



LES

Rencontres

DE L'ONEMA

Changement climatique et étiages : le point sur les actions de recherche

Un séminaire prospectif en hydrologie quantitative organisé les 19 et 20 mars 2012

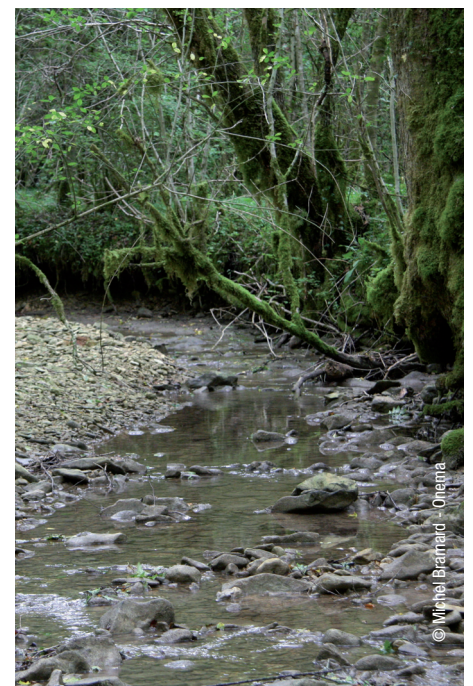
Une réunion prospective en hydrologie quantitative s'est tenue les 19 et 20 mars derniers à Paris, à l'invitation de l'Onema. Sur la base d'une vingtaine de communications – restitution de résultats, bilans d'étape ou lancement de nouvelles actions – les participants, scientifiques ou gestionnaires de l'eau, ont débattu des orientations actuelles de la recherche française en hydrologie quantitative co-financée par l'Onema. Les discussions ont notamment accordé une place importante aux problématiques couplées du changement climatique et de la gestion des étiages, enjeu sociétal et écologique majeur ; cet article rend compte des avancées et des questions restées ouvertes.

À l'heure du changement climatique, l'évolution future de la ressource en eau suscite, dans la société civile comme dans le monde scientifique, des interrogations et des inquiétudes croissantes. Quelles conséquences les variations annoncées de la température atmosphérique ou des précipitations auront-elles sur les débits de nos rivières, la fréquence ou la sévérité des étiages, le niveau des nappes phréatiques ? Enjeu sociétal et écologique majeur, l'obtention de projections fiables en hydrologie quantitative fait l'objet d'un important effort de recherche, en appui aux politiques d'adaptation. En France, le ministère en charge du développement durable a lancé en 2010 le programme prospectif Explore 2070, qui développe une approche associant hydrologie et projections socio-économiques et démographiques pour proposer et chiffrer des stratégies d'adaptation aux défis posés par le changement climatique vis-à-vis de la gestion de la ressource en eau.

Vers des étiages plus sévères

L'exercice Explore 2070, dont la clôture est prévue en octobre 2012, se base sur le scénario A1B du GIEC, considéré comme modéré¹, couplé à une élévation d'un mètre du niveau marin à l'horizon 2070. Les premiers résultats, présentés (X. de Lacaze) lors du séminaire de l'Onema, confirment des évolutions très nettes vers un climat plus chaud et plus sec en France métropolitaine. Les conséquences sur la ressource en eau sont obtenues, pour plus de cent bassins versants français, par régionalisation des résultats de sept modèles climatiques, qui alimentent deux modèles d'impact hydrologiques (GR4J et ISBA-MODCOU). Les tendances, robustes, annoncent une diminution générale des débits moyens annuels d'ici 2070 : ceux-ci pourraient baisser de 20% sur la plupart des bassins versants, et plus encore dans les bassins Adour-Garonne, Loire-Bretagne et Seine-Normandie.

Des évolutions très marquées sont également attendues sur les étiages les débits mensuels d'août et les QMNA5 (débits mensuels secs à période de retour de cinq années) simulés

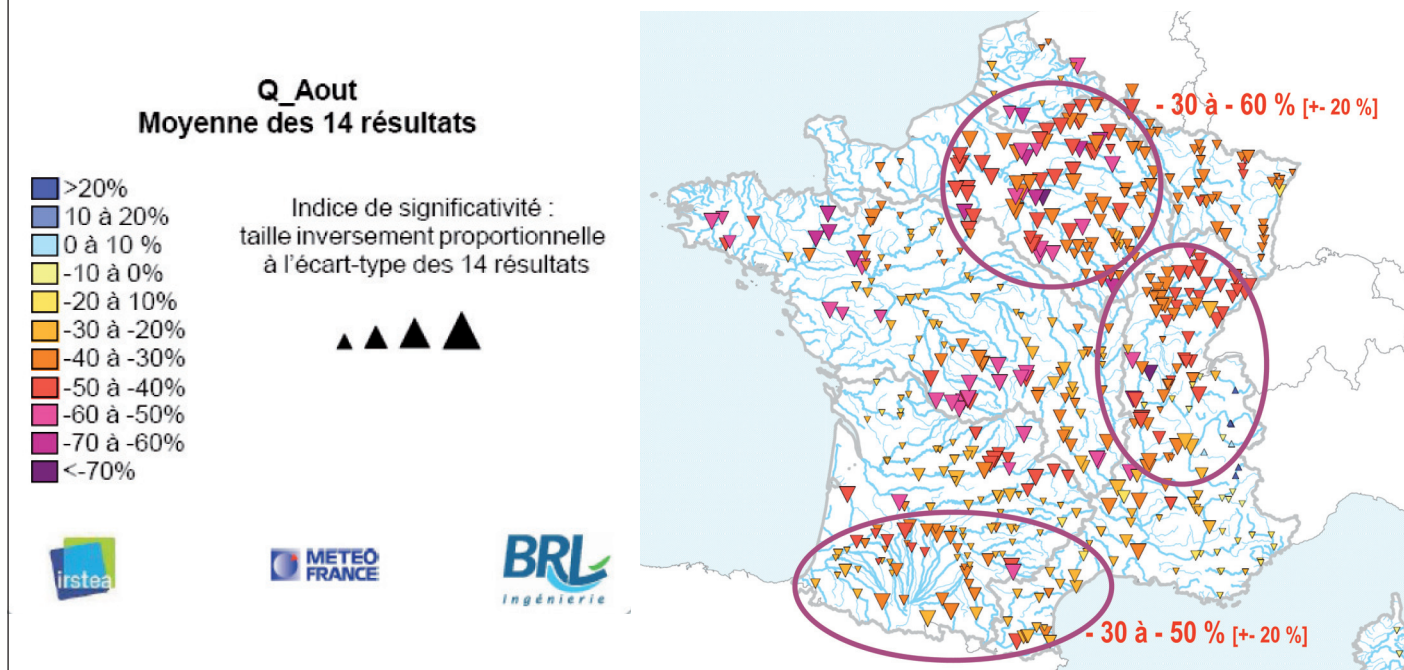


© Michel Brémaud - Onema

¹ Scénario issu du quatrième rapport du GIEC (www.ipcc.ch)

chuteraient notamment de 30 à 60% (±20%) dans les bassins de la Saône et du Rhône, en Seine-Normandie ou en Adour-Garonne (Figure 1). Ces tendances fortes sur l'hydrologie de surface s'accompagneraient d'un appauvrissement généralisé de la recharge des nappes.

Débit mensuel minimal annuel de période de retour 5 ans : Evolution possible entre 1961-90 et 2046-65



Pour mieux comprendre les liens entre climat et survenue des étiages, Irstea (J-Ph. Vidal) a développé en 2011 une approche complémentaire à la modélisation hydrologique. Sur la base de séries de données couvrant la période 1948-2008, l'étude a consisté à rechercher, pour 220 stations hydrologiques françaises, des corrélations entre l'hydrologie et différents indicateurs de la variabilité climatique: l'oscillation nord-atlantique (NAO), l'oscillation atlantique multidécadennale (AMO) et la fréquence

de survenue des différents types de temps (WP, pour weather patterns) définis par Météo France. De cette étude statistique ressortent des constatations importantes. À l'échelle annuelle, sans surprise, les débits moyens sont nettement plus faibles lors des années dominées par un climat sec (WP8) et plus élevés lors des années humides (WP2). L'étude met également en lumière une relation marquée entre la sévérité des étiages et les valeurs estivales de l'indice NAO. De manière générale,

il apparaît que les indices « à grande échelle » précités sont davantage corrélés avec la survenue des étiages que l'indice chronologique (l'année). Ce constat ouvre des perspectives. La mise en évidence de tendances d'évolution pour ces indices fournirait une entrée complémentaire pour l'obtention de projections en hydrologie. À l'échelle saisonnière, l'exploitation de ces corrélations ouvre également une piste pour la prévision et l'anticipation des étiages.

Maïa Akopian,
Agence de l'eau Seine-Normandie

L'adaptation se joue surtout à l'échelle locale

« Sur notre territoire, nous constatons déjà le recul des débits d'étiages, notamment en têtes de bassins versants. Mais il reste très difficile pour une structure comme la nôtre, dont les cycles de programmation sont courts par rapport aux échelles de temps des changements climatiques, de préparer l'adaptation. La question de l'attribution de ces évolutions – au changement climatique et/ou à d'autres pressions – est complexe. Une compréhension plus fine des causes des étiages nous permettrait d'agir concrètement, si besoin, avec les acteurs de terrain. Pour ce faire, les travaux menés à l'échelle nationale sur les grandes tendances doivent être davantage complétés par des études locales sur les mécanismes en cause. Dans ce contexte, le lien entre les acteurs régionaux et l'Onema doit être porté dans la durée, par un réseau d'interlocuteurs pérenne: c'est l'une des conditions pour articuler nos programmations respectives. »

Améliorer la gestion des étiages: outils et modèles

Dans ce contexte, le perfectionnement et l'harmonisation des outils actuels pour la gestion des étiages à l'échelle nationale apparaissent indispensables. Un objectif concerne l'obtention d'une cartographie livrant pour l'ensemble des cours d'eau du territoire national, des valeurs de référence pour le débit moyen interannuel non influencé (QA) et le QMNA5. Tel a été l'objet d'un travail (V. Andréassian) de quatre années, mené conjointement par les

équipes Irstea d'Aix, Antony et Lyon. Chacune a réalisé une cartographie pour l'ensemble des tronçons de cours d'eau de la base de données Carthage², selon trois méthodes différentes – respectivement modèle pluie-débit mensuel régionalisé, modèle par moyenne pondérée par la distance entre point d'estimation et points de mesure, et modèle de krigeage. La méthode a été adaptée pour obtenir des évolutions sans saut, et cohérentes d'amont en aval. Les cartographies ainsi obtenues comportent les valeurs estimées de QA et QMNA5, ainsi que des fourchettes haute et basse. Une colonne permet aux services de renseigner leurs propres valeurs validées si elles sont de meilleure qualité. Une combinaison bayésienne multi-modèles a également été réalisée pour l'ensemble des résultats. Celle-ci aboutit à des valeurs statistiquement supérieures dont les discontinuités, gênantes pour la cartographie, pourraient être évitées.

En parallèle sont menés des travaux sur l'anticipation des étiages, jusqu'à deux mois avant leur survenue. De telles prévisions, qui conditionnent la capacité des acteurs de l'eau à gérer au mieux les périodes de tension, sont déjà réalisables en France par des modèles hydrologiques de conceptions diverses. Dans le cadre du projet Premhyce (Figure 2), les codes Isba-Modcou (Météo France), Gardenia & Eros (BRGM), GR5j (Irstea), Mordor (EDF) et Présages (CEGUM, Univ. Metz), qui comptent parmi les principaux modèles développés en

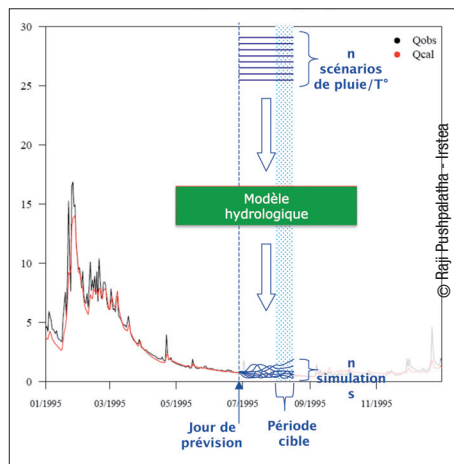


Figure 2. Principe général de prévision des étiages par modélisation hydrologique (Premhyce)

Cours d'eau temporaires : cartographie et modélisation pour la métropole

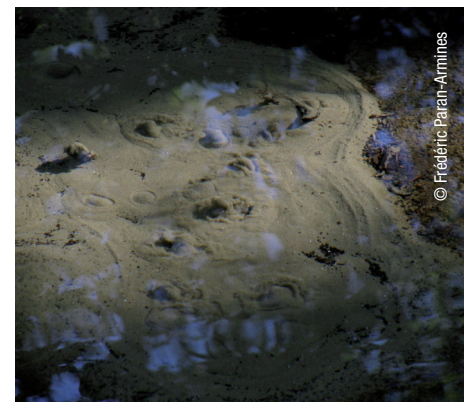
Dans un contexte de sévérité accrue des étiages, la localisation et la caractérisation des cours d'eau temporaires (CET, dont le débit s'annule par intermittence) prennent une importance croissante pour la gestion. En France, ils représenteraient aujourd'hui plus de 20% du linéaire du réseau hydrographique, bien au-delà du seul pourtour méditerranéen, selon la cartographie dressée par Irstea à partir d'une analyse critique des « zéros » figurant dans la banque Hydro. L'équipe de recherche a amorcé une modélisation de leur répartition dans le temps et l'espace pour 628 stations identifiées comme peu influencées par l'homme. Les premiers résultats (P. Maugis) sont encore perfectibles, mais ils permettent de simuler la durée moyenne d'assèchement, en lien avec plusieurs facteurs prédictifs : température minimale, pluviométrie estivale, substratum crayeux, pente moyenne sur le bassin versant. L'action a également permis de tester sur plus de 30 CET la pertinence de l'utilisation de détecteurs d'eau. Cette solution s'est avérée une bonne alternative aux observations répétées dans le cas des petits cours d'eau et pour ceux présentant un régime stable, tandis que de nombreuses détériorations étaient enregistrées sur les cours d'eau à forte énergie.

France, font depuis 2011 l'objet d'une inter-comparaison animée par Irstea (V. Andréassian) avec le concours de chaque partie. Des tests seront réalisés, sur la base de chroniques journalières, pour 24 bassins versants (dont deux à la Réunion), pour les mêmes périodes (1974-1991 et 1992-2009 en métropole). La constitution de la base de données est achevée, le protocole d'évaluation est défini : les premiers résultats permettront, courant 2012, de mieux identifier les spécificités de chaque modèle, leurs forces et leurs faiblesses respectives. L'idée serait de disposer, à terme, d'un outil opérationnel en ligne qui pourrait s'associer aux bulletins de situation hydrologique pour offrir un volet prévisionniste.

Enfin, dans le contexte du changement climatique, les impacts économiques et environnementaux des étiages sont couplés à ceux des modifications du régime thermique des cours d'eau. La nécessité de disposer de suivis spatialisés de la température de l'eau a présidé à la création par l'Onema, en 2008, du Réseau national de température des eaux (RNT). L'exploration de ses données a été confiée à l'Université de Tours (F. Moatar). Ces travaux, freinés pour l'heure par la disponibilité insuffisante des données RNT, se poursuivra en 2012 et 2013 avec l'objectif de progresser dans la modélisation à base physique des processus contrôlant la température de l'eau.

Impacts du changement climatique sur les eaux souterraines : quels liens avec l'hydrologie de surface ?

À ce jour, aucune tendance significative sur le niveau des nappes phréatiques en France métropolitaine n'est attribuable de façon univoque au changement climatique – une fois prises en compte les influences anthropiques et la cinétique propre des nappes. C'est ce qui ressort de la mise en œuvre, initiée à la demande de l'Onema, par le BRGM en 2010 (J-F. Vernoux), d'un réseau de piézomètres de référence pour le suivi de l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines. Sur les 377 piézomètres non influencés retenus pour cette action, situés essentiellement dans le nord de la France et en Alsace, seuls 37 montrent une tendance significative à



Interface nappe-rivière aux sources du Riedbrunnen (Alsace)

² Cartographie thématique des agences de l'eau : base de données de réseau hydrographique français.

la baisse... et 26 à la hausse. Pour autant, la survenue d'impacts quantitatifs ne fait guère de doute dans les années à venir. Ainsi, les premiers résultats du volet « hydrologie souterraine » du projet Explore 2070 (X. de Lacaze) annoncent pour la nappe alluviale du Rhin une diminution notable de la recharge, de l'ordre de 5% à l'horizon 2050 – sans prise en compte de l'accroissement prévisible des prélèvements. La baisse est plus marquée encore pour la recharge des nappes du bassin de la Seine, qui chuterait en moyenne de 16% à la même échéance. Dans le même temps, la contribution de l'infiltration des rivières à cette recharge s'orienterait à la hausse, ce qui pourrait aggraver, en retour, l'affaiblissement des débits moyens des cours d'eau et la sévérité des étiages.

L'étude des échanges nappe-rivière s'impose donc, plus que jamais, comme un enjeu de recherche en appui à la gestion. Tel est l'objectif d'un important programme triennal (F. Paran, Armines) lancé par l'Onema en 2011, associant notamment l'École des mines de Saint-Étienne, Mines ParisTech, Irstea, le BRGM. Baptisé Naprom, il développe une approche multi-méthodes pour comprendre les échanges nappe-rivière sur cinq sites d'étude très différents: l'Orgeval près de Coulommiers, la Sèvre Niortaise à Échiré, l'Écozone du Forez, le Rhône entre Donzère et Mondragon, enfin les plaines alluviales du Rhin et de l'Il. Une analyse géomatique a été menée sur chaque bassin, et différentes approches et métriques sont développées et mises

en œuvre par les équipes de recherche, selon les configurations: macrophytes ou invertébrés souterrains, suivis de température et de pression, analyse géochimique, isotopes, modélisation hydrologique du bassin... Le rapport final livrera, début 2015, un guide méthodologique pour la caractérisation des échanges quantitatifs entre les cours d'eau et différents types d'aquifères.

Tirer le meilleur parti des réseaux de suivi

Alors que nombre de recherches en hydrologie, modélisation comprise, sont conditionnées par la disponibilité et la qualité des données de terrain, les coûts liés aux réseaux hydrologiques et pluviométriques impliquent des arbitrages parfois difficiles. Une action initiée par Irstea (thèse de L. Lebecherel) à la demande de l'Onema vise à évaluer, en termes d'incertitudes, l'effet de la densité des réseaux. L'évaluation s'appuie sur l'estimation de variables concrètes (QMNA5, hydrogramme prévisionnel...) calculées sur des bassins versants réels. Ce travail permettra de disposer d'éléments pour défendre et, pourquoi pas, étendre les réseaux existants. En attendant, il est plus que jamais nécessaire de tirer le meilleur parti de ces derniers. Toujours sur proposition de l'Onema, une action Irstea développe actuellement une méthode de reconstitution ponctuelle de chroniques hydrologiques incomplètes ou manquantes, par des modèles plui-

débit ou débit-débit. Une autre, finalisée (C. Catalogne), a proposé une approche mathématique pour valoriser des données de jaugeage épisodiques pour l'estimation du QMNA5. La méthode propose une extrapolation des données manquantes, à partir de la chronique de débits spécifiques de référence la mieux corrélée avec la série de jaugeages épisodiques, parmi les 50 chroniques les plus proches géographiquement ayant une réactivité semblable aux épisodes climatiques. L'étude a permis de déterminer les incertitudes associées à la méthode, et montré qu'elle autorise des améliorations très nettes de l'estimation, pour des stations comptant au moins 20 jaugeages sur une même année. En outre, le nombre de jaugeages annuels nécessaires diminue avec le nombre d'années de suivi. Ces résultats peuvent orienter les stratégies de jaugeages volants pour améliorer localement la connaissance des écoulements à l'étiage.

L'ensemble de ces actions – finalisées, en cours ou initiées – constituent un panorama non exhaustif de l'effort scientifique engagé, en France, pour progresser de manière opérationnelle sur les thématiques couplées du changement climatique et des étiages. Cet effort doit être poursuivi et amplifié: de ses résultats découleront demain les outils qui permettront aux gestionnaires de l'eau de faire face aux nouveaux enjeux de l'hydrologie quantitative.

Caroline Henry de Villeneuve,
DREAL Rhône-Alpes

Pérenniser les réseaux de surveillance

« Les études présentées au cours de ce séminaire sont au cœur de nos problématiques pour la gestion de l'eau. Un projet comme Premhyce, qui permettra de progresser sur l'anticipation des étiages, constituera par exemple un gros apport pour les gestionnaires: nous pourrions déclencher les restrictions plus tôt, mieux ajuster les volumes. Mais les performances d'un tel outil, comme toujours en modélisation, sont d'abord conditionnées par la qualité des données d'entrée. Et celle-ci n'est aujourd'hui pas suffisante. En Rhône-Méditerranée, où existent un grand nombre de petits bassins aux fonctionnements disjoints – mais aussi sans doute ailleurs ! – nous nous heurtons à la fiabilité du « thermomètre »: interruptions de chroniques, problèmes de dérive à la mesure... La pérennisation et la fiabilisation des réseaux, en particulier dans les zones à forts étiages, m'apparaît indispensable pour réussir l'adaptation. »

Organisation du séminaire:

Pascal Maugis, chargé de mission
«Hydrologie quantitative» DAST

LES **Rencontres** DE L'ONEMA



Directeur de publication: Patrick Lavarde
Coordination: Véronique Barre, direction de l'action scientifique et technique, Claire Roussel, délégation à l'information et la communication.
Rédaction: Laurent Basilico et Pascal Maugis
Secrétariat de rédaction: Béatrice Gentil
Maquette: Eclats Graphiques
Réalisation: Accord Valmy
Impression sur papier issu de forêts gérées durablement: Panoply 
Onema - 5 Square Félix Nadar - 94300 Vincennes
Disponible sur:
<http://www.onema.fr/les-rencontres-de-l-onema>