



HAL
open science

Modèles hydro-économiques : quels apports pour la gestion de l'eau en France ?

Marine Gremont, Corentin Girard, Julien Gauthey, Bénédicte Augeard

► **To cite this version:**

Marine Gremont, Corentin Girard, Julien Gauthey, Bénédicte Augeard. Modèles hydro-économiques : quels apports pour la gestion de l'eau en France ?. Office national de l'eau et des milieux aquatiques. , 2015, 979-10-91047-42-5. <hal-04282017>

HAL Id: hal-04282017

<https://ofb.hal.science/hal-04282017v1>

Submitted on 13 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Modèles hydro-économiques : quels apports pour la gestion de l'eau en France ?

Marine Grémont, Corentin Girard,
Julien Gauthey et Bénédicte Augéard

Sommaire

N°16

- 1- En quoi consiste un modèle hydro-économique ?
- 2- Modèles hydro-économiques et choix d'un programme de mesures
- 3- Modèles hydro-économiques et partage de la ressource
- 4- Modèles hydro-économiques et évaluation d'instruments économiques de gestion de l'eau
- Conclusion

L'analyse économique joue un rôle croissant dans la gestion des ressources en eau et des milieux aquatiques. Elle aide par exemple les acteurs de l'eau à caractériser la valeur économique produite par divers usages de l'eau sur un bassin versant. Elle contribue également à identifier les programmes de mesures les plus efficaces pour atteindre le bon état des masses d'eau au moindre coût. Toutefois, les études économiques sont souvent conduites en parallèle d'études hydrologiques, sans que soient analysés de façon intégrée le fonctionnement hydrologique des bassins versants et les processus socio-économiques qui en dépendent. En conséquence de ce cloisonnement, de nombreuses interactions ne sont pas considérées dans les exercices de modélisation, comme par exemple les relations entre les activités en amont d'un bassin versant, et la disponibilité ou la qualité de la ressource qui peut impacter d'autres usages en aval.

Les modèles hydro-économiques sont des outils particulièrement intéressants pour dépasser ce cloisonnement car ils sont capables d'évaluer les impacts de diverses mesures ou politiques de gestion de l'eau sur les usages, les ressources, les milieux aquatiques et l'efficacité économique globale de systèmes hydrologiques. Ces modèles sont notamment utilisés aux États-Unis, en Espagne et au Royaume-Uni comme outils exploratoires d'aide à la décision et de pilotage des politiques de l'eau. Dans le cadre de la mise en œuvre de la directive européenne cadre sur l'eau et de l'atteinte des objectifs qu'elle fixe, il a semblé intéressant à l'Onema et au BRGM de mettre à disposition des gestionnaires de l'eau français ces expériences étrangères. Au travers d'exemples concrets, cette publication montre ainsi comment trois grandes problématiques qui se posent aux gestionnaires des ressources en eau peuvent être éclairées par l'utilisation de modèles hydro-économiques.



I- En quoi consiste un modèle hydro-économique ?

Un modèle hydro-économique (MHE) regroupe dans un outil unique, une large gamme d'équations représentant, d'une part, les processus biophysiques régissant le fonctionnement des milieux aquatiques et, d'autre part, les processus économiques conduisant à l'exploitation de ces milieux par l'homme (Figure 1). Il représente ainsi la complexité des interactions entre les activités humaines et les ressources en eau, dans un cadre d'analyse commun.

Les MHE sont conçus pour aider les gestionnaires à optimiser la gestion de l'eau sur la base de critères avant tout économiques. Ils reposent sur trois hypothèses centrales :

■ **l'usage de l'eau a une valeur économique** (Encadré 1).

Les ressources en eau sont utilisées par des activités qui produisent de la valeur économique, c'est-à-dire de la richesse ou des bénéfices pour les usagers ;

■ **les actions de gestion de l'eau génèrent des coûts liés à leur mise en œuvre.** Pour atteindre leurs objectifs, les gestionnaires sont amenés à mettre en place des

actions dont les coûts de mise en œuvre peuvent être conséquents (investissements, exploitation, maintenance, etc.) ;

■ **les actions de gestion de l'eau impactent les usages de l'eau.** Les actions mises en œuvre par les gestionnaires peuvent modifier le fonctionnement hydrologique d'un territoire et/ou les activités humaines qui en dépendent. Elles ont un impact sur l'usage de l'eau aussi bien sur le territoire concerné par l'action que sur d'autres territoires (une action en amont peut impacter un usage en aval) ou d'autres ressources (une action sur une nappe peut impacter un usage sur une rivière).

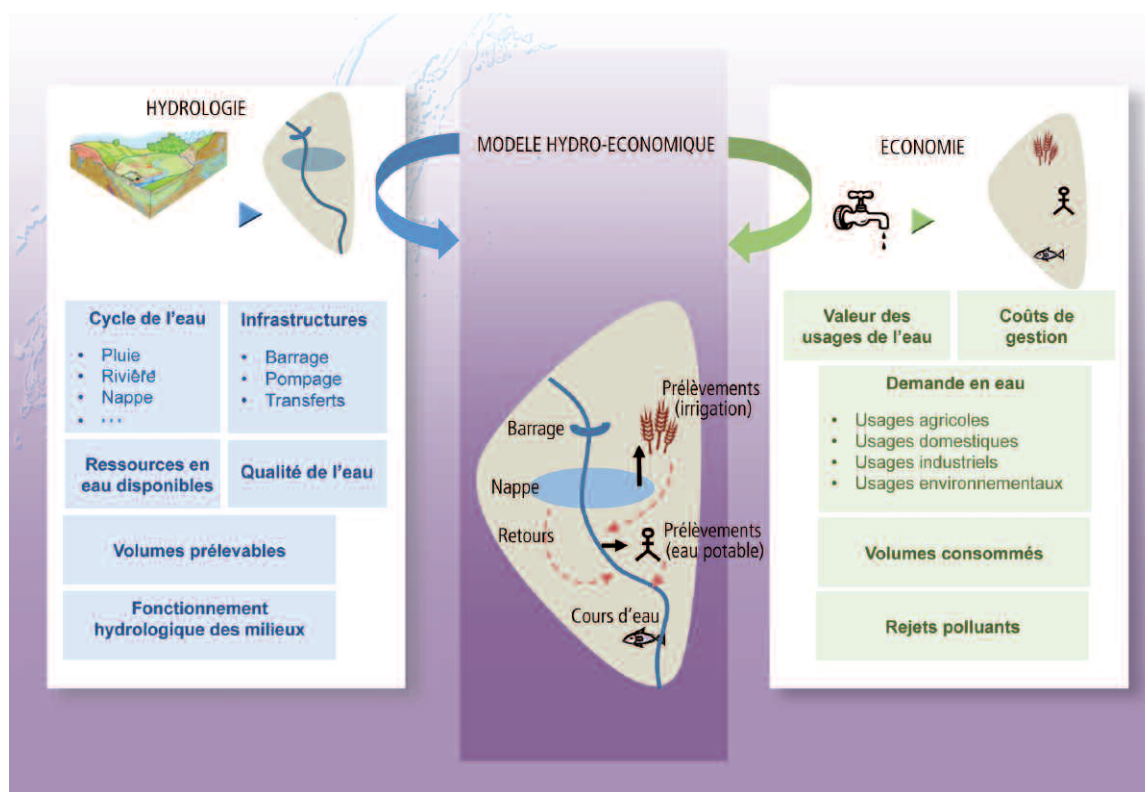
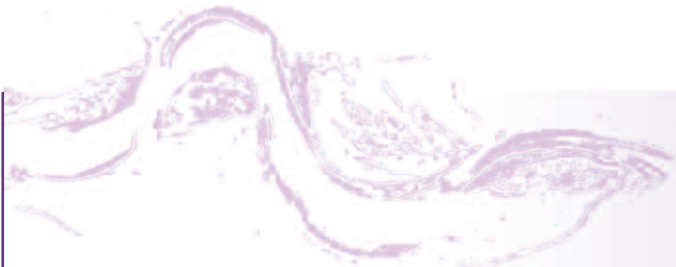


Figure 1. Représentation schématique de l'intégration des composantes hydrologiques et économiques au sein des modèles hydro-économiques.



La valeur économique de l'usage de l'eau

L'usage de l'eau est l'acte qui consiste à utiliser l'eau pour satisfaire des besoins. L'eau répond ainsi à de multiples besoins de l'homme (eau potable, irrigation, hydroélectricité, pêche, etc.). L'usage de l'eau par l'homme améliore donc son bien-être. En économie, on appelle l'amélioration de ce bien-être un bénéfice.

Lorsque l'on veut quantifier ce bénéfice en termes monétaires, on estime la valeur économique de l'usage de l'eau. Cette valeur s'exprime en euros. Elle varie selon les usages de l'eau (domestique, agricole, environnemental, etc.).

Par exemple, dans le secteur agricole, l'eau est un bien intermédiaire c'est-à-dire un bien qui est utilisé pour produire un autre bien (blé, maïs, etc.). En revanche, dans le secteur de l'eau potable, l'eau est un bien final c'est-à-dire un bien destiné à être consommé par l'homme.

Sans détailler précisément les modalités d'évaluation de la valeur économique de l'eau selon les usages¹, il peut déjà être établi que :

- la valeur économique de l'eau agricole dépend notamment du type de production agricole pour laquelle l'eau est utilisée. En France, alors qu'elle ne se sera que de quelques centimes d'euros par m³ d'eau pour la céréaliculture elle atteint plus d'un euro par m³ pour le maraîchage ;
- la valeur économique de l'eau potable dépend plus particulièrement de la qualité de l'eau. Elle est de l'ordre de quelques euros par m³ en moyenne en France.

L'eau est l'objet de multiples usages. De fait, la valeur de l'eau varie entre les bassins ou entre les usagers au sein d'un même bassin. Elle varie aussi selon la période (étés/hivers, année, etc.), et selon l'état des ressources (bon état/mauvais état, etc.).

S'il veut optimiser d'un point de vue économique la gestion de sa ressource sur son territoire, un gestionnaire doit être en mesure de quantifier et de comparer la valeur de l'eau associée aux différents usages de l'eau. Grâce à cela, il pourra ensuite estimer l'impact économique de ses interventions sur l'hydrosystème.

Encart

1

● Les caractéristiques communes des modèles hydro-économiques

Les MHE sont des **modèles intégrés** qui ont la particularité d'explicitier les **interactions et rétroactions** entre les composantes hydrologiques et économiques des hydrosystèmes² (effets des activités anthropiques sur les milieux aquatiques, effets d'une réduction de la quantité d'eau disponible sur la valeur économique des usages, etc.).

Ce sont des **outils de calcul informatiques** qui représentent, de manière simplifiée, le fonctionnement dynamique de systèmes composés de ressources en eau, d'usagers de ces ressources, d'infrastructures et de milieux aquatiques.

1- Pour plus d'informations sur la valorisation économique des usages de l'eau, voir Salvetti M., 2013. Les évaluations économiques en appui à la gestion des milieux aquatiques. Onema. Collection *Comprendre pour agir*. 172 pages.

2- Systèmes composés de l'eau et des milieux aquatiques associés dans un secteur géographique délimité, notamment un bassin versant.

Les MHE sont des **outils exploratoires d'aide à la décision** qui permettent aux acteurs d'examiner une large gamme de stratégies de gestion de l'eau en les informant sur les impacts techniques, physiques, environnementaux et socio-économiques de divers scénarios de mesures ou politiques de gestion de l'eau qu'ils pourraient envisager de mettre en œuvre. En ce sens, les MHE peuvent être utilisés pour éclairer les débats et les décideurs quant aux enjeux économiques associés à tel ou tel choix de gestion.

Ils peuvent prendre en compte la **préservation de l'environnement** dans les règles de gestion d'un système

hydro-économique (par exemple, l'obligation de respecter les débits objectifs d'étiage) et potentiellement traiter à la **fois de problèmes liés à la quantité et de la qualité de la ressource**.

Ils permettent d'identifier les conflits d'usages et de mieux comprendre, par l'exploration de scénarios, la nature des compromis possibles entre différents objectifs de gestion de l'eau (satisfaire un usage au détriment d'un autre, minimiser le coût de gestion ou le risque, respecter les objectifs environnementaux, etc.).

● Les éléments constitutifs d'un modèle hydro-économique

Un MHE se compose des éléments suivants :

■ **une représentation de l'hydrosystème** étudié sous la forme d'un réseau composé de tronçons hydrologiques (biefs de rivière, canaux, canalisations) reliés entre eux par un ensemble de nœuds, représentant les points de stockage ou de fourniture d'eau aux usagers (réservoirs, barrages, prises d'eau, unités aquifères, etc.);

■ **une représentation du système économique** étudié qui explicite l'offre et la demande en eau des différents usages (eau potable, agriculture, industrie), les rejets et les coûts de fonctionnement associés ;

■ **une base de données** regroupant des informations sur les composantes du système modélisé :

- la composante « hydrologique » (précipitations, ruissellement, qualité de l'eau, débits des cours d'eau, niveaux des nappes) ;

- la composante « infrastructures » (capacités de stockage et de transfert, règles de gestion, coûts de fonctionnement) ;

- la composante « usages » (historique de consommation et de rejets, prévisions d'évolution future) ;

■ **un système d'équations** qui décrit le fonctionnement des systèmes hydrologiques et économiques, ainsi que leurs interactions, par exemple :

- les processus hydrologiques pertinents (écoulements hydrologiques, relations pluie-débit et nappe-rivière, évolution de la qualité de l'eau, dilution ou atténuation naturelle des polluants) ;

- les fonctions de stockage et de transferts associées aux infrastructures (canaux, barrages, canalisations) et, dans certains cas, les fonctions de traitement ;

- les processus économiques, les bénéfices et les coûts associés aux différents usages de l'eau, ainsi que leur évolution en fonction de paramètres tels que la quantité d'eau disponible ou le prix de l'eau ;

■ **un ensemble de règles à respecter**, notamment environnementales (débits d'étiage minimum, qualité minimale de l'eau), techniques (capacités maximales des infrastructures), réglementaires (priorités affectées aux différents usages, risque maximum admissible de défaillance de l'approvisionnement de certains usages, autorisations de prélèvements ou de rejets) ;

■ **une interface** permettant à l'utilisateur de manipuler l'outil, soit en mode simulation (exploration de l'impact de scénarios, mesures ou politiques de gestion de l'eau), soit en mode optimisation (identification des programmes de mesures efficaces au moindre coût ou du partage des ressources en eau qui maximisent les bénéfices économiques à l'échelle du territoire).

A l'heure actuelle en France, les gestionnaires des hydrosystèmes appuient leurs décisions sur une conception de la demande en eau basée sur les projections de population, les autorisations de prélèvements, les enjeux économiques ou encore les priorités politiques de développement territorial. Les MHE peuvent leur permettre d'inscrire leur réflexion dans une conception plus intégrée de la demande en eau, basée sur la valeur économique des usages de l'eau, et ainsi introduire, parmi les critères de décision, les bénéfices économiques associés aux usages de l'eau sur leur territoire.

Les sections suivantes présentent trois exemples concrets de problématiques auxquelles les MHE peuvent apporter un éclairage nouveau et dans le cadre desquelles leur utilisation pourrait s'avérer intéressante dans le contexte français.

II – Modèles hydro-économiques et choix d'un programme de mesures

● Problématique de gestion : quel programme de mesures permet d'atteindre les objectifs de la directive cadre sur l'eau au moindre coût ?

En Europe, la directive cadre sur l'eau (DCE) oblige les gestionnaires des bassins versants à élaborer des programmes de mesures, dont la mise en œuvre doit permettre de garantir le « bon état écologique des masses d'eau » au moindre coût. Pour ce faire, les gestionnaires évaluent l'impact de ces programmes sur les milieux mais aussi leurs coûts. Ils peuvent être amenés à évaluer les bénéfices associés à ces programmes lorsqu'ils veulent montrer que les coûts d'atteinte du bon état pour une masse d'eau sont disproportionnés et ainsi justifier un report de délai ou la fixation d'un objectif moins strict pour cette masse d'eau.

Dans cette approche, les gestionnaires cherchent en théorie à concevoir un programme de mesures qui permette de satisfaire les demandes présentes et futures, tout en conciliant le respect des objectifs environnementaux d'une part (atteinte ou maintien du bon état), et le respect des règles de gestion techniques et économiques du système d'autre part.

Le recours à un MHE peut dès lors aider à identifier la combinaison d'actions permettant d'atteindre les objectifs fixés au moindre coût et ainsi définir un programme d'actions dit « coût-efficace ». L'outil peut également permettre d'optimiser la déclinaison de la mise en œuvre des actions dans le temps, toujours de manière à minimiser le coût total du programme de mesures.

● Exemple d'application par les compagnies d'eau potable au Royaume-Uni

■ Contexte

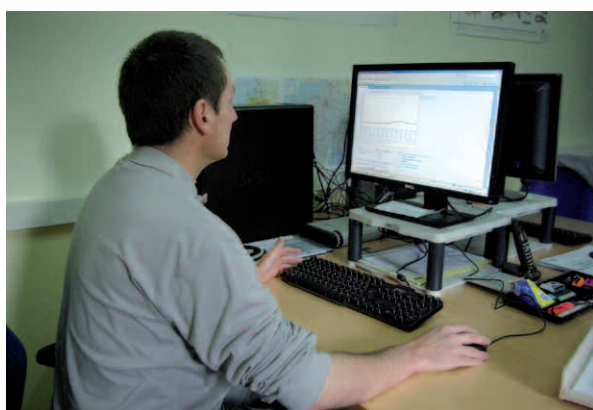
Au Royaume-Uni, les compagnies d'eau sont encadrées par un organisme de régulation économique (Ofwat). L'Ofwat s'assure que la tarification de l'eau permet bien de financer l'ensemble des coûts associés aux services d'eau potable mais aussi que les coûts des investissements décidés par les compagnies privées soient bien minimisés.

Tous les cinq ans, les compagnies sont chargées de fournir à l'Ofwat et à l'Agence de l'environnement, plan de développement financier (*business plan*) et environnemental décrivant leurs programmes d'investissement pour la gestion de la ressource en eau, à un horizon de 25 ans. Sur cette base, l'Ofwat détermine les montants maximum que les compagnies sont autorisées à facturer à leurs clients, afin de financer ces investissements. Ce processus de planification quinquennal force les compagnies d'eau à adapter régulièrement leurs stratégies, selon les prévisions d'évolution de la demande et la disponibilité des ressources en eau. Depuis le début des années 2000, ces compagnies utilisent un cadre d'analyse commun pour justifier leurs programmes d'investissement. Développé au sein d'un groupement industriel (*UK Water Industry Research Organisation, UKWIR*), ce cadre définit la méthode que les compagnies d'eau doivent suivre pour construire leurs plans d'investissements quinquennaux.

L'une des principales étapes de cette méthode consiste à modéliser le fonctionnement hydrologique et économique des bassins versants, en vue de sélectionner les mesures capables de satisfaire la demande en eau au moindre coût, tout en respectant les règles de protection de l'environnement. Le recours à un cadre d'analyse commun a amplement contribué au développement et à l'usage des MHE par les compagnies d'eau au Royaume-Uni. Un modèle d'optimisation a été utilisé dans le Sud-Est de l'Angleterre, région d'une surface proche de celle de la Lorraine (21 000 km²) sujette à des tensions croissantes sur les ressources en eau (évolution démographique, risque de sécheresses). Six compagnies d'eau privées approvisionnent les 17,6 millions d'habitants de la région. Les besoins en eau ont été estimés à environ 2 300 millions de mètres cube par an (Mm³/an) à l'horizon 2039, ce qui représenterait un déficit annuel moyen de l'ordre de 312 Mm³/an pour la région, avec de fortes disparités entre les territoires, certains étant déficitaires et d'autres excédentaires. Les compagnies d'eau se sont donc regroupées en alliance au sein du *Water Resources in the South East Group (WRSE Group)*, pour explorer ensemble les opportunités de partage de l'eau les plus coûts-efficaces à l'échelle de l'ensemble du territoire.

■ Modèle hydro-économique utilisé

Le modèle développé par le *WRSE Group* vise à identifier le programme de mesures qui permette de satisfaire au moindre coût la demande en eau présente et future d'une part, et l'atteinte des objectifs environnementaux contenus dans la DCE d'autre part. La période de planification retenue au sein du modèle correspond à la période requise par l'Ofwat, dans ses business plans quinquennaux (2015 à 2039). Le comportement de l'hydrosystème et l'impact du changement climatique sont simulés à l'aide d'un modèle hydrologique, qui permet d'estimer les quantités d'eau disponibles, par type de ressources, pour chaque année (Figure 2).



© M. Carrouee - Onema

Figure 2. La conception d'un modèle hydro-économique nécessite de collecter des informations sur les composantes hydrologiques et économiques des hydrosystèmes.

Les résultats de ce modèle sont ensuite intégrés comme données d'entrée dans le MHE du *WRSE Group*. Les infrastructures hydrauliques sont représentées en chaque nœud du modèle et incluent les points de prélèvements dans les aquifères et les cours d'eau, les dispositifs de réutilisation des eaux usées, les usines de désalinisation, les usines de traitement de l'eau et les dispositifs de stockage. Les demandes en eau sont estimées par type d'usages, sur la base de données de consommation fournies par les compagnies d'eau. Pour intégrer les incertitudes relatives à l'évolution des territoires dans la construction d'un équilibre entre l'offre et la demande, le MHE considère quatre scénarios contrastés d'évolution de la demande en eau à 25 ans, caractérisés par différentes probabilités d'occurrence.

Ce modèle régional a ainsi été utilisé par les compagnies d'eau pour identifier le programme de mesures qui satisfait au moindre coût la demande agricole et urbaine dans le Sud-Est de l'Angleterre, chaque année, sur la

période 2015-2039. Les actions envisagées pour réduire les déficits portent sur la maîtrise de la demande (511 actions), la mobilisation de nouvelles ressources (283 actions) et le recours à des transferts d'eau (267 actions). Des variations dans le calendrier de mise en œuvre de certaines mesures sont également prises en compte ; par exemple, la construction d'un barrage sur la Tamise est supposée se réaliser en deux phases distinctes.

Le MHE identifie :

- la combinaison « coût-efficace » de mesures à mettre en œuvre à l'échelle régionale pour combler les déficits. Le programme de mesures est ainsi optimisé par rapport à son coût ;
- le calendrier optimal de mise en œuvre et d'utilisation des diverses mesures de gestion considérées au cours de la période. La mise en œuvre des mesures dans le temps est ainsi optimisée.

Le modèle a ainsi permis aux compagnies d'eau de considérer des options coûts-efficaces allant au-delà du périmètre de leur zone d'intervention (transferts d'eau à partir d'autres territoires). Il a également permis d'améliorer l'efficacité³ des mesures en exploitant les économies d'échelle⁴ rendues possibles par le périmètre étendu de l'analyse régionale.

À l'issue de ce travail, dix programmes sont proposés aux gestionnaires, selon les types d'actions envisagées et les scénarios d'évolution de la demande et du climat considérés (Figure 3). Leur coût total actualisé, autrement dit la somme de l'ensemble des coûts associés à la mise en œuvre des programmes de mesures sur leur durée de vie, ramenée à leur valeur économique actuelle (en €₂₀₁₃), varie entre 1 000 et 2 100 millions d'euros selon les hypothèses et les actions retenues (Figure 3).

A titre d'exemple, entre 2000 et 2005, ce type de modèle a notamment servi à justifier quatre grands dispositifs de transferts d'eau dans la région représentant un total de plus de 10 Mm³ par an.

3- L'efficacité économique d'une mesure, d'un investissement ou d'une politique est le rapport entre son coût de mise en œuvre et ses bénéfices. L'efficacité économique est maximisée lorsque le rapport coût-bénéfices est le plus faible.

4- Les économies d'échelle correspondent à la baisse du coût unitaire d'un produit avec l'augmentation des quantités produites. L'une des principales causes des économies d'échelle tient à l'existence de coûts fixes (coûts indépendants des quantités produites). Dans notre exemple, les économies d'échelle résultent du fait que plus les volumes d'eau transférés par une infrastructure sont importants, plus le coût unitaire associé au transfert d'un m³ d'eau est faible.

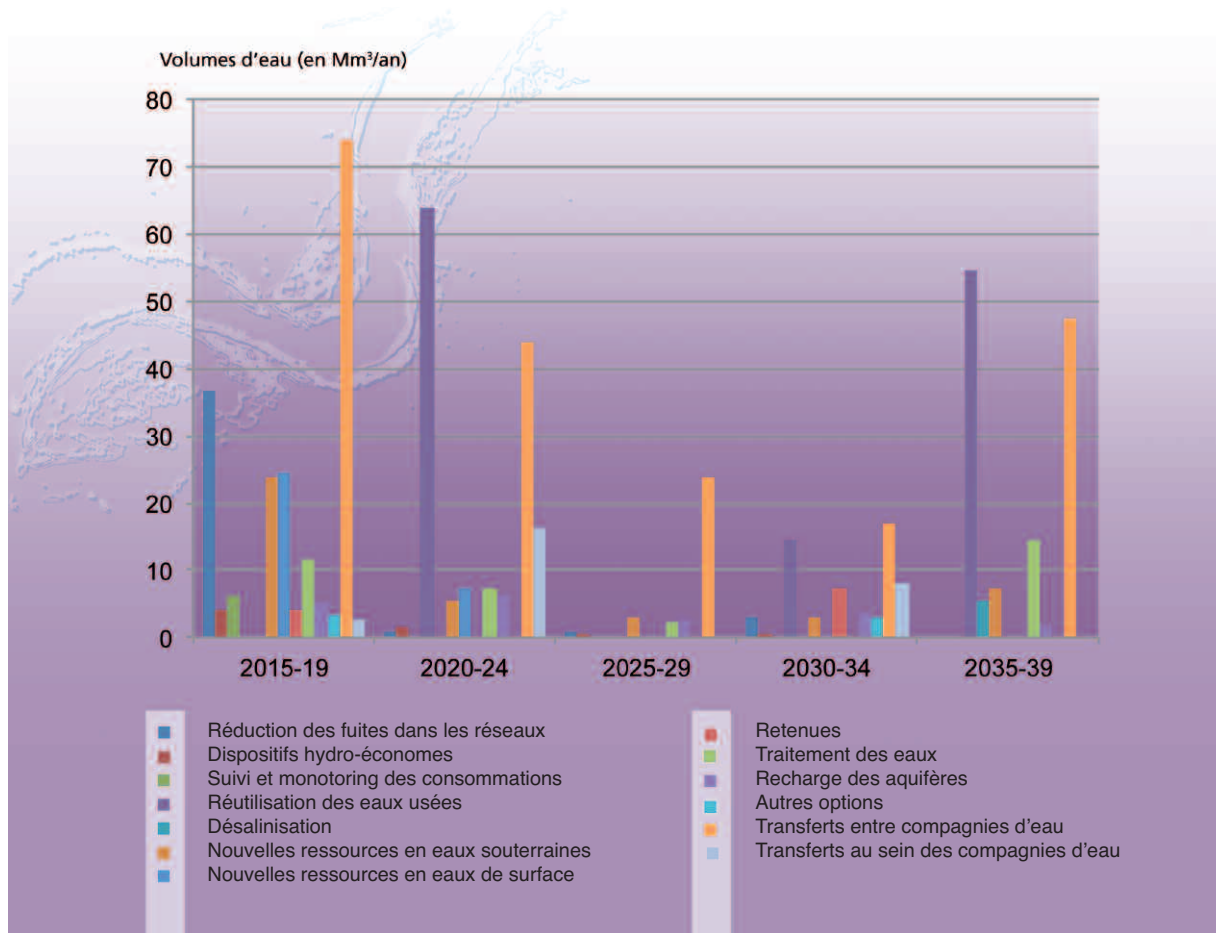


Figure 3. Exemple de résultats obtenus à l'aide du modèle hydro-économique développé dans le Sud-Est du Royaume-Uni. Volumes d'eau associés à la mise en œuvre quinquennale d'actions de réduction des déficits pour un scénario caractérisé par des conditions hydrologiques critiques entre 2015 et 2039. Source: adapté de WRSE Group (2013), *Progress towards a shared water resources strategy in the South East of England*.

Sur la période 2015-2019, la mise en œuvre d'actions de maîtrise de la demande (réduction des fuites, dispositifs hydro-économiques, etc.) est privilégiée. Elle s'accompagne de mobilisations de nouvelles ressources en eau de surface et souterraines et de transferts entre compagnies d'eau. Par la suite, le recours à la réutilisation des eaux usées et aux transferts entre compagnies d'eau est particulièrement important, notamment aux périodes 2020-2024 et 2035-2039. Sur l'ensemble de la période 2015-2039, les transferts d'eau fournissent la plus grande part des nouvelles capacités d'approvisionnement en eau de la région. Les actions de maîtrise de la demande sont globalement peu utilisées. Toutefois, du fait de leur faible délai de mise en œuvre, elles sont systématiquement utilisées dans les premières années pour combler les déficits sur le court-terme.

● Perspectives pour la France

En France, les MHE pourraient être mobilisés en complément ou en substitution des analyses coûts-efficacité, pour apporter des éléments de réflexion aux membres des Commissions locales de l'eau (CLE), lors de l'élaboration des programmes de mesures qualitatives et quantitatives des Schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE). Ainsi, dans le cadre de la réflexion qui a mené à la réalisation de cette publication, un MHE visant à minimiser le coût d'un programme de mesures sur le bassin versant de l'Orb (Hérault) a été développé

conjointement par le BRGM et l'Université polytechnique de Valence (Espagne) (Encart 2). Comme au Royaume-Uni, ce type de modèle pourrait également servir en France à maîtriser le prix de l'eau et les investissements réalisés par les services d'eau. Des modèles similaires au modèle anglais pourraient également être déployés en France pour optimiser le coût des programmes de mesures portant sur l'amélioration de la qualité des milieux aquatiques. Un tel modèle a été développé dans le bassin du Jucar en Espagne (Encart 3).

Modèle d'optimisation à moindre coût d'un programme de mesures pour la gestion quantitative du bassin versant de l'Orb (Hérault)

Situé en bordure de la méditerranée, le bassin de l'Orb (1 580 km², 64 municipalités) se trouve au centre d'importants enjeux locaux et régionaux pour la gestion des ressources en eau. Actuellement, la réserve constituée par le barrage des Monts d'Orb (30 Mm³) sécurise les approvisionnements en période estivale et assure un transfert d'eau vers les zones touristiques du littoral Audois (Figure 4). Cependant, l'augmentation de la demande, sous l'effet combiné du développement de l'agriculture irriguée, de la croissance démographique et du changement climatique, pourrait remettre en cause cet équilibre. L'enjeu dans les années futures est donc de combiner au mieux des mesures d'économie d'eau et de mobilisation de nouvelles ressources (eau souterraine, transfert interbassin, dessalement d'eau de mer) pour satisfaire les différents usages et garantir les débits environnementaux dans chacun des sous bassins.

Un modèle hydro-économique a ainsi été développé dans un cadre de recherche pour concevoir un programme de mesures permettant de résorber les déficits en eau à moindre coût à l'échelle du bassin à l'horizon 2030. Le programme de mesures, théoriquement optimal d'un point de vue de l'efficacité économique, a été obtenu en tenant compte de l'influence des interactions entre l'amont et l'aval (ce que n'autorise pas une analyse coût-efficacité classique par exemple), de la variabilité interannuelle du climat et du comportement hydrologique du système, et de la possibilité d'optimiser les lâchers du barrage. Le modèle a ensuite été utilisé pour **quantifier des arbitrages possibles entre différents objectifs de gestion**. Il a permis d'estimer l'évolution du coût du programme de mesures en fonction de variations (à la hausse ou à la baisse) des débits objectifs d'étiage. Il a aussi été mobilisé pour chiffrer le **coût des mesures rendues nécessaires par différentes hypothèses d'augmentation des surfaces irriguées**. Ces éléments sont de nature à aider les acteurs locaux à réaliser des arbitrages entre différents objectifs de développement économique, de sécurisation de l'alimentation en eau et d'amélioration de l'état écologique des milieux. Par exemple, les mesures les plus lourdes en termes d'infrastructures et les plus coûteuses à mettre en place (recours au dessalement ou aux eaux souterraines) ne seraient nécessaires qu'à partir d'un développement de l'irrigation très important. Pour un développement plus modeste des surfaces irriguées, les mesures d'économie d'eau (amélioration des rendements de réseaux d'eau potable et d'irrigation) demeurent en effet suffisantes.



© Corentin Girard

Différents scénarios de changement climatique ont également été intégrés au modèle hydro-économique. La comparaison des programmes de mesures correspondant aux différents scénarios a permis d'identifier un ensemble d'actions « sans regret » telles que l'amélioration des rendements des réseaux d'eau potable ou d'irrigation, dont la mise en œuvre serait nécessaire quel que soit le scénario climatique retenu.

Figure 4. L'eau stockée dans la retenue du barrage des Monts d'Orb durant l'automne et l'hiver, est restituée dans le fleuve au printemps et en été.



Modèle d'optimisation à moindre coût d'un programme de mesures pour la gestion qualitative du bassin versant du Júcar (Espagne)

En Espagne, le bassin du Júcar (22 400 km²) avait été sélectionné comme l'un des bassins pilotes pour la mise en place de la directive cadre sur l'eau à l'échelle européenne. Différentes méthodes y ont été testées pour réaliser l'analyse économique requise lors de la définition d'un programme de mesures à l'échelle d'un bassin versant. Dans le cadre d'une collaboration entre la Confédération hydrographique du Júcar (équivalent à une agence de l'eau) et l'Université polytechnique de Valence, un modèle hydro-économique a été développé pour définir un programme de mesures à moindre coût permettant d'atteindre les objectifs de bon état des masses d'eau du fleuve Júcar et de ses affluents (problématique de qualité). Le modèle permet de prioriser, à l'échelle du bassin, la mise en œuvre de mesures de réduction de pollutions ponctuelles : amélioration des concentrations en matière organique et phosphore dans les effluents de stations d'épurations.

L'utilisation d'un modèle intégré de ce type permet d'aller plus loin qu'une analyse classique coût-efficacité, basée sur des ratios entre le coût et l'efficacité des mesures pour diminuer la concentration en polluants. En effet, le MHE intègre l'effet cumulatif des différentes mesures de gestion qualitative sur les stations d'épuration situées dans différentes masses d'eau à l'échelle du bassin et, de ce fait, permet de représenter les interactions amont-aval liées à l'interconnexion des masses d'eau et la dilution le long de la rivière. Les résultats obtenus avec ce type de MHE pourraient ainsi permettre à un organisme de bassin d'optimiser l'allocation de ses subventions à l'investissement pour l'amélioration des traitements de stations d'épuration en prenant en compte le comportement hydrologique du bassin versant.

Sources : López-Nicolás A. (2010), *Comparativa de análisis coste-eficacia y optimización para la determinación de un programa de medidas para el cumplimiento de los objetivos ambientales de la Directiva Marco del Agua. Aplicación al sistema de explotación del río Júcar*. Proyecto Final de Carrera. ETS de Caminos. Universidad Politécnica de Valencia.
Confederación Hidrográfica del Júcar (2014), *Memoria-Proyecto del Plan hidrológica de cuenca*.

III – Modèles hydro-économiques et partage de la ressource

● Problématique de gestion : quelles règles de partage de l'eau entre les usagers permettent de générer le plus de valeur ajoutée sur le bassin ?

L'usage le plus répandu des MHE à l'étranger consiste à déterminer comment partager de façon optimale les ressources en eau entre les usagers, autrement dit, comment identifier l'allocation de l'eau permettant de maximiser les bénéfices économiques à l'échelle d'un territoire. C'est une question qui se pose en particulier lorsque les gestionnaires se trouvent confrontés à une demande en eau supérieure à la ressource disponible et qu'ils disposent de la possibilité de modifier les quantités

historiquement attribuées aux usagers. Ils doivent alors réaliser des arbitrages entre des usages aux finalités multiples (production, consommation, aménités, etc.). Les MHE développés à cette fin reposent sur une logique d'optimisation qui vise à identifier le partage de l'eau permettant de maximiser la somme de tous les bénéfices associés à l'usage de l'eau, tout en respectant un certain nombre de règles de gestion.

● Exemple d'application dans l'État de la Californie

■ Contexte

La Californie est caractérisée par une répartition de ses ressources en eau hétérogène à la fois dans l'espace, l'essentiel des ressources est localisé dans le nord de l'État tandis que la population vit en majorité sur les côtes de l'ouest et du sud, et dans le temps, les hivers sont humides et les étés sont secs. D'immenses infrastructures de stockage (barrages, recharge artificielle des nappes) et de transfert (une quinzaine d'ouvrages d'une longueur allant de 200 à 1 000 km) ont donc été construites pour tenter de répondre à une demande en constante augmentation (Figure 5). Toutes les ressources ayant été exploitées, la politique actuelle vise à en optimiser l'utilisation, en favorisant les usages qui produisent le plus de valeur économique sur le territoire. L'enjeu est de permettre un développement économique local, avec une ressource devenue très limitée, tout en respectant des règles de protection environnementale, notamment la nécessité de maintenir un débit suffisant dans le delta de Sacramento-San Joaquin et de stabiliser le niveau des aquifères surexploités.

■ Modèle hydro-économique utilisé

Le modèle CALVIN (*CALifornia Value INtegrated Network*) a été développé à l'échelle de l'État de la Californie par l'Université de Davis. Il décrit le fonctionnement du système hydro-économique de la Californie en représentant notamment les dynamiques hydrologiques et économiques liées aux diverses ressources en eaux disponibles sur le territoire. Le modèle vise en particulier à optimiser le fonctionnement du système d'infrastructures hydrauliques et à en améliorer la performance économique

globale. CALVIN est développé à l'échelle de la *Central Valley*, la baie de San Francisco et la Californie du Sud. Il couvre cinq grands bassins versants représentant 92% de la population de Californie (30 millions d'habitants) et 88% des surfaces irriguées (2,3 millions d'hectares).

Bien que ses domaines d'application soient nombreux (adaptation au changement climatique, planification, évaluation d'instruments de gestion de l'eau, etc.), ce modèle a d'abord été conçu pour :

- identifier l'allocation de l'eau entre différents usages (alimentation en eau potable, irrigation, hydroélectricité, etc.) qui maximise les bénéfices associés à l'usage de l'eau à l'échelle du territoire ;
- estimer l'impact qu'auraient différentes règles de partage de l'eau et les bénéfices associés mais aussi sur l'état des ressources.

CALVIN a notamment montré qu'à l'horizon 2020, les conditions climatiques dans la région seront telles que le système ne pourra pas satisfaire la demande de l'ensemble des usagers domestiques localisés principalement dans l'ouest et le sud de l'État. La perte de bénéfices liée à cette rareté de l'eau pourrait s'élever à près de 1,2 milliards €₂₀₀₄ par an⁵. Une redistribution des ressources favorisant les usages qui génèrent la plus grande valeur économique pourrait toutefois permettre de diminuer ces pertes de bénéfices à hauteur de 153 millions €₂₀₀₄ chaque année et réduire les déficits quantitatifs de moitié à l'échelle de l'État (Tableau 1 p.12). Pour obtenir ce résultat, le modèle considère plusieurs modalités de partage et identifie les transferts d'eau du secteur agricole vers le secteur urbain et les transferts interrégionaux comme les solutions les



Figure 5. Carte schématique des principaux transferts d'eau en Californie en 2013. Source : adapté du California Water Plan, Update 2013.

plus pertinentes à mettre en œuvre. En particulier, les résultats montrent que, pour optimiser le système, l'essentiel des transferts devraient s'effectuer au sein de la Californie du Sud et dans le bassin du Lac Tulare. En Californie du Sud, les transferts du secteur agricole à proximité du fleuve Colorado, à l'est, vers le secteur urbain des agglomérations de Los Angeles et San Diego, à l'ouest, représenteraient à eux seuls un bénéfice de 700 millions €₂₀₀₄ par an par rapport à la situation sans transfert. La plus grande réduction de prélèvements dans la région s'effectuerait dans le fleuve Colorado, où les prélèvements pour satisfaire les usages agricoles seraient

réduits de près de 12%. L'accroissement de la flexibilité dans le fonctionnement des ouvrages et la mise en œuvre d'une gestion conjointe des aquifères et des eaux de surface, concourraient également à réduire les pertes de bénéfices économiques associées à la rareté de l'eau dans la région.

Plus récemment, le modèle a également été utilisé pour estimer l'impact de divers scénarios de changement climatique sur la performance globale du système hydro-économique de la Californie, à l'horizon 2050.

Performance économique d'une optimisation du partage de l'eau entre usagers en Californie à horizon 2020. Source : adapté de Jenkins et al., 2004.

	Scénario (1) Règles d'allocation de la ressource actuelles	Scénario (2) Optimisation de l'allocation de la ressource	Variation entre le scénario (2) et le scénario (1)
Consommation d'eau (millions de m³/an)			
Eau potable	7 499	8 102	+ 8 %
Agriculture	21 952	21 919	- 0,15 %
Total	29 451	30 021	+ 1,9%
Perte de bénéfices économiques (coûts de la rareté liée au changement des conditions climatiques) (millions d'€₂₀₀₄/an)			
Eau potable	1 203	131	- 89,1 %
Agriculture	25	22	- 12 %
Total	1 228	153	- 87,5 %

● Perspectives pour la France

En France, de tels modèles seraient utiles dans le cadre de réflexions sur le partage de la ressource à l'échelle de grands bassins comme celui du Rhône (comparaison entre différents projets visant à réaliser des transferts inter-bassins à partir de l'eau du Rhône) ou dans les démarches d'attribution des volumes prélevables à une échelle plus locale comme celle des SAGE. À titre d'exemple, en France, un MHE explore les conséquences sur l'économie

agricole et l'état des aquifères de la Beauce⁶ suite à l'instauration de nouvelles règles d'allocation de l'eau et la possibilité de transferts d'eau. Ce type de MHE pourrait alimenter la réflexion des décideurs sur les impacts environnementaux et socio-économiques liés à de nouvelles règles de partage de l'eau et ainsi les aider à juger de l'intérêt et l'opportunité de modifier les règles d'utilisation de l'eau en vigueur.

II- Modèles hydro-économiques et évaluation d'instruments économiques de gestion de l'eau

● Problématique de gestion : quelles politiques de tarification de l'eau permettent de générer le plus de valeur ajoutée sur le bassin?

Du fait de leur capacité à intégrer dans un cadre unique les aspects économiques et hydrologiques liés à la gestion de l'eau, les MHE sont particulièrement adaptés à l'analyse de l'efficacité d'instruments économiques. Ces instruments visent à orienter les comportements des usagers en modifiant le signal-prix fourni aux consommateurs. On distingue les instruments économiques qui agissent directement sur le prix de la ressource (tarification, taxes

et redevances, subventions, etc.) et ceux qui reposent sur la création de nouveaux marchés (quotas individuels transférables, permis de droit de prélèvements, etc.). Dans les deux cas, il s'agit de récompenser financièrement les comportements désirés, ou au contraire, de pénaliser ceux qui ne le sont pas. Les objectifs poursuivis par les instruments économiques peuvent être multiples : maîtrise de la demande en eau, garantie d'un accès équitable à la

ressource pour tous, incitation à satisfaire en priorité les usages qui contribuent à produire le plus de valeur-ajoutée sur le territoire, incitation à l'adoption de comportements moins polluants, etc..

En France, la tarification est l'instrument économique le plus fréquemment utilisé par les gestionnaires de services d'eau potable et d'irrigation. En agissant sur le prix de l'eau, la tarification modifie les quantités d'eau consommées par les usagers. A l'échelle d'un bassin-versant, une modification du prix de l'eau au sein d'un ou plusieurs services d'eau peut impacter les quantités consommées

sur leur propre périmètre mais aussi les quantités rendues disponibles pour d'autres usages sur le bassin. Or, parce que la valeur économique de l'eau varie selon les usages, ce nouveau partage de l'eau peut modifier la valeur économique associée à l'usage de l'eau sur l'ensemble du bassin. Les MHE peuvent dès lors être utilisés pour évaluer l'impact économique de différentes politiques de tarification de l'eau, de façon à identifier les modalités de tarification qui maximisent la valeur économique associée à l'usage de l'eau sur le bassin.

● Exemple d'application à la tarification des usages domestiques dans la haute vallée du *Rio Grande*

■ Contexte

Aux États-Unis, le *Rio Grande* est le fleuve qui sert de frontière naturelle entre le Mexique et les États-Unis. Il prend sa source dans le Colorado et traverse les États du Nouveau-Mexique et du Texas, avant de se jeter vers l'est dans le golfe du Mexique. Le *Rio Grande* est actuellement classé en déficit quantitatif. La situation devrait s'aggraver à l'avenir avec notamment le durcissement des règles de protection de l'environnement, la tendance à la dégradation de la qualité de l'eau, le changement climatique et la croissance démographique que connaît la région. Le bassin versant de la haute vallée du *Rio Grande* alimente en eau trois importantes métropoles, à savoir Albuquerque (Nouveau-Mexique), El Paso (Texas) et Ciudad Juarez (Mexique), ainsi que 400 000 hectares de surfaces irriguées aux États-Unis et au Mexique. Au Nord de la frontière, la présence de niveaux élevés d'arsenic dans les eaux du fleuve oblige les collectivités à investir dans des traitements de plus en plus coûteux, dont l'impact pourrait à l'avenir être significatif sur la facture d'eau des ménages. Plusieurs modes de tarification peuvent dès lors être envisagés pour assurer une gestion efficace des ressources en eau sur le bassin.

■ Modèle hydro-économique utilisé

Un modèle a été développé par des universitaires américains et espagnols pour identifier le mode de tarification qui permettait de maximiser la valeur économique des usages de l'eau dans la haute vallée du *Rio Grande*, tout en respectant des contraintes portant sur l'équité entre les usages et la durabilité des services d'eau. Le modèle a été développé à l'échelle de la haute vallée du *Rio Grande*.

L'analyse porte sur huit secteurs de consommation situés dans les États du Colorado, du Nouveau-Mexique et du Texas (Figure 6 p.15). Les fonctions de demande en eau agricole sont dérivées d'un modèle économique développé dans la vallée de San Luis (Colorado) et adapté aux spécificités de la haute vallée du *Rio Grande*. Les fonctions de demande en eau domestique sont issues de divers travaux en économétrie. Elles sont établies pour deux catégories de ménages, caractérisés par des revenus annuels situés de part et d'autre de la « ligne de pauvreté » définie par l'*US Census Bureau*. Deux types de contraintes⁷ sont prises en compte :

- une contrainte environnementale (respect de la réglementation en matière de qualité de l'eau) ;
- quatre contraintes hydrologiques liées au respect des traités internationaux entre le Mexique et les États-Unis, de la loi sur les espèces en danger (*U.S. Endangered Species Act*) et des accords interrégionaux et infrarégionaux qui régissent le partage de l'eau entre les États riverains.

Ce modèle a été développé en 2008 pour estimer l'impact économique de plusieurs scénarios de tarification des usages domestiques dans les villes d'Albuquerque (Nouveau-Mexique) et d'El Paso (Texas). Il maximise la valeur économique des usages domestiques, agricoles et environnementaux dans le bassin de la haute vallée du *Rio Grande* sur la période 2006-2025, pour trois types de tarification des usages domestiques :

- la tarification actuelle dans laquelle l'allocation est uniquement régie par le respect des contraintes hydrologiques, environnementales et institutionnelles propres au bassin. Aucun transfert des usages agricoles vers les usages urbains n'est autorisé dans cette configuration ;

7- Le terme de « contrainte » s'entend ici comme une règle à respecter au sein du modèle d'optimisation.

■ une tarification au coût marginal⁸ dans laquelle les contraintes environnementales et institutionnelles sont respectées et l'allocation entre usages résulte d'un programme de maximisation des bénéfices, dans lequel les transferts sont autorisés ;

■ une tarification sociale progressive dans laquelle le prix augmente avec les quantités d'eau consommées, ainsi qu'avec les revenus des ménages. Ce type de tarification vise à limiter les dépenses en eau dans le budget des ménages les plus défavorisés, tout en incitant les usagers domestiques à réduire leurs consommations.

2
Tableau

Performance économique des trois types de tarification à l'échelle de la haute vallée du Rio Grande. Source : adapté de Ward et al., 2009.

	Tarification actuelle (1)	Tarification au coût marginal (2)	Variation entre tarification (2) et tarification (1)	Tarification sociale progressive (3)	Variation entre tarification (3) et tarification (1)
Consommation d'eau (millions de m³/an)					
Eau potable	131 242	178 238	+ 35,8 %	170 097	+ 29,6 %
Agriculture	1 594 399	1 593 535	- 5,4 %	1 593 782	- 0,04 %
Total	1 725 641	1 771 773	+ 2,7 %	1 763 879	+ 2,2 %
Bénéfices économiques (millions d'€₂₀₀₆/an)					
Eau potable	406	444	+ 9,4 %	443	+ 9,1 %
Agriculture	157	157	0 %	157	0%
Total	563	601	+ 6,8 %	600	+ 6,6

Les bénéfices économiques nets associés à l'usage de l'eau sont les plus élevés avec la tarification au coût marginal et les plus faibles avec la tarification actuelle. La mise en place d'une tarification au coût marginal a pour conséquence d'augmenter l'eau consommée par le secteur eau potable (Albuquerque et El Paso) au détriment du secteur agricole (Nouveau Mexique) qui est le secteur où les bénéfices économiques associés à l'usage de l'eau sont les plus faibles. Si cette tarification se révèle la plus bénéfique d'un point de vue économique, elle est aussi celle qui génère la consommation d'eau la plus importante (+2,7% par rapport à la situation actuelle). On note que la perte de bénéfices liée à la tarification sociale progressive est relativement faible par rapport à celle liée à la tarification au coût marginal (- 1 million d'€₂₀₀₆, soit une différence de 0,16%) tandis que l'augmentation de la consommation d'eau y est plus modérée (+ 2,2% par rapport à la situation actuelle). Du point de vue des objectifs de préservation de la ressource mais aussi de l'équité, la tarification sociale progressive apparaît la plus opportune, puisque le prix payé par les ménages les plus modestes correspond davantage à leur capacité à payer.

Dans cet exemple, le recours à un MHE a mis en évidence l'impact économique, à l'échelle de tout un bassin, d'une tarification sociale progressive de l'eau appliquée à deux collectivités du bassin.

Les décideurs publics sont amenés à prendre en compte de nombreux critères lors de l'élaboration des politiques de tarification (comme ici l'équité entre les usagers). Néanmoins, ce modèle développé dans le Sud-Ouest américain souligne l'intérêt de considérer, conjointement à ces autres critères, le critère de l'efficacité économique (le rapport coût/bénéfice) pour juger de l'opportunité de mettre en œuvre une tarification plutôt qu'une autre.

8- La tarification au coût marginal correspond à une situation dans laquelle le prix de l'eau est égal au coût total de production, de transport et de distribution du dernier mètre cube délivré. Selon la théorie économique standard, la tarification au coût marginal permet de maximiser les bénéfices économiques et d'atteindre l'optimum économique en garantissant un prix minimal qui rémunère le service d'eau et couvre le financement des investissements.

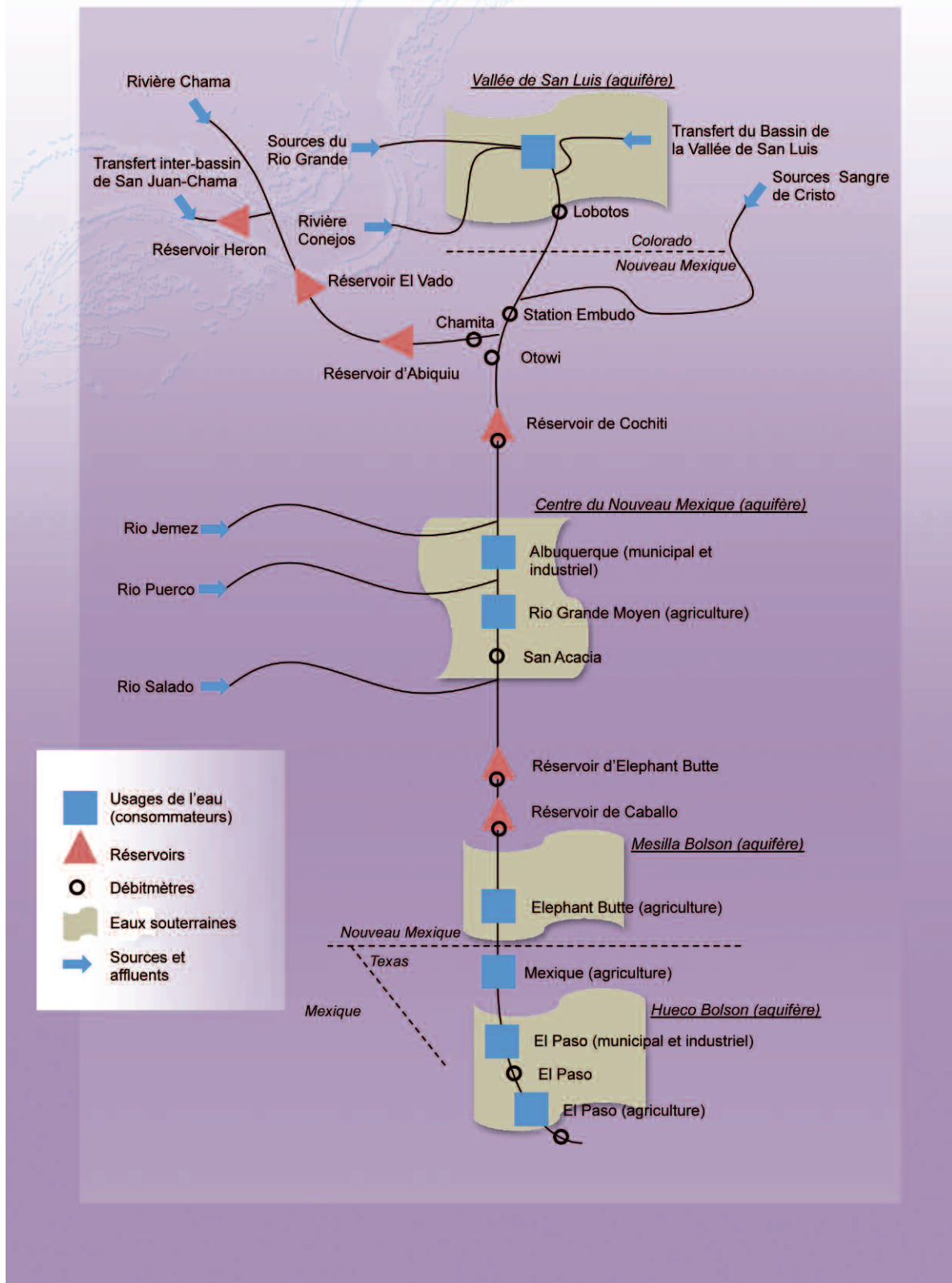


Figure 6. Représentation physique du bassin de la haute vallée du Rio Grande. Source : adapté de Ward F.A., Pulido-Velazquez M. (2008).

Perspectives pour la France

En France, la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) encourage les services d'eau à mettre en place une tarification incitative, afin d'encourager les usagers à réduire leurs consommations. Plusieurs structures tarifaires peuvent ainsi être envisagées, tant au sein du secteur agricole, que pour les usages domestiques (suppression de la part fixe dans la tarification binôme, tarification saisonnière, tarification progressive, etc.). Des MHE pourraient éclairer les décideurs sur l'intérêt économique d'un changement de tarification dans les différents

secteurs usagers de l'eau, en tenant compte des interactions existantes à l'échelle de bassins versants. Ils pourraient également contribuer à évaluer l'intérêt d'une redevance sur les prélèvements, indexée sur l'état quantitatif ou qualitatif d'une masse d'eau.

Plus généralement, ce type de MHE pourrait être utilisé pour dimensionner divers instruments économiques de sorte qu'ils reflètent les pressions qualitatives ou quantitatives sur les ressources disponibles, à l'échelle de territoires étendus.

U- Conclusion

Les modèles hydro-économiques s'inscrivent dans la continuité des méthodes d'évaluation économique classiques (analyses coûts-bénéfices, analyses coûts-efficacité) dont ils sont complémentaires. Ils portent un regard global sur l'efficacité économique de la gestion de l'eau à l'échelle de bassins versants ou de territoires étendus en prenant en compte des processus et des interactions complexes (interdépendances amont-aval entre les infrastructures, entre usagers des nappes et des rivières, entre usages productifs et récréatifs). Ils concourent à produire une nouvelle vision des enjeux environnementaux et sont particulièrement utiles sur les territoires présentant de fortes tensions sur les ressources en eau.

Pourtant, en France, ces modèles sont encore peu utilisés pour accompagner les prises de décisions relatives à la gestion de l'eau et des milieux aquatiques. Cette situation s'explique entre autres par le faible recours à l'analyse économique dans l'aide à la décision, mais aussi par la méconnaissance des modèles par les gestionnaires ou le caractère long et coûteux de la collecte et du traitement des données.

Cette publication illustre, au travers d'exemples concrets aux Etats-Unis, au Royaume-Uni, en Espagne et en France, l'intérêt potentiel des MHE pour répondre aux questions auxquelles sont confrontés les acteurs de l'eau (Tableau 3).

Elle démontre qu'investir dans un modèle hydro-économique s'avère judicieux :

- d'une part, parce qu'il s'agit d'un *outil intégrateur* qui permet d'explorer et de comparer une multitude de scénarios ;
- d'autre part, parce que par rapport aux études économiques classiques, il a l'avantage de pouvoir être mis à jour, enrichi et amélioré au gré de l'amélioration des connaissances scientifiques. Il constitue en ce sens un *outil dynamique et pérenne*, réutilisable lors des différents cycles de planification de la gestion de l'eau.

Si les modèles hydro-économiques visent à enrichir les débats qui précèdent les prises de décision relatives au partage de l'eau, ils ne doivent pas être utilisés avec la prétention d'embrasser tous les aspects des problématiques et dimensions liées à la gestion de l'eau (environnementales, politiques, éthiques, sociales, techniques, économiques, etc.). Dans un contexte budgétaire qui incite les gestionnaires à rationaliser leurs choix d'investissements et face à une opinion publique qui peine à considérer les politiques environnementales comme des opportunités de développement économique pour les territoires, les MHE peuvent permettre aux acteurs de l'eau d'instaurer un dialogue entre usagers et de mieux comprendre la complexité des interactions qui existent entre les systèmes hydrologiques et les usages qui en dépendent.

Liste non-exhaustive de modèles hydro-économiques.

Référence	Pays	Description de l'usage du modèle hydro-économique (MHE)
Modèles hydro-économiques et choix d'un programme de mesures		
Padula <i>et al.</i> , (2013)	Royaume-Uni	Développé par six compagnies d'eau privées, le modèle vise à identifier (i) le programme de mesures qui permette de satisfaire chaque année au moindre coût la demande agricole et urbaine dans le Sud-Est de l'Angleterre sur la période 2015-2039 tout en respectant les règles de gestion environnementales et (ii) le calendrier optimal de mise en œuvre et d'utilisation des diverses mesures de gestion considérées au cours de la période.
Girard <i>et al.</i> , (2015)	France	Le modèle développé à l'échelle du bassin versant de l'Orb est utilisé pour définir le programme de mesures le plus adapté pour réduire les déficits à l'horizon 2030 au moindre coût. Il permet également d'estimer comment évolue le coût du programme de mesures en fonction de divers objectifs environnementaux. Enfin, le MHE identifie des programmes de mesures adaptés à différents scénarios de changement climatique .
López-Nicolás A. (2010)	Espagne	Un MHE a été développé pour définir un programme de mesures à moindre coût permettant d'atteindre les objectifs de bon état des masses d'eau du fleuve Júcar et de ses affluents. Le modèle permet de prioriser à l'échelle du bassin la mise en œuvre de mesures de réduction de pollutions ponctuelles (concentrations en nitrates et phosphore dans les effluents de stations d'épuration).
Modèles hydro-économiques et partage de la ressource		
Jenkins <i>et al.</i> , (2014)	États-Unis	Le MHE CALVIN (<i>CALifornia Value Integrated Network</i>) a été développé en vue (i) d'identifier l' allocation de l'eau entre différents usages (alimentation en eau potable, irrigation, hydroélectricité, etc.) qui maximise les bénéfices associés à l'usage de l'eau à l'échelle du territoire et (ii) d'estimer l'impact qu'auraient différentes règles de partage de l'eau sur les usages de l'eau et les bénéfices associés mais aussi sur l'état des ressources.
Reynaud <i>et al.</i> , (2008)	France	Le MHE MOGIRE (Modèle pour la gestion intégrée de la ressource en eau) vise à optimiser l'allocation de l'eau entre les usagers domestiques et agricoles en considérant plusieurs scénarios d'évolutions possibles (agriculture, climat, économie). Il est appliqué à l'échelle du bassin de la Neste (Midi-Pyrénées).
Fisher <i>et al.</i> (2002)	Israël, Jordanie, Palestine	Appliqué au Moyen-Orient, le modèle WAS (<i>Water Allocation System</i>) identifie les règles de partage de la ressource et les besoins en infrastructures de production (désalinisation) et d'adduction d'eau en vue de maximiser les bénéfices économiques pour le territoire et mettre ainsi en évidence l'intérêt d'une coopération régionale dans la gestion de l'eau.
Houk <i>et al.</i> , (2007)	États-Unis	L'objectif de ce modèle est d' identifier les régions agricoles qui produisent le moins de valeur ajoutée par m ³ d'eau consommé pour l'agriculture en vue d'alimenter la réflexion des décideurs locaux sur les transferts d'eau les plus coûts-efficaces à réaliser pour assurer des débits d'étiage satisfaisants pour les espèces et habitats en danger du bassin de la rivière Platte (affluent du Missouri).
Bielsa <i>et al.</i> , (2001)	Espagne	Appliqué au Nord-Est de l'Espagne, ce MHE vise à identifier la règle de partage de l'eau entre usages en compétition (agriculture et hydroélectricité) permettant de maximiser à chaque période les bénéfices économiques associés à l'usage de l'eau du réservoir Vadiello. Les résultats montrent que, quels que soient les scénarios testés (sécheresse, augmentation des surfaces irriguées), les solutions les plus coûts-efficaces reposent sur des transferts d'eau entre usagers.

Modèles hydro-économiques et évaluation d'instruments économiques de gestion de l'eau

Ward <i>et al.</i> (2009)	États-Unis	Un modèle a été développé par des universitaires américains et espagnols pour identifier le mode de tarification qui permette de maximiser la valeur économique des usages de l'eau dans la haute vallée du <i>Rio Grande</i> , tout en respectant des contraintes portant notamment sur (i) l'équité entre les usages et (ii) la durabilité des services d'eau.
Pulido-Velazquez <i>et al.</i> (2013)	-	Le MHE permet de construire une méthode de simulation de différentes politiques de tarification de l'eau en fonction du coût d'opportunité marginal de la ressource en eau . Une méthode est ici développée avec une application théorique pour expliquer comment un modèle de simulation puis un modèle d'optimisation peuvent permettre de concevoir une tarification par palier en fonction du volume stocké dans un réservoir .
Srinivasam <i>et al.</i> (2010)	Inde	Un MHE a été développé pour modéliser le fonctionnement du système d' alimentation en eau potable de la ville de Chennai (quatre millions d'habitants). L'objectif de ce modèle est double : (i) mieux comprendre les causes à l'origine des nombreuses ruptures dans l'alimentation en eau potable de la ville survenues lors des sécheresses de 2003 et 2004, et (ii) estimer l'impact de divers instruments de gestion de l'eau conçus de façon à traiter les causes à l'origine de ces dysfonctionnements.
Brown <i>et al.</i> (2006)	Inde	L'objectif de ce modèle est d'évaluer l'impact sur les bénéfices associés à l'usage de l'eau à l'échelle du territoire, le revenu des exploitants agricoles et le niveau piézométrique des aquifères, d'un prix des eaux souterraines variable en fonction des quantités d'eau disponibles et des prévisions de précipitation attendues lors de la prochaine mousson dans la province du Tamil Nadu.



Pour en savoir plus...

Etat de l'art sur les modèles hydro-économiques

- Harou, J.J., Pulido-Velazquez, M., Rosenberg, D.E., Medellín-Azuara, J., Lund, J.R., Howitt, R.E., 2009. Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects. *Journal of Hydrology* 375, 627-643.
- Heinz, I., Pulido-Velazquez, M., Lund, J.R., Andreu, J., 2007. Hydro-economic modeling in river basin management: Implications and applications for the European water framework directive. *Water Resour. Manage.* 21, 1103-1125
- Brouwer, R. Hofkes, M., 2008, Integrated hydro-economic modelling: Approaches, key issues and future research directions *Ecological Economics*, 66, 16-22
- Cai. X. 2008 Implementation of holistic water resources-economic optimization models for river basin management e Reflective experiences, *Environmental Modelling and Software*, 23, 2-18

Modèles hydro-économiques et choix d'un programme de mesures

- Von Lany PH., Choudhury F., Hepworth N., Akande K. (2013), Applying optimisation and uncertainty analysis to help develop an integrated water resources plan for South East England. *Water Resource Management*. 27(4):1111-1122.
- Padula S., Harou J., Papageorgiou L.G., Ji Y., Ahmad M., Hepworth N. (2013), Least Economic Cost Regional Water Supply Planning – Optimising Infrastructure Investments and Demand Management for >South East England's 17,6 Million People, *Water Resource Management*. 27:5017-5044.
- López-Nicolás A. (2010), Comparativa de análisis coste-eficacia y optimización para la determinación de un programa de medidas para el cumplimiento de los objetivos ambientales de la Directiva Marco del Agua. Aplicación al sistema de explotación del río Júcar . Proyecto Final de Carrera. ETS de Caminos. Universidad Politécnica de Valencia.
- Girard, C., Rinaudo, J.D., Pulido-Velazquez, M., Caballero, Y., (2015). An interdisciplinary modelling framework for selecting adaptation measures at the river basin scale in a global change scenario. *Environmental Modelling and Software* <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.02.023>
- Girard, C., Rinaudo, J.D., Caballero, Y. et Pulido-Velazquez, M., (2015), Développement d'un modèle hydro-économique pour optimiser la gestion quantitative des ressources en eau dans le bassin de l'Orb. Rapport BRGM/RP-64540-FR.

Modèles hydro-économiques et partage de la ressource

- Bielsa, Jorge and Duarte, Rosa (2001), An economic model for water allocation in North Eastern Spain, *International Journal of Water Resources Development*, Vol. 17, No. 3 : pp. 397-408.
- Connell-Buck C.R, Medellín-Azuara J., Lund J.R., Madani K. (2011), Adapting California's water system to warm vs. dry climates. *Climatic Change*. 109 (Suppl 1):S133-S149.
- Fisher, F. M., S. Arlosoroff, Z. Eckstein, M. Haddadin, S. G. Hamati, A. Huber-Lee, A. Jarrar, A. Jayyousi, U. Shamir, and H. Wesseling (2002), Optimal water management and conflict resolution: The Middle East Water Project, *Water Resource Research*, 38(11), 1243.
- Houk, E., Frasier, M., and Taylor, R. (2007), Evaluation Water Transfers from Agriculture for Reducing Critical Habitat Water Shortages in the Platte Basin, *Journal of Water Resource Planning and Management*, 133(4), 320-328.
- Jenkins, M.W., J.R. Lund, R.E. Howitt, A.J. Draper, S.M. Msangi, S.K. Tanaka, R.S. Ritzema and G.F. Marques (2004), Optimization of California's Water System: Results and Insights, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(4): 271-280.
- Documentation sur CALVIN : <http://retrocee.engr.ucdavis.edu/faculty/lund/CALVIN/>

Modèles hydro-économiques et évaluation d'instruments économiques de gestion de l'eau

- Brown, C. and Rogers, P. (2006), Effects of Forecast-based pricing on irrigated Agriculture: A Simulation, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132.
- Pulido-Velazquez M., Alvarez-Mendiola E., Andreu J. (2013), Design of Efficient Water Pricing Policies Integrating Basinwide Resource Opportunity Cost, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(5) 583-592.
- Srinivasan, V., S. M. Gorelick, and L. Goulder (2010), A hydrologic-economic modeling approach for analysis of urban water supply dynamics in Chennai, India, *Water Resource Research*, 46, W07540,
- Ward F.A., Pulido-Velazquez M. (2009), Incentive pricing and cost recovery at the basin scale, *Journal of Environmental Management* 90 (2009) 293-313.
- Ward F.A., Pulido-Velazquez M. (2008), Efficiency, equity, and sustainability in water quantity-quality optimization model in the *Rio Grande* basin, *Ecological Economics* 66(2008) 23-37.



Rédaction

Marine Grémont (BRGM), Corentin Girard (UPV), Julien Gauthey (Onema) et Bénédicte Augeard (Onema)
Avec la collaboration de Jean-Daniel Rinaudo (BRGM) et Nina Graveline (BRGM)

Edition

Véronique Barre (Onema, direction de l'action scientifique et technique) et Claire Roussel (Onema, délégation à l'information et à la communication)

Création et mise en forme graphiques

Béatrice Saurel (saurelb@free.fr)

Remerciements

Julien Harou (University of Manchester, Royaume-Uni), Manuel Pulido-Velazquez (Univesitat Politècnica de València, Espagne), Josué Medellín-Azuara (University of California Davis, Etats-Unis), Brian Hurd (New Mexico State University, Etats-Unis)

Citation

Grémont M., Girard M., Gauthey J. et Augeard B. 2015. Modèles hydro-économiques : quels apports pour la gestion de l'eau en France? Onema. Collection *Comprendre pour agir*. 20 pages.



© Corinne Forst

La collection *Comprendre pour agir* accueille des ouvrages issus de travaux de recherche et d'expertise mis à la disposition des enseignants, formateurs, étudiants, scientifiques, ingénieurs et des gestionnaires de l'eau et des milieux aquatiques.

1- Eléments d'hydromorphologie fluviale (octobre 2010)

2- Eléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière (mai 2011)

3- Evaluer les services écologiques des milieux aquatiques : enjeux scientifiques, politiques et opérationnels (décembre 2011)

4- Evolutions observées dans les débits des rivières en France (décembre 2012)

5- Restaurer l'hydromorphologie des cours d'eau et mieux maîtriser les nutriments : une voie commune ? (décembre 2012)

6- Quels outils pour caractériser l'intrusion saline et l'impact potentiel du niveau marin sur les aquifères littoraux ? (avril 2013)

7- Captages Grenelle : au-delà de la diversité, quels caractères structurants pour guider l'action ? (septembre 2013)

8- Les évaluations économiques en appui à la gestion des milieux aquatiques (octobre 2013)

9- Regards des sciences sociales sur la mise en œuvre des politiques publiques (décembre 2013)

10- Comment développer un projet ambitieux de restauration d'un cours d'eau ? Retours d'expériences en Europe, un point de vue des sciences humaines et sociales (février 2014)

11- Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons Principes et méthodes (mai 2014)

12 - La compétence « Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations » (GEMAPI) (août 2014)

13 - Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : éclairages et pistes d'actions pour la gestion (octobre 2014)

14 - Connaître les perceptions et les représentations : quels apports pour la gestion des milieux aquatiques ? (décembre 2014)

15- Quelle est l'efficacité d'élimination des micropolluants en station de traitement des eaux usées domestiques? Synthèse du projet de recherche ARMISTIQ (janvier 2015)

16- Modèles hydro-économiques : quels apports pour la gestion de l'eau en France ? (mars 2015)

