



Bilan du suivi des débits de la nappe des calcaires de Brie

août 2010 – mai 2013



Fournisseurs des données utilisées dans ce rapport

Pluviométrie et évapo-transpiration	
Débits des stations Courtomer et Blandy	
Carte Piézométrique de la nappe de Brie 1970 Suivi piézométrique de Montereau/Jard Indice de Développement et de Persistance de Réseaux Modèle hydrologique GARDENIA	
Suivi piézométrique de Champdeuil Suivi des stations d'épuration Pluviométrie CG 77	
Modèle hydrologique GR4j	
Suivis débitmétriques et pluviométriques, structure géologique du réservoir	
Mode d'Occupation des sols	
Suivi piézométrique de la nappe de Brie	
Suivi de la station d'épuration de St-Germain-Laxis	

Mots clés : nappe des calcaires de Brie, nappe des calcaires de Champigny, drainance Brie-Champigny, modélisation hydrologique, piézométrie, station de suivi débitmétrique.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : *Coquelet L., Reynaud. A (2014). Bilan du suivi des débits de la nappe des calcaires de Brie entre août 2010 et mai 2013, rapport AQUi' Brie, 79 pages, 78 figures.*

Photos de couverture : ru d'Avon à Aubepierre et source Pecqueux à Aubepierre et jaugeage sur le ru de la Barbançonne à Grisy-Suisnes

Ce document ne peut-être reproduit en totalité ou en partie, hormis par les membres d'AQUi' Brie, sans l'autorisation expresse d'AQUi' Brie. Dans tous les cas, il devra être fait mention des sources des extraits du document.

AQUi' Brie - Adresse postale et bureaux : 2 avenue Galliéni - 77000 MELUN
Siège social : 145 quai Voltaire 77190 DAMMARIÉ LES LYS
Tél. : 01 64 83 61 00 Fax. : 01 64 83 61 18

PLAN

A.	En résumé...	5
B.	Rapport complet	11
I	Que savons-nous sur la nappe des calcaires de Brie ?	13
	I.1 Les calcaires de Brie sur le territoire	15
	I.2 Les sens d'écoulement de la nappe de Brie	16
	I.3 L'infiltration présumée des eaux de surface	18
	I.4 Les suivis piézométriques disponibles	20
	I.5 Conclusion	22
II	Le suivi mis en place	25
	II.1 L'occupation des sols	27
	II.2 La géologie	28
	II.3 La pluviométrie	30
	II.4 Les débits spécifiques mesurés	32
III	Estimation de la drainance vers la nappe de Champigny	35
	III.1 Hypothèses préalables	36
	III.2 Sources d'incertitude	36
	III.3 Résultats des simulations	38
	III.4 Critique des résultats	46
C.	Annexes	49
I	Extrait de la carte piézométrique de la nappe de Brie de 1970	50
II	Les stations de suivi des débits	51
	II.1 Sources et cours d'eau drainant essentiellement la nappe des calcaires de Brie	51
	II.1 Cours d'eau infiltrants (Banque HYDRO)	60
III	Le modèle hydrologique GARDENIA	63
	III.1 Description du modèle	63
	III.2 Calage du modèle	64
	III.3 Détails des paramètres calés sur GARDENIA pour les différentes stations	66
	III.4 Les points forts et faibles des simulations	67
IV	Le modèle hydrologique GR4j	69
	IV.1 Description du modèle	69
	IV.3 Calage du modèle	70
	IV.4 Détails des paramètres calés sur GR4j pour les différentes stations	71
	IV.5 Résultats des simulations	72
V	Bibliographie	79

A. En résumé...

La nappe des calcaires de Brie est la première nappe que l'on rencontre sur les plateaux de la Brie, à quelques mètres de profondeur. Cette nappe superficielle et morcelée est méconnue, contrairement à la nappe plus profonde des calcaires de Champigny. De nombreuses interrogations existent : Comment cette nappe du Brie s'écoule-t-elle (page 16) ? Quelles sont les zones d'infiltration privilégiées des eaux de surface vers cet aquifère (pp. 18-19) ? Quelles sont les fluctuations de cette nappe (pp. 20-21) ?

Mais la principale interrogation concerne l'importance des échanges (on parle de drainance) entre cette nappe superficielle du Brie et la nappe plus profonde des calcaires de Champigny : **Où, quand, comment ces deux nappes échangent-elles de l'eau** au travers des marnes vertes et supragypseuses qui séparent les 2 couches aquifères ? Le manque d'information sur cette drainance a d'ailleurs compliqué le calage des différents modèles mathématiques de la nappe des calcaires de Champigny : Watermodel (AQUI' Brie, 2009) puis celui de l'Ecole des Mines Paris Tech (Bellier, 2013).

Le suivi mis en place

Afin de préciser cette drainance entre les nappes de Brie et de Champigny en différents points du territoire, AQUI' Brie a installé, en 2010, 5 stations de suivi du débit sur **3 cours d'eau (voir carte ci-dessous)** :

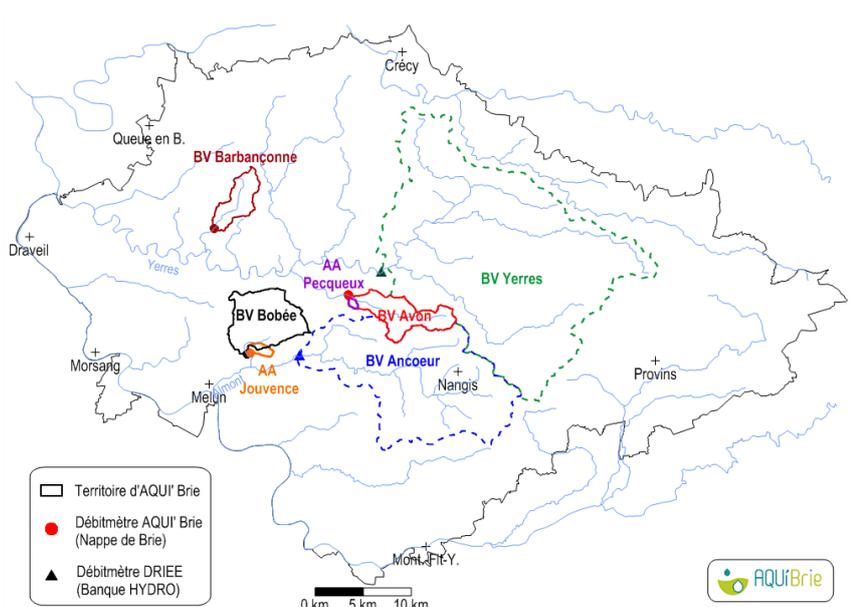


la Barbançonne à Grisy-Suisnes, **l'Avon** à Aubepierre et le ru **Bobée** à Moisenay ainsi que sur **2 sources : Pecqueux** à Aubepierre et **Jouvence** à Moisenay, drainant la nappe de Brie sur le territoire. Une description détaillée de chaque station (contexte local, appareillage, tarage et débits mesurés) est en Annexe II pp. 51 à 59. En comparant ces débits mesurés à ceux simulés à partir de la pluie tombée sur les bassins versants, on va estimer la part manquante qui échappe au bilan, et rejoint la nappe du Champigny par drainance.

La station de suivi du débit sur le ru d'Avon

On a aussi exploité les suivis de débits effectués par la DRIEE sur les bassins versants de l'Yerres à Courtomer (tiretés verts) et de l'Ancoeur à Blandy-les-Tours (tiretés bleus). Si la nappe du Brie participe à l'alimentation de ces vastes bassins versants, une partie de cette eau s'infiltrerait directement vers les calcaires de Champigny en amont des stations, via les pertes en rivière.

Les bassins versants des 5 stations d'AQUI' Brie et des 2 stations de la DRIEE



Ce rapport exploite les 33 premiers mois de ce suivi. Sur cette période, le contexte pluviométrique et de recharge a été globalement déficitaire (page 30), même si la dernière année 2012-2013 a été plus humide que les 2 autres.

Le principe de la modélisation

Nous avons estimé cette drainance du Brie vers la nappe de Champigny à l'aide du modèle hydrologique Pluie-Débit GARDENIA créé par le BRGM (description détaillée pp. 63-65). Les stations ont été positionnées de manière à ce que l'écoulement souterrain de la nappe de Brie vers l'extérieur du bassin versant des cours d'eau puisse être négligé. On part de l'hypothèse que les bassins versants de surface des cours d'eau coïncident avec les bassins versants souterrains de la nappe de Brie.

On rentre dans le modèle GARDENIA 2 données d'entrée : la pluie et l'évapotranspiration (ou ETP). A partir de là, le modèle reproduit le cycle de l'eau, sur le bassin versant des stations pour les cours d'eau ou sur l'aire d'alimentation pour les sources. Il permet de décomposer la pluie tombée en 3 types d'écoulement :

- Ceux rapides que l'on assimile au ruissellement et au drainage agricole.
- Ceux lents, représentant les écoulements souterrains et qui correspondent à la contribution des sources de la nappe de Brie au débit des stations.
- Ceux qui s'infiltrent vers la nappe des calcaires de Champigny plus profonde : c'est la **drainance au travers des marnes vertes et supragypseuses**.

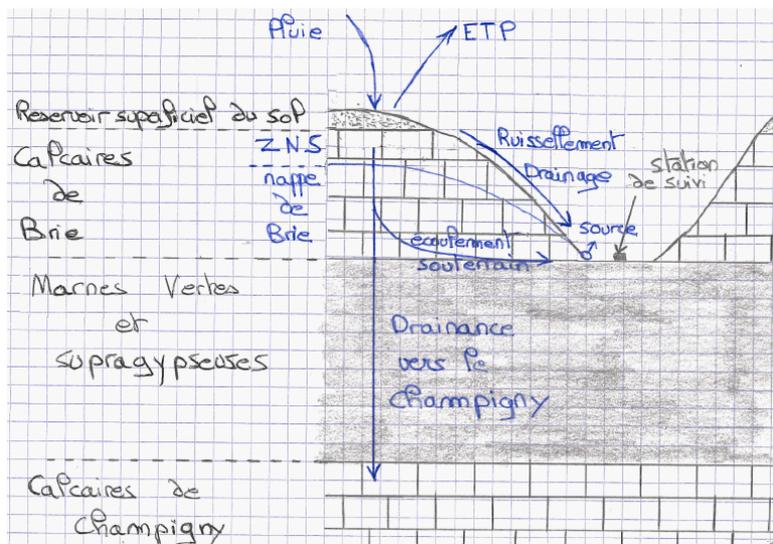
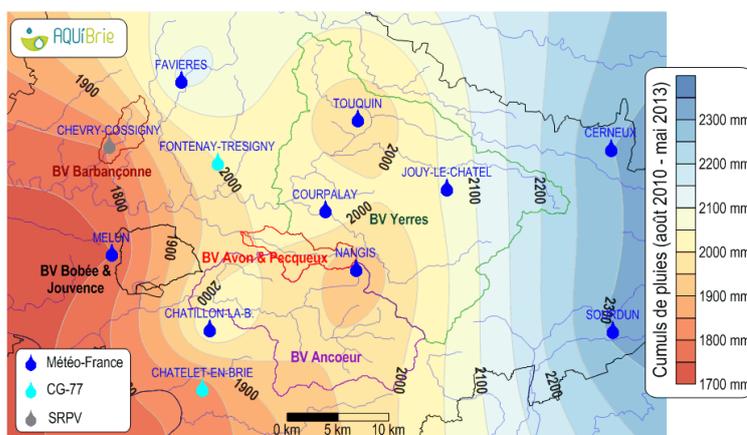


Schéma conceptuel du modèle GARDENIA appliqué à l'estimation de la drainance entre nappes de Brie et de Champigny

Nous avons identifié 3 sources d'incertitudes :

- **La justesse des débits mesurés lors des épisodes de crues.** Compte tenu de la rapidité de ces épisodes, notamment sur la Barbançonne (cf. page 37), nous avons jusqu'à présent eu des difficultés à effectuer des jaugeages de contrôle pour valider les débits de pointe.
- **La représentativité de la pluviométrie** mesurée aux stations climatiques, par rapport à celle réellement tombée sur les bassins versants (page 36). On constate des différences importantes de pluviométrie entre des pluviomètres voisins. (300 mm d'écart entre Melun-Villaroche et Châtillon-la-Borde sur la période étudiée !). Pour chaque bassin, nous avons calculé une pluie moyenne à partir des pluviomètres les plus proches.



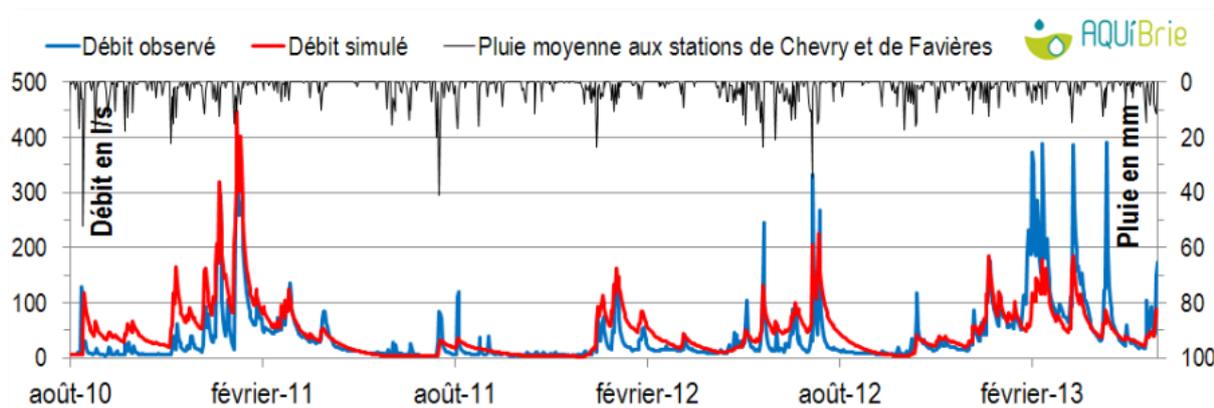
Cumuls de pluies entre août 2010 et mai 2013 sur les stations météo du territoire

- **La précision des aires d'alimentation des sources Pecqueux et Jouvence**, dans ce plat plateau briard, où les informations manquent sur la topographie de la nappe du Brie.

Les simulations (août 2010 à mai 2013)

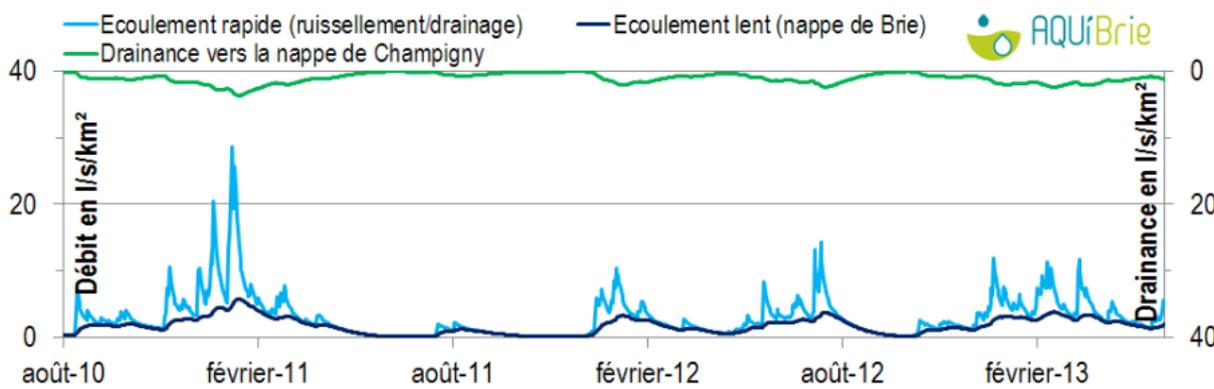
Nous avons réalisé des simulations sur les 33 premiers mois de suivi (pp. 38-42), en calant les différents paramètres du modèle (décrits page 64) de manière à :

- Reproduire au mieux les débits mesurés



*Les débits mesurés (en bleu) et simulés (en rouge)
à la station de la Barbançonne à Grisy-Suisnes (modèle GARDENIA)*

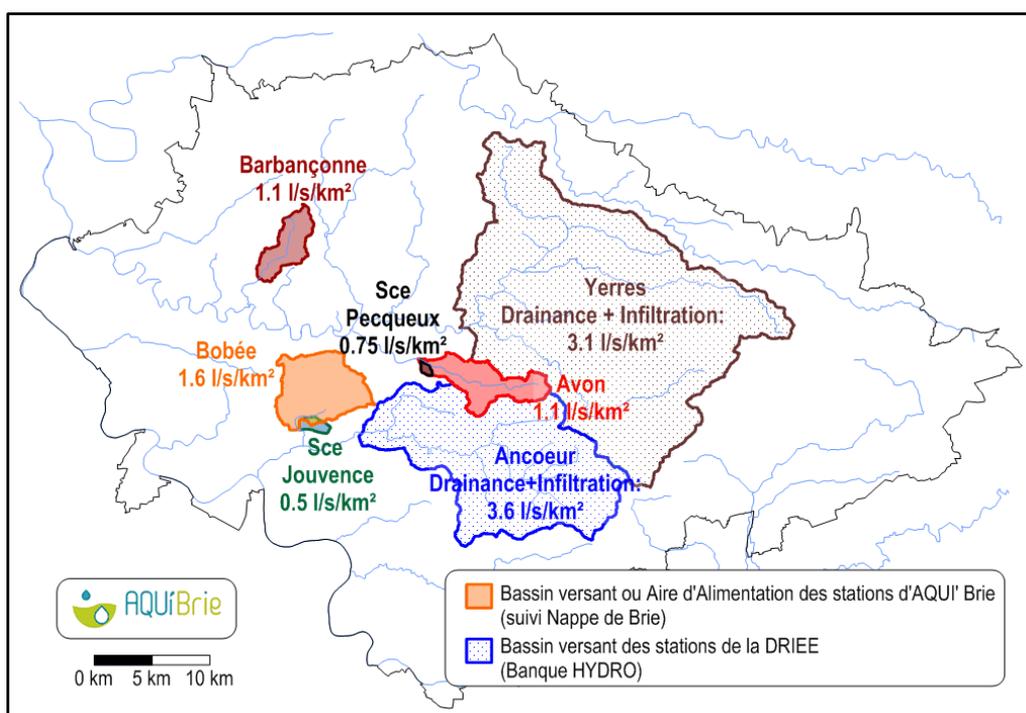
- Décomposer les hydrogrammes entre les écoulements rapides (ruissellement/drainage agricole), les écoulements lents dans la nappe de Brie, et la drainance entre Brie et Champigny. On s'est par ailleurs appuyé sur notre connaissance du fonctionnement du drainage agricole.



Décomposition des écoulements simulés de la Barbançonne à Grisy-Suisnes

Pour les stations de l'Yerres à Courtomer et de l'Ancoeur à Blandy, le terme « Drainance » (en vert sur la figure précédente) correspond à la drainance entre Brie et Champigny mais englobe aussi l'infiltration d'une partie des eaux de surface via les pertes en rivière (pp. 42-45).

Premières estimations de la drainance Brie-Champigny (période d'août 2010 à mai 2013)



Drainance moyenne entre Brie et Champigny (août 2010-mai 2013, modèle GARDENIA)

Sur les bassins versants de la **Barbançonne** au Nord de l'Yerres et de l'**Avon** au Sud de l'Yerres, la drainance Brie-Champigny est en moyenne de **1,1 l/s/km²** sur la période suivie¹. C'est sur le bassin versant du **ru Bobée** que la plus forte drainance est simulée, de **1,6 l/s/km²** en moyenne sur la même période. **La drainance Brie-Champigny serait donc plus importante dans ce secteur, ce que laissait supposer le calage des modèles (Watermodel ; AQUI' Brie, 2009 et Armines ; 2013) ainsi que l'anomalie de l'indicateur d'infiltration des eaux de surface dans ce secteur (voir page 18).**

Les estimations de drainance sur les sources équipées (source Pecqueux sur l'Avon et source Jouvence sur le ru Bobée) sont systématiquement plus faibles que sur les cours d'eau voisins : de **0,75 l/s/km²** en moyenne sur l'aire d'alimentation de la source Pecqueux (contre 1,1 sur l'Avon) et de **0.5 l/s/km²** en moyenne sur l'aire de la petite **source Jouvence** (contre 1,6 sur le ru Bobée). L'étendue des aires de ces sources reste difficile à déterminer, ce qui constitue une des sources d'incertitude dans le calcul de la drainance, avec la pluviométrie.

Enfin, sur les stations de l'**Yerres à Courtomer** et de l'**Ancoeur à Blandy**, l'infiltration des eaux de surface vers le Champigny (drainance Brie-Champigny + infiltration via les pertes en rivière dans les vallées) est respectivement de 3.1 l/s/km² et 3.6 l/s/km². Si on fait un calcul à la louche pour ce secteur amont de la nappe du Champigny, entre les valeurs obtenues sur l'Yerres, l'Avon et l'Ancoeur, on aurait donc une alimentation du Champigny décomposée en 1,1 l/s/km² de drainance entre Brie et Champigny et de l'ordre de 2,2 l/s/km² d'infiltration directe via les pertes. **On confirme que pour cette zone amont de la nappe, les pertes en rivière sont un mode important de recharge de la nappe.**

Nous avons utilisé un autre modèle hydrologique : GR4j d'IRSTEA (descriptif et simulations en Annexe IV). D'approche différente (pp 69-70), l'outil permet néanmoins d'estimer l'infiltration en direction de la nappe profonde de Champigny. **Les valeurs de drainance obtenues à partir de cet outil GR4j (Figure 78 page 78) sont semblables à celles simulées par GARDENIA.**

¹ Pour pouvoir comparer les drainances des stations entre elles, on les exprime en l/s/km². Il s'agit du débit écoulé (en litre/seconde) rapporté à la superficie du bassin versant ou de l'aire d'alimentation (en km²).

Des simulations à poursuivre et affiner...

✓ **Poursuite des mesures** : Le suivi des débits était initialement prévu pour trois ans (août 2010-août 2013), qui ont globalement été déficitaires en pluie efficace. Les estimations de drainance sur cette période sont donc vraisemblablement une estimation basse de la drainance Brie-Champigny. Nous avons donc décidé de poursuivre ce suivi dans l'attente de contextes climatiques plus humides, qui vont vraisemblablement faire évoluer la drainance.

✓ **Des débits de crue à davantage contrôler** : sur la période 2010-2013, il n'y a pas eu assez de jaugeages en crues pour contrôler les débits de pointe mesurés par les stations. En 2014, 2 tournées de jaugeage ont pu être réalisées au moment des crues hivernales et une dernière en juin 2014 après des épisodes orageux, afin de mieux contrôler les débits des stations. Cet effort est à poursuivre afin de valider au mieux les débits de pointe.

✓ **Améliorer la spatialisation des pluies** : La pluie est une donnée d'entrée très importante pour la modélisation. Or, nous avons utilisé les données des stations météo réparties sur le territoire, avec des différences parfois importantes d'une station à l'autre. Météo-France spatialise la pluie tombée à partir des données des stations et des images RADAR. **Les données climatiques SAFRAN (Pluie et ETP) produites sur des mailles de 64 km² pourraient être utilisées en données d'entrée dans nos simulations.**

✓ **Croiser nos estimations de drainance Brie-Champigny avec celles du modèle mathématique de la nappe des calcaires de Champigny de l'Ecole des Mines.** Dans les mois à venir, il est prévu d'établir des bilans à l'échelle des bassins versants de chaque station de suivi du débit.

Une nappe du Brie de mieux en mieux suivie

Jusqu'à présent, nous disposions de peu de points de suivi de la piézométrie de la nappe des calcaires de Brie (page 20), ce qui a été la principale limite du calage des modèles mathématiques de la nappe du Champigny. AQUI' Brie s'est attelée à la récupération de tous les suivis existants ou passés de cette nappe du Brie (d'industriels, de collectivités territoriales, voire d'agriculteurs). Ces suivis saisis et bancarisés en 2014 seront intégrés dans le modèle Armines afin d'en améliorer le calage.

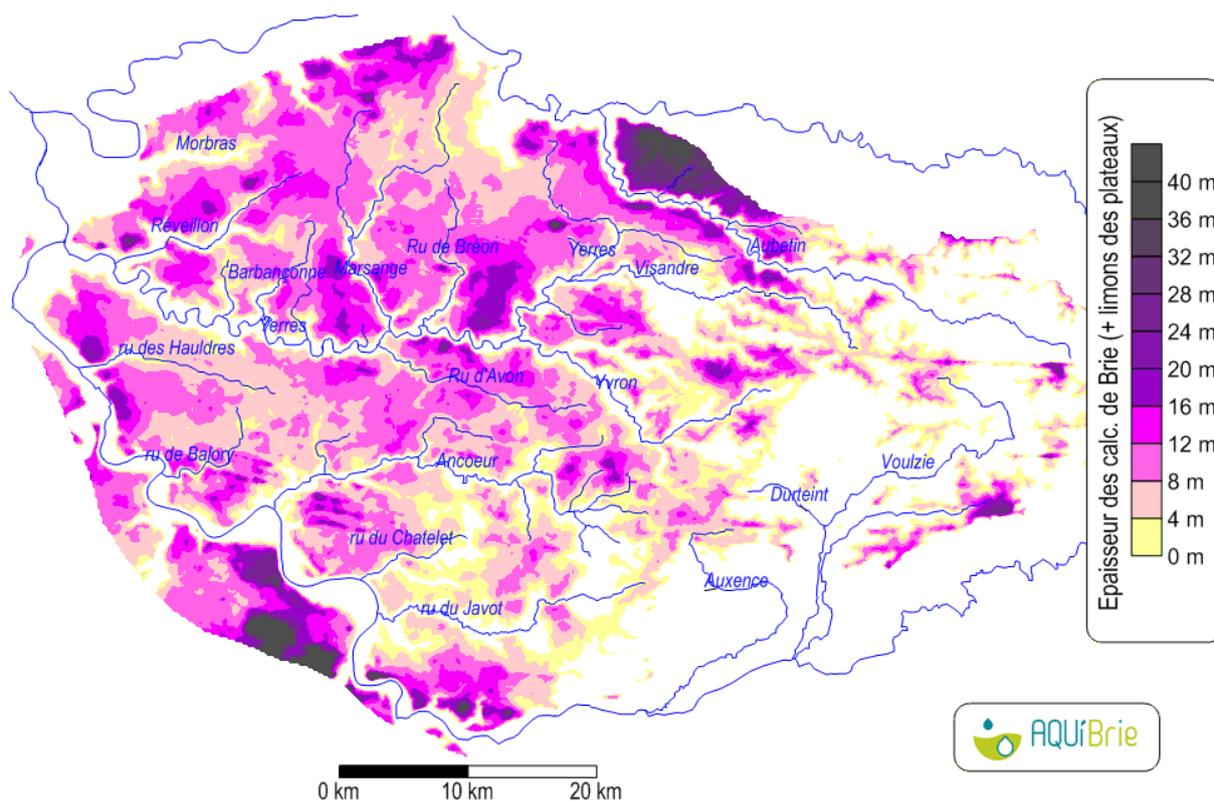
Confronté à des problématiques de remontée de nappe du Brie ces dernières années, le SYAGE, par ailleurs membre d'AQUI' Brie, développe en 2014 un réseau de surveillance du niveau de cette nappe sur le secteur aval de l'Yerres. AQUI' Brie est pressentie pour assurer sur ces ouvrages le suivi des niveaux. C'est une nouvelle étape qui permettra de mieux comprendre le fonctionnement de cette nappe superficielle et son interaction avec la ressource stratégique que constitue la nappe des calcaires de Champigny.

B. Rapport complet

I Que savons-nous sur la nappe des calcaires de Brie ?

I.1 Les calcaires de Brie sur le territoire

Les calcaires de Brie de l'Oligocène constituent une formation géologique aquifère superficielle qui est localement recouverte par des limons de plateaux. Ces calcaires présentent une épaisseur qui est variable sur le territoire comme le montre la Figure 1. Sur cette Figure, on voit que les calcaires de Brie sont plus épais au Nord de l'Yerres, au droit de la Marsange et entre l'Yerres et le Bréon (jusqu'à 20 mètres d'épaisseur). Sur la partie Sud-orientale, ils ne font plus que quelques mètres d'épaisseur et constituent souvent des buttes témoins. Entre l'Yerres et la fosse de Melun, les calcaires de Brie font entre 4 et 8 mètres d'épaisseur. On voit aussi que cette formation disparaît dans les vallées, où elle a été érodée. La nappe contenue dans les calcaires de Brie est donc morcelée à la différence de la nappe régionale des calcaires de Champigny sur ce territoire.



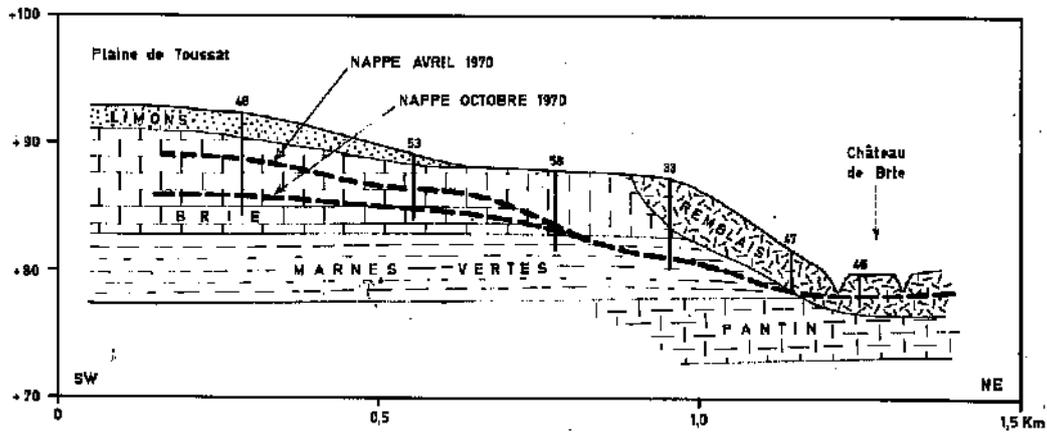


Fig. 4.5. — Coupe géologique à Brie-Comte-Robert et position de la surface libre de la nappe phréatique en avril et octobre 1970.

Figure 3 : Vidange occulte de la nappe de Brie dans les marnes vertes et supragypseuses dans le secteur de Brie-Comte-Robert (Mégny, 1979)

La Figure 4 représente l'épaisseur des marnes vertes et supragypseuses ainsi que la localisation des sources de la nappe de Brie. On s'attend à ce que cette épaisseur marneuse conditionne l'importance des circulations d'eau entre les nappes de Brie et de Champigny mais la relation entre les deux phénomènes ne saute pas aux yeux. La densité des sources peut être importante dans des secteurs où les marnes sont épaisses (Réveillon, amont de l'Yerres, Ancoeur moyen) mais aussi dans des secteurs où elles font entre 10 et 15 mètres (Aubetin, ru du Châtelet, ru Javot). D'autres facteurs jouent, dont la répartition spatiale est inconnue, comme la perméabilité verticale de ces marnes, fonction de sa composition mais également le débit des sources.

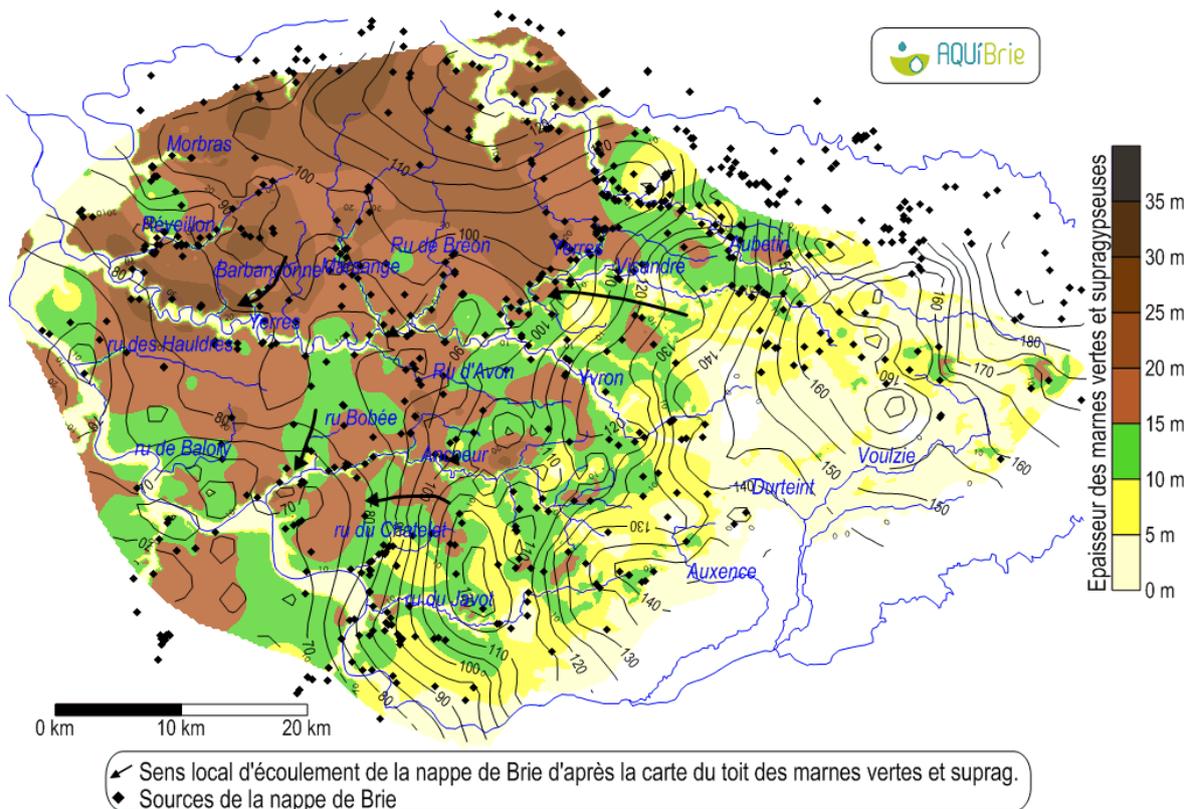


Figure 4 : Carte d'altitude (courbes noires) du toit des marnes vertes et supragypseuses, épaisseurs des marnes et sources de la nappe de Brie (Reynaud, 2012)

I.3 L'infiltration présumée des eaux de surface

I.3.1 L'Indice de Développement et de Persistance de Réseaux (IDPR)

La densité de drainage en surface est un indice de la perméabilité des formations géologiques sur lesquelles elle repose. Ainsi un bassin formé de matériaux très perméables comme des calcaires, aura en général une densité de drainage faible et à l'inverse, un bassin formé de matériaux imperméables comme des marnes ou des argiles, va souvent présenter une densité de drainage élevée. L'Indice de Développement et de Persistance de Réseaux (IDPR)² créé par le BRGM, permet d'avoir une idée de la capacité des formations du sous-sol à laisser ruisseler ou s'infiltrer les eaux de surface sur les bassins versants. Ainsi lorsque :

- IDPR > 1000, alors le ruissellement superficiel est majoritaire vis-à-vis de l'infiltration vers le milieu souterrain.
- IDPR < 1000, alors l'infiltration est majoritaire par rapport au ruissellement superficiel.

La Figure 5 montre la répartition de cet indice sur le territoire. Les zones les plus infiltrantes (jaune orangé à rouge) se trouvent surtout à l'Est dans la vallée du Provenois et en amont de la vallée de l'Aubetin ce qui est logique compte tenu des zones d'affleurement des calcaires de Champigny dans ce secteur (cf. Figure 6 page 19). Mais on **note également une zone d'infiltration importante au Nord-Est de Melun dans le secteur du ru Bobée, ce qui est plus étonnant car ce sont les calcaires de Brie qui affleurent ici**. Dans ces zones, l'eau aura donc plus facilement tendance à s'infiltrer dans les formations géologiques sous-jacentes, qui sont respectivement les calcaires de Brie dans le secteur de Bobée et de Champigny du côté du Provenois.

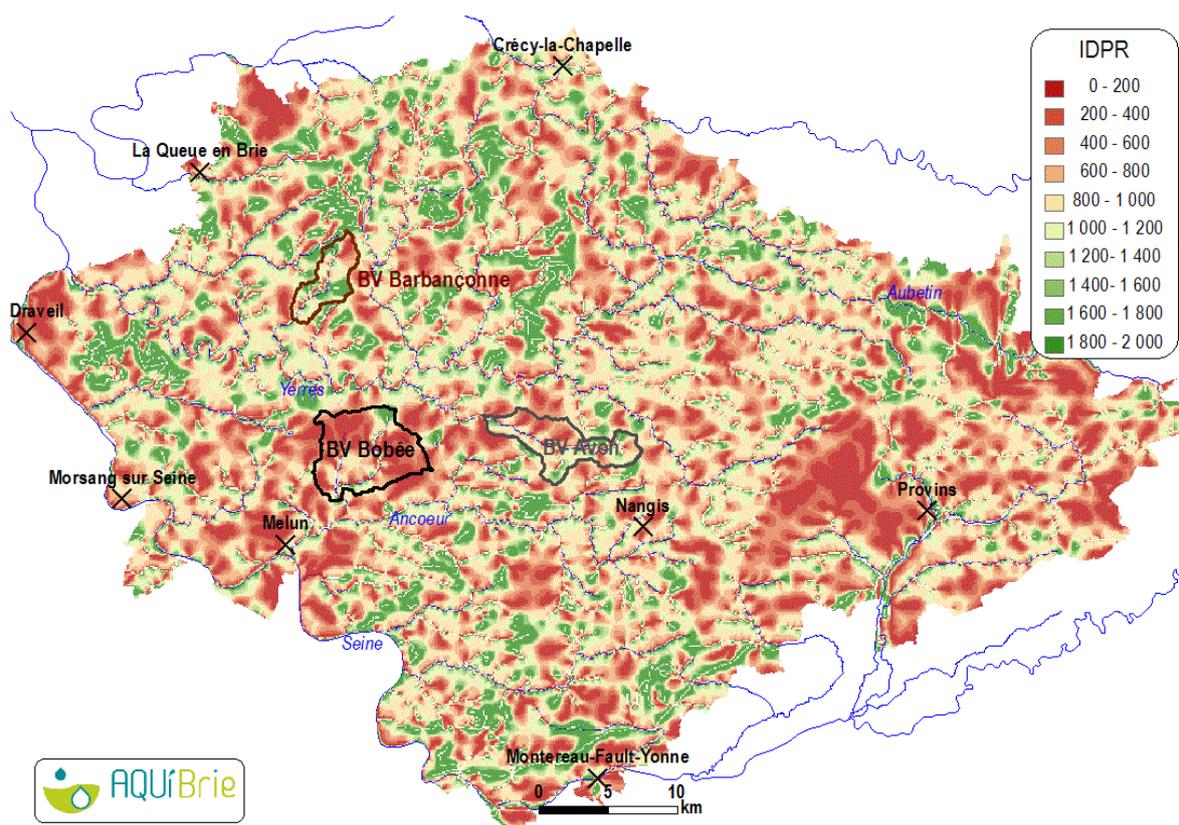


Figure 5 : L'IDPR sur le territoire (source : BRGM)

² Cet indice est obtenu en comparant un réseau hydrographique théorique établi selon l'hypothèse d'un milieu parfaitement homogène (calculé à partir du Modèle numérique de Terrain de l'IGN) au réseau hydrographique naturel réel conditionné par un contexte géologique hétérogène (BD Carthage de l'IGN).

I.3.2 L'épaisseur de recouvrement marneux sur les calcaires de Champigny

La Figure 6 représente l'épaisseur du recouvrement marneux sur les calcaires de Champigny. Ce recouvrement est composé à la fois par les marnes vertes et supra-gypseuses ainsi que par les calcaires de Brie (localement recouverts par des limons des plateaux). L'épaisseur de ce recouvrement est variable sur le territoire, le rendant alors plus ou moins perméable aux infiltrations. Les calcaires de Champigny affleurent (en jaune) ou sont proches de la surface (en vert) en amont de l'Yerres, sur l'Yvron et la Visandre, en amont de l'Ancoeur, dans la vallée de la Seine, à l'aval de l'Aubetin et surtout dans la partie Est du territoire, notamment dans la vallée du Provinois ou en amont de la vallée de l'Aubetin. Sur ces zones, l'infiltration des eaux de surface est donc importante comme le montrait auparavant la carte de l'IDPR (Figure 5 page 18). Par ailleurs, on voit que d'Est en Ouest, l'épaisseur du recouvrement marneux augmente (violet à gris), indiquant ainsi que **l'infiltration verticale vers le Champigny devient de plus en plus réduite, notamment dans le secteur de Bobée. Or l'IDPR (Figure 5 page 18) montre que l'infiltration des eaux de surface est importante dans cette zone. Il doit donc se passer quelque chose dans ce secteur au niveau des calcaires de Brie et des marnes vertes et supragypseuses.**

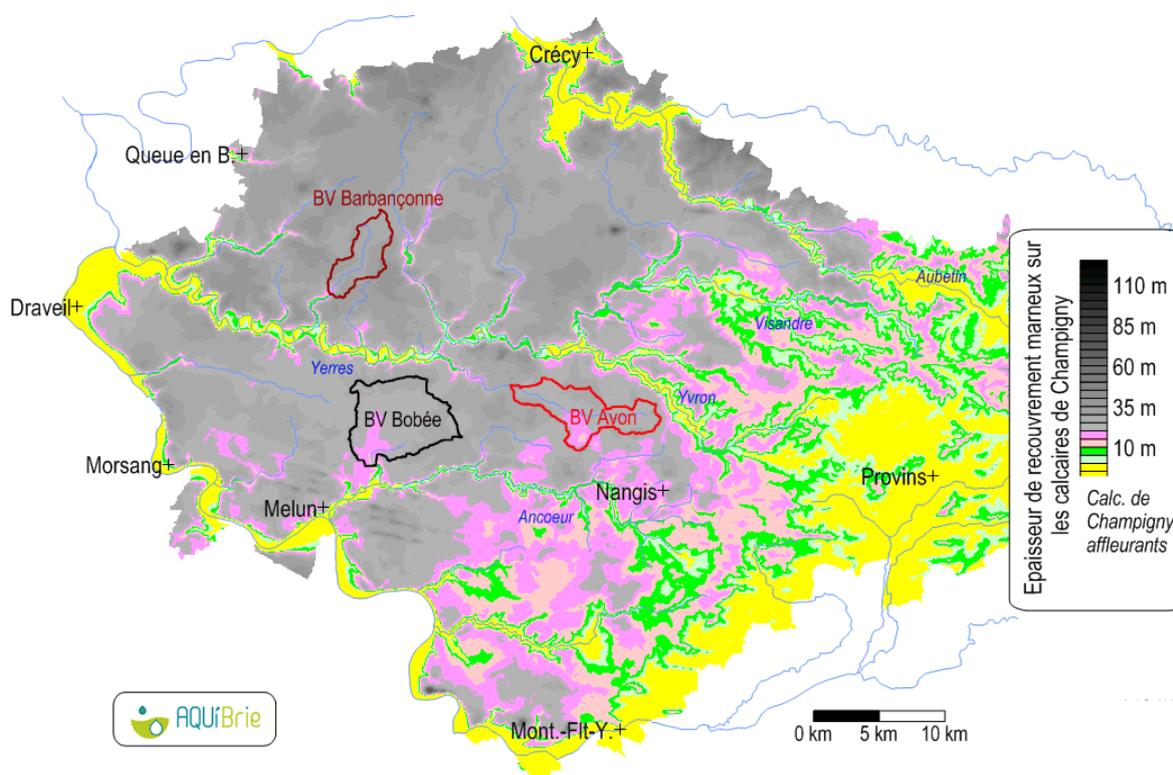


Figure 6 : L'épaisseur de recouvrement marneux sur les calcaires de Champigny

I.4 Les suivis piézométriques disponibles

Sur la Figure 7, nous avons localisé les piézomètres sur lesquels il existe à notre connaissance un suivi du niveau de la nappe de Brie, que nous avons récupéré. Ils appartiennent à divers organismes comme la SNECMA (triangle rouge), le SAN Sénart (triangle marron) et le Conseil général 94 (triangle violet). **Le constat qui ressort en voyant cette carte, est que nous disposons de peu de points de suivi de la piézométrie la nappe de Brie et ceux-ci sont essentiellement concentrés dans la Fosse de Melun. Un des objectifs de l'année 2014 est de récupérer auprès des industriels les suivis piézométriques mis en place dans le cadre de certaines ICPE (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement).**

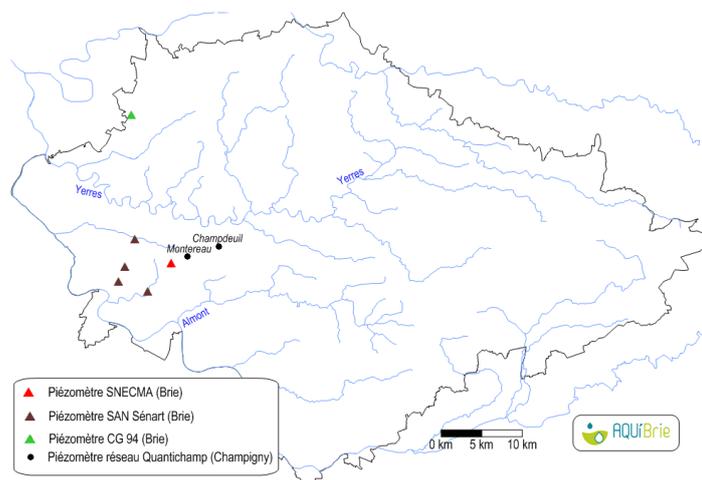


Figure 7 : Localisation des piézomètres au Brie dont nous avons pu récupérer le suivi

La Figure 8 permet de comparer l'évolution de la nappe superficielle de Brie, au piézomètre de la SNECMA sous l'aérodrome de Melun-Villaroche au nord de Montereau/Jard ainsi que l'évolution de la nappe profonde de Champigny dans le secteur au niveau des piézomètres de Montereau/Jard et de Champdeuil entre septembre 2004 et mars 2009 (localisés par des points noirs sur la Figure 7). On a comparé les fluctuations piézométriques dans la nappe des calcaires de Brie et de Champigny, en gardant des échelles verticales similaires (7 mètres dans les 2 cas). Le battement de la nappe des calcaires de Brie atteint au maximum 50 cm au cours de l'hiver 2007-2008, alors que les battements de la nappe des calcaires de Champigny située 30 m plus bas, aux piézomètres de Montereau/Jard et de Champdeuil, atteignent respectivement 1,9 et 2,3 m. A cette échelle, les fluctuations de la nappe du Brie paraissent minimales, mais ce phénomène pourrait être en partie lié au mode d'occupation du sol de ce secteur (nombreux bâtiments, imperméabilisation des sols). Il faudrait confirmer ces suivis par des mesures sur des piézomètres au Brie dans des sites moins urbanisés.

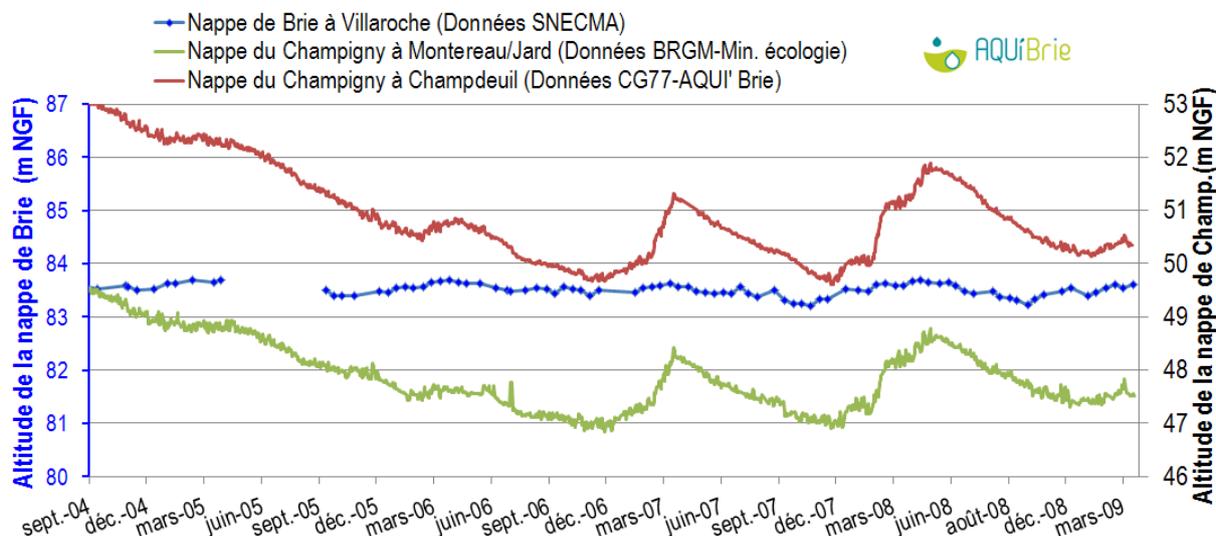


Figure 8 : Les fluctuations de la nappe des calcaires de Brie et de Champigny dans le secteur de Montereau/Jard. L'amplitude d'échelle est de 7 mètres dans les 2 cas, mais décalée de 53 mètres (Reynaud, 2012)

En dilatant l'échelle verticale de la nappe de Brie (Figure 9), on voit que la nappe des calcaires de Brie commence à réagir un mois et demi à 2 mois avant la nappe des calcaires de Champigny, et que les réactions ne sont pas équivalentes selon les années. Par exemple la recharge de la nappe de Brie en 2005-2006 est plus importante qu'en 2006-2007, alors que pour la nappe du Champigny, c'est l'inverse.

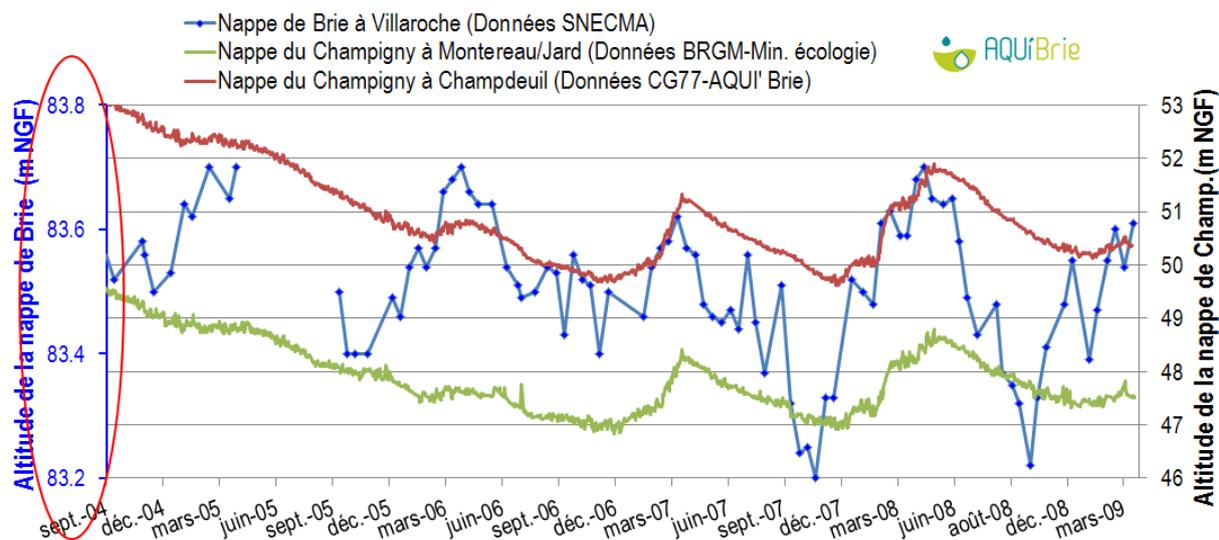


Figure 9 : Les fluctuations de la nappe des calcaires de Brie et de Champigny dans le secteur de Montereau/Jard. Ici, l'échelle pour le Brie (60 cm) est dilatée par rapport à celle du Champigny (7 m) (Reynaud, 2012)

Entre 2005 et 2008, la recharge de la nappe de Brie dans le secteur de Montereau/Jard est en moyenne de 37 cm. En faisant l'hypothèse que ces 37 cm rejoignent intégralement la nappe de Champigny par drainance à travers les marnes vertes et supragypseuses (faisant fi du drainage de la nappe de Brie par des sources en bordures de vallées), on peut estimer grossièrement la drainance du Brie vers le Champigny. Ainsi, si on considère une porosité de 8% (valeur forte pour ce type d'aquifère), la drainance du Brie vers le Champigny serait d'environ 0.9 l/s/km² dans ce secteur. Compte tenu des hypothèses retenues (porosité élevée, absence de drainage du Brie vers des sources), c'est une estimation haute de la drainance.

On peut aussi comparer cette valeur à la drainance moyenne définie dans l'étude BRGM-BURGEAP de 1973-1975 (0.75 l/s/km²). Cette moyenne avait été déterminée à partir d'un suivi du débit du ru des Hauldres (par jaugeages réguliers) entre 1968 et 1973, dont le bassin versant en amont était alors peu urbanisé, et également à partir de jaugeages volants effectués sur certains affluents de l'Yerres (comme le Réveillon). A l'époque, les estimations de drainance sur ces bassins versants situés sur les marnes vertes et supragypseuses, variaient entre 0.5 et 1.5 l/s/km².

1.5 Conclusion

Il existe très peu d'information sur la nappe superficielle des calcaires de Brie. Ce manque de connaissance a d'ailleurs compliqué le calage des différents modèles mathématiques de la nappe de Champigny, Watermodel (AQUI' Brie, 2009) puis celui de l'Ecole des Mines Paris Tech (Bellier, 2013). La principale interrogation des modèles concerne la drainance entre la nappe superficielle de Brie et la nappe profonde de Champigny. Ce paramètre conditionne la part d'eau de surface qui va s'infiltrer directement au niveau des zones de pertes des rivières de celle qui va s'infiltrer par drainance verticale depuis la nappe de Brie.

Dans ce contexte, et afin de préciser cette drainance entre le Brie et le Champigny, AQUI' Brie à installer dès 2010 des stations de suivi des débits sur différents cours d'eau et sources à différents endroits sur le territoire (Figure 10). L'emplacement de ces stations découle de la simulation mathématique de Watermodel (Reynaud, 2009), des études AAC de la Fosse de Melun et de la basse vallée de l'Yerres (Reynaud, 2009), ainsi que de la structure géologique des calcaires de Brie.

- **Une station a été installée sur un affluent en rive droite de l'Yerres, le ru de la Barbançonne à Grisy-Suisnes** (dont le bassin versant est en marron sur la Figure 10). Dans ce secteur où l'eau de la nappe de Brie s'écoule en direction de l'Yerres, la structure du toit des marnes vertes et supragypseuses, sur lesquelles reposent les calcaires de Brie, montre que la Barbançonne constitue un axe de drainage privilégiée pour la nappe (cf. Figure 2 page 16). On s'attend aux plus faibles drainances dans ce secteur compte-tenu de l'épaisseur importante du recouvrement marneux (30 m en moyenne).

- **2 stations ont été positionnées à Aubepierre, sur un affluent de l'Yerres, l'Avon (bassin versant en rouge sur la Figure 10) et sur la source Pecqueux, qui est alimentée par la nappe de Brie (dont l'aire d'alimentation est en violet sur la Figure 10)**. Dans ce secteur, l'Avon représente un axe d'écoulement privilégié pour la nappe de Brie en direction de l'Yerres (Figure 57 page 57). On observe également un comportement différent entre la chimie et la piézométrie du Champigny dans cette zone (Reynaud, 2012). Ces suivis devraient ainsi permettre de préciser localement la part de drainance entre le Brie et le Champigny.

- **2 stations ont été mises en place dans le domaine de Vaux-le-Vicomte à Moisenay, un sur un affluent de l'Almont³, le ru Bobée (bassin versant en noir) et un autre sur la source Jouvence qui est alimentée par la nappe de Brie (dont le bassin d'alimentation est en orange)**. Dans ce secteur, l>IDPR montre que l'infiltration des eaux de surface est importante (cf. Figure 5 page 18) et le calage de Watermodel indique une drainance significative du Brie vers le Champigny. Le suivi des débits du ru Bobée et de la source Jouvence devrait donc permettre d'apporter plus de précision sur la drainance dans cette zone.

Un zoom ainsi qu'une description plus précise de l'ensemble des stations sont en Annexe II page 51 à 62. On a aussi exploité pour cette étude, les suivis effectués par la DRIEE sur des bassins versants de plus grandes tailles, l'Yerres à Courtomer (en tiretés verts sur la Figure) et l'Ancoeur à Blandy-les-Tours (en tiretés bleus foncé). L'Yerres et l'Ancoeur drainent eux aussi la nappe des calcaires de Brie mais une partie de cette eau drainée s'infiltrer directement vers le Champigny en amont des stations, via les pertes en rivière dans les secteurs où les marnes vertes et supragypseuses sont érodées ou absentes (voir Figure 6 page 19).

³ L'Almont est également appelé ru d'Ancoeur dans sa partie amont.

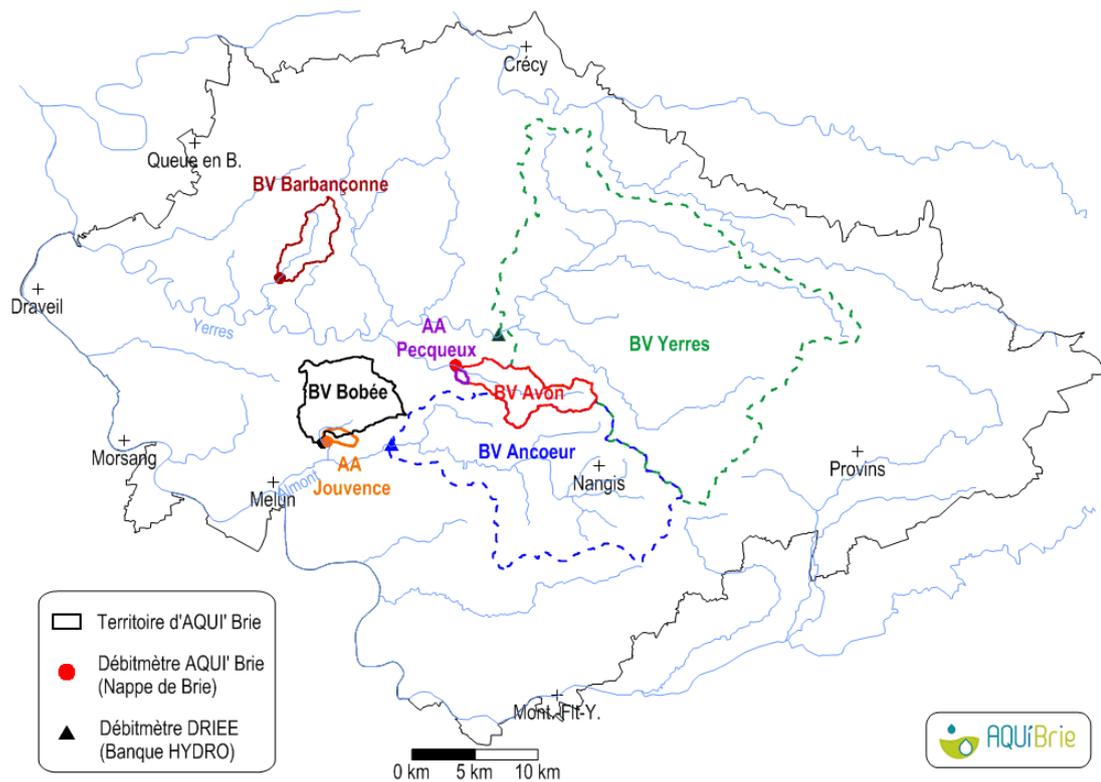


Figure 10 : Localisation des différents débitmètres et de leur bassin versant (pour les cours d'eau) ou aire d'alimentation (pour les sources) respectifs. (cf. Annexe II.1.1 page 51 pour le mode de définition des BV et AAC)

II Le suivi mis en place

II.1 L'occupation des sols

Pour la majorité des stations, les terres agricoles occupent l'essentiel de la surface des bassins versants comme le montre la Figure 11. La proportion de terres agricoles va de 84 % sur le bassin de la source Jouvence à 93 % sur le bassin versant du ru Bobée (cf. Tableau 1). Sur le bassin versant de la Barbançonne (bassin versant en marron sur la Figure), ce sont les forêts qui dominent, surtout au Nord (avec la forêt de Chevry-Cossigny et de Léchelle). Plusieurs stations d'épuration (étoiles noires sur la Figure 11) se rejettent dans les rus Bobée (3 STEP) et d'Avon (2 STEP). Le ru de la Barbançonne est suivi en amont de la STEP de Grisy-Suisnes. Les 2 sources ne reçoivent pas de rejets d'épuration. La liste des stations d'épuration et le rejet moyen d'épuration par bassin versant figurent dans le descriptif des stations en Annexe II page 51 à 62. Sur les bassins versants de l'Ancoeur et de l'Yerres, les terres agricoles sont également majoritaires, avec respectivement, 59 % et 79 % de la surface totale. Par ailleurs, ces bassins versants étant beaucoup plus grands, les rejets de stations d'épurations sont plus nombreux. Ainsi, il y a 15 STEP sur le BV de l'Ancoeur et 19 sur le BV de l'Yerres.

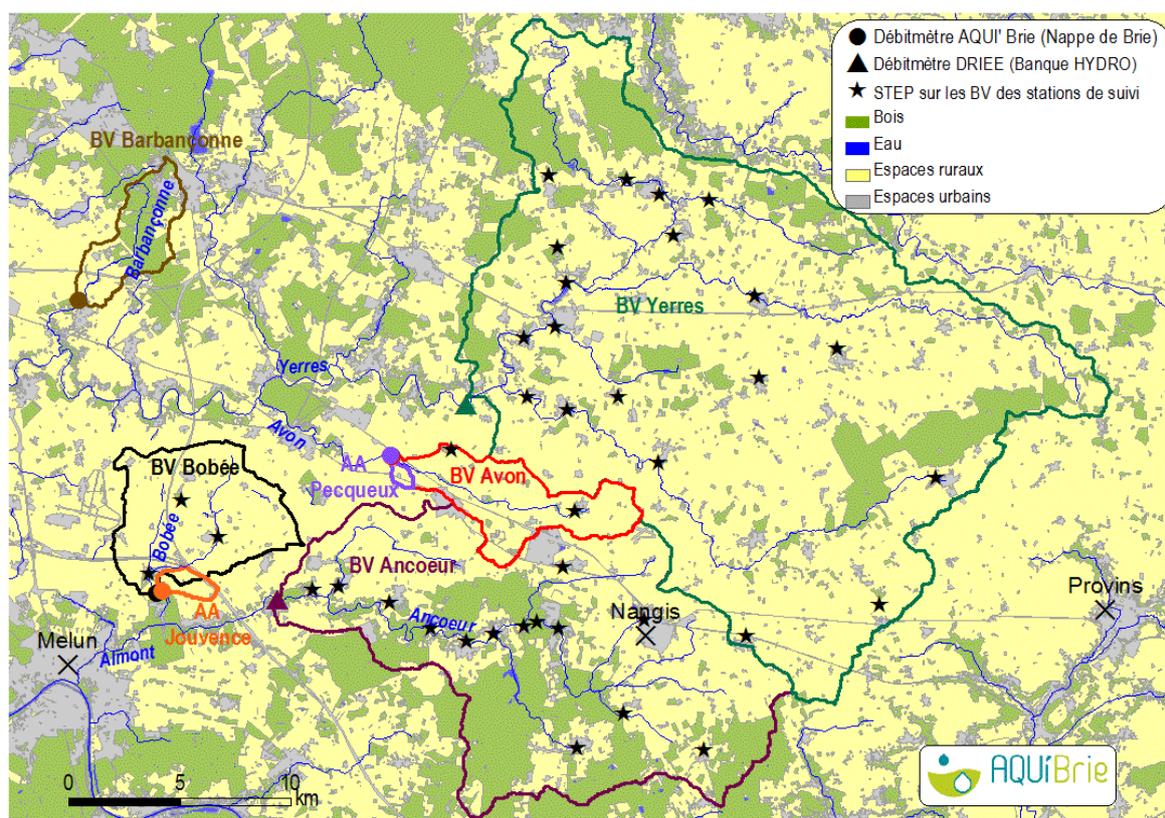


Figure 11 : L'occupation du sol sur les différents bassins versants des stations d'AQUI' Brie et de la DRIEE (MOS 4 postes de l'IAURIF)

	BV Bobée (39.5 km ²)	AA Jouvence (2.39 km ²)	BV Avon (27 km ²)	AA Pecqueux (0.823 km ²)	BV Barbançonne (15.62 km ²)	BV Yerres (429 km ²)	BV Ancoeur (188 km ²)
	%	%	%	%	%	%	%
Espaces agricoles	92.7	84.7	91.5	88.1	41.0	78.7	58.6
Bois	1.3	4.6	2.3	0.0	48.0	16.8	33.2
Espaces Urbains	5.8	10.7	6.0	10.7	10.7	4.3	7.8
Eau	0.2	0.0	0.2	1.2	0.3	0.2	0.5

Tableau 1 : L'occupation des sols sur les différents bassins versants et aire d'alimentation

II.2 La géologie

La Figure 12 illustre les tracés des 3 coupes géologiques Est-Ouest et des 3 coupes Nord-Sud des Figure 13 et Figure 14.

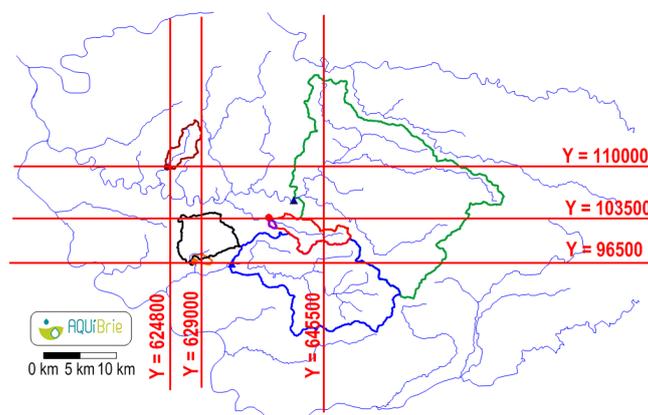


Figure 12 : Localisation de coupes géologiques réalisées au niveau des bassins versants et aires d'alimentation de la zone d'étude

L'aquifère des calcaires de Brie (en rouge sur les Figure 13 et Figure 14) est la formation géologique la plus superficielle (localement recouverte par des limons des plateaux), et dont l'épaisseur moyenne varie entre 5 à 10 m sur les bassins versants des stations. Ces calcaires reposent sur **les Marnes Vertes et Supra-Gypseuses** (en vert), plus ou moins imperméables, dont l'épaisseur est comprise entre 10 à 20 m sur les bassins de l'étude. On note que plus on remonte vers l'Est (Figure 13), plus ces 2 formations s'amincissent et sont presque entièrement érodées au droit de certains cours d'eau comme l'Yerres, l'Yvron ou l'Ancoeur, permettant à la couche géologique sous-jacente, l'aquifère des calcaires de Champigny, d'affleurer. **L'ensemble des couches géologiques sont inclinées vers l'Ouest en direction de la Seine.**

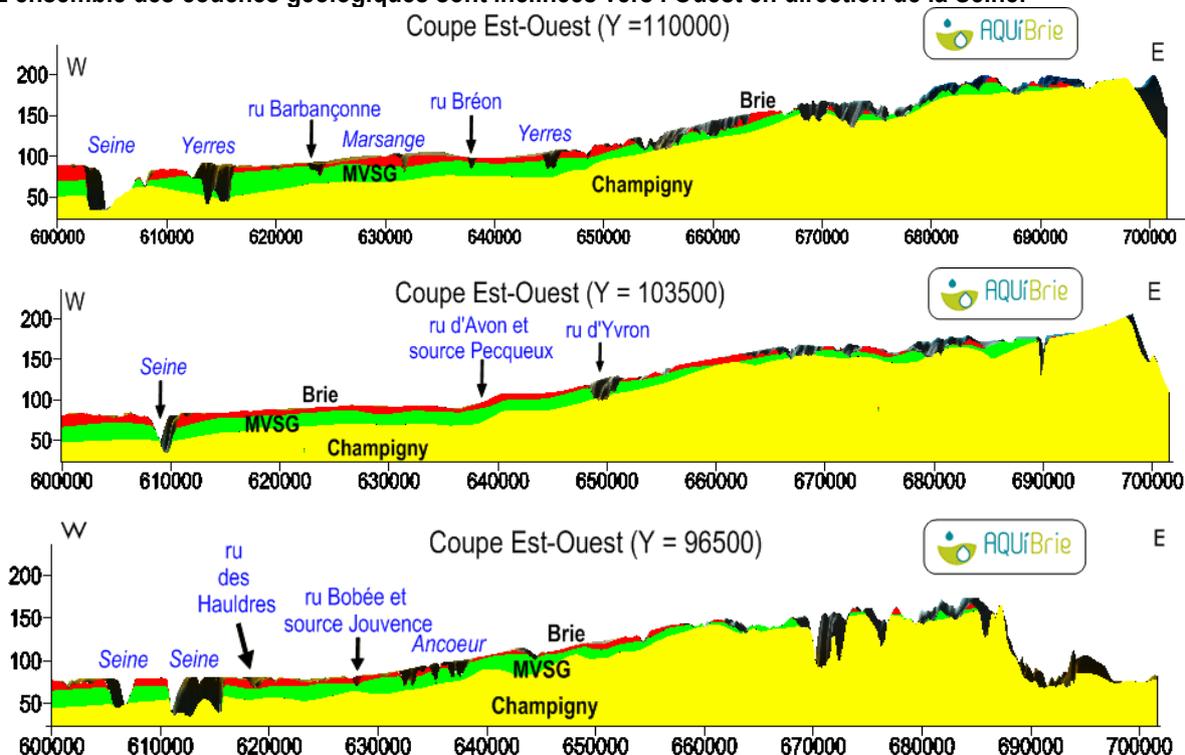


Figure 13 : Coupes Est-Ouest passant par la Barbançonne (en haut), par le ru d'Avon et la source Pecqueux (au centre) et par le ru Bobée et la source Jouvence (en bas). Les échelles verticales en mètres sont exagérées

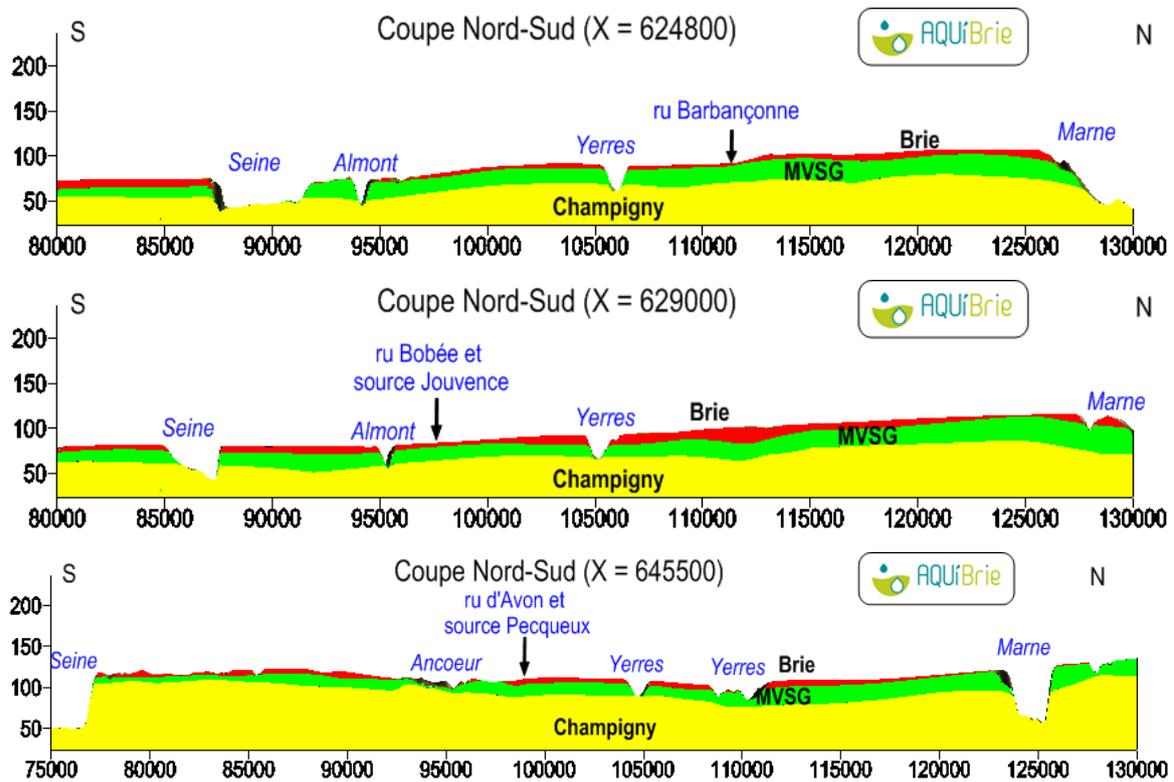


Figure 14 : Coupes Nord-Sud passant la Barbançonne (en haut), par le ru Bobée et la source Jouvence (au centre) par le ru d'Avon et la source Pecqueux (en bas). Les échelles verticales en mètres sont exagérées

Du Nord au Sud, au niveau de la Barbançonne (Figure 14 en haut), du ru Bobée et de la source Jouvence (Figure 14 au centre), les couches sont légèrement inclinées vers le Sud, respectivement vers l'Yerres et l'Almont. Sur la coupe Nord-Sud passant par le ru d'Avon et la source Pecqueux (Figure 14 en bas), on voit que les couches prennent la forme d'une gouttière en direction de l'Yerres.

II.3 La pluviométrie

Dans quel contexte climatique se déroule ce suivi des débits du Brie ?

La Figure 15 représente l'évolution des cumuls de pluie et de recharge estimée⁴ à la station Météo-France de Melun depuis 34 ans. Entre 2010 et 2013, la pluviométrie annuelle moyenne est de 619 mm et la recharge estimée de 107 mm, inférieures aux normales annuelles 1979-2013 (Pluie moyenne de 675 mm et recharge estimée de 168 mm). Seule l'année 2012-2013 a été dans la normale (692 mm) avec une recharge proche de la moyenne (158 mm). **Le suivi des débits depuis août 2010 et mai 2013 a donc eu lieu dans des contextes de pluviométrie et de recharge de nappe déficitaires surtout lors des deux premières années du suivi, la dernière année étant la plus proche des normales.**

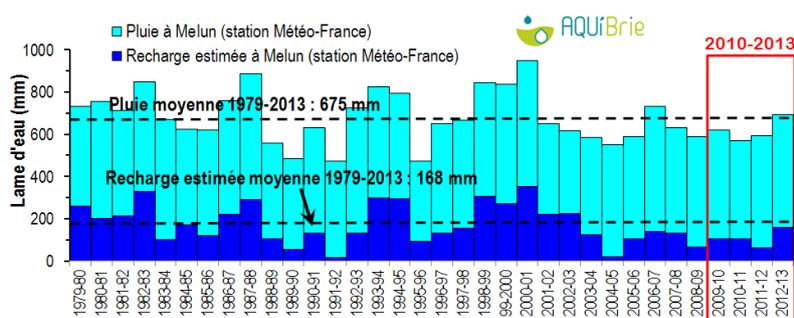


Figure 15 : Pluie et recharge estimée à la station Météo-France de Melun-Villaroche de 1979 à 2013 (cycles hydrologiques d'octobre à septembre)

Comment se répartit la pluviométrie sur le territoire au cours des 3 années de suivi ?

Les cumuls de précipitations sur les 3 années de suivis⁵ : d'août 2010 à juillet 2011 (Figure 16), d'août 2011 à juillet 2012 (Figure 17) et d'août 2012 à juillet 2013 (Figure 18), sont très variables du Sud-Ouest vers le Nord-Est. Les stations pluviométriques les plus humides sont celles de Cerneux et Sourdun à l'Est et dans une moindre mesure celle de Favières au Nord. A l'opposé, les stations les plus sèches sont celle de Chevry-Cossigny au Nord-Ouest, de Melun et de Chatelet-en-Brie au Sud-Ouest. **Ces écarts de précipitation d'Ouest en Est sont importants comme entre Melun et Cerneux, où il y a en moyenne 176 mm de différence sur les 3 premières années de suivi.**

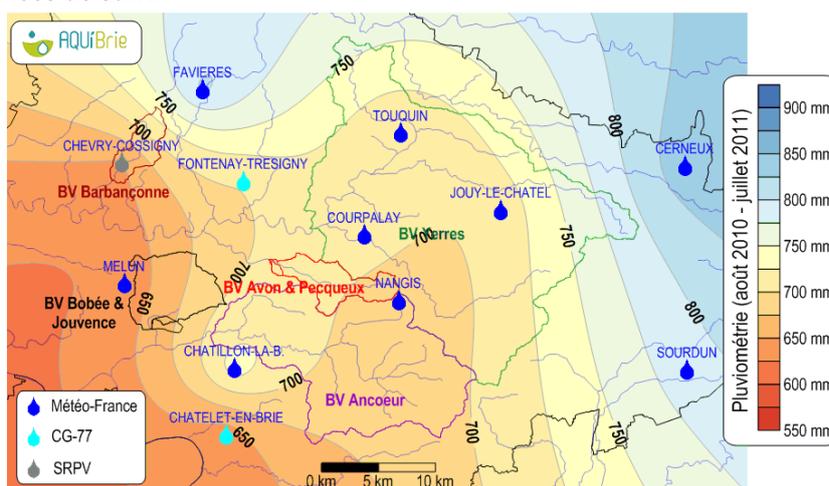


Figure 16 : Cumuls de pluies entre août 2010 et juillet 2011

⁴ La recharge estimée est la part de la pluie susceptible de recharger l'aquifère, une fois que le sol et les plantes ont reconstitué leur stock. Pour plus de détails sur le mode de calcul de la pluie efficace, de la réserve en eau des sols et de la recharge estimée, cf. annexes du Tableau de bord de la nappe des calcaires de Champigny, sur www.aquibrie.fr, rubrique Téléchargements.

⁵ Déterminés à partir des cumuls de précipitations mesurés sur l'ensemble des stations disponibles dans le secteur (Météo-France, CG 77 et SRPV)

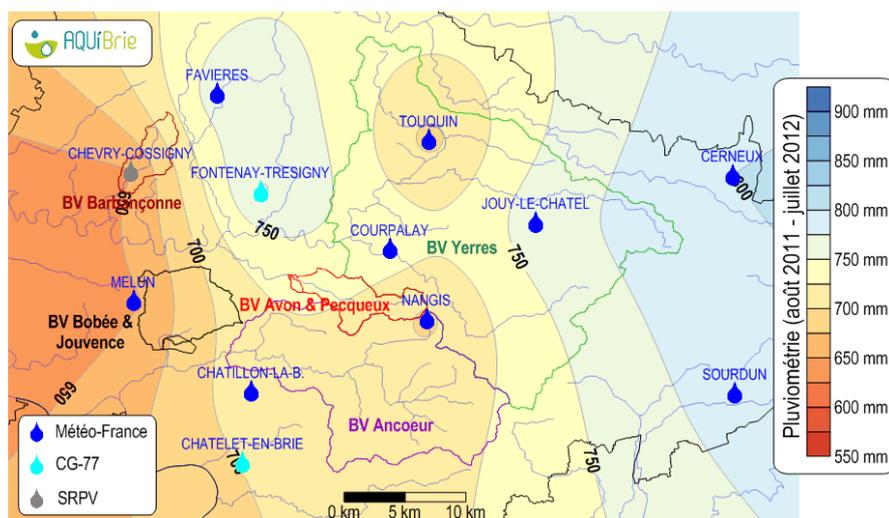


Figure 17 : Cumuls de pluies entre août 2011 et juillet 2012

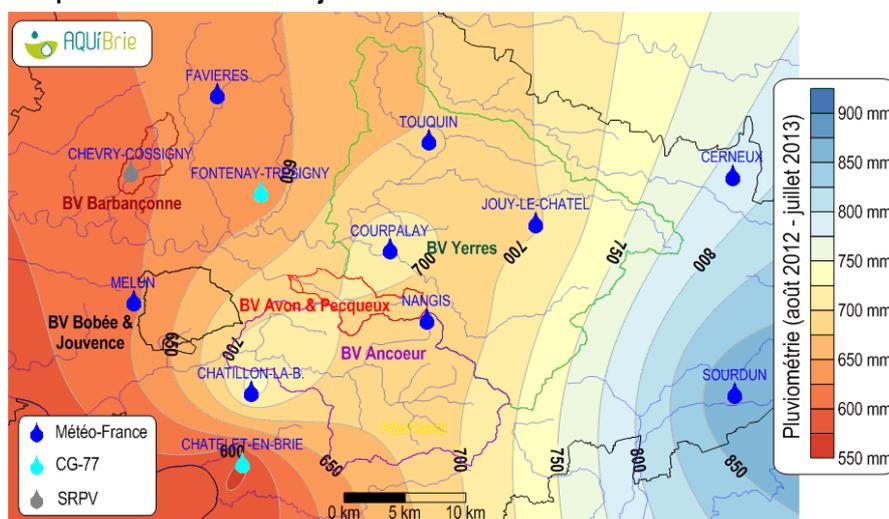


Figure 18 : Cumuls de pluies entre août 2012 et juillet 2013

Compte tenu de ces écarts de pluviométrie entre les différentes stations, il y a une incertitude sur la pluie qui est réellement tombée sur chaque bassin versant et aire d'alimentation des stations du suivi des débits du Brie.

II.4 Les débits spécifiques mesurés

Comment évolue les débits sur les stations entre août 2010 et mai 2013 ?

Comme chaque station draine des bassins versants de superficie différente, il est nécessaire, pour pouvoir les comparer entre elles, de calculer leur débit spécifique qui correspond au débit mesuré (en l/s) rapporté à la superficie du bassin versant considéré et exprimé en l/s/km² (Figure 19). L'évolution des débits (en l/s) sur chaque station est en Annexe II page 51 à 62. Entre août 2010 et mai 2013, on remarque que les débits spécifiques des 2 sources sont relativement constants avec 4 à 6.6 l/s/km² en moyenne entre basses et hautes-eaux⁶ sur la source Jouvence (en rose) et de 4.4 à 6.6 l/s/km² sur la source Pecqueux (en orange), bien supérieurs à ceux mesurés sur les rus lors des étiages. On peut penser que cet écart de débits spécifiques entre les sources et les rus est peut-être lié à une sous-estimation de la taille réelle des AAC des sources. Si on appliquait sur les 2 sources la moyenne des débits spécifiques estimés sur l'Avon, la Barbançonne, et le ru Bobée (2.9 l/s/km² entre août 2010 et mai 2013), alors les aires d'alimentation des sources seraient de 3.9 km² pour la Jouvence et de 1.4 km² pour la source Pecqueux. Au vu de la structure géologique et de la topographie dans le secteur des 2 sources, il n'est pas possible d'agrandir à ce point les AAC. Le détail sur la délimitation des AAC est en Annexe II.1.3.3 page 54 pour la source Jouvence et en Annexe II.1.4.3 page 58 pour la source Pecqueux.

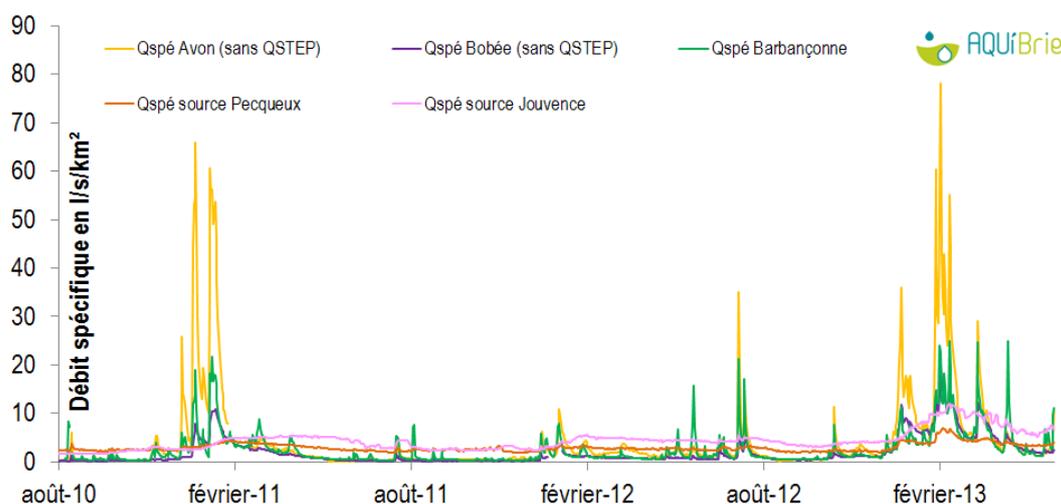


Figure 19 : Comparaison des débits spécifiques aux différentes stations entre août 2010 et mai 2013, échelle linéaire

Pour les rus, l'échelle logarithmique⁷ permet une meilleure comparaison des débits spécifiques entre hautes et basses-eaux entre août 2010 et mai 2013 (Figure 20 et Figure 21) :

- En période de crue, le ru d'Avon (en jaune sur la Figure 20) présente le débit spécifique le plus élevé (avec 11.8 l/s/km² en moyenne en hautes-eaux, cf. Tableau 2) suivi par l'Yerres (en noir sur la Figure 21 et avec 7.5 l/s/km² en moyenne) tandis que le ru Bobée (en violet sur la Figure 20 et avec 4.9 l/s/km² en moyenne) et l'Ancoeur (en bleu sur la Figure 21 et avec 4.4 l/s/km² en moyenne) présentent les valeurs les plus faibles.

- A l'étiage, période où les drains agricoles ne fonctionnent pas, les débits spécifiques sont les plus faibles sur l'Ancoeur (0.1 l/s/km² en moyenne en basses-eaux) et l'Yerres (0.5 l/s/km² en moyenne) qui sont alors essentiellement alimentés par les rejets de STEP et par les sources de la nappe des calcaires de Brie. Or pour cette comparaison nous avons déduit du débit brut mesuré, un rejet d'épuration moyen pour les cours d'eau alimentés par des STEP (Annexe II page 51 à 62) rendant alors le débit du ru plus faible voire nul à certaines périodes. Ainsi à chaque étiage sur la Figure 21, on observe des « trous » dans les chroniques de débit de l'Yerres (entre août et novembre 2011) et surtout de l'Ancoeur (entre août 2010 et octobre 2010, entre avril 2011

⁶ Les périodes de basses et hautes eaux sont estimées en fonction du débit brut mesuré sur la station hydrométrique de l'Ancoeur à Blandy-les-Tours, en fixant le plafond des basses-eaux à 150 l/s.

⁷ Les débits spécifiques variant 0 à 80 l/s/km², l'échelle logarithmique est mieux adaptée que l'échelle linéaire et permet ainsi de comparer sur un même graphique les faibles et les forts débits spécifiques en espaçant les valeurs faibles et en rapprochant les valeurs fortes.

et décembre 2011, ainsi qu'entre juillet 2012 et novembre 2012) car les débits nuls ne sont pas représentés sur une échelle logarithmique. Ces débits faibles ou nuls montrent que l'infiltration est plus importante sur ces 2 bassins versants en étiage. Sur les autres rus drainant des bassins versants plus restreints et alimentés essentiellement par la nappe des calcaires de Brie, les débits spécifiques ne sont jamais nuls, signe que l'infiltration y est plus limitée. Comme pour les hautes-eaux, c'est le ru Bobée qui a les débits spécifiques les plus faibles (0.6 l/s/km² en moyenne en basses-eaux). **Ces faibles débits spécifiques sur le ru Bobée sont peut-être liés à la faible pluviométrie dans le secteur (la station de Melun étant une des plus sèches du territoire voir II.3 page 30) mais aussi à une infiltration plus importante sur ce bassin versant.** Par ailleurs, on note une chute des débits spécifiques sur l'Avon au cours du mois de mai 2011 (entouré en rouge). Sur cette période, l'épaisseur d'eau dans le ru était très faible (entre 2.5 et 4.5 cm) et probablement insuffisante pour que le capteur puisse mesurer correctement des vitesses et des débits. Pour la suite de l'étude, nous ne tiendrons pas compte de ces débits enregistrés pendant cette période.

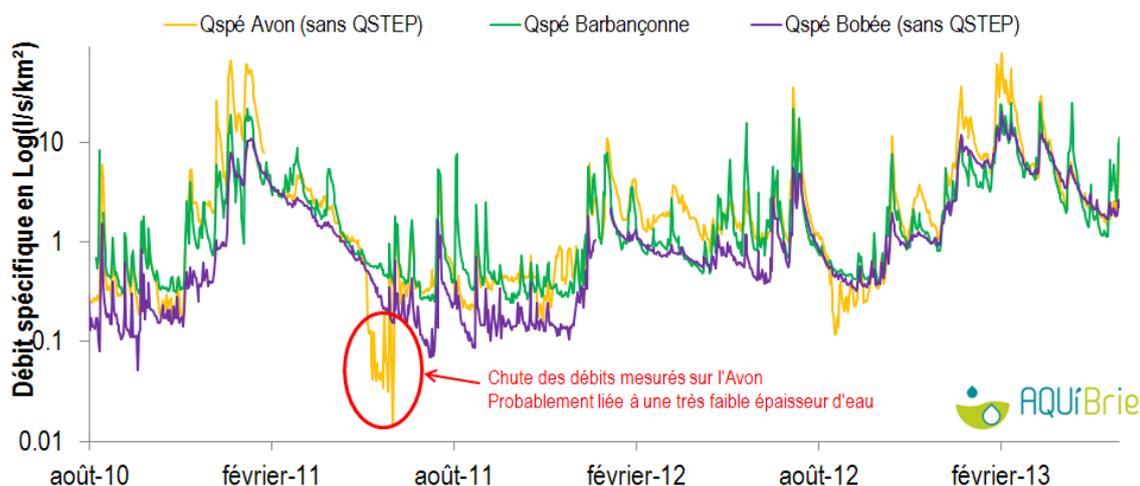


Figure 20 : Comparaison des débits spécifiques sur l'Avon à Aubepierre, la Barbançonne à Grisy-Suisnes et Bobée à Moisenay entre août 2010 et mai 2013, échelle logarithmique

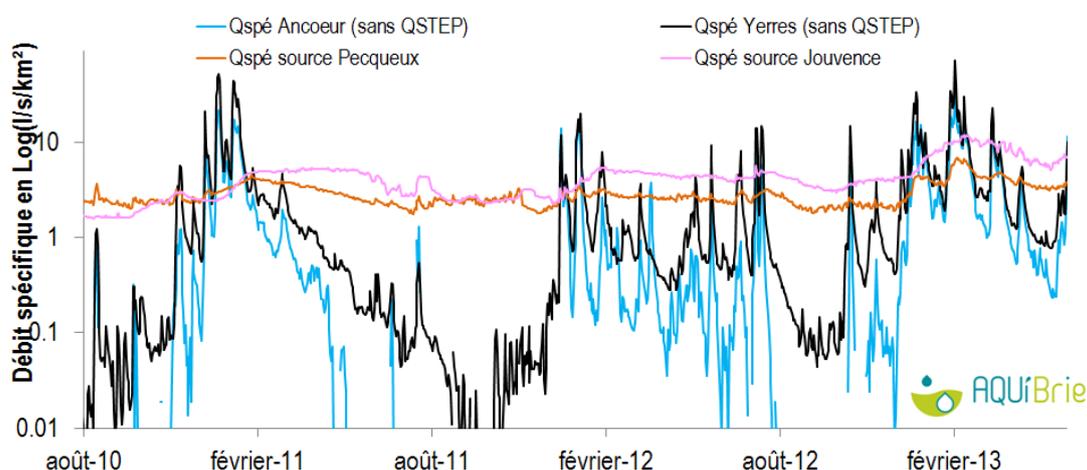


Figure 21 : Comparaison des débits spécifiques sur les sources Pecqueux à Aubepierre, Jouvence à Moisenay et sur les rus d'Ancoeur à Blandy-les-Tours et l'Yerres à Courtomer entre août 2010 et mai 2013, échelle logarithmique

Station	Qspé moyen en BE (l/s/km ²)	Qspé moyen en HE (l/s/km ²)
Source Jouvence	3.99	6.56
Source Pecqueux	4.41	6.63
Avon (-QSTEP)	1.13	11.83
Bobée (-QSTEP)	0.63	4.85
Barbançonne	1.02	6.01
Yerres (-QSTEP)	0.51	7.49
Ancoeur (-QSTEP)	0.11	4.43

Tableau 2 : Les débits spécifiques moyens en basses-eaux et en hautes-eaux sur les différentes stations de suivi

III Estimation de la drainance vers la nappe de Champigny

Nous avons estimé cette drainance du Brie vers la nappe de Champigny à partir d'un modèle hydrologique Pluie-Débit. Celui-ci simule le cycle de l'eau, depuis les précipitations sur un bassin versant ou une aire d'alimentation jusqu'au débit à l'exutoire permettant ainsi d'estimer au cours de l'année :

- ✓ La part d'eau de pluie qui va participer à l'alimentation du débit à la station.
- ✓ La part d'eau de pluie qui va s'infiltrer vers la nappe de Champigny.

Nous avons réalisé des simulations sur les 5 stations d'AQUI' Brie (3 cours d'eau et 2 sources) à partir du logiciel de modélisation hydrologique GARDENIA créé par le BRGM (dont la description détaillée est en Annexe III page 63 à 66). Ce logiciel permet de décomposer la simulation en 3 types d'écoulements :

- Ceux rapides que l'on assimile au ruissellement et au drainage.
- Ceux plus lents, représentant les écoulements souterrains et correspondants à la contribution des sources de la nappe de Brie au débit des stations.
- **Ceux qui s'infiltreront directement vers les horizons géologiques plus profonds, et correspondants à la drainance vers la nappe des calcaires de Champigny au travers les marnes vertes et supragypseuses.**

Parallèlement nous avons également fait des simulations avec un autre modèle hydrologique : GR4j⁸ de l'IRSTEA en Annexe III.4 page 67 à 78 (avec un descriptif détaillé du modèle). **Comme GARDENIA, ce modèle permet de simuler à la fois les débits aux stations et d'estimer l'infiltration en direction de la nappe profonde de Champigny.** En revanche, il ne permet pas de différencier aussi bien les composantes rapides et lentes de l'écoulement. Nous avons utilisé ce modèle uniquement pour comparer les simulations des débits et les estimations d'infiltration obtenues avec celles du modèle GARDENIA.

Par ailleurs, on a aussi réalisé des simulations à partir des 2 modèles sur les stations de la DRIEE de l'Yerres (au niveau de Courtomer) et de l'Ancoeur (à Blandy-les-Tours), drainant des bassins versants beaucoup plus vastes, incluant des pertes en rivière.

⁸ Dont le code de calcul est intégré dans le logiciel GARDENIA permettant ainsi de faire des simulations pour comparer les deux modèles. Un descriptif du modèle est en Annexe IV page 69 à 71.

III.1 Hypothèses préalables

Pour la réalisation des simulations à partir des modèles hydrologiques Pluies-Débits sur les différentes stations, nous avons fait les hypothèses préalables suivantes :

- Sur le bassin versant des cours d'eau, la nappe de Brie est drainée soit par le cours d'eau ou soit par drainage verticale vers la nappe de Champigny. L'écoulement souterrain de la nappe de Brie vers l'extérieur du bassin versant du cours d'eau est négligé.
- Sur les bassins d'alimentation des sources Pecqueux à Aubepierre et Jouvence à Moisenay, il n'y a pas de ruissellement et de drainage constatés. Seule la nappe de Brie participe à l'alimentation des sources au niveau des stations.

III.2 Sources d'incertitude

Les 2 principales sources d'incertitude pour la modélisation Pluie-Débit concernent la pluviométrie et le tarage des stations de suivi :

1) La pluviométrie :

A l'échelle d'un bassin versant, plus la superficie va être grande et plus la pluviométrie va être variable sur ce bassin. Pour la modélisation des écoulements sur un bassin versant, il est donc idéal de disposer de plusieurs pluviomètres situés à la fois en amont et en aval sur le bassin, afin de disposer d'une pluie la plus représentative du bassin versant.

La plupart des pluviomètres disponibles ne sont pas situés sur les bassins versants et aires d'alimentations des stations d'AQUI' Brie comme le résume le Tableau 3⁹. Pour la modélisation, nous avons donc calculé une pluie journalière moyenne à partir des pluviomètres qui étaient soit localisés sur le bassin ou soit relativement proches du bassin versant des stations. Toutefois, on note sur ce tableau, des différences non négligeables entre les pluviomètres pour un même bassin. Par exemple pour le bassin versant du ru Bobée, la station de Melun située à 1.2 km à l'Ouest du bassin, est nettement plus sèche que la station de Châtillon-la-Borde localisée à 6.1 km au Sud-Est du bassin (avec 306 mm de différence sur les 3 années de suivi). **Il y a donc une incertitude sur la pluie réelle qui est tombée sur les bassins versants et aires d'alimentation.**

Bassin versant	Pluviomètre	Distance par rapport au BV	Cumul de pluie en mm (août 2010 - mai 2013)	Moyenne de pluie cumulée en mm (août 2010 - mai 2013)
Barbançonne	Chevy-Cossigny	Sur le BV	1805	1961
	Favières	4 km au Nord-Est	2117	
Bobée	Melun	1.2 km à l'Ouest	1748	1901
	Châtillon-la-Borde	6.1 km au Sud-Est	2054	
Jouvence	Melun	4 km au Nord-Ouest	1748	1901
	Châtillon-la-Borde	5.8 km au Sud-Est	2054	
Avon	Nangis	0.6 km au Sud-Est	1905	1984
	Courpalay	3.5 km au Nord	2045	
	Fontenay-Trésigny	7.4 km au Nord-Ouest	2001	
Pecqueux	Châtillon-la-Borde	9.1 km au Sur-Ouest	2054	2033
	Courpalay	7.7 km au Nord-Est	2045	
	Fontenay-Trésigny	7.4 km au Nord-Ouest	2001	
Yerres	Touquin	Sur le BV	1946	1989
	Jouy-le-Châtel	Sur le BV	2061	
	Courpalay	Sur le BV	2045	
	Nangis	0.8 km au Sud-Est	1905	
Ancoeur	Nangis	Sur le BV	1905	1980
	Châtillon-la-Borde	1.8 km à l'Est	2054	
	Fontains	Sur le BV	376 mm depuis déc. 2012	

Tableau 3 : Les cumuls de pluies entre août 2010 et mai 2013 sur les différentes stations météo du territoire

⁹ AQUI' Brie a installé un pluviomètre à Fontains en décembre 2012. Nous avons donc utilisé les données enregistrées depuis par notre appareil, avec celles des stations de Nangis et de Châtillon-la-Borde, pour calculer une pluie moyenne sur le bassin de l'Ancoeur à Blandy-les-Tours. Cette station est localisée en jaune sur la Figure 18 page 31.

2) Le tarage des stations de suivi :

Comme le montre la comparaison des débits calculés par les stations et ceux que nous avons jaugés entre août 2010 et mai 2013 en Annexe II page 51 à 62, les jaugeages effectués montrent que les débits des stations sont bien calés en période d'étiage. En revanche en période de crue, il n'y a pas eu assez de jaugeages pour contrôler les débits calculés. **Il y a donc une incertitude sur les épisodes de crues, surtout pour les forts débits de pointe.** La durée de ces épisodes de crues est très courte, notamment sur la Barbançonne où le débit peut augmenter de 400 l/s en 6 h comme l'illustre la Figure 22, ce qui nous laisse peu de temps pour intervenir.

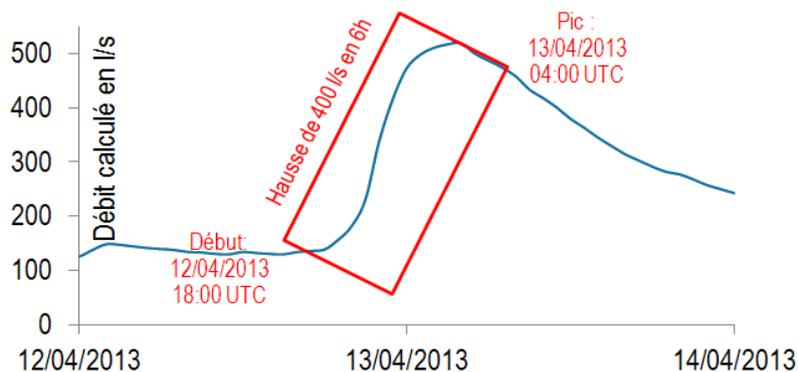


Figure 22 : Exemple d'épisode de crue rapide entre le 12 et 13 avril 2013 sur la Barbançonne à Grisy-Suisnes

A l'avenir, il faut effectuer davantage de jaugeages en période de crue. 2 tournées de jaugeage ont ainsi eu lieu pendant les crues de janvier 2014 ainsi qu'une autre en juin 2014 à la suite d'épisodes orageux.

III.3 Résultats des simulations

III.3.1 Le ru de la Barbançonne à Grisy-Suisnes

La simulation du débit obtenue à la station du ru de la Barbançonne entre août 2010 et mai 2013 en Figure 23, est acceptable avec un coefficient d'ajustement de 0.7 (soit un Nash(Q) de 0.5¹⁰). Entre août 2010 et mai 2013, le débit moyen simulé (48 l/s) est supérieur de 17 % au débit moyen observé (40 l/s). A l'exception de petites crues estivales, le modèle arrive à simuler l'ensemble des pics de crue observés, mais en sous-estimant l'intensité notamment en été et surtout lors des pics de crue de janvier à avril 2013. Les points forts et faibles de cette simulation sont résumés sur le Tableau 9 en Annexe III.4 page 67. **Globalement les modèles hydrologiques GARDENIA et GR4j (voir Annexe IV.5 page 72), n'arrivent pas à simuler les débits de pointe de ces crues qui sont très réactives aux pluies** comme nous l'avons vu précédemment sur la Figure 22 page 37. Une pluie journalière est insuffisante pour reproduire finement ces crues, il faudrait descendre à un pas de temps horaire.

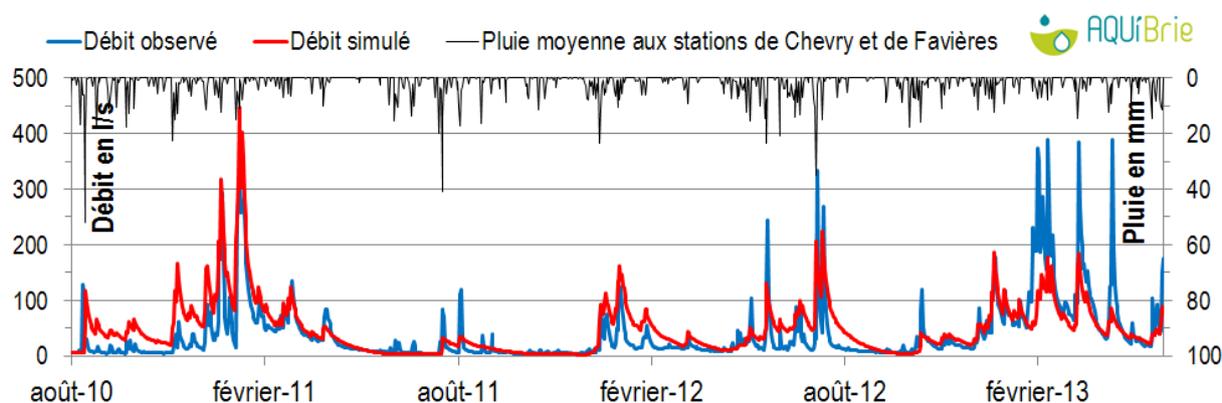


Figure 23 : Comparaison du débit simulé par le modèle GARDENIA et du débit observé sur la Barbançonne à Grisy-Suisnes entre août 2010 et mai 2013

A l'issue du calage, on décompose les écoulements simulés (Figure 24). On remarque que la nappe des calcaires de Brie assure le débit de base du cours d'eau (écoulement lent en bleu foncé) lors des crues et surtout au moment des étiages, tandis que les écoulements plus rapides (comprenant le ruissellement et le drainage en bleu clair), constituent les pics de crues et représentent en moyenne 42 % du débit simulé. Sur ce graphique, on a également fait figurer en vert la drainance entre le Brie et le Champigny. **La drainance varie entre 2010 et mai 2013, en moyenne de 1.1 l/s/km²**, un peu plus élevée que celle obtenue par le modèle GR4j (0.95 l/s/km² voir Annexe IV.5 page 72). Elle atteint en hautes-eaux, 3.7 l/s/km², comme en janvier 2011.

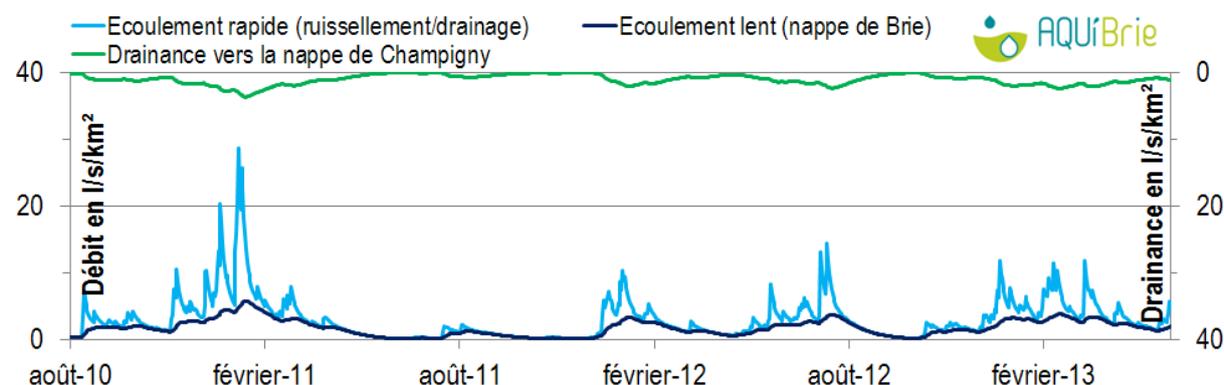


Figure 24 : Décomposition des écoulements simulés par GARDENIA sur la Barbançonne à Grisy-Suisnes entre août 2010 et mai 2013

¹⁰ Ce critère est expliqué en Annexe III.2.3 page 65.

III.3.2 Le ru Bobée à Moisenay

La simulation du débit du ru Bobée en Figure 25 est globalement correcte entre août 2010 et mai 2013 avec un coefficient d'ajustement de 0.82 (soit un Nash(Q) de 0.67). Sur les 2 premières années de suivi, le débit moyen simulé (93 l/s) est le double du débit moyen observé (42 l/s). En revanche sur la dernière année de suivi (août 2012 à mai 2013), le débit simulé est très proche du débit observé (4 l/s de moins en moyenne). Le modèle reproduit assez bien la crue hivernale de 2012-2013, notamment la montée rapide du débit, le débit de base de la crue hivernale ainsi que sa décrue à partir de la mi-mars 2013. Les débits de pointe des pics de crues hivernales de décembre 2012 à février 2013 restent toutefois sous-estimés. Les points forts et faibles de cette simulation sont décrits sur le Tableau 10 en Annexe C.III.4 page 67. **Sur les deux modèles GARDENIA et GR4j (voir Annexe IV.5 page 72), les débits simulés lors des 2 premières années sont largement supérieurs aux débits réels, en revanche la dernière année (août 2012 à mai 2013) est bien simulée.**

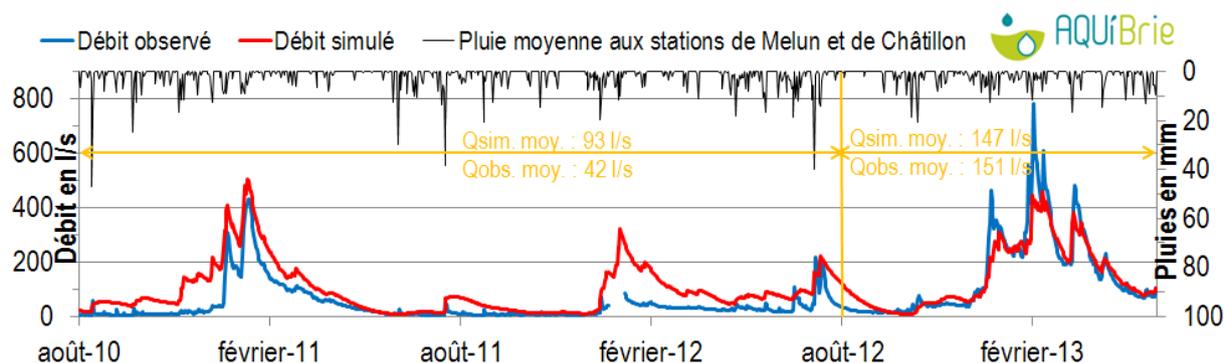


Figure 25 : Comparaison du débit simulé par le modèle GARDENIA et du débit observé sur le ru Bobée à Moisenay entre août 2010 et mai 2013

La Figure 26 représente la décomposition des écoulements simulés sur le ru Bobée. La nappe de Brie (en bleu foncé) alimente majoritairement la rivière sur ce bassin (77 % du débit moyen simulé) en assurant notamment le débit de base du cours d'eau aux moments des étiages et des crues (notamment la montée et descente progressive du débit). Le ruissellement et le drainage qui apparaissent au moment des pics de crues, représentent seulement 23 % du débit moyen simulé sur ce bassin. **La drainance Brie-Champigny (en vert) varie en fonction des cycles de hautes et basses-eaux et représente en moyenne 1.6 l/s/km² entre août 2010 et mai 2013.** L'estimation de la drainance via GR4j est un peu plus élevée (1.7 l/s/km² voir Annexe IV.5 page 72) mais reste dans la même gamme. **Sur la dernière année de suivi (août 2012 à mai 2013) qui n'est pas encore complète mais qui correspond à la période la mieux simulée, la drainance est en moyenne de 2.1 l/s/km² et monte en hautes-eaux jusqu'à 5 l/s/km² (soit 200 l/s sur les 39.5 km² du bassin versant) comme en février 2013.**

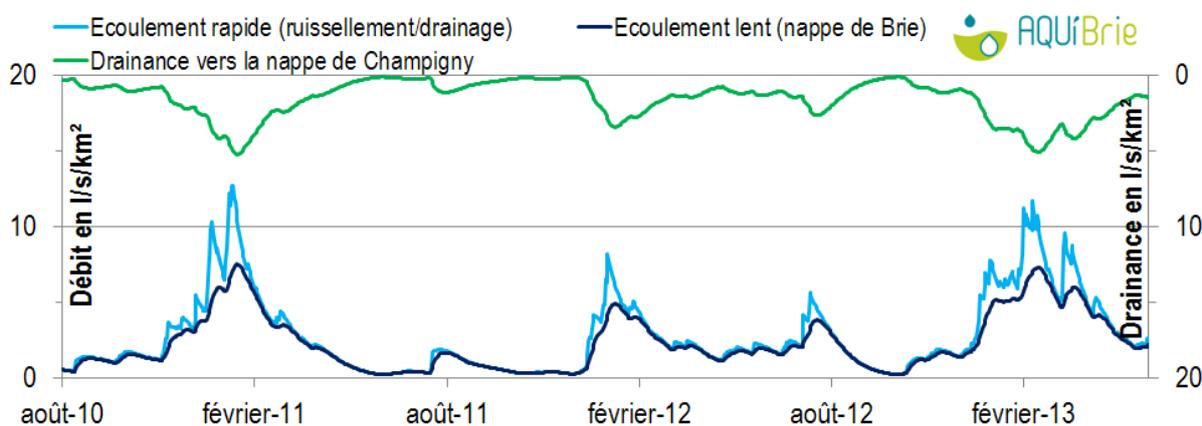


Figure 26 : Décomposition des écoulements simulés par GARDENIA sur le ru Bobée à Moisenay entre août 2010 et mai 2013

III.3.3 La source Jouvence à Moisenay

La simulation du débit obtenue entre août 2010 et mai 2013 en Figure 27, est acceptable avec un coefficient d'ajustement de 0.71 (soit un Nash(Q) de 0.50) et un débit simulé (9.4 l/s en moyenne) inférieur de 17 % en moyenne au débit moyen observé (11.4 l/s). Les points forts et les points faibles de cette simulation sont résumés dans le Tableau 11 en Annexe III.4 page 67. Les modèles GARDENIA et GR4j (voir Annexe IV.5 page 73) reproduisent tous les deux de manière assez synchrone les cycles de hautes et basses eaux de la source mais en les surestimant tout d'abord (crue 2010-2011) puis en les sous-estimant (étiages 2011 et 2012 et crues 2011-2012 et 2012-2013).

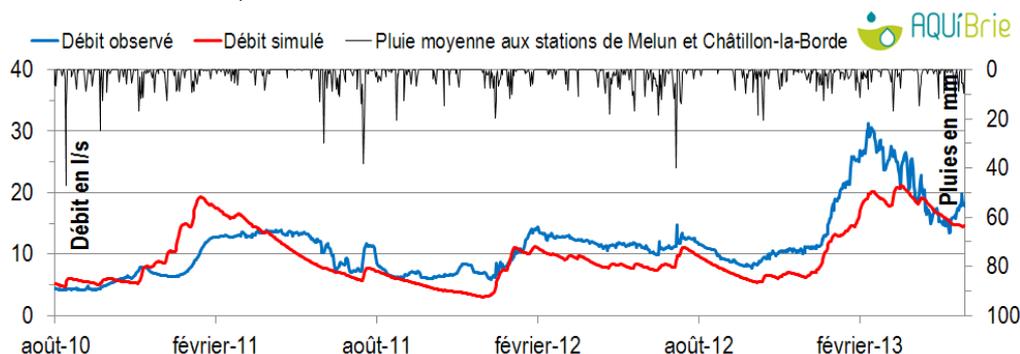


Figure 27 : Comparaison du débit simulé par le modèle GARDENIA et du débit observé sur la source Jouvence à Moisenay entre août 2010 et mai 2013

Comme nous l'avons vu dans les hypothèses de départ en B.III.1 page 36, nous avons considéré qu'il n'y avait pas de ruissellement sur l'aire d'alimentation de la source, seule la nappe de Brie est drainée par la source Jouvence comme le montre la décomposition des écoulements sur la Figure 28. Sur cette figure, nous avons également représenté en vert, la **drainance entre Brie et Champigny. Entre août 2010 et mai 2013, celle-ci est en moyenne de 0.5 l/s/km² et peut atteindre un peu plus du double en hautes-eaux comme en mars 2013.** La simulation réalisée avec le modèle GR4j donne une estimation de drainance moyenne plus faible (0.4 l/s/km² voir Annexe IV.5 page 73).

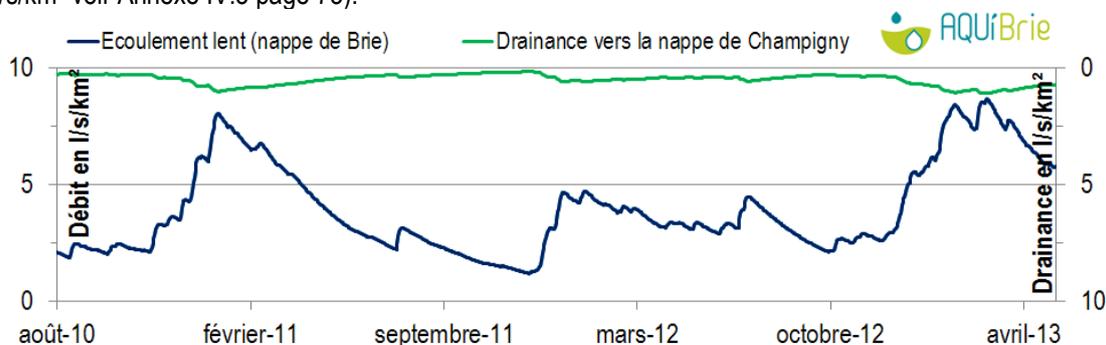


Figure 28 : Décomposition des écoulements simulés par GARDENIA sur la source Jouvence à Moisenay entre août 2010 et mai 2013

III.3.4 Le ru d'Avon à Aubepierre

L'évolution du débit simulé entre août 2010 et mai 2013 en Figure 29, est acceptable avec un coefficient d'ajustement de 0.76 (soit un Nash(Q) de 0.57). Sur la période de suivi, le débit simulé moyen (133 l/s) est supérieur de 14 % au débit moyen observé (114 l/s) surtout lors de la seconde année de suivi lors de la crue hivernale 2011-2012 et des crues printanières et estivales de 2012. Le détail des points forts et faibles de cette simulation est résumé sur le Tableau 12 en Annexe III.4 page 67. On observe également cette même surestimation des débits sur la simulation obtenue avec le modèle GR4j (voir Annexe IV.5 page 74). Dans l'ensemble, les modèles GARDENIA et GR4j simulent relativement bien la montée progressive du débit et le débit de base de la crue hivernale 2012-2013 ainsi que sa décrue à partir de la mi-mars 2013. En revanche, sur les 2 modèles, l'intensité des pics de crues hivernales de 2010-2011 et de janvier-février 2013 reste largement sous-estimée. Cette sous-estimation est peut être liée à un mauvais tarage de la station de mesure en hautes-eaux (voir Annexe II.1.4.5 page 59).

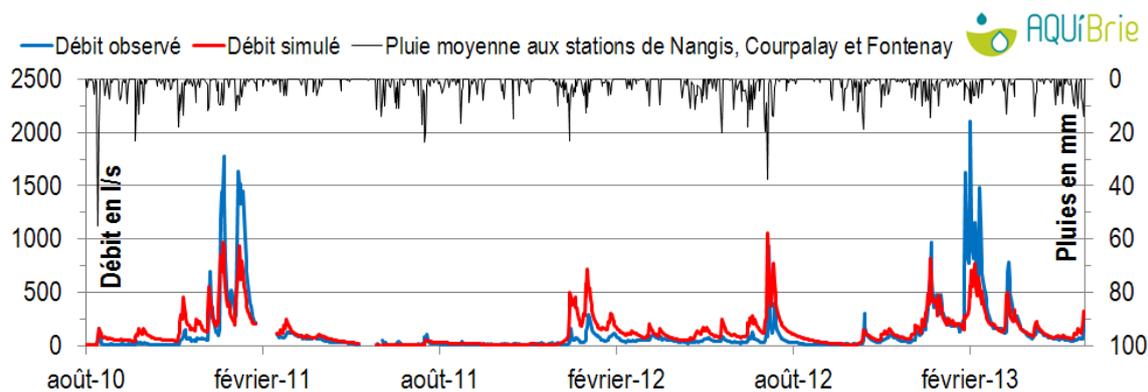


Figure 29 : Comparaison du débit simulé par le modèle GARDENIA et du débit observé sur le ru d'Avon à Aubepierre entre août 2010 et mai 2013

Le débit simulé est composé en moyenne de 50 % d'écoulement provenant de la nappe de Brie (en bleu foncé sur la Figure 30) qui assurent les débits de base lors des étiages et des crues, et de 50 % d'écoulement rapide (comprenant le ruissellement et le drainage, en bleu clair) qui constituent les pics de crue. **Entre août 2010 et mai 2013, la drainance Brie-Champigny (en vert sur la Figure) est en moyenne de 1.1 l/s/km², un peu plus faible que celle estimée en moyenne avec le modèle GR4j (1.25 l/s/km² en moyenne, voir Annexe IV.5 page 74). En période de hautes-eaux, elle peut monter jusqu'à 3.1 l/s/km² comme en janvier 2011.**

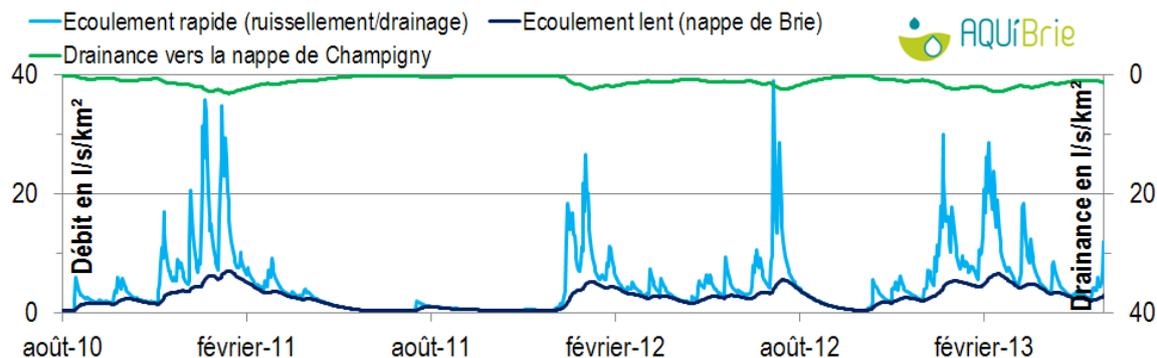


Figure 30 : Décomposition des écoulements simulés par GARDENIA sur le ru d'Avon à Aubepierre entre août 2010 et mai 2013

III.3.5 La source Pecqueux à Aubepierre

La simulation du débit de la source Pecqueux entre août 2010 et mai 2013 en Figure 31, est acceptable avec un coefficient d'ajustement de 0.76 (soit un Nash(Q) de 0.57) et un débit moyen simulé similaire au débit moyen observé (4.1 l/s en moyenne). Le modèle reproduit assez bien le débit de base des crues hivernales 2010-2011 et 2012-2013 mais a cependant du mal à représenter les pics de crues importants comme en janvier et février 2013. Les points forts et faibles de cette simulation sont détaillés sur le Tableau 13 en Annexe III.4 page 68.

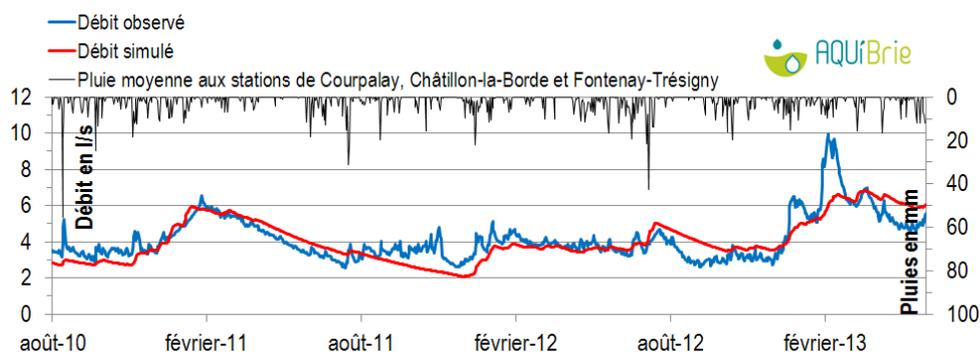


Figure 31 : Comparaison du débit simulé par le modèle GARDENIA et du débit observé sur la source Pecqueux à Aubepierre entre août 2010 et mai 2013

Dans les hypothèses de départ en B.III.1 page 36, nous avons considéré qu'il n'y avait pas de ruissellement sur l'aire d'alimentation de la source, seule la nappe de Brie est drainée par la source Pecqueux comme le montre la décomposition des écoulements sur la Figure 32. **Entre août 2010 et mai 2013, la drainance simulée vers la nappe de Champigny (en vert) est en moyenne de 0.75 l/s/km² et peut atteindre 1.2 l/s/km² en période de hautes eaux comme en mars 2013.** On obtient la même estimation d'infiltration moyenne sur la simulation faite à partir du modèle GR4j (voir Annexe IV.5 page 74).

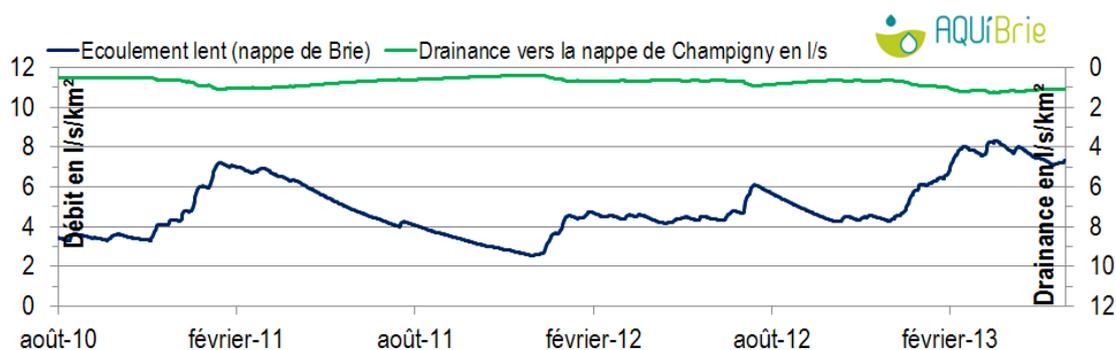


Figure 32 : Décomposition des écoulements simulés par GARDENIA sur la source Pecqueux à Aubepierre entre août 2010 et mai 2013

III.3.6 L'Yerres à Courtomer

Il est intéressant d'estimer l'infiltration sur ce bassin versant car une partie des eaux de surface s'infiltrer directement dans les calcaires de Champigny au niveau des zones de pertes de la rivière. On estime donc pour cette station une infiltration totale qui comprend en plus de la drainance Brie-Champigny, la part d'infiltration directe des eaux de surface vers le Champigny.

III.3.6.1 Entre août 2010 et mai 2013

La simulation obtenue avec le modèle GARDENIA en Figure 33 est globalement correcte avec un coefficient d'ajustement de 0.8 (soit un Nash(Q) de 0.6). Le débit moyen simulé (1345 l/s) est supérieur de 17 % au débit moyen observé (1122 l/s) surtout sur la seconde année de suivi (d'août 2011 à juillet 2012 avec un écart important de 618 l/s en moyenne) où les débits de base des crues hivernales 2011-2012, printanières et estivales 2012 sont surestimés. On observe également cette même surestimation des débits sur la simulation obtenue avec le modèle GR4j (voir Annexe IV.5 page 75). En dehors de la seconde année de suivi, les modèles GARDENIA et GR4j simulent relativement bien les débits de base des étiages et des crues. En revanche, sur les 2 modèles, les débits de pointe des pics de crues hivernales sont largement sous-estimés comme en décembre 2010, janvier 2011 et surtout en février 2013 (avec une hausse de 20 m³/s en un jour).

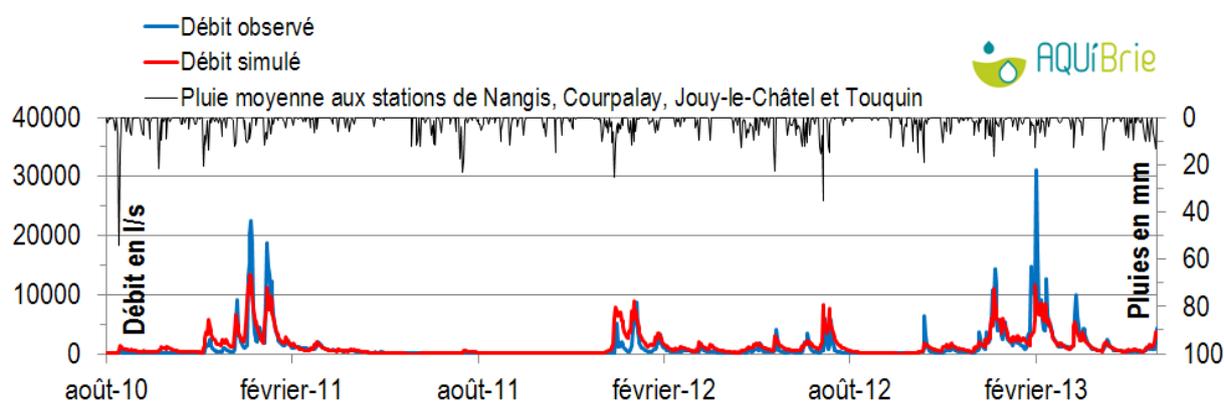


Figure 33 : Comparaison du débit simulé par le modèle GARDENIA et du débit observé sur l'Yerres à Courtomer à entre août 2010 et mai 2013

Sur ce bassin versant, c'est majoritairement le ruissellement et le drainage qui participent au débit de la rivière (avec 68 % du débit moyen simulé). Les écoulements provenant de la nappe de Brie (en bleu foncé sur la Figure 34) représentent en moyenne 32 % du débit simulé et assurent principalement le débit

aux étiages ainsi que le débit de base pendant les épisodes de crue. **Entre août 2010 et mai 2013, les écoulements qui s'infiltrent vers les calcaires de Champigny (drainance + infiltration) sont en moyenne de 3.1 l/s/km² et peuvent atteindre en hautes-eaux 10.9 l/s/km² (soit plus de 4.6 m³/s) comme en décembre 2010.** Cette infiltration moyenne est similaire à celle des pertes moyennes estimées avec le modèle GR4j (voir Annexe IV.5.6.1 page 75).

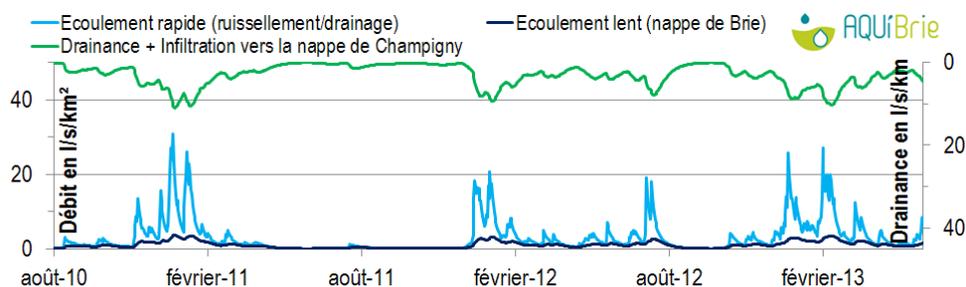


Figure 34 : Décomposition des écoulements simulés par GARDENIA sur l'Yerres à Courtomer entre août 2010 et mai 2013

III.3.6.2 Entre janvier 2000 et mai 2013

Nous avons également réalisé une simulation sur la période janvier 2000 à mai 2013 en utilisant les paramètres calés sur la simulation précédente allant d'août 2010 à mai 2013. La simulation obtenue en Figure 35 est correcte avec un coefficient d'ajustement de 0.81 (soit un Nash(Q) de 0.66) et un débit moyen simulé (1464 l/s) supérieur de 10 % au débit moyen observé (1314 l/s). Le modèle représente globalement bien les cycles de hautes et basses-eaux de la rivière, en sous-estimant toutefois les débits de pointe de certains pics de crues hivernales comme ceux d'octobre 2001 à février 2002 ou encore comme celui de février 2008 (avec une hausse de 30 m³/s en un jour).

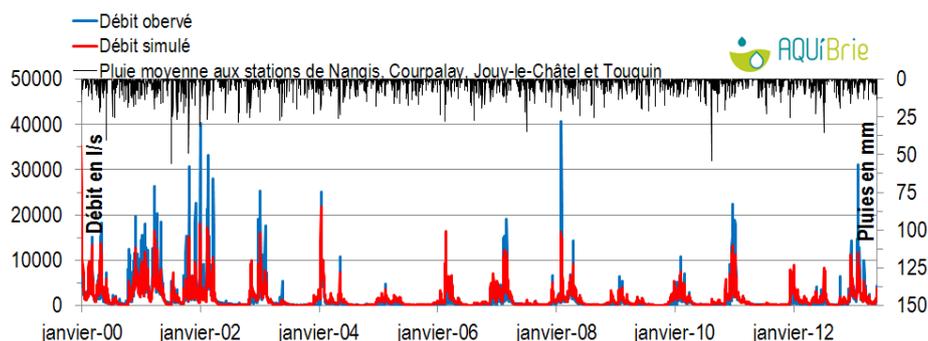


Figure 35 : Comparaison du débit simulé par le modèle GARDENIA et du débit observé sur l'Yerres à Courtomer entre janvier 2000 et mai 2013

La Figure 36 représente la décomposition des écoulements simulés. **Les écoulements vers la nappe de Champigny (infiltration + drainance en vert foncé) qui varient suivant les cycles de hautes et basses eaux, sont en moyenne de 3.2 l/s/km² entre janvier 2000 et mai 2013.** Cette moyenne est identique à celle des pertes estimées sur la même période par GR4j (voir Annexe IV.5 page 76). **Si on zoome sur la période où la pluie a été la plus abondante sur le territoire, comprise entre janvier 2000 et décembre 2002 (voir Figure 15 page 30), cette infiltration estimée est beaucoup plus importante avec en moyenne 5 l/s/km² (soit plus de 2.1 m³/s).**

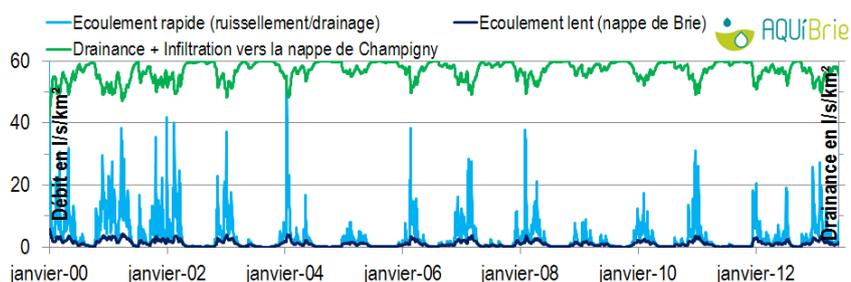


Figure 36 : Décomposition des écoulements simulés par GARDENIA sur l'Yerres à Courtomer entre janvier 2000 et mai 2013

III.3.7 Sur l'Ancoeur à Blandy-les-Tours

Comme pour l'Yerres à Courtomer, il est également intéressant d'estimer l'infiltration sur ce bassin versant car une partie des eaux de surface s'infiltrer directement dans les calcaires de Champigny au niveau des zones de pertes de l'Ancoeur. On estime donc pour cette station une infiltration totale qui comprend en plus de la drainance Brie-Champigny, la part d'infiltration directe des eaux de surface vers le Champigny.

III.3.7.1 Entre août 2010 et mai 2013

Le débit du ru d'Ancoeur à Blandy-les-Tours est correctement simulé par GARDENIA (Figure 37) avec un coefficient d'ajustement de 0.79 (soit un Nash(Q) de 0.62). Le débit moyen simulé (411 l/s) est supérieur de 36 % au débit moyen observé (264 l/s) surtout lors de la seconde année de suivi (août 2011 à juillet 2012 avec 215 l/s d'écart en moyenne) où les débits de base de la crue hivernale 2011-2012 et des crues printanières et estivales 2012 sont surestimés. On observe également cette même surestimation des débits sur la simulation avec le modèle GR4j (voir Annexe IV.5 page 76). Sur le reste de la période d'étude, le modèle simule assez bien les débits notamment les pics de crue de l'hiver 2010-2011 ainsi que la décrue et le tarissement qui ont suivi. L'intensité de certains pics de crues hivernales comme ceux de février à mars 2013 est toutefois sous-estimée. Les points forts et faibles de cette simulation sont résumés sur le Tableau 15 en Annexe III.4 page 68.

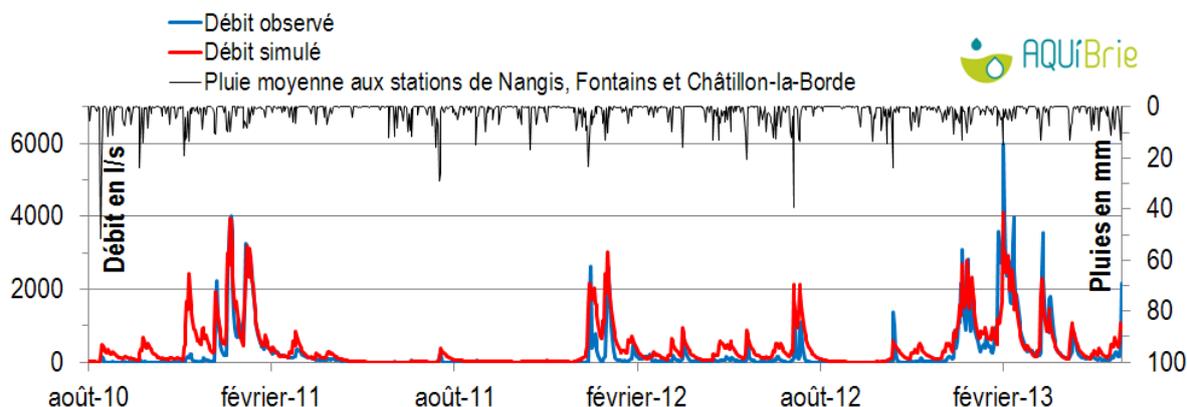


Figure 37 : Comparaison du débit simulé par le modèle GARDENIA et du débit observé sur l'Ancoeur à Blandy-les-Tours entre août 2010 et mai 2013

Sur la Figure 38 montrant la décomposition des écoulements simulés, on voit que **sur ce bassin versant, l'essentiel du débit de la rivière provient du ruissellement et du drainage (écoulement rapide en bleu clair), soit en moyenne 79 % du débit simulé**. Les écoulements provenant de la nappe de Brie (en bleu foncé) qui constituent seulement 21 % du débit simulé, assurent surtout le débit d'étiage ainsi qu'une part du débit de base pendant les crues. **L'infiltration totale vers la nappe de Champigny (drainance + infiltration en vert) est en moyenne de 3.6 l/s/km² et peut atteindre 13.5 l/s/km² en hautes eaux (soit plus de 2.5 m³/s)**. Cette infiltration moyenne est proche de celle estimée par le modèle GR4j avec 3.5 l/s/km² (voir Annexe IV.5 page 76).

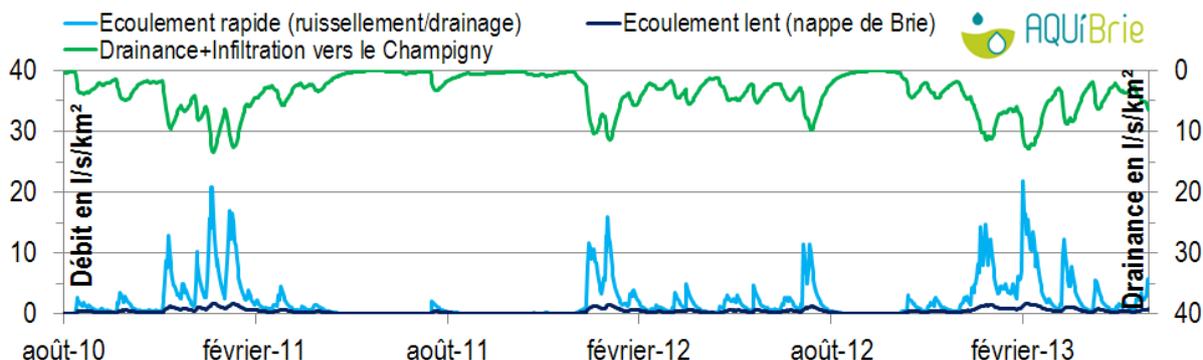


Figure 38 : Décomposition des écoulements simulés par GARDENIA sur l'Ancoeur à Blandy-les-Tours entre août 2010 et mai 2013

III.3.7.2 Entre janvier 2000 et mai 2013

Nous avons aussi réalisé une simulation sur la période janvier 2000 à mai 2013 en utilisant les paramètres calés sur la période d'étude d'août 2010 à mai 2013. La simulation obtenue en Figure 39 est correcte avec un coefficient d'ajustement de 0.8 (soit un Nash(Q) de 0.64) avec un débit moyen simulé (448 l/s) très proche du débit moyen observé (450 l/s). Le modèle simule relativement bien les cycles de hautes et basses eaux de la rivière. Toutefois, la crue hivernale de décembre 2002 à janvier 2003, ainsi que les débits de pointe de certains pics de crues hivernales comme ceux de septembre 2001 à mars 2002, ou de février et mars 2008 sont largement sous-estimés.

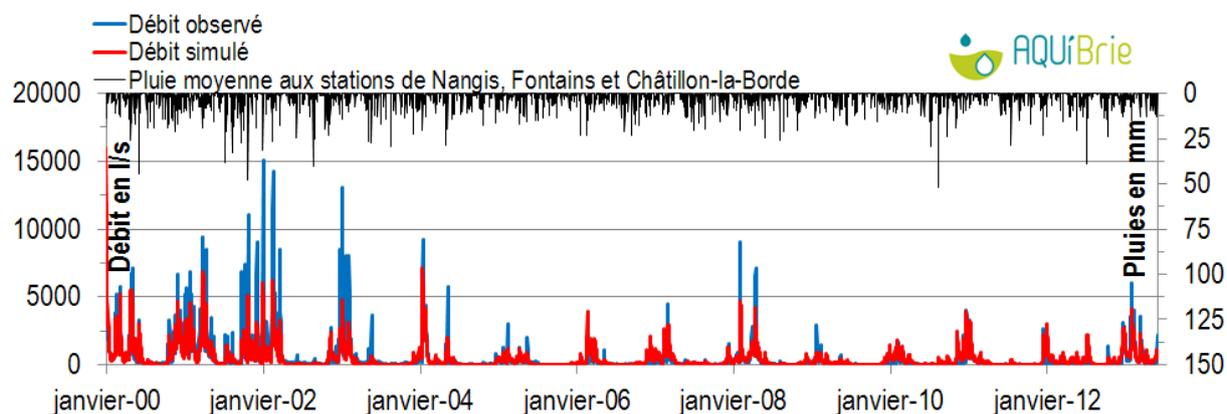


Figure 39 : Comparaison du débit simulé par le modèle GARDENIA et du débit observé sur l'Ancoeur à Blandy-les-Tours entre janvier 2000 et mai 2013

Sur la décomposition des écoulements simulés en Figure 40, l'infiltration estimée vers le Champigny qui varie en fonction des cycles hydrologiques de la rivière (en vert) est en moyenne de 3.6 l/s/km², proche de celle estimée par le modèle GR4j (3.5 l/s/km² voir Annexe IV.5 page 77). Si on zoome sur la période où la pluie a été la plus importante sur le territoire, comprise entre janvier 2000 et décembre 2002 (voir Figure 15 page 30), l'infiltration vers le Champigny est en moyenne beaucoup plus élevée avec 5.7 l/s/km² (soit plus d'1m³/s) et peut monter en hautes-eaux jusqu'à 23.7 l/s/km² (soit plus de 4.4 m³/s) comme en janvier 2000.

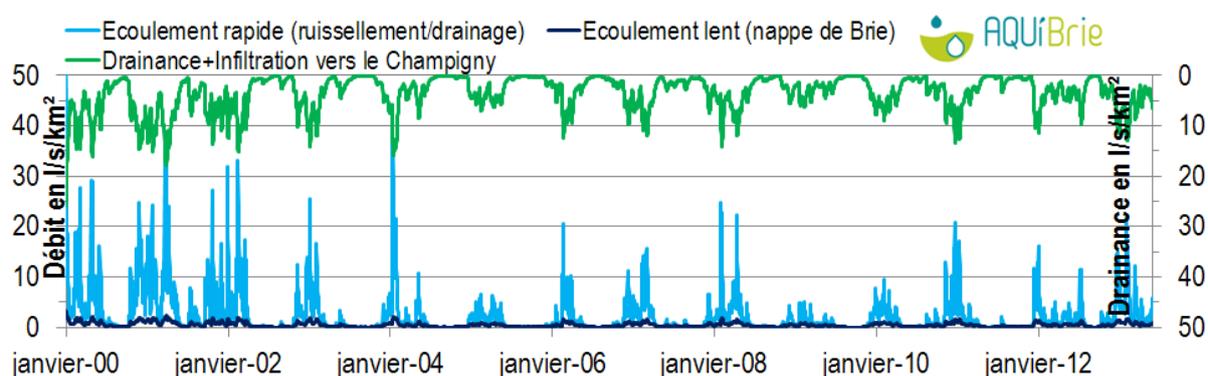


Figure 40 : Décomposition des écoulements simulés par GARDENIA sur l'Ancoeur à Blandy-les-Tours entre janvier 2000 et mai 2013

III.4 Critique des résultats

III.4.1 Comparaison des valeurs entre les stations

Voici en Figure 41, la drainance moyenne Brie-Champigny simulée avec GARDENIA sur les différents bassins versants et aires d'alimentation des stations entre août 2010 et mai 2013.

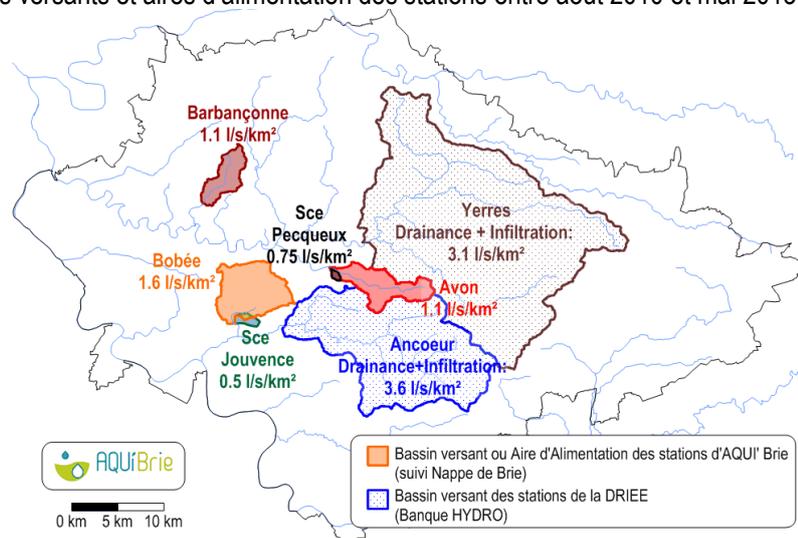


Figure 41 : Bilan de la drainance moyenne entre Brie et Champigny, calculée à partir du modèle hydrologique GARDENIA sur les bassins versants et aires d'alimentation des 5 stations d'AQUI' Brie entre août 2010 et mai 2013 et bilan de la drainance+infiltration sur les 2 bassins versants des stations de la DRIEE

Sur le bassin versant de la **Barbançonne** au Nord de l'Yverres, et de l'**Avon** au Sud de l'Yverres la drainance Brie-Champigny est en moyenne de **1,1 l/s/km²** entre août 2010 et mai 2013. C'est sur le bassin versant du **ru Bobée**, au Nord de l'Almont, que la plus forte drainance est simulée, de **1,6 l/s/km²** en moyenne sur la même période.

Comment expliquer cette valeur de drainance élevée sur le bassin du ru Bobée ?

- Est-ce liée à une sous-estimation de la superficie du bassin versant drainé par la station du ru Bobée ? Pour avoir une drainance équivalente à celle sur la Barbançonne et l'Avon (1.1 l/s/km²), il faudrait que le bassin versant du ru Bobée fasse une taille de l'ordre de 57.5 km², ce qui est impossible car il dépasserait alors la vallée de l'Yverres qui interrompt la nappe de Brie.

- Est-ce liée à des fuites latérales souterraines de la nappe de Brie vers l'extérieur du bassin versant du ru Bobée ? Si on compare la carte d'épaisseur des calcaires de Brie avec la carte du toit des marnes vertes et supragypseuses (Figure 50 page 53), on voit que sur le bassin versant du ru Bobée, la nappe s'écoule vers le Sud en direction de l'Almont et qu'à priori, il n'y a pas d'écoulement de nappe vers l'extérieur du bassin versant du ru Bobée.

- **Plusieurs éléments indiquent que l'infiltration des eaux de surface à travers les calcaires de Brie est élevée dans ce secteur**, comme par exemple la carte de l'IDPR (Figure 5 page 18) ou encore le calage des différents modèles mathématiques de la nappe de Champigny : Watermodel (AQUI' Brie, 2009) et Armines (Bellier, 2013).

Les estimations de drainance sur les sources équipées (source Pecqueux sur l'Avon et source Jouvence sur le ru Bobée) sont systématiquement plus faibles que sur les cours d'eau voisins : de **0,75 l/s/km²** en moyenne sur l'aire d'alimentation de la **source Pecqueux** (contre 1,1 sur l'Avon) et de **0.5 l/s/km²** en moyenne sur l'aire de la petite **source Jouvence** (contre 1,6 sur le ru Bobée). L'étendue des aires de ces sources reste difficile à connaître, ce qui constitue une source d'incertitude importante dans le calcul de la drainance. Toutefois une autre source d'incertitude existe, et concerne la pluie qui est réellement tombée sur l'aire de ces sources et sur les bassins versants des cours d'eau. Ainsi par exemple pour la source Jouvence et le ru Bobée, nous avons utilisé les mêmes données pluviométriques (moyenne Melun/Châtillon-la-Borde). Or en réalité, les précipitations ont peut-être été différentes sur ces deux surfaces. L'utilisation des données météo SAFRAN sur des mailles de 64 km² devrait améliorer les choses.

Enfin, sur les stations de l'**Yerres à Courtomer** et de l'**Ancoeur à Blandy**, l'infiltration des eaux de surface vers le Champigny (drainance Brie-Champigny + infiltration via les pertes en rivière dans les vallées) est respectivement de 3.1 l/s/km² et 3.6 l/s/km².

Par ailleurs comme nous l'avons vu en B.II.3 page 30, le suivi des débits entre août 2010 et mai 2013 a eu lieu dans des contextes de pluviométrie et de recharge de nappe déficitaires surtout lors des deux premières années de suivis. **Ces estimations de drainance sont donc très certainement sous-estimées par rapport à une période où les pluies étaient beaucoup plus importantes comme entre 2000 et 2002.**

III.4.2 Les points qu'il reste à améliorer

✓ **Poursuite des mesures** : Le suivi des débits était initialement prévu pour trois ans (août 2010-août 2013), qui ont globalement été déficitaires en pluie et en pluie efficace. Les estimations de drainance sur cette période sont donc vraisemblablement une estimation basse de la drainance Brie-Champigny. Nous avons donc décidé de poursuivre ce suivi dans l'attente de contextes climatiques plus humides, qui vont vraisemblablement faire évoluer la drainance.

✓ **Des débits de crue à davantage contrôler** : sur la période 2010-2013, il n'y a pas eu assez de jaugeages en crues pour contrôler les débits de pointe mesurés par les stations. En 2014, 2 tournées de jaugeage ont pu être réalisées au moment des crues hivernales et une dernière en juin 2014 après des épisodes orageux, afin de mieux contrôler les débits des stations. Cet effort est à poursuivre afin de valider au mieux les débits de pointe.

✓ **Améliorer la spatialisation des pluies** : La pluie est une donnée d'entrée très importante pour la modélisation. Or, nous avons utilisé les données des stations météo réparties sur le territoire, avec des différences parfois importantes d'une station à l'autre. Météo-France spatialise la pluie tombée à partir des données des stations et des images RADAR. **Les données climatiques SAFRAN (pluies et ETP) produites sur des mailles de 64 km² pourraient être utilisées dans nos simulations.**

✓ **Croiser nos estimations de drainance Brie-Champigny avec celles du modèle mathématique de la nappe des calcaires de Champigny de l'Ecole des Mines**. Dans les mois à venir, il est prévu d'établir des bilans à l'échelle des bassins versants de chaque station de suivi du débit.

C. Annexes

I Extrait de la carte piézométrique de la nappe de Brie de 1970

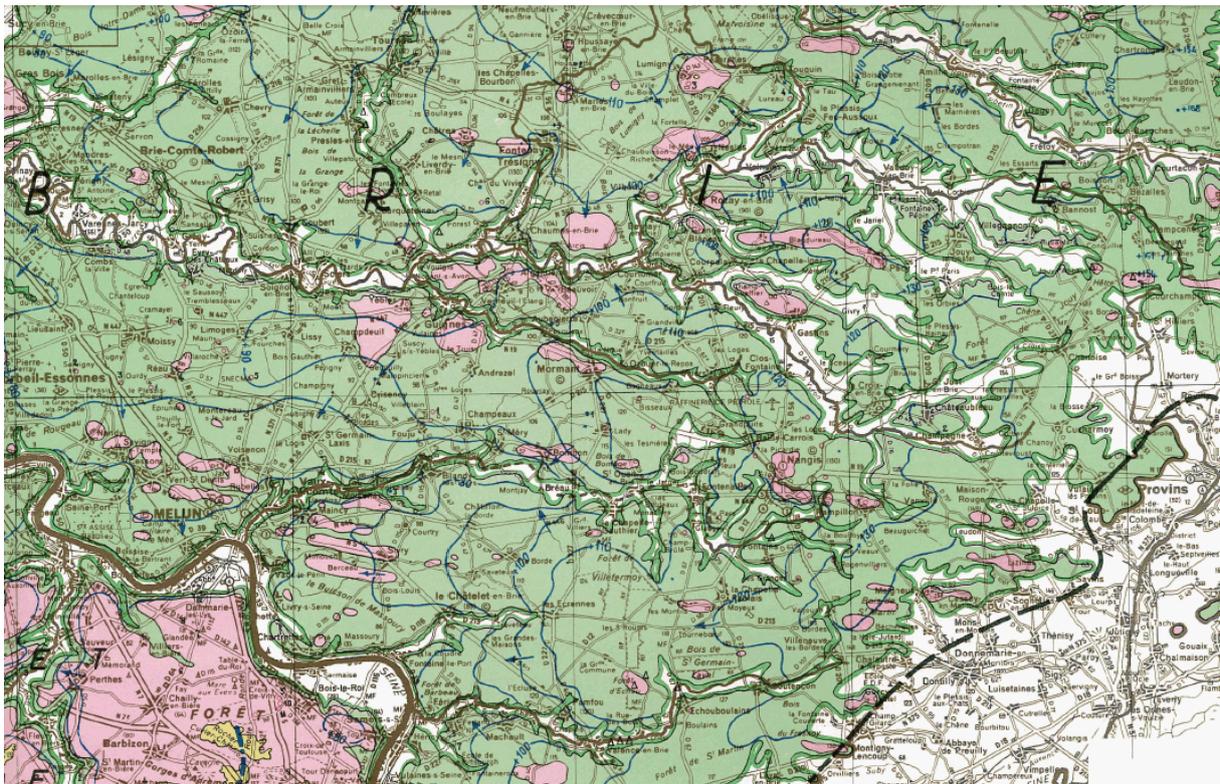


Figure 42 : Piézométrie de la nappe des calcaires de Brie au 1/200 000 extraite de l'atlas hydrogéologique du BRGM de 1970

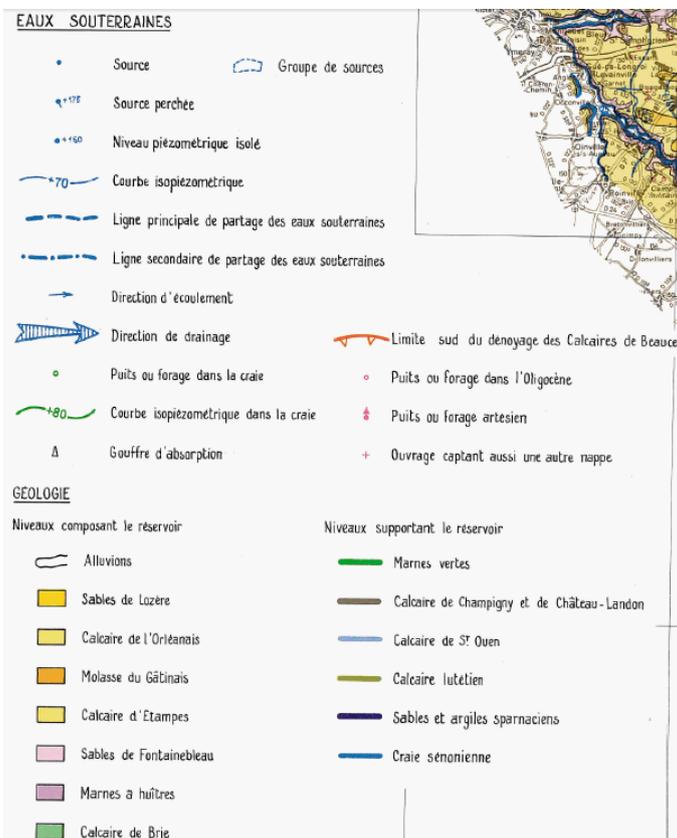


Figure 43 : Légende de la carte piézométrique de la nappe des calcaires de Brie au 1/200 000 extraite de l'atlas hydrogéologique du BRGM de 1970

II Les stations de suivi des débits

II.1 Sources et cours d'eau drainant essentiellement la nappe des calcaires de Brie

II.1.1 Méthode utilisée pour le calcul des bassins versants et des aires d'alimentation

Les bassins versants des stations suivant le débit des rus ont été déterminés sur un Système d'Information Géographique (SIG) à partir du modèle numérique de terrain de l'IGN au pas de 50 mètres, et du module Arc Hydro Tools (Université d'Austin, Texas), fonctionnant dans SPATIAL ANALYST d'ArcMap.

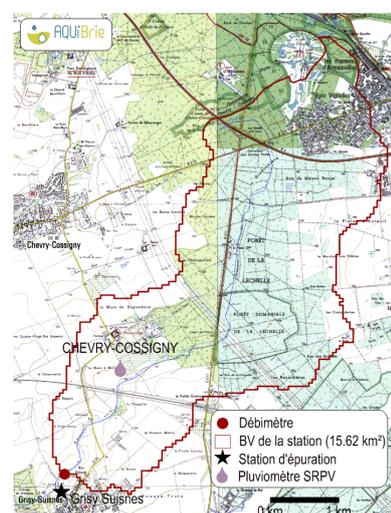
Les aires d'alimentation des sources ont été déterminées à partir de la géologie (carte et structure géologique) et de la topographie du secteur.

II.1.2 Le ru de la Barbançonne à Grisy-Suisnes

II.1.2.1 Localisation de la station

Cette station d'un bassin versant¹¹ de 15.6 km² se situe au Nord-Est de Grisy-Suisnes juste en amont de la station d'épuration de la commune (Figure 44). La station pluviométrique du SRPV¹² à Chevry-Cossigny se trouve également sur ce bassin versant à 1.8 km en amont de la station.

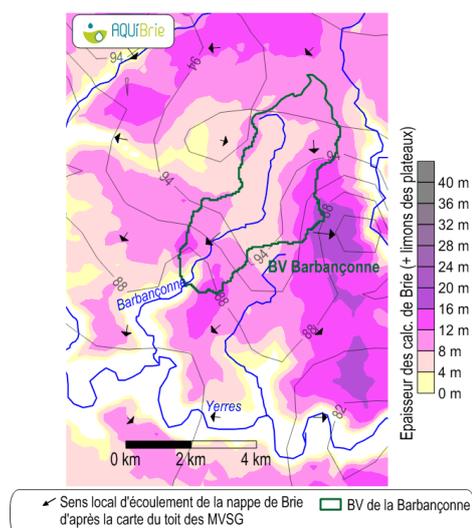
Figure 44 : Le bassin versant de la station du ru de la Barbançonne à Grisy-Suisnes (fond de carte IGN au 1/25000)



II.1.2.2 Sens d'écoulement présumés de la nappe de Brie sur le bassin du ru de la Barbançonne

La Figure 45 représente l'épaisseur des calcaires de Brie ainsi que l'altitude du toit de la couche géologique sous-jacente (Marnes Vertes et SupraGypseuses) dans le secteur. L'inclinaison du toit des MVSG conditionne en partie le sens et la direction d'écoulement de la nappe de Brie. D'après cette carte, les sens d'écoulement de la nappe de Brie (flèches noires) vont du Nord-Est vers le Sud-Ouest en direction de l'Yerres. Le bassin versant de la Barbançonne constitue un axe de drainage privilégié pour la nappe de Brie.

Figure 45 : Epaisseur des calcaires de Brie et sens d'écoulement des calcaires de Brie d'après le toit des MVSG dans le secteur du ru de la Barbançonne



¹¹ D'après le modèle numérique de terrain, le bassin versant de la station serait de 21.14 km² et engloberait le château Péreire ainsi qu'une partie de la forêt d'Armainvilliers. Or, cette partie nord du BV est en réalité drainée par le Réveillon. Les limites exactes du bassin versant nous ont été transmises par le service EDATER du CG 77.

¹² Services de la Protection des Végétaux de Seine et Marne.

II.1.2.3 Equipement

Ce site est équipé d'un capteur qui enregistre les variations horaires de la hauteur d'eau du ru au droit d'un déversoir en bois (Figure 46). Le débit horaire est ensuite calculé à l'aide d'une formule mathématique en fonction de la géométrie du seuil¹³. En décembre 2010, nous avons dû réinstaller un déversoir en bois car l'ancien seuil avait été emporté lors d'un épisode de crue hivernale important (pic de 240 l/s).



Figure 46 : Déversoir en bois sur le ru de la Barbançonne à Grisy-Suisnes

II.1.2.4 Tarage de la station

Le graphique à gauche en Figure 47 permet de comparer les débits mesurés par la station et les débits obtenus par jaugeages entre août 2010 et mai 2013. On voit que les jaugeages effectués avec notre micromoulinet donnent des débits similaires à ceux mesurés à la station (coefficient de corrélation de 0.98). Nous n'avons cependant pas pu jauger des forts débits de crues (supérieurs à 300 l/s). Ces épisodes de crues sont très rapides sur la Barbançonne, comme l'illustre la Figure 47 à droite, montrant un épisode de crue dans la nuit du 12 au 13 avril 2013 où le débit a augmenté de 400 l/s en 6h, nous laissant peu de temps pour intervenir.

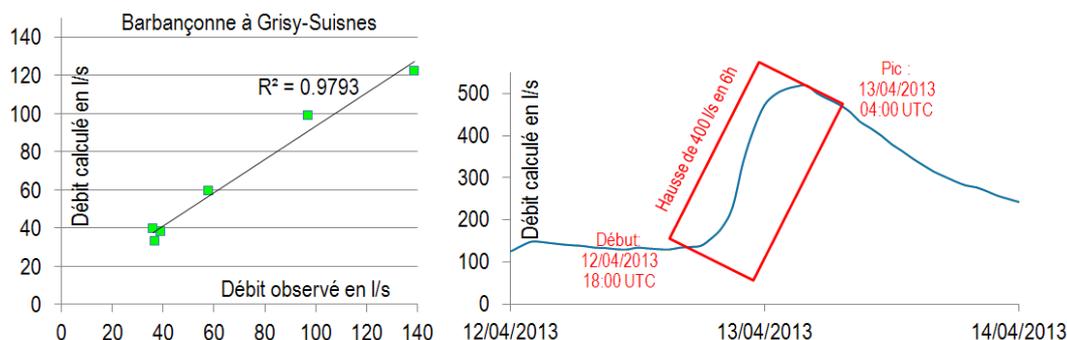


Figure 47 : Comparaison des débits calculés et jaugés (à gauche) et exemple d'épisode de crue rapide entre le 12 et 13/04/2013 sur la Barbançonne à Grisy-Suisnes

II.1.2.5 L'évolution des débits sur la Barbançonne à Grisy-Suisnes

D'août 2010 à mai 2013, le débit moyen du ru est de 40 l/s (en moyenne : 16 l/s à l'étiage et 94 l/s en hautes-eaux¹⁴). Ce ru est très réactif à la pluviométrie sur le bassin versant. Ainsi en quelques heures, le débit du ru peut rapidement croître de plusieurs centaines de l/s. Les écoulements rapides comme le ruissellement et le drainage, semblent donc être importants sur ce bassin. (Figure 48).

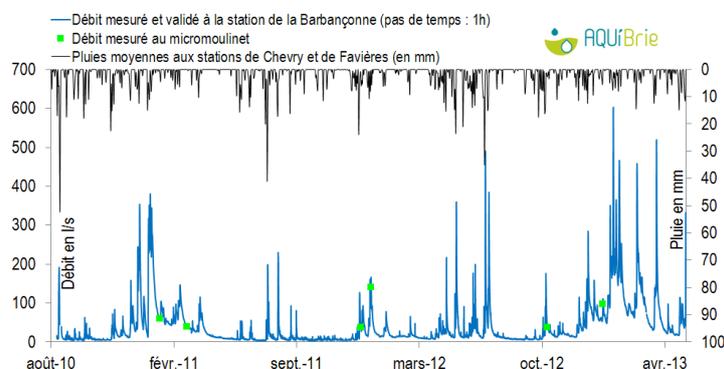


Figure 48 : Evolution du débit sur la Barbançonne à Grisy-Suisnes et de la pluie moyenne sur la station SRPV de Chevry-Cossigny et de Météo-France à Favières entre août 2010 et mai 2013

¹³ Formule mathématique de Hégly pour un déversoir rectangulaire en mince paroi avec une contraction latérale.

¹⁴ Les périodes de basses et hautes eaux sont estimées en fonction du débit brut mesuré sur la station hydrométrique de l'Ancoeur à Blandy-les-Tours, en fixant le plafond des basses-eaux à 150 l/s.

II.1.3 Le ru Bobée et la source Jouvence à Moisenay

II.1.3.1 Localisation des 2 stations

Les stations du ru Bobée et de la source Jouvence se situent dans le domaine de Vaux-le-Vicomte. Celle du ru Bobée, dont le bassin versant fait 39.5 km² (en noir sur la Figure 49), est située en aval immédiat d'un petit plan d'eau. Ce ru reçoit également les rejets des STEP de Champdeuil, Crisenoy et surtout Saint-Germain-Laxis (3.5 l/s en moyenne, cf. Tableau 4). Au niveau de la source Jouvence, la station se trouve sur un canal, alimenté en rive gauche par plusieurs petites sources en amont.

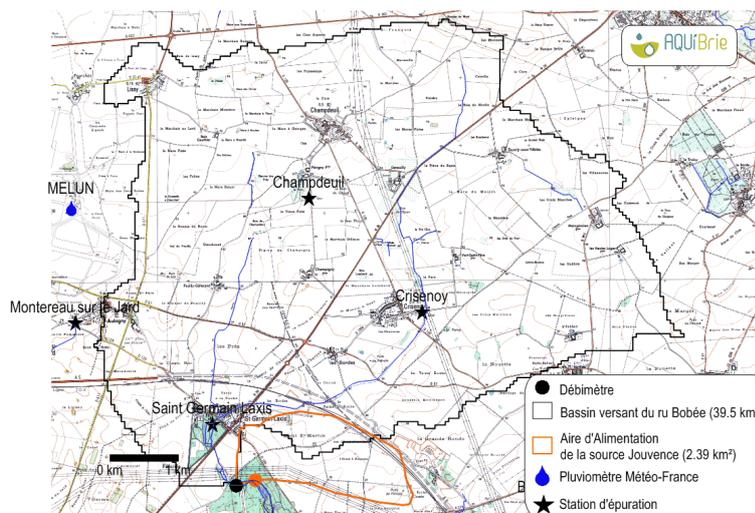


Figure 49 : Le bassin versant de la station du ru Bobée et l'aire d'alimentation de la source Jouvence à Moisenay (fond de carte IGN au 1/25000)

STEP sur le BV de Bobée	Qmin temps sec en l/s (2006-2010)	Qmax temps sec en l/s (2006-2010)	Qmoyen en l/s (août 2010 - mai 2013)
Champdeuil	0.7	1.1	
Crisenoy	0.5	0.7	
Saint-Germain-Laxis	3.5	6.4	3.5
Total	4.0	7.1	3.5
Rejet moyen d'épuration	4.9		

Tableau 4 : Les rejets des STEP minimum et maximum par temps sec entre 2006 et 2010 (SATESE 77) et le rejet moyen de la STEP de Saint-Germain-Laxis entre août 2010 et mai 2013 (Véolia) sur le BV du ru Bobée

II.1.3.2 Sens d'écoulement présumés de la nappe de Brie sur le bassin du ru Bobée

La Figure 50 représente l'épaisseur des calcaires de Brie ainsi que l'altitude du toit de la couche géologique sous-jacente (Marnes Vertes et Supragypseuses) dans le secteur. L'inclinaison du toit des MVSG conditionne en partie le sens et la direction d'écoulement de la nappe de Brie. D'après cette carte, les sens d'écoulement de la nappe de Brie (flèches noires) sur le bassin versant du ru Bobée (en rouge), vont du Nord-Est vers le Sud-Ouest en direction du ru Bobée et de l'Almont. A priori, il n'y a pas d'écoulement de nappe vers l'extérieur du bassin versant, notamment en direction du ru de Balory (en vert).

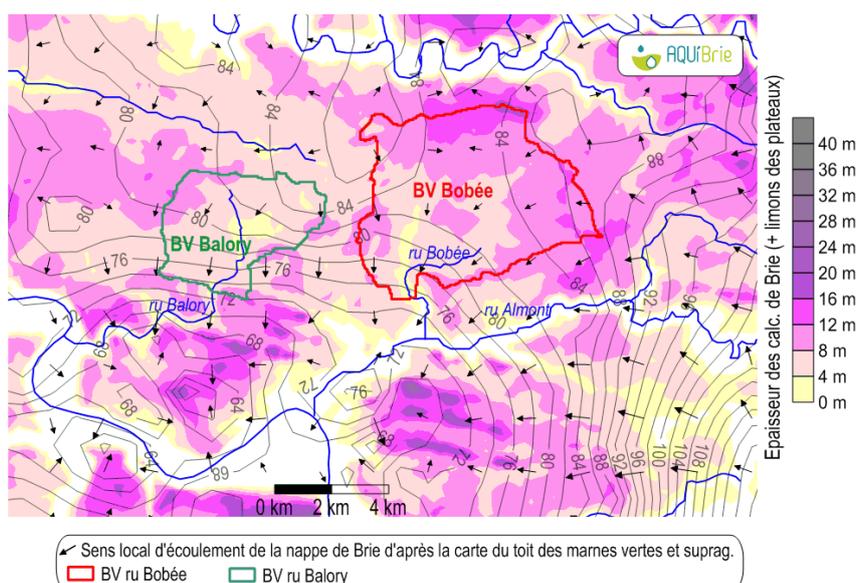


Figure 50 : Epaisseur des calcaires de Brie et sens d'écoulement des calcaires de Brie d'après le toit des marnes vertes et supragypseuses dans le secteur du ru Bobée

II.1.3.3 Délimitation de l'aire d'alimentation de la station de la source Jouvence

Le bassin d'alimentation global (superficiel et souterrain) de la station de la source Jouvence représente une surface de 2.39 km² (en orange sur la Figure 49). Le bassin versant souterrain a été défini à partir de la carte du toit des marnes vertes et supragypseuses sur lesquels reposent les calcaires de Brie (définie à partir des cotes trouvées dans la BSS¹⁵). Sur la Figure 51 à gauche, on remarque une butte située 2 km à l'Est des sources de la Jouvence. Si on suppose que la structure géologique oriente les écoulements, alors depuis cette butte, l'eau peut s'écouler soit vers le Sud en direction de l'Ancoeur, soit vers le Nord en direction du ru d'Andy, soit vers l'Est en direction du ru Bobée et des sources de la Jouvence. Nous avons donc tracé le bassin hydrogéologique depuis cette butte jusqu'à la source Jouvence et sa station de mesure (en marron). Cependant compte-tenu du faible nombre de points de mesure dans le secteur, il y a une incertitude sur les limites réelles de ce bassin versant souterrain. Le bassin versant de surface a été défini manuellement à partir du modèle numérique de terrain au pas de 50 m (en vert sur la Figure 51 à droite).

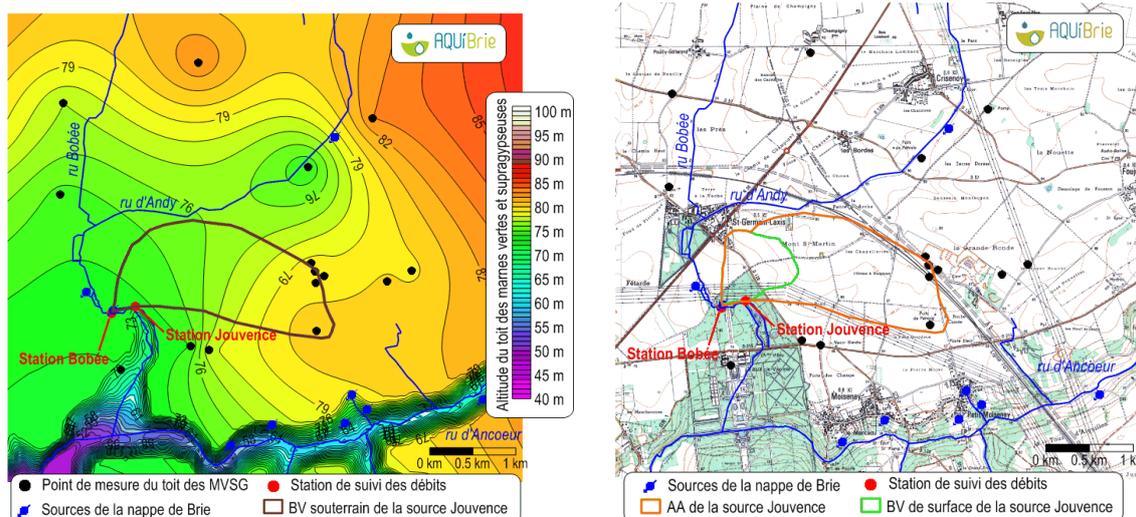


Figure 51 : Le bassin versant souterrain d'après le toit des marnes vertes et supragypseuses (à gauche) et l'aire d'alimentation de la station suivant la source Jouvence à Moisenay (à droite, fond de carte IGN au 1/25000)

II.1.3.4 Equipements des stations

La station du ru Bobée comporte un capteur qui mesure les variations horaires du niveau d'eau du ru au droit d'un déversoir en bois (Figure 52 à gauche). Suite à un problème d'enregistrement des hauteurs d'eau du capteur, l'appareil a été remplacé et a été réinstallé un peu plus loin du muret en béton le 6 janvier 2012. Le débit horaire est calculé à l'aide d'une formule mathématique en fonction de la géométrie du seuil¹⁶. Sur la Jouvence, la station est composée d'un tuyau dans lequel s'écoule l'eau de la source (Figure 52 à droite). Le site était initialement équipé par un capteur de hauteur d'eau mesurant le niveau d'eau dans le tuyau et le débit était calculé à l'aide d'une courbe de tarage. Mais des mises en charge en aval de la station rendaient la relation hauteur/débit insatisfaisante. Depuis décembre 2011, nous avons remplacé le capteur hauteur par un capteur doppler qui mesure toutes les 10 minutes, la vitesse et la hauteur d'eau dans le tuyau, permettant de calculer un débit.



Figure 52 : Le déversoir en bois sur le ru Bobée (à gauche) et le tuyau dans lequel s'écoule l'eau de la source Jouvence (à droite)

¹⁵ Banque de Données du Sous-sol disponible sur <http://infoterre.brgm.fr>

¹⁶ Formule mathématique de Hégly pour un déversoir rectangulaire en mince paroi avec une contraction latérale.

II.1.3.5 Tarage de la station du ru Bobée et de la source Jouvence

La Figure 53 permet de comparer les débits jaugés avec notre micromoulinet par rapport aux débits calculés par les stations du ru Bobée (à gauche) et de la source Jouvence (à droite) entre août 2010 et mai 2013. Les jaugages effectués sur le ru Bobée à gauche, donnent des débits quasi-équivalents à ceux de la station (R^2 de 0.98) même en période de crue hivernale (399 l/s jaugés contre 418 l/s calculés). Nous n'avons cependant pas pu jauger le débit maximal (879 l/s) enregistré par la station le samedi 2 février 2013. Sur la station de la source Jouvence à droite, les jaugages sont beaucoup plus nombreux, car nous effectuons une mesure avec le micromoulinet lors de chaque tournée de maintenance de la station. Les débits jaugés sont globalement proches de ceux mesurés par la station avec un R^2 de 0.84.

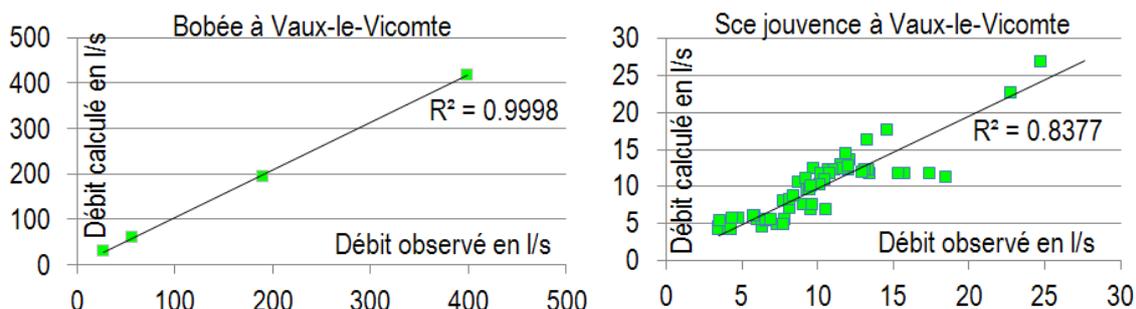


Figure 53 : Comparaison des débits calculés et jaugés sur les stations du ru Bobée (à gauche) et de la source Jouvence (à droite) dans le domaine de Vaux-le-Vicomte entre août 2010 et mai 2013

II.1.3.6 L'évolution du débit sur le ru Bobée à Moisenay

Sur la période d'août 2010 à mai 2013, le débit moyen du ru est de 78 l/s (en moyenne : 28 l/s à l'étiage et 195 l/s en hautes-eaux). Sur la Figure 54, on remarque que le ru est moins réactif aux épisodes pluvieux que le ru de la Barbançonne.

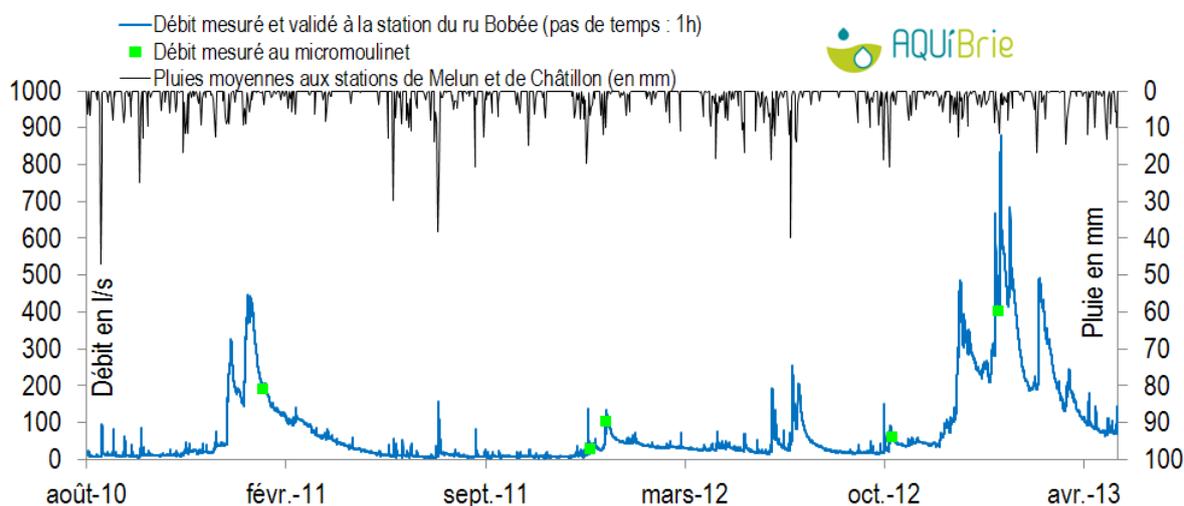


Figure 54 : Evolution du débit mesuré sur le Bobée à Moisenay et de la pluie moyenne aux stations Météo-France de Melun et de Châtillon-la-Borde entre août 2010 et mai 2013

II.1.3.7 L'évolution du débit sur la source Jouvence à Moisenay

Le débit moyen de la source est de 11.4 l/s entre août 2010 et mai 2013 (15.7 l/s en moyenne en hautes-eaux et 9.5 l/s à l'étiage) et peut monter jusqu'à plus de 30 l/s en période de crue hivernale (comme en février 2013). Sur la Figure 55, on remarque qu'après certains épisodes pluvieux importants comme en juillet 2011 (88 mm en 5 jours), juin (32 mm en 3 jours) et juillet 2012 (57 mm en 3 jours), le débit de la source réagit en augmentant de 5 à 7 l/s, montrant que **dans le secteur de Moisenay, la nappe des calcaires de Brie qui alimente les sources de la Jouvence, est assez réactive aux épisodes pluvieux importants.**

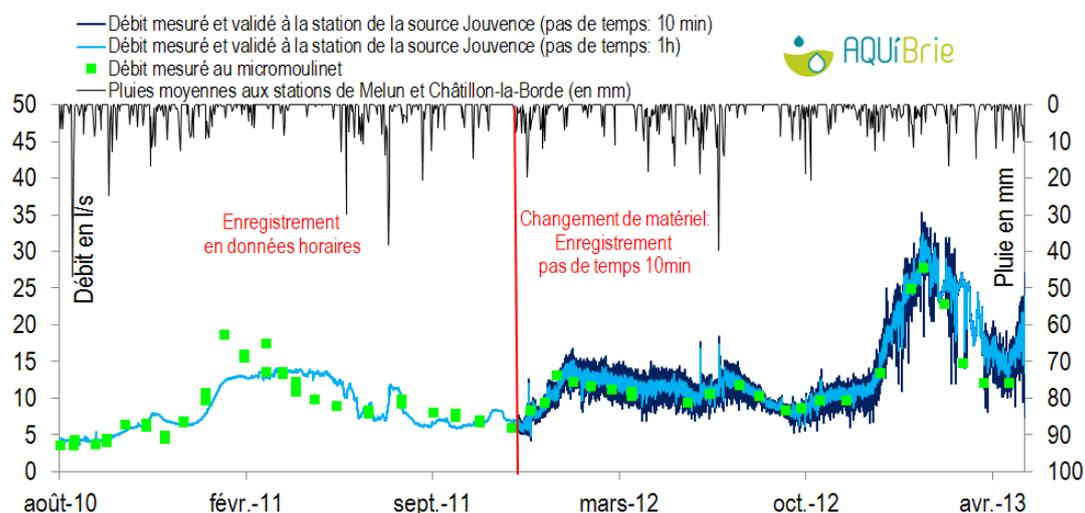


Figure 55 : Evolution du débit mesuré sur la source Jouvence à Moisenay et de la pluie moyenne aux stations Météo-France de Melun et de Châtillon-la-Borde entre août 2010 et mai 2013

II.1.4 Le ru d'Avon et la source Pecqueux à Aubepierre

II.1.4.1 Localisation des 2 stations

Les débitmètres sur l'Avon et sur la source Pecqueux se trouvent à Aubepierre au lieu-dit Pecqueux. Sur la source Pecqueux, la station est positionnée sur un ru qui est alimenté environ 100 m en amont par un petit bassin dans lequel se déversent les eaux de l'ancien puits de captage (de 3.9 m de profondeur). Ce débitmètre est par ailleurs positionné environ 15 mètres en amont de la confluence de la source avec le ru d'Avon. Sur ce dernier la station est positionnée 70 m en aval de cette confluence. Ce ru, d'un bassin versant de 27 km² (en rouge sur la Figure 56) reçoit les rejets des STEP d'Aubepierre et de Quiers (Tableau 5). Le rejet de la STEP de Mormant se fait également sur le ru d'Avon mais plus en aval de la station tandis que la STEP et le site industriel de Grandpuits rejettent dans le ru d'Ivernay, affluent de l'Ancoeur.

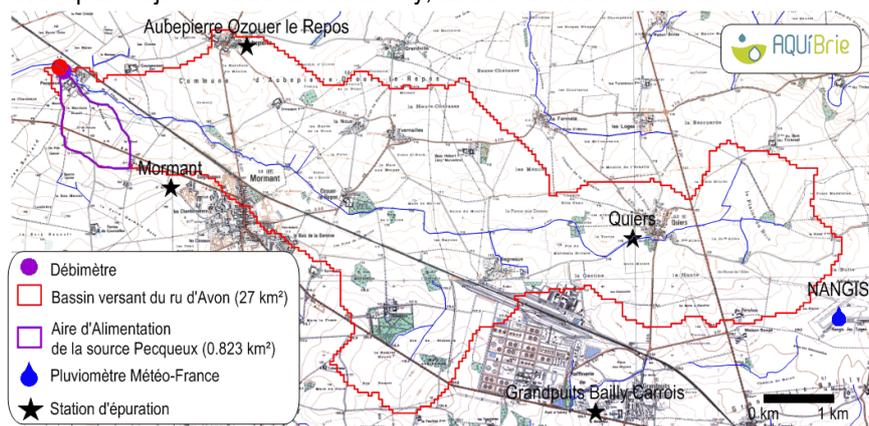


Figure 56 : Le bassin versant de la station du ru d'Avon et l'aire d'alimentation de la source Pecqueux à Aubepierre (fond de carte IGN au 1/25000)

STEP rejetant dans le ru d'Avon	Qmin temps sec en l/s (2006-2010)	Qmax temps sec en l/s (2006-2010)
Aubepierre-Ouzouer-le-Repos	0.2	0.2
Quiers	0.8	1.9
Total	1.0	2.1
Rejet moyen d'épuration	1.6	

Tableau 5 : Les rejets minimum et maximum par temps sec entre 2006 et 2010 des STEP dans le ru d'Avon (SATESE 77)

II.1.4.2 Sens d'écoulements présumés de la nappe de Brie sur le bassin du ru d'Avon

La Figure 57 représente l'épaisseur des calcaires de Brie ainsi que l'altitude du toit de la couche géologique sous-jacente (Marnes Vertes et Supragypseuses) dans le secteur. L'inclinaison du toit des MVSG conditionne en partie le sens et la direction d'écoulement de la nappe de Brie. D'après cette carte, les calcaires de Brie prennent la forme d'une gouttière dans le secteur de l'Avon, et les écoulements de la nappe (flèches noires) se font du Sud-Est vers le Nord-Ouest en direction de l'Yerres. Le ru d'Avon constitue ainsi un axe de drainage privilégié pour la nappe de Brie.

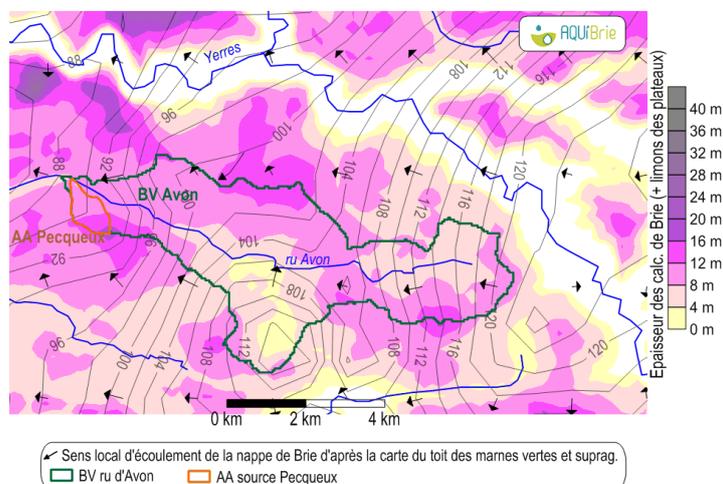


Figure 57 : Epaisseur des calcaires de Brie et sens d'écoulement des calcaires de Brie d'après le toit des marnes vertes et supragypseuses dans le secteur du ru d'Avon

II.1.4.3 Délimitation de l'aire d'alimentation de la source Pecqueux

Lorsque l'on regarde la carte du toit des marnes vertes et supragypseuses dans le secteur (en Figure 58 à gauche), on remarque que les marnes vertes sont inclinées d'Est en Ouest, laissant penser que le bassin alimentant la source Pecqueux pourrait déborder en rive droite de l'Avon. Toutefois d'après la carte géologique de Brie-Comte-Robert dans le secteur de Pecqueux, l'Avon entaille les calcaires de Brie jusqu'au marnes vertes et supragypseuses (dont les zones d'affleurement ont été reportées en marron). Il ne parait donc pas possible que la rive droite de l'Avon participe à l'alimentation de la source située sur l'autre rive. Pour délimiter le bassin d'alimentation de la source Pecqueux sur la rive gauche de l'Avon, nous avons utilisé la topographie à l'aide du modèle numérique de terrain au pas de 50 m en respectant les zones d'affleurement des marnes vertes et supragypseuses au bord de l'Avon (Figure 58 à droite). Le bassin d'alimentation obtenu représente une surface de 0.83 km² (en violet sur la Figure 58 à droite et sur la Figure 56). Cependant comme ce bassin a été défini essentiellement à partir de la topographie, il reste une incertitude sur la taille réelle du bassin souterrain susceptible d'alimenter la source Pecqueux en rive gauche de l'Avon.

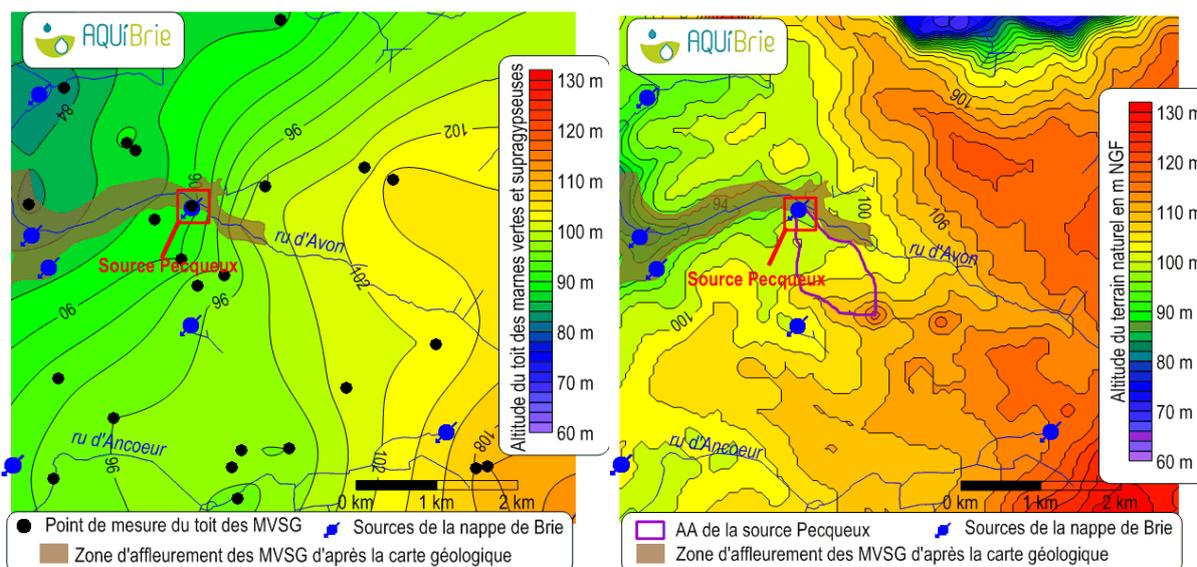


Figure 58 : La carte du toit des marnes vertes et supragypseuses (à gauche) et le bassin d'alimentation de la source Pecqueux défini d'après le modèle numérique de terrain (à droite)

II.1.4.4 Equipements des stations

La station de la source Pecqueux est équipée d'un capteur qui enregistre les variations horaires du niveau d'eau du ru au droit d'un déversoir en bois fixé sur une buse (à gauche sur la Figure 59). Le débit est ensuite calculé à l'aide d'une formule mathématique résultant de la géométrie du seuil¹⁷. Plus en aval sur l'Avon, la station est équipée d'un capteur doppler fixée au fond de l'eau sur une surface de dalles de 4 m² (à droite sur la Figure 59) et qui mesure toutes les 10 minutes la vitesse et la hauteur de l'eau permettant de calculer un débit.



Figure 59 : Le déversoir en bois sur la source Pecqueux (à gauche) et le capteur fixé sur les dalles sur le ru d'Avon (à droite)

¹⁷ Formule mathématique de Gourley et Crimp pour un déversoir triangulaire en mince paroi.

II.1.4.5 Tarage de la station du ru d'Avon et de la source Pecqueux

Sur la Figure 60, nous avons représenté les débits jaugés avec notre micromoulinet par rapport aux débits calculés par les stations de la source Pecqueux (à gauche) et du ru d'Avon (à droite) entre août 2010 et mai 2013. Sur la source Pecqueux à gauche, les débits jaugés sont similaires aux débits calculés à l'étiage, et légèrement sous-estimés en période de crue avec un coefficient de corrélation R^2 de 0.97. Sur le ru d'Avon à droite, les jaugeages avec notre micromoulinet donnent des débits équivalents à ceux calculés par la station à l'étiage (R^2 de 0.99). Il manque toutefois des jaugeages au moment de forts épisodes de crues (avec des débits supérieurs à 750 l/s)

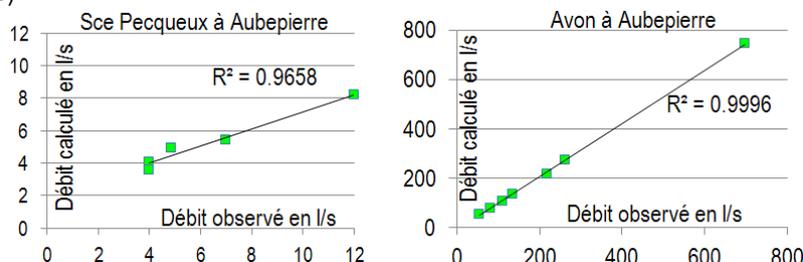


Figure 60 : Comparaison des débits calculés et jaugés sur les stations de la source Pecqueux (à gauche) et du ru d'Avon (à droite) à Aubepierre entre août 2010 et mai 2013

II.1.4.6 Evolution du débit sur la source Pecqueux à Aubepierre

D'août 2010 à mai 2013, on remarque que le débit de la source est relativement constant (Figure 61) avec un débit moyen de 4.2 l/s (avec 3.6 l/s en moyenne à l'étiage et 5.4 l/s en hautes-eaux) mais qui peut cependant monter jusqu'à plus de 10 l/s en période de hautes-eaux comme en février 2013. Sur la Figure 61, on note également qu'après des pluies importantes comme en août 2010 (80 mm) ou comme en juillet 2011 (81 mm en 5 jours), le débit de la source réagit en augmentant d'1.5 à 2.5 l/s. **La nappe des calcaires de Brie, qui alimente la source Pecqueux, est également assez bien réactive dans le secteur.**

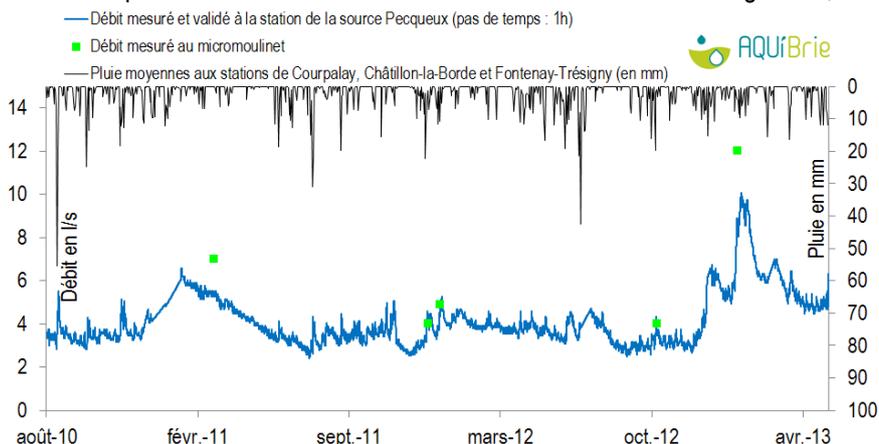
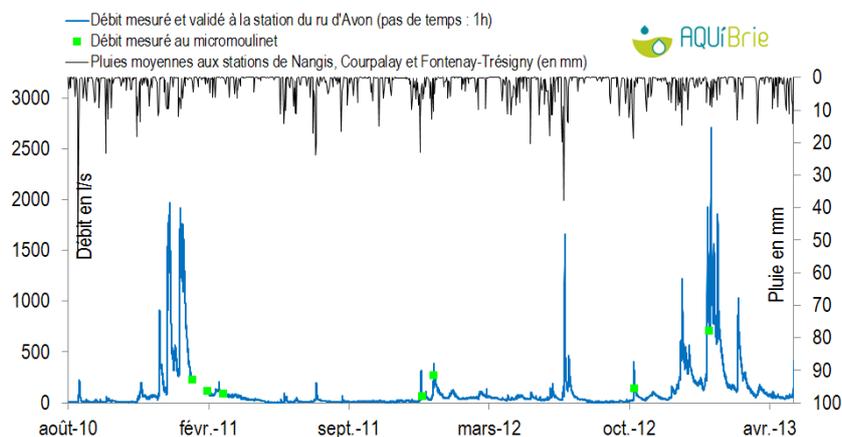


Figure 61 : Evolution du débit mesuré sur la source Pecqueux à Aubepierre et de la pluie moyenne aux stations Météo-France de Châtillon-la-Borde et Courpalay ainsi que celle du CG77 à Fontenay-Trésigny entre août 2010 et mai 2013

II.1.4.7 Evolution du débit sur le ru d'Avon à Aubepierre

Le débit moyen du ru d'Avon est de 115 l/s entre août 2010 et mai 2013 (avec en moyenne : 30 l/s en basses-eaux et 319 l/s en hautes-eaux) et peut atteindre jusqu'à 2.7 m³/s en période de crue comme en février 2013.

Figure 62 : Evolution du débit mesuré sur le ru d'Avon à Aubepierre et de la pluie moyenne aux stations Météo-France de Nangis et Courpalay ainsi que celle du CG77 à Fontenay-Trésigny entre août 2010 et mai 2013



II.1 Cours d'eau infiltrants (Banque HYDRO)

II.1.1 Le ru d'Ancoeur à Blandy-les-Tours

La station de la DRIEE qui suit le débit de l'Ancoeur à Blandy-les-Tours depuis 1982¹⁸, draine un bassin versant de 188 km²¹⁹ (en violet sur la Figure 63). 15 stations d'épuration, dont surtout la STEP de Nangis (Tableau 6), rejettent dans les cours d'eau du bassin versant, en plus des rejets des zones industrielles de Grandpuits et Nangis (raffinerie Total, sucrerie Lesaffre). Sur le bassin versant de cette station, une partie des eaux de surface s'infiltrent directement vers la nappe de Champigny. Pour la modélisation, on estimera donc une infiltration totale qui comprend à la fois la drainage entre le Brie et le Champigny et l'infiltration directe vers le Champigny depuis les zones de pertes en surface.

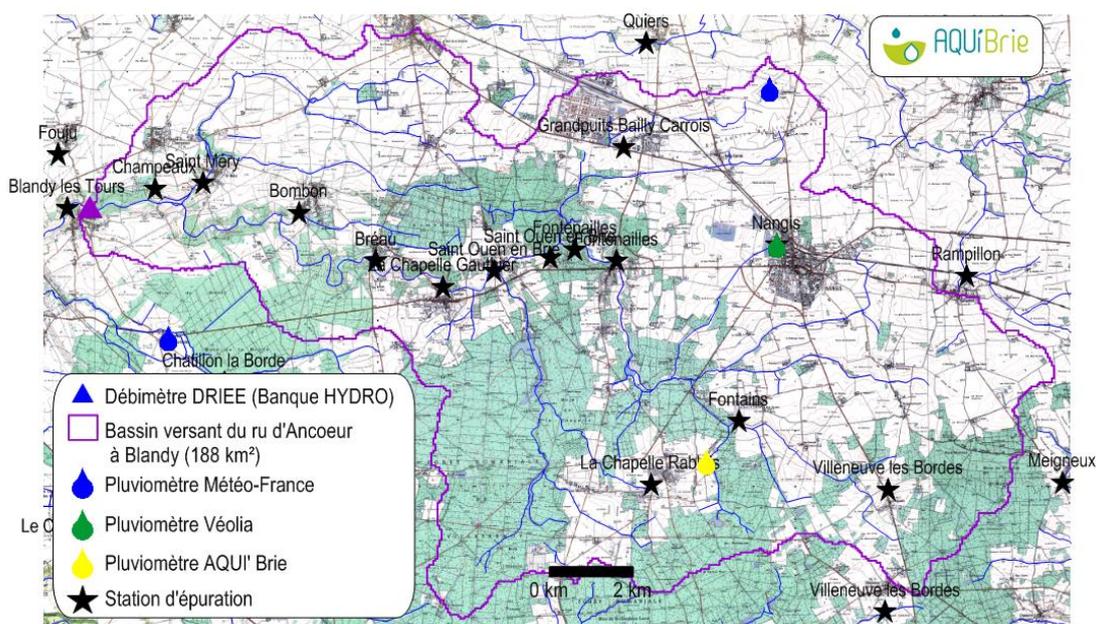


Figure 63 : Le bassin versant de la station DRIEE sur l'Ancoeur à Blandy-les-Tours (fond de carte IGN au 1/25000)

STEP	Qmin temps sec en l/s (2006-2009)	Qmax temps sec en l/s (2006-2009)
sur le BV de l'Ancoeur à Blandy		
Bombon	1.5	1.9
Bréau	0.4	0.8
Champeaux	0.5	1.7
Fontains	0.3	1.0
Golf de Fontenailles	0.2	0.0
Fontenailles	0.7	0.8
Grandpuits-Bailly-Carrois	1.6	2.4
La Chapelle-Gauthier	1.0	2.0
La Chapelle-Rablais	0.9	1.7
Nangis	9.9	27.9
Saint-Méry	0.5	0.7
Saint-Ouen-en-Brie à Le Jarrier	0.1	0.1
Saint-Ouen-en-Brie	0.8	1.2
Villeneuve les Bordes	0.2	0.2
Total	18.6	42.3
Rejet moyen d'épuration		30.5

Tableau 6 : Les rejets minimum et maximum par temps sec entre 2006 et 2009 des STEP sur le BV de l'Ancoeur à Blandy-les-Tours (SATESE 77)

¹⁸ Chronique des débits disponible sur le site Internet de la Banque HYDRO <http://www.hydro.eaufrance.fr>

¹⁹ Sur le site de la Banque Hydro (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>), la superficie du bassin versant de l'Ancoeur à Blandy-les-Tours est de 181 km². Cependant la superficie déterminée à partir du Modèle Numérique de Terrain est de 188 km². Pour notre étude nous avons donc retenu une superficie de 188 km² pour ce bassin versant.

Sur la Figure 64 représentant l'évolution du débit d'août 2010 à mai 2013, le débit moyen du ru est de 290 l/s avec en moyenne 43 l/s en basses-eaux et 832 l/s en période de crue et peut monter jusqu'à 6 m³/s comme en février 2013.

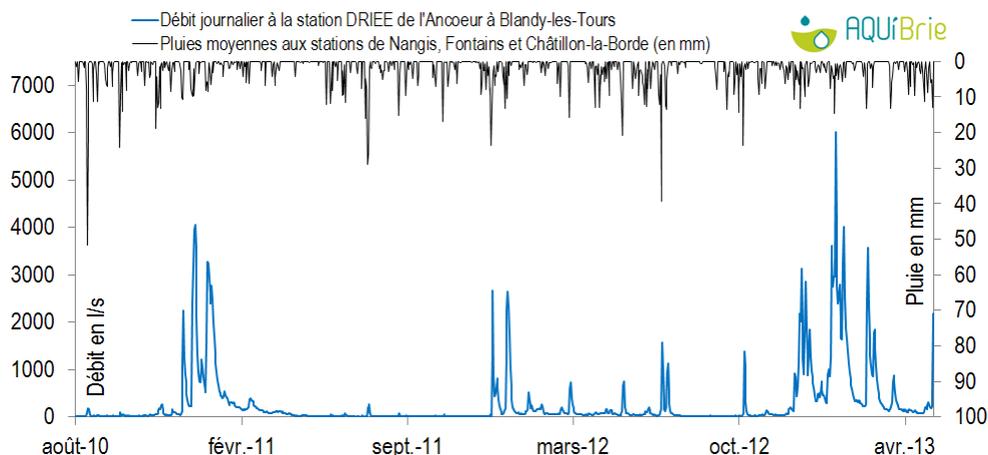


Figure 64 : Evolution du débit journalier sur le ru d'Ancoeur à Blandy-les-Tours et de la pluie moyenne aux stations Météo-France de Nangis et Châtillon-la-Borde ainsi que d'AQUI' Brie à Fontains entre août 2010 et mai 2013

II.1.2 L'Yerres à Courtomer

La station de la DRIEE suivant le débit de l'Yerres à Blandy-les-Tours depuis 1983²⁰, draine un bassin versant vaste de 429 km² (en orange sur la Figure 65). 19 stations d'épuration (Tableau 7) rejettent dans les cours d'eau du bassin versant, participant ainsi au débit mesuré sur l'Yerres à Courtomer. Comme pour la station de l'Ancoeur à Blandy-les-Tours, une partie des eaux de surface s'infilte directement vers la nappe de Champigny sur le bassin versant de cette station. Pour la modélisation, on estimera donc une infiltration totale qui comprend à la fois la drainance entre le Brie et le Champigny et l'infiltration directe vers le Champigny depuis les zones de pertes en surface.

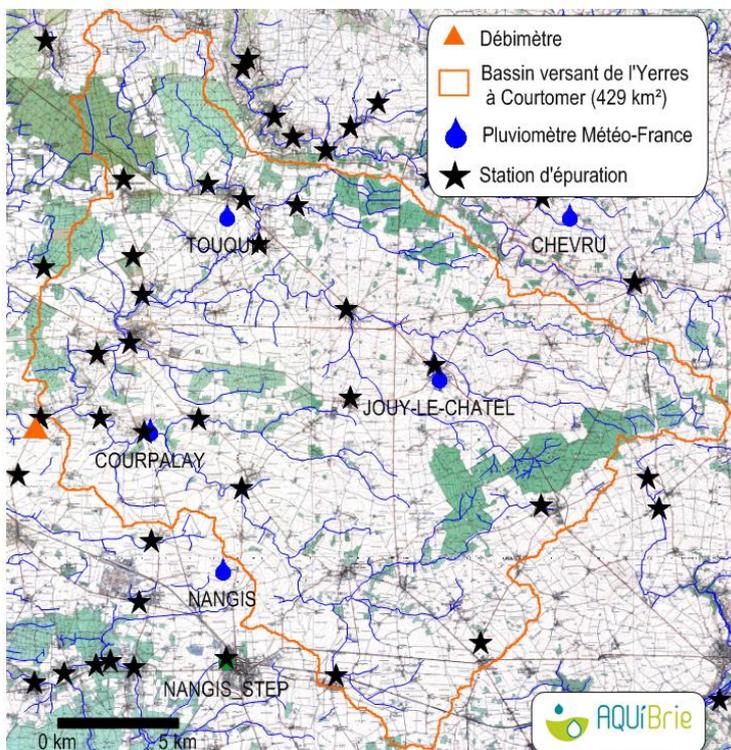


Figure 65 : Le bassin versant de la station DRIEE sur l'Yerres à Courtomer (fond de carte IGN au 1/25000)

²⁰ Chronique des débits disponible sur le site Internet de la Banque HYDRO <http://www.hydro.eaufrance.fr>

STEP sur le BV de l'Yerres à Courtomer	Qmin temps sec en l/s (2006-2009)	Qmax temps sec en l/s (2006-2009)
Bernay-Vilbert	0.8	1.4
Chenoise	1.5	2.2
Courpalay Le Grand Bréau	0.3	0.4
Courpalay Bourg	0.9	1.4
Gastins	0.5	0.8
Jouy-le-Chatel	1.4	2.2
La Chapelle-Iger	0.3	0.6
Le Plessis-Feu-Aussoux	0.9	0.7
Lumigny Nesles Ormeaux (Parc des Félines)	0.0	0.1
Lumigny	0.7	1.0
Nesles	0.9	1.4
Maison Rouge en Brie	0.6	0.9
Pecy	0.6	0.7
Pezarches	0.3	0.5
Rampillon	0.7	0.9
Rozay-en-Brie	3.5	6.0
Touquin Les Etangs Fleuris	0.1	0.1
Touquin Bourg	0.7	0.9
Vaudoy-en-Brie	0.7	1.0
Total	15.4	23.3
Rejet moyen d'épuration		19.3

Tableau 7 : Les rejets minimum et maximum par temps sec entre 2006 et 2009 des STEP sur le BV de l'Yerres à Courtomer (SATESE 77)

Entre août 2010 et mai 2013, le débit de l'Yerres est en moyenne de 1140 l/s (avec en moyenne 232 l/s en étiage et 3230 l/s en période de crues) et peut atteindre 31 m³/s comme en février 2013.

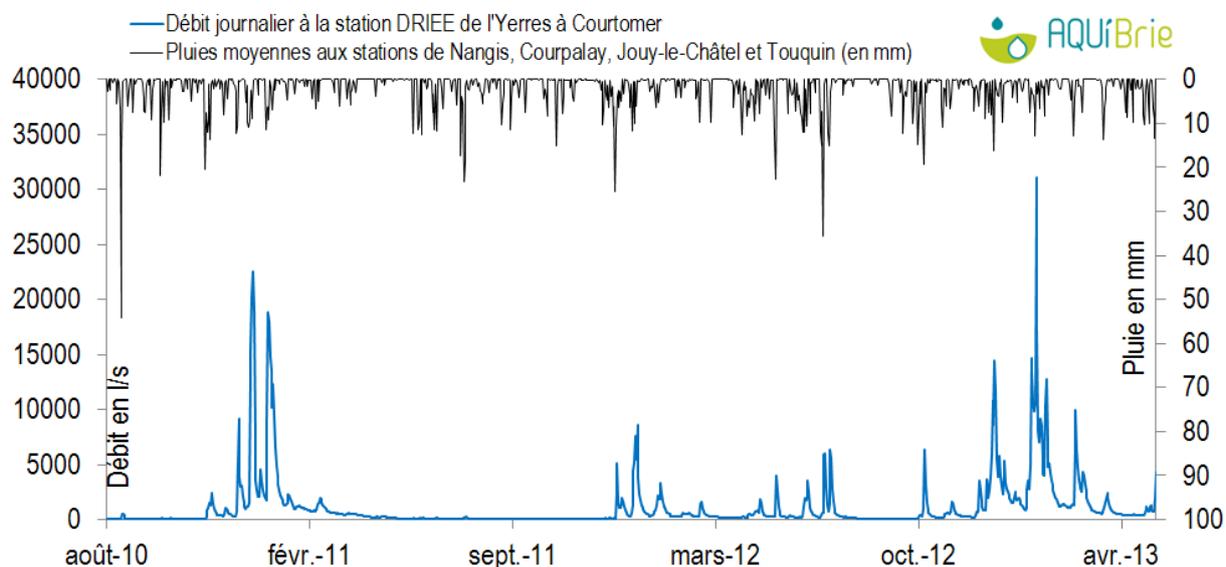


Figure 66 : Evolution du débit journalier sur l'Yerres à Courtomer et de la pluie moyenne aux stations Météo-France de Nangis, Courpalay, Jouy-le-Châtel et Touquin entre août 2010 et mai 2013

III Le modèle hydrologique GARDENIA

III.1 Description du modèle

Le modèle GARDÉNIA pour modèle Global A Réservoirs pour la simulation de DÉbits et de Niveaux Aquifères (Thiéry, 2003) est un modèle hydrologique global qui simule le cycle de l'eau, depuis les précipitations sur un bassin versant jusqu'au débit à l'exutoire (et/ou un niveau aquifère en un point). Ce modèle comprend 2 données d'entrée : la pluie et l'évapotranspiration, et un point de calcul unique en sortie, qui sera dans notre cas le débit au niveau de nos stations de suivi. Ce modèle simule le cycle de l'eau par une succession de réservoirs. Dans le cas de notre étude nous avons choisi d'utiliser un modèle à 4 réservoirs successifs (Figure 67) :

- Le premier réservoir correspond au réservoir superficiel U : il représente les premiers centimètres du sol soumis à la végétation et l'évaporation. Ce réservoir ne correspond pas à la réserve utile définie par les agronomes/pédologues sur une parcelle donnée. Ici, il s'agit en fait d'une réserve globale à l'échelle du bassin, d'un volume maximal d'eau disponible pour la reprise par évaporation. A partir des données d'entrée de pluie et d'ETP et en fonction de l'état de saturation de ce réservoir, une pluie efficace est calculée.

- Le second réservoir représente la Zone Non Saturée de la nappe des calcaires de Brie. Il est alimenté par la pluie efficace et est vidangé par 2 exutoires :

- Par percolation vers le réservoir souterrain G1,
- Par écoulement rapide QR vers l'extérieur correspondant au ruissellement et au drainage.

- Le troisième réservoir est le réservoir souterrain G1, il correspond à la zone saturée de la nappe de Brie. Ce réservoir est alimenté par percolation depuis la ZNS et se vidange par deux exutoires :

- Par drainance vers le réservoir souterrain G2,
- Par écoulement lent QG1 vers l'extérieur. Pour l'étude, nous avons fait l'hypothèse que la nappe de Brie s'écoulait seulement en direction du cours d'eau et qu'il n'y avait pas d'écoulement vers l'extérieur du bassin versant.

L'écoulement rapide QR provenant de la ZNS et l'écoulement souterrain lent QG1 provenant des calcaires de Brie constituent le débit total qui va être simulé à la station de suivi.

- Enfin le dernier réservoir correspondant au réservoir souterrain G2 est alimenté par drainance depuis les calcaires de Brie et se vidange par un écoulement souterrain très lent QG2. Cet écoulement ne rejoindra pas le cours d'eau mais ira vers des horizons plus profonds (marnes vertes et supragypseuses) en direction des calcaires de Champigny. Pour la modélisation, ce réservoir sera vide (en imposant un temps de tarissement le plus court possible), de manière à ce que **l'écoulement souterrain très lent QG2 soit égal à la drainance vers les calcaires de Champigny.**

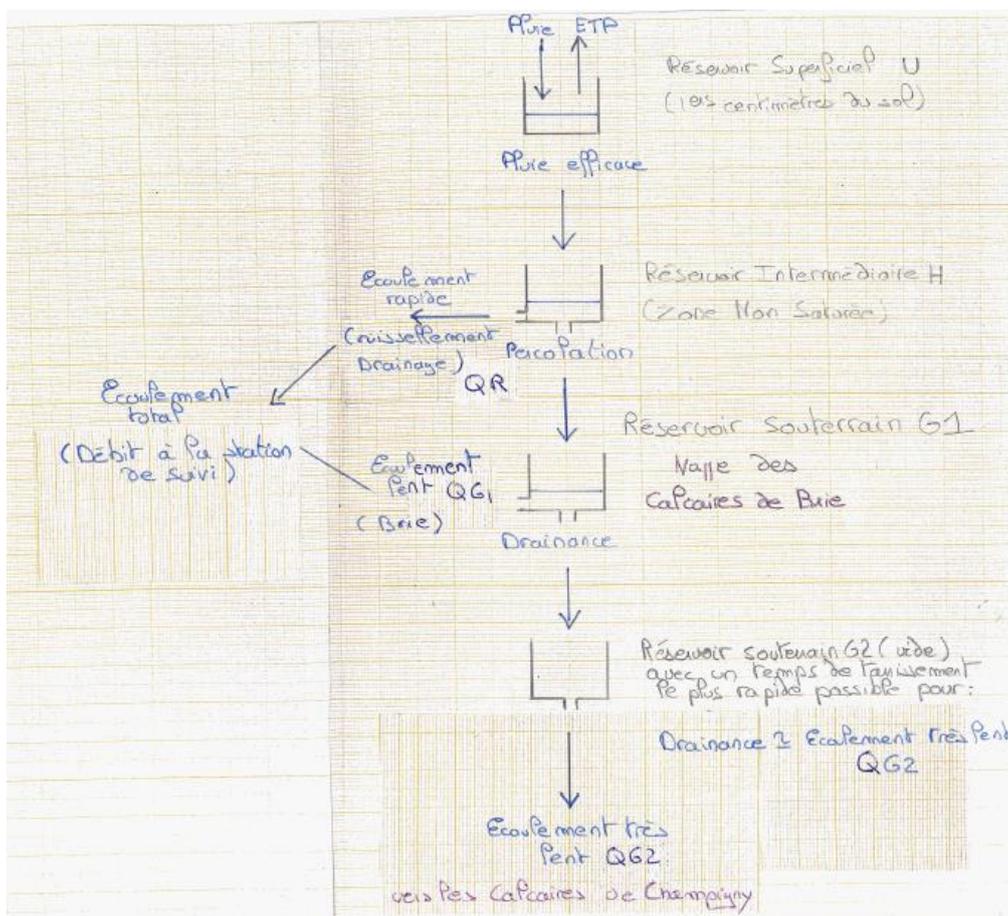


Figure 67 : Schéma simplifié du modèle hydrologique GARDENIA pour la simulation des débits des stations de suivis

III.2 Calage du modèle

III.2.1 Les données d'entrée

Pour caler les modélisations, on a utilisé des données journalières de pluies, ETP et de débits. Afin d'initier l'état de remplissage des réservoirs pour notre période d'étude, nous avons pris les chroniques de pluies et d'ETP qui étaient les plus longues possibles (allant jusqu'à 1980 pour certaines stations). Les données d'ETP proviennent des stations Météo-France de Melun et de Nangis²¹. Par ailleurs pour les cours d'eau qui sont alimentés par des STEP sur leur bassin versant, nous avons déduit du débit observé à la station, un rejet d'épuration moyen (voir Annexe II page 51 à 62).

III.2.2 Les paramètres de calage

Dans ce modèle, le calage se fait à partir d'un jeu de plusieurs paramètres listés dans le **Tableau 8**. Pour l'étude, on a choisi d'utiliser à la place de la capacité de rétention maximale d'eau du sol, une **capacité de rétention progressive de l'eau du sol**. Ce paramètre permet de mieux tenir compte des variations d'ETP par rapport à l'humidité du sol au cours de l'année. On obtient ainsi de meilleures représentations des écoulements avec ce paramètre notamment lors des périodes d'étiage estivales ou automnales. Cette capacité de rétention progressive d'eau dans le sol est différente des réserves utiles calculées à la parcelle, car elle va moyenniser des territoires variés compris sur le bassin versant (terres agricoles, forêt et zones urbanisées). Néanmoins, nous avons veillé à ce que les valeurs calées, respectent les gammes de réserve utile potentielle des sols de Seine-et-Marne (Vauthier, 2011).

²¹ ETP est calculée par Météo-France à partir de la formule de Penman-Monteith.

On a également choisi de ne pas utiliser les coefficients correcteurs de Pluie et d'ETP. On considère que les données d'ETP et de pluie sont représentatives du bassin afin de ne pas rajouter d'incertitudes supplémentaires pour le calcul du bilan hydrogéologique. Pour les données d'ETP, nous aurions pu appliquer un coefficient cultural propre à la culture prédominante sur le bassin versant (si celui-ci n'est pas trop petit car sinon la rotation des cultures peut modifier chaque année la culture dominante). Cependant ce coefficient varie suivant le stade végétatif de la culture (par exemple pour le blé tendre d'hiver, entre les stades végétatifs les plus longs allant du tallage à l'épiaison, ce coefficient varie entre 0.9 et 1.1) et l'ETP déduite n'est pas forcément représentative de celles des autres cultures sur le bassin ni de celle émises par les autres milieux (forêts, zones urbaines).

Pour le calage des deux sources, nous sommes partis de l'hypothèse qu'elles étaient uniquement alimentées par la nappe de Brie et qu'il n'y avait pas de ruissellement sur l'aire d'alimentation. Pour cela nous avons donc rentré la valeur 9999 pour le paramètre « Hauteur de répartition entre ruissellement/percolation » comme le montre le détail des paramètres calés en Annexe III.3 page 66.

Enfin nous n'avons pas utilisé le paramètre « débit échangé ou débit de fuite avec l'extérieur ». Dans les premières simulations réalisées, on avait utilisé ce paramètre dans un modèle à 3 réservoirs dont un seul réservoir souterrain correspondant à la nappe des calcaires de Brie. Mais comme le modèle considère que ce débit de fuite est constant au cours du temps, les simulations représentaient des assècs lors des périodes d'étiage. **Cela montre que la drainage des calcaires de Brie vers le Champigny est variable au cours de l'année.** Au final après plusieurs essais de schémas et de simulations, on a retenu un modèle à 4 réservoirs dont 2 réservoirs souterrains avec une perte du débit sortant du dernier réservoir souterrain dont le schéma est présenté en Figure 67. Ce schéma permet de réaliser des simulations avec une drainage variable au cours de l'année et qui n'entraîne pas d'assècs sur le cours d'eau en étiage.

Paramètres	Unité	Définition
Superficie	km ²	Superficie du bassin versant du cours d'eau ou de l'Aire d'Alimentation de la source
Débit d'échange ou débit de fuite	en m ³ /s	Débit d'échange avec d'autres systèmes hydrologiques extérieurs
Coefficient de correction des pluies	%	Coefficient correcteur global des valeurs de pluies
Coefficient de correction de l'ETP	%	Coefficient correcteur global des valeurs d'ETP
Capacité de rétention max du sol	mm	Réserve disponible pour l'évapotranspiration
Capacité de la réserve superficielle Progressive	mm	Alternative à la capacité de rétention maximale. Elle permet de rendre compte des variations d'ETP par rapport à l'humidité du sol. Volume d'eau disponible pour l'évapotranspiration.
Hauteur de répartition Ruissellement-Percolation	mm	Hauteur dans le réservoir H pour laquelle il y a une répartition égale entre écoulement rapide et percolation
Temps de 1/2 montée (temps de 1/2 Percolation)	mois	Temps de demi-montée ou temps de demi-percolation dans le réservoir G1
Temps de 1/2 tarissement Souterrain 1	mois	Temps de demi-tarissement rapide du réservoir G1
Tps 1/2 transfert Brie Champigny	mois	Temps de demi-transfert du réservoir G1 vers le réservoir G2
Tps 1/2 Tarissement Souterrain 2	mois	Temps de demi-tarissement du réservoir G2. Pour notre étude il sera égal à 0.003 mois (valeur la plus petite possible pour le modèle)

Tableau 8 : Paramètres du modèle GARDENIA

III.2.3 La méthode de calage

La méthode retenue est un **calage manuel** en faisant varier les paramètres de manière à :

- **D'une part, simuler au mieux les débits par rapport aux débits observés.**
- **D'autre part, simuler de façon cohérente hydrogéologiquement, la décomposition entre les écoulements rapides (ruissellement/drainage) et les écoulements lents (calcaires de Brie).**

Le calage se fait donc par une évaluation visuelle des débits simulés, en faisant en sorte toutefois que le coefficient d'ajustement de la simulation (correspondant à la racine carrée du critère de Nash et Sutcliffe) soit supérieur à 0.7 et avec un critère de Nash et Sutcliffe (Nash(Q)) supérieur à 0.5. Ce dernier critère mesure la part de la variance des débits expliqués grâce au modèle. Il peut varier de $-\infty$ à 1. La valeur optimale est 1, une valeur du coefficient supérieure à 0.7 est généralement considérée comme satisfaisante et une valeur du critère supérieure à 0.5 est considérée comme acceptable.

III.3 Détails des paramètres calés sur GARDENIA pour les différentes stations

	Barbançonne à Grisy-Suisnes	Bobée à Vaux-le-Vicomte	Avon à Aubepierre	Source Pecqueux à Aubepierre	Source Jouvence à Vaux-le-Vicomte
BV ou AA en km²	15.62	39.5	27	0.823	2.39
R	0.71	0.8186	0.756	0.7551	0.7079
Qfuites moy en l/s	17.63	62.8	29.5	0.62	1.17
Qfuites en l/s/km²	1.13	1.59	1.09	0.75	0.49
Capacité de la réserve superficielle Progressive	190	150	145	145	120
Hauteur de répartition Ruissellement-Percolation	14	70	12	9999	9999
Temps de 1/2 montée (temps de 1/2 Percolation)	0.3	0.3	0.3	5	2.4
Temps de 1/2 tarissement Souterrain 1	0.7	0.7	0.7	0.05	0.05
Tps 1/2 transfert Brie Champigny	1.105	1	1.6	0.45	0.49
Tps 1/2 Tarissement Souterrain 2	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
	Yerres à Courtomer		Ancoeur à Blandy-les-Tours		
Période	août 2010 à mai 2013	janvier 2000 à mai 2013	août 2010 à mai 2013	janvier 2000 à mai 2013	
BV ou AA en km²	429	429	188	188	
R	0.7964	0.8127	0.789	0.801	
Qfuites moy en l/s	1318	1361	672	673	
Qfuites en l/s/km²	3.07	3.17	3.57	3.58	
Capacité de la réserve superficielle Progressive	145	145	170	170	
Hauteur de répartition Ruissellement-Percolation	18	18	20	20	
Temps de 1/2 montée (temps de 1/2 Percolation)	0.3	0.3	0.3	0.3	
Temps de 1/2 tarissement Souterrain 1	0.7	0.7	0.7	0.7	
Tps 1/2 transfert Brie Champigny	0.225	0.225	0.08	0.08	
Tps 1/2 Tarissement Souterrain 2	0.003	0.003	0.003	0.003	

III.4 Les points forts et faibles des simulations

Simulation du débit par GARDENIA sur le ru de la Barbançonne entre août 2010 et mai 2013	
Points forts	Points faibles
Décrue (janvier à février 2011) et tarissement des crues hivernales (février à fin avril 2011) assez bien représentés	Etiage août à fin novembre 2010 surestimé
Etiage mai à début décembre 2011 bien simulé	Débites de pointe des pics de crues hivernales (décembre 2010, et janvier 2011) largement surestimés
Hausse progressive du débit de la mi-octobre à la fin décembre 2012 (début de la crue hivernale) bien représentée.	Débit de base de la crue hivernale de la mi-décembre 2011 au début du mois de mars 2012 surestimée, ainsi que celui des crues printanières et estivales 2012
Débit de base de la crue hivernale de octobre 2012 à mai 2013 bien simulé	Débit de pointe des pics de crues printanières et estivales sous-estimés en 2011 et 2012 et le temps de tarissement de la crue estivale trop long
Décrue de février à mai 2013 bien représentée	Pics de crues hivernales de fin janvier à la mi-avril 2013 largement sous-estimés

Tableau 9 : Points forts et points faibles de la simulation du débit de la Barbançonne à Grisy-Suisnes par le modèle GARDENIA

Simulation du débit par GARDENIA sur le ru de Bobée entre août 2010 et mai 2013	
Points forts	Points faibles
Etiage fin mai à mi-décembre 2011 bien simulé	Etiages août à mi-décembre 2010 et de fin mai à mi-décembre 2011 surestimés
Débites de pointe des crues juillet 2011 et 2012 assez bien représentés	Débit de base de la crue hivernale (décembre 2010 à février 2011) surestimé
Démarrage de la crue hivernale de mi-octobre 2012 à début janvier 2013 bien simulé	Débites de base des crues hivernale, printanière et estivale de 2012 surestimés
Débit de base de la crue hivernale d'octobre 2012 à mai 2013 bien simulé	Temps de tarissement des crues estivales de juillet 2011 et 2012 trop long
Décrue de février à mai 2013 assez bien représentée	Débites de pointe des pics de crue hivernale de décembre 2012 et janvier-février 2013 sous-estimés

Tableau 10 : Points forts et points faibles de la simulation du débit du ru Bobée à Moisenay par le modèle GARDENIA

Simulation du débit par GARDENIA sur la source Jouvence entre août 2010 et mai 2013	
Points forts	Points faibles
Cycles hautes et basses eaux synchrones	Démarrage novembre 2010 à mi-janvier 2011 de la crue hivernale trop précoce
Débit d'étiage août à fin octobre 2010 bien simulé	Crue hivernale de novembre 2010 à avril 2011 surestimée
Démarrage de la crue hivernale de décembre 2011 à début janvier 2012 bien simulé	Etiages de juin à décembre 2011 et de fin août à novembre 2012 sous-estimés
Décrue de mars à mai 2013 bien simulée	Crue de décembre 2012 à février 2013 sous-estimée

Tableau 11 : Points forts et points faibles de la simulation du débit de la source Jouvence à Moisenay par le modèle GARDENIA

Simulation du débit par GARDENIA sur le ru d'Avon entre août 2010 et mai 2013	
Points forts	Points faibles
Décrue de janvier à février 2011 bien représentée	Etiage août à novembre 2010 surestimé
Tarissement de mars à mai 2011 bien simulé	Débit de pointe des pics de crues hivernales décembre 2010 et janvier 2011 largement sous-estimés
Etiage de mai à décembre 2011 bien simulé	Crue hivernale décembre 2011 à mars 2012 surestimée
Démarrage de la crue hivernale d'octobre à décembre 2012 assez bien représenté	Pics de crues printanières et estivales 2012 surestimés
Débit de base de la crue hivernale d'octobre 2012 à mai 2013 bien simulé	Temps de tarissement de la crue estivale 2012 trop long
Décrue de février à mai 2013 assez bien représentée	Débit de pointe des pics de crue hivernale décembre 2012 et janvier-février 2013 largement sous-estimés

Tableau 12 : Points forts et points faibles de la simulation du débit du ru d'Avon à Aubepierre par le modèle GARDENIA

Simulation du débit par GARDENIA sur la source Pecqueux entre août 2010 et mai 2013	
Points forts	Points faibles
Cycles hautes et basses eaux synchrones	Tarissement de la crue hivernale 2010-2011 trop long, pas d'étiage entre juillet et décembre 2011, le débit est sous-estimé
Etiage août à novembre 2010 assez bien estimé	Crue hivernale de décembre 2011 à mars 2012 légèrement sous-estimé
Démarrage de la crue hivernale de décembre 2011 à mi-janvier 2012 assez bien représenté	Tarissement de la crue estival 2012 trop long
Débit de base de la crue de décembre 2010 à juin 2011 bien simulé	Pics de crue de décembre 2012 à février 2013 sous-estimée
Débit de base de la crue de décembre 2012 à mai 2013 assez bien représenté	Décrue de février à juillet 2011 surestimée

Tableau 13 : Points forts et points faibles de la simulation du débit de la source Pecqueux à Aubepierre par le modèle GARDENIA

Simulation du débit par GARDENIA sur l'Yerres entre août 2010 et mai 2013	
Points forts	Points faibles
Décrue de janvier à février 2011 bien représentée	Etiage août à novembre 2010 surestimé
Tarissement de mars à mai 2011 assez bien simulé	Débites de pointe des pics de crue hivernale de décembre 2010 et janvier 2011 largement sous-estimés
Etiage de mai à décembre 2011 assez bien simulé	Débit de base de la crue hivernale décembre 2011 à mars 2012 légèrement surestimée
Pic de crue de janvier 2012 bien représenté	Débit de base des crues printanières et estivales 2012 surestimés
Débit de base et pics de crue hivernale d'octobre 2012 à mai 2013 assez bien simulé	Temps de tarissement de la crue estivale 2012 un peu trop long
Décrue de février à mai 2013 assez bien représentée	Débites de pointe des pics de crue hivernale d'octobre et décembre 2012, mars 2013 sous-estimés et ceux de janvier et février 2013 largement sous-estimés

Tableau 14 : Points forts et points faibles de la simulation du débit de l'Yerres à Courtomer par le modèle GARDENIA

Simulation du débit par GARDENIA sur l'Ancoeur entre août 2010 et mai 2013	
Points forts	Points faibles
Pics de crue hivernale de décembre 2010 à janvier 2011 bien simulés	Etiage août à novembre 2010 surestimé
Décrue de janvier à février 2011 bien représentée	Démarrage précoce de la crue hivernale dès novembre 2010
Tarissement de mars à mai 2011 bien simulé	Débit de pointe du pic de crue de décembre 2011 légèrement sous-estimé
Etiage de mai à décembre 2011 assez bien simulé	Crues hivernale 2011-2012, printanières et estivales 2012 surestimées
Débit de pointe du pic de crue de janvier 2012 assez bien représenté	Temps de tarissement un peu trop long de la crue estivale 2012
Débit de base de la crue hivernale de décembre 2012 à mai 2013 assez bien représenté	Démarrage précoce de la crue hivernale d'octobre à décembre 2012
Pics de crue hivernale de décembre 2012 et avril 2013 bien simulés	Débit de pointe du pic de crue d'octobre 2012 sous-estimé
Décrue de février à mai 2013 bien représentée	Débites de pointe des pics de crue hivernale de février et mars 2013 largement sous-estimés

Tableau 15 : Points forts et points faibles de la simulation du débit de l'Ancoeur à Blandy-les-Tours par le modèle GARDENIA

IV Le modèle hydrologique GR4j

IV.1 Description du modèle

Le modèle GR4J pour modèle du Génie Rural à 4 paramètres Journaliers (Perrin et al. 2003) est un modèle hydrologique global qui simule le cycle de l'eau, depuis les précipitations sur un bassin versant jusqu'au débit à l'exutoire. Comme pour GARDENIA, ce modèle comprend 2 données d'entrée : la pluie et l'évapotranspiration et un point de calcul unique en sortie, qui sera le débit au niveau de nos stations de suivi.

Le modèle (Figure 68) s'articule de la façon suivante :

- **L'interaction pluie-évaporation** : Il y a une neutralisation de la pluie P d'entrée par l'évaporation E d'entrée permettant de calculer une pluie nette P_n et une évaporation nette E_n .

- **Le réservoir sol** : caractérisé par sa capacité A (en mm) est alimenté par une partie P_s de la pluie nette P_n et sa seule sortie est l'évapotranspiration E_s . Il constitue les premiers centimètres du sol soumis à l'évapotranspiration. Ce réservoir est en quelque sorte l'équivalent du réservoir superficiel U du modèle GARDENIA. Il correspond à l'échelle du bassin, à une réserve globale d'un volume maximal d'eau disponible pour la reprise par évaporation.

- **L'hydrogramme unitaire** : le transfert de la partie de la pluie restante P_r de la pluie nette P_n , se fait par l'intermédiaire de deux hydrogrammes unitaires dépendant du paramètre C (en jours) :

- Une partie correspondant à 90% de la pluie P_r passe par l'hydrogramme unitaire $HU1$ et est ensuite introduite dans le réservoir eau-gravitaire.
- La partie restante (correspondant à 10% de la pluie P_r) passe par le second hydrogramme $HU2$ et l'écoulement déduit Q_p est l'écoulement le plus rapide.

- **Le réservoir eau-gravitaire** : il reçoit la pluie provenant de l'hydrogramme $HU1$ puis se vidange graduellement selon un paramètre B appelé « capacité maximale du réservoir ». Un échange d'eau souterrain est enfin calculé, selon un coefficient d'échange en eau T (en mm), positif dans le cas d'apport ou négatif dans le cas de perte, vers des nappes profondes, ou nul. Le débit résultant de ce réservoir correspond à l'écoulement le plus lent Q_r .

- Par ailleurs, l'écoulement le plus rapide Q_p provenant de l'hydrogramme $HU2$ est soumis au même échange souterrain que la composante lente Q_r .

- Enfin, la somme de l'écoulement rapide et de l'écoulement lent donne le débit total Q simulé.

Pour notre étude cette distinction entre l'écoulement le plus rapide et l'écoulement le plus lent ne peut pas correspondre à la séparation entre le ruissellement/drainage et l'alimentation par les calcaires de Brie. Ce modèle ne permet pas de caler séparément chaque composante de l'écoulement comme cela est possible avec GARDENIA mais il permet cependant de calculer un échange souterrain avec l'extérieur qui va varier au cours de l'année et qui correspond s'il est négatif à des pertes vers des horizons profonds. **Nous avons considéré dans les hypothèses de départ à la modélisation (voir B.III.1 page 36) qu'il n'y avait pas d'écoulement de nappe vers l'extérieur des bassins versants des cours d'eau mais seulement de la drainance verticale vers la nappe profonde de Champigny. Ainsi si des pertes sont calculées par le modèle, cela correspondra dans notre cas à de l'infiltration vers l'aquifère des calcaires de Champigny.** On utilisera donc seulement ce modèle pour comparer les simulations ainsi que les valeurs de drainance estimées par rapport à celles obtenues avec le modèle GARDENIA.

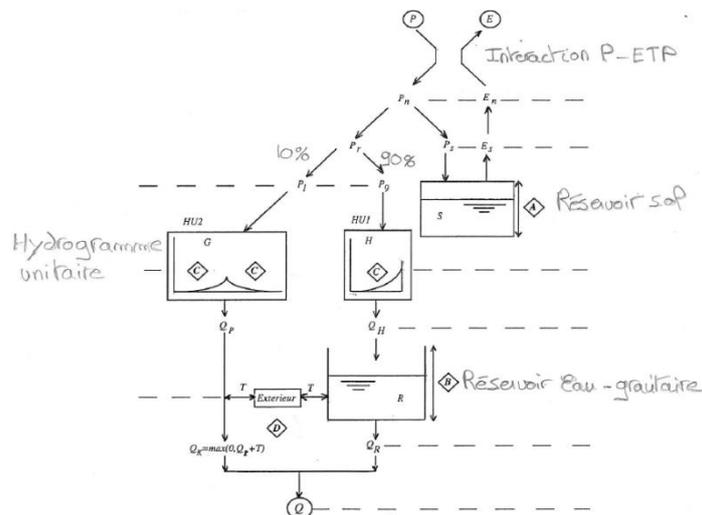


Figure 68 : Schéma du modèle hydrologique GR4j (schéma extrait de la thèse de Makhouf en 1994 et sur lequel nous avons ajouté au crayon des notifications afin de faciliter la compréhension du modèle)

IV.3 Calage du modèle

IV.3.1 Les données d'entrée

Ce modèle fonctionnant à l'échelle journalière, on a utilisé comme données d'entrée, des chroniques journalières de pluies et d'ETP. Comme pour le modèle GARDENIA, on a pris des chroniques les plus longues possibles, de manière à initialiser le modèle par rapport à la période de calage (août 2010-mai 2013). Par ailleurs pour les cours d'eau qui sont alimentés par des STEP sur leur bassin versant, nous avons déduit du débit observé à la station, un rejet d'épuration moyen (voir Annexe II page 51 à 62).

IV.3.2 Les paramètres de calage

Les différents paramètres à caler sont décrits dans le Tableau 16. Comme le réservoir sol du modèle GR4j est en quelque sorte l'équivalent du réservoir superficiel U du modèle GARDENIA (car ils représentent chacun les premiers centimètres du sol soumis à l'évapotranspiration), on a utilisé pour caler la capacité du réservoir superficiel, la même valeur que celle calée dans GARDENIA.

Paramètres	Unité	Définition
Superficie	km ²	Superficie du bassin versant du cours d'eau ou de l'Aire d'Alimentation de la source
Capacité de la Réserve Superficielle [A]	mm	Volume d'eau maximal du sol disponible pour la reprise par évapotranspiration
Capacité du Réservoir d'Eau Gravitaire [B]	mm	Volume d'eau maximal du réservoir d'eau gravitaire.
Temps de Décroissance des Hydrogrammes [C]	jour	Temps de base de l'hydrogramme unitaire
Échanges externe -> Réservoir gravitaire [D]	mm	Coefficient d'échange en eau vers l'extérieur

Tableau 16 : Paramètres du modèle GR4j

IV.3.1 La méthode de calage

Contrairement au modèle GARDENIA, ce modèle ne permet pas de caler séparément les différentes composantes de l'écoulement (rapides et lentes). Nous avons donc calé manuellement les paramètres de façon à **simuler au mieux les débits par rapport aux débits observés**. Le calage se fait donc par une évaluation visuelle des débits simulés, en faisant en sorte toutefois que le coefficient d'ajustement de la simulation (correspondant à la racine carrée du critère de Nash et Sutcliffe), soit supérieur à 0.7 et avec un critère de Nash et Sutcliffe (Nash(Q)) supérieur à 0.5. Ce dernier critère mesure la part de la variance des débits expliqués grâce au modèle. Il peut varier de $-\infty$ à 1. La valeur optimale est 1, une valeur du coefficient supérieure à 0,7 est généralement considérée comme satisfaisante et une valeur du critère supérieure à 0.5 est considérée comme acceptable.

IV.4 Détails des paramètres calés sur GR4j pour les différentes stations

	Barbançonne à Grisy-Suisnes	Bobée à Vaux-le-Vicomte	Avon à Aubepierre	Source Pecqueux à Aubepierre	Source Jouvence à Vaux-le-Vicomte
BV en km ²	15.62	39.5	27	0.823	2.39
R	0.715	0.8425	0.7953	0.7508	0.7076
Capacité de la Réserve Superficielle [A] (mm)	190	150	145	145	120
Capacité du Réservoir d'Eau Gravitaire [B] (mm)	55	98	72	2500	900
Temps de Décroissance des Hydrogrammes [C] (jour)	1.5	2.15	1.9	12	14
Coefficient de ruissellement (défaut: 10%)	-1.1	-3.6	10	10	10
Échanges externe -> Réservoir gravitaire [D] (mm)	10	10	-1.3	-7	-1.85
Echange souterrain (l/s)	14.8	68.4	33.9	0.61	0.88
Echange souterrain (l/s/km ²)	0.95	1.73	1.26	0.74	0.37
	Yerres à Courtomer		Ancoeur à Blandy-les-Tours		
Période	août 2010 à mai 2013	janvier 2000 à mai 2013	août 2010 à mai 2013	janvier 2000 à mai 2013	
BV en km ²	429	429	188	188	
R	0.8698	0.906	0.822	0.885	
Capacité de la Réserve Superficielle [A] (mm)	145	145	170	170	
Capacité du Réservoir d'Eau Gravitaire [B] (mm)	35	35	35	35	
Temps de Décroissance des Hydrogrammes [C] (jour)	2.1	2.1	2.1	2.1	
Coefficient de ruissellement (défaut: 10%)	10	10	10	10	
Échanges externe -> Réservoir gravitaire [D] (mm)	-3.2	-3.2	-4.5	-4.5	
Echange souterrain (l/s)	1339	1376	656	661	
Echange souterrain (l/s/km ²)	3.12	3.21	3.49	3.52	

IV.5 Résultats des simulations

IV.5.1 Le ru de la Barbançonne à Grisy-Suisnes

L'évolution du débit simulée par GR4j en Figure 69 est acceptable avec un coefficient d'ajustement de 0.72 (soit un Nash(Q) de 0.51). Entre août 2010 et mai 2013, le débit moyen simulé (51 l/s) est supérieur de 21 % au débit moyen observé (40 l/s). Les points positifs et négatifs de cette simulation sont globalement les mêmes que ceux de la simulation réalisée avec GARDENIA (Tableau 17) avec toutefois une meilleure représentation des crues printanières et estivales 2011 et 2012. Comme GARNENIA, le modèle GR4j arrive à simuler l'ensemble des pics de crue observés mais en sous-estimant l'intensité de certains débits de pointe notamment en été ainsi que lors de pics hivernaux en 2013. Ces modèles n'arrivent pas à simuler l'intensité de ces crues très réactives aux épisodes de pluies (avec un temps de réaction souvent inférieur à la journée voire la demi-journée). **L'infiltration estimée par ce modèle est en moyenne de 0.95 l/s/km² (soit 15 l/s) entre août 2010 et mai 2013.**

Simulation du débit par GR4j sur le ru de la Barbançonne entre août 2010 et mai 2013	
Points forts	Points faibles
Décruce (janvier à février 2011) et tarissement des crues hivernales (février à fin avril 2011) assez bien représentés	Etiage août à fin novembre 2010 surestimé
Etiage mai à début décembre 2011 bien simulé	Débits de pointe des pics de crues hivernales (décembre 2010, et janvier 2011) largement surestimés
Hausse progressive du débit de la mi-octobre à la fin décembre 2012 (début de la crue hivernale) bien représentée.	Débit de base de la crue hivernale de la mi-décembre 2011 au début du mois de mars 2012 surestimée, ainsi que celui des crues printanières et estivales 2012
Débit de base de la crue hivernale de octobre 2012 à mai 2013 bien simulé	Débit de pointe des pics de crues printanières et estivales légèrement sous-estimés en 2011 et 2012 et le temps de tarissement de la crue estivale trop long
Décruce de février à mai 2013 bien représentée	Pics de crues hivernales de fin janvier à la mi-avril 2013 sous-estimés

Tableau 17 : Points forts et points faibles de la simulation du débit de la Barbançonne à Grisy-Suisnes par le modèle GR4j

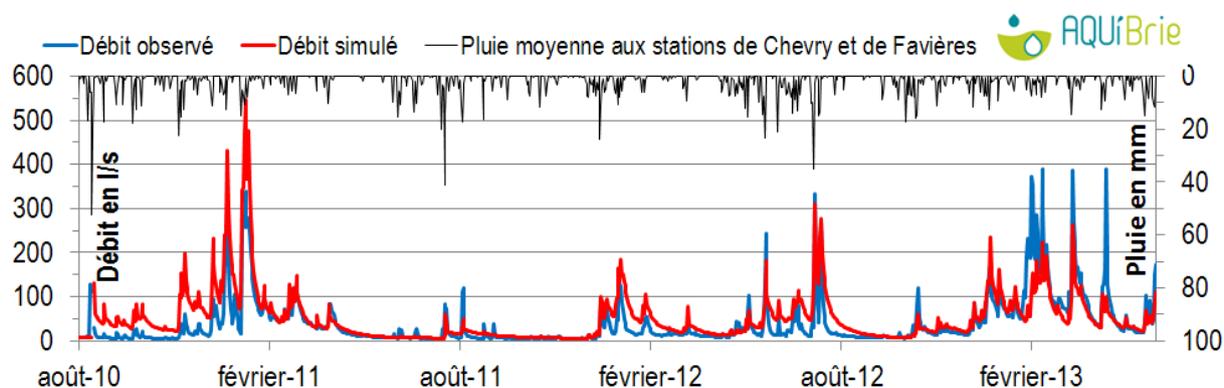


Figure 69 : Comparaison du débit simulé par le modèle GR4j et du débit observé sur la Barbançonne à Grisy-Suisnes entre août 2010 et mai 2013

IV.5.2 Le ru Bobée à Moisenay

La simulation du débit par GR4j en Figure 70 est satisfaisante avec un coefficient d'ajustement de 0.84 (soit un Nash(Q) de 0.7). Lors des 2 premières années de suivi, le débit moyen simulé (87 l/s) représente le double du débit moyen observé. (42 l/s). C'est sur la dernière année de suivi (août 2012 à mai 2013) que le débit est le mieux estimé (11 l/s de moins en moyenne par rapport au débit observé) et la crue hivernale 2012-2013 est bien simulée. Le modèle GR4j, reproduit bien le démarrage et le débit de base de la crue, ainsi que la décrue mais également assez bien les pics de crue (Tableau 18) ce que n'arrive pas à faire le modèle GARDENIA. **La drainage estimée par ce modèle est un peu plus élevée que celle estimée par GARDENIA avec 1.7 l/s/km² entre août 2010 et mai 2013. Sur la dernière année de suivi (août 2012 à mai 2013), la mieux calée, cette infiltration est encore plus importante avec en moyenne de 2.2 l/s/km².**

Simulation du débit par GR4j sur le ru de Bobée entre août 2010 et mai 2013	
Points forts	Points faibles
Décrue de janvier à mars 2011 assez bien simulé	Etiage août à mi-décembre 2010 surestimé
Démarrage de la crue hivernale de mi-octobre 2012 à début janvier 2013 bien simulé	Etiage fin mai à mi-décembre 2011 surestimé
Débit de base de la crue hivernale d'octobre 2012 à mai 2013 bien simulé	Débites de pointe des pics de crues décembre 2010 et janvier 2011 surestimés
Pics de crues décembre 2012, janvier à mars 2013 assez bien représentés	Débites de base des crues hivernale, printanière et estivale de 2012 surestimés
Décrue de février à mai 2013 bien simulée	Débit de pointe des pics de crues estivales 2011 et 2012 surestimées
	Temps de tarissement des crues estivales de juillet 2011 et 2012 trop long

Tableau 18 : Points forts et points faibles de la simulation du débit du ru Bobée à Moisenay par le modèle GR4j

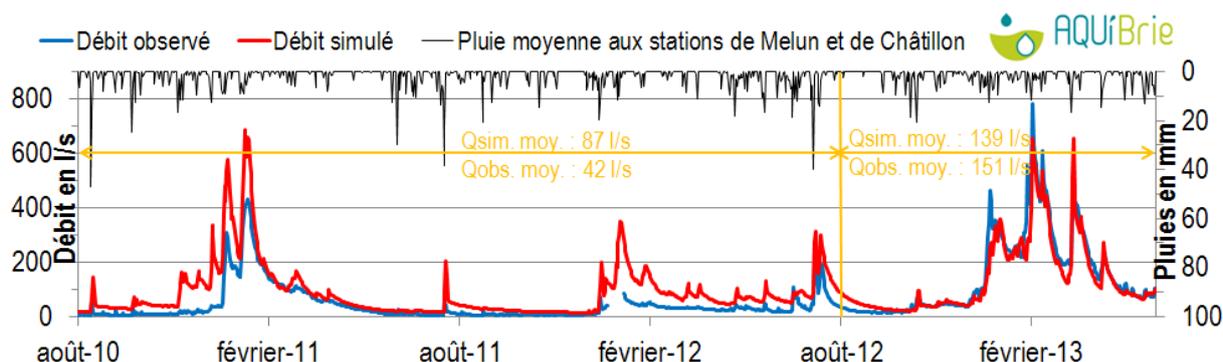


Figure 70 : Comparaison du débit simulé par le modèle GR4j et du débit observé sur le ru Bobée à Moisenay entre août 2010 et mai 2013

IV.5.3 La source Jouvence à Moisenay

L'évolution du débit de la source simulée par GR4j en Figure 71 est acceptable entre août 2010 et mai 2013, proche de celle obtenue avec GARDENIA, avec un coefficient d'ajustement de 0.7 (soit un Nash(Q) de 0.5) et un débit simulé moyen (9.7 l/s) inférieur de 18 % au débit moyen observé (11.4 l/s). Les points positifs et négatifs de cette simulation sont essentiellement les mêmes que ceux de la simulation réalisée avec GARDENIA (Tableau 19). On note que même si nous avons considéré qu'il n'y avait pas d'écoulement rapide, le modèle GR4J en génère par défaut. **L'infiltration déduite par ce modèle est en moyenne de 0.37 l/s/km² entre août 2010 et mai 2013.**

Simulation du débit par GR4j sur la source Jouvence entre août 2010 et mai 2013	
Points forts	Points faibles
Cycles hautes et basses eaux synchrones	Génère automatiquement du ruissellement
Débit d'étiage août à fin octobre 2010 assez bien simulé	Démarrage mi-novembre 2010 à mi-janvier 2011 de la crue hivernale trop précoce
Démarrage de la crue hivernale de décembre 2011 à début janvier 2012 bien simulé	Crue hivernale de novembre 2010 à mars 2011 surestimée
Etiage de juin à décembre 2011 assez bien simulé	Etiage de fin août à novembre 2012 sous-estimé
Décrue de mars à mai 2013 bien simulée	Crue de décembre 2012 à février 2013 sous-estimée

Tableau 19 : Points forts et points faibles de la simulation du débit de la source Jouvence à Moisenay par le modèle GR4j

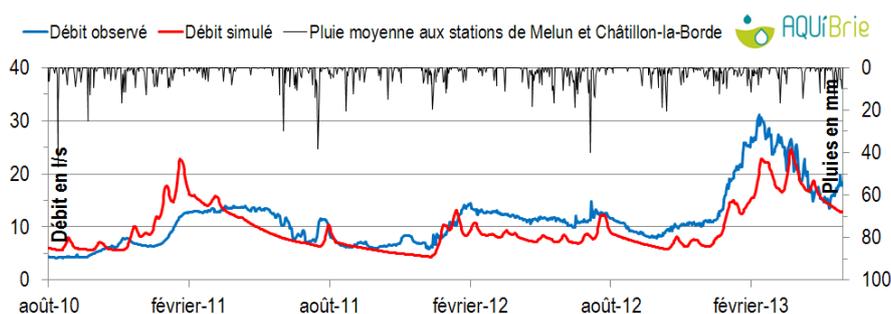


Figure 71 : Comparaison du débit simulé par le modèle GR4j et du débit observé sur la source Jouvence à Moisenay entre août 2010 et mai 2013

IV.5.4 Le ru d'Avon à Aubepierre

La simulation du débit par GR4j en Figure 72 est correcte avec un coefficient d'ajustement de 0.79 (soit un Nash(Q) de 0.63). Entre août 2010 et mai 2013, le débit moyen simulé (129 l/s) est surestimé de 11 % par rapport au débit moyen observé (114 l/s) surtout lors de la seconde année de suivi lors de la crue hivernale 2011-2012 et des crues printanières et estivales de 2012. Sur le reste de la période, le débit est globalement bien simulé comme pour le modèle GARDENIA. Le modèle simule relativement bien la montée progressive du débit et le débit de base de la crue hivernale 2012-2013 ainsi que sa décrue à partir de la mi-mars 2013. En revanche, l'intensité des pics de crues hivernales de 2010-2011 et de janvier-février 2013 sont largement sous-estimées (Tableau 20). **L'infiltration estimée par ce modèle est similaire à celle estimée par GARDENIA avec en moyenne 1.25 l/s/km² entre août 2010 et mai 2013.**

Simulation du débit par GR4j sur le ru d'Avon entre août 2010 et mai 2013	
Points forts	Points faibles
Décrue de janvier à février 2011 bien représentée	Etiage août à novembre 2010 surestimé
Tarissement de mars à mai 2011 assez bien simulé	Débit de pointe des pics de crues hivernales décembre 2010 et janvier 2011 largement sous-estimés
Etiage de mai à décembre 2011 bien simulé	Crue hivernale décembre 2011 à mars 2012 surestimée
Démarrage de la crue hivernale d'octobre à décembre 2012 bien représenté	Pics de crues printanières et estivales 2012 surestimés
Débit de base de la crue hivernale d'octobre 2012 à mai 2013 bien simulé	Temps de tarissement de la crue estivale 2012 trop long
Décrue de février à mai 2013 assez bien représentée	Débit de pointe des pics de crue hivernale décembre 2012 et janvier-février 2013 largement sous-estimés

Tableau 20 : Points forts et points faibles de la simulation du débit du ru d'Avon à Aubepierre par le modèle GR4j

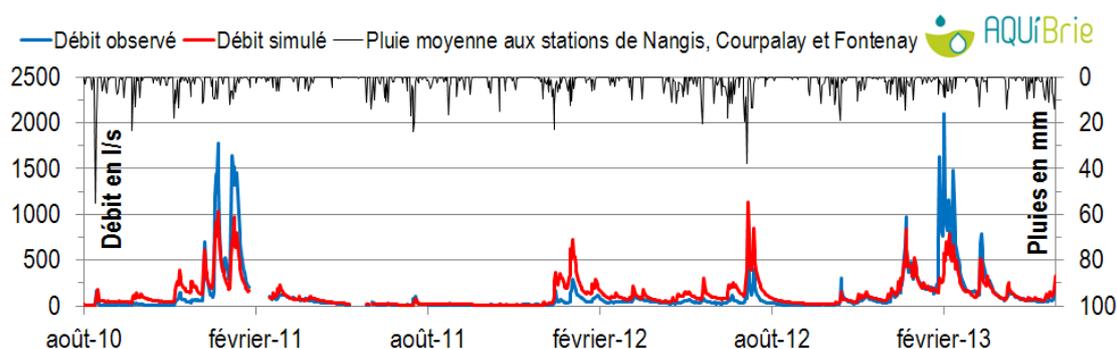


Figure 72 : Comparaison du débit simulé par le modèle GR4j et du débit observé sur le ru d'Avon à Aubepierre entre août 2010 et mai 2013

IV.5.5 La source Pecqueux à Aubepierre

La simulation du débit de la source entre août 2010 et mai 2013 par GR4j en Figure 73 est relativement acceptable avec un coefficient d'ajustement de 0.75 (soit un Nash(Q) de 0.56). Sur la période d'étude, le débit simulé moyen est quasi-similaire au débit observé (4.1 l/s en moyenne). Les points positifs et négatifs de cette simulation sont globalement les mêmes que ceux de la simulation réalisée avec GARDENIA (cf. Tableau 21) avec toutefois une meilleure représentation de la crue hivernale 2012-2013, notamment au niveau des pics de crue. Même si nous avons considéré qu'il n'y avait pas d'écoulement rapide, le modèle GR4J en génère par défaut. **La drainance déduite avec ce modèle est en moyenne de 0.74 l/s/km² entre août 2010 et mai 2013.**

Simulation du débit par GR4j sur la source Pecqueux entre août 2010 et mai 2013	
Points forts	Points faibles
Cycles hautes et basses eaux synchrones	Génère automatiquement du ruissellement
Hausse progressive du débit entre décembre 2011 à mi-janvier assez bien représenté	Etiage août à novembre 2010 sous-estimé
Décrue de février à juillet 2011 bien simulé	Pics de crue décembre 2010 et janvier 2011 surestimés
Débites de pointe des pics de crue hivernale de décembre 2011 à février 2012 assez bien représentés	Etiage août à décembre 2011 sous-estimé
Démarrage de la crue en décembre 2012 bien simulé	Pics de crue estivale de juillet 2012 surestimée
Pics de crue décembre 2012, janvier à mars 2013 globalement bien représentés	Tarissement de la crue estival 2012 trop long
Décrue de février à juillet 2011 bien simulé	Décrue mars à mai 2013 surestimée

Tableau 21 : Points forts et points faibles de la simulation du débit de la source Pecqueux à Aubepierre par le modèle GR4j

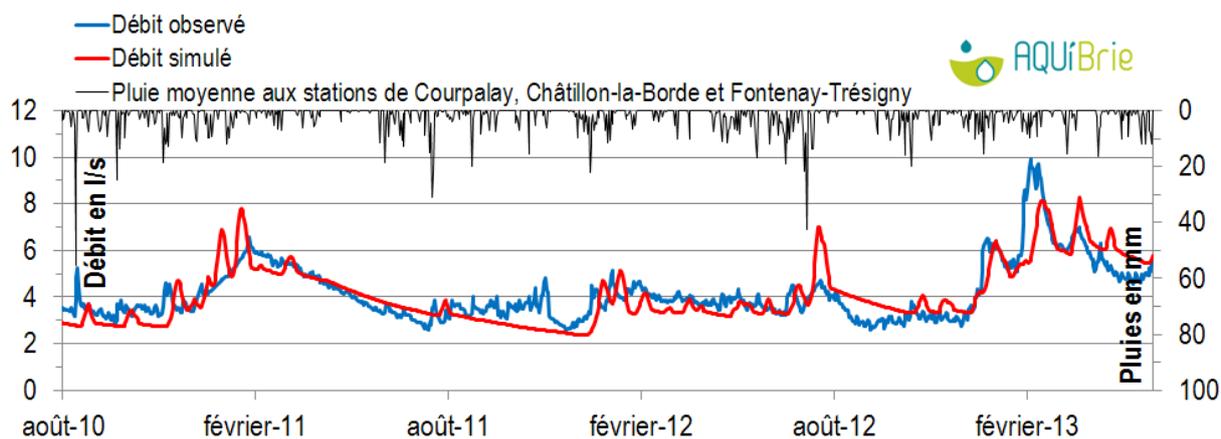


Figure 73 : Comparaison du débit simulé par le modèle GR4j et du débit observé sur la source Pecqueux à Aubepierre entre août 2010 et mai 2013

IV.5.6 L'Yerres à Courtomer

IV.5.6.1 Entre août 2010 et mai 2013

L'évolution du débit simulé par GR4j en Figure 74 est satisfaisante avec un coefficient d'ajustement de 0.87 (soit un Nash(Q) de 0.76). Le débit moyen simulé (1323 l/s) est supérieur de 15 % au débit moyen observé (1122 l/s) surtout sur la seconde année de suivi (d'août 2011 à juillet 2012 avec 603 l/s d'écart) où les débits de base des crues hivernales 2011-2012, printanières et estivales 2012 sont surestimés. En dehors de cette période, les débits de base des étiages et des crues sont assez bien représentés. Comme pour le modèle GARDENIA, le modèle GR4j sous-estime cependant les débits de pointe de certains pics de crues hivernales comme en décembre 2010, janvier 2011 et surtout en février 2013 (Tableau 22). **L'infiltration estimée par ce modèle est en moyenne de 3.1 l/s/km² (soit 1340 l/s) entre août 2010 et mai 2013.**

Simulation du débit par GR4j sur l'Yerres entre août 2010 et mai 2013	
Points forts	Points faibles
Décruce de janvier à février 2011 bien représentée	Etiage août à novembre 2010 surestimé
Tarissement de mars à mai 2011 bien simulé	Débits de pointe des pics de crue hivernale de décembre 2010 et janvier 2011 largement sous-estimés
Etiage de mai à décembre 2011 assez bien simulé	Débit de base de la crue hivernale de décembre 2011 à mars 2012 surestimé
Pic de crue de janvier 2012 bien représenté	Pic de crue de décembre 2011 surestimé
Démarrage de la crue hivernale d'octobre à décembre 2012 assez bien représenté	Débit de base et de pointe des pics des crues printanières et estivales 2012 surestimés
Débit de base et pics de crue hivernale d'octobre 2012 à mai 2013 assez bien simulé	Débits de pointe des pics de crue hivernale d'octobre 2012 et mars 2013 sous-estimés
Décruce de février à mai 2013 assez bien représentée	Débits de pointe des pics de crue hivernale janvier et février 2013 largement sous-estimés

Tableau 22 : Points forts et points faibles de la simulation du débit de l'Yerres à Courtomer par le modèle GR4j

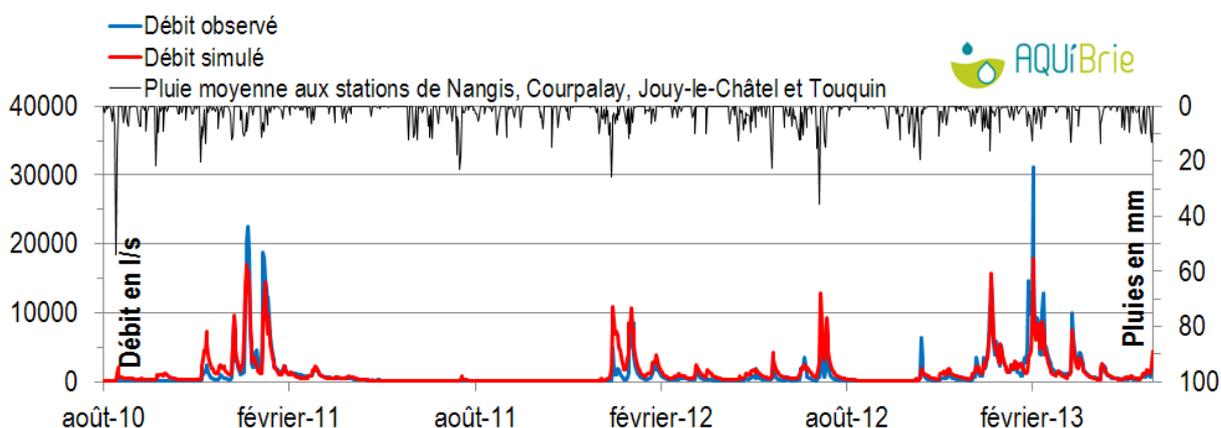


Figure 74 : Comparaison du débit simulé par le modèle GR4j et du débit observé sur l'Yerres à Courtomer entre août 2010 et mai 2013

IV.5.6.2 Entre janvier 2000 et mai 2013

Comme avec le modèle GARDENIA, nous avons également réalisé une simulation sur la période janvier 2000 à mai 2013 en utilisant les paramètres calés sur la période d'août 2010 à mai 2013. La simulation obtenue en Figure 75 est bonne avec un coefficient d'ajustement de 0.91 (soit un Nash(Q) de 0.82), et un débit simulé moyen (1432 l/s) supérieur de 8 % au débit moyen observé (1315 l/s). Ce modèle représente globalement bien les cycles de hautes et basses-eaux de la rivière. Il simule également un peu mieux que le modèle GARDENIA les débits de pointe des pics de crues hivernales notamment ceux d'octobre 2001 à février 2002. **Sur la période janvier 2000 à mai 2013, l'infiltration simulée est en moyenne de 3.2 l/s/km². Entre janvier 2000 et décembre 2002, période où les pluies ont été très abondantes sur le territoire (voir Figure 15 page 30), l'infiltration moyenne estimée est beaucoup plus importante avec 5 l/s/km² (soit près de 2170 l/s).**

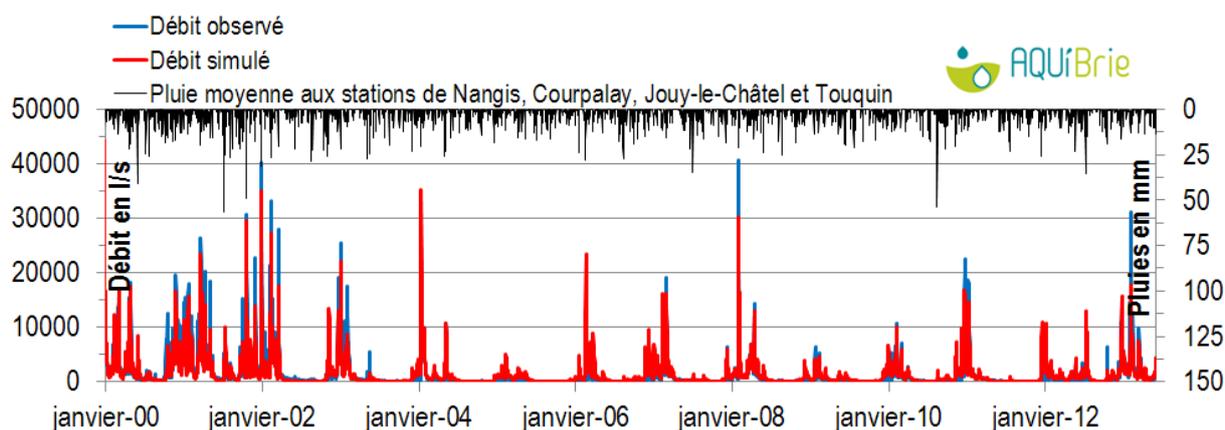


Figure 75 : Comparaison du débit simulé par le modèle GR4j et du débit observé sur l'Yerres à Courtomer entre janvier 2000 et mai 2013

IV.5.7 Sur l'Ancoeur à Blandy-les-Tours

IV.5.7.1 Entre août 2010 et mai 2013

La simulation du débit du ru d'Ancoeur par GR4j en Figure 76 est relativement correcte avec un coefficient d'ajustement de 0.82 (soit un Nash(Q) de 0.68). Entre août 2010 et mai 2013, le débit moyen simulé (424 l/s) est supérieur de 38 % au débit moyen observé (265 l/s) surtout lors de la seconde année de suivi (avec 232 l/s de plus en moyenne) où la crue hivernale 2011-2012 et les crues printanières et estivales 2012 sont surestimées. Les points positifs et négatifs de cette simulation sont quasiment les mêmes que ceux de la simulation réalisée avec GARDENIA (Tableau 23) avec toutefois une meilleure représentation de la crue hivernale 2012-2013, notamment au niveau des pics de crue de février et mars 2013. **L'infiltration estimée est en moyenne de 3.5 l/s/km² entre août 2010 et mai 2013.**

Simulation du débit par GR4j sur l'Ancoeur entre août 2010 et mai 2013	
Points forts	Points faibles
Décru de janvier à février 2011 assez bien représentée	Etiage août à novembre 2010 surestimé
Démarrage de la crue hivernale de décembre 2011 bien simulé	Démarrage précoce de la crue hivernale dès novembre 2010
Débit de pointe du pic de crue de janvier 2011 bien représenté	Pics de crue hivernale de décembre 2010 à janvier 2011 surestimés
Pic de crue de décembre 2011 bien simulé	Tarissement de mars à mai 2011 un peu surestimé
Débit de base de la crue hivernale d'octobre 2012 à mai 2013 assez bien représenté	Débit de pointe du pic de crue de janvier 2012 surestimé
Pics de crue hivernale de décembre et avril 2013 assez bien simulés	Crues hivernale 2011-2012, printanières et estivales 2012 surestimées
Débit de pointe des pic de crue hivernale de décembre 2012 bien estimé	Temps de tarissement de la crue estivale 2012 un peu long
Débit de pointe des pic de crue hivernale de février 2013 bien estimé	Démarrage précoce de la crue hivernale d'octobre à décembre 2012
	Débit de pointe du pic de crue d'octobre 2012 sous-estimé

Tableau 23 : Points forts et points faibles de la simulation du débit de l'Ancoeur à Blandy-les-Tours par le modèle GR4j

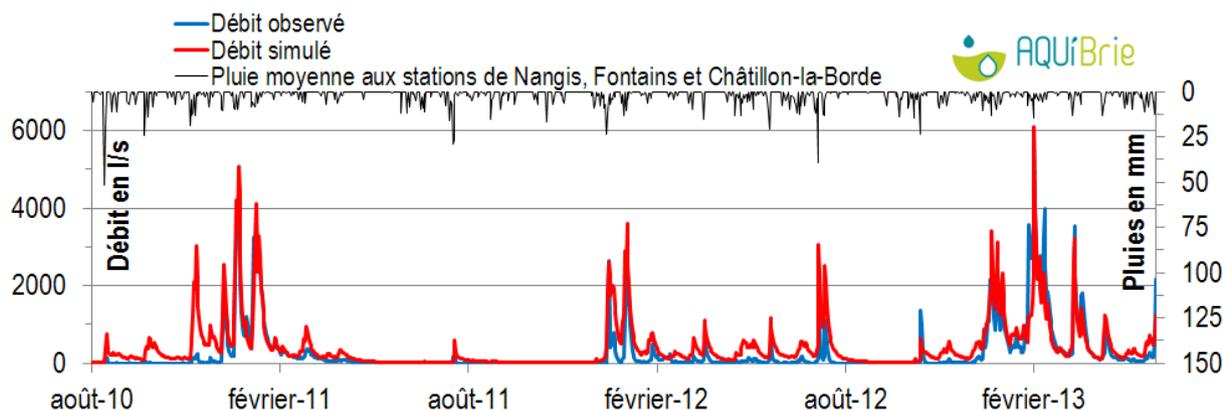


Figure 76 : Comparaison du débit simulé par le modèle GR4j et du débit observé sur l'Ancoeur à Blandy-les-Tours entre août 2010 et mai 2013

IV.5.7.2 Entre janvier 2000 et mai 2013

Nous avons également réalisé une simulation sur la période janvier 2000 à mai 2013 en utilisant les paramètres calés sur la période d'étude d'août 2010 à mai 2013. L'évolution du débit simulé en Figure 77 est satisfaisante avec un coefficient d'ajustement de 0.88 (soit un Nash(Q) de 0.78) et un débit moyen simulé (456 l/s) similaire au débit moyen observé de (450 l/s). Les cycles de hautes et basses-eaux de la rivière sont bien représentés de même que les pics de crues hivernales d'octobre 2000 à mars 2001, ou encore ceux de février et mars 2008. En revanche, les débits de pointe des pics de crues de septembre 2001 à mars 2002 ainsi que la crue de décembre 2002 à janvier 2003 sont sous-estimés comme sur la simulation obtenue avec le modèle GARDENIA. **Entre janvier 2000 et mai 2013, l'infiltration estimée vers le Champigny est en moyenne de 3.5 l/s/km². Sur la période la plus humide, entre janvier 2000 et décembre 2002 (voir Figure 15 page 30), l'infiltration moyenne estimée est beaucoup plus importante avec 5.7 l/s/km².**

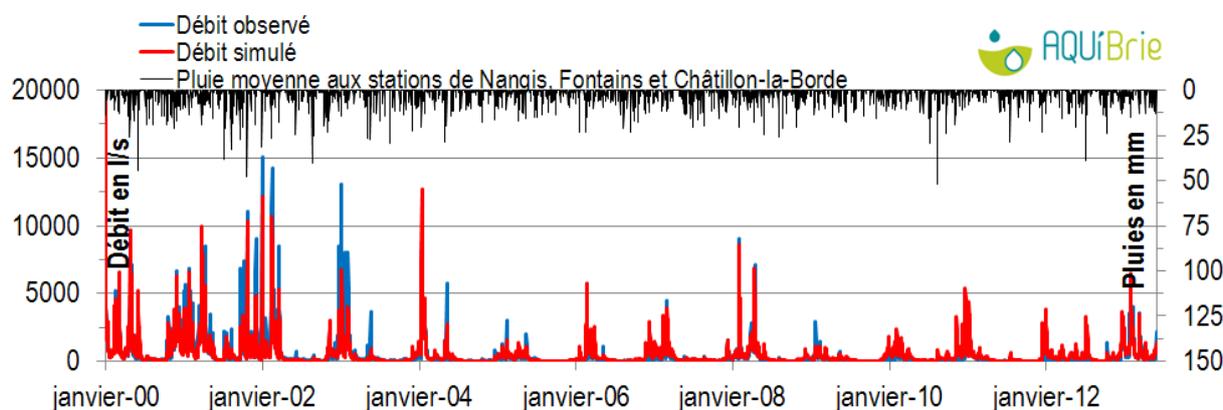


Figure 77 : Comparaison du débit simulé par le modèle GR4j et du débit observé sur l'Ancoeur à Blandy-les-Tours entre janvier 2000 et mai 2013

IV.5.1 Résultats des simulations sur GR4j

Voici en Figure 78 les échanges moyens estimés par GR4j entre les nappes de Brie et de Champigny entre août 2010 et mai 2013 (drainance pour les 5 stations AQUi' Brie, drainance + infiltration pour les 2 stations DRIEE). On voit que ce sont des estimations qui sont dans le même ordre de grandeur que celles estimées par le modèle GARDENIA (voir carte page 46).

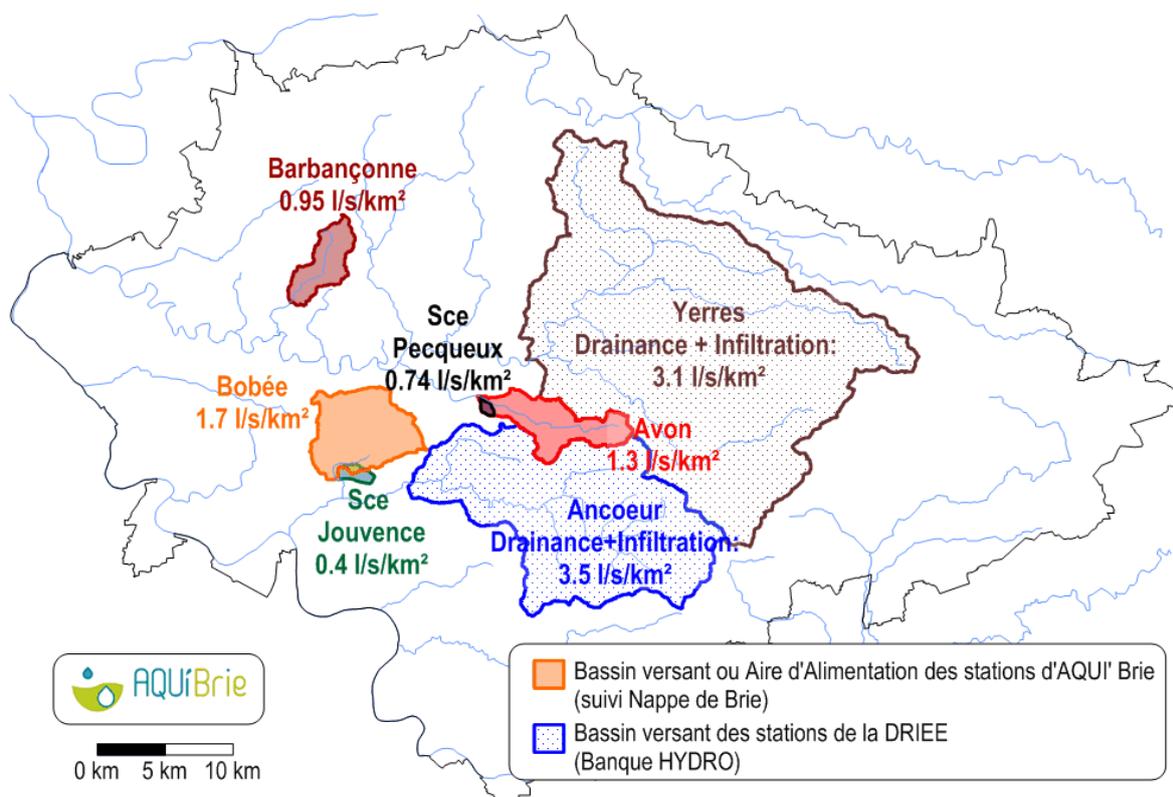


Figure 78 : Bilan de la drainance moyenne entre Brie et Champigny, calculée à partir du modèle hydrologique GR4j sur les bassins versants et aires d'alimentation des 5 stations d'AQUi' Brie entre août 2010 et mai 2013 et bilan de la drainance+infiltration sur les 2 bassins versants des stations de la DRIEE

Sur le bassin versant de la **Barbançonne** au Nord de l'Yverres, la drainance moyenne Brie-Champigny calculée par GR4j est de **0.95 l/s/km²**, une valeur un peu plus faible que celle estimée avec GARDENIA (1.1 l/s/km²). Sur le **ru d'Avon** au Sud de l'Yverres, la drainance moyenne calculée avec GR4j (**1.3 l/s/km²**) est un peu plus élevée que celle simulée par GARDENIA (1.1 l/s/km²), de même que sur le ru Bobée (**1.7 l/s/km²** au lieu de 1.6 l/s/km²).

Pour les 2 sources, où GARDENIA trouvait une drainance faible, GR4j ne simule pas non plus de drainance élevée, estimée à **0.74 l/s/km²** à la source **Pecqueux** (0,75 l/s/km² pour GARDENIA) et **0.4 l/s/km²** à la source **Jouvence** (0,5 l/s/km² pour GARDENIA). Comme avec GARDENIA, on observe avec GR4j, un écart important entre la drainance sur le bassin versant du ru Bobée et sur l'aire de la source Jouvence. Comme déjà expliqué (page 46), nous n'avons pas d'explication à cette différence.

Quant aux bassins versants de l'Yverres à Courtomer et de l'Ancoeur à Blandy, l'infiltration totale vers la nappe de Champigny estimée par GR4j est semblable à celle estimée avec GARDENIA (respectivement 3.1 et 3.5 l/s/km² avec GR4j, et 3,1 et 3,6 l/s/km² avec GARDENIA). Sur ces bassins, les calcaires de Champigny affleurent ou sont proches de la surface (comme le montre la Figure 6 page 19), ce qui facilite l'infiltration des eaux de surface vers la nappe de Champigny.

V Bibliographie

Bellier S., (2013). Modélisation de la contamination nitrique de la nappe des calcaires de Champigny. Application à la protection des captages prioritaires de la fosse de Melun et de la basse vallée de l'Yerres, Thèse de doctorat, MINES Paristech, 325 p.

Ledoux E., (1980) Modélisation intégrée des écoulements de surface et des écoulements souterrains sur un bassin hydrologique. Ph.D. thesis, Ecole des Mines de Paris.

Makhouf Z., (1994). Compléments sur le modèle pluie-débit GR4j et essai d'estimation de ses paramètres. Thèse de Doctorat Université Paris Sud Laboratoire d'hydrologie et de géochimie isotopique Orsay/CEMAGREF (Antony). 426 pages.

Mégnien C., (1979). Hydrogéologie du centre du bassin de Paris : contribution à l'étude de quelques aquifères principaux. Éditions du BRGM : Paris, 532 pages.

Mégnien C., Diffre Ph., Rampon G., (1970). Atlas des nappes aquifères de la région parisienne. BRGM : Paris

Mégnien C., Berger G., Duermael G., Archambault J., Bourguet L., De Reynies., (1976). Alimentation en eau potable des villes nouvelles du Sud-Est de la région parisienne. Débits exploitables dans la nappe des calcaires de Champigny en Brie. Rapport de fin d'étude. R. 192-E.155. 86 pages, 4 annexes.

Perrin C., (2000). Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. Thèse de Doctorat INPG (Grenoble)/CEMAGREF (Antony). 530 pages.

Perrin C., Michel C., Andréassian V., (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. Journal of hydrology 279 (1-4) 275-289.

Thiéry D., (2003). Logiciel GARDENIA, version 6.0. Guide d'utilisation. BRGM/RP-52832-FR, 102 pages, 42 figures, 3 annexes.

Reynaud A., (2009). Modélisation mathématique de la nappe des calcaires de Champigny avec le logiciel Watermodel, avril 2009, rapport AQUI' Brie, 100 pages, 78 figures, 3 tableaux.

Reynaud A., (2009). Détermination du bassin d'alimentation des captages de la fosse de Melun et cartographie de la vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses d'après les recommandations du guide méthodologique du BRGM (RP-55874-FR) – Mise à jour Octobre 2009, rapport AQUI' Brie, 88 pages, 71 figures, 7 tableaux.

Reynaud A., (2009). Détermination du bassin d'alimentation des captages (ou Aire d'Alimentation de Captage) des captages de Périgny et Mandres (Val-de-Marne) et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses conformément aux recommandations du guide méthodologique du BRGM (RP-55874-FR), rapport AQUI' Brie, 70 pages, 58 figures, 9 tableaux.

Reynaud A., (2012). Synthèse des mesures de terrain et des données de la chimie de l'eau 2003-2011, édition 2012, rapport AQUI' Brie, 232 pages, 180 figures.

Vauthier Q., (2011). Estimation des réserves utiles des sols de Seine-et-Marne. Rapport de stage de Master 2 GPRE, Université de Nancy. 54 pages.

Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfliger N., (2007). Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Guide méthodologique, rapport BRGM/RP-55874-FR, 75 pages, 14 illustrations.