

Interfaces d'échange de l'information environnementale

Pierre Morand
Halieute

Les grands fleuves tropicaux et leurs vallées inondables sont le théâtre d'interactions intenses et souvent conflictuelles entre les multiples usages de l'eau et des ressources vivantes liées. Il est apparu notamment que la gestion « moderne » des flux d'eau pour la seule satisfaction des exigences de la production d'énergie hydroélectrique et/ou de l'agriculture intensive en grands périmètres irrigués s'accompagnait presque toujours d'impacts négatifs importants. Ceux-ci pèsent non seulement sur l'environnement mais aussi sur la qualité de vie (diffusion de maladies hydriques) et sur les revenus de certaines catégories de populations, notamment celles qui pratiquent des activités « traditionnelles » comme la pêche ou le pastoralisme. C'est sur la base de ce constat, et aussi grâce aux réactions des ONG et des populations elles-mêmes, que les décideurs et plus particulièrement les bailleurs de fonds se tournent aujourd'hui vers l'idée d'une « gestion intégrée » des grands bassins, incluant les milieux particulièrement riches et sensibles que sont les plaines inondables. Le but n'est cependant pas de restaurer le fonctionnement naturel des hydrosystèmes mais plutôt d'instaurer un mode de gestion admettant des objectifs et des critères multiples, et dont les contraintes et retombées soient acceptables par la majorité des groupes d'intérêt et des communautés d'usagers. La nouvelle perspective gestionnaire qui émerge de cette prise de conscience pourrait cependant vite se transformer en vœu pieux dès lors que les instruments nécessaires à sa mise en œuvre ne sont pas disponibles. Il est donc urgent de s'inquiéter de la définition et de la mise en place de tels instruments. Mais quels sont-ils au juste ?

Les plus importants sont de type institutionnel. En effet, pour que des décisions de gestion appropriées soient prises et appliquées, il faut que des instances et des services idoines existent et en aient la responsabilité. Les gouvernements démocratiques s'efforcent aujourd'hui de mettre en place de telles structures, généralement sur la base d'options participatives (notion de *co-gestion*) et sur fond de décentralisation des pouvoirs publics, l'ensemble étant fortement encouragé par les agences internationales. Cependant, pour que les structures de décision puissent fonctionner de façon efficace et argumentée, il est nécessaire qu'elles disposent d'informations fiables et objectives sur l'état de l'environnement – incluant les tendances rétrospectives et les possibilités d'évolutions futures. Cette condition n'est en général pas satisfaite à l'heure actuelle, car la production d'information environnementale est dramatiquement mauvaise, dans le monde entier et plus particulièrement dans les pays en développement.

Conscientes de cette situation, des équipes de chercheurs en sciences de l'environnement et en sciences de l'information travaillent à la création d'outils de suivi, de diagnostic, de prospective et de communication. Quels sont ces outils et dans quelles conditions peuvent-ils devenir de vrais instruments au service d'une gestion intégrée de l'environnement et des ressources naturelles et, plus particulièrement, des ressources des grands bassins tropicaux et de leurs plaines inondables ? Ce sont ces questions qui vont ici retenir notre attention. Nous commencerons donc par montrer la diversité des « outils de l'information » qui sont aujourd'hui rendus disponibles par la recherche, en prenant appui sur le large échantillon de cas d'étude et d'expérience fournis par les auteurs de ce chapitre. Nous analyserons ensuite les conditions de la mise en oeuvre opérationnelle de ces outils, en nous interrogeant sur ce qui permettrait leur utilisation effective pour l'aide à la prise de décision en matière de gestion des ressources naturelles et de l'environnement.

■ Une étagère bien fournie

Les outils dont il va être question ici partagent une même aspiration : celle de jouer un rôle d'*interface* d'échange de

l'information environnementale. Ce rôle d'interface peut être considéré sous de multiples angles : il peut se situer entre la masse des données accumulées et les requêtes d'un utilisateur à la recherche d'informations ou bien entre les connaissances synthétisées sous forme de modèles et les questions posées par les gestionnaires. Il peut aussi permettre de confronter les connaissances et les souhaits des différents acteurs ou bien encore se donner pour objectif de favoriser la communication entre des institutions et des groupes d'intérêt autour d'une information mieux partagée. Mais au-delà de ce point commun apparent, les fonctions visées par ces outils de l'information sont bien différentes, comme nous allons le voir ci-après.

Des outils pour l'acquisition et le prétraitement des données et signaux

Dans le domaine des fonctions d'acquisition et de traitement primaire de l'information, il semble que le défi le plus difficile à relever ne soit plus aujourd'hui celui de la précision ou de la sensibilité mais plutôt celui de la robustesse et de la pérennité. Les humains s'y épuisent en effet dans des tâches répétitives et ingrates et ils ont donc besoin d'être soutenus par des outils, c'est-à-dire par des procédures et même, si possible, par des machines.

En prenant pour cas d'étude les images issues d'une couverture aérienne photographique du delta intérieur du Niger, Olivier Monga et Yveline Poncet montrent comment des algorithmes récemment mis au point par la recherche parviennent à réaliser une interprétation élémentaire mais automatique de formes visibles assez complexes ou irrégulières. Ceci permet « d'étiqueter » des espaces comme relevant de certains types de milieux (brousses ligneuses, mares) ou de certains types d'aménagement agricole (casiers de périmètres irrigués). L'automatisation ouvre ici la voie à des mesures automatiques, donc aisément reproductibles d'une année sur l'autre, de l'occupation des sols.

A propos du même grand écosystème, Pierre Morand, Amaga Kodio et Tiéma Niaré décrivent les moyens et méthodes de collecte, d'archivage et de prétraitement des données utilisées dans le cadre d'un observatoire expérimental. Ils montrent comment l'utilisation d'un jeu de procédures et d'outils informatiques légers et autonomes s'est avérée constituer une solution évolutive et

robuste, sans doute préférable à celle qui aurait consisté à recourir à la construction d'un système intégré dédié.

De leur côté, Marie Piron et Bruno Romagny s'inquiètent de la lourdeur et des coûts de maintenance des systèmes d'enquête, dont les interruptions ou les effondrements sont bien connus pour être préjudiciables, voire fatals, aux dispositifs producteurs d'information. Ils proposent de compléter ces systèmes par des procédures plus opportunistes. Celles-ci seraient basées sur la mise en œuvre d'outils automatiques d'exploration et d'exploitation du contenu de corpus d'information non dédiés, tels que les fichiers de clients ou de transactions entretenus par les grandes entreprises privées – une démarche appelée *data mining*. C'est ainsi qu'en acceptant de s'affranchir des critères habituels de la qualité statistique (laquelle implique normalement le contrôle de la représentativité des données), on parvient à s'approcher de solutions techniques et organisationnelles « soutenables ». Et cela pourrait constituer une voie d'avenir prometteuse pour les systèmes d'information des pays du Sud.

Des outils pour la compréhension des processus et l'exploration d'hypothèses

Lorsque les interactions entre société et environnement sont envisagées dans un cadre large et complexe (multiplicité des acteurs et/ou multiplicité des ressources, fluctuations externes, etc.), de multiples jeux d'hypothèses plus ou moins intriqués sont en concurrence pour expliquer les processus observés. Et il est clair qu'un tel écheveau ne peut alors être démêlé que par une démarche de formalisation poussée. La concrétisation d'une telle démarche passe de plus en plus souvent par la modélisation à base de systèmes multi-agents. Ces méthodes présentent en effet l'avantage de conduire à des simulations de grande puissance, indifférentes ou presque aux limites dimensionnelles qui handicapent les systèmes d'équations mathématiques.

C'est ainsi que Jean-Christophe Castella et ses collaborateurs ont développé, sur la base d'une plate-forme informatique existante (Cormas), un modèle multi-agents des dynamiques agraires des zones de montagne du fleuve Rouge (au Viêt-Nam). À l'aide de différents jeux de simulation réalisés grâce à ce modèle, ils montrent comment deux variables, la densité de main d'œuvre au

sein de la famille et l'appartenance ethnique de celle-ci, ont vraisemblablement joué un rôle déterminant dans l'évolution des moyens de production familiaux au cours de la décennie 1980, qui a été marquée par la décollectivisation des terres. Bien que les comportements des agents soient formalisés par des règles très simples, le système parvient à générer des dynamiques complexes dont les orientations paraissent comparables à celles observées historiquement.

Utilisant des méthodes comparables, Sarah Feuillet, François Bousquet et Patrick Le Goulven s'intéressent à la gestion d'une nappe phréatique tunisienne mise à mal par une multiplication incontrôlée des puits. La représentation du système par un modèle multi-agents basé sur des entités sociales (les exploitants), spatiales (nappes, parcelles) et passives (les puits) permet de simuler la dynamique d'apparition et d'abandon des puits sur plusieurs années. Les sorties de simulation sont présentées sous forme d'indicateurs (nombre de puits, profondeur de la nappe, nombre d'exploitants en faillite...), dont les évolutions respectives s'avèrent comparables à celles des mêmes indicateurs observés *in situ*. Ce résultat positif laisse penser que l'on est parvenu, grâce au modèle, à repérer les liens et variables « moteurs » de la dynamique du système. Et ceci permet d'entrevoir la possibilité d'une meilleure définition des interventions de gestion à venir.

Des outils pour la prospective, la formation et l'apprentissage de la gestion

Prolongeant ce genre de démarche, Marcel Kuper et ses collaborateurs ont développé un modèle de l'hydrosystème du delta intérieur du Niger, incluant les comportements de production et de mobilité de groupes d'utilisateurs. Grâce à la mise au point précoce d'une représentation spatiale, le modèle est parvenu à jouer un rôle de creuset d'intégration des données et des connaissances des différentes disciplines, allant de l'hydrologie à la géographie en passant par l'halieutique et l'agronomie. Le modèle est doté d'une interface très ergonomique de visualisation des données et des sorties de simulations, ce qui facilite son utilisation comme support de discussion dans le cadre de réflexions d'experts ou de formations d'étudiants. On peut ainsi appréhender et discuter des effets possibles de variations hydroclimatiques, de

l'accroissement du pouvoir de capture des engins de pêche ou bien encore de la construction d'un nouvel aménagement hydraulique en amont de la région considérée.

Olivier Barreteau et ses collaborateurs poussent encore plus loin cette philosophie d'utilisation du modèle : celui-ci devient un outil de stimulation de la capacité des usagers des ressources à prendre conscience de leurs intérêts individuels et collectifs ainsi que des implications de leurs comportements. A cette fin, ils ont conçu un « jeu de rôle » à partir des règles d'un modèle informatique multi-agents, et ils l'ont fait jouer par les acteurs concernés, en l'occurrence les riziculteurs d'un périmètre irrigué au Sénégal. Le fait que le jeu s'avère jouable et soit vite compris, discuté et adopté par les acteurs, constitue selon les auteurs une véritable validation de l'outil par « l'acceptabilité sociale ». Ceci apporte une contribution assez radicalement nouvelle à la définition des critères de légitimité du travail du modélisateur.

Des outils pour l'aide à la négociation et à la décision

Parce qu'ils intègrent des représentations dynamiques des comportements humains, les modèles présentés ci-dessus acceptent un certain niveau d'incertitude et ne peuvent donc pas conduire à des simulations réellement prédictives : seules les allures des processus simulés font sens, alors que les comparaisons strictes de valeurs obtenues au cours des différents scénarios simulés seront généralement de peu d'intérêt. Cette limitation n'est plus de mise avec des modèles moins inclusifs et davantage focalisés sur les processus du monde physique ou biologique. Si ces modèles sont correctement identifiés et paramétrés (ce qui suppose une phase de calibration puis de validation par rapport à des données observées), alors les valeurs obtenues en sortie de simulation seront reproductibles et parfaitement comparables. Ceci ouvre la voie vers une utilisation plus directe du modèle dans l'aide à la négociation et à la décision.

C'est ainsi qu'en se concentrant sur les seuls phénomènes hydrauliques, Stéphanie Duvail et ses collaborateurs développent une démarche « modélisatrice » du bas-delta du fleuve Sénégal qui va jusqu'à la simulation des impacts de plans de gestion hydraulique sur les calendriers d'abondance de l'eau dans les

différents milieux exploités. Le modèle parvient ainsi à jouer un rôle d'outil d'appui à l'émergence d'une gestion concertée, puisqu'il encourage les usagers des milieux et des ressources à s'entendre autour d'un plan de gestion de l'eau qui soit acceptable par tous. Les auteurs posent cependant la question des effets écologiques que pourrait comporter la reproduction à l'identique, d'année en année, de ce plan de gestion. Car ils rappellent que la variabilité inter-annuelle des conditions hydrauliques est un facteur essentiel du maintien de la richesse écologique (et notamment botanique) des plaines inondables. En soulevant ce problème, les auteurs touchent à l'un des défis majeurs posés par la gestion intégrée des zones inondables.

Ekasit Kositsakulchai et ses collaborateurs ont utilisé les méthodes de la dynamique des systèmes pour concevoir et développer un modèle de gestion des ressources en eau du bassin versant du Mae Klong (en Thaïlande). Les simulations tiennent compte de la variabilité des apports et permettent de simuler l'impact de différents schémas de gestion, imposés ou mis en œuvre par une série d'opérateurs, sur la satisfaction relative des besoins liés à cinq usages bien identifiés de l'eau dans la région. Le modèle, qui est pour l'instant un outil de recherche à vocation essentiellement exploratoire, paraît apte à fournir la base d'élaboration d'un outil opérationnel d'aide à la décision.

Mais modèle et aide à la décision n'impliquent pas nécessairement des outils sophistiqués. Après avoir démontré l'existence de corrélations empiriques très fortes entre l'intensité des crues affectant le delta intérieur du Niger et les captures réalisées lors des campagnes de pêche qui leur succèdent immédiatement, Raymond Laë et Gil Mahé proposent d'utiliser ces régressions simples pour fournir des prévisions non seulement aux gestionnaires mais surtout aux opérateurs diffus que sont les pêcheurs et commerçants de poissons et de filets. Ainsi précocement informés, ceux-ci seraient à même d'anticiper les choix d'investissement et de préparation de la campagne de pêche.

Des outils de stockage, partage, consultation et recomposition de l'information

Contrairement aux outils évoqués ci-dessus, qui sont tous dédiés à des fonctions particulières ou à la réalisation de missions très

spécifiques, celui dont il va être question ici s'attaque à un défi plus large et d'intérêt général.

Il s'agit de la capacité à gérer de façon sûre et efficace les énormes quantités d'informations de toutes natures générées et utilisées au quotidien par les grandes organisations, telles que projets, observatoires ou entreprises. Les bases de données aspirent bien sûr à assumer une telle mission, mais elles apparaissent de plus en plus comme des solutions partielles, dédiées à des informations organisées selon des schémas bien particuliers. Patricia Dzéakou et ses collaborateurs tentent de dépasser ces limites et s'attaquent donc aux problèmes conceptuels et techniques posés par l'archivage, la circulation et la consultation assistée, proche ou distante, d'informations de toutes natures et de tous formats. Une solution de type infothèque est proposée, basée sur l'utilisation du web, sur la reconnaissance du document comme « unité élémentaire d'information » et sur l'utilisation de l'interface d'écran comme outil privilégié de structuration de la recherche d'information aussi bien que de son résultat. Le prototype a été testé au sein du réseau de chercheurs travaillant sur le delta intérieur du Niger.

I Vers une mise en œuvre des outils au sein d'un SIE

Parmi les types d'outils présentés ci-dessus, certains trouvent d'évidence leur pleine réalisation dans l'aide à l'amélioration des connaissances et à la formation des jeunes scientifiques, c'est-à-dire des futurs ingénieurs, enseignants ou chercheurs. Ces outils ont tout naturellement leur place dans les laboratoires et les universités. Mais d'autres outils prétendent pouvoir aider à la décision en matière de gestion de l'environnement et des ressources naturelles. Il se pose alors la question de leur transfert vers des structures utilisatrices intervenant dans le cadre d'une mission opérationnelle de gestion environnementale. Et il faut bien reconnaître que cette étape est aujourd'hui rarement franchie.

On peut s'interroger sur les raisons de ce constat assez général de défaillance dans la phase de déploiement effectif de ces outils au-

delà du laboratoire originel et de la phase de prototype. Il nous semble qu'il existe au moins trois explications à cela.

La première explication tiendrait du simple bon sens : tous les outils ne sont pas également réussis et, par une sorte de processus de sélection darwinien, seuls quelques-uns parviennent à se développer et à se diffuser. La recherche n'aurait donc pas à rougir d'un faible taux d'adoption de ses produits : elle doit se contenter de continuer à travailler pour alimenter un *pool* permanent d'outils candidats, en espérant seulement que quelques-uns trouveront preneur auprès des services opérationnels. Ce point de vue « naturaliste » est sans doute en partie fondé, mais il ne permet pas d'envisager une quelconque amélioration de la situation.

La seconde explication est l'absence ou l'insuffisance de maturité des institutions des pays du Sud dans le domaine de la gestion de l'environnement et des ressources naturelles, particulièrement en ce qui concerne les eaux et les zones humides. De par leurs caractéristiques géographiques et « multi-usages », les zones humides suscitent en effet des conflits de compétence interministériels, ce qui ne facilite pas la mise en place d'institutions responsables. Cette immaturité institutionnelle explique la défaillance de la demande, qui ne laisse souvent connaître de besoins précis ni en termes d'information ni en termes d'outils. D'ailleurs, et pour les mêmes raisons, il n'existe que très peu de services techniques qui soient capables d'héberger, d'utiliser et de maintenir de façon durable de grandes masses d'information (bases de données) ou des outils de l'information dépassant un certain niveau de sophistication. Pour autant, les rares exceptions existantes, comme Agrhymet¹, (réseau agro-hydro-météorologique des pays du Cilss) qui concernent plutôt des domaines voisins mais autres que celui de la gestion des fleuves, laissent penser qu'il n'y a pas de fatalité à cette situation. Et sous la pression exercée par l'urgence croissante des problèmes environnementaux, les structures attendues vont sans doute émerger au cours de la prochaine décennie, probablement sous la tutelle des organes administratifs et politiques de gestion des grands bassins (cf. la partie 5).

¹ Diouf M., Nonguierma A., Amani A., ce volume – « Expérience du centre Agrhymet pour le suivi de l'environnement au Sahel ». In : *partie 5*.

La troisième explication du faible taux de transfert des outils relève davantage d'une incomplétude de l'offre, c'est-à-dire de la responsabilité de la recherche. En effet, les outils ou prototypes que les chercheurs proposent sont le plus souvent, comme nous l'avons vu, des « outils composants » qui, par leur nature même, se focalisent sur la résolution d'un petit sous-ensemble des nombreux défis relatifs à l'information environnementale et à son utilisation. De tels outils ne peuvent donc prendre sens et vie qu'une fois mis en œuvre au sein d'ensembles organisés d'opérations de collecte, de traitement et d'utilisation de l'information, en d'autres termes lorsqu'ils sont insérés dans de véritables *systèmes d'information sur l'environnement* (SIE). Or le développement harmonieux de tels systèmes, forcément complexes, ne peut se faire de façon spontanée : il doit suivre un ou des guides de construction.

Il nous semble donc indispensable que, au-delà de résultats de conception et de mise au point d'outils à vocation spécifique, la recherche soit à l'avenir capable de proposer des guides de recommandations portant sur les architectures et les démarches de mise en place des dispositifs de système d'information environnemental considérés en tant qu'ensembles organisés de fonctions et d'outils.

Parmi ces recommandations, l'une devra insister sur la nécessaire qualité de l'identification des fonctions et de l'usage attendus du ou des système(s) d'information. Il est clair que cette étape ne peut aller sans une analyse préalable des besoins des utilisateurs avérés ou potentiels. Or, de grands progrès méthodologiques restent à accomplir dans ce domaine. Il y a là, de toute évidence, un champ de travail pour la recherche en sciences de l'information et de l'environnement.