
	<p>Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie</p> <p>Programme de recherche IWRM-NET</p> <p>Convention de subvention n° 10-MUTS-IWRM-3-CVS-072</p>
<p>Projet de recherche :</p>	 <p>“Impact of climate change on water resources management. Regional strategies and European view”</p>
<p>Date de diffusion</p>	<p>lundi 16 juin 2014</p>
<p>Titre du document</p>	<p>Etude de cas N°2: Impacts du changement climatique sur les ressources en eau et la gestion des lacs-réservoirs du bassin de la Seine (France)</p> <p>SYNTHESE EN FRANÇAIS</p>
<p>Auteurs / Contributeurs :</p>	<p>IRSTEA UMR G-EAU, 361 rue Jean-Francois Breton, 34196 MONTPELLIER cedex 5</p> <ul style="list-style-type: none"> - Xavier Litrico, ensuite remplacé par David Dorchies (UMR G-Eau, Montpellier), chef de projet () - Luciano Raso, post-doctorant () - Maxime Jay-Allemand (Ingénieur de recherche), Florine Dehay et Andrea Ficchi (étudiants de Master) <p>IRSTEA UR HBAN, 1, rue Pierre-Gilles de Gennes, Antony Cedex CS 10030</p> <ul style="list-style-type: none"> - Charles Perrin, hydrologue () - Guillaume Thirel, Chargé de recherche () - Pierre-Yves Bourgin, Mathilde Chauveau (ingénieurs de recherche) <p>IRD UMR G-EAU, 361 rue Jean-Francois Breton, 34196 MONTPELLIER cedex 5</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jean-Claude Bader, ingénieur d'étude () <p>EPTB Seine Grands Lacs, 8 rue Villiot – 75012 Paris</p> <ul style="list-style-type: none"> - Régis Thepot, directeur général des services () - Jean-Louis Rizzoli, Directeur général des services technique () - Amélie Astruc, ensuite remplacée par Claudine Jost et Stéphane Demerliac, chef de projet et assistant technique de l'équipe Hydrologie (,)

1. INTRODUCTION

1.1 LE PROJET CLIMAWARE

Les projections climatiques établies par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) indiquent qu'un changement significatif des précipitations et des températures est à attendre en Europe dans les prochaines décennies. Le projet ClimAware (2010-2013, subventionné par IWRM-net) s'est chargé de développer des stratégies d'adaptation pour limiter l'impact du changement climatique dans plusieurs domaines relatifs à l'eau, chacun étant étudié à travers un cas d'étude : hydromorphologie en Allemagne, irrigation en Italie, et gestion de réservoir en France. Une modèle Européen intégré a aussi été développé à des fins d'analyses de comparaison d'échelle.

1.2 CAS D'ETUDE N°2 : GESTION DES LACS-RESERVOIRS DE LA SEINE

Le premier objectif du cas d'étude n°2 est de fournir aux gestionnaires des lacs-réservoirs de la Seine un cadre d'analyse pour évaluer les conséquences possibles du changement climatique sur le comportement hydrologique du bassin à l'horizon du milieu du XXI^{ème} siècle. Le second objectif est d'évaluer des stratégies d'adaptation envisageables dans le futur. L'étude se concentre sur le bassin versant de la Seine à Paris (43 800 km²), avec 25 points d'analyse répartis sur le réseau hydrographique (Figure 1).

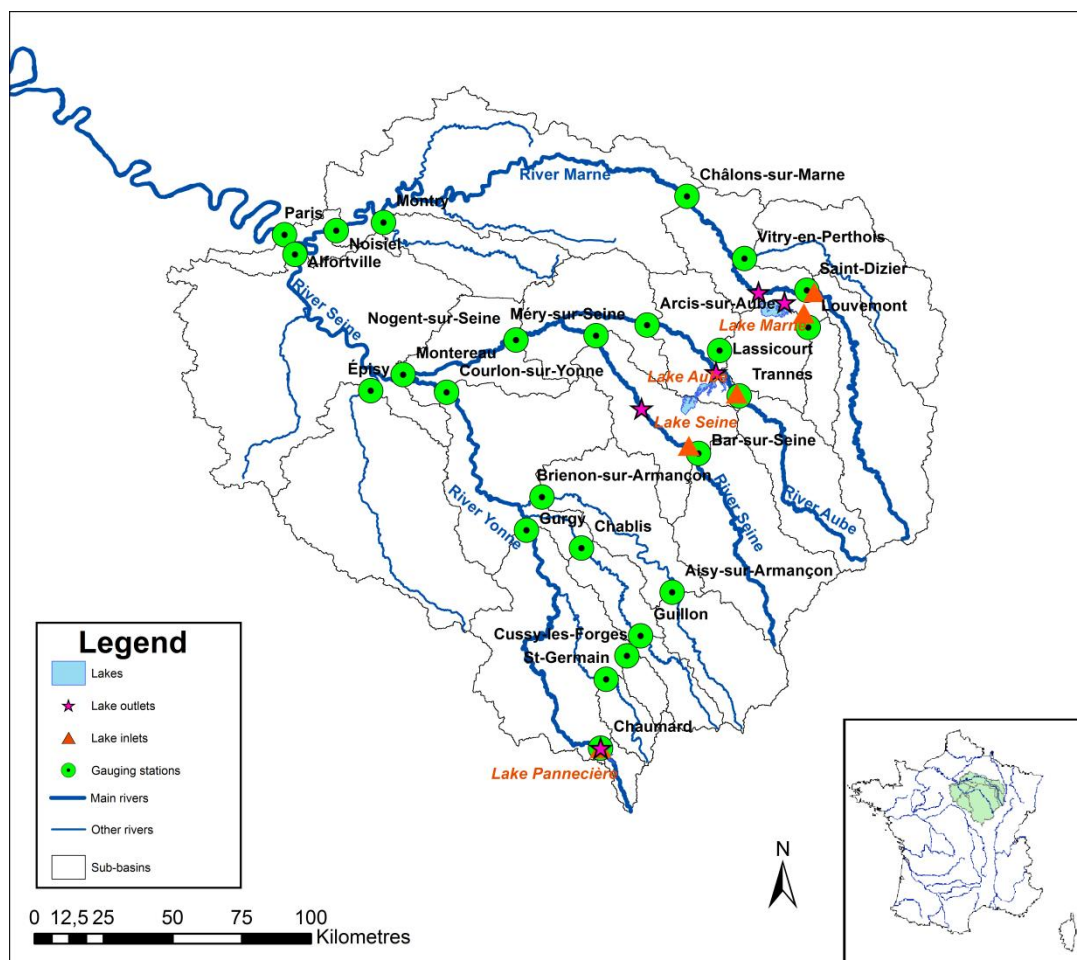


Figure 1 : Carte du contour du bassin versant de la Seine à Paris, avec les points d'analyse (stations de jaugeage), le réseau hydrographique principal et les réservoirs.

Les aspects clés de ce cas d'étude sont :

- le développement d'un modèle intégré du bassin versant incluant les influences de la gestion des réservoirs ;
- la définition des changements climatiques et socio-économiques sur le bassin pour le milieu du XXI^{ème} siècle ;
- l'évaluation de la robustesse des règles actuelles de gestion des réservoirs (qui utilisent des courbes objectif de remplissage et des contraintes locales aux réservoirs) ;
- la définition de stratégies d'adaptation à un niveau tactique (adaptation des courbes objectif des réservoirs) et opérationnel (gestion des réservoirs en temps réel).

2. DONNÉES, MODÈLE ET MÉTHODOLOGIE

Des données historiques étaient disponibles pour la période 1958–2009 : les débits observés au pas de temps journalier ainsi que les débits naturalisés pour 25 stations de jaugeage réparties sur le bassin en amont de Paris, les observations météorologiques issues de la ré-analyse SAFRAN de Météo-France, les données de gestion des réservoirs et les prélèvements issus de l'enquête BIPE (Bureau d'Informations et de Prévision Economique) réalisée dans le cadre du projet Explore2070.

Les scénarios climatiques proviennent du scénario d'émission de gaz à effet de serre A1B du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007). Sept sorties de modèles globaux climatiques ont été utilisées pour obtenir les précipitations, température et évapotranspiration potentielle au pas de temps journalier pour la période 1961–1991 choisie comme référence pour les conditions actuelles (ci-après notée période PST) et pour la période 2046–2065 pour les conditions futures (ci-après notée période FUT).

Afin d'évaluer l'impact possible du changement climatique sur le bassin versant de la Seine, une chaîne de modélisation chargée de simuler les débits journaliers en conditions naturelles et influencées a été utilisée. Deux modèles conceptuels pluie-débit ont été testés :

- le modèle global GR4J ;
- le modèle semi-distribué TGR composé d'un modèle GR4J pour chaque sous-bassin et d'un routage linéaire type « lag and route » pour propager les débits entre les sous-bassins.

La méthodologie utilisée pour évaluer l'impact du changement climatique implique plusieurs étapes :

1. Premièrement, les modèles ont été calés avec les débits naturalisés sur la période 1958-2009 en utilisant les données d'observations météorologiques SAFRAN.
2. Parce que les données issues des simulations climatiques avaient un biais significatif par rapport aux observations en temps présent (PST), nous avons appliqué une méthode de débiaisage sur les précipitations, l'évapotranspiration et les températures (méthode quantile-quantile). Le but de cette transformation est de faire correspondre la distribution mensuelle des variables climatiques simulées en période PST avec celle des observations. Ensuite, la même transformation est appliquée pour les variables simulées en période FUT.
3. Le modèle a alors été forcé avec les variables climatiques simulées en PST et FUT pour quantifier les possibles tendances de l'hydrologie sur le bassin versant de la Seine.
4. Un modèle simulant les règles actuelles de fonctionnement des réservoirs et un modèle reconstituant les prélèvements sur la rivière ont aussi été réalisés.
5. Les simulations des débits réalisés en conditions influencées ont permis d'évaluer la gestion des réservoirs pour les scénarios PST et FUT à l'aide d'indicateurs de performance relatifs à des seuils de débits d'étiage et de crue définis à l'aval des réservoirs par les gestionnaires.

Enfin, deux perspectives pour améliorer et adapter la gestion pour la rendre plus robuste face au changement climatique ont été proposées :

- Au niveau tactique, l'adaptation consiste à réaliser de nouvelles courbes objectif de remplissage en prenant en compte le changement climatique. Ce travail est basé sur une méthode statistique donnant les courbes de remplissage associées au risque de ne pas pouvoir assurer un objectif

dans le futur. De nouvelles courbes multi-objectif ont été développées pour les projections climatiques utilisées, en minimisant le risque d'échec et en suivant un ordre de priorité parmi les objectifs.

- Au niveau opérationnel, l'implémentation d'une commande prédictive (Tree-Based Model Predictive Control, TB-MPC) a été testée. C'est une méthode proactive et centralisée utilisant les informations disponibles en temps-réel incluant des prévisions météorologiques d'ensemble. La commande prédictive utilise un modèle interne et une fonction objectif pour trouver la commande optimale à appliquer aux réservoirs. Le modèle interne prédit les futurs effets des commandes présentes sur un horizon de 9 jours et la fonction objectif pénalise les trop forts et trop faibles débits sur les différentes stations de contrôle à l'aval des réservoirs.

3. RESULTATS

3.1 IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN GESTION ACTUELLE

Concernant les tendances hydrologiques en conditions naturelles, 75 % des simulations indiquent une baisse comprise entre 15 % et 30 % du débit moyen annuel pour la période FUT comparé à la période PST. Les résultats indiquent une augmentation de la sévérité et de la longueur des étiages alors que l'évolution des hautes eaux et des fortes crues est très incertaine. La tendance sur les étiages devrait avoir un impact important sur la gestion future des réservoirs durant l'été.

Concernant les tendances hydrologiques avec la gestion actuelle des réservoirs, un écart important des débits à l'étiage se dessine entre les périodes PST et FUT, mettant l'accent sur la baisse importante des débits d'étiage et la difficulté de soutenir l'étiage aux niveaux actuels de débits avec les règles actuelles de gestion.

3.2 COMPARAISON DES DIFFERENTES ADAPTATIONS DE LA GESTION

La comparaison de différentes stratégies de gestion utilise des indicateurs de performance basés sur le franchissement de seuils d'étiage et de crue sur les stations de contrôle, représentant différents niveaux de sévérité (vigilance à crise). Elle concerne les quatre adaptations de la gestion mixant la gestion actuelle et les adaptations proposées aux niveaux tactique et opérationnel. Les simulations ont été réalisées pour les quatre modes de gestion avec les sept simulations climatiques en périodes PST et FUT et les indicateurs de performance ont été calculés pour neuf stations de mesure situées à l'aval des lacs-réservoirs.

Au regard des indicateurs de performance, les meilleurs résultats sont obtenus, pour les périodes PST et FUT, avec la gestion combinant les nouvelles courbes de remplissage multi-objectif et la gestion actuelle des réservoirs en temps réel utilisant des seuils de débits sur des stations de mesure situées proches des réservoirs. Toutefois, même avec cette gestion adaptée, les indicateurs montrent un impact significatif des évolutions climatiques sur les étiages. Par exemple, on peut s'attendre à ce que le seuil d'alerte en étiage (le premier seuil impliquant des restrictions d'usage de l'eau) soit atteint 5 % du temps dans le futur, alors qu'il ne concerne que 1 à 2 % du temps actuellement.

4. CONCLUSION AU REGARD DE LA DIRECTIVE CADRE SUR L'EAU

Les résultats du cas d'étude montrent que l'aggravation des étiages devrait affecter l'objectif de « bon état » des masses d'eau. En effet, quelle que soit la gestion des lacs-réservoirs envisagée, des baisses de débits sont attendues à l'étiage. Dans ce contexte, la moindre dilution des pollutions issues de diverses activités (stations de traitement des eaux usées domestiques et industrielles, agriculture, etc.) pourrait remettre en cause le « bon état » des eaux. L'adaptation à envisager nécessiterait de nouvelles recherches et devrait alors se porter sur les usages et la gestion de la ressource en eau à l'échelle du bassin versant.

5. VALORISATIONS LIEES AU CAS D'ETUDE

5.1 RAPPORTS TECHNIQUES ET DE MASTER RECHERCHE

Bader, J.-C., 2013. Calcul des limites de volume d'eau à respecter dans les réservoirs Yonne, Seine, Aube et Marne en fonction des objectifs visés à l'aval.

Dehay, F., 2012. Etude de l'impact du changement climatique sur la gestion des lacs-réservoirs de la Seine (Diplôme d'ingénieur). ENGEES, Strasbourg.

Ficchi, A., 2013. A centralized real-time controller for reservoirs management on the Seine river using ensemble weather forecasting (Master of science in environmental and land planning engineering). Politecnico di Milano, Milano, Italia.

5.2 PRESENTATIONS A DES CONFERENCES INTERNATIONALES

Dorchies, D., Perrin, C., Bourgin, P.-Y., Astruc, A., Rizzoli, J.-L., Thépot, R., 2012. Impacts des changements climatiques sur la gestion des barrages-réservoirs du bassin de la Seine – Premiers résultats du projet Climaware. Presented at the I.S. Rivers, GRAIE / ZABR, Lyon, France.

Dorchies, D., Thirel, G., Chauveau, M., Jay Allemand, M., Perrin, C., Dehay, F., 2013. Climate change impact on the management of water resources in the Seine River Basin, in: EGU 2013, 07/04/2013-12/04/2013, Vienna, AUT. p. 19.

Ficchi, A., Raso, L., Jay-Allemand, M., Dorchies, D., Malaterre, P.-O., Pianosi, F., Van Overloop, P.-J., 2013a. A centralized real-time controller for the reservoir's management on the Seine River using ensemble weather forecasting, in: EGU General Assembly Conference Abstracts. Vienna, Austria, p. 10420.

Ficchi, A., Raso, L., Jay-Allemand, M., Dorchies, D., Malaterre, P.-O., Pianosi, F., Van Overloop, P.-J., Thirel, G., Ramos, M.-H., 2013b. Reservoir's management on the Seine River using a centralized real-time controller and ensemble weather forecasting. Presented at the Joint Assembly IAHS - IAPSO - IASPEI, Gothenburg, Sweden.

Dorchies, D., Jay-Allemand, M., Ficchi, A., Bader, Thirel, G., Raso, L., Jost, C., Demerliac, S., 2014. Adaptation of multi-purpose reservoirs management on the Seine River basin in a climate change perspective. Results of the ClimAware project. Presented at the Adaptation frontiers CIRCLE-2, Lisbon, Portugal.

Thirel, G., D'Agostino, D., Demerliac, S., Dorchies, D., Flörke, M., Jay-Allemand, M., Jost, C., Kehr, K., Perrin, C., Scardigno, A., Schneider, C., Theobald, S., Träbing, K., 2014. The Climaware project: Impacts of climate change on water resources management – regional strategies and European view, in: In Proceeding of: Geophysical Research Abstracts. Presented at the EGU General Assembly 2014, Vienna, Austria.

5.3 ARTICLES DE REVUES A COMITE DE LECTURE

Dorchies, D., Thirel, G., Jay-Allemand, M., Chauveau, M., Dehay, F., Bourgin, P.-Y., Perrin, C., Jost, C., Rizzoli, J.-L., Demerliac, S., Thépot, R., 2014. Climate change impacts on multi-objective reservoir management: case study on the Seine River basin, France. *International Journal of River Basin Management* 1–19. doi:10.1080/15715124.2013.865636.

Ficchi, A., Raso, L., Dorchies, D., Malaterre, P.-O., Jay-Allemand, M., Pianosi, F., Van Overloop, P.-J., Model Predictive Control for reservoirs management on the Seine River using deterministic and ensemble weather forecasts. To be submitted.