



HAL
open science

L'odyssée de l'eau dans la prospective environnementale de la région méditerranéenne

Sara Fernandez, S. Treyer

► **To cite this version:**

Sara Fernandez, S. Treyer. L'odyssée de l'eau dans la prospective environnementale de la région méditerranéenne. Sciences Eaux & Territoires, 2016, Hors série 28, 5 p. 10.14758/SET-REVUE.2016.HS.06 . hal-01371543

HAL Id: hal-01371543

<https://hal.science/hal-01371543>

Submitted on 26 Sep 2016

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.

Sciences Eaux & Territoires

La revue d'Irstea

Article hors-série numéro 28

L'odyssée de l'eau dans la prospective environnementale de la région méditerranéenne

Sara FERNANDEZ et Sébastien TREYER


www.set-revue.fr

Sciences Eaux & Territoires La revue d'Irstea

English Alerts mail Abonnement RSS Facebook Twitter

Recherche avancée

Accueil

Actualité

[Tous les numéros](#)
[Tous les articles Hors-Série](#)
[Les Cahiers spéciaux](#)
[À propos de la revue](#)
[Instructions aux auteurs](#)
[Alertes mail](#)
[Contacter la rédaction](#)

L'ingénierie écologique au service de l'aménagement du territoire

5 juillet 2015

Abonnez à l'alerte mail, toutes les semaines ou occasionnellement de la revue...

Questionnaire

5 juillet 2015

Abonnez à l'alerte mail, toutes les semaines ou occasionnellement de la revue...

avis

Votre avis nous intéresse

Lire la suite

SET sur Twitter

Les nos derniers tweets

[n°16](#)
[n°15](#)
[n°14](#)
[n°13](#)
[n°12](#)
[n°11](#)
[n°10](#)
[n°9](#)
[n°8](#)
[n°7](#)
[n°6](#)
[n°5](#)
[n°4](#)
[n°3](#)
[n°2](#)
[n°1](#)

Autres numéros SET | Archives | Publications SET

Focus

Article hors-série - 28 août 2015

Voilà 100 ans que la revue Sciences Eaux & Territoires publie des articles de recherche et des retours d'expériences en la matière. Cette thématique, très populaire en termes de téléchargement sur notre site internet www.set-revue.fr car...

Sciences Eaux & Territoires, la revue d'Irstea

Article hors-série numéro 28 – 2016

Directeur de la publication : Jean-Marc Bournigal

Directeur éditorial : Nicolas de Menthière

Comité éditorial : Daniel Arnault, Louis-Joseph Brossollet, Denis Cassard, Camille Cédra, Thomas Curt, Alain Dutartre, André Évette, Véronique Gouy, Alain Hénaut, Bruno Héroult, Ghislain Huyghe, Emmanuelle Jannès-Ober, Cédric Laize, Jean-Michel Laya, André Le Bozec, Alette Maillard, Thierry Mougey, Christel Prudhomme, Christian Romaneix pour le CINOV TEN et Michel Vallance.

Rédactrice en chef : Caroline Martin

Secrétariat de rédaction et mise en page : Valérie Pagneux

Infographie : Françoise Peyriguer

Conception de la maquette : CBat

Contact édition et administration : Irstea-DP2VIST

1 rue Pierre-Gilles de Gennes – CS 10030

92761 Antony Cedex

Tél. : 01 40 96 61 21 – Fax : 01 40 96 61 64

E-mail : set-revue@irstea.fr

Numéro paritaire : 0511 B 07860 – Dépôt légal : à parution – N°ISSN : 2109-3016

Photo de couverture : © Rostislav Sedlacek - Fotolia.com



L'odyssée de l'eau dans la prospective environnementale de la région méditerranéenne

Les réflexions sur la prospective sont nées d'une critique de la tendance, d'une remise en question des frontières entre variables exogènes et endogènes, entre déterminismes et hasards, sur lesquelles les politiques publiques se fondent. Comment la prospective peut-elle alors contribuer à mettre en lumière les choix politiques déterminants qui sous-tendent les politiques environnementales ? En s'appuyant sur l'exemple du Plan Bleu, un ambitieux programme international de prospective chargé d'alimenter le débat sur la coopération en matière d'environnement en Méditerranée, cet article analyse plus spécifiquement les travaux engagés dans le domaine de l'eau, et discute de leurs effets à la fois sur les politiques publiques environnementales des pays méditerranéens concernés, ainsi que sur la nature même du Plan Bleu et son action stratégique.

Les décisions publiques et les projets se fondent tous sur des hypothèses plus ou moins explicites sur le futur. La prospective, avec une perspective critique sur la capacité des sociétés à connaître le futur, est un corpus de méthodes destiné à structurer le débat, expliciter les déterminismes, mais aussi les hasards et ce qui relève de stratégies, leurs sources de légitimité et les moyens épistémologiques d'en rendre compte. À partir d'un tel projet théorique, comment la prospective peut-elle contribuer à mettre en lumière les choix politiques déterminants qui sous-tendent les politiques environnementales ?

Pour contribuer à répondre à cette question, l'article discute d'un ambitieux programme international de prospective chargé d'alimenter le débat sur la coopération en matière d'environnement en Méditerranée, le Plan Bleu. La Méditerranée est un espace de fractures entre pays (Nord/Sud...), de tensions politiques majeures entre États (Moyen Orient...), mais aussi au sein des États comme l'ont révélé récemment les révolutions arabes ou encore la crise grecque. Dans cet espace, depuis les années 1970, l'environnement a acquis un statut particulier : celui d'enjeu susceptible de produire des échanges et des négociations apaisées. L'eau en particulier y est vue comme un support de coopération possible, même en

situation de conflits sur d'autres questions. L'article rend compte des cadrages et du contenu de travaux prospectifs emblématiques du Plan Bleu sur la question de l'eau, publiés à deux moments clés, en 1989 et en 2005. Il discute aussi de leurs effets sur les politiques publiques des pays méditerranéens concernés, ainsi que sur la nature même du Plan Bleu et son action stratégique.

De la pollution de la mer Méditerranée...

La conférence de l'Organisation des Nations unies (ONU) sur l'environnement humain tenue à Stockholm en 1972 marqua l'avènement d'un nouveau cadrage international des questions environnementales, caractérisé par plusieurs dynamiques :

- la poussée d'un mouvement environnementaliste puissant dans les pays industriels et la mise en place de normes environnementales dans ces pays ;
- l'opposition des pays du Sud qui craignaient de voir leur droit au développement contraint par des normes anti-pollution ;
- l'espoir d'un marché d'exportations des technologies occidentales de contrôle des pollutions ;
- une relative détente des relations entre les deux blocs de la Guerre froide ;

- et l'affirmation d'une communauté épistémique de spécialistes des écosystèmes porteuse à la fois d'une urgence à agir et d'une promesse de résolution des tensions environnement-développement.

Lors de cette conférence, l'ONU créa le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), dont l'une des premières initiatives concerna la pollution de la mer Méditerranée. En 1975, seize des dix-huit pays riverains de la Méditerranée et la Communauté européenne adoptèrent le Plan d'action pour la Méditerranée (PAM) qui prévoyait :

- une convention cadre entre les pays riverains associée à des protocoles spécifiques,
- un programme commun de recherche sur et de suivi des pollutions,
- la mise en place d'instruments de planification,
- que les changements institutionnels liés à ces missions s'appuient sur des organismes existants pour minimiser les coûts.

Le personnel du PNUE et son réseau d'experts en construction intervinrent activement pour proposer un contenu à la Convention et organiser les travaux sur l'importance, les causes et les effets des pollutions. Le PNUE voyait déjà dans le maintien d'une frontière entre enjeux techniques et politiques un moyen de dépasser les tensions entre plusieurs des pays concernés. Il fit appel à des experts qui ne travaillaient pas dans les administrations nationales, mais que ces dernières contribuaient à sélectionner. Les gouvernements étaient ensuite appelés à se positionner sur les propositions des experts.

En 1976, la majorité des gouvernements pays riverains de la Méditerranée adoptèrent la Convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution et signèrent ensuite plusieurs protocoles. Pour mettre en place un programme commun de suivi des pollutions, le PAM créa des Centres d'activités régionales (CAR) dans différentes villes méditerranéennes financés d'abord intégralement par le PNUE pour ensuite faire l'objet d'une contribution accrue des États des pays concernés.

Enfin, pour stimuler des changements politiques, les gouvernements signataires de la Convention adoptèrent le « Plan Bleu » en 1977. L'objectif assigné à ce « Plan » était de collecter et d'analyser des données, en s'appuyant sur les autres CAR, pour qualifier et quantifier les problèmes écologiques, identifier des relations de causalité entre secteurs socio-économiques et impacts sur l'environnement, définir des tendances et des alternatives politiques. Il s'agissait de déployer tout un travail expert pour nourrir une réflexion prospective régionale, sur les relations entre développement économique et environnement, afin de proposer des orientations stratégiques permettant de concilier les deux. Pour ce faire, le PNUE et les porteparoles des pays riverains estimaient qu'il fallait produire des informations normalisées et comparables, fondées sur des réseaux de mesures coordonnés. Dès 1977, les gouvernements signataires du Plan Bleu s'accordèrent pour lancer immédiatement des études sur plusieurs thèmes, dont la gestion de l'eau faisait partie. Le PAM établit le secrétariat du Plan Bleu en 1978 à Sophia Antipolis, près de Nice. Il bénéficia dès le début d'un soutien important de l'État français.

Vers le risque de pénurie d'eau dans les pays de l'Ouest et du Sud de la Méditerranée

En 1989, le Plan Bleu publia le travail prospectif qu'il avait mené depuis sa création, grâce à un réseau d'experts liés au PNUE ou aux ministères chargés de l'environnement des pays riverains. Ce travail, élaboré aux horizons 2000 et 2025, se basa sur la construction de scénarios fondés sur un jeu d'hypothèses cohérentes et contrastées, une analyse de l'évolution future des facteurs jugés les plus déterminants (démographie, croissance économique, degrés d'intégration des économies nationales, politiques d'environnement), à partir d'une évaluation des trajectoires passées et de la situation présente. Les résultats obtenus montraient que les tendances actuelles risquaient d'aboutir à l'inacceptable aussi bien pour l'économie que pour l'écologie et les conditions de vie. Les experts avaient alors exploré des voies alternatives pour définir des orientations pour l'action publique à l'échelle internationale, nationale et des régions côtières. L'approche déployée était traversée par des questions d'économie politique. Pourtant, elles n'intervinrent pas dans l'analyse spécifique du problème de l'eau. Pour l'eau, alors que le cadrage initial s'articulait autour de la question du transport des polluants vers la/en mer, le travail porta *in fine* sur une quantification des « ressources », des « besoins » et des risques de « pénurie » d'eau, qui mettait l'accent sur les pays du Sud et de l'Ouest de la Méditerranée. Ce travail marqua donc un glissement depuis des enjeux transfrontaliers autour d'une mer commune vers des enjeux souvent plus internes à chacun des pays. Si des facteurs biophysiques peuvent contribuer à expliquer la pénurie d'eau, elle est aussi largement le produit d'une construction sociale et politique, à différentes échelles, avec des effets non seulement sur la manière dont l'eau s'écoule, sur les écosystèmes qui en dépendent, mais aussi sur le partage des rentes liées à l'eau. Ce travail produisit pourtant une forme d'essentialisation des usages exprimés en « besoins », dont les facteurs explicatifs étaient tous considérés comme exogènes.

Comment l'expliquer ?

À la fin des années 1970, les réseaux d'expertise autour des enjeux d'écologie marine ou d'hydrobiologie étaient, dans l'espace méditerranéen, beaucoup moins structurés que les réseaux d'hydrologues, qui avaient déjà des liens forts avec l'action publique en matière hydraulique. Depuis les années 1960, M. Batisse, sous-directeur général « Sciences » de l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (Unesco) et président du Plan Bleu de 1983 à 2004, avait aussi soutenu la constitution de communautés internationales d'hydrologues et d'hydrogéologues, à partir d'un programme sur les zones arides. Ces efforts avaient à leur tour contribué à construire l'identité de l'Unesco, vis-à-vis des autres agences des Nations unies.

Dans les années 1970, l'Unesco coordonna d'importants travaux de quantification des ressources en eau disponibles d'un côté, des prélèvements et des consommations en eau de l'autre, de l'ensemble des pays de la planète avec une visée prospective. Ces travaux, en modélisant le présent et le futur des relations eaux-sociétés, produisirent deux grands types de pays. D'un côté,

▶ les pays industrialisés, au climat tempéré et où l'eau était abondante mais polluée par le développement industriel, feraient face à « des risques de pénuries d'eau de bonne qualité ». Les marges de manœuvre promues pour ces régions résidaient alors dans l'augmentation du traitement et de la réutilisation des eaux usées. De l'autre, les pays semi-arides, assimilés à l'ensemble des pays du tiers monde, incluant plusieurs pays méditerranéens, feraient quant à eux face à des risques de crises alimentaires et démographiques, c'est-à-dire à une demande alimentaire exponentielle nécessitant, pour être satisfaite par la production nationale, le développement de l'irrigation du fait de la faiblesse de la pluviométrie, irrigation elle-même contrainte par des écoulements stockables ou mobilisables limités.

À leurs débuts, ces travaux s'appuyèrent, en partie du moins, sur des réflexions relatives aux limites issues du rapport du Club de Rome. Mais les experts qui les produisirent, alliés aux agences onusiennes, à la Banque mondiale, aux porte-parole des industries de l'eau et de nombreux États des pays nouvellement indépendants les recadrèrent aussi pour les inscrire dans une perspective ne questionnant pas les modalités de croissance et de développement. Dans les discours des acteurs de l'Aide publique au développement (APD), réunis lors de la Conférence de l'ONU sur l'eau en 1977, il ne s'agissait plus tant de réduire globalement l'emprise sur l'eau des trajectoires de développement, que de faire marginalement mieux en rendant l'irrigation plus efficace et l'agriculture plus intensive. Pour ces acteurs, concernant l'alimentation, consommer moins ou différemment était hors champ. Ils privilégiaient dans leurs discours l'autosuffisance alimentaire pour réduire la sous-alimentation dans les pays nouvellement indépendants : la solution résidait dans l'augmentation et le contrôle national de la production et des stocks.

Ainsi, à partir de la fin des années 1970, toutes les analyses prospectives s'appuyèrent sur un seuil aujourd'hui naturalisé de 1 000 mètres cubes par personne et par an, en dessous duquel un pays est considéré en état de stress hydrique, et qui revient implicitement à considérer que la totalité de l'eau consommée par les personnes pour produire ce avec quoi elles se nourrissent, se vêtissent, etc., provient des écoulements souterrains ou de surface du pays où elles vivent. Ce seuil a été calculé par l'hydrologue suédoise M. Falkenmark en prenant un pays semi-aride méditerranéen comme référence, Israël, dans lequel on estimait que la moitié de l'eau consommée pour la production alimentaire provenait de l'irrigation. Ce seuil est évidemment très situé : tous les pays ne sont pas semi-arides et au sein des pays semi-arides, nombreux sont ceux dont l'irrigation représentait alors moins de 50% de l'eau consommée par les plantes cultivées. Il se fonde aussi sur des hypothèses lourdes : autosuffisance alimentaire, uniformité des régimes alimentaires... Les quantités d'eau prélevées dans le milieu pour la production agricole dépendent pourtant de toute une série de facteurs : pluviométrie, régimes alimentaires, marchés, infrastructures et politiques agricoles, etc. La signification que les experts donnèrent à ce seuil a largement évolué. Il est ainsi passé, dans le courant des années 1980, de référence d'un « état de développement avancé » à celle d'un « besoin minimum vital »... Sa valeur, elle, est pour-

tant restée la même. Ceci est significatif d'un cadrage qui laisse hors champ toute interrogation sur les projets politiques qui influenceraient la demande future en eau qui est alors essentialisée.

De tels cadrages construits à l'échelle mondiale se reflètent dans les orientations prises par les travaux du Plan Bleu dans l'espace méditerranéen dans les années 1980 : des acteurs qui participèrent activement à leur construction circulaient en effet entre ces différentes arènes.

Dans les années 1980, le Plan Bleu contribua ainsi à ce mouvement général, qui s'était lui-même fondé sur des analyses partant du Moyen-Orient, en contribuant à l'évaluation normalisée des « ressources » et des « besoins ». Ces derniers étaient évalués à partir des prévisions des pays prises comme des « données » et non comme des questions prospectives. Ce sont les données collectées et mises en forme par le Plan Bleu pour les pays méditerranéens que l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) reprendra ensuite pour construire sa base de données statistique mondiale sur l'eau (Aqustat).

... Et vers la gestion de la « demande en eau »

Dans les années 1990, le statut de l'agriculture irriguée et de l'alimentation pour gouverner la répartition locale de l'eau changea dans les discours des acteurs internationaux. Les analyses qui soutinrent une telle réorientation partirent du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord, régions qui avaient aussi focalisé l'attention de ceux qui prophétisaient des « guerres de l'eau » dans les années 1980, pour ensuite s'étendre à l'ensemble des pays du Sud. Alors que jusqu'alors l'irrigation était largement promue pour augmenter la production alimentaire mondiale destinée à une population en expansion, à l'issue des années 1990, elle se retrouva au cœur des controverses liant pauvreté, production alimentaire et impacts sur l'environnement. En partant d'un état de fait, le niveau élevé des importations céréalières des pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord, des travaux remirent en question le bien-fondé des politiques d'autosuffisance alimentaire affichées par les gouvernements de ces pays et des ouvrages hydroagricoles qu'elles légitimaient. Ils re-politisèrent donc la question de l'eau en donnant à voir que ces pays géraient aussi leur pénurie d'eau par les relations commerciales qu'ils entretenaient avec le reste du monde. C'est ce que fit par exemple J.A. Allan avec la notion « d'eau virtuelle » qui rendit visible le niveau élevé d'importations de nombreux pays du Sud (qui n'avait pourtant rien de nouveau...) en céréales, centrales pour l'alimentation des populations, intenses en consommation d'eau et dont les prix sur les marchés mondiaux étaient alors au plus faible niveau jamais atteint. Ces analyses servirent de socle à de nouvelles propositions normatives que ce soit au nom de la sécurité alimentaire, d'une libéralisation des échanges ou de l'« empreinte » sur l'eau des sociétés. Elles firent l'objet d'intenses controverses. Dans les années 1990, les instruments économiques devinrent l'outil privilégié pour critiquer des droits d'eau historiques et les rentes qui leur étaient associées, pour rebattre les cartes du partage de l'eau et promouvoir une gestion de l'eau qui ne se limiterait plus à augmenter ou à sécuriser « l'offre », mais qui agirait aussi sur la « demande ».

À cette même période, les travaux du Plan Bleu se renouvelèrent en s'insérant dans un nouveau cadrage, celui du « développement durable », qui revenait à entériner le refus de toute forme d'incompatibilité entre environnement et croissance. Le Plan Bleu chercha alors à devenir le porte-parole d'alternatives aux politiques hydroagricoles de la plupart des pays méditerranéens, essentiellement fondées sur la construction d'ouvrages de stockage. Ces alternatives furent pensées et mise en forme sous l'égide du concept de « gestion de la demande en eau » (GDE), avec la promesse de ne plus considérer les usages de l'eau comme une variable exogène, comme une donnée indiscutable et indiscutée.

Le Plan Bleu et ses experts s'appuyèrent pourtant sur la quantification déjà réalisée dans les années 1980 des risques de pénurie d'eau dans le bassin méditerranéen. Dans les années 1990 et 2000, ils les précisèrent et calculèrent des indices, en s'appuyant sur les travaux menés sous l'égide de l'Unesco dans les années 1970 et 1980 : l'indice de M. Falkenmark déjà mentionné plus haut, et l'indice de l'hydrologue russe I. Shiklomanov. Ce dernier mesure les prélèvements totaux annuels en pourcentage de l'offre en ressources en eau renouvelables annuelles et les compare à des seuils. Il permet de discuter des marges de manœuvre possibles pour les États en cas de variabilité de l'offre ou des prélèvements et c'est celui que reprendra la Stratégie méditerranéenne pour le développement durable adoptée par l'ensemble des pays riverains de la Méditerranée en 2005.

Le Plan Bleu mobilisa aussi d'autres formes de prospective, aux échelles locales ou nationales. Il soutint le développement scientifique et discursif sur les outils économiques pour une répartition plus efficace de l'eau et sur les dimensions institutionnelles et politiques de la gestion de l'eau.

À l'échelle régionale, sur d'autres sujets, tels que celui des échanges commerciaux agricoles au sein de l'espace méditerranéen, le Plan Bleu déploya une analyse politique dans la construction même de ses scénarios. Pour ce qui est de l'eau en revanche, les scénarios régionaux alternatifs quantifiés, publiés en 2005 et largement publicisés, proposèrent une lecture de la GDE essentiellement technique. Il s'agissait de montrer, par la quantification, qu'avec une modification à la marge de l'utilisation de l'eau, sans avoir à discuter de la répartition de l'eau dont

l'agriculture était bénéficiaire et les politiques qui la soutenaient, on pouvait « libérer » des quantités significatives d'eau « mal utilisée » ou « perdue », grâce à la promotion de nouvelles techniques jugées plus « efficaces » pour le transport ou l'application de l'eau d'irrigation à la parcelle¹. Ce discours, combiné à des quantifications du type « bilans ressources-besoins », est aujourd'hui inscrit dans la plupart des politiques de l'eau des pays du pourtour méditerranéen et dans l'agenda des banques de développement qui interviennent dans la région.

La GDE n'a donc pas, *in fine*, rendu l'eau perméable à la politique... Comment l'expliquer? La culture du « monde de l'eau » reste fondée sur l'idée qu'une optimisation technique du système peut éviter les conflits et de devoir penser en termes de compensations. C'est sur cette idée que s'arriment les méthodes de « bilans » qui cadrent encore aujourd'hui la planification comme le montrent, en France par exemple, les travaux de prospective menés sur la Garonne ou encore les études réalisées pour déterminer les « volumes prélevables ».

Conclusion

En construisant des scénarios sur l'eau fondés sur des savoirs hydrologiques, le Plan Bleu a réussi à instaurer un dialogue avec et entre les pays, à s'inscrire durablement dans le paysage politique méditerranéen et à renforcer la communauté épistémique organisée autour de la quantification des flux d'eau. Ce faisant, il a aussi participé d'une dépolitisation plus générale de la question de l'eau qui rend invisibles les choix qui sous-tendent la manière dont l'eau est gouvernée. ■

Les auteurs

Sara FERNANDEZ

Irstea, UMR GESTE, Engees,
1 quai Koch, BP 61039,
F-67070 Strasbourg Cedex, France
✉ sara.fernandez@irstea.fr

Sébastien TREYER

Iddri Sciences Po,
41 rue du Four, F-75006 Paris, France
✉ sebastien.treyer@iddri.org

1. Les bénéficiaires d'une telle eau « libérée » ne sont cependant que très rarement explicités et l'analyse fait le plus souvent l'économie d'une compréhension fine de la circulation de l'eau et de ce que deviennent les dites « pertes ».

EN SAVOIR PLUS...

- 📖 **BEHOIT, G., COMEAU, A.** (dir.), 2005, *Méditerranée. Les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement*, Éditions de l'Aube, Paris, 428 p.
- 📖 **GRENON, M., BATTISSE, M.**, 1989, *Le Plan Bleu. Avenirs du bassin méditerranéen*, PNUE – PAM, *Plan Bleu*, Éditions Economica, Paris, 442 p.
- 📖 **HAAS, P.M.**, 1990, *Saving the Mediterranean. The politics of international environmental cooperation*, Collection : New directions in world politics, Columbia University Press, New York, 247 p.
- 📖 **PESTRE, D.** (Dir.), 2014, *Le gouvernement des technosciences. Gouverner le progrès et ses dégâts depuis 1945*, Éditions la Découverte, collection « Recherches », Paris, p. 203-230, 321 p.
- 📖 **TREYER, S.**, 2006, *À quelle raréfaction de l'eau faut-il se préparer ? Construire une intervention prospective au service de la planification pour les ressources en eau en Tunisie*, Thèse de doctorat en sciences de l'eau, École nationale du génie rural, des eaux et des forêts, Paris, 670 p.