

Apport de la modélisation pour la gestion des prélèvements à la périphérie d'une zone humide côtière : application au Marais-Poitevin

Olivier Douez et Francis Bichot

BRGM – Service Géologique Régional Poitou-Charentes

o.douez@brgm.fr – f.bichot@brgm.fr

Le Marais-Poitevin, seconde zone humide de France située sur la façade Atlantique, est soumis à une forte pression par les prélèvements en eau souterraine, principalement pour l'irrigation, qui impactent significativement l'état hydraulique du Marais. Les périodes d'étiages sont problématiques et entraînent des conflits d'usage importants entre l'Alimentation en Eau Potable (AEP), l'irrigation, les associations pour la préservation des écosystèmes du Marais et les besoins en eau douce des activités du littoral comme la conchyliculture. Par ailleurs, sous le marais, l'existence d'eaux salées d'origine fossile conjuguée aux forts prélèvements des années 80-90 ont engendré un déplacement en période d'étiage du biseau salé dans certains secteurs [1].

Pour répondre à la question de la gestion de cette zone humide, et en particulier de la ressource souterraine en périphérie du Marais, le modèle hydrodynamique régional des formations jurassiques a été utilisé et développé plus précisément sur ce secteur. Cet outil est destiné :

- à mieux comprendre le fonctionnement de l'ensemble des formations aquifères du Jurassique et, en particulier, d'analyser les relations nappes/rivières.
- à contribuer à différentes problématiques sur la gestion des prélèvements : la disponibilité de la ressource en eau souterraine pour l'irrigation, l'impact hivernal du remplissage de projets de retenues, l'impact du réchauffement climatique et de la remontée prévisible du niveau marin.

Ainsi, différentes simulations ont permis d'apporter des éléments quant à la gestion des eaux souterraines [2], notamment par rapport aux objectifs piézométriques définis dans le SDAGE Loire-Bretagne.

Le développement de cet outil a été réalisé à l'aide des financements de la Région Poitou-Charentes, de la DREAL, des Agences de l'Eau Loire-Bretagne et Adour-Garonne et du BRGM.

I. DESCRIPTION GEOLOGIQUE DE L'AIRE D'ETUDE

Les formations géologiques rencontrées sur l'aire d'étude sont les suivantes (figure 1) :

- Le socle qui présente une grande variété de roches granitiques et métamorphiques. Il renferme peu de ressources souterraines (nappes localisées au sein des altérites) et le ruissellement superficiel est nettement majoritaire par rapport à l'infiltration (forte densité du réseau hydrographique).
- Au-dessus du socle, les formations du Jurassique inférieur correspondant à l'aquifère de l'Infra-Toarcien sont composées principalement de faciès calcaires plus ou moins dolomités et gréseux. Cette nappe est captive sous les marnes du Toarcien.
- Au-dessus du Toarcien se superposent les calcaires karstifiés du Dogger. Le faciès réservoir est représenté par des calcaires oolithiques et dans une moindre mesure par des calcaires en plaquettes qui affleurent largement au nord et à l'est du Marais. Cet aquifère devient captif sous les formations marneuses de l'Oxfordien non altéré (Jurassique supérieur).
- En surface, les séries marno-calcaires altérées forment l'aquifère du Jurassique supérieur qui repose sur les calcaires marneux gris non altérés, appelés localement « banc-bleu », situé vers 20 à 30 mètres de profondeur. Cet aquifère, en général « libre », est en étroite relation avec les cours d'eau dans la partie méridionale du Marais.

- Au Quaternaire, la transgression marine « flandrienne » (-12 000 ans environ) sur le littoral charentais amène au comblement de l'ancien golfe des Pictons par des argiles fluvi-marines (« Bri ») qui constituent actuellement le Marais Poitevin.

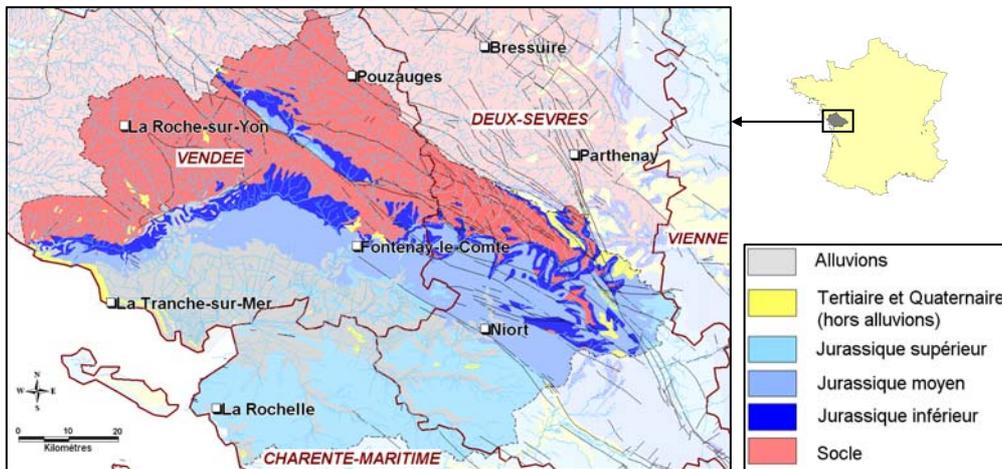


Figure 1 – situation géographique et géologie à l'affleurement

II. LE MODELE HYDRODYNAMIQUE

II. 1 Modèle géologique conceptuel, extension, discrétisation et conditions aux limites

Le code de calcul retenu dans le cadre de cette modélisation est MARTHE (Modélisation d'Aquifères par un maillage Rectangulaire en régime Transitoire pour le calcul Hydrodynamique des Ecoulements) développé par le BRGM [3].

Le modèle Marais-Poitevin est issu de l'adaptation du modèle régional Jurassique qui couvre une superficie de 19 280 km², dont 6 500 km² sur le secteur du Marais-Poitevin. Concernant le maillage, la trame du kilomètre carré a été retenue excepté en périphérie nord du marais où les mailles font 333 m de côté (gigogne) (figure 2).

Le modèle comporte 8 couches (de haut en bas) : Bri du Marais, Crétacé indifférencié et altérites tertiaires, Jurassique supérieur altéré (aquifère), Jurassique supérieur non altéré, Dogger (aquifère), Toarcien, Infra-Toarcien (aquifère) et le socle.

Des potentiels imposés ont été appliqués en « sortie » de modèle :

- Sur la limite ouest qui correspond au niveau imposé par l'Océan Atlantique. Cette limite se situe à quelques kilomètres de la ligne littorale dans l'Atlantique afin de réduire l'influence de ce potentiel constant sur la partie continentale du modèle hydrodynamique.
- Sur les bordures nord-est et sud-ouest du modèle régional, qui sont très éloignées des zones d'intérêt.

Les échanges nappes/rivières jouant un rôle important dans l'hydrodynamique régionale, les principaux cours d'eau ont été intégrés dans le modèle à l'aide du « module » de couplage nappe-rivière du logiciel MARTHE, soit environ 3 000 km de linéaire dont 1 230 km sur le secteur Marais (figure 2).

II. 2 Estimation de la recharge

La recharge des nappes est estimée par zones, au pas mensuel, à travers un bilan classique fournissant la pluie efficace, à partir des données de précipitations et de l'évapotranspiration sur 11 stations météorologiques, et des données de réserves utiles des sols. L'Indice de Développement et de Persistance des Réseaux [3] et [4], développé par le BRGM, a ensuite été utilisé pour évaluer le fractionnement de cette pluie efficace entre ruissellement et infiltration. Au final, 99 zones de recharge/ruissellement ont été intégrées sur l'ensemble de l'extension du modèle.

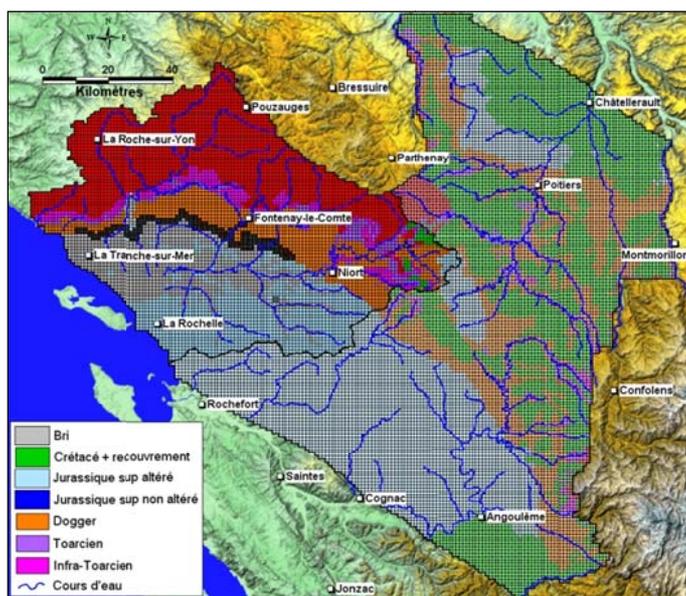


Figure 2 – extension du modèle et zone « spécifique » marais - maillage du modèle

II. 3 Les prélèvements – les lâchers de barrage

Sur le secteur marais, environ 1 850 forages (57 millions de m³/an en moyenne dans les années 2000) et 8,5 millions de m³/an de prélèvements de surface ont été intégrés au modèle avec un pas de temps mensuel à hebdomadaire. Ce résultat est issu d'un important travail de collecte et de croisement de nombreuses données (3 DDT, CG85, IIBSN, Agences de l'eau Loire-Bretagne, chambres d'agriculture, syndicats d'eau...).

Le réseau hydrographique est dans certains secteurs fortement « anthropisé » par de nombreuses retenues, notamment à l'amont des bassins versants sur les zones de socle ; certaines, importantes, sont utilisées pour le soutien d'étiage voire pour une utilisation pour l'AEP. Ainsi, les chroniques des lâchers des grandes réserves (7 au total dont 6 au nord du marais) ont été utilisées et injectées dans le modèle.

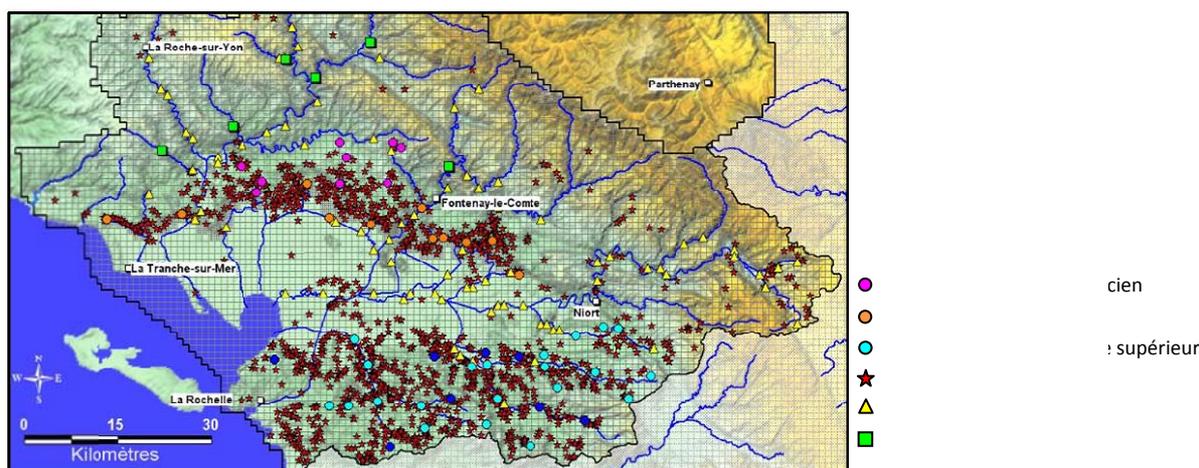


Figure 3 – prélèvements, lâchers de barrage et piézométries

II. 4 Calibration du modèle

Le calage a été réalisé sur la période 2000 à 2007 (période présentant l'intérêt d'être très contrastée d'un point de vue climatique), à un pas de temps mensuel excepté sur les mois de mai, juin, juillet et août où un

pas de temps hebdomadaire a été utilisé. Les niveaux piézométriques simulés par le modèle ont été comparés avec les niveaux observés sur 48 piézomètres (figure 3).

Quelques exemples de chroniques simulées confrontées aux chroniques observées sont présentés sur la figure 4. Sur les graphes des piézomètres, des niveaux définis dans le SDAGE ont été ajoutés : Piézométrie d'Objectif de début d'Étiage (jusqu'au 15 juin - POEd), Piézométrie d'Objectif de fin d'Étiage (POEf) et Piézométrie de Crise (PCR). Il est à noter que les objectifs de POEd et POEf devront être respectés 4 années sur 5.

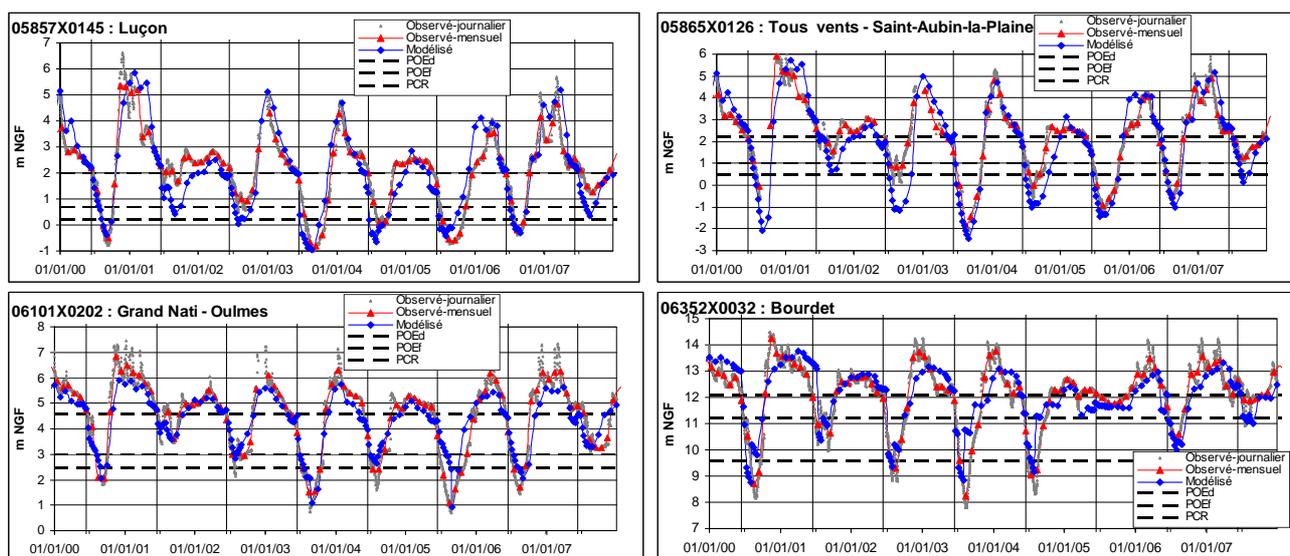


Figure 4 – comparaison des chroniques piézométriques observées/simulées

Les diagrammes de dispersion présentés sur la figure 5 montrent une bonne adéquation entre les niveaux simulés et les niveaux observés.

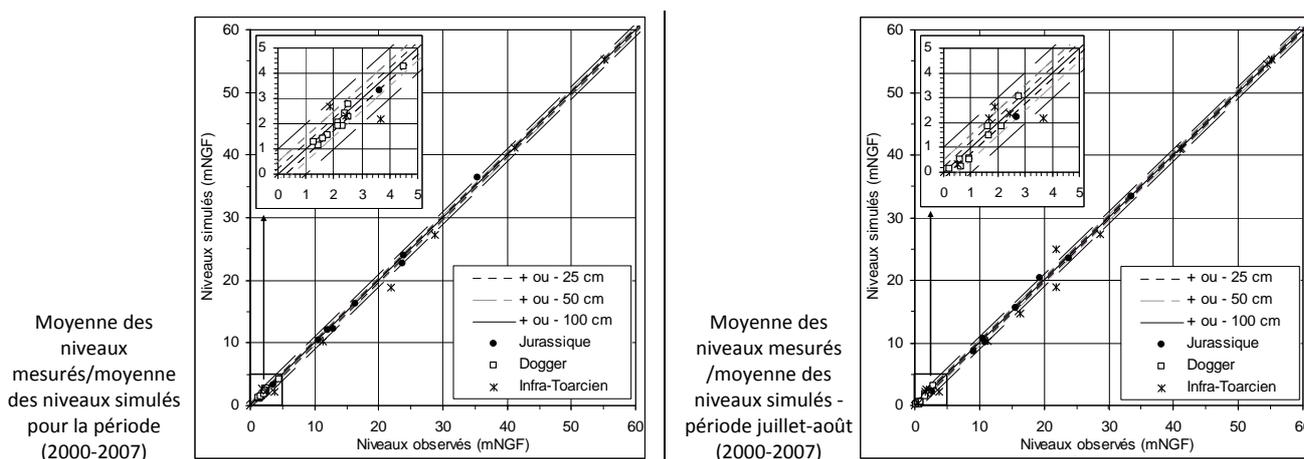


Figure 5 – diagrammes de dispersion

La figure 6 présente la restitution par le modèle des débits des cours d'eau comparés aux débits observés sur différentes stations de jaugeages de l'aire d'étude. Globalement, le modèle restitue correctement les débits observés.

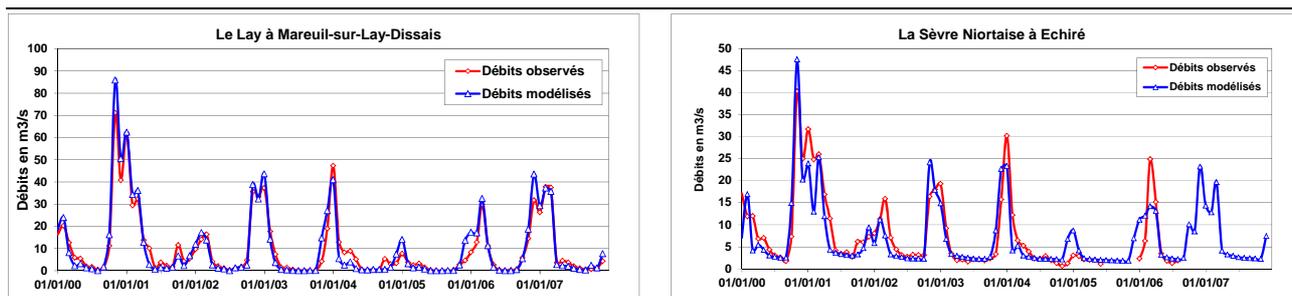


Figure 6 – comparaison des chroniques de débits observées/simulées

III. SIMULATIONS

Le modèle a été utilisé pour réaliser un certain nombre de scénarios d'exploitation des nappes. Les 8 années calées (2000-2007) avec les historiques de prélèvements reconstitués ont été utilisées comme trame de fond de ces simulations. Chacune de ces années présente en effet une typologie climatique spécifique allant d'années très humides (2001, 2007) à des années très sèches (2003, 2005).

Les résultats ont été analysés principalement par rapport aux objectifs de gestion (POEd et POEf devront être respectés 4 années sur 5), défini sur certaines piézométries.

Différents scénarios ont été simulés :

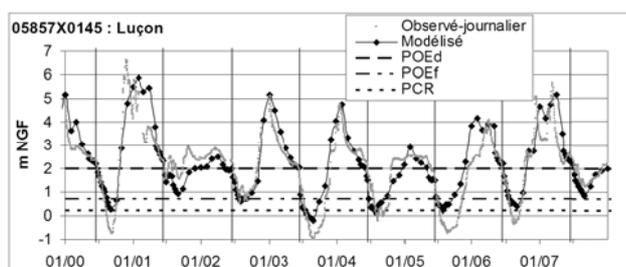
- Suppression et réduction des prélèvements agricoles sur la totalité des volumes annuels prélevés (de 25%, 50%, 75%). Suppression et réduction des prélèvements agricoles du printemps jusqu'au 15 juin de 30 %, 50 % avec maintien des prélèvements estivaux sur 2000-2007,
- prélèvement d'un volume d'eau constant d'une année sur l'autre en fonction des objectifs de réduction des prélèvements (volumes alloués par secteur) inscrits dans le SDAGE Loire-Bretagne et qui devront être effectifs au plus tard le 1^{er} janvier 2015,

III.1 Résultats des simulations de baisse de prélèvements

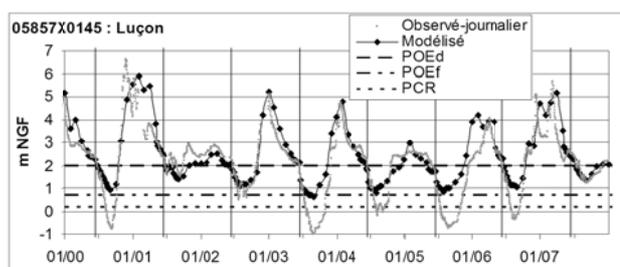
Les résultats sous forme de chroniques simulées sont présentés, pour quelques simulations, à partir de l'exemple du piézomètre de Luçon, sur les figures 7 et 8.

Les scénarios de réduction de prélèvements indiquent qu'avec une économie de 75%, les nappes du Dogger et du Jurassique supérieur resteraient à peu près en équilibre avec les eaux de surface.

En fonction des années, une réduction de 50 % voire de 30 % des prélèvements sur l'été permettraient de respecter les objectifs piézométriques d'été (POEf). Au printemps une réduction de 70 % à 80 % serait globalement nécessaire pour respecter les objectifs de POEd 4 années sur 5.



Réduction des prélèvements sur l'année de 25%



Réduction des prélèvements sur l'année de 50%

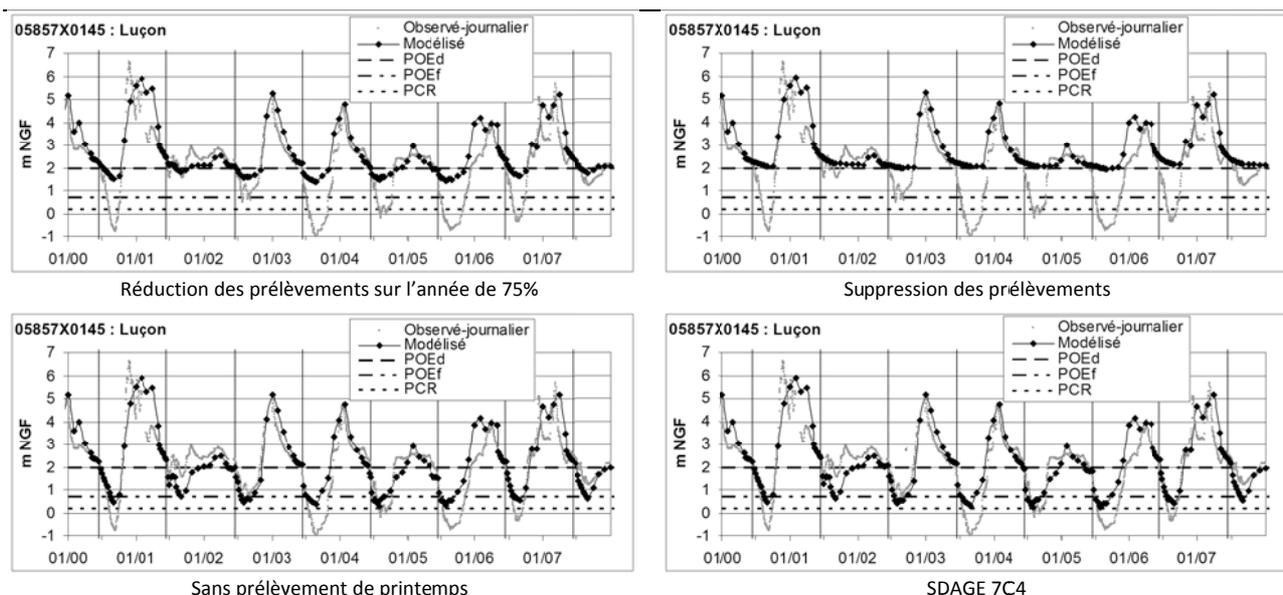


Figure 7 – résultats de différentes simulations

Dans la mesure où il n'existe pas de stations de mesures des débits à la périphérie du marais et pour évaluer l'impact des prélèvements agricoles sur le débit des cours d'eau, des stations fictives ont été intégrées dans le modèle. L'impact des prélèvements est estimé en comparant les résultats donnés par le calage avec la simulation de la suppression des prélèvements (figure 8).

Ainsi, au nord du Marais Poitevin, les prélèvements engendrent une baisse de débit des rivières de l'ordre de 100 l.s^{-1} par rapport à la simulation non influencée (sans prélèvement).

Au sud du Marais, la baisse de débits liée aux prélèvements est de l'ordre de 200 l.s^{-1} à 300 l.s^{-1} sur la période d'étiage. Pour certain cours d'eau l'impact des prélèvements peut-être équivalent au débit, ce qui veut dire que si les prélèvements en nappe et en rivière étaient supprimés, on devrait dans ce cas observer des débits doublés à l'entrée dans le Marais. Dans certains cas on pourrait conserver des écoulements dans les cours d'eau alors que l'on observe actuellement des assècs en année sèche.

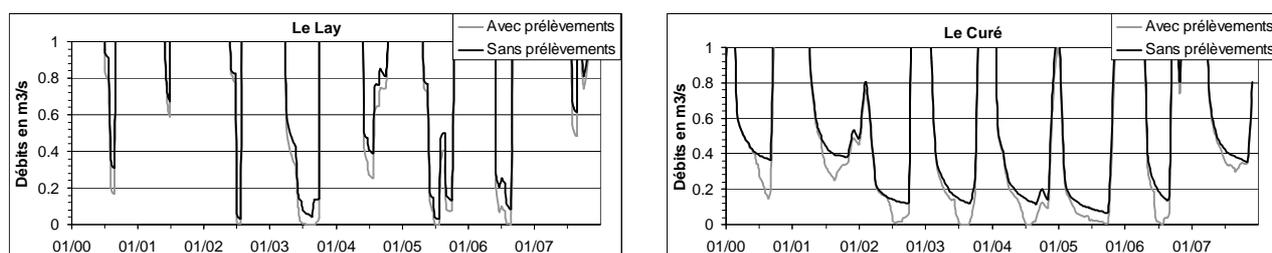


Figure 8 – débits simulés des cours d'eau à l'entrée du Marais Poitevin (sur des points fictifs) avec prélèvements (calage) et sans prélèvement

III.2 Simulations des projets de retenues de substitution et résultats

L'obligation inscrite dans le SDAGE de réaliser des économies importantes en matière de prélèvements conduit à la mise en place de projets de retenue qui ont été testés à l'aide du modèle.

Pour les périodes hivernales (périodes de remplissage fonction des projets) :

- U.G. (Unité de Gestion) avec projets de retenues définis : les volumes prélevés introduits dans le modèle correspondent à ceux donnés dans le projet et sont appliqués sur les forages servant au remplissage (répartition en fonction des débits de pompage) (figure 9).
- U.G. avec projets de retenues non précisément définis : les ordres de grandeur des projets possibles ont été donnés par le comité de pilotage pour chaque unité de gestion. Le volume à substituer a été réparti sur l'ensemble des forages de la zone de gestion en proportion des volumes réels prélevés.

Pour les périodes estivales :

- Pour les U.G. avec projets de retenues bien définis, les ouvrages de remplissage et les forages substitués (quand ils sont connus) ne sont plus sollicités au cours de cette période.
- Pour les autres projets, les volumes prélevés ont été plafonnés par les objectifs de prélèvements inscrits dans le SDAGE.

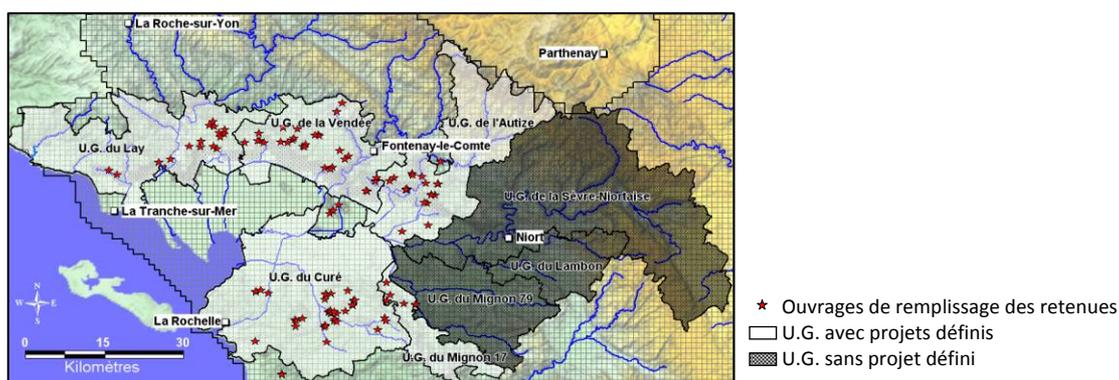


Figure 9 – ouvrages de remplissage des retenues de substitution et unités de gestion

En période de remplissage hivernale, la simulation montre un impact peu significatif sur les nappes (figure 10) comme sur les rivières, même dans le cas d'une recharge hivernale faible. En revanche, ces retenues de substitutions améliorent sensiblement la situation en été. C'est en particulier vrai là où les projets relativement finalisés ont été testés (Curé, Autise, Lay et Vendée) (figure 11).

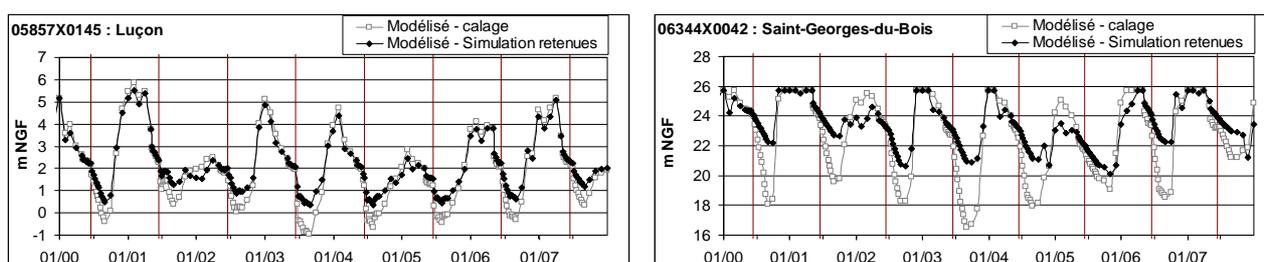


Figure 10 – impact de la mise en place des retenues sur le piézomètre de Luçon et St-Georges

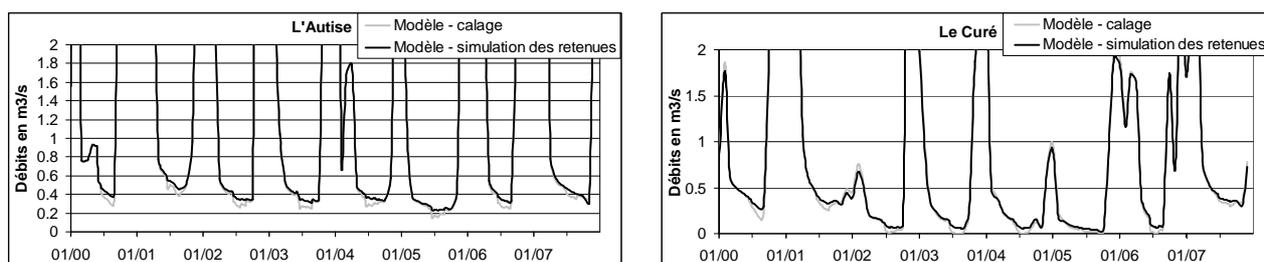


Figure 11 – impact de la mise en place des retenues sur les débits des cours d'eau à l'entrée du Marais (Autise au nord du Marais, Curé au sud)

IV. CONCLUSION

A travers les diverses simulations, le modèle a permis :

- d'analyser l'impact des prélèvements pour l'irrigation sur les eaux souterraines et sur les débits des cours d'eau. Il en découle des estimations de volumes prélevables de manière à respecter les objectifs inscrits dans le SDAGE Loire-Bretagne.
- de tester l'impact du remplissage de retenues de substitution en projets ou déjà existantes. En hiver cet impact est peu significatif, que ce soit sur les eaux souterraines comme sur les cours d'eau en période de remplissage (hiver) ; par ailleurs une amélioration est constatée sur la période estivale.

Ainsi, l'utilisation de ce modèle hydrodynamique qui intègre les principaux cours d'eau, apporte de nouvelles perspectives en ce qui concerne la gestion globale des eaux souterraines afin de satisfaire les besoins en eau des différents usagers.

Il est actuellement utilisé pour mieux orienter, d'un point de vue de la localisation des retenues et du calendrier des remplissages, les projets de retenues sur les bassins du Lay et de la Vendée.

Ce modèle a également servi à étudier les effets des changements climatiques à long terme sur la ressource en eaux souterraines (et de surface) avec l'intégration de scénarios météo issus des travaux du GIEC (Explore 2070) et en testant une remontée océanique.

Enfin, le modèle permet actuellement de quantifier les flux d'azote apportés au littoral (Vendée/Charente-Maritime).

Références bibliographiques :

- [1] Glénisson P. (1995) – Caractérisation du biseau salé dans la nappe du Dogger en bordure du Marais Poitevin (région de Luçon, Fontenay-le-Comte). *Thèse Université de Nantes, décembre 1995, .301 p, 18 ill., 69 ann.*
- [2] Douez O., Bichot F., Dequidt D., Dugrillon D., Putot E., Petit L., 2010 – Contribution à la gestion des prélèvements à la périphérie du Marais Poitevin par modélisation hydrodynamique. *BRGM/RP-58297-FR, 241 pp., 212 ill., 5 ann., 12 pl.*
- [3] THIERY D., 1990 – Logiciel MARTHE. Modélisation d'Aquifère par un maillage rectangulaire en régime transitoire pour un calcul hydrodynamique des écoulements - version 4.3. *Rapport BRGM R32210EAU 4S 90, 356 p.*
- [4] Putot E., Bichot F., 2007 – CPER 2000-2006 Phase 4 - Modèle Infra-Toarcien Dogger : calage du modèle hydrodynamique en régime transitoire. *Rapport BRGM/RP- 55742-FR, 94 p., 86 ill., 7 tab., 8 ann.*
- [5] Mardhel V., Gravier A., 2006 – Carte de vulnérabilité simplifiée des eaux souterraines du bassin Loire Bretagne. *BRGM/RP-54553-FR.*