



HAL
open science

Apports des modèles hydrodynamiques régionaux pour contribuer à la gestion des ressources en eaux souterraines - exemple du modèle Jurassique du Poitou - Charentes

Olivier Douez

► To cite this version:

Olivier Douez. Apports des modèles hydrodynamiques régionaux pour contribuer à la gestion des ressources en eaux souterraines - exemple du modèle Jurassique du Poitou - Charentes. Dix-septièmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues. " La DCE 10 ans après : une dynamique pour la connaissance et la gestion des eaux souterraines. Avancées techniques et scientifiques ", Nov 2010, Toulouse, France. hal-00962198

HAL Id: hal-00962198

<https://brgm.hal.science/hal-00962198>

Submitted on 20 Mar 2014

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.

Apports des modèles hydrodynamiques régionaux pour contribuer à la gestion des ressources en eaux souterraines – exemple du modèle Jurassique du Poitou-Charentes

DOUEZ O.

BRGM – Service Géologique Régional Poitou-Charentes
o.douez@brgm.fr

Les nappes d'eau souterraines de la Région Poitou-Charentes sont généralement peu profondes à la différence des régions situées en position centrale des bassins sédimentaires et sont en étroite relation avec les cours d'eau. Les périodes d'étiages sont problématiques et entraînent des conflits d'usage importants entre l'AEP, l'irrigation, les utilisateurs des cours d'eau (pêcheurs, association pour la préservation de la faune aquatique), et les besoins en eau douce des activités du littoral comme la conchyliculture.

Le modèle hydrodynamique régional du Jurassique a été développé pour contribuer à la gestion de la ressource en eau souterraine sur la Région Poitou-Charentes. Cet outil est financé par la Région Poitou-Charentes, l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne et Adour-Garonne, la DREAL et le BRGM.

Ce modèle a pour objectifs :

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

Ce modèle a déjà été utilisé dans ce but sur les bassins versants autour du Marais Poitevin. Différentes simulations ont ainsi permis d'apporter des éléments quant à la gestion des eaux souterraines [1], en particulier par rapport aux objectifs définis dans le SDAGE Loire-Bretagne.

I. Description de l'aire d'étude

La région Poitou-Charentes se localise à la jonction de 2 grands bassins sédimentaires, le bassin de Paris au nord et le bassin Aquitain au sud. Ces bassins sont séparés par le seuil du Poitou qui relie les marges du Massif Armoricain et du Massif Central constituées par des terrains de socle (figure 1).

Le socle présente une grande variété de roches granitiques et métamorphiques et est caractérisé par une structuration importante en relation avec de grands accidents de direction armoricaine (NO-SE). Comme le souligne la densité du réseau hydrographique, le socle renferme peu de ressources souterraines (nappes localisées au sein des altérites) et la part des ruissellements superficiels est nettement majoritaire dans la pluie efficace.

Directement au-dessus du socle, reposent les formations du Jurassique inférieur (ou Lias) correspondant à l'aquifère de l'Infra-Toarcien. Ce réservoir est composé principalement de faciès calcaires plus ou moins dolomités et gréseux. Il est généralement captif sous les marnes toarciennes. On le trouve à l'affleurement dans certaines vallées à la faveur de l'érosion.

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.

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.

Les formations du Crétacé reposant sur le Jurassique se prolongent hors des limites régionales.

Au Quaternaire, la transgression marine sur le littoral charentais forme le Marais-Poitevin avec le comblement d'un ancien golfe par des argiles fluvio-marines, dénommées « Bri ».

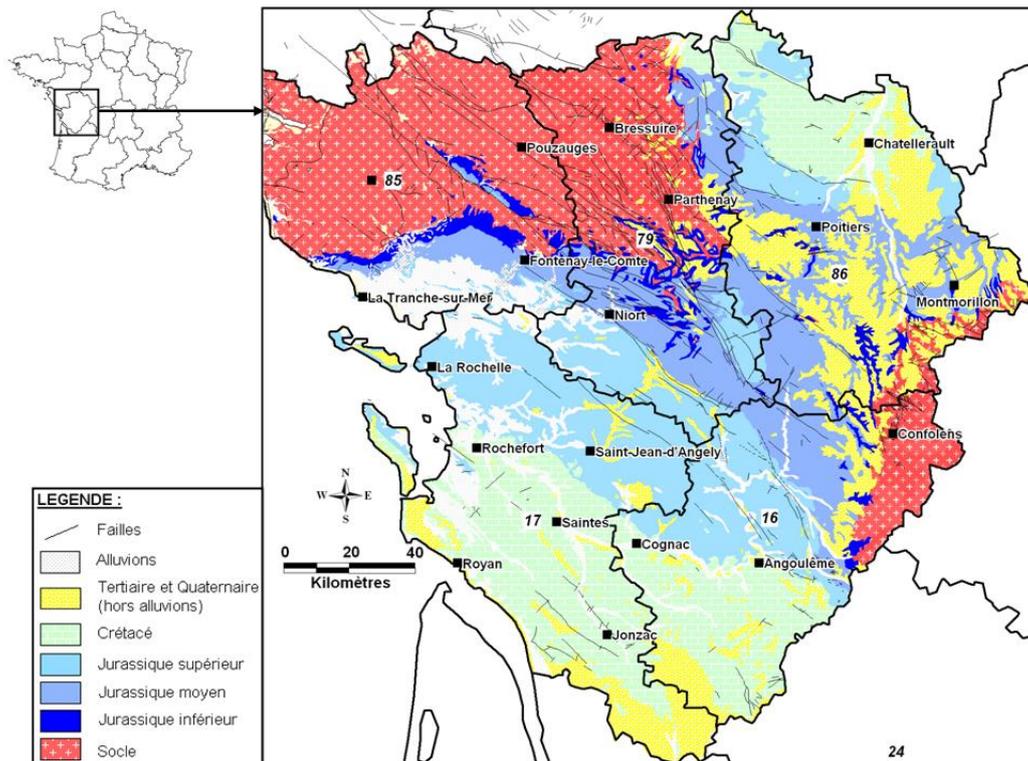


Figure 1 – situation géographique et géologie à l'affleurement

II. Le modèle Hydrodynamique

II. 1 Modèle géologique conceptuel, extension retenue et discrétisation

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) [2].

Le modèle géologique défini 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.

L'extension du modèle couvre une superficie de 19 280 km². Concernant le maillage, la trame du kilomètre carré a été retenue. Sur le secteur du Marais-Poitevin, qui couvre une surface de l'ordre de 6 500 km², les mailles en périphérie nord de ce dernier ont été subdivisées en mailles carrées de 333 m de côté (gigogne).

II. 2 Les conditions aux limites

En « sortie » de modèle, des potentiels imposés ont été appliqués (figure 2) :

- Sur la limite ouest du modèle, 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.



Figure 2 – extension du modèle : cours d'eau et potentiels imposés intégrés dans le modèle

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 dans le modèle.

II. 3 Les prélèvements – les lâchers de barrage

Un travail important de collecte, de croisement et de mise en forme de données de prélèvements pour l'AEP, l'industrie et l'irrigation (en nappe et sur les cours d'eau) a été réalisé. Ce travail a été compliqué par la multiplicité de provenance des données (5 DDT, CG85, IIBSN, Agences de l'eau Loire-Bretagne et Adour-Garonne, les chambres d'agriculture, les syndicats d'eau...), l'hétérogénéité de la gestion entre les 3 départements et la variété temporelle des chroniques de données dans le temps. Au final, environ 5 000 prélèvements en nappe et un peu plus de 1 000 prélèvements de surface ont été intégrés au modèle avec un pas de temps mensuel à hebdomadaire.

Le réseau hydrographique peut être 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.

Si toutes les données sur les retenues du bassin versant ne sont pas disponibles (plus de 1 000 retenues sont par exemple comptabilisées sur le bassin amont de l'Autise), les chroniques des lâchers des grandes réserves (7 au total) ont été utilisées et injectées dans le modèle.

III. Calibration du modèle

Le calage du modèle a été réalisé en plusieurs étapes afin de sérier les difficultés tout en augmentant la « complexité » du modèle. Dans un premier temps, un calage en régime « pseudo-permanent » a été effectué. Dans le système multicouche modélisé, le régime permanent est peu réaliste ; cette étape a donc été réalisée par le biais d'un régime « pseudo-permanent » qui correspond ici à un état pseudo-stationnaire ou « virtuel » de la nappes (régime moyen annuel).

Le modèle utilisé au cours de cette phase ne comportait pas de mailles subdivisées (mailles d'1 km de côté – sans gigogne). Ce modèle pseudo-permanent a permis d'établir une ébauche de la distribution des paramètres de perméabilité.

Dans un second temps, les valeurs de perméabilité et du coefficient d'emmagasinement des aquifères et épontes, ainsi que des perméabilités de colmatage des cours d'eau ont été affinées en régime transitoire.

Le calage de la diffusivité (rapport perméabilité / emmagasinement spécifique) a été réalisé à partir de la connaissance de valeurs ponctuelles de perméabilité et de coefficient d'emmagasinement spécifique issus de l'interprétation de pompages d'essais.

Sur le secteur Marais-Poitevin, au vue des enjeux locaux importants et du fait que sur certains piézomètres des niveaux d'objectifs ont été définis et repris dans la disposition 7C4 du SDAGE Loire-Bretagne, le calage a dû être affiné avec notamment, comme mentionné précédemment, une discrétisation du maillage en bordure nord de ce dernier (333 m de côté).

Le calage a été réalisé sur la période 2000 à 2007, à un pas de temps mensuel, excepté sur les mois de mai, juin, juillet et août où un pas de temps hebdomadaire a été retenu.

Les niveaux piézométriques simulés par le modèle ont été comparés avec les niveaux observés sur 130 piézomètres (dont 48 sur le secteur du Marais) (figure 3).

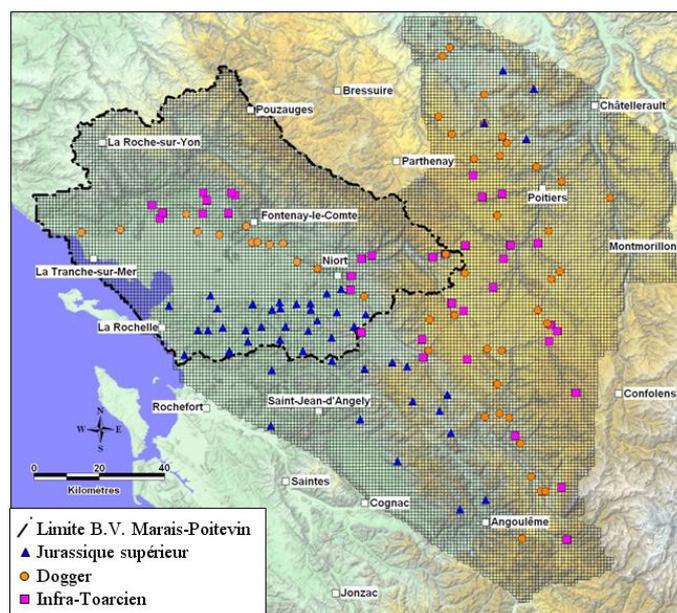


Figure 3 – localisation des piézomètres utilisés

Quelques exemples de chroniques simulées confrontées aux chroniques observées sont présentés sur la figure 4 sur le secteur Marais et sur le modèle global. Sur les graphes des piézomètres localisés autour du Marais-Poitevin, les niveaux définis dans le SDAGE ont été ajoutés : Piézométrie d'Objectif de début d'Étiage – 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.

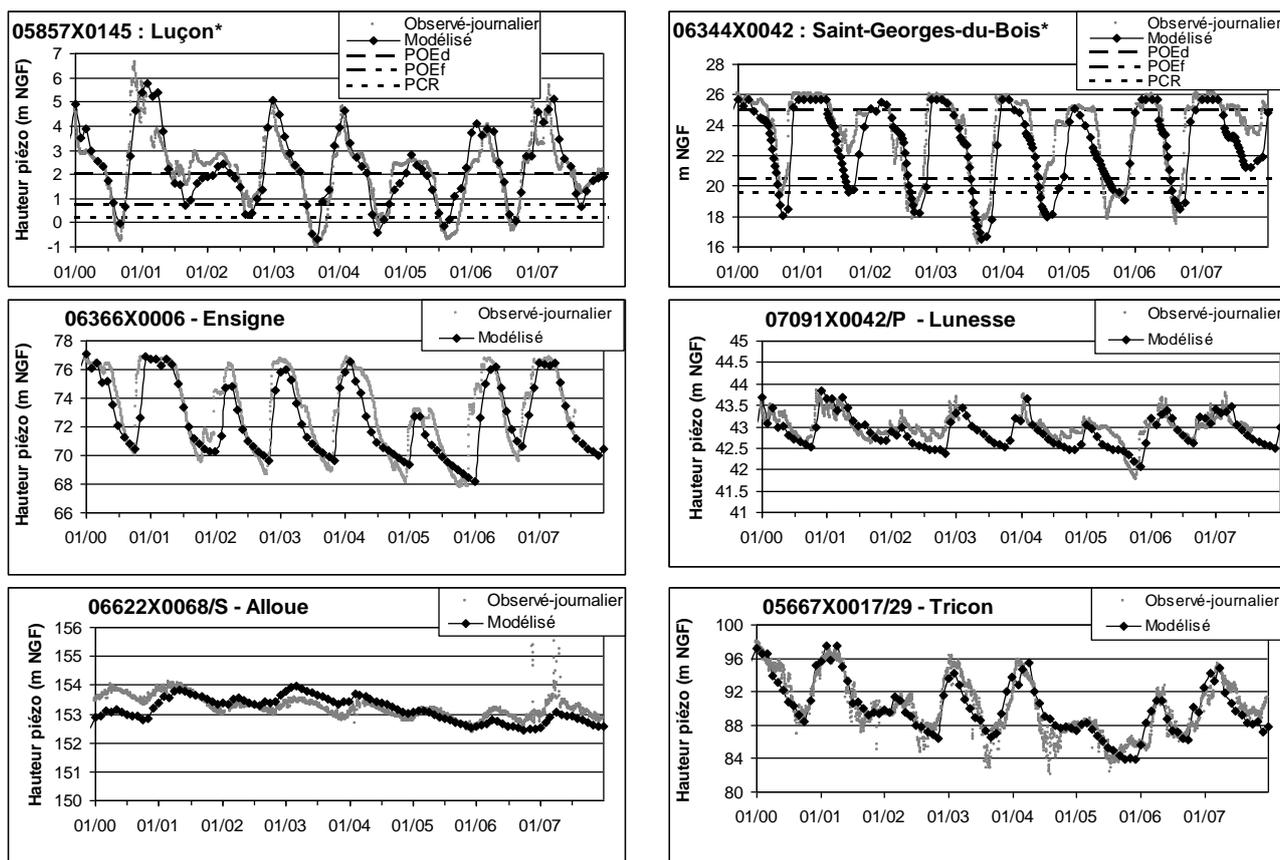
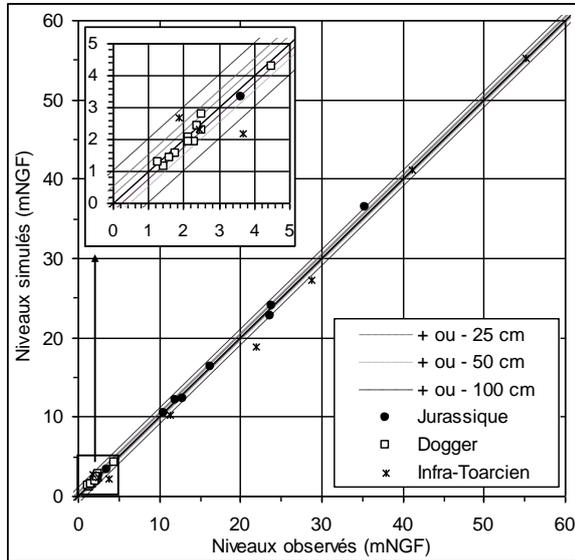
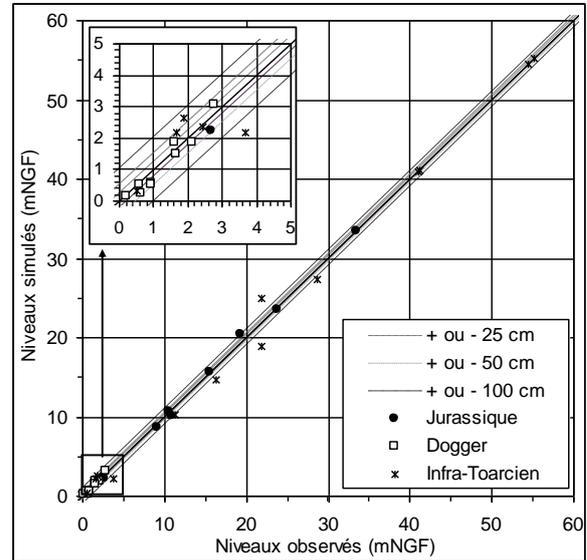


Figure 4 – comparaison des chroniques piézométriques observées/simulées (* exemple sur le secteur du Marais)

Les diagrammes de dispersion présentés sur les figures 5 et 6 montrent une bonne adéquation entre niveaux simulés et les niveaux observés.



Moyenne des niveaux mesurés/moyenne des niveaux simulés pour la période 2000-2007



Moyenne des niveaux mesurés /moyenne des niveaux simulés - période juillet-août (2000-2007)

Figure 5 – diagrammes de dispersion pour le secteur du Marais Poitevin

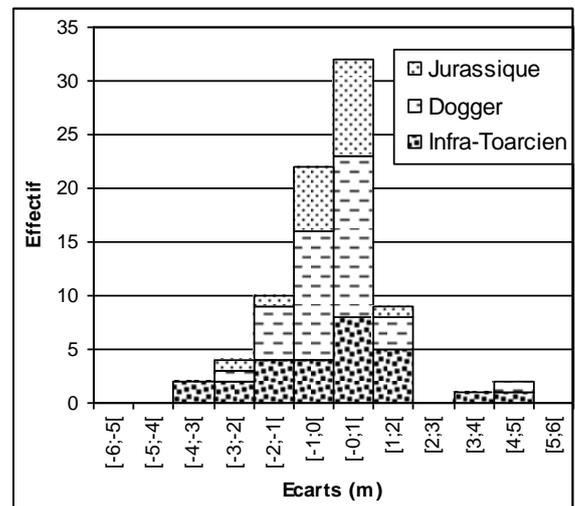
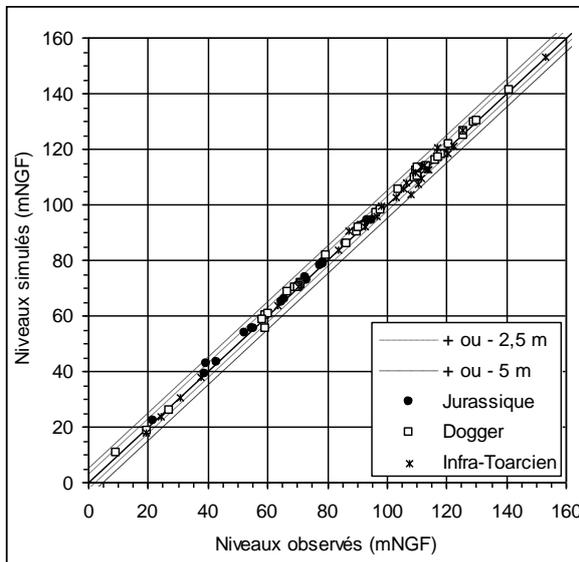


Figure 6 – diagrammes de dispersion et histogramme de distribution des écarts entre valeurs moyennes simulées et valeurs moyennes observées pour l'ensemble du modèle hors bassin versant du Marais-Poitevin

La figure 7 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.

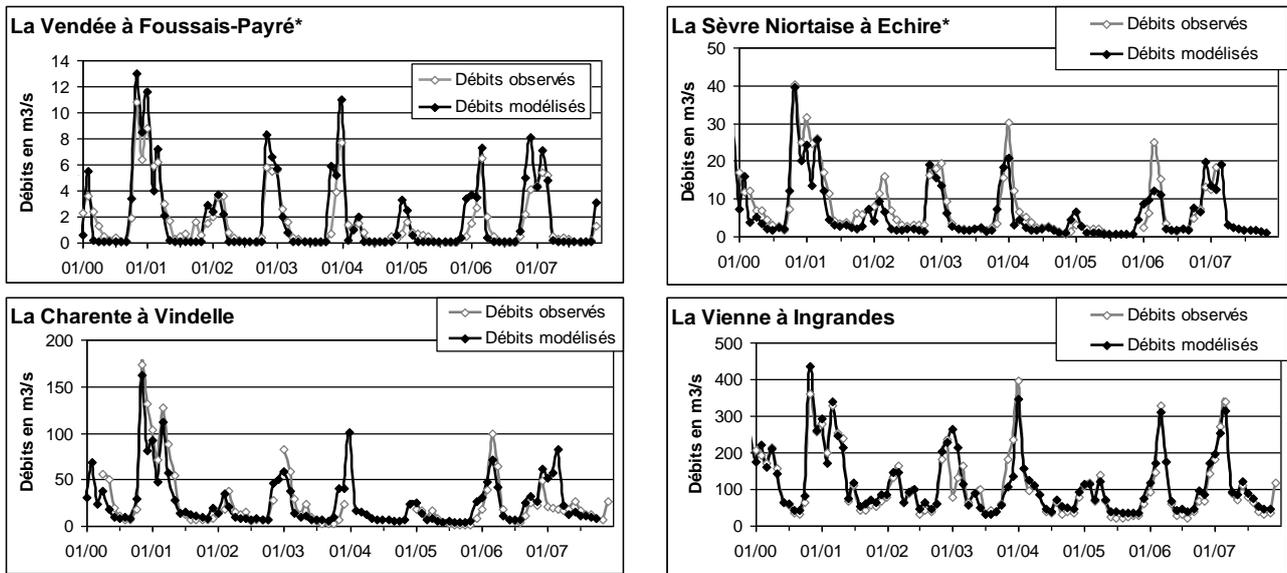


Figure 7 – comparaison des chroniques de débits observés/simulés (* exemple sur le secteur du Marais)

IV. SIMULATION – SECTEUR DU MARAIS-POITEVIN

Les jeux de simulations, les résultats et conclusions de ces simulations sont présentés seulement sur le secteur du bassin versant du Marais-Poitevin (les simulations n'ayant pas encore débuté sur le reste du modèle).

Les scénarios peuvent être regroupés en 3 grandes catégories :

- réduction des prélèvements agricoles sur la totalité des volumes annuels prélevés ou en différenciant irrigation de printemps et d'été,
- 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 respectés au plus tard le 1er janvier 2015,
- test de retenues de substitution conformément aux projets en cours.

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). De plus, les nappes présentant des cycles annuels avec peu d'inertie d'une année sur l'autre, il n'était pas nécessaire de générer des scénarios climatiques. Les scénarios de prélèvements agricoles ont donc été appliqués sur ces 8 années.

Les résultats ont été analysés globalement par piézomètre ayant des objectifs de gestion (POEd et POEf devront être respectés 4 années sur 5), excepté pour le scénario de remplissage de retenues. Cela conduit à poser la définition d'une « année quinquennale sèche ».

IV. 1 Caractérisation des années climatiques

Dans le cadre de ce travail, l'année quinquennale sèche a été définie à partir des données climatiques et non par rapport aux débits des cours d'eau qui sont, dans le secteur du Marais-Poitevin, fortement anthropisés. La méthode utilisée ici a consisté à représenter sur un graphe chaque année avec en abscisse les précipitations des mois de juin/juillet/août/septembre et en ordonnée la hauteur de la pluie efficace entre le mois de septembre de l'année précédente et le mois de mai de l'année concernée (figure 8). Ce mode de représentation prend en compte à la fois l'importance de la recharge hivernale et la « demande » en eau estivale.

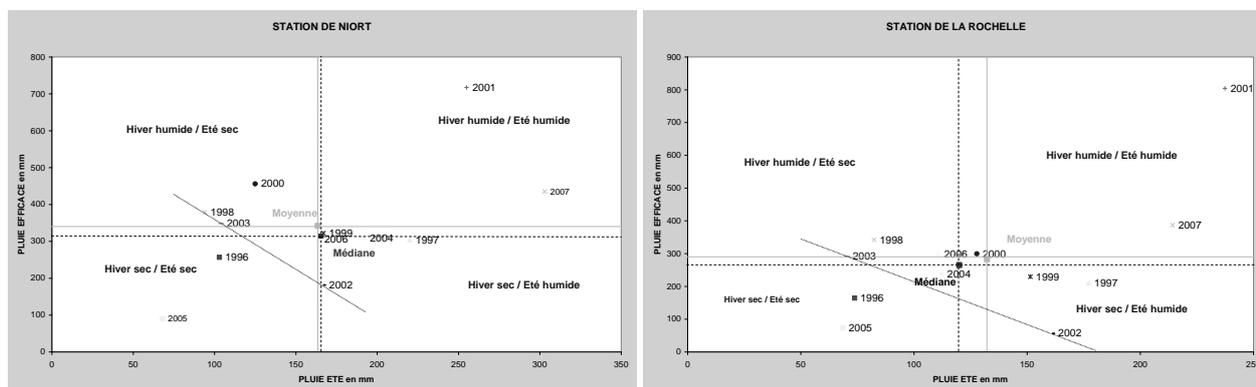


Figure 8 – caractérisation climatique des années à partir des données des stations météorologiques de Niort et de La Rochelle

De l'examen de ces graphes il ressort que l'année 2005 se caractérise par une sécheresse exceptionnelle, contrairement à 2001 qui a été très humide (périodicité de retour au-delà de 10 ans). L'année 2006 apparaît représentative d'une année moyenne.

Les années 2002, 2003 peuvent être considérées comme proche de la quinquennale. Ces 2 années présentent toutefois des typologies très différenciées : 2003 a été de pluviométrie « normale » en ce qui concerne la période hiver/printemps et a été sèche l'été (entraînant un besoin en eau important), l'année 2002 a été très sèche durant la période de recharge des nappes mais par contre pluvieuse pendant l'été.

Par rapport aux modalités de gestion du Marais, 2002 apparaît donc comme une référence proche d'une quinquennale sèche pour les prélèvements de printemps (respect du POEd) et 2003 comme une référence pour le respect du POEf l'été.

IV. 2 Scénarios de baisse de prélèvements

Les scénarios de baisse de prélèvements agricoles sont les suivants :

- Baisse des prélèvements agricoles sur la période printemps-été - 4 scénarios

<i>SIMRV</i>	Suppression des prélèvements agricoles sur 2000-2007
<i>SIMRV75</i>	Restriction de 75 % des volumes agricoles prélevés de 2000 à 2007
<i>SIMRV50</i>	Restriction de 50 % des volumes agricoles prélevés de 2000 à 2007
<i>SIMRV25</i>	Restriction de 25 % des volumes agricoles prélevés de 2000 à 2007

Le pourcentage de réduction est appliqué sur les données réelles, sur chaque point de prélèvements agricoles, et à chaque pas de temps pour les mois d'avril à septembre sur la période 2000-2007.

- Baisse des prélèvements agricoles sur la période de printemps (avant le 15 juin) - 3 scénarios

<i>SIMRP</i>	Suppression des prélèvements agricoles du printemps jusqu'au 15 juin et maintien des prélèvements estivaux sur 2000-2007
<i>SIMRP30</i>	Réduction des prélèvements agricoles du printemps jusqu'au 15 juin de 30 % et maintien des prélèvements estivaux sur 2000-2007
<i>SIMRP50</i>	Réduction des prélèvements agricoles du printemps jusqu'au 15 juin de 50 % et maintien des prélèvements estivaux sur 2000-2007

Le pourcentage de réduction est appliqué sur les données réelles, sur chaque point de prélèvements agricoles, et à chaque pas de temps du 1^{er} avril au 15 juin sur la période 2000-2007.

- Pris en compte des objectifs fixés dans le SDAGE - 2 scénarios

SIM7C4-1	Application des objectifs de la 7C4 du SDAGE sur 2000-2007
SIM7C4-2	Application des objectifs de la 7C4 du SDAGE sur 2000-2007 - réduction des prélèvements du printemps jusqu'au 15 juin de moitié ; volumes reportés sur la période estivale.

Ces 2 scénarios prennent en compte, pour chaque unité de gestion, les volumes définis dans le SDAGE.

IV. 3 Résultats des simulations de baisse de prélèvements

Les résultats sous forme de chroniques simulées sont présentés, pour les différentes simulations, à partir de l'exemple du piézomètre de Luçon, sur les figures 9 à 11.

Les scénarios de réduction de prélèvements montrent qu'avec 75% d'économie sur les prélèvements (sur les années 2000 à 2007), les nappes du Dogger et du Jurassique supérieur auraient un niveau en été qui resterait à peu près en équilibre avec les eaux de surface (scénario optimal).

En fonction des périodes, la réduction de 70 % à 80 % des prélèvements de printemps permettrait de respecter globalement, 4 années sur 5, les objectifs de printemps (POEd, soit jusqu'au 15 juin [SDAGE]). Des économies de prélèvements moindres, entre 50 % et 30 % seraient nécessaires pour respecter les objectifs piézométriques d'été (POEf). En ce qui concerne cette période, l'effort serait plus important pour la nappe du Jurassique supérieur (autour de 50 %) que pour la nappe du Dogger.

Les scénarios de prélèvements appliquant les préconisations de la 7C4 du SDAGE en matière de volumes ne permettent pas de respecter les objectifs de niveau de nappe mais la situation est tout de même améliorée.

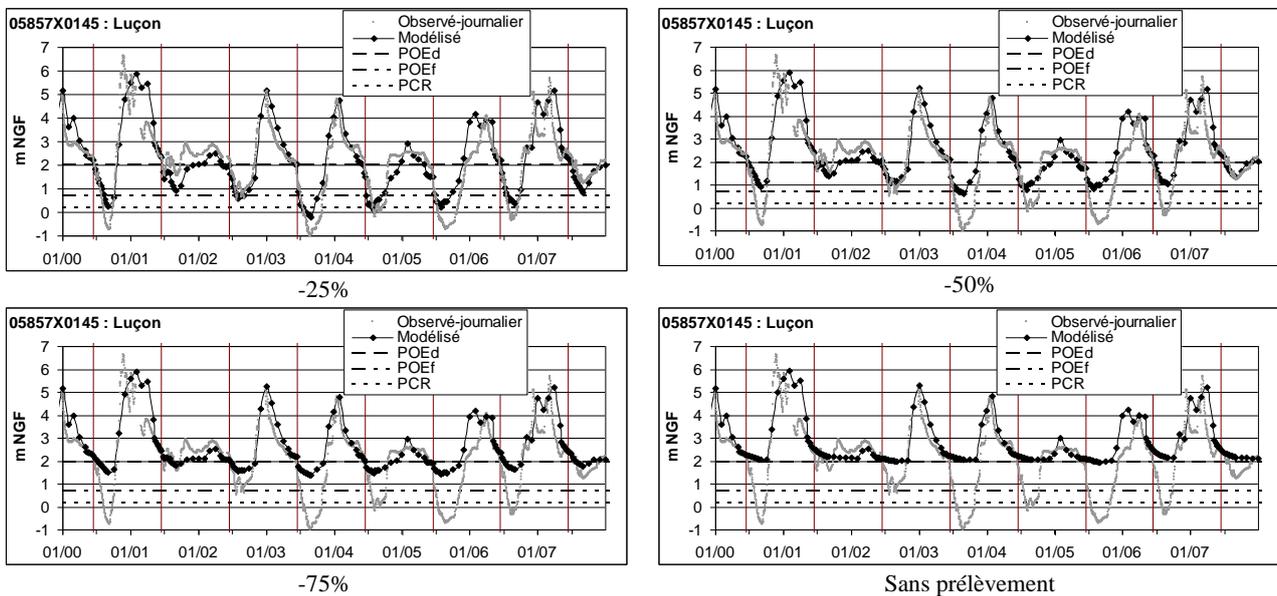


Figure 9 – Graphiques de résultats des simulations de baisse générale de prélèvements

Afin d'évaluer l'impact des prélèvements agricoles sur le débit des cours d'eau, des stations fictives ont été intégrées dans le modèle à la périphérie du Marais. Elles sont utilisées pour comparer les résultats donnés par le calage et la simulation de la suppression des prélèvements (SIMRV).

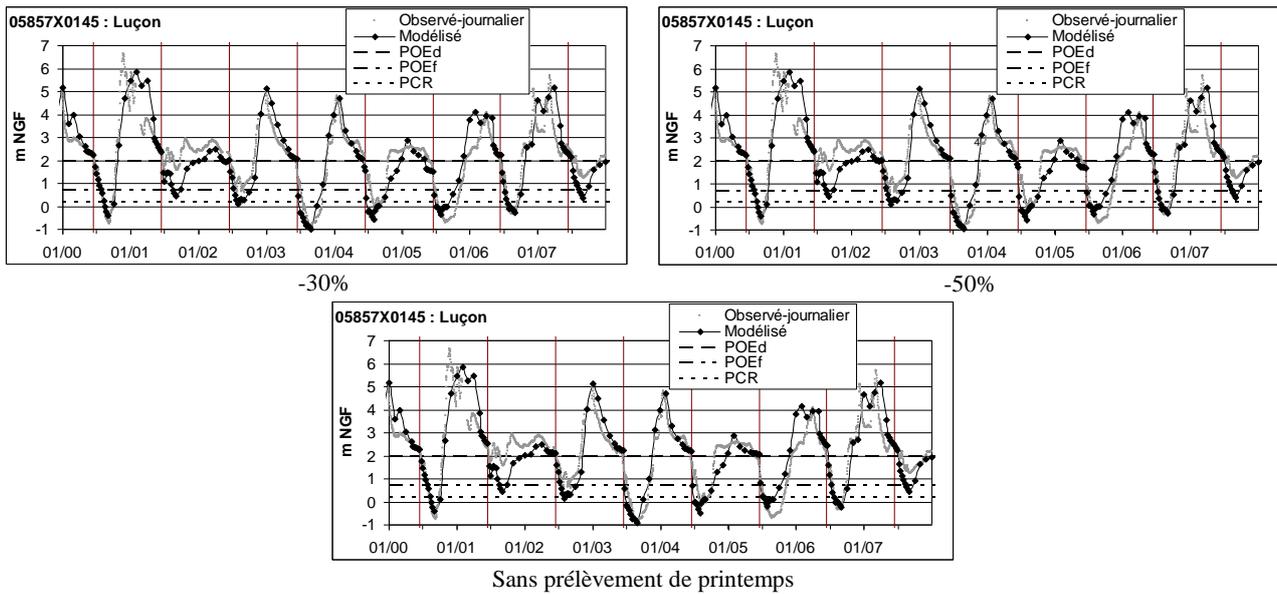


Figure 10 – graphiques de résultats des simulations de baisse de prélèvements sur la période de printemps (avril-15 juin)

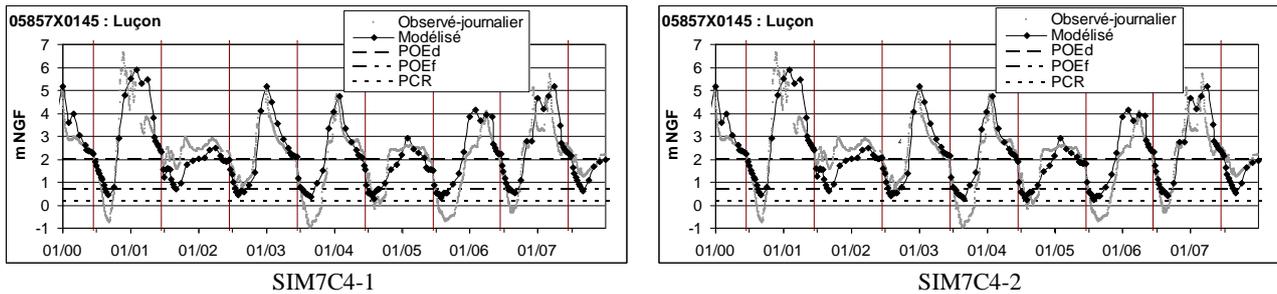


Figure 11 – graphiques de résultats des simulations 7C4

Les graphes de la figure 12 permettent de comparer les différences entre les 2 états. Les échelles sont variables de manière à bien mettre en évidence les périodes d'étiages.

Sur les cours d'eau, au nord du Marais Poitevin, l'impact des prélèvements est non négligeable puisque la baisse de débit est de l'ordre de 100 l.s^{-1} par rapport à la simulation non influencée (sans prélèvement). Sur certains cours d'eau, la baisse de débits peut atteindre plus de 90 % du débit simulé sans prélèvement.

Pour les bassins au sud du Marais, la baisse de débits liée aux prélèvements est d'environ 200 l.s^{-1} à 300 l.s^{-1} sur la période d'étiage. Ce qui représente une baisse par rapport au régime non influencé entre 50 % et plus de 90 % selon les cours d'eau.

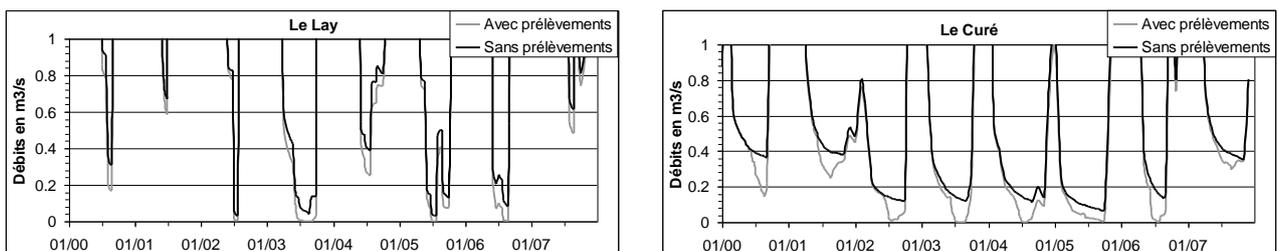


Figure 12 – débits simulés des cours d'eau à l'entrée du Marais Poitevin (sur des points fictifs) avec prélèvements (calage) et sans prélèvement

IV. 4 Simulations des projets de retenues et résultats

En fonction des projets de création de retenues de substitution dans les différentes Unités de Gestion (U.G., figure 13), des scénarios différents ont été réalisés et appliqués sur les 8 années modélisées :

Pour les périodes hivernales (périodes de remplissage) du 1^{er} novembre au 1^{er} mars :

- U.G. avec projets de retenues bien 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).
- 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 prélevés en printemps-été.

Pour les périodes estivales ; volume réel (sans les volumes substitués) :

- Pour les U.G. avec projets de retenues bien définis, les ouvrages de remplissage ne sont plus sollicités au cours de cette période.
- Pour les autres projets, les volumes prélevés ont été plafonnés par les volumes de la 7C4.

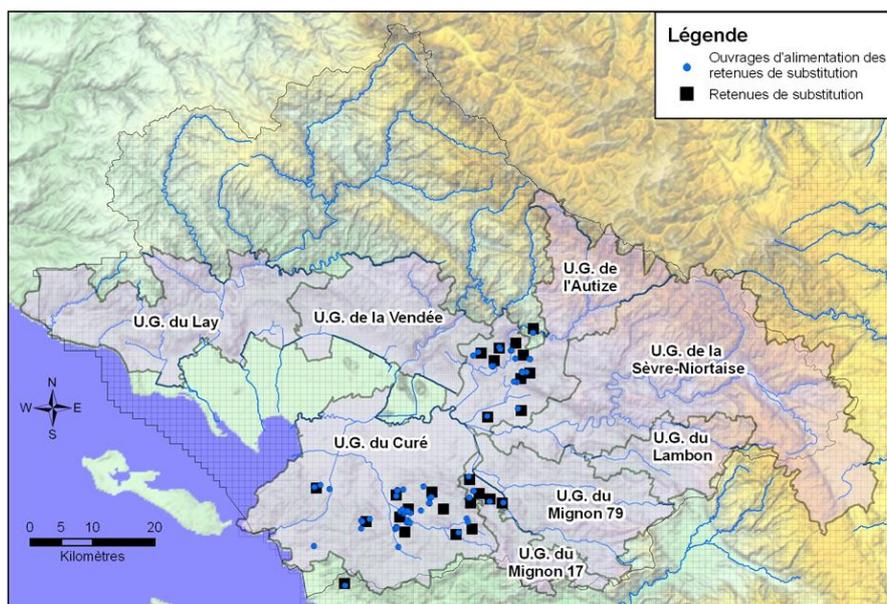


Figure 13 – localisation des retenues de substitution pour les projets définis

La simulation des remplissages des retenues de substitution par des forages en période hivernale (du 1^{er} novembre au 1^{er} mars) montre un impact peu significatif sur les nappes comme sur les rivières (exemples sur les figures 14 et 15), même dans le cas d'une recharge hivernale faible (excepté sur le piézomètre de Saint-Georges du Bois - différence de 1 à 2 mètres par rapport au modèle calé durant les hivers secs). 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, Autize).

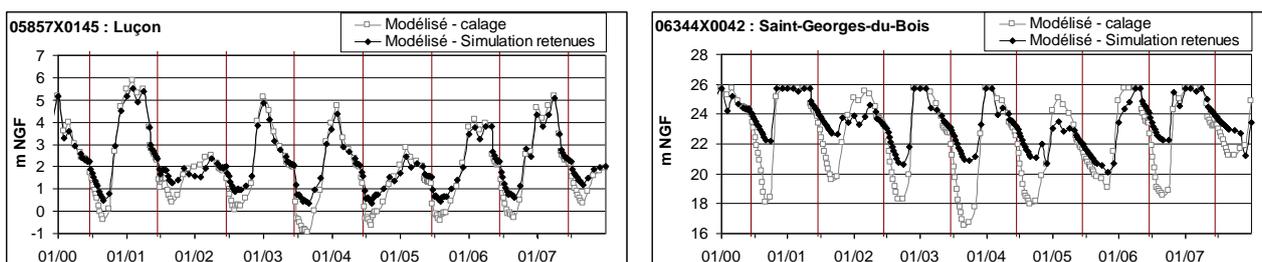


Figure 14 – impact de la mise en place des retenues sur le piézomètre de Luçon et St-Georges

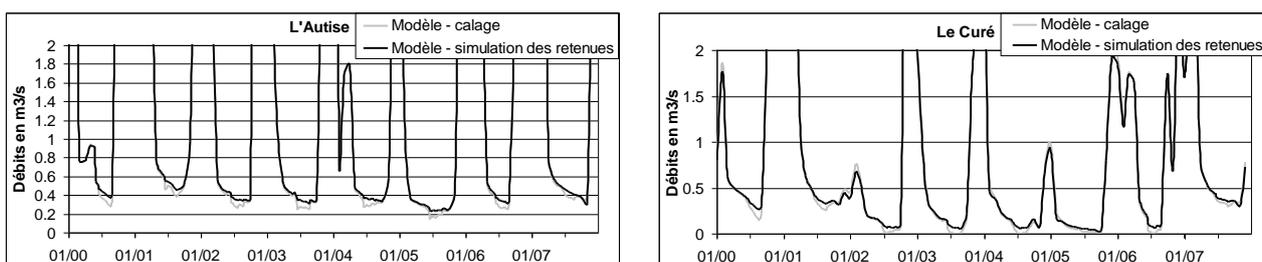


Figure 15 – comparaison des débits du cours d'eau entre le modèle calé et la simulation avec retenues de substitution

V. CONCLUSION

L'utilisation de modèles hydrodynamiques régionaux en Poitou-Charentes, intégrant les principaux cours d'eau, apporte de nouvelles perspectives en ce qui concerne la gestion globale des eaux souterraines.

Le modèle des aquifères Jurassiques en Poitou-Charentes qui s'étend sur le sud du département de la Vendée (bassins versants alimentant le Marais-Poitevin), a permis, à travers diverses simulations, 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. Un autre jeu de simulation a permis 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.

Ce modèle va maintenant être utilisé sur l'ensemble de la région pour analyser, d'une part l'impact des prélèvements sur les autres bassins versants, d'autre part 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 ou en testant la remontée océanique (impacts locaux sur les zones côtières).

Références bibliographiques :

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Mardhel V., Gravier A., 2006 – Carte de vulnérabilité simplifiée des eaux souterraines du bassin Loire Bretagne. *BRGM/RP-54553-FR*.