (88% Morvillers-Saint-Saturnin + 12% Pierrecourt), calculée au pas décadaire sur la période allant du 01/01/1993 au 31/07/2008 ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique d'Abbeville ;
- Piézométrie : Huppy.

La modélisation de la chronique piézométrique a été effectuée avec les mêmes données météorologiques. La chronique a été reproduite du 11/04/1996 au 31/07/2008 avec un coefficient de Nash de 0,96 (cf. Illustration 143). La composante lente du signal est de 1130 jours, ce qui confirme le caractère inertiel de la nappe.

Illustration 143 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Huppy

La modélisation du débit de la Bresle (cf. Illustration 144) a été effectuée sur la période allant du 12/12/1999 au 31/07/2008 avec un coefficient de Nash de 0,88. L'Illustration 144 présente les débits modélisé et observé selon une représentation en logarithme népérien.

Cette modélisation fait apparaître un fort soutien du débit du cours d'eau par la nappe (cf. Illustration 146, courbe verte « lente »). Le ruissellement (courbe bleue, « rapide ») intervient aussi dans les débits durant l'automne et surtout l'hiver mais de façon moindre que la composante souterraine. Mis en regard i) de la valeur de l'IDPR médian sur le bassin versant (161, soit une valeur faible signifiant une infiltration prédominante) mais aussi ii) de la présence à l'affleurement et sur une partie du bassin versant seulement d'une craie marneuse et donc favorisant le ruissellement, ce résultat parait cohérent.

L'Illustration 147 montre la décomposition des débits moyens mensuels modélisés à la station de Ponts-et-Marais. Elle fait apparaître la forte contribution de la nappe au débit de la Bresle, celle-ci allant – selon la modélisation – de 60 à 85% du débit total.

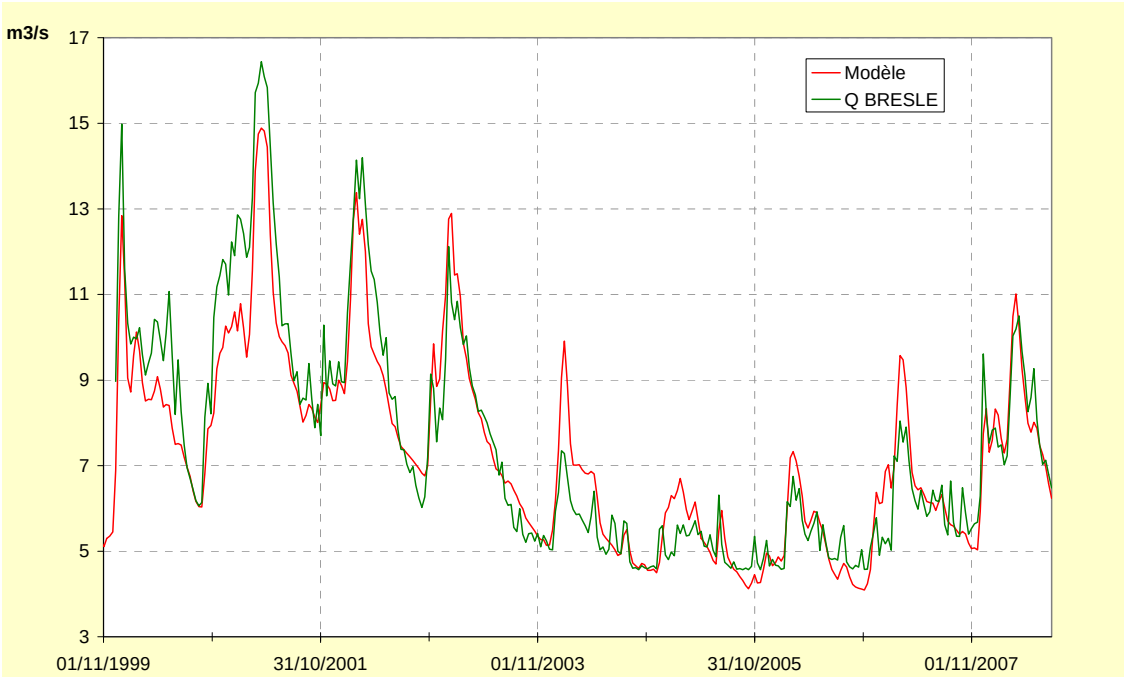


Illustration 144 : Modélisation du débit de la Bresle à la station de Ponts-et-Marais

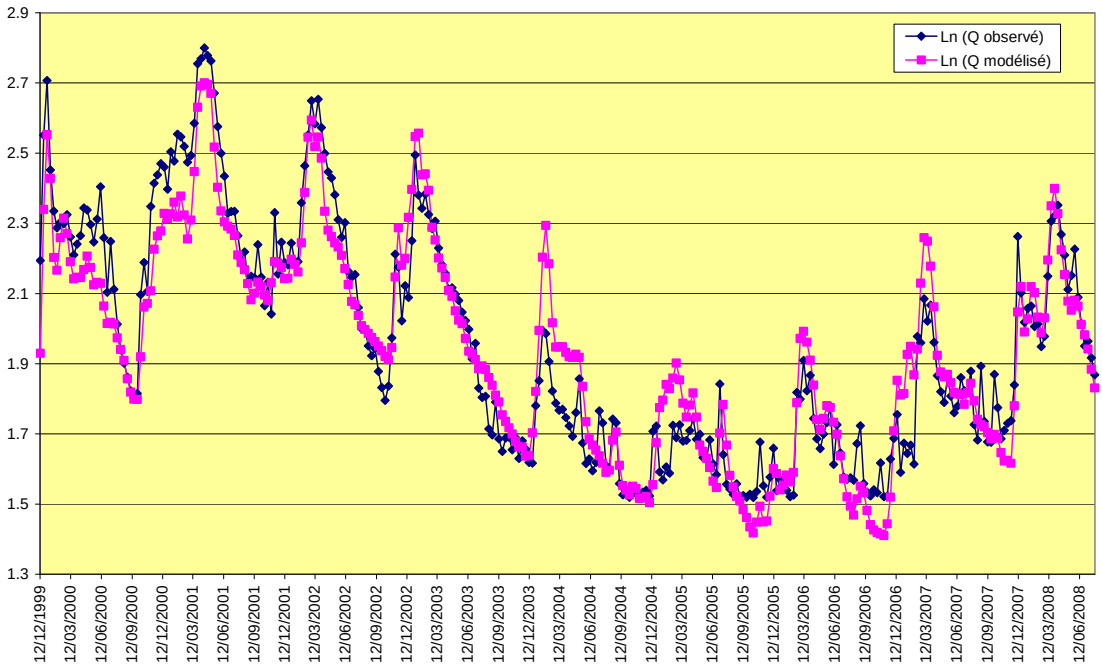


Illustration 145 : Modélisation du débit de la Bresle à la station de Ponts-et-Marais : représentation en logarithme népérien

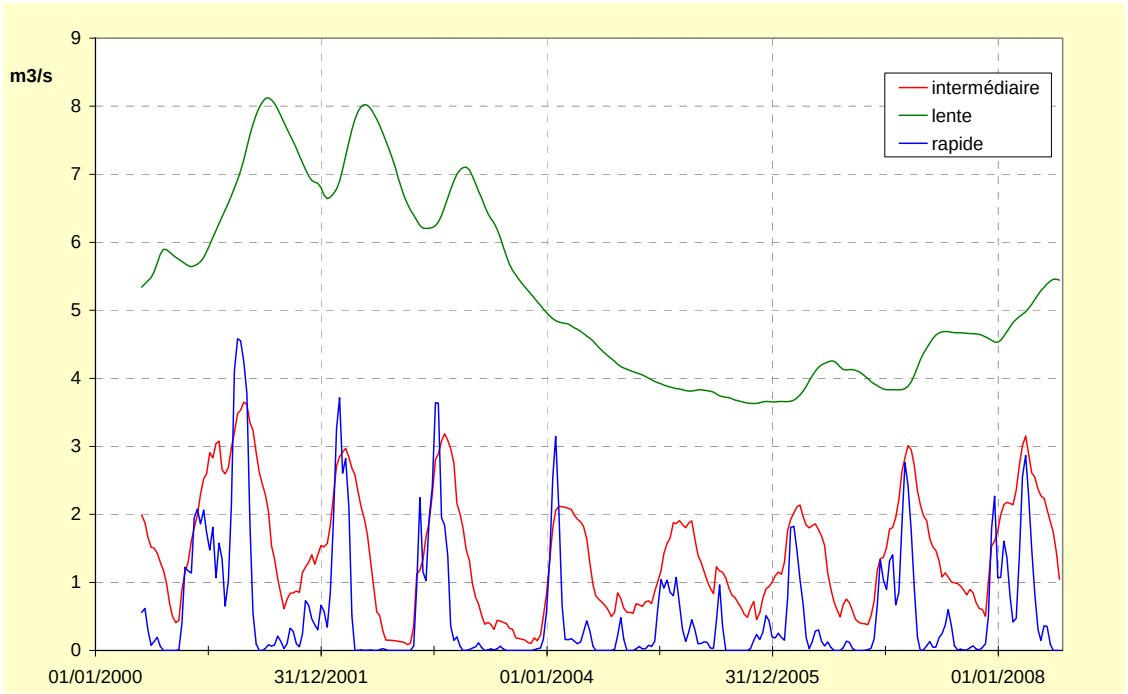


Illustration 146 : Composantes du débit de la Bresle modélisé à la station de Ponts-et-Marais

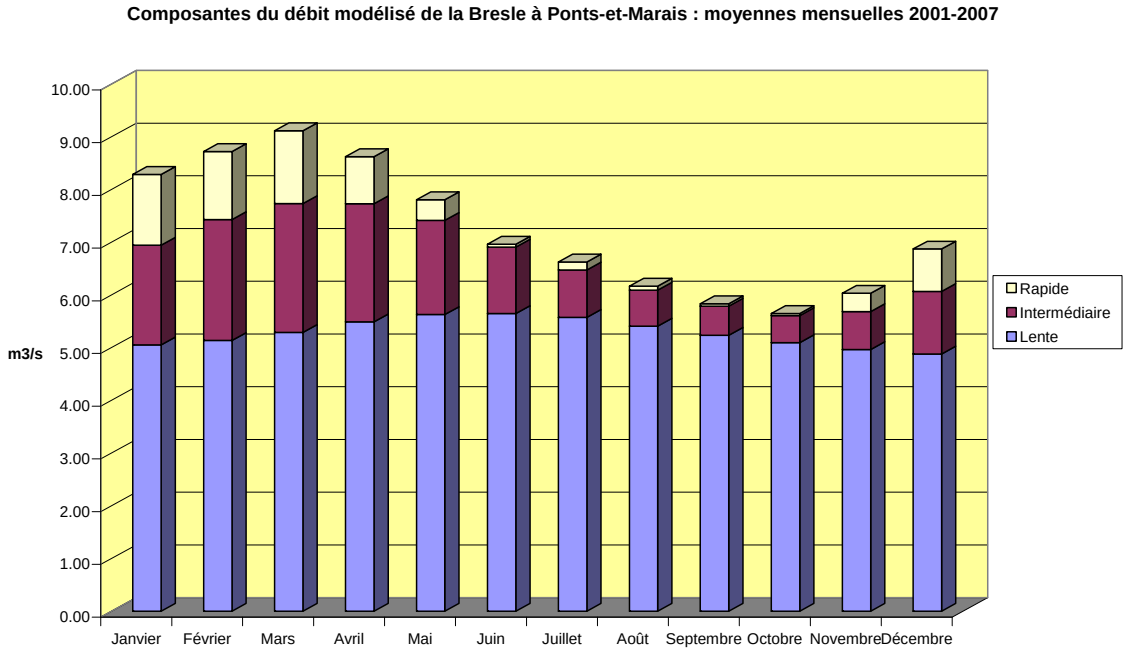


Illustration 147 : Composantes du débit moyen mensuel de la Bresle modélisé à la station de Ponts-et-Marais

4.6. BASSIN VERSANT DE LA SERRE

4.6.1. Caractéristiques du bassin versant

La Serre est un affluent en rive gauche de l'Oise qui prend sa source dans le département des Ardennes. La majorité de son bassin versant topographique (733 km²) s'étend dans le département de l'Aisne. On note qu'à partir de Montcornet, la Serre s'écoule dans la partie sud de son bassin versant à Mortiers, la Souche et son affluent le ruisseau des Barentons ne la rejoignant qu'à l'aval de la station hydrométrique de Mortiers.

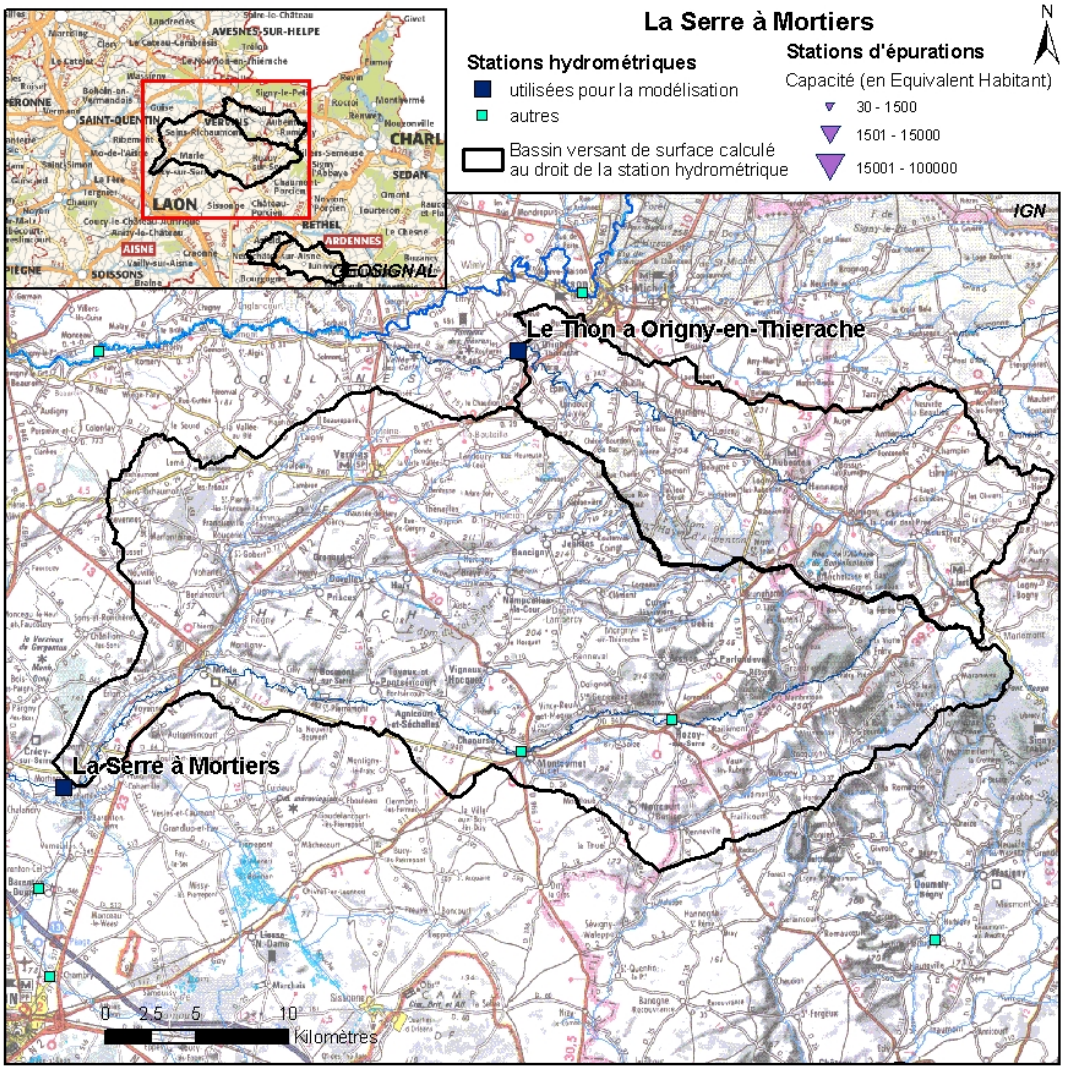


Illustration 148 : Localisation du bassin versant de la Serre (sources : GEOSIGNAL et IGN)

De l'amont vers l'aval, la Serre reçoit les apports de plusieurs petits affluents dont :

- le Hurtaut qui la rejoint en rive gauche ;

- la Vilpion et son affluent la Brune qui rejoint la Serre à Marles, en rive droite ;
- la Souche, qui conflue avec la Serre peu à l'aval de Mortiers, en rive gauche ;
- la Buzelle, en rive gauche ;
- le Péron, en rive droite.

Ces cours d'eau constituent un réseau hydrographique assez dense, notamment dans la partie nord du bassin versant (Thiérache).

a) Altitudes

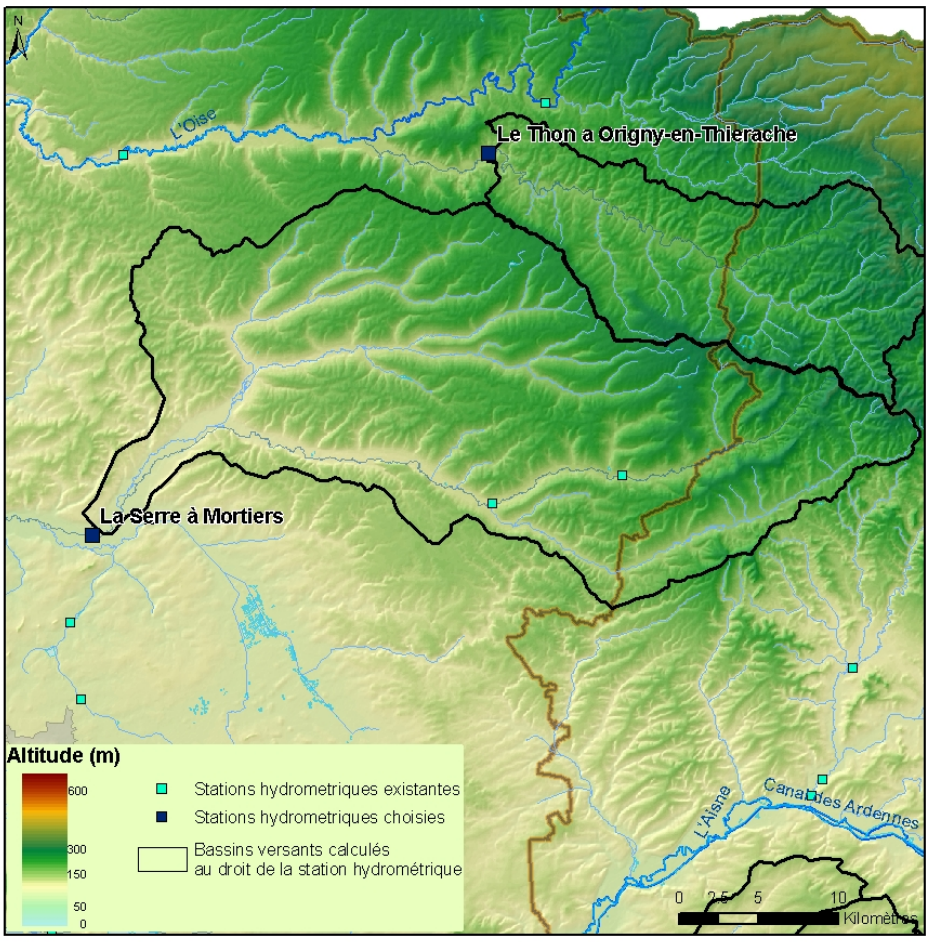


Illustration 149 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Serre (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

L'altitude du bassin versant s'échelonne de 283 à 64 m NGF, avec une altitude moyenne de 169 m.

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant est de 5,4% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN). Les fortes pentes (supérieures à 5%) occupent environ 50% du territoire. La partie amont du bassin versant connaît un relief assez marqué tandis qu'en relief de plateaux et de vallées assez encaissées se met en place ailleurs, notamment dans la partie amont du bassin versant. Le bassin versant de la Souche, au relief extrêmement plat n'est pas intégré dans le bassin versant de la Serre à Mortiers.

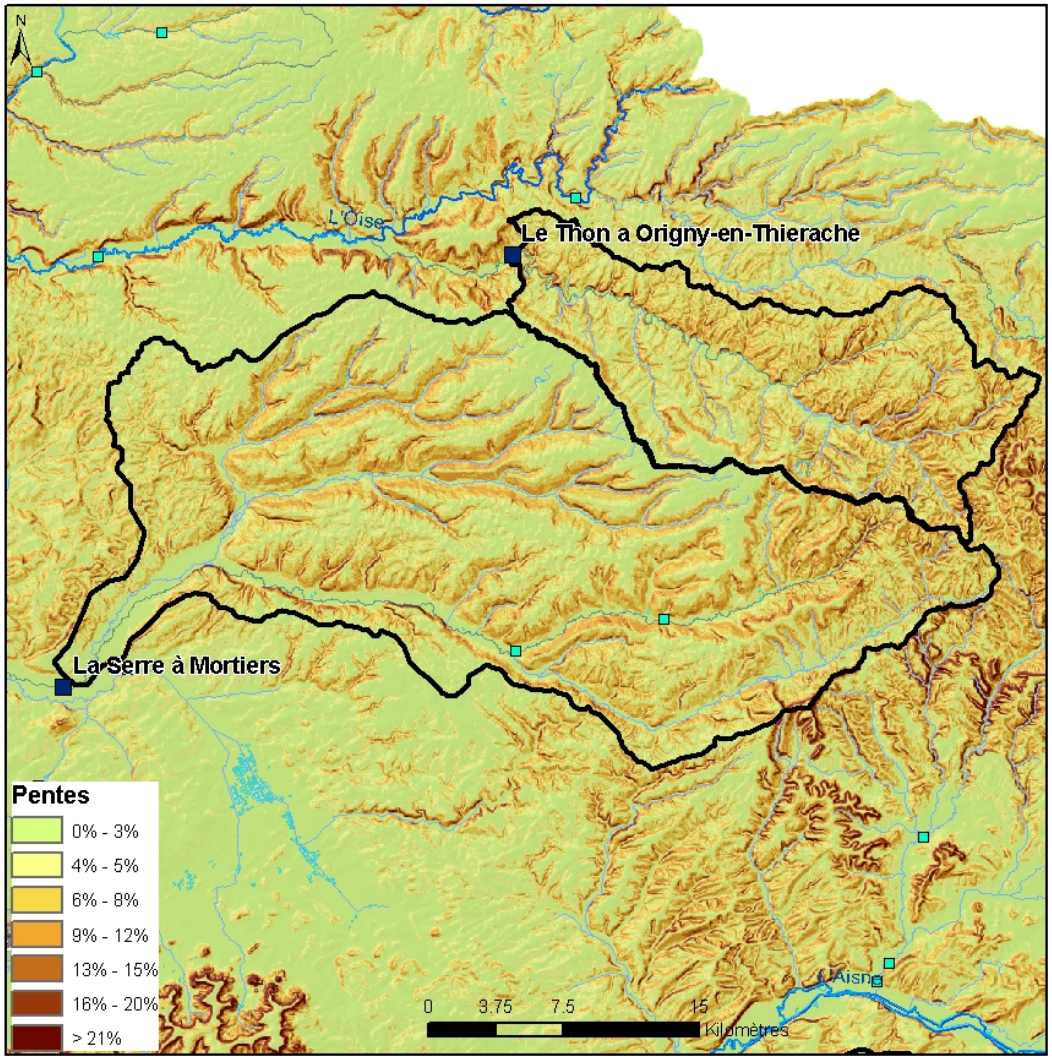


Illustration 150 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Serre (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- zones agricoles hétérogènes : 60% ;
- prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives : 35% ;
- zones urbanisées industrialisées : 5%.

Il s'agit donc globalement d'un bassin versant à dominante agricole, avec une part importante de prairies et forêts et une emprise urbaine assez localisée en fond de vallée.

Il n'a pas été identifié de rejets de stations d'épuration en fond de vallée (cf. Illustration 148).

Les prélèvements pour l'irrigation atteignent en moyenne 130 000 m^3 par an. Ce volume a été estimé de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramené à la surface du bassin versant (733 km^2), il correspond à une lame d'eau annuelle de l'ordre de 0,18 mm.

Les prélèvements pour l'AEP atteignent environ 2,7 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 3,7 mm. À cela s'ajoutent environ 950 000 m^3 prélevés pour l'industrie (soit une lame d'eau moyenne annuelle de 1,3 mm).

4.6.2. Climatologie

Le bassin versant de la Serre reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 900 mm environ (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Cette valeur moyenne cache une disparité assez importante puisque la pluviométrie moyenne annuelle varie de 700 à 1 050 mm sur le bassin versant, sa partie amont – à l'Est – recevant la pluviométrie la plus élevée.

Les données de quatre stations hydrométriques ont été utilisées pour la modélisation, trois pour leur chronique de pluie, une pour sa chronique d'évapotranspiration. Il s'agit de :

- Laon (type 4, création de la station en décembre 1950, altitude : 75 m NGF), située en limite sud du bassin versant de la Serre, dans la partie amont du sous-bassin des Barentons. La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 720 mm ;
- Champlin (type 4, création de la station en mars 1968, altitude : 257 m NGF), située à 7 km au nord du bassin versant, dans sa partie tout à fait du département des Ardennes. La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 1 000 mm ;
- Fontaine-lès-Vervins (type 2, création de la station en juillet 1987, altitude : 186 m NGF), située dans le nord du bassin versant, au nord du sous-bassin du Vilpion. La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 890 mm ;

- Saint-Quentin (station située à Fontaine-les-Clercs, de type 1, créée en 1933 ; altitude : 98 m NGF), qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman.

La pluie optimale obtenue est :

$$P_{opt} = 61\% \text{ Laon} + 39\% \text{ Fontaine-lès-Vervins}$$

4.6.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

La description hydrogéologique du bassin de la Serre est issue de la synthèse hydrogéologique du bassin de la Serre (rapport BRGM/RP-40600-FR) :

« Le bassin de la Serre repose entièrement sur la craie du Séno-Turonien sauf dans l'extrémité amont (limite Aisne-Ardennes) où apparaissent en fond de vallée les marnes du Cénomanien. Des buttes résiduelles de formations sablo-gréseuses existent encore sur les crêtes des interfluves, surtout sur le versant méridional du bassin. »

« Le réservoir crayeux contient une nappe libre qui est drainée par tous les vallons et vallées du réseau hydrographique et donne naissance à des sources diffuses ou ponctuelles au pied des coteaux (sources de débordement ou de déversement) ou au milieu des lits majeurs (sources de trop-plein parfois artésiennes). Ce sont elles qui assurent le soutien des débits d'étiage des cours d'eau et qui se mêlent aux eaux de ruissellement en période de précipitations intenses aussi bien hivernales qu'estivales. »

« Les fluctuations piézométriques de la nappe de la craie sont enregistrées sur huit points d'observations situés sur le versant septentrional du bassin de la Serre ou en limite méridional :

- Parpeville (0065-4X-0014) = sous-bassin du Péron
- Bois-lès-Pargny (0066-5X-0016) = sous-bassin du Vilpion
- Plomion (0067-1X-0052) = sous-bassin du Hurteau-Brune
- Renneval (0067-5X-0019) = bassin de la Serre amont
- Goudelancourt-lès-Pierrepont (0084-3X-0024) = sous-bassin de la Souche
- Laon (0084-5X-0086) = sous-bassin du Ru des Barentons
- Saint-Erme-Outre-et-Ramecourt (0084-7X-0043) = sous-bassin amont de la Souche
- La Selve (0085-5X-0001) = crête Aisne-Selve. »

Les crêtes piézométriques sont généralement proches des crêtes topographiques (cf. atlas hydrogéologique du département de l'Aisne) : les bassins versants topographiques et souterrains sont donc voisins. Cependant, on note que si la confluence en surface entre la Serre et son affluent la Souche est située à l'aval de la station hydrométrique de Mortiers, les zones alluviales se rejoignent à l'amont de la station. Il est donc possible que des échanges souterrains entre le bassin de la Serre

et le sous-bassin de la Souche se produisent à l'amont de la station de Mortiers, ceci pouvant induire une différence notable entre les bassins versants souterrains et de surface au niveau de la station hydrométrique.

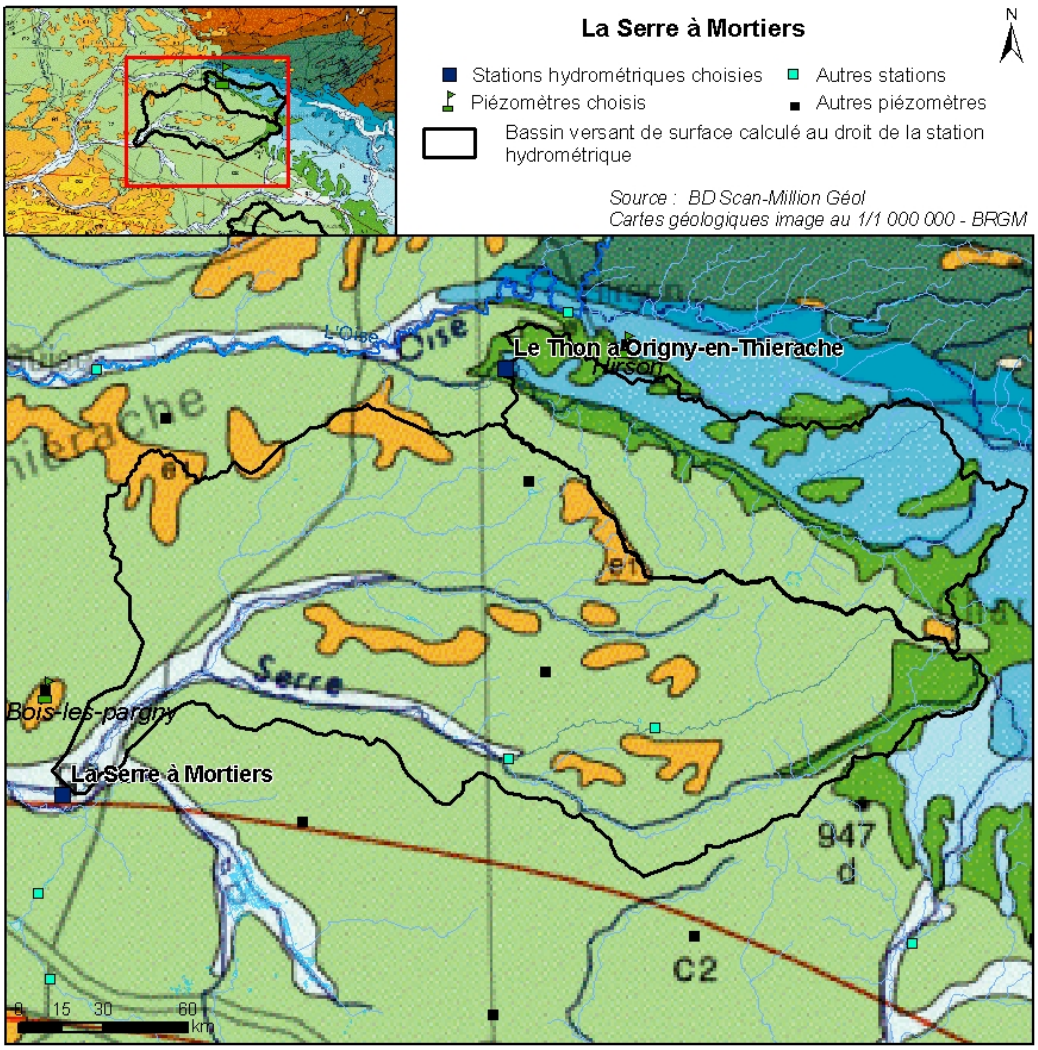


Illustration 151 : Carte géologique du bassin versant de la Serre (au 1/1 000 000)

b) Piézométrie

Les données de quatre piézomètres ont été intégrées dans le logiciel Tempo. Il s'agit de Bois-lès-Pargny, Plomion, Renneval et Goudelancourt-lès-Pierrepont. Afin d'identifier le ou les signaux piézométriques permettant de représenter au mieux le débit de la Serre à Mortiers, un essai de modélisation du débit a été effectué en intégrant en connexion les quatre chroniques. Il est apparu que seuls Renneval et Bois-lès-Pargny étaient pris en compte dans la modélisation du débit. De fait, les deux autres piézomètres ont été écartés.

Les chroniques piézométriques de Renneval et de Bois-lès-Pargny sont présentées ci-après.

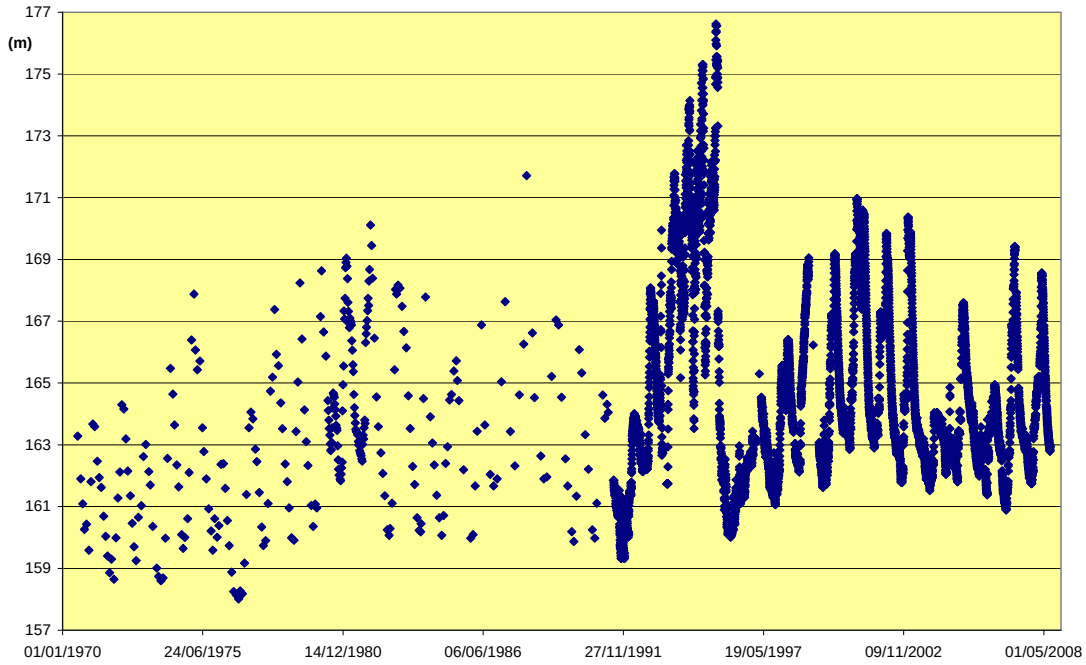


Illustration 152 : Chronique piézométrique de Renneval (indice national : 00665X0016/S1)

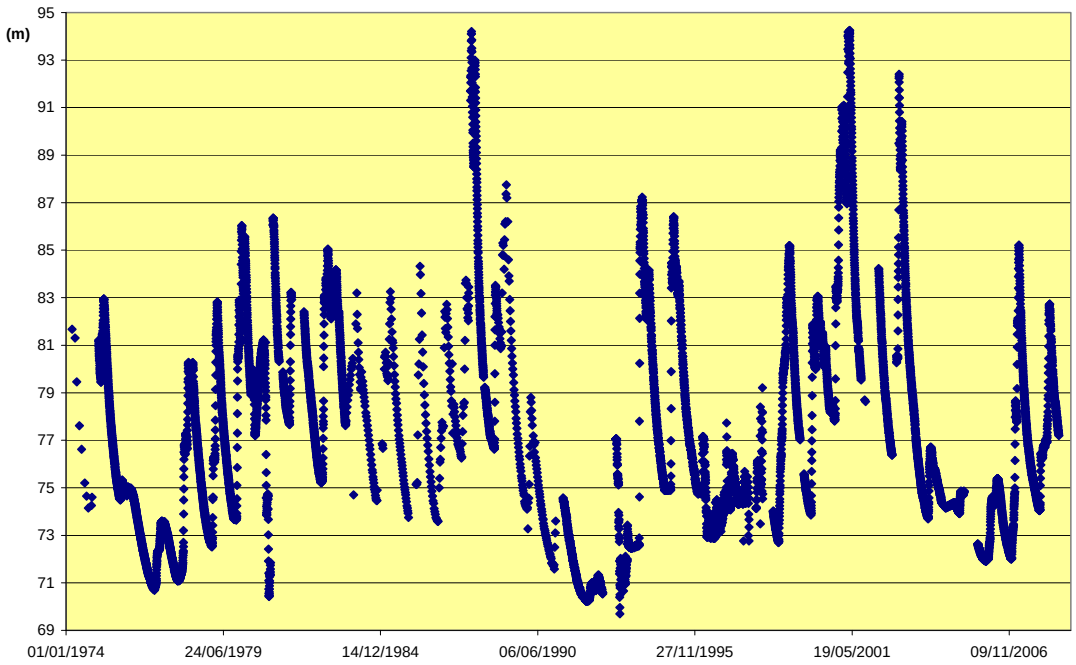


Illustration 153 : Chronique piézométrique de Bois-lès-Pargny (indice national : 00675X0019/S1)

La chronique du piézomètre de Renneval compte 5 interruptions de plus de 80 jours : du 31/08/1985 au 09/12/1985, du 17/02/1988 au 09/05/1988, du 09/06/1988 au 05/09/1988, du 15/11/1990 au 04/02/1991 et du 29/04/1999 au 20/07/1999.

Les fluctuations piézométriques comportent des fluctuations saisonnières rapides, ainsi qu'une composante interannuelle. Dans le cadre de l'étude sur l'exploitabilité des ressources en eau souterraine en France (BRGM/RP55188-FR), le temps de demi-décroissance au niveau de ce piézomètre avait été évalué à 1,2 mois : ceci correspond à un système rapide.

On dénombre 7 interruptions de plus de 90 jours : du 10/11/1981 au 15/04/198, du 06/12/1985 au 11/03/1986, du 21/01/1991 au 24/04/1991, du 11/09/1992 au 22/02/1993, du 09/04/1998 au 18/08/1998, du 08/11/2001 au 22/04/2002 et du 16/04/2005 au 0210/2005.

Les fluctuations piézométriques de Bois-lès-Pargny comportent une composante saisonnière et une composante interannuelle assez marquée. Dans le cadre de l'étude sur l'exploitabilité des ressources en eau souterraine en France (BRGM/RP55188-FR), le temps de demi-décroissance au niveau de ce piézomètre avait été évalué à un peu plus de 2,4 mois : ceci correspond à un système assez rapide. Il présente donc un fonctionnement plus inertiel que celui de Renneval.

4.6.4. Hydrologie

Le débit de la Serre est connu au travers de quatre stations hydrométriques :

- Rozoy-sur-Serre (code HYDRO : H7102010 ; taille du bassin versant : 68 km², données disponibles de 1983 à 1992) ;
- Montcornet (code HYDRO : H7102020 ; taille du bassin versant : 114 km², données disponibles de 1991 à 2008) ;
- Mortiers (code HYDRO : H7142010 ; taille du bassin versant : 733 km², données de débits disponibles de 1972 à 2008) ;
- Nouvion-et-Catillon (code HYDRO : H7162010 ; taille du bassin versant : 1 630 km², données de débits disponibles de 1949 à 2008).

La station de Mortiers dispose d'une chronique de débit journalier démarrant le 01/01/1972. Elle s'interrompt du 02/11/1996 au 31/12/1999.

L'histogramme des débits moyens mensuels (cf. Illustration 154) montre que les hautes eaux interviennent en janvier-février et les basses eaux en septembre. Par ailleurs, l'amplitude des fluctuations est forte (les débits journaliers s'échelonnent de 56,8 à 1,4 m^3/s) et l'étiage soutenu.

Le QMNA5 est de 2,7 m^3/s pour un bassin versant de 733 km². La lame d'eau moyenne annuelle est de 343 mm, ce qui est assez élevé pour le bassin Seine-Normandie.

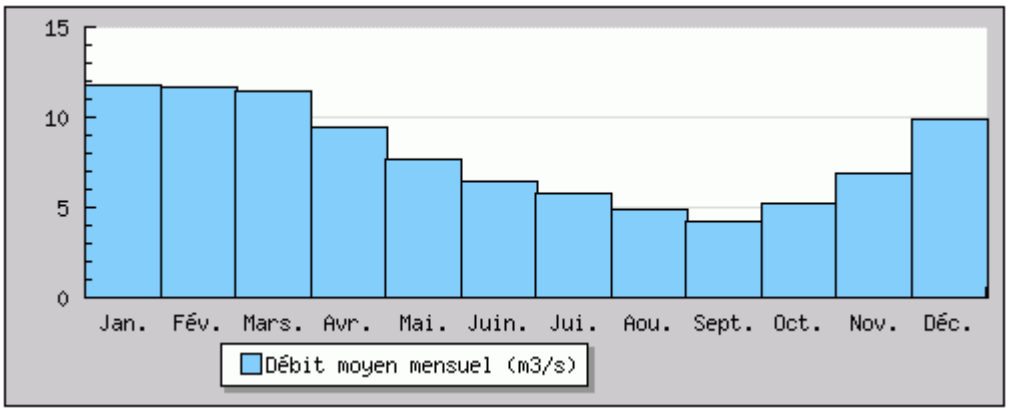


Illustration 154 : Débit moyen mensuel de la Serre (en m^3/s) à la station hydrométrique de Mortiers

4.6.5. Modélisation globale des écoulements

a) Résultats

La modélisation du débit de la Serre à Mortiers a été effectuée au pas de temps décadaire à partir des données suivantes :

- pluie : pluie optimale (61% Laon + 39% Fontaine-lès-Vervins), calculée au pas décadaire sur la période allant du 01/01/1987 au 31/07/2008 ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Saint-Quentin ;
- Piézométrie : Bois-lès-Pargny et Renneval.

La modélisation des deux chroniques piézométriques a été effectuée avec les mêmes données météorologiques.

La chronique piézométrique de Renneval n'a pu être reproduite de façon satisfaisante (coefficient de Nash de 0,38 ; cf. Illustration 155). Ce piézomètre n'a donc pas été utilisé pour modéliser le débit de la Serre à Mortiers

La modélisation de la chronique piézométrique de Bois-lès-Pargny est présentée en Illustration 156 (coefficient de Nash de 0,82).

La modélisation du débit de la Serre (cf. Illustration 157) a été effectuée sur la période allant de 1991 à 2008 avec un coefficient de Nash de 0,72.

Cette modélisation fait apparaître un soutien du débit du cours d'eau par la nappe (cf. Illustration 158, courbe verte « lente »). Le ruissellement (courbe bleue, « rapide ») intervient de façon prépondérante dans les débits durant l'automne et surtout l'hiver.

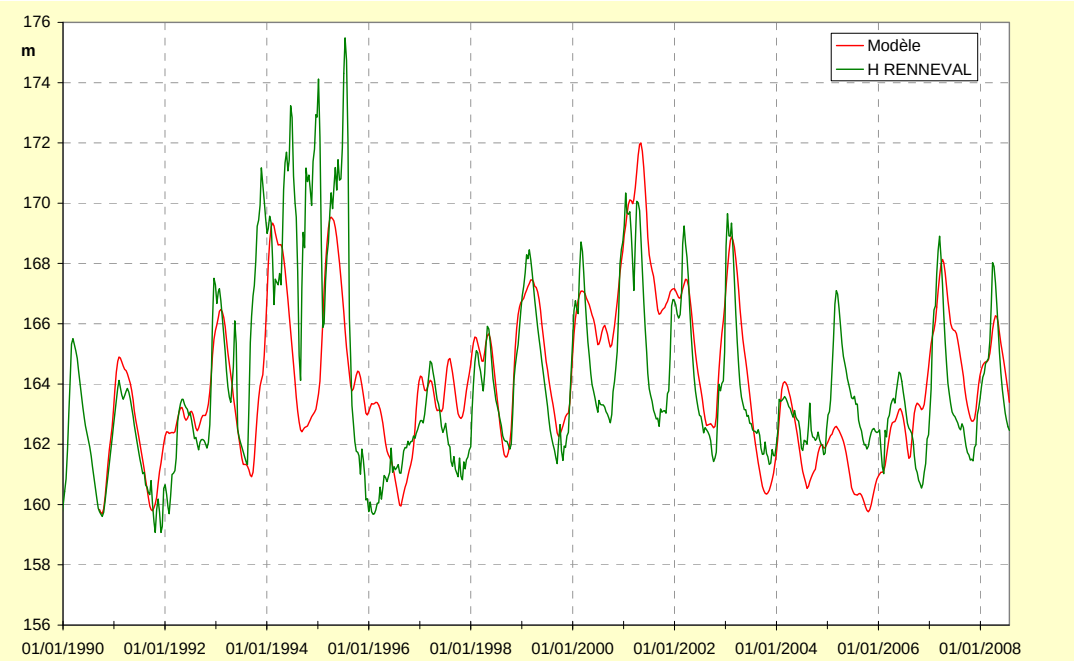


Illustration 155 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Renneval

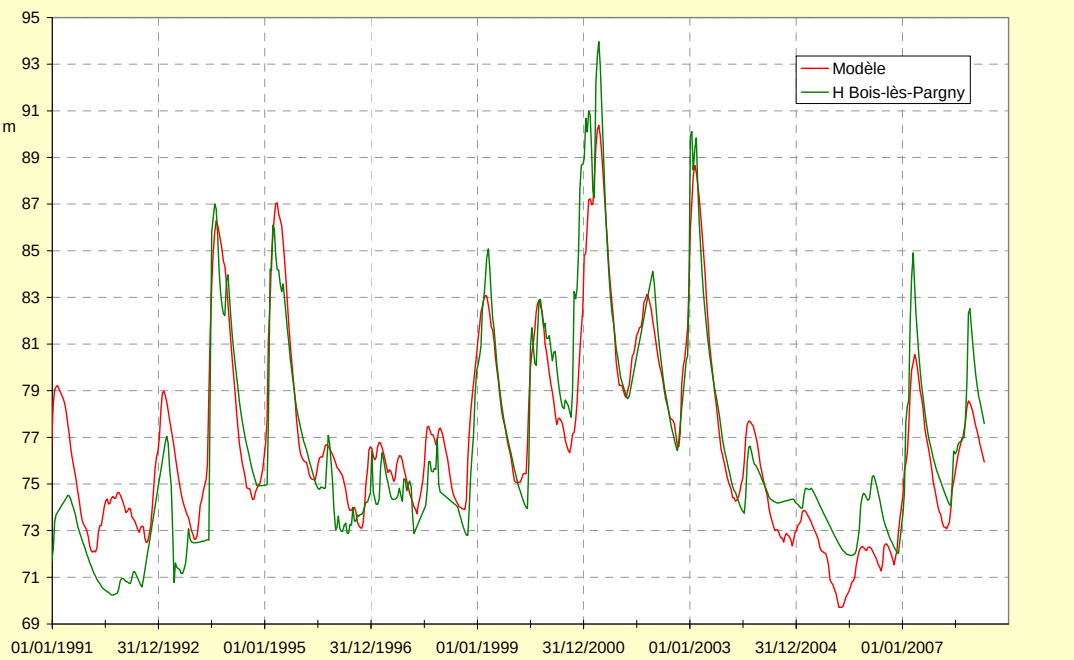


Illustration 156 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Bois-lès-Pargny

On note par ailleurs la présence d'une composante intermédiaire susceptible de traduire l'existence i) de ruissellements différés dans le temps et/ou ii) d'écoulements souterrains plus rapides que ceux traduits par la chronique piézométrique de Bois-lès-Pargny. Cette seconde hypothèse est envisagée compte tenu de l'hétérogénéité de

l'aquifère crayeux dans ce bassin versant et de l'inertie relativement forte traduite par la chronique piézométrique de Bois-lès-Pargny.

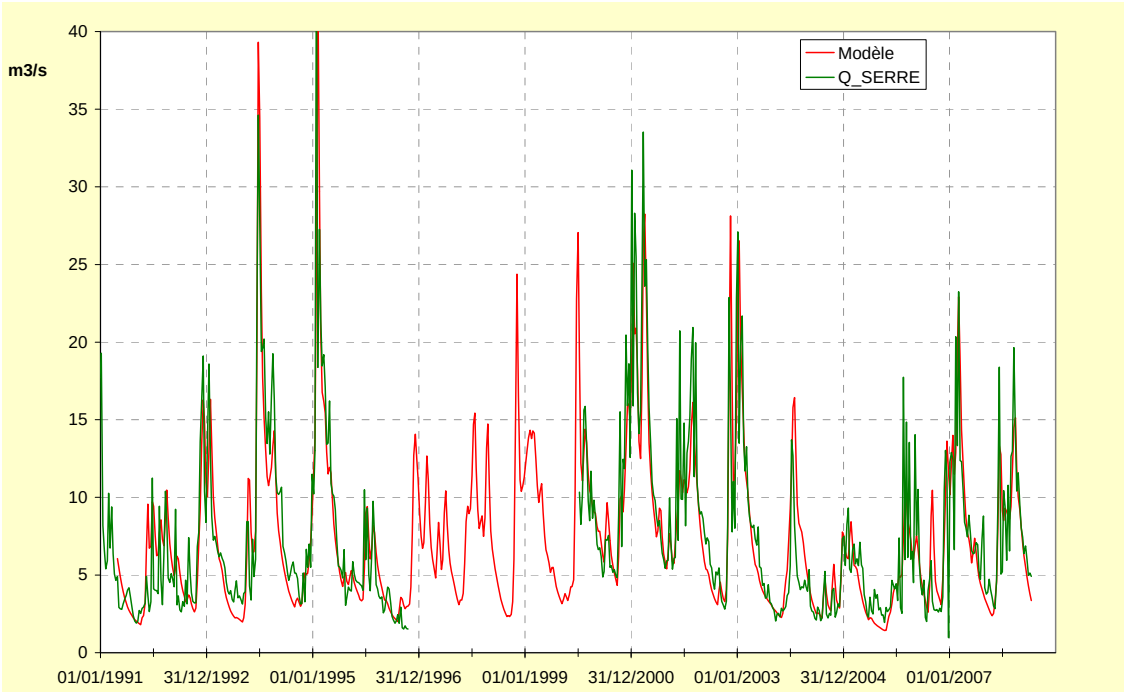


Illustration 157 : Modélisation du débit de la Serre à la station de Mortiers

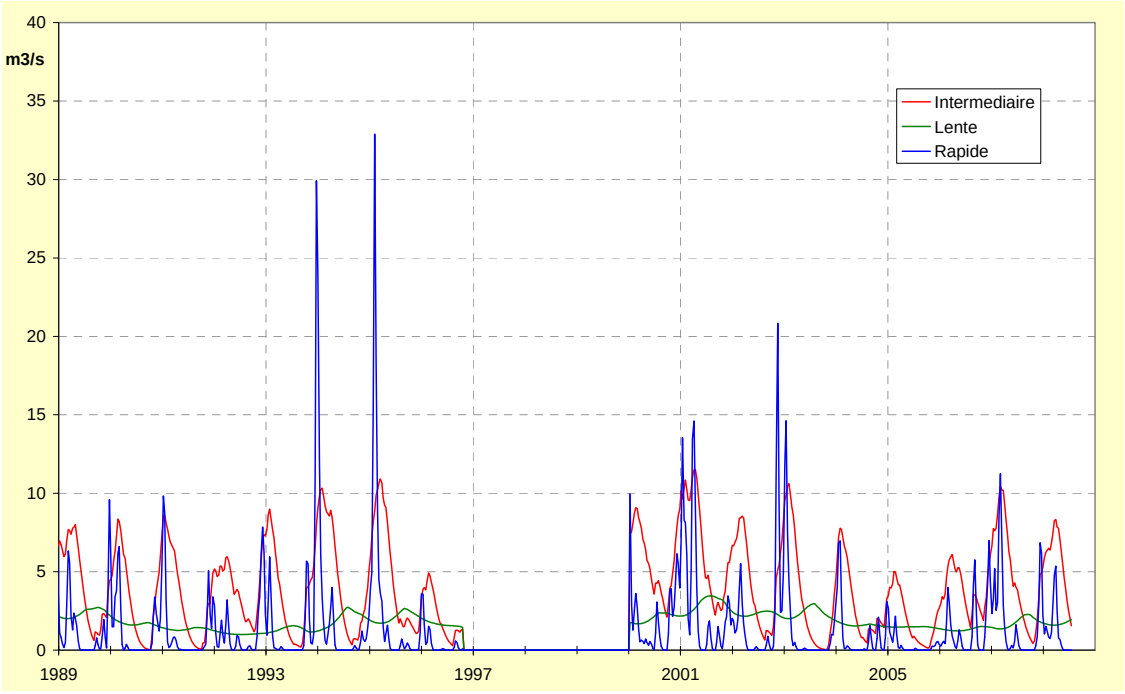


Illustration 158 : Composantes du débit de la Serre modélisé à la station de Mortiers

L'Illustration 159 montre la décomposition du débit moyen mensuel de la Serre obtenue par la modélisation.

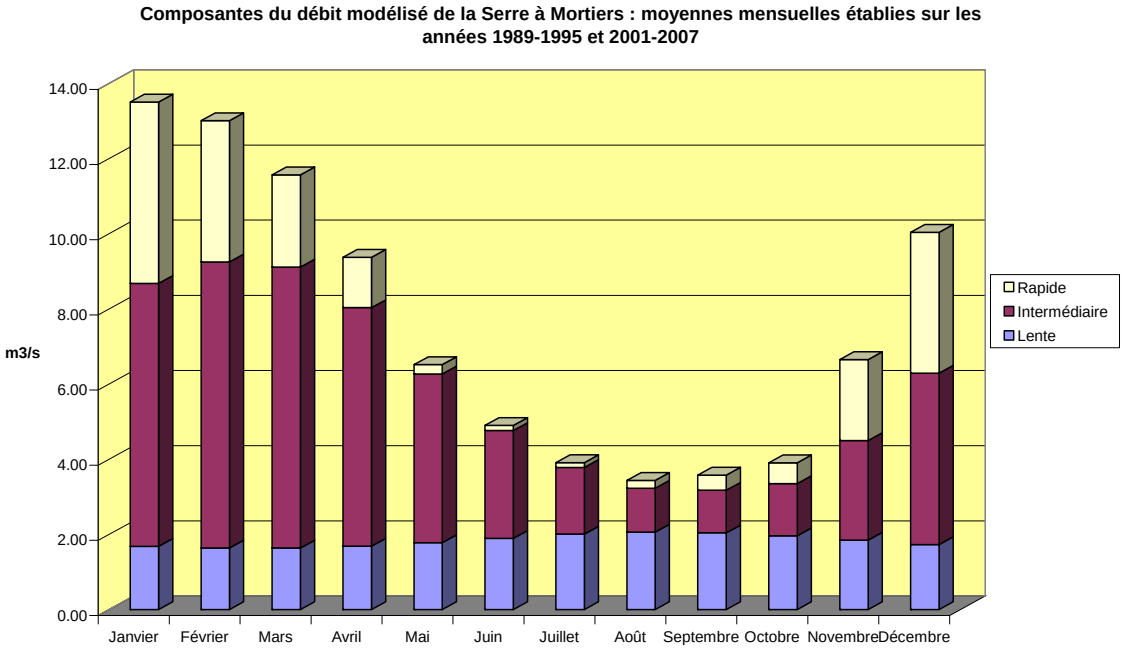


Illustration 159 : Composantes du débit moyen mensuel de la Serre modélisé à la station de Mortiers

5. Centre

5.1. BASSIN VERSANT DE LA BEZONDE

5.1.1. Caractéristiques du bassin versant

La Bezonde est un affluent en rive gauche du Loing qui prend sa source dans le département du Loiret, un peu à l'ouest de Nesploy. Son bassin versant à la station hydrométrique de Pannes s'étend sur 339 km² (source : Banque HYDRO).

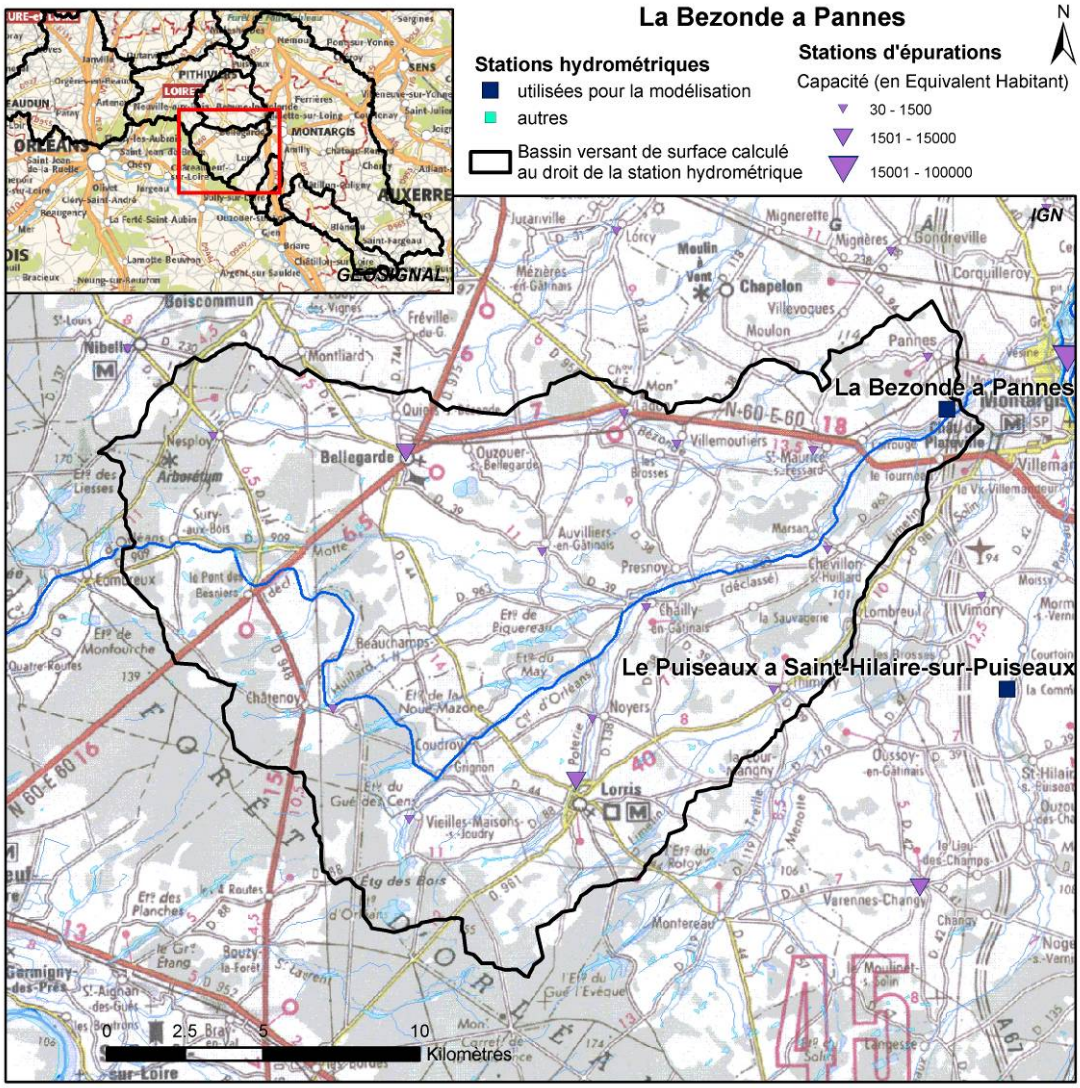


Illustration 160 : Localisation du bassin versant de la Bezonde (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude du bassin versant de la Bezonde s'échelonne de 84 à 154 m, avec une altitude moyenne de 115 m.

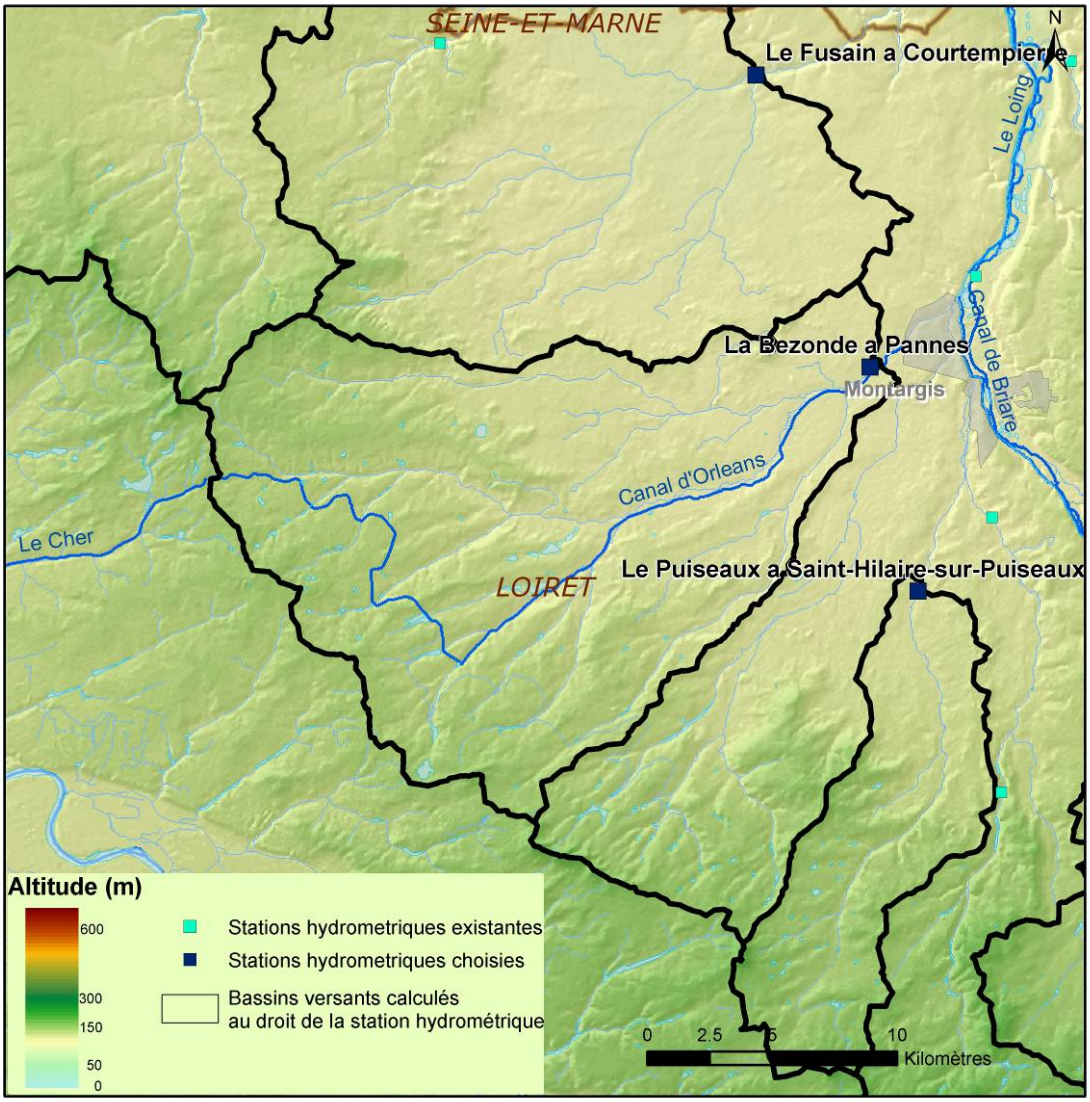


Illustration 161 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Bezonde (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant est de 1,3% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), ce qui est faible. La pente maximale est de 9,8% et les pentes supérieures à 5% occupent seulement 1% du territoire. Le bassin versant est donc très peu pentu.

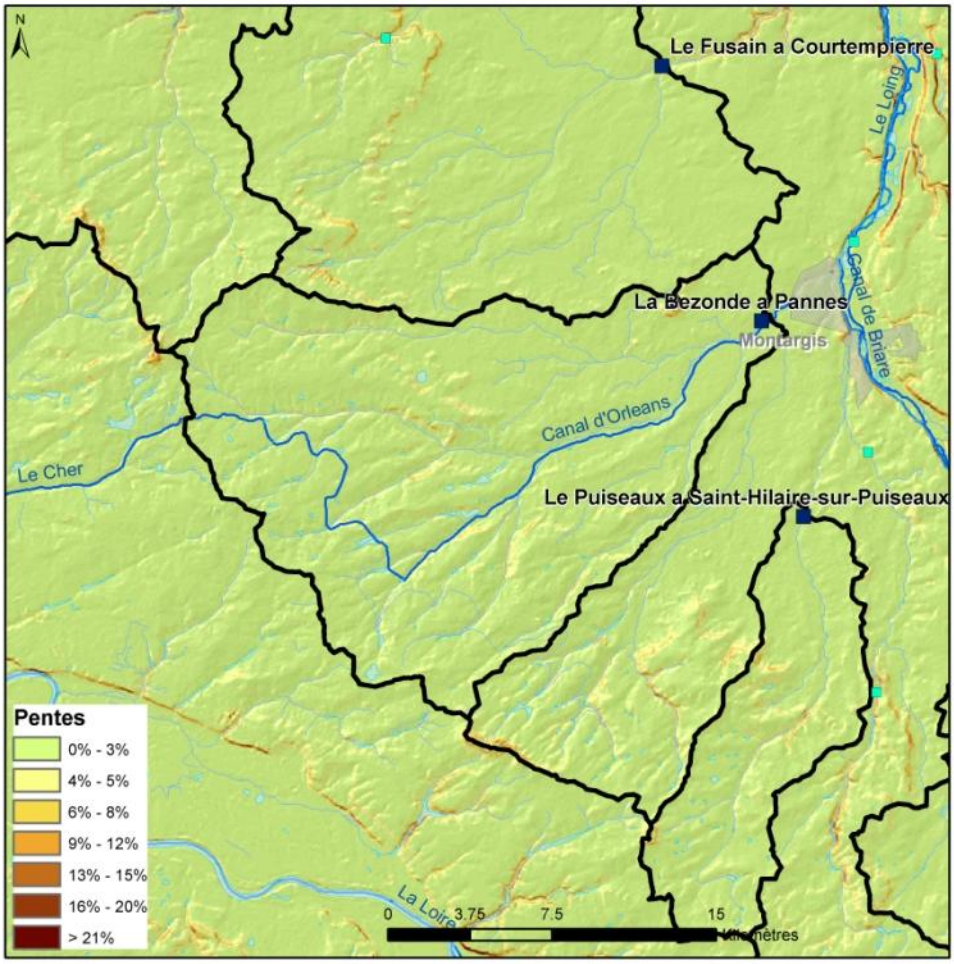


Illustration 162 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Bezonde (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- zones agricoles hétérogènes : 55% ;
- prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives : 41% ;
- zones urbanisées industrialisées : 3% ;
- autres (zones naturelles, mines, décharges et chantiers, vergers) : 1%.

Il s'agit donc globalement d'un bassin versant à dominante agricole mais avec une part importante de prairies et forêts, et avec une faible emprise urbaine.

Plusieurs stations d'épuration sont situées dans la vallée de la Bezonde (cf. Illustration 160).

Par ailleurs, le canal d'Orléans traverse ce bassin au sud de la Bezonde.

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 12. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (339 km²), ils correspondent à une lame d'eau variant de 3,6 à 9,9 mm.

Annee	Prel_Irrigation
1995	1 420 652
1996	2 371 318
1997	2 177 700
1998	2 002 796
1999	1 762 575
2000	1 495 664
2001	1 217 236
2002	3 069 088
2003	3 324 816
2004	2 025 550
2005	2 639 035
2006	3 342 999

Tableau 12 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Bezonde

Les prélèvements pour l'AEP atteignent environ 3,5 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau annuelle légèrement supérieure à 10 mm.

5.1.2. Climatologie

Le bassin versant de la Bezonde reçoit en moyenne environ 690 mm d'eau par an (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Il s'agit donc d'un bassin versant recevant une pluviométrie légèrement inférieure à la moyenne sur le bassin Seine-Normandie.

Les données de quatre stations météorologiques ont été utilisées pour la modélisation, deux pour leur chronique de pluie et une pour sa chronique d'évapotranspiration :

- Lorris (type 4, création de la station en octobre 1971), située dans la partie sud du bassin versant et recevant en moyenne une pluviométrie annuelle équivalente à celle du bassin versant ;
- Ladon (type 4, création de la station en mars 1974), située dans le bassin versant du Fusain, à 1 km au nord du bassin versant de la Bezonde ;
- Amilly (type 2, création de la station en janvier 1944), située à 6 km au SE de la station hydrométrique de Pannes ;

- Chartres (type 1, création de la station en janvier 1921), située à 100 km environ au nord-ouest de la station hydrométrique de Pannes et qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des trois chroniques de pluie ci-dessus. La formule retenue est :

$$P_{opt} = 76\% * Lorris + 24\% * Ladon$$

En particulier, la chronique pluviométrique d'Amilly n'intervient pas dans cette pluie optimale.

5.1.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

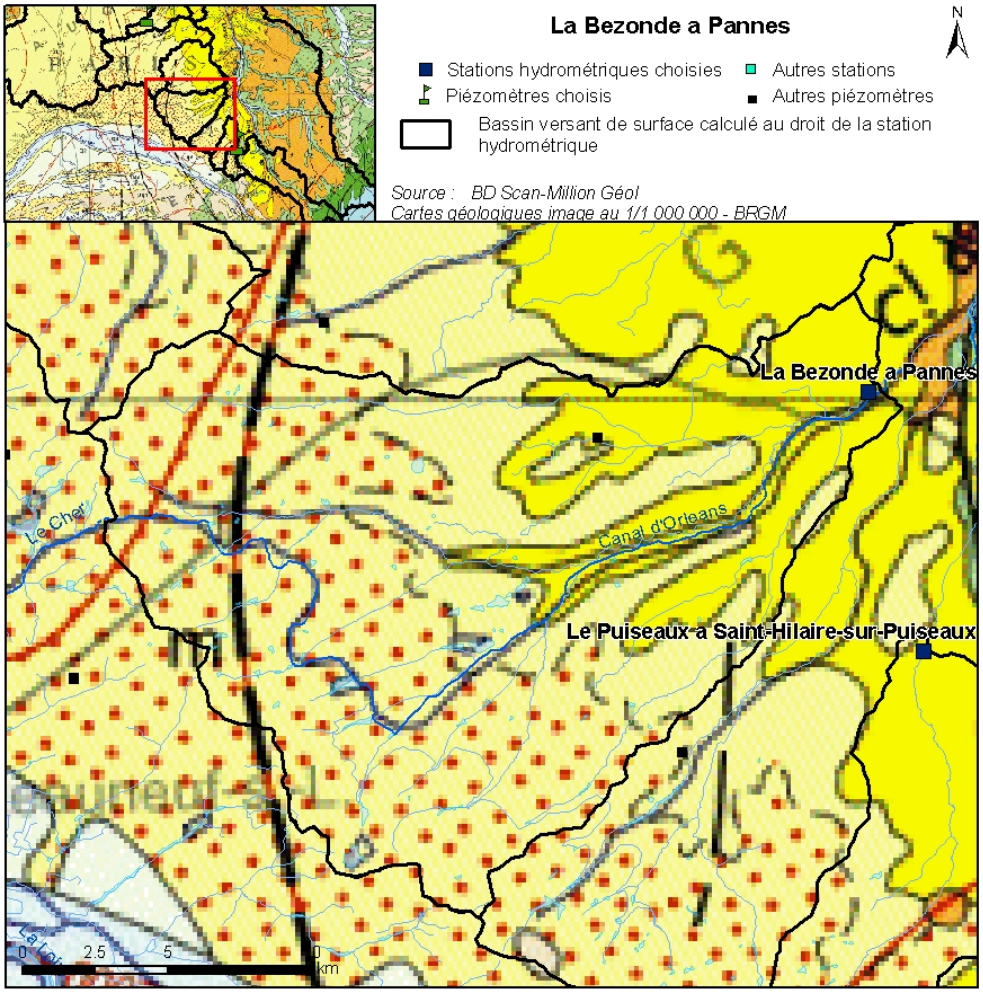


Illustration 163 : Carte géologique du bassin versant de la Bezonde

Un extrait de la carte géologique au 1/1 000 000 de la France est présenté en Illustration 163. Cette illustration montre le vieillissement des formations présentes à l'affleurement selon un axe SW-NE (Miocène au SW, Oligocène au NE).

La formation rencontrée principalement à l'affleurement dans le bassin versant est la molasse du Gâtinais. Elle est sous-jacente aux calcaires de Beauce sensu-stricto et recouvre les calcaires du Gâtinais. La molasse du Gâtinais est une formation peu perméable, engendrant du ruissellement. L'existence du ruissellement est confirmée par la valeur médiane de l'IDPR[6] sur le bassin versant (1023), qui est une valeur élevée pour un bassin dont les pentes sont très faibles.

Au niveau de la station hydrométrique, on rencontre la formation des calcaires du Gâtinais. Cette formation appartient aux calcaires de Beauce sensu lato (à savoir par exemple au sens du découpage des unités hydrogéologiques de la BDRHF version 2, niveau régional).

b) Piézométrie

Le piézomètre utilisé pour la modélisation est celui de Villemoutiers (03651X0107/P). il capte les calcaires de Beauce au sens large.

Les chroniques d'autres piézomètres ont été consultées, sans pour autant être retenues :

- Vitry-aux-loges (03646X0086/F1), Chateauneuf-sur-Loire (03646X0083/F), Seichebrières (03642X0072/F) et La Cour Marigny (03655X0017/PF) présentent une chronique trop courte par rapport à la chronique de débit (au mieux 1997-2007) ;
- Donnery (03638X0018/P) : la chronique piézométrique s'interrompt en février 2004 ;
- Trainou (03634X0093/F) : ce piézomètre capte les calcaires de Beauce en situation captive. Il présente une chronique à fluctuations fortement pluriannuelles ne correspondant pas aux fluctuations observées pour le débit de la Bezonde (cf. Illustration 165) ;
- la chronique de Nogent-sur-Vernisson n'a pas été retenue puisque ce piézomètre capte la craie sénonienne (indice national : 04003X0018/FAEP2).

Le piézomètre de Villemoutiers dispose d'une chronique démarrant le 02/08/1994 et ne présentant pas de discontinuité importante jusqu'à fin juillet 2008 (cf. Illustration 164, l'écart maximal entre deux mesures est inférieure à 60 jours avec une seule occurrence de plus de 30 jours).

[6] On rappelle que l'IDPR est un indice caractérisant la capacité de ruissellement des terrains. Une valeur faible indique que l'infiltration est prédominante sur le ruissellement, une valeur élevée indiquant l'inverse.

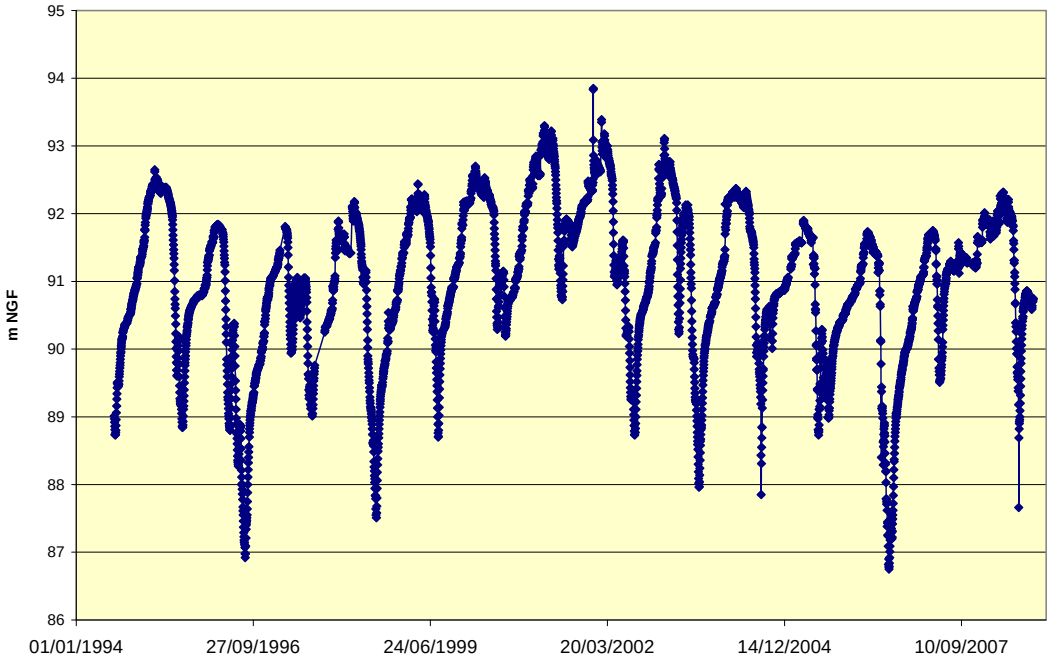


Illustration 164 : Chronique piézométrique de Villemoutiers (indice national : 03651X0107/P)

La fréquence d'acquisition des données est quotidienne. La chronique présente des fluctuations saisonnières bien individualisées. Cette chronique est influencée par des pompages, comme on le voit nettement en été 1996, en été 1998 ou encore en été 2004.

5.1.4. Hydrologie

La Bezonde s'écoule d'Ouest en Est, très au nord de son bassin versant. Son débit est connu au travers de la station hydrométrique de Pannes (code HYDRO : H3322010), qui présente une chronique s'étendant du 29/10/1980 au 31/07/2008. Les hautes eaux interviennent en janvier et les basses eaux en septembre.

On observe sur l'Illustration 165 un très faible soutien du cours d'eau par la nappe (0,256 m^3/s en débit moyen mensuel pour le mois de Septembre).

La lame d'eau est faible (138 mm), bien inférieure à la moyenne du bassin Seine-Normandie.

Le QMNA5 est de 0,065 m^3/s pour un bassin versant de 339 km^2 à la station hydrométrique.

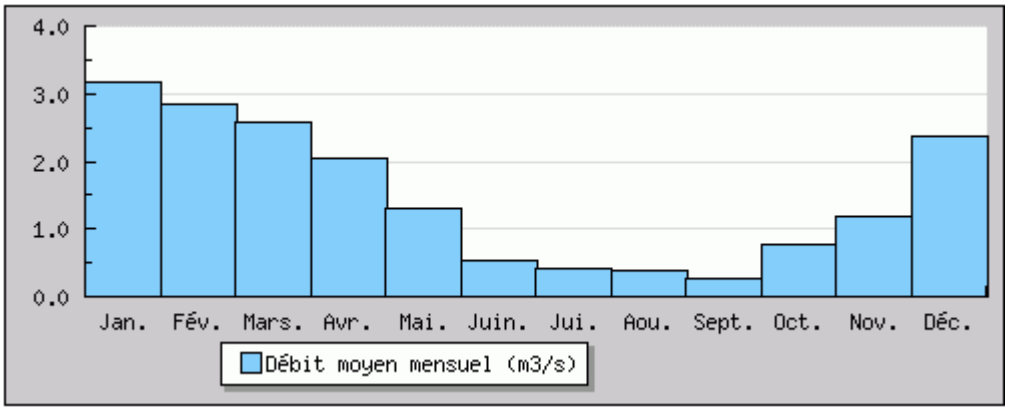


Illustration 165 : Débit moyen mensuel (en m^3/s) de la Bezonde à la station hydrométrique de Pannes (source : banque HYDRO)

5.1.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de la Bezonde a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : pluie optimale (P_{opt} = 76% * Lorris + 24% * Ladon) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Chartres ;
- Piézométrie : piézomètre de Villemoutiers.

Pour la modélisation du piézomètre, les mêmes données météorologiques ont été utilisées. Une première modélisation du piézomètre a été effectuée, sans prise en compte des prélèvements ; cette modélisation est présentée en Illustration 166 (coefficient de Nash de 0,68). On observe notamment une représentation médiocre des baisses rapides de niveau intervenant lors des périodes estivales.

Les prélèvements sur le bassin versant de la Bezonde ont donc aussi été pris en compte. Ils ont été intégrés sous la forme de prélèvements journaliers, les prélèvements connus annuellement ayant été ramenés à un pas quotidien. Pour ce faire, la méthode utilisée a été la suivante :

- pour les prélèvements industriels et ceux des collectivités : répartition homogène sur l'ensemble de l'année ;
- pour les prélèvements agricoles : répartition de la valeur annuelle sur la période allant du 10 mai au 10 août, par une pondération basée sur le déficit pluviométrique par rapport aux besoins moyens estimés des plantes (2 mm par jour).

La modélisation a donné un résultant relativement satisfaisant, avec un coefficient de Nash égal à 0,75 sur la période allant du 10/08/1994 au 31/07/2008 (cf. Illustration 167).

Illustration 166 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Villemoutiers sans prise en compte des prélèvements

Illustration 167 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Villemoutiers avec prise en compte des prélèvements

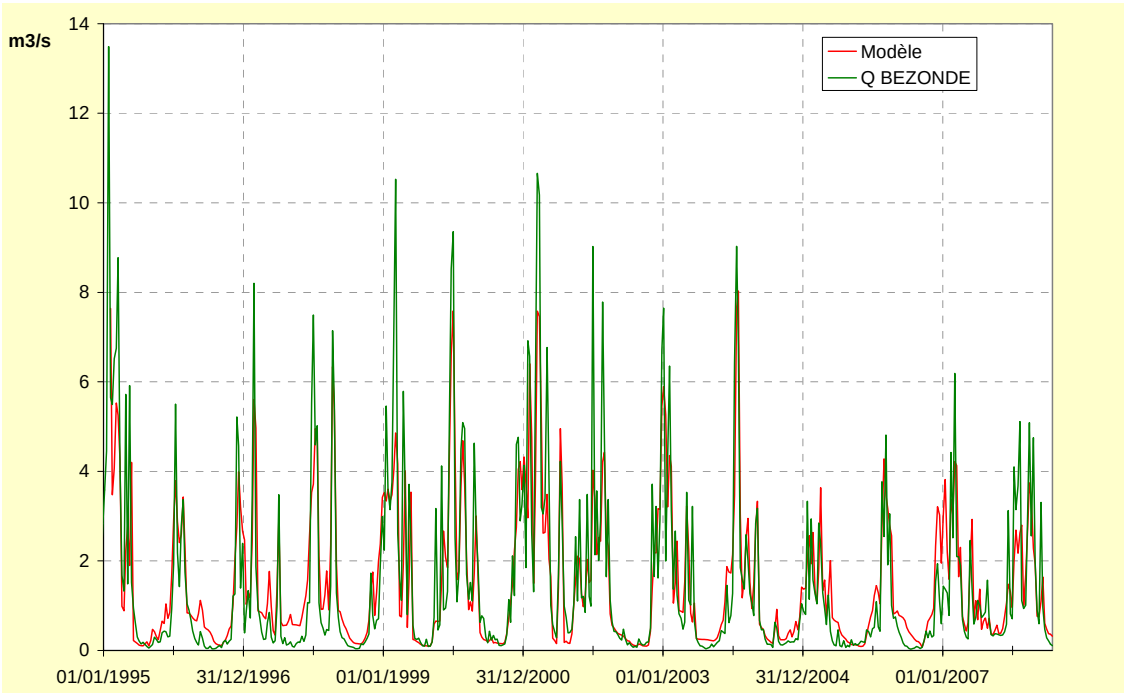


Illustration 168 : Modélisation du débit de la Bezonde à la station de Pannes en utilisant le piézomètre de Villemoutiers

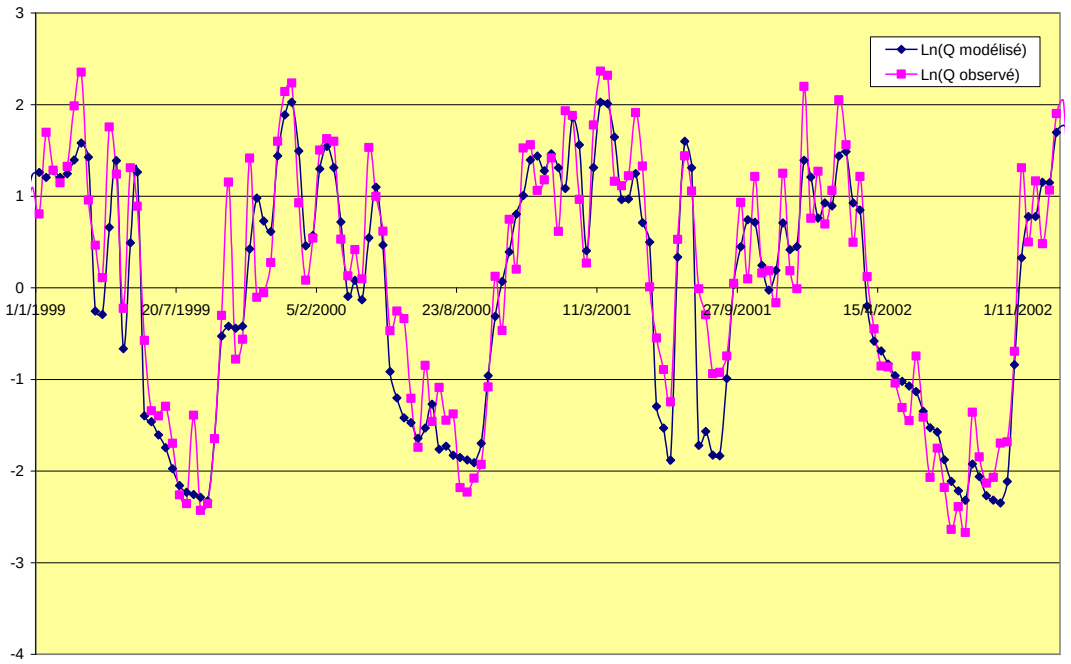


Illustration 169 : Modélisation du débit de la Bezonde à la station de Pannes : représentation en logarithme népérien

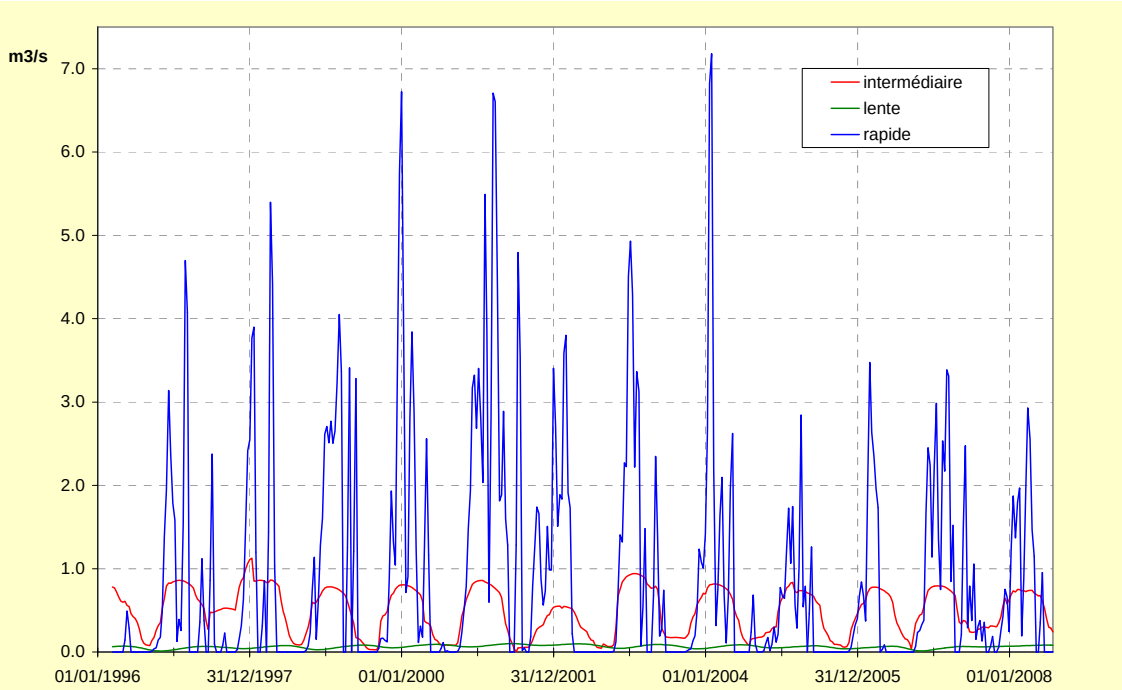


Illustration 170 : Composantes du débit de la Bezonde modélisé à la station de Pannes

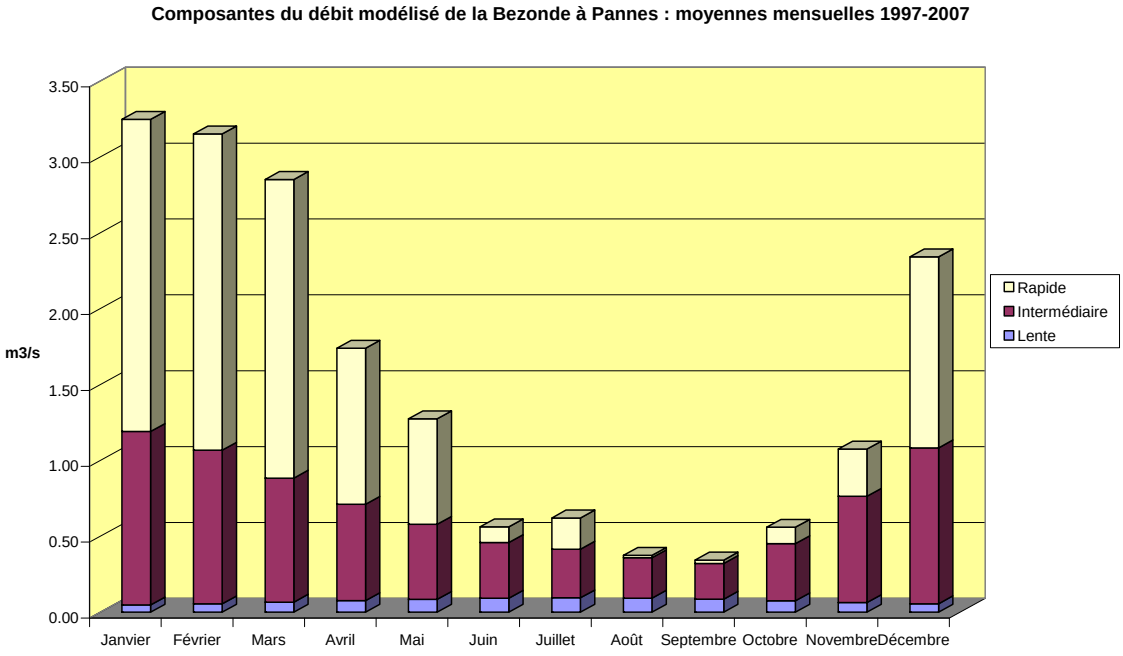


Illustration 171 : Composantes du débit moyen mensuel de la Bezonde modélisé à la station de Pannes

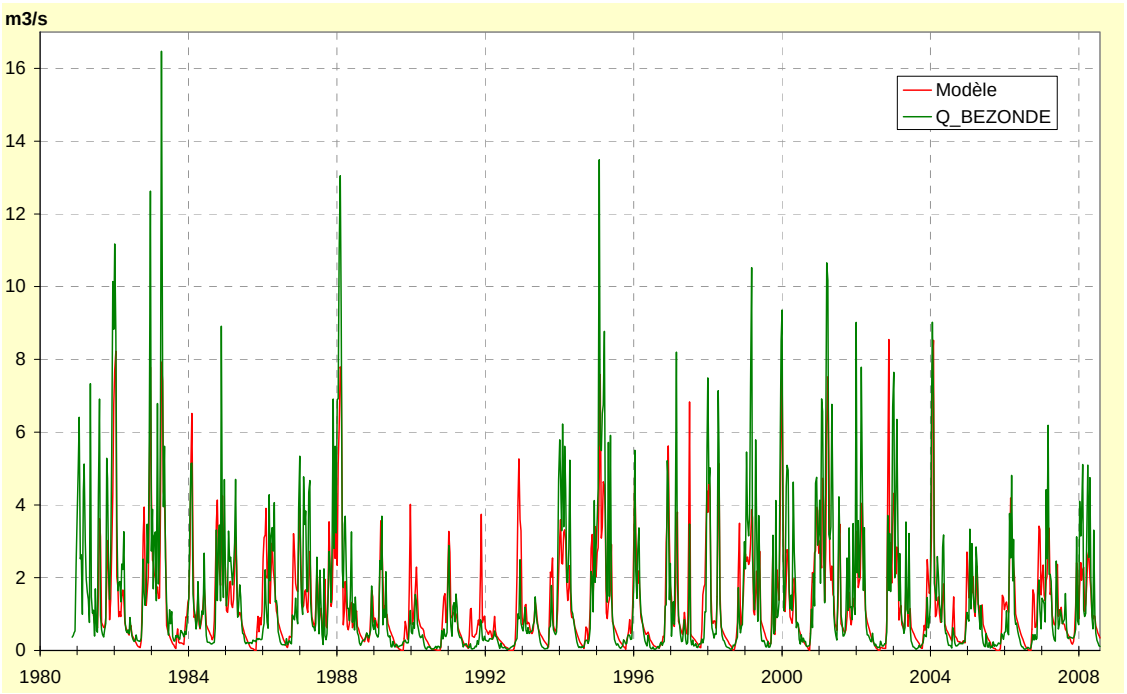


Illustration 172 : Modélisation du débit de la Bezonde sans prise en compte d'un piézomètre

La modélisation du débit de la Bezonde a été effectuée avec un coefficient de Nash de 0,72 sur la période allant du 06/02/1995 au 31/07/2008 (cf. Illustration 168). L'Illustration 169 présente les débits modélisé et observé en logarithme népérien.

L'Illustration 170 montre les composantes du débit modélisé à la station hydrométrique de Pannes. Cette décomposition du signal fait apparaître une contribution saisonnière importante du ruissellement (courbe bleue, « rapide ») et à l'inverse une très faible contribution des eaux souterraines au débit de ce cours d'eau (courbe verte, « lente »). L'Illustration 171 montre la décomposition du débit moyen mensuel modélisé.

Cette vision du fonctionnement du cours d'eau est corroborée par un essai de modélisation sans prise en compte de la nappe (cf. Illustration 172, Nash : 0,63). Si un manque de soutien se fait sentir pour de nombreux étiages, la représentation générale du débit sans prise en compte du piézomètre est déjà bonne : l'apport des eaux souterraines est donc limité sur ce cours d'eau.

5.2. BASSIN VERSANT DU PUISEAUX

5.2.1. Caractéristiques du bassin versant

De même que la Bezonde, le Puiseaux est un affluent en rive gauche du Loing qui prend sa source dans le département du Loiret. Son bassin versant à la station hydrométrique de Saint-Hilaire-sur-Puiseaux s'étend entre Gien et Montargis sur une superficie de 94 km² (source : Banque HYDRO).

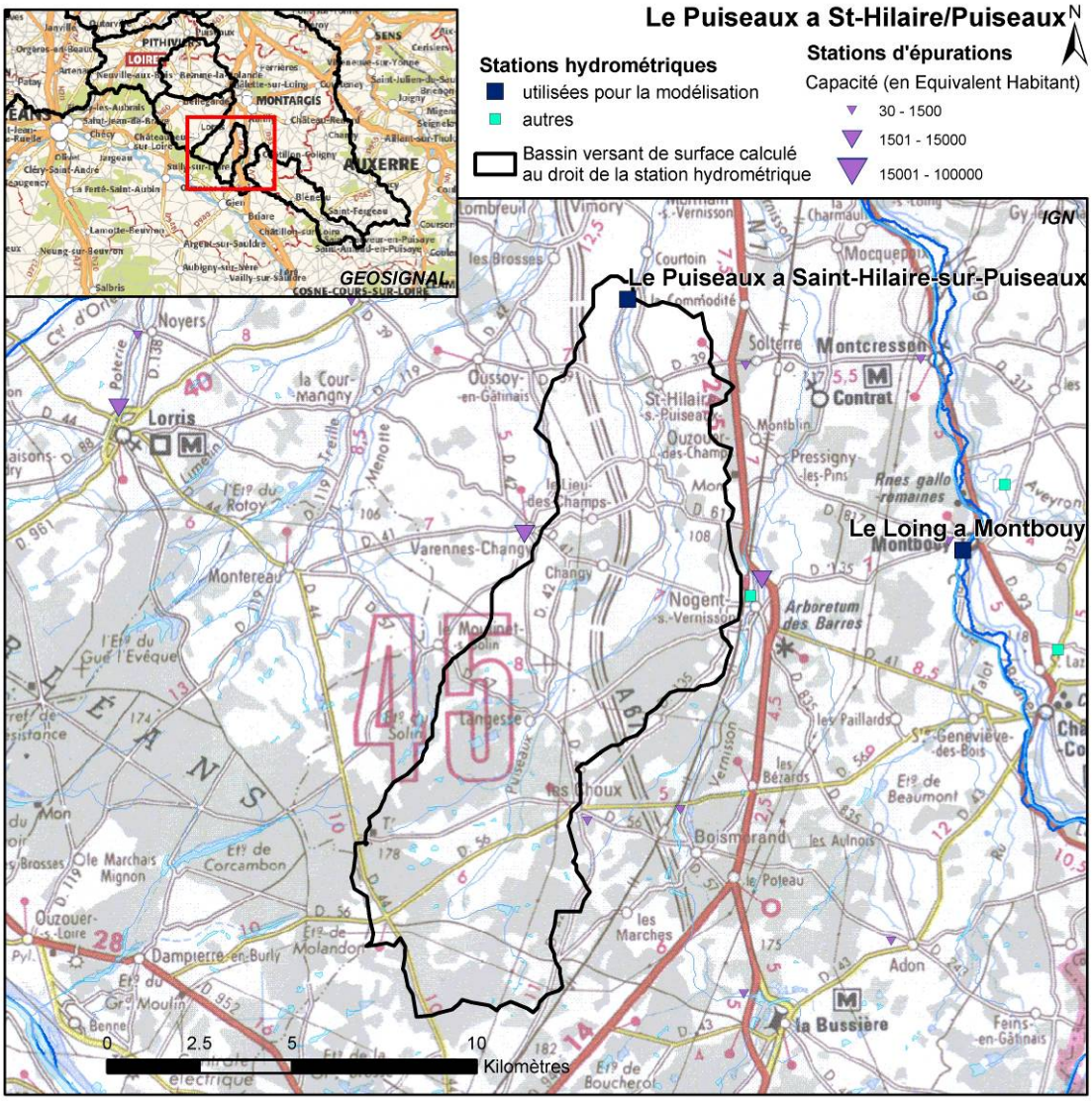


Illustration 173 : Localisation du bassin versant du Puiseaux (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

De la même manière, le champ d'altitude du bassin versant du Puiseaux est fortement similaire à celui de la Bezonde. L'altitude s'échelonne de 178 à 96 m NGF, avec une altitude moyenne de 130 m. Les terrains les plus hauts sont situés dans le sud du bassin versant.

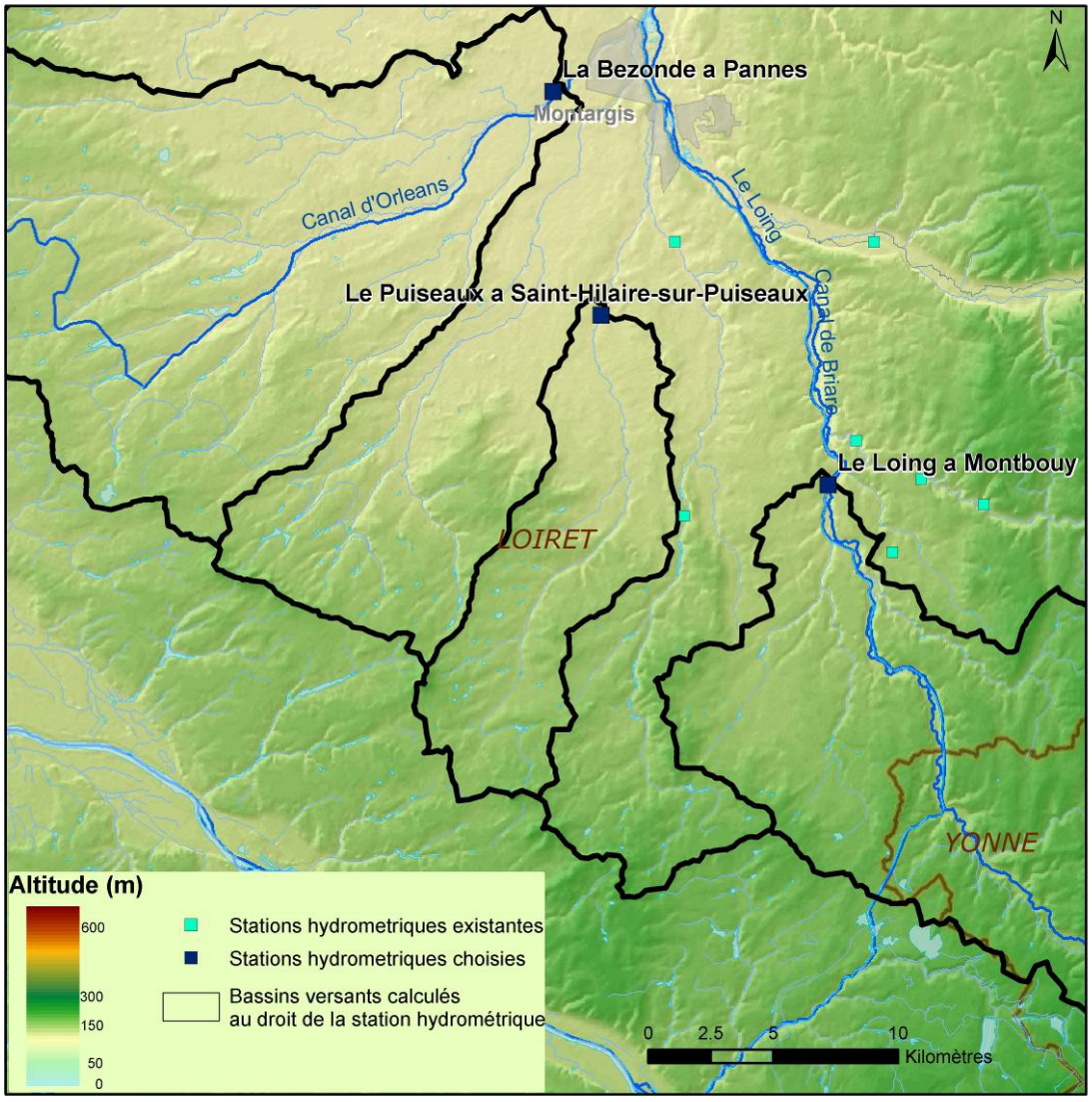


Illustration 174 : Altitude des terrains dans le bassin versant du Puiseaux (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant est de 1,4% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), ce qui est faible. La pente maximale est de 16,4% et les pentes

supérieures à 5% occupent seulement 2% du territoire. Le bassin versant est donc très peu pentu. On rappelle que pour la Bezonde, les chiffres étaient très similaires : pente moyenne 1,3%, pente maximale 9,8% et 1% du territoire occupé par les pentes supérieures à 5%.

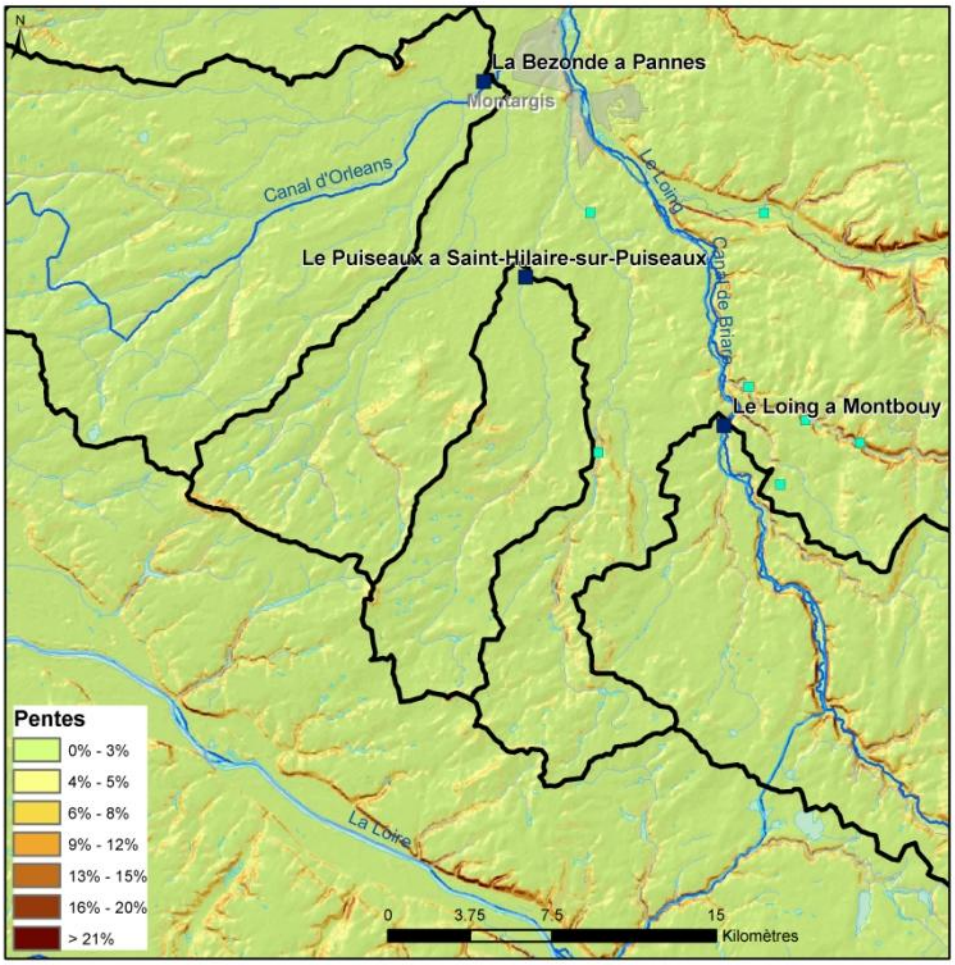


Illustration 175 : Pente des terrains dans le bassin versant du Puiseaux (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- zones agricoles hétérogènes : 51% ;
- prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives : 47% ;
- zones urbanisées industrialisées : 2% ;
- Mines, décharges et chantiers : < 1%.

Il s'agit donc globalement d'un bassin versant à dominante agricole mais avec une part importante de prairies et forêts, et avec une faible emprise urbaine.

Il n'a pas été identifié de rejets de stations d'épuration en fond de vallée (cf. Illustration 173).

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 13. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (94 km²), ils correspondent à une lame d'eau variant de 7,7 à 21,9 mm.

Annee	Prel_Irrigation
1995	721 230
1996	1 296 516
1997	1 211 369
1998	1 169 959
1999	1 237 907
2000	964 698
2001	890 385
2002	1 594 176
2003	2 000 537
2004	1 240 304
2005	1 644 066
2006	2 063 064

Tableau 13 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant du Puiseaux

Les prélèvements pour l'AEP atteignent environ 200 000 m^3 par an, soit une lame d'eau annuelle légèrement supérieure à 2 mm.

5.2.2. Climatologie

Le bassin versant du Puiseaux reçoit en moyenne environ 726 mm d'eau par an (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Il s'agit donc d'un territoire moyennement arrosé à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de quatre stations météorologiques ont été utilisées dans le cadre de la modélisation. Ce sont les mêmes que pour la Bezonde, à savoir :

- Lorris (type 4, création de la station en octobre 1971), située à 12 km à l'ouest du bassin versant et recevant en moyenne une pluviométrie annuelle de l'ordre de 690 mm ;
- Ladon (type 4, création de la station en mars 1974), située à 15 km au NO du bassin versant ;
- Amilly (type 2, création de la station en janvier 1944), située à 5 km au NNE de la station hydrométrique de Saint-Hilaire-sur-Puiseaux ;

- Chartres (type 1, création de la station en janvier 1921), située à 110 km environ au nord-ouest de la station hydrométrique de Saint-Hilaire-sur-Puiseaux et qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des trois chroniques de pluie ci-dessus. La formule retenue est :

$$P_{opt} = 88\% * Ladon + 12\% * Lorris$$

En particulier, la chronique pluviométrique d'Amilly n'intervient pas dans cette pluie optimale.

5.2.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

Le bassin versant du Puiseaux se situe dans un contexte extrêmement similaire à celui de la Bezonde. On pourra donc se reporter au chapitre relatif à la Bezonde pour l'essentiel de la description hydrogéologique. On remarque juste la présence à l'affleurement de la craie sénonienne en limite est du bassin versant (en vert sur l'Illustration 176).

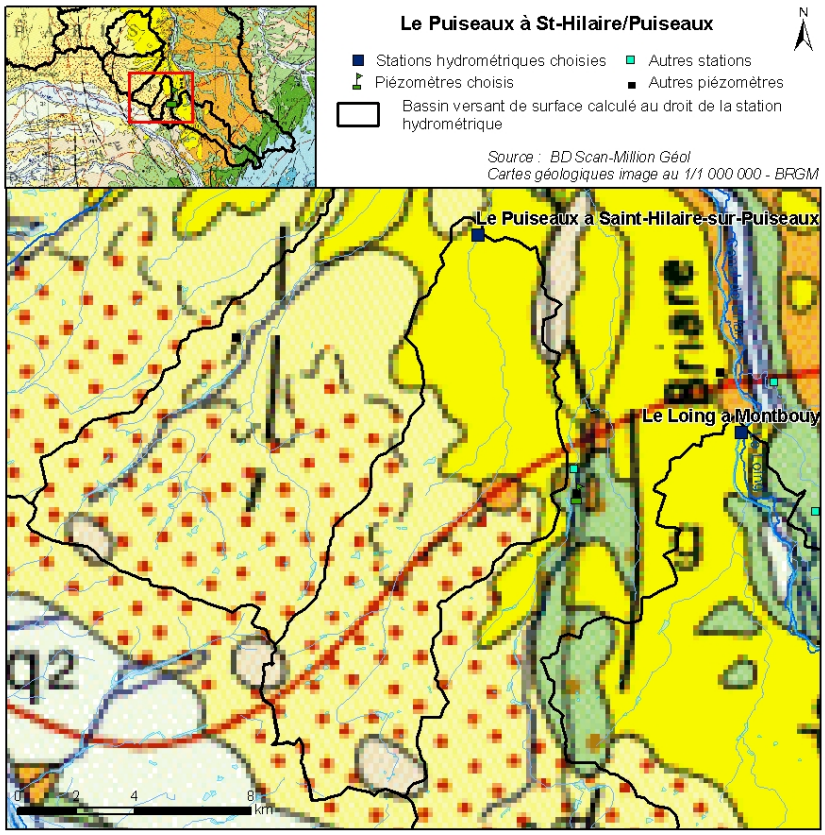


Illustration 176 : Carte géologique du bassin versant du Puiseaux

L'IDPR médian sur le bassin versant est de 1028 (contre 1023 pour la Bezonde).

De même que pour le bassin versant de la Bezonde, le piézomètre utilisé est celui de Villemoutiers. En particulier, celui de la Cour Marigny n'a pas été retenu compte tenu de l'arrêt de l'acquisition des données depuis 2006.

b) Piézométrie

La description du piézomètre de Villemoutiers est identique à celle présentée pour la Bezonde. Elle est néanmoins reprise ici par souci d'exhaustivité des informations fournies par bassin versant.

Le piézomètre de Villemoutiers dispose d'une chronique démarrant le 02/08/1994 et ne présentant pas de discontinuité importante jusqu'à fin juillet 2008 (cf. Illustration 177, l'écart maximal entre deux mesures est inférieure à 60 jours avec une seule occurrence de plus de 30 jours).

La fréquence d'acquisition des données est quotidienne. La chronique présente des fluctuations saisonnières bien individualisées. Cette chronique est influencée, comme on le voit nettement en été 1996, en été 1998 ou encore en été 2004.

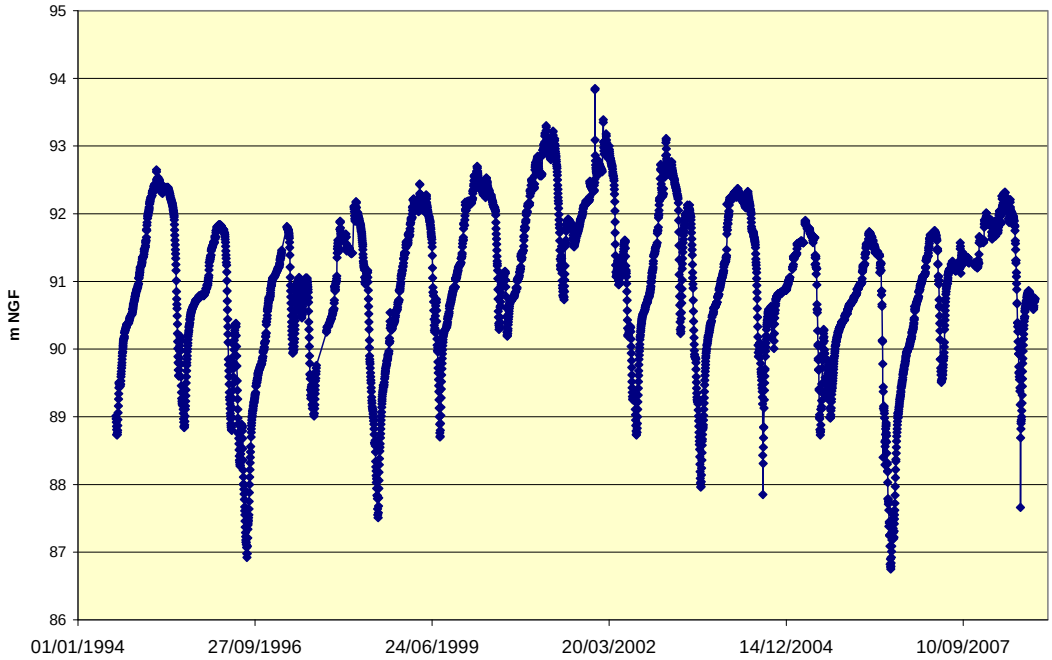


Illustration 177 : Chronique piézométrique de Villemoutiers (indice national : 03651X0107/P)

5.2.4. Hydrologie

La station hydrométrique de Saint-Hilaire-sur-Puiseaux dispose d'une chronique de débit journalier démarrant le 19/08/1972. Elle est continue jusqu'au 31/07/2008 mais

présente de nombreuses périodes d'assec : du 29/06/1976 au 30/09/1976, du 31/07/1990 au 19/10/1990, du 25/07/1991 au 24/11/1991, du 25/07/1992 au 19/11/1992, du 08/08/1993 au 30/09/1993, du 02/08/1996 au 19/09/1996, du 08/08/1998 au 26/09/1998, du 20/08/2003 au 25/09/2003, du 19/08/2005 au 10/09/2005 (sauf le 25/08/2005) et du 12/07/2006 au 02/10/2006 (sauf le 13/07/2006).

Ces assecs peuvent être traduits par un faible soutien de la nappe ou par une très faible inertie de la nappe intervenant en soutien.

La lame d'eau moyenne interannuelle est de 155 mm, ce qui est inférieur à la valeur moyenne rencontrée en Seine-Normandie. Le débit journalier maximal connu est de 8,14 m^3/s.

Le QMNA5 est de 0,004 m^3/s pour un bassin versant d'une superficie de 94 km^2.

Les hautes eaux interviennent en février et les basses eaux en septembre (cf. Illustration 178).

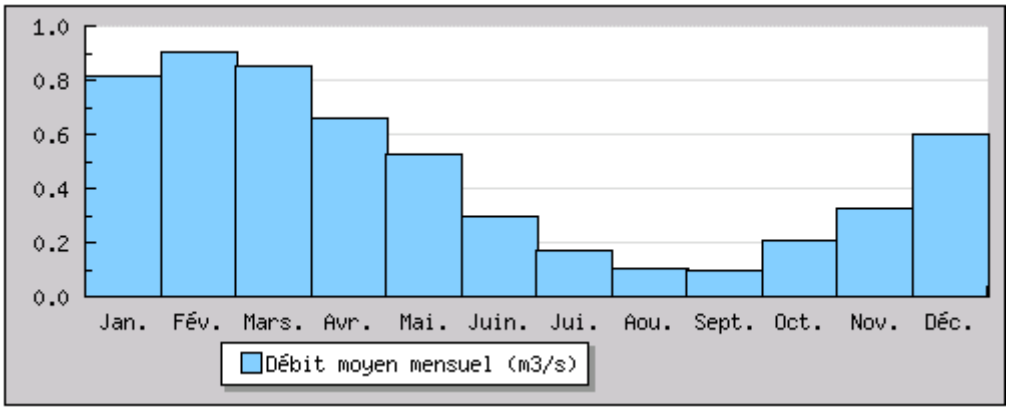


Illustration 178 : Débit moyen mensuel (en m^3/s) du Puiseaux à la station hydrométrique de Saint-Hilaire-sur-Puiseaux (source : banque HYDRO)

5.2.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit du Puiseaux a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : pluie optimale (P_{opt} = 12% * Lorris + 88% * Ladon) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Chartres ;
- Piézométrie : piézomètre de Villemoutiers.

Pour la modélisation du piézomètre, les mêmes données météorologiques ont été utilisées. Les prélèvements sur le bassin versant de la Bezonde ont aussi été pris en compte, les fluctuations du piézomètre étant influencées. Ils ont été intégrés sous la forme de prélèvements journaliers, les prélèvements connus annuellement ayant été ramenés à un pas quotidien. Pour ce faire, la méthode utilisée a été la suivante :

- pour les prélèvements industriels et ceux des collectivités : répartition homogène sur l'ensemble de l'année ;
- pour les prélèvements agricoles : répartition de la valeur annuelle sur la période allant du 10 mai au 10 août, par une pondération basée sur le déficit pluviométrique par rapport aux besoins moyens estimés des plantes (2 mm par jour).

La modélisation a donné un résultant relativement satisfaisant, avec un coefficient de Nash égal à 0,74 sur la période allant du 10/08/1994 au 31/07/2008 (cf. Illustration 179). Elle est légèrement différente de celle qui a été conduite sur le même piézomètre pour le bassin versant de la Bezonde : la pluviométrie utilisée (la pluie optimale) n'est en effet pas la même.

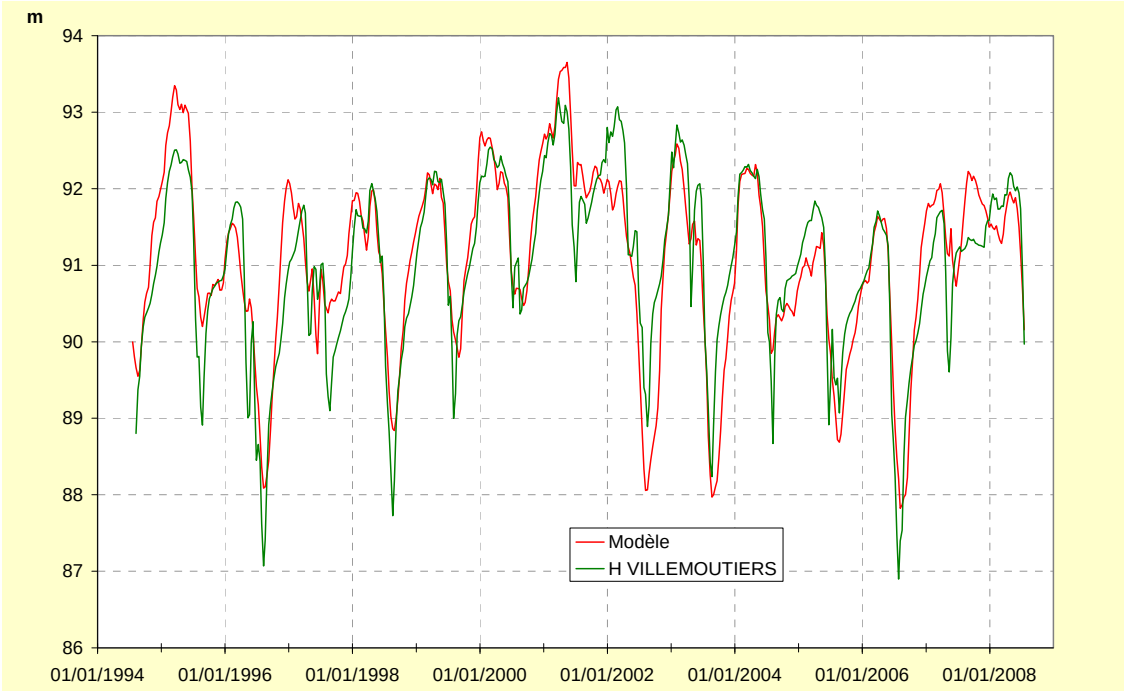


Illustration 179 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Villemoutiers

La modélisation du débit du Puiseaux a été effectuée avec un coefficient de Nash de 0,73 sur la période allant du 28/11/1994 au 31/07/2008 (cf. Illustration 180).

L'Illustration 181 montre les composantes du débit modélisé à la station hydrométrique de Saint-Hilaire-sur-Puiseaux. Cette décomposition du signal fait apparaître une contribution saisonnière importante du ruissellement (courbe bleue, « rapide ») et à l'inverse une très faible contribution des eaux souterraines au débit de ce cours d'eau (courbe verte, « lente »).

L'Illustration 182 présente la décomposition du débit moyen mensuel modélisé.

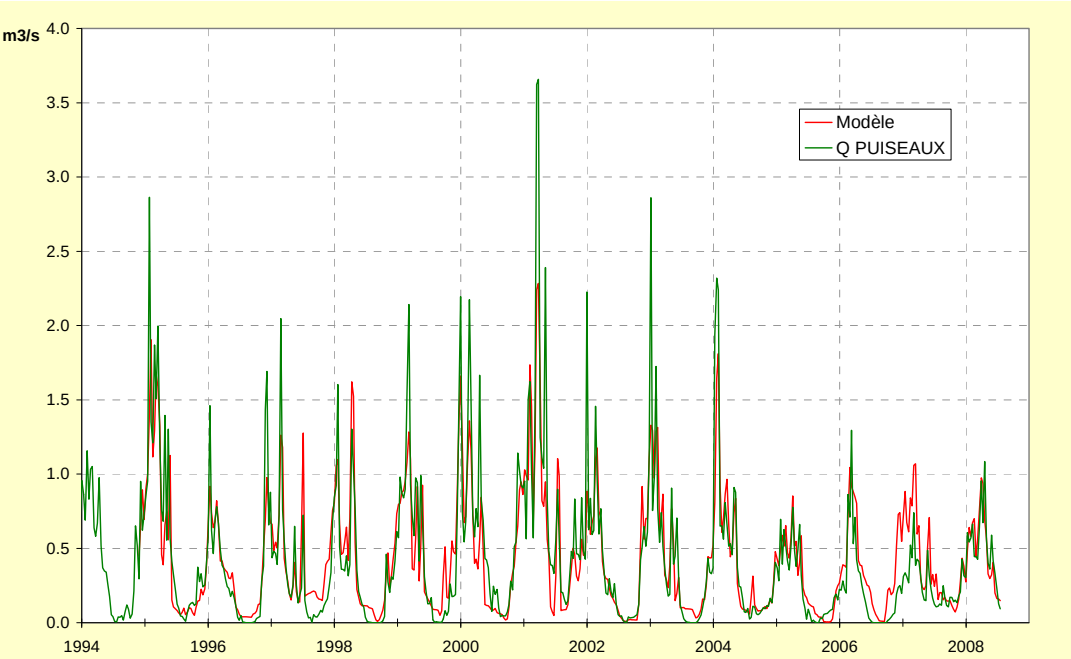


Illustration 180 : Modélisation du débit du Puiseaux à la station de Saint-Hilaire-sur-Puiseaux en utilisant le piézomètre de Villemoutiers

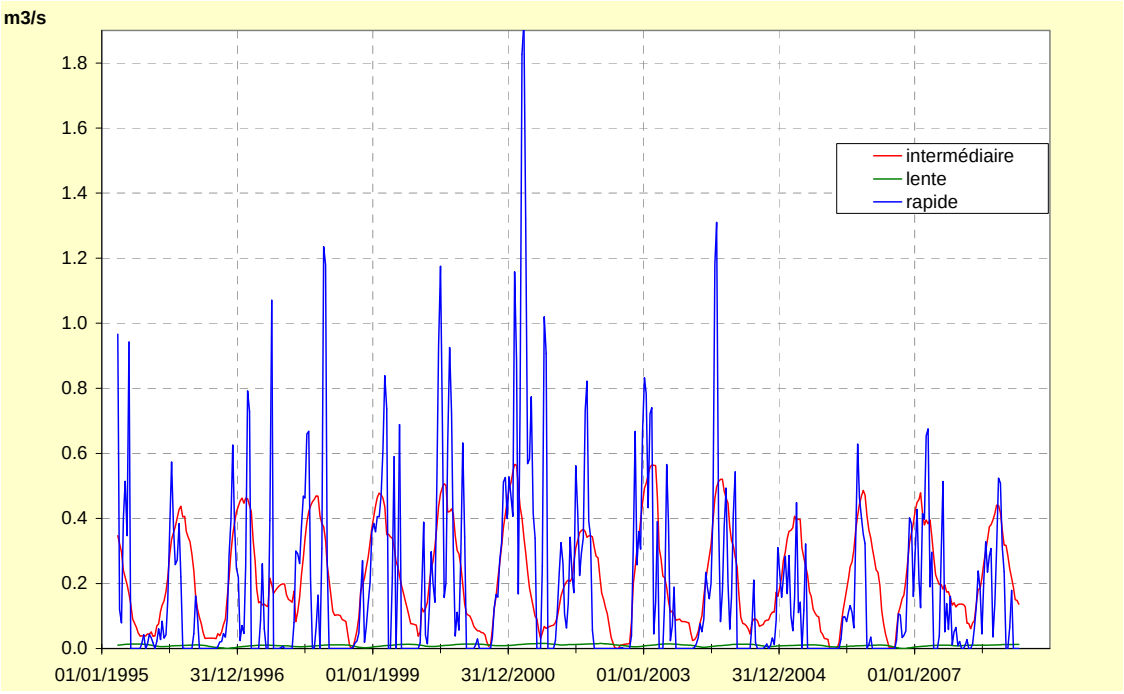


Illustration 181 : Composantes du débit du Puiseaux modélisé à la station de Saint-Hilaire-sur-Puiseaux

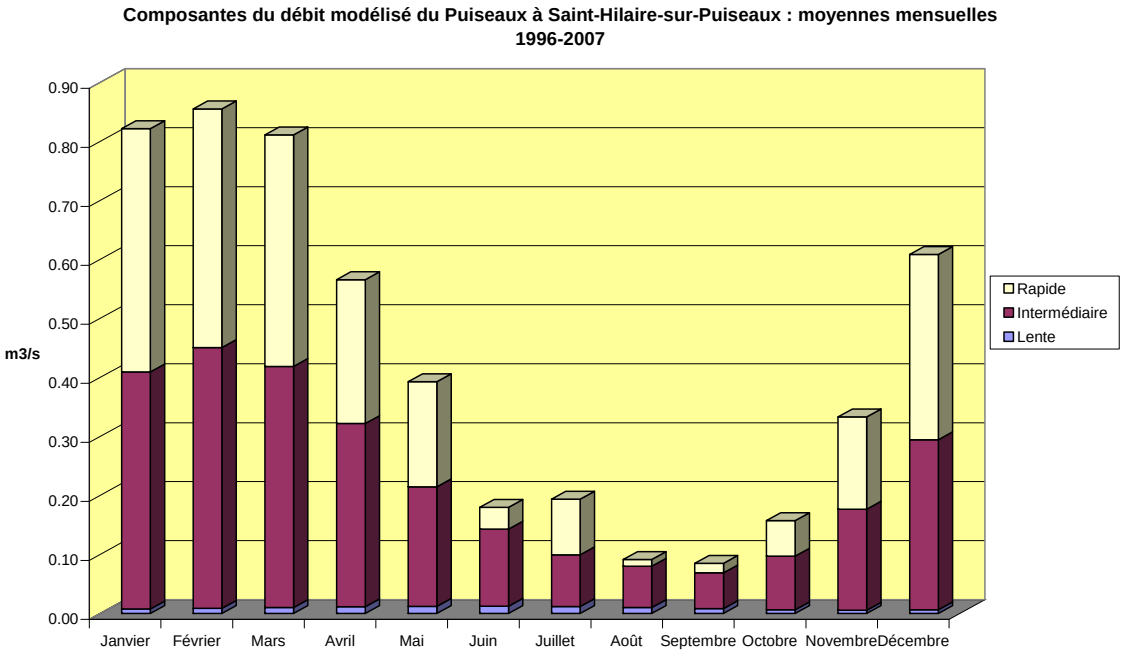


Illustration 182 : Composantes du débit moyen mensuel de la Bezonde modélisé à la station de Pannes

5.3. BASSIN VERSANT DE LA CONIE

5.3.1. Caractéristiques du bassin versant

La Conie est un affluent en rive gauche du Loir. La rivière prend sa source dans l'ouest du département du Loiret, à Villeneuve-sur-Conie. On identifie en fait deux Conie, la seconde prenant sa source dans l'est du département de l'Eure-et-Loir, près de Germignonville. Les deux bras amont de la Conie se rejoignent à Nottonville dans l'Eure-et-Loir, à quatre kilomètres à l'amont de la station hydrométrique de Conie-Molitard (Pont-de-Bleuet). Le bassin versant de la Conie à cette station est de 1450 km² (source : Banque HYDRO).

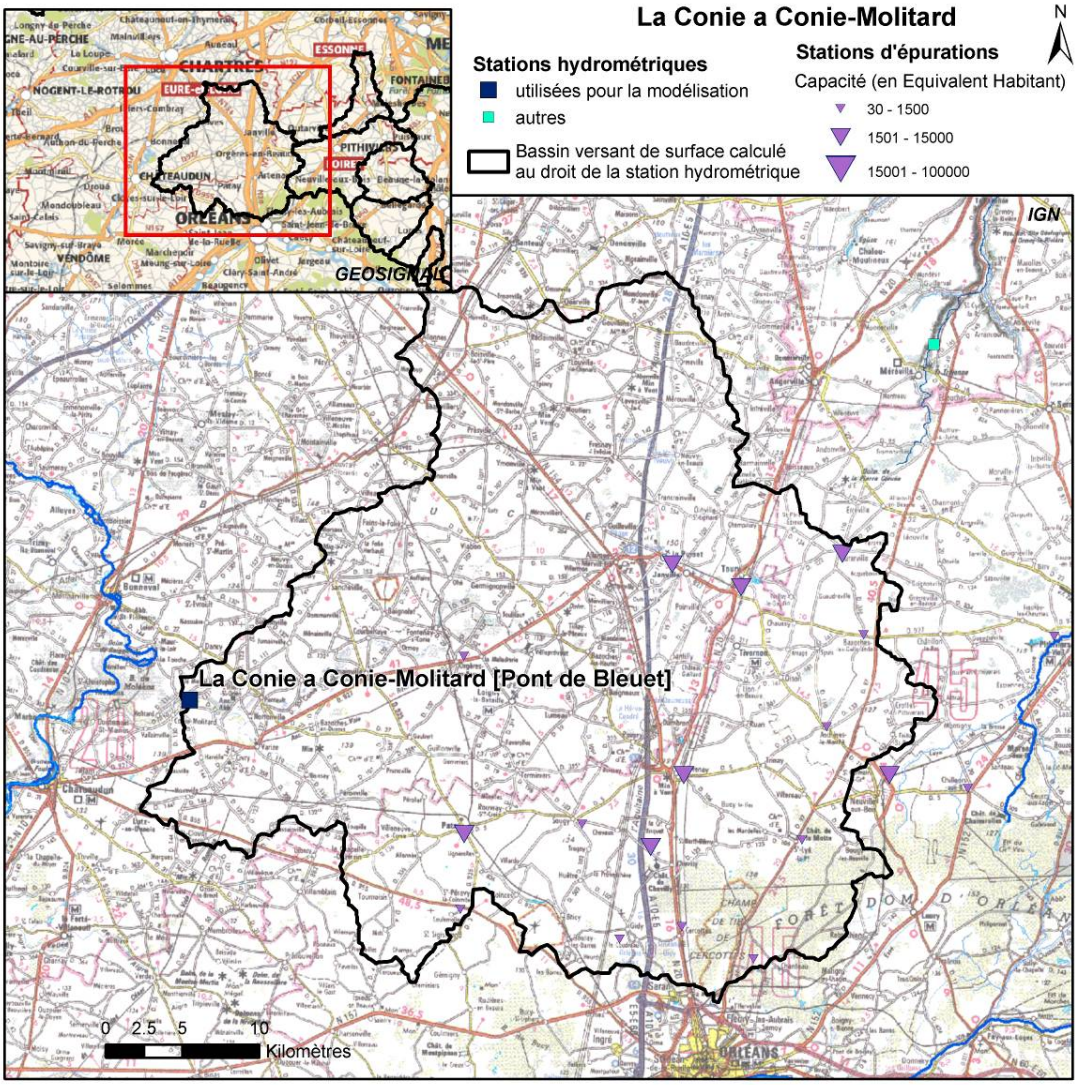


Illustration 183 : Localisation du bassin versant de la Conie (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude dans le bassin versant de l'Ardres s'échelonne de 157 à 111 m NGF, ce qui représente un très faible dénivelé pour un bassin versant de taille conséquente (1 450 km²).

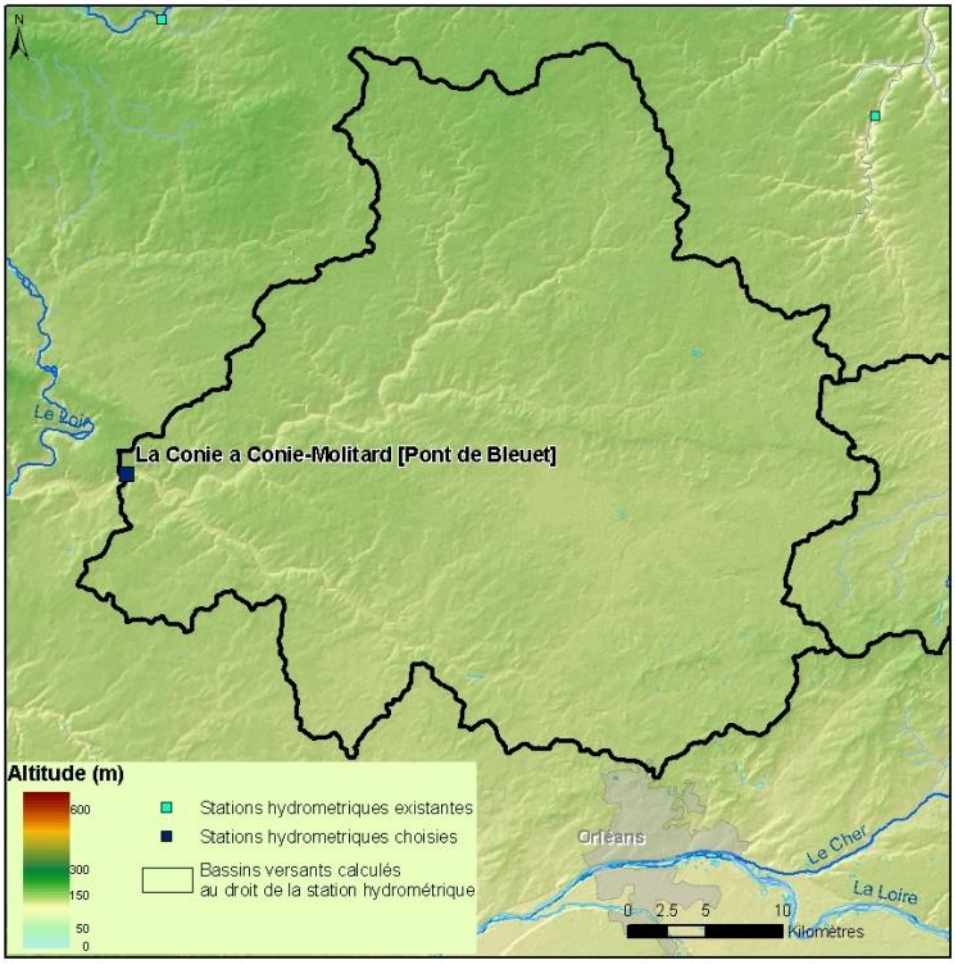


Illustration 184 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Conie (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant est de 1,0% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), ce qui est très faible. La pente maximale est de 24% et les pentes supérieures à 5% occupent seulement 1% du territoire. Le bassin versant est donc extrêmement plat, ce qui est défavorable au ruissellement. On note que la densité de drainage calculée à partir du réseau hydrographique Carthage de l'IGN est de 0,4 km/km², ce qui est très faible.

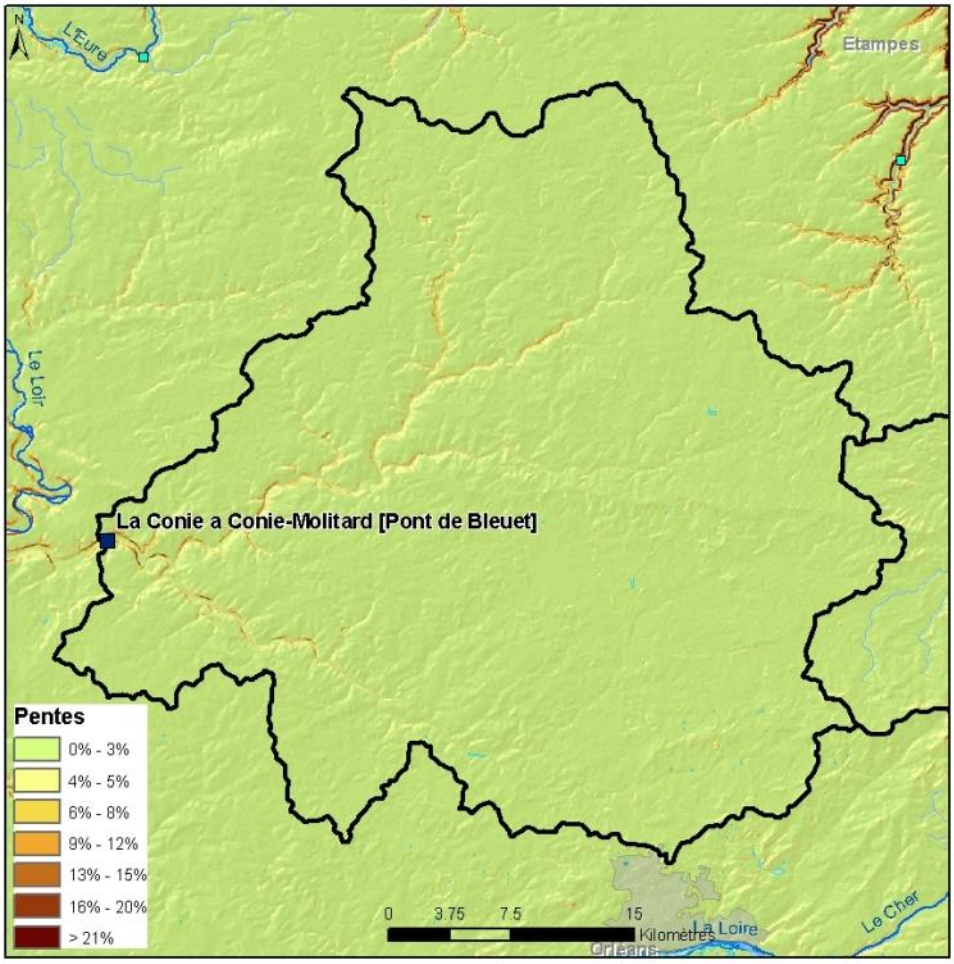


Illustration 185 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Conie (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- zones agricoles hétérogènes : 91% ;
- prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives : 7% ;
- zones urbanisées industrialisées : 2% ;
- zones naturelles et « mines, décharges et chantiers » : < 1%.

Il s'agit donc globalement d'un bassin versant très fortement agricole, avec une emprise urbaine faible.

Plusieurs stations d'épuration sont situées dans le bassin versant (cf. Illustration 183).

Les prélèvements pour l'irrigation et l'eau potable sont présentés dans le Tableau 14. Les volumes ont été estimés de 1994 à 2007 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Les volumes prélevés pour l'irrigation en 1994 et 2007 ne sont pas connus.

Annee	Prel AEP	Prel Irrigation
1994	2 006 659	
1995	1 614 408	7 271 506
1996	1 789 699	14 152 752
1997	1 853 492	13 322 335
1998	1 844 320	13 033 168
1999	1 678 645	14 345 887
2000	1 692 814	10 128 744
2001	1 595 815	12 638 001
2002	1 702 354	17 417 206
2003	1 937 381	23 255 394
2004	1 854 543	18 627 094
2005	1 796 964	17 356 758
2006	1 661 545	20 727 818
2007	1 652 865	

Tableau 14 : Prélèvements pour l'AEP et l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Conie

Concernant l'irrigation, on remarque que les prélèvements estimés de 2002 à 2006 sont en augmentation par rapport aux 7 années précédentes. Ramenés à la surface du bassin versant (1450 km²), ils correspondent à une lame d'eau variant de 5 à 16 mm entre 1995 et 2006.

Les prélèvements pour l'AEP atteignent environ 1,1 million de m^3 par an, soit une lame d'eau annuelle de 0,75 mm environ.

À cela s'ajoutent environ 370 000 m^3 prélevés annuellement pour l'industrie (lame d'eau moyenne annuelle de 0,25 mm).

5.3.2. Climatologie

Le bassin versant de la Conie reçoit en moyenne environ 635 mm d'eau par an (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Il s'agit donc d'un territoire recevant une pluviométrie inférieure à la moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de trois stations météorologiques ont été utilisées dans le cadre de la modélisation :

- Chateaudun-Jallans (type 1, création de la station en juillet 1951), située à 7 kilomètres environ au sud-ouest de la station hydrométrique de Conie-Molitard et recevant en moyenne une pluviométrie annuelle du même ordre que celle du bassin versant ;

- Viabon (type 2, création de la station en septembre 1993), située au cœur du bassin versant. Il y a une décade manquante entre septembre 1993 et juillet 2008 : du 11 au 20 octobre 2000. Cette station reçoit en moyenne une pluviométrie annuelle équivalente à celle du bassin versant ;
- Chartres-Champhol (type 1, création de la station en janvier 1921), située à une quarantaine de kilomètres au nord de la station hydrométrique de Conie-Molitard et qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman.

Une pluie optimale a été calculée pour ce bassin versant, à partir des chroniques de Chateaudun-Jallans et de Viabon. Cette pluie optimale démarre en septembre 1993 (pas de données avant cette date à la station de Viabon). Compte tenu de l'inertie du système (cf. suite), cette option a été abandonnée et les modélisations ont été effectuées avec la chronique pluviométrique de Chateaudun-Jallans.

Concernant l'évapotranspiration, les données décadaires de Chartres-Champhol et d'Orléans-Bricy ont été comparées sur la période allant du 01/01/2005 au 31/12/2008 (cf. Illustration 186). Les deux chroniques sont très similaires. L'écart maximal entre les deux valeurs calculées est de 5,1 mm, pour un écart médian de 1,1 mm et un écart-type des écarts de 1,2 mm. Pour des questions d'accessibilité à la donnée, la station de Chartres-Champhol a été utilisée.

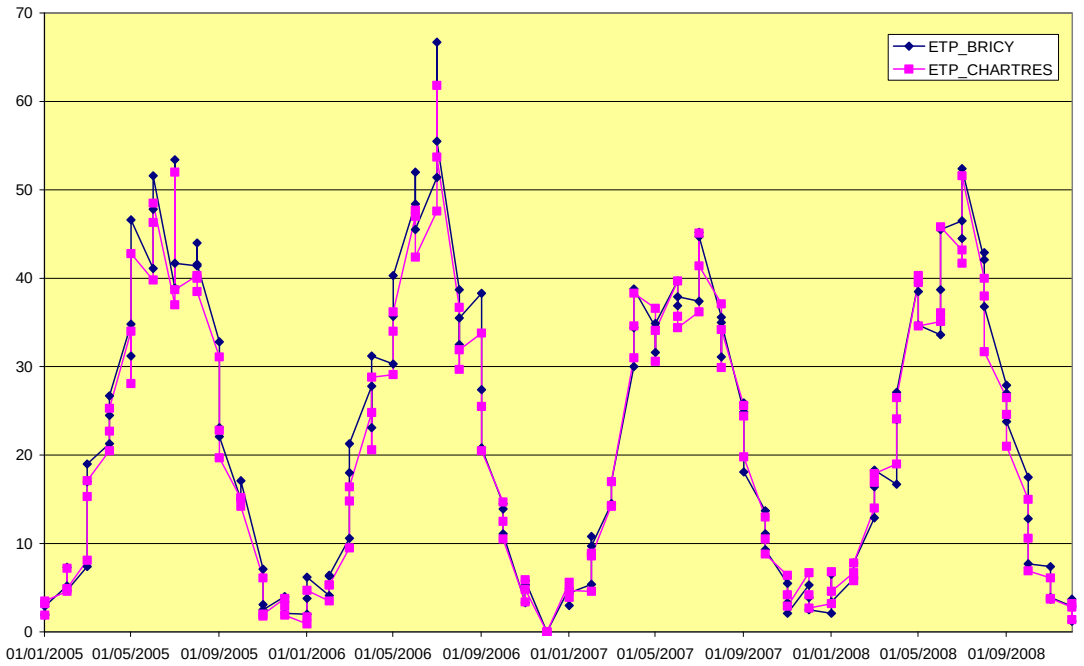


Illustration 186 : Évapotranspiration décadaire (en mm) calculée aux stations météorologiques de Chartres-Champhol et d'Orléans-Bricy (données MétéoFrance)

5.3.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

Le bassin versant de la Conie s'est développé dans les calcaires de Beauce qui affleurent sur plus des ¾ du territoire. Dans la partie avale de la Conie, soit très schématiquement à partir de la confluence des deux Conie, les formations géologiques rencontrées sont plus anciennes : elles datent de l'Éocène et du Paléocène. On retrouve notamment :

- les calcaires du Lutétien ;
- les argiles à silex, formation imperméable recouvrant la craie sénonienne.

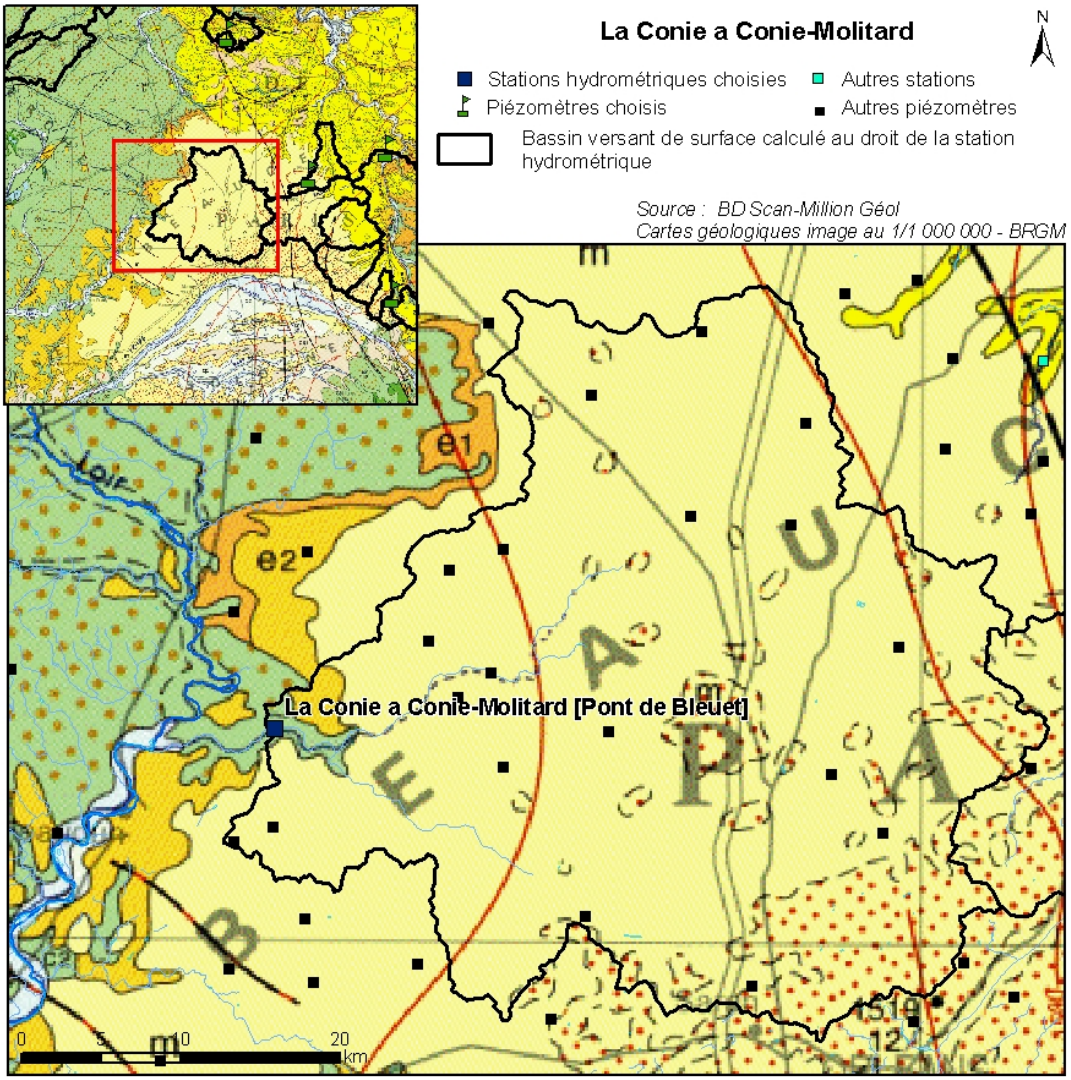


Illustration 187 : Carte géologique du bassin versant de la Conie

Les argiles à silex constituent la formation géologique prédominante en fond de vallée entre la confluence des deux Conie et la station hydrométrique de Pont-de-Bleuet.

En particulier, et contrairement à ce que peut laisser supposer la carte géologique au 1/1 000 000 la craie n'affleure en fond de vallée qu'après la station hydrométrique de Pont-de-Bleuet. Elles demeurent précédemment sous recouvrement des argiles à silex.

L'IDPR médian est de 80, ce qui correspond à un bassin versant dans lequel l'infiltration est très largement prédominante. On rappelle que pour les deux autres bassins de la région Centre traités dans le cadre de cette étude (Bezonde et Puiseaux), la valeur médiane de l'IDPR était supérieure à 1 000 et présentaient donc des comportements très différents (faible soutien du cours d'eau par la nappe, fort contribution du ruissellement au débit de la rivière).

L'aquifère prédominant dans ce bassin versant est celui des calcaires de Beauce.

b) Piézométrie

Plusieurs piézomètres captent les calcaires du Beauce dans ce secteur. On peut citer notamment :

- Lutz-en-Dunois (indice national : 03614X0001/PAEP) : données disponibles du 04/05/1993 au 31/07/2008 ;
- Fains-la-Folie (indice national : 03263X0004/FAEP) : données disponibles du 12/02/1993 au 31/07/2008 ;
- Cormainville (indice national : 03266X0009/P) : données disponibles du 28/10/1974 au 31/07/2008 ;
- Bonneval (indice national : 03254X0103/F) : données disponibles du 09/02/1993 au 31/07/2008.

Il existe par ailleurs l'indicateur piézométrique de Beauce centrale, qui combine les niveaux de cinq piézomètres et qui est utilisé pour la gestion volumétrique de la ressource en eau). Les données reconstituées sont disponibles du 29/10/1974 au 31/07/2008 (cf. Illustration 188).

Compte tenu de la longueur de sa chronique et de son caractère très inertiel, semblable à ce qui est observé dans la chronique de débit, c'est l'indicateur de Beauce qui est utilisé dans la modélisation.

On identifie trois périodes d'interruption des données de plus de 50 jours dans la chronique de l'indicateur : du 29/12/1993 au 21/02/1994, du 17/01/1996 au 11/03/1996 et du 01/08/2001 au 01/10/2001.

La fréquence d'acquisition des données est hebdomadaire. La chronique fait apparaître des fluctuations piézométriques fortement pluriannuelles.

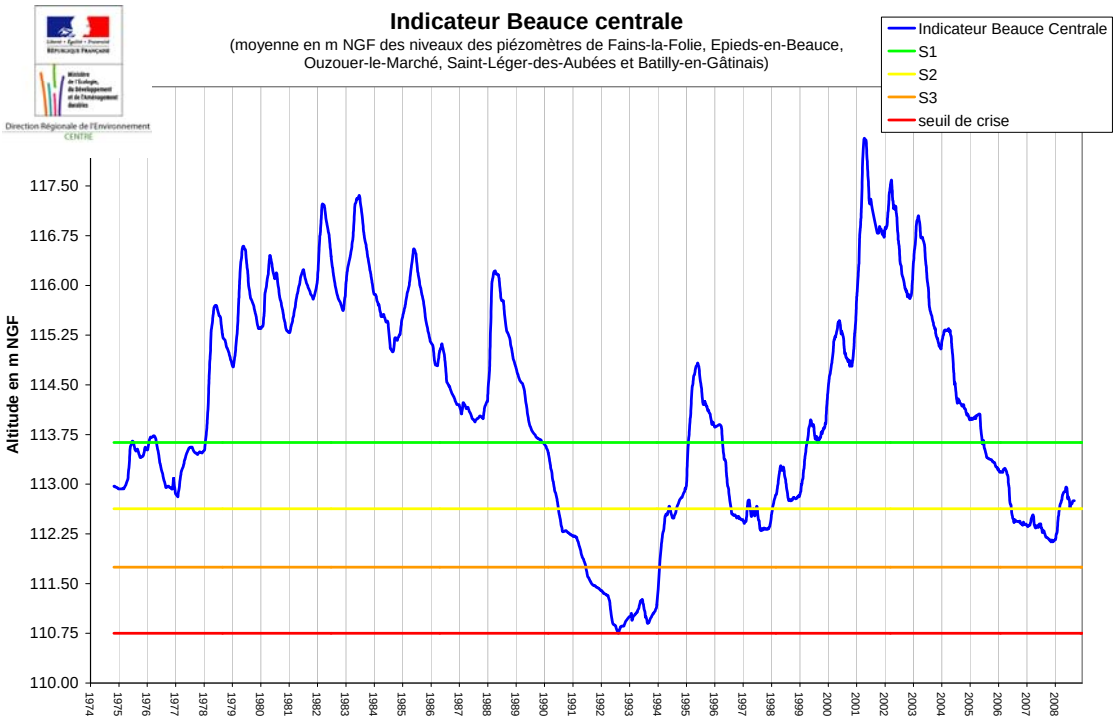


Illustration 188 : Fluctuations piézométriques reconstituées de l'indicateur de Beauce centrale

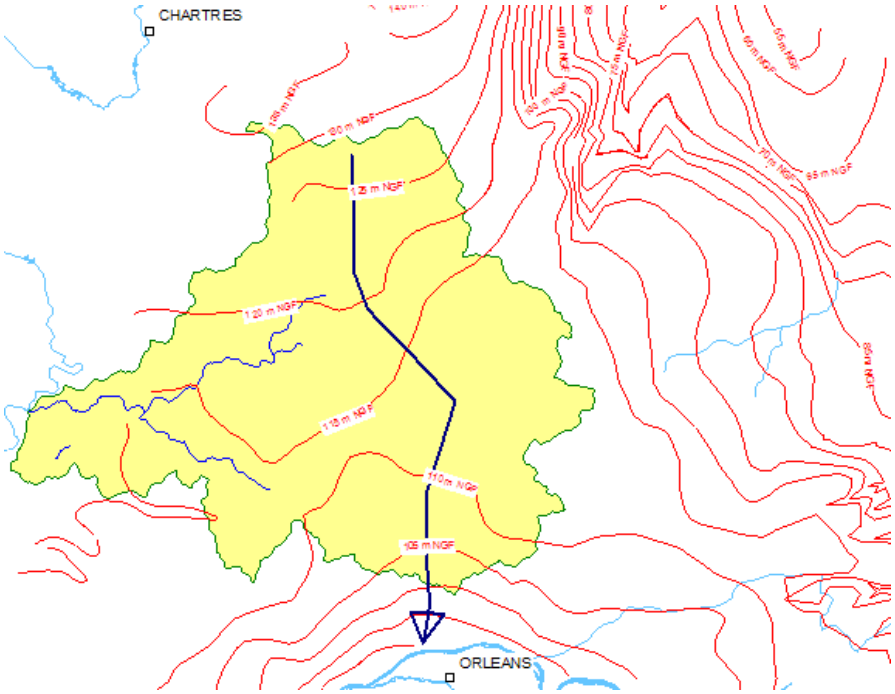


Illustration 189 : Représentation schématique de l'écoulement de la nappe des calcaires de Beauce selon les isopièzes des hautes eaux 2002

Enfin, une carte piézométrique de hautes eaux (2002) et une autre de basses eaux (1994) ont été réalisées pour les calcaires de Beauce. Toutes deux ont fait apparaître l'existence d'un écoulement de la nappe orienté du Nord vers le Sud (drainage par la Loire), engendrant un écart important entre le bassin versant de surface et le bassin versant souterrain. L'Illustration 189 (basée sur les isopièzes des hautes eaux 2002) représente schématiquement cet écoulement.

5.3.4. Hydrologie

Le débit de la Conie est connu par la station hydrométrique de Conie-Molitard (Pont-de-Bleuet) (code HYDRO : M1073001). Il existe une autre station hydrométrique située dans le bassin versant :

- Conie-Molitard / Valainville (code HYDRO : M1073010), située à l'aval de Conie-Molitard (Pont-de-Bleuet) et sur laquelle des données ont été acquises entre 1970 et 1985 (bassin versant de 1 460 km²).

La chronique de débit journalier à Conie-Molitard (Pont-de-Bleuet) s'étale sur une période allant du 01/08/1996 au 31/07/2008. Elle ne comporte pas d'interruptions.

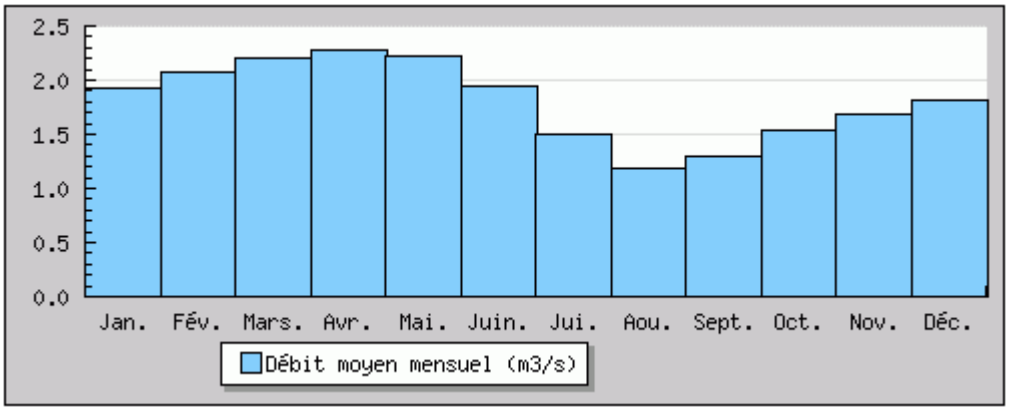


Illustration 190 : Débit moyen mensuel (en m^3/s) de la Conie à la station hydrométrique de Conie-Molitard (source : banque HYDRO)

La valeur maximale enregistrée du débit journalier (7,48 m^3/s) est faible compte tenu de la taille du bassin versant : le ruissellement n'est pas un phénomène prédominant. Le débit moyen annuel est de 1,8 m^3/s (source : Banque HYDRO), ce qui donne une lame d'eau moyenne annuelle est de 39 mm. Il s'agit d'une valeur extrêmement faible, qui corrobore et complète l'information fournie par l'IDPR : l'infiltration est très largement prépondérante sur ce bassin versant et la restitution de l'eau en surface ne se fait que très peu à l'amont de la station hydrométrique de Pont-de-Bleuet. Les basses eaux interviennent en août et les hautes eaux en avril. Le débit de la Conie est fortement soutenu par la nappe tout au long de l'année, dont on retrouve la forte composante interannuelle dans l'allure de la chronique (Illustration 191).

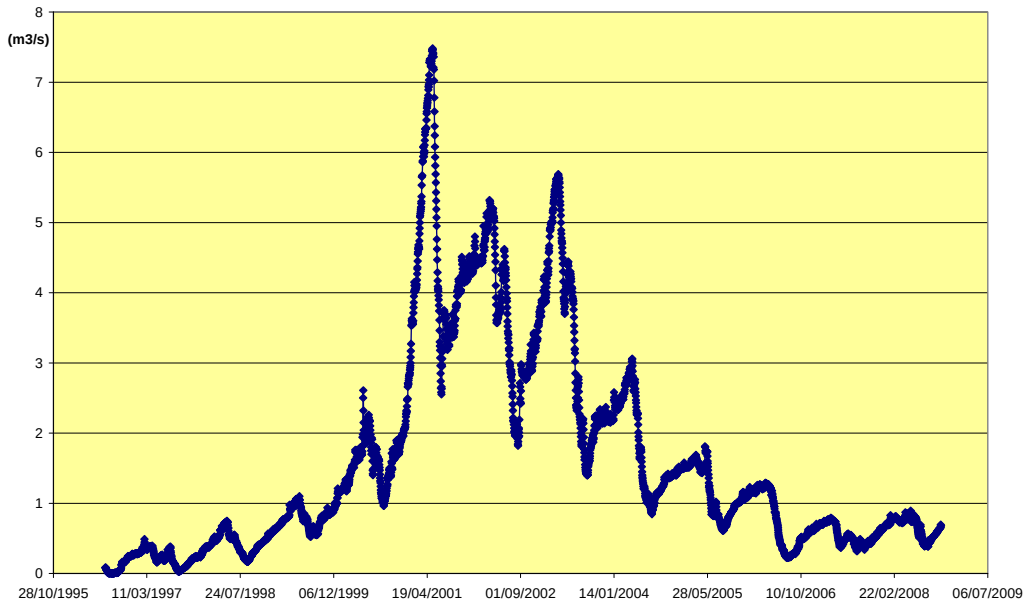


Illustration 191 : Fluctuations du débit de la Conie à la station de Conie-Molitard (Pont-de-Bleuet)

Le QMNA5 est de 0,09 m^3/s pour un bassin versant d'une superficie de 1 450 km^2.

5.3.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de la Conie a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : données décadaires de la station météorologique de Chateaudun-Jallans ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Chartres-Champhol ;
- Piézométrie : indicateur piézométrique de Beauce centrale.

Les prélèvements sur le bassin versant de la Conie ont aussi été pris en compte pour la modélisation du débit : ils ont été intégrés sous la forme de prélèvements journaliers, les prélèvements connus annuellement ayant été ramenés à un pas quotidien. Pour ce faire, la méthode utilisée a été la suivante :

- pour les prélèvements industriels et ceux des collectivités : répartition homogène sur l'ensemble de l'année ;
- pour les prélèvements agricoles : répartition de la valeur annuelle sur la période allant du 10 mai au 10 août, par une pondération basée sur le déficit pluviométrique par rapport aux besoins moyens estimés des plantes (2 mm par jour).

Pour la modélisation du piézomètre, les mêmes données météorologiques ont été utilisées ; les prélèvements n'ont pas été pris en compte.

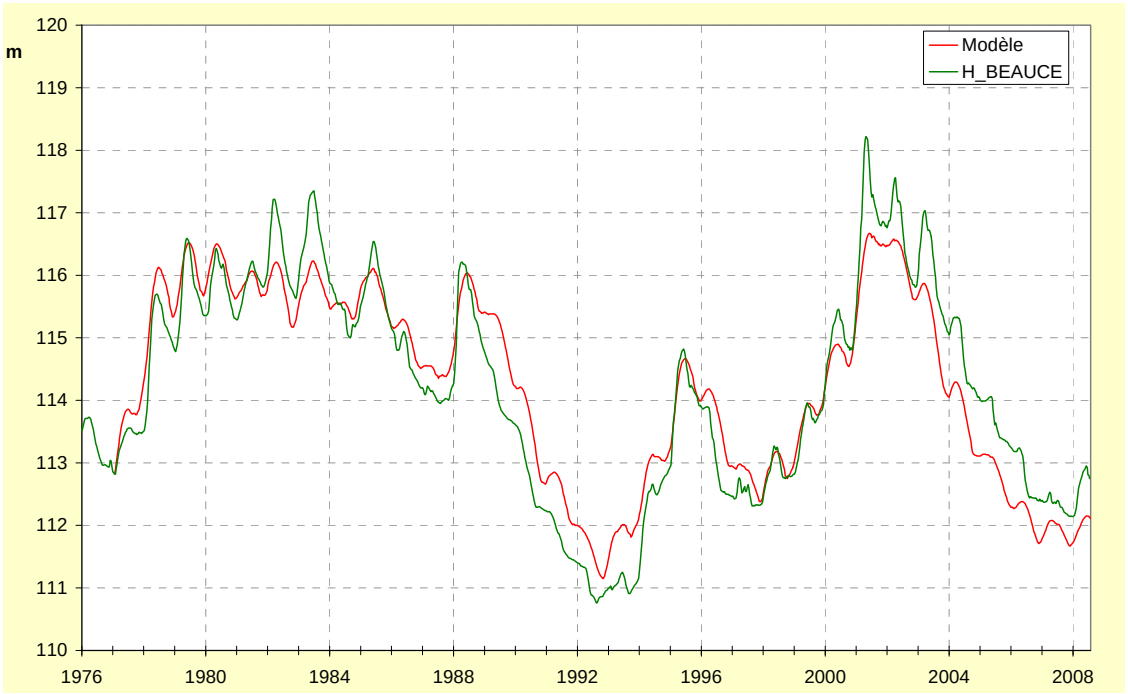


Illustration 192 : Modélisation des fluctuations piézomètriques de l'indicateur de Beauce centrale

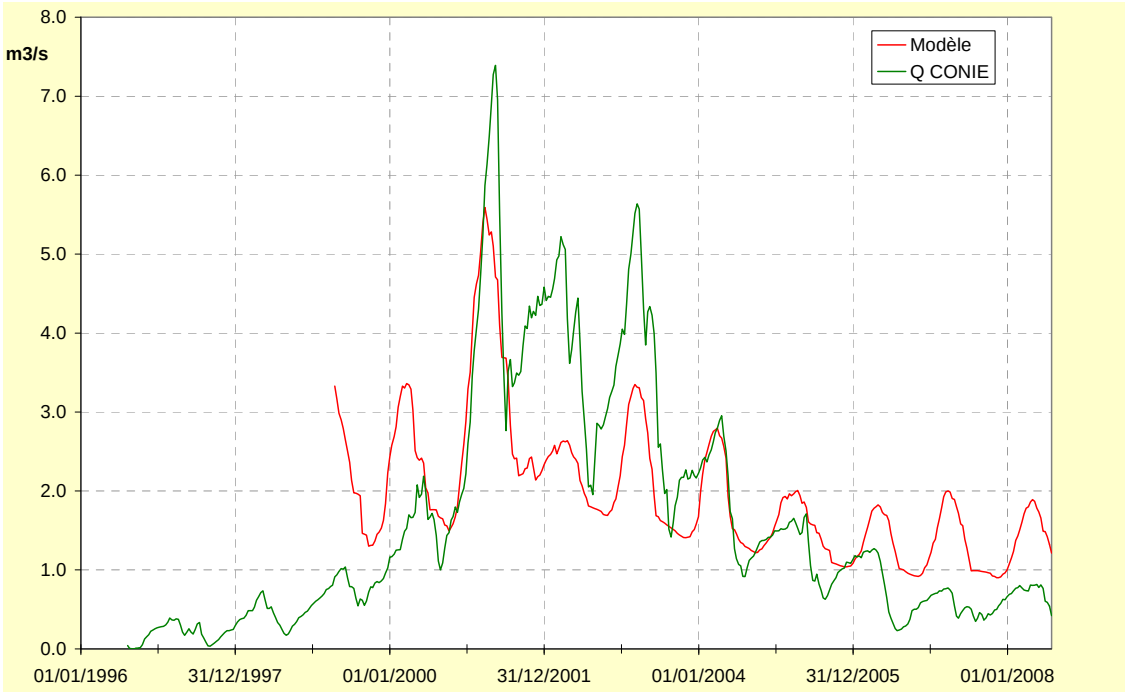


Illustration 193 : Essai de modélisation du débit de la Conie à la station hydrométrique de Pont-de-Bleuet

La modélisation du piézomètre (cf. Illustration 192) a été réalisée en intégrant une composante lente de 2500 jours, ce qui correspond à un système très fortement inertiel (période de modélisation : 1977-2008). La composante « rapide » (à 250 jours) des écoulements souterrains est quasi inexistante dans la modélisation.

Un essai de modélisation du débit de la Conie a été effectué : le résultat est présenté en Illustration 193. **Cet essai n'est pas concluant** et il n'a donc pas été procédé à une estimation des volumes mobilisables sur ce bassin versant.

La relativement courte chronique hydrométrique (12 ans) et l'existence d'un drainage de la nappe vers la Loire peuvent expliquer les raisons pour lesquelles un modèle de traitement du signal (type Tempo) peine à reproduire le fonctionnement de cet hydrosystème.

6. Basse-Normandie

6.1. BASSIN VERSANT DE L'AURE

6.1.1. Caractéristiques du bassin versant

L'Aure est un affluent en rive droite de la Vire. La rivière prend sa source dans l'ouest du département du Calvados, près de Caumont-l'Eventé. Elle traverse notamment la ville de Bayeux. Son bassin versant à la station hydrométrique de Maisons (Pont-Fatu) s'étend sur 135 km² (source : Banque HYDRO).

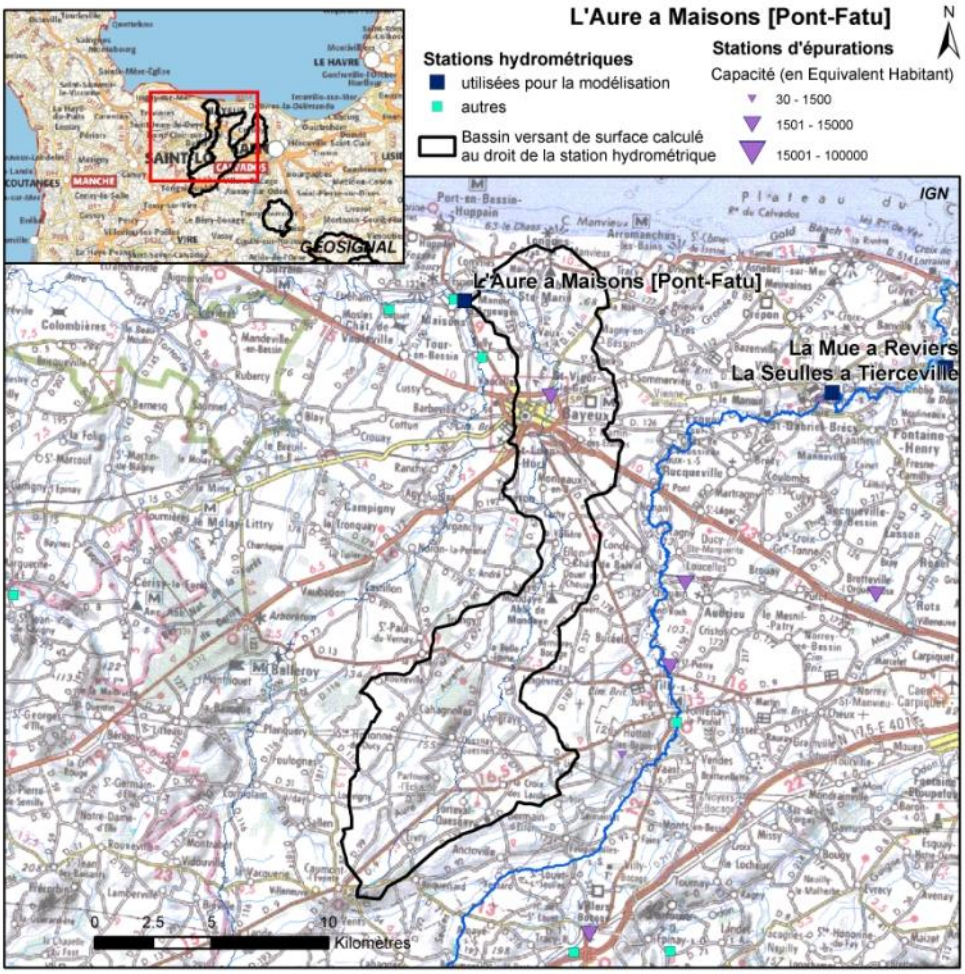


Illustration 194 : Localisation du bassin versant de l'Aure (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude dans le bassin versant de l'Ardres s'échelonne de 243 à 18 m NGF, avec une altitude moyenne de 91 m.

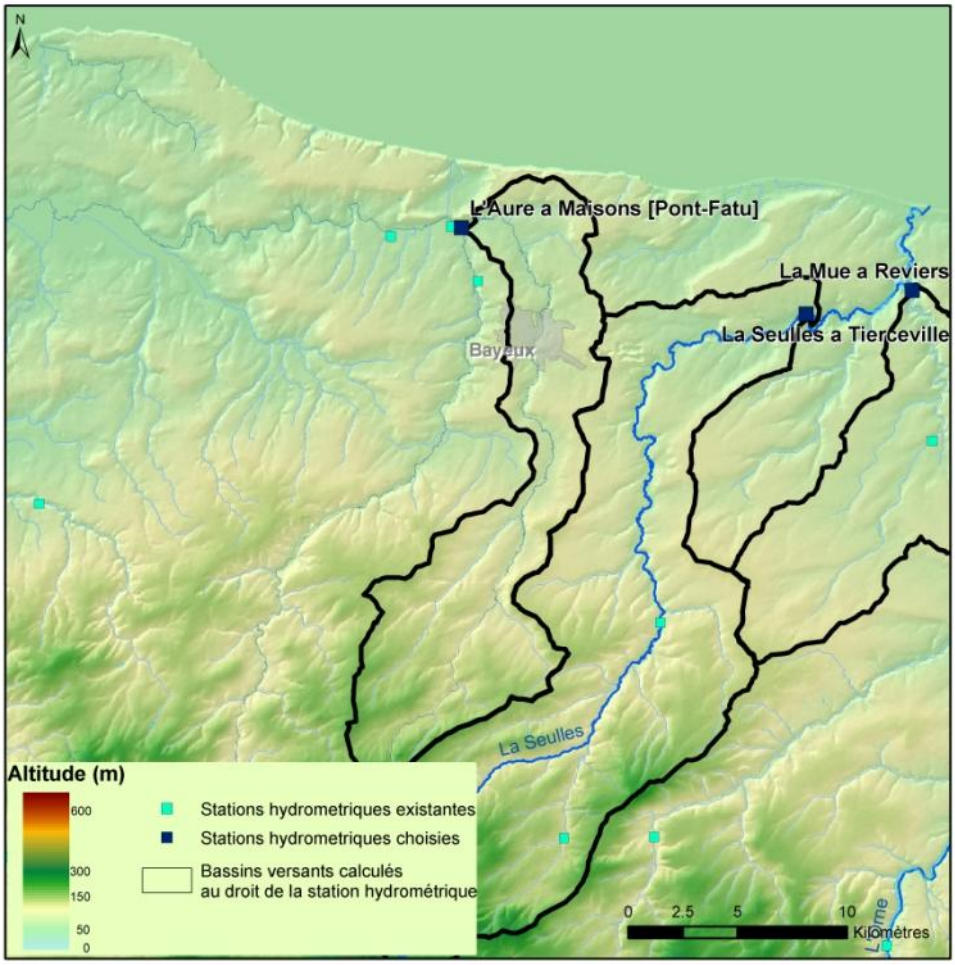


Illustration 195 : Altitude des terrains dans le bassin versant de l'Aure (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant est de 3,4% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), ce qui est dans la moyenne des bassins versants traités dans le cadre de cette étude. La pente maximale est de 27% et les pentes supérieures à 5% occupent 21% du territoire. C'est surtout dans la partie amont du bassin versant que les plus fortes pentes sont observées.

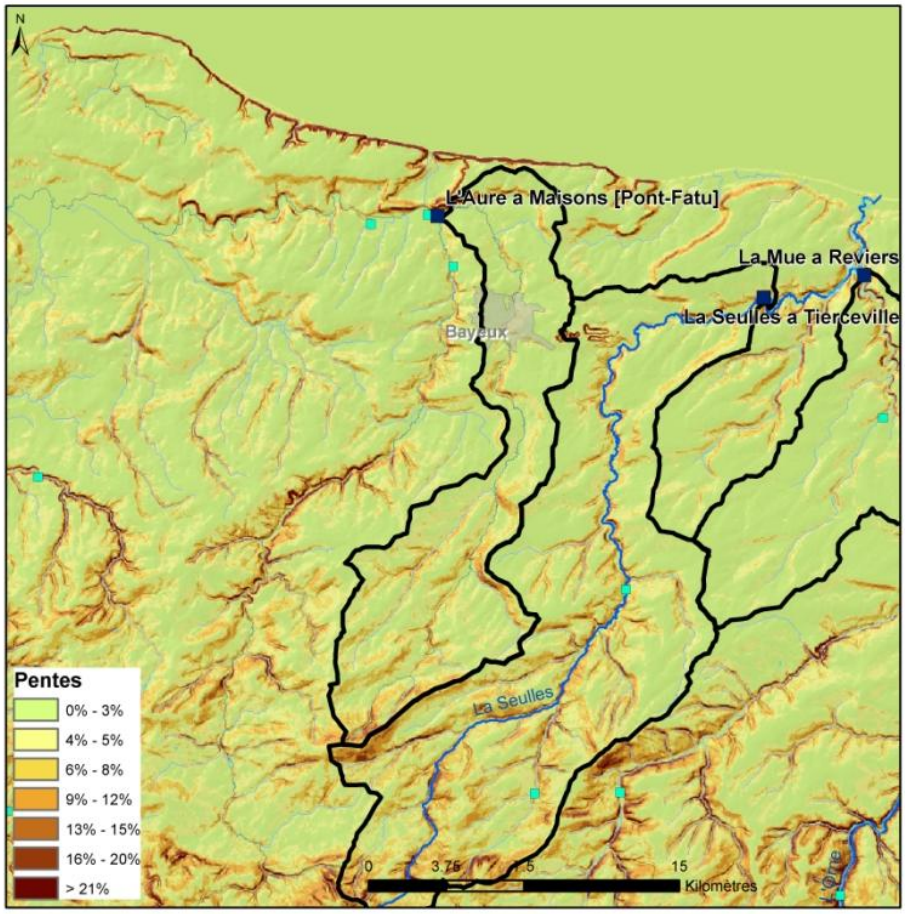


Illustration 196 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Aure (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- zones agricoles hétérogènes : 48% ;
- prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives et « zones naturelles » : 47% ;
- zones urbanisées industrialisées : 5%.

On identifie une station d'épuration de taille importante en fond de vallée (cf. Illustration 194) : il s'agit de celle de Bayeux.

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 15. Il s'agit de prélèvements effectués sur des eaux de surface, qui semblent donc s'interrompre après 1996 (les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-

géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie). Ramenés à la surface du bassin versant (135 km²), ils correspondent à une lame d'eau inférieure à 0,1 mm.

Annee	Prel_Irrigation
1995	4 900
1996	5 390

Tableau 15 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de l'Aure

Le prélèvement moyen annuel pour l'AEP est de l'ordre de 2,1 millions de m^3, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 15,6 mm.

6.1.2. Climatologie

Le bassin versant de l'Aure reçoit en moyenne environ 862 mm d'eau par an (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Il s'agit donc d'un territoire recevant une pluviométrie supérieure à la moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de deux stations météorologiques ont été utilisées dans le cadre de la modélisation :

- Saint-Vigor-le-Grand (type 4, création de la station en janvier 1992), située à moins d'un kilomètre à l'ouest du bassin versant et recevant en moyenne une pluviométrie annuelle légèrement inférieure à celle du bassin versant ;
- Caen-Carpiquet (type 1, création de la station en octobre 1944), située à moins de 20 km à l'est du bassin versant et qui a servi pour ses données pluviométriques et d'évapotranspiration Penman.

On notera que la station météorologique de Vaubadon (type 2), située dans le bassin versant, n'a pas été utilisée, son ouverture datant de mai 2000.

Des essais de modélisation ont été effectués avec les données pluviométriques décadaires de Saint-Vigor-le-Grand et Caen-Carpiquet. Les données pluviométriques de Caen-Carpiquet ont été conservées dans la version finale de la modélisation.

6.1.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

Les principales formations géologiques rencontrées à l'affleurement dans le bassin versant (hors formations superficielles) sont des plus anciennes aux plus récentes, et grossièrement de l'amont vers l'aval :

- le socle Briovérien (« b2 » sur l'Illustration 197) ;
- les argiles panachées du Keuper (Trias, formation notée « t ») ;

- les calcaires du Sinémurien et du Pliensbachien (inclus dans la formation « j1 ») ;
- les argiles à poissons et calcaires et marnes à Ammonites du Toarcien (inclus dans la formation « j1 ») ;
- l'oolite ferrugineuse et les calcaires à silex (« Malière ») de l'Aalénien-Bajocien (interface entre « j1 » et « j2 ») ;
- les calcaires du Bajocien (inclus dans la formation « j2 »).

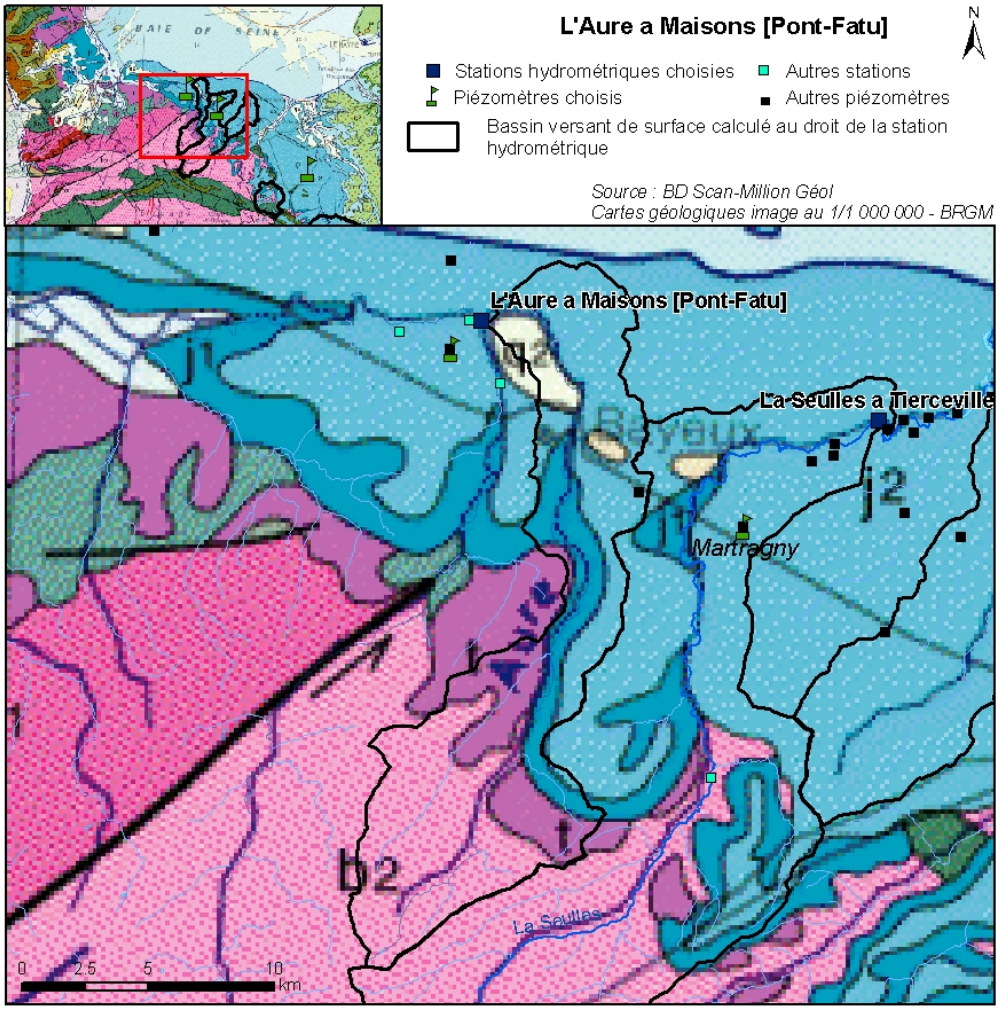


Illustration 197 : Carte géologique du bassin versant de l'Aure

Il a été choisi de réaliser la modélisation avec un piézomètre captant les calcaires du Bajocien, formation aquifère présente au voisinage de la station hydrométrique. C'est le piézomètre de Maisons (indice national : 01184X0021/S1) qui a été retenu.

L'IDPR médian est de 931, ce qui correspond à un bassin versant dans lequel ruissellement et infiltration cohabitent. En effet, l'amont du bassin versant est plutôt

ruisselant avec les formations du socle briovérien tandis que l'aval présente une capacité d'infiltration plus importante sur les calcaires du Bajocien.

b) Piézométrie

Le piézomètre de Maisons dispose d'une chronique démarrant le 28/01/1974. Elle présente quatre interruptions de plus de 50 jours (cf. Illustration 198) :

- du 04/07/1996 au 26/08/1996 ;
- du 21/07/1998 au 09/09/1998 ;
- du 13/01/2000 au 20/03/2000 ;
- du 28/05/2008 au 02/09/2008.

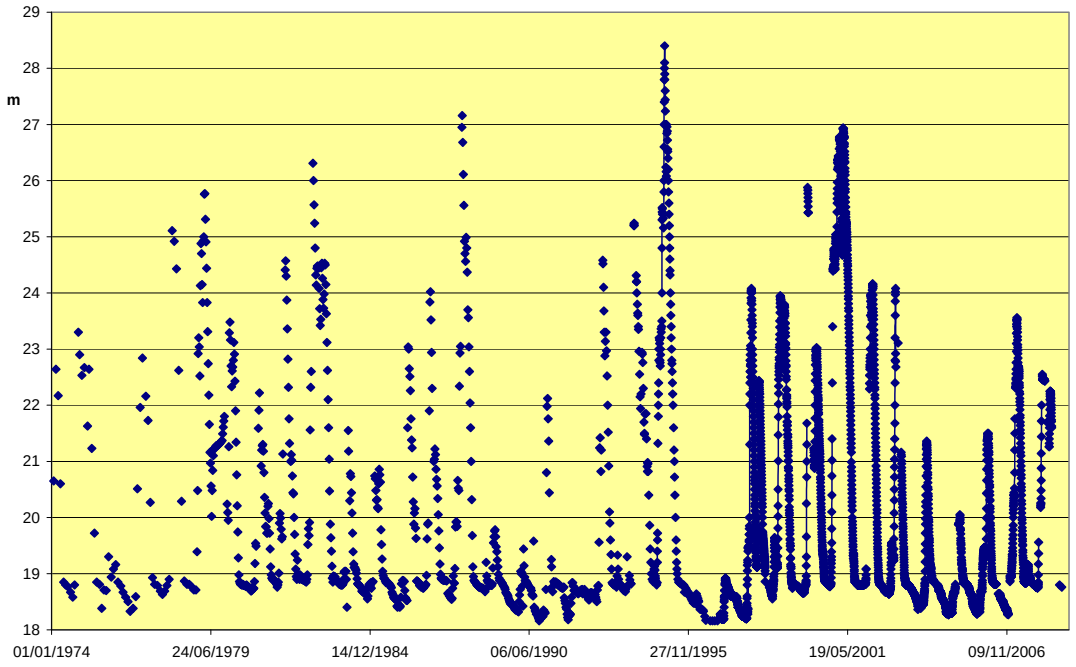


Illustration 198 : Chronique piézométrique de Maisons (indice national : 01184X0021/S1)

La fréquence d'acquisition des données est mensuelle à hebdomadaire jusqu'au 01/01/1997, date à partir de laquelle elle devient quotidienne. La chronique présente des fluctuations saisonnières bien individualisées, ainsi qu'un niveau seuil bas au-dessus duquel le niveau piézométrique fluctue avec une réactivité assez forte. Un comportement de ce type est souvent associé à une karstification de l'aquifère. Dans le cadre de la modélisation, ce niveau de base a été fixé à 18,25 m. Le caractère karstique de l'aquifère bajocien est bien reconnu dans le secteur avec en particulier les pertes de l'Aure à l'aval de Pont-Fatu.

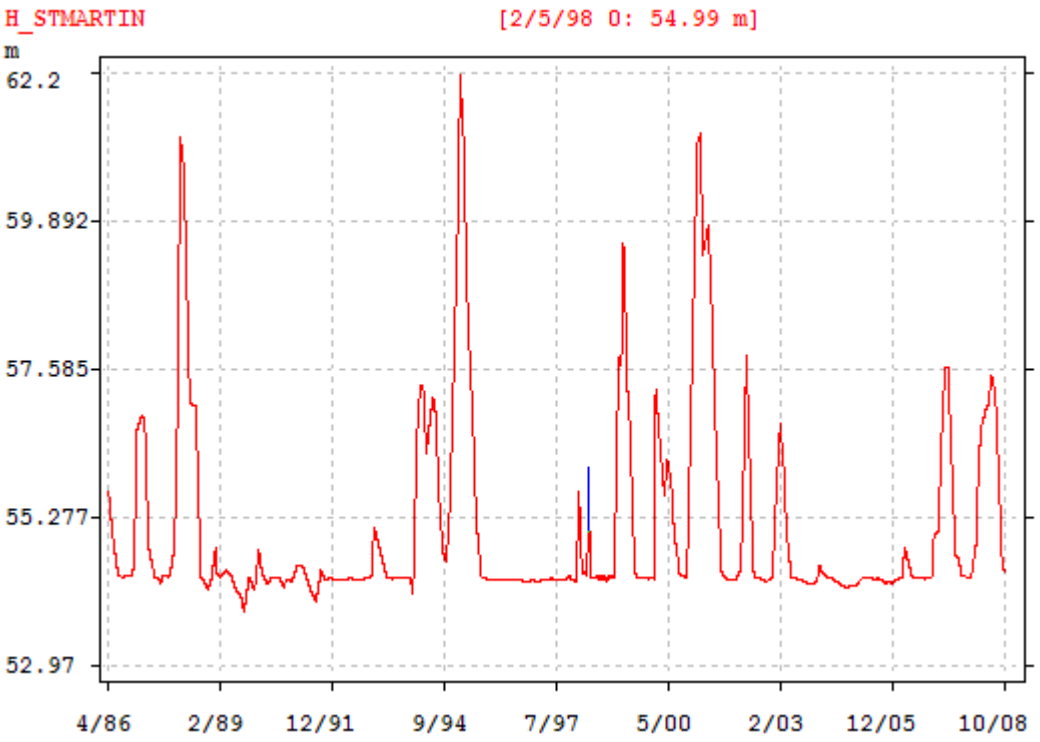


Illustration 199 : Chronique piézométrique de Saint-Martin-des-Entrées (indice national : 01191X0004/S1)

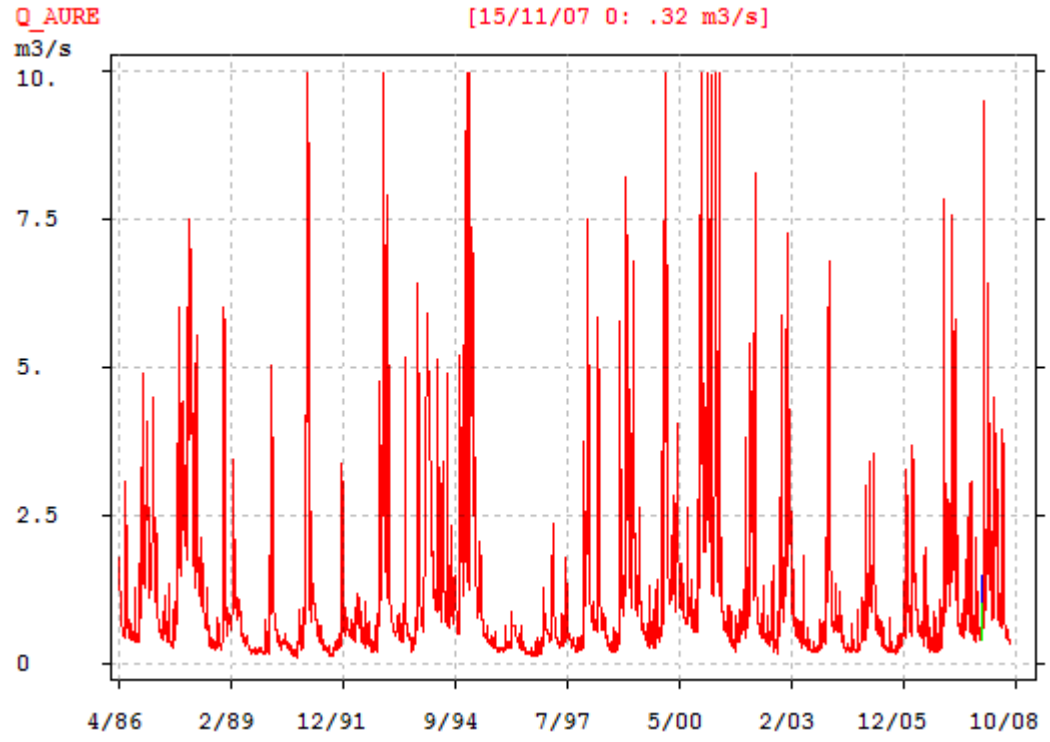


Illustration 200 : Débit décadaire de l'Aure (en m^3/s) à la station hydrométrique de Maisons / Pont-Fatu

Les données du piézomètre de Saint-Martin-des-Entrées (indice national : 01191X0004/S1, cf. Illustration 199 ; il est situé dans l'Est du bassin versant et capte les calcaires du Bajocien) ont aussi été intégrées dans le logiciel Tempo mais les résultats obtenus ont été moins intéressants. Cette chronique présente en effet un niveau de seuil bas encore plus marqué que celui du piézomètre de Maisons, rendant le niveau d'étiage presque constant d'une année sur l'autre (contrairement au piézomètre de Maisons pour lequel le niveau annuel de basses eaux évolue selon un cycle pluriannuel, comme par exemple de 1997 à 2003, cf. Illustration 198). Or, le débit de basses eaux de l'Aure évolue lui aussi selon un rythme pluriannuel (cf. Illustration 200 : on ne retrouve pas le lissage du niveau de base observé sur le piézomètre de Saint-Martin-des-Entrées).

6.1.4. Hydrologie

Le débit de l'Aure est connu par la station hydrométrique de Maisons (Pont-Fatu) (code HYDRO : I5321510). Il existe deux autres stations hydrométriques situées dans le bassin versant :

- Etreham (code HYDRO : I5401520), située à l'aval de Maisons et sur laquelle des données ont été acquises entre 1981 et 1986 (bassin versant de 400 km²) ;
- Maisons / Fosses-du-Soucy (code HYDRO : I5401510), située à l'aval de Maisons / Pont-Fatu et sur laquelle des données ont été acquises entre 1986 et 2008 (bassin versant de 389 km²).

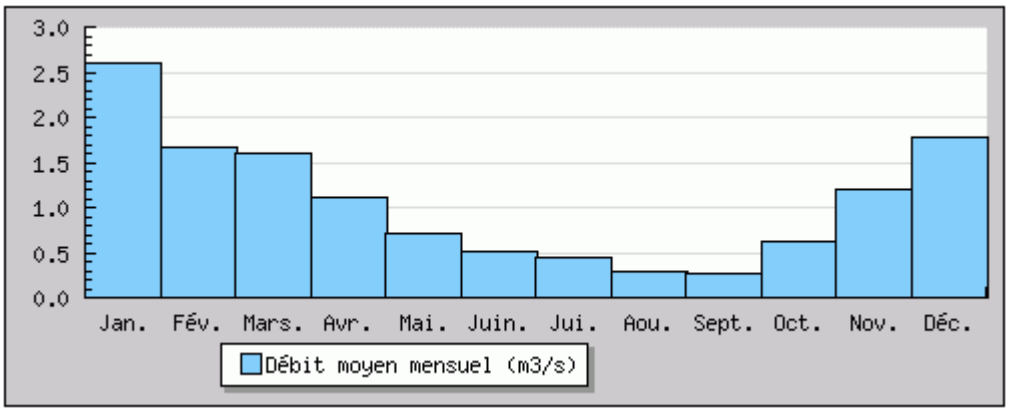


Illustration 201 : Débit moyen mensuel de l'Aure (en m^3/s) à la station hydrométrique de Maisons / Pont-Fatu (source : banque HYDRO)

La chronique de débit journalier à Maisons (Pont-Fatu) s'étale sur une période allant du 29/09/1981 au 31/07/2008. Elle comporte plusieurs interruptions dont 6 de plus de 10 jours :

- du 27/03/1986 au 21/04/1986 ;
- du 16/12/1986 au 08/01/1987 ;
- du 06/12/1993 au 05/01/1994 ;
- du 08/01/1994 au 21/02/1994 ;

- du 20/02/1996 au 11/03/1996 ;
- du 27/12/1996 au 27/01/1997.

Les débits journaliers vont de 0,0132 m^3/s à 21,9 m^3/s. La lame d'eau moyenne annuelle est de 249 mm (source : Banque HYDRO). Les basses eaux interviennent en septembre et les hautes eaux en janvier. Le débit de l'Aure est faiblement soutenu par la nappe en période d'étiage.

Le QMNA5 est de 0,13 m^3/s pour un bassin versant d'une superficie de 135 km^2.

6.1.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de l'Aure a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : données décadaires de la station météorologique de Caen-Carpiquet ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Caen-Carpiquet ;
- Piézométrie : piézomètre de Maisons.

Pour la modélisation du piézomètre, les mêmes données météorologiques ont été utilisées.

La modélisation du piézomètre (cf. Illustration 202) a été réalisée en intégrant une composante lente de 350 jours, ce qui correspond à un système assez faiblement inertiel (période de modélisation : 1974-2008). Une des particularités de cette modélisation réside dans la prépondérance de la composante « rapide » (à 60 jours) des écoulements souterrains lors de la période de recharge de la nappe. Les résultats du calage semblent en accord avec le caractère karstique de l'aquifère bajocien.

La modélisation du débit de l'Aure est présentée en Illustration 203 (coefficient de Nash de 0,71). Elle couvre une période allant du 07/10/1981 au 17/07/2008.

L'Illustration 204 montre les composantes du débit modélisé à la station hydrométrique de Maisons. Cette décomposition du signal fait apparaître une contribution saisonnière très importante du ruissellement (courbe bleue, « rapide ») et une faible contribution des eaux souterraines au débit de ce cours d'eau (courbe verte, « lente »). Cette contribution est néanmoins présente tout au long de l'année hydrologique et elle assure donc un soutien du débit du cours d'eau en période d'étiage.

La décomposition ainsi obtenue est probablement à nuancer compte tenu de l'existence des circulations karstiques dans l'aquifère. Ces circulations « rapides » (pour une contribution souterraine) ne peuvent être représentées par la courbe verte de l'Illustration 204, ce qui signifie qu'au moins une partie de la composante intermédiaire du débit (courbe rouge) correspond très probablement à une contribution souterraine.

L'Illustration 205 montre la décomposition du débit moyen mensuel modélisé de l'Aure.

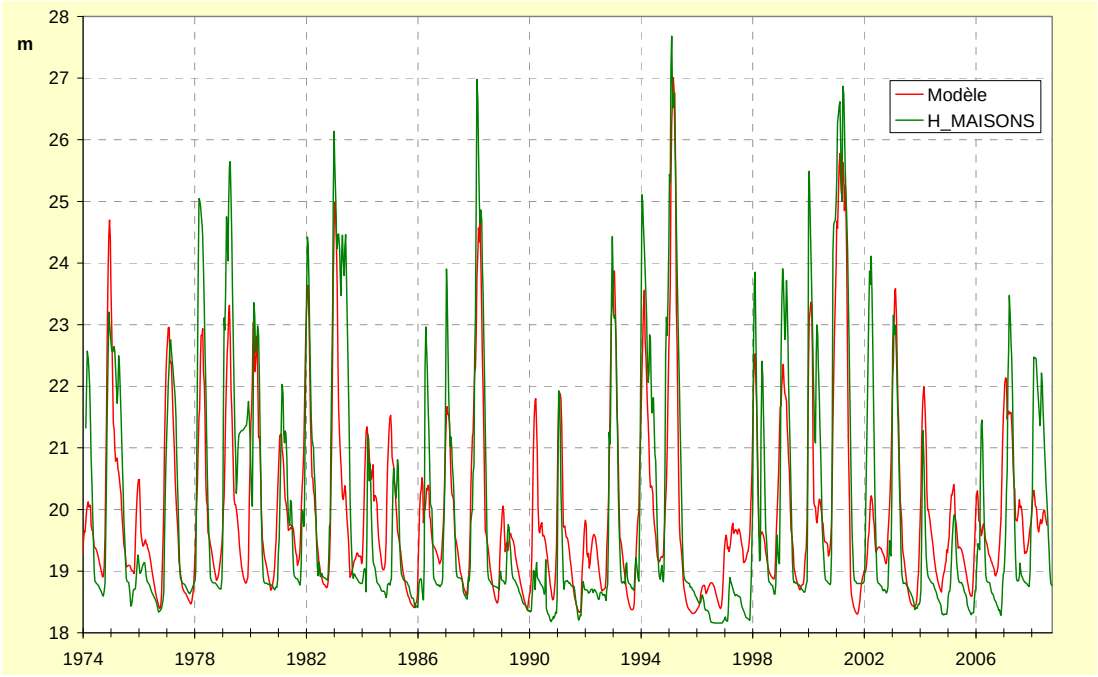


Illustration 202 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Maisons

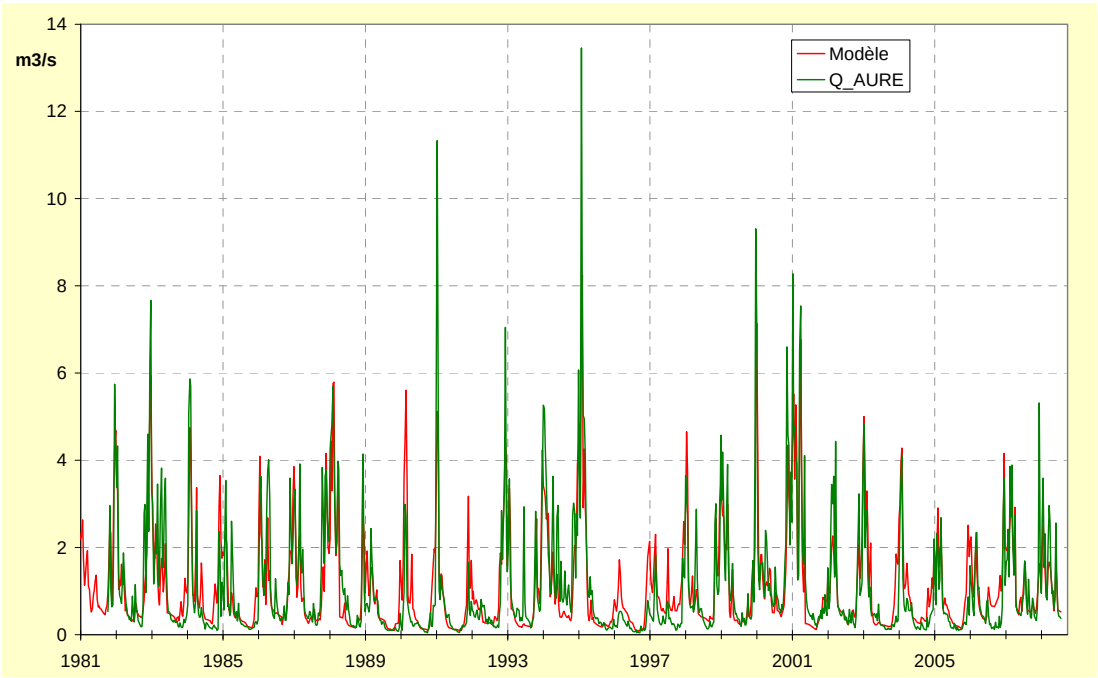


Illustration 203 : Modélisation du débit de l'Aure à la station hydrométrique de Maisons

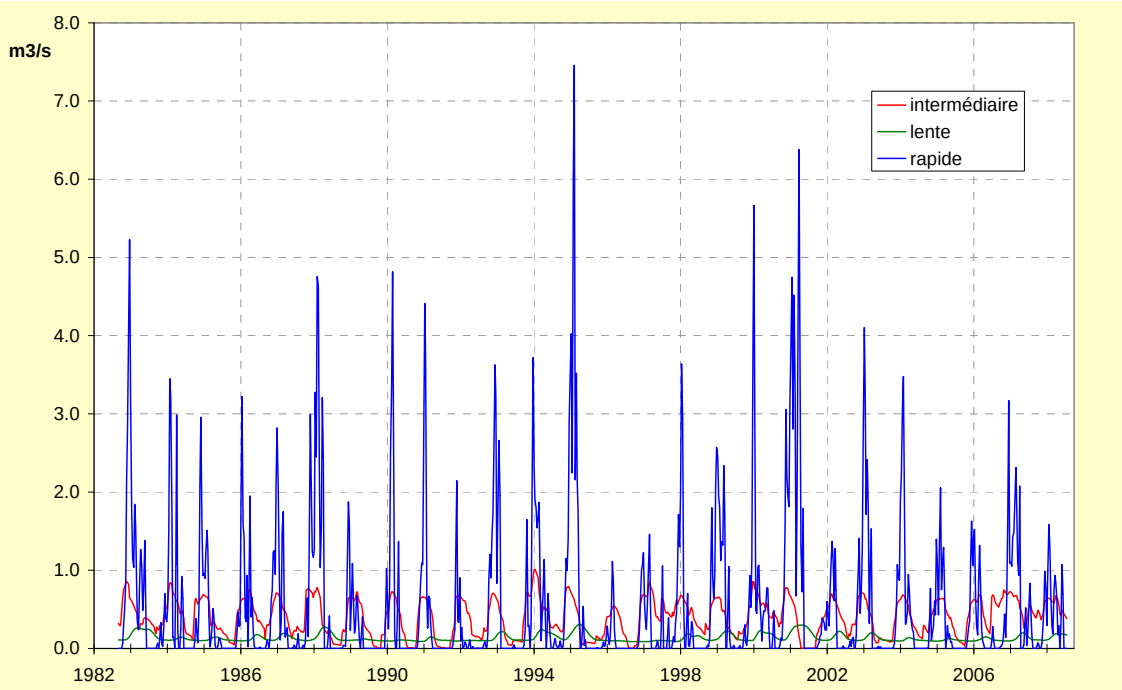


Illustration 204 : Composantes du débit de l'Aure modélisé à la station de Maisons

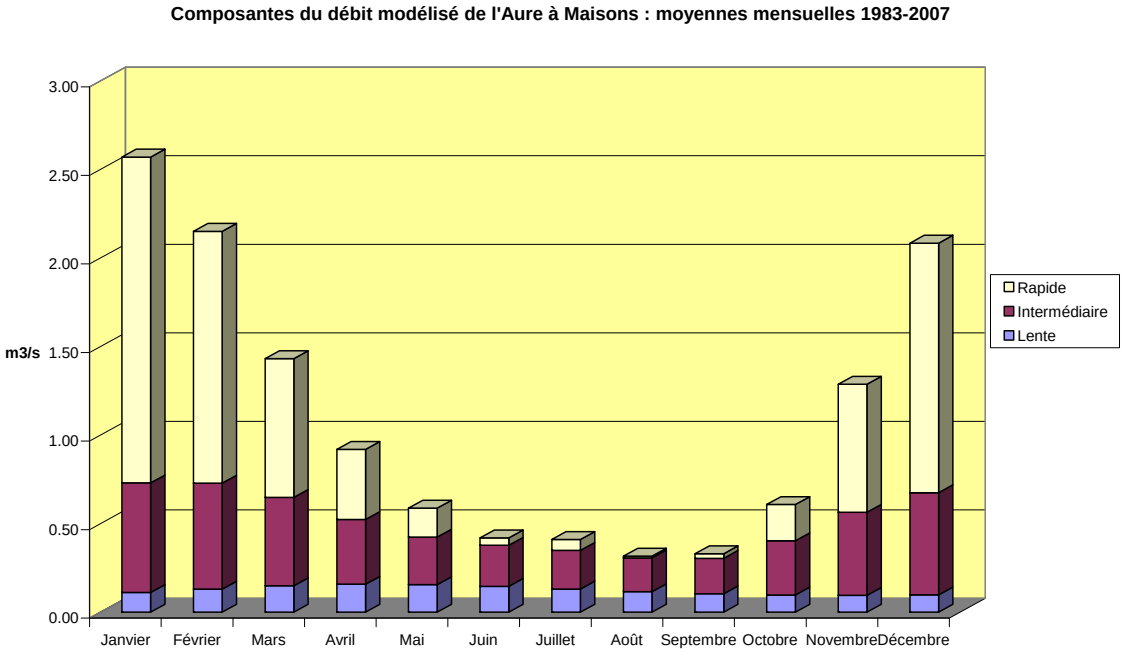


Illustration 205 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Aure modélisé à la station de Maisons

6.2. BASSIN VERSANT DE LA DIVES

Deux stations hydrométriques sont traitées dans ce bassin versant :

- Saint-Lambert-sur-Dives (code HYDRO : I2001010 ; superficie du bassin versant : 94 km²) ;
- Beaumais (code HYDRO : I2021010 ; superficie du bassin versant : 287 km²).

6.2.1. Caractéristiques du bassin versant

La Dives est un cours d'eau côtier de Basse Normandie qui prend sa source dans la commune d'Exmes (département de l'Orne) et se jette dans la Manche à Dives-sur-Mer, après avoir parcouru 105 km.

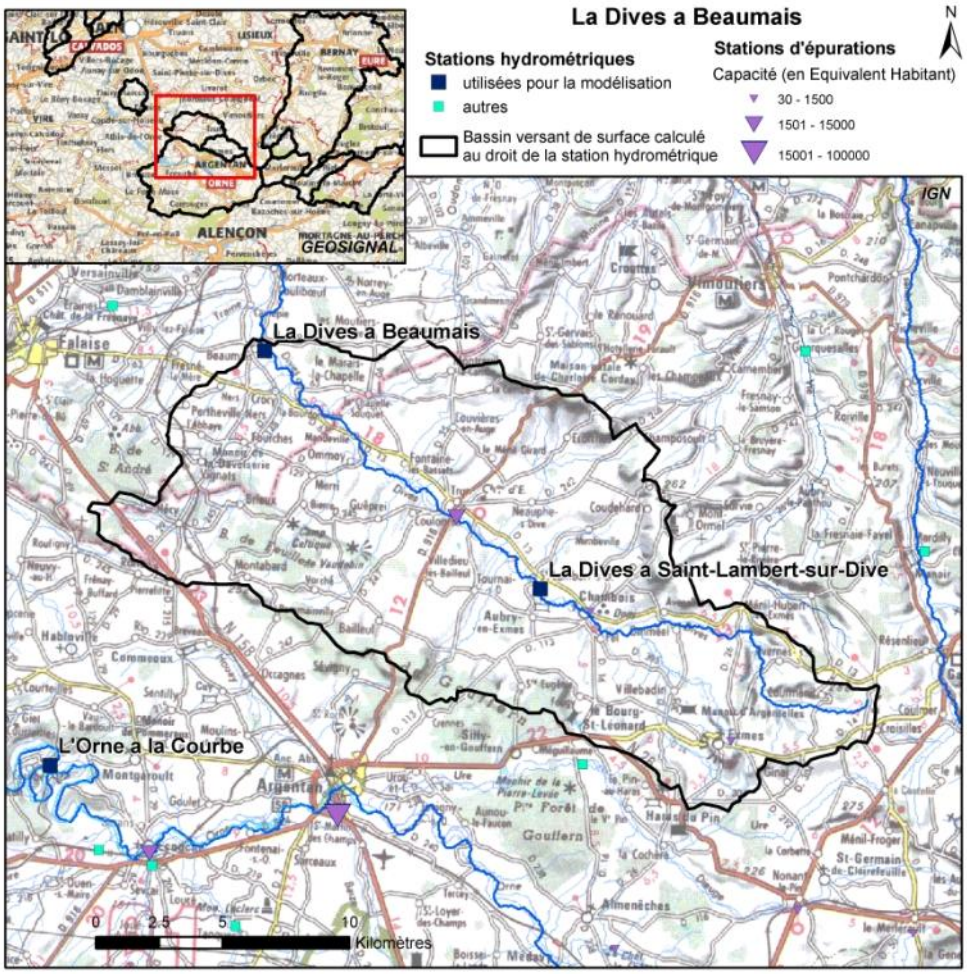


Illustration 206 : Localisation du bassin versant de la Dives (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude dans le bassin versant de la Dives à Beaumais s'échelonne de 300 à 51 m NGF, avec une altitude moyenne de 142 m. L'altitude à Saint-Lambert-sur-Dives est de 89 m NGF.

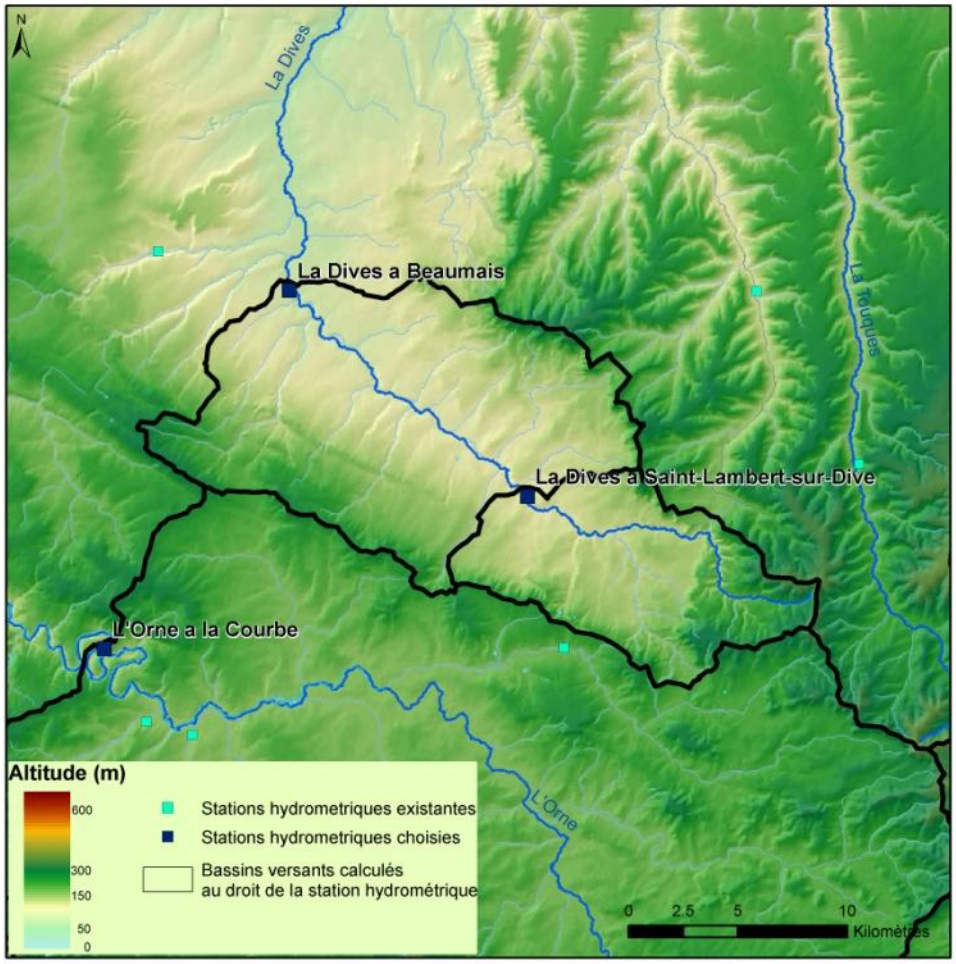


Illustration 207 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Dives (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant de la Dives à Beaumais est de 4,8% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN). La pente maximale est de 39,1% et les pentes supérieures à 5% occupent 32% du territoire. Si l'on s'intéresse au bassin versant à Saint-Lambert-sur-Dives, le relief est encore plus marqué : pente moyenne de 6,1% et 42% du territoire occupés par des pentes supérieures à 5%.

En pratique, on remarque l'existence d'une ligne de falaise (formations calcaires de l'Oxfordien) passant au voisinage immédiat de la limite nord et nord-est du bassin versant. Elle se prolonge à l'est selon un axe Nord-Sud, délimitant à l'extrémité est un petit territoire au relief très accentué (formations géologiques du Crétacé inférieur, relief de cuesta). En zones sud et ouest du bassin versant, on retrouve un relief assez accentué et marqué par des linéaments ONO-ESE correspondant aux plis formés lors de l'orogénèse varisque. On retrouve notamment à l'ouest des formations de socle. Enfin, le reste du bassin versant connaît un relief plus mou, reposant sur les formations calcaires des Jurassique moyen et supérieur.

La vallée de la Dives est peu encaissée, une fois franchie la falaise dans la partie amont du bassin versant.

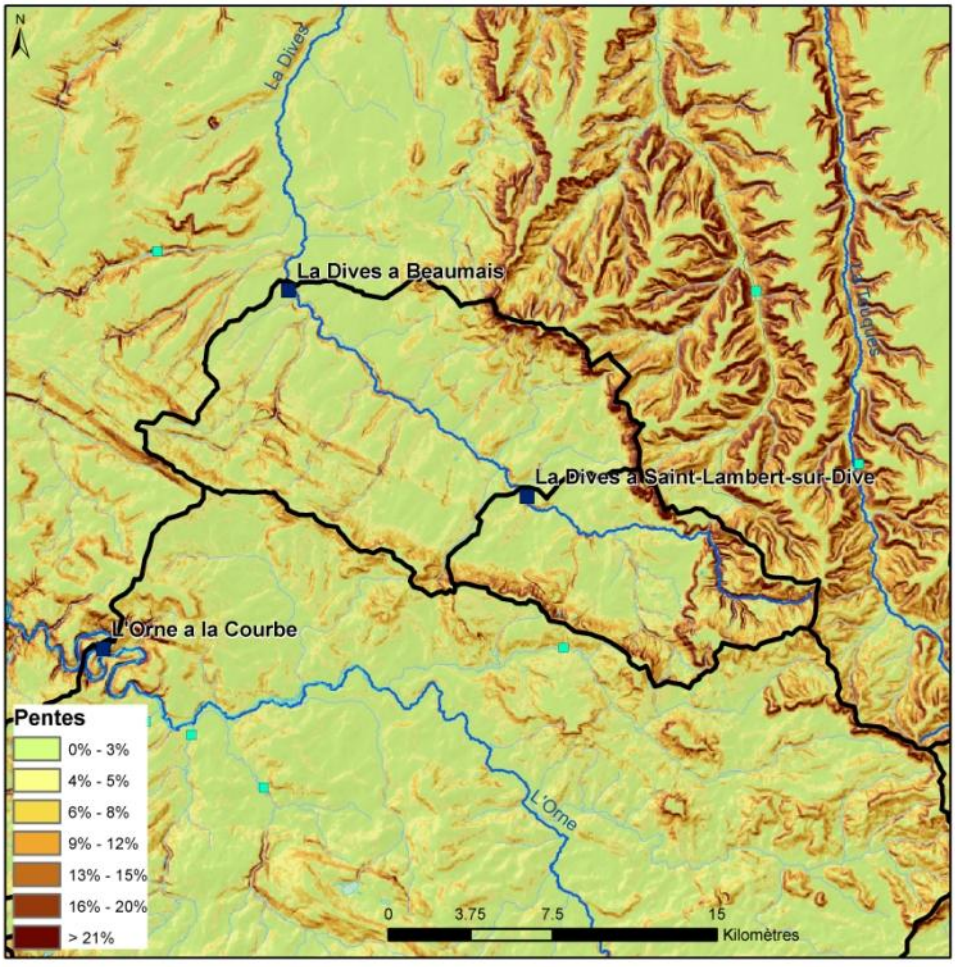


Illustration 208 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Dives (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue (les chiffres entre parenthèses correspondent au bassin versant à Saint-Lambert-sur-Dives) :

- zones agricoles hétérogènes : 51% (34%) ;
- prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives et « zones naturelles » : 47% (64%) ;
- zones urbanisées industrialisées : 2% (2%).

Il s'agit donc globalement d'un bassin versant agricole et boisé avec une emprise urbaine assez faible. L'emprise agricole est plus faible dans la partie amont.

La seule station d'épuration identifiée dans le bassin versant est située entre les stations hydrométriques de Saint-Lambert-sur-Dives et de Beaumais, dans la commune de Trun (cf. Illustration 352).

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 16. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Il n'est pas connu de prélèvements pour l'irrigation dans ce bassin versant après 1997. Il n'a pas été identifié de prélèvements pour l'irrigation dans le bassin de la Dives à Saint-Lambert-sur-Dives.

BV	Annee	Prel_Irrigation
Dives (Beaumais)	1995	2 099
Dives (Beaumais)	1996	2 324
Dives (Beaumais)	1997	2 519

Tableau 16 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Dives à Beaumais

Les prélèvements pour l'alimentation en eau potable s'élèvent annuellement à environ 660 000 m^3 (130 000 m^3 pour la Dives à Saint-Lambert-sur-Dives). Ceci correspond à une lame d'eau moyenne annuelle de 2,3 mm (respectivement 1,4 mm). Les prélèvements pour l'industrie ont été estimés à 150 000 m^3 (0,5 mm ; pas de prélèvements industriels identifiés à l'amont de Saint-Lambert-sur-Dives).

6.2.2. Climatologie

Le bassin versant de la Dives reçoit en moyenne environ 700 mm d'eau par an (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance), sa partie amont recevant une pluviométrie légèrement supérieure. Il s'agit donc d'un territoire recevant une pluviométrie légèrement inférieure à la moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de quatre stations météorologiques ont été utilisées dans le cadre des modélisations :

- Pin-au-Haras (type 4, création de la station en janvier 1961, code MétéoFrance : 61328001, altitude : 185 m NGF), située à 500 mètres environ au sud du bassin de la Dives à Saint-Lambert-sur-Dives et recevant en moyenne une pluviométrie annuelle équivalente à celle du bassin versant ;
- L'Oudon (type 2, création de la station en juillet 1963, altitude : 52 m NGF), située à 9 km au nord du bassin versant de la Dives à Beaumais et recevant une pluviométrie annuelle de l'ordre de 650 mm ;
- Ri (type 4, création de la station en janvier 1970, altitude : 212 m NGF), située à 4 km environ au SO du bassin de la Dives à Beaumais et recevant une pluviométrie annuelle de l'ordre de 750 mm ;
- Caen-Carpiquet (type 1, création de la station en octobre 1944), située à ne quarantaine de km au nord-ouest de la station hydrométrique et qui a servi pour ses données pluviométriques et d'évapotranspiration Penman.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des quatre chroniques de pluie ci-dessus. Les formules retenues sont :

- P_{opt} = 84% * Pin-au-Haras + 16% * L'Oudon (pour Beaumais)
- P_{opt} = 79% * Ri + 21% * Pin-au-Haras (pour Saint-Lambert-sur-Dives)

6.2.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

Les formations géologiques rencontrées majoritairement à l'affleurement dans le bassin versant datent du Jurassique et notamment du Dogger (en bleues sur l'Illustration 209). On retrouve aussi des formations plus anciennes (socle, en kaki) dans l'ouest et le sud-ouest du bassin versant, ainsi que des formations plus récentes (Crétacé, en vert), dans son extrémité est et au niveau des crêtes topographiques au nord et au sud.

Les formations du Dogger correspondent notamment aux calcaires du Bathonien (calcaires de Caen, de Rouvres, de Bon-Mesnil) et du Bajocien (calcaires de Fresné-la-Mère) que l'on retrouve en fond de vallée et qui vont constituer l'aquifère principal de ce bassin versant. Ils sont recouverts par les marnes du Callovien et de l'Oxfordien inférieur que l'on rencontre à l'affleurement à un peu plus de quatre kilomètres à l'amont de Saint-Lambert-sur-Dives.

L'IDPR médian est de 976 (Beaumais) et 1000 (Saint-Lambert-sur-Dives), ce qui correspond à un bassin versant dans lequel ruissellement et infiltration cohabitent. À l'amont de Beaumais, on note la présence de nombreux petits affluents, en rive gauche comme en rive droite. À l'aval de Beaumais, les terrains calcaires sont plus infiltrants.

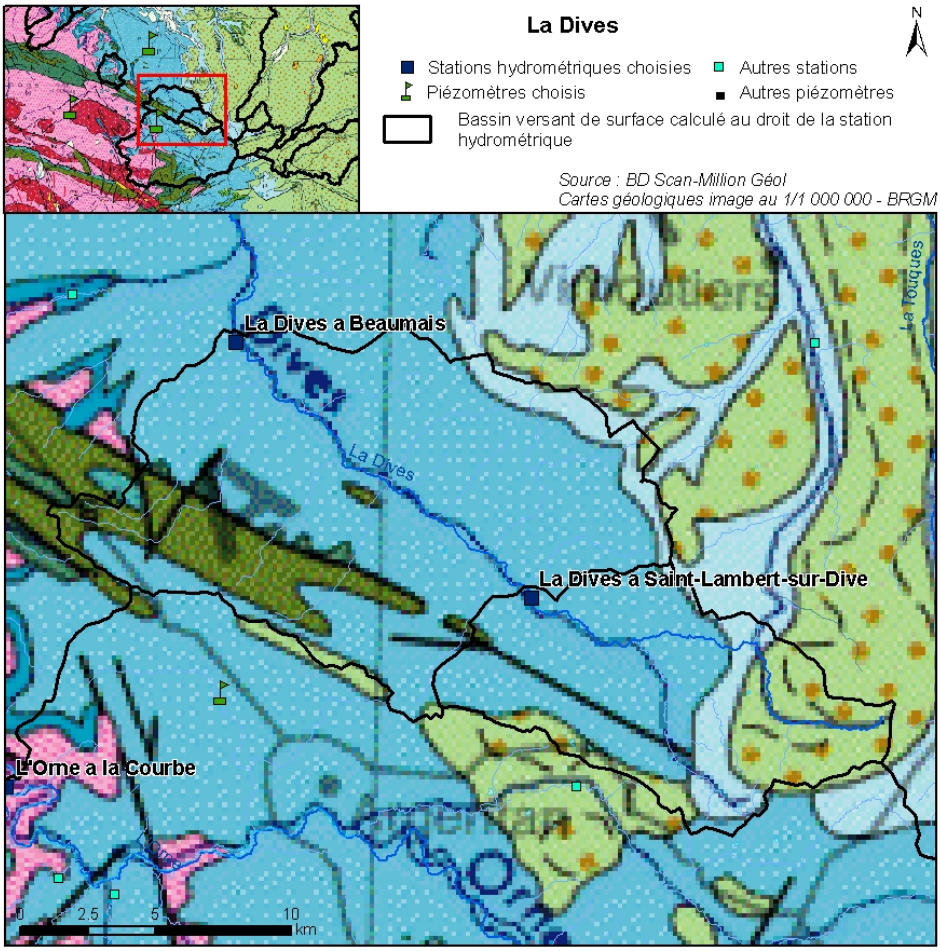


Illustration 209 : Carte géologique du bassin versant de la Dives

b) Piézométrie

Compte tenu de la prédominance de cet aquifère dans le bassin versant, il a été choisi de sélectionner des piézomètres captant les calcaires du Bathonien.

Le piézomètre d'Occagnes (indice national : 01768X0022/S2) répond à cette condition. Il dispose d'une chronique démarrant le 29/12/1995 qui présente deux interruptions de données de plus de 20 jours jusqu'au 29 février 2008 (date de la dernière mesure disponible à la date de la modélisation) :

- du 16/04/2003 au 09/09/2003 ;
- du 28/02/2004 au 08/07/2004.

Ce piézomètre a été retenu pour la modélisation du débit de la Dives à la station hydrométrique de Saint-Lambert-sur-Dives. Il est situé à une douzaine de kilomètres à l'OSO de celle-ci.

La fréquence d'acquisition des données est quotidienne. La chronique présente des fluctuations saisonnières bien individualisées, ainsi qu'une composante pluriannuelle. Ce type de comportement est caractéristique des aquifères calcaires transmissifs en contexte de nappe peu profonde (plus proche des exutoires).

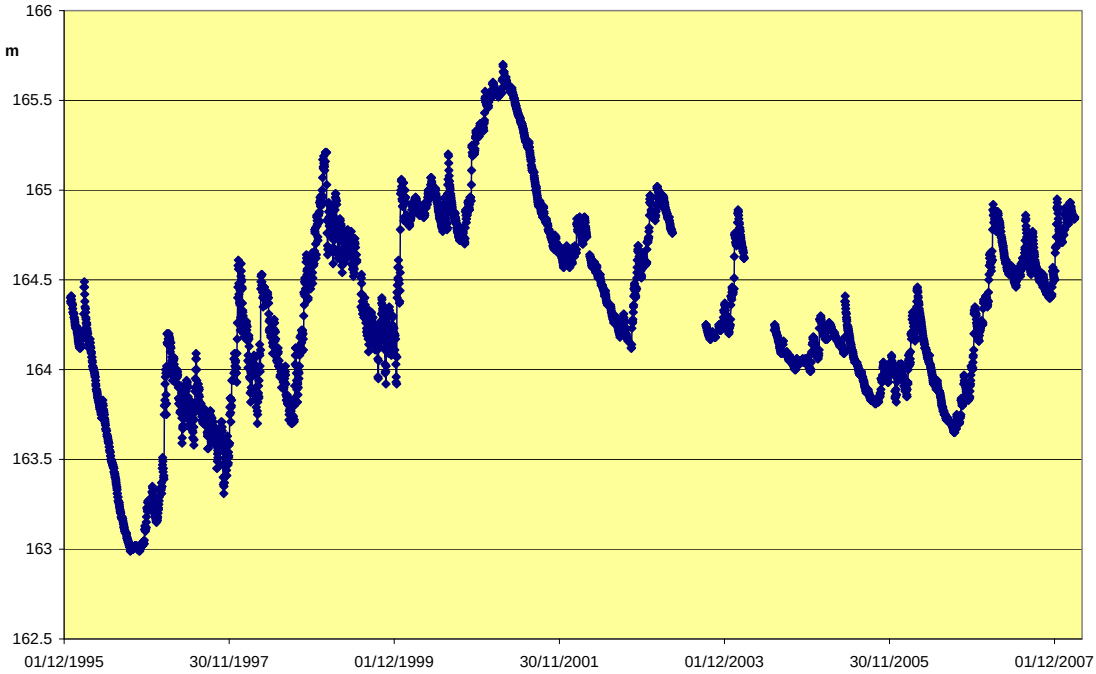


Illustration 210 : Chronique piézométrique d'Occagnes (indice national : 01768X0022/S2)

Pour la station hydrométrique de Beaumais, le piézomètre de Vieux-Fumé a été testé (indice national : 01463X0103/S1) sans être finalement retenu. Il capte les calcaires du Bathonien et se situe à 18 km environ au nord de la station de Beaumais.

Il dispose d'une chronique démarrant le 30/01/1974 qui présente deux interruptions de données de plus de 40 jours jusqu'au 31 juillet 2008 :

- du 25/04/1974 au 12/06/1974 ;
- du 09/10/2000 au 20/12/2000.

La fréquence d'acquisition des données est d'abord mensuelle, puis hebdomadaire à partir du 21/01/1975 et enfin quotidienne depuis le 24/11/1994. Sa chronique n'a pas été retenue principalement pour deux raisons :

- elle présente une réactivité très élevée tandis que la Dives à Beaumais (cf. suite) parait comporter une certaine inertie ;
- elle présente un changement de comportement à partir de septembre 1987 rendant difficile sa modélisation.

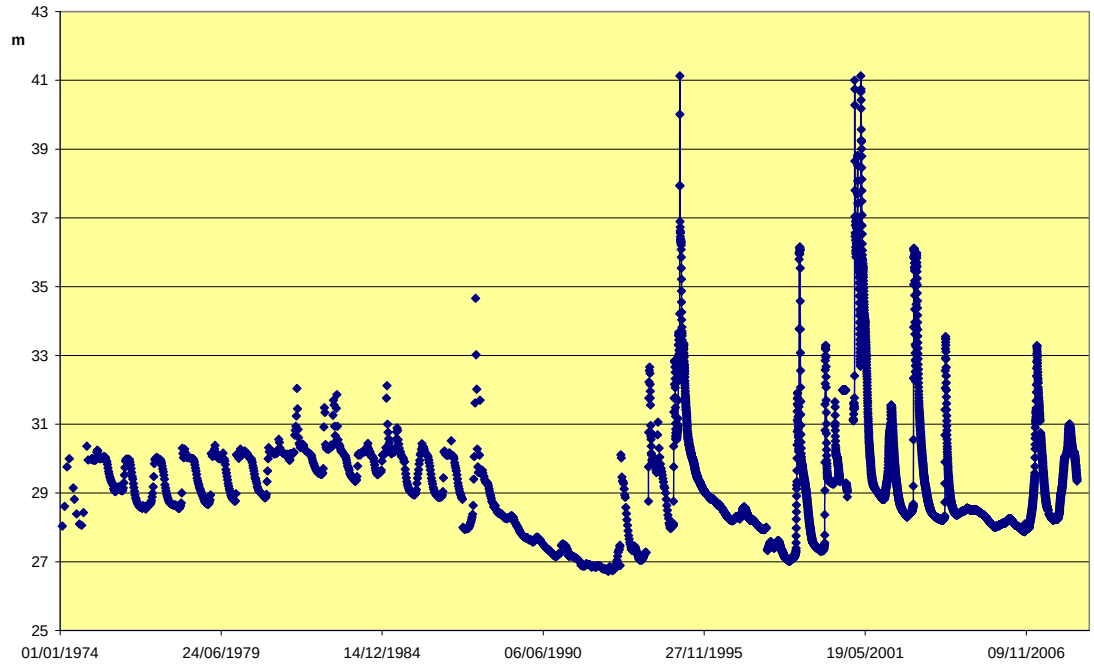


Illustration 211 : Chronique piézométrique de Vieux-Fumé (indice national : 01463X0103/S1)

C'est donc finalement la chronique du piézomètre d'Occagnes qui a été utilisée pour la modélisation du débit de la Dives à Beaumais.

6.2.4. Hydrologie

Le débit de la Dives est ou a été suivi au niveau de plusieurs stations hydrométriques. On peut citer notamment, de l'amont vers l'aval :

- Saint-Lambert-sur-Dives (code HYDRO : I2001010, bassin versant de 94 km²) ;
- Beaumais (code HYDRO : I2021010, bassin versant de 287 km²) ;
- Mesnil-Mauger (code HYDRO : I2051040, bassin versant de 638 km²) ;
- Biéville-Quétiéville (code HYDRO : I2051030, bassin versant de 659 km²) ;
- Méry-Corbon (code HYDRO : I2201010, bassin versant de 1 090 km²) ;
- Saint-Pierre-du-Jonquet (code HYDRO : I2211010, bassin versant de 1 330 km²) ;
- Varaville (code HYDRO : I2211030, bassin versant de 1722 km²).

On rappelle que les chroniques de deux stations ont été modélisées dans le cadre de cette étude : Saint-Lambert-sur-Dives et Beaumais.

Le Tableau 17 reprend les principales informations relatives aux chroniques de débit journalier de Saint-Lambert-sur-Dives et de Beaumais.

	Durée de la chronique	Interruptions	Superficie du bv (km²)	Lame d'eau moyenne (mm)	QMNA5 (m3/s)	QJO min (m3/s)	QJO max (m3/s)
Dives à Beaumais	du 18/09/1969 au 31/07/2008	- du 22/04/1970 au 06/05/1970 ; - du 20/07/1976 au 22/10/1976 ; - du 1er au 17 février 2006.	287	175	0.400	0.111	20.50
Dives à Saint-Lambert-sur-Dives	du 13/07/1978 au 31/07/2008	- du 13/10/1997 au 04/11/1997 ; - du 19/11/1997 au 09/12/1997 ; - du 15 au 31 juillet 2007 ; - du 9 au 31 juillet 2008.	94	163	0.033	0.0046	10.90

Tableau 17 : Caractéristiques des chroniques de débit de la Dives aux stations hydrométriques de Saint-Lambert-sur-Dives et de Beaumais

Le débit moyen mensuel de la Dives à Saint-Lambert-sur-Dives (cf. Illustration 212) est celui d'un cours d'eau au caractère réactif, avec des hautes eaux en janvier, des basses eaux en septembre et un ratio élevé entre les débit journalier maximal et débit journalier minimal connus.

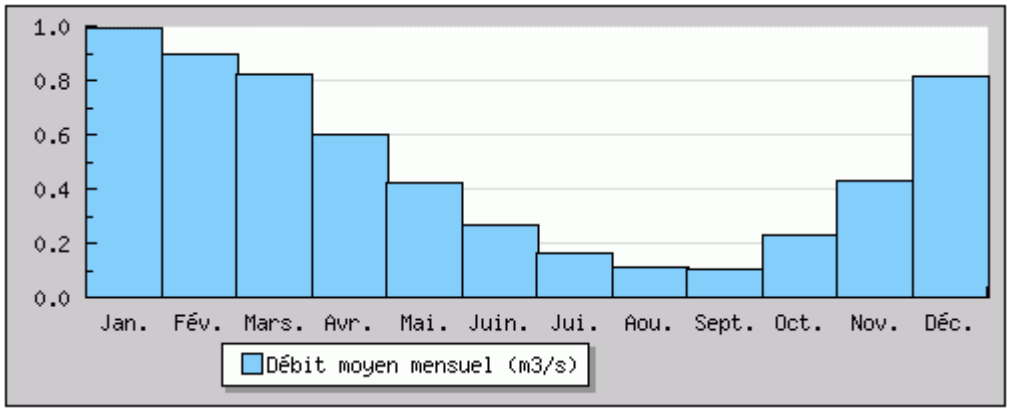


Illustration 212 : Débit moyen mensuel de la Dives (en m^3/s) à la station hydrométrique de Saint-Lambert-sur-Dives (source : banque HYDRO)

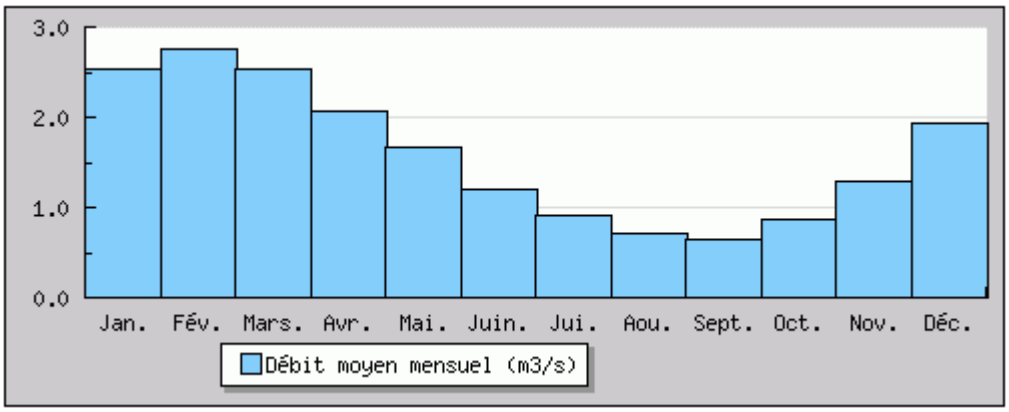


Illustration 213 : Débit moyen mensuel de la Dives (en m^3/s) à la station hydrométrique de Beaumais (source : banque HYDRO)

À Beaumais (cf. Illustration 213), le débit moyen mensuel de la Dives présente un caractère plus inertiel, avec un décalage des hautes eaux en février, des basses eaux

qui interviennent toujours en septembre et un ratio bien plus faible entre les débit journalier maximal et débit journalier minimal connus.

6.2.5. Modélisation globale des écoulements

a) Dives à Saint-Lambert-sur-Dives (station HYDRO : I2001010)

La modélisation du débit de la Dives à Saint-Lambert-sur-Dives a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : pluie optimale (P_{opt} = 79% * Ri + 21% * Pin-au-Haras) ;
- ETP : données décadaires de la station hydrométrique de Caen-Carpiquet ;
- Piézométrie : piézomètre d'Occagnes.

Illustration 214 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Occagnes

La modélisation du piézomètre (cf. Illustration 214) a été réalisée en intégrant une composante lente de 920 jours, ce qui correspond à un système assez fortement inertiel (période de modélisation : 02/01/1996-18/02/2008 ; coefficient de Nash : 0,87). Mis à part l'étiage 1996-1997, la représentation du niveau de la nappe est bonne.

La modélisation du débit de la Dives à Saint-Lambert-sur-Dives est présentée en Illustration 215. Elle couvre une période allant du 20/01/1981 au 27/06/2008, en bénéficiant d'une extrapolation de la chronique de niveau de nappe au piézomètre d'Occagnes sur la période 1981-1995. Le coefficient de Nash obtenu est de 0,59, ce coefficient étant dégradé par la mauvaise représentation des hautes eaux. L'Illustration

216 présente une comparaison des débits modélisés et observés selon une représentation logarithmique.

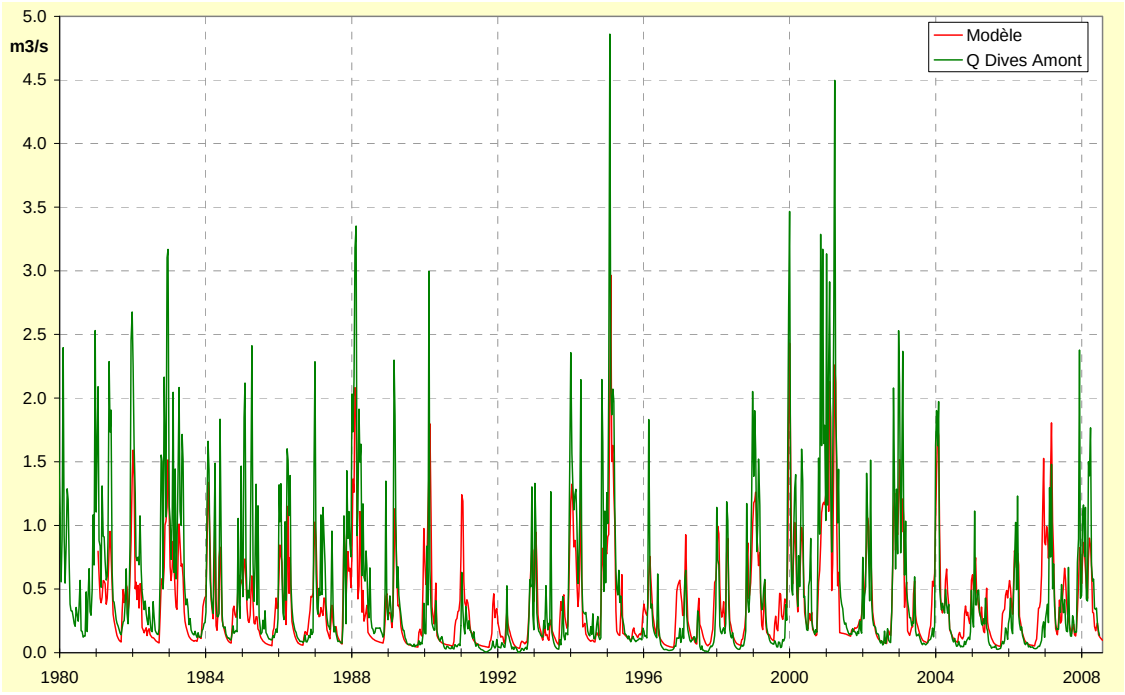


Illustration 215 : Modélisation du débit de la Dives à la station de Saint-Lambert-sur-Dives

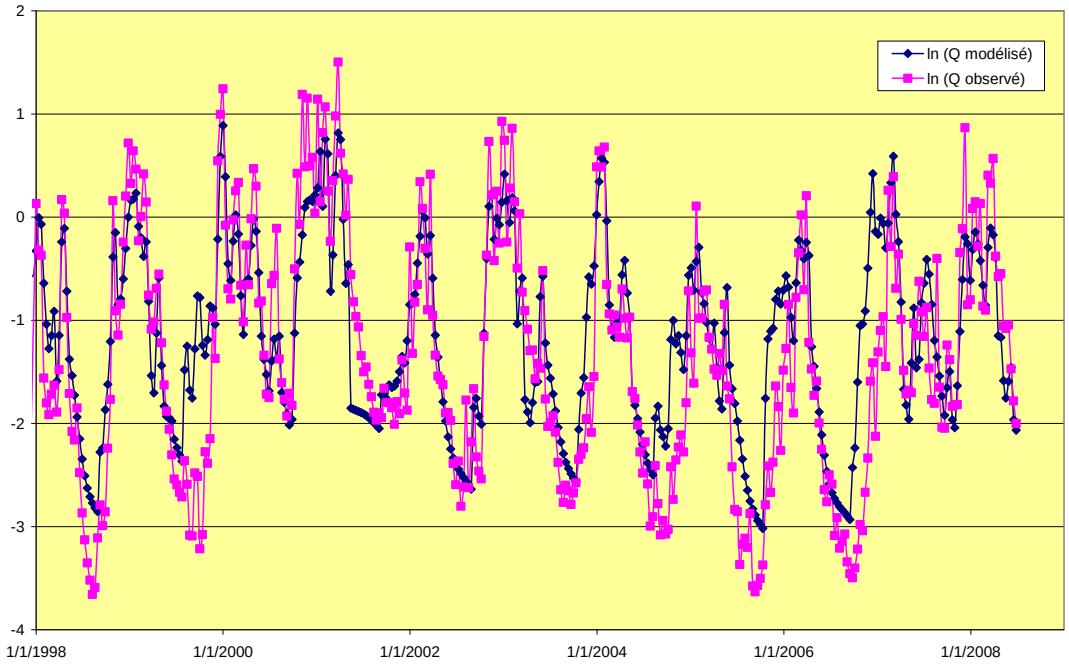


Illustration 216 : Débits observés et débits modélisés de la Dives à Saint-Lambert-sur-Dives représentés en logarithme népérien du 01/01/1998 au 31/07/2008

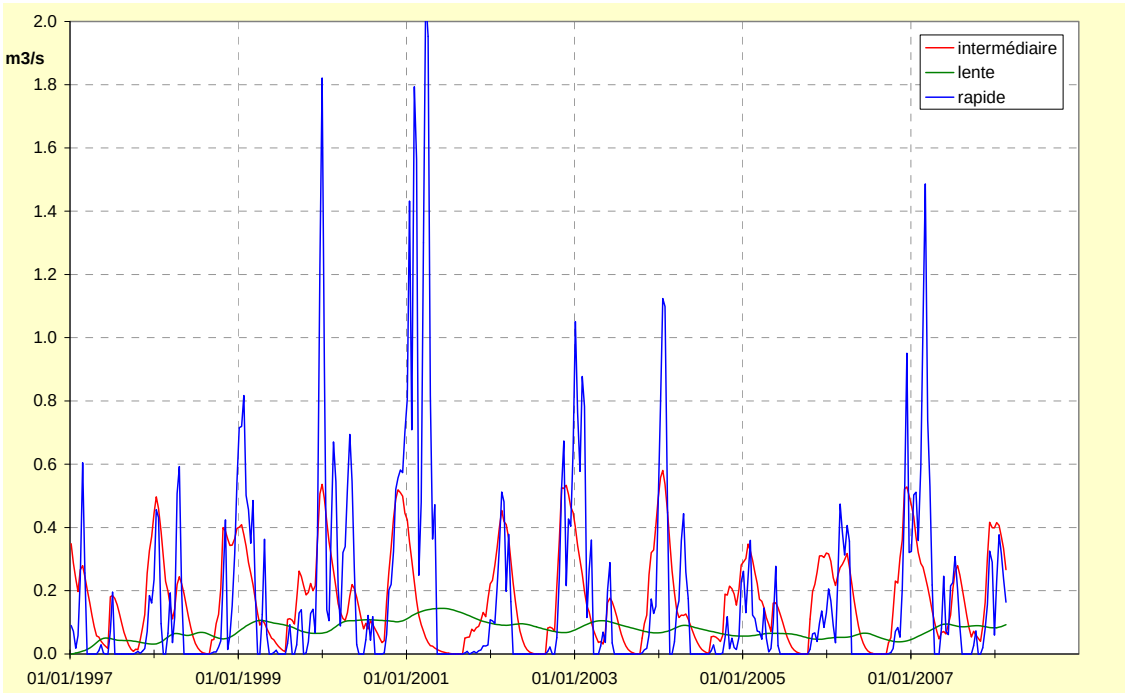


Illustration 217 : Composantes du débit de la Dives modélisé à la station de Saint-Lambert-sur-Dives

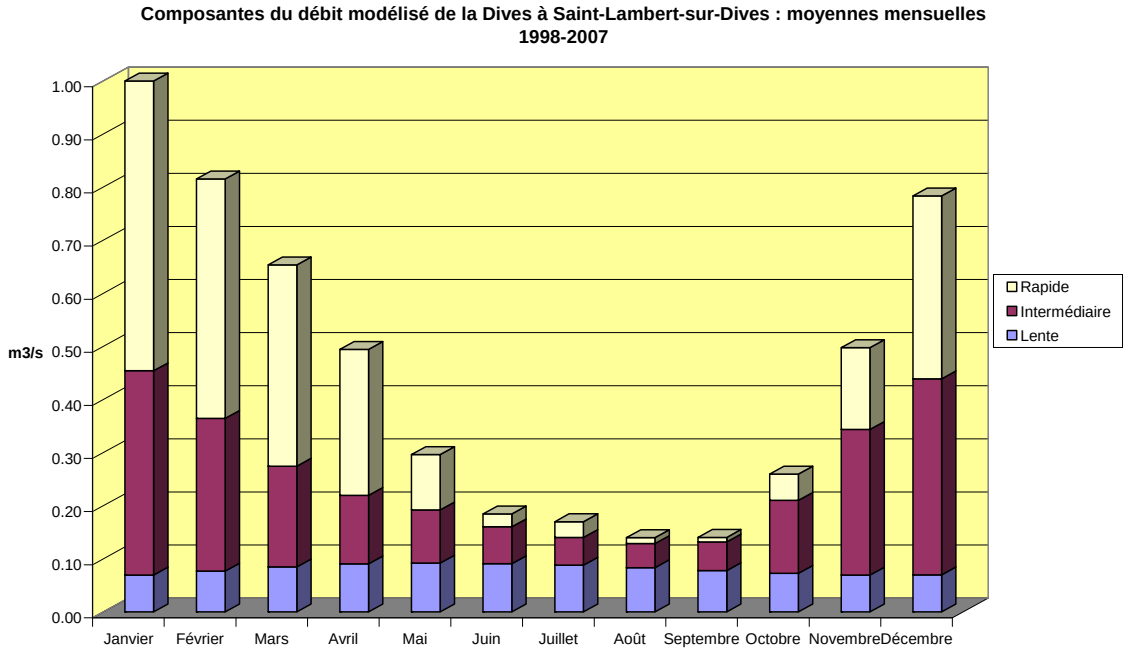


Illustration 218 : Composantes du débit moyen mensuel de la Dives modélisé à la station de Saint-Lambert-sur-Dives

L'Illustration 217 montre les composantes du débit modélisé à la station hydrométrique de Saint-Lambert-sur-Dives. Cette décomposition du signal fait apparaître une contribution saisonnière importante du ruissellement (courbe bleue, « rapide ») qui est d'ailleurs probablement sous-estimée compte tenu de l'absence de calage de la modélisation sur les épisodes de crues. On identifie aussi une faible contribution des eaux souterraines au débit de ce cours d'eau (courbe verte, « lente ») assurant néanmoins un soutien du débit du cours d'eau en période d'étiage. Cela est cohérent avec la forte densité des affluents à l'extrémité amont du bassin versant.

L'Illustration 218 montre la décomposition du débit moyen mensuel modélisé de la Dives à Saint-Lambert-sur-Dives.

b) Dives à Beaumais (station HYDRO : I2021010)

La modélisation du débit de la Dives à Beaumais a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : pluie optimale (P_{opt} = 84% * Pin-au-Haras + 16% * Loudon) ;
- ETP : données décadaires de la station hydrométrique de Caen-Carpiquet ;
- Piézométrie : piézomètre d'Occagnes.

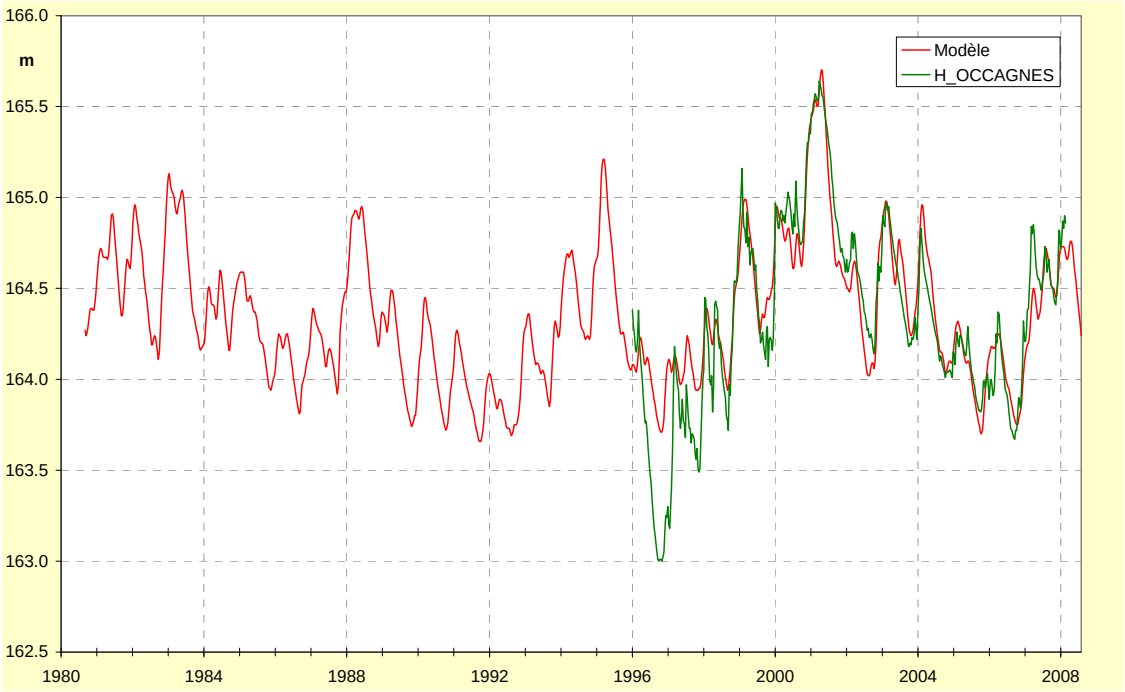


Illustration 219 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Occagnes

La modélisation du piézomètre (cf. Illustration 219) a été réalisée en intégrant une composante lente de 950 jours, ce qui correspond à un système assez fortement inertiel (période de modélisation : 02/01/1996-18/02/2008, coefficient de Nash : 0,80).

De même que précédemment, on retrouve un écart important entre piézométrie simulée et piézométrie observée lors de l'étiage 1996-1997.

La modélisation du débit de la Dives à Beaumais est présentée en Illustration 220 (coefficient de Nash de 0,73). Elle couvre une période allant du 19/02/1981 au 31/07/2008. Une visualisation de cette modélisation en logarithme népérien est proposée en Illustration 221.

L'Illustration 222 montre les composantes du débit de la Dives modélisé à la station hydrométrique de Beaumais. Cette décomposition du signal fait apparaître une contribution saisonnière importante du ruissellement (courbe bleue, « rapide ») et une contribution des eaux souterraines au débit de ce cours d'eau (courbe verte, « lente ») qui est présente tout au long de l'année hydrologique, assurant un soutien du débit du cours d'eau en période d'étiage. Encore une fois, les résultats du calage sont cohérents avec le réseau hydrographique et les caractéristiques de l'aquifère bathonien, drainé par la Dives. Sa puissance et son extension lui assure un effet capacitif intéressant et sa faible profondeur permet des réactions aux pluies efficaces relativement rapides.

L'Illustration 223 montre la décomposition obtenue pour le débit sous la forme de débits moyens mensuels.

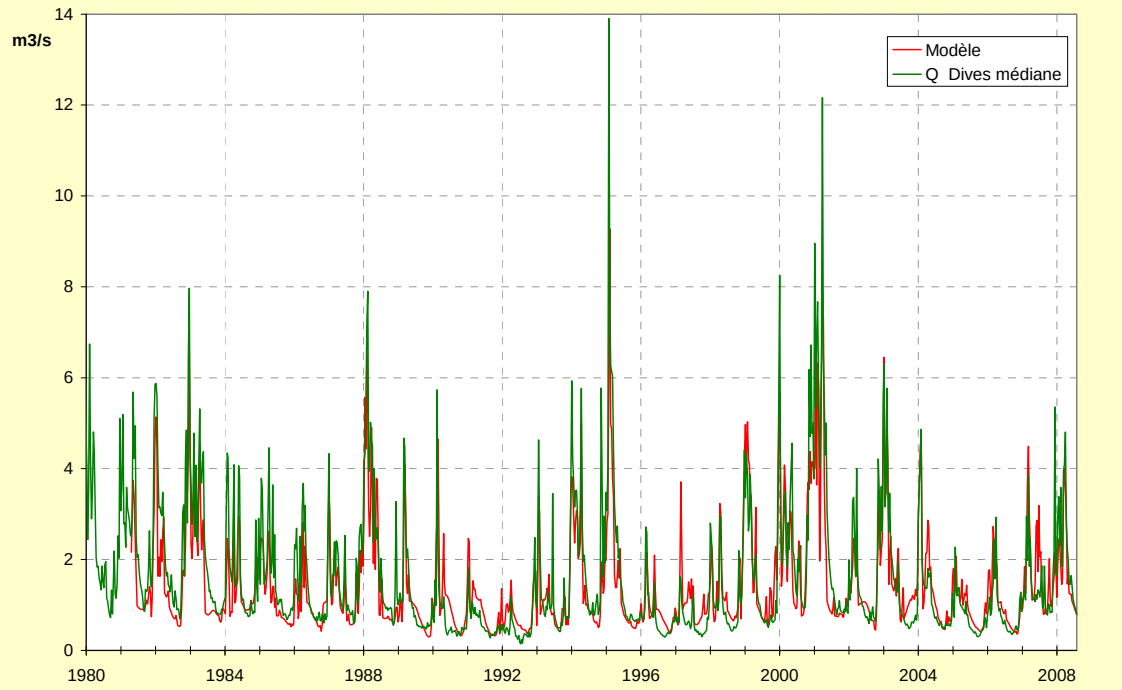


Illustration 220 : Modélisation du débit de la Dives à la station de Beaumais

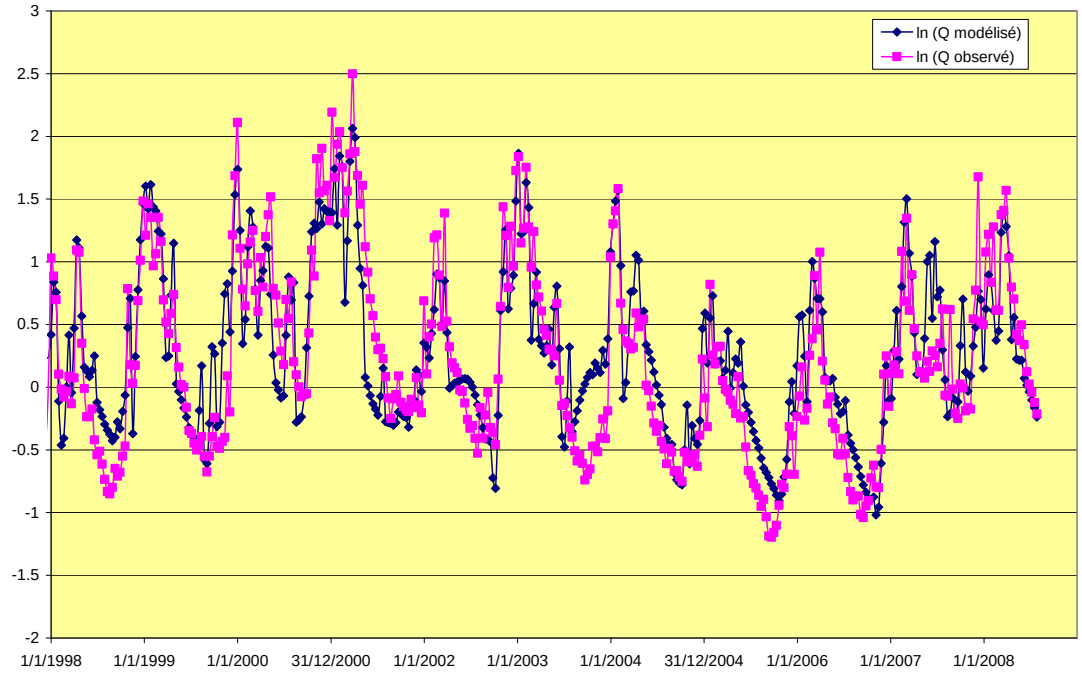


Illustration 221 : Débits observés et débits modélisés de la Dives à Beaumais représentés en logarithme népérien du 01/01/1998 au 31/07/2008

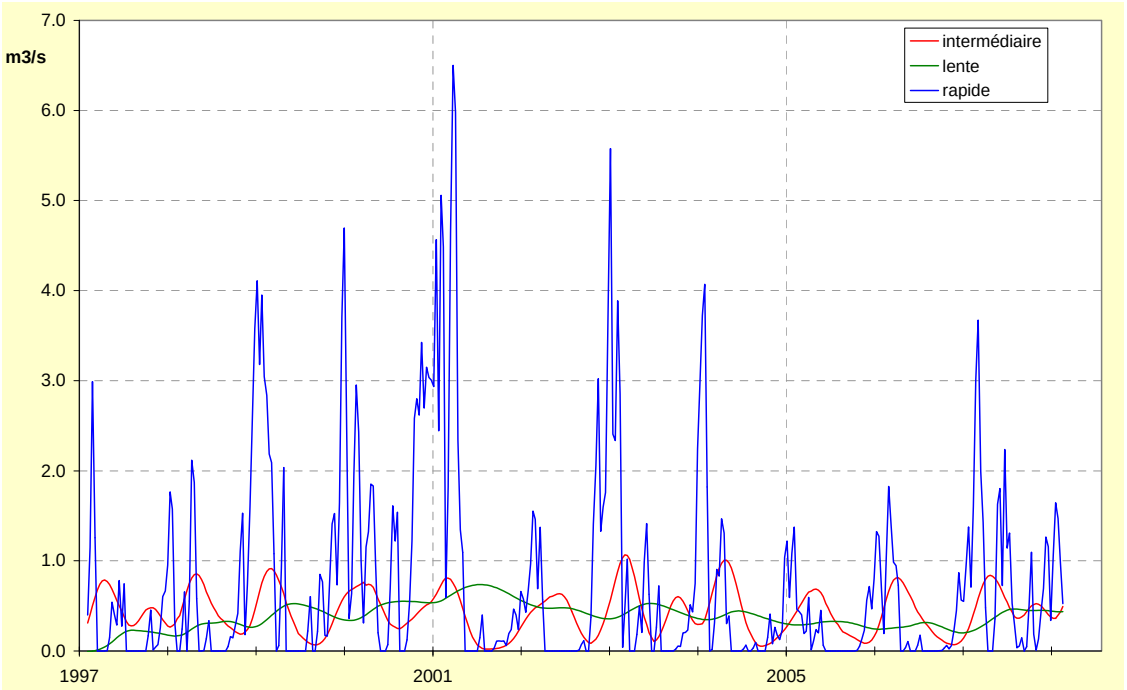


Illustration 222 : Composantes du débit de la Dives modélisé à la station de Beaumais

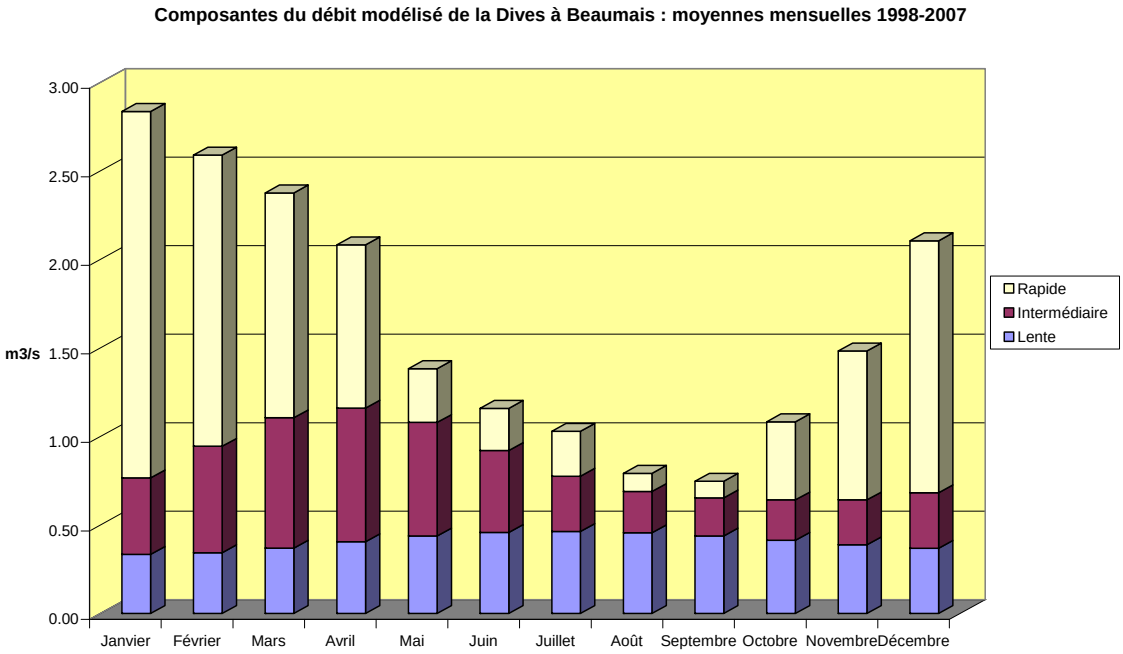


Illustration 223 : Composantes du débit moyen mensuel de la Dives modélisé à la station de Beaumais

6.3. BASSIN VERSANT DE LA LAIZE

6.3.1. Caractéristiques du bassin versant

La Laize est un affluent en rive droite de l'Orne avec lequel elle conflue peu à l'amont de Caen. Son bassin versant à la station hydrométrique de Saint-Germain-le-Vasson s'étend sur 96 km² (source : Banque HYDRO). Il est situé dans le département du Calvados.

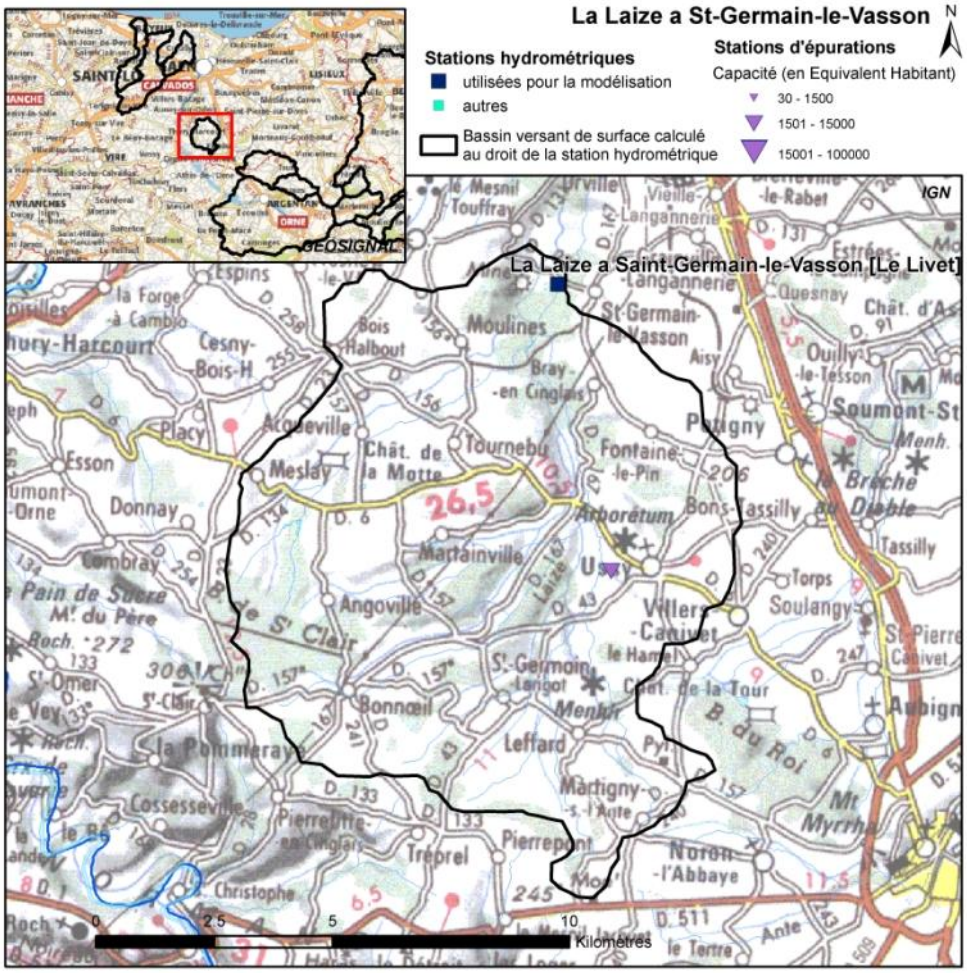


Illustration 224 : Localisation du bassin versant de la Laize (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude dans le bassin versant de la Laize s'échelonne de 295 à 87 m NGF, avec une altitude moyenne de 185 m.

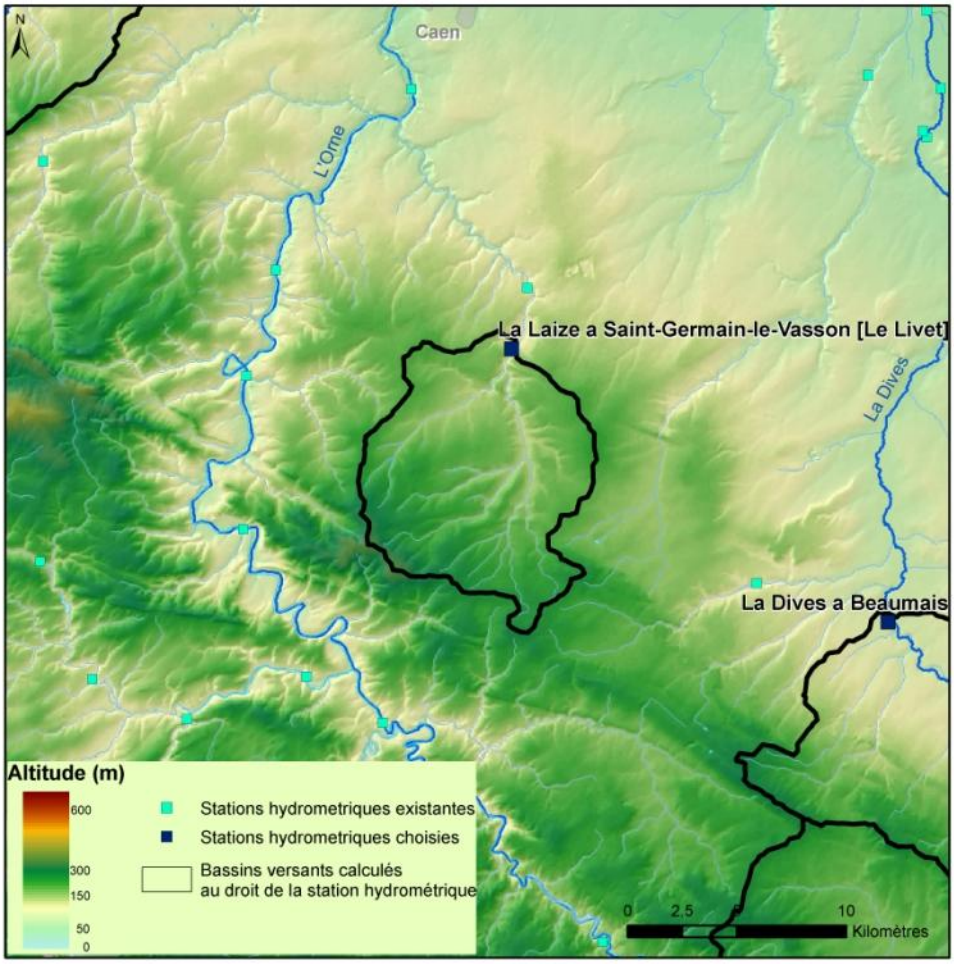


Illustration 225 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Laize (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant est de 4,9% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN). La pente maximale est de 43,6% et les pentes supérieures à 5% occupent 36% du territoire.

On note le fort encaissement du fond de vallée, notamment dans la partie avale du cours d'eau, ainsi que l'existence d'une zone de plateau de part et d'autre de la vallée. Compte tenu de la faible taille du bassin versant et de la disparité des formations géologiques présentes, ces plateaux restent d'extension limitée. Ces plateaux sont constitués par les calcaires de Fresné-la-mère (Bajocien supérieur) et les calcaires de Caen (Bathonien), formations aquifères qui ne semblent néanmoins pas rencontrées en fond de vallée.

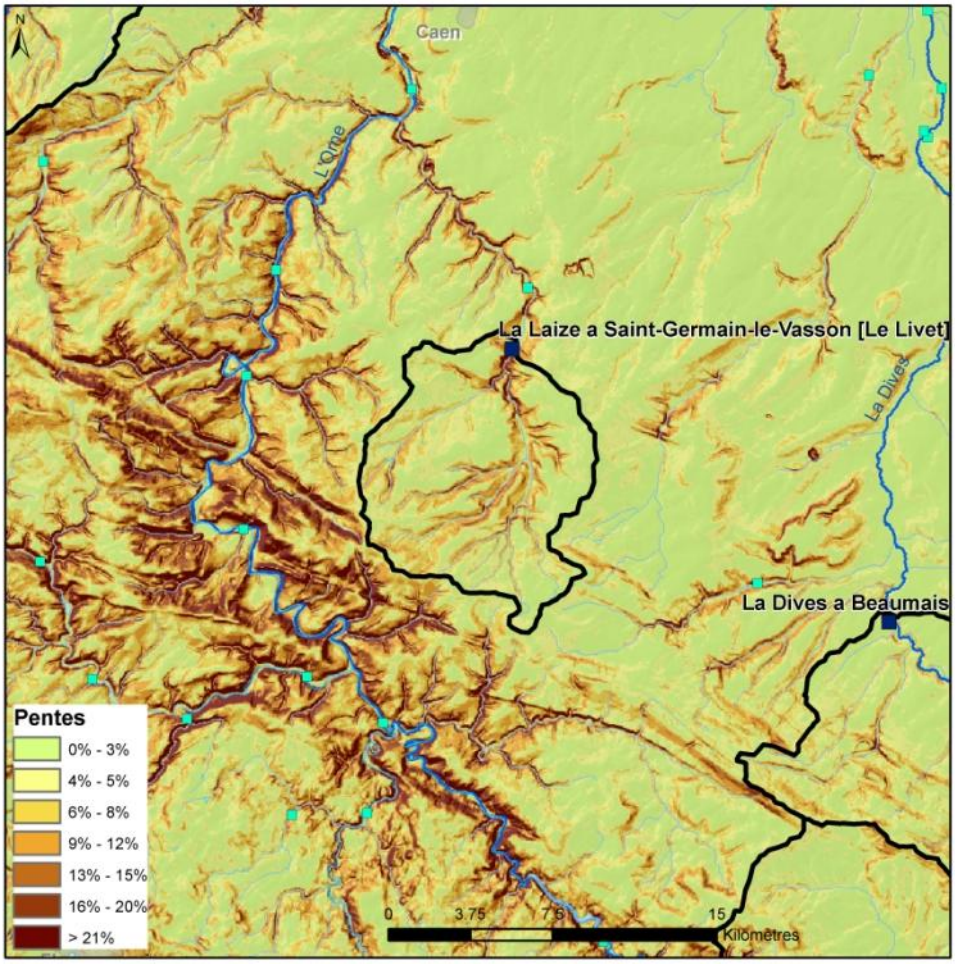


Illustration 226 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Laize (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- zones agricoles hétérogènes : 48% ;
- prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives et « zones naturelles » : 50% ;
- zones urbanisées industrialisées : 2%.

Il n'a pas été identifié de stations d'épuration en fond de vallée (cf. Illustration 224).

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 18. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par

l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (95 km²), ils correspondent à une lame d'eau qui reste inférieure à 0,2 mm.

Annee	Prel_Irrigation
1995	5 094
1996	5 094
1997	6 181
1998	6 181
1999	6 011
2000	7 499
2001	12 868
2002	8 175
2003	10 037
2004	14 954
2005	9 837
2006	3 313

Tableau 18 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Laize

Les prélèvements pour l'AEP représentent en moyenne annuelle environ 2,2 millions de m^3, soit une lame d'eau de 22,9 mm.

6.3.2. Climatologie

Le bassin versant de la Laize reçoit en moyenne environ 824 mm d'eau par an (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Il s'agit donc d'un territoire recevant une pluviométrie supérieure à la moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de trois stations météorologiques ont été utilisées dans le cadre de la modélisation :

- Saint-Germain Langot (type 4, création de la station en juillet 1970), située dans la partie amont du bassin versant et recevant une pluviométrie légèrement supérieure à la valeur moyenne du bassin versant ;
- Ri (type 4, création de la station en janvier 1970), située à une quinzaine de kilomètres au sud-est du bassin versant et recevant en moyenne une pluviométrie annuelle similaire à celle observée dans la partie avale du bassin versant (750 mm environ) ;
- Caen-Carpiquet (type 1, création de la station en octobre 1944), située à une vingtaine de kilomètres au NNO du bassin versant et qui a servi pour ses données pluviométriques et d'évapotranspiration Penman.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des trois chroniques de pluie ci-dessus. La formule retenue est :

$$P_{opt} = \text{Saint-Germain Langot}$$

6.3.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

L'Illustration 227 présente le contexte géologique du bassin versant de la Laize (extrait de la carte géologique au 1/1 000 000 de la France).

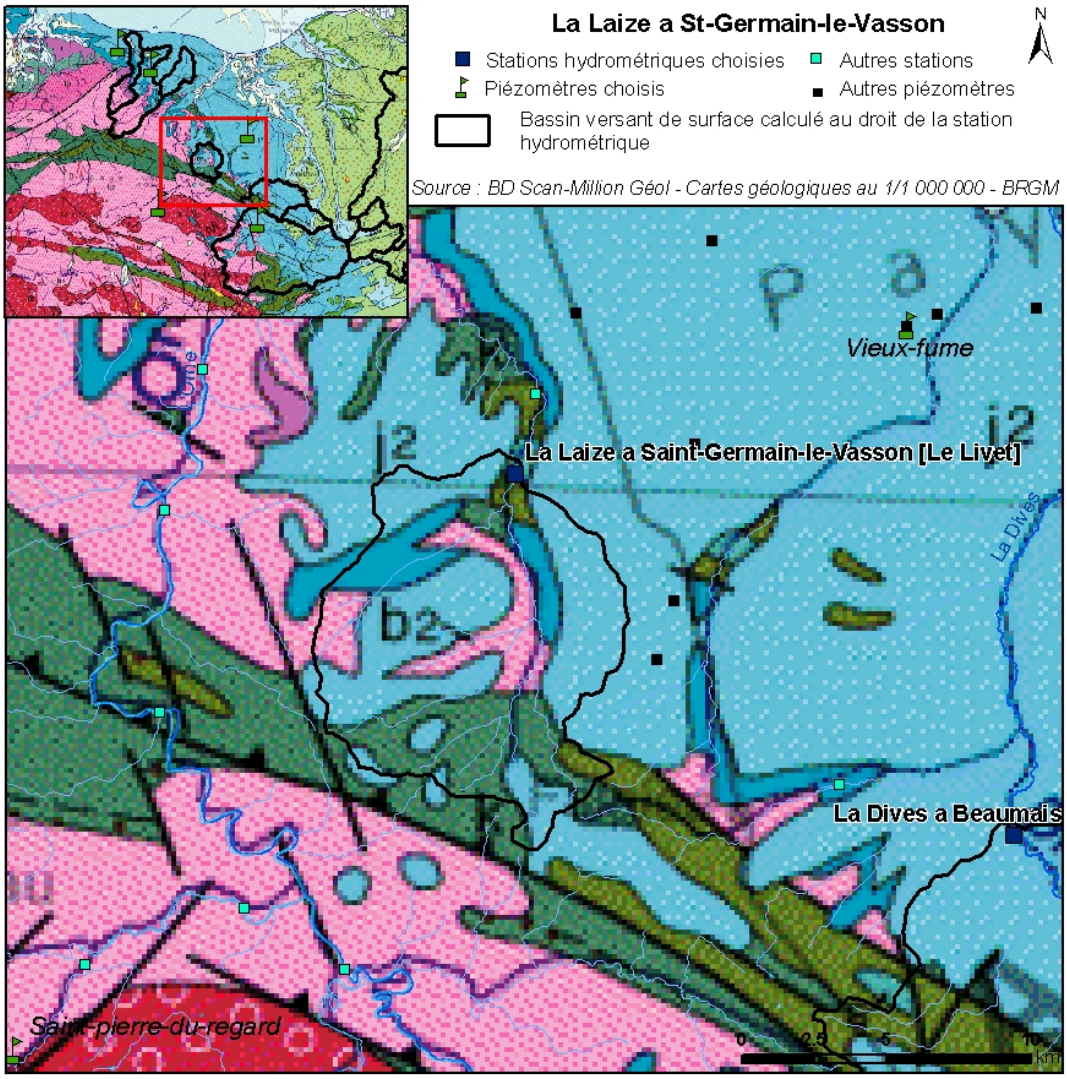


Illustration 227 : Carte géologique du bassin versant de la Laize

Le bassin versant est marqué par les plissements qui se sont produits lors de la formation de la chaîne de montagnes varisque. On identifie notamment deux grands axes d'orientation ONO-ESE :

- le grand synclinorium de la Zone bocaine dans la partie amont du bassin versant ;
- le synclinal d'Urville dans sa partie avale.

Les parties amont et avale du bassin versant sont constituées par des formations datant du Cambrien inférieur (notées k et b2 sur l'Illustration 227). Il s'agit de grès, de calcaires ou de pélites (roche sédimentaire détritique à grain très fin). Ces formations sont présentes en fond de vallée.

La partie centrale du bassin versant est constituée par des formations plus récentes, datant du Trias et du Jurassique inférieur et moyen. On retrouve notamment :

- les argiles, sables et conglomérats fluviatiles du Trias. Cette formation est présente en fond de vallée (non visualisable sur la carte géologique au 1/1 000 000) ;
- les calcaires à bélemnites du Pliensbachien (inclus dans le bleu foncé sur l'Illustration 227) ;
- les calcaires et marnes à ammonites et les argiles à poissons du Toarcien (inclus dans le bleu foncé) ;
- les calcaires de Fresné-la-mère (Bajocien supérieur) et les calcaires de Caen (Bathonien), présents au niveau des plateaux (en bleu clair). Ces formations ne semblent pas être présentes en fond de vallée.

L'IDPR médian est de 938, ce qui correspond à un bassin versant dans lequel ruissellement et infiltration cohabitent.

b) Piézométrie

Il n'a pas été identifié de piézomètre dans ce bassin versant (source : ADES et site internet : http://seine-normandie.brgm.fr/).

Compte tenu de la présence des formations du Cambrien inférieur au niveau de la station hydrométrique, c'est un piézomètre captant des formations de socle qui a été retenu par défaut : il s'agit de celui de Saint-Pierre-du-Regard (indice national : 01756X0008/S1). Il est situé dans le département de l'Orne et capte des cornéennes (formations métamorphiques).

Le piézomètre de Saint-Pierre-du-Regard dispose d'une chronique démarrant le 22/06/1995 (cf. Illustration 228) et présentant cinq discontinuités de plus de 80 jours jusqu'à fin février 2008 : du 01/07/1995 au 21/09/1995, du 09/11/1995 au 21/03/1996, du 02/10/2002 au 28/01/2003, du 16/04/2003 au 09/09/2003 et du 28/02/2004 au 08/07/2004.

La fréquence d'acquisition des données est quotidienne. La chronique présente des fluctuations saisonnières bien individualisées, avec une réactivité élevée. Ce type de comportement est caractéristique des aquifères de socle peu profond (faible effet capacitif).

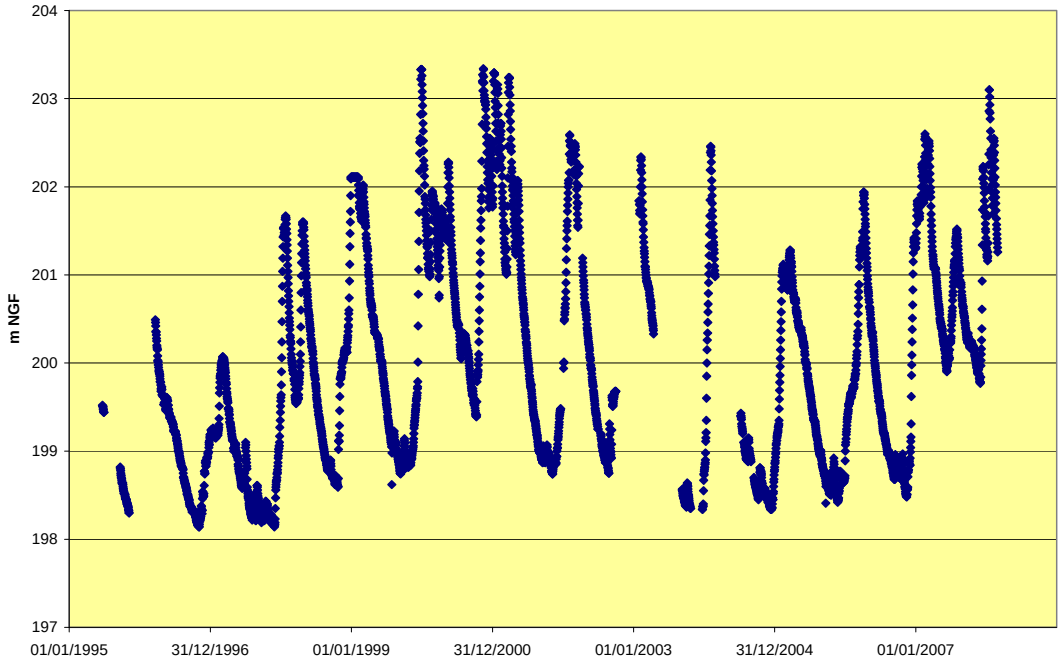


Illustration 228 : Chronique piézométrique de Saint-Pierre-du-Regard (indice national : 01756X0008/S1)

6.3.4. Hydrologie

Le débit de la Laize est connu par la station hydrométrique de Saint-Germain-le-Vasson (code HYDRO : I3612010). Il existe une autre station hydrométrique située plus à l'aval et sur laquelle des données ont été acquises entre 2005 et 2008 (station de Fresney-le-Puceux, située peu avant la confluence avec l'Orne ; code HYDRO : I3612060 ; bassin versant : 135 km²).

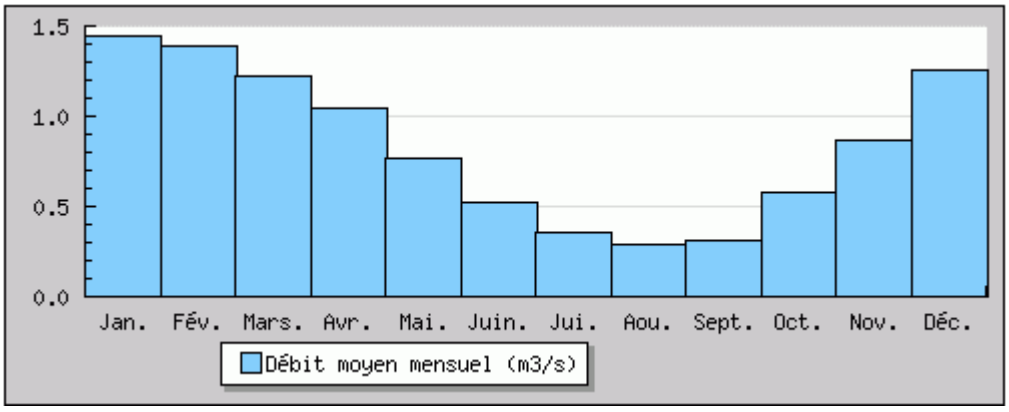


Illustration 229 : Débit moyen mensuel de la Laize (en m^3/s) à la station hydrométrique de Saint-Germain-le-Vasson (source : banque HYDRO)

La chronique de débit journalier à Saint-Germain-le-Vasson couvre une période allant du 20/06/1973 au 10/01/2002. Elle comporte quelques interruptions sur cette période, dont la plus longue dure 13 jours du 19 au 31 janvier 1995.

Les débits journaliers vont de 0,116 m^3/s à 14,4 m^3/s. La lame d'eau moyenne annuelle est de 275 mm (source : Banque HYDRO). Les basses eaux interviennent en août-septembre et les hautes eaux en janvier. Le débit de la Laize est soutenu par la nappe en période d'étiage.

Le QMNA5 est de 0,18 m^3/s pour un bassin versant d'une superficie de 96 km^2.

6.3.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de la Laize a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : données décadaires de la station météorologique de Saint-Germain Langot ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Caen-Carpiquet ;
- Piézométrie : piézomètre de Saint-Pierre-du-Regard (indice national : 01756X 0008/S1).

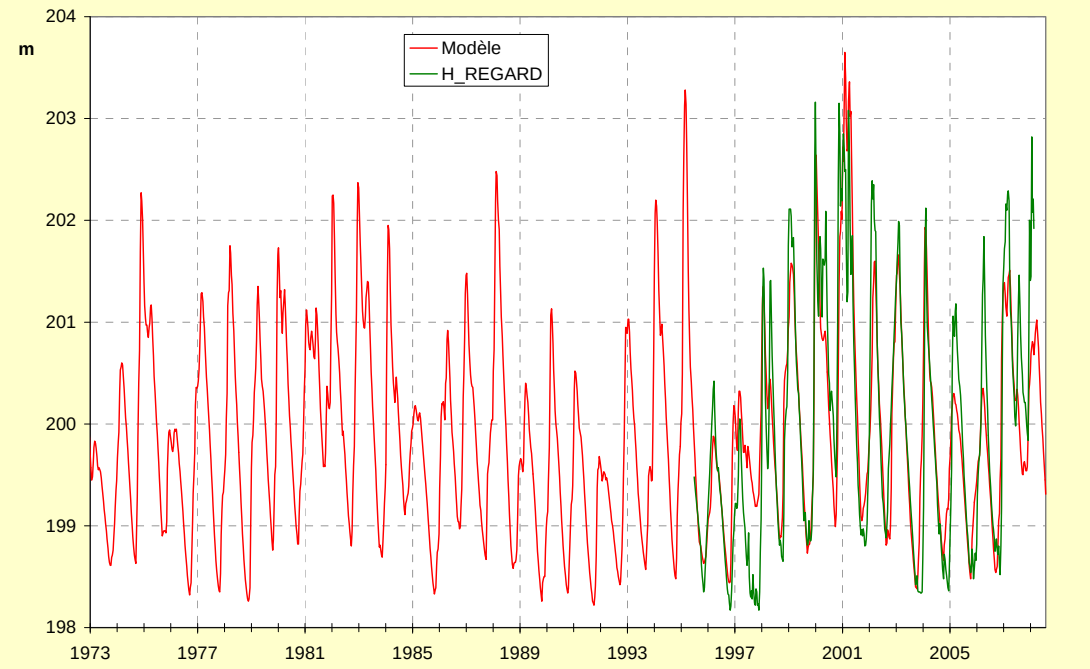


Illustration 230 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Saint-Pierre-du-Regard

La modélisation du piézomètre (cf. Illustration 230) a été réalisée en intégrant une composante lente de 310 jours, ce qui correspond à un système faiblement inertiel (coefficient de Nash de 0,75 avec une comparaison des données (observées et modélisées) effectuée entre le 26/06/1995 et le 18/02/2008). La partie modélisée de

1973 à 1995 utilise les mêmes données pluviométriques et a servi pour la représentation de la chronique de débit sur cette période.

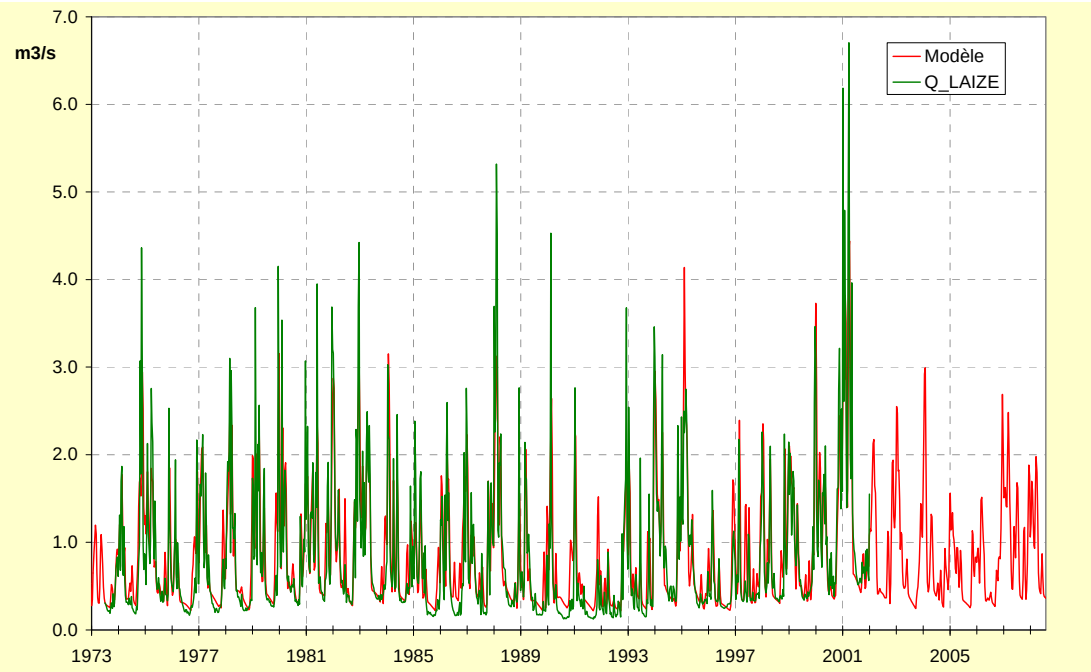


Illustration 231 : Modélisation du débit de la Laize à la station de Saint-Germain-le-Vasson

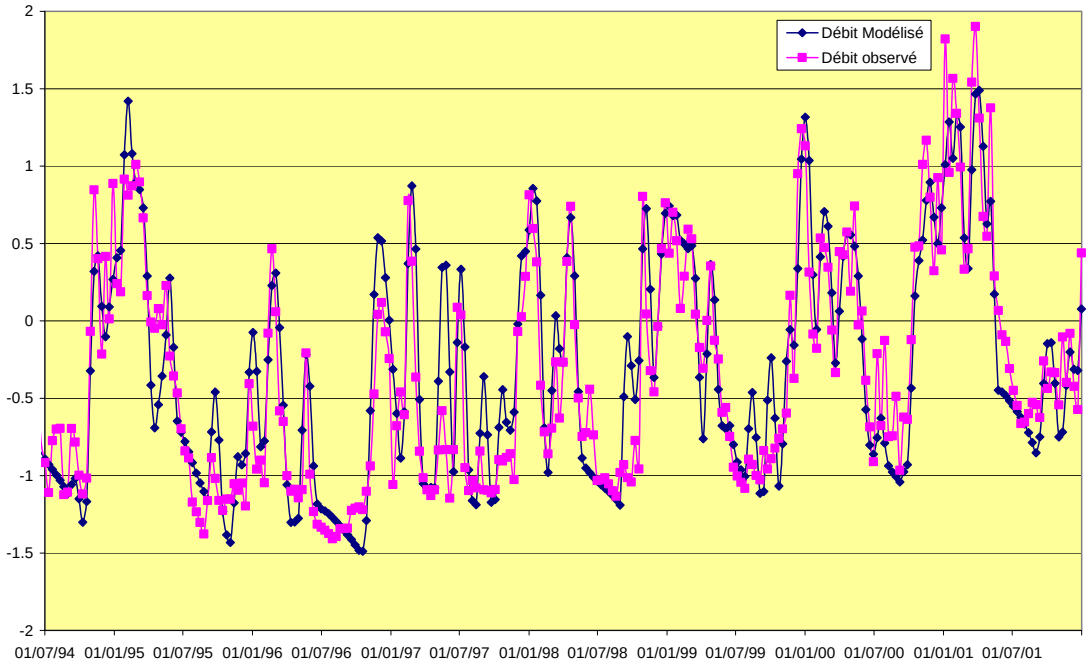


Illustration 232 : Débits observés et débits modélisés de la Laize représentés en logarithme népérien du 01/07/1994 au 31/12/2001

La modélisation du débit de la Laize est présentée en Illustration 231 (coefficient de Nash de 0,70). Elle couvre une période allant du 01/07/1973 au 31/12/2001 (fin de la chronique de débit le 10/01/2002).

L'Illustration 232 propose une représentation des débits observés et des débits modélisés en logarithme népérien entre juillet 1994 et décembre 2001. On observe le parallélisme des droites de décroissance en l'absence de réalimentation.

L'Illustration 233 montre les composantes du débit modélisé à la station hydrométrique de Saint-Germain-le-Vasson, entre 1995 et fin 2001 (soit sur la période de calage). Cette période est un peu courte pour en tirer des conclusions. On note néanmoins le soutien des eaux souterraines au débit de ce cours d'eau (courbe verte, « lente »). La décomposition du débit modélisé en débits moyens mensuels n'a pas été effectuée compte tenu de la durée (courte) sur laquelle elle était disponible.

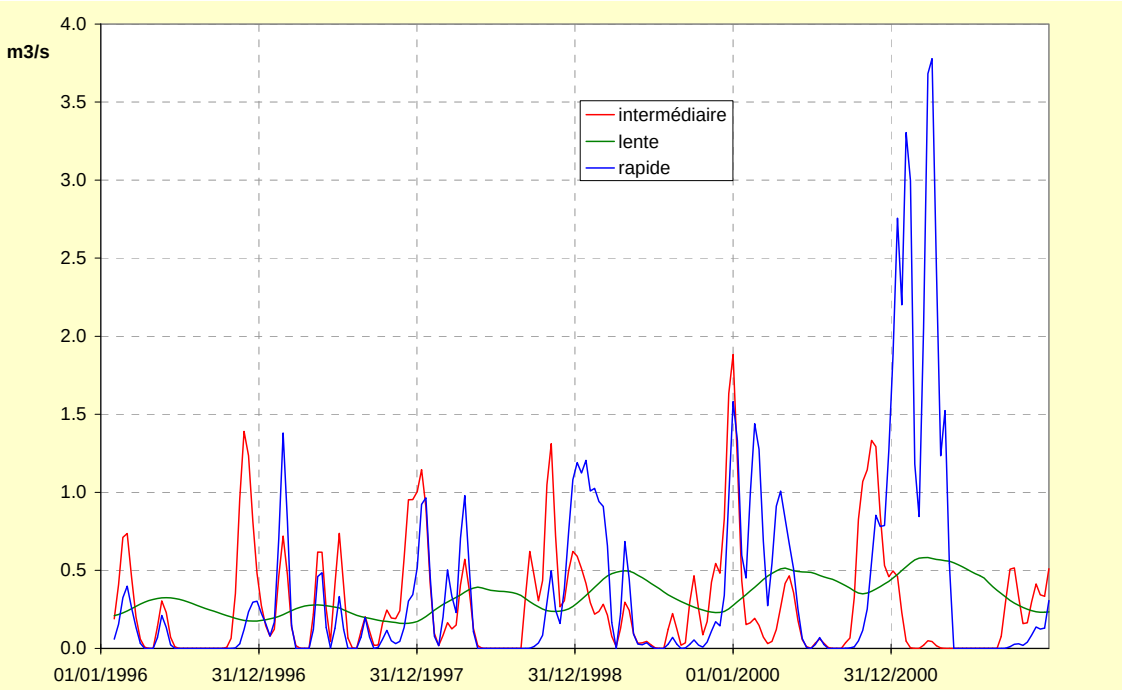


Illustration 233 : Composantes du débit de la Laize modélisé à la station de Saint-Germain-le-Vasson

6.4. BASSIN VERSANT DE LA MUE

6.4.1. Caractéristiques du bassin versant

La Mue est un cours d'eau orienté SO-NE qui prend sa source dans le département du Calvados. Son bassin versant s'étend à l'ouest de Caen et couvre une superficie de 95 km² à la station hydrométrique de Reviers (source : Banque HYDRO). Peu à l'aval de la station hydrométrique, il rejoint la Seulles en rive droite.

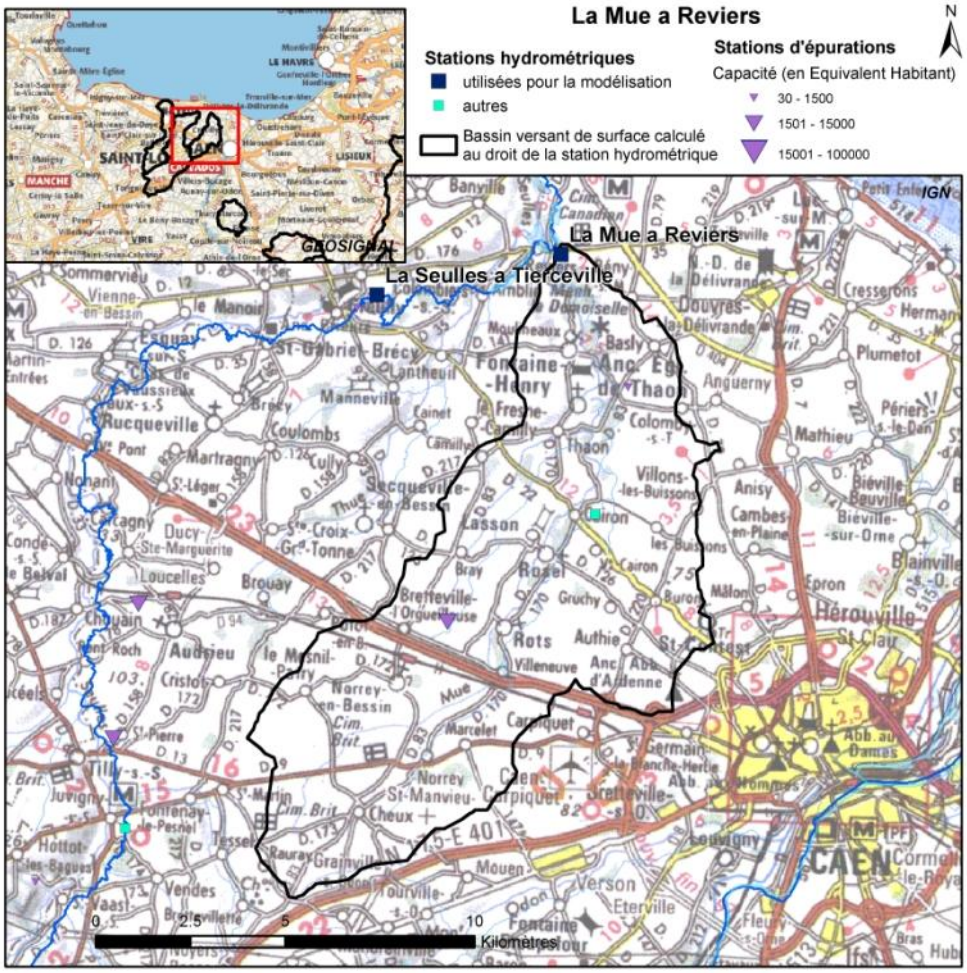


Illustration 234 : Localisation du bassin versant de la Mue (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude dans le bassin versant de la Mue s'échelonne de 121 à 5 m NGF, avec une altitude moyenne de 62 m.

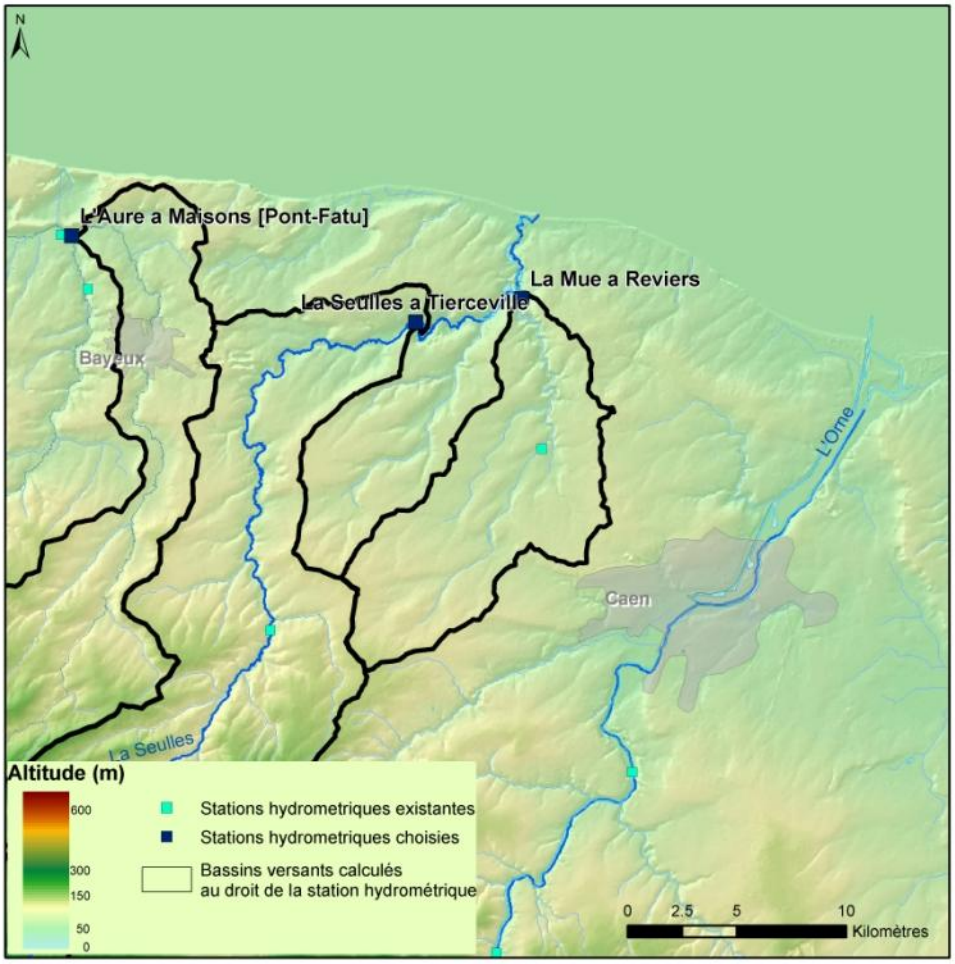


Illustration 235 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Mue (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant est de 2,1% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), ce qui est faible. La pente maximale est de 37% et les pentes supérieures à 5% occupent seulement 6% du territoire. Il s'agit d'un bassin versant au relief peu accentué, sauf dans sa partie avale où la vallée de la Mue est très encaissée sur 5 à 10 km de longueur. Cette particularité fait de la zone avale de la vallée un exutoire naturel pour la nappe contenue dans les calcaires du Bathonien qui constituent le relief du bassin versant et le principal aquifère en contact avec les alluvions de la Mue.

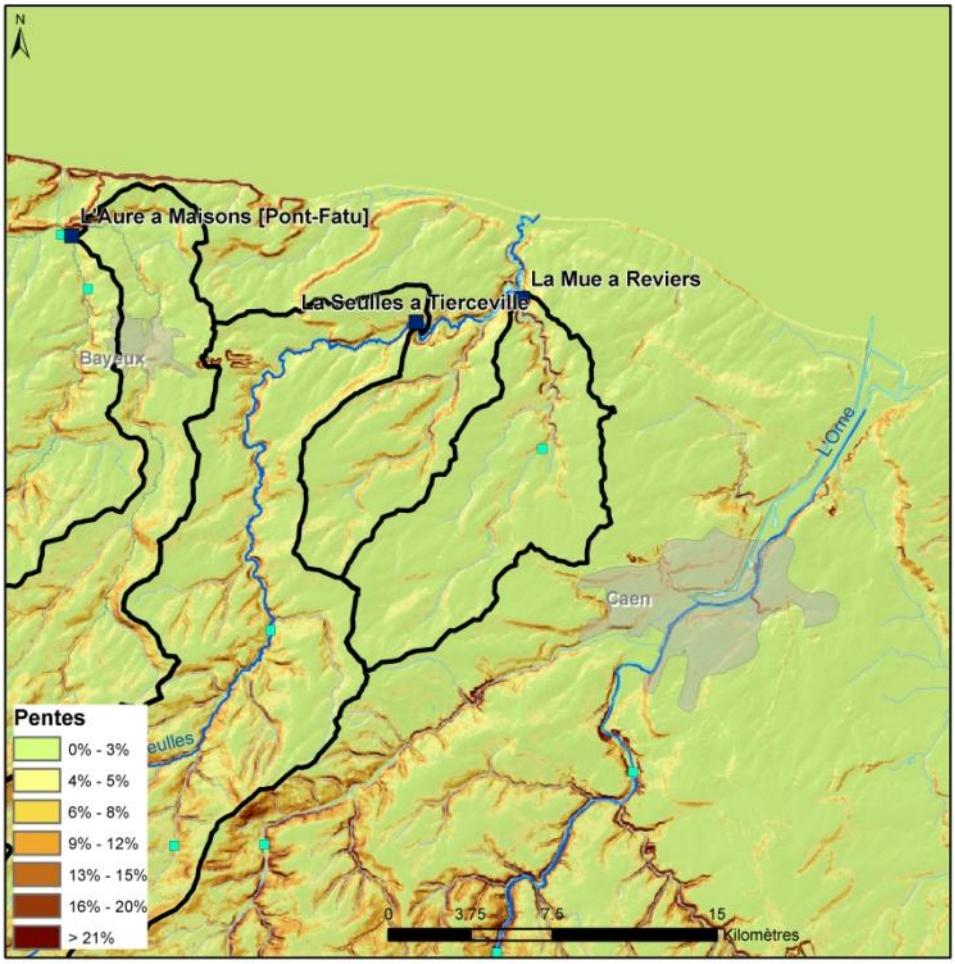


Illustration 236 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Mue (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- zones agricoles hétérogènes : 84% ;
- prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives : 7% ;
- zones urbanisées industrialisées : 9%.

Il s'agit donc globalement d'un bassin versant fortement agricole avec une emprise urbaine élevée.

Il n'a pas été identifié de stations d'épuration en fond de vallée (cf. Illustration 234).

Les prélèvements dans le bassin versant sont présentés pour la période 1994-2004 dans le Tableau 19. Ramenés à la surface du bassin versant (95 km²), les volumes prélevés en moyenne pour l'AEP (5,5 millions de m^3/an) correspondent à une lame d'eau de 58 mm environ (minimum annuel : 47,5 mm ; maximum : 70,6 mm).

Année	AEP	Industrie	Agricole
1994	5 008 245	26 280	
1995	5 904 317	17 097	
1996	6 709 423	14 949	
1997	6 611 222	21 643	2 520
1998	5 953 760	12 820	2 100
1999	5 535 782	8 630	2 100
2000	5 230 895		46 150
2001	4 509 889		44 200
2002	4 736 261		55 387
2003	4 924 117		78 033
2004	5 120 297		59 889

Tableau 19 : Prélèvements (en m^3) dans le bassin versant de la Mue

Une part importante de ces prélèvements étant due à ceux effectués pour l'alimentation en eau de l'agglomération caennaise depuis une date antérieure au démarrage du suivi hydrométrique, la chronique de débit est fortement influencée par ces prélèvements et ce, dès les premières mesures. Par ailleurs, d'après les informations fournies par la DIREN BNO, ils sont susceptibles d'être variables au cours de l'année : un pic de prélèvement peut intervenir durant l'été en cas d'étiage sévère constaté sur les cours d'eau.

L'établissement d'un bilan hydrologique par le logiciel GARDENIA (BRGM, 2007) confirmait le poids important des prélèvements par rapport à la ressource en eau du bassin de la Mue. Pour les années de basses eaux, les prélèvements apparaissent, en effet, largement supérieurs à la réserve disponible. La Mue s'est asséchée à Reviers en janvier 1997 (§ 5.4.4).

6.4.2. Climatologie

Le bassin versant de la Mue reçoit en moyenne environ 739 mm d'eau par an (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Il s'agit donc d'un territoire recevant une pluviométrie moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de la station météorologique de Caen-Carpiquet (type 1, création de la station en octobre 1944) ont été utilisées dans le cadre de la modélisation. Cette station se situe à moins de deux kilomètres au sud-est du bassin versant. Elle a fourni les données pluviométriques et d'évapotranspiration Penman.

6.4.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

Le bassin versant de la Mue s'est développé dans les formations calcaires et marneuses du Bathonien. Les différentes formations géologiques (Calcaire de Blanville, calcaire de Creuilly, calcaire de Caen, marnes de Port-en-Bessin…) qui constituent cet ensemble occupent la grande majorité du territoire. On retrouve néanmoins dans la partie amont la formation des calcaires à spongiaires (Bajocien supérieur).

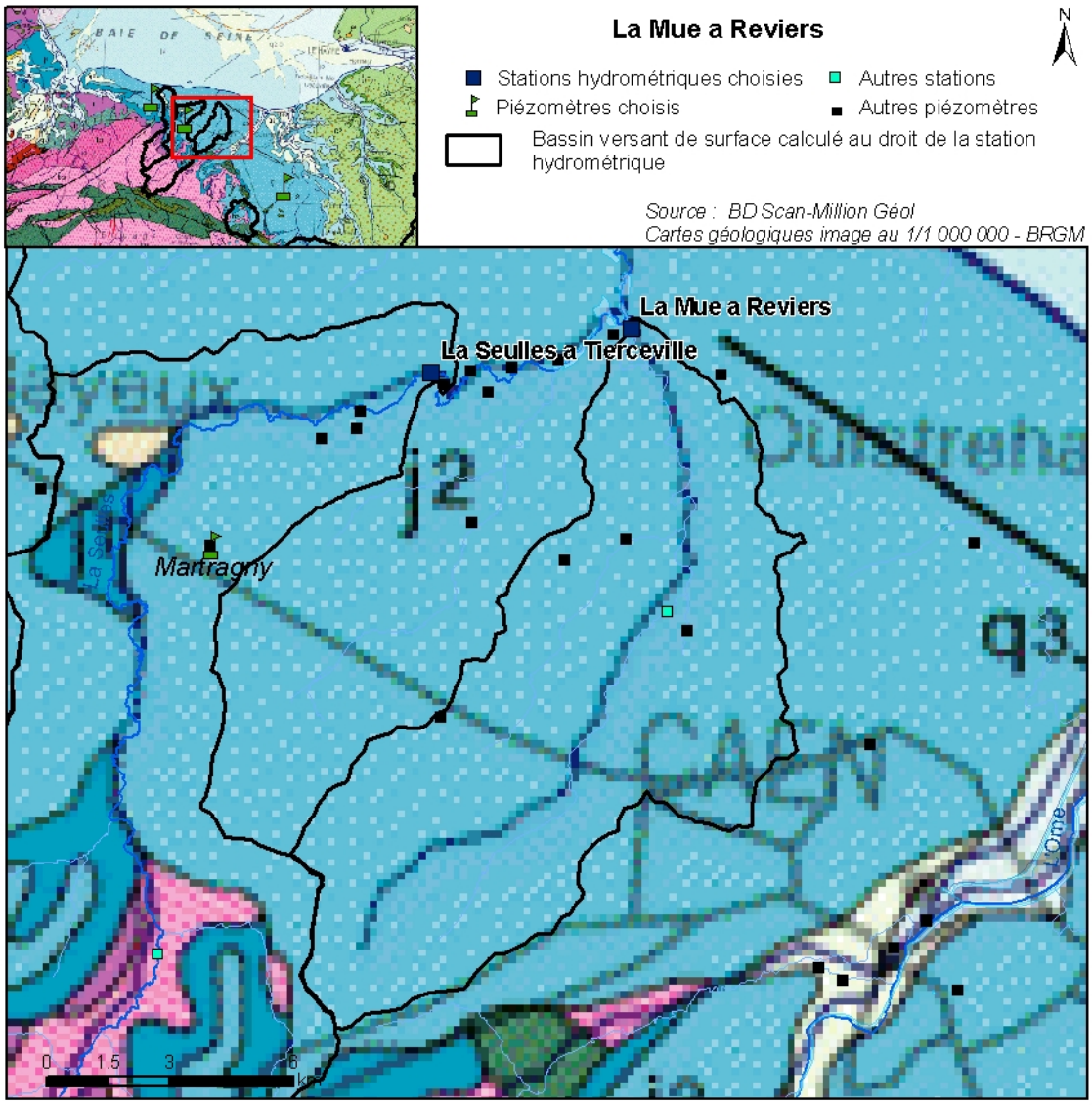


Illustration 237 : Carte géologique du bassin versant de la Mue

À noter la présence de deux pertes karstiques au droit de la Chironne, affluent de la Mue en rive gauche. Sur tout un tronçon, ce ruisseau est ainsi perché par rapport à la nappe, drainée par un réseau karstique.

L'IDPR médian est de 410, ce qui correspond à un bassin versant dans lequel l'infiltration prédomine (affleurements des calcaires bathonien et bajocien).

b) Piézométrie

Le piézomètre retenu est celui de Beny-sur-Mer (indice national : 01194X0069/S1), qui capte les calcaires du Bathonien. Il est situé à quelques centaines de mètres de la limite nord-est du bassin versant.

Le piézomètre de Cairon (indice national : 01194X0149/FEA7) a été testé mais il n'a pas donné de meilleurs résultats que ceux obtenus avec Beny-sur-Mer. On constate, en effet, une nette tendance à la baisse du niveau piézométrique sur Cairon, et notamment pendant les années 80 et le début des années 90. Cette baisse locale de la nappe est très probablement due aux pressions anthropiques exercées sur la ressource en eau souterraine.

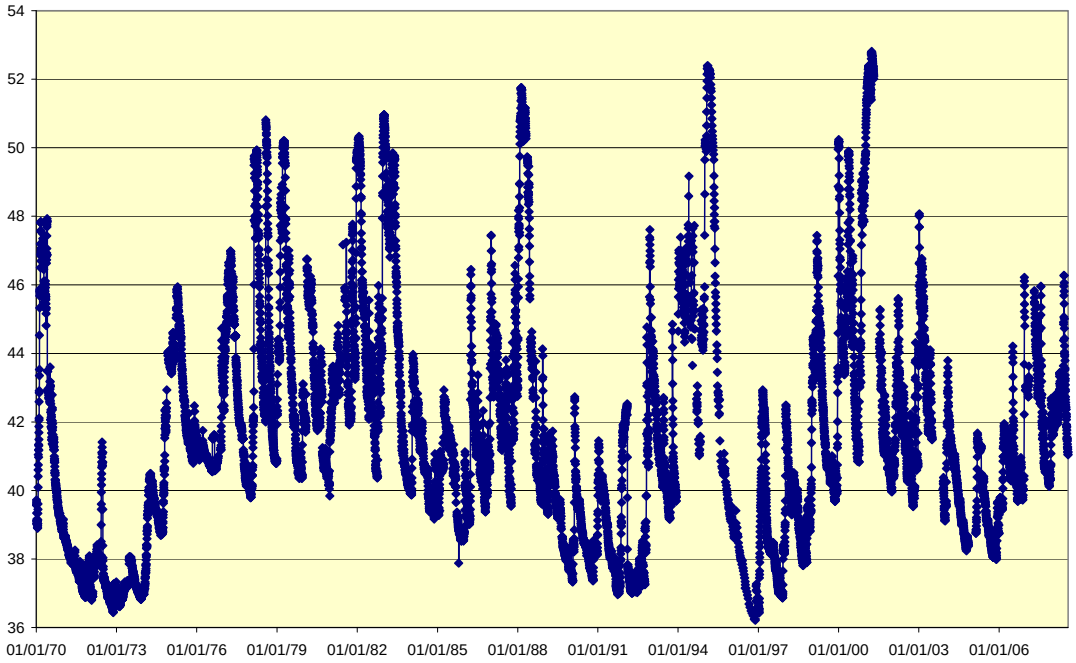


Illustration 238 : Chronique piézométrique de Beny-sur-Mer (indice national : 01194X0069/S1)

Le piézomètre de Beny-sur-Mer dispose d'une chronique démarrant le 16/12/1968 et présentant quatre discontinuités de plus de 40 jours jusqu'à fin juillet 2008 (cf. Illustration 238) :

- du 27/04/2001 au 10/07/2001 ;

- du 03/07/2003 au 27/11/2003 ;
- du 09/11/2004 au 17/02/2005 ;
- du 13/02/2007 au 25/04/2007.

La fréquence d'acquisition des données est quotidienne, hormis de 1994 à 1996, période durant laquelle l'acquisition se fait à un rythme hebdomadaire. La chronique présente des fluctuations saisonnières bien individualisées.

6.4.4. Hydrologie

Le débit de la Mue est connu par la station hydrométrique de Reviers (code HYDRO : I4053010). Il existe une autre station hydrométrique située plus à l'amont et sur laquelle des données ont été acquises entre 1979 et 2001 (station de Cairon, code HYDRO : I4053020; bassin versant : 49 km²).

La chronique de débit journalier à Reviers couvre une période allant du 25/08/1970 au 31/07/2008. Elle comporte quatre interruptions de données sur cette période :

- du 13/07/1983 au 12/08/1983 ;
- du 21/10/1996 au 26/11/1996 ;
- du 28/10/2005 au 13/11/2005 ;
- du 26/02/2006 au 09/03/2006.

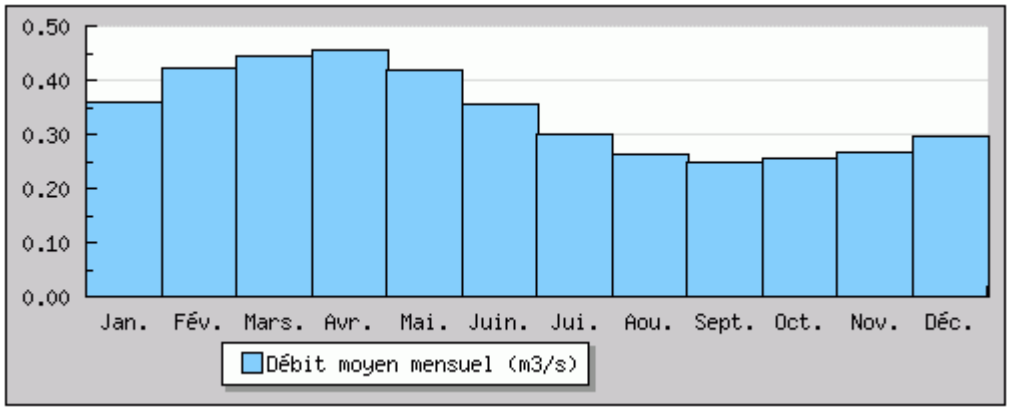


Illustration 239 : Débit moyen mensuel de la Mue (en m^3/s) à la station hydrométrique de Reviers (source : banque HYDRO)

Le débit journalier maximal est de 2,01 m^3/s et le cours d'eau fut en assec du 4 au 9 janvier 1997. La lame d'eau moyenne annuelle est de 113 mm (source : Banque HYDRO). Cette faible valeur est explicable en partie par les forts prélèvements réalisés pour l'AEP dans ce bassin versant (cf. ci-dessus, la lame d'eau prélevée en moyenne pour l'AEP s'élève à 58 mm).

Les basses eaux interviennent en septembre et les hautes eaux en avril. Le débit mensuel de la Mue fluctue peu et semble soutenu par la nappe (cf. Illustration 239). Ce soutien avait été clairement traduit lors des modélisations GARDENIA faites en 2007.

Le QMNA5 est de 0,064 m^3/s pour un bassin versant d'une superficie de 95 km^2.

6.4.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de la Mue a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : données décadaires de la station météorologique de Caen-Carpiquet ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Caen-Carpiquet ;
- Piézométrie : piézomètre de Beny-sur-Mer.

La modélisation du piézomètre (cf. Illustration 240) a été réalisée en intégrant une composante lente de 870 jours, ce qui correspond à un système assez fortement inertiel (période de modélisation : 04/09/1972-31/07/2008, coefficient de Nash de 0,76). On note que le calage est assez médiocre dans les premières années de la chronique (1972-1976).

La modélisation du débit de la Mue est présentée en Illustration 241 (coefficient de Nash de 0,73). Elle couvre une période allant du 03/12/1974 au 31/07/2008. Malgré un coefficient de Nash correct, cette modélisation ne permet pas de réaliser des simulations de volume exploitable : on note en particulier la mauvaise représentation des étiages pluriannuels 1990-1992 et 1996-1997 qui sont sous-estimés par le modèle. D'autre part, la période de hautes eaux 1979-1983 est sous-estimée par le modèle.

Un essai de modélisation a été effectué en intégrant les prélèvements effectués pour l'AEP sur la période 1994-2008 (sur la base de volumes connus annuellement dont la répartition a été supposée homogène sur l'année). Cet essai n'a pas été concluant, l'étiage 1997-1998 étant toujours sous-estimé (l'étiage précédent n'a pas pu être représenté compte tenu de l'absence de données de prélèvements antérieures à 1994). Au titre de sa mission d'appui à la Police de l'Eau, le BRGM tentera, à l'aide du logiciel GARDENIA (BRGM©), d'affiner la modélisation de ce bassin versant avec la prise en compte d'un historique précis des prélèvements (données AESN).

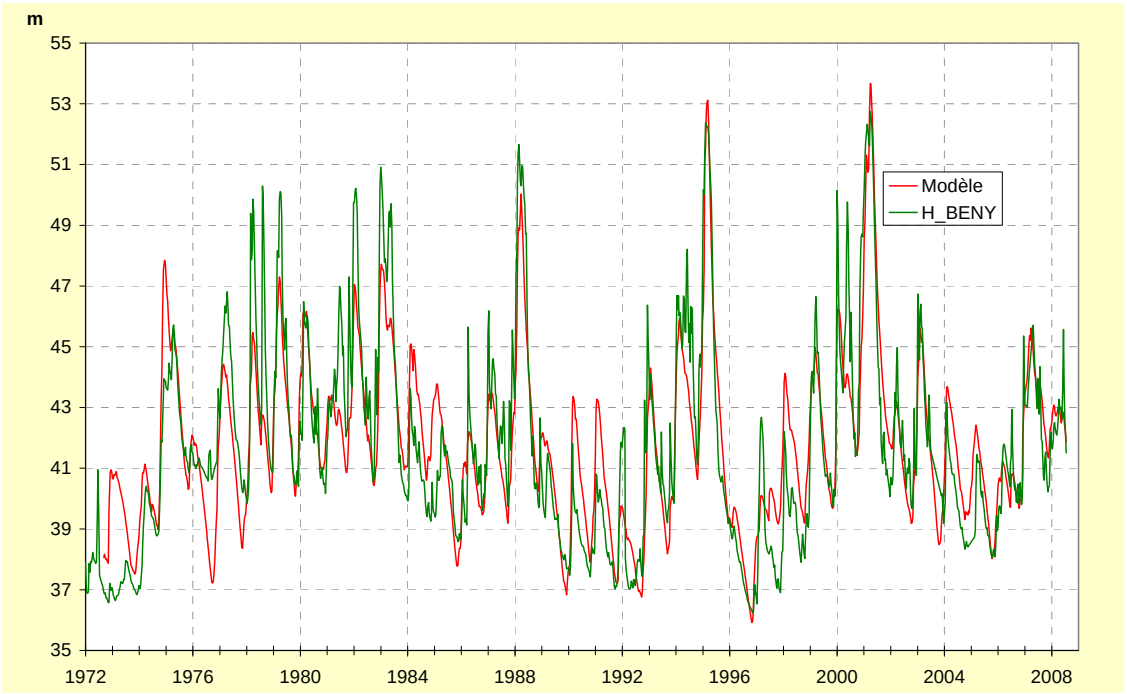


Illustration 240 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Beny-sur-Mer

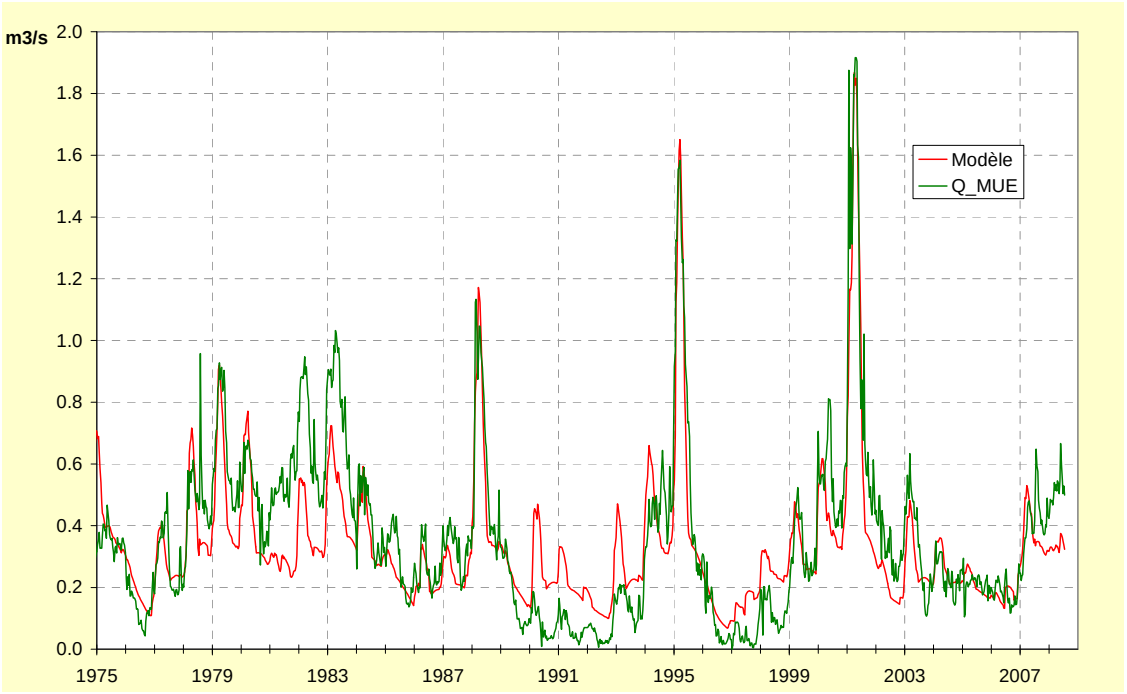


Illustration 241 : Modélisation du débit de la Mue à la station de Reviers

6.5. BASSIN VERSANT DE LA SEULLES

6.5.1. Caractéristiques du bassin versant

La Seulles prend sa source dans le département du Calvados, dans la commune de Jurques. Peu après la station hydrométrique de Tierceville, il rejoint la Mue en rive gauche. Son bassin versant à la station de Tierceville s'étend sur 254 km² (source : Banque HYDRO).

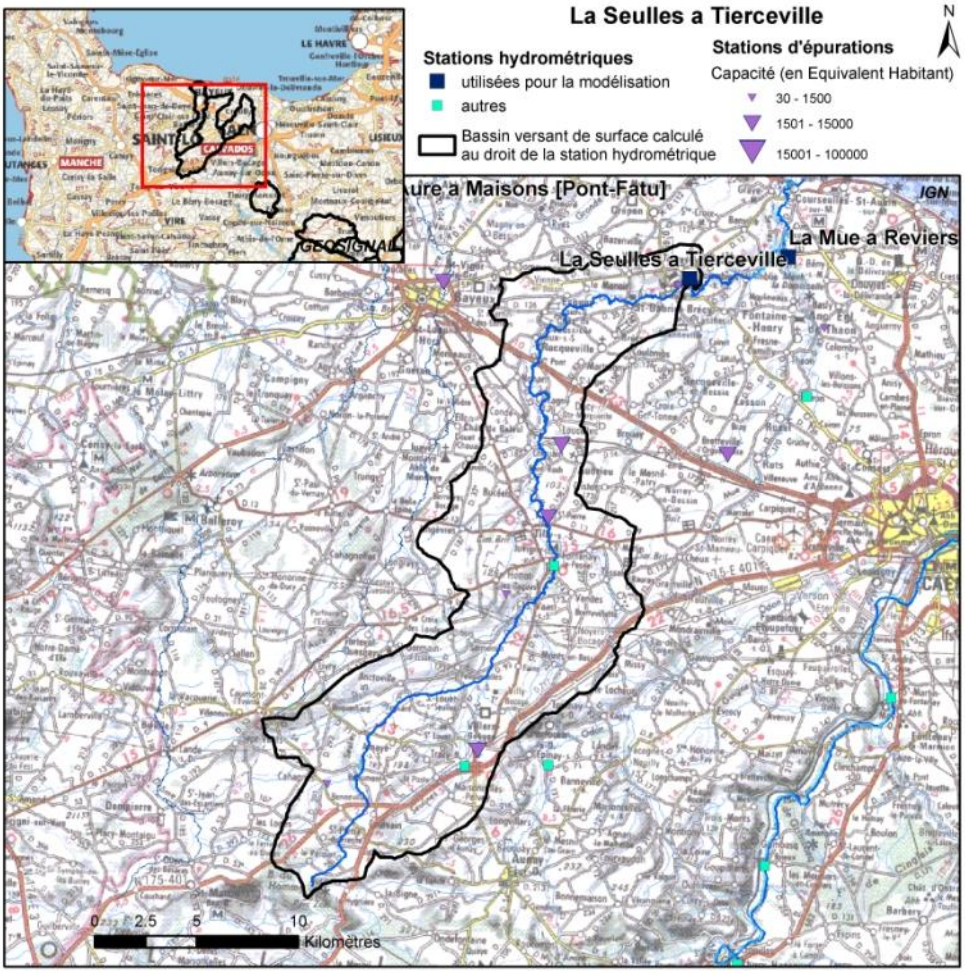


Illustration 242 : Localisation du bassin versant de la Seulles (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude dans le bassin versant de la Seulles s'échelonne de 356 à 6 m NGF, avec une altitude moyenne de 108 m. Ceci représente un dénivelé de 350 m, soit le dénivelé le plus important des bassins traités dans le cadre de cette étude.

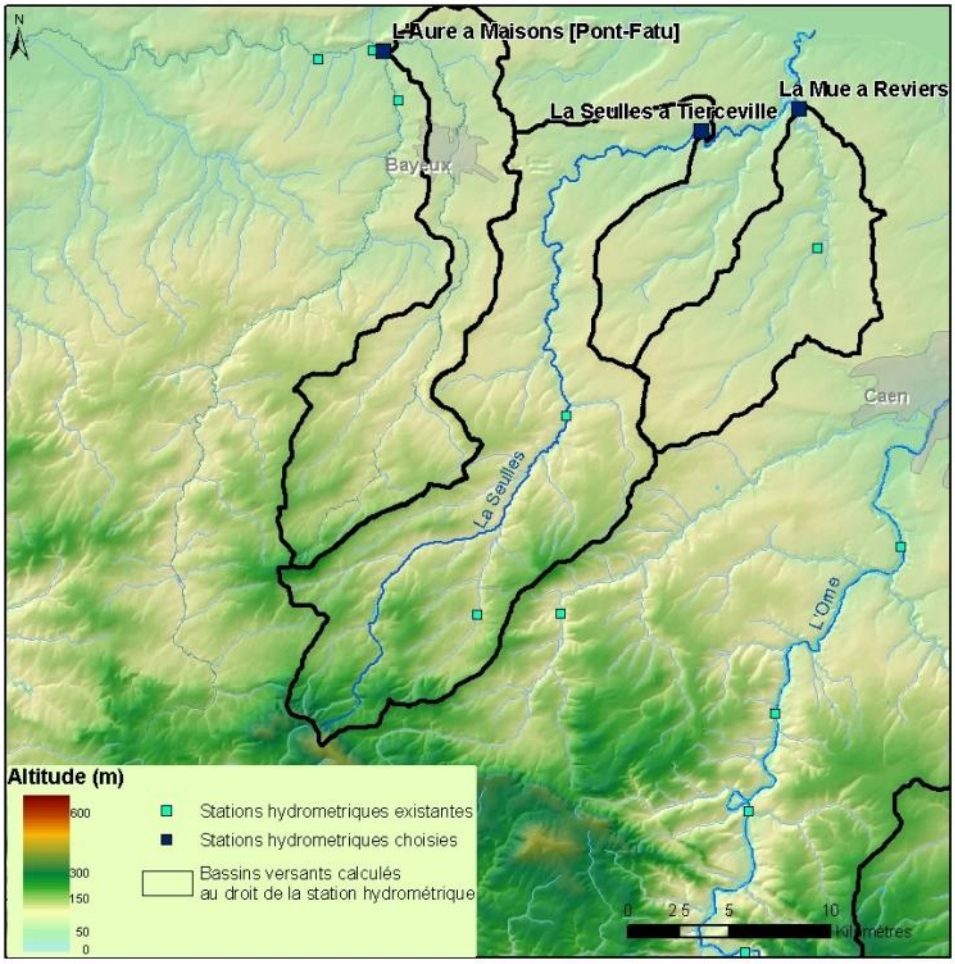


Illustration 243 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Seulles (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant est de 4,6% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN). La pente maximale est de 37,9% et les pentes supérieures à 5% occupent 35% du territoire. On note l'existence d'un relief en plateau dans la partie avale du bassin versant, avec un certain encaissement de la vallée.

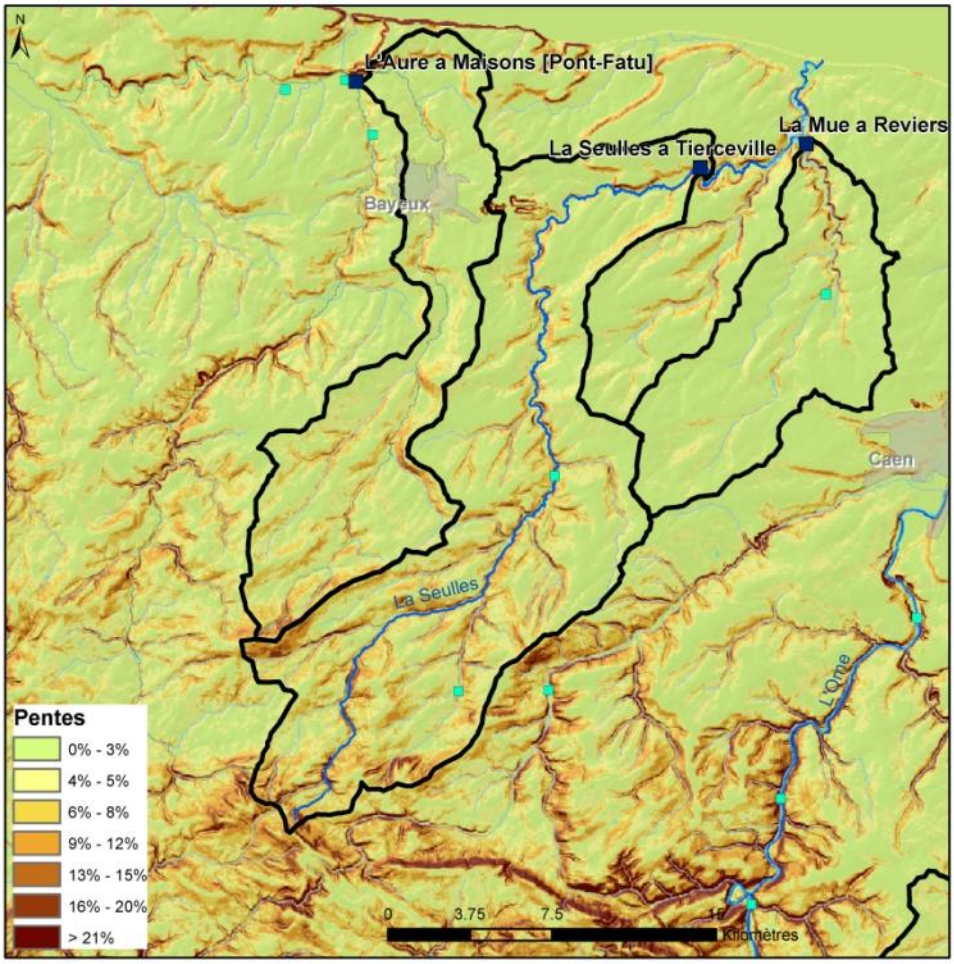


Illustration 244 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Seulles (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- zones agricoles hétérogènes : 55% ;
- prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives et « zones naturelles » : 43% ;
- zones urbanisées industrialisées : 2%.

Il s'agit donc globalement d'un bassin versant agricole avec une emprise urbaine faible.

Il existe des rejets de stations d'épuration en fond de vallée (cf. Illustration 242).

Il n'a pas été identifié de prélèvements pour l'irrigation dans ce bassin versant à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie pour la période 2000-2006.

Les prélèvements pour l'AEP s'élèvent annuellement en moyenne (1995-2006) à 2,9 millions de m^3 ; ceci, ramené à la surface du bassin versant, représente une lame d'eau moyenne annuelle de 11,4 mm environ. À cela s'ajoutent environ 410 000 m^3 prélevés annuellement pour l'industrie (soit environ 1,6 mm).

6.5.2. Climatologie

Le bassin versant de la Seulles reçoit en moyenne environ 880 mm d'eau par an (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Il s'agit donc d'un territoire recevant une pluviométrie supérieure à la moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de la station météorologique de Caen-Carpiquet (type 1, création de la station en octobre 1944) ont été utilisées dans le cadre de la modélisation. Cette station se situe à huit kilomètres à l'est du bassin versant. Elle a fourni les données pluviométriques et d'évapotranspiration Penman.

On peut noter que la station de Saint-Gabriel-Brecy, située dans le bassin versant peu à l'amont de la station hydrométrique, ne dispose pas d'une chronique suffisamment longue pour être utilisée dans le cadre de cette étude (données disponibles de 2001 à 2008).

6.5.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

L'Illustration 245 présente un extrait de la carte géologique de la France au 1/1 000 000. Le contexte géologique est précisé par l'Illustration 246 qui présente un schéma structural dans le secteur du bassin versant.

La plupart des formations géologiques rencontrées à l'affleurement dans le bassin versant date du Jurassique, hormis les formations superficielles et une zone de socle présente dans la partie amont (formation b2).

Des plus anciennes aux plus récentes, soit schématiquement de l'amont vers l'aval, les principales formations jurassiques rencontrées sont les suivantes :

- Lias : calcaires à bélemnites, calcaires à ammonites et argiles à poissons (formation j1 – bleue foncée) ;
- Aalénien-Bajocien : formation de l'oolite ferrugineuse de Bayeux, calcaires à spongiaires du Bajocien supérieur ;

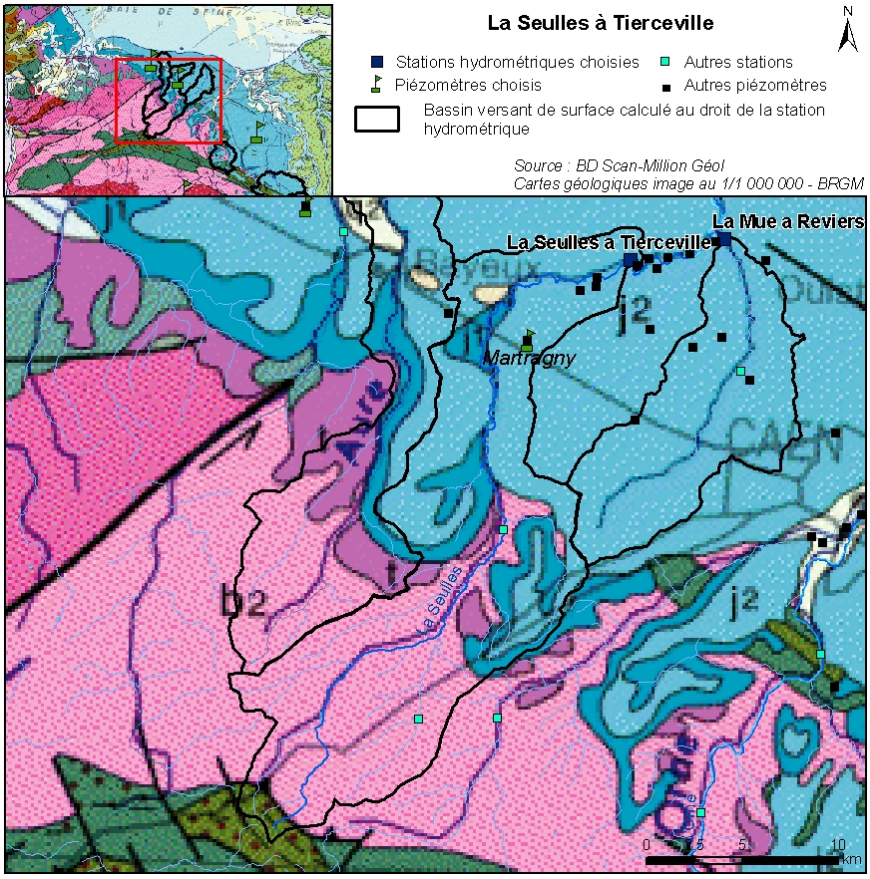


Illustration 245 : Carte géologique du bassin versant de la Seulles

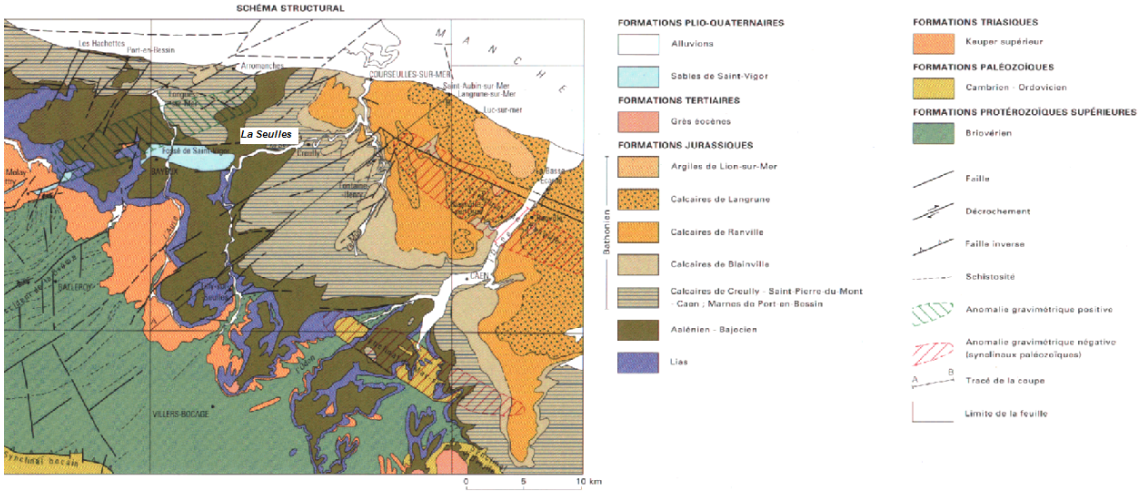


Illustration 246 : Schéma structural extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Bayeux - Courseulles-sur-Mer

- Bathonien : calcaire de Creully, marnes de Port-en-Bessin, calcaires de Blainville. Le calcaire de Creully affleure en fond de vallée au voisinage de la station hydrométrique (inclus dans la formation j2).

On note la prépondérance du Bajocien en termes de superficie couverte à l'affleurement. Il a donc été choisi d'utiliser un piézomètre captant les calcaires du Bajocien.

L'IDPR médian est de 966, ce qui correspond à un bassin versant dans lequel ruissellement et infiltration cohabitent. Comme vu précédemment, on peut en effet distinguer un domaine de socle (partie amont) où le débit de la Seulles est fortement dépendant de la pluviométrie et un domaine calcaire beaucoup plus infiltrant.

b) Piézométrie

Le piézomètre de Martragny (indice national : 01192X0043/S1) se situe dans la partie avale du bassin versant, à un peu moins de 7 km à l'amont de la station de Tierceville. Il capte les calcaires du Bajocien (oolite blanche).

Ce piézomètre dispose d'une chronique démarrant le 28/01/1974 et présentant une seule interruption de données de plus 60 jours, du 23/07/1998 au 22/09/1998.

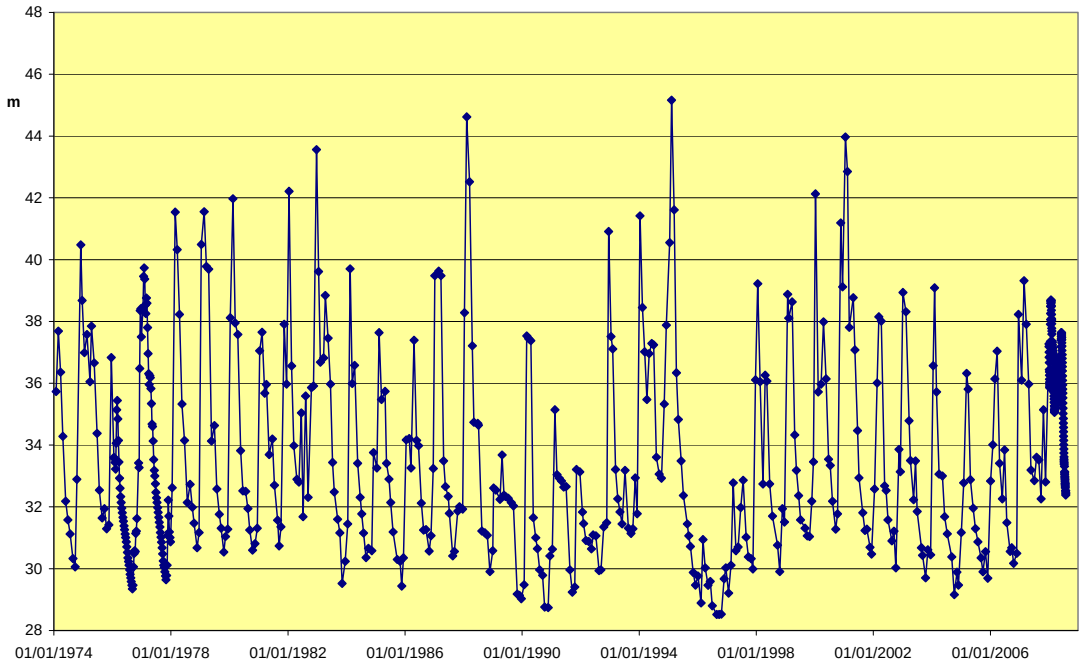


Illustration 247 : Chronique piézométrique de Martragny (indice national : 01192X0043/S1)

La fréquence d'acquisition des données est mensuelle jusqu'à fin 2007, sauf du 20/01/1976 au 27/12/1977 période durant laquelle elle est hebdomadaire. Elle devient quotidienne à partir du 02/01/2008. La chronique présente des fluctuations saisonnières bien individualisées (fortes amplitudes) et une faible composante interannuelle. Ces fluctuations sont caractéristiques d'un aquifère très transmissif : fracturé à probablement karstique dans le cas de Martragny.

6.5.4. Hydrologie

Le débit de la Seulles est connu par la station hydrométrique de Tierceville (code HYDRO : I4032010). Il existe une autre station hydrométrique située plus à l'amont et sur laquelle des données ont été acquises entre 1981 et 2008 (station de Juvigny-sur-Seulles, code HYDRO : I4022010 ; bassin versant : 133 km²).

La chronique de débit journalier à Tierceville s'étend sur une période allant du 28/09/1971 au 31/07/2008. Elle comporte quatre interruptions de plus de dix jours sur cette période : du 09/12/1977 au 20/01/1978, du 16/12/1993 au 07/01/1994, du 24/04/1997 au 12/05/1997 et du 17/06/2006 au 29/06/2006.

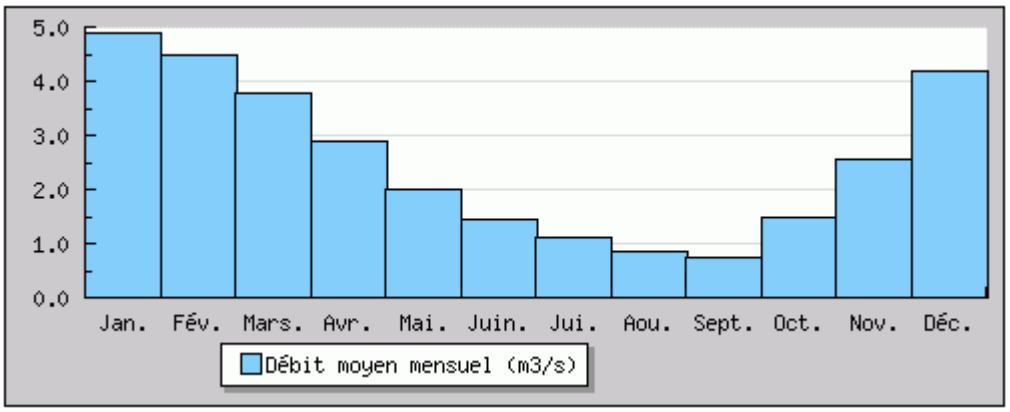


Illustration 248 : Débit moyen mensuel de la Seulles (en m^3/s) à la station hydrométrique de Tierceville (source : banque HYDRO)

Les débits journaliers vont de 0,115 m^3/s à 38,1 m^3/s. La lame d'eau moyenne annuelle est de 314 mm (source : Banque HYDRO). Les basses eaux interviennent en septembre et les hautes eaux en janvier. Le débit de la Seulles est soutenu par la nappe en période d'étiage.

Le QMNA5 est de 0,35 m^3/s pour un bassin versant d'une superficie de 254 km².

6.5.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de la Seulles a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : données décadaires de la station météorologique de Caen-Carpiquet ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Caen-Carpiquet ;
- Piézométrie : piézomètre de Martragny.

La modélisation du piézomètre (cf. Illustration 249) a été réalisée en intégrant une composante lente de 290 jours, ce qui correspond à un système présentant un fonctionnement rapide (coefficient de Nash de 0,78 sur une période de modélisation

allant du 06/02/1974 au 31/07/2008). Ceci est bien en cohérence avec un aquifère calcaire, fracturé à karstique, en contexte de nappe peu profonde.

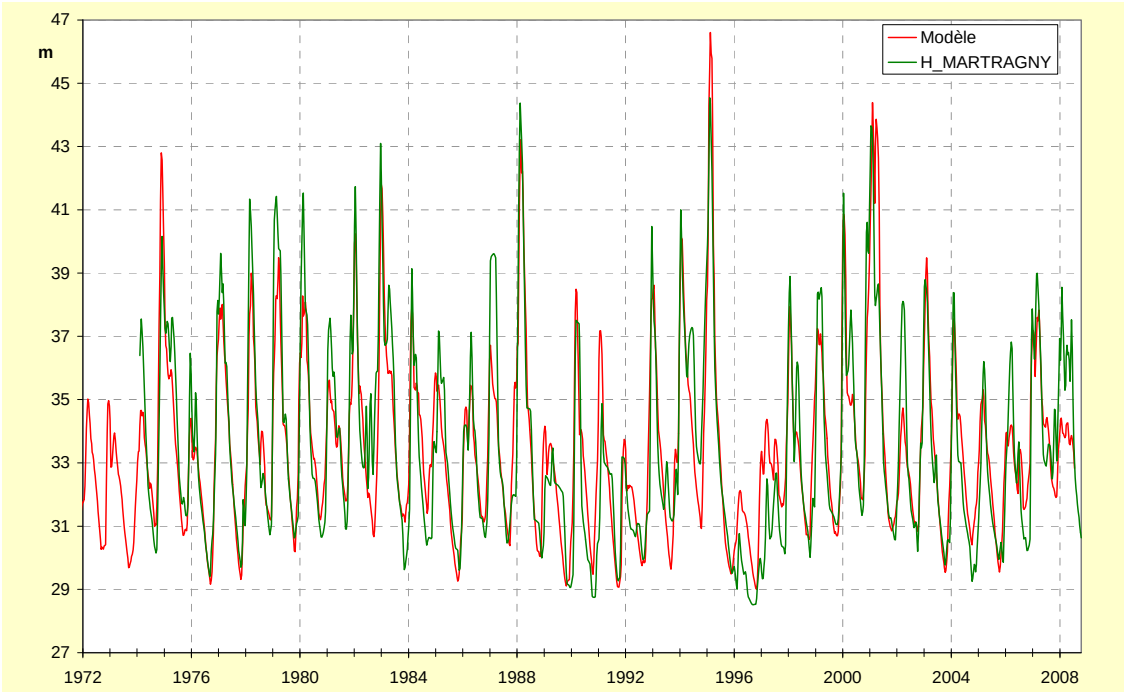


Illustration 249 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Martragny

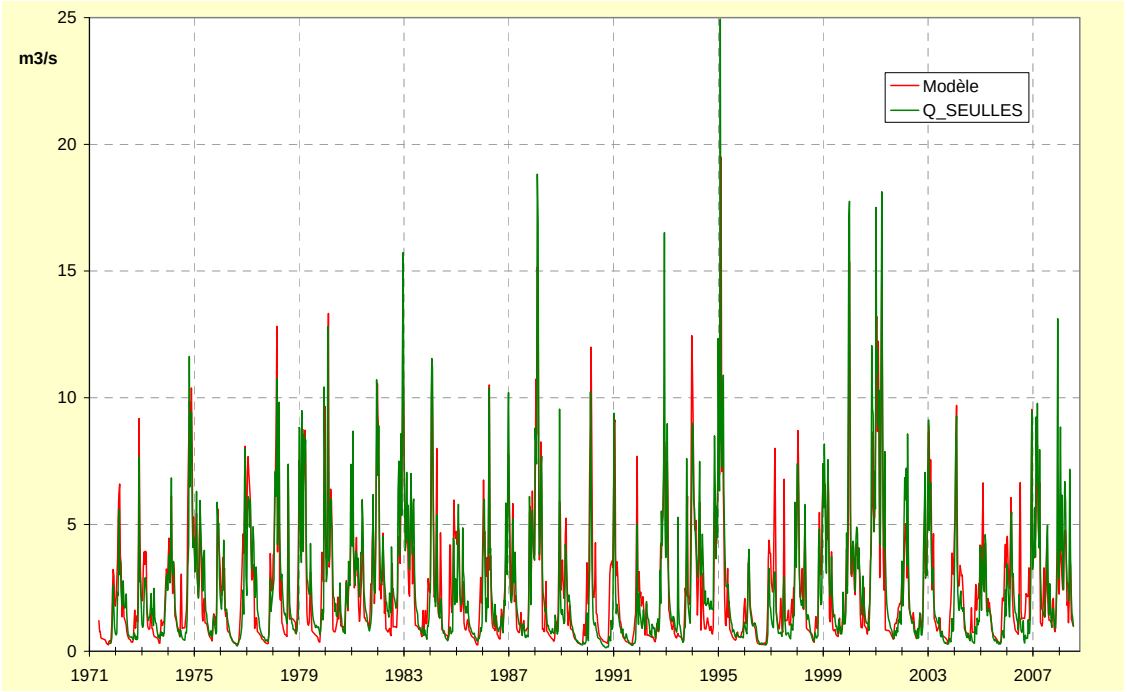


Illustration 250 : Modélisation du débit de la Seulles à la station de Tierceville

La modélisation du débit de la Seulles est présentée en Illustration 250 (coefficient de Nash de 0,75). Elle couvre une période allant du 10/10/1971 au 17/07/2008. Une représentation en logarithme népérien est proposée en Illustration 251, afin de détailler la modélisation des étiages.

L'Illustration 252 montre les composantes du débit modélisé à la station hydrométrique de Tierceville. Cette décomposition du signal fait apparaître une contribution saisonnière très importante du ruissellement (courbe bleue, « rapide ») et une faible contribution des eaux souterraines au débit de ce cours d'eau (courbe verte, « lente »). Cette contribution est néanmoins présente tout au long de l'année hydrologique et elle assure donc un soutien du débit du cours d'eau en période d'étiage.

Cette décomposition du signal est très voisine de celle obtenue pour le débit de l'Aure à la station de Maisons. De la même manière, elle est probablement à nuancer compte tenu de l'existence des circulations karstiques dans l'aquifère. Ces circulations « rapides » (pour une contribution souterraine) ne peuvent être représentées par la courbe verte de l'Illustration 252, ce qui signifie qu'au moins une partie de la composante intermédiaire du débit (courbe rouge) correspond très probablement à une contribution souterraine.

Par ailleurs, on rappelle que la partie amont du cours d'eau repose sur le socle et que des assecs sont susceptibles de se produire. Cette partie amont ne dispose pas du même soutien que ce qui est observé au niveau de la station de Tierceville pour laquelle l'aquifère du bajo-bathonien assure un soutien tout au long de l'année.

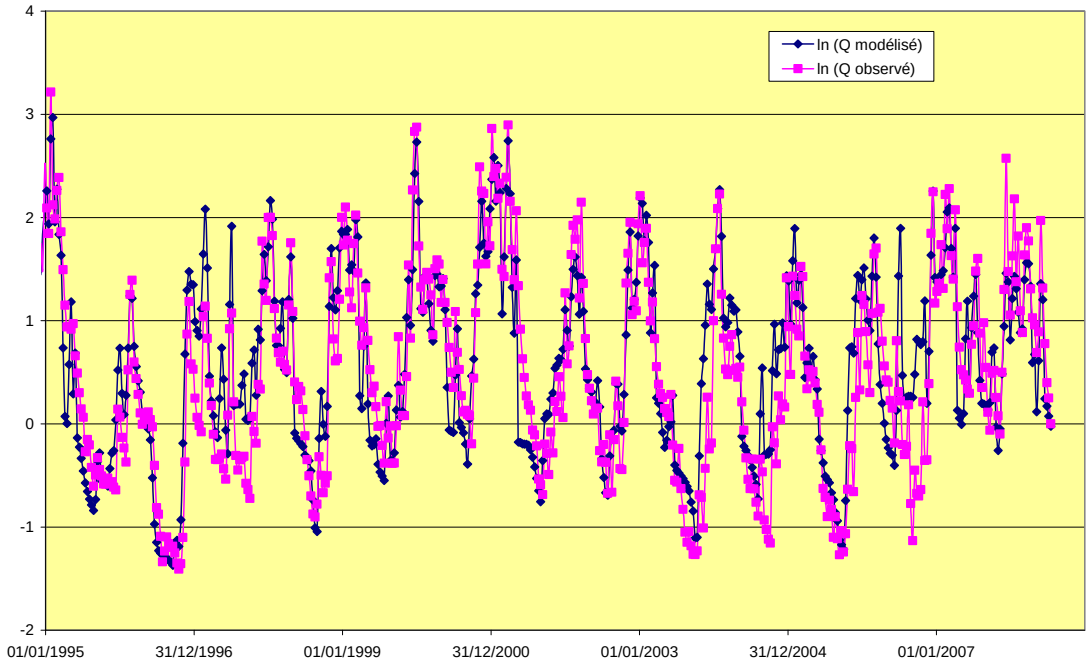


Illustration 251 : Débits observés et débits modélisés de la Seulles représentés en logarithme népérien du 01/01/1995 au 17/07/2008

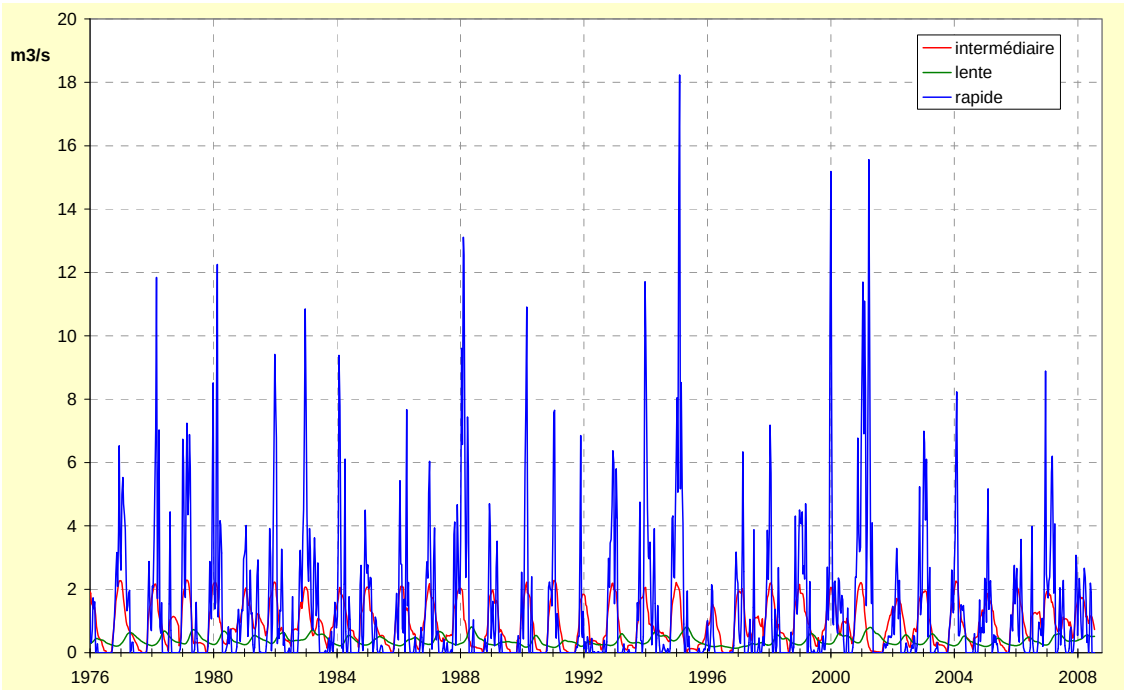


Illustration 252 : Composantes du débit de la Seulles modélisé à la station de Tierceville

L'Illustration 253 montre la décomposition obtenue sous la forme de débits moyens mensuels. En débit moyen mensuel total, on observe une assez bonne similitude avec les débits moyens mensuels fournis par la banque HYDRO (cf. Illustration 248).

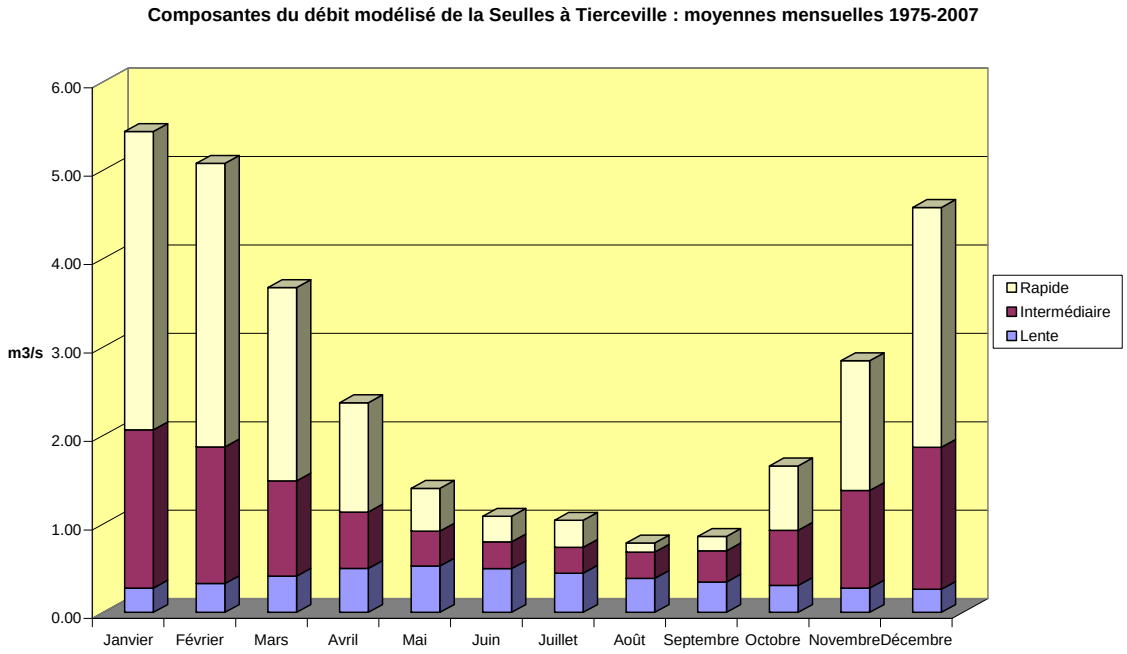


Illustration 253 : Composantes du débit moyen mensuel de la Seulles modélisé à la station de Tierceville

7. Haute-Normandie

7.1. BASSIN VERSANT DE LA RISLE ET LE SOUS-BASSIN DE LA CHARENTONNE

7.1.1. Caractéristiques du bassin versant

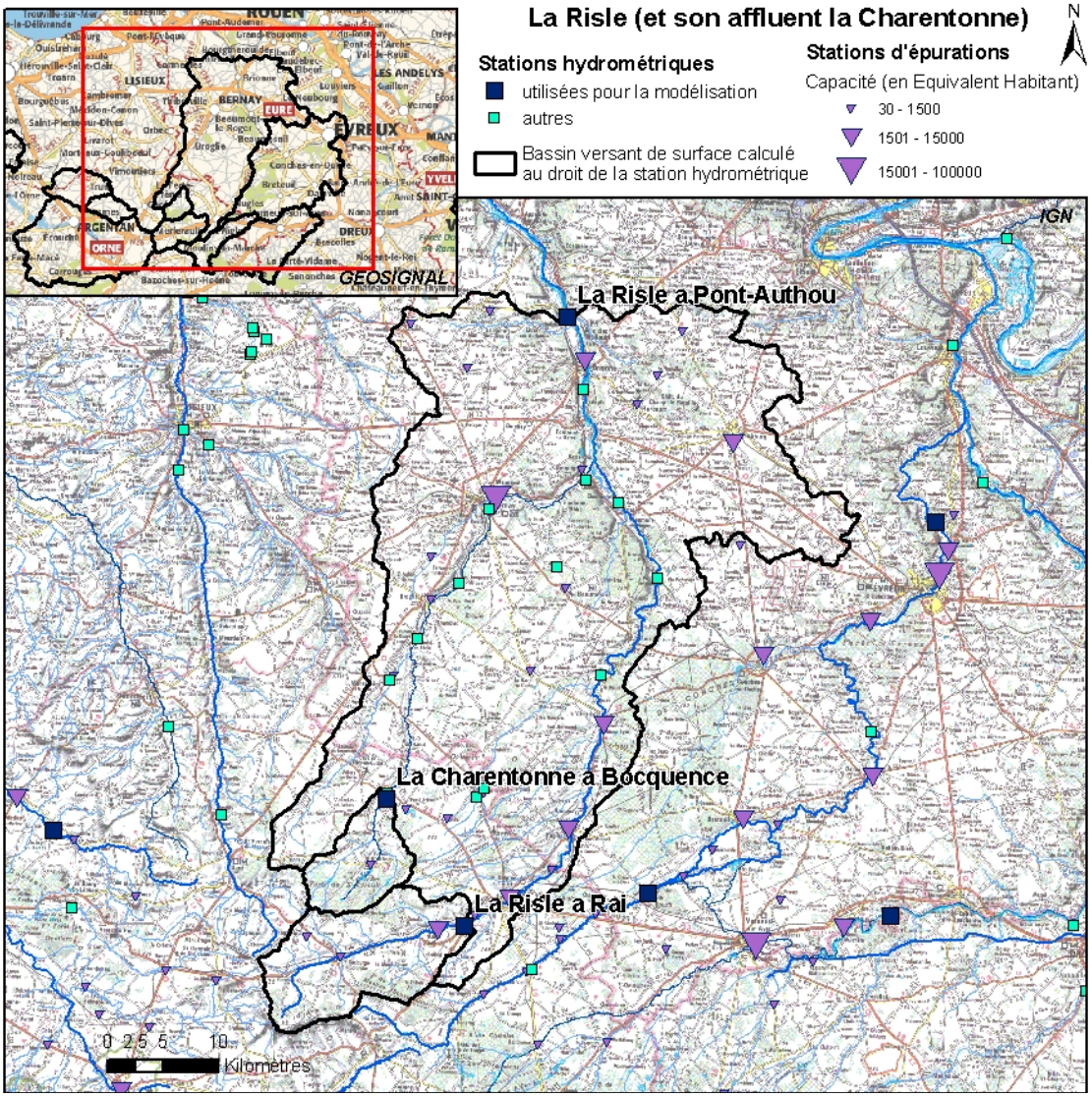


Illustration 254 : Localisation du bassin versant de la Risle et du sous bassin de la Charentonne (sources : GEOSIGNAL et IGN)

La Risle est un affluent de la Seine qui prend sa source dans les collines de la région naturelle du Perche dans l'Orne, à Planches, près de l'Aigle et se jette dans l'estuaire de la Seine, à Berville-sur-Mer. La Charentonne est le principal affluent de la Risle. Elle prend sa source dans la forêt de Saint-Evroult dans l'Orne et se jette dans la Risle à Serquigny dans l'Eure.

Les bassins versants de la Risle s'étendent sur une surface de 1 800 km² à la station de Pont-Authou, 149 km² à la station de Rai. Le bassin versant de la Charentoone à la station de Bocquencé occupe une superficie de 65,8 km² (source : banque HYDRO). On note la présence de nombreuses stations d'épuration dans le lit majeur de la Risle (Illustration 254).

a) Altitudes

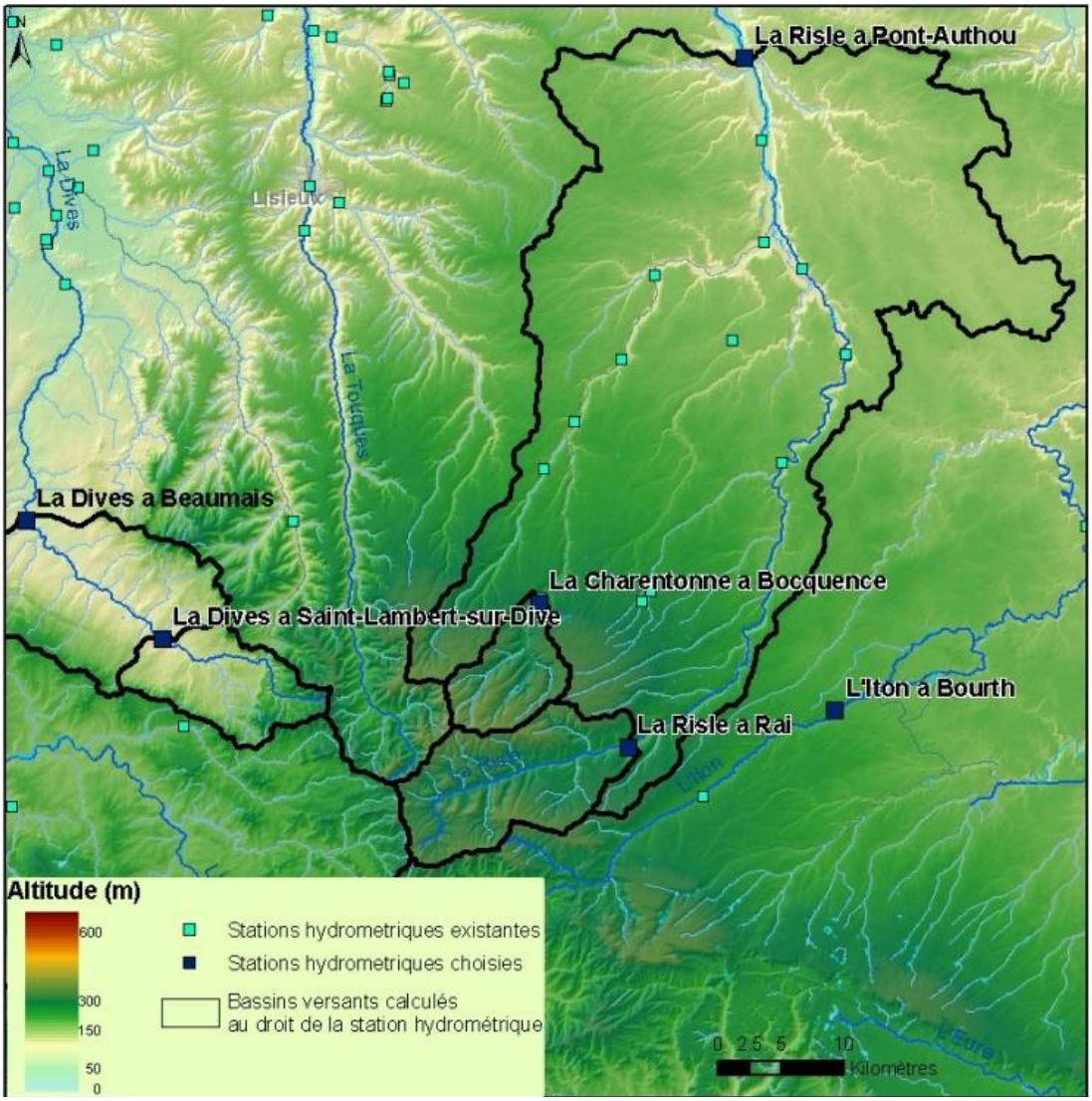


Illustration 255 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de la Risle et du sous-bassin de la Charentonne (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

L'altitude du bassin versant de la Risle s'échelonne de 331 à 41 m NGF avec une altitude moyenne de 183.7 m. Les terrains les plus élevés occupent la partie Sud du bassin.

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant de la Risle est 2,8% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), avec une pente maximale de 53,2%. Les pentes supérieures à 5% occupent près de 15% du bassin versant. On note que la densité de drainage, calculée à l'aide de la BD Carthage de l'IGN est de 13,6 km/km² sur le bassin versant amont de la Charentonne, ce qui est élevé.

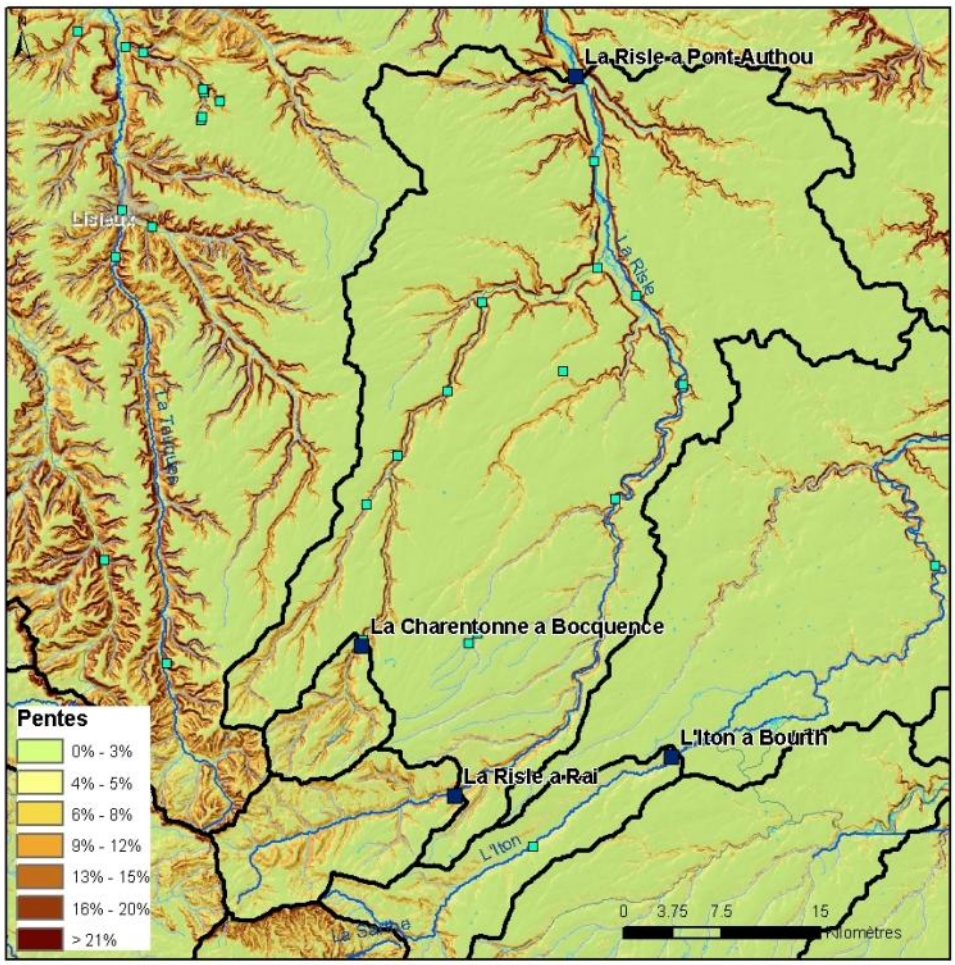


Illustration 256 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Risle et du sous-bassin de la Charentonne (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

La consultation des données de Corinne Land Cover nous donne l'occupation du sol suivante :

- à 43% par des prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbacée ;
- à 55% par des zones agricoles hétérogènes ;
- à 3% par des zones urbanisées industrialisées.

Il s'agit donc d'un bassin versant peu anthropisé. Une grande partie des sols (plus de 40%) est occupée par des prairies et des forêts et ce mode d'occupation de l'espace joue un rôle favorable pour l'infiltration de l'eau, en comparaison avec des zones non végétalisées (zones urbaines, zones agricoles nues).

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 20. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (1 800 km²), ils correspondent à une lame d'eau inférieure à 0,2 mm

Année	Prel_Irrigation
1995	88957
1996	163800
1997	183421
1998	192752
1999	208595
2000	48495
2001	219388
2002	137889
2003	355607
2004	313626
2005	137418
2006	199047

Tableau 20 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Risle à Pont-Authou

Les prélèvements pour l'eau potable s'élèvent à environ 13,3 millions de m^3/an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 7,4 mm. Les prélèvements pour l'industrie ont été estimés à 3,1 millions de m^3, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 1,7 mm.

Risle à Rai : les prélèvements pour l'eau potable s'élèvent à environ 660 000 m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 4,4 mm. Les prélèvements pour l'industrie ont été estimés à 200 000 m^3, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 1,3 mm.

7.1.2. Climatologie

Le bassin versant de la Risle à Pont-Authou reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 765 mm environ, les deux bassins versants amonts (Risle à Rai et la Charentonne à Bocquencé) sont plus arrosés : 827 mm et 833 mm (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance).

Les données de quatre stations météorologiques ont été utilisées pour la modélisation, trois pour leur chronique de pluie, une pour sa chronique d'évapotranspiration.

- Les Bottereaux (type 4, station créée en juin 1976). Cette station est localisée dans la partie Sud-Est du bassin versant de la Risle à Pont-Authou. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne équivalente à celle du bassin.
- Brionne (type 4, station créée en janvier 1965). La station est à 5 km au Sud de la station hydrométrique de la Risle à Pont-Authou. La pluviométrie annuelle moyenne de cette station est légèrement supérieure à celle du bassin.
- Saint-Evroult-Notre-Dame (type 4, station créée en novembre 1971). Cette station est localisée au centre du bassin versant de la Charentonne. Sa pluviométrie est supérieure à celle du bassin versant de la Risle à Pont-Authou.

Evreux-Huest (station située à Huest, de type 0, créée en 1968) qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman. La station est située en dehors du bassin versant de la Risle, à 45 km au Sud-Est de la station hydrométrique de la Risle à Pont-Authou.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant de la Risle a été effectuée à partir des trois chroniques de pluie ci-dessus. La formule obtenue est la suivante :

- pour la Risle à Pont-Authou :

  Op_Risle_Aval=0.17*P_BOTTER+0.28*P_BRIONNE+0.55*P_STEVROULT

- pour la Risle à Rai :

  Op_Risle_Amont=0.10*P_BRIONNE+0.90*P_STEVROULT

- pour la Charentonne à Bocquencé :

  Op_Charentonne=0.18*P_BRIONNE+0.82*P_STEVROULT

7.1.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

Les principales formations géologiques rencontrées à l'affleurement dans le bassin versant sont des plus récentes aux plus anciennes :

- les limons indifférenciés couvrant les sommets des plateaux ;
- les Argiles à Silex provenant de l'altération de la craie sous-jacente. Ils affleurent en tête des vallons secs du bassin versant ainsi que sur les différents versants ;

- un substratum composé de craies à silex (Crétacé supérieur). Pour différentes raisons géologiques (tectoniques, variations climatiques...), la craie a été affectée par de nombreux accidents (failles, fissures...) et soumise à des altérations dont l'un des résultats est le développement de réseaux karstiques. En Haute-Normandie, la craie est ainsi un milieu mixte : poreux, fissuré et « karstique ».

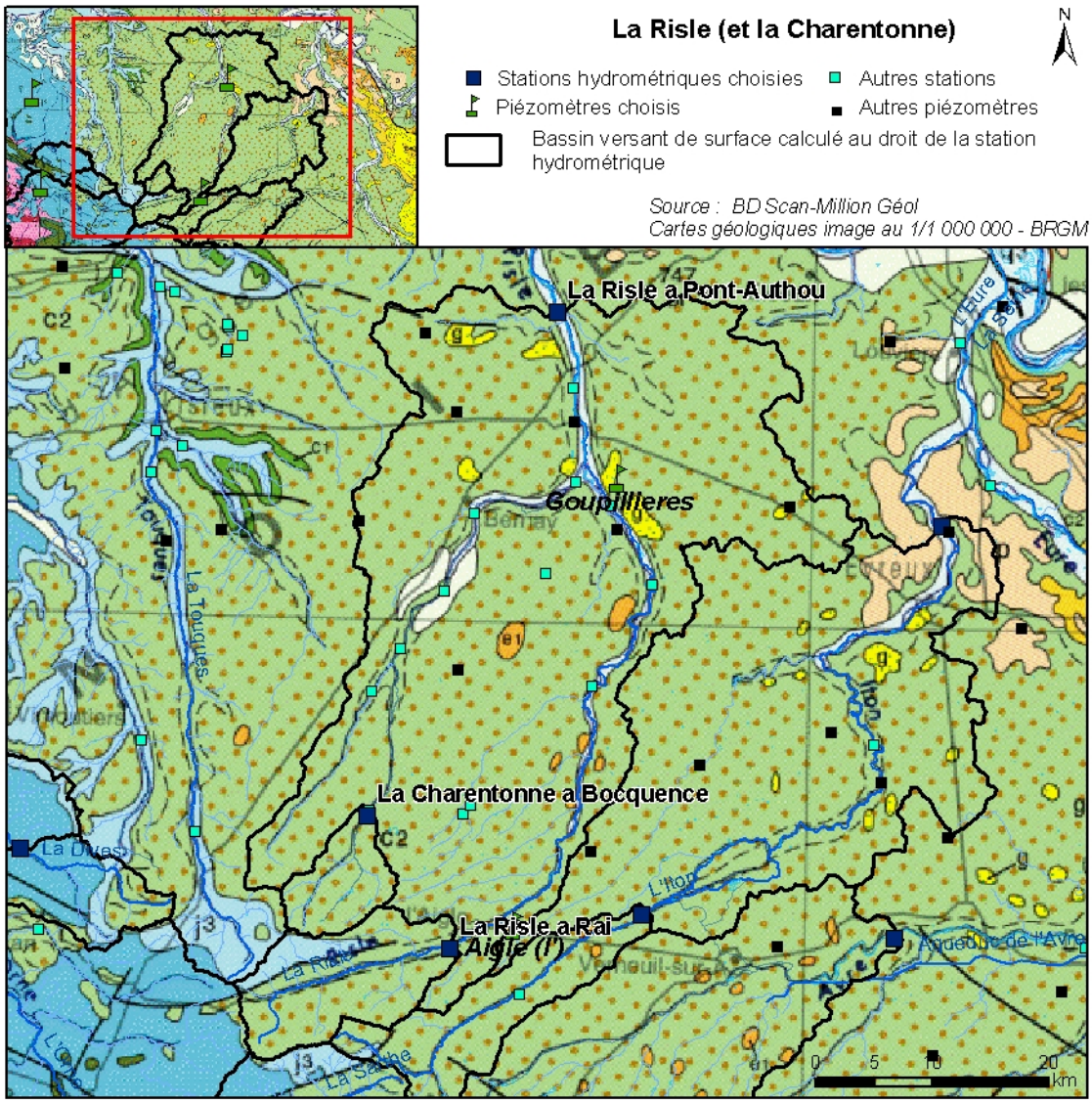


Illustration 257 : Carte géologique du bassin versant de la Risle et du sous-bassin de la Charentonne

En aval de Rugles, le cours d'eau de la Risle se trouve en temps normal en position perchée par rapport à la nappe de la craie. À la faveur de pertes (bétoires) souvent bien localisées en fond de rivière, son débit diminue fortement au lieu d'augmenter. Les eaux, qui s'engouffrent dans ces pertes, ressortent nettement plus en aval sous forme d'émergences de fort débit à Beaumont-le-Roger (nombreuses expériences de

traçages positifs), où la rivière se reconnecte à l'aquifère de la craie et retrouve sa position drainante jusqu'à l'embouchure de la Risle.

Comme c'est le cas pour l'ensemble de la Haute-Normandie, la quasi-totalité des besoins en eau du bassin versant sont assurés par l'exploitation de l'aquifère crayeux.

b) Piézométrie

Le piézomètre de l'Aigle dont la chronique, représentée sur l'Illustration 258, a débuté le 31/01/1974. Très peu de mesures ont été acquises entre janvier 1974 et mars 1976. La chronique enregistre une interruption de mars 1976 à décembre 1986. Entre janvier 1987 et décembre 1992 la chronique présente un enregistrement mensuel. Entre janvier 1993 et décembre 1996, la chronique présente un enregistrement d'au moins une mesure par semaine, et à partir de janvier 1997, on a un enregistrement quotidien qui se poursuit actuellement. Le piézomètre de l'Aigle est localisé en dehors du bassin versant.

Sa chronique présente des fluctuations saisonnières individualisées ainsi que des fluctuations interannuelles, sur des périodes de 6 ans.

Ce piézomètre capte la Craie du Lieuvin-Ouche (masse d'eau 3212)

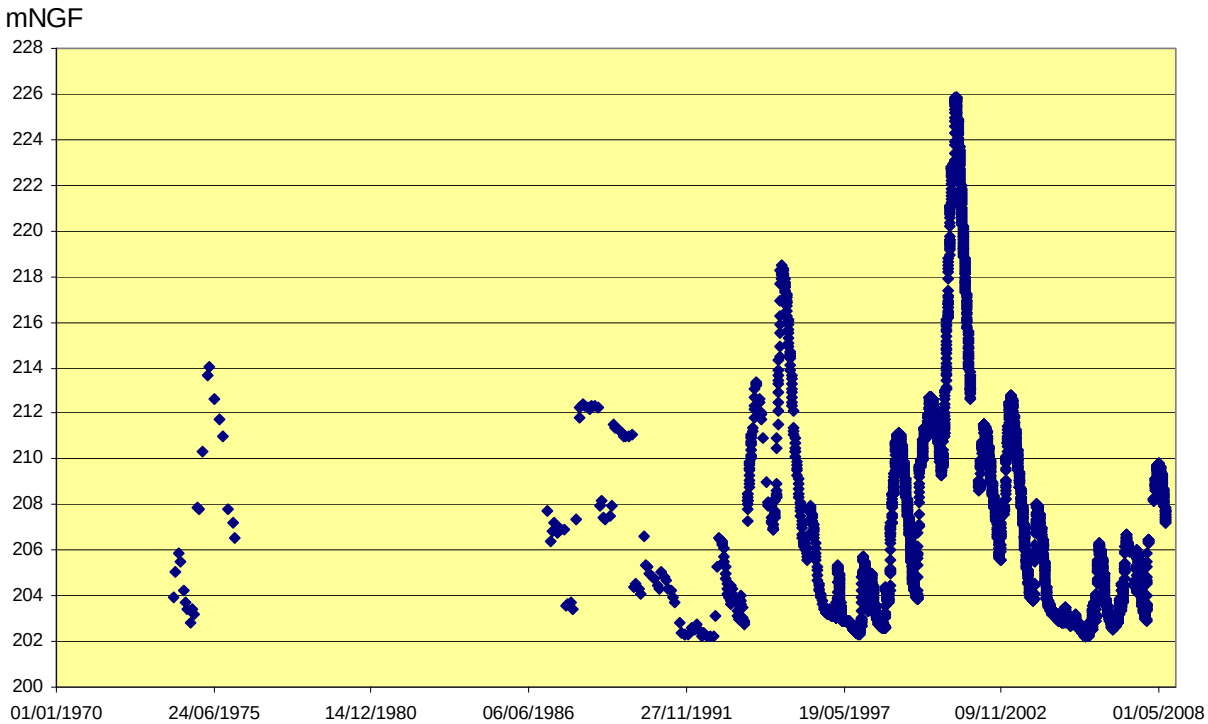


Illustration 258 : Chronique piézométrique d'Aigle (indice national : 02144X0005/S1)

Le piézomètre de Goupillières (Craie) dont la chronique, représentée sur l'Illustration 259, a débuté le 08/11/1972. Jusqu'en 1982, la chronique présente un enregistrement hebdomadaire. Entre janvier 1983 et novembre 1996, l'enregistrement est mensuel. Depuis, l'enregistrement est quotidien et il se poursuit actuellement.

La chronique présente 3 interruptions de plus de 100 jours : du 16/08/2004 au 25/01/2005, du 23/06/2005 au 24/01/2006 et du 14/12/2006 au 28/03/2007.

Le niveau piézométrique à Goupillières fluctue plus lentement. Les cycles saisonniers de vidange par rapport à recharge sont très peu marqués. Les battements de la nappe sont en moyenne d'environ 1,4 m/an.

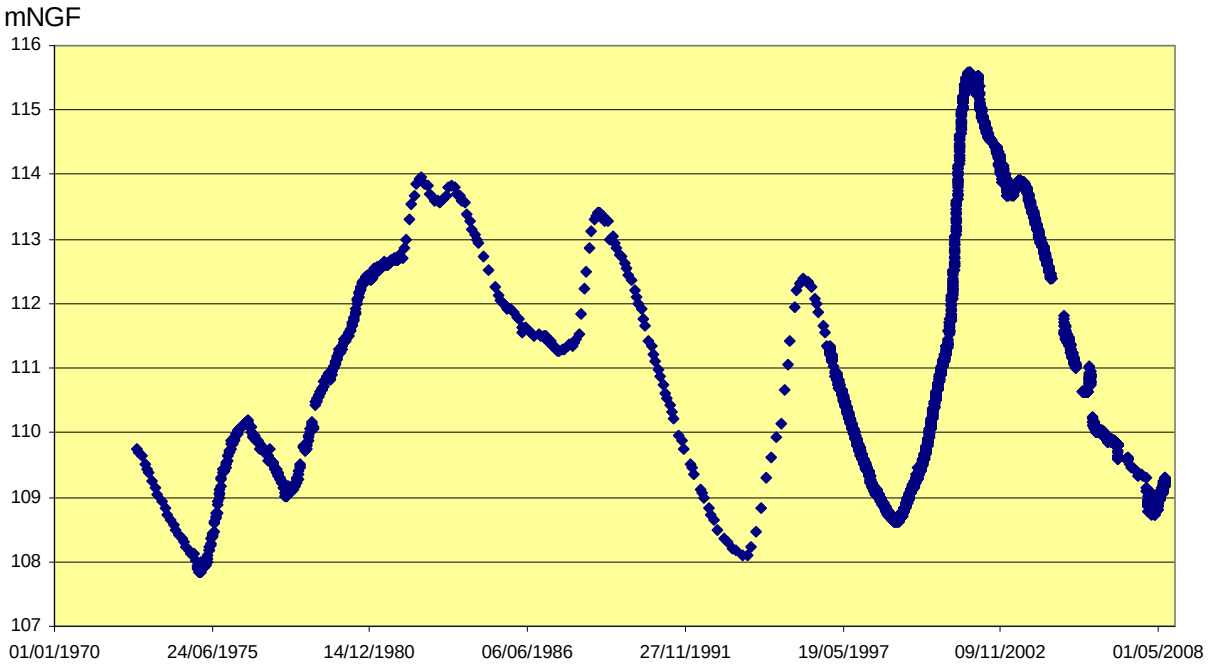


Illustration 259 : Chronique piézométrique de Goupillières (indice national : 01491X0009/S1)

7.1.4. Hydrologie

La Risle s'écoule selon un axe S–N. Son débit est connu au travers de trois stations hydrométriques dont deux stations sont utilisées dans cette étude : la station hydrométrique de Rai (code HYDRO : I0011010) et de Pont-Authou (Code Hydro : I0211010).

La **Risle à Pont-Authou** : la chronique de débit journalier qui a débuté le 01/05/1967 et a connu deux importantes interruptions : du 01/01/1983 au 09/12/1985 et du 03/09/1991 au 20/04/1999.

La **Risle à Rai** : la chronique de débit journalier qui a débuté le 01/01/1965 et a connu une importante interruption : du 01/01/1983 au 30/12/1985.

La **Charentonne à Bocquencé** : la chronique de débit journalier a débuté le 13/09/1980.

Les basses eaux sont rencontrées en aout-septembre et les hautes eaux en janvier-février. Les lames d'eau moyennes annuelles sont respectivement de 211 mm pour la Risle à Pont-Authou, de 298 mm pour la Risle à Rai et de 258 pour la Charentonne à Bocquencé, ce qui correspond à des valeurs supérieures à la moyenne qui est de 225 mm environ à l'échelle du bassin Seine-Normandie pour la Risle à Rai et la Charentonne. Le débit journalier maximal connu est de 87,2 m^3/s pour la Risle à Pont-Authou, de 23,4 m^3/s pour la Risle à Rai et de 11,3 m^3/s pour la Charentonne et le minimum est de 1,8 m^3/s pour la Risle à Pont-Authou, de 1,7 m^3/s pour la Risle à Rai et de 0,7 m^3/s pour la Charentonne. L'Illustration 260, l'Illustration 261 et l'Illustration 262 montrent le débit moyen mensuel (source : banque HYDRO). On note un important soutien du cours d'eau par la nappe en période d'étiage pour la Risle à Pont-Authou.

Le QMNA5 est de 5,7 m^3/s pour le bassin versant de la Risle à Pont-Authou, dont la surface est de 1800 km^2.

Le QMNA5 est de 0,46 m^3/s pour le bassin versant de la Risle à Rai, dont la surface est de 149 km^2.

Le QMNA5 est de 0,11 m^3/s pour le bassin versant de la Charentonne à Bocquencé, dont la surface est de 65,8 km^2.

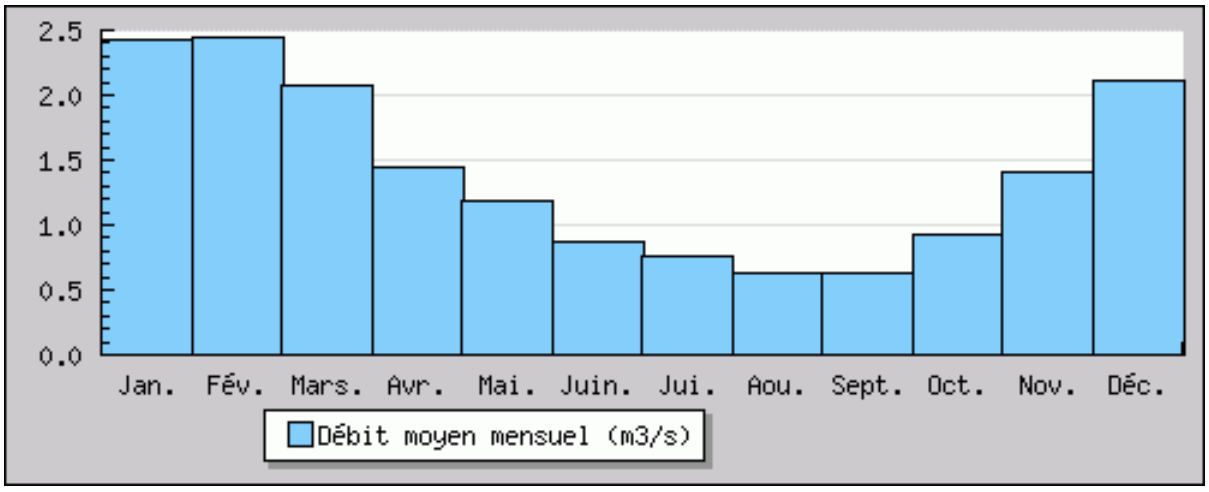


Illustration 260 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de la Risle à Rai (source : Banque HYDRO)

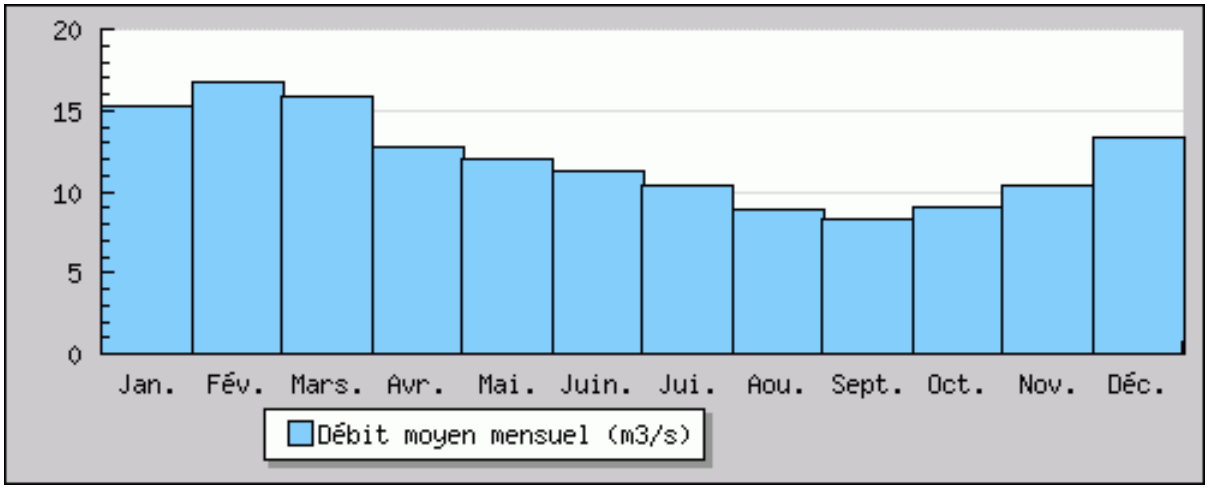


Illustration 261 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de la Risle à Pont-Authou (source : Banque HYDRO)

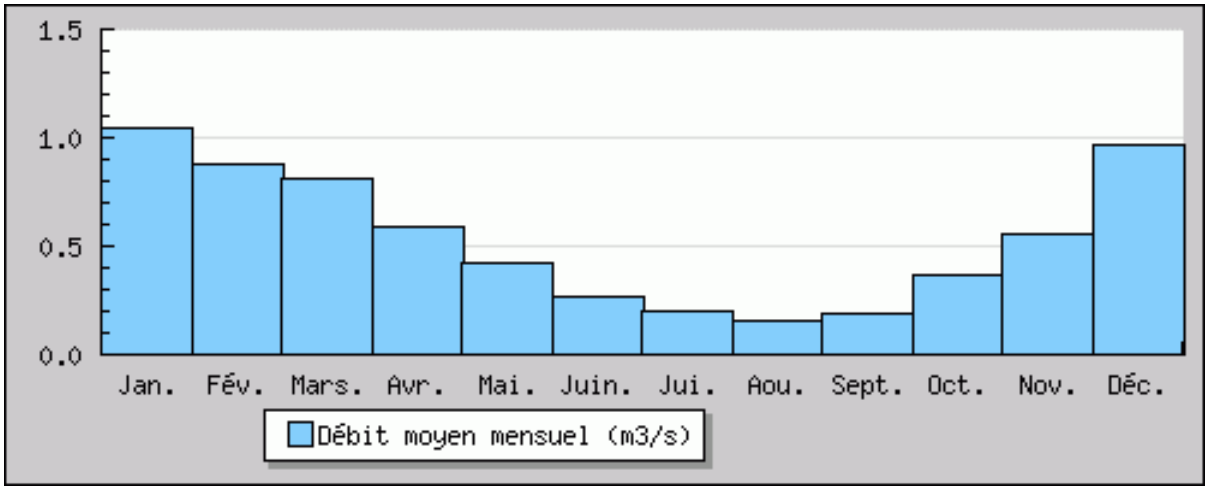


Illustration 262 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de la Charentonne à Bocquencé (source : Banque HYDRO)

7.1.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de la Risle à Pont-Authou a été effectuée au pas décadaire en utilisant les signaux suivants :

- Pluie : pluie optimale (Op_Risle_Aval=17%*Botter+28%*Brionne+55%*StEvroult) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique d'Evreux-Huest ;
- Piézomètre : piézomètre de Goupillières.

Pour la modélisation du piézomètre, les mêmes données météorologiques ont été utilisées.

La modélisation du piézomètre de Goupillières a été réalisée sur la période 04/11/1980 – 12/07/2008 (Illustration 263). Une composante lente de 1459 jours a été intégrée pour réaliser cette modélisation, ce qui correspond à un système fortement inertiel. La modélisation obtenue est correcte avec un coefficient de Nash de 0,71.

La modélisation du débit de la Risle à Pont-Authou a été réalisée sur la période (06/10/1978 – 25/10/1982), (18/03/1986 – 11/05/1991) et (16/10/1999 – 02/01/2008) (Illustration 264). La modélisation de ce débit est complexe étant donnés les trois interruptions de la chronique. Nous obtenons globalement un bon calage (coefficient de Nash de 0,74) même si la décroissance du débit après la crue de 2001 est difficile à reproduire.

La décomposition du signal montre une très importante contribution des eaux souterraines au débit (courbe verte) et une contribution intermédiaire non négligeable (ni lente, ni rapide), qui peut être considérée comme une circulation de l'eau via les réseaux karstiques.

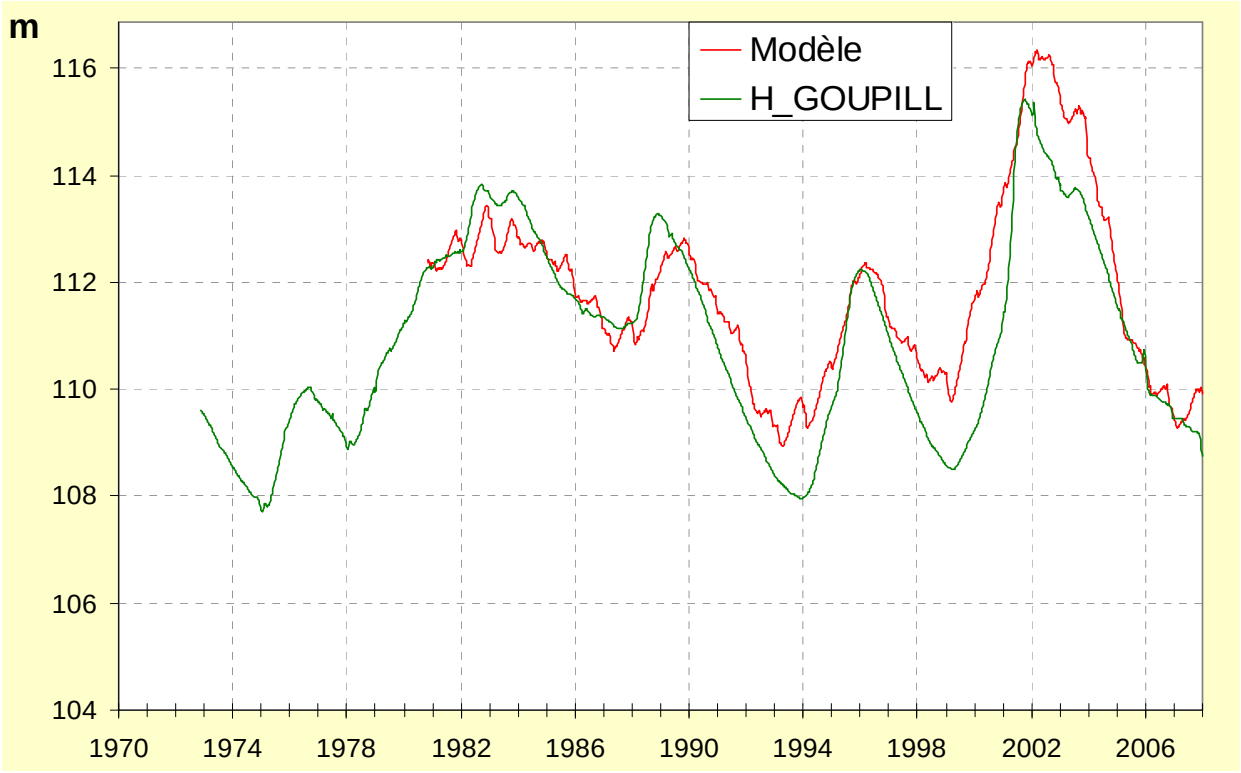


Illustration 263 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Goupillières

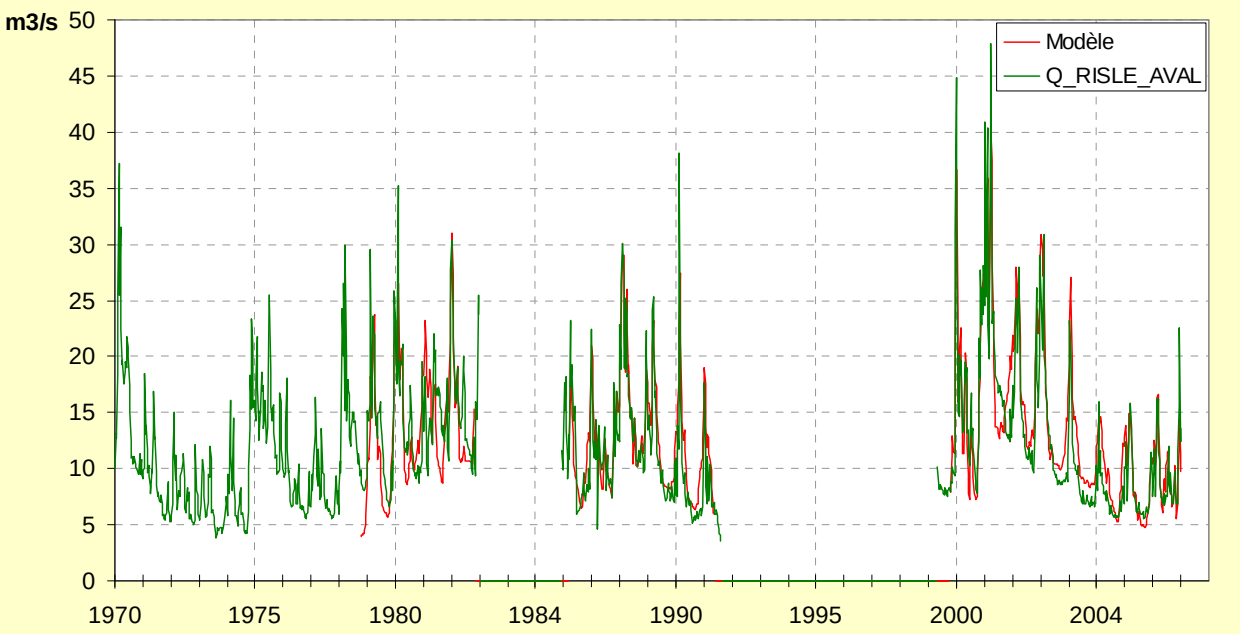


Illustration 264 : Modélisation du débit de la Risle à la station de Pont-Authou

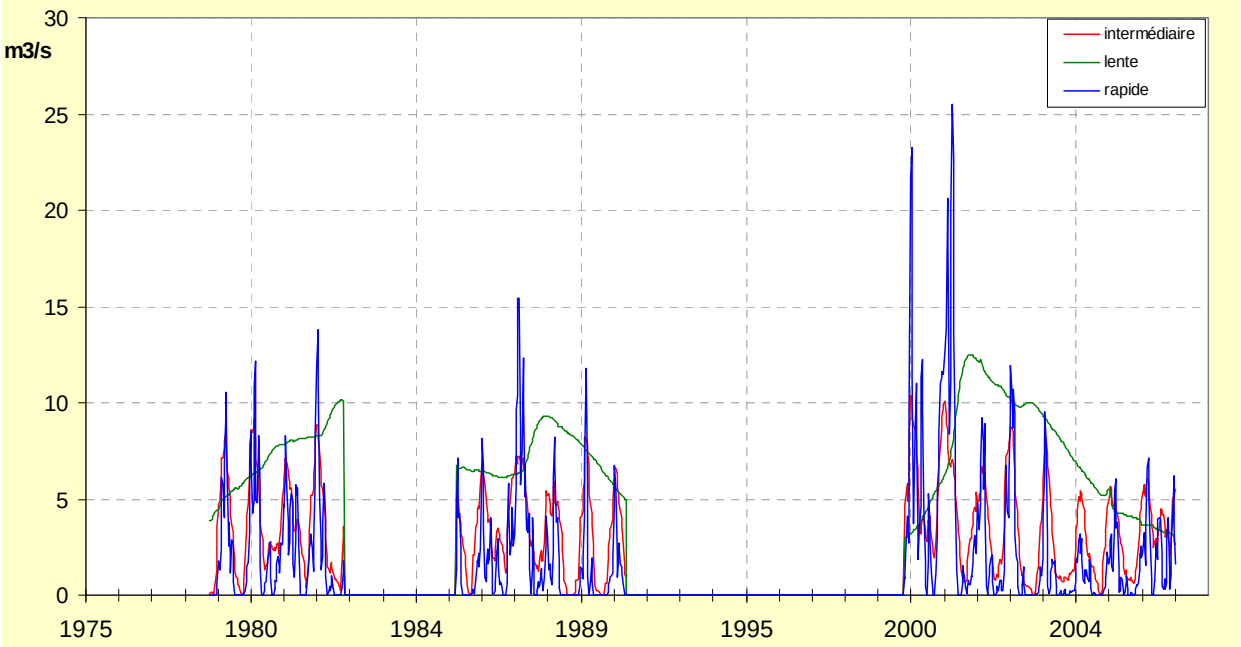


Illustration 265 : Composantes du débit de la Risle modélisé à la station de Pont-Authou

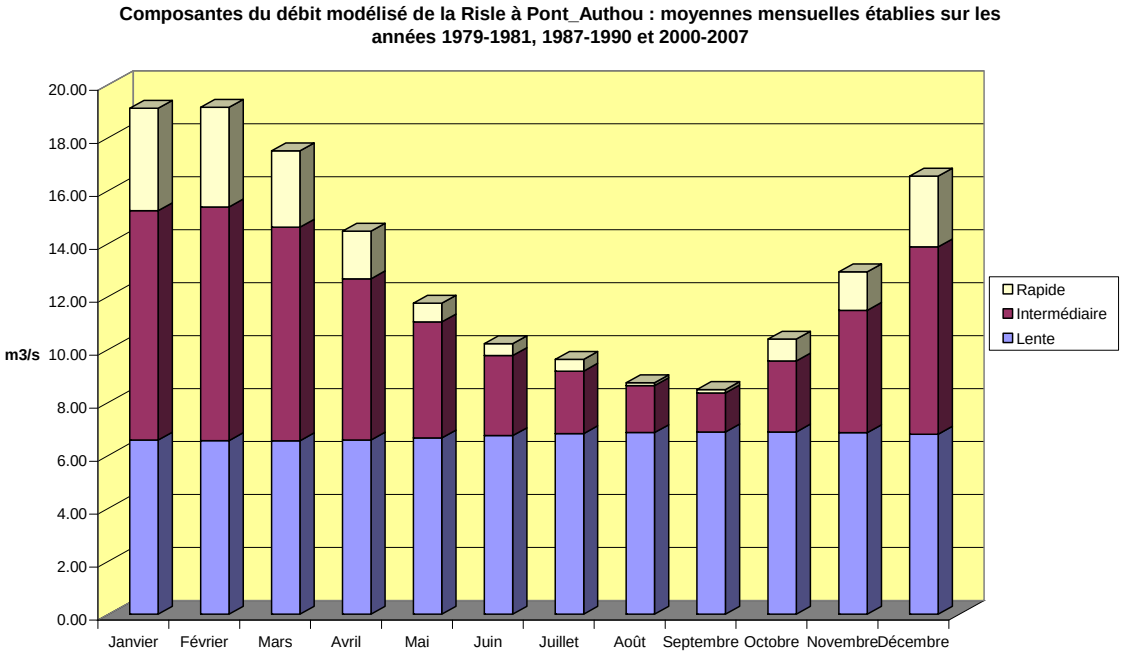


Illustration 266 : Composantes du débit moyen mensuel de la Risle modélisé à la station de Pont-Authou

L'Illustration 266 montre la décomposition obtenue sous la forme de débits moyens mensuels. On observe une assez bonne similitude avec les débits moyens mensuels fournis par la banque HYDRO (Illustration 261).

La modélisation du débit de la Risle à Rai a été effectuée au pas décadaire en utilisant les signaux suivants :

- Pluie : pluie optimale (Op_Risle_Amont=10%* Brionne+90%*StEvroult) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique d'Evreux-Huest ;
- Piézomètre : piézomètre d'Aigle.

Pour la modélisation du piézomètre, les mêmes données météorologiques ont été utilisées.

La modélisation du piézomètre d'Aigle a été réalisée sur la période 06/04/1990 – 20/07/2008 (Illustration 267). Une composante lente de 3200 jours a été intégrée pour réaliser cette modélisation. La modélisation obtenue est satisfaisante (coefficient de Nash : 0,84).

La modélisation du débit de la Risle à Rai a été réalisée sur les périodes (02/09/1994 – 12/01/2008) (Illustration 268). Le débit modélisé est conforme aux observations (coefficient de Nash : 0,73).

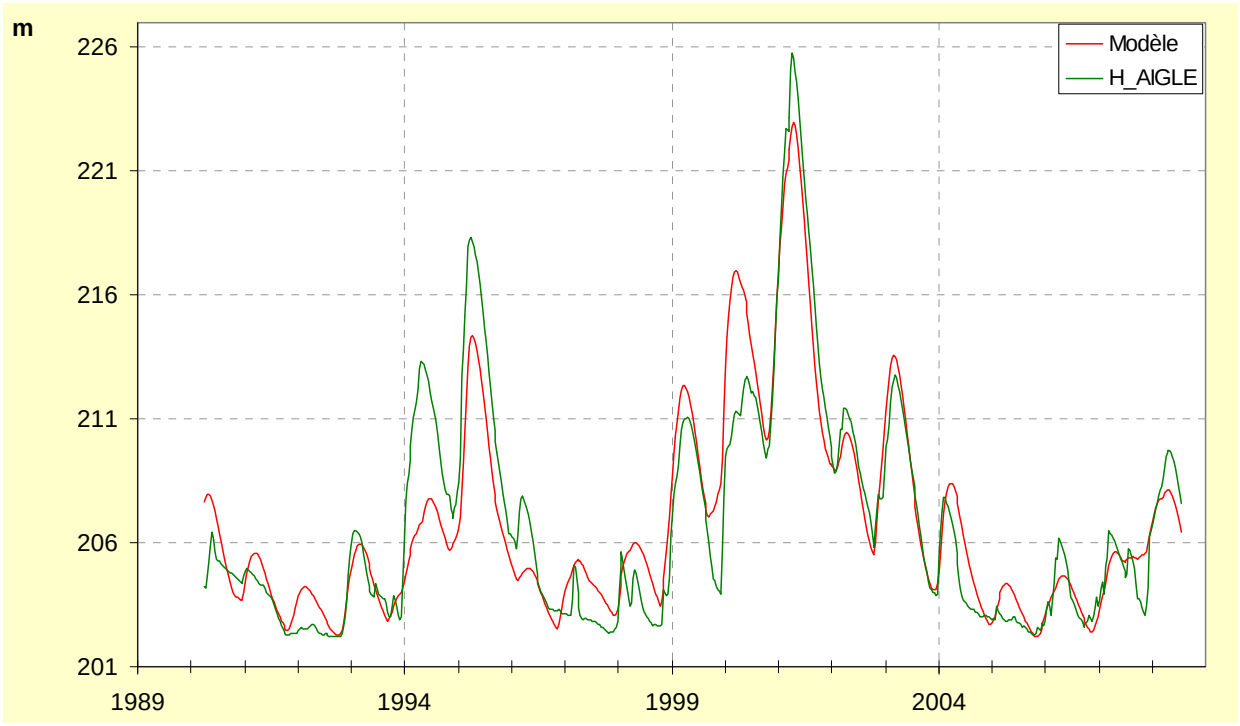


Illustration 267 : Modélisation de la chronique du piézomètre d'Aigle

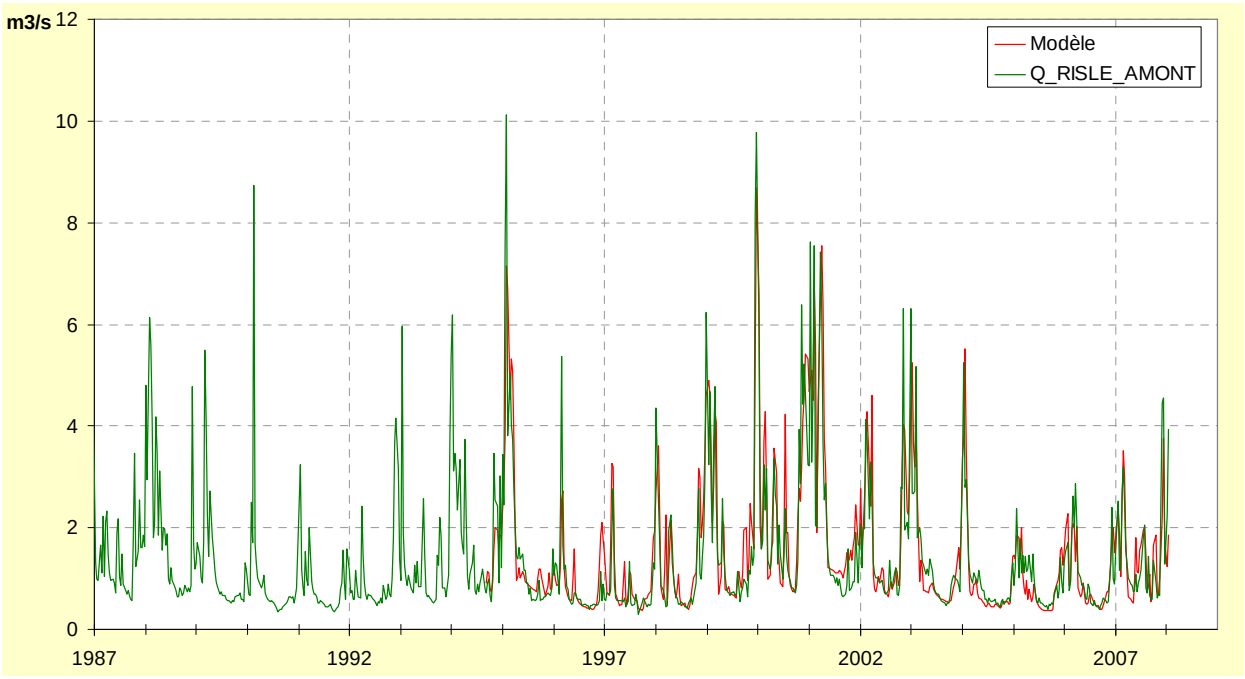


Illustration 268 : Modélisation du débit de la Risle à la station de Rai

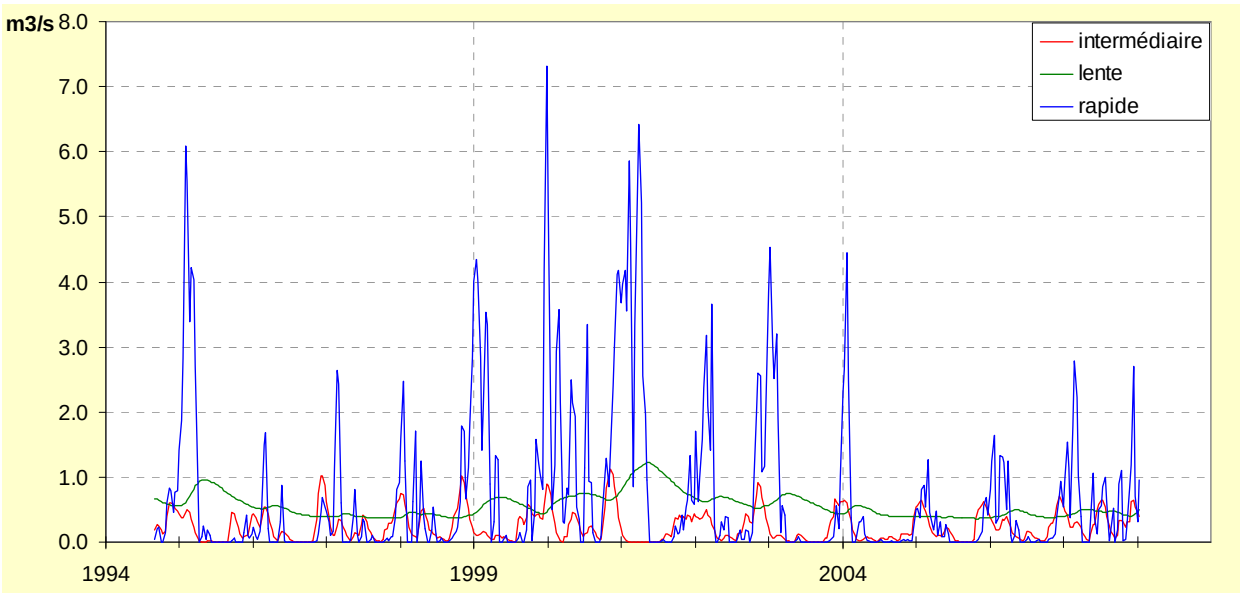


Illustration 269 : Composantes du débit de la Risle modélisé à la station de Rai

L'Illustration 270 montre la décomposition obtenue sous la forme de débits moyens mensuels.

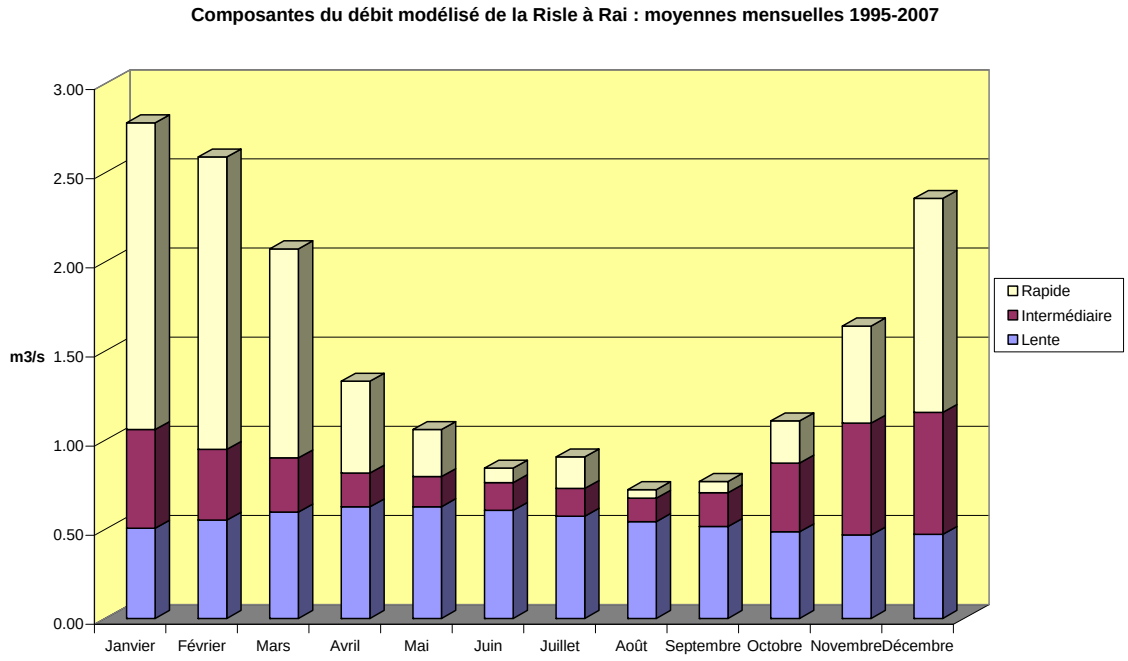


Illustration 270 : Composantes du débit moyen mensuel de la Risle modélisé à la station de Rai

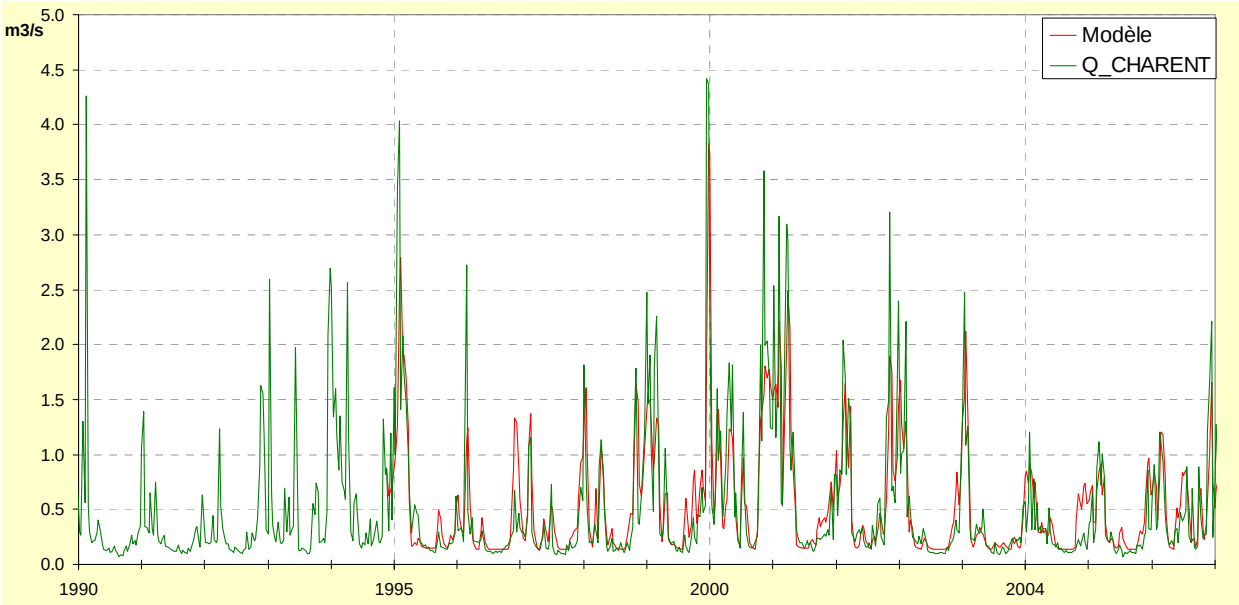


Illustration 271 : Modélisation du débit de la Charentonne à la station de Bocquencé

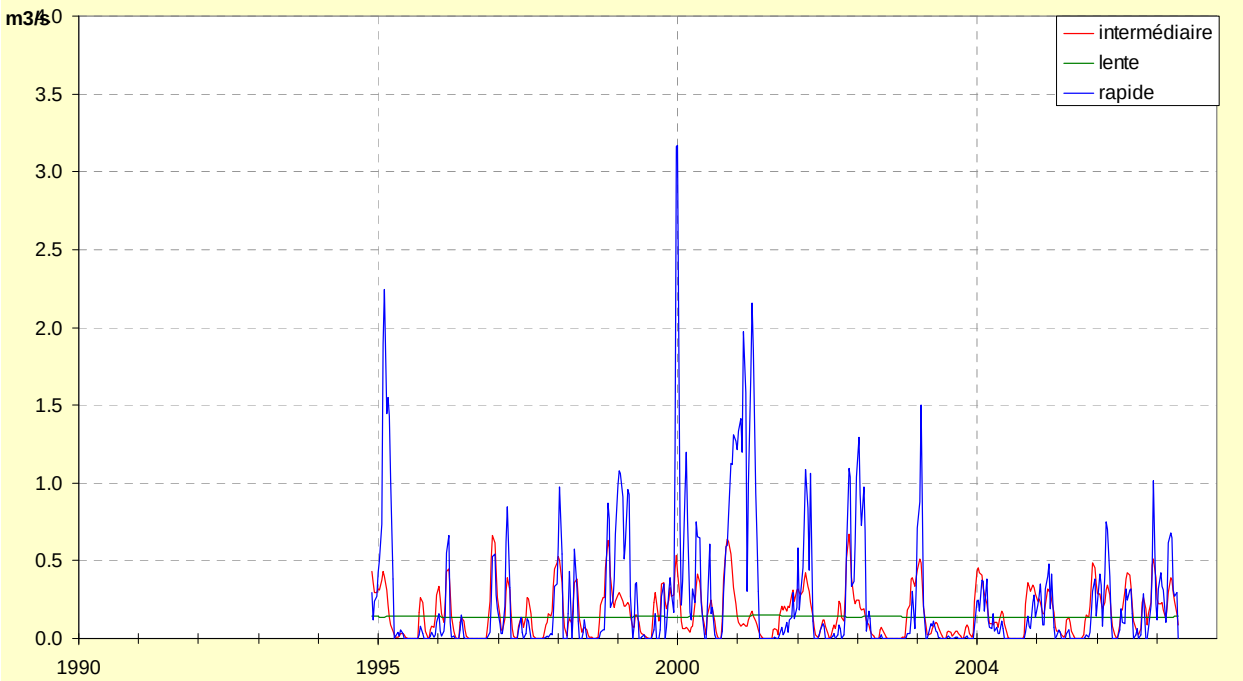


Illustration 272 : Composantes du débit de la Charentonne modélisé à la station de Bocquencé

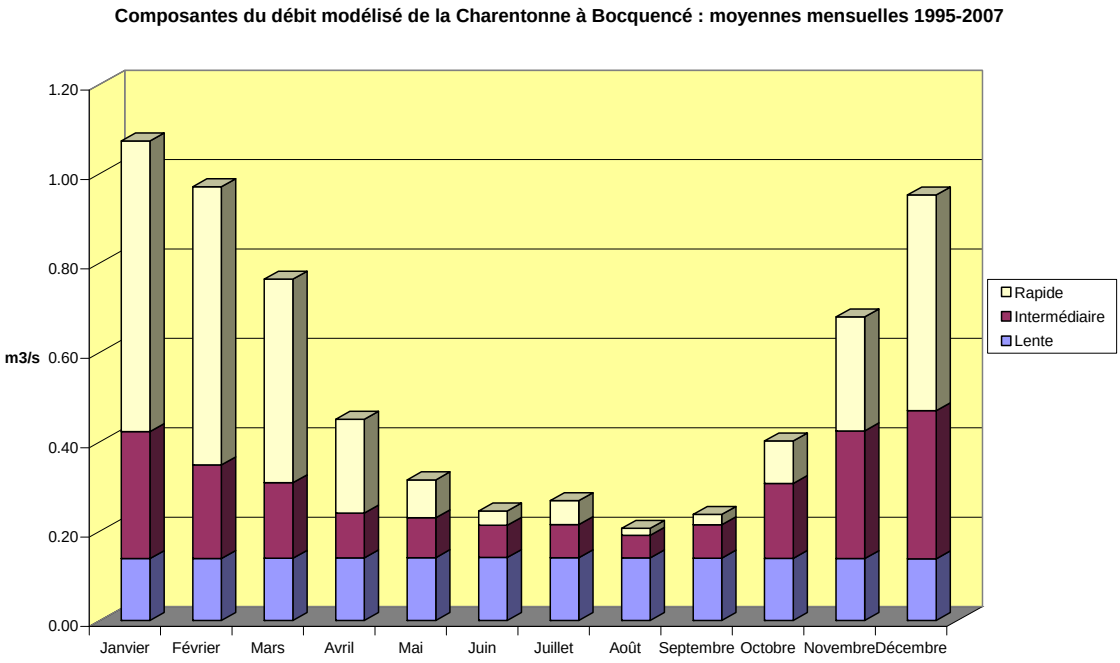


Illustration 273 : Composantes du débit moyen mensuel de la Charentonne modélisé à la station de Bocquencé

La modélisation du débit de la Charentonne à Bocquencé a été effectuée au pas décadaire en utilisant les signaux suivants :

- Pluie : pluie optimale (Op_Charentonne=0.18*P_Brionne+0.82*P_ StEvroult) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique d'Evreux-Huest ;
- Piézomètre : piézomètre d'Aigle.

La modélisation du débit de Charentonne à Bocquencé a été réalisée sur la période (21/11/1994 – 11/05/2008) (Illustration 271). La modélisation est très satisfaisante. La décomposition du signal est très proche de celle du débit de la Risle amont.

L'Illustration 273 montre la décomposition obtenue sous la forme de débits moyens mensuels.

7.2. BASSIN VERSANT DE L'ITON

7.2.1. Caractéristiques du bassin versant

L'Iton est un affluent de la rive gauche de l'Eure qui prend sa source dans les collines du Perche dans le département de l'Orne et se jette dans la rivière Eure aux Planches. Le bassin versant de l'Iton à Normanville occupe une surface de 1 031 km² et le bassin versant à la station de Bourth s'étend sur une surface de 159 km² (source : banque HYDRO).

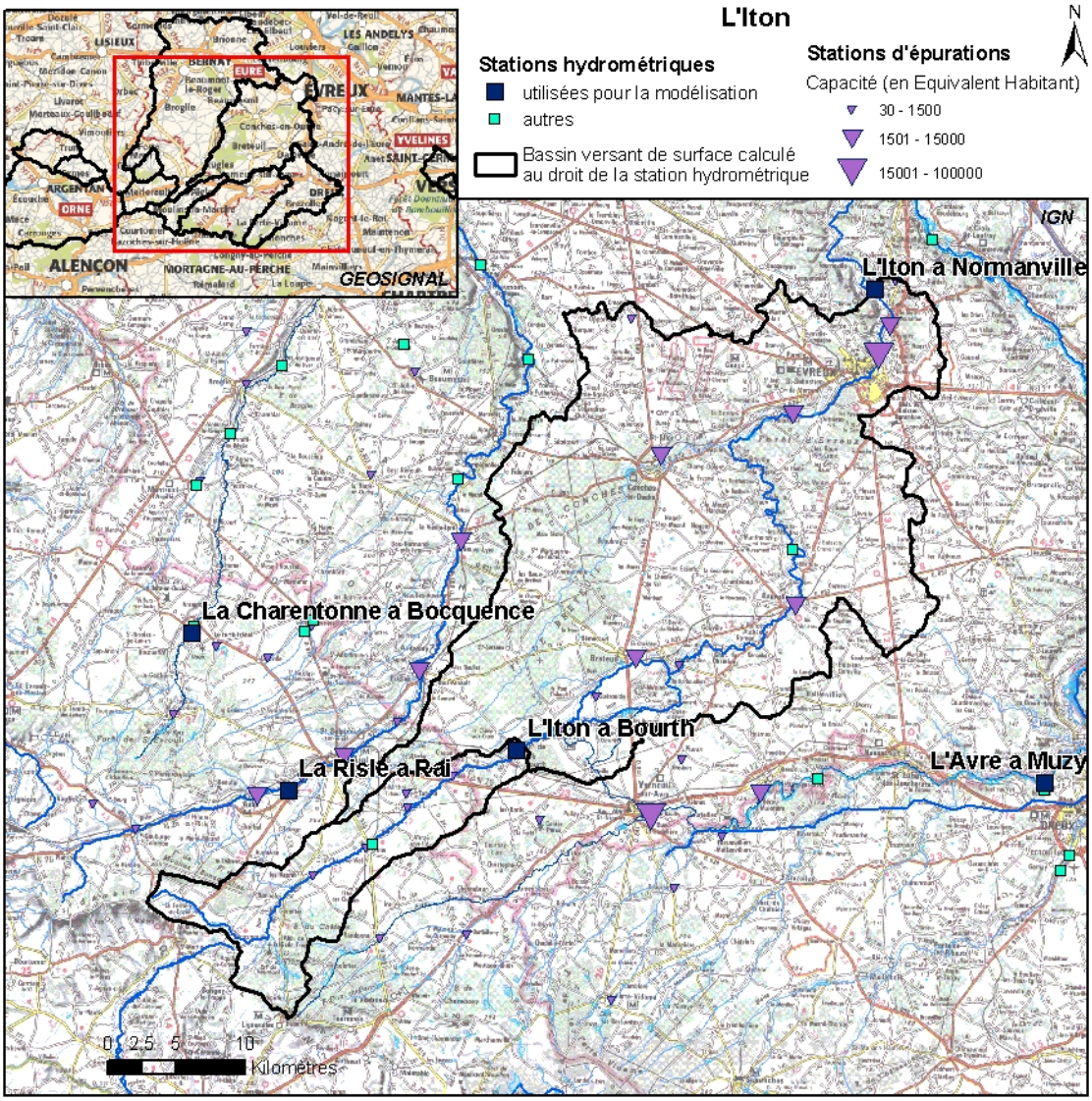


Illustration 274 : Localisation du bassin versant de l'Iton (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude du bassin versant de l'Iton varie entre 314 à 45 m NGF avec une altitude moyenne de 171,7 m. Les terrains les plus élevés sont rencontrés dans la partie Sud et Sud-Ouest du bassin.

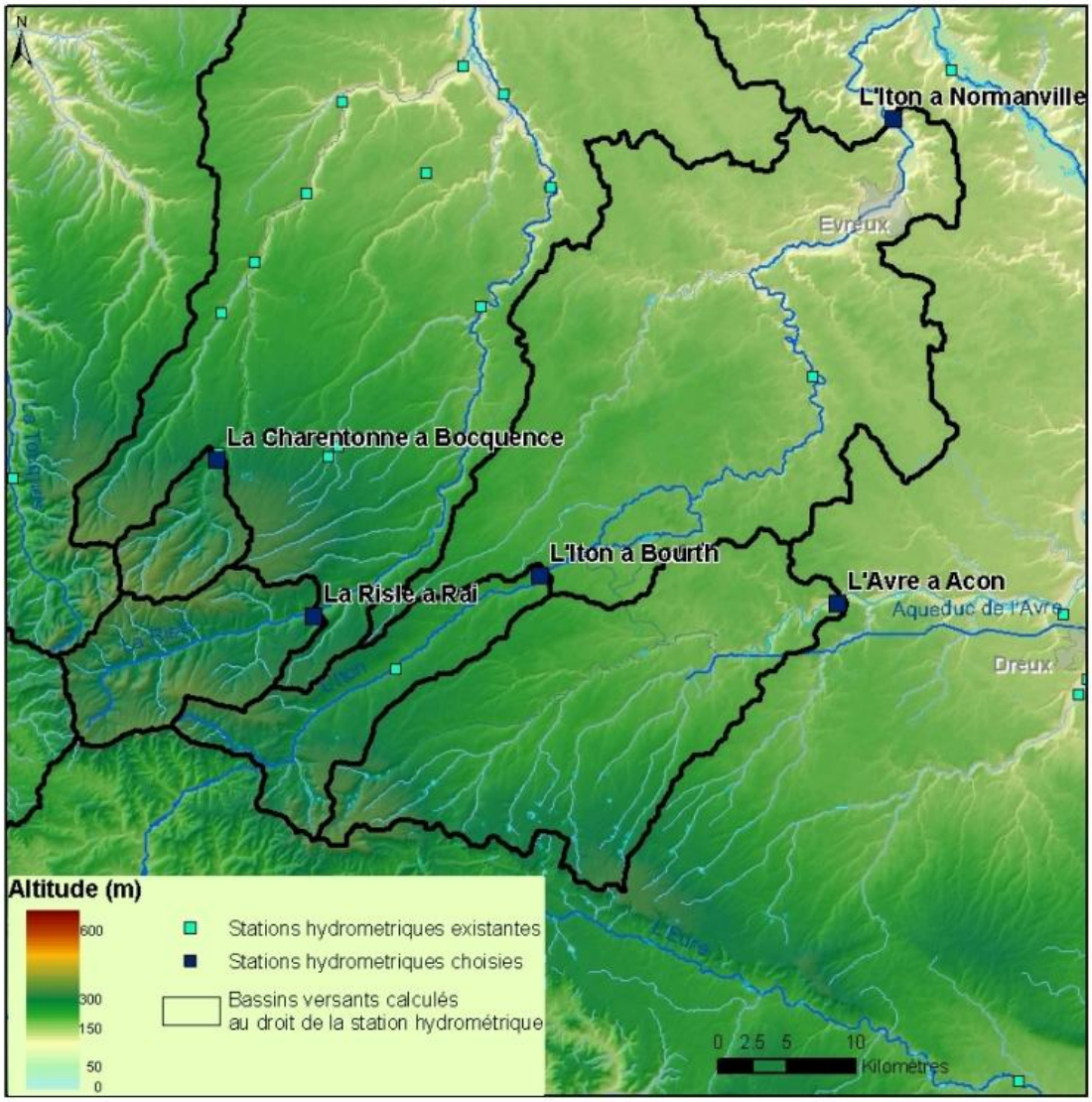


Illustration 275 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de l'Iton (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant de l'Iton est 2,1% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), avec une pente maximale de 47,5%. Les pentes supérieures à 5% occupent seulement 9% du bassin versant, ce qui correspond à un vaste plateau.

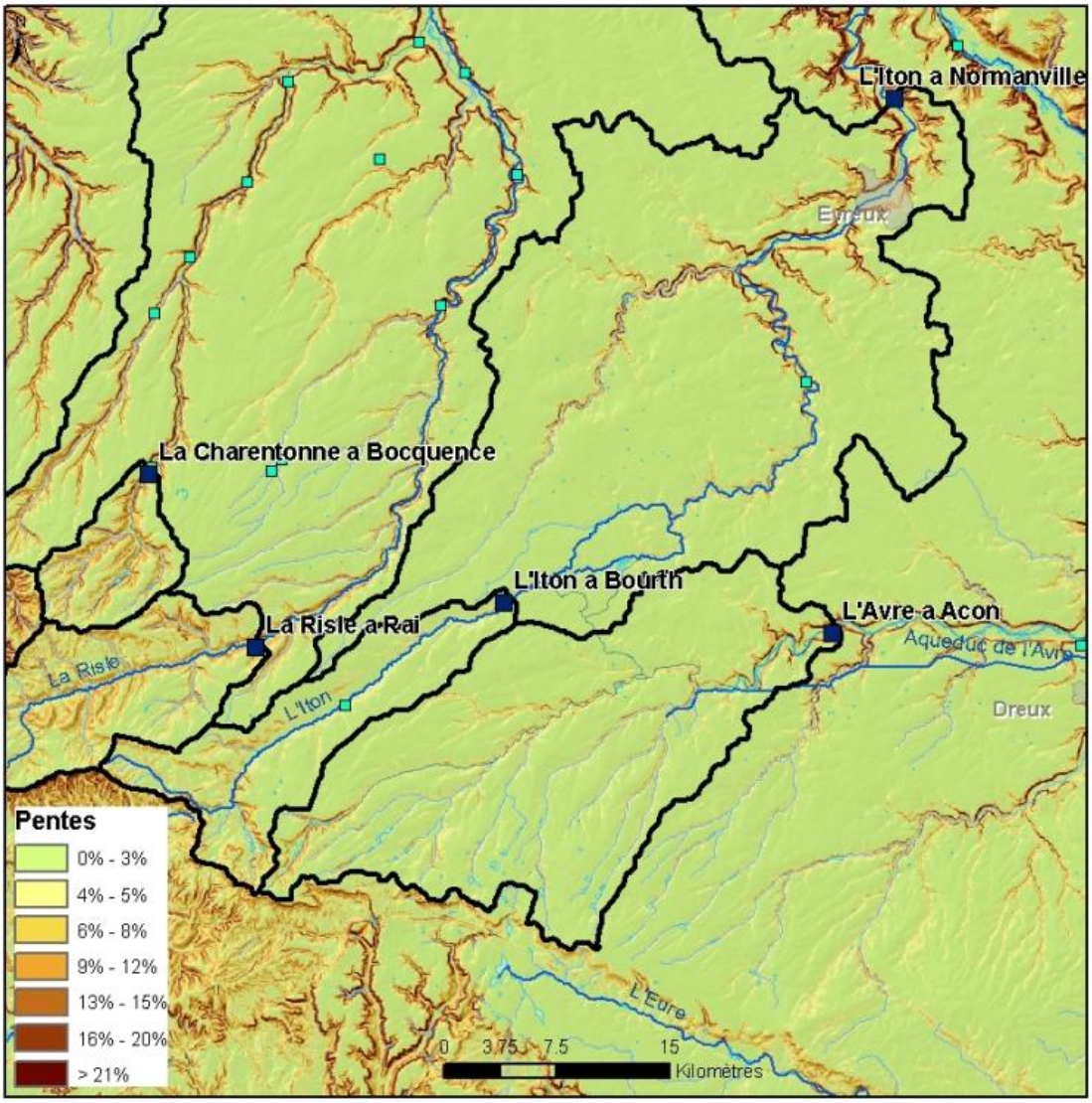


Illustration 276 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Iton (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

La consultation des données de Corinne Land Cover nous donne l'occupation du sol suivante :

- à 36% par des prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbacée ;
- à 59% par des zones agricoles hétérogènes ;
- à 5% par des zones urbanisées industrialisées.

Ce bassin versant est peu urbanisé en dehors de l'agglomération d'Evreux, dont la station d'épuration (de 70 000 Equivalent Habitant) située à une centaine de mètres de l'Iton.

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 21. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (1 031 km²), ils correspondent à une lame d'eau inférieure à 1 mm.

Année	Prel_Irrigation
1995	174825
1996	434788
1997	735840
1998	322952
1999	419479
2000	216317
2001	595987
2002	491344
2003	958182
2004	970829
2005	611684
2006	592343

Tableau 21 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de l'Iton à Normanville

Les prélèvements pour l'eau potable s'élèvent à environ 14 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 13,6 mm. Les prélèvements pour l'industrie ont été estimés à environ 2 millions de m^3, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 2 mm.

7.2.2. Climatologie

Le bassin versant de l'Iton à Normanville reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 679 mm environ (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance), ce qui correspond à une pluviométrie inférieure à celle des autres bassins versants normands. Le bassin versant est plus arrosé à l'amont (778 mm de moyenne pour l'Iton à Bourth).

Les données de trois stations météorologiques ont été utilisées pour la modélisation, deux pour leur chronique de pluie, une pour sa chronique d'évapotranspiration.

- Les Baux-de-Bre (type 4, station créée en mars 1984). La station est localisée au centre du bassin versant de l'Iton à Normanville. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne équivalente à celle du bassin.

- Verneuil (type 4, station créée en janvier 1986). Cette station est située en dehors du bassin versant, à 10 km au Sud-Est de la station hydrométrique de l'Iton à Bourth. Sa pluviométrie annuelle moyenne est légèrement inférieure à celle du bassin versant.
- Evreux-Huest (station située à Huest, de type 0, créée en 1968) qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman. Située sur le bassin versant, cette est localisée à 7 km au Sud-Est de la station hydrométrique de l'Iton à Normanville.

La recherche des pluies optimales sur les bassins versants de l'Iton à Normanville et à Bourth ont été effectuées à partir des deux chroniques de pluie ci-dessus. Les formules obtenues sont les suivantes :

- pour l'Iton à Normanville : Op_Iton_Aval=0.10*P_BAUX+0.90*P_VERNEUIL
- pour l'Iton à Bourth : Op_Iton_Amont=0.69*P_BAUX+0.31*P_EVREUX

7.2.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

Les principales formations géologiques rencontrées à l'affleurement dans le bassin versant sont des plus récentes aux plus anciennes :

- les limons indifférenciés couvrant les sommets des plateaux ;
- les Argiles à Silex provenant de l'altération de la craie sous-jacente. Ils affleurent en tête des vallons secs du bassin versant ainsi que sur les différents versants ;
- un substratum composé de craies à silex (Crétacé supérieur). Pour différentes raisons géologiques (tectoniques, variations climatiques...), la craie a été affectée par de nombreux accidents (failles, fissures...) et soumise à des altérations dont l'un des résultats est le développement de réseaux karstiques. En Haute-Normandie, la craie est ainsi un milieu mixte : poreux, fissuré et « karstique ».

Le bassin versant de l'Iton présente une **particularité régionale : en période d'étiage, la rivière s'assèche sur plusieurs kilomètres** (Sec-Iton) en raison d'un très grand nombre de bétoires formés dans le lit du cours d'eau ou sur ses bords. Le Sec-Iton se situe entre Condé et la Bonneville-sur-Iton.

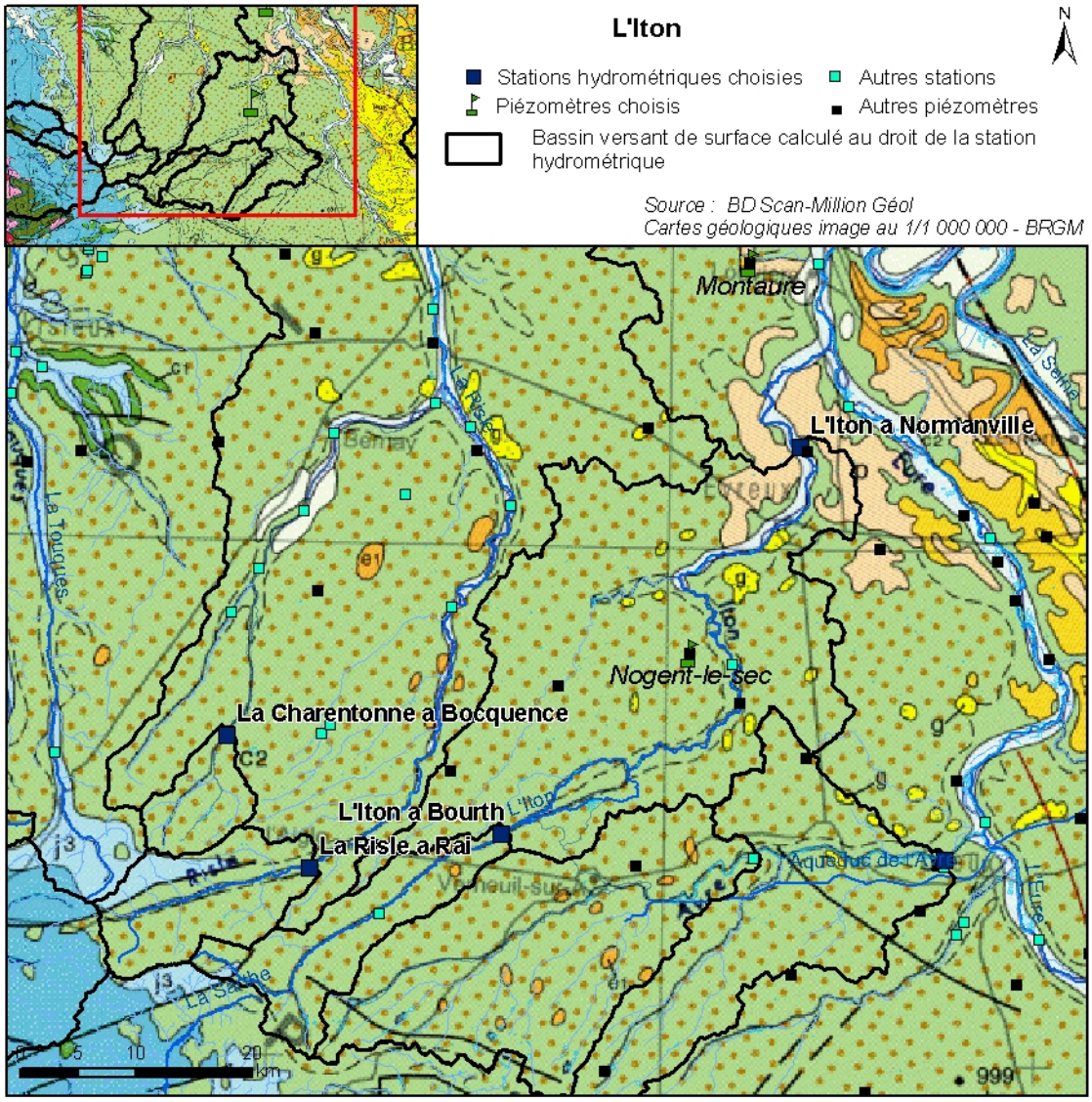


Illustration 277 : Carte géologique du bassin versant de l'Iton

b) Piézométrie

Le piézomètre de Montaure (Craie) dont la chronique, représentée sur l'Illustration 278, a débuté le 12/10/1967. La chronique présente un enregistrement hebdomadaire jusqu'en décembre 1981. De janvier 1982 à novembre 1994, l'enregistrement est mensuel. Depuis, la chronique présente un enregistrement quotidien qui se poursuit actuellement.

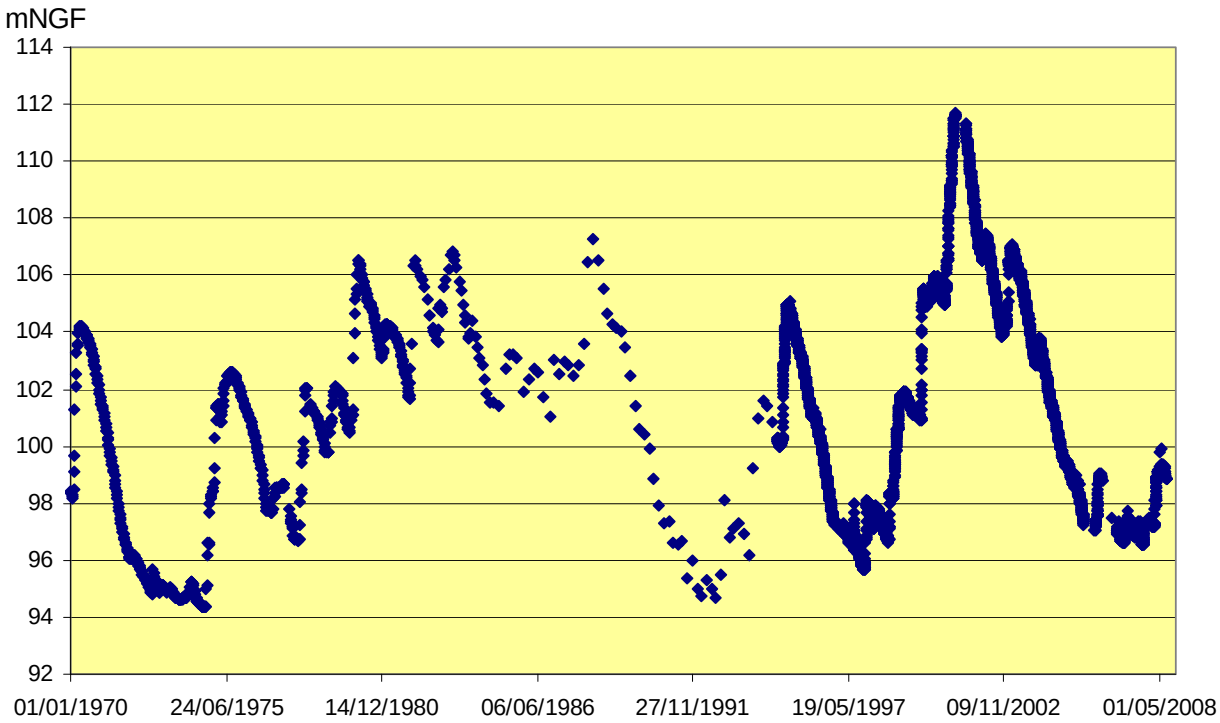


Illustration 278 : Chronique piézométrique de Montaure (indice national : 01245X0010/S1)

La chronique présente trois interruptions de plus de 100 jours : du 01/03/2001 au 08/07/2001, du 11/09/2005 au 24/01/2006 et du 27/04/2006 au 03/09/2006.

Le piézomètre de Montaure présente un comportement très proche de celui de l'Aigle (Illustration 258). La profondeur moyenne du niveau d'eau est de 35 m. Ce piézomètre est localisé en dehors du bassin versant.

Le piézomètre de Nogent-le-Sec (Craie) dont la chronique, représentée sur l'Illustration 279, a débuté le 23/04/1985. Jusqu'au 15 novembre 1994, la chronique présente un enregistrement bimestriel. Depuis, l'enregistrement est quotidien et se poursuit actuellement.

La chronique présente trois interruptions de plus de 70 jours : du 25/04/2001 au 15/07/2001, du 29/10/2003 au 07/01/2004 et du 28/04/2004 au 25/01/2005.

Les fluctuations du niveau de la nappe de la Craie représenté par le piézomètre de Nogent-le-Sec montre un système inertiel avec des cycles interannuels de 4 à 5 ans.

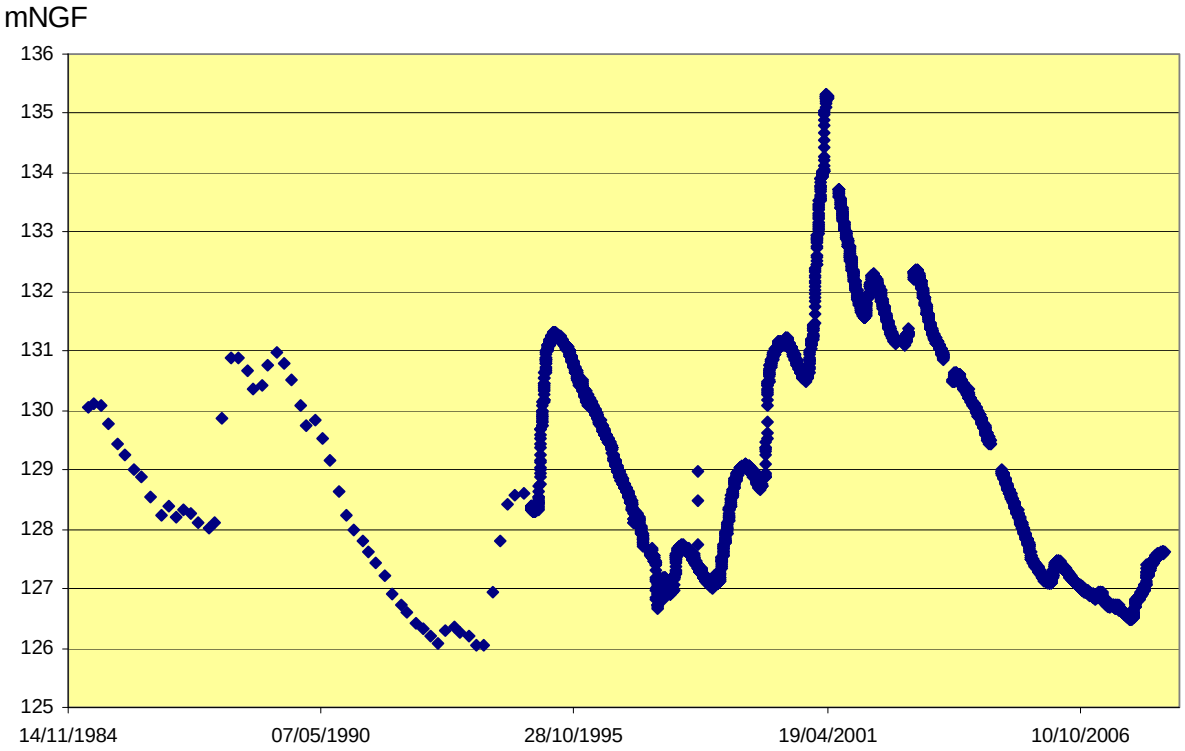


Illustration 279 : Chronique piézométrique de Nogent-le-Sec (indice national : 01794X0035/S1)

7.2.4. Hydrologie

L'Iton s'écoule selon un axe SW-NE. Son débit est connu au travers de trois stations hydrométriques. On utilise les deux stations hydrométriques de Normanville (code HYDRO : H9402030) et de Pont-Authou (Code Hydro : H9402040).

L'Iton à Normanville : la chronique de débit journalier qui a débuté le 18/04/1967 a connu deux interruptions sur les périodes : du 01/01/1992 au 17/08/1992 et du 13/09/1996 au 31/12/1996.

Les basses eaux sont rencontrées en aout-septembre et les hautes eaux en février. La lame d'eau moyenne annuelle est de 115 mm, ce qui correspond à une valeur inférieure à la moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie. Le débit journalier maximal connu est de 17,1 m^3/s et le minimum est de 1,18 m^3/s. l'Illustration 280 montre le débit moyen mensuel (source : banque HYDRO) et met en évidence un soutien important du cours d'eau par la nappe en période d'étiage.

Le QMNA5 est de 2,1 m^3/s pour le bassin versant de l'Iton à Normanville, dont la surface est de 1031 km^2.

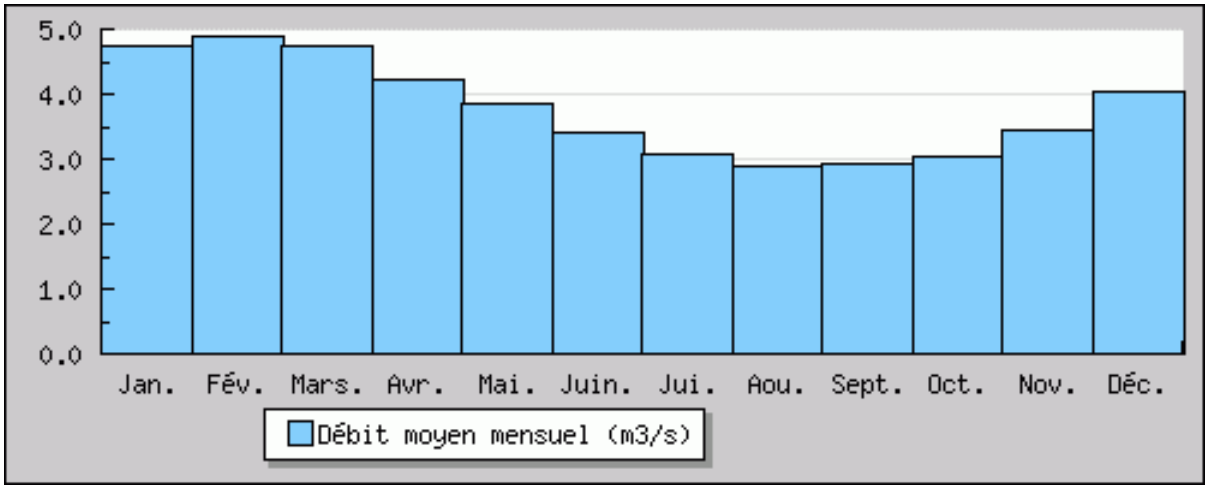


Illustration 280 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de l'Iton à Normanville (source : Banque HYDRO)

L'Iton à Bourth : la chronique de débit journalier a débuté le 02/12/1999.

La durée de la chronique est trop courte pour déterminer tous les paramètres qui ont été calculés pour les cours d'eau présentés dans ce rapport. Le débit journalier maximal connu pour la période de mesure est de 18,8 m^3/s et le minimum est de 0,24 m^3/s.

7.2.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de l'Iton à Normanville a été effectuée au pas décadaire en utilisant les signaux suivants :

- Pluie : pluie optimale (Op_Iton_Aval =10%* Baux+90%*Verneuil) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique d'Evreux-Huest ;
- Piézomètres : piézomètre de Montaure et piézomètre de Nogent-le-Sec.

Pour la modélisation des piézomètres, les mêmes données météorologiques ont été utilisées.

La modélisation du piézomètre de Montaure a été réalisée sur la période 10/05/1993 – 21/02/2008 (Illustration 281). Elle a été obtenue avec une composante lente de 2500 jours. La modélisation obtenue est satisfaisante avec un coefficient de Nash de 0.88, ce qui confirme le caractère inertiel de la nappe.

La modélisation du débit de l'Iton à Normanville a été réalisée sur la période 23/01/1981 – 22/03/2008 (Illustration 282). Les fluctuations du débit sont globalement bien reproduites (coefficient de Nash : 0.81), mais les étiages sont depuis 1999 surestimés par le modèle.

L'Illustration 284 montre la décomposition obtenue sous la forme de débits moyens mensuels. En débit moyen mensuel total, on observe une assez bonne similitude avec les débits moyens mensuels fournis par la banque HYDRO (Illustration 280). On observe un fort soutien de la nappe tout au long de l'année.

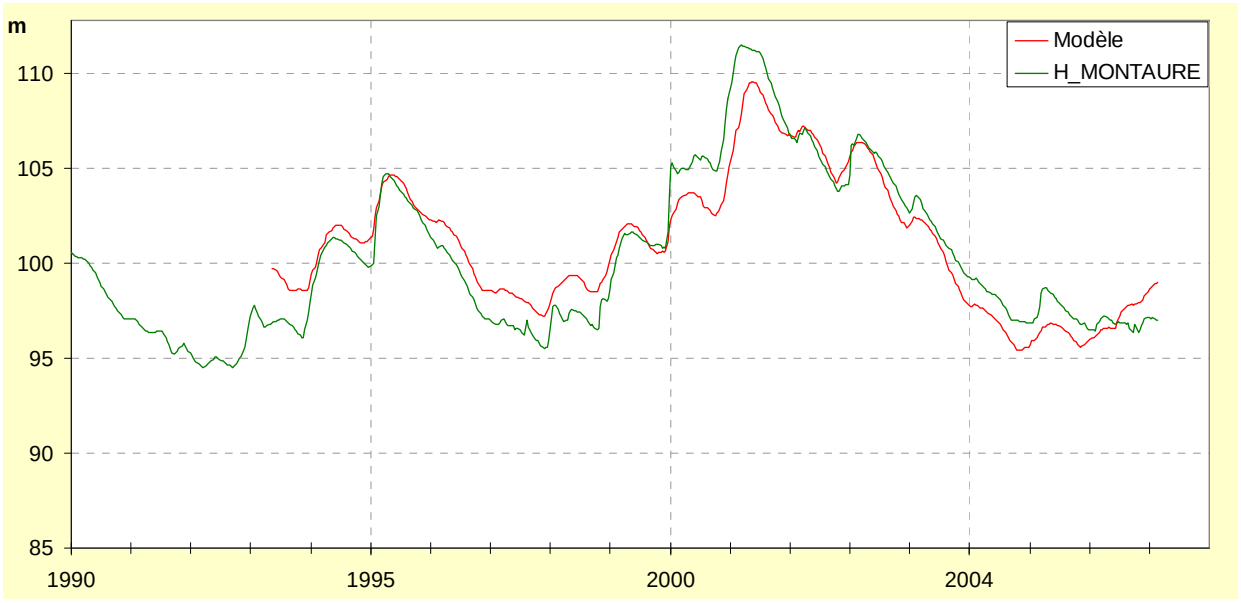


Illustration 281 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Montaure

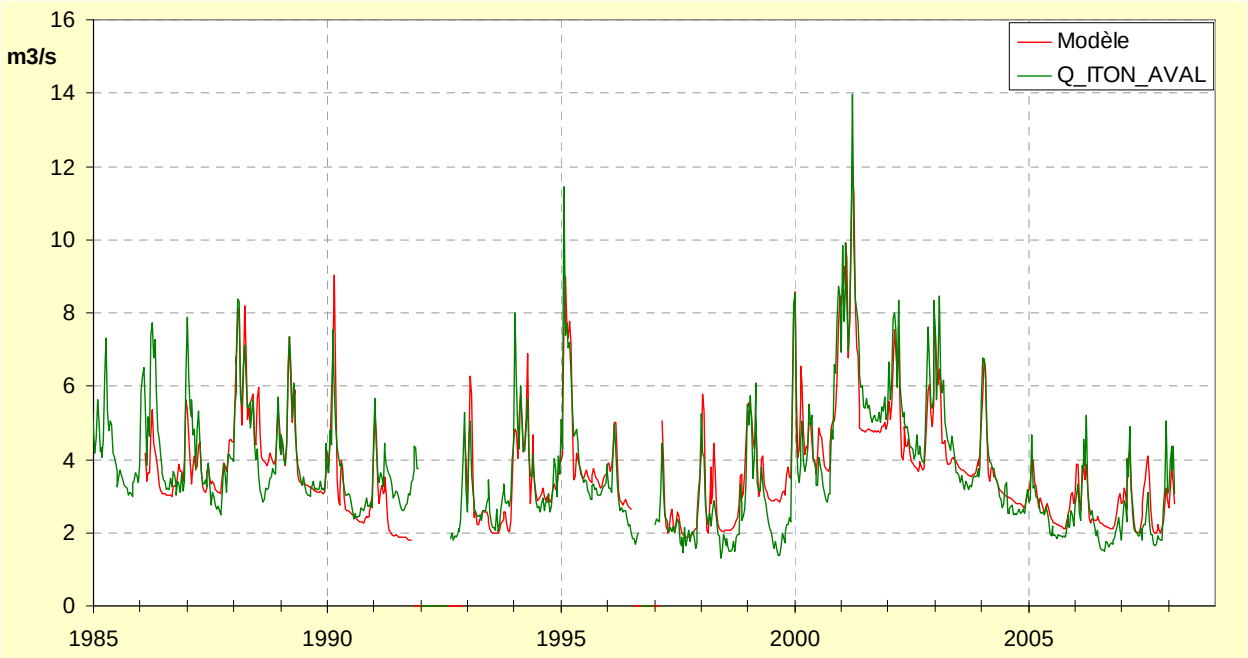


Illustration 282 : Modélisation du débit de l'Iton à la station de Normanville

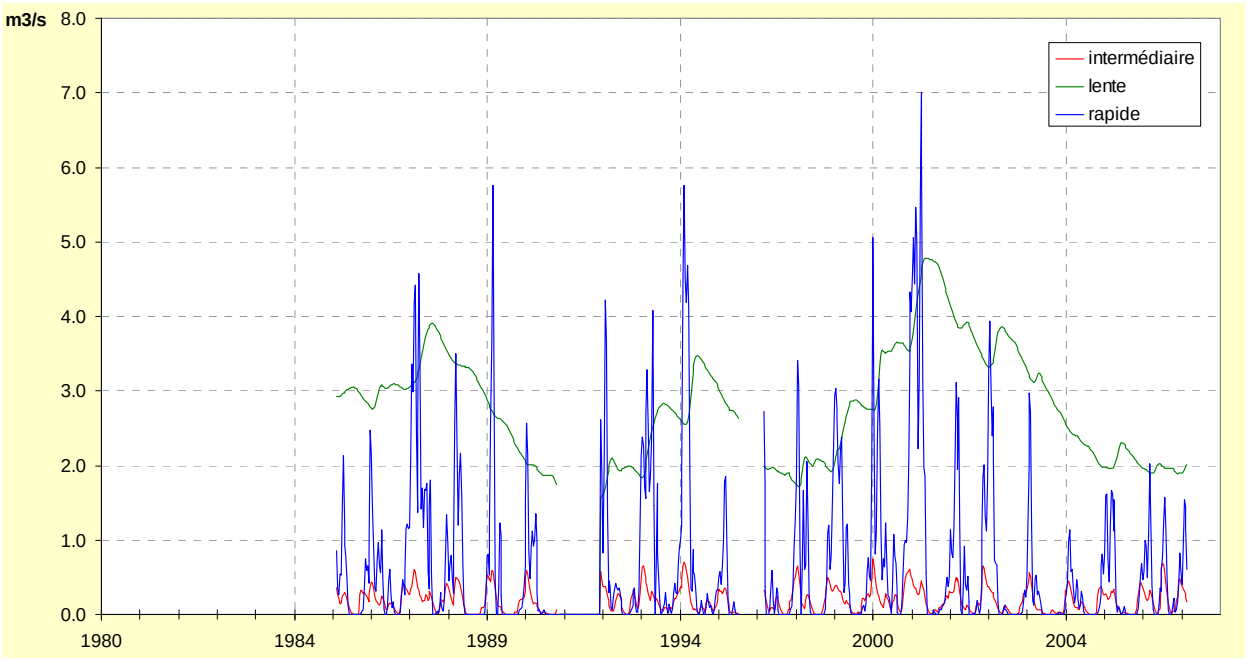


Illustration 283 : Composantes du débit de l'Iton modélisé à la station de Normanville

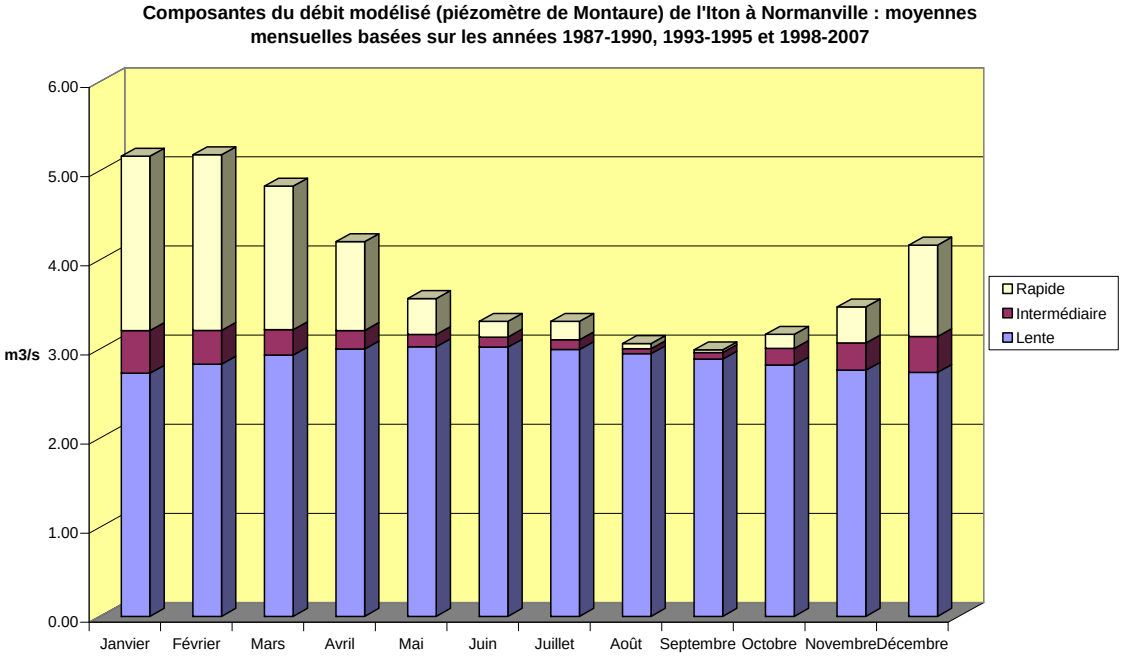


Illustration 284 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Iton modélisé (piézomètre de Montaure) à la station de Normanville

La modélisation du piézomètre de Nogent-le-Sec a été réalisée sur la période 22/10/1992 – 01/04/2008 (Illustration 285). Une composante lente de 1500 jours a été

intégrée pour réaliser cette modélisation, ce qui correspond à un système fortement inertiel. La modélisation obtenue est satisfaisante avec un coefficient de Nash de 0.84.

La modélisation du débit de l'Iton à Normanville en utilisant le piézomètre de Nogent-le-Sec a été réalisée sur la période 06/02/1986 – 31/05/2008 (Illustration 286). La modélisation est équivalente à celle réalisée en utilisant le piézomètre de Montaure, le coefficient de Nash : 0,79. La décomposition du débit en composante lente et rapide est aussi équivalente quelque soit le piézomètre choisi.

L'Illustration 288 présente la décomposition obtenue sous la forme de débits moyens mensuels.

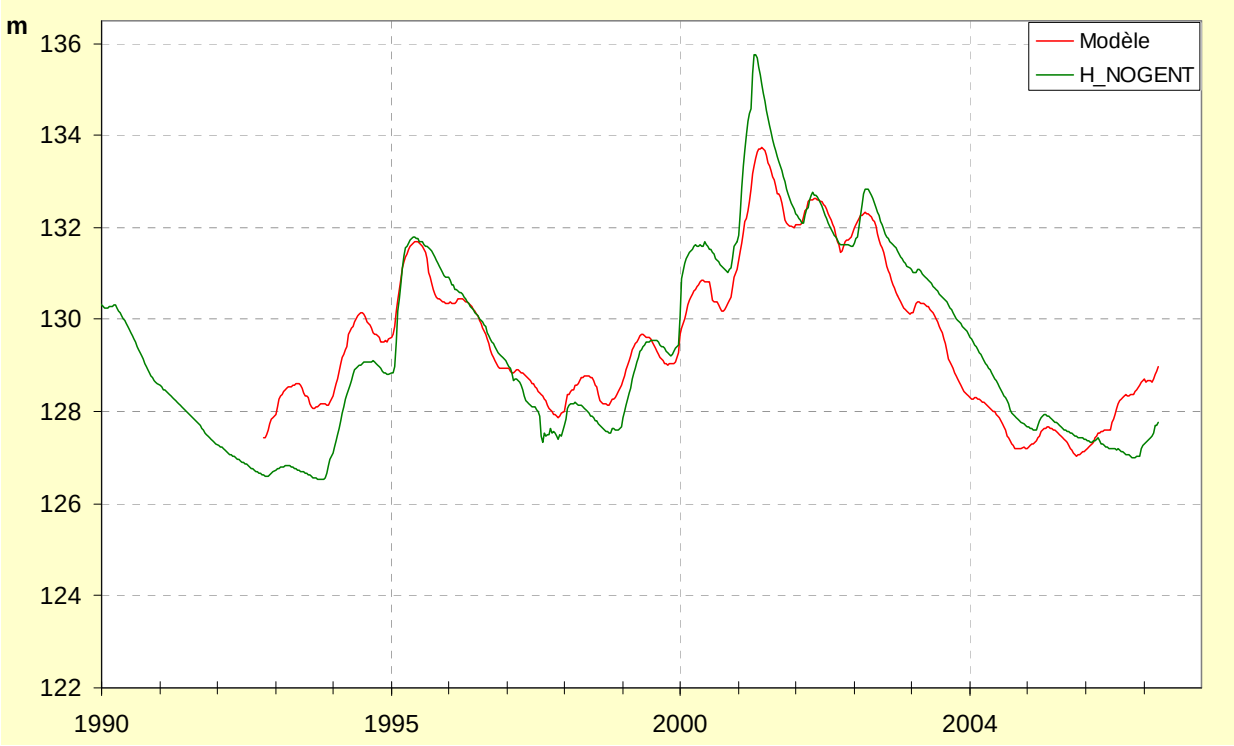


Illustration 285 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Nogent-le-Sec

La modélisation du débit de l'Iton à Bourth a été effectuée au pas décadaire en utilisant les signaux suivants :

- Pluie : pluie optimale (Op_Iton_Amont = 69%* Baux+31%*Evreux) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique d'Evreux-Huest ;
- Piézomètre : piézomètre d'Aigle (cf. détail de la modélisation 296).

Pour la modélisation des piézomètres, les mêmes données météorologiques ont été utilisées.

La modélisation du débit de l'Iton à Bourth a été réalisée sur la période 23/04/2002 – 11/05/2008 (Illustration 289). La modélisation est satisfaisante (coefficient de Nash : 0,64) malgré un nombre d'années de calage assez faible.

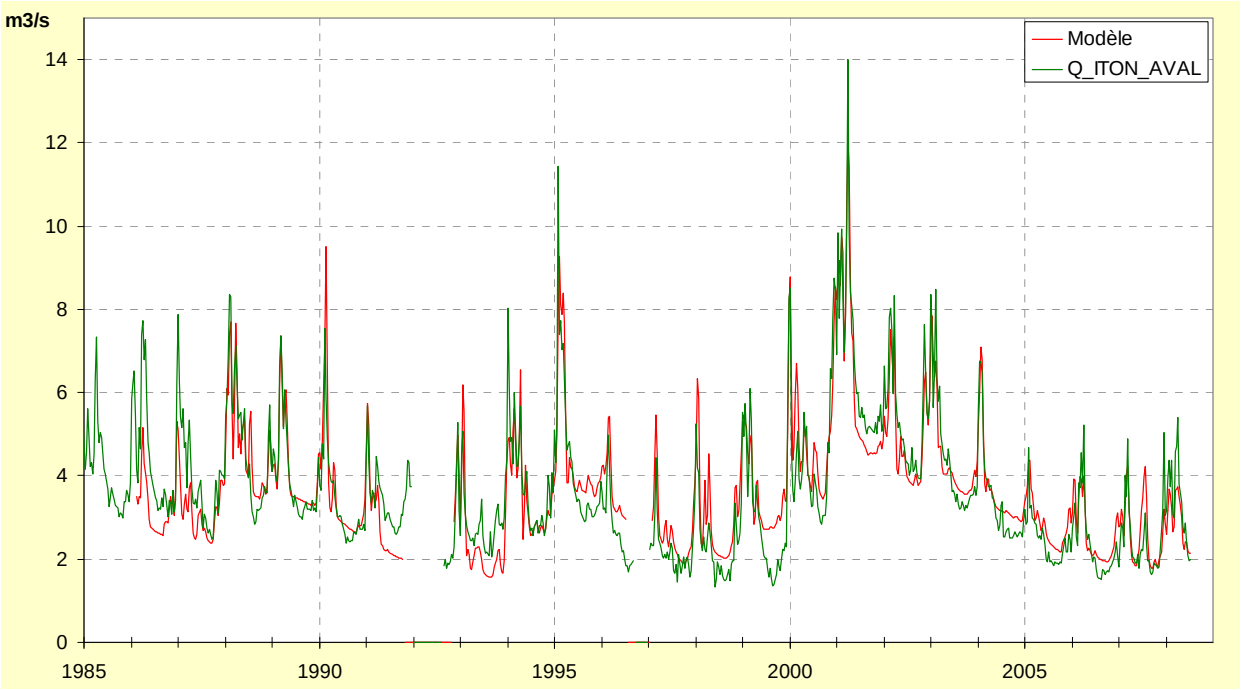


Illustration 286 : Modélisation du débit de l'Iton à la station de Normanville

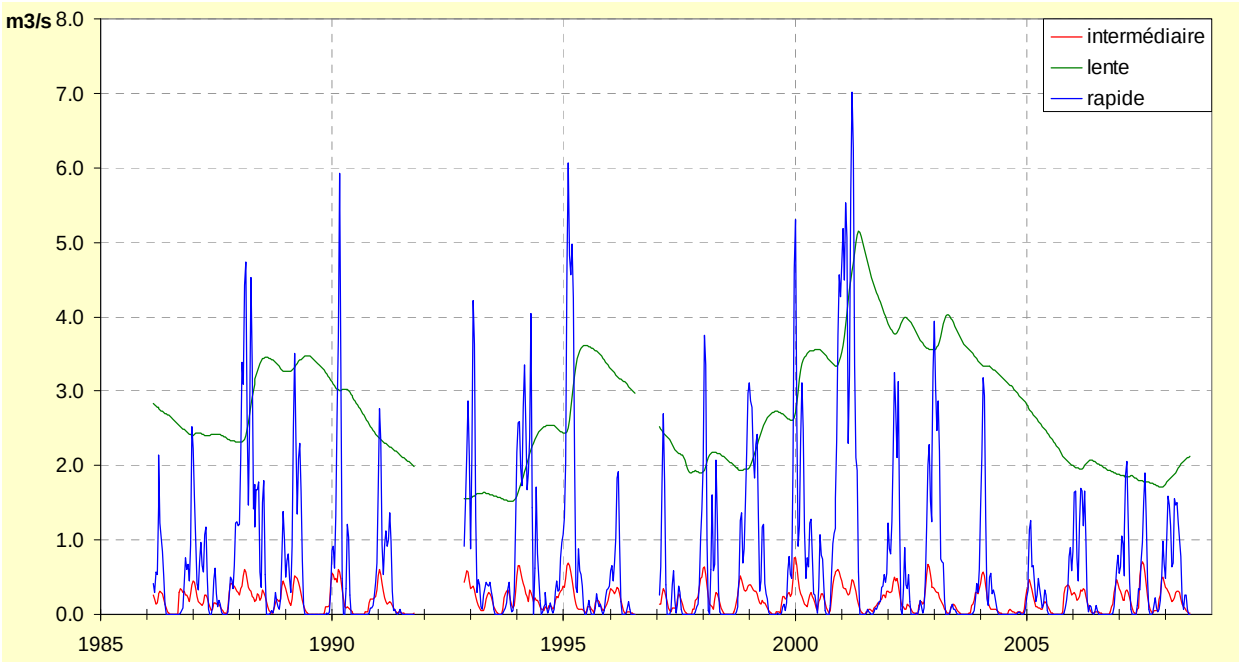


Illustration 287 : Composantes du débit de l'Iton modélisé à la station de Normanville

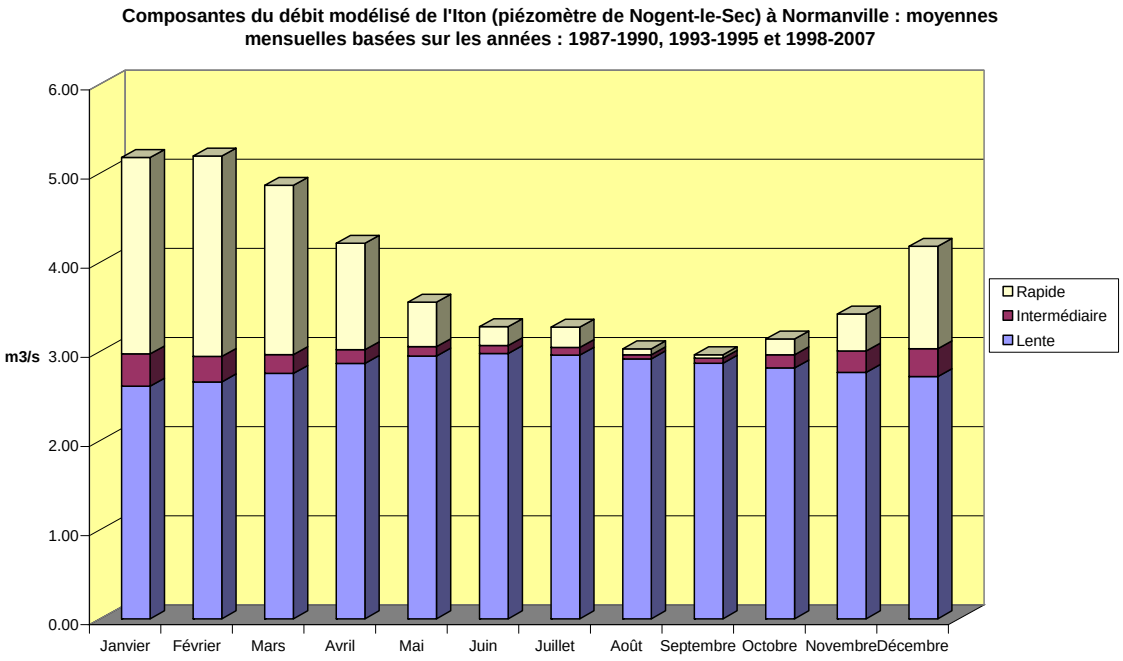


Illustration 288 :Compsantes du débit moyen mensuel de l'Iton modélisé (piézomètre de Nogent-le-Sec) à la station de Normanville

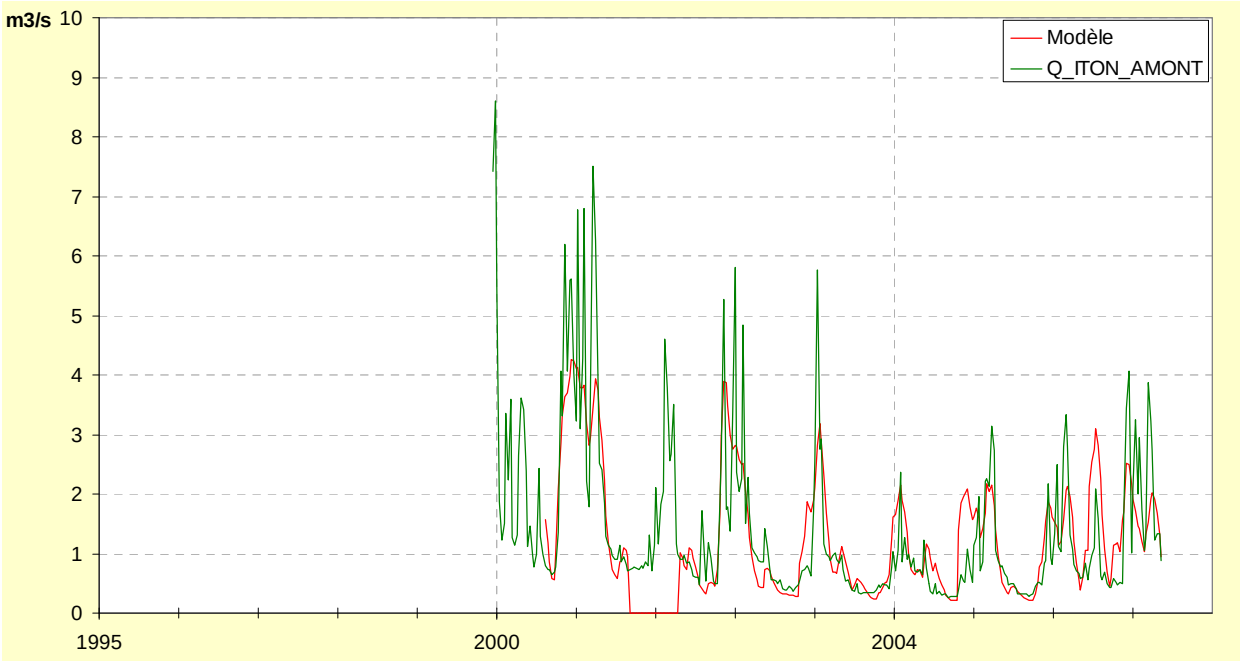


Illustration 289 : Modélisation du débit de l'Iton à la station de Bourth

Illustration 290 : Composantes du débit de l'Iton modélisé à la station de Bourth

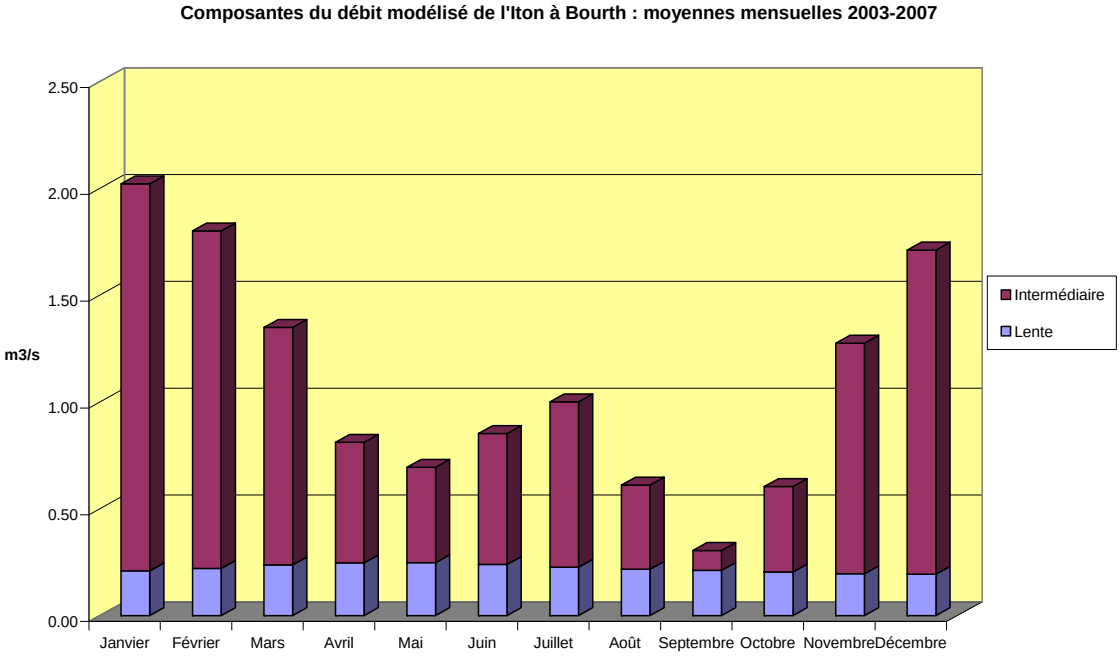


Illustration 291 : Compsantes du débit moyen mensuel de l'Iton modélisé à la station de Bourth

L'Illustration 291 présente la décomposition obtenue sous la forme de débits moyens mensuels.

7.3. BASSIN VERSANT DE L'AVRE

7.3.1. Caractéristiques du bassin versant

L'Avre prend sa source dans les collines du Perche Ornais et rejoint l'Eure au-dessus de Dreux. Le bassin versant de l'Avre à la station de Muzy couvre une superficie de 880 km² (source : banque HYDRO).

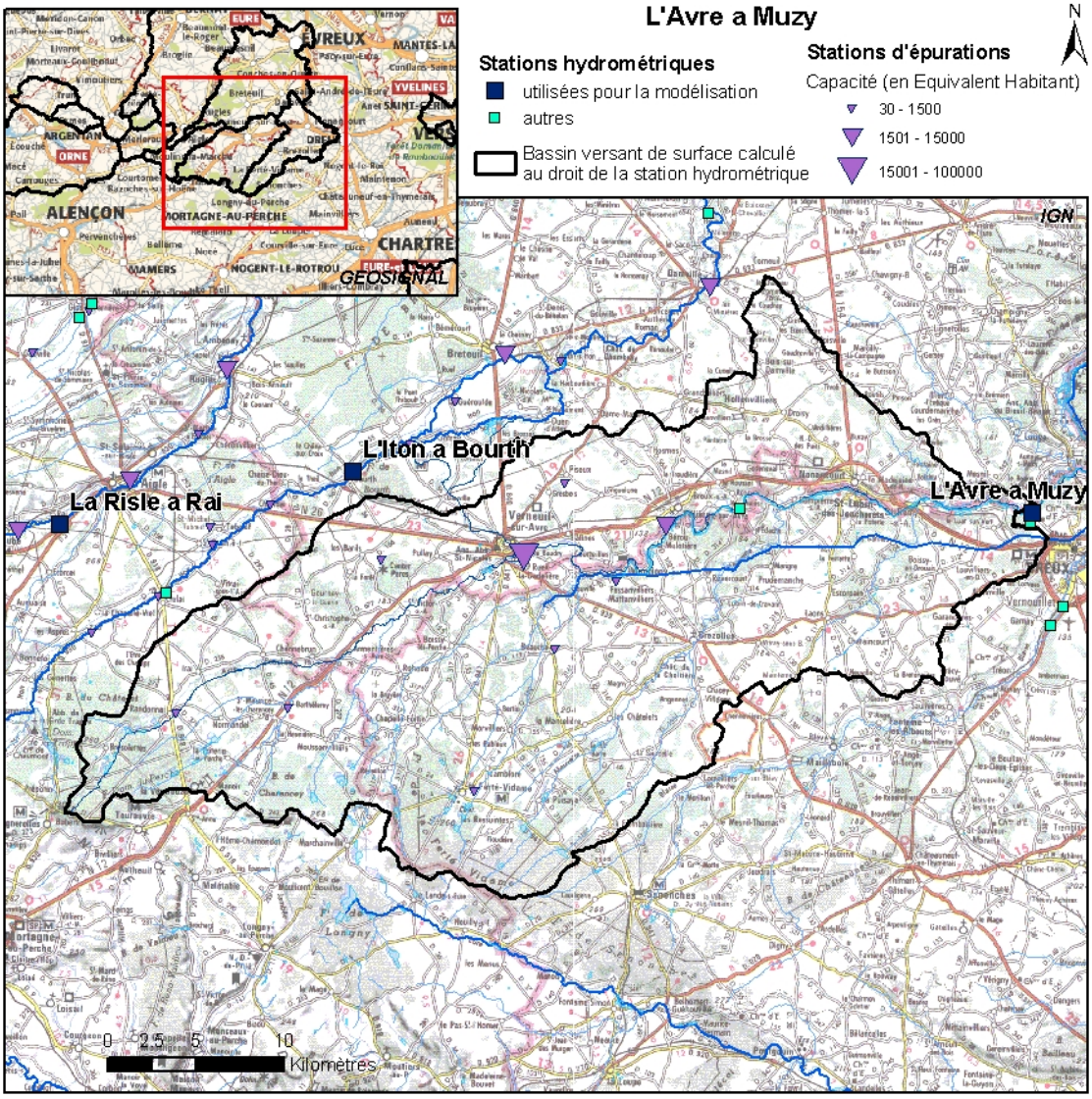


Illustration 292 : Localisation du bassin versant de l'Avre (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude du bassin versant de l'Avre s'échelonne de 303 à 81 m NGF avec une moyenne de 189 m. Les terrains les plus élevés sont rencontrés au Sud du bassin.

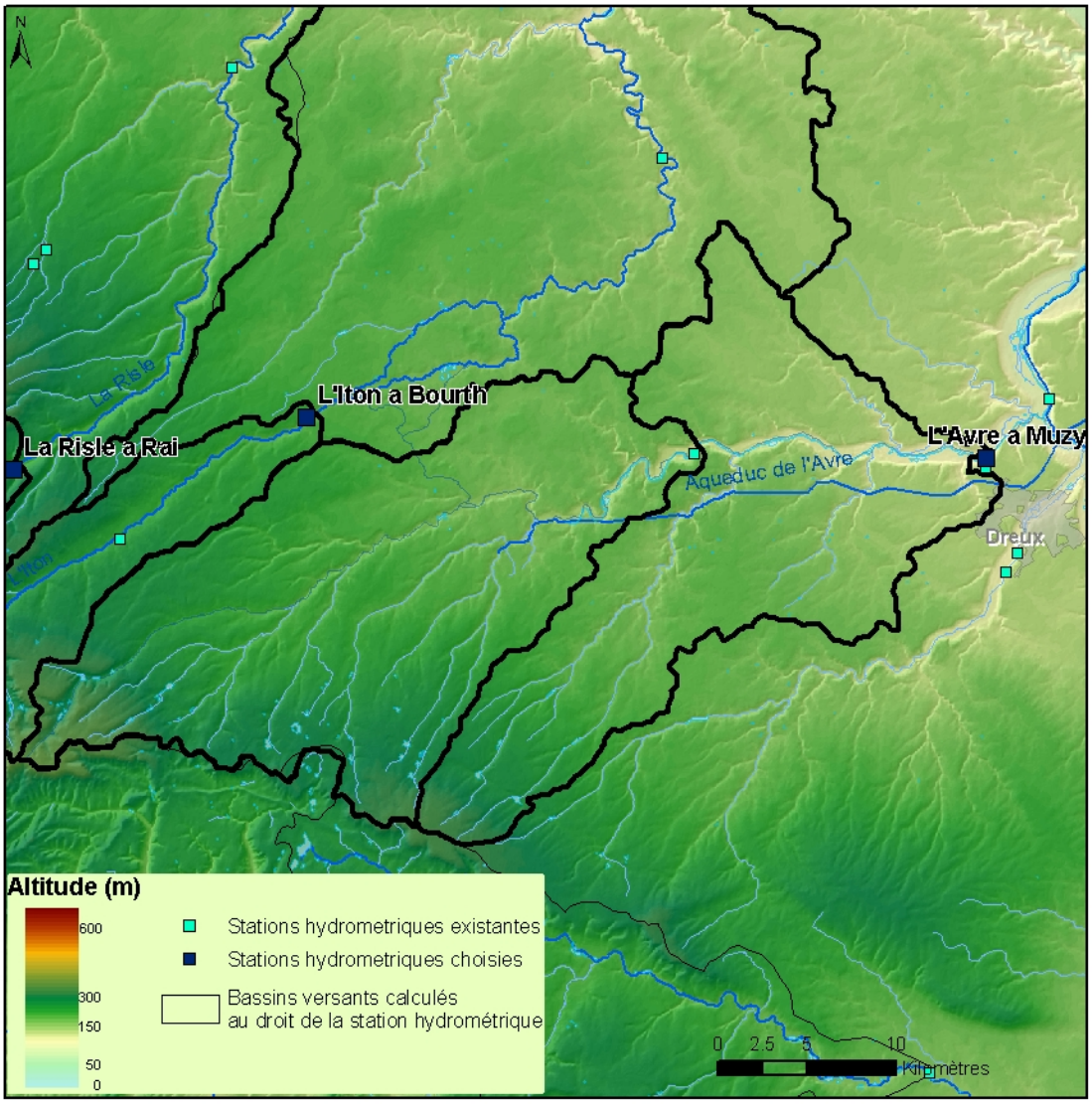


Illustration 293 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de l'Avre (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant de la Risle est 2% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), avec une pente maximale de 44%. Les pentes supérieures à 5% n'occupent que 7% du bassin versant, ce qui correspond à un vaste plateau dans lequel l'Avre est venue s'encaisser.

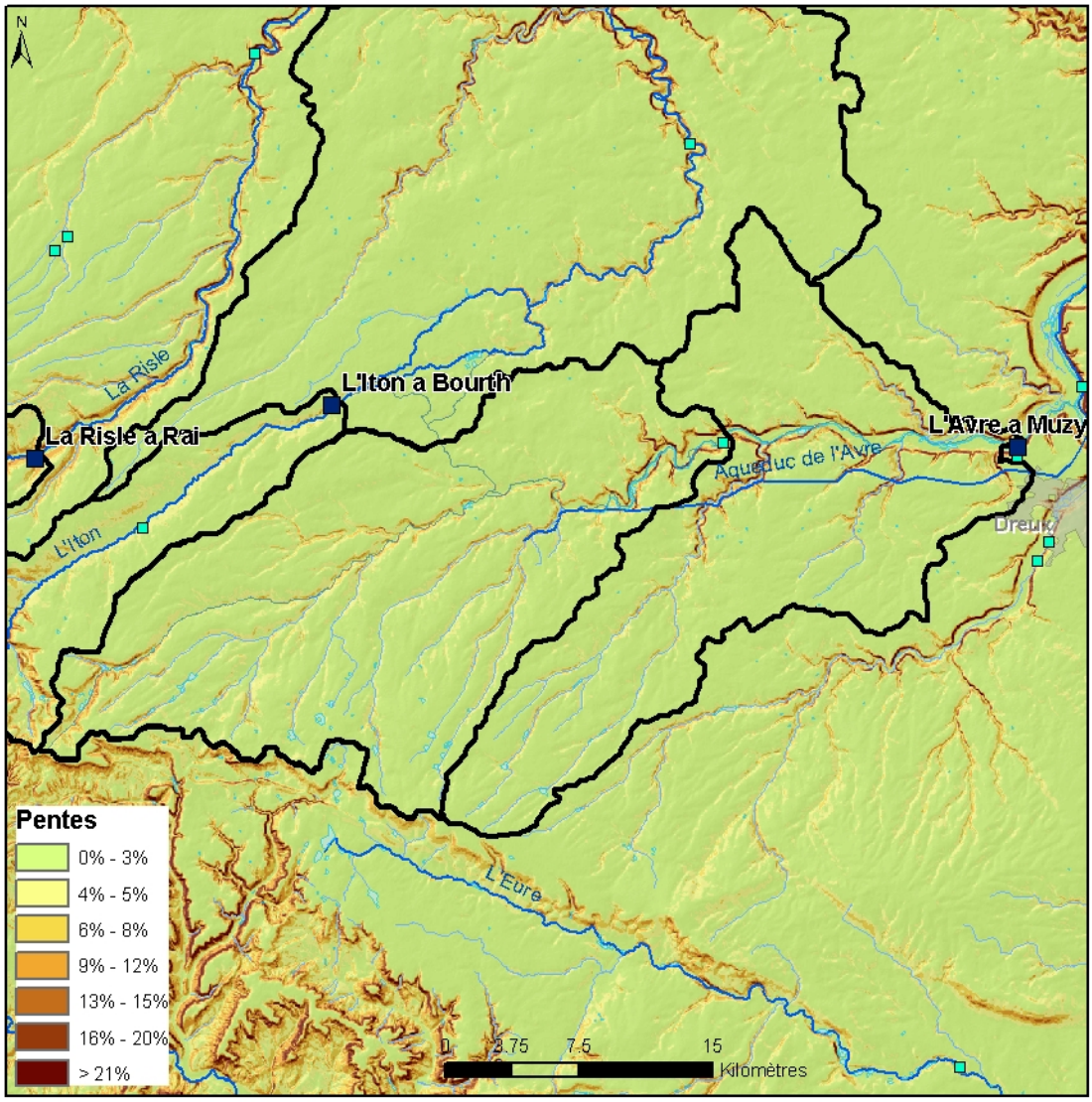


Illustration 294 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Avre (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

La consultation des données de Corinne Land Cover nous donne l'occupation du sol suivante :

- à 35% par des prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbacée ;
- à 62% par des zones agricoles hétérogènes ;
- à 3% par des zones urbanisées industrialisées.

Ce bassin versant est très peu urbanisé, en dehors de la ville de Verneuil/Avre.

Les prélèvements pour l'irrigation s'élèvent à environ 700 000 m^3 par an, (d'après des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (880 km^2), ils correspondent à une lame d'eau inférieure à 1 mm.

Les prélèvements pour l'eau potable s'élèvent à environ 36 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 14,8 mm. Les prélèvements pour l'industrie ont été estimés à environ 730 000 m^3, soit une lame d'eau moyenne annuelle inférieure à 1 mm.

Il n'a pas été identifié de prélèvements pour l'irrigation et pour l'eau potable dans ce bassin versant (d'après les données non géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie).

7.3.2. Climatologie

Le bassin versant de l'Avre reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 675 mm environ (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance), moyenne inférieure à celle des autres bassins versants de la Haute-Normandie.

Les données de quatre stations météorologiques ont été utilisées pour la modélisation, trois pour leur chronique de pluie, une pour sa chronique d'évapotranspiration.

- Bu-Man (type 4, station créée en décembre 1971). Cette station est située en dehors du bassin versant, à 13 km à l'Est de la station hydrométrique de l'Avre à Muzy. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne proche de celle du bassin versant.
- Marcilly-la-Cam (type 4, station créée en novembre 1970). La station est située, en dehors du bassin, à 2 km de sa limite Nord. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne équivalente à celle du bassin.
- Marville-Man (type 4, station créée en janvier 1975). Localisée en dehors du bassin versant, cette station est à 12 km au Sud de la station hydrométrique de l'Avre à Muzy. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne légèrement inférieure à celle du bassin versant.
- Evreux-Huest (station située à Huest, de type 0, créée en 1968) qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman. Cette station est située en dehors du bassin versant, à 32 km au Nord de la station hydrométrique de l'Avre à Muzy.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des trois chroniques de pluie ci-dessus. La formule obtenue est la suivante :

$$Op_Avre=0.58*P_BUMAN+0.33*P_MARCILLY+0.09*P_MARVILLE$$

7.3.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

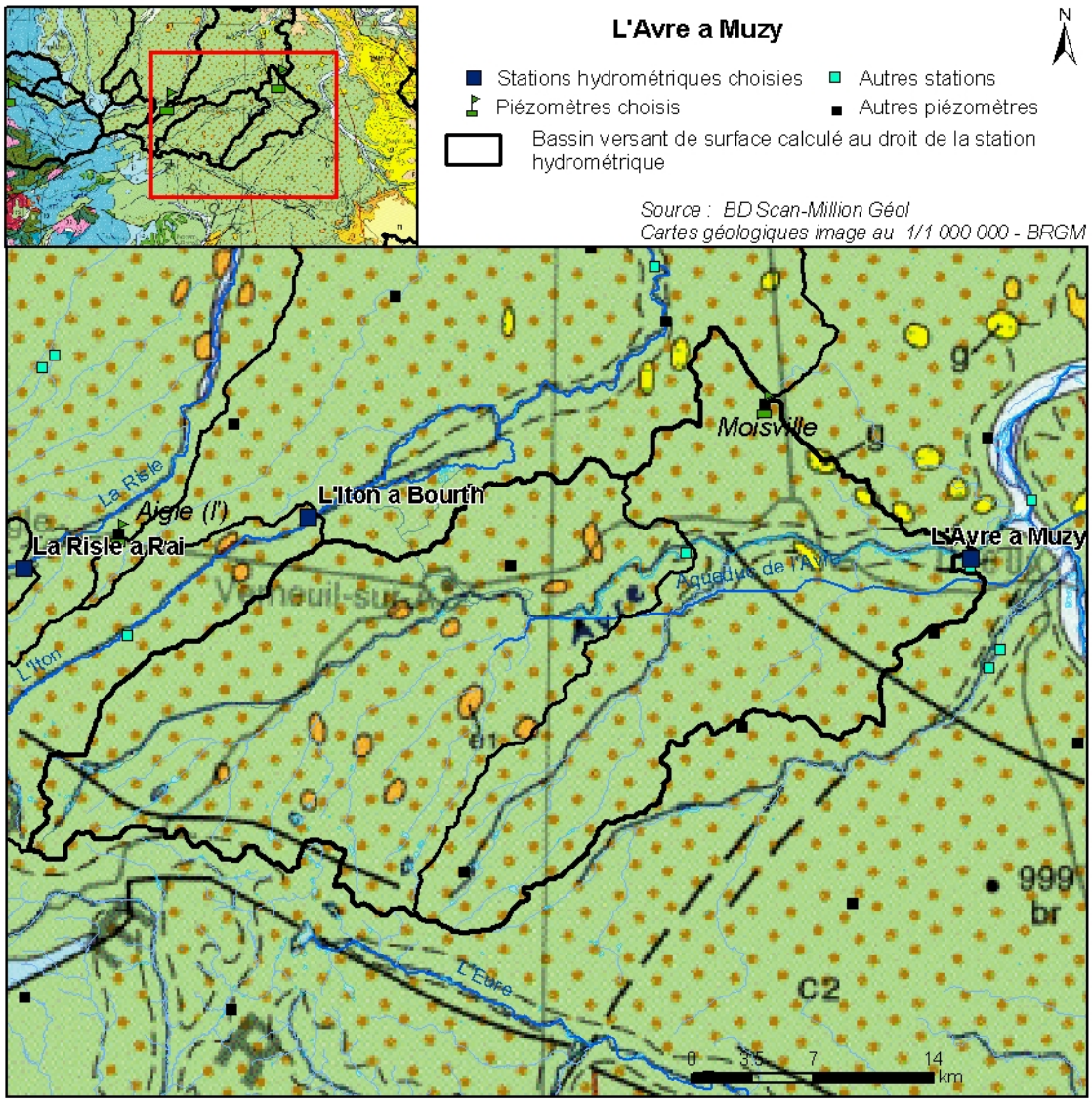


Illustration 295 : Carte géologique du bassin versant de l'Avre

Les principales formations géologiques rencontrées à l'affleurement dans le bassin versant sont des plus récentes aux plus anciennes :

- les limons indifférenciés couvrant les sommets des plateaux ;
- les Argiles à Silex provenant de l'altération de la craie sous-jacente. Ils affleurent en tête des vallons secs du bassin versant ainsi que sur les différents versants ;

- un substratum composé de craies à silex (Crétacé supérieur). Pour différentes raisons géologiques (tectoniques, variations climatiques...), la craie a été affectée par de nombreux accidents (failles, fissures...) et soumise à des altérations dont l'un des résultats est le développement de réseaux karstiques. En Haute-Normandie, la craie est ainsi un milieu mixte : poreux, fissuré et « karstique ».

En amont de Verneuil-sur-Avre, la nappe de la craie est drainée par un réseau karstique et non pas par le cours d'eau : l'Avre est ainsi en position perchée avec la présence de très nombreuses bétoires.

b) Piézométrie

Le piézomètre de Moisville (Craie) dont la chronique, représentée sur l'Illustration 296, a débuté le 26/01/1982. Jusqu'au 1993, la chronique présente un enregistrement bimestriel. Depuis, l'enregistrement est quotidien et se poursuit actuellement.

La chronique présente neuf interruptions de plus de 70 jours dont deux de plus de 90 jours : du 25/11/1987 au 15/01/1990, du 14/01/1995 au 12/04/1995 et du 22/07/2000 au 09/07/2001.

Le piézomètre de Moisville capte la Craie altérée de Neubourg, qui est entre 8 m (en Hautes Eaux) et 16 m de profondeur (en Basses Eaux). Son comportement est mixte : cycle annuel à pluriannuel. Les battements annuels de la nappe sont faibles (1,3 m/an)

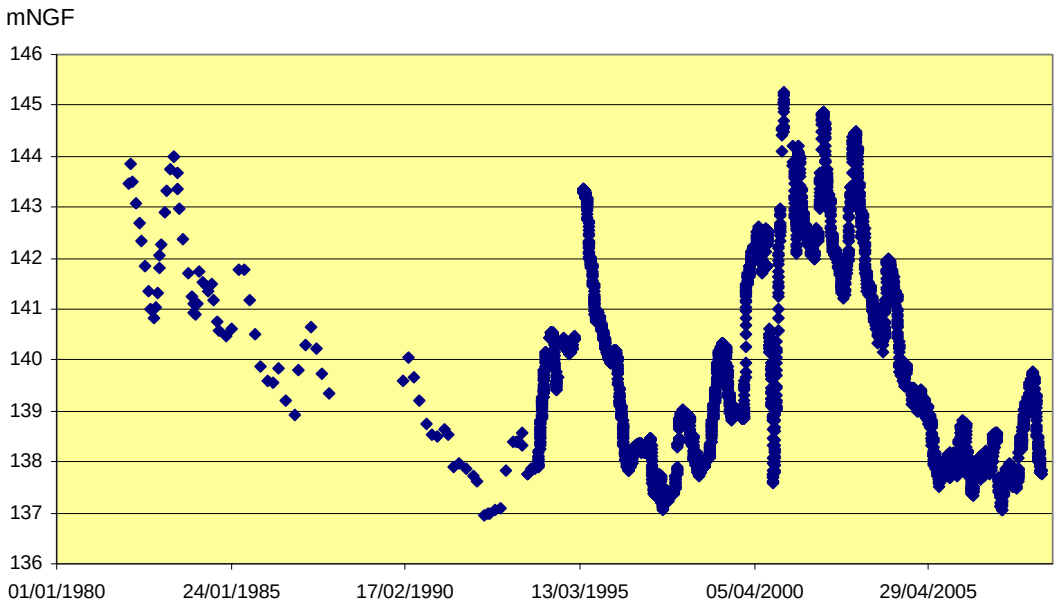


Illustration 296 : Chronique piézométrique Moisville (indice national : 01805X0036/S1)

7.3.4. Hydrologie

L'Avre s'écoule selon un axe W–E. Son débit est connu au travers de la station hydrométrique de l'Avre à Muzy (code HYDRO : H9222010). La chronique de débit journalier qui a débuté le 18/05/1971 a connu trois interruptions sur les périodes suivantes : du 28/10/1986 au 26/11/1986, du 01/01/1989 au 25/01/1989 et du 02/11/1994 au 31/12/1994

Les basses eaux sont rencontrées en aout-septembre et les hautes eaux février. La lame d'eau moyenne annuelle est de 124 mm, ce qui correspond à une valeur très inférieure à la moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie. Les pertes, via les bétoires expliquent ce déficit en eau dans le cours d'eau. Le bassin versant souterrain n'est ici pas du tout conforme au bassin versant topographique.

Le QMNA5 est de 1,3 m^3/s pour le bassin versant de l'Avre, dont la surface est de 880 km^2.

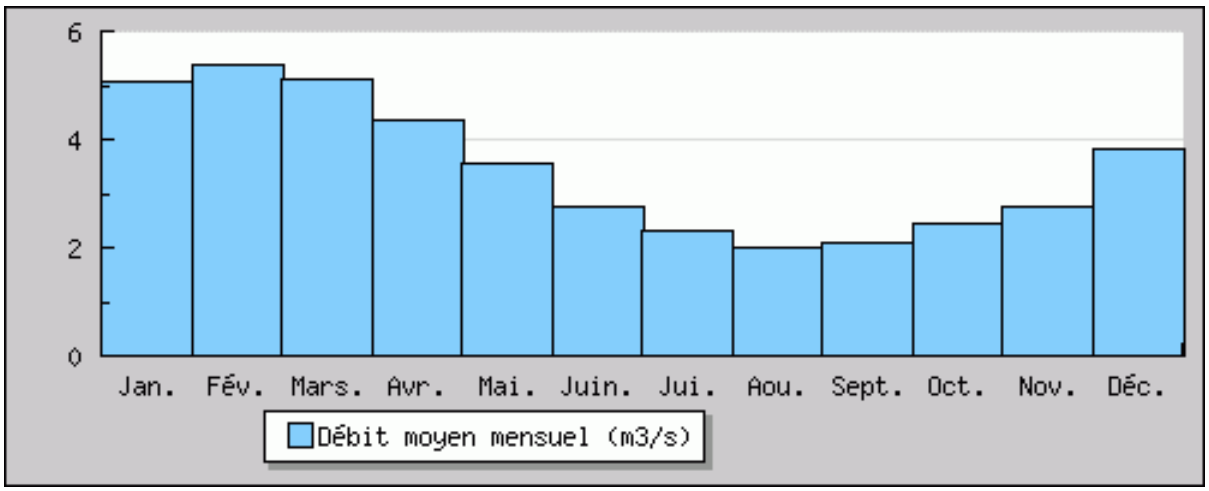


Illustration 297 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de lAvre à Muzy (source : Banque HYDRO)

7.3.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de l'Avre a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- Pluie : pluie optimale (Op_Avre=58%* Bu-Man+33%*Marcilly+9%*Marville) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique d'Evreux-Huest ;
- Piézomètre : piézomètre de Moisville.

Pour la modélisation du piézomètre, les mêmes données météorologiques ont été utilisées.

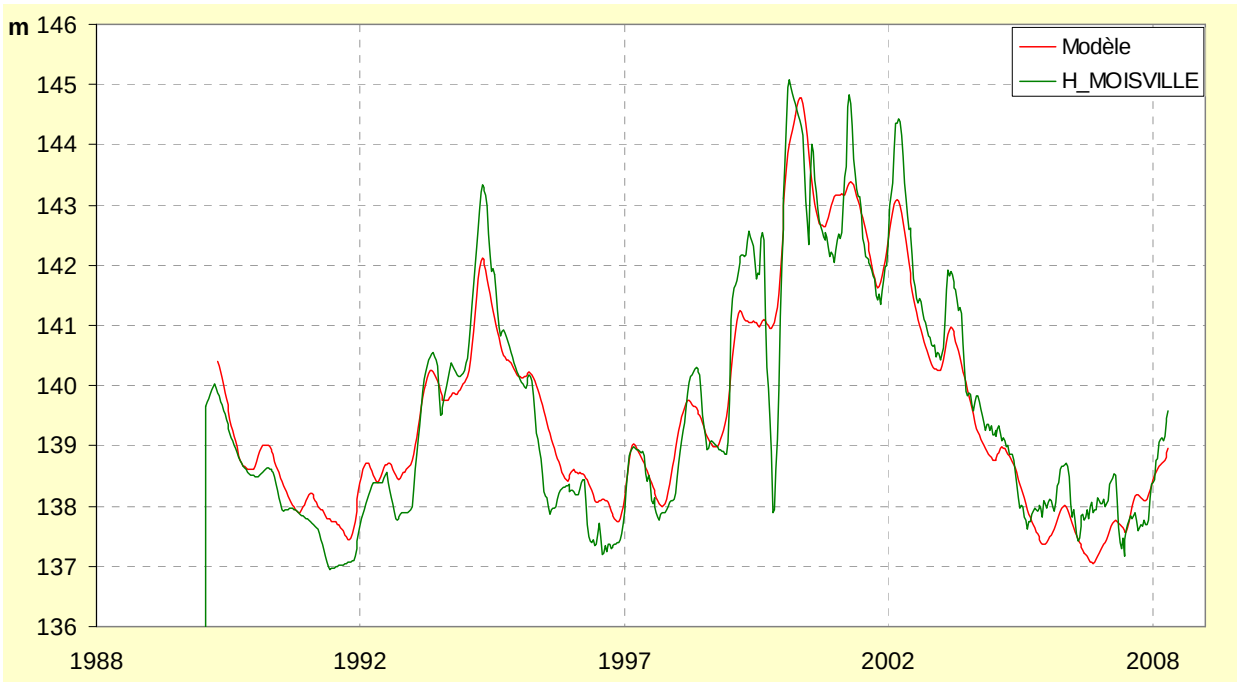


Illustration 298 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Moisville

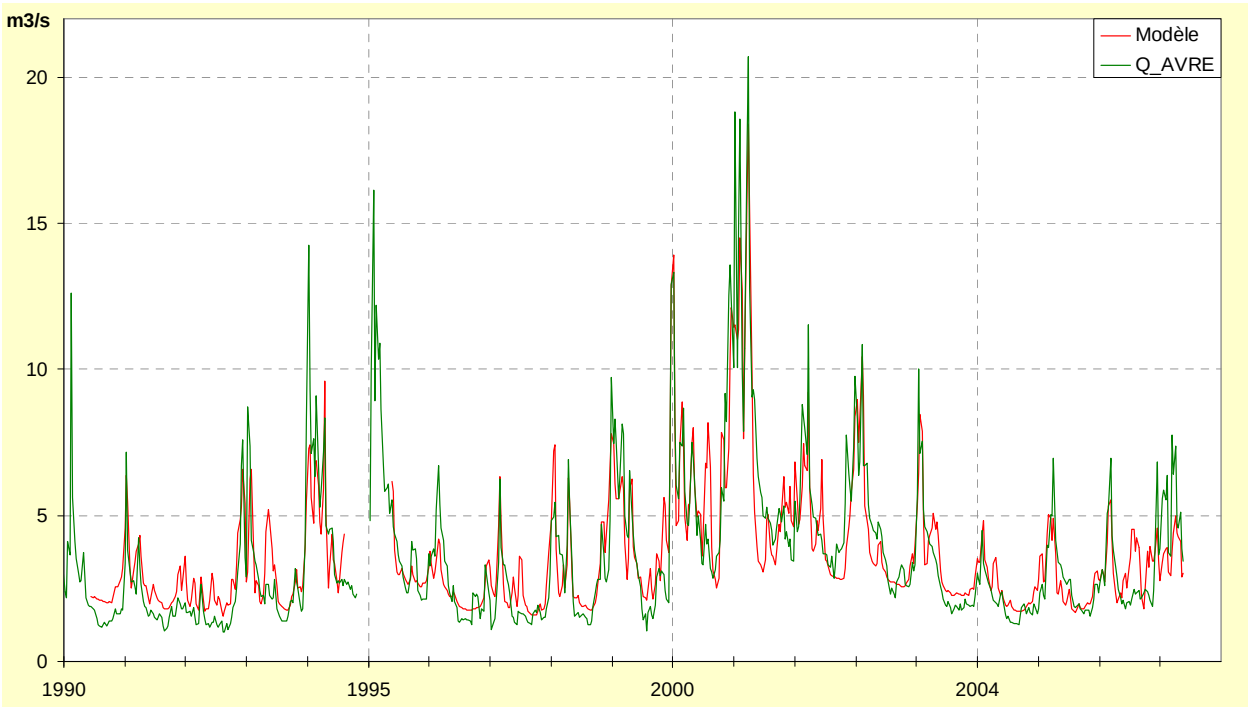


Illustration 299 : Modélisation du débit de l'Avre à la station de Muzy

La modélisation du piézomètre a été réalisée sur la période 16/04/1990 – 21/04/2008 (Illustration 298). Une composante rapide de 200 jours et une composante lente de

1 700 jours ont été intégrées pour réaliser cette modélisation. La modélisation obtenue est satisfaisante avec un coefficient de Nash de 0,91 sauf en 2000 où le pic correspond probablement à une dérive du capteur.

La modélisation du débit de l'Avre à Muzy a été réalisée sur la période 15/06/1990 – 21/05/2008 (Illustration 299). La modélisation surestime les débits d'étiage (coefficient de Nash : 0,79). Le piézomètre de Moisville est bien représentatif (la composante intermédiaire est quasi-nulle).

L'Illustration 301 présente la décomposition des débits moyens mensuels de l'Avre modélisés à la station de Muzy. Cette modélisation confirme le fort soutien du débit par la nappe tout au long de l'année.

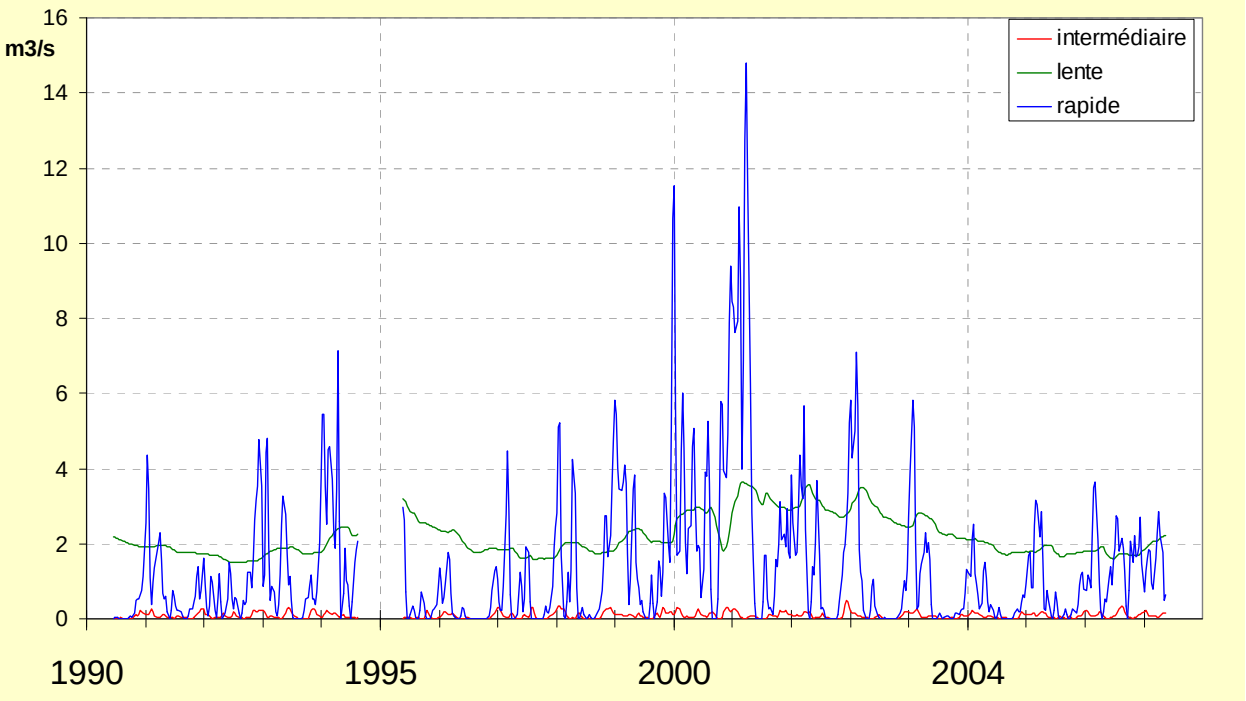


Illustration 300 : Composantes du débit de l'Avre modélisé à la station de Muzy

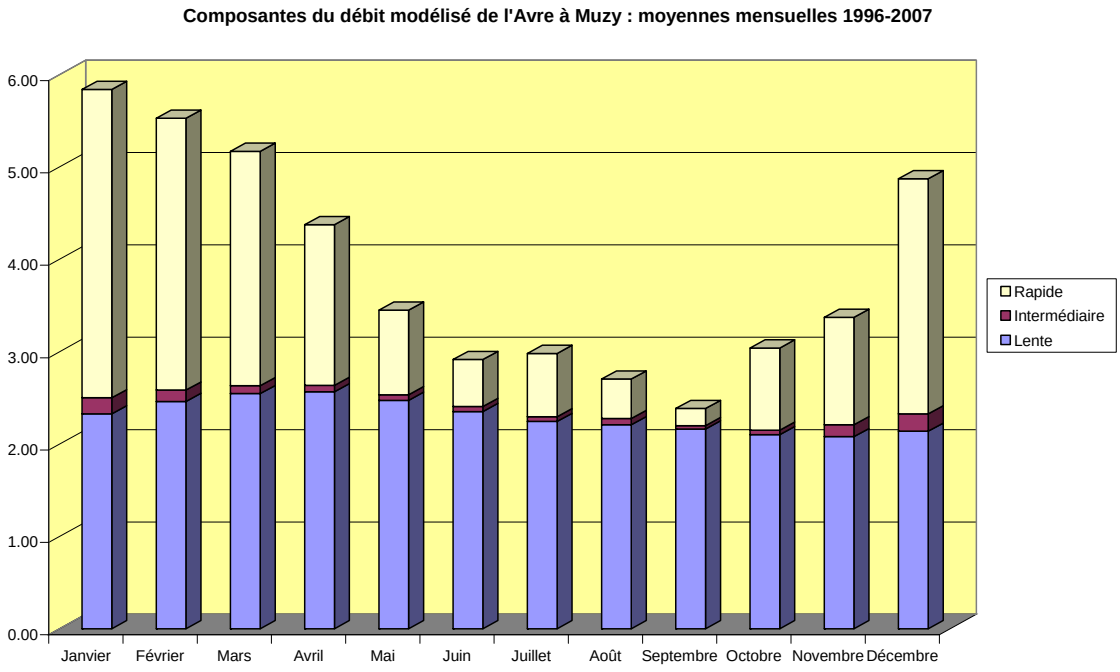


Illustration 301 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Avre modélisé à la station de Muzy

7.4. BASSIN VERSANT DE L'AUSTREBERTHE

L'Austreberthe prend sa source un peu au Nord du village de Sainte-Austreberthe pour se jeter en rive droite de la Seine à Duclair. Le bassin versant de l'Austreberthe à la station de Saint-Paër s'étend sur une surface de 157 km² (source : banque HYDRO).

7.4.1. Caractéristiques du bassin versant

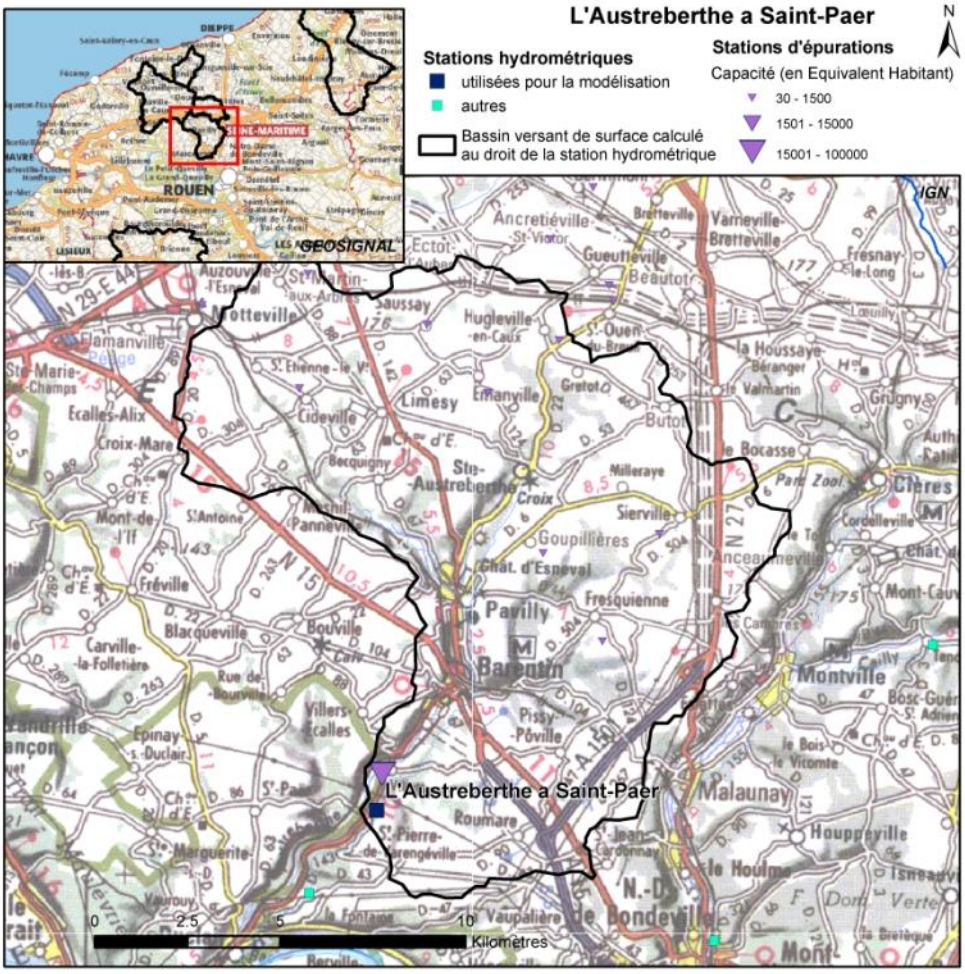


Illustration 302 : Localisation du bassin versant de l'Austreberthe (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude du bassin versant de l'Austreberthe s'échelonne de 181 à 15 m NGF avec une altitude moyenne de 137 m. Les terrains les plus élevés sont occupent les parties Nord et Est du bassin.

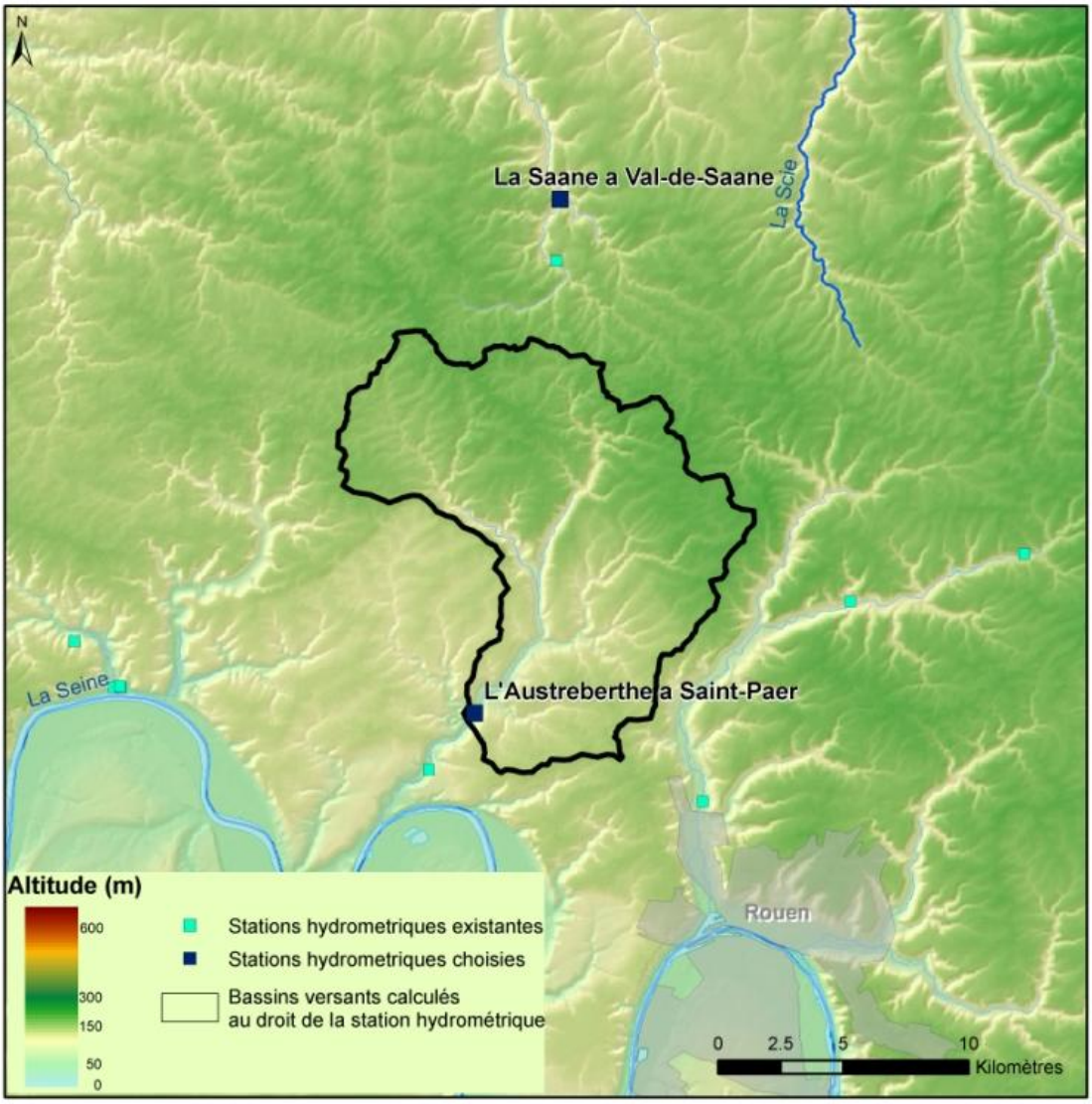


Illustration 303 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de l'Austreberthe (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant de l'Austreberthe est 5% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), avec une pente maximale de 59,4%. Les pentes supérieures à 5% occupent près de 26% du bassin versant. La vallée de l'Austreberthe est plutôt encaissée.

L'IDPR est très faible sur ce bassin (113), l'infiltration est très majoritaire par rapport au ruissellement superficiel.

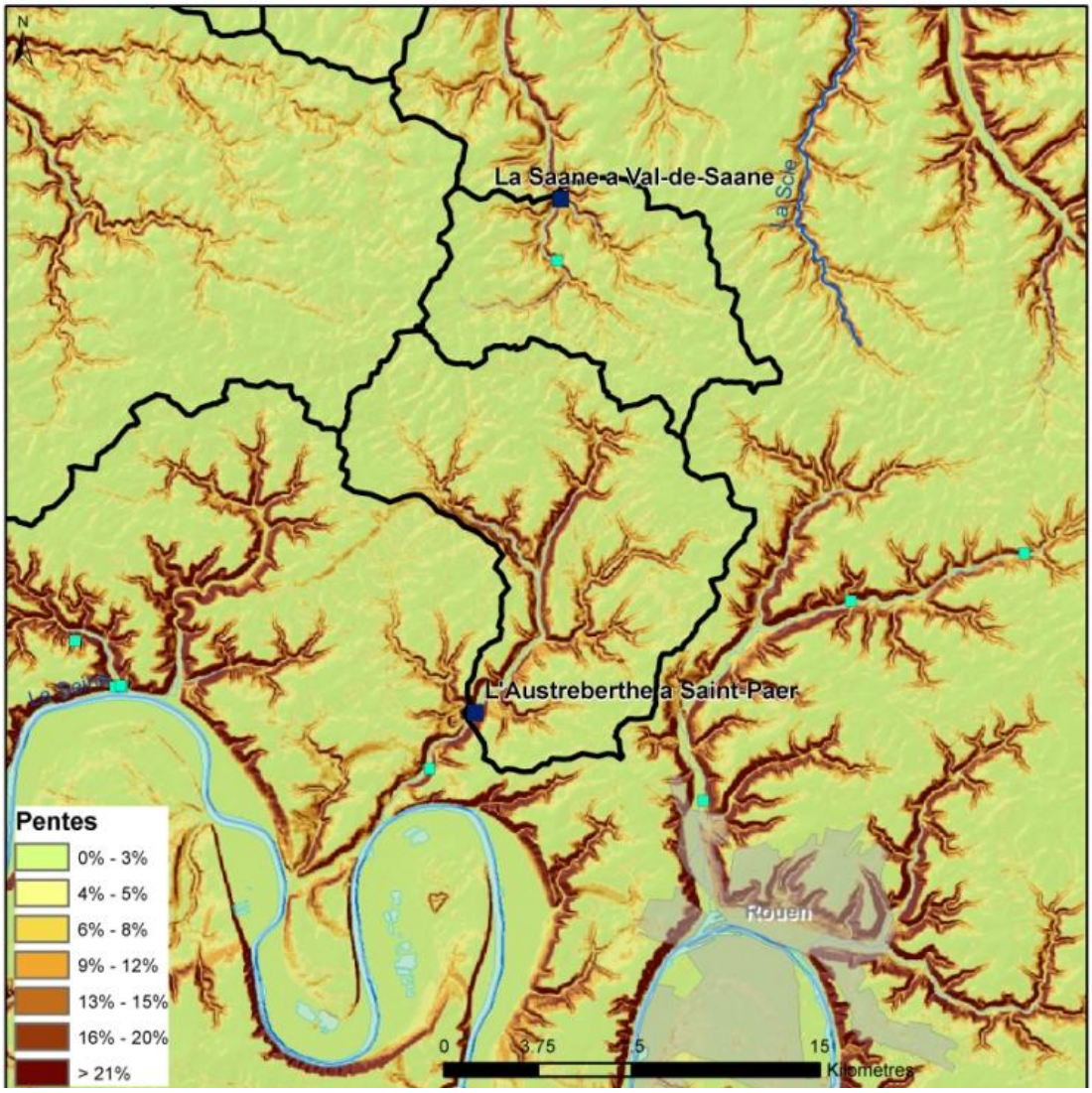


Illustration 304 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Austreberthe (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

La consultation des données de Corinne Land Cover nous donne l'occupation du sol suivante :

- à 30% par des prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbacée ;
- à 64% par des zones agricoles hétérogènes ;
- à 6% par des zones urbanisées industrialisées.

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 22. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par

l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ils sont en nette diminution depuis 2002. Ramenés à la surface du bassin versant (157 km²), ils correspondent à une lame d'eau inférieure à 0,02 mm.

Année	Prel_Irrigation
1995	2851
1996	2851
1997	2653
1998	2924
1999	2142
2000	3790
2001	3790
2002	882
2003	735
2004	781
2005	533
2006	413

Tableau 22 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de l'Austreberthe

Les prélèvements pour l'eau potable s'élèvent à environ 3 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 18 mm. Les prélèvements pour l'industrie ont été estimés à 370.000 m^3, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 2,4 mm.

7.4.2. Climatologie

Le bassin versant de l'Austreberthe reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 954 mm environ (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Ce qui correspond à une pluviométrie bien supérieure à la moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de deux stations météorologiques ont été utilisées pour la modélisation, une pour sa chronique de pluie, une pour sa chronique d'évapotranspiration.

- Auzebosc (type 4, station créée en octobre 1967). La station est localisée en dehors du bassin versant, à 8 km de la limite Nord-Ouest du bassin versant. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne équivalente à celle du bassin versant.
- Abbeville (station située à Abbeville, de type 0, créée en 1921) qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman. Cette station est en dehors du bassin versant, à environ 88 km du centre du bassin versant.

7.4.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

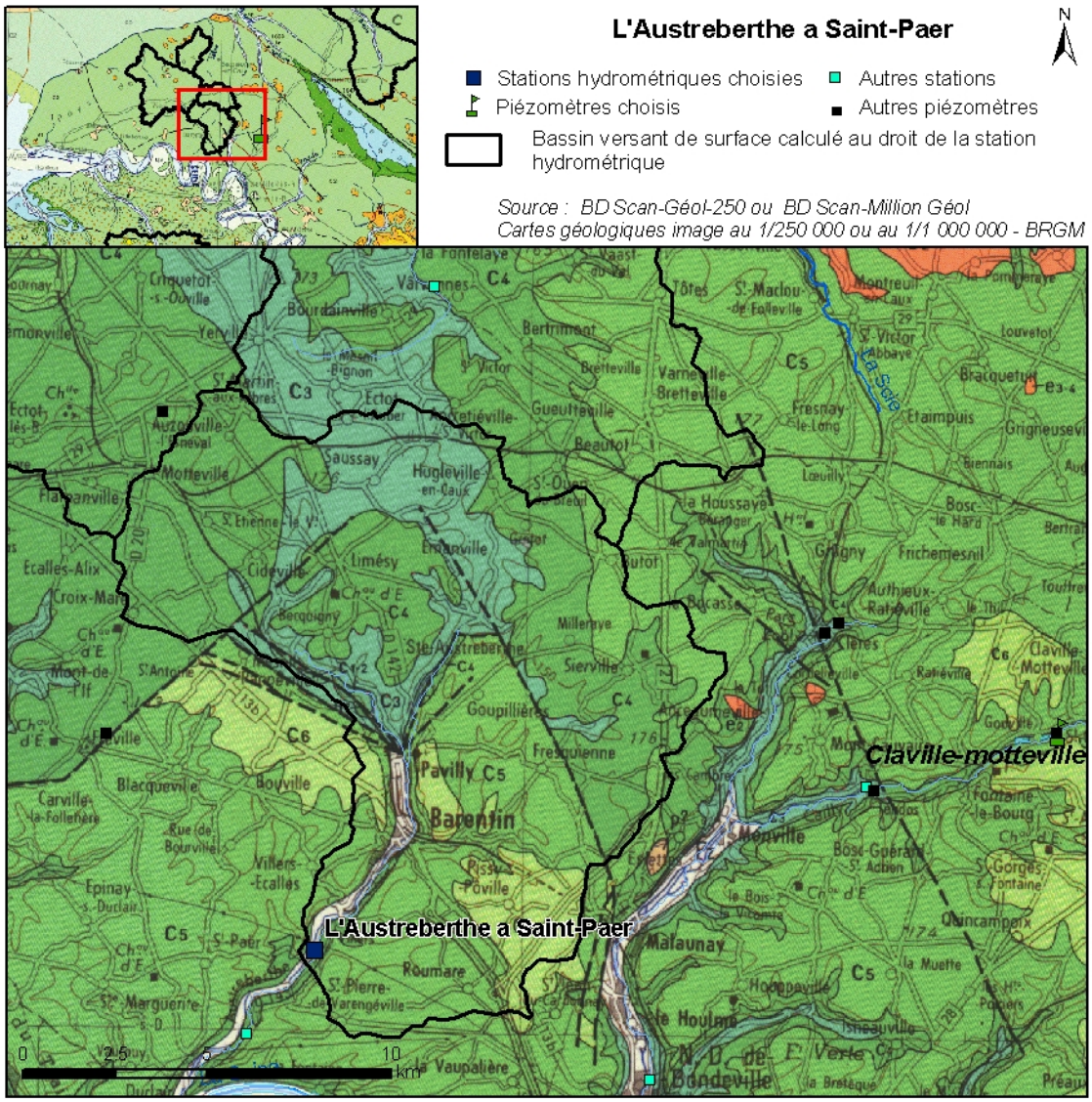


Illustration 305 : Carte géologique du bassin versant de l'Austreberthe

Le sous-sol du bassin versant de l'Austreberthe est composé d'une superposition de plusieurs formations, avec du sommet vers la base :

- les limons indifférenciés couvrant les sommets des plateaux ;
- les Argiles à Silex provenant de l'altération de la craie sous-jacente. Ils affleurent en tête des vallons secs du bassin versant ainsi que sur les différents versants ;

- un substratum composé de craies (de la craie blanche du Santonien à la craie grise glauconieuse à silex du Cénomanien). Pour différentes raisons géologiques (tectoniques, variations climatiques...), la craie a été affectée par de nombreux accidents (failles, fissures...) et soumise à des altérations dont l'un des résultats est le développement de réseaux karstiques. En Haute-Normandie, la craie est ainsi un milieu mixte : poreux, fissuré et « karstique ». Des résurgences karstiques sont ainsi observées dans le fond de vallée.

D'un point de vue structural, la partie amont du bassin versant de l'Austreberthe est traversé par un système complexe de failles et de flexures prolongeant la faille de la Seine (Illustration 305) : une faille reliant Sainte-Austreberthe et Pavilly (de direction varisque) recoupe la haute vallée de l'Austreberthe et présente un rejet de 70 m.

L'Austreberthe et son affluent principal le Saffimbec drainent la nappe et sont très fortement alimentés par les écoulements souterrains, plus particulièrement en période d'étiage.

b) Piézométrie

Le piézomètre de Blacqueville a été sélectionné dans un premier temps pour la modélisation du débit de l'Autreberthe à la station de Saint-Paër, cependant les différents tests de calage n'étant pas satisfaisants, des modélisations de deux autres piézomètres captant la nappe de la craie (Claville-Motteville et Motteville) ont été testées, c'est le piézomètre de Claville-Motteville, situé en dehors du bassin versant, qui est le plus représentatif.

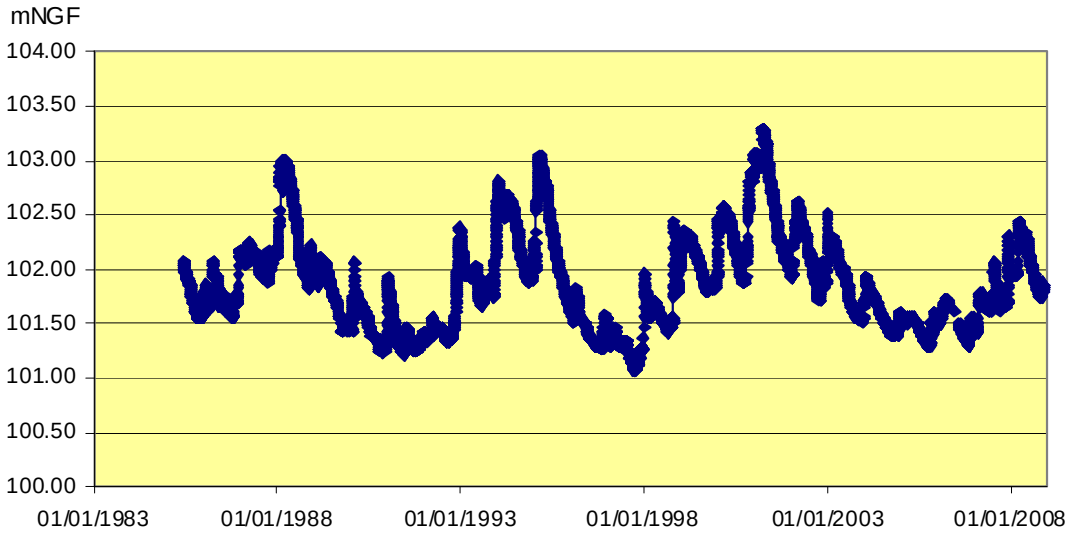


Illustration 306 : Chronique piézométrique Claville-Motteville (indice national : 00776X0096/S1)

Le piézomètre de Claville-Motteville (Craie) dont la chronique, représentée sur l'Illustration 306, a débuté le 14/06/1985. La fréquence de l'enregistrement est variable. L'enregistrement peut être mensuel ou quotidien.

La chronique présente trois interruptions de plus de 60 jours : du 16/01/1991 au 04/04/1991, du 26/10/1991 au 07/01/1992 et du 12/05/2005 au 27/05/2005.

La chronique présente des fluctuations saisonnières individualisées ainsi que des fluctuations interannuelles.

7.4.4. Hydrologie

L'Austreberthe s'écoule selon un axe NNE – SSW. Son débit est connu au travers de la station hydrométrique de l'Austreberthe à Saint- Paër (code HYDRO : H9923020). La chronique de débit journalier a débuté le 28/02/1997.

Les basses eaux sont rencontrées en septembre-octobre et les hautes eaux mars. La lame d'eau moyenne annuelle est de 370 mm, ce qui correspond à une valeur supérieure à la moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie. Le débit journalier maximal connu est de 11,2 m^3/s et le minimum est de 1,1 m^3/s. L'Illustration 307 montre le débit moyen mensuel (source : banque HYDRO) et met en évidence un soutien très fort du cours d'eau par la nappe en période d'étiage et une faible fluctuation saisonnière du débit. Les flux de la nappe vers la rivière sont très prépondérants.

Le QMNA5 est de 1,2 m^3/s pour le bassin versant de l'Austreberthe, dont la surface est de 157 km^2.

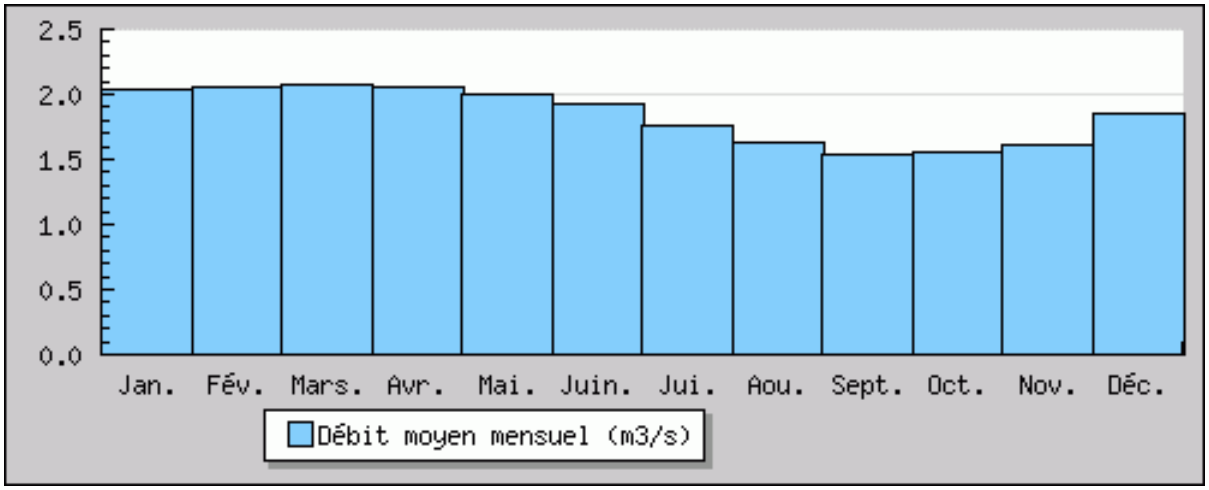


Illustration 307 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de l'Austreberthe à Saint-Paër (source : Banque HYDRO)

7.4.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de l'Austreberthe a été effectuée au pas décadaire en utilisant les signaux suivants :

- Pluie : données décadaires de la station météorologique d'Auzebosc ;

- ETP : données décadaires de la station météorologique d'Abbeville ;
- Piézomètre : piézomètre de Claville.

Pour la modélisation du piézomètre, les mêmes données météorologiques ont été utilisées.

La modélisation du piézomètre a été réalisée sur la période 19/02/1993 – 20/07/2008 (Illustration 308). Une composante lente de 960 jours a été intégrée pour réaliser cette modélisation. La modélisation obtenue est satisfaisante avec un coefficient de Nash de 0,78.

La modélisation du débit de l'Austreberthe à Saint-Paër a été réalisée sur la période 27/08/1997 – 30/06/2008 (Illustration 309). La modélisation est satisfaisante (coefficient de Nash : 0,87) et met en évidence le rôle prépondérant des eaux souterraines sur ce bassin versant (Illustration 310). La part du ruissellement est très faible (7%). Globalement sur la modélisation, plus de 90% du débit est issu du drainage de la nappe (courbe verte).

L'Illustration 311 présente la décomposition des débits moyens mensuels modélisés. Cette décomposition confirme le très fort soutien du débit par la nappe tout au long de l'année et l'existence d'un ruissellement faible.

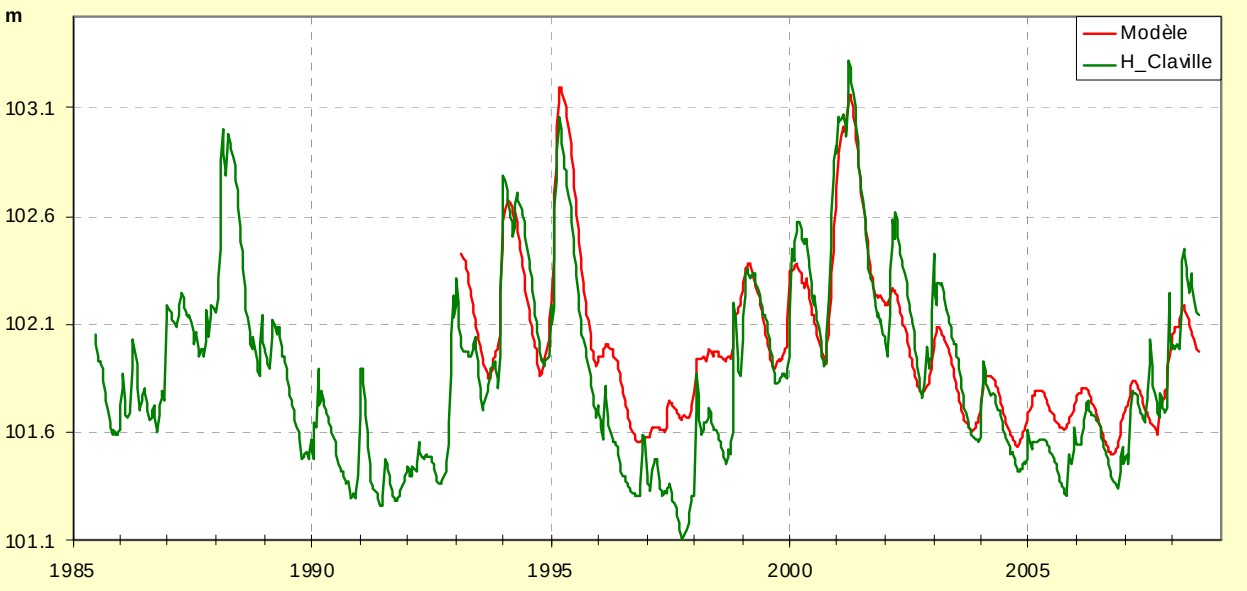


Illustration 308 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Claville-Motteville

Illustration 309 : Modélisation du débit de l'Austreberthe à la station de Saint-Paër

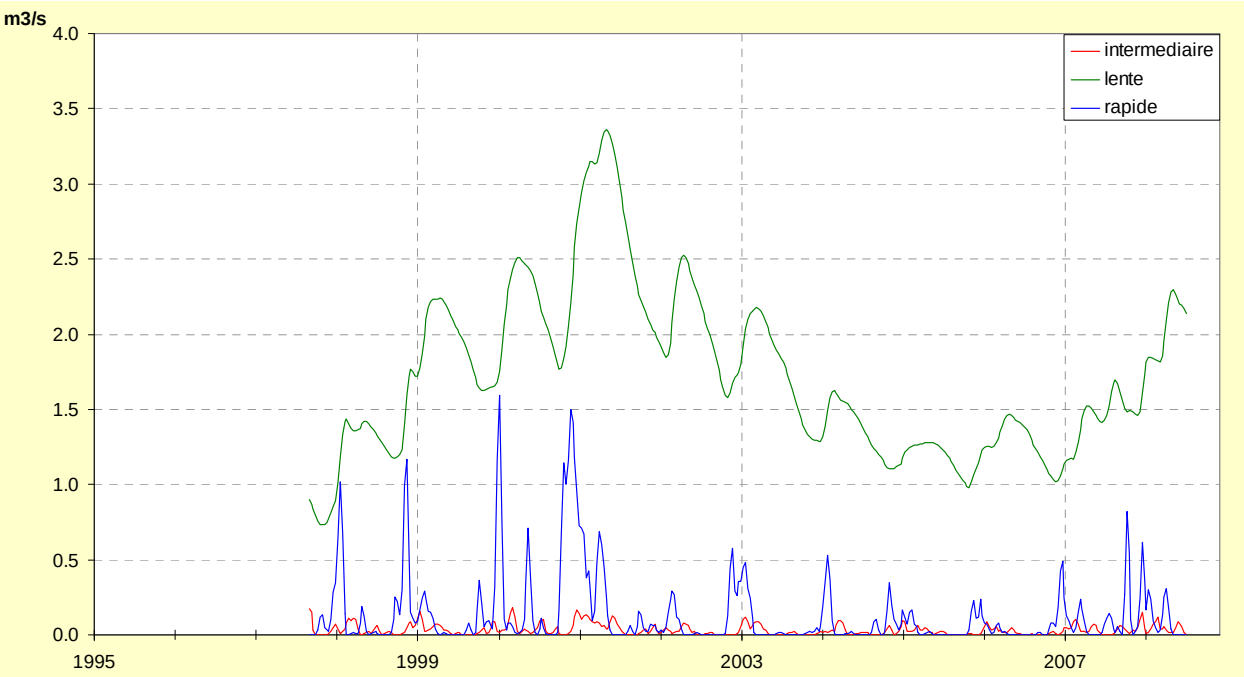


Illustration 310 : Composantes du débit de l'Austreberthe modélisé à la station de Saint-Paër

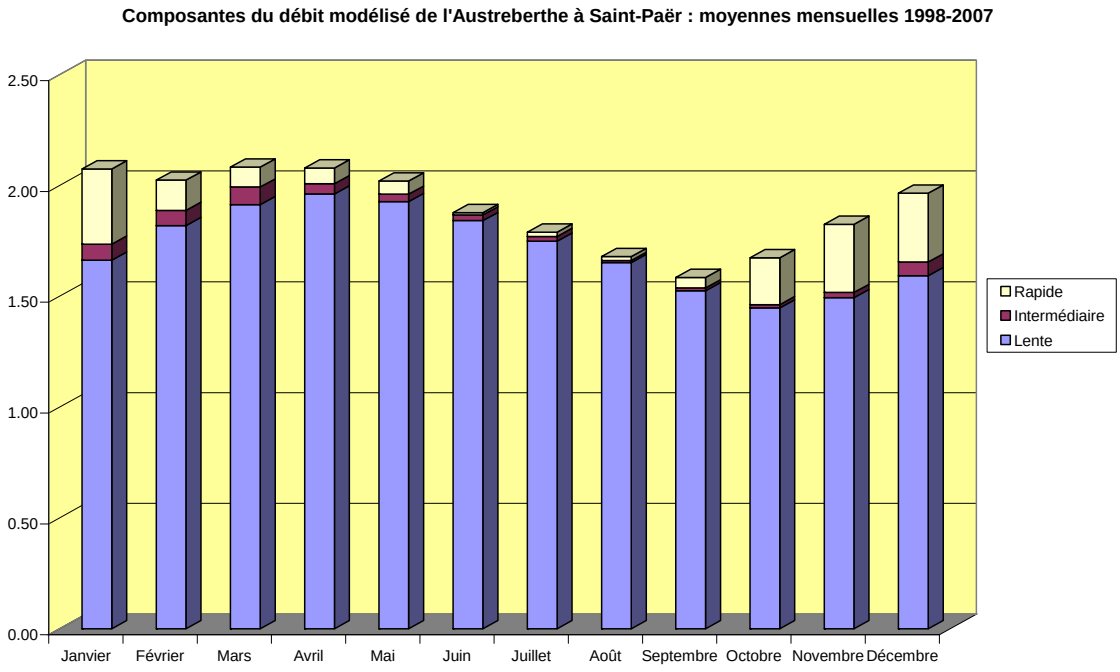


Illustration 311 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Austreberthe modélisé à la station de Saint-Paër

7.5. BASSIN VERSANT DE LA SAANE

7.5.1. Caractéristiques du bassin versant

La Saâne prend sa source dans le Pays de Caux, sur le territoire de l'ensemble de villages du Val-de-Saâne et se jette dans la Manche entre Quiberville et Sainte-Marguerite-sur-Mer à l'ouest de Varengeville-sur-Mer. Le bassin versant de la Saâne à la station de Val-de-Saâne couvre une superficie de 50,7 km² (source : banque HYDRO).

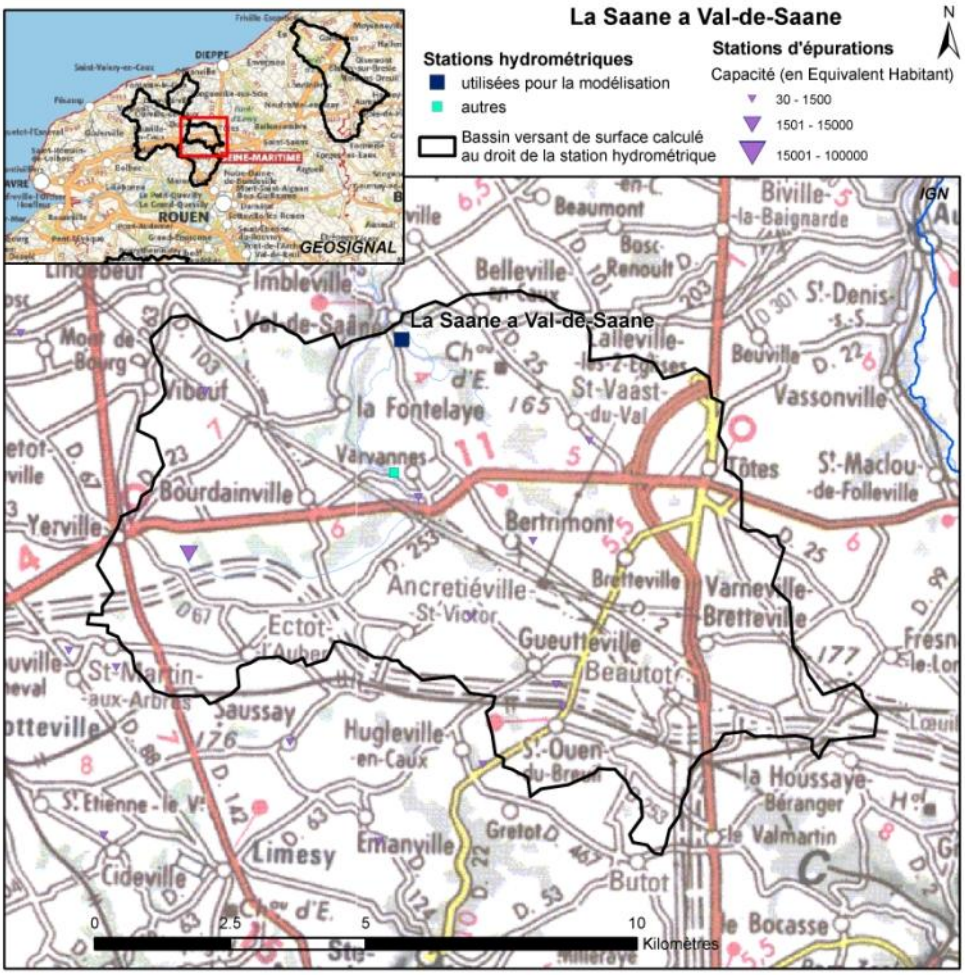


Illustration 312 : Localisation du bassin versant de la Saâne (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude du bassin versant de la Saâne s'échelonne de 181 à 88 m NGF avec une altitude moyenne de 153,7 m.

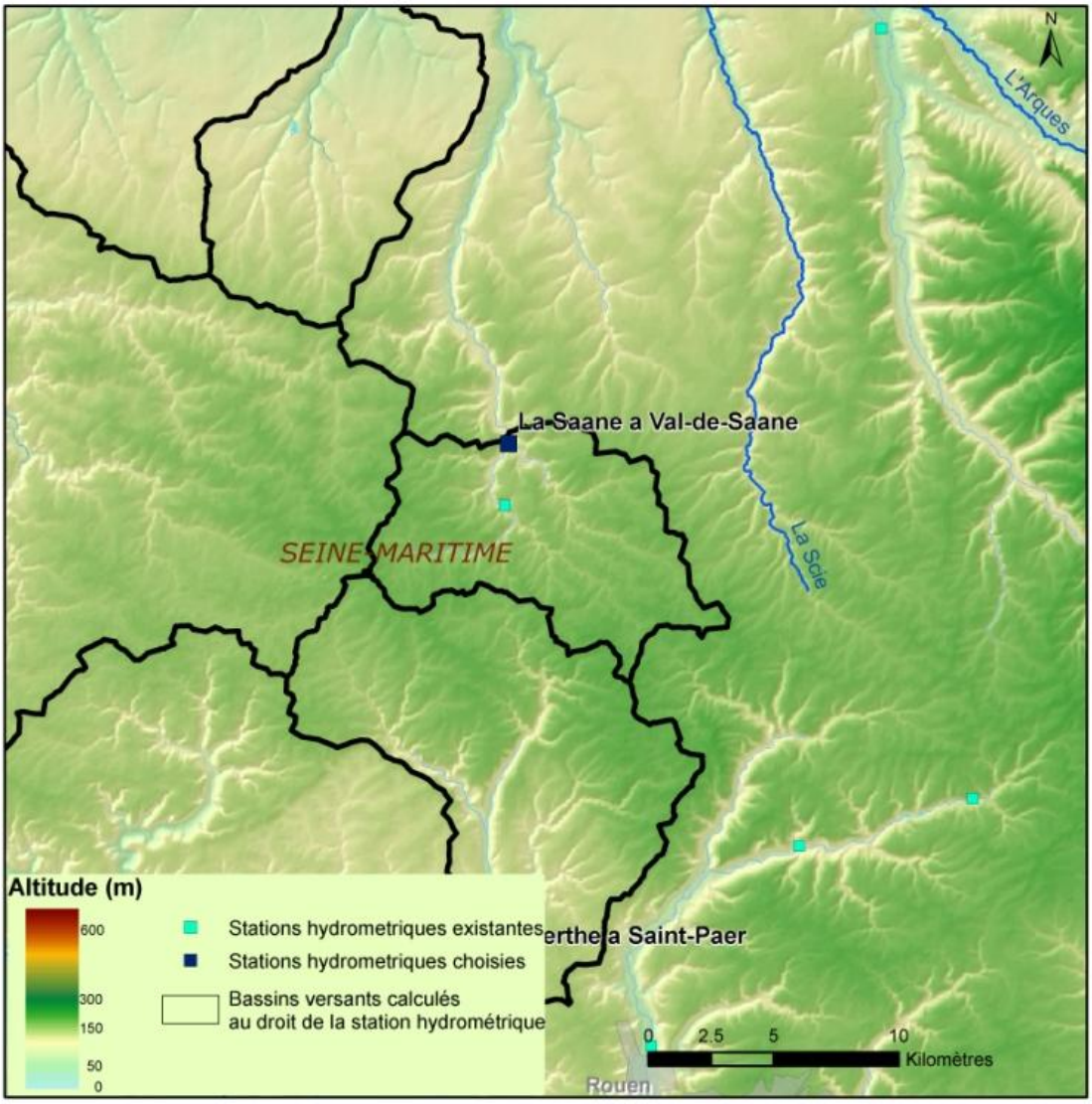


Illustration 313 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de la Saâne (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant de la Sâane est 3,5% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), avec une pente maximale de 30,4%. Les pentes supérieures à 5% occupent près de 19% du bassin versant.

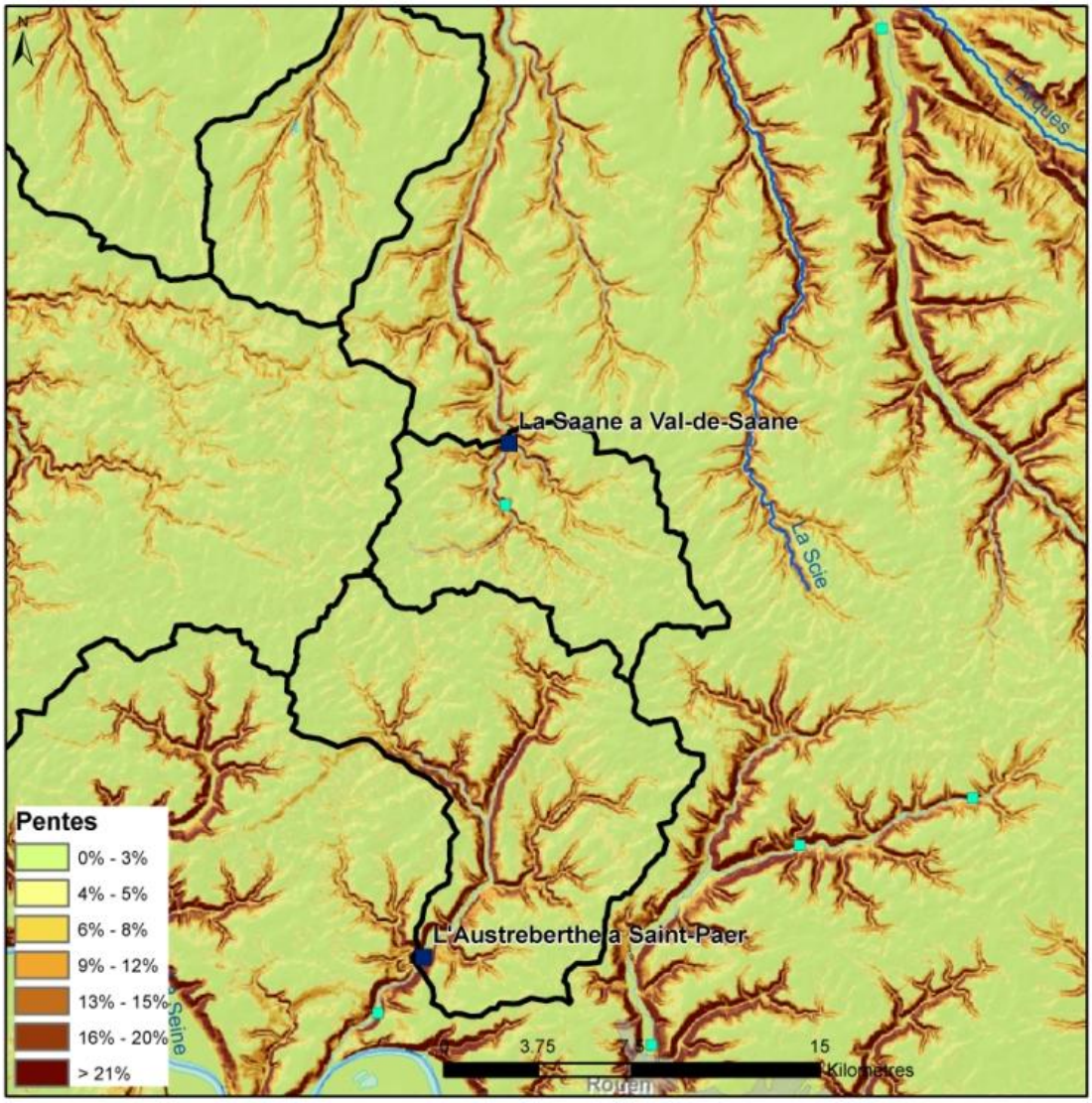


Illustration 314 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Saâne (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

La consultation des données de Corinne Land Cover nous donne l'occupation du sol suivante :

- à 23% par des prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbacée ;
- à 74% par des zones agricoles hétérogènes ;
- à 3% par des zones urbanisées industrialisées.

Il s'agit donc d'un bassin versant majoritairement agricole.

Il n'a pas été identifié de prélèvements pour l'irrigation dans ce bassin versant (d'après les données non géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie).

Les prélèvements pour l'eau potable s'élèvent à environ 1,4 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 27,6 mm.

7.5.2. Climatologie

Le bassin versant de la Saâne reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 995 mm environ (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Cela correspond à une pluviométrie très supérieure à la moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de quatre stations météorologiques ont été utilisées pour la modélisation, trois pour leur chronique de pluie, une pour sa chronique d'évapotranspiration.

- Auzebosc (type 4, station créée en octobre 1967). Cette station est située en dehors du bassin versant, à 19 km au Sud-Ouest de la station hydrométrique de la Saâne à Val-de-Saâne. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne légèrement inférieure à celle du bassin versant.
- Forges (type 4, station créée en janvier 1866). La station de Forges se trouve à l'extérieur du bassin à environ 40 km au Sud-Est du centre du bassin. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne inférieure à celle du bassin.
- Saint-Valery (type 4, station créée en aout 1970), située à 29 km au Nord-Ouest de la station hydrométrique de la Saâne à Val-de-Saâne. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne légèrement inférieure à celle du bassin versant.
- Abbeville (station située à Abbeville, de type 0, créée en 1921) qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman. La station est située à environ 80 km au Nord-Est du bassin versant.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des trois chroniques de pluie ci-dessus. La formule obtenue est la suivante :

Opt_SAANE=0.15*P_AUZEBOSC+0.33*P_FORGES+0.52*P_STVALERY

7.5.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

Les principales formations géologiques rencontrées à l'affleurement dans le bassin versant sont des plus récentes aux plus anciennes :

- les limons indifférenciés couvrant les sommets des plateaux ;
- les Argiles à Silex provenant de l'altération de la craie sous-jacente. Ils affleurent en tête des vallons secs du bassin versant ainsi que sur les différents versants ;

- un substratum composé de craies à silex (Crétacé supérieur). Pour différentes raisons géologiques (tectoniques, variations climatiques...), la craie a été affectée par de nombreux accidents (failles, fissures...) et soumise à des altérations dont l'un des résultats est le développement de réseaux karstiques. En Haute-Normandie, la craie est ainsi un milieu mixte : poreux, fissuré et « karstique ».

Même si les circulations karstiques sont moins développées sur l'emprise de ce bassin versant que sur ceux étudiés précédemment, il faut noter quelques opérations de traçage positives à l'amont. La Saâne est en position drainante par rapport à la nappe qui contribue très majoritairement à son alimentation.

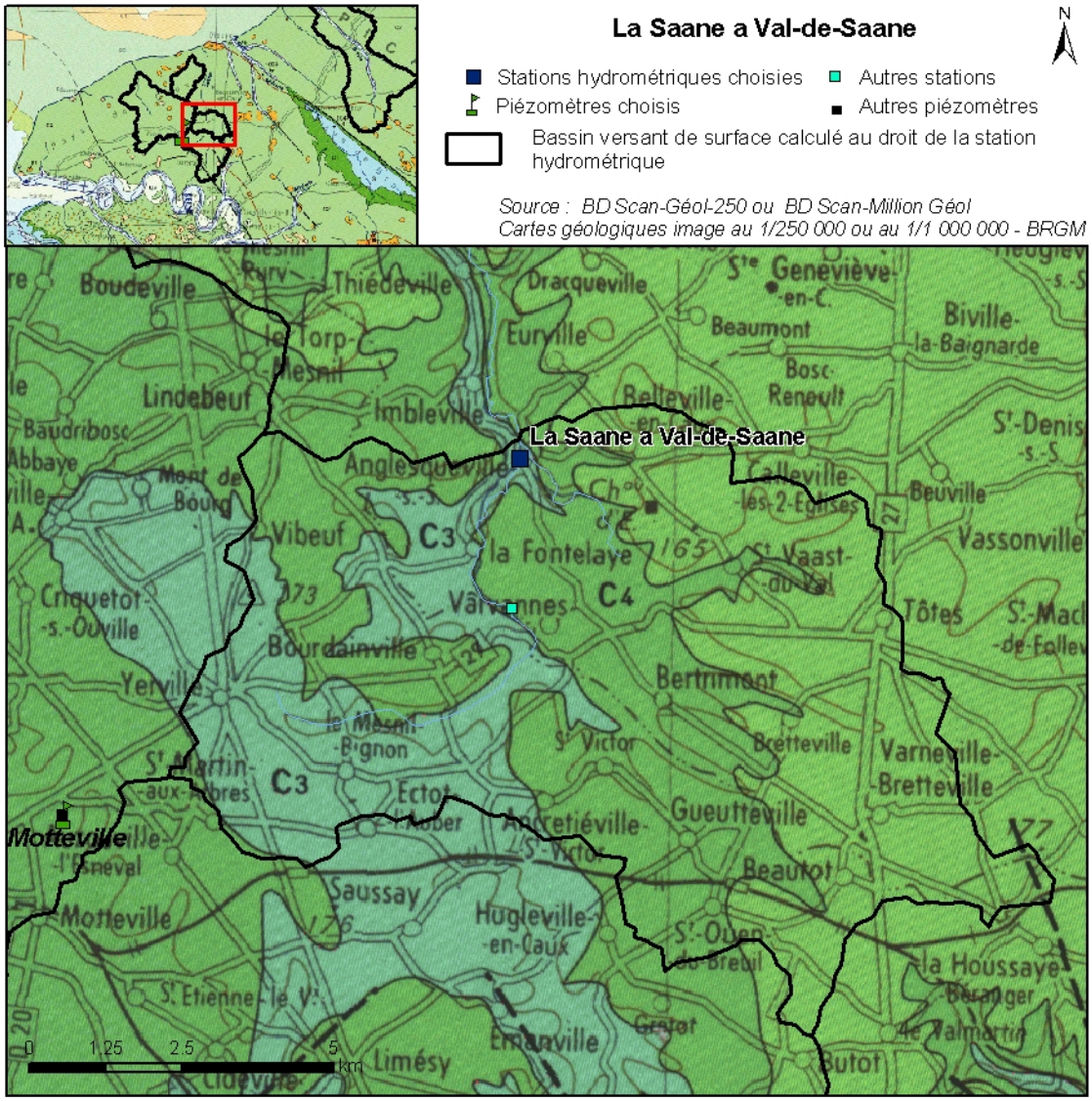


Illustration 315 : Carte géologique du bassin versant de la Saâne

b) Piézométrie

Plusieurs piézomètres (Claville-Motteville, Motteville, Colmesnille-Manneville) ont été analysés et c'est le piézomètre de Motteville, situé en dehors du bassin versant, qui a été choisi pour la modélisation du débit de la Saâne.

Le piézomètre de Motteville (Craie) dont la chronique, représentée sur l'Illustration 316, a débuté le 29/01/1968 avec un enregistrement mensuel jusqu'en 1997 et à partir de janvier 1998, on passe à un enregistrement quotidien qui se poursuit actuellement.

La chronique présente trois interruptions de plus de 100 jours : du 19/10/1971 au 21/03/1972, du 11/10/2000 au 17/10/2001 et du 26/01/2004 au 29/04/2004.

Ce piézomètre capte la nappe de la Craie altérée de l'estuaire de la Seine, le niveau d'eau observé se situe entre 24 m et 44 m de profondeur. Le système est très inertiel (cycle de 7 ans).

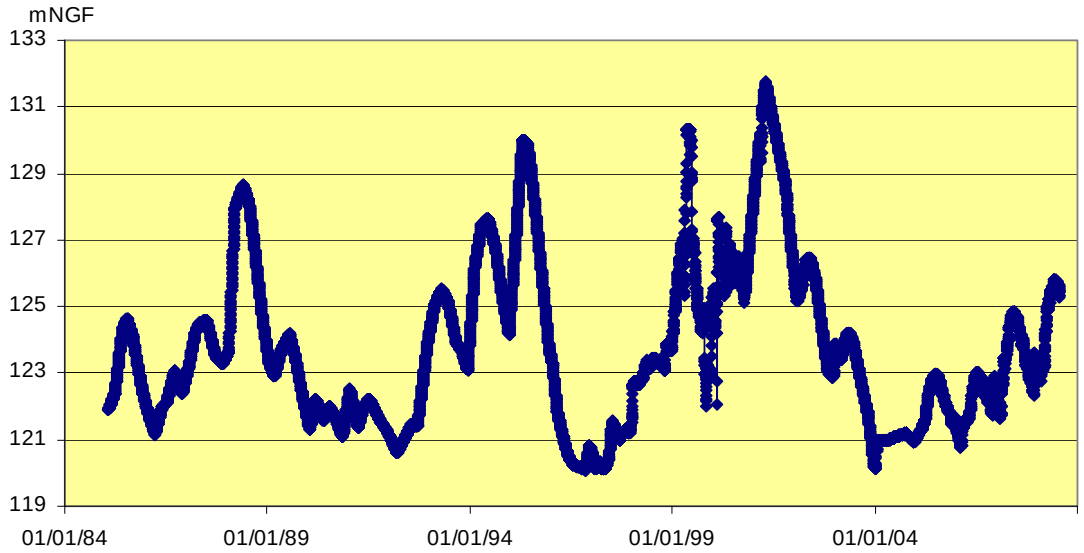


Illustration 316 : Chronique piézométrique Motteville (indice national : 00762X0004/S1)

7.5.4. Hydrologie

La Saâne s'écoule selon un axe S–N. Son débit est connu au travers de la station hydrométrique de l'Austreberthe à Val-de-Saâne (code HYDRO : G4002020). La chronique de débit journalier a débuté le 01/08/1997.

La lame d'eau moyenne annuelle est de 311 mm, pour ce bassin versant très arrosé (pluviométrie moyenne : 995 mm). Le débit journalier maximal connu est de 6,85 m^3/s et le minimum est de 0,211 m^3/s. L'Illustration 317 illustre le fait que la nappe contribue très majoritairement à l'alimentation du débit (très peu d'écart entre les périodes d'étiage et de Hautes Eaux).

Le QMNA5 est de 0,27 m^3/s pour le bassin versant de la Saâne, dont la surface est de 50,7 km^2.

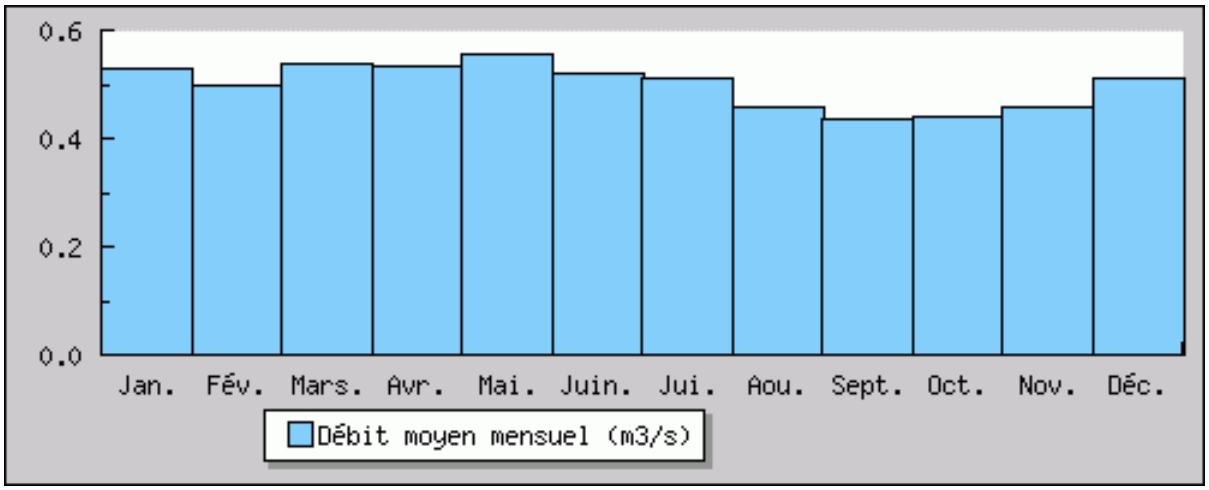


Illustration 317 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de la Saâne à Val de Saâne (source : Banque HYDRO)

7.5.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de la Saâne a été effectuée au pas décadaire en utilisant les signaux suivants :

- Pluie : pluie optimale (Opt_SAANE =15%*Auzebosc+33%*Forges+52%*StValery) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique d'Abbeville ;
- Piézomètre : piézomètre de Motteville.

Pour la modélisation du piézomètre, une pluie optimale (35%*Auzebosc+ 65%*StValery) et les données d'évapotranspiration de la station d'Abbeville ont été utilisées.

La modélisation du piézomètre a été réalisée sur la période 01/03/1989 – 21/01/2008 (Illustration 318). Une composante lente de 1007 jours a été intégrée pour réaliser cette modélisation. La modélisation obtenue est satisfaisante avec un coefficient de Nash de 0,76.

La modélisation du débit de la Saâne à Val de Saâne a été réalisée sur la période 06/08/1997 – 19/07/2008 (Illustration 319). La modélisation est satisfaisante (coefficient de Nash : 0,76).

La modélisation pluie-Niveau/débit retranscrit, via la décomposition du signal en composante lente et rapide, l'importance de la contribution des eaux souterraines au débit tout au long de l'année.

L'Illustration 321 montre la décomposition obtenue sous la forme de débits moyens mensuels. En débit moyen mensuel total, on observe une assez bonne similitude avec les débits moyens mensuels fournis par la banque HYDRO (Illustration 317).

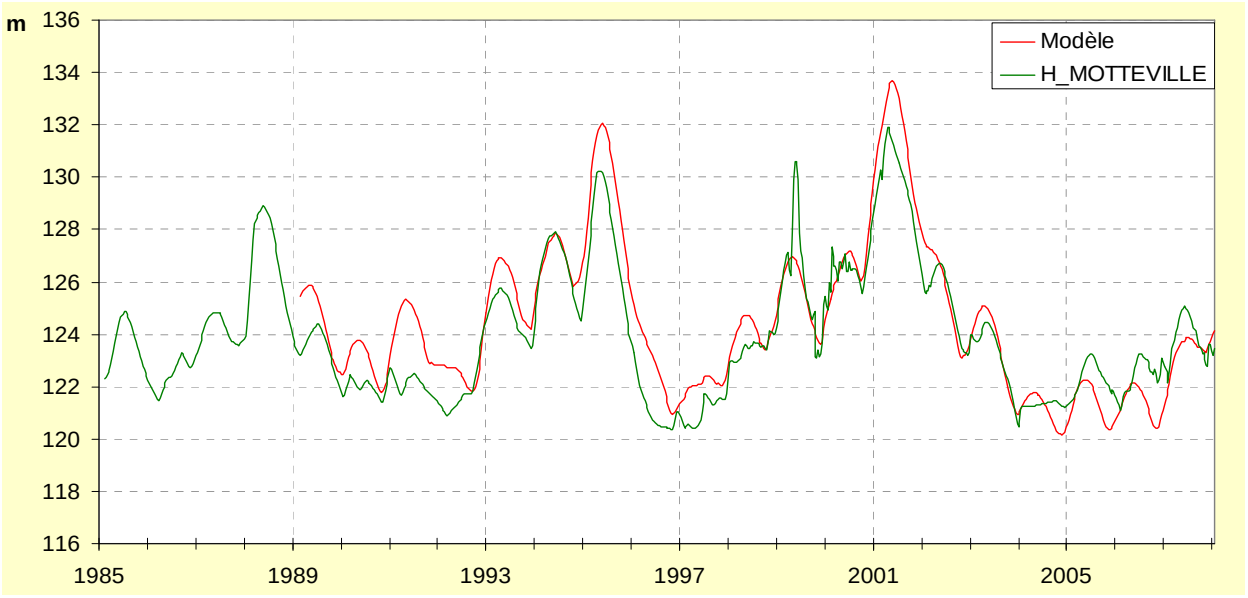


Illustration 318 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Motteville

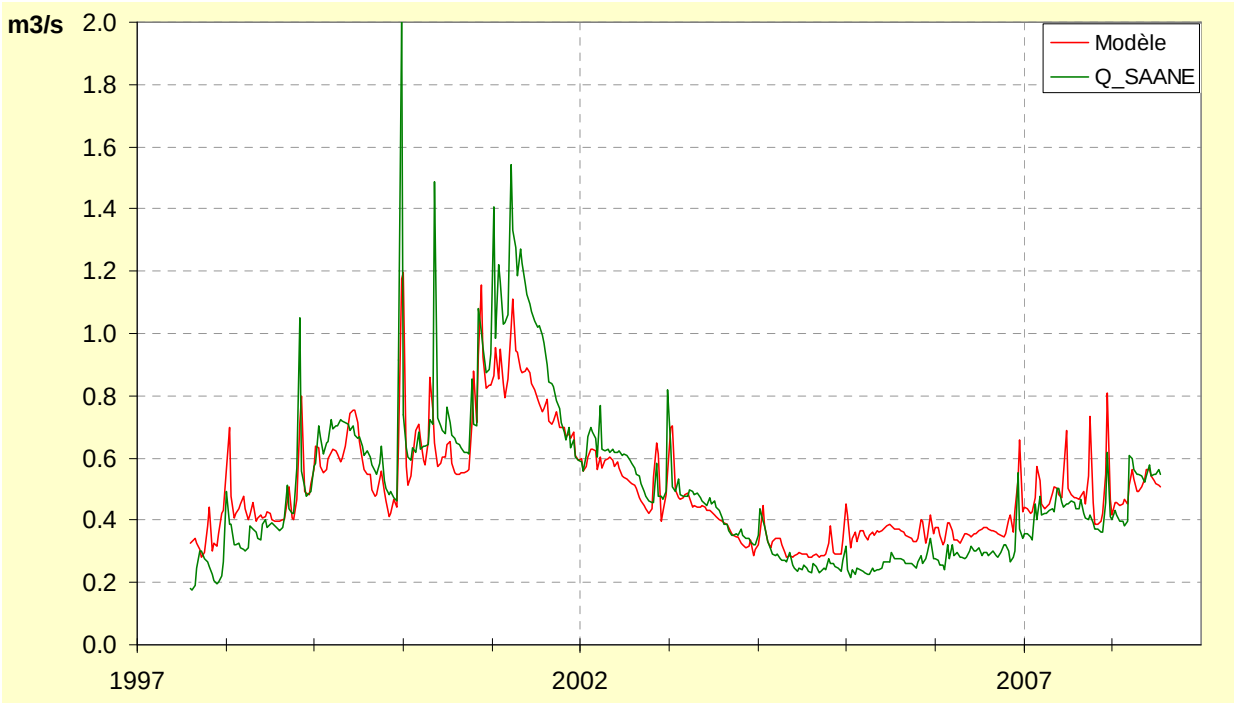


Illustration 319 : Modélisation du débit de la Saâne à la station de Val de Saâne

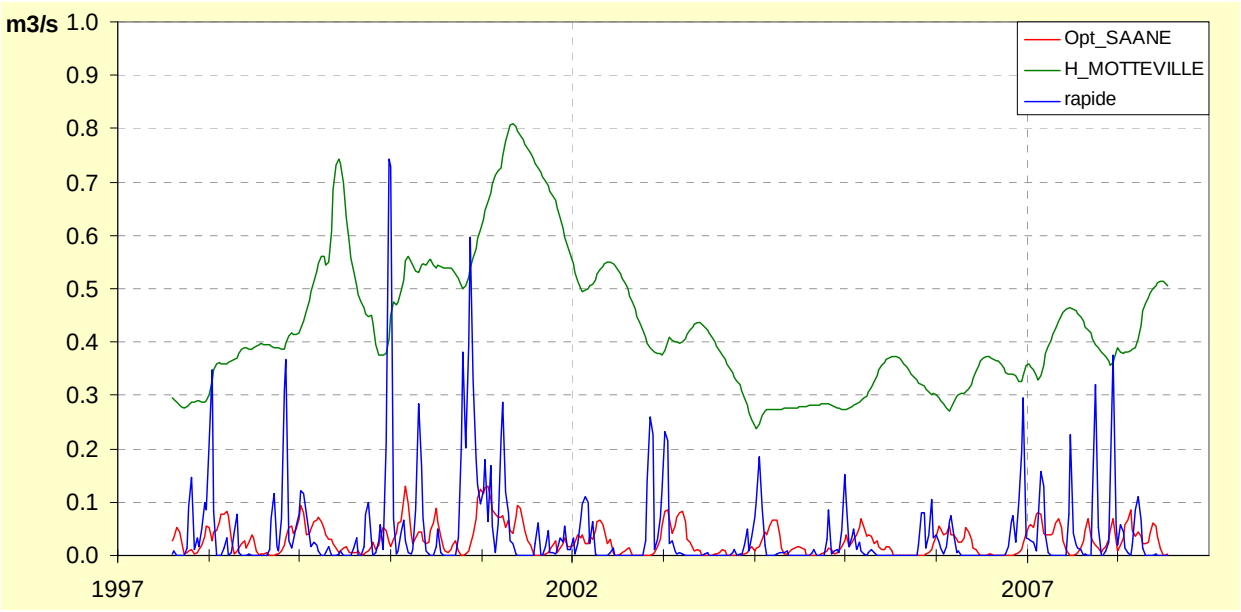


Illustration 320 : Composantes du débit de la Saâne modélisé à la station de Val de Saâne

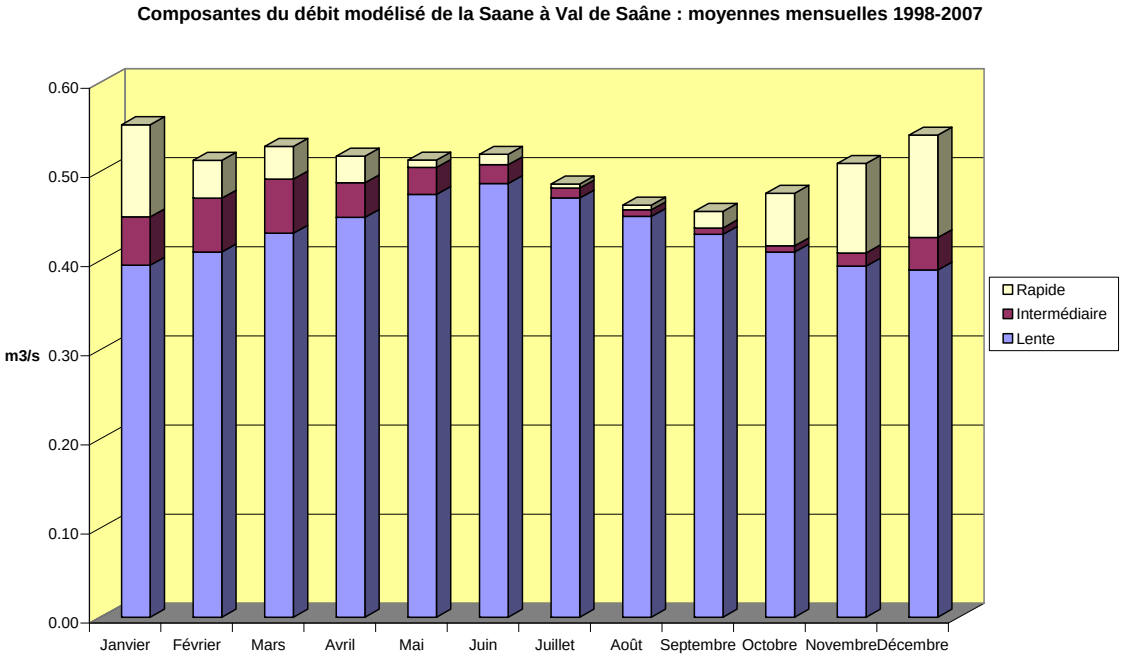


Illustration 321 : Composantes du débit moyen mensuel de la Saâne modélisé à la station de Val de Saâne

7.6. BASSIN VERSANT DU DUN

7.6.1. Caractéristiques du bassin versant

Le Dun prend sa source à Crasville-la-Rocquefort et se jette dans la Manche à Saint-Aubin-sur-Mer. Le bassin versant du Dun à la station Bourg-Dun s'étend sur une surface de 93,3 km² (source : banque HYDRO).

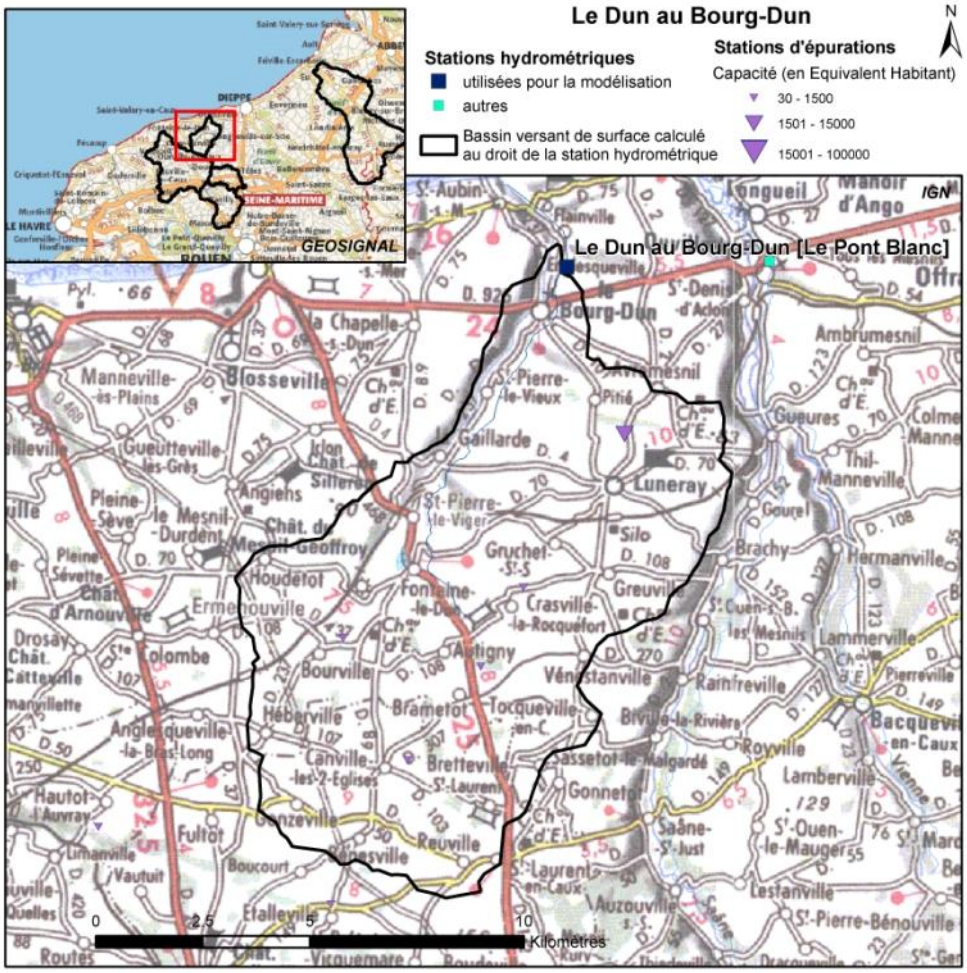


Illustration 322 : Localisation du bassin versant du Dun (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude du bassin versant du Dun s'échelonne de 151 à 8 m NGF avec une altitude moyenne de 90 m. Les terrains les plus élevés sont rencontrés au Sud du bassin.

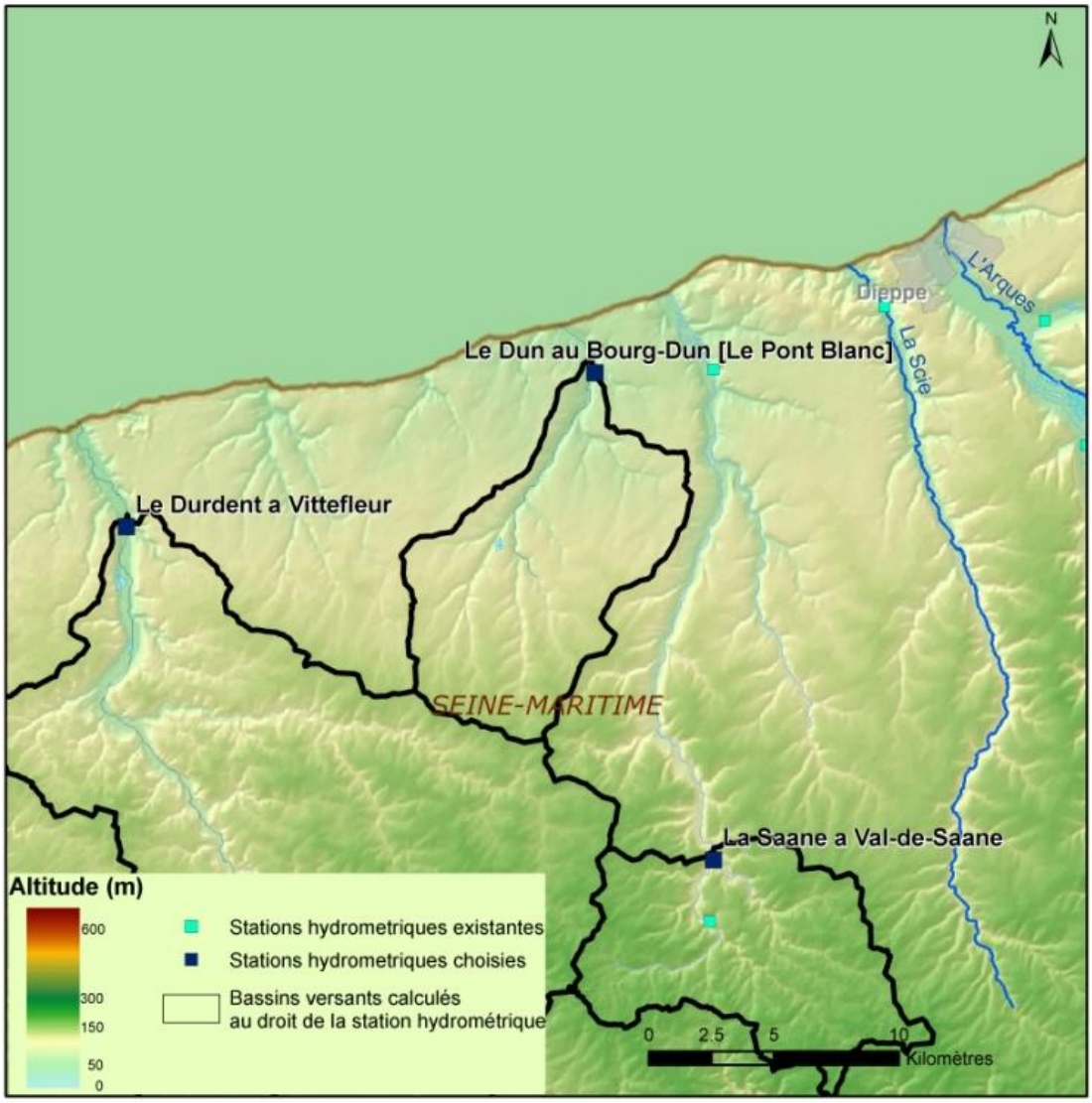


Illustration 323 : Altitudes des terrains dans le bassin versant du Dun (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant du Dun est 3,4% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), avec une pente maximale de 26,6%. Les pentes supérieures à 5% occupent près de 18% du bassin versant.

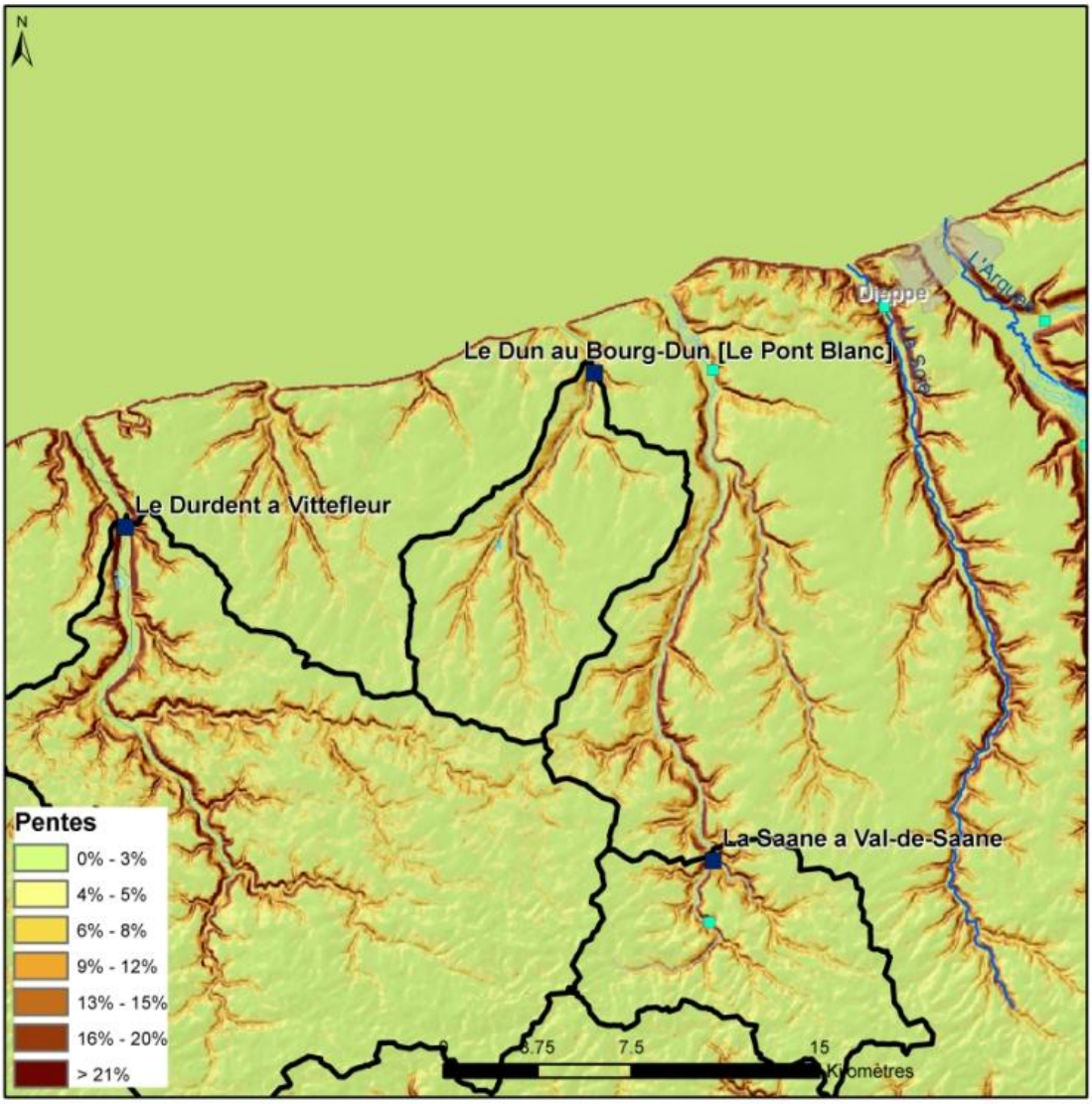


Illustration 324 : Pente des terrains dans le bassin versant du Dun (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

La consultation des données de Corinne Land Cover nous donne l'occupation du sol suivante :

- à 1% par des mines, décharges et chantiers ;
- à 16% par des prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbacée ;
- à 77% par des zones agricoles hétérogènes ;
- à 7% par des zones urbanisées industrialisées.

Il n'a pas été identifié de prélèvements pour l'irrigation dans ce bassin versant (d'après les données non géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie).

Les prélèvements pour l'eau potable s'élèvent à environ 1 million de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 11 mm. Les prélèvements pour l'industrie ont été estimés à 78.000 m^3, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 0,8 mm.

7.6.2. Climatologie

Le bassin versant du Dun reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 873 mm environ, ce qui correspond à une pluviométrie supérieure à la moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de deux stations météorologiques ont été utilisées pour la modélisation, une pour sa chronique de pluie, une pour sa chronique d'évapotranspiration.

- Avremesnil (type 4, station créée en décembre 1971). Cette station se trouve sur la limite Nord-Est du bassin. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne légèrement inférieure à celle du bassin versant.
- Abbeville (station située à Abbeville, de type 0, créée en 1921) qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman. La station est située à 78 km au Nord-Est de la station hydrométrique du Dun au Bourg-Dun

7.6.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

Les principales formations géologiques rencontrées à l'affleurement dans le bassin versant sont des plus récentes aux plus anciennes :

- les limons indifférenciés couvrant les sommets des plateaux ;
- les Argiles à Silex provenant de l'altération de la craie sous-jacente. Ils affleurent en tête des vallons secs du bassin versant ainsi que sur les différents versants ;
- un substratum composé de craies à silex (Crétacé supérieur). Pour différentes raisons géologiques (tectoniques, variations climatiques...), la craie a été affectée par de nombreux accidents (failles, fissures...) et soumise à des altérations dont l'un des résultats est le développement de réseaux karstiques. En Haute-Normandie, la craie est ainsi un milieu mixte : poreux, fissuré et « karstique ».

Le développement de réseaux karstiques a provoqué la capture du haut bassin du Dun par le bassin de la Veules et les sources de Saint-Valéry-en-Caux : la surface piézométrique n'épouse plus dans ce cas la morphologie des terrains.

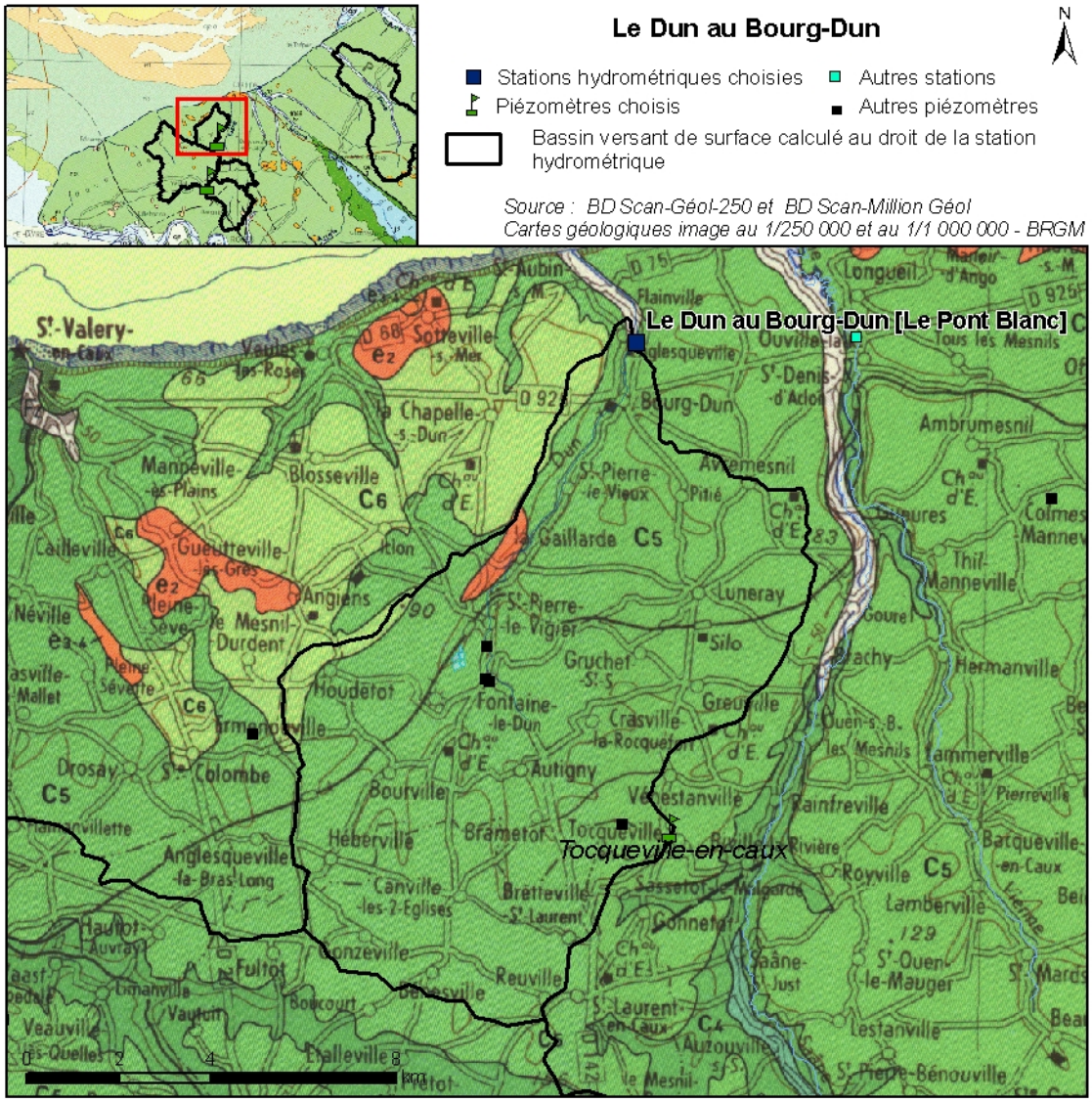


Illustration 325 : Carte géologique du bassin versant du Dun

b) Piézométrie

Le piézomètre de Tocqueville (Craie) dont la chronique, représentée sur l'Illustration 326, a débuté le 03/02/1971 avec un enregistrement mensuel à bimestriel.

La chronique présente une interruption de plus de 100 jours : du 17/12/1992 au 16/02/1994.

La chronique présente des fluctuations saisonnières et surtout interannuelles.

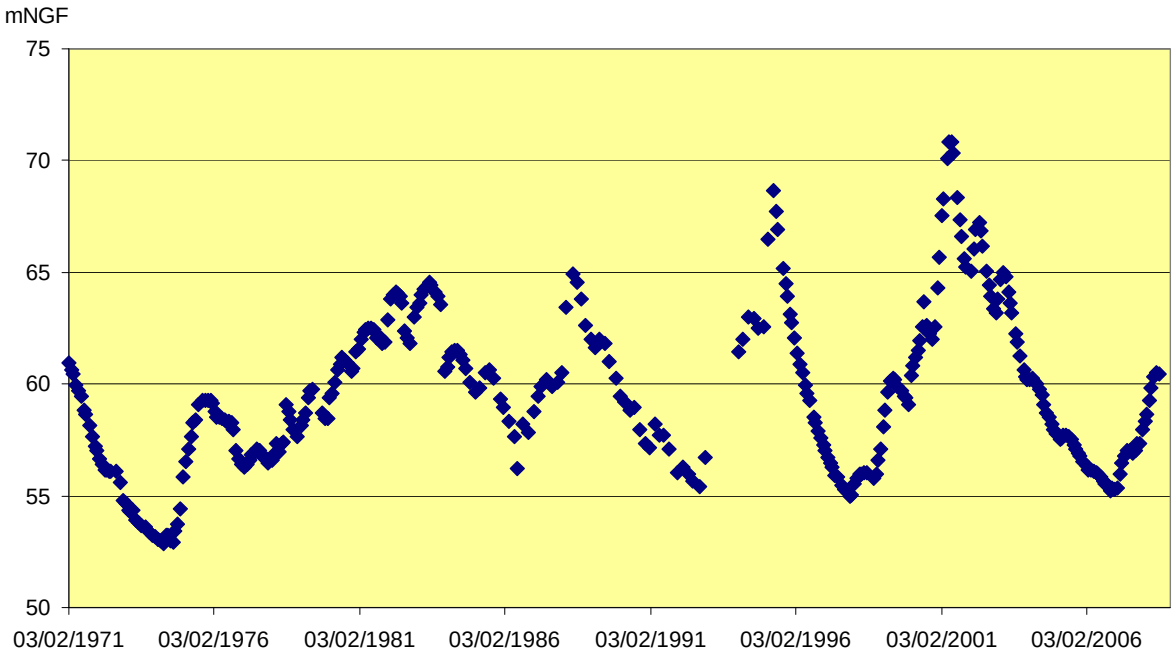


Illustration 326 : Chronique piézométrique Tocqueville-en-Caux (indice national : 00583X0005/S1)

7.6.4. Hydrologie

Le Dun s'écoule selon un axe SSW–NNE. Son débit est connu au travers de la station hydrométrique du Dun au Bourg-Dun (code HYDRO : G5002010). La chronique de débit journalier a débuté le 01/01/1995 et a connu quatre interruptions : du 01/02/1995 au 22/02/1995, du 08/03/1995 au 19/03/1995, du 03/01/2002 au 05/02/2002 et du 25/03/2002 au 25/04/2002.

Pendant de longues décennies, le Dun n'a plus connu d'écoulement continu, son lit ne se remplit que lors de fortes précipitations.

Depuis la période très humide de 1999/2000/2001, le Dun s'est remis à couler sans interruption.

La lame d'eau moyenne annuelle est de 88 mm, ce qui correspond à une valeur très inférieure à la moyenne à l'échelle du bassin Serine-Normandie. Le débit journalier maximal connu est de 5,25 m^3/s et le minimum est de 0,036 m^3/s. L'Illustration 327 illustre le fait que la nappe contribue très majoritairement à l'alimentation du débit (très peu d'écart entre les périodes d'étiage et de Hautes Eaux).

Le QMNA5 est de 0,066 m^3/s pour le bassin versant du Dun, dont la surface est de 93,3 km^2.

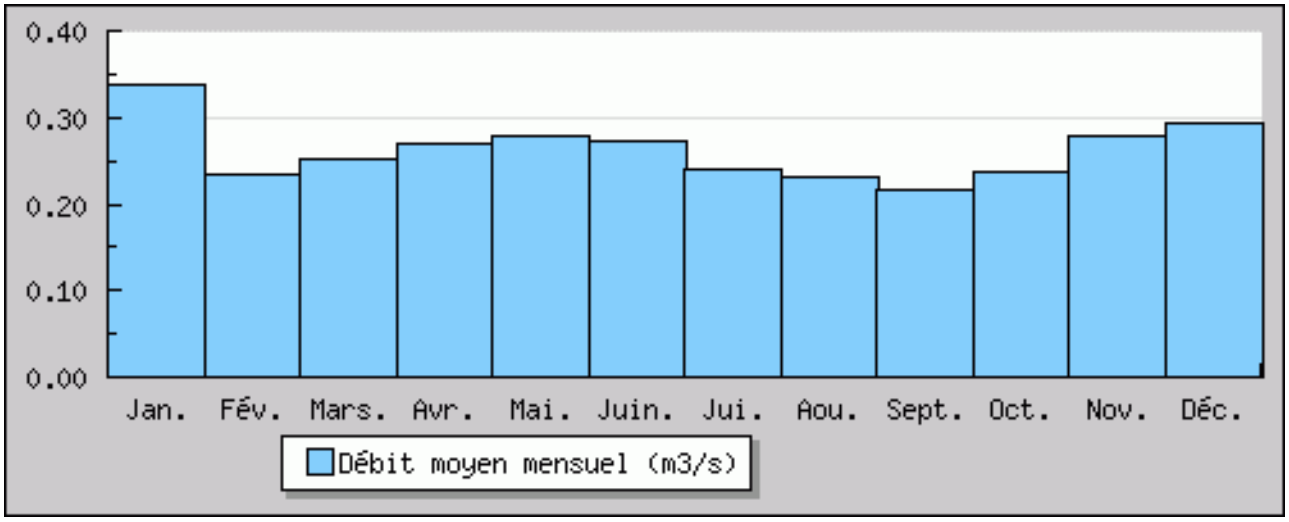


Illustration 327 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique du Dun au Bourg-Dun (source : Banque HYDRO)

7.6.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit du Dun a été effectuée au pas décadaire en utilisant les signaux suivants :

- Pluie : données décadaires de la station météorologique d'Avremesnil ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique d'Abbeville ;
- Piézomètre : piézomètre de Tocqueville.

Pour la modélisation du piézomètre, les mêmes données météorologiques ont été utilisées.

La modélisation du piézomètre a été réalisée sur la période 24/05/1996 – 20/07/2008 (Illustration 328). Une composante lente de 1 482 jours a été intégrée pour réaliser cette modélisation, ce qui correspond à un système fortement inertiel. La modélisation obtenue est satisfaisante avec un coefficient de Nash de 0.97.

La modélisation du débit du Dun à Bourg-Dun a été réalisée sur la période 19/07/1995 – 11/05/2008 (Illustration 329). La modélisation n'est pas satisfaisante (coefficient de Nash : 0,55), car l'intégration des chroniques piézométriques contraint le débit modélisé à avoir un débit de base supérieur au débit réellement observé. Plusieurs test ont été réalisés, mais quelque soit le piézomètre choisi, les relations nappe/rivière ne sont pas fidèlement retranscrites par le modèle. Une simple modélisation Pluie/Débit donne de meilleurs résultats, mais ne nous permet pas de procéder au calcul des volumes.

Les difficultés rencontrées pour estimer les relations Niveau piézo/Débit sur ce bassin sont prévisibles, puisque le cours d'eau voisin, le Vaules, capture une partie des eaux

du Dun, via un réseau karstique. Un modèle global n'est peut-être pas adapté pour ce cours d'eau.

L'Illustration 331 – qui présente la décomposition des débits moyens mensuels modélisés – confirme le fort soutien du débit par la nappe tout au long de l'année.

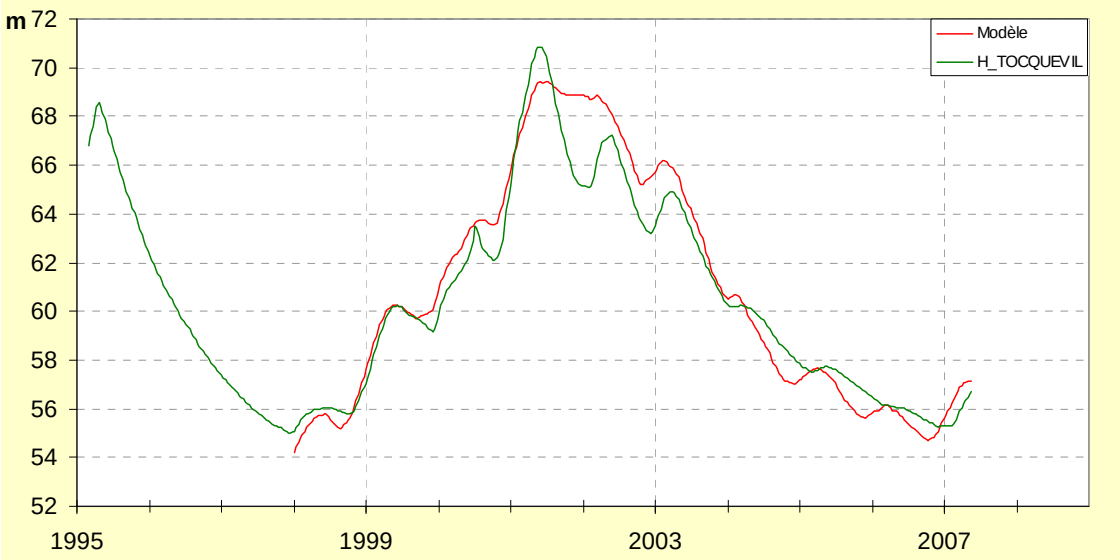


Illustration 328 : Modélisation de la chronique du piézomètre deTocqueville-en-Caux

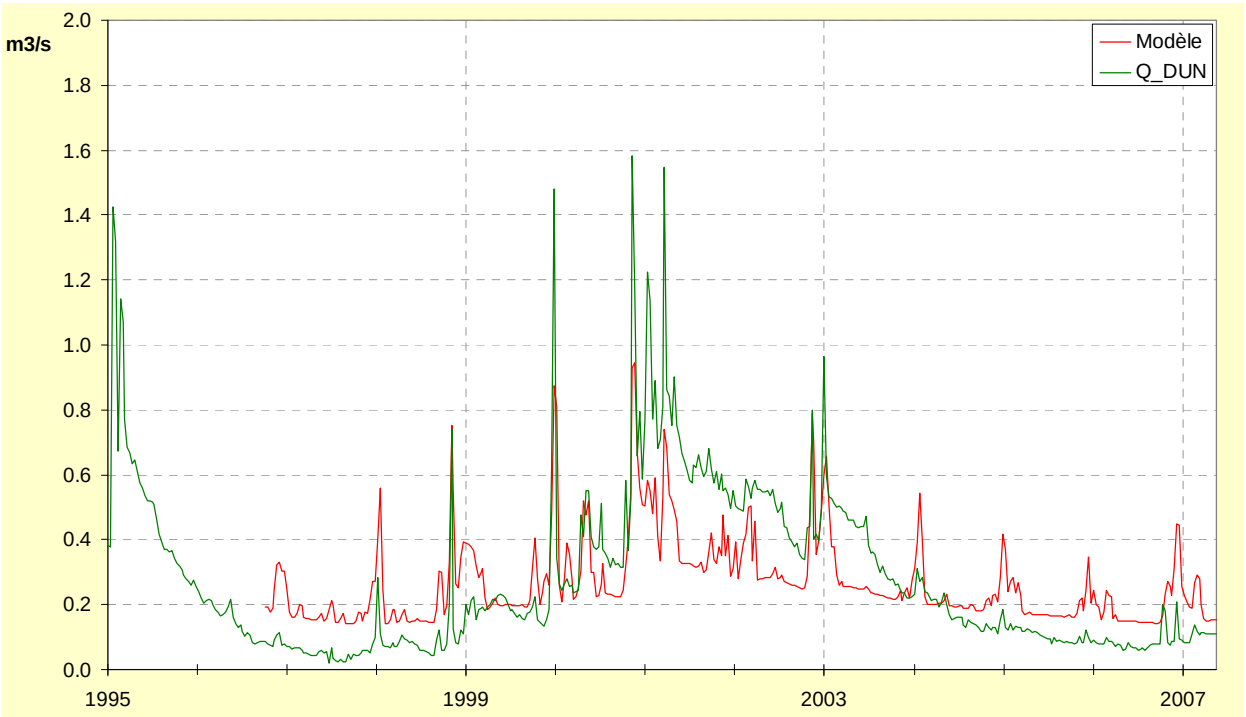


Illustration 329 : Modélisation du débit du Dun à la station de Bourg-Dun

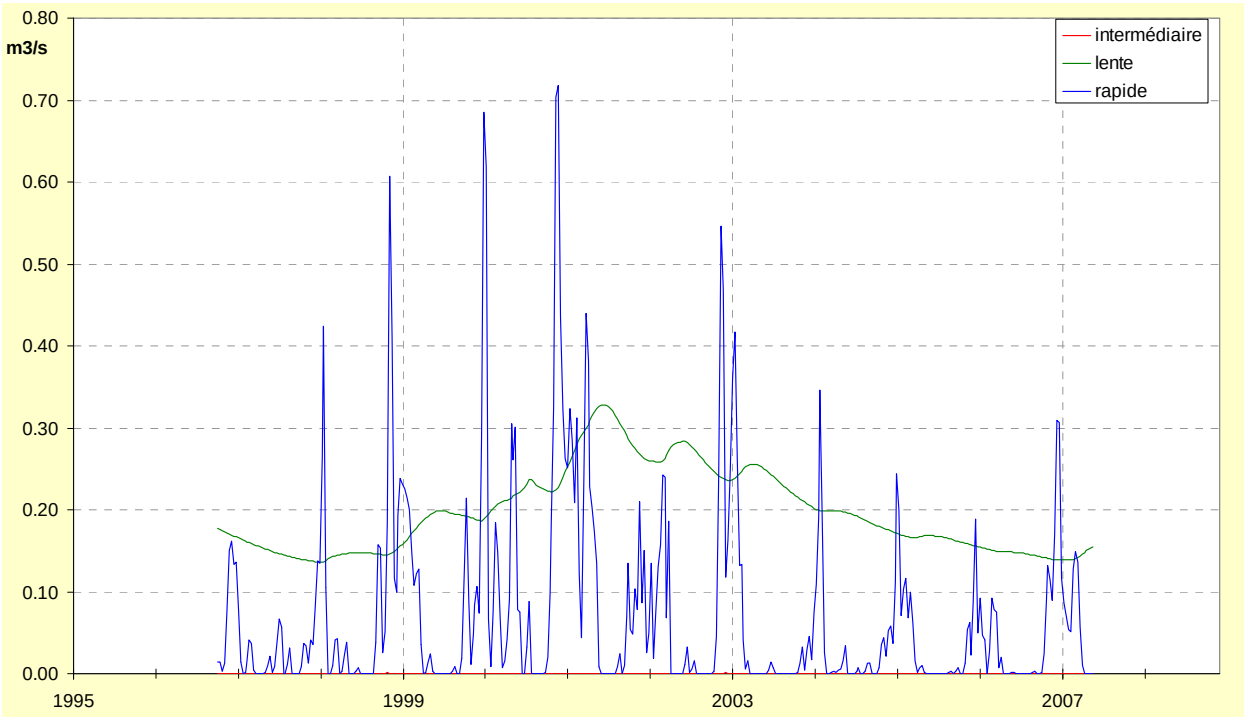


Illustration 330 : Composantes du débit du Dun à la station de Bourg-Dun

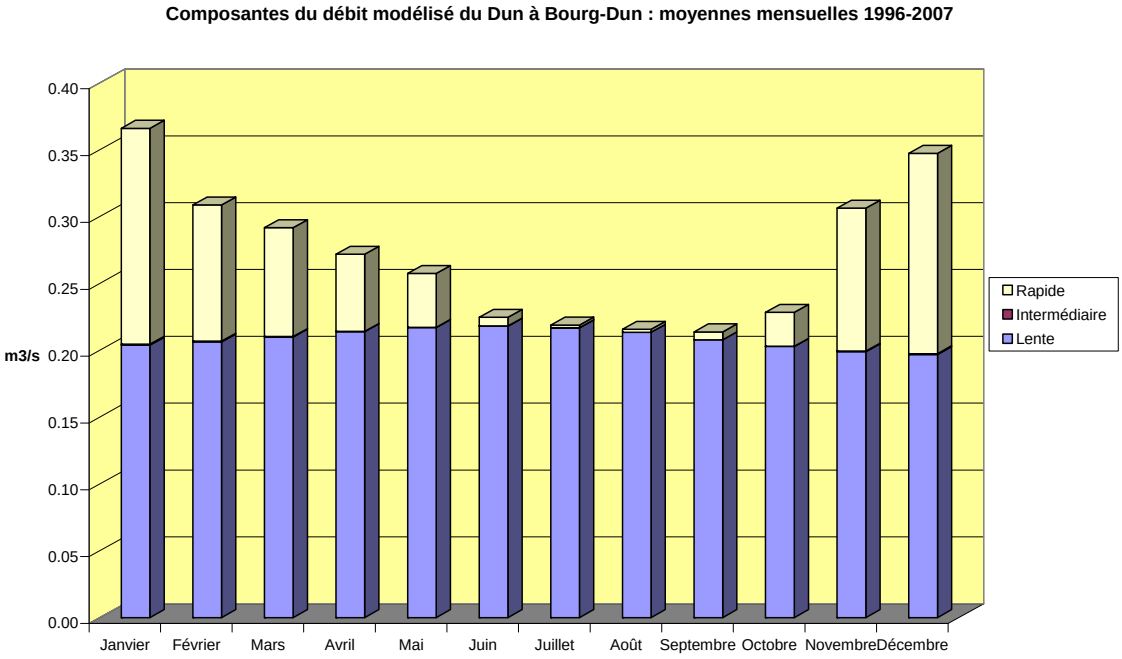


Illustration 331 : Composantes du débit moyen mensuel du Dun à la station Bourg-Dun

7.7. BASSIN VERSANT DE LA DURDENT

7.7.1. Caractéristiques du bassin versant

La Durdent prend sa source dans le Pays de Caux au nord-ouest d'Yvetot, près de Héricourt-en-Caux, et se jette dans la Manche au niveau de Veulettes-sur-Mer sur la côte d'Albâtre. Le bassin versant de la Durdent à la station Vittefleur occupe une superficie de 355 km² (source : banque HYDRO).

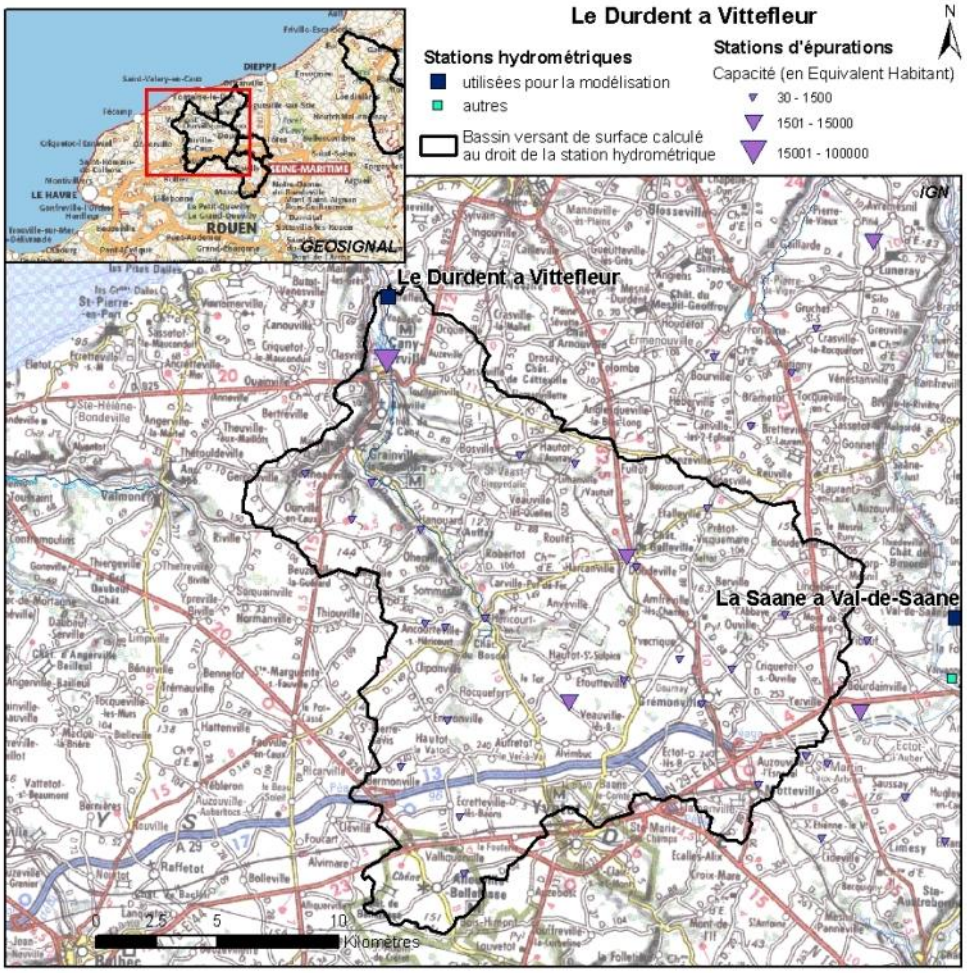


Illustration 332 : Localisation du bassin versant de la Durdent (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude du bassin versant de la Durdent s'échelonne de 173 à 3 m NGF avec une altitude moyenne de 125,3 m. Les terrains les plus élevés sont rencontrés à l'Est du bassin.

Illustration 333 : Altitudes des terrains dans le bassin versant de la Durdent (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne sur le bassin versant de la Durdent est 4,1% (calculée à partir du MNT au pas de 50 m de l'IGN), avec une pente maximale de 54%. Les pentes supérieures à 5% occupent près de 22% du bassin versant. On notera que les pentes maximales (pentes supérieures à 20%) sont rencontrées autour des vallées où est venue s'encaisser profondément la Durdent.

La densité de drainage est très faible sur ce bassin versant (0,5 km/km²) et l'IPDR de 123, très faible aussi, confirme le caractère infiltrant des formations crayeuses de ce bassin versant, comme sur le bassin versant de l'Avre.

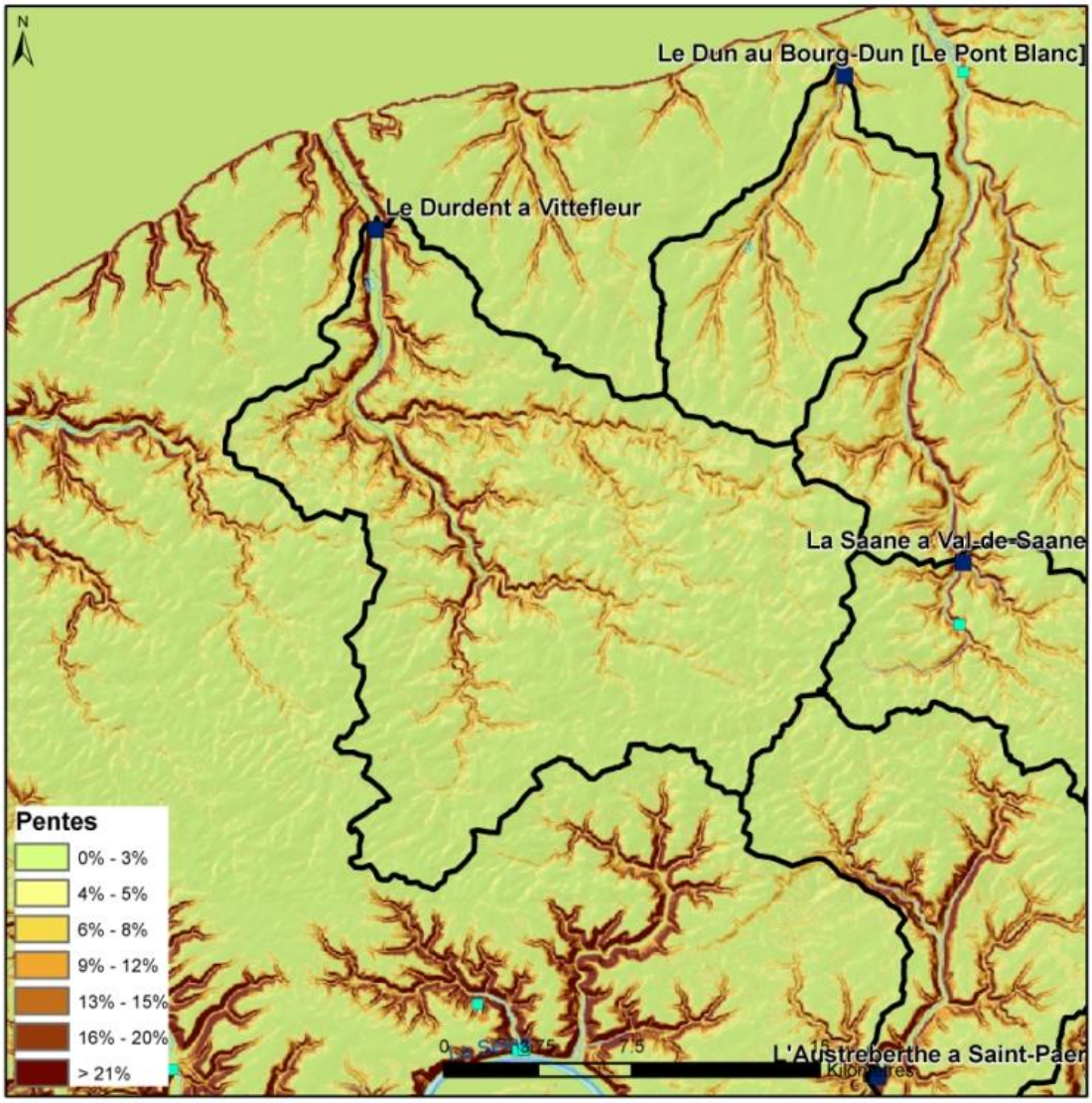


Illustration 334 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Durdent (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

La consultation des données de Corinne Land Cover nous donne l'occupation du sol suivante :

- à 22% par des prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbacée ;
- à 74% par des zones agricoles hétérogènes ;
- à 4% par des zones urbanisées industrialisées.

Il s'agit donc d'un bassin versant agricole à faible emprise urbaine.

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 23. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Ramenés à la surface du bassin versant (355 km²), ils correspondent à une lame d'eau inférieure à 0,05 mm

Année	Prel_Irrigation
1995	4826
1996	6152
1997	5238
1998	5083
1999	6207
2000	12359
2001	12359
2002	16091
2003	15362
2004	15362
2005	15362
2006	7314

Tableau 23 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Durdent

Les prélèvements pour l'eau potable s'élèvent à environ 4,7 millions de m^3 par an, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 13,2 mm.

7.7.2. Climatologie

Le bassin versant de la Durdent reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 983 mm environ (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Ce qui place la Durdent parmi les bassins versants les plus arrosés du bassin Seine-Normandie.

Les données de trois stations météorologiques ont été utilisées pour la modélisation, deux pour sa chronique de pluie, une pour sa chronique d'évapotranspiration.

- Auzebosc (type 4, station créée en octobre 1967). La station est localisée sur la limite Sud du bassin versant. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne équivalente à celle du bassin versant.
- Saint-Valery (type 4, station créée en aout 1970). Cette station se trouve en dehors du bassin versant, à 5 km au Nord de la station hydrométrique de la Durdent à Vittefleur. Elle reçoit une pluviométrie annuelle moyenne légèrement inférieure à celle du bassin versant.
- Abbeville (station située à Abbeville, de type 0, créée en 1921) qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman. La station est située à environ 93 km au Nord-Est de la station hydrométrique de la Durdent à Vittefleur.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des deux chroniques de pluie ci-dessus. La formule obtenue est la suivante :

O_Durdent=0.35*P_AUZEBOSC+0.65*P_STVALERY

7.7.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

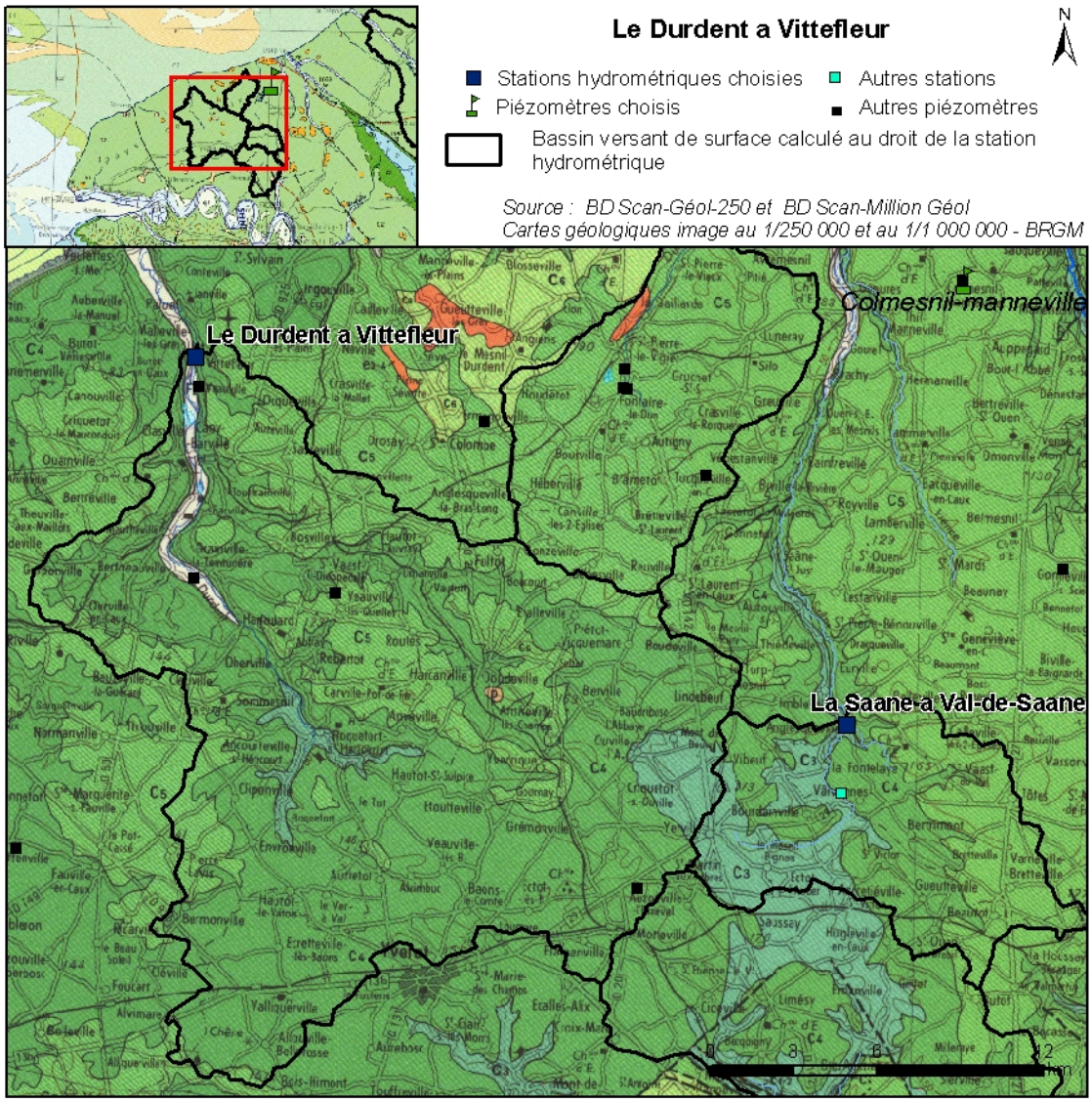


Illustration 335 : Carte géologique du bassin versant de la Durdent

Les principales formations géologiques rencontrées à l'affleurement dans le bassin versant sont des plus récentes aux plus anciennes :

- les limons indifférenciés couvrant les sommets des plateaux ;
- les Argiles à Silex provenant de l'altération de la craie sous-jacente. Ils affleurent en tête des vallons secs du bassin versant ainsi que sur les différents versants ;

- un substratum composé de craies à silex (de la craie à silex du Sénonien inférieur à la craie glauconieuse du Cénomanien). Pour différentes raisons géologiques (tectoniques, variations climatiques...), la craie a été affectée par de nombreux accidents (failles, fissures...) et soumise à des altérations dont l'un des résultats est le développement de réseaux karstiques. En Haute-Normandie, la craie est ainsi un milieu mixte : poreux, fissuré et « karstique ».

La nappe de la craie est drainée par la Durdent et sa contribution moyenne à l'alimentation du cours d'eau est de l'ordre de 90%. La surface piézométrique épouse fortement la morphologie du bassin versant, elle dépend en partie de la répartition de la fissuration de la craie. Elle forme ainsi des dômes d'alimentation sous les plateaux où l'aquifère peu fissuré a une fonction capacitive, et des dépressions dans les zones fissurées drainantes à fonction transmissive (vallées humides et sèches).

b) Piézométrie

Suites à différents essais de modélisations du piézomètre de Motteville, choisi pour la modélisation du débit de la Durdent, qui ont donné des résultats médiocres, d'autres tests ont été réalisés en utilisant d'autres piézomètres (Claville-Motteville, Colmesnil-Manneville). C'est le piézomètre de Colmesnil-Manneville, localisé en dehors du bassin versant, qui a été choisi.

Le piézomètre de Colmesnil-Manneville (Craie) dont la chronique, représentée sur l'Illustration 336, a débuté le 03/02/1971 et arrêtée le 20/12/2005 avec un enregistrement mensuel.

La chronique présente des fluctuations saisonnières et interannuelles, marquées.

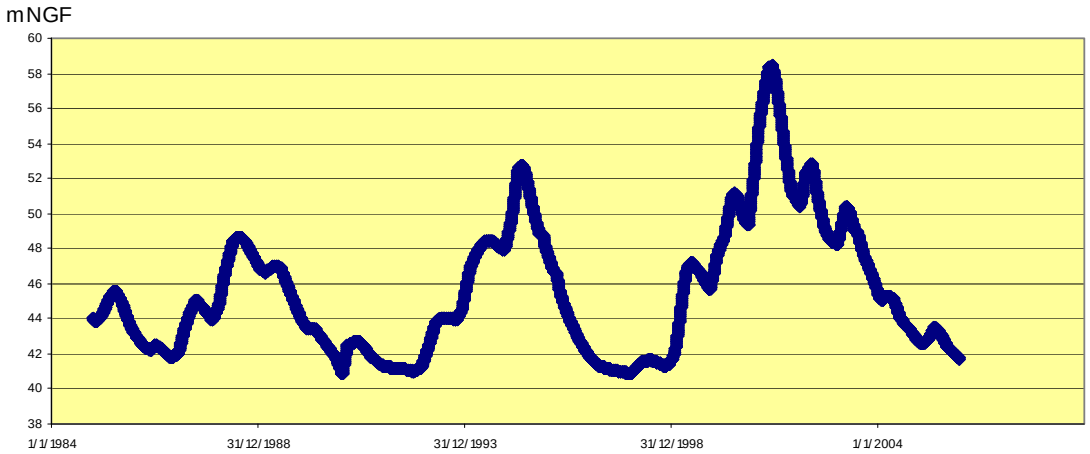


Illustration 336 : Chronique piézométrique Colmesnil-Manneville (indice national : 00584X0022/S1)

7.7.4. Hydrologie

La Durdent s'écoule selon un axe SSE – NNW. Son débit est connu au travers de la station hydrométrique de la Durdent à Vittefleur (code HYDRO : G6003010). La chronique de débit journalier débuté le 16/11/1985.

La lame d'eau moyenne annuelle est de 341 mm, ce qui correspond à une valeur logiquement vu la pluviométrie, supérieure à la moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie. Le débit journalier maximal connu est de 15,9 m^3/s et le minimum est de 1,99 m^3/s. L'Illustration 337 montre le débit moyen mensuel (source : banque HYDRO) et met en évidence le drainage important de la nappe vers le cours d'eau tout au long de l'année.

Le QMNA5 est de 2,7 m^3/s pour le bassin versant de la Durdent, dont la surface est de 355 km^2.

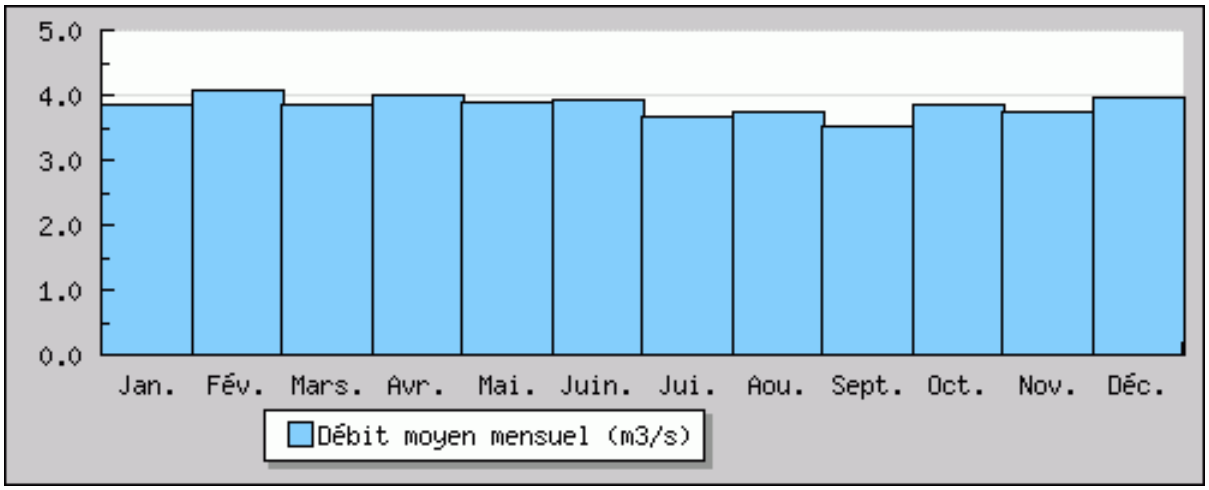


Illustration 337 : Débit moyen mensuel à la station hydrométrique de la Durdent à Vittefleur (source : Banque HYDRO)

7.7.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de la Durdent a été effectuée au pas décadaire en utilisant les signaux suivants :

- Pluie : pluie optimale (O_Durdent=35%*Auzebosc+65%*StValery) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique d'Abbeville ;
- Piézomètre : piézomètre de Colmesnil-Manneville.

Pour la modélisation du piézomètre, les données de pluie de la station météorologique de Saint-Valéry et les données d'évapotranspiration d'Abbeville ont été utilisées.

La modélisation du piézomètre a été réalisée sur la période 05/04/1990 – 25/06/2005 (Illustration 338). Une composante lente de 1 500 jours correspondant à un système

fortement inertiel, a été intégrée pour réaliser cette modélisation. La modélisation obtenue est satisfaisante avec un coefficient de Nash de 0.86.

La modélisation du débit de la Durdent à Vittefleur a été réalisée sur la période 28/09/1987 – 15/07/2005 (Illustration 339). La modélisation est très satisfaisante (coefficient de Nash : 0.85) et la décomposition du signal confirme bien l'analyse hydrogéologique faite précédemment.

Sur la période de calage, les différentes contributions au débit de la Durdent sont réparties ainsi :

- 87% liées à la composante lente ;
- 11% liées à la composante intermédiaire ;
- 2% liées à la composante rapide.

L'Illustration 341 présente la décomposition des débits moyens mensuels de la Durdent modélisés à la station de Vittefleur. Cette décomposition montre une assez bonne similitude avec les débits moyens mensuels fournis par la banque HYDRO (Illustration 337) et confirme le fort soutien du débit par la nappe tout au long de l'année.

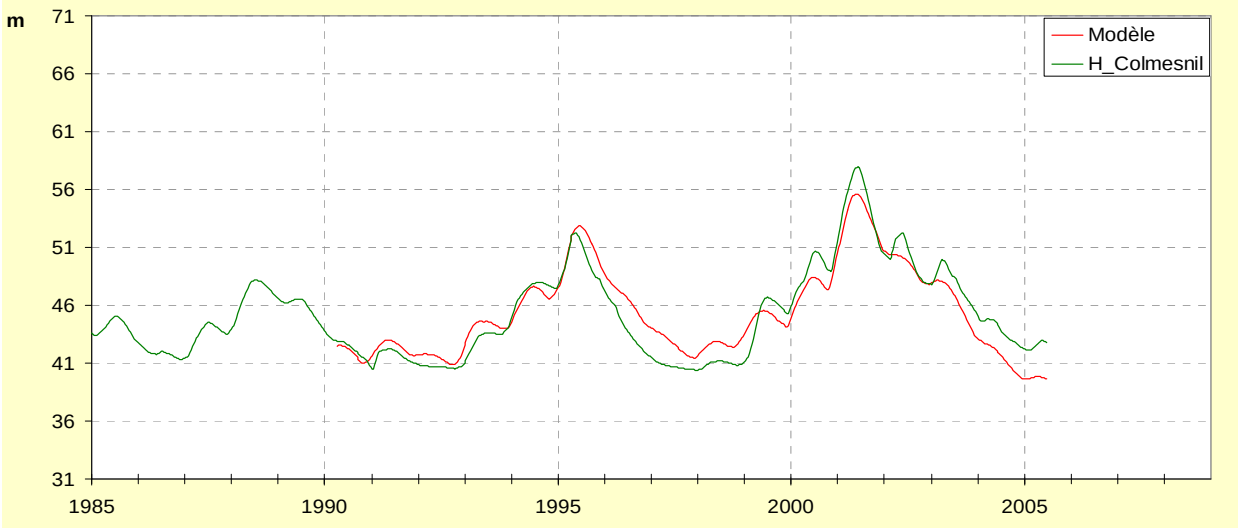


Illustration 338 : Modélisation de la chronique du piézomètre de Colmesnil-Manneville

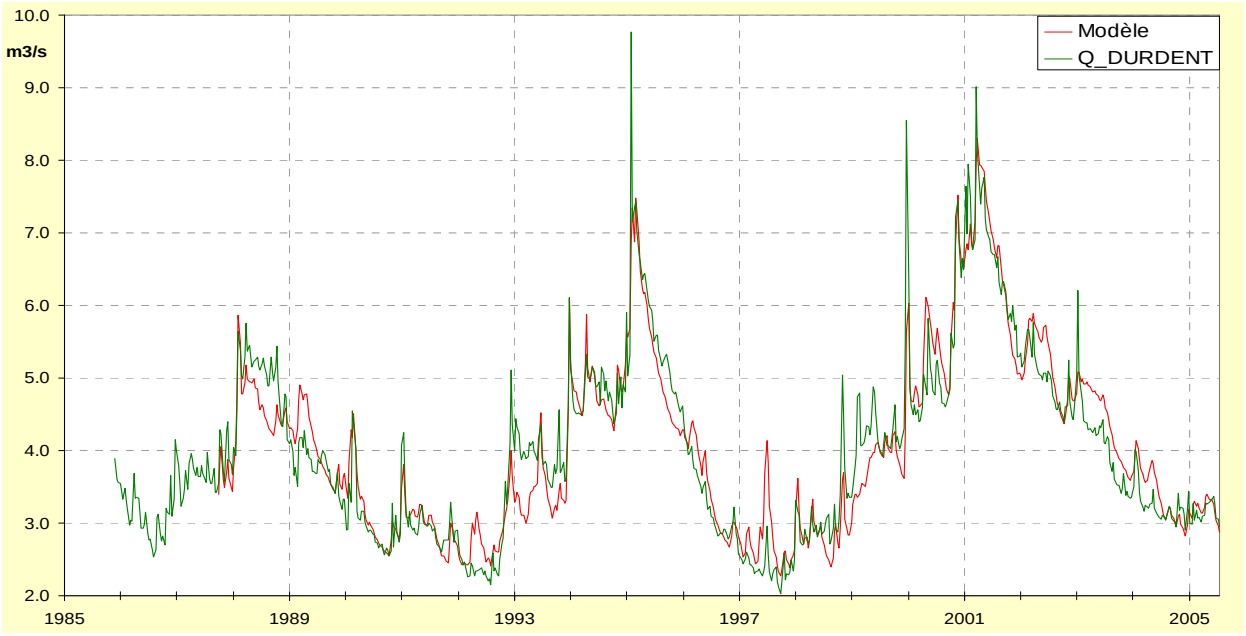


Illustration 339 : Modélisation du débit de la Durdent à la station de Vittefleur

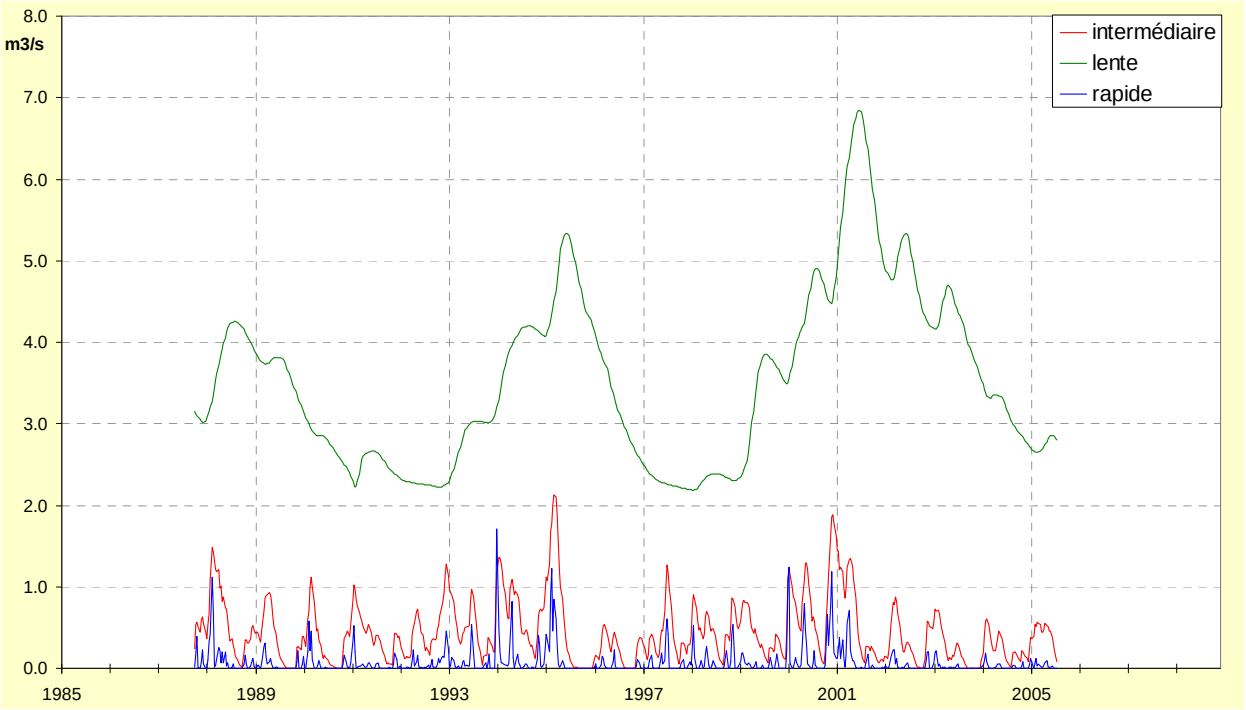


Illustration 340 : Composantes du débit du Durdent modélisé à la station de Vittefleur

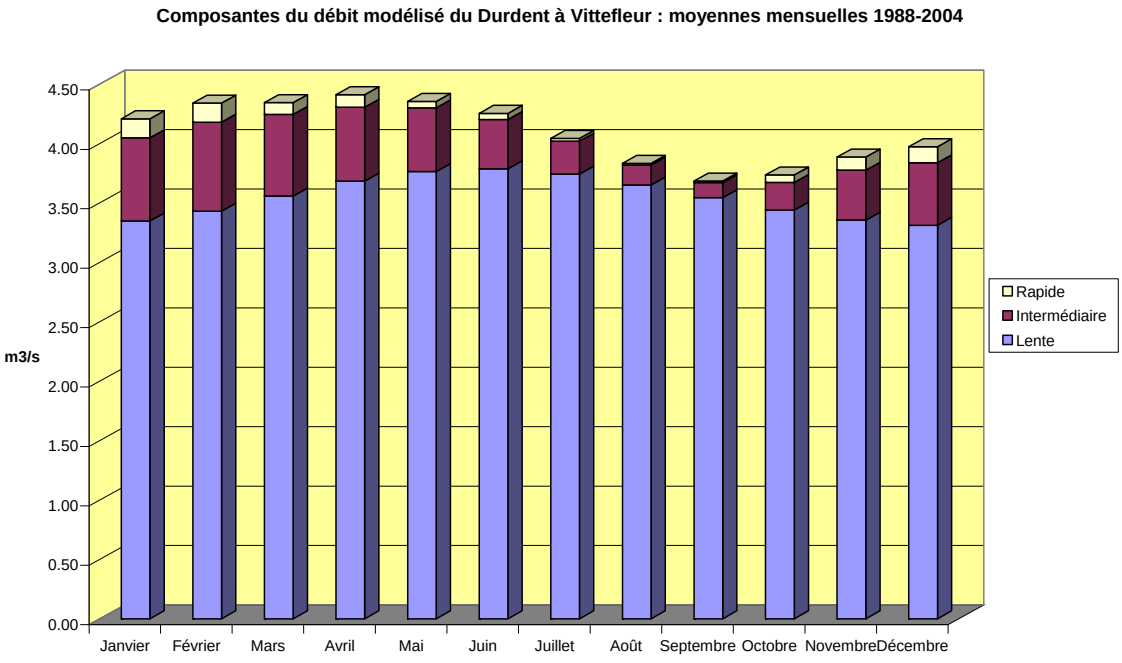


Illustration 341 : Composantes du débit moyen mensuel de la Durdent modélisé à la station de Vittefleur

8. Champagne-Ardennes

8.1. BASSIN VERSANT DE L'ARDRES

8.1.1. Caractéristiques du bassin versant

Le bassin versant de l'Ardres se situe dans le Nord-Ouest du département de la Marne, à l'ouest de Reims. Il occupe une superficie de 147 km² à la station hydrométrique de Faverolles-et-Coemy (source : Banque HYDRO). L'Ardres est un affluent de la Vesle en rive gauche ; la confluence se situe à Fismes.

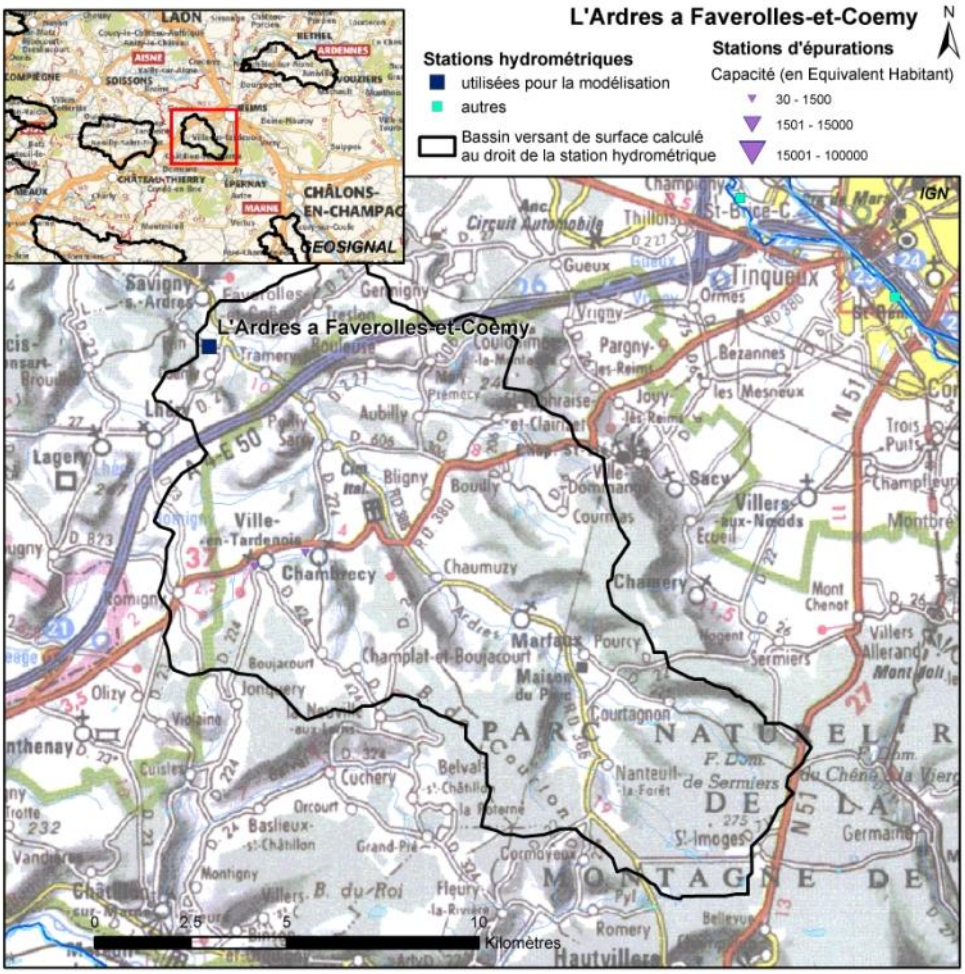


Illustration 342 : Localisation du bassin versant de l'Ardres (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude dans le bassin versant de l'Ardres s'échelonne de 276 à 85 m NGF, avec une moyenne de 187 m.

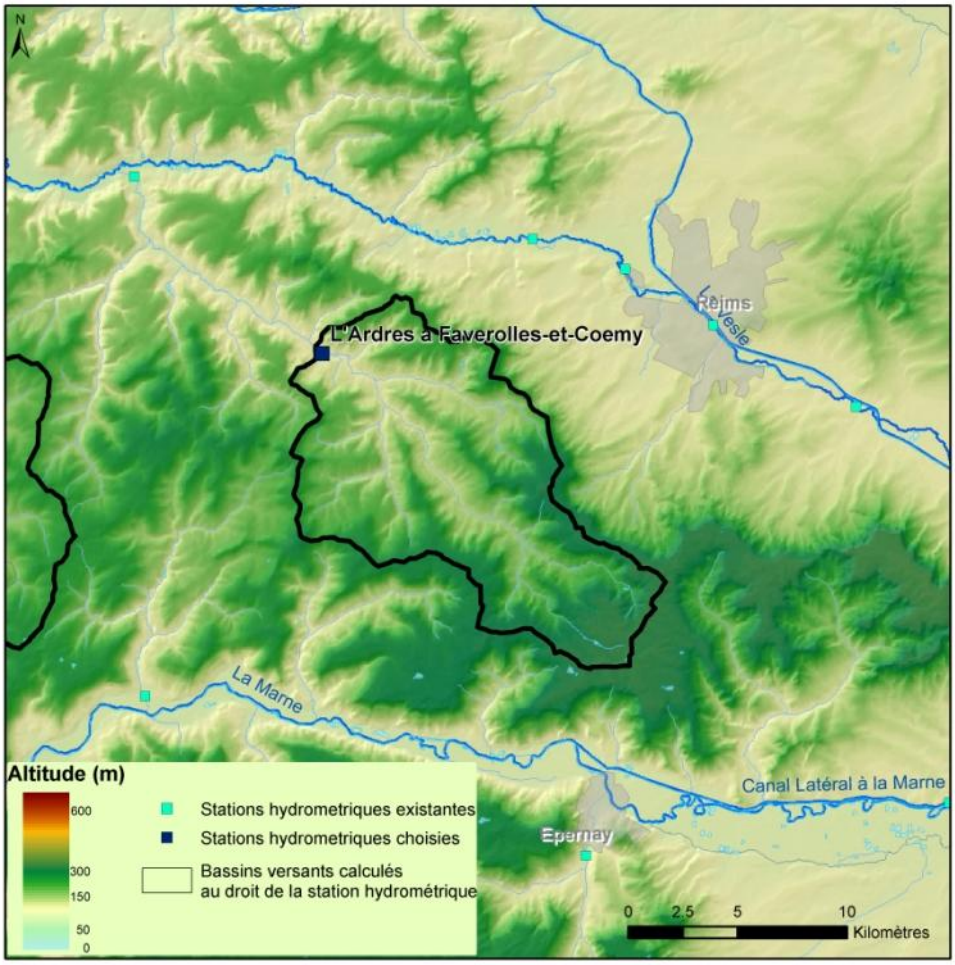


Illustration 343 : Altitude des terrains dans le bassin versant de l'Ardres (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne des terrains sur le bassin versant est de 7,0% (calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m), avec une pente maximale de 31,6%. Les pentes supérieures à 5% occupent près de 60% du bassin versant : celui-ci est donc très vallonné. Les crêtes au sud et au sud-est du bassin versant sont constituées de plateaux (formations géologiques de l'Oligocène – Stampien). L'Ardres s'écoule dans une vallée aux pentes abruptes et dont le fond est très évasé.

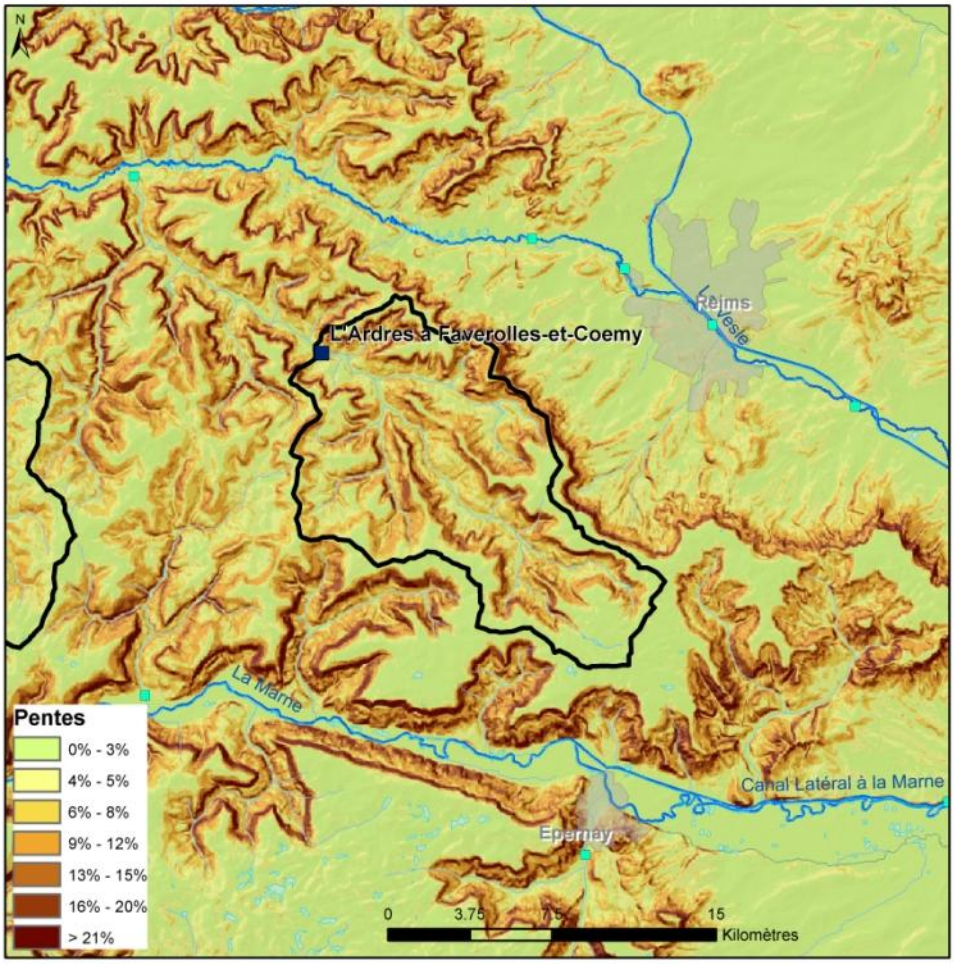


Illustration 344 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Ardres (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- zones agricoles hétérogènes : 59% ;
- prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives : 36% ;
- vignobles : 4% ;
- zones urbanisées industrialisées : 1%.

Il s'agit donc globalement d'un bassin versant agricole avec une emprise urbaine très faible.

Il n'a pas été identifié de stations d'épuration en fond de vallée (cf. Illustration 342).

Il n'y pas de prélèvements pour l'irrigation dans ce bassin versant, mise à part l'année 1995 lors de laquelle 3 000 m^3 ont été prélevés (volumes estimés à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie).

8.1.2. Climatologie

Le bassin versant de l'Ardres reçoit en moyenne 782 mm d'eau par an (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Il s'agit donc d'un territoire assez arrosé à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de quatre stations météorologiques ont été utilisées dans le cadre de la modélisation :

- Chambrecy (type 2, création de la station en janvier 1976), située dans la partie ouest du bassin versant et recevant en moyenne une pluviométrie annuelle correspondant à celle de la partie avale du bassin versant ;
- Germaine (type 4, création de la station en mars 1974), située à 3 km au SO du bassin versant et recevant en moyenne une pluviométrie annuelle correspondant à celle de la partie amont du bassin versant. Deux périodes de données sont manquantes, du 01/01/2006 au 31/03/2006 et du 01/04/2007 au 30/04/2007. Les décades manquantes ont été complétées avec les données de la station de Bouzy ;
- Bouzy (type 2, création de la station en janvier 1979), située à 11 km au SO du bassin versant. Cette station météorologique se situe dans un contexte plus sec que celles de Chambrecy et de Germaine ;
- Reims-Courcy (type 1, création de la station en janvier 1929), située à 12 km environ au nord-est de la station hydrométrique de Faverolles-et-Coemy et qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des trois chroniques de pluie ci-dessus. La formule retenue est :

Popt = 56% Chambrecy + 44% Germaine

La station météorologique de Bouzy n'intervient pas dans la pluie optimale.

8.1.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

Les principales formations géologiques rencontrées à l'affleurement dans le bassin versant sont les suivantes (hors formations superficielles), des plus anciennes aux plus récentes :

- argiles et marnes du Sparnacien (inclus dans la formation e3-4 de l'Illustration 345) ;
- sables du Cuisien (inclus dans la formation e3-4) ;
- calcaires du Lutétien (formation e5) ;

- sables de Beauchamps (inclus dans la formation e6) ;
- calcaires et marnes de Saint-Ouen (inclus dans la formation e6) ;
- masses et marnes du gypse (inclus dans la formation e7) ;
- marnes supragypseuses (inclus dans la formation e7) ;
- meulières et argiles à meulières du Stampien (formations g).

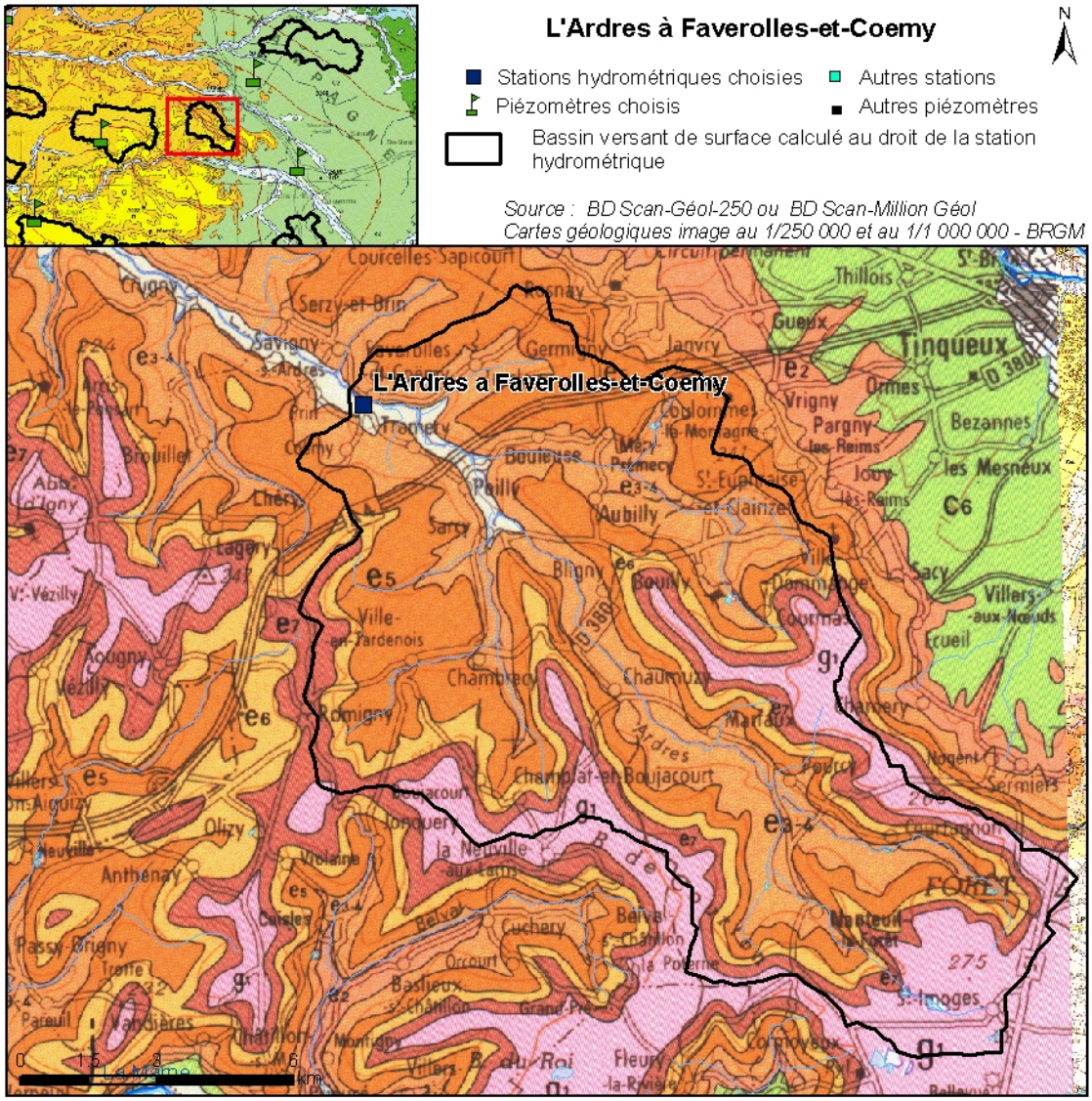


Illustration 345 : Carte géologique du bassin versant de l'Ardres

Il existe donc une variété importante de terrains dans le bassin versant de l'Ardres, dont certains sont ruisselants et d'autres infiltrants. On peut identifier deux ensembles aquifères :

- les sables du Cuisien et les calcaires du Lutétien (localement séparés par les argiles de Laon) ;
- les sables de Beauchamps et les calcaires de Saint-Ouen.

Il existe en réalité un autre aquifère, constitué par les alluvions de l'Ardre. Ces alluvions reposent dans la partie avale du bassin versant sur les argiles du Sparnacien, qui est une formation réputée imperméable. Dans la partie amont, les alluvions sont au contact des sables du Cuisien.

À défaut d'un piézomètre captant les alluvions de l'Ardre, il a été choisi d'utiliser un piézomètre enregistrant les fluctuations de l'ensemble aquifère constitué par les sables de Cuise et les calcaires du Lutétien.

L'IDPR médian est de 992, ce qui correspond à un bassin versant dans lequel ruissellement et infiltration cohabitent à part à peu près égale.

b) Piézométrie

Il existe peu de piézomètres dans ce secteur. Ceux de Fresnes-lès-Reims (01086X0011/LS4) et des Grandes Loges (01584X0023/LV3) captent l'aquifère crayeux. Deux piézomètres captent les calcaires du Lutétien : celui d'Armentières-sur-Ourcq (01306X0023/S1) situé dans le département de l'Aisne et celui de Fère-en-Tardenois (également situé dans le département de l'Aisne, indice national : 01308X0082/S1). Le premier a été préféré au second, qui présente une chronique plus courte.

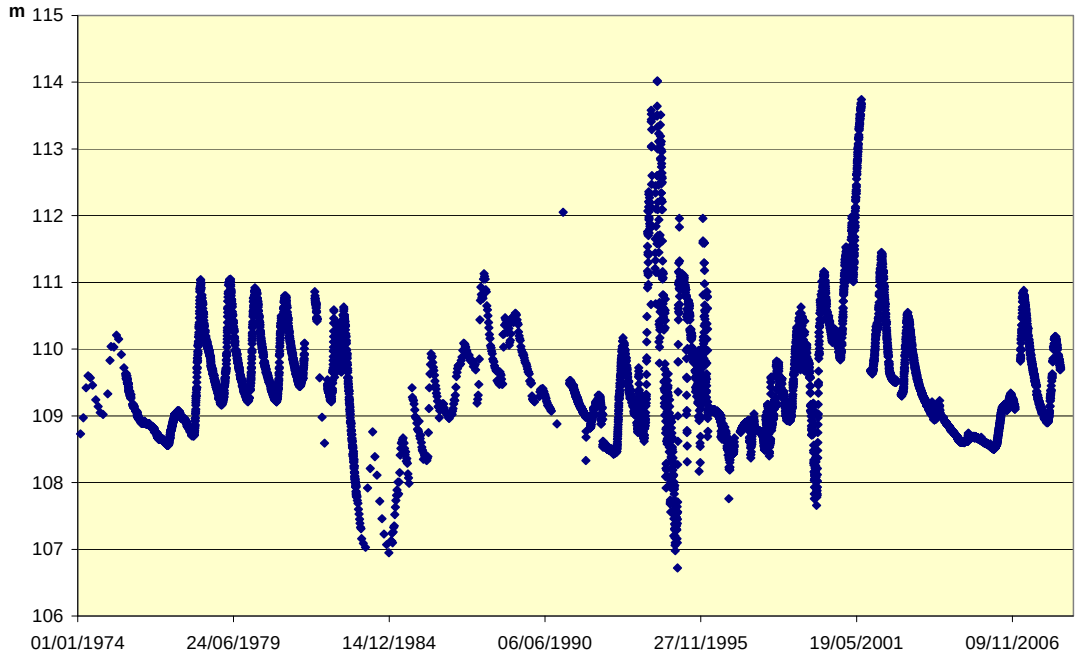


Illustration 346 : Chronique piézométrique d'Armentières-sur-Ourcq (indice national : 01306X0023/S1)

La chronique piézométrique d'Armentières-sur-Ourcq démarre le 07/02/1974, avec une fréquence d'acquisition des données qui varie au cours du temps de quotidienne à mensuelle. On dénombre trois interruptions de plus de 80 jours : du 24/12/1981 au 03/05/1982, du 26/01/1991 au 18/04/1991 et du 21/07/2001 au 14/11/2001.

La chronique piézométrique présente des fluctuations saisonnières, ainsi que des fluctuations interannuelles bien marquées (comme lors des périodes 1997-2001 puis 2001-2006). Les mesures de janvier 1995 et de décembre 2000 sont particulièrement douteuses et n'ont donc pas été utilisées dans la phase de calage.

8.1.4. Hydrologie

Le débit de l'Ardres est connu par la station hydrométrique de Faverolles-et-Coemy (code HYDRO : H6423020). Il existe une autre station hydrométrique située plus à l'aval et sur laquelle des données ont été acquises entre 1969 et 2005 (station de Fismes, située peu avant la confluence avec la Vesle ; code HYDRO : H6423010 ; bassin versant : 297 km²).

La chronique de débit journalier à Faverolles-et-Coemy a été établie à partir des données transmises par la DIREN Champagne : elle s'étale sur une période allant du 05/03/1997 au 25/02/2008. Elle ne comporte aucune interruption sur cette période.

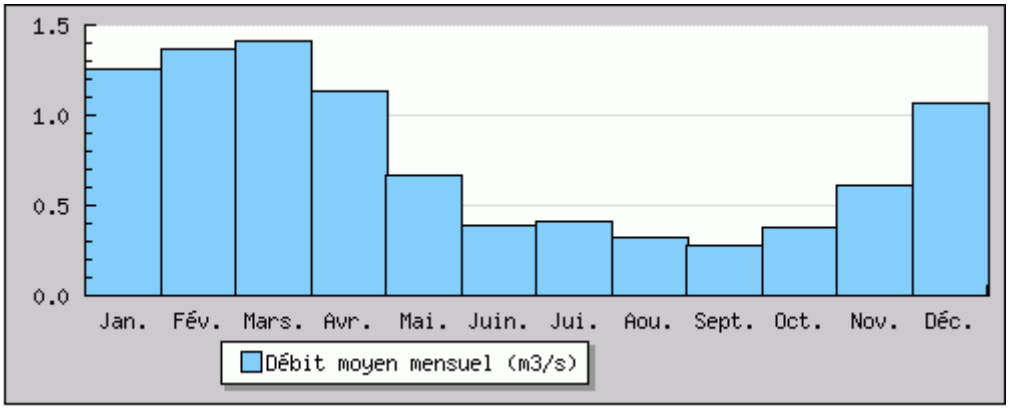


Illustration 347 : Débit moyen mensuel (en m^3/s) à la station hydrométrique de Faverolles-et-Coemy (source : banque HYDRO)

Les débits journaliers vont de 0,112 m^3/s à 15,2 m^3/s. La lame d'eau moyenne annuelle est de 166 mm (source : Banque HYDRO). Les basses eaux interviennent en septembre et les hautes eaux en mars. Le débit de l'Ardres est soutenu en période d'étiage.

Le QMNA5 est de 0,17 m^3/s pour un bassin versant d'une superficie de 147 km².

8.1.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de l'Ardres a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : pluie optimale (P_{opt} = 56% Chambrecy + 44% Germaine) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Reims-Courcy ;
- Piézométrie : piézomètre d'Armentières-sur-Ourcq.

Pour la modélisation du piézomètre, c'est la pluie de Passy-en-Valois qui a été utilisée. De fait, cette pluie a été ensuite simulée en complément de la pluie optimale. Elle a alors été corrélée à la pluie optimale.

La modélisation du piézomètre (cf. Illustration 348) a été réalisée en intégrant une composante lente de 1280 jours, ce qui correspond à un système assez fortement inertiel (période de modélisation : 28/01/1991-31/07/2008). Ce résultat est cohérent avec les temps de demi-décroissance calculés pour des piézomètres captant les calcaires du Lutétien dans ce secteur (cf. rapport BRGM/RP-55188-FR « exploitabilité des ressources en eau souterraine en France »).

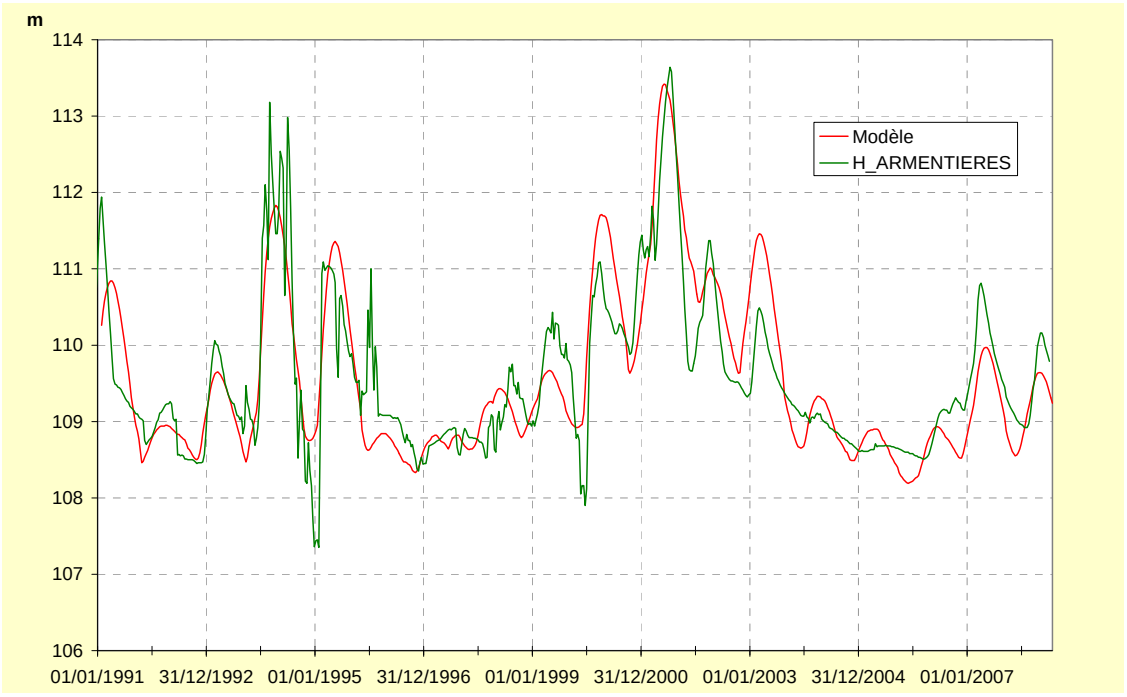


Illustration 348 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Armentières-sur-Ourcq

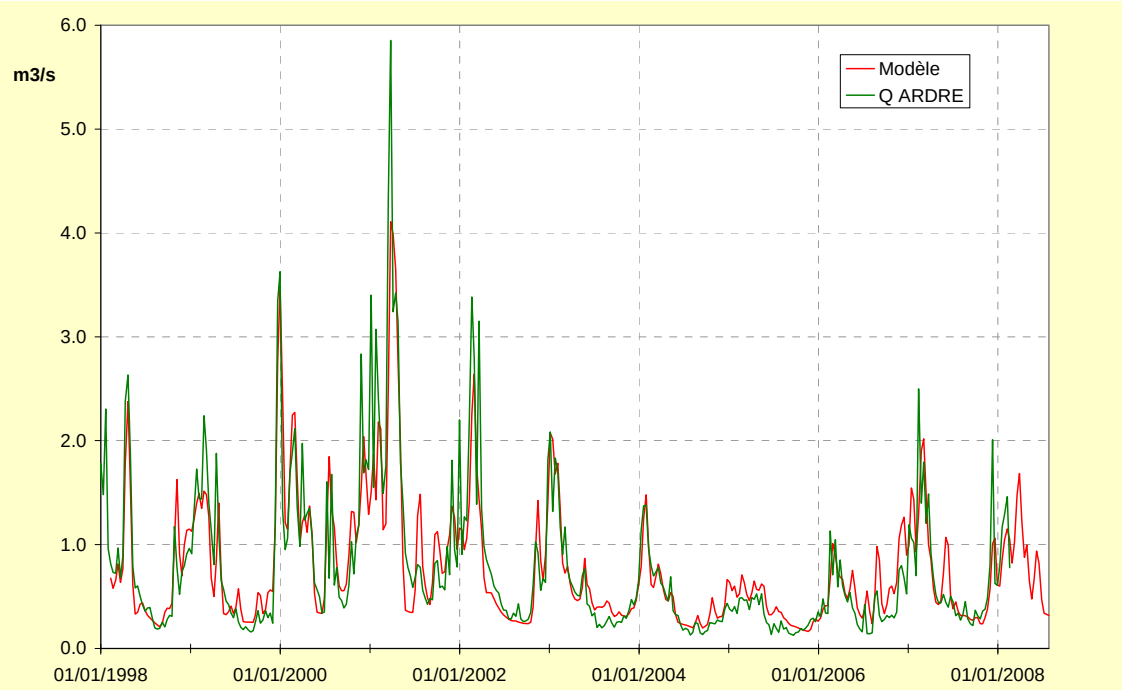


Illustration 349 : Modélisation du débit de l'Ardres à la station de Faverolles-et-Coemy en utilisant le piézomètre d'Armentières-sur-Ourcq

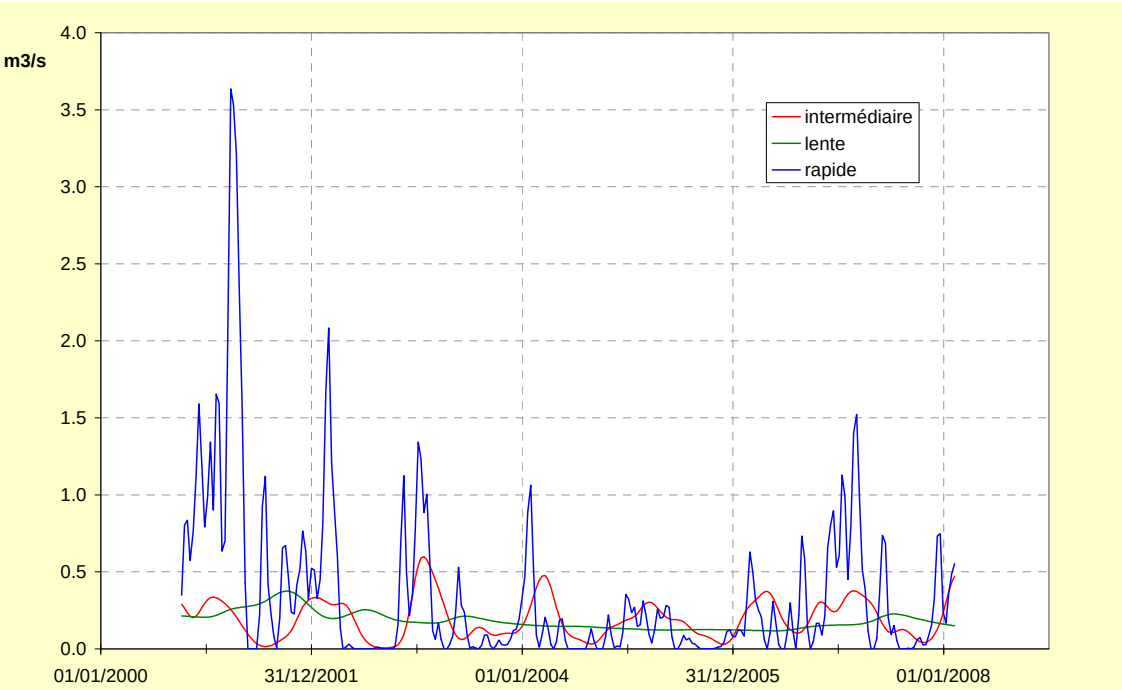


Illustration 350 : Composantes du débit de l'Ardres modélisé à la station de Faverolles-et-Coemy

La modélisation du débit de l'Ardres est présentée en Illustration 349 (coefficient de Nash de 0,78). Elle couvre une période allant du 10/02/1998 au 25/02/2008 (fin de la chronique de débit).

L'Illustration 350 montre les composantes du débit modélisé à la station hydrométrique de Faverolles-et-Coemy. Cette décomposition du signal fait apparaître une contribution saisonnière importante du ruissellement (courbe bleue, « rapide ») et une faible contribution des eaux souterraines au débit de ce cours d'eau (courbe verte, « lente »). Cette contribution est néanmoins présente tout au long de l'année hydrologique et elle assure donc un soutien du débit du cours d'eau en période d'étiage. Les variations saisonnières de cette contribution sont faiblement marquées.

L'Illustration 351 montre cette décomposition sous la forme de débits moyens mensuels. La fluctuation annuelle du débit mensuel moyen est similaire à celle fournie par la banque HYDRO (cf. Illustration 347), bien que la valeur du débit moyen mensuel des hautes eaux soit sous-estimée par la modélisation.

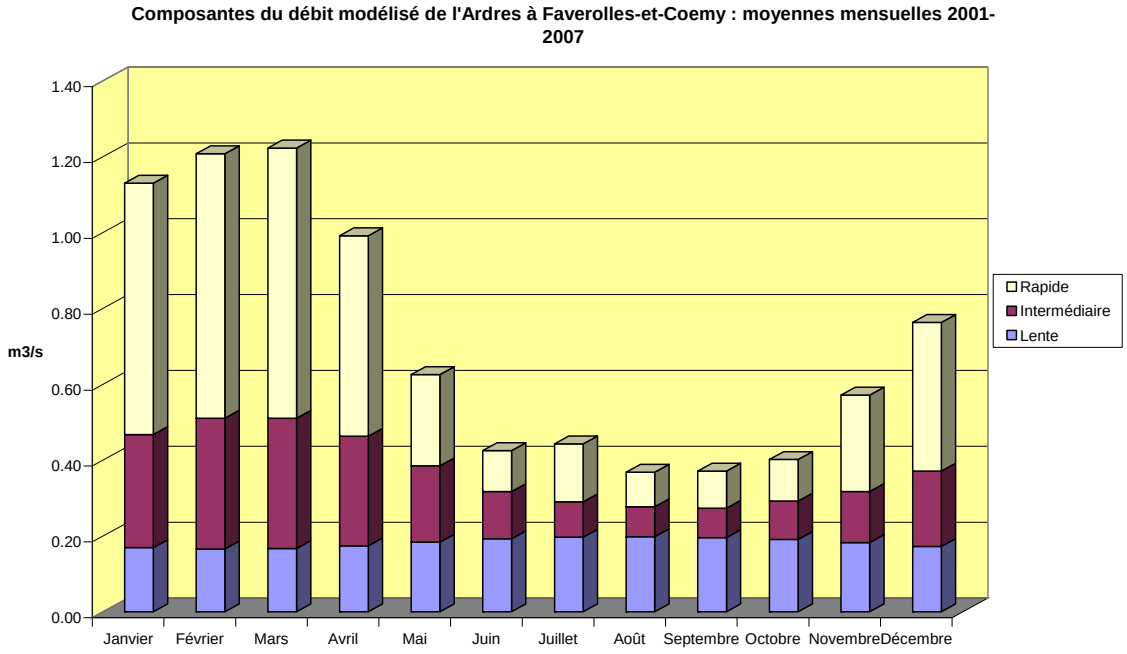


Illustration 351 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Ardres modélisé à la station de Faverolles-et-Coemy

8.2. BASSIN VERSANT DE L'HUITRELLE

8.2.1. Caractéristiques du bassin versant

Le bassin versant de l'Huitrelle se situe dans le Nord du département de l'Aube. Il occupe une superficie de 160 km² à la station hydrométrique de Lhuitre (source : Banque HYDRO). L'Huitrelle s'écoule du Nord vers le Sud. C'est un affluent de l'Aube en rive droite ; leur confluence se situe peu avant Arcis-sur-Aube.

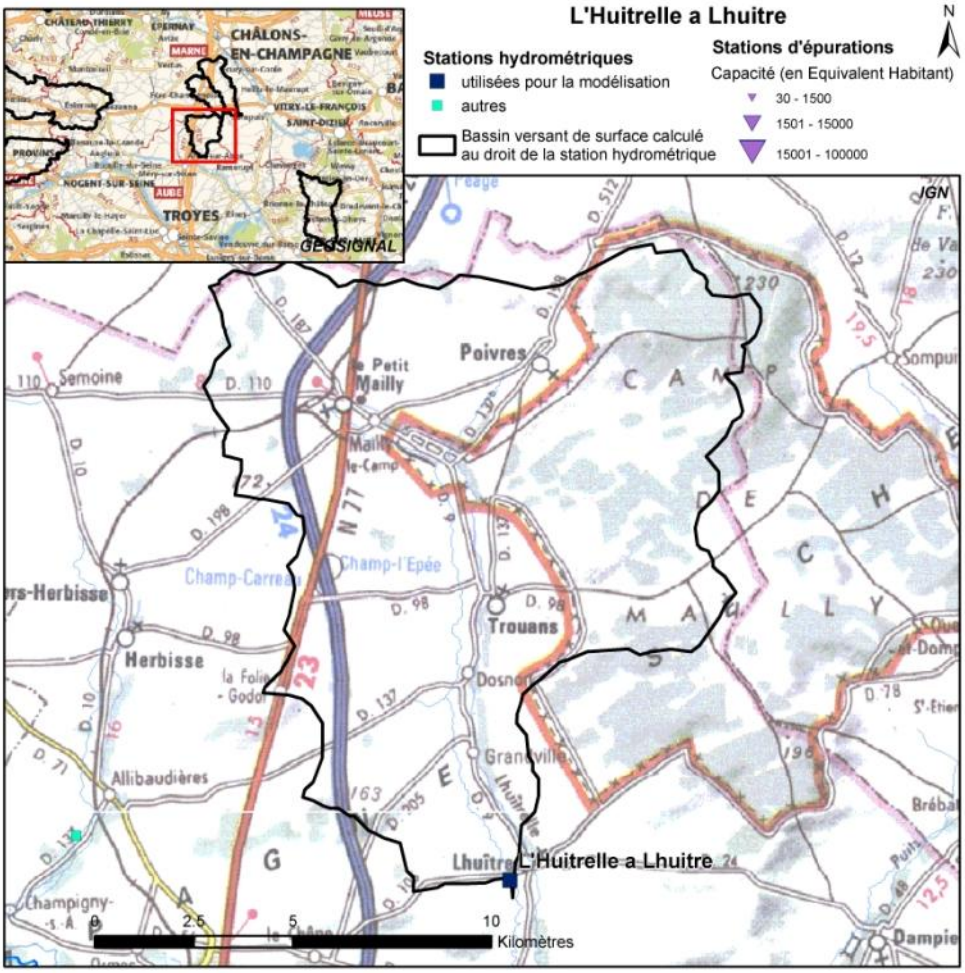


Illustration 352 : Localisation du bassin versant de l'Huitrelle (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude dans le bassin versant de l'Huitrelle s'échelonne de 227 à 98 m NGF, avec une moyenne de 152 m.

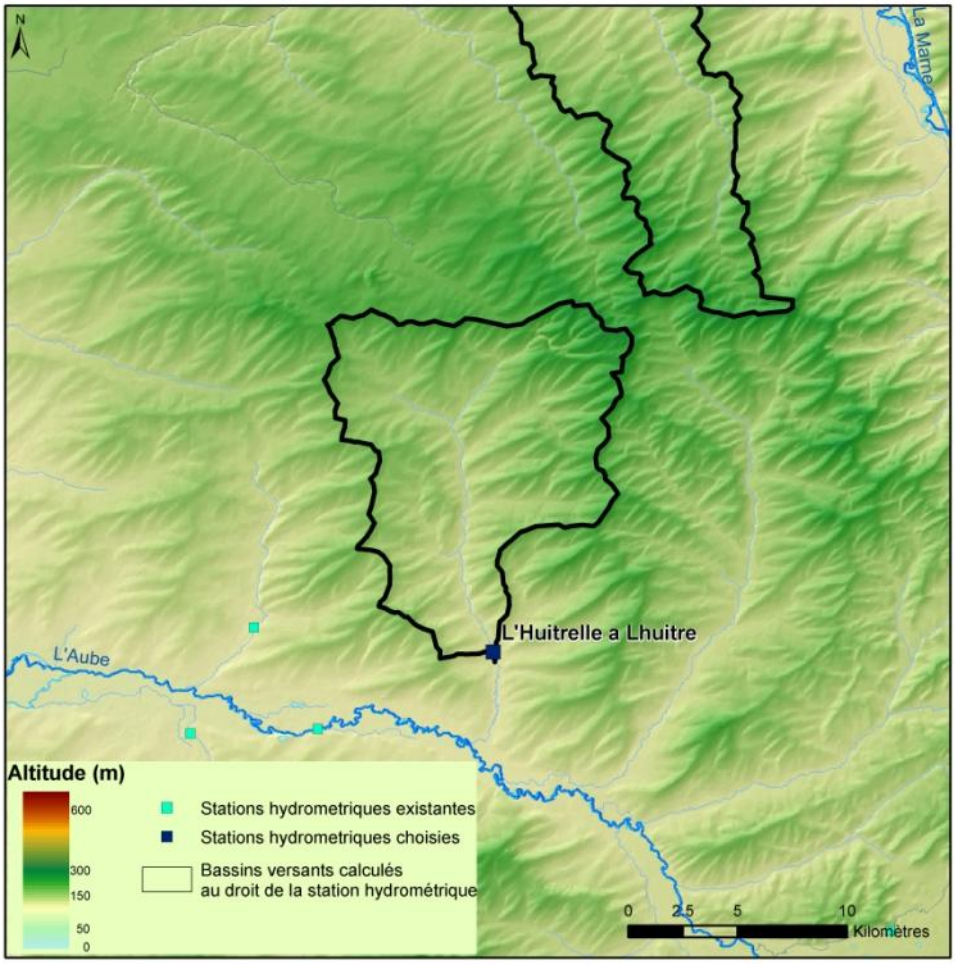


Illustration 353 : Altitude des terrains dans le bassin versant de l'Huitrelle (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne des terrains sur le bassin versant est de 3,8% (calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m), avec une pente maximale de 30,8%. Les pentes supérieures à 5% occupent 23% du bassin versant. Il s'agit d'un bassin versant relativement peu vallonné, dont les plus fortes pentes se situent au NE et dans une moindre mesure à l'Est : on note une nette dissymétrie entre les versants Est et Ouest de la vallée.

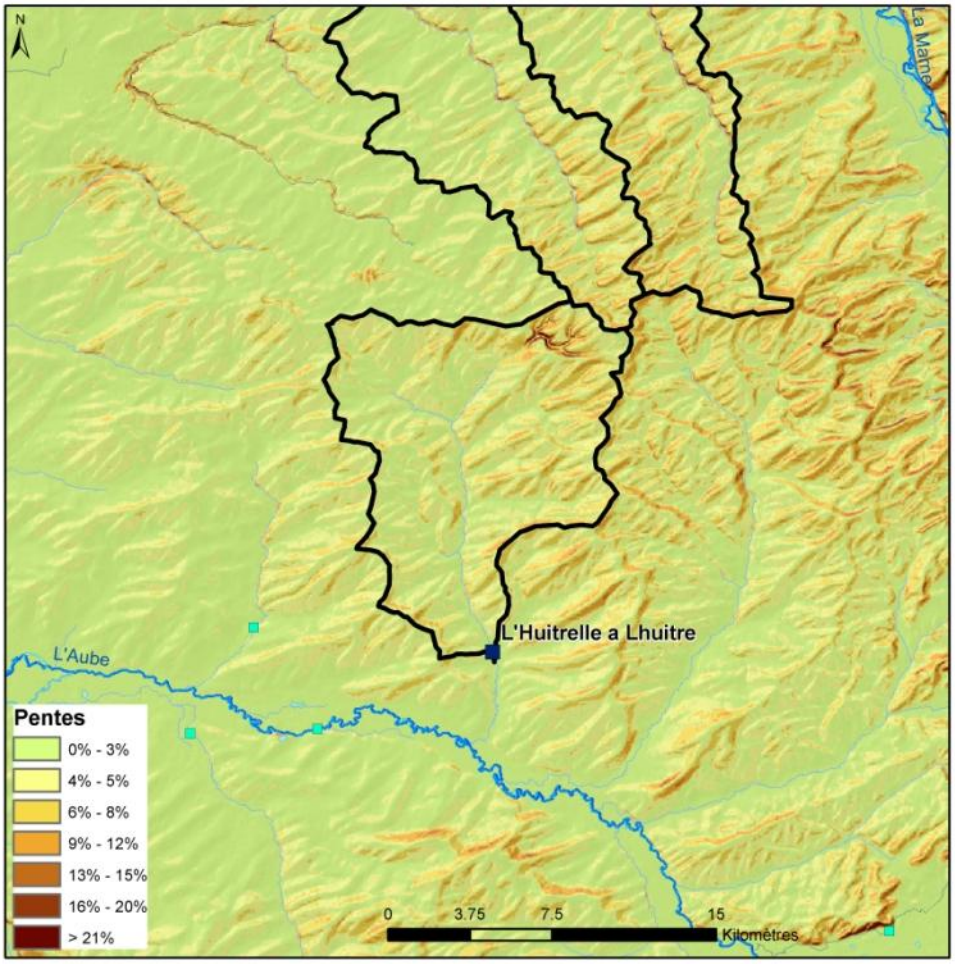


Illustration 354 : Pente des terrains dans le bassin versant de l'Huitrelle (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- zones agricoles hétérogènes : 59% ;
- prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives et « zones naturelles » : 37% ;
- zones urbanisées industrialisées : 4%.

Il s'agit donc globalement d'un bassin versant agricole avec une emprise urbaine assez faible.

Il n'a pas été identifié de stations d'épuration en fond de vallée (cf. Illustration 352).

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 24. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. On note une nette augmentation de ces prélèvements : ils ont été multipliés par 10 en 12 ans. Ramenés à la surface du bassin versant (160 km²), ils correspondent à une lame d'eau variant de 0,4 à 4,5 mm.

Annee	Prel_Irrigation
1995	61 338
1996	62 263
1997	109 396
1998	131 705
1999	134 385
2000	136 073
2001	184 450
2002	249 674
2003	456 859
2004	622 574
2005	454 485
2006	717 336

Tableau 24 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de l'Huitrelle

8.2.2. Climatologie

Le bassin versant de l'Huitrelle reçoit en moyenne 766 mm d'eau par an (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Il s'agit donc d'un territoire assez arrosé à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de trois stations météorologiques ont été utilisées dans le cadre de la modélisation :

- Sommesous (type 4, création de la station en janvier 1864), située à 3 km de la crête nord du bassin versant et recevant en moyenne une pluviométrie annuelle légèrement supérieure à celle du bassin versant ;
- Dosnon (type 2, création de la station en novembre 1949), située au cœur du bassin versant, en fond de vallée ;
- Troyes / Barberey-Saint-Sulpice (type 1, création de la station en mai 1975), située à une trentaine de kilomètres au SSO de la station hydrométrique de Lhuitre et qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des deux chroniques de pluie ci-dessus. La formule retenue est :

$$P_{opt} = 93\% \text{ Sommesous} + 7\% \text{ Dosnon}$$

8.2.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

Le bassin versant de l'Huitrelle s'est développé dans la craie séno-turonienne. Le fond de vallée est occupé par le Turonien au niveau de la station hydrométrique et par du Sénonien plus à l'amont.

La craie séno-turonienne constitue un aquifère dont la nappe est en connexion avec le cours d'eau.

Le piézomètre de Sompuis (indice national : 02255X0003/S1) a été retenu. Il capte la craie séno-turonienne à 3 km à l'Est du bassin versant de l'Huitrelle.

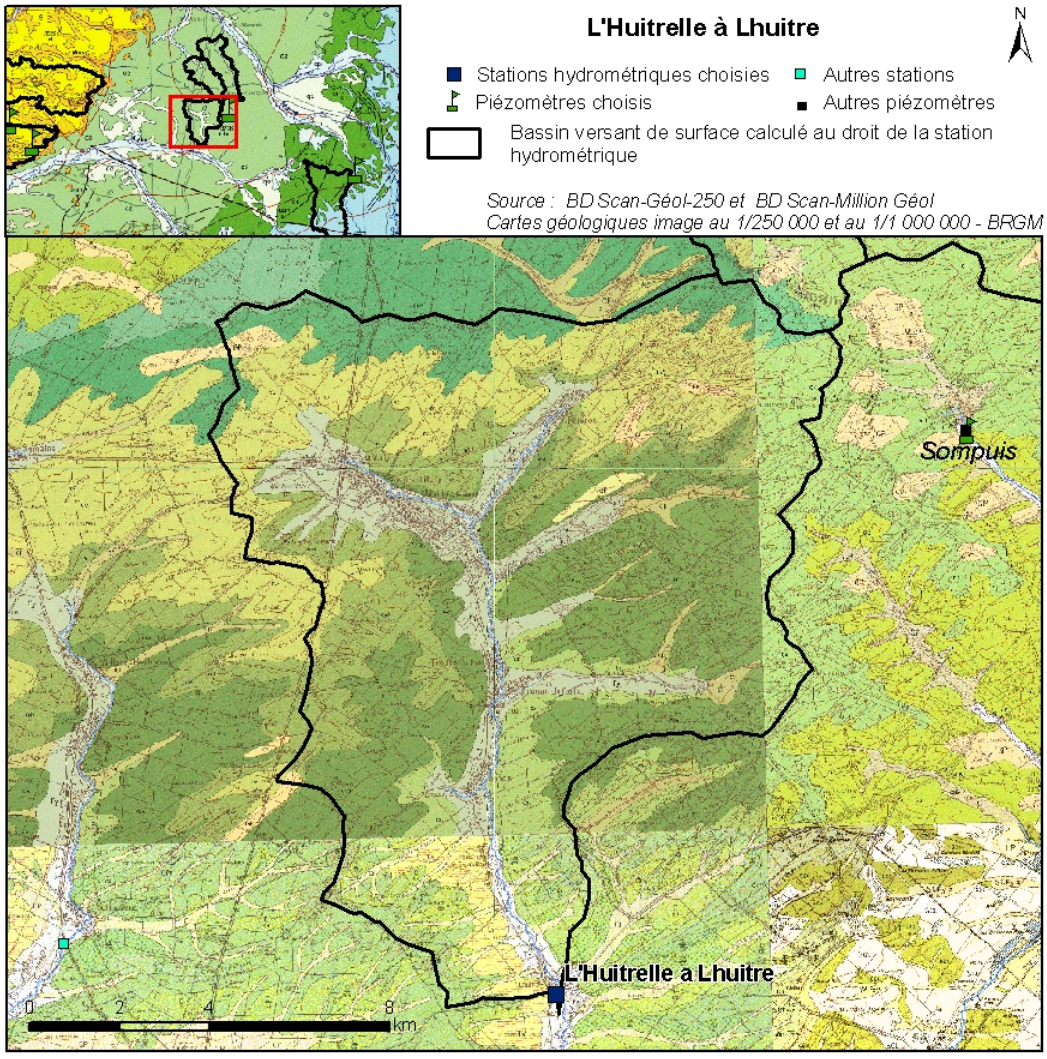


Illustration 355 : Carte géologique du bassin versant de l'Huitrelle

b) Piézométrie

La chronique du piézomètre de Sompuis démarre le 14/01/1969. La fréquence d'acquisition des données varie de mensuelle à hebdomadaire jusqu'au 01/01/1994, date à partir de laquelle l'acquisition devient quotidienne.

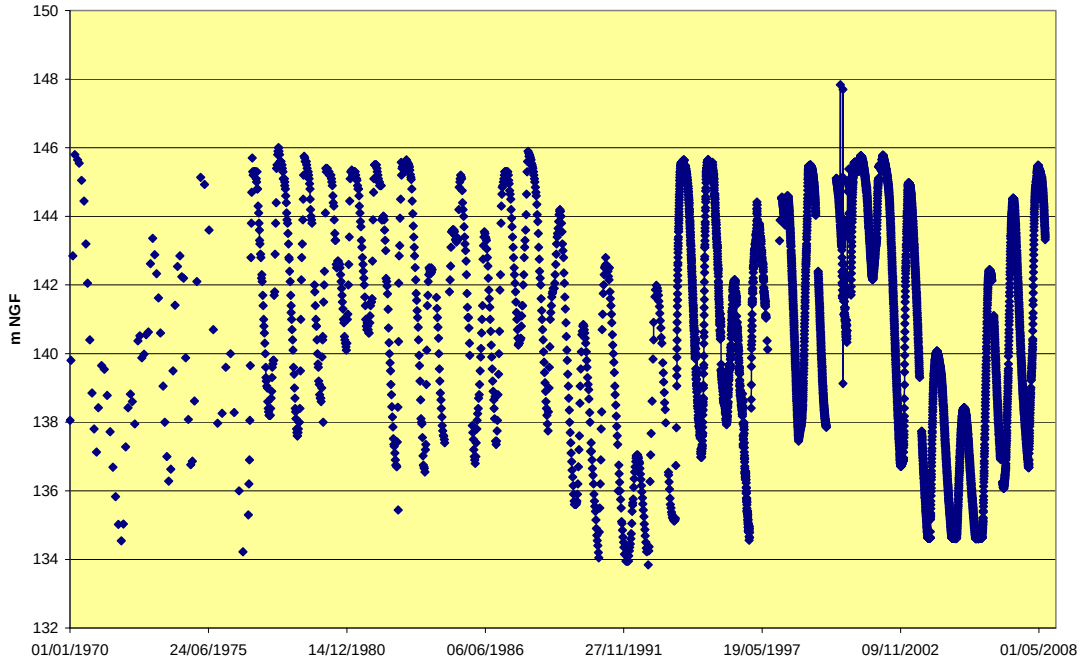


Illustration 356 : Chronique du piézomètre de Sompuis (indice national : 02255X0003/S1)

On dénombre deux interruptions de plus de 80 jours : du 08/08/1997 au 26/01/1998 et du 03/12/1999 au 24/04/2000.

Cette chronique piézométrique présente des fluctuations saisonnières très marquées, avec une réactivité élevée. Le temps de demi-décroissance avait été évalué à 3,4 mois dans le cadre de l'étude relative à l'exploitabilité des ressources en eau souterraine en France (rapport BRGM/RP-51888-FR).

8.2.4. Hydrologie

Le débit de l'Huitrelle est connu au travers de la station hydrométrique de Lhuitre (code HYDRO : H1503510).

La chronique de débit journalier a été établie à partir des données transmises par la DIREN Champagne : elle s'étale sur une période allant du 10/07/1997 au 31/01/2008. Elle ne comporte aucune interruption sur cette période.

Les basses eaux interviennent en septembre et les hautes eaux en mars. L'étiage du cours d'eau est soutenu par la nappe (cf. Illustration 357).

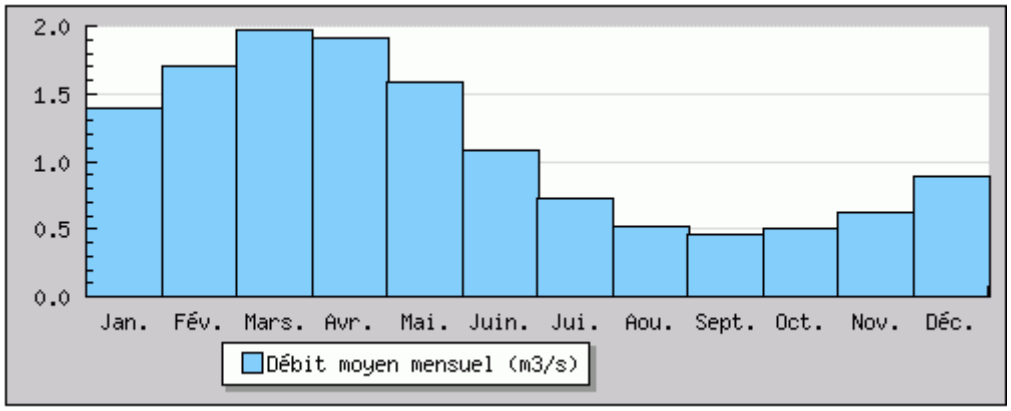


Illustration 357 : Débit moyen mensuel (en m^3/s) à la station hydrométrique de Lhuitre (source : banque HYDRO)

Les débits journaliers vont de 0,134 m^3/s à 4,54 m^3/s. La lame d'eau moyenne annuelle est de 218 mm (source : Banque HYDRO).

Le QMNA5 est de 0,23 m^3/s pour un bassin versant d'une superficie de 160 km^2.

8.2.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de l'Huitrelle a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : pluie optimale (P_{opt} = 93% Sommesous + 7% Dosnon) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Troyes-Barberey ;
- Piézométrie : piézomètre de Sompuis.

La modélisation du piézomètre a été effectuée en utilisant les mêmes données météorologiques. Le résultat de la modélisation est présenté en Illustration 358 (coefficient de Nash de 0,79). La composante lente du signal modélisé est de 280 jours, ce qui correspond à un comportement assez rapide pour une nappe.

L'Illustration 359 montre le résultat de la modélisation du débit de l'Huitrelle à Lhuitre en utilisant le piézomètre de Sompuis. Le calage est bon, avec un coefficient de Nash de 0,88 sur la période allant du 15/07/1997 au 19/01/2008 (modélisation effectuée au pas décadaire).

L'Illustration 360 montre les composantes du débit modélisé à la station hydrométrique de Lhuitre. Cette décomposition du signal fait notamment apparaître une contribution assez importante des eaux souterraines au débit de ce cours d'eau (courbe verte, « lente »). Elle varie selon les fluctuations saisonnières mais aussi interannuelles de la nappe (faible contribution des eaux souterraines durant trois hivers consécutifs – 2003-2004, 2004-2005 et 2005-2006 – lorsque le niveau de la nappe est au plus bas.

L'Illustration 361 montre la décomposition du débit modélisé sous la forme de débits moyens mensuels.

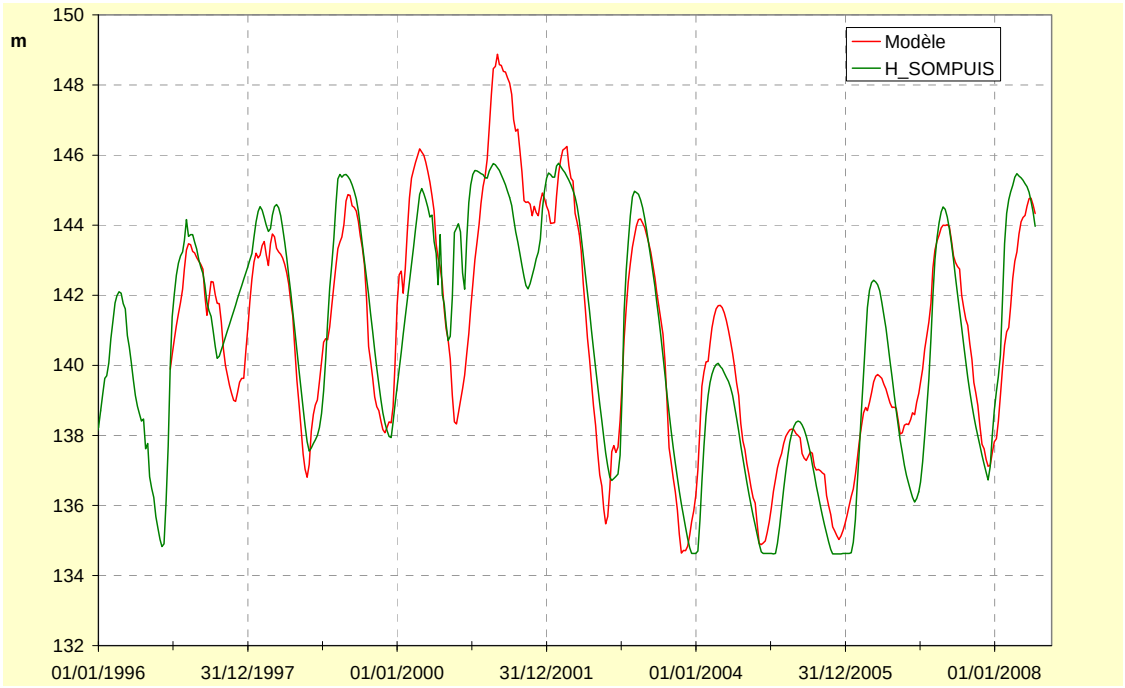


Illustration 358 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Sompuis

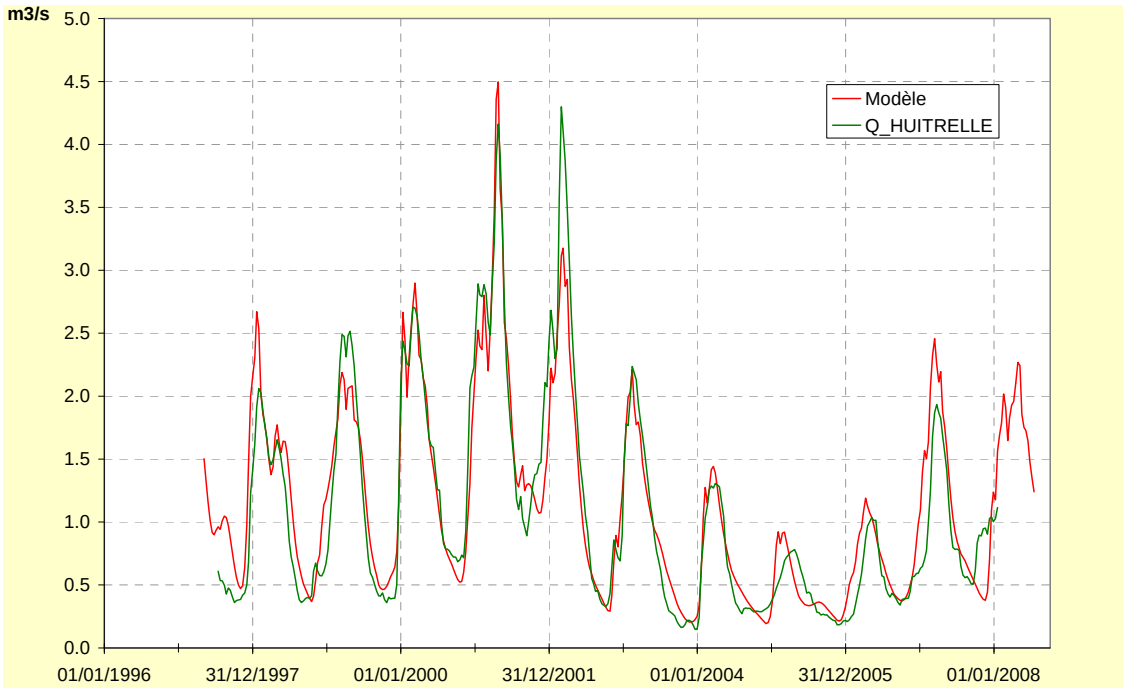


Illustration 359 : Modélisation du débit de l'Huitrelle à la station de Lhuitre en utilisant le piézomètre de Sompuis

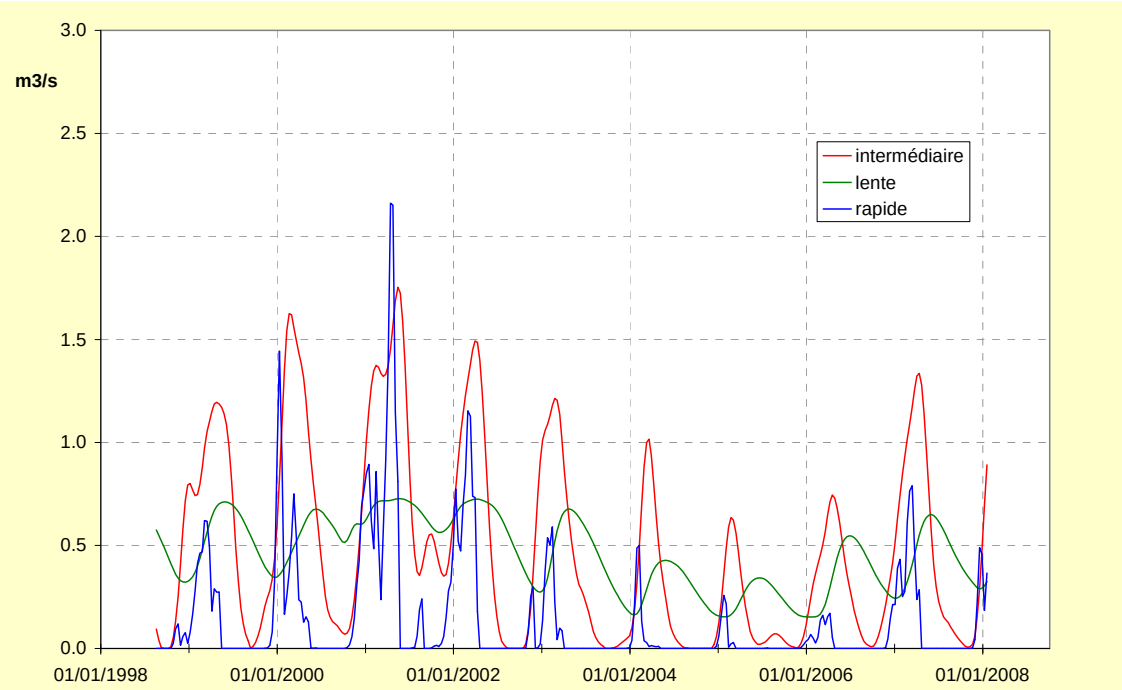


Illustration 360 : Composantes du débit de l'Huitrelle modélisé à la station de Lhuitre

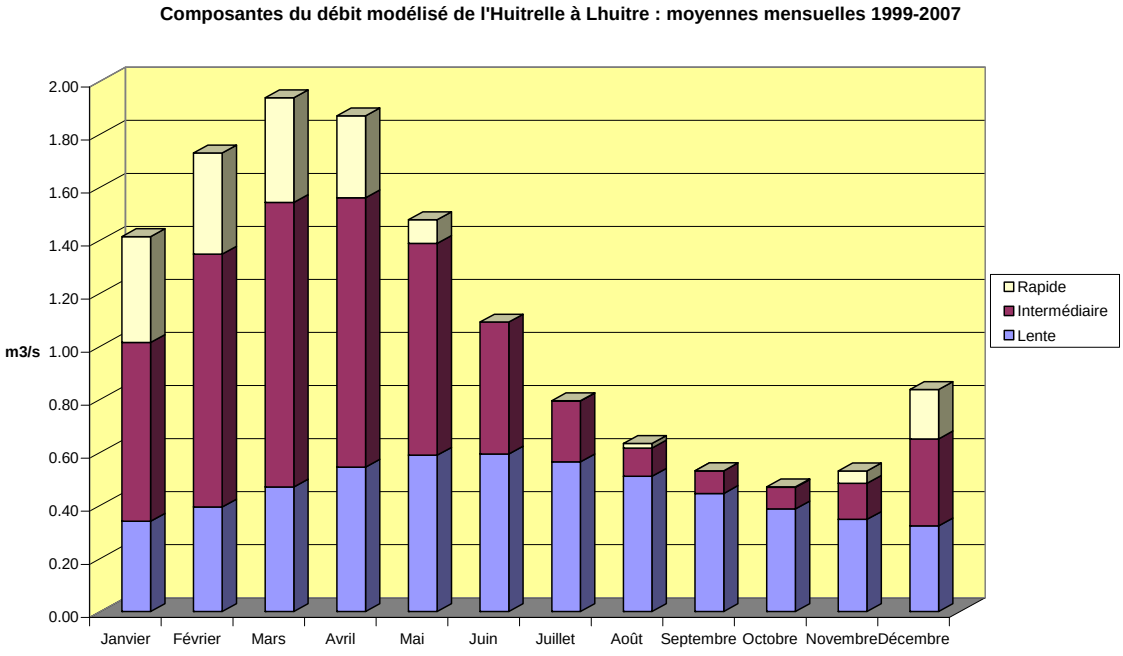


Illustration 361 : Composantes du débit moyen mensuel de l'Huitrelle modélisé à la station de Lhuitre

8.3. BASSIN VERSANT DE LA RETOURNE

Pour mémoire, il existe dans ce bassin versant un outil de gestion depuis 1998, dont la dernière mise à jour a été effectuée en octobre 2008 (cf. rapport BRGM RP-55594-FR).

8.3.1. Caractéristiques du bassin versant

Le bassin versant de la Retourne se situe dans le Sud-Ouest du département des Ardennes. Il est limitrophe du bassin versant de la Suippe dans son extrémité sud et occupe une superficie de 322 km² à la station hydrométrique de Houdilcourt (source : Banque HYDRO). La Retourne est un affluent de l'Aisne en rive gauche, qu'elle rejoint à Brienne-sur-Aisne.

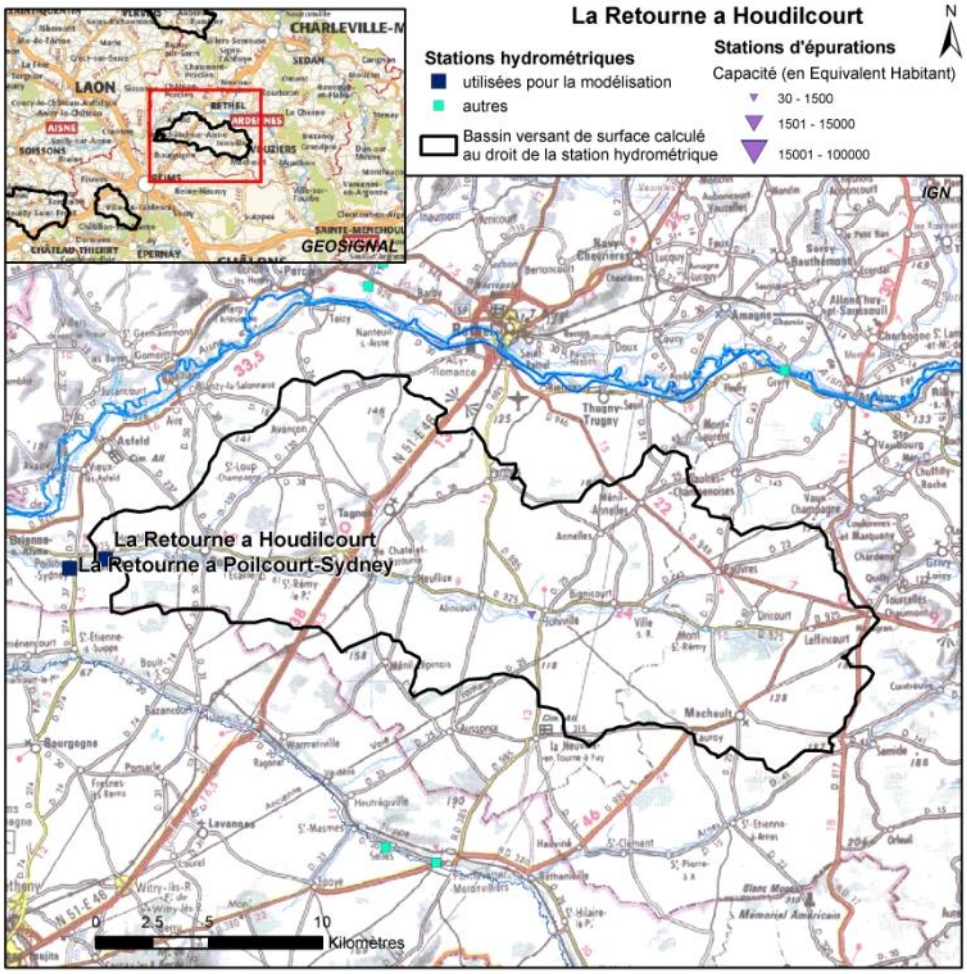


Illustration 362 : Localisation du bassin versant de la Retourne (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude dans le bassin versant de la Retourne s'échelonne de 186 à 62 m NGF, avec une moyenne de 120 m.

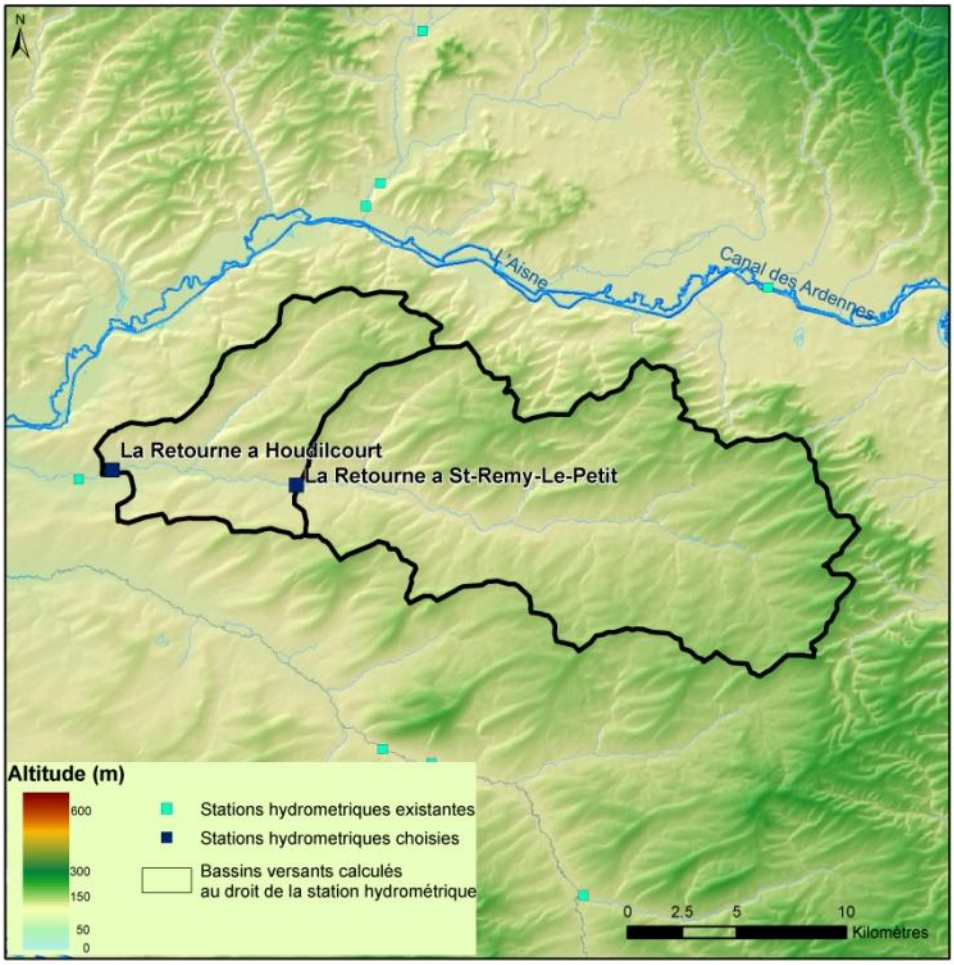


Illustration 363 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Retourne (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne des terrains sur le bassin versant est de 3,2% (calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m), avec une pente maximale de 25%. Les pentes supérieures à 5% occupent 23% du bassin versant. Il s'agit d'un bassin versant relativement peu vallonné, assez homogène mais dont les plus fortes pentes se situent néanmoins en rive nord.

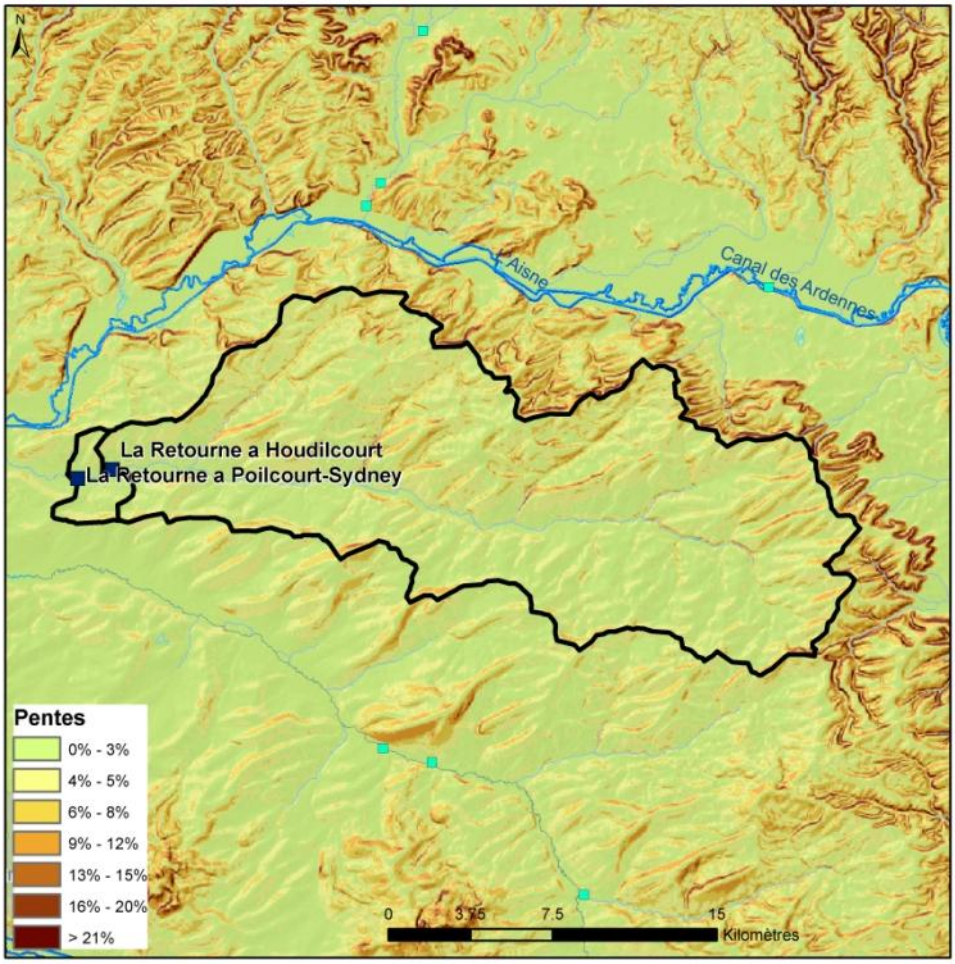


Illustration 364 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Retourne (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- zones agricoles hétérogènes : 94% ;
- prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives : 4% ;
- zones urbanisées industrialisées : 2%.

Il s'agit donc globalement d'un bassin versant très fortement agricole, avec une emprise urbaine faible.

Il n'a pas été identifié de stations d'épuration en fond de vallée (cf. Illustration 362).

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 25. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. On note une nette augmentation de ces prélèvements : le volume prélevé en 2006 est près de 5 fois celui prélevé en 1995. Ramenés à la surface du bassin versant (322 km²), ils correspondent à une lame d'eau variant de 0,6 à 3,8 mm.

Annee	Prel_Irrigation
1995	205 508
1996	282 565
1997	272 527
1998	303 191
1999	511 448
2000	579 080
2001	754 913
2002	830 370
2003	1 145 073
2004	1 229 776
2005	837 404
2006	1 011 369

Tableau 25 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Retourne

Le volume prélevé annuellement pour l'eau potable est de 1 100 000 m^3 environ (soit une lame d'eau moyenne annuelle de 3,4 mm). À cela s'ajoutent environ 100 000 m^3 prélevés annuellement pour l'industrie (soit une lame d'eau moyenne annuelle de 0,3 mm).

8.3.2. Climatologie

Le bassin versant de la Retourne reçoit en moyenne 735 mm d'eau par an (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Il s'agit donc d'un territoire recevant une pluviométrie moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données météorologiques utilisées dans le cadre de la modélisation (ETP et pluviométrie décadaires) sont celles de la station météorologique de Reims-Courcy. Créée en janvier 1929, cette station est située à 15 km au SSO de la station hydrométrique d'Houdilcourt.

8.3.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

Le bassin versant de la Retourne s'est développé dans la craie du Sénonien, les formations les plus récentes (Campanien) affleurant dans sa partie ouest.

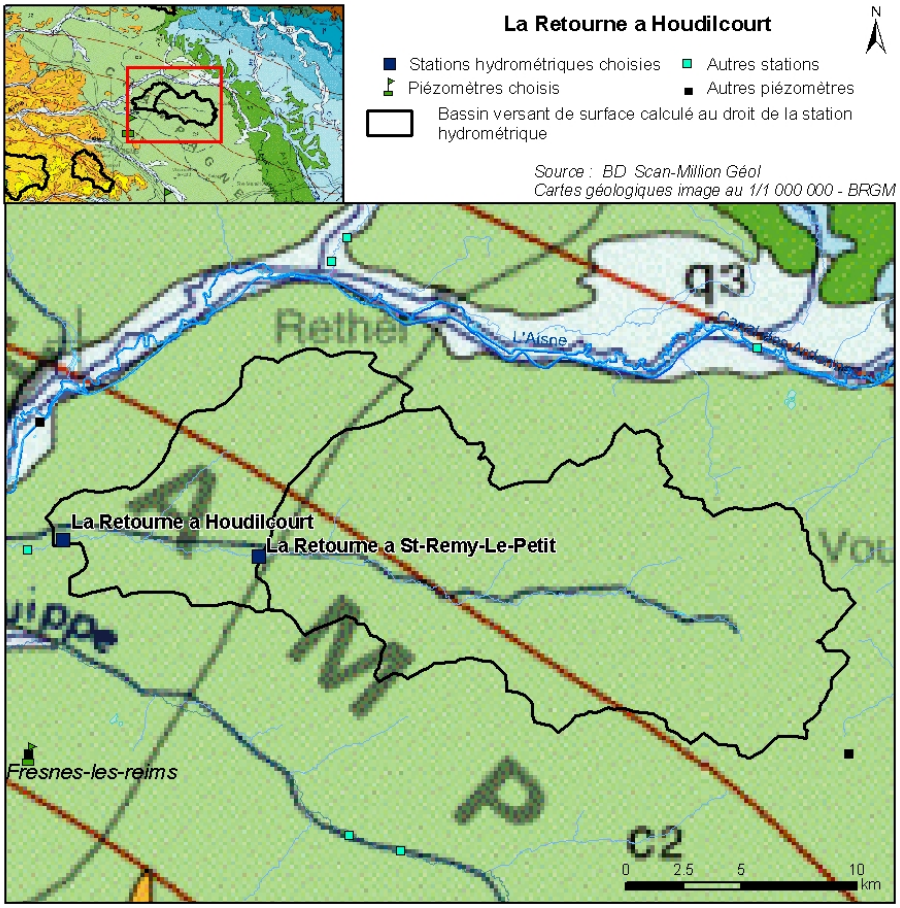


Illustration 365 : Carte géologique du bassin versant de la Retourne

L'infiltration est prédominante à l'échelle du bassin versant (valeur médiane de l'IDPR : 267).

b) Piézométrie

Le piézomètre retenu est celui de Fresne-lès-Reims, situé à moins de 10 km au sud de la station hydrométrique de Houdilcourt. Il capte la craie sénonienne. Sa chronique démarre le 18/01/1968 et elle connaît une seule période d'interruption de plus de 30 jours, du 16/07/2001 au 07/02/2002.

Les fluctuations saisonnières de la nappe de la craie sont très marquées sur ce piézomètre.

Le piézomètre d'Alincourt (indice national : 01095X0001/FAEP) est situé dans le bassin versant de la Retourne. Il n'a pas été retenu car l'acquisition des données n'a démarré qu'en 2005 : sa chronique est encore trop courte pour être exploitée dans le cadre de cette étude.

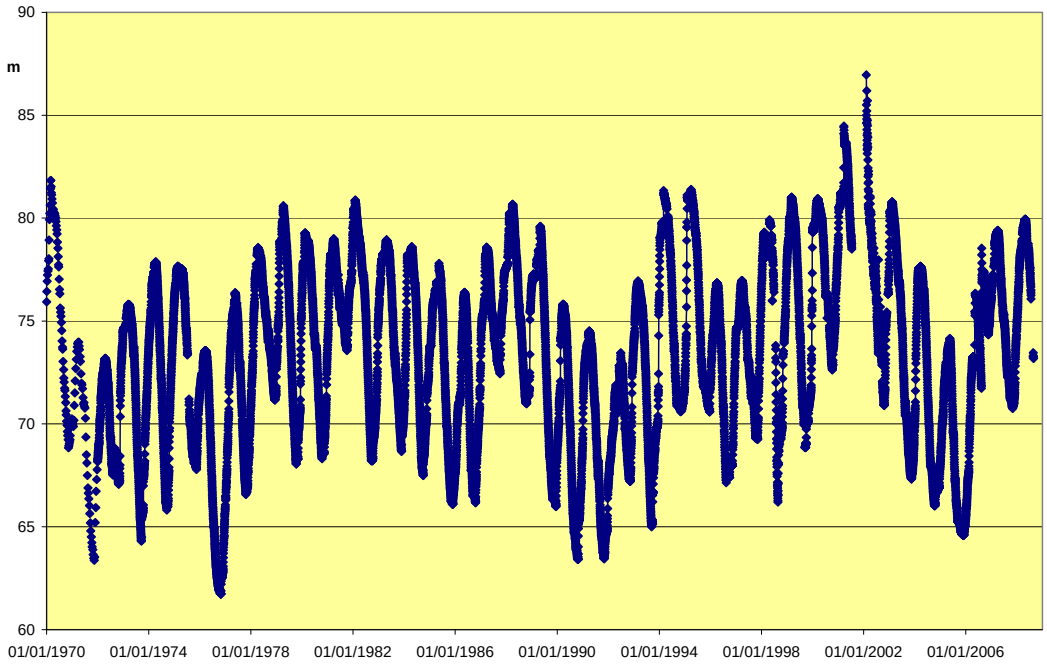


Illustration 366 : Chronique du piézomètre de Fresne-lès-Reims (indice national : 01086X0011/LS4)

8.3.4. Hydrologie

Le débit de la Retourne est connu au travers de la station hydrométrique de Houdilcourt (code HYDRO : H6303820). Il existe deux autres stations hydrométriques dans ce bassin versant :

- à Saint-Remy-le-Petit (Code HYDRO : H6303840, bassin versant de 237 km²), pour laquelle des données ont été acquises entre 2004 et 2007 ;
- à Poilcourt-Sydney (Code HYDRO : H6303810, bassin versant de 322 km²), pour laquelle des données ont été acquises entre 1970 et 1988.

La chronique de débit journalier s'étale sur une période allant du 08/01/1970 au 18/12/1999. Elle comporte deux périodes d'interruption du 28/02/1988 au 15/06/1988 et du 04/12/1988 au 16/01/1991, ainsi qu'une période d'assec du 22/08/1976 au 29/10/1976.

Les hautes eaux interviennent en mars-avril et les basses eaux en août-septembre. L'Illustration 367 semble indiquer l'existence d'un soutien du cours d'eau par la nappe.

Les débits journaliers vont de 0 à 7,55 m^3/s. La lame d'eau moyenne annuelle est de 156 mm (source : Banque HYDRO).

Le QMNA5 est de 0,34 m^3/s pour un bassin versant d'une superficie de 322 km².

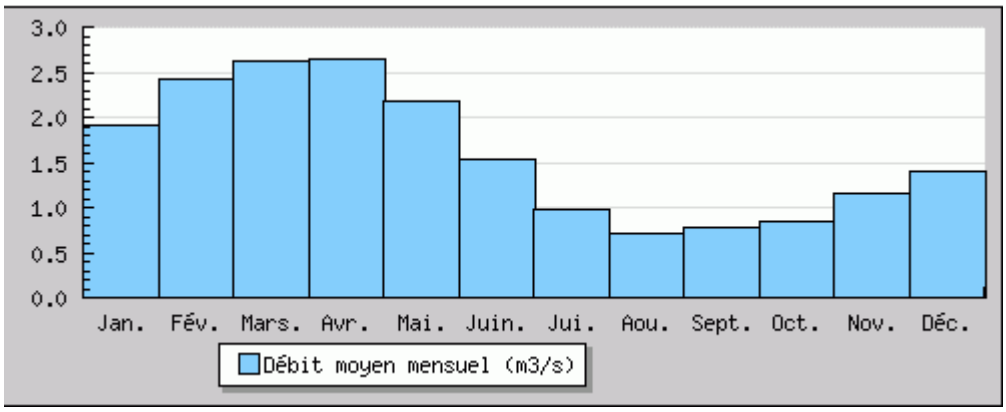


Illustration 367 : Débit moyen mensuel (en m^3/s) à la station hydrométrique de Houdilcourt (source : banque HYDRO)

8.3.5. Modélisation globale des écoulements

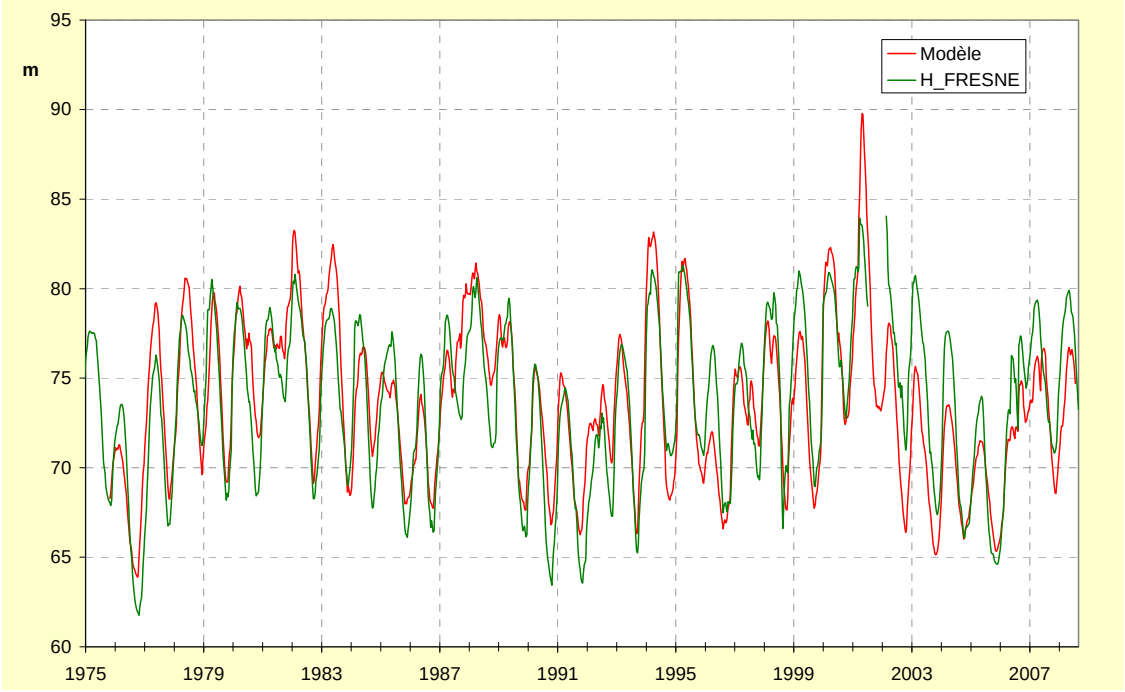


Illustration 368 : Modélisation des fluctuations piézomètriques à Fresne-lès-Reims

La modélisation du débit de la Retourne a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : données décadaires de la station météorologique de Reims-Courcy ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Reims-Courcy ;
- Piézométrie : piézomètre de Fresne-lès-Reims (01086X0011/LS4).

La modélisation du piézomètre a été effectuée en utilisant les mêmes données météorologiques. Le résultat de la modélisation est présenté en Illustration 368 (coefficient de Nash de 0,70). La composante lente du signal modélisé est de 250 jours, ce qui correspond à un comportement assez rapide pour une nappe.

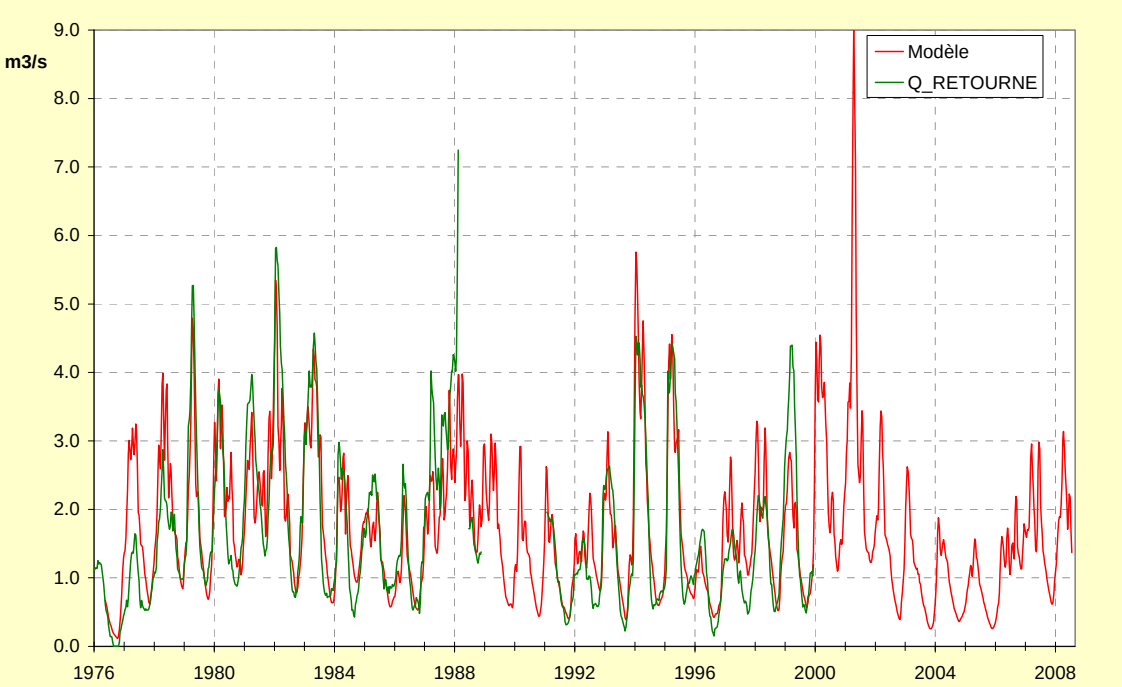


Illustration 369 : Modélisation du débit de la Retourne à la station d'Houdilcourt

L'Illustration 369 montre le résultat de la modélisation du débit de la Retourne à Houdilcourt en utilisant le piézomètre de Fresne-lès-Reims. Le coefficient de Nash est de 0,70 sur la période allant du 16/05/1976 au 12/12/1999 (avec une modélisation effectuée au pas décadaire).

L'Illustration 370 montre les composantes du débit modélisé à la station hydrométrique de Houdilcourt. Cette décomposition du signal fait apparaître une contribution saisonnière importante du ruissellement (courbe bleue « rapide »), ainsi qu'un soutien du débit du cours d'eau par les eaux souterraines (courbe verte, « lente »). On remarque notamment qu'un faible niveau de nappe (fin 1976, cf. Illustration 368) va se traduire par un assec du cours d'eau (cf. Illustration 369).

L'Illustration 371 montre la décomposition du débit modélisé sous la forme de débits moyens mensuels.

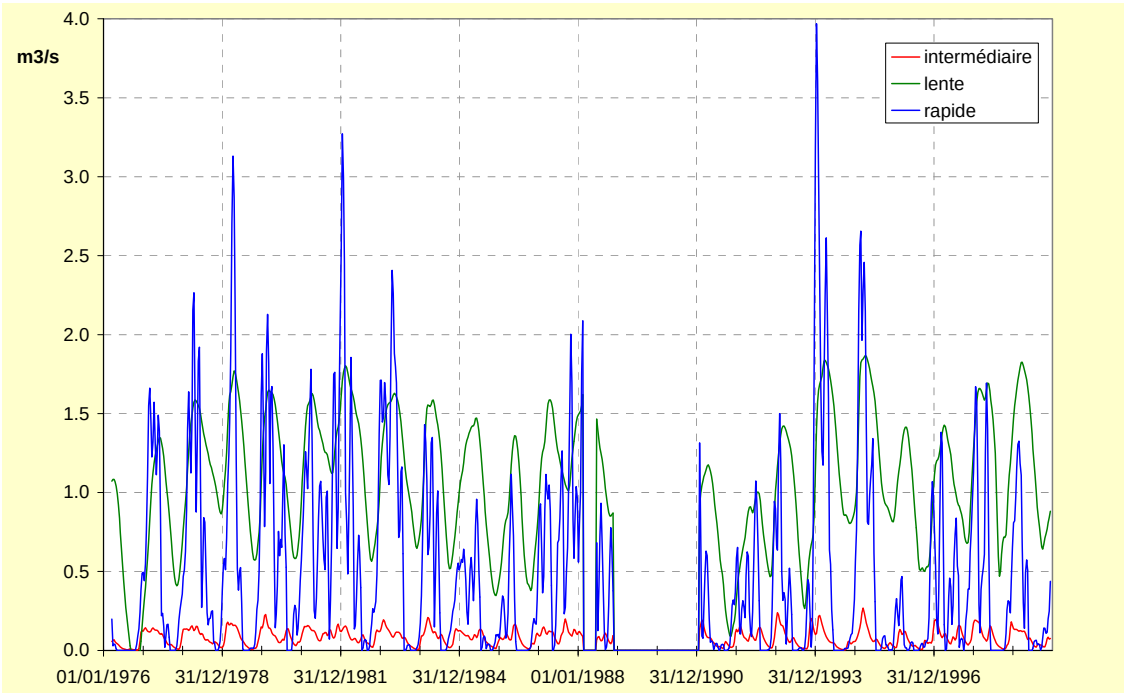


Illustration 370 : Composantes du débit de la Retourne modélisé à la station d'Houdilcourt

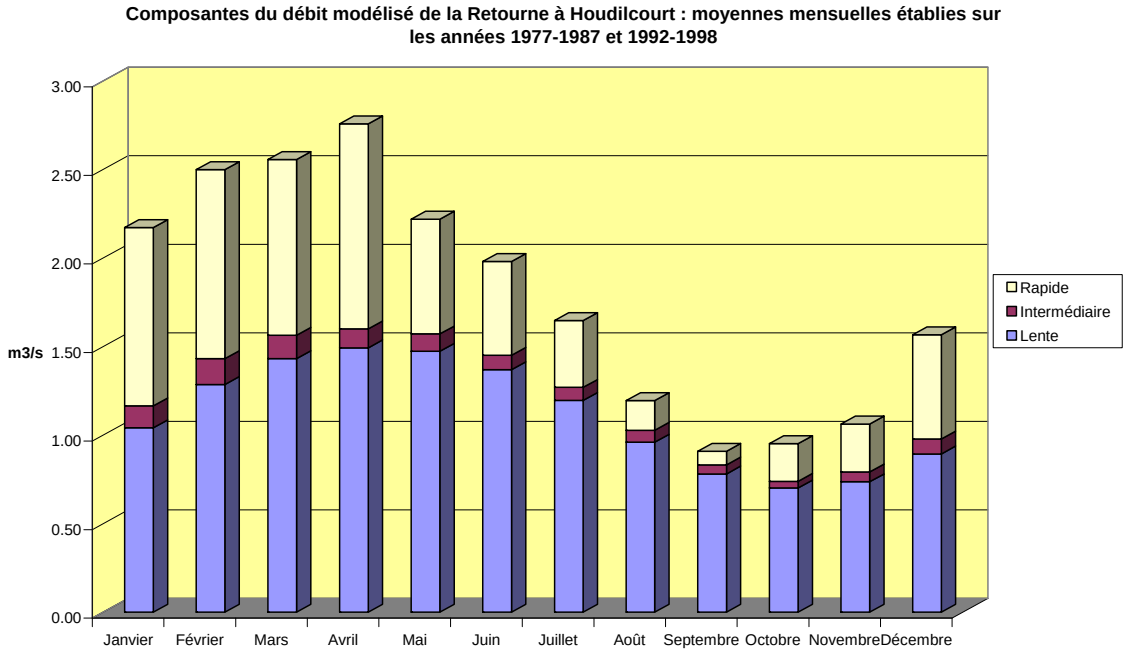


Illustration 371 : Composantes du débit moyen mensuel de la Retourne modélisé à la station d'Houdilcourt

8.4. BASSIN VERSANT DE LA SOUDE

Le bassin versant de la Soude a déjà été modélisé en 2006 dans le cadre du rapport « prévision des volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en Champagne crayeuse » (BRGM/RP-55087-FR). Il s'agit ici d'en faire une mise à jour.

Par ailleurs, pour plus d'informations concernant l'hydrogéologie de terrain, on peut par exemple se reporter aux études suivantes :

- BRGM/RP-54178-FR (SCHMIDT C., CHABART M., NORMAND M., 2006) – Élaboration de règles de gestion volumique de la ressource en eau pour les bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole (51). Rapport final.
- BRGM/RP-54978-FR (CHABART M., PANNET P., STOLLSTEINER P., MARDHEL V, 2006) - Étude des bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole (Marne). Acquisitions de données complémentaires et mise en oeuvre d'un SIG. Rapport final.

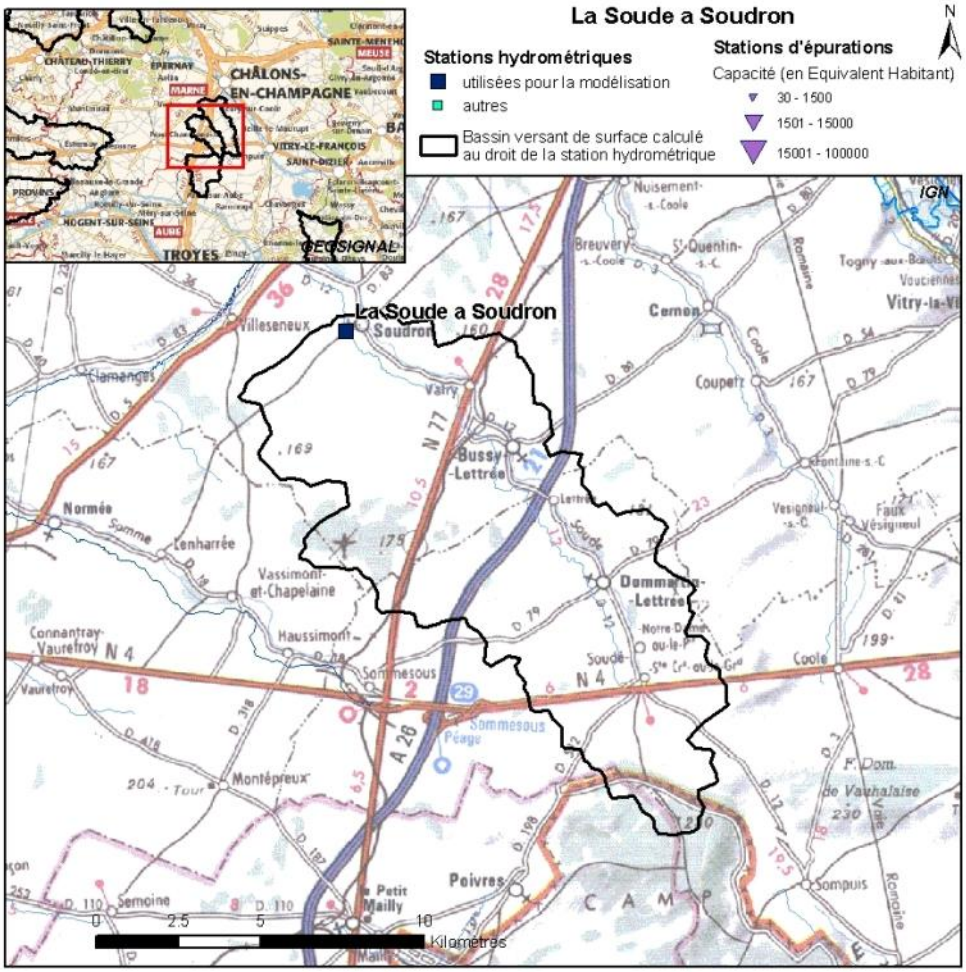


Illustration 372 : Localisation du bassin versant de la Soude (sources : GEOSIGNAL et IGN)

8.4.1. Caractéristiques du bassin versant

Le bassin versant de la Soude se situe dans le Sud du département de la Marne. Il est limitrophe du bassin versant de l'Huitrelle dans son extrémité sud et occupe une superficie de 105 km² à la station hydrométrique de Soudron (source : Banque HYDRO). La Soude s'écoule du SSE vers le NNO. Elle rejoint la Somme en rive droite, rivière avec laquelle elle forme la Somme-Soude à partir de leur confluence peu après Soudron.

a) Altitudes

L'altitude dans le bassin versant de la Soude s'échelonne de 227 à 109 m NGF, avec une moyenne de 159 m.

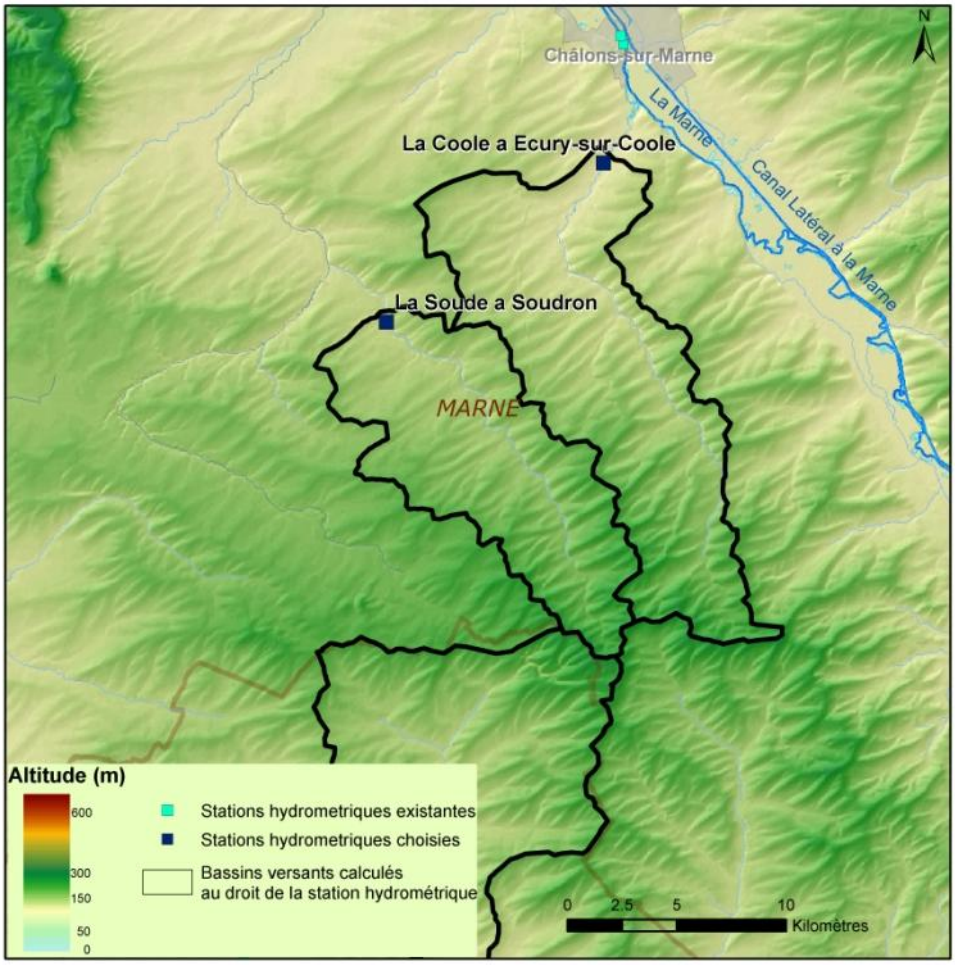


Illustration 373 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Soude (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne des terrains sur le bassin versant est de 3,3% (calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m), avec une pente maximale de 18%. Les pentes supérieures à 5% occupent 19% du bassin versant. Il s'agit d'un bassin versant relativement peu vallonné, dont les plus fortes pentes se situent au Sud-Est et à l'Est : le versant Ouest présente un relief peu marqué.

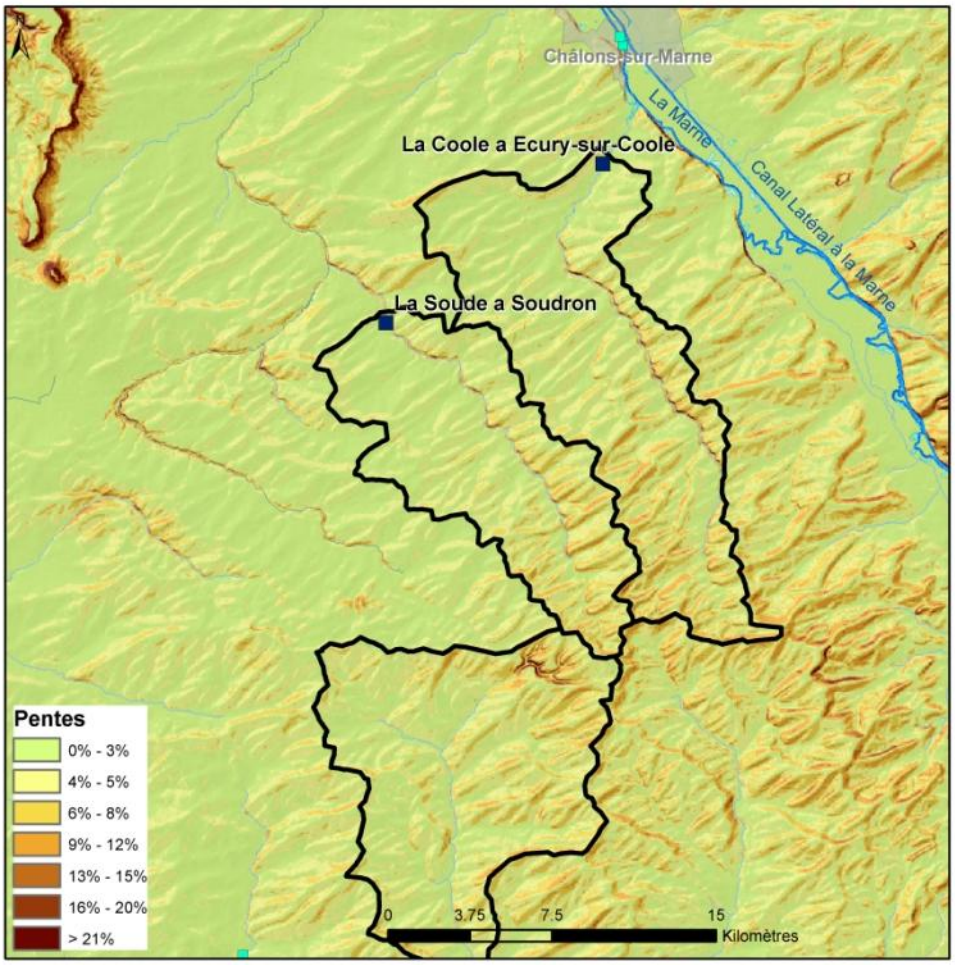


Illustration 374 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Soude (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- zones agricoles hétérogènes : 90% ;
- prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives : 4% ;

- zones urbanisées industrialisées : 4% ;
- « mines, décharges et chantiers » : 2%.

Il s'agit donc globalement d'un bassin versant très fortement agricole, avec une emprise urbaine relativement faible.

Il n'a pas été identifié de stations d'épuration en fond de vallée (cf. Illustration 372).

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 26. Les volumes ont été estimés de 1995 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. On note une nette augmentation de ces prélèvements : ils ont plus que décuplé en 12 ans. Ramenés à la surface du bassin versant (105 km²), ils correspondent à une lame d'eau variant de 0,1 à 6.8 mm. Le pic de prélèvement correspond à l'année de la sécheresse estivale (2003).

Annee	Prel_Irrigation
1995	10 288
1996	33 846
1997	66 232
1998	97 415
1999	212 828
2000	278 392
2001	288 731
2002	582 326
2003	714 119
2004	539 127
2005	488 754
2006	494 044

Tableau 26 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Soude

Le volume prélevé annuellement en moyenne pour l'AEP est de l'ordre de 70 000 m^3.

8.4.2. Climatologie

Le bassin versant de la Soude reçoit en moyenne 742 mm d'eau par an (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Il s'agit donc d'un territoire présentant une pluviométrie moyenne à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

En 2006, les données météorologiques utilisées étaient celles de Reims-Courcy et Melun pour la pluviométrie et de Reims-Courcy pour l'ETP. Afin de se rapprocher de la pluviométrie réelle sur le bassin versant, la station météorologique de Sommesous a cette fois été retenue.

Deux stations météorologiques ont donc été utilisées dans le cadre de la modélisation :

- Sommesous (type 4, création de la station en janvier 1864), située à 3 km de la crête sud-ouest du bassin versant : pour représenter la pluviométrie ;

- Reims-Courcy (type 1, création de la station en janvier 1929), située à une cinquantaine de kilomètres au nord de la station hydrométrique de Soudron et qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman.

8.4.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

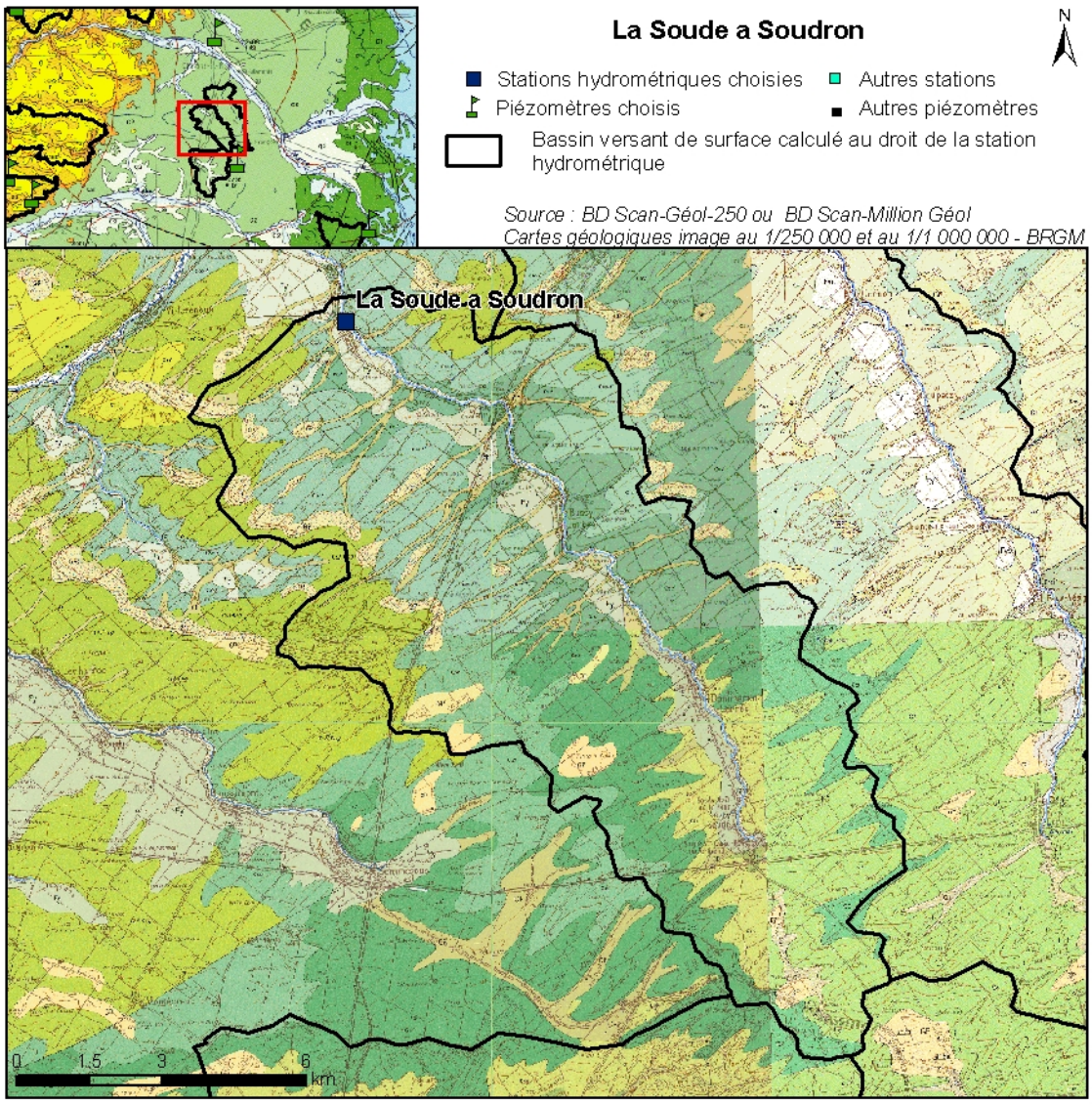


Illustration 375 : Carte géologique du bassin versant de la Soude

Le bassin versant de la Soude s'est développé dans la craie du Sénonien. Cette formation constitue un aquifère dont la nappe est en lien – via les alluvions – avec le

cours d'eau. L'infiltration est prédominante à l'échelle du bassin versant (valeur médiane de l'IDPR : 323).

b) Piézométrie

Le piézomètre utilisé est celui de Grandes-Loges (indice national : 01584X0023/LV3) : c'est celui qui avait été pris en compte pour la modélisation effectuée dans le cadre du rapport « prévision des volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en Champagne crayeuse » (BRGM/RP-55087-FR).

La chronique du piézomètre présente une interruption de plus de 35 jours : elle s'étend du 06/01/2001 au 18/04/2001, à une période de hautes eaux piézométriques.

Les fluctuations piézométriques sont celles d'une nappe assez réactive, présentant une amplitude saisonnière importante. Le temps de demi-décroissance a été évalué à 1,7 mois pour ce piézomètre (cf. rapport BRGM/RP-RR188-FR), ce qui confirme la réactivité de la nappe dans ce secteur.

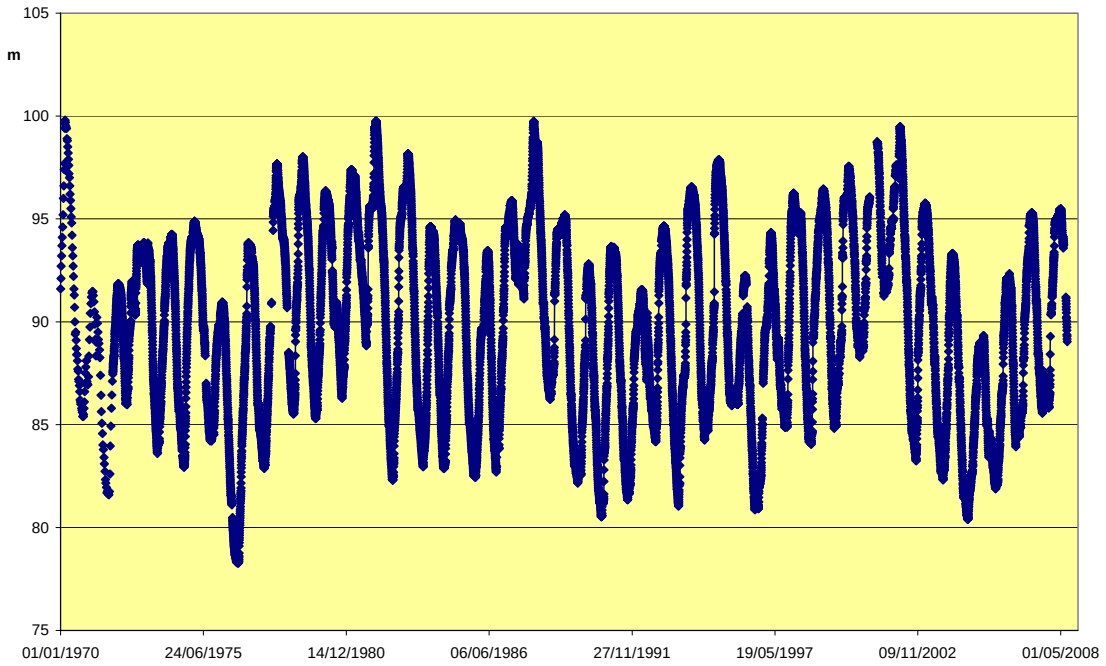


Illustration 376 : Chronique du piézomètre de Grandes-Loges (indice national : 01584X0023/LV3)

8.4.4. Hydrologie

Le débit de la Soude est connu au travers de la station hydrométrique de Soudron (code HYDRO : H5213310).

La chronique de débit journalier a été établie à partir des données transmises par la DIREN Champagne : elle s'étale sur une période allant du 01/01/1982 au 31/07/2008. Elle comporte une seule interruption de plus de trois jours sur cette période : du 31/12/1999 au 01/01/2002.

Les débits journaliers vont de 0,008 m^3/s à 3,47 m^3/s. La lame d'eau moyenne annuelle est de 170 mm (source : Banque HYDRO).

Le QMNA5 est de 0,038 m^3/s pour un bassin versant d'une superficie de 105 km^2.

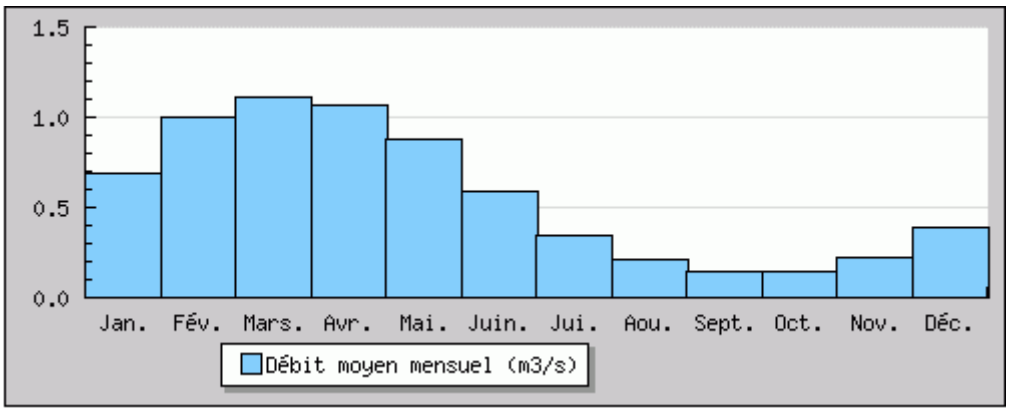


Illustration 377 : Débit moyen mensuel (en m^3/s) à la station hydrométrique de Soudron (source : banque HYDRO)

8.4.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de l'Ardres a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : données décadaires de la station de Sommesous ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Reims-Courcy ;
- Piézométrie : piézomètre des Grandes-Loges.

La modélisation du piézomètre a été effectuée en utilisant les mêmes données météorologiques. Le résultat de la modélisation est présenté en Illustration 378 (coefficient de Nash de 0,85. La composante lente du signal modélisé est de 270 jours, ce qui correspond à un comportement assez rapide pour une nappe.

L'Illustration 379 montre le résultat de la modélisation du débit de la Soude à Soudron en utilisant le piézomètre de Grandes-Loges. Le meilleur calage est obtenu avec un coefficient de Nash de 0,73 sur la période allant du 14/05/1984 au 27/07/2008 (modélisation effectuée au pas décadaire). La mauvaise représentation des pics de crue contribue fortement à abaisser ce coefficient. L'Illustration 380 présente les débits modélisé et observé selon une représentation en logarithme népérien.

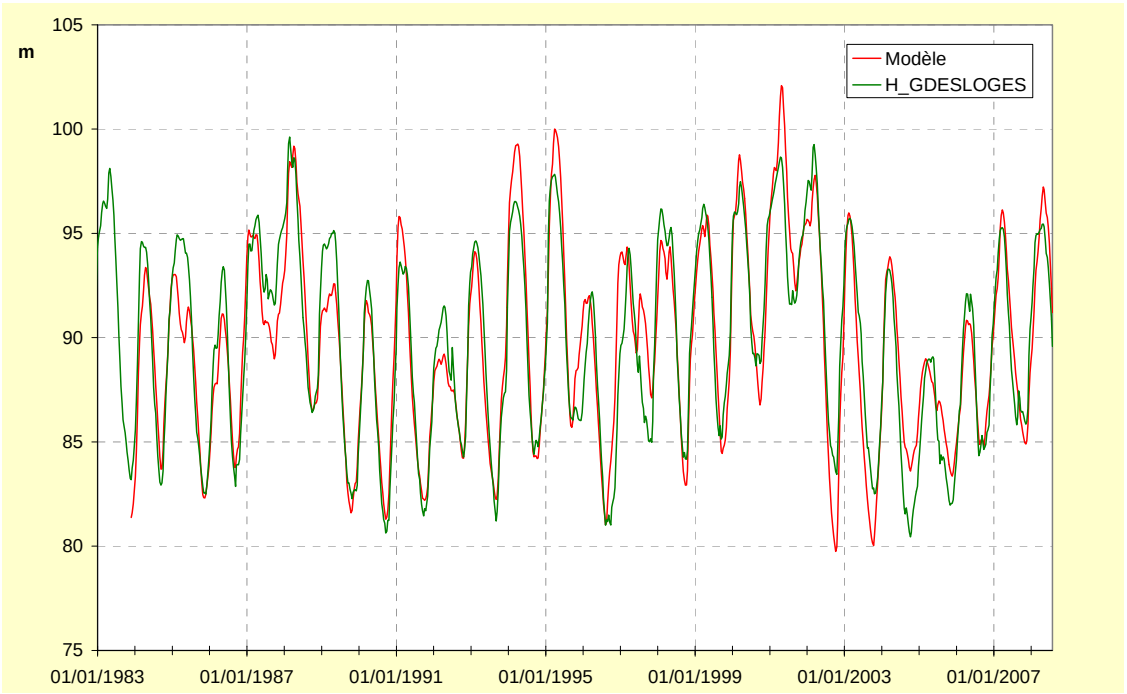


Illustration 378 : Modélisation des fluctuations du piézomètre de Grandes-Loges

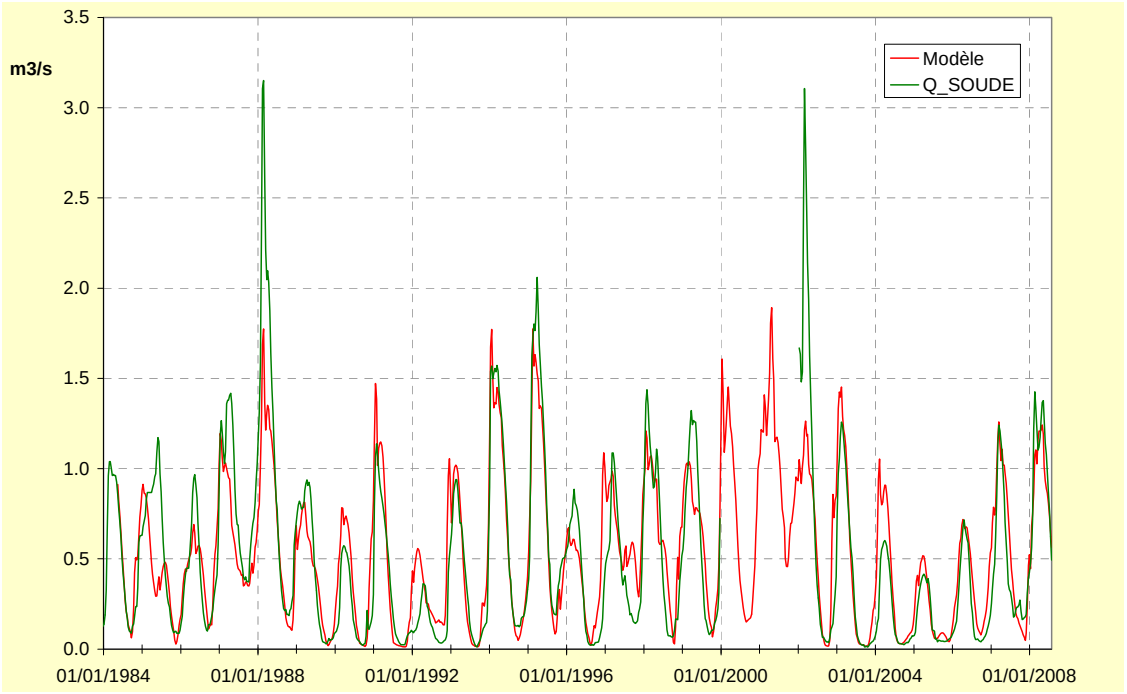


Illustration 379 : Modélisation du débit de la Soude à la station de Soudron

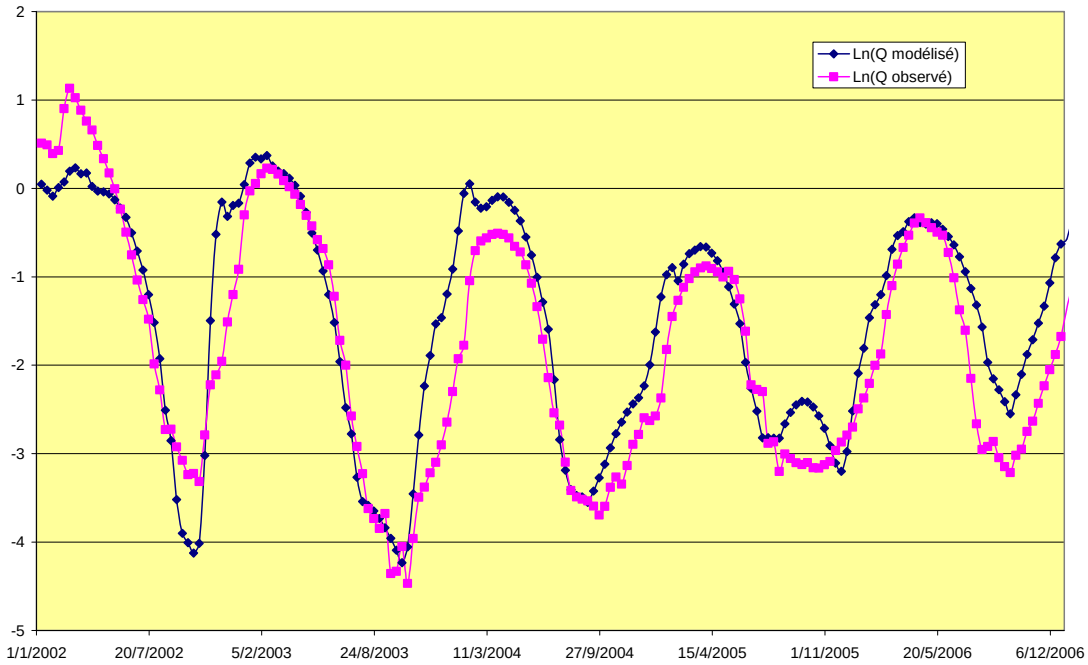


Illustration 380 : Modélisation du débit de la Soude à la station de Soudron : représentation en logarithme népérien

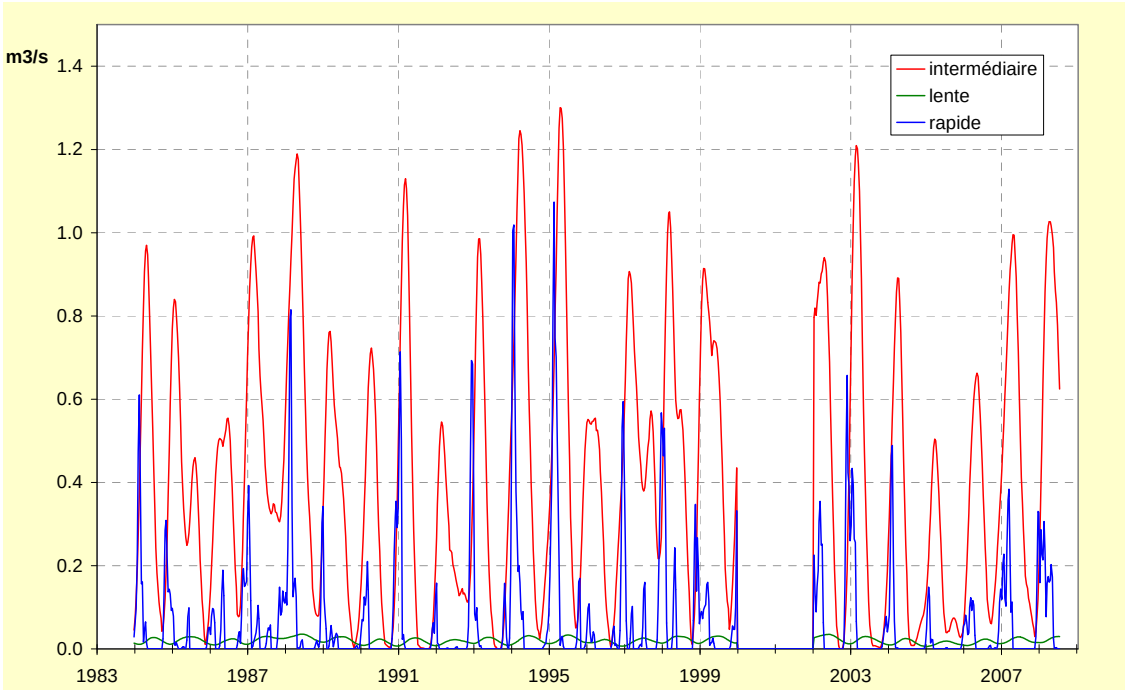


Illustration 381 : Composantes du débit de la Soude modélisé à la station de Soudron

L'Illustration 381 montre les composantes du débit modélisé à la station hydrométrique de Soudron. Contrairement au comportement du bassin versant de l'Huitrelle, cette décomposition du signal fait notamment apparaître une contribution très faible des eaux souterraines au débit de ce cours d'eau (courbe verte, « lente »). La composante majoritaire du débit est celle de la courbe rouge (« intermédiaire »), traduisant une contribution intermédiaire entre du ruissellement et un soutien par la nappe.

Une interprétation possible consiste à évoquer l'existence d'une karstification active, intervenant notoirement dans les écoulements au sein de ce bassin versant.

L'Illustration 382 montre la décomposition du débit modélisé sous la forme de débits moyens mensuels.

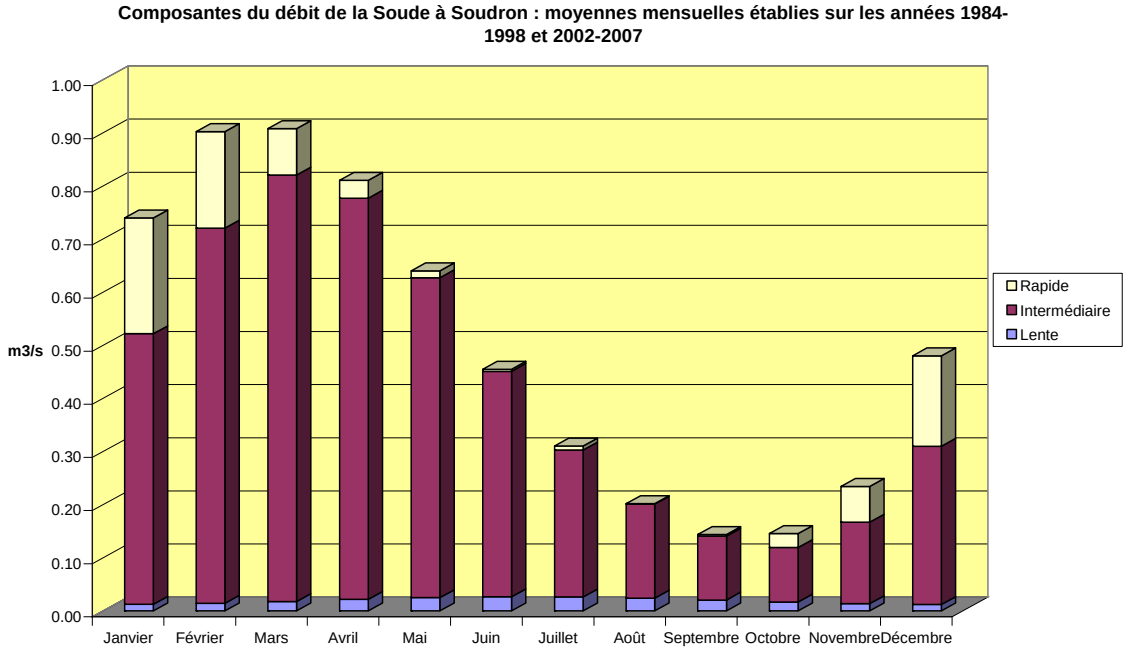


Illustration 382 : Composantes du débit moyen mensuel de la Soude modélisé à la station de Soudron

8.5. BASSIN VERSANT DE LA VOIRE

8.5.1. Caractéristiques du bassin versant

Le bassin versant de la Voire se situe dans le Nord-Ouest du département de la Haute-Marne et à l'Est du département de l'Aube. Il occupe une superficie de 270 km² à la station hydrométrique de Droyes-Gervilliers (source : Banque HYDRO). La Voire s'écoule initialement du Sud vers le Nord puis infléchit progressivement sa route pour se diriger vers l'ouest peu après la station hydrométrique de Gervilliers. C'est un affluent de l'Aube en rive droite ; leur confluence se situe à Chalette-sur-Voire.

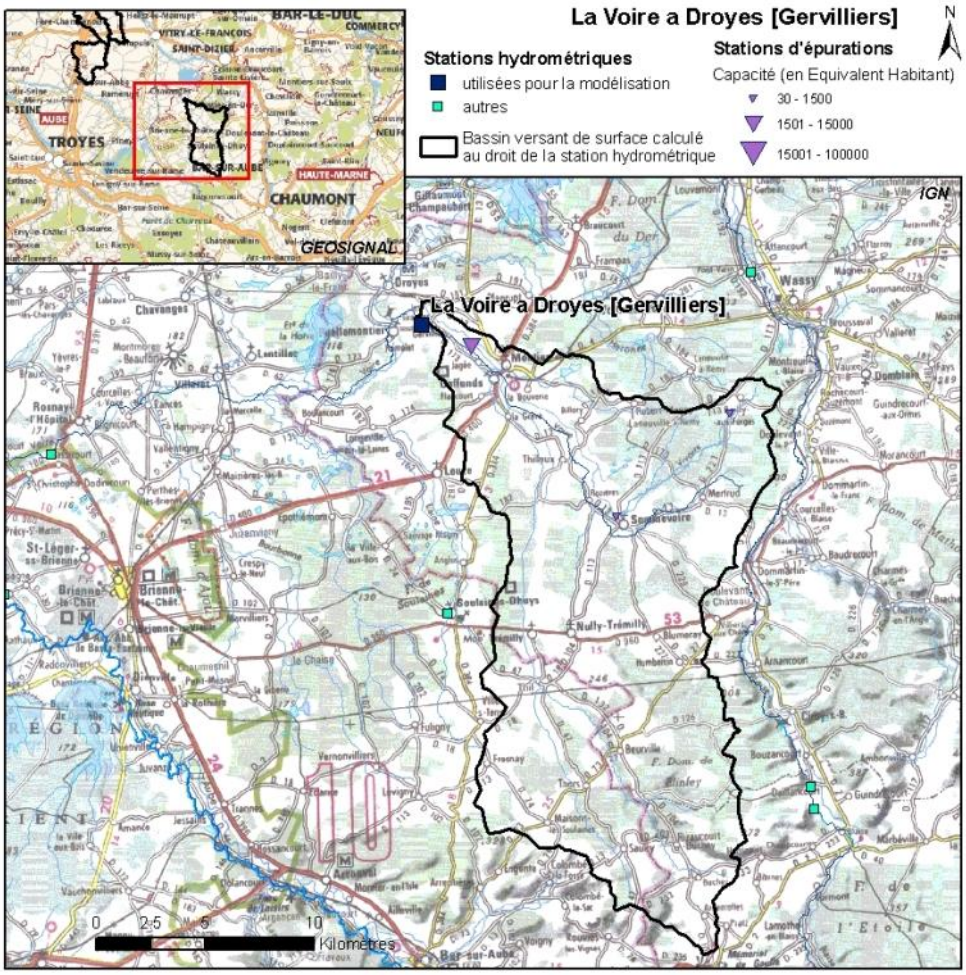


Illustration 383 : Localisation du bassin versant de la Voire (sources : GEOSIGNAL et IGN)

a) Altitudes

L'altitude dans le bassin versant de la Voire s'échelonne de 380 à 121 m NGF, avec une moyenne de 213 m. Comparé aux autres bassins versants traités dans le cadre de cette étude, le dénivelé est assez important (259 m).

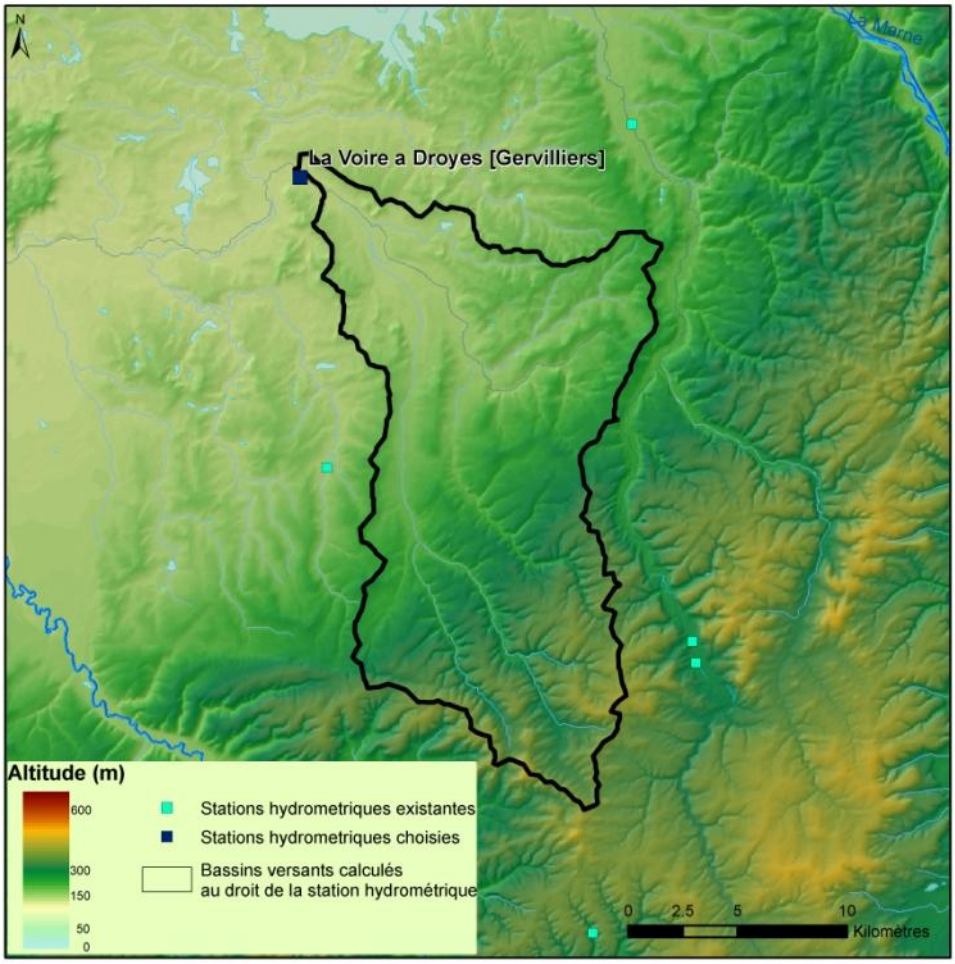


Illustration 384 : Altitude des terrains dans le bassin versant de la Voire (source : MNT de l'IGN au pas de 50 m)

b) Pentes

La pente moyenne des terrains sur le bassin versant est de 4,9% (calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m), avec une pente maximale de 45,7%. Les pentes supérieures à 5% occupent 35% du bassin versant. Le relief du bassin versant est hétérogène : il est assez accidenté dans sa partie amont avec des vallées très encaissées, puis s'évase dans sa partie avale.

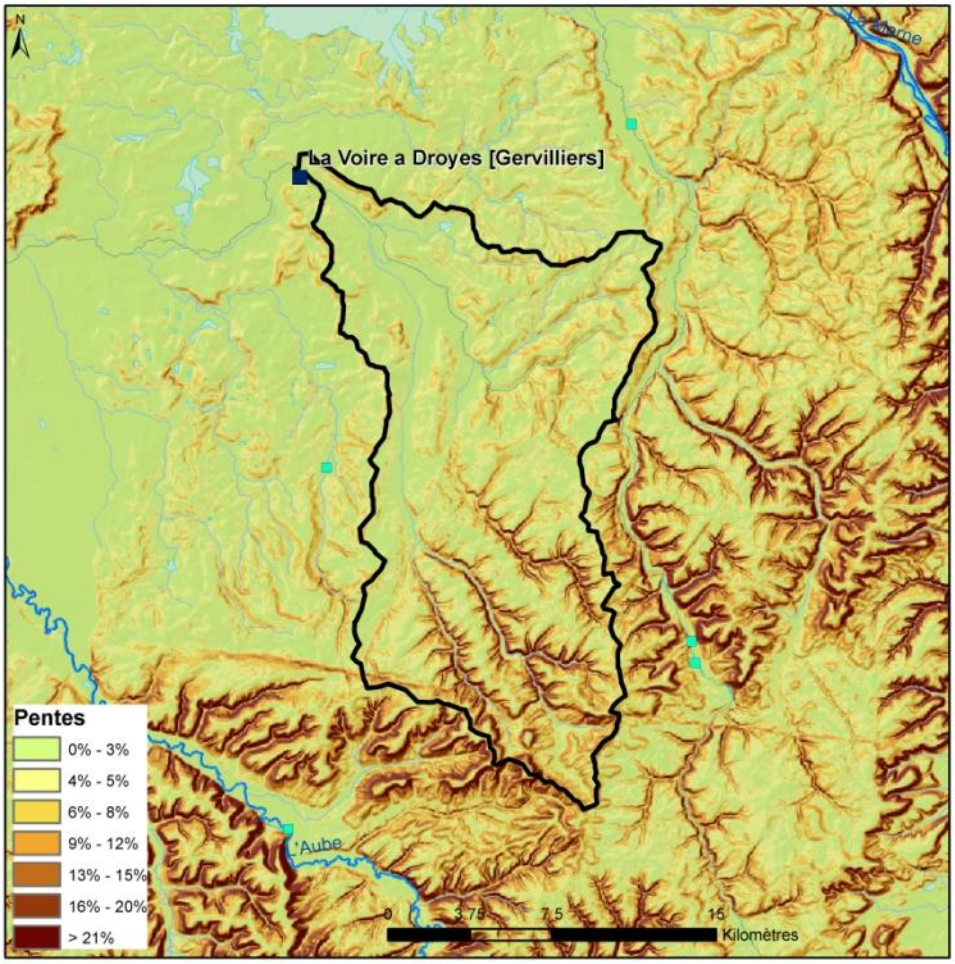


Illustration 385 : Pente des terrains dans le bassin versant de la Voire (pente calculée à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m)

c) Anthropisation

À partir des données de Corinne Land Cover, l'occupation du sol suivante est obtenue :

- prairies, forêts et végétation arbustive et/ou herbusives : 51% ;
- zones agricoles hétérogènes : 47% ;
- zones urbanisées industrialisées : 1% ;
- zones naturelles et vignobles : 1%.

Il s'agit donc globalement d'un bassin versant agricole, notamment dans sa partie avale, et présentant une emprise urbaine très faible.

On note l'existence d'une station d'épuration en fond de vallée (cf. Illustration 383).

Les prélèvements pour l'irrigation sont présentés dans le Tableau 27. Les volumes ont été estimés de 2003 à 2006 à partir des données non-géoréférencées fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Il n'y a pas de prélèvements pour l'irrigation avant 2003.

Annee	Prel_Irrigation
2003	1 501
2004	894
2005	449
2006	936

Tableau 27 : Prélèvements pour l'irrigation (en m^3) dans le bassin versant de la Voire

Le volume prélevé annuellement en moyenne pour l'AEP est de l'ordre de 500 000 m^3, soit une lame d'eau moyenne annuelle de 1,9 mm environ.

8.5.2. Climatologie

Le bassin versant de la Voire reçoit en moyenne 848 mm d'eau par an (moyenne établie à partir de la grille AURELHY de MétéoFrance). Il bénéficie donc d'une pluviométrie élevée à l'échelle du bassin Seine-Normandie.

Les données de trois stations météorologiques ont été utilisées dans le cadre de la modélisation :

- Blumeray (type 4, création de la station en août 1950), située dans la partie amont du bassin versant et recevant en moyenne une pluviométrie annuelle voisine de celle du bassin versant ;
- Droyes (type 2, création de la station en octobre 1961), située à moins de 3 km à l'aval du bassin versant, en fond de vallée et recevant en moyenne une pluviométrie annuelle un peu inférieure à celle du bassin versant ;
- Troyes / Barberey-Saint-Sulpice (type 1, création de la station en mai 1975), située à une cinquantaine de kilomètres à l'ouest de la station hydrométrique de Gervilliers et qui a servi pour les données d'évapotranspiration Penman.

La recherche de la pluie optimale sur le bassin versant a été effectuée à partir des deux chroniques de pluie ci-dessus. La formule retenue est :

$$P_{opt} = 55\% \text{ Blumeray} + 45\% \text{ Droyes}$$

8.5.3. Contexte hydrogéologique

a) Caractérisation globale

Des plus anciennes aux plus récentes et – schématiquement – de l'amont vers l'aval, les formations géologiques suivantes sont rencontrées dans le bassin versant de la Voire :

- marnes du Kimmeridgien ;

- calcaires marneux et calcaires du Portlandien ;
- grès et sables du Valanginien ;
- calcaires de l'Hautérivien ;
- argiles et sables du Barrémien (le Barrémien inférieur est constitué par des argiles d'une épaisseur de 10 à 15 m) ;
- argiles et sables de l'Aptien : l'Aptien inférieur est constitué par des argiles d'une épaisseur de 5 à 10 m, l'Aptien supérieur par des sables de 15 à 20 m d'épaisseur ;
- sables verts de l'Albien inférieur ;
- argiles du Gault (Albien supérieur).

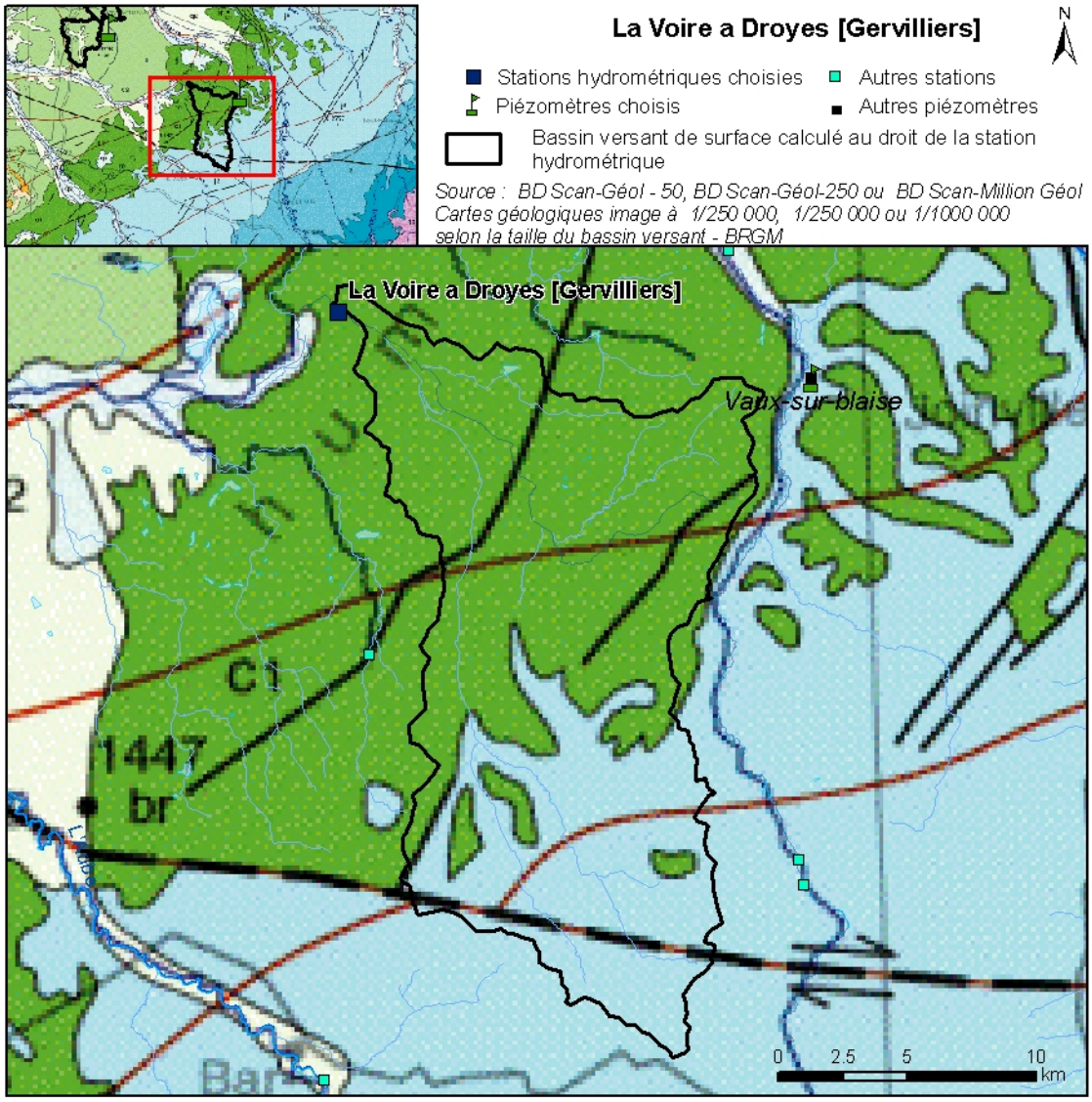


Illustration 386 : Carte géologique du bassin versant de la Voire

Les trois dernières formations sont représentées en vert foncé sur l'Illustration 386, les autres apparaissent dans la zone en bleue claire.

Au niveau de la station hydrométrique, ce sont les sables de l'Albien qui sont rencontrés. Avec les sables de l'Aptien sous-jacent, ils constituent une formation aquifère. Dans la partie amont, les calcaires du Portlandien peuvent former un aquifère intéressant lorsqu'ils sont diaclasés.

b) Piézométrie

Des essais de modélisation ont été effectués avec 4 piézomètres différents, dont les trois seuls piézomètres suivis dans le cadre du réseau patrimonial et captant les sables de l'Albien en région Champagne-Ardennes ;

- Louze (indice national : 02645X0038/D601), qui capte les sables de l'Albien dans la partie ouest du bassin versant, au voisinage d'une crête topographique. Ce piézomètre dispose d'une chronique démarrant en 1986 et présentant une forte tendance à la baisse, au moins jusqu'en 2004. Cette tendance à la baisse n'étant pas observée sur la chronique de débit (cf. Illustration 387), ce piézomètre n'a pas été retenu ;
- Morvilliers (indice national : 02994X0092/D07L), qui capte les sables de l'Albien à 3 km à l'ouest du bassin versant. Ce piézomètre dispose d'une chronique démarrant en 1985 et qui présente un comportement pluriannuel fortement marqué. Son utilisation n'a pas donné de résultats probants lors des essais de modélisation ;
- La Vendue-Mignot (03336X0001/S1), qui capte les sables de l'Albien à proximité d'une zone alluviale à 50 km à l'ouest du bassin versant. Bien que très éloigné, ce piézomètre fournit de meilleurs résultats que les deux autres piézomètres captant les sables Albien. Il n'a cependant pas été possible de reproduire correctement ses fluctuations (d'une amplitude de l'ordre du mètre et présentant une très forte réactivité) : il n'a donc pas été retenu ;
- Vaux-sur-Blaise (indice national : 02648X0020/S1), qui capte les calcaires du Portlandien à 2 km à l'est du bassin versant. Cet aquifère n'est présent en fond de vallée que dans la partie amont du bassin versant : les piézomètres des sables de l'Albien lui ont donc été préférés et il n'a été testé que devant les résultats peu satisfaisants des essais précédents. Sa chronique est présentée ci-après (cf. Illustration 388).

Le piézomètre de Vaux-sur-Blaise dispose d'une chronique démarrant le 21/01/1971. La fréquence d'acquisition des données est mensuelle à hebdomadaire jusqu'au 09/12/1997, date à partir de laquelle l'acquisition des données devient quotidienne.

On identifie 5 interruptions de plus de 70 jours, dont 2 majeurs (plus de 250 jours) : du 30/06/1992 au 02/01/1994, du 11/01/1994 au 26/10/1994, du 07/05/2003 au 09/09/2003, du 13/10/2004 au 08/03/2005 et du 25/10/2006 au 21/01/2007.

La chronique est celle d'une nappe présentant des fluctuations rapides.

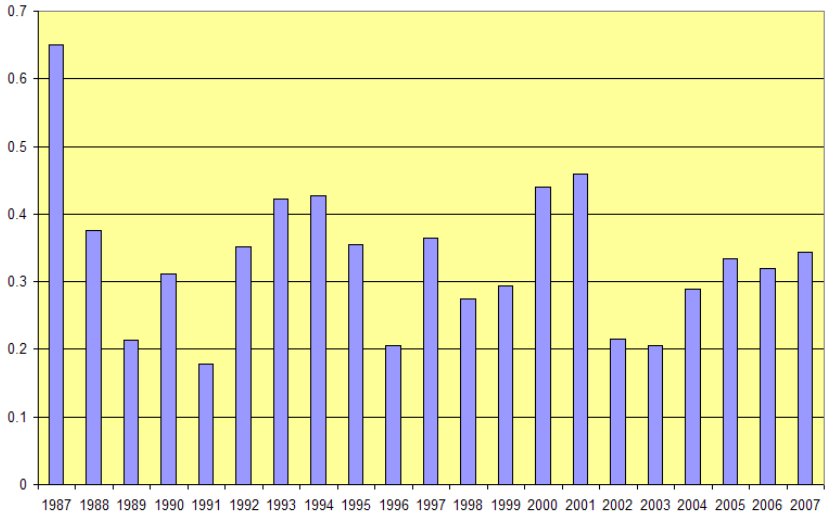


Illustration 387 : Débit minimal annuel (en m^3/s) enregistré à la station hydrométrique de Droyes-Gervilliers

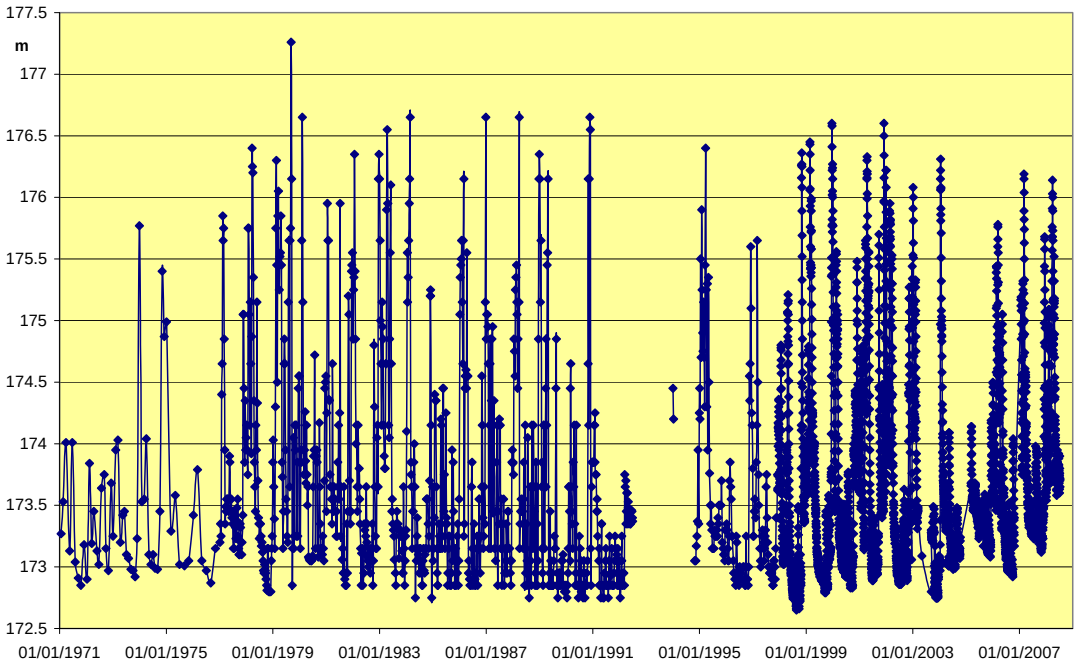


Illustration 388 : Chronique du piézomètre de Vaux-sur-Blaise (indice national : 02648X0020/S1)

8.5.4. Hydrologie

Le débit de la Voire est connu au travers de la station hydrométrique de Droyes-Gervilliers (code HYDRO : H1302010). Il existe par ailleurs une autre station hydrométrique située plus à l'aval et sur laquelle des données ont été acquises entre

1969 et 1998 (station de Lassicourt, code HYDRO : H1362010, bassin versant de 896 km²).

La chronique de débit journalier à la station hydrométrique de Droyes-Gervilliers a été établie à partir des données transmises par la DIREN Champagne : elle s'étale sur une période allant du 29/10/1987 au 10/12/2007 et comporte 9 interruptions de plus de 10 jours : du 22/06/1995 au 10/07/1995, du 13/08/1995 au 24/09/1995, du 30/09/1995 au 28/10/1995, du 26/10/2001 au 21/11/2001, du 02/08/2002 au 17/11/2002, du 16/12/2002 au 24/03/2003, du 26/08/2003 au 09/10/2003, du 10/03/2004 au 14/04/2004, du 18/10/2004 au 10/12/2004.

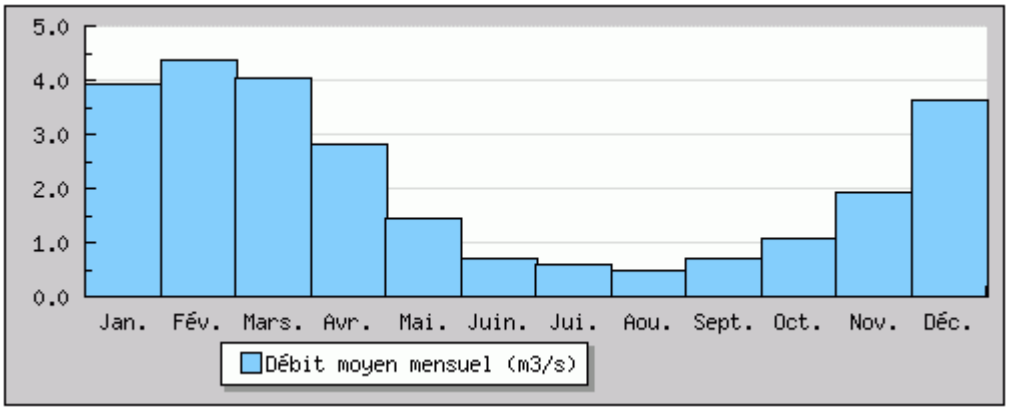


Illustration 389 : Débit moyen mensuel (en m^3/s) à la station hydrométrique de Droyes-Gervilliers (source : banque HYDRO)

Les hautes eaux interviennent en février, les basses eaux en août (cf. Illustration 389).

Les débits journaliers vont de 0,178 m^3/s à 27 m^3/s, ce qui représente une amplitude assez forte. La lame d'eau moyenne annuelle est de 250 mm (source : Banque HYDRO), ce qui est légèrement au-dessus de la moyenne du bassin Seine-Normandie.

Le QMNA5 est de 0,29 m^3/s pour un bassin versant d'une superficie de 270 km².

8.5.5. Modélisation globale des écoulements

La modélisation du débit de la Voire a été effectuée au pas décadaire en utilisant les données suivantes :

- pluie : pluie optimale (P_{opt} = 55% Blumeray + 45% Droyes) ;
- ETP : données décadaires de la station météorologique de Troyes-Barberey ;
- Piézométrie : piézomètre de Vaux-sur-Blaise.

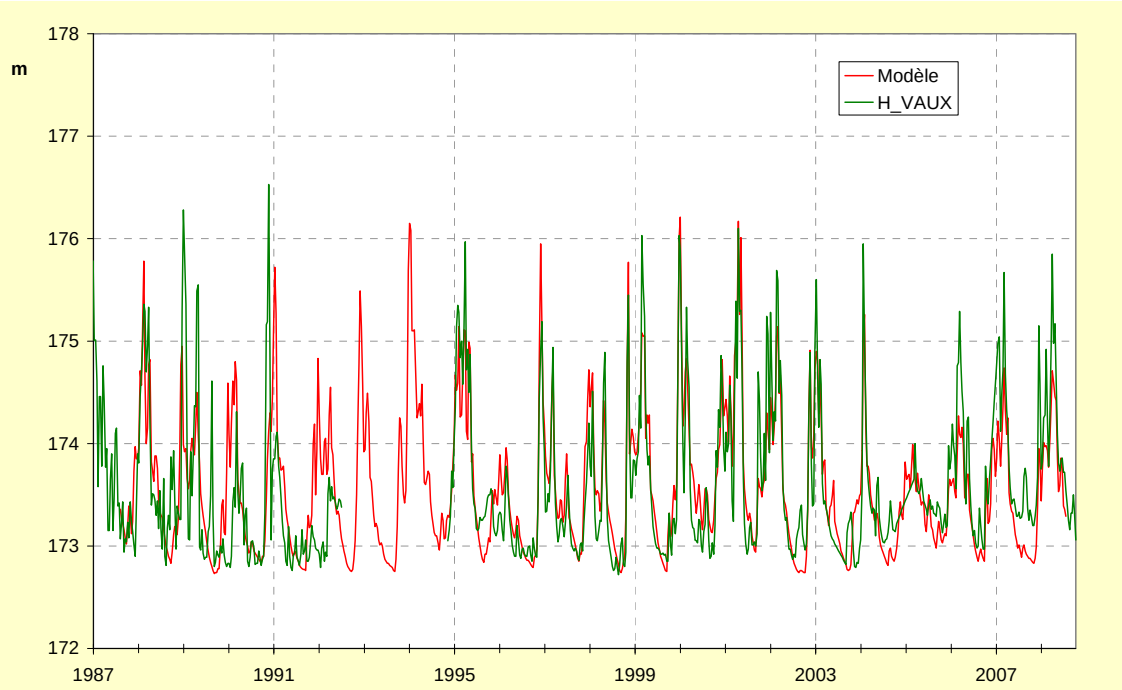


Illustration 390 : Modélisation des fluctuations du piézomètre de Vaux-sur-Blaise

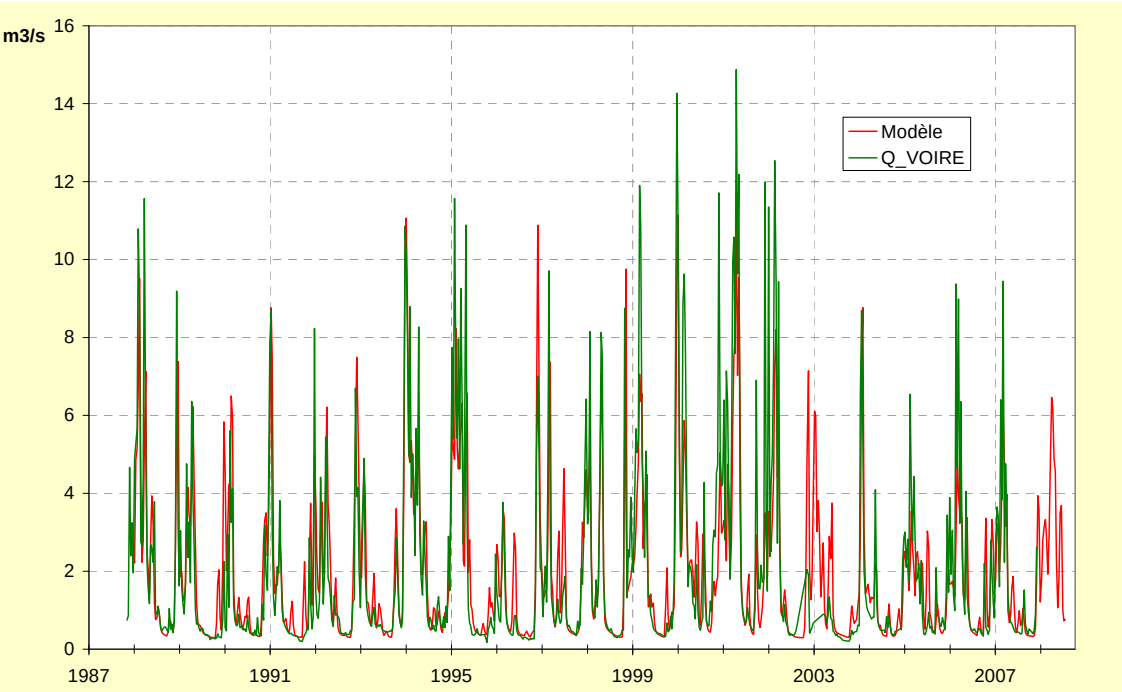


Illustration 391 : Modélisation du débit de la Voire à la station de Droyes-Gervilliers

La modélisation du piézomètre a été effectuée en utilisant les mêmes données météorologiques. Le résultat de la modélisation est présenté en Illustration 390

(coefficient de Nash de 0,59). La composante lente du signal modélisé est de 130 jours, ce qui correspond à un comportement rapide pour une nappe. C'est une valeur cohérente avec l'allure des fluctuations. On observe un écart important entre les valeurs observées et les valeurs simulées fin 1991 et début 1992. Certains étiages (fin 2004 et fin 2007) sont surestimés par la modélisation.

L'Illustration 391 montre le résultat de la modélisation du débit de la Voire à Droyes-Gervilliers en utilisant le piézomètre de Vaux-sur-Blaise (coefficient de Nash de 0,65 sur la période allant du 05/12/1987 au 30/11/2007). On observe un écart important entre les valeurs observées et les valeurs simulées entre août 2002 et mai 2003, période durant laquelle une interpolation des valeurs observées a du être effectuée compte tenu des interruptions existant dans la chronique de débit.

L'Illustration 392 montre les composantes du débit modélisé à la station hydrométrique de Droyes-Gervilliers (phase de calage). Cette décomposition du signal fait apparaître une contribution faible des eaux souterraines au débit de ce cours d'eau (courbe verte, « lente »), contribution qui est néanmoins présente tout au long de l'année. C'est notamment elle qui assure le soutien du débit du cours d'eau durant les périodes d'étiage fort (comme par exemple en 1997, 1998 et 2003). On note la part importante du ruissellement dans les écoulements, celui-ci assurant jusqu'à plus de 90% du débit décadaire.

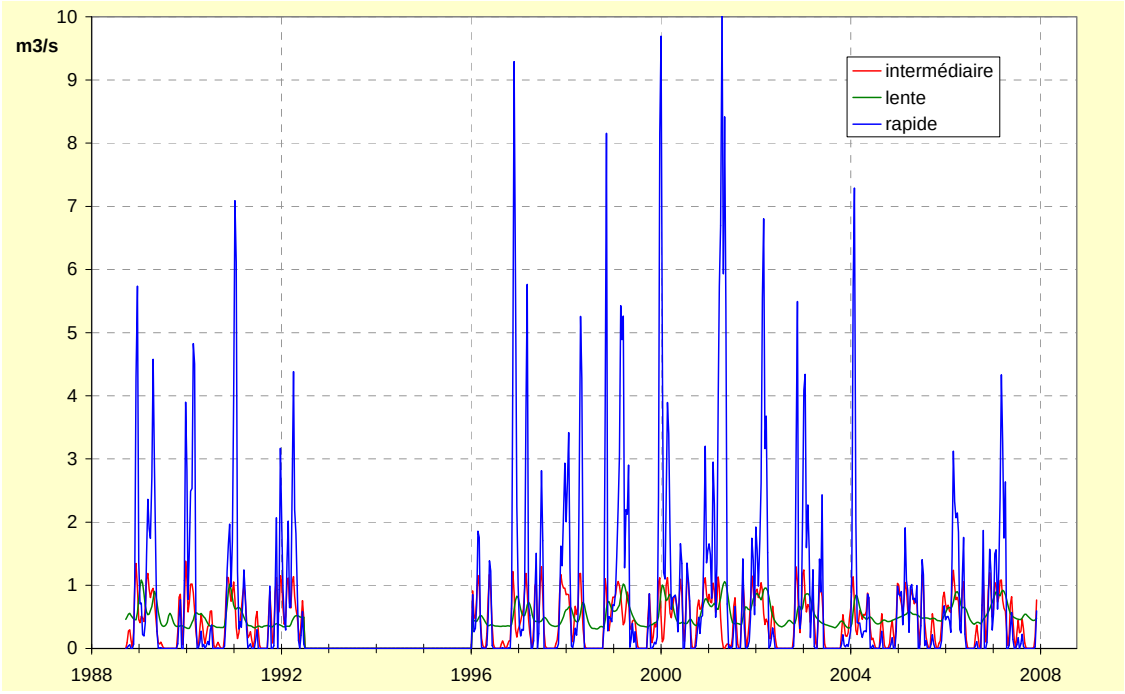


Illustration 392 : Composantes du débit modélisé à la station de Droyes-Gervilliers

L'Illustration 393 montre la décomposition du débit modélisé sous la forme de débits moyens mensuels.

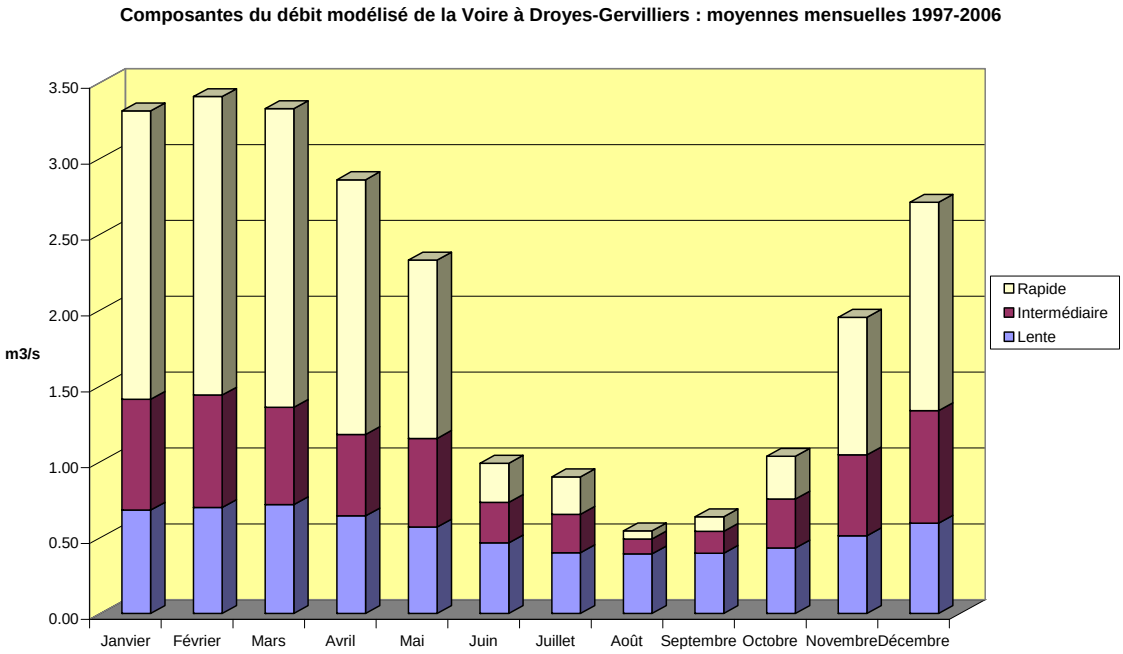


Illustration 393 : Composantes du débit moyen mensuel de la Voire modélisé à la station de Droyes

9. Conclusion

L'outil d'aide à la gestion mis en œuvre dans cette étude repose sur le logiciel de traitement du signal TEMPO. Celui-ci comporte des modèles de transfert « pluie – niveau piézométrique – débit » qui, pour chaque piézomètre et pour chacune des stations hydrométriques modélisés, permettent d'effectuer des prévisions. 39 bassins versants ont fait l'objet de simulations et pour 34 d'entre eux, le calage étant satisfaisant, des prévisions de volumes ont été réalisées.

Les volumes exploitables sont définis de telle sorte qu'un débit minimum égal au débit moyen mensuel sec de récurrence 5 ans (QMNA5) soit maintenu dans le cours d'eau :

- dans le cas d'une année dite « médiane » ;
- ou dans le cas d'une année dite « sèche », correspondant à une fréquence d'occurrence de 75%.

Ces deux situations climatiques sont issues d'une analyse fréquentielle par décade à partir des résultats de toutes les simulations (256 chroniques simulées sur 10 ans).

Les volumes exploitables sont calculés à priori à l'horizon 2014 - 2017 (pour rendre la prévision indépendante des conditions initiales de l'état des nappes).

Si le calage du modèle de transfert s'est fait en contexte non influencé (ou très peu), la fonction de transfert n'intègre pas les prélèvements et les prévisions volumiques faites sont globales. Pour connaître le volume réellement exploitable, il faut alors déduire les volumes déjà prélevés.

Si le calage a tenu compte des prélèvements, les volumes déjà prélevés pour l'irrigation en étiage sont à ajouter au volume exploitable, pour obtenir le volume global.

Les volumes prélevables, estimés dans cette étude sont des indicateurs car le volume prélevable sur un bassin versant est tributaire de plusieurs conditions non prises explicitement en compte par Tempo qui est un modèle global : répartition géographique et temporelle, emplacement amont ou aval des prélèvements, répartition des prélèvements entre eau de surface et eaux souterraines, qualité recherchée de l'eau, etc.

Une appréciation globale sur les résultats des modélisations a été attribuée pour chaque bassin versant selon plusieurs critères (quantitatifs ou qualitatifs) :

- le coefficient de Nash des deux modélisations Pluie/Niveau et Pluie-Niveau/Débit ;
- la qualité de la retranscription des étiages par le modèle ;
- la durée de la période de calage ;
- la complexité du contexte hydrogéologique.

Le détail de ces critères est donné pour chaque bassin en annexe de ce rapport.

La note globale obtenue permet d'attribuer un indice de confiance aux volumes calculés. Cette note est une note, par construction, subjective et ne peut se substituer à une analyse détaillée des résultats de modélisations.

LIBELLE	Region	Note globale	Indice de confiance
La Laize a Saint-Germain-le-Vasson [Le Livet]	Basse Normandie	3	FAIBLE
L'Essonne a Boulancourt	Ile de France	3	
La Divette a Passel	Picardie	4	
L'Essonne a Guigneville-sur-Essonne [La Mothe]	Ile de France	4	
L'Ourcq a Chouy	Picardie	4	
L'Ardre a Faverolles-et-Coemy	Champagne Ardennes	4	
La Saane a Val-de-Saane	Haute Normandie	4	
La Guyonne a Mareil-le-Guyon	Ile de France	4	
Le Grand Morin a Pommeuse	Ile de France	5	MOYEN
L'Aure a Maisons [Pont-Fatu]	Basse Normandie	5	
La Voire a Droyes [Gervilliers]	Champagne Ardennes	5	
La Risle a Pont-Authou	Haute Normandie	5	
L'Huitrelle a Lhuitre	Champagne Ardennes	5	
L'Iton a Bourth	Haute Normandie	5	
Le Loing a Montbouy	Ile de France	5	
La Seulles a Tierceville	Basse Normandie	6	
Le Puiseaux a Saint-Hilaire-sur-Puiseaux	Centre	6	
La Bresle a Ponts-et-Marais [Ponts-et-Marais]	Picardie	6	
La Soude a Soudron	Champagne Ardennes	6	
La Mauldre a Beynes [Mairie]	Ile de France	6	
La Voulzie a Jutigny	Ile de France	6	
La Therouanne a Congis-sur-Therouanne [Gue a Tresmes]	Ile de France	6	
L'Automne a Saintines	Picardie	6	
La Dives a Saint-Lambert-sur-Dive (Dives amont)	Basse Normandie	6	
La Dives a Beaumais (Dives médiane)	Basse Normandie	6	
La Charentonne a Bocquence	Haute Normandie	6	
L'Austreberthe a Saint-Paer	Haute Normandie	6	
Le Thon a Origny-en-Thierache	Picardie	6	
La Bezonde a Pannes	Centre	7	BON
L'Avre a Muzy	Haute Normandie	7	
L'Iton a Normanville	Haute Normandie	7	
Le Loing a Episy	Ile de France	7	
La Risle a Rai	Haute Normandie	8	
Le Durdent a Vittefleur	Haute Normandie	8	

Les estimations de ce volume global disponible pour les prélevements en période d'étiage, présentées dans ce rapport pour les deux situations climatiques, peuvent être exprimées en lame d'eau disponible (en mm/an), et classées par ordre croissant. Ce qui permet d'établir un classement des bassins, du plus vulnérable aux prélèvements au moins vulnérable :

Année Médiane

La Voire a Droyes [Gervilliers]
La Dives a Saint-Lambert-sur-Dive (Dives amont)
La Guyonne a Mareil-le-Guyon
La Divette a Passel
La Soude a Soudron
La Therouanne a Congis-sur-Therouanne [Gue a Tresmes]
L'Iton a Normanville
L'Aure a Maisons [Pont-Fatu]
La Seulles a Tierceville
Le Loing a Montbouy
La Dives a Beaumais (Dives médiane)
La Mauldre a Beynes [Mairie]
Le Puiseaux a Saint-Hilaire-sur-Puiseaux
La Bezonde a Pannes
La Charentonne a Bocquence
La Risle a Pont-Authou
Le Loing a Episy
L'Iton a Bourth
L'Ourcq a Chouy
La Bresle a Ponts-et-Marais [Ponts-et-Marais]
L'Avre a Muzy
La Risle a Rai
La Voulzie a Jutigny
L'Ardre a Faverolles-et-Coemy
Le Durdent a Vittefleur
L'Essonne a Boulancourt
La Saane a Val-de-Saane
L'Essonne a Guigneville-sur-Essonne [La Mothe]
L'Huitrelle a Lhuitre
L'Austreberthe a Saint-Paer
Le Thon a Origny-en-Thierache
Le Grand Morin a Pommeuse
L'Automne a Saintines
La Laize a Saint-Germain-le-Vasson [Le Livet]

Année "sèche" (4 ans sec)

La Soude a Soudron
La Voire a Droyes [Gervilliers]
La Divette a Passel
La Guyonne a Mareil-le-Guyon
La Seulles a Tierceville
La Bresle a Ponts-et-Marais [Ponts-et-Marais]
La Dives a Saint-Lambert-sur-Dive (Dives amont)
L'Iton a Bourth
L'Aure a Maisons [Pont-Fatu]
La Dives a Beaumais (Dives médiane)
La Mauldre a Beynes [Mairie]
Le Durdent a Vittefleur
L'Iton a Normanville
La Risle a Pont-Authou
L'Ourcq a Chouy
Le Puiseaux a Saint-Hilaire-sur-Puiseaux
Le Loing a Montbouy
La Therouanne a Congis-sur-Therouanne [Gue a Tresmes]
La Bezonde a Pannes
Le Loing a Episy
La Risle a Rai
L'Ardre a Faverolles-et-Coemy
Le Thon a Origny-en-Thierache
La Charentonne a Bocquence
L'Avre a Muzy
La Voulzie a Jutigny
L'Huitrelle a Lhuitre
La Saane a Val-de-Saane
La Laize a Saint-Germain-le-Vasson [Le Livet]
L'Austreberthe a Saint-Paer
L'Essonne a Guigneville-sur-Essonne [La Mothe]
L'Essonne a Boulancourt
L'Automne a Saintines
Le Grand Morin a Pommeuse

10. Bibliographie

Arnaud L. (2007) – Atlas hydrogéologique numérique du Calvados. Volet quantitatif. Rapport BRGM/RP-55672-FR.

Caudron M., Gaudefroy M.-J. (1999) – Le bassin de la Serre. Synthèse hydrogéologique. Rapport BRGM/RR-40600-FR.

Chabart M., Pannet P. en collaboration avec **Vançon J.-P. et Gurliat G.** (2008) – Etude de la gestion volumique de la ressource en eau sur le bassin versant de la Retourne (Ardennes). Rapport BRGM/RP-55594-FR, 111 p., 59 fig., 9 tab., 5 ann.

Chabart M., Pannet P., Stollsteiner P., Mardhel V. (2006) - Etude des bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole (Marne). Acquisitions de données complémentaires et mise en œuvre d'un SIG. Rapport final. Rapport BRGM/RP-54978-FR.

Normand M., Pinault J.-L., Seguin J.-J., Vernoux J.-F. (2005) – Assistance au plan sécheresse en Île-de-France. Analyse critique des données piézométriques et prévision de niveaux non influencés. Rapport BRGM/RP-54221-FR.

Pinault J.-L. (2006) – Analyse critique des données piézométriques et prévision de niveaux non influencés en Haute-Normandie. Rapport BRGM/RP-54628-FR.

Pinault J.-L., Allier D., Chabart M., Pannet P., Perceval W. (2006) – Prévision des volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en Champagne crayeuse. Rapport final. Rapport BRGM/RP-55087-FR.

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

Putot E., Verjus P. (DIREN), Vernoux J-.F. (2006) – Qualification du réseau piézométrique du bassin Seine-Normandie en 2005. Rapport BRGM/RP-54481-FR.

Schmidt C., Chabart M., Normand M., (2006) – Élaboration de règles de gestion volumique de la ressource en eau pour les bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole (51). Rapport final. Rapport BRGM/RP-54178-FR.

Seguin J.-J., Wuilleumier A. (2006) - Exploitabilité des ressources en eau souterraine en France. Résistance à la sécheresse des principaux aquifères à nappe libre. Rapport final. Rapport BRGM/RP-55188-FR.

Annexe 1

Les fonctions de transfert sous TEMPO

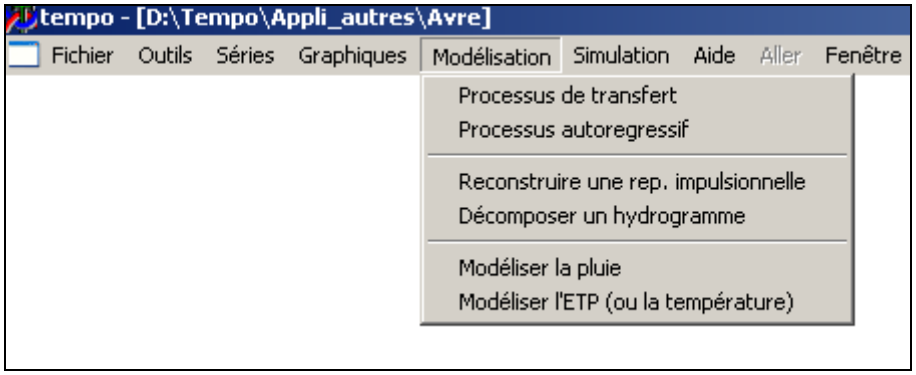
Comment agit la fonction de transfert ?

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

- g_0, sur l'intervalle t= 0 à Δt
- g_1, sur l'intervalle t= Δt à 2Δt
- g_2, sur l'intervalle t= 2Δt à 3Δt
- g_3, sur l'intervalle t= 3Δt à 4Δt ……

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

Le menu « *modélisation* » de TEMPO permet de choisir le type de fonction de transfert.



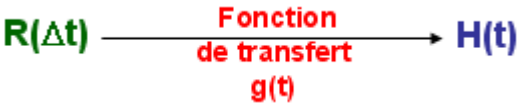
Le menu « modélisation » de TEMPO

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

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

Premier exemple

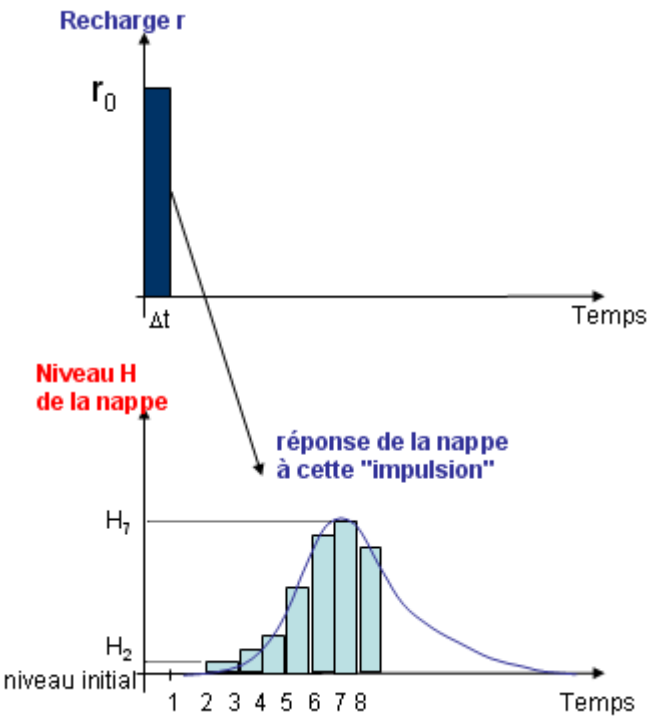
Pour comprendre comment la fonction de transfert permet de passer de l'entrée du système à la sortie, considérons l'exemple simple d'un aquifère avec une entrée constituée par une recharge brève R de la nappe sur un seul intervalle de temps Δt (on parle d'impulsion). La sortie est le niveau de la nappe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



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

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

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



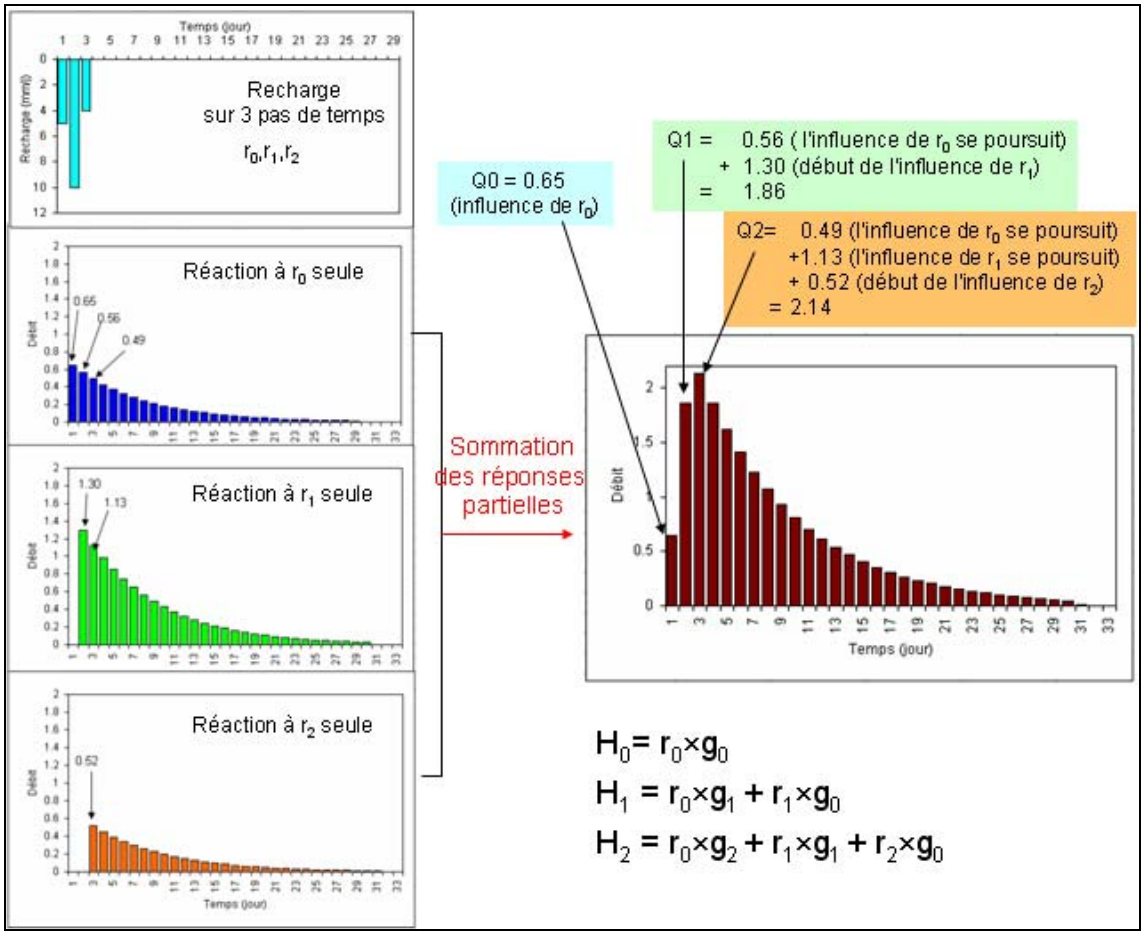
Dans cet exemple, la recharge brève de la nappe par la fraction infiltrée de la pluie efficace provoque une élévation différée et « étalée » dans le temps du niveau de la nappe.
Ce temps retard et le temps au bout duquel la nappe revient à son niveau initial dépendent des caractéristiques de l'aquifère.
La modulation du signal d'entrée consiste ici en une simple pondération de la recharge r_0: r_0

$H_0 = r_0.g_0$	$t = 0$ à Δt
$H_1 = r_0.g_1$	$t = \Delta t$ à $2\Delta t$
$H_2 = r_0.g_2$	$t = 2\Delta t$ à $3\Delta t$
$H_3 = r_0.g_3$	$t = 3\Delta t$ à $4\Delta t$
…..	

La réaction différée de la nappe implique ici $g_0 = 0$ et $g_1 = 0$

Deuxième exemple

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



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

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

Au deuxième pas de temps, il faut tenir compte non seulement de l'influence de la recharge r_1, mais aussi de la poursuite de l'influence de la recharge r_0 :

$$H_1 = r_0.g_1 + r_1.g_0$$

Au troisième pas de temps, il faut tenir compte non seulement de l'influence de la recharge r_2, mais aussi de la poursuite de l'influence des recharge r_0 et r_1 :

$$H_2 = r_0.g_2 + r_1.g_1 + r_2.g_0$$

Et ainsi de suite.

Généralisation

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

- le signal d'entrée est décomposé en une suite e0, e1, e2, e3, …
- et la fonction de transfert en une suite g0, g1, g2, g3, …

La sortie du système est construite comme suit :

$s_0 = e_0.g_0$	t= 0 à Δt
$s_1 = e_0. g_1 + e_1. g_0$	t= Δt à $2\Delta t$
$s_2 = e_0. g_2 + e_1. g_1 + e_2. g_0$	t= $2\Delta t$ à $3\Delta t$
$s_3 = e_0. g_3 + e_1. g_2 + e_2. g_1 + e_3. g_0$	t= $3\Delta t$ à $4\Delta t$
$s_4 = e_0. g_4 + e_1. g_3 + e_2. g_2 + e_3. g_1 + e_4. g_0$	t= $4\Delta t$ à $5\Delta t$
	…….

Etc…

Une seule fonction de transfert peut-elle suffire ?

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

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

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

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

Comment la fonction de transfert est-elle calculée ?

Pour obtenir les valeurs g_0, g_1, g_2, g_3, …inconnues, Tempo propose deux possibilités :

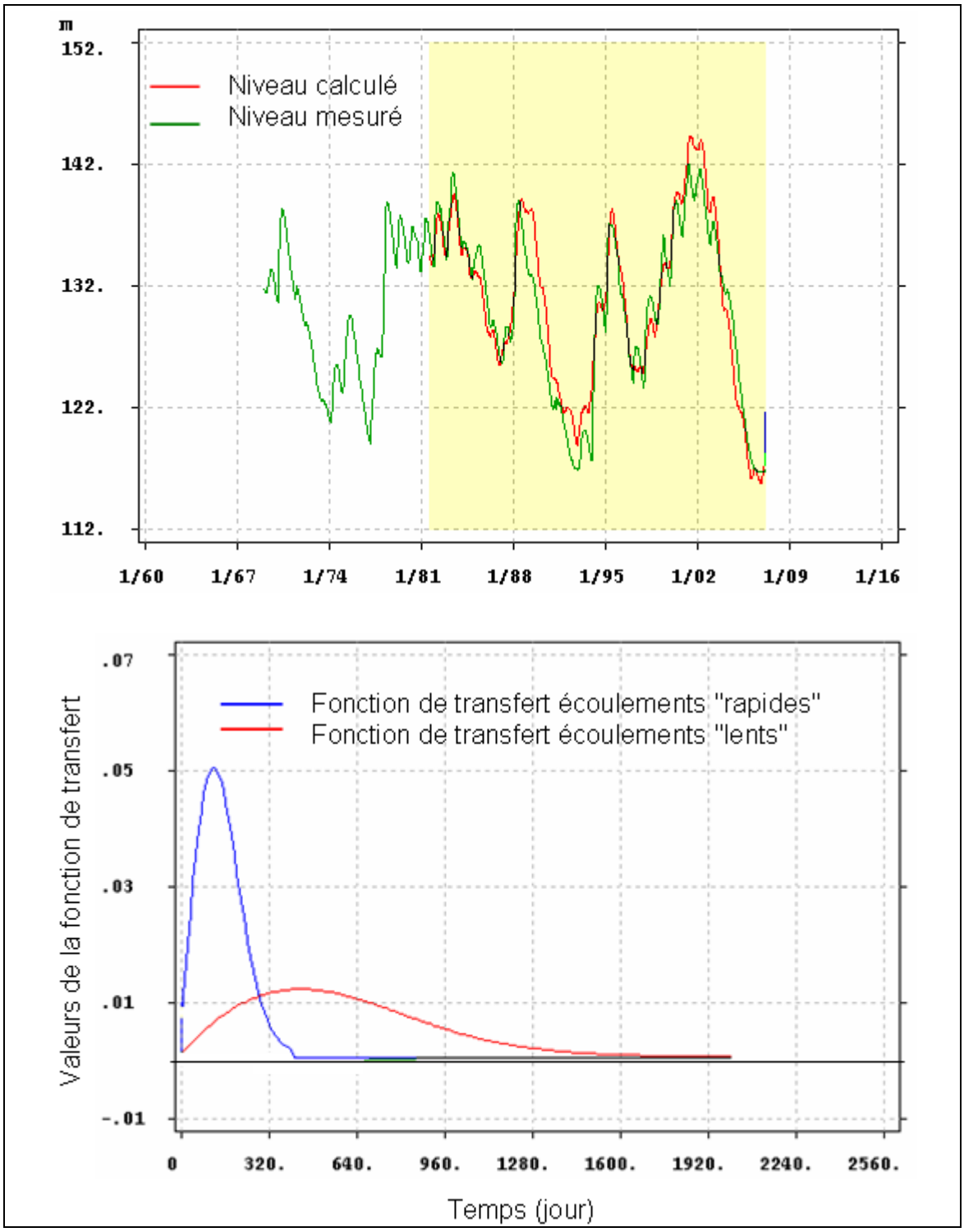
1) On donne à la fonction de transfert une forme générale *a priori* avec des paramètres inconnus. Une fois ces paramètres identifiés, on peut calculer g_0, g_1, g_2, g_3,… sur les intervalles de temps considérés.
2) On recherche directement g_0, g_1, g_2, g_3,…

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

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

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

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


m
152.
142.
132.
122.
112.
Niveau calculé
Niveau mesuré
1/60
1/67
1/74
1/81
1/88
1/95
1/02
1/09
1/16
.07
.05
.03
.01
-.01
Valeurs de la fonction de transfert
Fonction de transfert écoulements "rapides"
Fonction de transfert écoulements "lents"
0
320.
640.
960.
1280.
1600.
1920.
2240.
2560.
Temps (jour)

Annexe 2

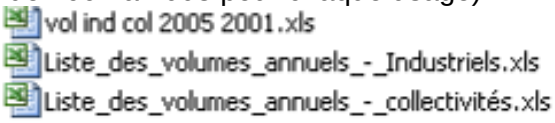
L’historique des prélèvements

Les historiques de prélèvements sur le bassin concernent l'irrigation ainsi que les collectivités et industries. Ces prélèvements ne sont pas pour le moment rattachés à un code BSS, ni-même géoréférencés. Ceci devrait être possible en 2009 suite au développement d'un nouveau logiciel de gestion des redevances. Dans les fichiers fournis, les prélèvements sont donnés par unité de comptage et par commune d'implantation, les volumes annuels et à l'étiage sont indiqués. Les volumes à l'étiage correspondent à la période courant du 1er juin au 31 octobre.

L'information sur l'historique des prélèvements est contenue dans plusieurs fichiers :

- pour l'irrigation : un fichier par année, de 1995 à 2006 :

- pour les usages des collectivités et des industriels : trois fichiers (le premier regroupe les deux usages de 2001 à 2005, les deux autres couvrent respectivement une période de 1994 à 2008 pour chaque usage) :



Les informations contenues dans ces fichiers étant disparates (par exemple, le fichier intitulé « Liste des volumes annuels – collectivités » ne comporte que l'adresse du point et pas le nom exact de la commune ou le code commune), **une base de données unique a été créée** et les informations ont été retraitées pour être homogène. Les doublons ont été supprimés.

Puis pour rattacher les volumes connus par commune au bassin versant topographique, une analyse spatiale a été effectuée. L'intersection entre bassin versant et commune a permis de déterminer les communes contenues dans chaque bassin versant et pour les communes à cheval entre deux bassins la part de la superficie contenue dans le bassin étudié. Les volumes prélevés ont été ensuite attribués au bassin versant au prorata de cette superficie.

Annexe 3

Tableaux récapitualtifs

CODE	LIBELLE	Superficie (km²)	Region	Densité de Drainage (km/km²)	Altitude Max (m)	Altitude Min (m)	Altitude Moy (m)	Altitude Mediane (m)	Pente Moyenne du BV (%)	Pente Max du BV (%)	IDPR Median	Pluie Moyenne Annuelle en mm/an (Aurelhy)	Importance des fortes pentes (>=5%)	Piézo choisi	Pluies Choisies	ETP choisi
I2021010	La Dives a Beaumais (Dives médiane)	283	Basse Normandie	6.9	300	51	141.6	133	4.8	39.1	976	699	32	01768X0022/S2	84% Pin + 16% Loudon	Caen Carpiquet
I2001010	La Dives a Saint-Lambert-sur-Dive (Dives amont)	94	Basse Normandie	7.1	300	89	161.9	147	6.1	36.9	1000	712	42	01768X0022/S2	79% Ri + 21% Pin	Caen Carpiquet
I3612010	La Laize a Saint-Germain-le-Vasson [Le Livet]	98	Basse Normandie	6.3	295	87	185.0	182	4.9	43.6	938	824	36	01756X0008/S1	Saint-Germain Langot	Caen Carpiquet
I4032010	La Seulles a Tierceville	259	Basse Normandie	5.8	356	6	108.5	106	4.6	37.9	966	877	35	01192X0043/S1	Caen Carpiquet	Caen Carpiquet
I5321510	L'Aure a Maisons [Pont-Fatu]	134	Basse Normandie	5.2	243	18	91.1	86	3.4	27.2	931	862	21	01184X0021/S1	Caen Carpiquet	Caen Carpiquet
H3322010	La Bezonde a Pannes	344	Centre	8.6	154	84	114.6	116	1.3	9.8	1023	689	1	03651X0107/P	76% Lorris + 24% Ladon	Chartres
H3203310	Le Puiseaux a Saint-Hilaire-sur-Puiseaux	100	Centre	4.6	178	96	130.0	134	1.4	16.4	1028	726	2	03651X0107/P	88% Lorris + 12% Ladon	Chartres
G0402020	La Bresle a Ponts-et-Marais [Ponts-et-Marais]	695	Picardie	1.8	246	7	155.8	165	5.7	53.3	161	861	36	00444X0008/S1	88% Morvillers + 12% Pierrecourt	Abbeville
H7413210	La Divette a Passel	74	Picardie	5.0	187	39	92.5	85	6.1	36.9	818	728	48	00825X0107/S1	Ribecourt-Dreslincourt	St-Quentin
H7513010	L'Automne a Saintines	277	Picardie	2.7	242	36	116.2	119	6.4	42.0	353	747	38	01287X0017/S1	Frenoy-la-rivière	Creil
H7033010	Le Thon a Origny-en-Thierache	256	Picardie	5.4	297	139	215.1	215	6.1	35.3	916	981	59	00516X0059/S1	66% Champlin + 34% Fourmies	St-Quentin
H5522010	L'Ourcq a Chouy	349	Picardie	4.1	231	73	156.8	156	5.0	32.6	919	733	43	01306X0023/S1	Passy-en-Valois	Creil
H5213310	La Soude a Soudron	109	Champagne Ardennes	1.7	227	109	159.3	157	3.3	18.0	323	742	19	01584X0023/LV3	Sommesous	Reims
H1302010	La Voire a Droyes [Gervilliers]	276	Champagne Ardennes	3.6	380	121	213.3	203	4.9	45.7	719	848	35	02648X0020/S1	55% Blumeray + 45% Droyes	Troyes
H6423020	L'Ardre a Faverolles-et-Coemy	147	Champagne Ardennes	5.2	276	85	187.0	182	7.0	31.6	992	782	60	01306X0023/S1	56% Chambrecy + 44% Germaine	Reims
H1503510	L'Huitrelle a Lhuitre	143	Champagne Ardennes	1.5	227	98	152.1	149	3.8	30.8	320	766	23	02255X0003/S1	93% Sommesous + 7% Dosnon	Troyes
I0102010	La Charentonne a Bocquence	65	Haute Normandie	13.6	331	203	278.4	281	5.0	21.9	966	833	42	02144X0005/S1	0.18*P_BRIONNE+0.82*P_STEVROULT	Evreux-Huest
I0211010	La Risle a Pont-Authou	1800	Haute Normandie	3.3	331	41	183.7	171	2.8	53.2	369	765	15	01491X0009/S1	0.17*P_BOTTEREAUX+0.28*P_BRIONNE+0.55*P_STEVROULT	Evreux-Huest
I0011010	La Risle a Rai	153	Haute Normandie	9.8	331	203	269.5	270	4.5	21.3	952	827	37	02144X0005/S1	0.10*P_BRIONNE+0.90*P_STEVROULT	Evreux-Huest
G4002020	La Saane a Val-de-Saane	84	Haute Normandie	1.5	181	88	153.7	157	3.5	30.4	164	995	19	00762X0004/S1	0.15*P_AUZEBOSC+0.33*P_FORGES+0.52*P_STVALERY	Abbeville
H9923020	L'Austreberthe a Saint-Paer	159	Haute Normandie	1.0	181	15	137.0	144	5.0	59.4	113	954	26	00776X0096/S1	P_AUZEBOSC	Abbeville
	L'Avre a Muzy	879	Haute Normandie		311	81	189	181	2	44	575	675	7.3	01805X0036/S1	0.58*P_BU-MAN+0.33*P_MARCILLY+0.09*P_MARVILLE	Evreux-Huest
G6003010	Le Durdent a Vittefleur	355	Haute Normandie	0.5	173	3	125.3	131	4.1	54.0	123	983	22	00762X0004/S1	0.35*P_AUZEBOSC+0.65*P_STVALERY	Abbeville
H9402040	L'Iton a Bourth	160	Haute Normandie	8.4	314	181	242.0	241	2.8	21.6	839	778	15	01794X0035/S1	0.69*P_BAUX+0.31*P_EVREUX	Evreux-Huest
H9402030	L'Iton a Normanville	1050	Haute Normandie	3.3	314	45	171.7	165	2.1	47.5	342	679	9	01245X0010/S1, 01794X0035/S1	0.10*P_BAUX+0.90*P_VERNEUIL	Evreux-Huest
H7913410	La Guyonne a Mareil-le-Guyon	36	Ile de France	6.8	186	72	146.6	156	4.5	37.5	1158	685	30	01825X0091/P1	0.44*P_MAULE+0.56*P_TRAPPES	Trappes
H7913020	La Mauldre a Beynes [Mairie]	226	Ile de France	6.4	231	48	129.3	125	4.0	42.0	857	674	24	01825X0091/P1	0.23*P_MAULE+0.29*P_SEPTEUIL+0.47*P_TRAPPES	Trappes
H5613020	La Therouanne a Congis-sur-Therouanne [Gue a Tresmes]	168	Ile de France	3.1	200	62	112.4	113	3.1	29.5	559	729	16	01543X0023/S1	0.22*P_MESSY+0.78*P_PLESSIS	Melun
H1932020	La Voulzie a Jutigny	319	Ile de France	3.1	204	62	145.5	150	3.2	41.8	716	736	15	02603X0009/S1	0.21*P_BOUY+0.73*P_DONNEMARIE+0.05*P_MARCILLY	Melun
H5732010	Le Grand Morin a Pommeuse	776	Ile de France	4.5	225	63	165.7	167	3.1	41.1	879	771	17	02226X0019/S1, 02211X0020/F1	0.33*P_BOISSY+0.34*P_MESSY+0.33*P_VOULTON	Melun
H3621010	Le Loing a Episy	3896	Ile de France	5.9	383	50	153.5	144	2.8	41.0	620	734	15	03298X1013/P, 04003X0018/FAEP2	0.34*P_BAUNE+0.22*P_LADON+0.44*P_NOGENT	Chartres
H3021010	Le Loing a Montbouy	412	Ile de France	11.6	363	110	193.8	186	2.9	24.3	1000	770	18	03298X1013/P	0.35*P_BAUNE+0.65*P_NOGENT	Chartres
H4022030	L'Essonne a Boulancourt	607	Ile de France	2.5	168	73	119.0	119	1.6	26.4	315	633	5	02936X2005/PFAEP	0.67*P_MANCHECOURT+0.33*P_ORMOY	Melun
H4022020	L'Essonne a Guigneville-sur-Essonne [La Mothe]	867	Ile de France	2.6	168	54	117.6	120	2.2	48.9	225	639	10	02936X2005/PFAEP	0.52*P_MANCHECOURT+0.48*P_ORMOY	Melun
I4053010	***La Mue a Reviers***	100	Basse Normandie	3.4	121	5	62.5	61	2.1	37.0	410	739	6	01194X0069	Caen Carpiquet	Caen Carpiquet
M1073001	***La Conie a Conie-Molitard [Pont de Bleuet]***	1447	Centre	0.4	157	111	132.2	131	1.0	24.0	80	635	1	Indicateur Beauce	Chateaudun (Jallans)	Chartres
H6303820	***La Retourne a Houdilcourt***	318	Champagne Ardennes	1.7	186	62	119.7	120	3.2	25.0	267	735	15	01086X0011/LS4	Reims	Reims
G5002010	***Le Dun au Bourg-Dun [Le Pont Blanc]***	93	Haute Normandie	1.1	151	8	90.0	91	3.4	26.6	173	873	18	00583X0005/S1	AVREMESNIL	Abbeville
	La Serre a Mortiers	725	Picardie		283	64	169.0		5.4			900	50	00675X0019/S1	61% Laon + 39% Fontaine-lès-Vervins	Saint-Quentin

LIBELLE	Recharge d'après MODCOU (mm)	Volumes déjà prelevés (Etiage) - AEP - Nappe	Volumes déjà prelevés (Etiage) - AEP - Surface	Volumes déjà prelevés (Etiage) - Irrigation - Nappe	Volumes déjà prelevés (Etiage) - Irrigation - Surface	Volumes déjà prelevés (Etiage)- Industries - Nappe	Volumes déjà prelevés (Etiage)- Industries - Surface	Nash	*Volumes dispo brut (sortie Tempo) - Mediane (MM3)*	*Volumes dispo brut (sortie Tempo) - 4 ans sec (MM3)*	*Volumes dispo brut (sortie Tempo) - Mediane (mm)*	*Volumes dispo brut (sortie Tempo) - 4 ans sec (mm)*	Volumes dispo global - Année médiane (mm)	Volumes dispo global / Recharge (%) - Médiane	Volumes dispo global - Année sèche (mm)	Volumes dispo global / Recharge (%) - Année sèche
La Dives a Beaumais (Dives médiane)		276 809			2 315	29 128	49 401	0.73	*3.5*	*1.50*	*12.4*	*5.3*	12.4		5.3	
La Dives a Saint-Lambert-sur-Dive (Dives amont)		55 781						0.59	*0.7*	*0.40*	*7.4*	*4.3*	7.5		4.3	
La Laize a Saint-Germain-le-Vasson [Le Livet]		720 320		6 288	1 540			0.70	*3.7*	*1.80*	*37.8*	*18.4*	37.8		18.4	
La Seulles a Tierceville		1 288 352	23 950		1 747	88 683	68 796	0.75	*3.1*	*0.80*	*12.0*	***3.1***	12.0		3.1	
L'Aure a Maisons [Pont-Fatu]		912 083	9 580		4 733	66		0.71	*1.6*	*0.60*	*11.9*	*4.5*	11.9		4.5	
La Bezonde a Pannes	162	1 585 515		1 797 454	421 233	54 378		0.72	***2.8***	***1.20***	*8.1*	***3.5***	13.4	8.2	8.7	5.4
Le Puiseaux a Saint-Hilaire-sur-Puiseaux	148	86 684		1 306 458	30 358	4 245		0.73	***0.8***	***0.30***	*8.0*	***3.0***	13.2	8.9	8.0	5.4
La Bresle a Ponts-et-Marais [Ponts-et-Marais]	154	1 755 482				783 403		0.88	*11.2*	*2.30*	*16.1*	***3.3***	16.1	10.5	3.3	2.1
La Divette a Passel	178	180 865		2 889		79 898		0.45	*0.6*	*0.20*	*8.1*	***2.7***	8.1	4.6	2.7	1.5
L'Automne a Saintines	129	1 662 620		81 115	13 352	243 137	31 869	0.72	*10.4*	*7.60*	*37.5*	*27.4*	37.5	29.1	27.4	21.3
Le Thon a Origny-en-Thierache	163	975 657						0.69	*8.3*	*3.00*	*32.4*	*11.7*	32.4	19.9	11.7	7.2
L'Ourcq a Chouy	175	457 363		80 923	41 602	36 677		0.70	*5.3*	*2.70*	*15.2*	*7.7*	15.2	8.7	7.7	4.4
La Soude a Soudron	148	28 799		316 097	4 526	20 407		0.73	*1.2*	*0.04*	*11.0*	***0.4***	11.0	7.4	0.4	0.2
La Voire a Droyes [Gervilliers]	22	213 785			914			0.65	*1.3*	*0.60*	*4.7*	***2.2***	4.7	21.4	2.2	9.9
L'Ardre a Faverolles-et-Coemy	173	148 416			3 000			0.78	*2.8*	*1.70*	*19.0*	*11.6*	19.0	11.0	11.6	6.7
L'Huitrelle a Lhuitre	155	62 820		274 627	8 529	106 412		0.88	*3.8*	*2.00*	*26.6*	*14.0*	26.6	17.1	14.0	9.0
La Charentonne a Bocquence	108	95 743						0.68	*0.9*	*0.80*	*13.8*	*12.3*	13.8	12.8	12.3	11.4
La Risle a Pont-Authou	114	5 734 694		120 979	66 402	453 930	601 268	0.74	*25.6*	*13.90*	*14.2*	*7.7*	14.2	12.5	7.7	6.8
La Risle a Rai	100	344 799				115 809	64 403	0.73	*2.7*	*1.60*	*17.6*	*10.5*	17.6	17.6	10.5	10.5
La Saane a Val-de-Saane	138	629 195						0.76	*2.1*	*1.20*	*25.0*	*14.3*	25.0	18.1	14.3	10.4
L'Austreberthe a Saint-Paer	130	1 251 999			2 040	139 243	9 636	0.87	*5*	*3.10*	*31.4*	*19.5*	31.4	24.2	19.5	15.0
L'Avre a Muzy	116	15 402 892		618 327	31 510	309 523		0.79	*14.5*	*11.40*	*16.5*	*13.0*	16.5	14.2	13.0	11.2
Le Durdent a Vittefleur	132	2 014 400		2 305	7 872	136 320		0.89	*8*	*2.50*	*22.5*	*7.0*	22.5	17.1	7.0	5.3
L'Iton a Bourth	103	275 555		354		2 939		0.64	*2.4*	*0.70*	*15.0*	*4.4*	15.0	14.6	4.4	4.2
L'Iton a Normanville	116	6 114 342		462 919	81 024	405 785	314 240	0.8131 - 0.	*12.35*	*8.10*	*11.8*	*7.7*	11.8	10.1	7.7	6.7
La Guyonne a Mareil-le-Guyon	112	20 908			15 599	2 847		0.57	***0.3***	*0.10*	*7.8*	***2.8***	7.8	7.0	2.8	2.5
La Mauldre a Beynes [Mairie]	106	3 578 528		12 259	60 603	78 725		0.57	***2.8***	*1.57*	*12.4*	*6.9*	12.4	11.7	6.9	6.5
La Therouanne a Congis-sur-Therouanne [Gue a Tresmes]	130	938 714	38 610	513 821	99 687	135 875		0.72	*1.9*	*1.40*	*11.3*	*8.3*	11.3	8.7	8.3	6.4
La Voulzie a Jutigny	180	6 313 169		143 613	2 949	37 609	844 077	0.72	*5.7*	*3.99*	*18.0*	*12.5*	18.4	10.2	13.0	7.2
Le Grand Morin a Pommeuse	173	1 870 844		78 322	17 722	509 359	437 233	0.747 - 0.7	*27.5*	*22.00*	*35.4*	*28.4*	35.5	20.5	28.5	16.4
Le Loing a Episy	149	22 255 588	2 203	24 474 741	3 832 992	1 486 821	780 636	0.82	*56.4*	*35.50*	*14.5*	*9.1*	14.5	9.7	9.1	6.1
Le Loing a Montbouy	163	316 646		774 171	454 442			0.69	*5.0*	*3.30*	*12.1*	*8.0*	12.1	7.4	8.0	4.9
L'Essonne a Boulancourt	151	1 896 936		11 746 335	113 986	659 249		0.66	*3.4*	*2.70*	*5.6*	*4.4*	25.0	16.5	23.8	15.8
L'Essonne a Guigneville-sur-Essonne [La Mothe]	145	2 787 643		15 999 327	152 268	796 162	20 827	0.78	*6.0*	*3.80*	*6.9*	*4.4*	25.4	17.5	22.8	15.7
La Mue a Reviers		1 005 697		49 991		2 637		0.73								
La Conie a Conie-Molitard [Pont de Bleuet]	150	486 943		15 113 365	60 016	152 198										
La Retourne a Houdilcourt	194	467 849		660 927	30 360	51 633		0.70								
Le Dun au Bourg-Dun [Le Pont Blanc]	154	441 060				44 585		0.55								
La Serre a Mortiers	136	1 089 761		47 806	45 766	224 145	132 106	0.72								

Études précedentes :

LIBELLE	CODE	Region	Superficie (m²)	Référence de l'étude	Volumes déjà prelevés (Etiage) - Irrigation - Nappe	Recharge d'après MODCOU (mm)	*Volumes dispo brut (sortie Tempo) - Mediane (MM3)*	*Volumes dispo brut (sortie Tempo) - Mediane (mm)*	*Volumes dispo brut (sortie Tempo) - 4 ans sec (MM3)*	*Volumes dispo brut (sortie Tempo) - 4 ans sec (mm)*	Volumes dispo global / Recharge (%) - Médiane	Volumes dispo global / Recharge (%) - Année sèche	Volumes dispo global - Année médiane (mm)	Volumes dispo global - Année sèche (mm)
La Dorette à Victot-Pontfol	I2203110	Basse-Normandie	68 812 639	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	0		*1.2*	*17*	*0.1*	*2.1*			17.2	2.1
La Muance à Argences [Fresnes]	I2213110	Basse-Normandie	85 337 194	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	22 183		*0.5*	*5*	*0.0*	*0.5*			5.4	0.5
Le Laison à Croissanville	I2203810	Basse-Normandie	145 081 775	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	57 376		*1.8*	*13*	*0.3*	*2.2*			12.7	2.2
L'Orne à la Courbe	I3121010	Basse-Normandie	936 144 030	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	5 688	94	*5.3*	*6*	*0.5*	*0.6*	6.0	0.6	5.6	0.6
L'Orne à May_sur_Orne	I3621010	Basse-Normandie	2 515 928 662	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	176 224	94	*22.5*	*9*	*0.0*	*0.0*	9.6	0.0	8.9	0.0
L'Yvie à Saint-Hymer	I1213110	Basse-Normandie	37 750 010	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	13 694		*0.7*	*19*	*0.2*	*4.8*			19.0	4.8
La Vanne à Pont_sur_Vanne	H2622010	Bourgogne	819 812 527	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	310 290	133	*14.5*	*18*	*2.7*	*3.3*	13.2	2.5	17.6	3.3
L'Essonne à Boulancourt	H4022030	Centre	572 270 848	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	Mise à jour en 2008 (cf. annexe 3)									
L'Eure à Saint-Luperce	H9021010	Centre	317 820 387	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	35 423	100	*1.6*	*5*	*0.0*	*0.0*	5.1	0.0	5.2	0.0
La Retourne à Houdilcourt	H6303820	Champagne-Ardennes	315 937 514	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	392 290	194	*5.4*	*17*	*1.7*	*5.4*	8.8	2.8	17.1	5.4
La Soude à Soudron	H5213310	Champagne-Ardennes	103 193 897	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	Mise à jour en 2008 (cf. annexe 3)									
La Vesle à Puisieulx	H6402030	Champagne-Ardennes	608 626 894	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	351 762	153	*10.1*	*17*	*4.9*	*8.1*	10.8	5.3	16.5	8.1
L'Ardusson à Saint-Aubin	H1713010	Champagne-Ardennes	168 125 018	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	Mise à jour en 2006 (cf.ci-dessous)									
Le Grand Morin à Meilleray	H5702010	Champagne-Ardennes	348 023 939	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	0	165	*3.2*	*9*	*0.0*	*0.0*	5.6	0.0	9.2	0.0
Le Petit Morin à Montmirail	H5412010	Champagne-Ardennes	375 638 113	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	187 903	170	*1.7*	*5*	*0.0*	*0.0*	2.7	0.3	5.0	0.5
Le Py à Dontrien	H6313210	Champagne-Ardennes	92 163 601	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	0	162	*2.3*	*25*	*0.9*	*9.3*	15.4	5.7	24.8	9.3
L'Huitrelle à Lhuître	H1503510	Champagne-Ardennes	174 893 846	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	149 917	160	*4.1*	*23*	*1.0*	*5.9*	14.7	3.7	23.4	5.9
L'Andelle à Vascoeuil	H8212010	Haute-Normandie	368 099 906	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	0	155	*7.6*	*21*	*0.0*	*0.0*	13.3	0.0	20.6	0.0
Le Cailly à Notre-Dame-de-Bondeville	H9913020	Haute-Normandie	187 029 378	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	207	118	*4.4*	*23*	*0.0*	*0.0*	19.7	0.0	23.3	0.0
Le Commerce à Gruchet-le-Valasse	H9943420	Haute-Normandie	113 922 637	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	0	132	*1.0*	*9*	*0.6*	*5.1*	6.8	3.9	9.0	5.1
L'Epte à Gournay_en_Bray	H8012010	Haute-Normandie	248 836 741	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	0	220	*2.1*	*8*	*0.0*	*0.0*	3.8	0.0	8.3	0.0
L'Eure à Louviers	H9501010	Haute-Normandie	6 326 011 293	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	7 827 611	118	*39.0*	*6*	*0.0*	*0.0*	5.2	0.0	6.2	0.0
La Bièvre à Verrières-le-Buisson	H5913020	Ile-de-France	97 571 422	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	2 681	92	*1.8*	*19*	*0.2*	*2.0*	20.3	2.2	18.6	2.0
La Juine à Méréville	H4033010	Ile-de-France	171 937 569	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	4 278 445	140	*1.8*	*11*	*0.4*	*2.4*	7.7	19.5	35.6	27.3
La Mauldre à Aulnay-sur-Mauldre	H7913030	Ile-de-France	363 802 376	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	0	107	*3.7*	*10*	*0.3*	*0.7*	9.6	0.7	10.2	0.7
La Mauldre à Beynes [Mairie]	H7913020	Ile-de-France	214 144 168	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	Mise à jour en 2008 (cf. annexe 3)									
La Remarde à Saint-Cyr-sous-Dourdan	H4223110	Ile-de-France	166 468 639	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	12 854	122	*0.8*	*5*	*0.3*	*1.8*	4.0	1.5	4.9	1.8
L'Aubette de Magny à Ambleville	H8043310	Ile-de-France	102 374 992	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	0	113	*0.4*	*4*	*0.1*	*0.5*	3.9	0.4	4.4	0.5
Le Betz à Bransles	H3403201	Ile-de-France	142 747 643	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	515 586	122	*0.8*	*5*	*0.0*	*0.0*	4.5	0.0	9.1	0.0
Le Lunain à Paley	H3613010	Ile-de-France	170 135 459	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	55 786	119	*0.7*	*4*	*0.1*	*0.7*	3.5	0.6	4.2	0.7
Le Ru de Gally à Thiverval	H7914120	Ile-de-France	89 270 546	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	0	98	*0.9*	*10*	*0.0*	*0.0*	10.5	0.0	10.3	0.0
Le Sausseron à Nesles-la-Vallée	H7853010	Ile-de-France	101 263 414	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	0	117	*0.6*	*6*	*0.0*	*0.0*	4.8	0.0	5.7	0.0
L'Orge à StCheron	H4202020	Ile-de-France	100 348 284	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	17 476	126	*0.4*	*4*	*0.0*	*0.3*	2.9	0.2	3.6	0.3
L'Orvanne à Blennes	H3623010	Ile-de-France	101 129 405	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	70 873	110	*0.9*	*9*	*0.1*	*0.8*	7.8	0.7	8.6	0.8
L'Yerres à Courtomer	H4322020	Ile-de-France	771 742 201	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	306 477	131	*1.6*	*2*	*0.3*	*0.3*	1.6	0.3	2.0	0.3
L'Yvette à Villebon_sur_Yvette	H4243010	Ile-de-France	229 590 405	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	0	106	*1.2*	*5*	*0.0*	*0.0*	4.9	0.0	5.2	0.0
La Brêche à Nogent-sur-Oise	H7602010	Picardie	474 574 251	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	391 929	130	*4.5*	*9*	*1.5*	*3.1*	7.3	2.4	9.5	3.1
La Launette à Ver-sur-Launette	H7813210	Picardie	37 249 990	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	0	104	*0.2*	*5*	*0.1*	*1.4*	4.9	1.3	5.1	1.4
La Nonette à Courteuil [St-Nicolas d'Acy]	H7813010	Picardie	333 215 654	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	151 394	117	*2.6*	*8*	*0.3*	*0.9*	6.7	0.7	7.8	0.9
La Serre à Mortiers	H7142010	Picardie	725 277 061	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	69 996	135	*10.8*	*15*	*2.6*	*3.6*	11.0	2.6	14.9	3.6
L'Ailette à Chavignon	H7302020	Picardie	120 046 677	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	0	171	*0.3*	*2*	*0.1*	*0.6*	1.5	0.4	2.5	0.6
Le Petit Thérain à Saint-Omer-en-Chaussée	H7713010	Picardie	214 798 670	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	0	134	*3.3*	*15*	*0.0*	*0.0*	11.4	0.0	15.2	0.0
Le Thérain à Bonnières	H7702010	Picardie	200 024 683	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	0	231	*2.9*	*14*	*0.2*	*0.8*	6.2	0.3	14.3	0.8
Les Barentons à Barenton	H7153210	Picardie	102 154 621	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	671 276	202	*2.0*	*20*	*1.0*	*9.7*	9.8	4.8	19.9	9.7
L'Esches à Bornel	H7843010	Picardie	107 826 463	Etude DIRENIDF(2006) RP-55232-FR	15 366	121	*1.5*	*14*	*0.4*	*4.2*	11.5	3.4	13.9	4.2
La Barbuise à Pouan-les-Vallées		Champagne-Ardennes	188 877 479	Etude DIRENCA(2006) RP-55087-FR	2 340 000	207	*7.0*	*37*			17.9		37.1	
La Retourne a St-Remy-Le-Petit		Champagne-Ardennes	236 657 640	Etude DIRENCA(2006) RP-55087-FR	640 000	206	*4.7*	*20*			9.6		19.9	
La Suippe à Orainville		Champagne-Ardennes	808 349 991	Etude DIRENCA(2006) RP-55087-FR	660 000	194	*37.3*	*46*			23.8		46.1	
La Suippe à Selles		Champagne-Ardennes	489 249 985	Etude DIRENCA(2006) RP-55087-FR	220 000	183	*28.1*	*57*			31.3		57.4	
La Superbe à Saint-Saturnin		Champagne-Ardennes	346 844 997	Etude DIRENCA(2006) RP-55087-FR	2 430 000	182	*6.7*	*19*			10.6		19.3	
La Vesle à Bouy		Champagne-Ardennes	285 935 019	Etude DIRENCA(2006) RP-55087-FR	540 000	120	*5.9*	*21*			17.2		20.6	
La Vesle à Chalons		Champagne-Ardennes	762 750 090	Etude DIRENCA(2006) RP-55087-FR	1 370 000	153	*29.2*	*38*			25.0		38.3	
L'Ardusson à Saint-Aubin		Champagne-Ardennes	158 042 475	Etude DIRENCA(2006) RP-55087-FR	610 000	196	*5.2*	*33*			16.8		32.9	
L'Auve à Dommartin-Dampierre		Champagne-Ardennes	174 030 006	Etude DIRENCA(2006) RP-55087-FR	10 000	124	*4.9*	*28*			22.7		28.2	
L'Herbissonne à Allibaudières		Champagne-Ardennes	83 730 465	Etude DIRENCA(2006) RP-55087-FR	1 250 000	174	*2.6*	*31*			17.9		31.1	

Annexe 4

Classement de tous les bassins versants de Seine-Normandie ayant fait l'objet d'une modélisation avec Tempo (2006 – 2008)

Les indicateurs volumiques calculés permettent d'établir un classement des bassins, du plus vulnérable aux prélèvements au moins vulnérable (les BV représentés en noir ont fait l'objet d'une modélisation en 2008, ceux en rouge (Champagne-Ardennes) et en vert (Seine-Normandie) ont été modélisés en 2006.

Année Médiane

L'Yerres à Courtomer
L'Ailette à Chavignon
L'Orge à StCheron
Le Lunain à Paley
L'Aubette de Magny à Ambleville
La Voire a Droyes [Gervilliers]
La Remarde à Saint-Cyr-sous-Dourdan
Le Petit Morin à Montmirail
La Launette à Ver-sur-Launette
L'Yvette à Villebon_sur_Yvette
L'Eure à Saint-Luperce
La Muance à Argences [Fresnes]
L'Orne à la Courbe
Le Sausseron à Nesles-la-Vallée
L'Eure à Louviers
La Dives a Saint-Lambert-sur-Dive (amont)
La Guyonne a Mareil-le-Guyon
La Nonette à Courteuil [St-Nicolas d'Acy]
La Divette a Passel
L'Epte à Gournay_en_Bray
L'Orvanne à Blennes
L'Orne à May_sur_Orne
Le Commerce à Gruchet-le-Valasse
Le Betz à Bransles
Le Grand Morin à Meilleray
La Brêche à Nogent-sur-Oise
La Mauldre à Aulnay-sur-Mauldre
Le Ru de Gally à Thiverval
La Soude a Soudron
La Therouanne a Congis-sur-Therouanne
L'Iton a Normanville
L'Aure a Maisons [Pont-Fatu]
La Seulles a Tierceville
Le Loing a Montbouy
La Dives a Beaumais (Dives médiane)
La Mauldre a Beynes [Mairie]
Le Laison à Croissanville
Le Puiseaux a Saint-Hilaire-sur-Puiseaux
La Bezonde a Pannes
La Charentonne a Bocquence
L'Esches à Bornel
La Risle a Pont-Authou
Le Thérain à Bonnières
Le Loing a Episy
La Serre à Mortiers
L'Iton a Bourth
L'Ourcq a Chouy
Le Petit Thérain à Saint-Omer-en-Chaussée
La Bresle a Ponts-et-Marais
L'Avre a Muzy
La Vesle à Puisieulx
La Retourne à Houdilcourt
La Dorette à Victot-Pontfol
La Vanne à Pont_sur_Vanne
La Risle a Rai
La Voulzie a Jutigny
La Bièvre à Verrières-le-Buisson
L'Yvie à Saint-Hymer
L'Ardre a Faverolles-et-Coemy
La Superbe à Saint-Saturnin
Les Barentons à Barenton
La Retourne a St-Remy-Le-Petit
L'Andelle à Vascoeuil
La Vesle à Bouy
Le Durdent a Vittefleur
Le Cailly à Notre-Dame-de-Bondeville
Le Py à Dontrien
L'Essonne a Boulancourt
La Saane a Val-de-Saane
L'Essonne a Guigneville-sur-Essonne
L'Huitrelle a Lhuitre
L'Auve à Dommartin-Dampierre
L'Herbissonne à Allibaudières
L'Austreberthe a Saint-Paer
Le Thon a Origny-en-Thierache
L'Ardusson à Saint-Aubin
Le Grand Morin a Pommeuse
La Juine à Méréville
La Barbuise à Pouan-les-Vallées
L'Automne a Saintines
La Laize a St-Germain-le-Vasson[Le Livet]
La Vesle à Chalons
La Suippe à Orainville
La Suippe à Selles

Année Sèche

L'Yvette à Villebon_sur_Yvette
L'Eure à Saint-Luperce
Le Sausseron à Nesles-la-Vallée
L'Eure à Louviers
L'Epte à Gournay_en_Bray
L'Orne à May_sur_Orne
Le Betz à Bransles
Le Grand Morin à Meilleray
Le Ru de Gally à Thiverval
Le Petit Thérain à Saint-Omer-en-Chaussée
L'Andelle à Vascoeuil
Le Cailly à Notre-Dame-de-Bondeville
L'Orge à StCheron
L'Yerres à Courtomer
La Soude a Soudron
L'Aubette de Magny à Ambleville
Le Petit Morin à Montmirail
La Muance à Argences [Fresnes]
L'Orne à la Courbe
L'Ailette à Chavignon
La Mauldre à Aulnay-sur-Mauldre
Le Lunain à Paley
Le Thérain à Bonnières
L'Orvanne à Blennes
La Nonette à Courteuil [St-Nicolas d'Acy]
La Launette à Ver-sur-Launette
La Remarde à Saint-Cyr-sous-Dourdan
La Bièvre à Verrières-le-Buisson
La Dorette à Victot-Pontfol
La Voire a Droyes [Gervilliers]
Le Laison à Croissanville
La Divette a Passel
La Guyonne a Mareil-le-Guyon
La Brêche à Nogent-sur-Oise
La Seulles a Tierceville
La Vanne à Pont_sur_Vanne
La Bresle a Ponts-et-Marais
La Serre à Mortiers
L'Esches à Bornel
La Dives a Saint-Lambert-sur-Dive (amont)
L'Iton a Bourth
L'Aure a Maisons [Pont-Fatu]
L'Yvie à Saint-Hymer
Le Commerce à Gruchet-le-Valasse
La Dives a Beaumais (Dives médiane)
La Retourne à Houdilcourt
La Mauldre a Beynes [Mairie]
Le Durdent a Vittefleur
L'Iton a Normanville
La Risle a Pont-Authou
L'Ourcq a Chouy
Le Puiseaux a Saint-Hilaire-sur-Puiseaux
Le Loing a Montbouy
La Vesle à Puisieulx
La Therouanne a Congis-sur-Therouanne
La Bezonde a Pannes
Le Loing a Episy
Le Py à Dontrien
Les Barentons à Barenton
La Risle a Rai
L'Ardre a Faverolles-et-Coemy
Le Thon a Origny-en-Thierache
La Charentonne a Bocquence
L'Avre a Muzy
La Voulzie a Jutigny
L'Huitrelle a Lhuitre
La Saane a Val-de-Saane
La Laize a St-Germain-le-Vasson[Le Livet]
L'Austreberthe a Saint-Paer
L'Essonne a Guigneville-sur-Essonne
L'Essonne a Boulancourt
La Juine à Méréville
L'Automne a Saintines
Le Grand Morin a Pommeuse

Annexe 5

Appréciation globale sur les résultats des modélisations

LIBELLE	Region	Note Nash Q*	Nash Débit	Note Nash H*	Nash Piezo	Note étiage*	Etiage (AB / B / TB)	Note Periode de calage	Periode de calage	Complexité Hydro	Note globale	Indice de confiance
La Laize a Saint-Germain-le-Vasson [Le Livet]	Basse Normandie	1	0.6972	2	0.75	2	B	1	12 ans	1	3	Faible
L'Essonne a Boulancourt	Ile de France	1	0.4972	3	0.94	1	AB	1	11 ans	1	3	Faible
La Divette a Passel	Picardie	1	0.4518	1	0.68	2	B				4	Faible
L'Ourcq a Chouy	Picardie	1	0.6985	2	0.71	2	B			1	4	Faible
L'Ardre a Faverolles-et-Coemy	Champagne Ardennes	2	0.7758	1	0.69	3	TB	1	7 ans	1	4	Faible
La Saane a Val-de-Saane	Haute Normandie	2	0.759	2	0.76	1	AB	1	11 ans		4	Faible
La Guyonne a Mareil-le-Guyon	Ile de France	1	0.5671	2	0.74	2	B	1	12 ans		4	Faible
L'Essonne a Guigneville-sur-Essonne [La Mothe]	Ile de France	2	0.7777	3	0.94	1	AB	1	12 ans	1	4	Fiable
L'Aure a Maisons [Pont-Fatu]	Basse Normandie	2	0.7079	1	0.69	2	B				5	Moyen
La Voire a Droyes [Gervilliers]	Champagne Ardennes	1	0.6513	1	0.59	3	TB				5	Moyen
La Risle a Pont-Authou	Haute Normandie	2	0.7384	2	0.71	2	B			1	5	Moyen
L'Huitrelle a Lhuitre	Champagne Ardennes	3	0.8830	2	0.79	2	B	1	11 ans	1	5	Moyen
L'Iton a Bourth	Haute Normandie	1	0.6421	3	0.91	2	B	1	9 ans		5	Moyen
Le Loing a Montbouy	Ile de France	1	0.6419	3	0.83	2	B	1	13 ans		5	Moyen
Le Grand Morin a Pommeuse	Ile de France	2	0.701	2	0.77	2	B			1	5	Moyen
La Seulles a Tierceville	Basse Normandie	2	0.7497	2	0.78	3	TB			1	6	Moyen
Le Puiseaux a Saint-Hilaire-sur-Puiseaux	Centre	2	0.7253	2	0.74	2	B				6	Moyen
La Soude a Soudron	Champagne Ardennes	2	0.7287	3	0.85	2	B			1	6	Moyen
La Mauldre a Beynes [Mairie]	Ile de France	1	0.5703	3	0.93	3	TB			1	6	Moyen
La Voulzie a Jutigny	Ile de France	2	0.7150	3	0.92	2	B			1	6	Moyen
La Therouanne a Congis-sur-Therouanne [Gue a Tresmes]	Ile de France	2	0.7230	2	0.73	2	B				6	Moyen
L'Automne a Saintines	Picardie	2	0.7164	3	0.94	1	AB				6	Moyen
La Dives a Saint-Lambert-sur-Dive (Dives amont)	Basse Normandie	1	0.5895	3	0.87	3	TB	1	11 ans		6	Moyen
La Dives a Beaumais (Dives médiane)	Basse Normandie	2	0.7336	3	0.80	2	B	1	11 ans		6	Moyen
La Charentonne a Bocquence	Haute Normandie	1	0.6785	3	0.85	3	TB	1	12 ans		6	Moyen
L'Austreberthe a Saint-Paer	Haute Normandie	3	0.872	2	0.78	2	B	1	11 ans		6	Moyen
Le Thon a Origny-en-Thierache	Picardie	1	0.6880	3	0.93	3	TB	1	10 ans		6	Moyen
La Bresle a Ponts-et-Marais [Ponts-et-Marais]	Picardie	3	0.8826	3	0.96	1	AB	1	8 ans		6	Moyen
La Bezonde a Pannes	Centre	2	0.7247	2	0.75	3	TB				7	Bon
L'Avre a Muzy	Haute Normandie	2	0.7859	3	0.91	2	B				7	Bon
L'Iton a Normanville	Haute Normandie	3	0.8131 - 0.791	3	0.84 - 0.88	1	AB				7	Bon
Le Loing a Episy	Ile de France	3	0.819	3	0.86	2	B			1	7	Bon
La Risle a Rai	Haute Normandie	2	0.7309	3	0.84	3	TB				8	Bon
Le Durdent a Vittefleur	Haute Normandie	3	0.885	3	0.86	2	B				8	Bon

Note globale = Notes nash + Note Etiage -Note Période de Calage - Complexité hydr

* La note attribuée va de 1 (AB) à 3 (B)

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Ile-de-France
7, rue du Théâtre

91884 – Massy – France
Tél. : 01 69 75 10 25