

HYDROLOGIE, VARIABILITE ET CHANGEMENTS**Pierre HUBERT**UMR sisyphe, Centre de Géosciences, Ecole des Mines de Paris
Secrétaire général de l'Association International des Sciences HydrologiquesPierre.Hubert@ensmp.fr

Au cours du XXe siècle la température moyenne du globe terrestre a augmenté d'environ 0,6 °C (Figure 1), cette augmentation étant essentiellement attribuée à l'augmentation dans l'atmosphère de la teneur des gaz à effet de serre et singulièrement du dioxyde de carbone (CO₂). Cette augmentation de température n'a pas été régulière et l'on a pu constater un palier au début du siècle voire même une très légère diminution vers les années soixante. Le calcul d'une telle moyenne pose d'ailleurs des problèmes redoutables compte tenu de l'hétérogénéité spatiale et de l'évolution au cours du temps des réseaux de mesure météorologiques. Les modèles climatiques prévoient que l'augmentation de la température moyenne du globe devrait se poursuivre au cours du XXIe siècle et qu'elle pourrait atteindre une valeur de plusieurs degrés à l'horizon de la fin de ce siècle.

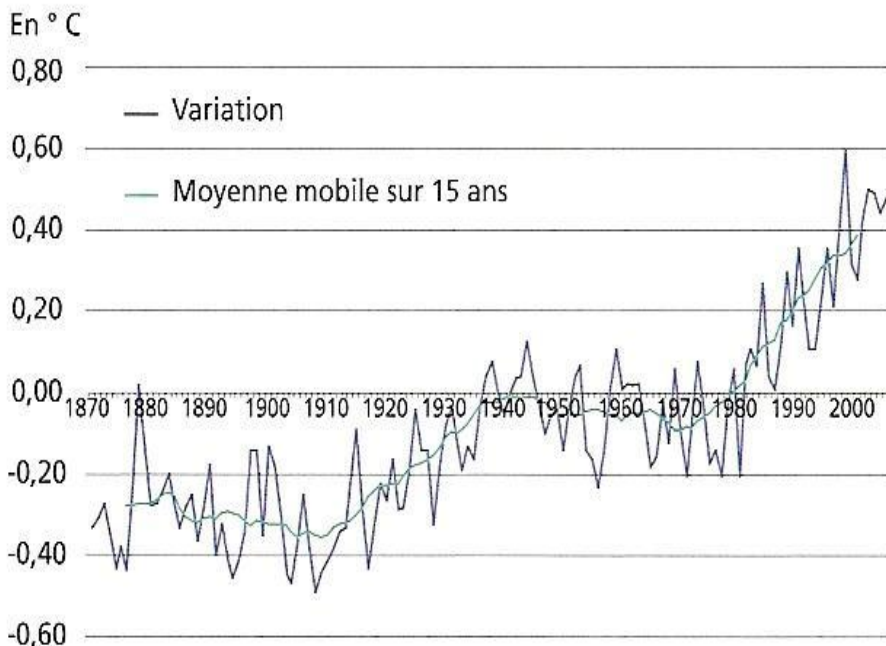


Fig. 1. Ecart à la moyenne 1961-1990 (normale climatique) de la température moyenne du globe terrestre au cours du XXe siècle (D'après Climatic Research Unit, University of East Anglia, Royaume-Uni <http://www.cru.uea.ac.uk/>)

Les modèles climatiques, de l'aveu même de leurs auteurs, souffrent de certaines déficiences. Les phénomènes qu'ils sont sensés représenter sont fortement non-linéaires et concernent des milieux aussi différents que l'atmosphère, la surface des continents et les océans selon une énorme gamme d'échelles de temps et d'espace (Hubert et al, 2002). Cette non-linéarité pourrait d'ailleurs rendre fallacieuse la volonté d'isoler une part proprement anthropique des variations du climat. La résolution numérique des équations impose d'autre part une discrétisation temporelle et spatiale qui tronque sévèrement les équations aux dérivées partielles régissant les phénomènes modélisés lorsque celles ci sont connues. Certains phénomènes, comme l'interaction entre la couverture nuageuse et le rayonnement, ou ceux se déroulant à l'interface entre le sol (et la végétation) et l'atmosphère, sont en effet mal connus et doivent faire l'objet de paramétrisations. Tout cela nourrit bien évidemment une incertitude qu'il est bien difficile d'évaluer.

Parmi ces déficiences l'une est particulièrement importante et préoccupante pour les hydrologues. Les modèles de circulation générale présentent en effet des biais dans leur simulation du climat actuel. On peut le voir sur la figure 2 (Ducharne et al, 2003) où sont représentées, à l'échelle du bassin de la Seine, les précipitations observées au cours de la période 1970-1989 et les précipitations simulées dans les conditions actuelles et sous différentes hypothèses de changement climatique par différentes versions du modèle ARPEGE. On constate que les modèles surestiment significativement les précipitations *actuelles* non estivales dans une proportion qui peut dépasser 50 %.

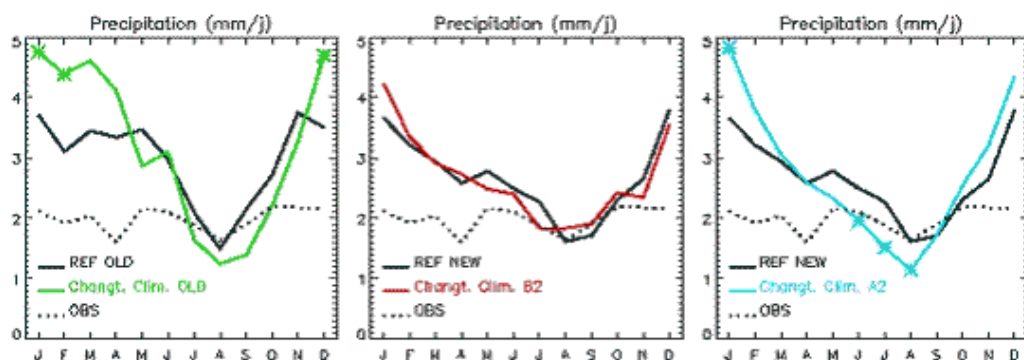


Fig. 2. Cycle annuel moyen des précipitations à l'échelle du bassin de la Seine, simulées par le modèle de circulation générale ARPEGE, à l'actuel (noir) et sous changement climatique : simulations OLD (vert), B2 (rouge) et A2 (bleu) . Les simulations de référence associées à OLD d'une part et B2 et A2 d'autre part sont différentes car réalisées avec les versions OLD et NEW d'ARPEGE. Les astérisques indiquent que les différences de moyenne mensuelle entre la simulation de changement climatique et la simulation de référence sont statistiquement significatives. Les tiretés indiquent enfin les précipitations observées en moyenne sur le bassin et sur 1970-1989 (données Météo-France).(Ducharne et al, 2003)

Pour pallier ces surestimations manifestes et utiliser les résultats des modèles climatiques comme entrée de leurs modèles, les hydrologues ont recours à des artifices méthodologiquement acrobatiques. Bien que les modèles ne reproduisent pas en général le niveau des précipitations actuelles (le premier ordre ...), on admet que les perturbations entre les simulations du climat actuel et celles du climat modifié (le second ordre ...) sont correctement reproduites, à une homothétie près. A l'échelle mensuelle en général on adopte donc les précipitations issues du modèle climatique sous hypothèse de changement en les multipliant par le rapport des précipitations observées aux précipitations actuelles simulées. On conçoit aisément que l'on ajoute ainsi aux incertitudes propres des modèles climatiques un élément d'incertitude non négligeable dans l'estimation de la principale entrée des modèles hydrologiques.

Il faut noter que la variabilité ou le changement climatique n'est pas la seule cause possible de la variabilité ou du changement des régimes hydrologiques. L'aménagement des rivières (barrages) et les prélèvements (en particulier les prélèvements agricoles) les affectent lourdement mais il ne sont pas les seuls et certaines transformations des bassins versants touchant à la nature de l'occupation des sols (urbanisation, déforestation, ...) provoquent elles aussi des effets qui peuvent se révéler significatifs et rendent plus difficile encore l'expression de diagnostics de changement. On peut le constater sur la figure 3 où l'augmentation significative de l'intensité des crues dans la seconde partie de la période 1970-1999 doit être attribuée à l'urbanisation progressive de ce qui devient peu à peu une banlieue de la ville de Lyon (Radojevic, 2002).

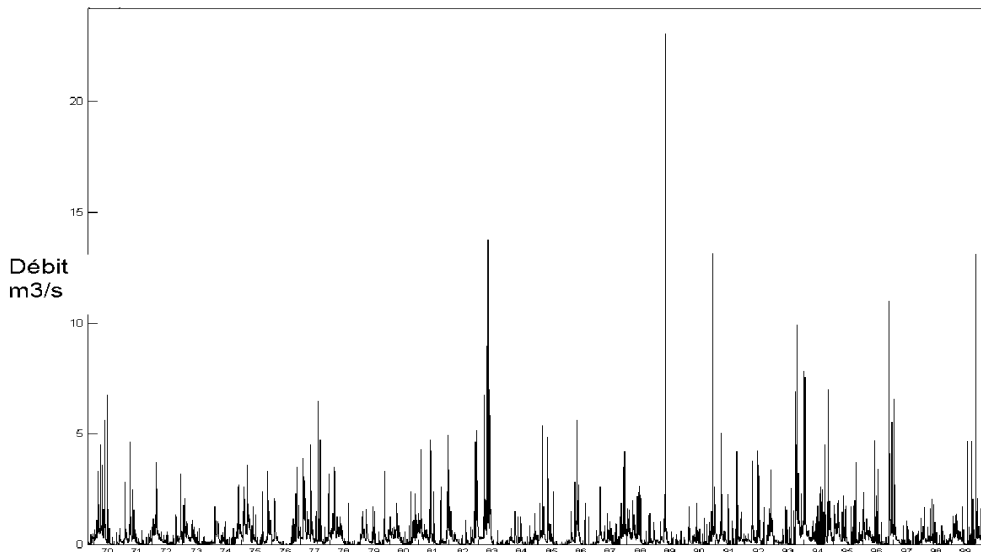


Fig. 3. Débits journaliers de l'Izeron à Craponne (Département du Rhône, bassin versant de 49 km²) de 1970 à 1999 (Extrait de la thèse de B. Radojevic, 2002).

Nous avons signalé l'incertitude attachée aux modèles climatiques. En dépit de résultats parfois contradictoires à l'échelle régionale sur le sens de l'évolution des précipitations par exemple, tous insistent sur une probable *intensification* du cycle hydrologique (IPCC, 2001 ; Leblois & Margat, 2000), qui se traduirait par des crues plus accentuées en hiver et des étiages plus marqués en été, et certains n'hésitent pas à attribuer au changement climatique les inondations catastrophiques que l'on a du déplorer de par le monde au cours des dernières années. C'est peut être oublier que le risque inondation procède d'un aléa hydrologique (la crue dans la formation de laquelle le climat joue un rôle éminent) et d'une vulnérabilité, dont la nature est essentiellement sociale (Neppel et al, 2003) et qui s'est considérablement accrue au cours du XXe siècle du fait de l'accroissement de la population, de l'urbanisation et du développement économique. Si certains auteurs annoncent une augmentation des débits moyens au cours du XXe siècle (Labat et al ; 2004), de nombreuses études récentes consacrées à l'étude de séries instrumentales et historiques disponibles, à l'échelle planétaire (Kundzewicz, 2004 ; Svensson C., Kundzewicz Z.W. & Maurer T., 2004 ; Scensson et al, 2006) ou régionale, en Europe centrale (Mudelsee et al, 2003) ou en France (Lang et al, 2002 ; Renard, 2006) n'ont relevé aucune tendance significative en ce qui concerne les crues et particulièrement les plus extrêmes d'entre elles et ceci même pour les très longues séries (Lang et al, 2002), en dépit de fluctuations climatiques avérées (Petit âge glaciaire marqué par un refroidissement du XV^e au XIX^e siècle).

Le climat change aujourd'hui comme il a toujours changé tout au long de l'histoire de la Terre, et des actions anthropiques s'ajoutent maintenant aux causes astronomiques et géophysiques qui ont longtemps été les seuls moteurs de son évolution. La modélisation mathématique du climat est certainement l'un des plus grands défis qu'a jamais affronté la communauté scientifique en raison de la multiplicité et de la complexité des phénomènes impliqués, caractérisés par leurs interactions (et leurs rétroactions) et leur développement selon une vaste gamme d'échelles spatio-temporelles. Pour formuler des diagnostics de changements il est tout d'abord indispensable de mieux cerner, à travers l'étude de séries instrumentales et historiques aussi nombreuses que possible, la véritable nature de la variabilité naturelle des diverses facettes du climat qui ne se réduit certainement pas à une simple stationnarité ou à une évolution tendancielle (Cohn & Lins, 2005). Les exercices de modélisation du climat, et plus encore des régimes hydrologiques, sont bien évidemment indispensables pour baliser le champ du possible et éclairer la prise de décisions, mais les nombreuses incertitudes, difficilement quantifiables, qui leurs sont attachés limitent encore leur capacité prévisionnelle et leur résultats doivent être considérés avec beaucoup de circonspection et de modestie.

Bibliographie, articles et ouvrages consultés.

Cohn T.A. & Lins H.F. (2005) Nature's style : Naturally trendy, Geophysical research Letters, 32L, 23402, doi:10.1029/2005GL024476

- Ducharne A. et al (2003) Influence du changement climatique sur l'hydrologie du bassin de la Seine, Vertigo – La revue de l'environnement sur le WEB, Vol 4 No 3 Décembre 2003,
http://www.vertigo.uqam.ca/vol4no3/art3vol4no3/agnes_ducharne_et_al.html
- Hubert P., Schertzer D., Tchiguirinskaïa I., Bendjoudi H., Lovejoy S., Hallegatte S., Larchevêque M. (2002) Un point de vue multifractal sur l'évolution climatique, La Houille Blanche, n°8
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001) Climate Change 2001 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Contribution of the Working Group II to the Third Assessment, Cambridge University Press, 1032 p.
http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/index.htm
- Kundzewicz Z.W. (2004) Detection of change in World-Wide Hydrological Time Series of Maximum Annual Flow, World Climate Programme UNESCO-WMO, Geneva, Report WMO/TD-No. 1239.
- Labat D., Goddéris Y., Probst J.L. et Guyot J.L. (2004) Evidence for global runoff increase related to climate warming, Advances in Water Resources, 27, 631-642.
- Lang M., Naulet R., Recking A., Coeur D. & Gigon C. (2002) Etude de cas : l'analyse des pluies et crues extrêmes observées depuis 200 ans dans un bassin cévenol, l'Ardèche, La Houille Blanche, 6/7.
- Leblois E. et Margat J. (2000) Effets possibles sur les écoulements superficiels et souterrains, Impacts potentiels du changement climatique en France au XXI^e siècle, seconde édition, Mission Interministérielle de l'Effet de Serre.
- Mudelsee M., Börngen M., Tetzlaff G. & Grünwald U. (2003) No upwards trends in the occurrence of extreme floods in central Europe, Nature, 425, 166-169.
- Neppel L., Bouvier C., Vinet F. & Desbordes M. (2003) Sur l'origine de l'augmentation apparente des inondations en région méditerranéenne, Revue des sciences de l'eau, 16(4), 475-493.
- Radojevic B. (2002) Méthode d'évaluation de l'influence urbaine sur le régime des crues d'un bassin versant de 130 km², Thèse de doctorat de l'INSA de Lyon, 250 p.
- Renard B. (2006) Détection et prise en compte d'éventuels impacts du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques en France, Thèse de doctorat de l'INP Grenoble, 361 p.
- Svensson C., Hannaford J., Kundzewicz Z.W. & Marsh T.J. (2006) Trends in river floods : why is there no clear signal in observations ?, Frontiers in Flood Research, IAHS Publ. 305, Tchiguirinskaïa I., Ni Ni Thien K. & Hubert P. eds, 1-18.
- Svensson C., Kundzewicz Z.W. & Maurer T. (2004) trends in Flood and Low Flows Hydrological Time Series, World Climate Programme UNESCO-WMO, Geneva, Report WMO/TD-No. 1241.