HAL
open science

Vers une optimisation de l'exploitation des eaux souterraines du bassin versant crayeux de l'Avre (Somme)

Luc Arnaud, Nadia Amraoui

To cite this version:

Luc Arnaud, Nadia Amraoui. Vers une optimisation de l'exploitation des eaux souterraines du bassin versant crayeux de l'Avre (Somme). 22èmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues. " Hydrogéologie de la craie " Le Havre, mai 2018, Comité Français d'Hydrogéologie, May 2018, Le Havre, France. hal-02614072

HAL Id: hal-02614072

https://brgm.hal.science/hal-02614072

Submitted on 20 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Vers une optimisation de l'exploitation des eaux souterraines du bassin versant crayeux de l'Avre (Somme)

Arnaud L.[1], Amraoui N.[1]
(1) BRGM, Direction Eau, Environnement et Ecotechnologies – Unité Gestion de la Ressource en eau - l.arnaud@brgm.fr, n.amraoui@brgm.fr

MOTS CLES : modélisation hydrodynamique, gestion quantitative, échanges nappe-rivière

RESUME

Depuis plus d'une décennie, le bassin de l'Avre connait des tensions quantitatives sur la ressource en eau liées, d'une part, à une succession d'années sèches avec un faible taux de recharge et, d'autre part, à une forte pression agricole. Afin de mieux gérer cette ressource et tester des solutions d'adaptation, le modèle hydrodynamique du bassin de la Somme, développé par le BRGM suite aux crues de 2001, a été adapté et consolidé pour mieux restituer sur une longue période (1989-2012) l'évolution du niveau de la nappe de la craie en étiage et le débit des cours d'eau qui la drainent. Ce modèle a ensuite été utilisé pour évaluer l'intérêt de reculer / moduler les prélèvements des forages proches de l'Avre et de ses affluents dans le but de restituer du débit aux cours d'eau en période d'étiage.

Les différents scénarios testés montrent qu'un déplacement des forages agricoles situés à moins d'un kilomètre du cours d'eau ou qu'une modulation des prélèvements AEP en fond de vallées peuvent permettre des gains de débit significatifs. L'approche par modélisation spatialisée a, par ailleurs, permis de cibler les secteurs où une action serait à privilégier. En revanche, dans le cas du déplacement des forages agricoles, l'arrêt des pompages à la fin de la campagne d'irrigation est suivi d'une légère dégradation des débits de l'Avre. Le recul des forages s'accompagne, en effet, d'une diminution des flux d'eau souterraine en provenance des plateaux. Une telle alternative pourrait, par conséquent, ne pas s'avérer pertinente lorsque les débits minimums de l'Avre sont observés après la période d'irrigation (années type 2011 et 2012).

En définitive, le travail réalisé apporte aux acteurs locaux un éclairage nouveau sur la gestion quantitative de la ressource en eau du bassin de l'Avre.

CADRE DE L'ÉTUDE

Objectifs

La nappe de la craie constitue la principale ressource en eau du département de la Somme (usages eau potable, agricole et industriel). Cette nappe libre est en relation directe avec le fleuve Somme et ses affluents qui la drainent, dont l'Avre en rive gauche.

L'Avre est l'affluent dont les débits sont les plus impactés par les prélèvements sur les eaux souterraines (Amraoui et al., 2014). On note sur ce cours d'eau un affaissement des débits depuis les années 90. Le QMNA5[1] est ainsi passé de 1,1 m^3/s sur la période 1972-1992 à 0,8 m^3/s sur la période 1992-2012. Le QMNA5 moyen, qui est de 0,96 m^3/s, est donc franchi quasiment une année sur deux sur la période 1990-2010.

C'est pourquoi, il a été demandé au BRGM d'évaluer, par l'intermédiaire du modèle hydrodynamique des basses eaux de la Somme, l'intérêt de reculer / moduler les prélèvements des forages proches de l'Avre et de ses affluents. L'hypothèse ici à vérifier est que le recul des prélèvements hors du lit majeur ou une modulation des prélèvements permettrait de retrouver du débit dans le cours d'eau à l'étiage.

Cette étude a été financée par l'Agence de l'eau Artois Picardie, la Région Hauts-de-France (fonds européens FEDER) et le BRGM.

Les scénarios exploratoires simulés s'intéressent aux forages destinés à l'irrigation, à l'industrie et à l'alimentation en eau potable.

Les besoins d'optimiser l'exploitation de la nappe de la craie sont, par ailleurs, renforcés dans un contexte de changement climatique où la grande majorité des modèles de climat prévoient une intensification des étiages sévères dans les prochaines années.

Éléments de contexte

L'Avre prend sa source dans l'Oise, à Crapeaumesnil, et se jette dans la Somme à Camon. Le cours d'eau de l'Avre est long de 60 km, et traverse à l'amont des terrains tertiaires puis entaille le plateau crayeux du Santerre jusqu'à sa confluence avec la Somme. Les affluents de l'Avre sont, d'amont en aval, les Trois-Doms (18 km), La Brache (5,6 km) et la Noye (26 km) en rive gauche ainsi que la Luce (16 km) en rive droite (Figure 1). Les vallées sèches sont nombreuses et constituent l'élément morphologique dominant (Figure 1).

Le débit annuel moyen de l'Avre à Moreuil, en aval de la confluence avec les Trois Doms et la Brache, est de 2,22 m^3/s (calculé sur une période de 49 ans) tandis que son débit spécifique annuel moyen est de 3,6 $l/s/km^2$ (http://www.hydro.eaufrance.fr/).

Sur ce bassin, la nappe de la craie est principalement exploitée pour des usages eau potable et irrigation, la pression agricole est particulièrement forte dans le Santerre (est du bassin versant, Figure 1).

[1] *Débit mensuel minimal de période de retour 5 ans*

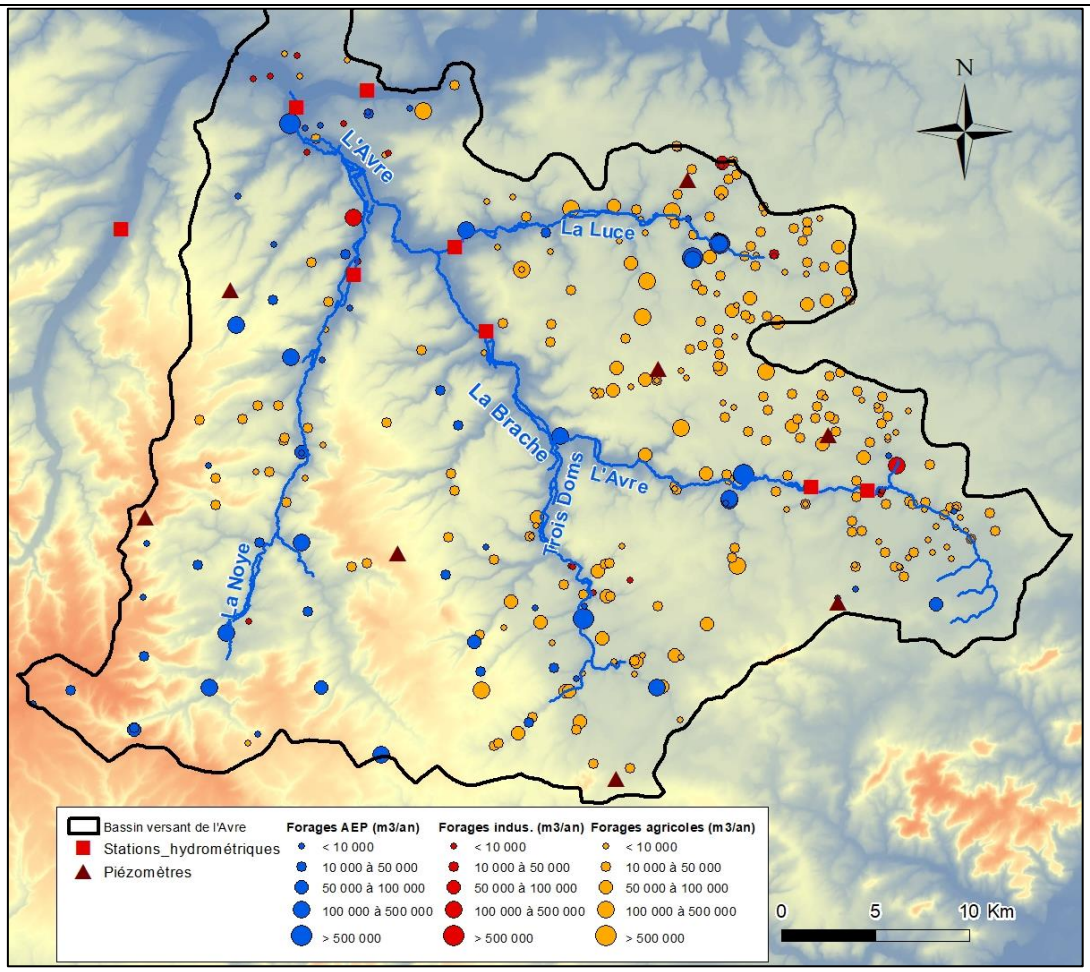

Figure 1 – Bassin versant de l'Avre (département de la Somme) sur fond topographique (IGN)

CONSOLIDATION DU MODÈLE DES BASSES EAUX DE LA SOMME

Le modèle des basses eaux de la Somme a été repris dans le cadre de la présente étude afin de préciser les échanges nappe-rivière au sein du bassin versant de l'Avre. La finalité étant d'améliorer le calage du modèle dans ce secteur, en particulier la retranscription des débits d'étiage de l'Avre et de ses affluents.

Code de calcul

Le modèle de la Somme, initié en 2001 (Amraoui, 2002), a été conçu sous MARTHE (Thiéry, 2015). Ce logiciel est développé au BRGM depuis plus de trente ans. MARTHE permet le calcul des écoulements de fluides et de transfert de masse et d'énergie en milieux poreux tridimensionnels avec une approche en volumes finis (Différences Finies Intégrées), en établissant l'équation d'équilibre des débits entre la maille de calcul et les six mailles. Il permet de prendre en compte de façon explicite les échanges entre un réseau hydrographique et les nappes sous-jacentes.

Dans le cas du bassin de la Somme, la nappe de la craie est modélisée en structure monocouche avec une grille de calcul de 500m x 500m sauf dans la vallée humide de la Somme où la grille de calcul est de 100m x 100m. Le modèle simule les écoulements dans la nappe de la craie, les écoulements dans le réseau hydrographique associé et les interactions entre ces deux systèmes. Le modèle fonctionne avec un pas de temps journalier pour les calculs hydroclimatiques (calcul du ruissellement et de la recharge) et avec un pas de temps hebdomadaire pour les écoulements souterrains.

Caractérisation des échanges nappe-rivière

Dans MARTHE, le réseau hydrographique, qui se superpose au maillage de surface, est composé d'un système arborescent de tronçons de rivières organisés en affluents. Un tronçon constitue en fait une « maille rivière » en relation avec une maille du modèle d'écoulement souterrain.

Dans chaque affluent, les données de rivière sont définies par tronçon. L'arbre de branchement agence les affluents entre eux pour former le réseau hydrographique. Un tronçon est décrit par sa géométrie (longueur, largeur, et altitude du lit), par ses propriétés physiques (épaisseur et perméabilité du lit et des berges), par ses termes sources (pompages ou injections) et par son état (hauteur d'eau dans la rivière).

Selon la position relative de la ligne d'eau dans la rivière et de la surface libre dans l'aquifère, un débit peut être échangé depuis un tronçon de rivière vers l'aquifère, ou réciproquement depuis l'aquifère vers la rivière (Figure 2). Le débit d'échange est contrôlé par le lit et les berges du cours d'eau en fonction de leur surface, épaisseur et perméabilité. Dans le cas du modèle de la Somme, la cote du fil d'eau est constante dans le temps (pas de loi hauteur-débit) en raison de la forte anthropisation du lit du cours d'eau (nombreux seuils et autres ouvrages hydrauliques).

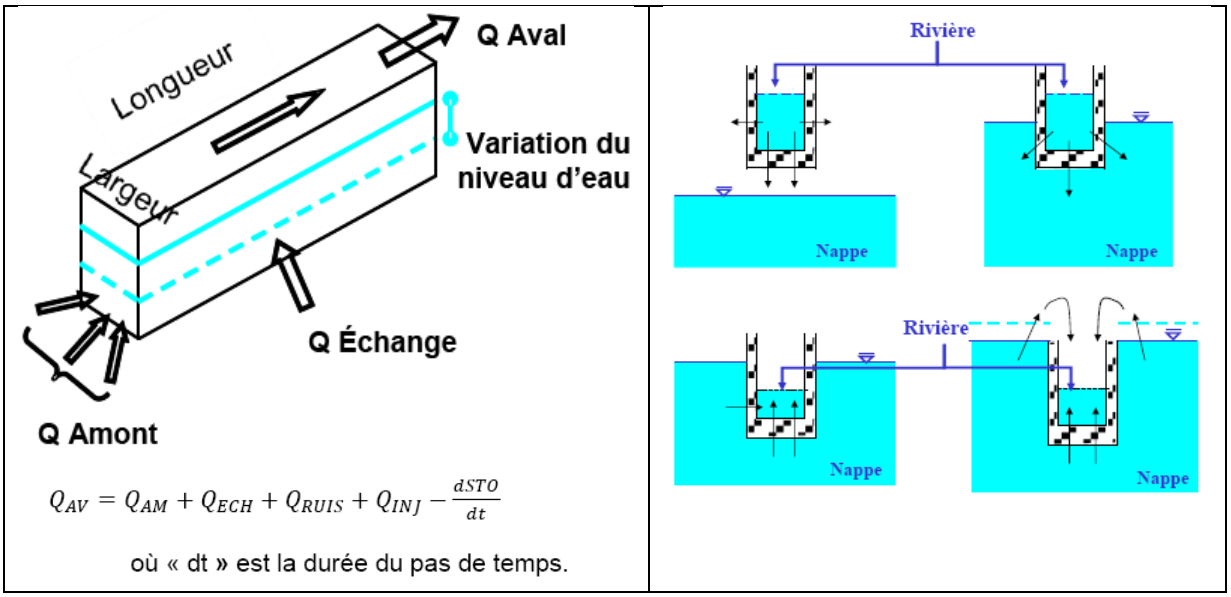

Figure 2 – Bilan des débits dans un tronçon de rivière et différentes configurations d'échange modélisées par MARTHE (Thiéry, 2015)

Afin de mieux caractériser les échanges nappe-rivière, un affinement du maillage dans la vallée humide de l'Avre et de ses principaux affluents a été réalisé à travers l'intégration de quatre maillages « gigognes » sous MARTHE. À l'instar de la vallée de la Somme, les mailles en fond de vallée présentent désormais une dimension de 100m x 100m (contre 500m initialement).

Par ailleurs, dans le but de préciser la géométrie de chaque tronçon de rivière, une campagne de relevés topographiques a été réalisée en septembre / octobre 2016 (étiage). Au total, 85 profils en travers ont été levés (Figure 3).

Figure 3 – Photographies de l'Avre : seuil hydraulique à Guerbigny (à gauche), levé topographique (à droite)

EXPLOITATION DU MODÈLE ET RÉSULTATS

Scénarios simulés

Sept scénarios d'exploitation ont été simulés :

- Scénario 1 : recul des forages agricoles situés à moins d'un kilomètre de l'Avre et de ses affluents en amont de Moreuil (déplacés à 1.5 km) ;
- Scénario 2 : baisse de 50 % des débits des forages AEP de Montdidier, Roye et Guerbigny de mai à octobre, avec report sur un forage fictif situé entre les Trois Doms et l'Avre ;
- Scénario 3 : baisse de 50 % des débits des forages AEP de Montdidier, Roye et Guerbigny de mai à octobre, avec report à l'extérieur du bassin versant de l'Avre ;
- Scénario 4 : report du prélèvement en rivière de la cartonnerie DS SMITH vers un pompage en nappe à 1 km en amont avec maintien du rejet dans l'Avre ;
- Scénario 5 : scénario préparatoire sur le bassin versant de la Luce visant à distinguer l'impact des forages agricoles de l'impact des forages AEP ;
- Scénario 6 : recul des forages agricoles situés à moins d'un kilomètre de la Luce (déplacés à 1.5 km) ;
- Scénario 7 : transfert de la production d'eau potable du champ captant de Caix 1 vers celui de Caix 3 de mai à octobre.

Pour chaque scénario, la configuration de prélèvement étudiée est simulée de janvier 2010 à décembre 2012. Seuls les scénarios 1 et 6, relatifs à l'usage agricole, sont discutés dans la présente communication.

Scénario 1 - Recul des forages agricoles à proximité de l'Avre en amont de Moreuil

Configuration du scénario 1

La Tableau 1 précise le nombre de forages agricoles déplacés et le volume de pompage associé. Entre 34 (année 2012) et 42 (année 2011) forages sont concernés par ce premier scénario.

		2010	2011	2012
Entre Moreuil et la confluence	Nb de forages exploités	1	1	0
	Volume (m^3)	7 346	25 634	-
Les Trois Doms	Nb de forages exploités	13	15	14
	Volume (m^3)	608 346	1 235 439	497 704
L'Avre en amont de la confluence	Nb de forages exploités	24	26	20
	Volume (m^3)	667 008	1 002 299	463 495
Total (en amont de Moreuil)	Nb de forages exploités	38	42	34
	Volume (m^3)	1 282 700	2 263 372	961 199

Tableau 1 – Nombre de forages agricoles concernés et volumes associés (2010-2012)

Résultats du scénario 1

Les résultats de cette première simulation exploratoire sont synthétisés par les deux graphiques de la Figure 4. Le premier graphique représente l'évolution des débits simulés de l'Avre à Moreuil dans les conditions réelles d'exploitation (série *Qsim historique*) et dans les conditions du scénario 1 (série *Qsim SC1*) ainsi que la répartition mensuelle des volumes exploités par les forages agricoles déplacés (série *Irrigation SC1*). En complément, le second graphique représente l'évolution des débits observés à Moreuil (série *Qobs Moreuil*) ainsi que l'impact quantitatif simulé (exprimé en m^3/s) du déplacement des forages sur les débits de l'Avre à Moreuil (série *Impact SC1*). L'impact est calculé par différence entre la simulation du scénario 1 et la simulation en conditions réelles. De cette manière, on s'assure de proposer une analyse de l'impact des scénarios en s'affranchissant autant que possible de la difficulté du modèle à reproduire certaines observations.

Un gain significatif sur le débit de l'Avre à Moreuil (> 50 l/s) est simulé pendant les mois de forte irrigation : juillet et août 2010, avril à juin 2011 et août 2012. Le gain de débit représente en moyenne un tiers des pompages déplacés, celui-ci reste cependant variable d'une année à l'autre, en fonction de la répartition mensuelle de l'irrigation. Cela peut ainsi aboutir à des augmentations du débit pouvant atteindre jusqu'à 90 l/s en juillet 2010, 105 l/s en mai 2011 et 75 l/s en août 2012.

À titre indicatif, le QMNA5 simulé de l'Avre à Moreuil est de 0.965 m^3/s (contre 0.99 m^3/s pour le QMNA5 observé). Les gains de débit maximums correspondent ainsi à 9 % du QMNA5 simulé en 2010, 11 % en 2011 et 8% en 2012.

Comparativement aux débits simulés à Moreuil en conditions réelles, les augmentations de débit simulées représentent au maximum un gain de 7% en 2010, 8% en 2011 et 5% en 2012.

D'après le modèle, l'impact du déplacement des pompages se fait ressentir très rapidement (< 7 jours, pas de temps du calcul hydrodynamique).

En revanche, une dégradation du débit de l'Avre est simulée après la période d'irrigation (Figure 4). La baisse de débit atteint son maximum pendant le mois suivant l'arrêt des pompages agricoles : 30 l/s en septembre 2010, 39 l/s en août 2011 et 26 l/s en octobre 2012. Il faut toutefois souligner que les dégradations simulées sont plus limitées que les gains simulés pendant la période d'irrigation (d'environ un facteur 3).

En effet, le fait d'éloigner les forages du lit des cours d'eau génère des baisses du niveau piézométrique qui s'étendent sous les plateaux (amont hydraulique) et perdurent dans le temps, après l'arrêt des pompages. Cette diminution des niveaux piézométriques, illustrée par la Figure 4, entraine une diminution du flux des eaux souterraines en provenance des plateaux et contribuant à l'alimentation de l'Avre et de ses affluents. Cela se traduit donc par une baisse des débits de l'Avre pendant plusieurs semaines après l'arrêt des pompages.

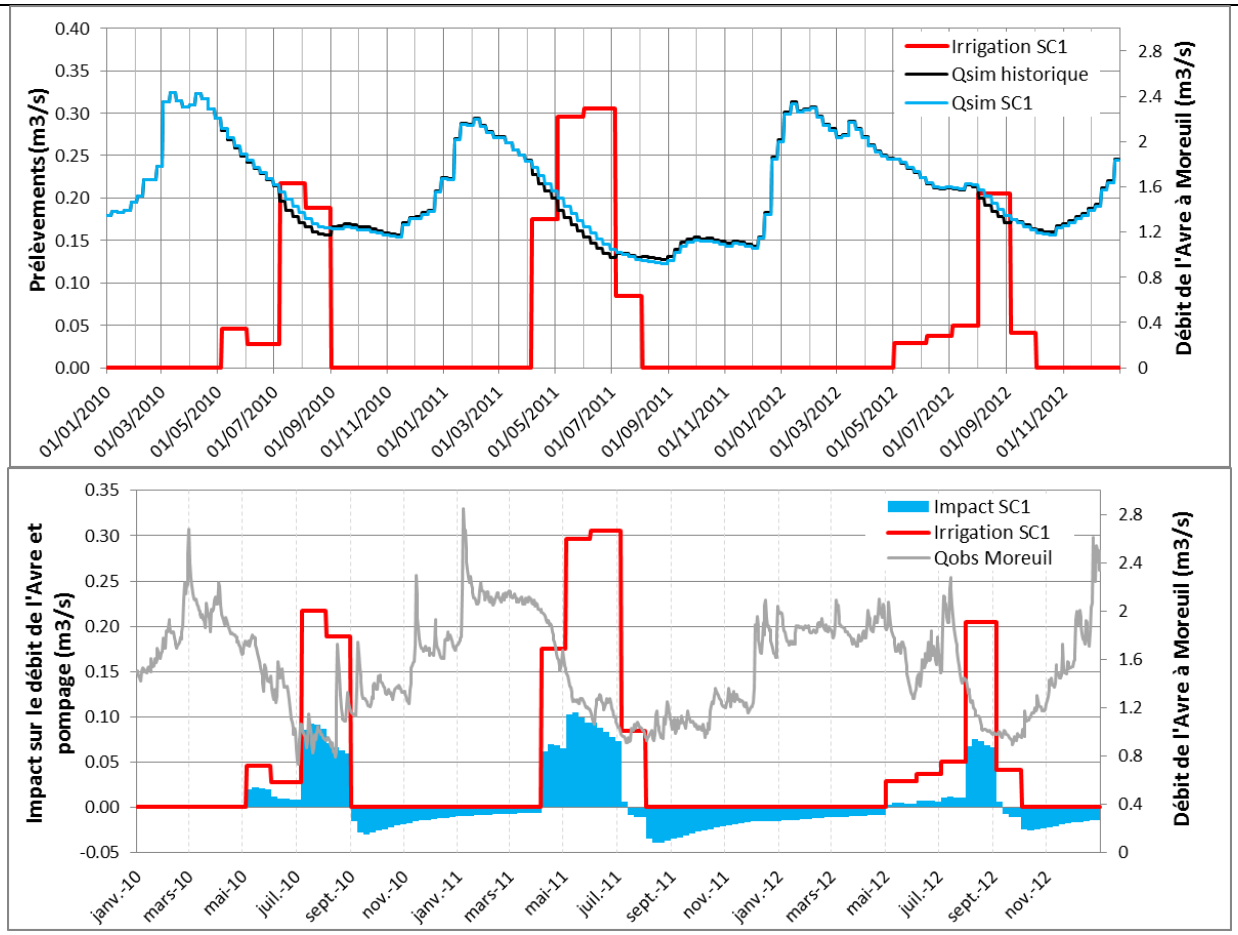

Figure 4 – Impact du scénario 1 sur les débits simulés de l'Avre à Moreuil de 2010 à 2012

Afin de s'intéresser aux dépassements du Débit Minimum Biologique (DMB), évalué à 0.964 m^3/s à Moreuil, l'impact simulé et précédemment discuté a été reporté sur la série des débits observés (mesures DREAL). Compte tenu des incertitudes associées d'une part à la mesure des débits d'étiage et, d'autre part aux débits simulés, il convient de considérer ces résultats avec prudence. Ceci étant dit, cette approche permet de traduire de façon plus opérationnelle les résultats de la modélisation.

En 2010, le nombre de jours de dépassement du DMB serait largement réduit, avec une baisse de plus de 50 %. En 2011 et 2012, les dépassements seraient au contraire légèrement plus nombreux (+ 4 jours) en raison d'un abaissement des débits après arrêt de l'irrigation, au plus fort de l'étiage.

Scénario 6 - Recul des forages agricoles à proximité de la Luce

Configuration du scénario 6

La Tableau 2 précise le nombre de forages agricoles déplacés et le volume de pompage associé. Au maximum, les débits d'exploitation ainsi déplacés dans le cadre de ce scénario sont de 108 l/s en 2010 (juillet), 94 l/s en 2011 (juin) et 88 l/s en 2012 (août).

	2010	**2011**	**2012**
Nombre de forages exploités	15	17	15
Volume pompé (m^3/an)	638 040	692 814	413 034

Tableau 2 – Nombre de forages agricoles concernés et volumes associés (2010-2012)

Résultats du scénario 6

Un gain très significatif sur le débit de la Luce à Thennes est simulé pendant les mois de forte irrigation : l'augmentation de débit atteint jusqu'à 59 l/s en 2010, 48 l/s en 2011 et 43 l/s en 2012 (Figure 5). Cela peut donc représenter jusqu'à 50 % des volumes déplacés.

À titre indicatif, le QMNA5 simulé de la Luce à Thennes est de 0.065 m^3/s. Les gains de débits peuvent donc représenter jusqu'à 90 % du QMNA5 simulé en 2010, 74 % en 2011 et 66 % en 2012.

La dégradation des débits de la Luce simulée après la période d'irrigation resterait relativement limitée. Elle apparaît moins pénalisante que sur le bassin versant de l'Avre si on compare cette dégradation au gain de débit obtenu au préalable. Cette dernière atteint au maximum 9 l/s (2012).

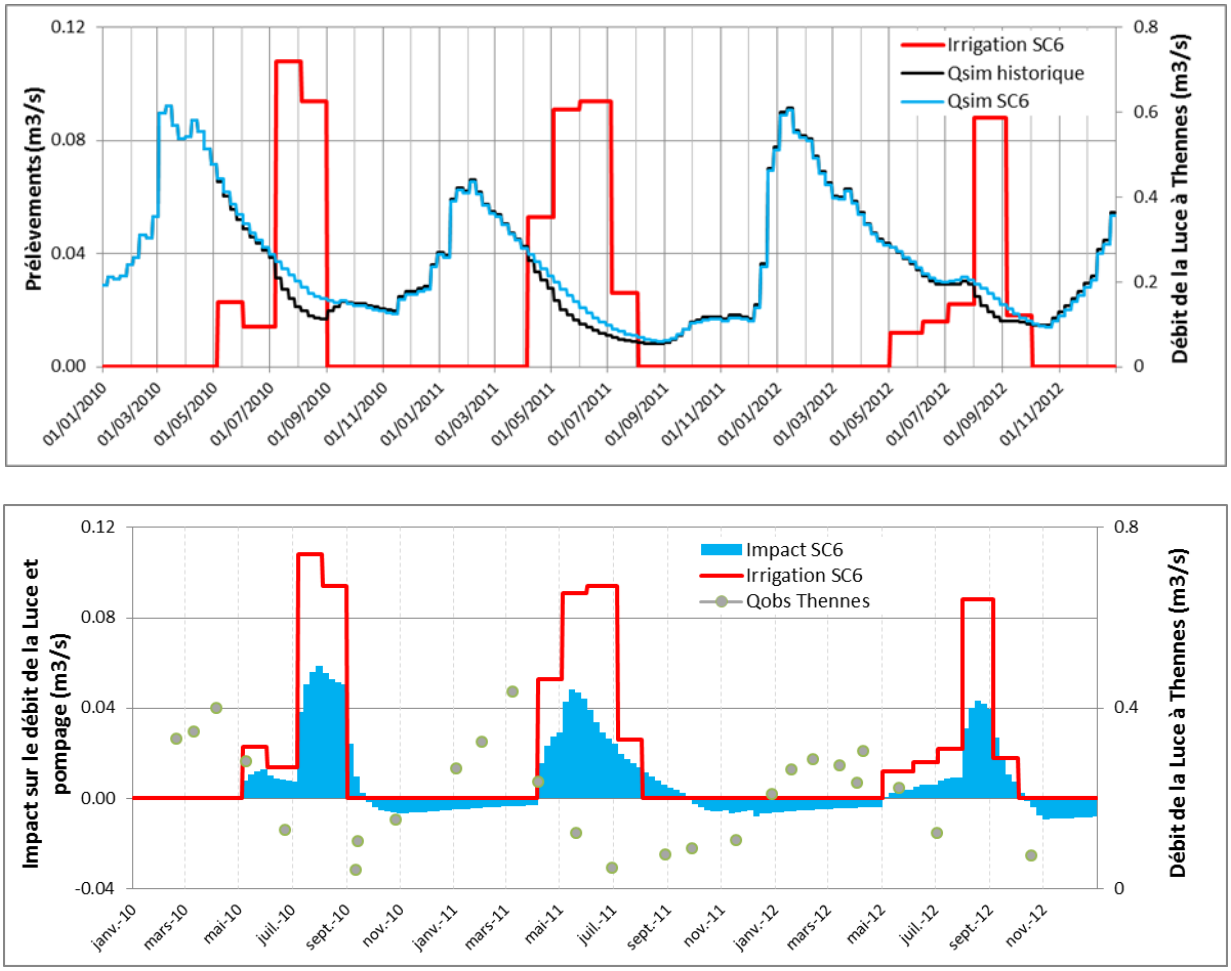

Figure 5 – Impact du scénario 6 sur les débits simulés de la Luce à Thennes de 2010 à 2012

CONCLUSIONS

La consolidation du modèle a ainsi permis d'améliorer la caractérisation des échanges nappe-rivière et donc la retranscription des débits de l'Avre et de la Luce en période d'étiage. Ces améliorations concernent à la fois l'aval des cours d'eau et leur extrémité amont (simulation satisfaisante des assecs).

Le recul des forages agricoles serait particulièrement bénéfique pour des années de type 2010, où l'étiage du cours d'eau est concomitant à la période d'irrigation. Il est rappelé que cela correspond au cas le plus fréquemment rencontré.

En revanche, cette alternative pourrait s'avérer moins intéressante pour des années de type 2011 et 2012 dans une moindre mesure, années pour lesquelles les débits minimums de l'Avre et de la Luce ont été mesurés après la période d'irrigation. La dégradation des débits simulée après arrêt des pompages, en lien avec l'inertie de l'hydrosystème, interviendrait alors durant l'étiage.

Cette dégradation n'est pas préjudiciable dans le cas d'un report de production des prélèvements d'eau potable puisqu'il est possible de la faire intervenir en période de hautes eaux. Contrairement à l'irrigation, contrainte par les besoins en eau des cultures, l'optimisation des prélèvements pour l'alimentation en eau potable peut, en effet, porter sur une période de temps quelconque (sur 6 mois dans le cadre de la présente étude : de mai à octobre).

Dans le cas de l'Avre, un test de sensibilité a montré qu'un recul à une distance de 1.5 km du cours d'eau apparaissait comme une configuration optimale.

En proportion du débit de la Luce, le recul des forages implantés à proximité de la rivière permettrait des gains notablement plus significatifs que sur l'Avre : l'augmentation de débit peut atteindre jusqu'à 50 % des volumes déplacés. D'autre part, la dégradation du débit de la Luce simulée après la période d'irrigation resterait relativement limitée et donc moins pénalisante que sur l'Avre.

L'approche par modélisation spatialisée permet ainsi de cibler les secteurs où une action est à privilégier.

Les résultats des simulations sont à considérer avec prudence compte tenu des incertitudes intrinsèques à tout modèle hydrodynamique. Cet outil d'aide à la décision permet cependant de vérifier certaines hypothèses, de dégager les scénarios d'adaptation les plus pertinents et d'apporter aux acteurs locaux un éclairage nouveau sur la gestion quantitative de la ressource en eau du bassin de l'Avre.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Amraoui N., Golaz C., Mardhel V., Negrel P., Petit V., Pinault J.L., Pointet T. (2002) – Simulation par modèle des hautes eaux de la Somme. Rapport BRGM/RP-51827-FR.

Amraoui N., Castillo C. et Seguin J-J**.** (2014) – Evaluation de l'exploitabilité de ressource en eau souterraine de la nappe de la craie du bassin de la Somme. Rapport BRGM/RP-63408-FR.

Arnaud L. (2017) – Vers une optimisation de l'exploitation des eaux souterraines du bassin versant de l'Avre (Somme). Rapport final BRGM/RP-66774-FR, 83 p., 62 ill., 2 ann.

Thiéry D. (2015) – Code de calcul MARTHE - Modélisation 3D des écoulements dans les hydrosystèmes - Notice d'utilisation de la version 7.5. Rapport BRGM/RP-64554-FR, 308 p., 150 fig.