

Programme GICC Gestion et Impacts du Changement Climatique
Séminaire scientifique de restitution
11-12 mai 2006, PARIS

Le projet GICC-Rhône

Synthèse présentée par Etienne Leblois (coordinateur)
du projet mené par

E. Ledoux(1) , P. Viennot(1), D. Thiéry(2) , C. Golaz(2),
N. Amraoui(2), N. Lamouroux(3), E. Leblois(4), J.M. Grésillon(4),
J.C. Maihol(5), J.M. Gonzalez-Camacho(5), B. Lacaze(6) , N. Katiyar(6),
C. Ottlé(7), S. Le Hégarat(7), L. Li(8), G.M. Saulnier(9),
F. Hendrickx(10) , J. Gailhard(10), R. Garçon(10), A. Boone(11) ,
P. Etchevers(11) , J. Noilhan(11), F. Habets(11) , T. Pellarin(11)

(1) CIG-ENSMP, (2) BRGM Service Eau, (3-5) Cemagref, (6) UMR5600,
(7) CETP, (8) LMD, (9) LTHE, (10) EDF-DRD, (11) CNRM

Texte de la communication

Résumé du projet

Le projet GICC-Rhône (1999-2004), qui a impliqué environ 25 personnes de plusieurs laboratoires, s'est intéressé aux impacts à prévoir sur la partie française du bassin du Rhône, dans le cas d'un changement climatique revenant à un doublement du CO₂ atmosphérique. Cette situation correspond approximativement à l'échéance 2050.

La voie retenue a été celle de la modélisation hydrologique déterministe du bassin versant du Rhône, complétée par une caractérisation des impacts associés. Les principales étapes ont été :

- d'évaluer le changement climatique global susceptible d'intervenir sous ce scénario 2 x CO₂, à l'aide des sorties de plusieurs modèles de circulation générale atmosphérique ;
- de désagréger les indications météorologiques globales qui en résultent vers les échelles détaillées nécessaires à la modélisation hydrologique ;
- d'appliquer les forçages climatiques obtenus à plusieurs modèles hydrologiques de la partie française du bassin versant du Rhône ou d'affluents d'intérêt particulier ;
- d'analyser les résultats issus de ces modèles, afin d'évaluer l'effet du changement relatif à l'hydrosystème étudié.

Ont été examinés l'hydrologie générale des cours d'eau, préalable nécessaire à toute étude d'aléa hydrologique et de ressource en eau, ainsi que les impacts relatifs à divers domaines physiques, biologiques et socio-économiques : interactions entre eaux de surface et eaux souterraines, évolutions quantitatives et qualitatives possibles de la végétation, relation entre la ressource en eau et les systèmes agricoles irrigués, et enfin réaction des communautés ichtyologiques sous régime hydrologique modifié.

Le thème des incertitudes a fait l'objet d'une préoccupation constante ; l'idée générale a été au moins d'exprimer et si possible de quantifier ces incertitudes, par des moyens techniques eux-même objet de recherche. Pour permettre une telle étude le projet a eu recours à plusieurs modèles, tant au niveau des scénarios atmosphériques qu'à celui de la modélisation hydrologique.

Résultats de méthode

Les travaux de modélisation entrepris montrent que si on dispose d'un scénario atmosphérique :

- il est possible d'en décliner certaines conséquences hydrologiques ;
- la variabilité engendrée par la variété des processus en œuvre dans les différents bassins et par les méthodes de désagrégation temporelle et spatiale est telle que les conclusions peuvent différer profondément d'un bassin à un autre, et dépendent fortement de la grandeur hydrologique étudiée ;
- l'étude statistique des résultats hydrologiques permet cependant de dégager des tendances ;
- la mise en œuvre de représentations adaptées (diagramme de sensibilité) permet de montrer de façon ramassée combien les conclusions dépendent des caractéristiques propres des bassins concernés et du choix précis de la variable étudiée (nature de la variable, mais aussi support temporel (saison, durée, ...) et statistique (moyenne, quantile)). Certaines conclusions seront fermes, d'autres pas : la dispersion des scénarios atmosphériques dans le diagramme de sensibilité donne image de ce degré de fermeté ;
- la mise en œuvre de techniques d'exploration numérique des incertitudes adaptées (modélisation multi-objectif) permet de montrer que l'incertitude de calage des modèles hydrologiques n'est pas de nature à empêcher d'énoncer des conclusions relativement précises (ce qui suggère que si les modèles hydrologiques sont perfectibles, et certainement ils le sont, ce sera dans leur structure et non pas dans leurs algorithmes de calage).

La dispersion des « images du futur » que l'on obtient est principalement due à celle des scénarios atmosphériques de forçage censés représenter ces futurs possibles. Les incertitudes de calage des modèles hydrologiques distribués ne paraissent pas d'un ordre de grandeur suffisant pour que la substitution d'un jeu de paramètres de calage à un autre équivalent, ou la substitution d'un modèle à un autre, soient de nature à remettre en cause cette conclusion.

Résultats relatifs au bassin versant du Rhône

Pour la Saône, l'Ardèche et le Rhône dans son ensemble, les hauts débits tendent à augmenter, les eaux moyennes et les étiages à diminuer. Pour la Durance, au régime nival, on observe une diminution du pic de fonte et un débit plus soutenu en hiver, les deux aspects étant évidemment liés.

Ces conclusions dépendent fortement du scénario : si les crues augmentent d'environ 12% dans le scénario CNRM-HR, elles diminuent quelque peu dans le scénario LMD-HR. Par contre, l'évolution ne dépend guère du modèle hydrologique sous-jacent. Le contraste entre la Durance et de la Saône montre que l'impact est différenciée selon les processus dominants dans les bassins. L'évolution en diminution de la composante nivale est la plus nette conclusion que l'on puisse tirer pour ce qui est de l'eau en tant que ressource.

La simulation du manteau neigeux sur le bassin versant du Rhône fournit des résultats validés par comparaison avec les observations de hauteurs de neige et de débits. L'impact du réchauffement est une diminution générale des hauteurs de neige, de l'accumulation maximale et de la durée de l'enneigement. Cette diminution est forte à basse et moyenne altitude (réduction de 50 % du manteau neigeux, voire parfois disparition) et moins sensible en haute montagne (-20% pour l'accumulation maximale). Les surfaces enneigées pendant l'hiver diminuent en moyenne de 25 à 40 % suivant les scénarios. La fonte du manteau neigeux se produisant plus tôt et les précipitations neigeuses diminuant, les forts débits printaniers sont généralement réduits et ils apparaissent plus tôt (1 mois avant). Les débits hivernaux augmentent sensiblement (davantage de pluies hivernales), alors que les débits estivaux sont réduits de 50 % (assèchement plus marqué des sols). Ces tendances générales sont reproduites par tous les scénarios, à des degrés divers. Deux familles principales se distinguent : quatre scénarios « modérés » et deux « extrêmes » (dans le sens d'une réduction plus forte du manteau neigeux).

Quant à la biologie des écosystèmes aquatiques : si l'on considère comme plausible une réduction des débits mensuels secs sur le bassin de l'ordre de 30% - 40 % (plusieurs scénarios s'accordant la-dessus), une réduction moyenne de la proportion des espèces d'eau courante de 20% semble plausible.

Elle pourrait concerner le nord-nord-est du bassin en particulier. Cette évolution pourra renforcer la régression générale de ces espèces en Europe (en particulier hotu, ombre commun, vandoise, barbeau), due à l'aménagement des cours d'eau.

Quant à la production agricole irriguée : le réchauffement climatique induit des doses d'arrosage plus élevées et moins variables. Une date précoce permet de décaler la période d'arrosages et de réduire la dose d'arrosage en août, période où la disponibilité en eau de la rivière est la plus faible. Une réduction de la dose de 45 % en moyenne, induit des pertes en rendement de 26 %, pour le climat présent et de 32 %, pour le climat futur. La variabilité du rendement passe de 4 % en conditions de satisfaction en eau optimales à 22 % en absence d'irrigation. L'augmentation de la demande en eau d'irrigation environ de 14 % ne peut qu'augmenter la fréquence des déficits en eau.

L'hypothèse d'une végétation potentielle qualitativement constante apparaît en soi manifestement fausse. Malgré cela, nous estimons que les évaluations d'hydrologie quantitative faites sur le bassin versant du Rhône dans le cadre de GICC-Rhône, avec l'hypothèse d'une végétation invariante, peuvent être considérées comme une approximation satisfaisante au premier ordre. Les arguments majeurs sont liés à la part relativement faible du territoire occupée par une végétation « spontanée », et surtout le fait que l'évolution de la végétation se fera sur une durée probablement plus longue que l'horizon 2050 étudié.

Le CNRM a évalué l'apport de la prise en compte d'une végétation interactive via l'utilisation du module ISBA A-gs. Dans les simulations en temps présent, bien que l'évolution de la végétation varie d'année en année et présente des maximums d'indice foliaire variables, les résultats d'ISBA A-gs ont montré une faible sensibilité aux variations de l'indice foliaire, et la variation inter-annuelle de la végétation ne modifie que faiblement le bilan hydrique simulé.

Discussion des incertitudes

C'est la notion même de modèle qu'il convient de bien garder en mémoire pour ne pas faire dire à notre étude plus qu'elle ne prétend dire.

Un point sensible limite notre modélisation des variables hydrologiques en climat futur et notamment de leurs extrêmes. On peut le résumer comme suit : les MCG sont reconnus comme imparfaits ; on pense cependant que leur sensibilité au doublement de CO₂ (tendance des différents champs) est correcte ; ceci a induit une méthodologie de désagrégation particulière, la méthode des perturbations. Or, cette stratégie limite la pertinence du dispositif pour l'évaluation des extrêmes. Seules les fluctuations des valeurs moyennes mensuelles sont imprimées dans les champs des variables atmosphériques aux pas de temps tri horaires ou journaliers.

Un autre aspect à garder en mémoire est celui de l'équifinalité de calage des modèles hydrologiques, à savoir que toute une famille de jeux de paramètres peut rendre compte à un même degré des observations, pour un modèle dont la structure (géométrie et présentation des processus) est fixée. Un traitement possible de l'équifinalité est de considérer l'incertitude sur les paramètres comme ressortant d'un modèle mathématique qui reste à préciser compte-tenu des données (approche bayésienne). Moins contrainte mathématiquement, la méthode multi-objectif adoptée ici permet de bien montrer l'ordre de grandeur des incertitudes impliquées par l'équifinalité et, notamment, qu'elle est inférieure à la dispersion entre les scénarios atmosphériques.

La question de l'erreur de structure des modèles est plus délicate, en particulier elle n'est pas évaluable par de simples manipulations quantitatives. Nous l'avons abordée sous l'angle très pragmatique de la confrontation entre différents modèles, qui fournit une première vision de la dispersion des résultats attribuable à différentes formulations des phénomènes hydrologiques.

Les incertitudes de modélisation, réelles, sont très variables d'un bassin à l'autre et selon les variables étudiées. Cependant, les pires incertitudes ne concernent peut-être pas l'hydrologie, et toute

amélioration des scénarios atmosphériques du futur aura des répercussions immédiates sur la précision et la fiabilité des projections hydrologiques.