

Impacts du changement climatique sur les régimes hydrologiques et thermiques des cours d'eau du bassin de la Loire : horizons milieu et fin du siècle

Présentation Florentina Moatar, Professeur Université François Rabelais de Tours

Nous présentons ici les résultats du projet ICC-HYDROQUAL mené en collaboration par les laboratoires GÉHCO (Tours), Sisyphe (Paris VI), IRSTEA (Lyon), BRGM (Orléans) et financé par l'Etablissement Public Loire et FEDER.

Dans le bassin de la Loire nous avons utilisé un ensemble de 21 projections climatiques, issues de plusieurs modèles climatiques internationaux utilisés pour le quatrième rapport du GIEC , AR4 (14 projections A1B) et 7 projections complémentaires simulées par des versions du modèle Arpège de Météo-France. Les projections issues du modèle Arpège sont disponibles de manière continue sur la période 1950-2100, les autres projections sont disponibles sur trois horizons temporels, 1950-2000 (pour le présent), 2046-2065 (milieu du siècle) et 2081-2100 (fin du siècle). Aux deux horizons analysés au cours du XXI^e siècle, le changement climatique se caractérise sur l'ensemble du bassin par un réchauffement de l'ordre de 2°C ($\pm 0,4^{\circ}\text{C}$) en moyenne annuelle au milieu du siècle et de l'ordre de 2,8 °C (± 0.7) en fin du siècle. Il est plus important en été et automne, pour atteindre près de 4°C en août en fin de siècle. Ce réchauffement s'accompagne d'une augmentation de l'évapotranspiration potentielle. L'évolution des cumuls pluviométriques mensuels est plus contrastée de manière spatiale et suivant les saisons. On observe une forte diminution en été/automne, mais aussi de légères augmentations au printemps. Pour les intensités des événements extrêmes, des augmentations pour la partie amont du bassin sont mises en évidence. De plus, il est observé un décalage temporel progressif de la saison des extrêmes vers l'hiver avec diminution des épisodes d'automne. Sur la partie aval du bassin, les modifications sont moins marquées avec une majorité des changements se situant dans la limite $\pm 10\%$.

La deuxième étape de la démarche consiste à transformer les projections climatiques en projections hydrologiques, si possible à partir de plusieurs modèles hydrologiques afin de mieux apprécier la robustesse des évolutions ainsi projetées. Ces modèles sont d'abord calés sur les conditions actuelles, puis utilisés pour simuler les évolutions potentielles des débits des cours d'eau selon les projections climatiques désagrégées. Nous avons ici retenu deux modèles hydrologiques, qui étaient représentatifs des différences entre 6 modèles testés dans une étude des impacts hydrologiques du changement climatique dans les bassins de la Somme (Ducharne et al, 2009). Ces deux modèles, à savoir le modèle CLSM (Gascoin et al, 2009) et le modèle EROS du BRGM (Thiéry et Moutzopoulos, 1995) ont été mis en œuvre en subdivisant le bassin de la Loire en 68 sous-bassins, homogènes d'un point de vue climatique et géologique, avec des tailles comprises entre 120 et 3700 km². Ces modèles ont été calés pour bien reproduire les débits observés sous le climat observé des dernières décennies. La simulation des extrêmes de crue et d'étiage est cependant moins bonne du fait d'un calage privilégié sur les débits « normaux ». S'ajoute, sur la Loire, une complexité supplémentaire du fait d'actions humaines perturbant le cycle hydrologique naturel (barrages-réservoirs et prélèvements d'eau).

Les changements projetés pour le XXI^e siècle à venir sont beaucoup plus importants que les imperfections ci-dessus. Ils indiquent d'abord une baisse importante des débits moyens annuels, dès le milieu du siècle. A Montjean-sur-Loire, la station hydrométrique la plus aval de celles qui ne sont pas influencées par l'estuaire (surface amont de 109 930 km²), la diminution du débit annuel suggérée par EROS est de l'ordre de 30% avec cependant une incertitude de l'ordre de 15%. Si l'on s'intéresse maintenant aux variations saisonnières de long de la Loire et de ses principaux affluents, la diminution des débits se répercute davantage sur les basses eaux que sur les hautes eaux, dont la baisse est moins robuste (Moatar et al, 2010).

La tendance à une diminution des débits moyens, d'étiage et à un allongement des périodes de faibles débits est partagée par les deux modèles hydrologiques. Cette restriction des ressources en eau, notamment aux bas débits, conduira à exacerber les questions déjà cruciales de l'usage de l'eau et de la gestion des étiages. Une stratégie d'adaptation selon la disponibilité de l'eau serait à élaborer. Cette modification profonde attendue est liée à l'augmentation des pertes par évapotranspiration et à la diminution des précipitations liquides et neigeuses. L'absence de tendance significative sur l'évolution des crues est à signaler, que ce soit sur la dynamique ou sur l'intensité, avec des changements modérés sans cohérence de signe. Ce résultat, doit cependant être regardé avec précautions, vu les incertitudes fortes qui l'entachent, notamment sur la capacité des modèles climatiques à reproduire les précipitations extrêmes.

La troisième étape de l'étude consiste à transformer les projections climatiques et hydrologiques en projections du régime thermique des cours d'eau. Pour cela, nous avons développé un modèle basé sur la résolution au pas de temps journalier d'un bilan énergétique, qui intègre les échanges avec l'atmosphère et les nappes et sur la propagation du signal thermique résultant de l'amont vers l'aval en fonction des caractéristiques morphologiques moyennes par ordre de Strahler. Il simule ainsi une température journalière à l'exutoire des 68 sous-bassin déterminés pour la modélisation hydrologique et à l'intérieur de chaque sous-bassin à la confluence des cours d'eau équivalents (Bustillo et al, 2010).

L'accroissement de température sur les moyennes annuelles, les moyennes mensuelles maximales et les moyennes mensuelles minimales est robuste, puisque l'ensemble des scénarios testés s'accompagne d'une anomalie positive, du même ordre de grandeur (2°C en MS ; 2.8°C en FS) sur ces 3 critères. Les simulations indiquent que les descripteurs caractéristiques de températures chaudes (températures moyennes maximales sur 10 jours consécutifs, température journalière maximale..) augmentent, de 1 à 2°C. La dispersion inter-MCGs s'accroît par rapport aux descripteurs moyens. L'incertitude des simulations liée à la variabilité inter-MCG est d'autant plus grande que le descripteur est établi sur un nombre restreint de données.

Dans ce contexte, et compte-tenu du fait que le modèle est assez peu performant s'agissant de la simulation d'événements extrêmes isolés, nous retenons plus particulièrement les anomalies simulées sur des critères intégrateurs comme TECX10 : maximum annuel sur moyennes mobiles à 10 jours, J16 : date de dépassement du seuil thermique 16°C, et N24 : occurrence annuelle de dépassement du seuil thermique 24°C. La dispersion des écarts inter-horizons sur ces critères J16 et N24 est importante. Néanmoins, les tendances qui se dégagent sont robustes, avec un avancement de la date de dépassement du seuil 16°C et une occurrence accrue des dépassements de seuil 24°C. Sur la Loire à Avoine, le nombre de jours par an pour lesquels la température de l'eau excède 24°C, passe de 15 jours à 30 jours en MS, et finalement 42 jours en FS. La localisation géographique future des secteurs pour lesquels on simule une occurrence équivalente à celle simulée sur Avoine en temps présent, migre de plusieurs centaines de km vers l'amont.

Les poissons sédentaires des parties basses et moyennes appartiennent en majorité à la famille des cyprinidae et à des espèces plutôt eurythermes. Pour une grande partie de ces espèces le seuil de reproduction est 16°C. Ce seuil de 16°C est également le seuil de reproduction de la grande alose, poisson migrateur anadrome qui se reproduit en eau douce. Nous avons donc évalué la date de dépassement de ce seuil sur des profils longitudinaux de différents cours d'eau. A l'horizon 2046-2065, on simule un avancement de la date de dépassement du seuil, de 20-30 jours pour A2 et A1B, et de 10-15 jours pour B1. A l'horizon 2081-2100, cette tendance s'accroît : 35-40 jours pour A2, 25-35 jours pour A1B, et 20-25 jours pour B1. Il ne ressort aucune tendance spatiale évidente quant à l'avancement de cette date de dépassement de seuil.

Si ces prévisions s'avéraient exactes, il faudrait s'attendre à un bouleversement des équilibres écologiques actuelles. Les changements climatiques récents ont déjà modifié les conditions de vie des poissons avec l'augmentation des températures de l'eau ces dernières années (Moatar et Gailhard, 2006).

Moatar F, A. Ducharne, D. Thiery, V. Bustillo, E. Sauquet, J-Ph Vidal. 2010. La Loire à l'épreuve du changement climatique. *Géosciences* n°12, numero special La Loire, agent géologique : 78-87

Bustillo V, Moatar F, Ducharne A, Thiéry D, Poirel. A. (2012). A multimodel comparison for assessing water temperatures under changing climate conditions via the equilibrium temperature concept: case study of the Middle Loire River, France. *Hydrological processes*. Published online in Wiley Online Library, Doi: 10.1002/hyp.9683

Moatar F., J. Gailhard **2006**. Water temperature behaviour in the River Loire since 1976 and 1881. *C.R. Geosciences (Hydrology-Hydrogeology)*. 338: 319-328.