

## Simulation du fonctionnement hydrodynamique des milieux humides dans les plaines alluviales

### Simulation of hydrodynamic functioning of wetlands in alluvial plains

Adrien Bonneau<sup>1</sup>; Grégory Espitalier-Noël<sup>2, 3</sup>; Patrice Torquet<sup>2, 4</sup>; Jean-Pierre Jessel<sup>4</sup>; José-Miguel Sanchez-Pérez<sup>2, 3</sup>; Sabine Sauvage<sup>2, 3</sup>; Philippe Vervier<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Acceptables Avenirs, Labège, France

<sup>2</sup>University of Toulouse, INP, UPS

<sup>3</sup>CNRS, Ecolab (Laboratoire Ecologie Fonctionnelle et Environnement), avenue de l'agrobiopole 31326 Castanet Tolosan, France

<sup>4</sup>University of Toulouse IRIT (UMR 5505 CNRS INP UPS UT1 UTM)

## RÉSUMÉ

La modélisation hydrodynamique est peu utilisée afin de simuler le fonctionnement des milieux humides à l'échelle des plaines alluviales et nécessite souvent de nombreuses données d'entrée souvent difficiles à acquérir. On présente ici un outil de simulation, Accept'Hydro, qui est alimenté par quatre données d'entrée : le modèle numérique d'élévation (IGN), les données piézométriques (banque ADES), l'historique des débits rivières (banque HYDRO), et le réseau hydrographie (BD Carthage). Après l'étape de création automatique du maillage non-uniforme, adapté au domaine étudié, le logiciel génère en sortie les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement dans la rivière et dans la nappe souterraine, au pas de temps journalier. Les données simulées, sur une période de temps minimal de 10 ans, sont traitées afin de cartographier les milieux humides potentiels en bordure de cours d'eau. De plus, cet outil permet d'intégrer des hypothèses sur l'évolution des débits afin de prendre en compte les modifications dues au changement climatique, et d'en simuler les impacts sur le fonctionnement hydrologique. On présente ici les résultats d'Accept'Hydro sur la plaine alluviale de la Garonne et ses milieux humides pour la période 2004-2013, dans le département du Tarn-et-Garonne. Dans ce secteur, les simulations prévoient une diminution de la superficie des milieux humides pour l'horizon 2030, en partant d'hypothèses de diminution des débits saisonniers.

## ABSTRACT

Hydrodynamic modelling is rarely used to describe the functioning of wetlands at the alluvial plain scale and often requires numerous input data difficult to acquire. We present here a simulation tool, Accept' Hydro, which requires four input data: a digital elevation model (created by IGN), piezometric level data (ADES data bank), the history of river flows (HYDRO data bank), and the network hydrography (BD Carthage). After the automatic creation of a non-uniform mesh for the studied domain, the software generates water levels and flow velocities in the river and in the porous medium, with a daily time step. Then maps of potential wetlands are generated from these data simulated on a period of 10 years minimum, in the alluvial plain. Furthermore, hypotheses on evolutions of river flows can be integrated to take into account the modifications due to climate change, and to simulate impacts on the hydrological functioning. We present here the Accept' Hydro's results on the Garonne alluvial plain and the wetlands around this stream for the period 2004-2013, in the department of Tarn-et-Garonne. In this sector, this tool forecasts a decrease of the wetlands surface area for the horizon 2030, based on hypotheses of decrease of seasonal flows.

## MOTS CLES

Cartographie, changement climatique, interfaces nappes/rivières, modélisation, hydrologie

## 1 INTRODUCTION

Les milieux humides sont caractérisés par des interactions complexes entre les sols, l'eau, les plantes et les micro-organismes qui créent des services écosystémiques telles que la régulation hydrologique, l'épuration des eaux, etc. Les milieux humides soumis aux pressions anthropiques croissantes voient leur nombre diminué : à l'échelle mondiale, 50% des zones humides ont disparu depuis 1900 (UNESCO). La modélisation hydrodynamique dans les plaines alluviales est peu utilisée dans le but de simuler l'évolution spatio-temporelle des milieux humides. De plus, les modèles couplant les rivières avec les milieux poreux nécessitent la plupart du temps d'importantes quantités de données d'entrée et de paramètres physiques. On présente dans cette étude l'outil de simulation Accept'Hydro qui permet de simuler le fonctionnement hydrodynamique des interfaces rivières/nappes dans les plaines alluviales avec seulement quatre données d'entrée. Il est fondé sur un modèle hydrodynamique 2D couplant la rivière et la nappe d'accompagnement, ayant besoin de peu de paramètres physiques et permet de simuler les niveaux d'eau dans les nappes et les rivières ainsi que les vitesses d'écoulement (adapté de Peyrard *et al.* 2008). D'autre part, il est possible, en appliquant un critère hydrologique lié à la saturation (durée et fréquence), de générer des cartographies des milieux humides issues d'au minimum 10 années simulées. Cette étude présente ces résultats dans la plaine de la Garonne, ainsi que les prévisions pour l'horizon 2030.

## 2 METHODE

Après avoir sélectionné un secteur d'étude avec Google Maps, comportant une rivière en plaine alluviale, Accept'Hydro se décompose en plusieurs étapes :

1. Récupération et mise en forme des données d'entrée : historique des débits de la rivière en amont et en aval (banque HYDRO) / Modèle numérique d'élévation (données IGN) / La surface de la rivière (BD Carthage) / Données piézométriques (banque ADES).
2. Modélisation du site : Création d'un maillage non-uniforme où la taille des cellules dépend de la rivière et du MNE (Modèle Numérique d'Élévation).
3. Lancement de la simulation à l'aide d'un solveur de calcul simulant le couplage des écoulements nappes/rivières, en imposant en amont de la rivière, les débits au pas de temps quotidien. Ce solveur est basé sur le modèle hydrodynamique 2D de Peyrard *et al.* (2008).
4. En sortie, on sauvegarde les données simulées des hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement dans les différentes cellules du maillage (cellules carrées dont les tailles varient progressivement de 12.5m de côté à 100m de côté), au pas de temps journalier.
5. Après un minimum de 10 années simulées, les sorties du modèle peuvent être analysées via un critère définissant les conditions favorables au développement de la végétation hygrophile. Ce critère hydrologique a été élaboré à partir des observations et synthèses de l'US Army Corps of Engineers (2002), et doit satisfaire les trois conditions : (1) la profondeur du toit de la nappe par rapport à la surface du sol est égale à 50cm, (2) pendant une durée « minimale » de 7 jours consécutifs, et (3) ces deux précédentes conditions doivent être satisfaites 5 années sur les 10 simulées.

## 3 RESULTATS

A l'aide d'Accept'Hydro, une simulation sans calibration piézométrique du 01/01/2004 au 31/12/2013, a été réalisée dans la plaine alluviale de la Garonne, de Verdun-sur-Garonne en amont à Castel-Ferrus en aval, secteur contenant environ une portion de 25km de Garonne (valeurs des paramètres issues de Peyrard *et al.* 2008). Les hauteurs d'eau simulées dans la nappe (côtes NGF), de la dernière année de simulation, ont été comparés aux données de 4 piézomètres suivis par le laboratoire Ecolab et de 2 piézomètres de la banque ADES (source : Portail ADES, données exportées en avril 2014). L'erreur relative moyenne calculée est de 1% sur l'ensemble de ces piézomètres, prouvant la fiabilité du modèle hydrodynamique au cours du temps (exemple des niveaux d'eau d'un piézomètre avec les prédictions du modèle sur la figure 1). Les milieux humides calculés à partir du critère hydrologique sur les 10 années, contiennent la majorité des zones humides répertoriées par des observations terrain, ainsi que des zones potentiellement humides (figure 1).

Une simulation a été réalisée pour l'horizon 2030, correspondant aux hypothèses du projet "Imagine 2030" (IRSTEA, EDF, Agence de l'eau Adour-Garonne) et de la thèse de J. Boé 2007. Concernant la plaine alluviale de la Garonne. "Imagine 2030" prévoit une réduction maximale de 45% des débits en

été et automne, ainsi qu'une réduction de 10% en hiver et au printemps. La simulation a été réalisée à partir de l'hydrogramme de la période 2004-2013 à laquelle ont été appliquées ces hypothèses. Dans ce secteur, on a calculé une diminution de 2% environ de la répartition des milieux humides simulés en 2030 par rapport à la période 2004-2013.

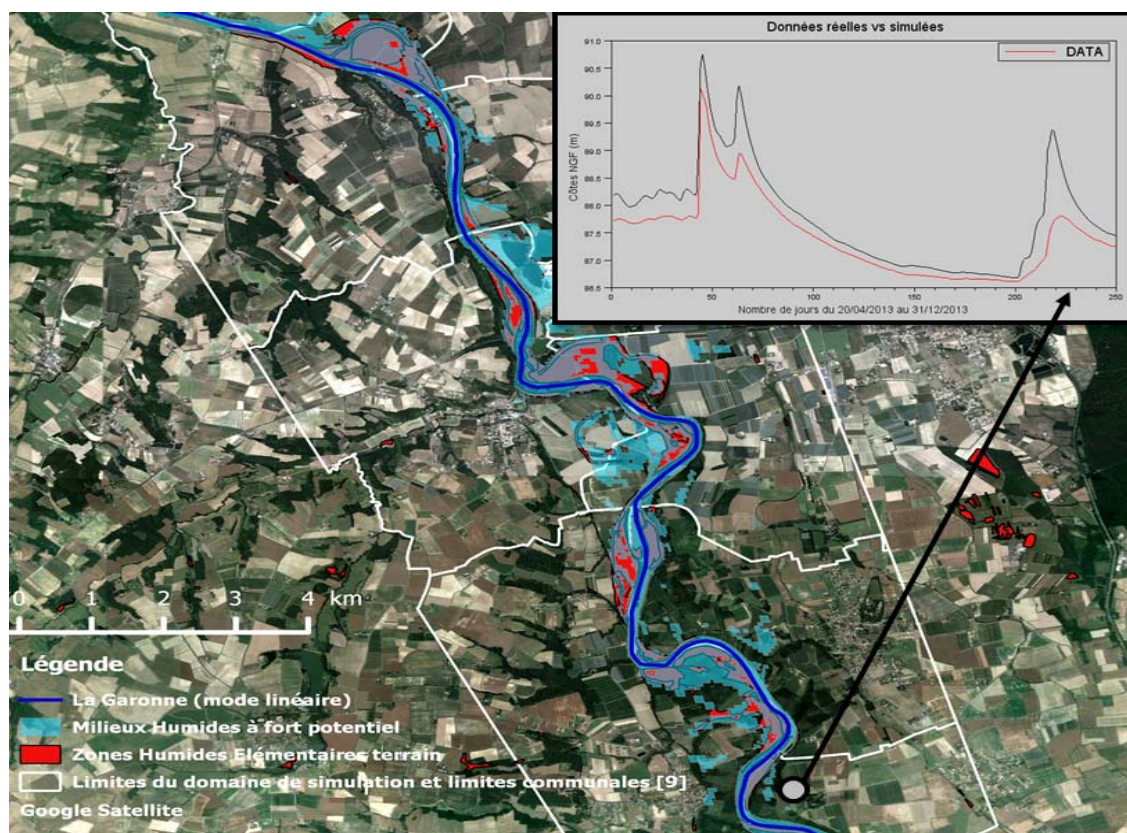


Figure 1. La Garonne est en bleu foncé, les milieux humides simulés par Accept'Hydro en bleu clair et les zones humides issues des inventaires terrain en rouge (données du Conseil Général du Tarn-et-Garonne) ; un exemple de données de hauteurs d'eau simulées (noir) et observées via un piézomètre (rouge), du 20/04/2013 au 31/12/2013 est présenté en haut à droite.

## 4 CONCLUSION

Accept'Hydro est un outil de simulation fiable et robuste permettant de simuler le fonctionnement des interfaces rivières/nappes et de générer des cartographies de milieux humides dans les plaines alluviales à l'aide d'un critère hydrologique. Cet outil permet de tester des hypothèses d'évolution sur les débits de la rivière due aux prévisions du changement climatique et d'en estimer l'impact sur l'hydrologie. D'autre part, la confrontation des résultats du modèle sur d'autres plaines alluviales est en cours de réalisation pour valider la généricité du modèle.

## 5 REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les partenaires financiers qui ont permis l'élaboration d'Accept'Hydro, à savoir BPI France, la région Midi-Pyrénées, le fond européen FEDER et l'agence de l'eau Adour-Garonne. De plus, les simulations ont été réalisées via CALMIP, le mésocentre de Calcul en Midi-Pyrénées.

## BIBLIOGRAPHIE

- Boé J., 2007. Changement global et cycle hydrologique : une étude de régionalisation sur la France. Thèse délivrée par l'université Paul Sabatier à l'U.F.R. Physique Chimie Automatique, spécialité Physique du climat.
- Peyrard, D., Sauvage, S., Vervier, P., Sanchez-Perez J.M. and Quintard, M. (2008). A coupled vertically integrated model to describe lateral exchanges between surface and subsurface in large alluvial floodplains with a fully penetrating river. In *Hydrol. Process*, Vol. 22, 4257-4273.
- U.S. Army Corps of Engineers (2002). Developing a "Regionalized" Version of the Corps of Engineers Wetlands Delineation Manual : Issues and Recommendations (J. S. Wakeley) ERDC/EL TR-02-20: U.S. Army Engineer Research and Development Center, Environmental Laboratory.