

Article

« Les sciences de l'eau : présent et futur »

J. L. Sasseville et G. de Marsily

Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 11, 1998, p. 223-241.

Pour citer cet article, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/705340ar>

DOI: 10.7202/705340ar

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : info@erudit.org

Les sciences de l'eau : présent et futur

The water sciences : present and future

J.L. SASSEVILLE¹ et G.de MARSILY²

SUMMARY

The water sciences are now entering a period of accelerated development. Numerous factors can explain this rapid evolution: a) the important investments in measuring systems that now allow the characterization of water properties, b) the considerable expansion of mathematical and systemic approaches to the interpretation of data, c) the recent progress in interface tools for computer modeling and the subsequent diversification of simulation models and the remarkable development in water chemistry, biology and toxicology that followed, have all largely contributed to the present broadening of the theoretical and applied knowledge base on water. Furthermore, the scientific and technical efforts unfolded in order to explain social problems related to water shortages and to find sustainable solutions have also contributed to the diversification and deepening of this wide knowledge base.

In this article, taking into consideration the deepening and diversification of the related knowledge base, we discuss the evolution of water sciences in the future. We first underline the socioeconomic problems that can be solved either by the application of current knowledge, its refinement by learning from applications, or by the development of new techniques for the interpretation of hydrological phenomena. We then distinguish between the activities undertaken to solve scientific problems justified by long-term social benefits (the science push) and those that aim to find solutions to important socioeconomic problems (the social needs for scientific knowledge). We then look at the different factors that help the achievement of research enterprises and explain the effect of those factors on the orientation of scientific projects. We formulate the hypothesis that it is the search for solutions to socioeconomic problems that, on the basis of present scientific ability, will be the prime factor in the evolution of water sciences in the future, its dynamic and orientation. Finally, we propose a general approach that can help the understanding of the evolution of water

1 Institut National de la Recherche Scientifique, 2800 rue Einstein, suite 105 C.p. 7500, Sainte-Foy, Qué., G1X 4N8, Canada.

2 Université Pierre et Marie curie, Laboratoire de géologie appliquée, 4, Place Jussieu - T. 26 - 5^e étage, 75252 Paris cedex 05, France.

sciences. This model represents the dynamic of scientific initiatives as affected by two attracting poles: the first pole is related to the need for scientific knowledge of *water management problems* (i.e. the rational and engineering approach to water problems), and the second is the need for the specific knowledge required for *public administration of water* (i.e. the policy and political approach to water problems).

In general, we can conclude that the water sciences can be conceived as the scientific constructs generated by the application of particular scientific basic knowledge to water and its relations with natural and human systems. Those scientific constructs on water and their systemic interactions with terrestrial and human systems developed from this process are not as well structured as the sub-domains that emerge in traditional domains such as biophysics, biochemistry, basic hydrology, political economy, etc. They are coherent sets of inter-disciplinary constructs elaborated to explain or predict complex natural processes or systems of relations between humans and nature, mostly in response to real or perceived social needs.

Is this to say that the scientific work on water will not succeed in establishing well-structured scientific subdomains like hydrology for example? In spite of the evident progress, natural water and its relation with nature and human systems will remain for a long time application domains of the fundamental knowledge developed in the basic or applied sciences. Those applications will certainly produce new theories or original basic knowledge with high explicative or predictive values. In this manner, the object of the applications (*water*) and its context (*natural and human systems*) are the determining factors in knowledge development, while in comparison, in basic sciences, it is the knowledge per se and its related instrumental capacities that mostly determine its evolution.

The *development rythm* of technical and scientific knowledge of water is strongly influenced by the attention that society focuses on the resource. In the future, social preoccupations about water should increase considerably in view of its growing scarcity and the collective obligations to cope with higher probabilities of related extreme events. The *type of knowledge* that should be developed will depend upon the specific approaches to social problem solving adopted by political and administrative authorities, while in turn, those approaches will be influenced by research and development done in the field of management and public administration of water.

Key-words: *water, hydrology, water sciences, future, prospective, hydrochemistry, hydrobiology, economy, sociology, management sciences, public administration, research needs, knowledge.*

RÉSUMÉ

Les sciences de l'eau connaissent actuellement un développement accéléré. Plusieurs facteurs contribuent à cet élargissement de la base de connaissances explicatives et instrumentales sur l'eau. On note, par exemple, 1) les investissements accrus dans la mise au point de systèmes de mesure permettant l'étude approfondie des propriétés de l'eau, 2) l'expansion considérable des approches mathématique et systémique à l'interprétation des données, ou encore 3) les progrès récents des outils informatiques qui ont favorisé le développement et l'usage des modèles de prédiction et ainsi, l'amélioration significative des connaissances sur la chimie, la biologie et la toxicologie. D'un autre côté, la croissance et la diversification des problèmes sociaux reliés à la raréfaction de l'eau viennent multiplier les domaines d'application des connaissances en vue de trouver des solutions durables aux problèmes.

Dans cet article, on s'interroge, dans un tel contexte d'élargissement, sur l'évolution des sciences de l'eau au cours des prochaines années en mettant en évidence les problèmes socio-économiques dont la solution fait appel aux connaissances actuelles, à leur raffinement par les applications ou encore, à de nouvelles capacités techniques d'interprétation des phénomènes hydrologiques. On y distingue entre les activités qui seront entreprises pour résoudre des questions scientifiques fondamentales pouvant se justifier par des retombées possibles pour la société (la poussée scientifique) de celles qui seront engagées pour élaborer des solutions à des problèmes socio-économiques d'importance (les besoins socio-économiques de connaissances). On met ensuite en évidence les facteurs qui interviendront pour favoriser l'épanouissement des initiatives scientifiques, et on évalue l'effet de ces facteurs sur l'orientation de ces initiatives. On pose ainsi l'hypothèse que ce serait surtout la solution des problèmes socio-économiques, en conjugaison avec les aptitudes scientifiques actuelles, qui orienteront les développements des sciences de l'eau dans l'avenir. Enfin, on présente une approche émergente pouvant aider à comprendre l'évolution des sciences de l'eau. Ce modèle de représentation de la dynamique des initiatives scientifiques est caractérisé par deux pôles d'attraction relevant de la solution des problèmes sociaux reliés à la ressource : l'un en relation avec les besoins de connaissances pour la gestion de l'eau et l'autre lié aux besoins spécifiques de connaissances pour l'administration publique de l'eau.

Mots clés : eau, sciences de l'eau, futur, prospective, hydrologie, biologie, chimie, sociologie, économie, géographie, gestion, administration, publique, discipline, connaissance.

INTRODUCTION

L'eau est un objet étudié selon des méthodes propres à diverses disciplines scientifiques. C'est la discipline par laquelle on approche cet objet et son environnement qui détermine les sujets d'intérêt et le type de connaissances qui participeront à la structuration du construit scientifique. Par exemple, la physique de l'eau traite de sa structure et de son comportement moléculaire, de son état, de ses propriétés physiques diverses, de ses comportements comme objet naturel, tel la dynamique de ses écoulements ou encore de les caractéristiques géomorphologiques ou physiographiques du milieu où elle s'écoule, alors que l'économie de l'eau traitera, par exemple, de sa valeur et de son affectation en tant que ressource privée ou ressource collective.

Pour certains chercheurs, c'est la curiosité scientifique ou l'intérêt pour la production de nouvelles connaissances sur l'eau qui les poussent à développer ou à améliorer des théories ou à élaborer des modèles permettant de comprendre et de prédire l'évolution temporelle et spatiale de certains phénomènes (par exemple, les crues, les sécheresses, la productivité biologique) ou le comportement de certaines de ses caractéristiques en relation avec des facteurs externes variables (ex. la variabilité limnimétrique ou le débit d'une rivière en relation avec la pluviométrie, la production de matières organiques en relation avec la photosynthèse, l'enrichissement en sels d'un plan d'eau en relation avec les déperditions nettes par évaporation, etc.).

Pour d'autres, c'est le désir de résoudre un problème social en relation avec l'eau (par exemple, l'eutrophisation d'un plan d'eau, l'épuisement d'un aquifère,

l'acidification des eaux atmosphériques et ses conséquences sur les lacs et les sols, etc.) qui les pousse vers la découverte ou l'application des nouvelles connaissances. Il s'agit ici de ce que Yevjevich (1991) décrit comme « l'hydrologie utilitariste » : « the advent of the ever-increasing water resources development, accelerated by the modern industrial age, led the professionals to shape *utilitarian hydrology*, often variously name as engineering, agricultural, forestry and other applied hydrologies. Its development has been primarily induced by the need for quantitative information on water resources and aquatic environments for planning, design, construction, maintenance, and operation of water-related structures and systems » (YEVJEVICH, 1970, page 1 et 2).

Ainsi peut-on concevoir les sciences de l'eau comme l'organisation, en plusieurs ensembles cohérents, de connaissances résultant de l'activité de recherche, activité orientée pour identifier, circonscrire et élucider une question d'intérêt scientifique ou pour résoudre un problème social.

Les sciences de l'eau connaissent actuellement un développement accéléré. En effet, d'un côté, les investissements importants des 20 dernières années dans les systèmes de mesure permettant la caractérisation des eaux naturelles sous toutes leurs dimensions, l'expansion considérable des approches mathématique et systémique à l'interprétation des données, les progrès récents de l'informatique favorisant le développement et l'usage diversifié des modèles de prédiction, les développements très significatifs des connaissances sur la chimie, la biologie et la toxicologie qui ont accompagné ces initiatives sont des facteurs qui contribuent maintenant à l'élargissement de la base de connaissances explicatives et instrumentales sur la ressource. D'un autre côté, la croissance et la diversification des problèmes sociaux reliés à la raréfaction de l'eau, que ce soit à cause de la pression démographique sur la demande, de la dégradation de la ressource ou de l'appauvrissement relatif des actifs en eau (SASSEVILLE, 1996), sont venues multiplier les domaines d'application des connaissances en vue de trouver des solutions durables aux problèmes. De plus, les efforts de résolution des problèmes ont stimulé la mise en forme d'un corpus théorique bien structuré pouvant être utilisé à la base des complexes multidisciplinaires utilitaristes que sont les connaissances nécessaires à la *gestion* ou *l'administration publique de l'eau*, notamment par des contributions remarquables des *sciences économiques* (BAUMOL et OATES, 1989 ; CROPPER and OATES, 1992), *politiques* (DOWNING, 1984) et *sociales* (SPOULE-JONES et RICHARDS, 1984).

Dans un tel contexte d'élargissement, comment évolueront les sciences de l'eau au cours des prochaines années ?

Une des façons utiles permettant de comprendre comment pourrait évoluer une science dans le futur serait : 1) de distinguer entre les activités qui seront entreprises pour résoudre des questions scientifiques fondamentales pouvant se justifier par des retombées possibles pour la société (la poussée scientifique ou « science pushed research ») de celles qui seront engagées pour élaborer des solutions à des problèmes socio-économiques d'importance (les besoins socio-économiques de connaissances ou « market driven research »), 2) de mettre en évidence les facteurs qui interviendront pour favoriser l'épanouissement des initiatives scientifiques, et 3) d'évaluer l'effet de ces facteurs sur les orientations de ces initiatives. Cependant, alors que pour la plupart des sciences, il est possible de distinguer clairement entre la recherche inspirée par le développement de nouvelles connaissances et la recherche appliquée à la solution de problèmes,

cette distinction classique est beaucoup plus vague pour les sciences de l'eau : selon Klimes (1986), l'intégration entre l'hydrologie appliquée et l'hydrologie fondamentale serait tellement intense qu'il ne serait plus possible, pratiquement, de distinguer les connaissances utilitaires des connaissances à caractère plus fondamental. Les tendances observées dans le développement des programmes de recherche scientifique montrent, pour leur part, qu'elles sont souvent précédées par les tendances socio-économiques dans la mise en valeur ou la conservation de la ressource.

Ainsi, peut-on s'interroger sur le futur des sciences de l'eau en mettant en évidence les problèmes socio-économiques dont la solution fait appel aux connaissances actuelles, à leur raffinement instrumental ou encore, à de nouvelles capacités d'interprétation des phénomènes hydrologiques en interaction avec leur environnement proche et lointain. On pose ainsi l'hypothèse que ce serait surtout la solution des problèmes socio-économiques, en conjugaison avec les aptitudes scientifiques actuelles, qui orienteront les développements des sciences de l'eau dans l'avenir.

Dans cet article, après un court survol des principales disciplines appliquées à l'eau, on abordera quelques problèmes socio-économiques généraux reliés à la protection, la conservation et la mise en valeur de la ressource. De plus, on infèrera sur de nouvelles connaissances ou applications requises dans certaines disciplines de l'eau. On soulignera par la suite l'émergence d'une approche moderne à la solution des problèmes sociaux reliés à la ressource, approche capable de stimuler le développement et l'intégration de nouvelles connaissances : comme nous le verrons, il s'agit d'une approche comportant deux pôles d'attraction des initiatives de recherche, l'un en relation avec les besoins de connaissances pour *la gestion de l'eau* et l'autre lié aux besoins spécifiques de connaissances pour *l'administration publique de l'eau*.

Enfin, en conclusion, nous recommanderons la mise en forme d'activités pouvant favoriser un meilleur encadrement du développement scientifique.

1 – LES SCIENCES DE L'EAU : DE PLUS EN PLUS DIVERSIFIÉES ET COMPLEXES

Les sciences de l'eau ne constituent pas un ensemble bien structuré de méthodes et de connaissances. Cet ensemble est plutôt flou et segmenté en plusieurs sous-ensembles de nature différente. On note, par exemple, que l'application d'une discipline comme la physique classique au domaine de l'eau dans un contexte où les besoins de connaissances sur les écoulements étaient considérables, a abouti à l'établissement de disciplines relativement bien organisées comme l'hydrologie et l'hydraulique, ces dernières étant devenues des disciplines de référence dans le secteur de l'eau. Plus récemment, la chimie, la biologie se sont imposées comme étant les disciplines de base qu'il convenait d'appliquer au domaine en vue de produire des connaissances permettant de comprendre les phénomènes naturels et l'effet des activités humaines sur les divers processus « bio-hydro-géologiques », écosystémiques et physiologiques qui régissent le

comportement des écosystèmes aquatiques : ces efforts ont abouti à la création de la *chimie de l'eau* (water chemistry), de la *biologie et l'écologie de l'eau* (biohydrology and water ecology), permettant ainsi l'émergence de construits scientifiques porteurs de leurs propres théories explicatives, et certainement bien nantis en méthodes et en techniques.

Ainsi, dans l'ensemble, l'application de disciplines de base au développement de connaissances et à la solution de problèmes, comme la chimie, la physique, la biologie, les mathématiques, ou les sciences appliquées telles le génie physique, le génie chimique et le génie civil, a permis de façonner des sous-disciplines spécifiques au domaine de l'eau naturelle. On retrouve, par exemple, l'*hydrométéorologie* étudiant les procédés d'évaporation et d'évapotranspiration, l'*hydrologie de surface* qui concerne l'étude des écoulements de surface, l'*hydrologie souterraine* ou l'*hydrogéologie* préoccupée du comportement des eaux souterraines, l'*hydrologie de la neige et de la glace*, l'*hydrologie des sédiments* étudiant les processus d'érosion, de transport et de dépôt des matières solides, la *potamologie* étudiant les rivières, la *limnologie* étudiant les lacs et réservoirs, l'*hydrologie des estuaires*, etc.

Outre les sciences de la nature ou du génie traditionnellement appliquées à l'étude de l'eau en soi, plusieurs autres disciplines fondamentales et appliquées se sont intéressées à l'étude de l'eau : on s'y préoccupe des relations qu'elle entretient avec les processus sociaux. Ces disciplines font partie du vaste domaine des sciences humaines (ou sociales) ; leur objet principal, lorsqu'elles s'appliquent au secteur de l'eau, est de contribuer à l'établissement d'un ordre ou cadre conceptuel permettant la compréhension des processus sociaux afférents et ce, afin de fournir des avis pratiques sur la formulation de politiques publiques et de solutions aux problèmes de gestion de l'eau comme ressource collective. Le but ultime de ces disciplines est de mettre en forme des avenues vraiment viables dans lesquelles la société pourrait s'engager. Parmi ces disciplines, on retrouve l'*anthropologie* que l'on peut définir comme le développement des connaissances sur l'origine, le développement, la nature et la culture de l'humain et de sa culture et qui, appliquée au secteur de l'eau, permet de comprendre comment les populations qui adoptent un mode de vie traditionnel conçoivent leurs relations avec la ressource. Les études comparatives sur les cultures passées et actuelles qui en sont issues mettent en relief les dénominateurs communs de l'existence humaine et les forces qui conditionnent la stabilité et le changement dans les coutumes et dans les comportements culturels (SMITH et FISCHER, 1970). On retrouve aussi la *géographie* qui, de son côté, lorsque appliquée à la ressource, s'intéresse à la description ordonnée des relations entre l'humain et l'eau, en considérant comment les comportements social, économique et politique affectent sa structure physique et temporelle. Cette discipline a permis l'analyse de la façon dont l'humain organise ses visions du monde, expliquant ainsi les comportements décisionnaires qui ont conduit à des perturbations importantes de l'environnement et qui, souvent, ont été perçus comme purement irrationnels (TAAFFE, 1970). Les *sciences économiques* ont joué déjà, et continueront de jouer dans l'avenir, un rôle considérable dans la formulation de solutions aux problèmes de l'eau et de l'environnement. L'économie, comme discipline de base, vise en effet à expliquer le comportement du système économique en tant que mécanismes interactifs par lesquels les ressources sont allouées, les prix déterminés, le revenu distribué et le développement du système économique réalisé. L'économie vise notamment à fournir des connaissances pour ré-allouer l'usage

des ressources en réponse à des transformations sociales. Le postulat à la base de l'économie, selon certains auteurs, est que l'humain (l'individu particulièrement et les groupes en regard du comportement individuel) est la mesure de toute chose. L'implication d'un tel postulat est considérable : le dommage à la santé humaine ou encore, une diminution du bonheur des individus, serait un élément d'un plus grand intérêt économique que, par exemple, le dommage à la propriété privée ou la perte de valeur d'un bien, ces derniers n'étant considérés que comme un moyen intermédiaire pour augmenter le bonheur et protéger la santé des individus. De plus, dans cet axe de réflexion, plusieurs économistes croient que les sciences économiques doivent produire des connaissances qui peuvent entraîner une plus grande efficacité des programmes publics : ceci est possible en favorisant une intervention publique par le biais de stimulants agissant sur les individus et les institutions de façon à orienter leurs activités dans le sens de l'intérêt public ou du bien-être général (RUGGLES, 1970).

De leur côté, *les sciences politiques* étudient le processus de gouvernement. Certaines sous-disciplines s'intéressent à l'origine, l'émergence, l'intégration, la transformation et le déclin des organisations et des communautés politiques ; plus particulièrement, elles étudient les formes d'organisations ainsi que les règles que ces dernières élaborent et les pratiques qu'elles déploient pour résoudre les conflits et pour prendre des décisions (EULAV et MARCH, 1970). Une définition des sciences politiques qui semblent rallier les politologues modernes pourrait se formuler ainsi : les sciences politiques consistent en l'étude des actions et des institutions dans la société plus ou moins reliées au processus par lequel les décisions autoritaires sont prises et mises en pratique (EASTON, 1985).

La *sociologie* étudie tout ce qui est social dans la condition humaine, c'est-à-dire tout ce qui est rapport entre individu, ce qui met les individus en rapport ou qui résulte du rapport entre les individus telles les communautés et la culture. Cette discipline veut expliquer 1) la distribution structurelle et spatiale des populations, 2) les comportements des individus en relation avec leur perception du comportement et des attitudes des autres, 3) le comportement des groupes, 4) les relations structurelles entretenues entre les hommes et les femmes dans la société, ou encore, 5) les formes culturelles qui donnent une signification au comportement social et qui conditionnent les comportements et les rendent légitimes (SMELSER et DAVIS, 1970).

On constate, suivant ces définitions, que ces disciplines semblent se chevaucher, notamment lorsque l'on fait l'effort de les traduire en termes de sujets d'études sur l'eau. Cependant, en pratique, elle ne se chevauche que très peu. Ces disciplines sont formées de sous-disciplines qui se développent dans un cadre formel. Elles aboutissent à l'établissement de concepts, théories et caractéristiques du réel formant un ensemble conceptuel cohérent, le tout organisé en une sorte d'unité intelligible en elle-même qui ne requiert pas (ou peu) d'assistance conceptuelle venant d'une discipline extérieure. A l'origine d'une sous-discipline, cependant, il faut noter que l'apport conceptuel des autres disciplines est majeur. Et que dire de leur apport technique, toujours souhaité lorsqu'il contribue à résoudre des problèmes jusqu'alors insolubles faute d'outils appropriés : tel a été le cas des mathématiques et de l'analyse statistique dans les sciences sociales.

Mais comment les problèmes de l'eau affecteront-ils le développement des connaissances au cours des prochaines années ?

2 – LES GRANDS PROBLÈMES DE L'EAU ET LES BESOINS DE CONNAISSANCES

Les problèmes de l'eau peuvent être définis comme *des situations* touchant sa qualité (protection ou restauration), sa quantité (abondance ou rareté), sa distribution (potentiel économique, équité géopolitique), ses manifestations extrêmes (pluies torrentielles, inondation, sécheresse), ou encore les besoins ou les ruptures réelles ou potentielles des systèmes d'exploitation (réservoir, barrage, approvisionnement, traitement, et évacuation des eaux) *perturbant ou limitant les usages ; ces situations engendrent* ainsi une *insécurité et ou une insatisfaction sociale* d'une intensité suffisamment forte pour que les *intervenants* socio-économiques et politiques s'engagent dans des *activités cognitives* (la définition du problème) *et résolutoires* (l'élaboration et l'implantation de solutions).

De manière générale, on peut définir les problèmes de l'eau, d'un côté, suivant une approche de haut niveau hiérarchique sans spécificité particulière, et d'un autre côté, d'une manière plus spécifique, en précisant leurs caractéristiques particulières. On peut dégager ainsi, soit à un niveau général, soit pour un cas particulier, les recours aux connaissances bien établies ou la production de nouvelles connaissances reliées aux activités cognitives et résolutoires. Le lecteur comprendra que nous devons nous en tenir au niveau général dans le court espace dévolu à cet exercice.

YEVJEVICH (1991) propose sept « nouveaux » problèmes généraux relatifs à la ressource auxquels il attribue des besoins de connaissances :

1) La réallocation des droits de propriété sur l'eau nécessitant le développement de modèles d'optimisation entre la qualité et la quantité de l'eau et de prédiction des conséquences de la réallocation des usages sur la qualité et la quantité, la mise en forme de méthodes permettant de déterminer les impacts sur la ressource de nouveaux usages, etc.

2) La détérioration continue de la qualité de l'eau, allant en s'accroissant partout dans les pays en voie d'industrialisation, réduisant ainsi l'accès à l'eau potable, problème dont la solution requiert des développements importants de connaissances et de techniques de suivi pouvant permettre d'en diagnostiquer l'envergure, d'en identifier les causes et de simuler l'effet des solutions proposées.

3) La réhabilitation des équipements de traitement de l'eau d'approvisionnement et d'évacuation constituant un problème économique de taille, mais par rapport auquel les technologies en émergence de surveillance et d'évaluation, d'entretien, de réparation et de construction de nouvelles infrastructures pourront jouer un rôle déterminant.

4) La restauration de la qualité de l'eau des lacs, rivières, canaux et aquifères nécessitant des solutions techniques imaginatives et des méthodes nouvelles de diagnostic pouvant permettre de modéliser le comportement et le devenir des agents polluants sur de longues périodes, dans un environnement géomorphologique complexe, et soumis à une multitude de facteurs biophysicochimiques affectant leur structure et leurs effets délétères.

5) La décroissance de la tolérance aux risques environnementaux qui entraînera dans plusieurs pays une révision des normes de sécurité, notamment

sur les infrastructures de contrôle des crues, ceci pouvant engendrer des dépenses de plus de 20 000 M \$ US au États-Unis seulement. Cette situation amènera une révision en profondeur de concepts comme la crue probable ou la précipitation probable maximale, et débouchera vraisemblablement sur des prévisions plus fines d'épisodes porteurs de risque, ceci dans un contexte de changements climatiques susceptibles d'intervenir dans un proche avenir, si cela n'est pas déjà fait, sur la structure des événements hydrologiques extrêmes.

6) La discrimination des changements climatiques, qui est le passage obligé pour démontrer la véracité, l'étendue probable, et les impacts potentiels de cette perturbation climatique appréhendée : la mesure poussée des précipitations et de l'évaporation sur les bassins et l'élaboration de scénarios prévisionnels suivant diverses hypothèses climatologiques et météorologiques, l'établissement de la dynamique de fonte des glaces et glaciers, la mesure et la prévision des événements météorologiques et climatiques extrêmes et de la montée du niveau de la mer, ainsi que la modélisation des impacts socio-économiques feront partie des activités cognitives des planificateurs et des décideurs.

7) La maximisation des bénéfices des actuelles ressources en eau pouvant être obtenus par de nouvelles règles d'exploitation notamment en regard des prévisions hydrologiques.

Il est aussi possible de spécifier les problèmes de l'eau, de manière générale, mais en les circonscrivant selon une perspective nationale et d'en déduire les connaissances requises pour en élaborer des solutions durables. C'est le cas des travaux du Comité 2000 de l'Académie des Sciences chargé, par le Président de la France, de mener les études sur les problèmes scientifiques et techniques de XXI^e siècle, et qui aborde les problèmes de l'eau dans le cadre du grand thème : « Connaissance de la planète et Cadre de vie ». En guise d'amorce à la réflexion sur ces questions, CASTILLON et de MARSILY (1997) classent les problèmes et les besoins de connaissances sur les eaux douces sous six grands thèmes.

1) Ressources en eau et pénurie. En France, quoiqu'en général les usages de l'eau ne semblent pas menacés par l'actuelle pénurie, dans des années extrêmes, certaines régions sont susceptibles de présenter des déficits en eau en raison du fort développement de l'agriculture irriguée. La prévention de tels problèmes peut passer par des développements technologiques (stockage, transferts d'eau...) ou par une utilisation plus rationnelle de la ressource. En revanche, les problèmes de pénuries seront réels et préoccupants dans certains pays proches de la France, tels que l'Allemagne du Sud, ou tout particulièrement dans le pourtour Méditerranéen et le Moyen-Orient où la croissance démographique est importante et les ressources hydriques de plus en plus limitées. La solution de ces problèmes relève des développements technologiques, tels que les transferts d'eau sur de grandes distances, l'amélioration des techniques de dessalement de l'eau de mer, si cela est encore possible, le recyclage des eaux usées, la valorisation des sols arides, et éventuellement certaines techniques nouvelles de récupération des eaux de rosée, ou de limitation de l'évaporation. Dans certains pays du sud méditerranéen, tel la Lybie, le recours massif aux eaux souterraines profondes, peu ou pas réalimentées, posera dans le futur des problèmes de remplacement d'autant plus importants qu'une économie se sera structurée sur cette *illusion de l'abondance*. Il devient indispensable, dans tous ces cas, de développer les connaissances sur les ressources, les bilans hydrologiques, les consommations et les besoins, au niveau mondial ou, au moins, au niveau des pays défi-

citaires et d'y intégrer la connaissance des effets sur les ressources en eau des modifications anthropiques du climat susceptibles de changer la répartition de la ressource, tant dans l'espace qu'au cours des saisons.

2) Qualité des eaux. La détérioration de la qualité des eaux superficielles et souterraines sous l'influence des activités anthropiques concerne tant les eaux de surface (lacs, rivières, mers) que les eaux souterraines proches de la surface du sol et, peu à peu, les nappes plus profondes. Les principaux facteurs responsables de cette dégradation sont les pratiques agricoles (nitrates, phosphates, pesticides...), l'évacuation des eaux pluviales et usées, urbaines et industrielles et la disposition des déchets domestiques et industriels. Si des mesures importantes ont, depuis 30 ans, été prises en France pour les pollutions domestiques et industrielles, il y a peu d'actions couronnées de succès en ce qui concerne l'agriculture et l'élimination des eaux pluviales, l'un et l'autre devenant des chantiers prioritaires en matière de protection des eaux de surface et souterraines. Il y a, dans ce domaine, un besoin de mieux connaître les transferts des éléments, leur cycle et rôle dans l'environnement, leur toxicité et la capacité d'auto-épuration du milieu. Il y a aussi des développements technologiques nombreux à réaliser dans le traitement des eaux, leur réutilisation, leur recyclage. Dans certaines zones, des problèmes de toxicité résultant de la présence en abondance de métaux d'origine naturelle ou anthropique pourront se poser. Par ailleurs, une réflexion stratégique doit être réalisée sur l'aménagement du territoire, pour éventuellement préserver les ressources en eau de qualité dans certaines zones judicieusement choisies. Dans les zones arides, la salinisation des sols sous l'effet de l'irrigation ou des changements culturels, et la remontée du niveau des nappes avec dégradation de leur qualité sont des problèmes préoccupants alors que la salinisation des nappes côtières est aussi un sujet de préoccupation.

3) Eaux des milieux naturels. Le maintien de la biodiversité et des équilibres écologiques impose de se préoccuper des régimes naturels de l'eau et du comportement hydrologique et écodynamique des zones humides naturelles, notamment en fonction des modifications qu'y apportent les activités anthropiques. Les zones humides, par exemple, sont en constante réduction depuis que l'on pratique systématiquement le drainage des sols. De son côté, la dégradation de la qualité des eaux des milieux naturels pourrait avoir des conséquences importantes sur l'équilibre écologique dans les zones de conservation. Plusieurs nouvelles questions confrontent la communauté scientifique : par exemple, *quelles seront les conséquences des produits phytosanitaires sur les milieux ? quelles sont les durées de modifications des équilibres, compte tenu des temps de transfert très longs dans la partie souterraine du cycle ? quels sont les impacts à long terme sur les écosystèmes de ces détériorations de la qualité des eaux ?* Il y a aussi lieu de prendre en compte le rôle potentiel des milieux naturels dans la réduction de la pollution d'origine agricole : on a constaté, en effet, que les bandes enherbées, les forêts alluviales bordant les cours d'eau, etc., peuvent avoir un rôle considérable dans la dégradation des polluants agricoles (nitrates, pesticides...). De même, il sera important d'approfondir les connaissances sur le rôle et les conséquences des grands aménagements sur les milieux (barrages, canaux à grands gabarits, liaison entre bassins versants distincts, dérivations, transferts d'eau de bassin à bassin, stockages, invasion des milieux hydriques par des espèces nouvelles conquérantes, par exemple la moule zébrée en Europe et en Amérique du Nord.

4) Qualité des eaux et santé. La qualité des eaux est mesurée par des indicateurs qui, comparés à certaines normes, indiquent l'état de dégradation de la

ressource. La façon dont sont déterminées ces normes demeure floue et ne prend pas en compte l'ensemble des effets potentiels sur la santé des diverses substances ou microorganismes retrouvés dans l'eau. L'eau contaminée est encore une source de maladie dans les pays industrialisés, et constitue jusqu'à 80 % des causes de maladies dans les pays en voie de développement, ces maladies étant responsables de la mort de 10 millions de personnes annuellement. Il y a lieu de préciser ces effets, réduisant ainsi l'incertitude dans les décisions affectant le transfert de ces substances délétères vers les cours d'eau, les lacs ou les aquifères. L'amélioration de la salubrité des eaux potables est un objectif majeur sur le plan mondial. Une meilleure connaissance de l'écologie des *germes pathogènes* est à développer et certaines *endémies* telles la *malaria*, et l'*onchocercose* directement liées à l'eau devraient faire l'objet de programmes internationaux de plus grande ampleur. Par ailleurs, les effets positifs réels ou supposés des eaux minérales et thermales sur la santé méritent d'être examinés eu égard à leur popularité croissante, alors que, réciproquement, il devient important d'étudier les effets des installations de déminéralisation des eaux qui se multiplient dans plusieurs régions.

5) Eaux dévastatrices. Les événements pluviométriques extrêmes sont générateurs de catastrophes verglas, crues et coulées de boues (par exemple le verglas en Montérégie et les crues en région du Saguenay au Québec, et les crues à Nîmes et Vaison-la-Romaine en France). Cette question soulève de nombreux problèmes de recherche, qui vont de la prévision à la protection en passant par l'aménagement du territoire ; mentionnons à ce chapitre : 1) les recherches sur les méthodes de prédiction des pluies verglaçantes extrêmes, ainsi que sur les techniques pour réduire l'emprise du verglas sur les conducteurs à haute tension, et les méthodes pour réduire la vulnérabilité des systèmes de transmission d'information et d'énergie ; 2) les recherches pour améliorer l'annonce des crues, en se basant par exemple sur une meilleure discrétisation des modèles climatiques à méso-échelle et une validation en temps réel des données de pluie et de radar ; 3) les recherches sur l'effet des aménagements de l'espace sur la génération des crues, par exemple le rôle du remembrement, du drainage enterré des sols, des pratiques agricoles ou de l'urbanisation ; 4) les recherches sur la lutte contre l'érosion des sols, prévention contre les coulées boueuses, perte en sol, dégradation de la qualité des milieux ; 5) les recherches sur les dimensions économiques, sociologiques et techniques de la protection contre les crues, sur les risques acceptables, sur les constructions en zones inondables, sur les aménagements tels que les digues, les barrages, la rectification des cours d'eau, les effets écologiques de ces aménagements, par exemple sur la préservation des zones humides ; 6) les recherches sur le potentiel des changements climatiques anthropiques à engendrer des non-stationnarités importantes dans les séries climatiques, impliquant des changements des lois de distribution des précipitations, rendant caduques les règles de dimensionnement des ouvrages basées sur l'observation des séries antérieures.

6) Gestion des eaux. La France s'est dotée depuis 1964 d'un système original de protection et de gestion des eaux, celui des Agences de l'Eau établies par grands Bassins Versants. Ces Agences collectent des redevances et redistribuent des aides pour améliorer et protéger la ressource, en quantité et qualité. Ce système d'agences de bassin, tel que conçu en France, dans le contexte des années 50 et 60, ne s'applique pas directement aux autres pays tant à cause d'incompatibilités institutionnelles et politiques, qu'à cause des particularismes géographi-

ques, démographiques et socio-économiques. Néanmoins, le concept de gestion de l'eau selon une rationalité de bassin demeure, théoriquement du moins, à la base de l'approche la plus socialement et techniquement efficace à la protection et la mise en valeur de la ressource. Ce système de gestion pourrait être repensé à la lumière des connaissances actuelles sur l'eau et ses rapports avec les individus, en y intégrant les capacités informatiques modernes, et en l'adaptant aux progrès attendus au cours des prochaines années. De cette manière, sous de nouvelles formes efficaces, il pourrait être étendu aux autres pays ainsi qu'aux Bassins Versants internationaux, de même qu'il pourrait être adapté pour prendre en charge d'autres problèmes, tels ceux de la protection contre les crues, de la gestion et de l'aménagement des territoires.

Une troisième façon d'inférer sur l'évolution des sciences de l'eau serait de s'interroger sur les problèmes socio-économiques dans le cadre des applications pratiques correspondant à chaque sous-discipline ou interdiscipline et, par la suite, inférer sur les développements de nouvelles connaissances ou sur le transfert des connaissances de pointe pouvant aider à l'élaboration et l'implantation de solutions durables. C'est le cas de la majorité des articles présentés dans le présent numéro spécial de la revue des Sciences de l'eau qui abordent, par exemple : a) le développement et l'usage de technologies numériques dans la prise de décision, b) la modélisation hydrologique dans un cadre de la gestion des eaux, c) les nouvelles approches en hydrologie urbaine, d) les nouvelles recherche sur le traitement des eaux potables, e) les progrès dans la détermination de la présence des métaux traces dans les eaux, f) l'évaluation des impacts des contaminants de l'eau sur la santé humaine, les besoins en connaissances associés g) les effets des émission acidifiantes, h) la structure trophique des écosystèmes lacustres, ou i) les effets des pollutions diffuses sur la qualité de l'eau.

C'est aussi le type d'approche retenue par YEVJEVICH (1991), notamment sur les besoins de connaissances pour l'amélioration des prévisions sur les précipitations de plus en plus nécessaire dans la gestion des événements extrêmes, en précisant les questions confrontant la communauté scientifique : Quels sont les processus physiques modulant la diminution des précipitations moyennes ou maximales en relation avec la distance des sources d'humidité ? Quel est la justification physique du concept de précipitation maximale probable ? Pourquoi les corrélations statistiques entre les précipitations dans une région côtière et différentes combinaisons de variables océaniques atmosphériques sont-elles statistiquement négligeables ?... Ainsi, parvient-il à dégager que les tendances au développement des connaissances sont reliées au développement des ressources, expliquant de cette manière l'évolution attendue des connaissances sur la compréhension des processus stochastiques touchant les tendances, l'intermittence, la périodicité, la distribution et l'interdépendance spatiale ou temporelle des variables, augmentant ou réduisant la capacité d'une utilisation prévisionnelle ou prédictionnelle de la structure stochastique d'un phénomène. Ici, le lecteur intéressé à approfondir et concrétiser sa conception du domaine pourra se référer à la publication de RODDA et MATTALAS (1987) d'un rapport sur l'hydrologie de l'Association internationale des sciences hydrologiques qui, malgré ses 10 ans d'âge, offre une assise diversifiée permettant de juger du niveau et des besoins de connaissances dans plusieurs sous-disciplines afférentes.

De leur côté, les travaux édités par CABRERA et MARTINEZ (1993) sur les systèmes d'approvisionnement en eau fournissent une base fort élaborée de connaissances spécifiques à la production d'eau pour des fins urbaines, industrielles

et agricoles, faisant ressortir le niveau actuel des connaissances, les enjeux socio-économiques et les progrès attendus de cette sous-discipline de l'hydraulique urbaine.

Dans cet esprit, il faut aussi citer l'effort de LOVEJOY, LEE *et al.* (1997) sur les besoins en connaissances et les outils de transfert de ces connaissances en vue de produire l'information nécessaire à la gestion efficace des méthodes de production agricole et de l'utilisation des sols sur un bassin en relation avec le contrôle de la pollution de l'eau des bassins. Ajoutons les réflexions de GRIFFIN *et al.* (1991) sur les besoins en recherche en vue de préciser les charges maximales totales autorisables pour chaque polluant sur un bassin en relation avec les pratiques agricoles, mais élaborées dans la perspective de minimiser les coûts sociaux du contrôle de la pollution d'origine diffuse.

Une première variante de l'approche « problèmes sociaux – disciplines scientifiques » est l'exploration spéculative des besoins futurs dans un contexte précis et des technologies pouvant répondre à ces besoins. Il faut citer ici l'audacieuse réflexion de BECK *et al.* (1994) sur le drainage urbain et les flux de matières, qui pourrait avoir un impact important sur la façon de planifier le développement des tissus urbains dans l'avenir : l'analyse de ces auteurs pointe vers la gestion séparée des flux de carbone, d'azote et de phosphore et leur intégration au cycle biotique terrestre plutôt qu'aquatique. Une autre variante de cette approche serait de faire enquête auprès des spécialistes dans le cadre d'une thématique précise. C'est le cas, par exemple, des travaux du Small Systems Research Committee (1997) sur l'hydrologie urbaine appliquée aux petites dimensions qui a mis en évidence sept domaines prioritaires pour le développement de nouvelles connaissances : 1) le financement et l'ingénierie des coûts, 2) l'organisation et la formation, 3) la viabilité ou la résilience des systèmes, 4) le contrôle de la corrosion et de ses sous-produits, 5) le développement de technologies adaptées et résilientes, 6) les sous-produits de la désinfection, 7) la réglementation et le monitoring.

Il ne faut pas oublier ici l'important secteur de la valorisation des eaux usées pluviales ou sanitaires pour fins agricoles, urbaines et industrielles rendues possibles par les développements des technologies utilisant les membranes ou de nouvelles conceptions des systèmes d'approvisionnement et d'évacuation dont traite ANDERSON (1996), en considérant les approches en développement actuellement en Australie.

Enfin, en terminant sur cet aspect, soulignons certaines publications vulgarisant les problèmes sociaux et les besoins en connaissances destinées aux décideurs et au grand public, telle celle de FREDERICK (1997) sur les changements climatiques : il y explicite le problème, les tendances, les solutions préconisées et certains développements de connaissances requises pour élaborer et implanter des solutions durables, favorisant ainsi, par la diffusion élargie de ces préoccupations, une meilleure sensibilisation des décideurs élus aux importants problèmes de développement durable.

3 – LES SCIENCES DE LA « GESTION » ET L'ADMINISTRATION PUBLIQUE DE L'EAU : UN CADRE NOUVEAU POUR LA PRODUCTION ET L'INTÉGRATION DE NOUVELLES CONNAISSANCES APPLIQUÉES À LA SOLUTION DES PROBLÈMES ?

Dans la suite de ce raisonnement, on peut affirmer que le contexte dans lequel évoluent les rapports de l'humain avec l'eau a été un stimulant important dans le développement des sciences de l'eau. Ce sont en effet les problèmes de gestion de l'eau (conservation, affectation et protection de la ressource) qui ont le plus stimulé et orienté les travaux de recherche, bien que la curiosité scientifique, comme moteur au développement de construits scientifiques, ait et aura toujours une influence notable.

Il est donc normal que le chercheur, l'expert ou le gestionnaire se penche sur les « rapports » ou « interrelations » entre l'eau et les structures sociales pour mieux comprendre comment les sciences de l'eau sont appelées à évoluer ou comment les problèmes de l'eau seront susceptibles de faire appel à ses connaissances.

Mais comment s'organisent, en société, les activités résolutoires en relation avec les problèmes sociaux actuels et prévisibles, et comment ce mode d'organisation pourrait-il favoriser concrètement la production et l'intégration sociale des connaissances ?

L'eau est par nature une ressource que l'on doit considérer comme « collective », c'est-à-dire que ses caractéristiques physiques, chimiques, biologiques, physiographiques, stochastiques, géographiques et anthropologiques, ainsi que le caractère primordial et fondamental de la plupart de ses usages, en font une ressource par rapport à laquelle il est difficile de définir des droits de propriété, et en regard de laquelle il serait socialement inacceptable ou pratiquement impossible d'exclure de sa consommation certains individus aux bénéfices de certains autres. Ainsi, par « convention politique », et en vue d'une plus grande efficacité, les individus et les groupes d'individus décident (ou acceptent) de confier à une « autorité impartiale » le soin d'élaborer et d'appliquer des règles permettant d'allouer la ressource-eau aux divers usages et de réaliser les travaux dont ils pourront tous tirer un bénéfice. En pratique, dans un cadre national et démocratique, cette autorité est le gouvernement. Ce dernier se dote de moyens généraux d'action légitime, c'est-à-dire du corpus de lois et de règlements (les politiques publiques) nécessaires à l'encadrement des comportements sociaux (*i.e.* l'individu en société), et d'instruments financiers (les taxes) et institutionnels (les ministères et les agences) lui permettant de mener à bien le développement et l'application de ses programmes de conservation et de mise en valeur de la ressource, et ce dans la perspective d'améliorer le bien-être général de la population. Évidemment, pour ce faire, les organisations créées pour exprimer concrètement la volonté et les attentes d'individus (les demandes individuelles) ou de collectivités (les demandes de représentants élus au nom des individus regroupés en groupes d'intérêt) doivent favoriser tant le développement de connaissances et techniques appropriées que leur utilisation en vue de faciliter l'accomplissement de leurs mandats.

Ainsi, c'est dans le cadre des efforts collectifs pour prévenir et résoudre les problèmes sociaux reliés à la ressource, en quelque sorte, sous les « auspices »

Tableau 1 Définition du processus social de prise en charge des problèmes relatifs à l'eau et définition des sciences de l'eau afférentes.

Table 1 General definition of the social process triggered by water problems and definition of related water sciences.

	Processus socio-technique de prise en charge des problèmes reliés à la ressources eau	
	Activités intellectuelles	Activités de réalisation
Définition du processus socio-technique de prise en charge des problèmes reliés à la ressource eau	Les activités scientifiques, techniques et de communication conduisant à la formulation de diagnostics, de pronostics ou de solutions techniques et organisationnelles sur les problèmes de l'eau	Les activités politiques, technico-juridiques, socio-économiques et organisationnelles conduisant à la création, l'implantation, l'opérationnalisation et la gestion d'instruments sociaux (législations, commissions, comités publics, organisations administratives ou agences de support socio-économique) destinés à la formulation, l'implantation et le suivi de solutions socio-techniques.
Contribution des sciences de l'eau en général, incluant les sciences de la nature et du génie ainsi que les disciplines des sciences sociales	Production des construits scientifiques requis directement ou indirectement pour la formulation de diagnostics, de pronostics ou de solutions techniques et organisationnelles sur les problèmes de l'eau	En appui à la formulation, l'implantation et le suivi de solutions socio-techniques par le biais des connaissances pratiques propres aux intervenants ou obtenus par recours à l'expertise scientifique et technique.
L'administration publique de l'eau (Sciences et organisation)	Les sciences de l'administration publique de l'eau étudient le processus social de prise en charge des problèmes de l'eau. L'administration publique de l'eau, en tant que discipline scientifique, s'intéresse ou devrait s'intéresser aux processus bureaucratiques, aux environnements dans lesquels ils opèrent, aux objets et problèmes reliés à la ressource sur lesquels les bureaucrates se penchent, et à la façon dont ils favorisent le développement ou rassemblent et utilisent les connaissances issues de plusieurs disciplines propres à l'administration comme la psychologie et les sciences du comportement, l'économie, les sciences administratives, l'analyse de politiques, les sciences politiques, le droit et la sociologie et, de plus en plus maintenant, les sciences de l'information et de la communication, ainsi bien entendu que les disciplines touchant directement l'eau comme l'hydrologie, la chimie, la toxicologie, la géographie, l'économie ou la sociologie de l'eau, etc. C'est un domaine d'activités scientifiques, pluridisciplinaires, capable de contribuer à la production de connaissances spécifiques à son objet : « l'administration publique de l'eau », c'est-à-dire l'individu, l'organisation, l'institution, leur production et les environnements dans lesquels ils œuvrent.	L'administration publique de l'eau, en tant que mode et instrument collectifs d'action, réfère 1) à l'organisation générale des activités cognitives et pratiques (conduisant à la réalisation d'actions) conduites par des individus en contraintes d'organisation et 2) aux organisations elles-mêmes se voyant confier, par les autorités gouvernementales, des missions et des ressources pour les réaliser, suivant un protocole propre aux impératifs de l'administration publique, et cela en vue d'améliorer la qualité de la vie des citoyens.
La gestion de l'eau (Sciences et organisation)	Les sciences de la gestion de l'eau étudie l'eau, ses problèmes et leurs solutions, selon une approche rationnelle, cherchant à produire des connaissances, techniques et, instruments utiles aux prises de décision, à la conception et à l'implantation de solutions techniquement efficaces, mais sans égard particulier pour les questions ou processus touchant la prise en charge sociale des problèmes collectifs. Les connaissances produites en gestion de l'eau devraient être utilisables comme modèle conceptuel aidant à formuler les problèmes dans leurs dimensions significatives et à rationaliser les solutions de façon à en réduire les coûts et en assurer leurs performances techniques.	La gestion de l'eau, en tant « qu'activité participante » à l'action collective, réfère 1) à l'organisation de connaissances et des normes d'efficacité technique et opérationnelle relatives à la solution des problèmes, sans égard particulier aux contraintes organisationnelles et institutionnelles auxquels sont soumises les administrations, indiquant, en quelques sortes, ce qui devrait être fait, et fournissant les aides rationnelles à ceux qui prennent des décisions structurant un nouvel ordre dans les relations entre la société et l'eau et 2) aux pratiques (ou modes d'action) elles-mêmes des intervenants publics ou privés impliqués dans la prise en charge des problèmes collectifs de l'eau.

des organisations vouées à « l'administration publique » de l'eau, que devraient s'opérer les choix porteurs en termes de problèmes à élaborer, des priorités d'action à choisir, de connaissances à développer, de politiques à formuler, et de programmes à implanter et à gérer.

Ceci nous amène à distinguer, comme le montre le tableau 1, les activités à caractère intellectuel destinées à la production de connaissances, de celles qui sont à caractère organisationnel et qui sont nécessaires à la formulation et l'implantation de solutions pratiques. Ces deux domaines d'activités sont parties intégrantes du processus de prise en charge sociale des problèmes. On y distingue aussi la « gestion de l'eau » de « l'administration de l'eau » tant en terme de sciences destinées à produire les connaissances, qu'en terme de mode d'action caractérisant la rationalité d'une organisation.

La figure 1 propose un schéma simplifié représentant le processus d'évolution des sciences de l'eau. On y voit se conjuguer 1) les *productions scientifiques de base* qui naissent de l'observation et de l'analyse de l'eau et de son environnement naturel et anthropique et 2) les *productions scientifiques appliquées* directement issues des sciences de la gestion de l'eau ou de l'administration publique de l'eau, c'est-à-dire de l'analyse des problèmes, de l'élaboration d'outils d'aide à leur diagnostic et à l'élaboration de leurs solutions et, enfin, de la formulation de solutions techniques, socio-économiques ou institutionnelles durables. Ces connaissances, de plus en plus diversifiées, s'accroissent de façon plus ou moins structurées dans un premier réservoir de « polissage » où elles subissent l'épreuve de l'utilité générale. Celles d'entre elles qui se sont avérées applicables à plusieurs cas, ou généralisables dans leur capacité explicative ou prédictive, s'intègrent progressivement dans un second réservoir, celui des construits scientifiques de base et appliqués.

Cette schématisation générale des grands facteurs intervenant dans le processus de développement de connaissances fait ressortir l'importance des sciences de la gestion et de l'administration publique de l'eau comme cadre d'intégration des sciences de l'eau. Elle fait aussi ressortir que la « demande » de connaissances est fortement modulée par les activités résolutives dans lesquelles s'engagent les organisations vouées à la prise en charge sociale des problèmes. Ainsi, pour bien comprendre les besoins en connaissance, il faut comprendre comment opère, en pratique, le processus de prise en charge collective des problèmes relatifs à l'eau, c'est-à-dire : quels problèmes sont à l'agenda national, régional et local ? comment se représentent-ils dans un contexte de gestion ou d'administration publique ? sur quels éléments constitutifs de ces problèmes est-il possible d'agir ? quels outils peuvent ou doivent être utilisés ? quels outils doivent être développés ? quelles méthodes institutionnelles peuvent être utilisées ? quelles connaissances générales et spécifiques sont requises ?

CONCLUSION

Les sciences de l'eau peuvent être conçues comme des construits scientifiques spécifiques issus de recherches sur l'eau ou sur ses interrelations avec l'écosystème, les individus ou la société réalisées dans le cadre de disciplines

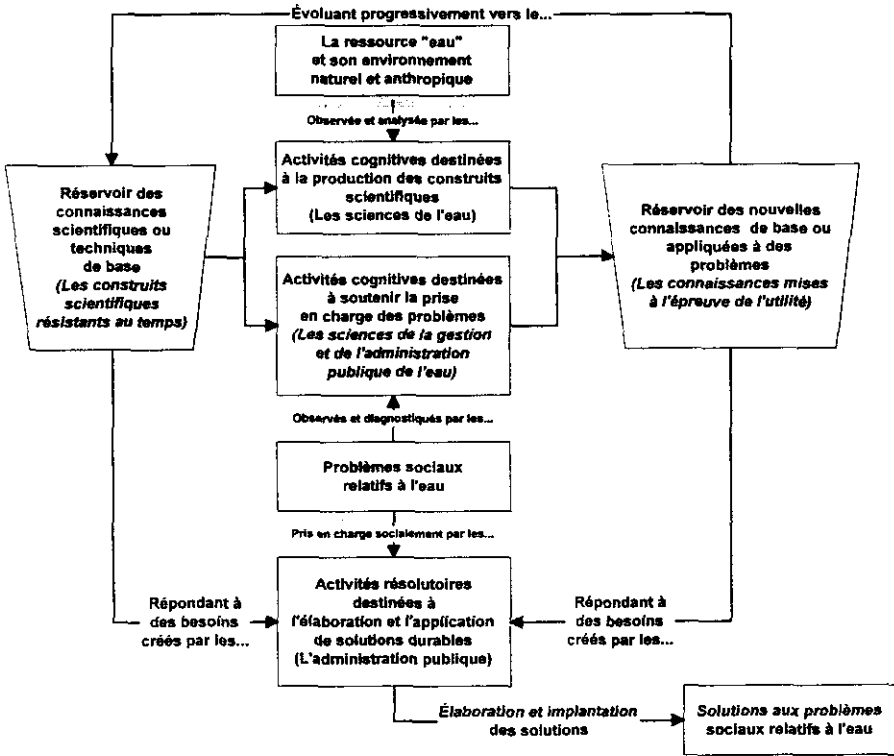


Figure 1 Schéma représentant le processus de développement des connaissances en relations avec les activités de prise en charge sociale des problèmes relatifs à l'eau.

Schematic representation of the knowledge development process governed by social problem solving activities.

fondamentales. L'hydrologie, par exemple, étudie l'évolution de l'eau sous différentes formes, dans le temps et l'espace, par l'application des lois connues de la physique et l'élaboration de lois qui lui sont propres. Cependant, dans l'ensemble, ces construits scientifiques ne sont pas aussi structurés que les réelles sous-disciplines qui s'élaborent sous l'empire des grandes disciplines comme la biophysique, la biochimie, la biologie moléculaire ou l'économie politique. Il serait plus conforme à la réalité de décrire les sciences de l'eau comme des *ensembles cohérents de construits inter-disciplinaires*, c'est-à-dire des ensembles de connaissances constitués de concepts et de théories provenant de deux ou plusieurs disciplines des sciences de la nature, du génie ou des sciences sociales. Ces construits interdisciplinaires sont élaborés pour expliquer ou prédire des processus se déroulant en nature, ou encore aux interfaces société-nature ; ils s'adressent à des problèmes socio-économiques particuliers, des « cas types » qui naissent de problématiques particulières, plus ou moins généralisables, et dont la solution fait appel à des démarches scientifiques rigoureuses, et transposables d'un cas à l'autre.

Est-ce à dire que les travaux scientifiques réalisés dans les « sciences » de l'eau auront du mal à produire des disciplines pertinentes aussi bien encadrées que l'hydrologie par exemple ? Malgré les progrès réalisés, l'eau naturelle demeurera encore longtemps un domaine d'application des connaissances développées dans les disciplines de base et appliquées. Ceci ne veut pas dire que ces applications ne sauront produire des connaissances originales ou des théories capables d'expliquer un phénomène ou d'en prédire l'évolution, ou encore de résoudre un problème de gestion publique. Ceci signifie plutôt que l'objet (l'eau) et son contexte (*les systèmes naturels et humains*) constituent le déterminant le plus important des stratégies de développement et d'application des connaissances, alors qu'en comparaison, dans le cas de disciplines de base, c'est plutôt la connaissance en soi qui est le déterminant de son propre développement. À ce chapitre, il semble bien que le *rythme du développement* des connaissances scientifiques et techniques sur l'eau sera fortement influencé dans le futur par l'importance plus grande que l'on accordera à la ressource, vue son inévitable raréfaction ainsi que l'incidence potentielle des événements extrêmes auxquels elle est associée. De son côté, le *type de connaissances* véhiculées dans le corpus thématique des sciences de l'eau dépendra de la façon dont sont pris en charge les problèmes sociaux relatifs à l'eau par les organisations vouées à la production du bien-être : en effet, d'une part, ces initiatives « collectives » seront guidées par les extrants des travaux de recherche sur l'administration publique de l'eau, et d'autre part, elles seront articulées pour implanter des solutions techniques aux problèmes, solutions élaborées dans le cadre des préoccupations, démarches et méthodes de recherche propres à la gestion de l'eau.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDERSON J.M., 1996. Current Water Recycling Initiatives in Australia: Scenarios for the 21st century. *Wat. Sci. Tech. Vol. 33(10-11)*, 37-42.
- BAUMOL W.J., OATES W.E., 1988. *The theory of environmental policy*. Second edition. Cambridge University Press, Cambridge, 299 p.
- BECK M.B., CHEN J., SAUL A.J., BUTLER D., 1994. Urban Drainage in the 21st century: Assessment of New Technology on the Basis of Global Material Flows. *Wat. Sci. Tech. Vol. 30(2)*: 1-12.
- BUKLEY J.W., 1992. Entering the 21st century: Water Quality Management Issues River Basin Management. *Wat. Sci. Tech. Vol. 26(7-8)*, 1857-1866.
- CABRERA E., MARTINEZ F., 1993. Eds. *Water Supply System. State of the Art and Future Trends*. Computational Mechanics Inc. Billerica, MA 01821, USA.
- CASTILLON P., DE MARSILY G., 1997. *Problèmes de l'eau*. Première note de réflexion. Communication personnelle, juillet.
- CROPPER M.L., OATES W.E., 1992. Environmental Economics: A survey. *Journal of Economic Literature*, Vol. XXX, 675-740.
- DOWNING P.B., 1984. *Environmental economics and policy*. Little, Brown and Company, Boston, 334 p.
- EASTON D., 1985. The Political Science in the United States. Past and Present. *International Political Science Review*, 6(1), 133-152.
- EULAV H., MARCH J.G., Eds., 1970. *Political Science, Economics*. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J.
- FREDERICK K., 1997. Water Resources and Climate Change. *Climate Issues Brief No. 3. Resources for the Future*, Washington, DC 20036, <http://www.rff.org>

- GRIFFIN M., KREUTZBERGER W., BINNEY P., 1991. Research Needs for Nonpoint Source Impacts. *Water Environment and Technology*, june.
- KLEMES V., 1986. Dilettantism in hydrology – Transition or Destiny. *Water Resour. Res.* 22(9), 177S-188S.
- LOVEJOY S.B., LEE J.G., RANDHIR T. O., ENGEL B.A., 1997. Research needs for water quality management in the 21st century: A spatial decision support system. *Journal of Soil and Water Conservation*, January-February.
- RODDA J.C., MATALAS N.C., 1987. Eds. *Water for the Future. Hydrology in perspective*. IAHS. Publ. n° 164, IAHS Press, Institute of Hydrology, Wallingford, Oxfordshire, Ox10 8BB, UK.
- RUGGLES N.D., Ed., 1970. *Economics*. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J.
- SASSEVILLE J.L., 1996. Maîtrise économique et technologique de l'eau et sécurité environnementale. *Environnement et sécurité*. 1(1), p. 173-201.
- Small Systems Research Committee, 1997. Research Needs for Small Water Systems: A Survey. *Committee report. Journal AWWA*, vol. 89(1), 101-114.
- SMELSER, N.J. et J. A. DAVIS, eds., 1970. *Sociology*. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J.
- SMITH A.H., FISCHER J.L., Eds., 1970. *Anthropology*. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J.
- SPROULE-JONES, M. et P.L. RICHARDS, 1984. *Toward a Theory of the Regulated Environment. Canadian Public Policy - Analyse de Politiques*, X:3:305-315.
- TAAFFE E.J., Ed., 1970. *Geography*. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J.
- YEVJEVICH V., 1991. Tendencies in Hydrology Research and Its Application for 21st century. *Water Resources Management* 5, 1-23.