

Utilisation des outils numériques d'aide à la décision pour la gestion de l'eau

Use of digital decision support system tools for water management

J. DUPONT¹*, J. SMITZ², A.N. ROUSSEAU³, A. MAILHOT³ et G. GANGBAZO¹

SUMMARY

Many methods of integrated or watershed management exist which account for the necessary biophysical and socio-economic factors at the watershed level. Some of these approaches are ecosystem oriented while others are socio-economically oriented. Whatever the definition, water management at the watershed level needs to account for a plenitude of variables related to the air, water, soil, biology, and economy. The successful management of natural ecosystems requires a thorough understanding of their characteristic time and spatial scales. Because of this, decision makers need to analyze a wide range of data and geographic information. Mathematical models, geographic information systems and expert systems are capable of performing this analysis, but only a minority of managers are currently using them. This paper identifies some of the reasons why ecosystem managers have been slow to adopt such decision support tools in natural resources management and proposes a framework to facilitate their use in the decision making process. This is done in an integrated watershed management context. A review of related decision support systems is also presented.

Four types of decision-support tools are introduced: mathematical models, expert-systems, geographical information systems (GIS) and decision support systems (DSS). Mathematical models have long been used for simulation, prediction, and forecasting. However, they are often task specific and were rarely developed for management uses. GIS are more and more commonly being used for decision support as they become more affordable and user-friendly and are very well-suited for managing resources at a spatial scale. There exist many kinds of software ranging from a simple viewer used for cartographic purposes to complex GIS oriented toward spatial analysis and modelling. Expert sys-

-
1. Direction des écosystèmes aquatiques, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, 675, bd René-Lévesque Est, Québec, Québec, Canada G1R 5V7.
 2. Centre Environnement, Université de Liège, Sart Tilman B5, B-4000 Liège, Belgique.
 3. INRS-Eau, C.P. 7500, 2800 rue Einstein, Sainte-Foy, Québec, Canada, G1V 4C7.

* Correspondance.

tems are also interesting for decision support when specific goals are being considered. Finally, DSS are perhaps the digital tools most applicable to management purposes, often integrating one or more models, a GIS or expert system functionalities. There are two types of DSS: (1) Environmental Information Systems (EIS) and (2) Integrated Modelling Systems (IMS). EIS can be very user-friendly, relying heavily upon GIS and statistical functions. IMS also use GIS capabilities, but integrates several mathematical models as well. The level of integration between models varies considerably and the complexity of IMS are generally high.

Two questions underlie the operational use of digital technologies for decision support. The first is whether or not such technology should be used at all, while the second is why such tools take time to be adopted by government and management agencies. The use of digital technologies is often required when the problem is complex and where there are a wide range of factors involved with different spatial and temporal scales. Three major constraints towards the implementation of decision support tools can be pinpointed: (1) technology, (2) data, and (3) working organization. Technological constraints include cost, lack of user friendliness, and hardware problems, among other factors. Data constraints are mostly related to availability, cost, heterogeneity and volume. Finally, organization constraints pertain mostly to the manager's perception of the tool and the structural integration of the tool within the decision process.

This paper proposes a 4-step approach to optimize the use of decision-support tools. The first step requires that managers and decision-makers clearly define their project, goals and budget, as well as, decide whether to use an integrated watershed management approach or a more discrete approach. This leads directly to the second step, which consists of choosing the most appropriate digital support tool. This requires communication between managers and scientists, and at this point, data gathering and integration should begin. The third phase consists of the development of a new tool or adaptation of an existing one within the context of the agency's management structure. The final step is the operational use of the decision support tool by the agency, following an initial trial period. The successful use of a decision support tool for management purposes depends on proper planning that accounts for all factors related to management needs, budget, data, ease of use, and organization integration.

Key-words: integrated management, Decision Support System, Geographic Information System, mathematical models, expert system, structural organisation, water resource.

RÉSUMÉ

Le succès d'une gestion des écosystèmes naturels requiert une connaissance approfondie des différents processus qui interviennent et de leurs échelles de temps et d'espace particulières. Pour cette raison, les décideurs ont besoin d'analyser une vaste gamme de données et d'informations géographiques. Les modèles mathématiques, les systèmes d'informations géographiques et les systèmes experts sont capables de produire cette analyse, mais seule une minorité de gestionnaires les utilise actuellement. Cet article identifie quelques unes des raisons à l'origine de l'hésitation des gestionnaires à adopter de tels outils d'aide à la décision pour la gestion des ressources naturelles et propose une structure qui pourrait faciliter leur utilisation pour le processus de prise de décision. Cet exercice est réalisé à l'intérieur du contexte de la gestion intégrée par bassin. Une revue des systèmes d'aide à la décision est également présentée.

Mots clés : gestion intégrée, système d'aide à la décision, système d'information géographique, modèles mathématiques, système expert, organisation du travail, ressource en eau.

1 – INTRODUCTION

La gestion de l'eau représente l'un des concepts parmi les plus multiformes à avoir été utilisé en science ou en gestion que ce soit du point de vue conceptuel ou appliqué. Plusieurs auteurs dont DOWNS *et al.* (1991) ont tenté de définir plus précisément le sens réel des différentes terminologies liées aux approches de gestion de l'eau. Il existe des nuances entre toutes ces approches, bien que la plupart réfèrent à un mode de gestion souvent très comparable en pratique. Dans d'autres cas, la description des approches de gestion est si variable que l'on peut aisément lui associer plusieurs définitions. Indépendamment de leurs caractéristiques propres, ces différentes descriptions de la gestion sous-entendent toutes qu'une véritable gestion de l'eau passe par l'intégration d'un ensemble important de facteurs très variés (utilisation du sol, facteurs socio-économiques, pédologie, types de végétation, facteurs biophysiques, etc.)

Les méthodes traditionnelles de gestion de l'eau ont peu changé depuis ces dernières décennies. La majorité des décisions sont encore prises sur la base de l'expertise spécifique de quelques personnes et sur des considérations basées sur l'expression d'intérêts politiques, économiques, sociaux, environnementaux ou autres. Cette façon de faire exige du décideur de soupeser un ensemble complexe de facteurs sur une base parfois objective, parfois subjective, souvent intuitive, pour déterminer la meilleure action à prendre. Cette approche demande un difficile effort d'intégration du décideur qui, de plus, ne possède souvent pas tous les éléments pour l'aider dans sa démarche décisionnelle. Il lui devient alors extrêmement difficile de prendre en compte l'ensemble des facteurs, qui peuvent être antagonistes ou en synergie, pour en arriver finalement à une décision optimale. C'est à ce niveau que les technologies numériques d'aide à la décision peuvent venir en aide au gestionnaire, en réduisant la complexité des problèmes, en fournissant un support à ses décisions et en favorisant une vision plus globale des éléments pouvant influencer cette démarche. Ces méthodes doivent être associées aux processus décisionnels (conciliation, diffusion d'information, résolution de conflits, développement de visions d'états futurs, etc.).

Les technologies numériques ont commencé à être développées il y a déjà plusieurs décennies dans le cas des systèmes d'information géographique et des modèles mathématiques de simulation et depuis un peu moins longtemps dans le cas des systèmes experts et des systèmes d'aide à la décision. Toutefois, ces outils sont encore peu mis à profit par les gestionnaires. Nous évaluerons les raisons expliquant cette inertie au niveau du transfert technologique entre le développement scientifique et la décision. Nous proposerons également quelques uns des principes qui favoriseront une meilleure intégration de ces outils au processus décisionnel.

2 – LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Les vingt dernières années ont permis de voir apparaître plusieurs nouveaux concepts de gestion tels que la gestion intégrée des ressources, l'approche

écosystémique, le développement durable, l'approche eau-air-sol, etc. Ces « nouvelles » approches visent toutes pour la plupart à fournir une approche plus globale permettant de confronter les multiples problèmes environnementaux touchant les domaines de l'eau, de l'air et du sol. Ces approches reposent parfois sur des fondements théoriques difficiles à traduire en terme pratique du fait qu'il existe une multitude de définitions et autant de perceptions différentes par les gestionnaires de la ressource en eau (DOWNS *et al.*, 1991 ; CARTENSEN *et al.*, 1997). Ce changement dans les approches de gestion a provoqué un malaise chez les décideurs qui ont continué à utiliser les méthodes de gestion traditionnelles, sectorielles et peu intégrées (LARA et SACHS, 1978), tout en essayant de se rattacher d'une quelconque manière à l'un des termes précédemment listés.

Le concept de gestion intégrée repose sur l'idée que toutes les composantes d'un système doivent avoir une part d'influence sur la décision. Ainsi, dans le cadre d'une gestion dite par bassin versant, une véritable gestion intégrée devrait tenir compte des facteurs touchant les aspects hydriques, terrestres, atmosphériques, biologiques, socio-économiques et politiques. La décision devrait cependant être prise sur la base d'un compromis acceptable ou le moins irritant possible pour tous les intervenants (solution la moins contraignante).

Considérant une perspective moins globale mais plus pratique, DOWNS *et al.* (1991) attribuent le concept de *Gestion intégrée par bassin* à une gestion tenant compte des interactions entre composantes du bassin, dans lesquelles prédominent certaines d'entre elles pour un domaine d'intérêt particulier. En d'autres termes, une telle approche sous-entend qu'il est possible de gérer une ressource donnée (l'eau par exemple) en fonction de l'ensemble des facteurs pouvant l'affecter ou des facteurs que la ressource pourrait influencer. La plupart des expériences actuelles de gestion intégrée de l'eau s'inscrivent à l'intérieur d'un tel concept.

3 – OUTILS D'AIDE À LA PRISE DE DÉCISION

Les outils numériques d'aide à la prise de décision sont très variés et peuvent être utilisés seuls ou en combinaison. Il y a d'un côté les modèles mathématiques, les systèmes d'information géographique (SIG) et les systèmes experts (SE) qui peuvent être utilisés pour traiter l'information et simuler des scénarios particuliers. De l'autre côté, on retrouve les systèmes d'aide à la décision (SAD) (de l'anglais Decision Support Systems) qui peuvent intégrer un ou plusieurs de ces outils numériques. Ces derniers sont plus spécifiquement orientés que les premiers pour aider le décideur dans la gestion des ressources en eau.

3.1 Modèles mathématiques

Les modèles mathématiques en sciences environnementales existent depuis plusieurs décennies et peuvent être utilisés pour simuler divers phénomènes et scénarios liés à l'hydrologie, la qualité des eaux, l'impact des pratiques agricoles, les fonctions de coûts, les risques pour la santé humaine, etc. Ils viennent sous différentes formes allant du modèle très simple au modèle très complexe et du

modèle empirique au modèle mécaniste. Les modèles peuvent être utilisés pour simuler des phénomènes observés, pour prévoir ou prédire un état futur ou simuler des scénarios de planification ou d'intervention. Ces outils numériques sont souvent bien adaptés pour la gestion opérationnelle des interventions, la compréhension des processus à l'œuvre et prévoir divers impacts environnementaux et socio-économiques. VILLENEUVE *et al.* (1998) présentent une revue des modèles mathématiques utilisés dans le domaine de l'eau.

3.2 Systèmes d'informations géographiques (SIG)

L'utilité des SIG s'est accrue au fil des ans pour devenir essentiel dans la gestion des données à référence spatiale et l'aménagement du territoire. Ces outils numériques sont très utiles pour intégrer des informations ponctuelles, vectorielles et matricielles d'origines diverses. Les SIG sont des outils de gestion et d'analyse de données géographiques spatiales. Les noms les plus connus sont : ARCInfo, ARCView, SPANS, CARIS, GENAMAP, GRASS, INTERGRAPH, GRASSLAND, TNTMips, MapInfo, Idrisi. Ce sont en fait des outils de CAO (conception assistée par ordinateur) spécifiquement orientés vers les travaux d'analyse spatiale.

3.3 Systèmes experts

Les systèmes experts faisant appel au concept d'intelligence artificielle ont vu le jour un peu plus récemment que les SIG ou les modèles. Peu d'outils de ce genre sont actuellement opérationnels. Ces outils numériques se basent sur la logique floue ou sur des règles de décision pour constituer une base de connaissances permettant au système de fournir un résultat issu de l'intégration d'informations complexes et d'origines multiples. Un des buts recherchés par les systèmes experts est de simuler l'expertise d'un ou des experts d'un domaine spécifique. Ce sont de puissants outils de diagnostic à utiliser surtout dans le cadre de thématiques très ciblées axées sur l'intervention et l'opération. Parmi les systèmes experts utilisés pour l'aide à la gestion ou à la modélisation des ressources en eau, on peut noter entre autres le module Système Expert du logiciel RAISON (LAM et SWAYNE, 1996), ainsi que ceux décrits par WILDE (1994), WALKER *et al.* (1995) et REYNOLDS *et al.* (1996).

3.4 Systèmes d'aide à la prise de décision

Les systèmes d'aide à la décision (SAD) constituent une évolution récente des outils numériques. Ces SAD peuvent combiner plusieurs et parfois toutes les catégories d'outils numériques présentés précédemment. Ils offrent dans certains cas des possibilités de visualisation et de scénarios. Ils peuvent être très complexes au plan de l'utilisation, mais s'avèrent néanmoins très utiles au décideur. LIU (1995) note que le terme « environnement de support à la décision (« Decision support environment ») » fait référence à un ensemble de logiciels informatiques qui permet aux utilisateurs de partager la connaissance, l'information et les données afin de mieux comprendre un problème décisionnel et ainsi améliorer la prise de décision. ORLOB (1992) note que le concept de support à la décision est plus vaste que la simple capacité de simulation que l'on retrouve en général dans les modèles mathématiques. Le concept doit fournir les moyens nécessaires pour rendre le support des SAD accessible et désirable pour les décideurs. Les SAD sont très bien adaptés aux thématiques faisant intervenir le concept de gestion intégrée par bassin où des facteurs environnementaux et

humains très variés peuvent avoir de multiples incidences sur la ressource en eau. Il existe encore peu de ce genre d'outils numériques, mais leur développement est en pleine effervescence.

Il existe deux grandes classes de SAD : les systèmes d'information environnementale (SIE) et les systèmes de modélisation intégrée (SMI). Le tableau 1 présente quelques uns des SIE et SMI existants ou actuellement en développement. Les SIE sont généralement construits à partir d'une coquille SIG et fournissent à l'utilisateur la possibilité d'effectuer des opérations de forage de données¹, de traitement de données et d'analyse spatiale. Ils se distinguent des SIG par les capacités additionnelles de traitement de l'information. Par exemple, le système RAISON (LAM et SWAYNE, 1996) intègre certaines fonctionnalités traditionnelles du SIG, mais en lui rattachant d'autres comme des fonctions statistiques et graphiques, un système expert à base de règles, un tableur et un logiciel de gestion de base de données multimédias, ainsi que la possibilité de lier des applications externes (modèles ou logiciels).

Tableau 1 Quelques exemples de systèmes d'aide à la décision en opération ou en cours de développement.

Table 1 Some examples of decision support systems in use or in development.

Auteurs	Type	Nom	Thématiques considérées
JAMIESON et FEDRA (1996)	SIE et SMI Intégré	WaterWare	Modélisation et analyse de données
REYNOLDS <i>et al.</i> (1996)	SIE	EMDS	Analyse écosystémique par bassin versant
WOLF-SCHUMANN et VAILLANT (1996)	SIE	TimeView	Traitement des données temporelles
RIBEIRO da COSTA <i>et al.</i> (1996)	SIE	SNIRH	Gestion des eaux au Portugal
MAILHOT <i>et al.</i> (1998)	SMI intégré	GIBSI	Modélisation intégrée quantité-qualité de l'eau par bassin
RIETJENS (1994)	SMI intégré	AGIRE	Gestion de l'eau du bassin de la rivière Garonne
BATELAAN <i>et al.</i> (1996)	SMI	WRASS	Modèles WET-SPA, MODFLOW
BOUVIER et DELCLAUX (1996)	SMI	ATHYS	Modèles hydrologiques
DESCONNETS <i>et al.</i> (1996)	SMI	HAPEX-Sahel	Système de modélisation intégrée pour régions semi-arides
SMITZ <i>et al.</i> (1997)	SMI	PÉGASE	Gestion de la qualité des eaux par bassin
LAHLOU <i>et al.</i> (1996)	SMI	BASINS	Modèles QUAL2E, HSPF et TOXIROUTE
LOUCKS <i>et al.</i> (1996)	SMI	IRAS	Simulation interactive aquifère-rivière
LUITEN et GROOT (1992)	SMI	PAWN	Plusieurs modèles de simulation (quantité et qualité)
MALLAWARACHCHI <i>et al.</i> (1996)	SMI	SRIAS	Simulation des impacts économiques et environnementaux
MARINETS <i>et al.</i> (1996)	SMI	RODOS	Migration des micronucléides en Ukraine
MARTENS et DIBIASE (1996)	SMI	TCM-Manager	Gestion de l'eau et de l'utilisation du sol
SOMLYODY (1997)	SMI	DESERT	Gestion de la qualité des eaux par bassin
SOMLYODY (1997)	SMI	STREAMPLAN	Gestion de la qualité des eaux (local et par bassin)
SORENSEN <i>et al.</i> (1996)	SMI	DLIS	Modèle MIKE-SHE

SIE: Système d'information environnementale

SMI: Système de modélisation intégrée

Les systèmes de modélisation intégrée (SMI) peuvent simuler l'ensemble des processus physiques, chimiques et parfois socio-économiques sur un bassin versant. Dans la plupart des cas, ces systèmes intègrent des fonctions SIG et un système de gestion de bases de données. Les plus évolués possèdent une interface-usager très conviviale, permettant l'évaluation de scénarios et offrant des

1 Forage de donnée : de l'anglais *Data Mining* permet la consultation, la recherche et le traitement de données contenues dans de vastes bases de données.

fonctions de visualisation avancées. La plupart des SMI sont toutefois constitués d'une boîte à outils plus ou moins intégrée. KOPP (1996) fournit une excellente description des niveaux d'intégration possibles dans les SMI. Les systèmes GIBSI (MAILHOT *et al.*, 1997) et WaterWare (JAMIESON et FEDRA, 1996) sont probablement les SMI parmi les mieux intégrés. D'ailleurs, GIBSI a été conçu pour faciliter au maximum l'utilisation par les décideurs alors que WaterWare est surtout destiné aux spécialistes qui l'utiliseront à des fins de support à la gestion.

4 – UTILISATION OPÉRATIONNELLE DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES

Deux questions se posent lorsqu'il est question d'évaluer le recours aux technologies de l'information : (1) Ces technologies de pointe sont-elles indispensables pour assister le gestionnaire dans sa prise de décision ? Et si oui, (2) quelles sont les raisons expliquant la faible percée de ces outils pour la prise de décision dans les organismes publics ?

En ce qui concerne la première question, LOVEJOY (1997) note que le développement ou le recours aux technologies de pointe pour la prise de décision ne doit pas être fait aveuglément en raison des coûts et des ressources en jeu. Ce recours doit donc être décidé en fonction du contexte de gestion. Ainsi, dans des situations à très court terme, pour des situations d'urgence, pour des besoins d'intervention au plan local ou encore pour des thématiques très ciblées, l'utilisation de nouveaux outils numériques peut ne pas être justifiée. Les méthodes conventionnelles de prise de décision ou l'utilisation d'outils existants permettant une réponse rapide peuvent être adéquates pour ces situations. Par contre, le recours aux technologies numériques devient intéressant lorsque les besoins de gestion englobent des concepts de prédiction, de simulation de scénarios, d'analyses et de diagnostic, ou lorsqu'un ou plusieurs des facteurs suivants priment : objectifs à moyen et long termes, enjeux multiples, objectifs visés de planification des interventions, zone étudiée de grande étendue et diversité très complexe des usages. Cet intérêt devient grand lorsque le cadre de gestion répond à la définition de gestion intégrée décrit plus tôt dans cet article.

Malgré l'existence d'une multitude de modèles, SIG et SAD, le recours aux outils d'aide à la décision par la majorité des organismes gouvernementaux reste encore très limité. Plusieurs raisons expliquent cette hésitation, les principales se situant au plan du transfert technologique et du manque d'expertise nécessaire à l'utilisation rentable des outils numériques (SILVERT, 1989). Plusieurs autres auteurs dont BECK (1991), KILGORE *et al.* (1994), ROBERTSON *et al.* (1995), BORN et SONZOGNI (1995), CARTENSEN *et al.* (1997) ont également identifié diverses contraintes pouvant nuire à l'utilisation des outils numériques. Ces facteurs peuvent être groupés selon trois catégories : les contraintes technologiques, les contraintes liées aux données et les contraintes organisationnelles (*tabl. 2*).

4.1 Contraintes technologiques

Ces contraintes sont généralement perçues comme le frein principal à l'utilisation des technologies numériques pour l'aide à la prise de décision dans les organismes publics. Elles sont surtout liées au matériel et aux fournitures informatiques.

5.2 Contraintes liées aux données

Les données représentent la deuxième source de préoccupation des décideurs quant à l'utilisation de technologies numériques pour la prise de décision. Les outils numériques doivent être alimentés en données, mais la disponibilité, le coût d'acquisition de ces dernières, leurs gestion et surtout leurs qualité sont autant de facteurs pouvant avoir un impact sur l'utilisation efficace des outils numériques. L'expérience montre que, à l'heure actuelle, les systèmes d'information environnementale (SIE) et les systèmes de modélisation intégrée (SIM) sont les premiers (et souvent les seuls) à utiliser toutes les données de façon globale et cohérente. Ils permettent donc de détecter les erreurs et imprécisions des données de base, ce qui est particulièrement utile. Cela étant, l'effort nécessaire pour corriger ou compléter les données de base et obtenir une base de données de bonne qualité ne doit pas être sous-estimé.

5.3 Contraintes organisationnelles et humaines

Les contraintes organisationnelles et humaines sont probablement les facteurs les plus sous-estimés parmi ceux contribuant à ralentir l'implantation des technologies numériques. Ces dernières sont de plusieurs types. KING (1996) a d'ailleurs fourni une très bonne description de l'importance de la perception du décideur lorsqu'il est question d'évaluer la pertinence de recourir aux technologies numériques d'aide à la décision. Il a identifié huit facteurs (*tabl. 2*) tenant compte de la perception du décideur. À ces derniers, il est toutefois possible d'en identifier plusieurs autres liés à la structure organisationnelle, au niveau d'intégration de l'outil dans les processus décisionnels et à la compréhension de son potentiel pour l'aide à la décision.

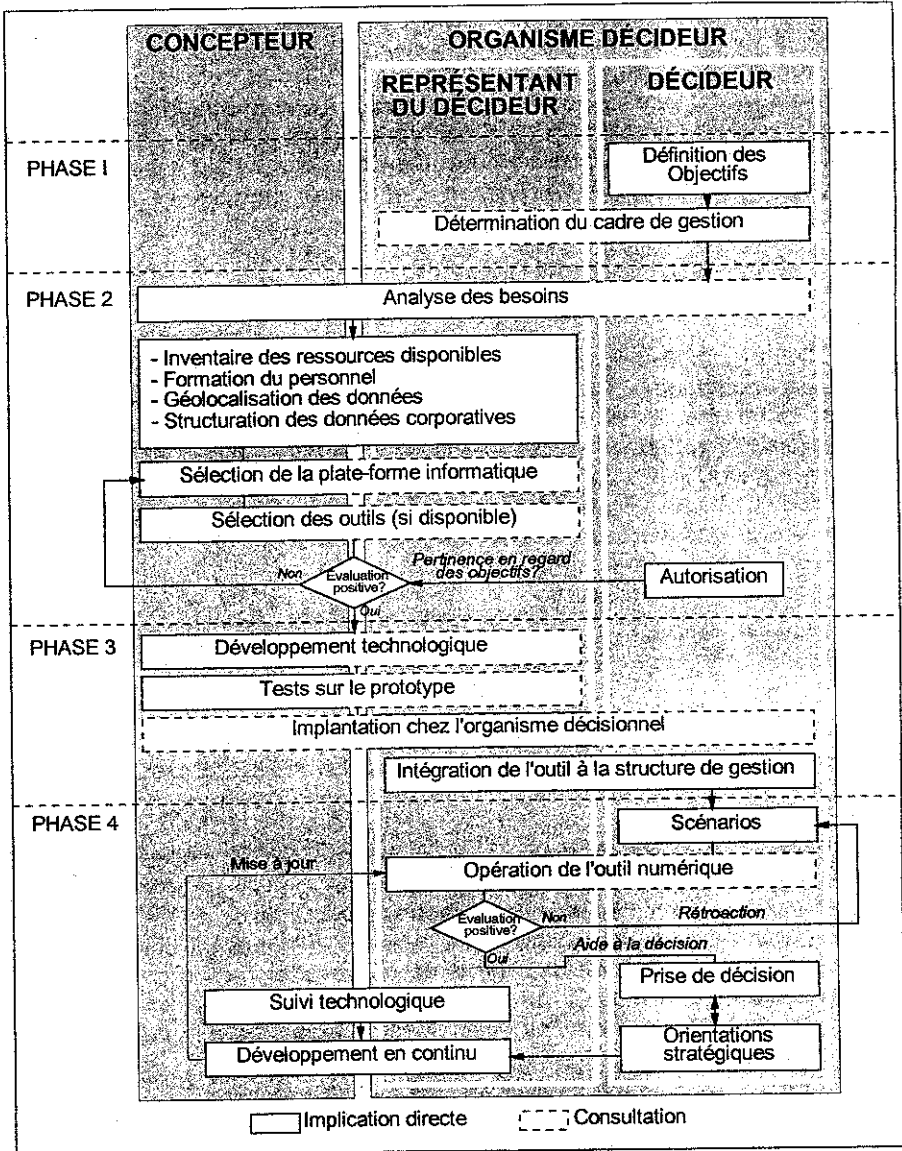
5 – DÉMARCHE SOUHAITÉE POUR FACILITER L'UTILISATION DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES DANS LA PRISE DE DÉCISION

Les contraintes citées précédemment pourraient facilement décourager plus d'un gestionnaire ou utilisateur potentiel. Cette liste met en relief le besoin de bien préparer et de bien structurer l'implantation des technologies numériques au sein de l'organisation qui sera l'utilisateur éventuel. Il faut éviter une démarche dans laquelle l'organisme décideur ne tente de s'ajuster qu'après livraison de l'outil ou essaie de recourir à une technologie qui ne correspond pas à ses besoins. Une telle démarche mène directement à l'échec ou à la non utilisation des outils numériques.

Le problème principal à l'origine de la faible percée des technologies numériques réside dans le fait que l'emphase est trop souvent mise sur l'outil lui-même alors que peu d'importance est accordée à l'environnement structurel dans lequel sera utilisé l'outil (LITTLE, 1970). L'implantation des outils d'aide à la décision devrait passer par quatre grandes étapes afin de maximiser l'efficacité des outils et des ressources disponibles (*fig. 1*) :

Figure 1 Cheminement suggéré pour optimiser le processus de développement, d'implantation et de l'utilisation d'outils d'aide à la prise de décision dans un organisme de gestion.

Flowchart suggested to optimize the development, the implantation and the use of decision support tools within a management body.



Étape 1 : Orientations et cadre décisionnel

La première étape concerne surtout le décideur. Cette première étape de l'implantation de toute technologie numérique devrait être de définir clairement la portée du projet, les budgets alloués, les attentes, etc. Le décideur doit agir comme maître d'œuvre à cette étape et doit déjà prévoir les ajustements nécessaires pour intégrer l'outil d'aide à la prise de décision qui sera bientôt mis à sa disposition. Une fois le projet défini, le décideur doit évaluer, en collaboration avec ses spécialistes, si le projet doit être effectué à l'intérieur d'un cadre de gestion intégrée tel que décrit précédemment ou bien à l'intérieur d'une démarche d'intervention sectorielle requérant l'expertise d'un nombre limité de gens. Cet aspect est particulièrement important puisqu'il aura une incidence majeure sur l'acquisition de données et le processus de prise de décision. Les étapes qui suivent sont particulièrement importantes dans le cadre d'une gestion intégrée de l'eau par bassin.

Étape 2 : Phase d'analyse des besoins

La deuxième étape doit servir à établir un pont entre le décideur et les scientifiques. Cette phase cruciale doit servir à *établir le rôle de l'outil numérique à l'intérieur du cadre décisionnel*. Elle correspond en grande partie à l'analyse de besoins du projet et cible les préoccupations méthodologiques et technologiques du développement. Cette étape doit aussi servir à réaliser l'inventaire des ressources disponibles (personnel, outils déjà utilisés, lacunes à combler, expertise requise ou disponible), la structuration et la géolocalisation des données à référence spatiale, la formation du personnel et la sélection du type d'outil approprié pour répondre aux besoins des décideurs. Tel que noté par LOVEJOY (1997), il importe de choisir l'outil avec le plus grand rapport performance/simplicité pour atteindre l'objectif visé. Déjà en 1970, LITTLE esquissait la nature de ce que devrait être un modèle destiné au décideur. Sa définition pourrait aisément s'appliquer aux SAD et autres outils numériques en ne remplaçant que le terme modèle par outil numérique :

« Un modèle destiné au décideur devrait être simple, robuste, facile à contrôler, adaptatif, aussi complet que possible et facile au plan de la communication. Par simple, on entend facile à comprendre ; par robuste, on entend faible probabilité d'obtenir des résultats farfelus ; par facile à contrôler, on entend que l'utilisateur connaisse les données requises pour produire les résultats de simulation escomptés ; par adaptatif, on entend que l'outil puisse être ajusté pour tenir compte de nouvelles informations ; par complet, on entend que les phénomènes les plus importants seront considérés même si leur estimation doit être déduit subjectivement et finalement ; par facile à communiquer, on entend que le décideur peut rapidement et aisément modifier les entrées au modèle pour obtenir et comprendre aisément les résultats de simulation. »

Cette définition demeure encore très appropriée. Elle suggère qu'un outil d'aide à la prise de décision soit très convivial d'utilisation tout en étant très performant et probant. Ces outils doivent aussi être en mesure de répondre aux besoins des décideurs et si possible avoir été développés dans ce sens, ce qui implique une interaction et une rétroaction réelles entre les différentes phases du développement du système. L'utilisation de données disponibles et la possibilité d'utiliser une plate-forme informatique d'accès courant (PC sous Windows 95 ou NT ou station de travail sous UNIX) devraient de plus être un critère de base au développement de cet outil.

Étape 3 : Phase technologique

L'étape 3 correspond à la phase d'implantation de l'outil. C'est à cette étape que peut débuter la mise en place comme telle de l'outil. L'adaptation d'outils existants ou le développement de nouveaux outils spécifiquement adaptés aux besoins du gestionnaire peut avoir lieu à cette étape. Mais, dans ces cas bien spécifiques, l'adaptation se doit d'être accomplie par une équipe de développement familière avec l'outil. Cette étape requiert qu'un lien demeure entre le gestionnaire et les scientifiques et qu'une rétroaction soit possible entre ces instances. Cette étape exige de plus qu'une préparation de l'organisme décideur à recevoir un nouvel outil numérique ait été réalisée dans la phase 2 de façon à pouvoir intégrer sa contribution aux processus décisionnels.

Étape 4 : Phase opérationnelle

Finalement, une phase pilote permettant de roder l'outil numérique à l'intérieur de la structure opérationnelle est aussi de mise. Dans le cas d'outils plus complexes, cette phase opérationnelle devrait intégrer un suivi technologique permettant d'assister l'utilisateur dans la résolution de problèmes d'application particuliers. Un développement dynamique permettant de bonifier l'outil existant peut aussi être considéré à cette étape-ci. Seulement après réalisation de l'ensemble de ces étapes est il possible de procéder à une utilisation opérationnelle, rationnelle et optimale des outils numériques d'aide à la décision.

6 - CONCLUSION

L'intérêt pour les outils numériques comme support à la décision dans la gestion de la ressource en eau connaît actuellement un essor prodigieux chez les décideurs et scientifiques de nombreux organismes gouvernementaux et centres de recherche de par le monde. Cet essor coïncide avec le passage d'un mode de gestion traditionnel axé sur l'intervention à un mode de gestion intégrée des ressources axé sur la planification et le développement durable des ressources. Le fait que cette nouvelle approche de gestion fasse intervenir une plus grande complexité du système à gérer, un volume de plus en plus grand d'information de toute nature et une interaction complexe entre les différents problèmes liés à l'usage de l'eau, oblige de plus en plus le décideur à s'appuyer sur des outils numériques qui lui permettront d'obtenir une vision globale des problèmes à résoudre et une idée de l'impact probable que ses décisions auront sur l'environnement physique et humain. Toutefois, les contraintes ne sont pas uniquement d'origine technologique, elles sont aussi liées à la structure organisationnelle de l'organisme décideur, à la disponibilité des données ainsi qu'à la sélection d'outils peu adaptés au problème. L'exploitation future des technologies numériques pour le support à la décision devra donc déboucher sur une meilleure définition des besoins de gestion, une optimisation des mesures d'entreposage des données, une communication plus étroite entre le décideur et les concepteurs de ces outils, une convivialité améliorée des systèmes d'aide à la décision et une complète intégration de ces outils à l'intérieur de la structure organisationnelle des décideurs. Tant que ces facteurs ne seront pas pris en compte, la gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle du bassin restera une tâche très difficile sinon impossible pour les décideurs.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BATELAAN O., WANG Z.M., de SMEDT F., 1996. An adaptive GIS toolbox for hydrological modelling. In: *Proceedings of the HydroGIS'96 conference*, KOVAR K. and NACHTNEBEL H.P. [ed], IAHS Publication n° 235, pp. 3-10.
- BECK M.B., ADELOYE A.J., FINNEY B.A., LESSARD P., 1991. Operational water quality management: transients events and seasonal variability. *Water, Sci. Technol.* 24, 6, 257-265.
- BORN S.M., SONZOGNI W.C., 1995. Integrated environmental management: strengthening the conceptualization. *Environ. Manage.* 19, 2, 167-181.
- BOUVIER C., DELCLAUX F., 1996. ATHYS: a hydrological environment for spatial modelling and coupling with GIS. In: *Proceedings of the HydroGIS'96 conference*, KOVAR K. and NACHTNEBEL H.P. [Ed], IAHS Publication n° 235, pp. 19-28.
- CARTENSEN J., VANROLLEGHEM P., RAUCH W., REICHERT P., 1997. Terminology and methodology in modelling for water quality management – a discussion paper. In: *Watermatex 97 – Towards a New Agenda*, pp. 369-380.
- DESCONNETS J.C., VIEUX B.E., CAPPELLAERE B., 1996. HAPEX-Sahel Hydrology GIS: towards regional water balance modeling in a semiarid area. In: *Proceedings of the HydroGIS'96 conference*, KOVAR K. and NACHTNEBEL H.P. [Ed], IAHS Publication n° 235, pp. 405-412.
- DOWNS P.W., GREGORY K.J., BROOKES A., 1991. How integrated is river basin management? *Environ. Conserv.* 15, 3, 299-309.
- FITZSIMMONS A.K., 1996. Sound policy or smoke and mirrors: does ecosystem management make sense? *J. Am. Water Res. Ass.* 32, 217-227.
- JAMIESON D.G., FEDRA K., 1996. The "WaterWare" decision-support system for river-basin planning. 1. Conceptual design. *J. Hydrol.* 177, 163-175.
- KILGORE R.T., KROLAK J.S., WALSH M., 1994. Integration of water resource models and GIS for water resource management. In: *Proceedings of the 21st Annual Conference on Water Policy and Management: Solving the Problems*, FONTAINE D.G. and TUVEL H.N. [Ed], pp. 37-40.
- KING N., 1996. Achieving decision support with GIS: learning from water management. In: *Proceedings of the HydroGIS'96 conference*, KOVAR K. and NACHTNEBEL H.P. [Ed], IAHS Publication n° 235, pp. 677-684.
- KOPP S.M., 1996. Linking GIS and hydrological models: where we have been, where we are going? In: *Proceedings of the HydroGIS'96 conference*, KOVAR K. and NACHTNEBEL H.P. [Ed], IAHS Publication n° 235, pp. 133-140.
- LAHLOU M., SHOEMAKER L., PAQUETTE M., BO J., CHOUDHURY S., ELMER R., XIA F., 1996. BASINS version 1.0, User's Manual – Better assessment science integrating point and non-point sources, United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Report n° EPA-823-R-96-001, 65 p.
- LAM D.C.L., SWAYNE D., 1996. A hybrid expert system and neural network approach to environmental modelling: GIS applications in the RAISON system. In: *Proceedings of the HydroGIS'96 conference*, KOVAR K. and NACHTNEBEL H.P. [Ed], IAHS Publication n° 235, pp. 685-694.
- LARA F., SACHS W.M., 1978. Modelling of the environment through a system of models. *Appl. Math. Mod.* 2, 216-219.
- LITTLE J.D.C., 1970. Models and managers: the concept of a decision calculus. *Manage. Sci.* 16, 8, B466-B485.
- LIU Y., 1995. A pattern directed approach toward an object adaptive decision support system environment for water resource management. Delft University Press, Stevinweg 1, The Netherlands, 201 p.
- LOUCKS D.P., FRENCH P.N., TAYLOR M.R., 1996. Development and use of map-based simulation shells for creating shared-vision models. In: *Proceedings of the HydroGIS'96 conference*, KOVAR K., NACHTNEBEL H.P. [Ed], IAHS Publication n° 235, pp. 695-702.
- LOVEJOY S.B., 1997. Watershed management for water quality protection: Are GIS and simulation models THE answer? *J. Soil Water Cons.* March-April, 103-111.
- LUITEN J.P.A., GROOT S., 1992. Modelling quantity and quality of surface waters in the Netherlands: Policy analysis of water

- management for the Netherlands. *Euro. Water Pollut. Cont.* 2, 6, 23-33.
- MAILHOT A., ROUSSEAU A.N., MASSI-COTTE S., DUPONT J., VILLENEUVE J.P., 1997. A watershed-based system for the integrated management of surface water quality: The GIBSI system. *Water Sci. Technol.*, 36, 5, 381-387.
- MALLAWARACHCHI T., WALKER P.A., YOUNG M.D., SMYTH R.E., LYNCH H.S., DUDGEON, G., 1996. GIS-based integrated modelling systems for natural resource management. *Agri. Sys.* 50, 169-189.
- MARINETS A., GOFMAN D., ZHELEZNYAK M., 1996. Using GIS for modelling radionuclide transport in complex river-reservoir networks. In: *Proceedings of the HydroGIS'96 conference*, KOVAR K. and NACHTNEBEL H.P. [Ed], *IAHS Publication n° 235*, pp. 325-330.
- MARTENS D.M., DIBIASE J.F., 1996. TCM-Manager: a PC-based total catchment management decision support system. *Environ. Soft.* 11, 1-7.
- ORLOB G.T., 1992. Water-quality modeling for decision making. *J. Water Resour. Plan. Manage.* 118, 3, 295-307.
- REYNOLDS K., CUNNINGHAM P., BEDNAR L., SAUNDERS M., FOSTER M., OLSON R., SCHMOLDT D., LATHAM D., MILLER B., STEFFENSEN J., 1996. A knowledge-based information management system for watershed analysis in the Pacific Northwest U.S. *AI Applic.* 10, 2, 9-22.
- RIBEIRO DA COSTA J., JESUS H.B., LACERDA M., 1996. Integrating GIS and time-series analysis for water resources management in Portugal. In: *Proceedings of the HydroGIS'96 conference*, KOVAR K. and NACHTNEBEL H.P. [Ed], *IAHS Publication n° 235*, pp. 289-298.
- RIETJENS J., 1994. Exemple d'outil informatique d'aide à la gestion intégrée de la ressource en eau : le logiciel AGIRE. In: *Colloque d'Hydroécologie sur la Gestion de l'eau*, pp.103-121.
- ROBERTSON D., HAGGITH M., KENDON G., AGUSTI J., GOLDSBOROUGH D., 1995. Application of logic programming to decision support systems in ecology. *AI Applic.* 9, 3, 23-38.
- SILVERT W., 1989. Modelling for managers. *Ecol. Mod.* 47, 53-64.
- SLOCOMBE D.S., 1993. Implementing ecosystem-based management. *Biosci.* 43, 9, 612-622.
- SMITZ J., EVERBECQ E., DELIÈGE J.F., DESCY J.P., WOLLAST R., VANDERBORGH J.P., 1997. PÉGASE, une méthodologie et un outil de simulation prévisionnelle pour la gestion de la qualité des eaux de surface. *Trib. Eau*, 588, 4, 73-82.
- SOMLYODY L., 1997. Use of optimization models in river basin water quality planning. In: *Watermatex 97: Towards a new agenda*, pp. 75-87.
- SORENSEN H.R., KJELDS J.T., DECKERS F., WAARDENBURG F., 1996. Application of GIS in hydrological and hydraulic modeling: DLIS and MIKE11-GIS. In: *Proceedings of the HydroGIS'96 conference*, KOVAR K. and NACHTNEBEL H.P. [Ed], *IAHS Publication n° 235*, pp. 149-156.
- TSKHAI A., KOSHELEV K., LEITES M., 1996. GIS "Hydro-manager" and its application to water quality management in the Upper Ob River basin. In: *Proceedings of the HydroGIS'96 conference*, KOVAR K. and NACHTNEBEL H.P. [Ed], *IAHS Publication n° 235*, pp. 365-372.
- VILLENEUVE J.P., HUBERT P., MAILHOT A., ROUSSEAU A.N., 1998. La modélisation hydrologique en sciences de l'eau. *Rev. Sci. Eau* 11, n° spécial, 19-39.
- WALKER D.H., SINCLAIR F.L., KENDON G., 1995. A knowledge-based systems approach to agroforestry and extension. *AI Applic.* 9, 3, 61-72.
- WILDE W.D., 1994. Australian expert systems for natural systems. *AI Applic.* 8, 3, 3-12.
- WOLF-SCHUMANN U., VAILLANT S., 1996. TimeView: a time series management system for GIS and hydrological systems. In: *Proceedings of the HydroGIS'96 conference*, KOVAR K. and NACHTNEBEL H.P. [Ed], *IAHS Publication n° 235*, pp. 79-88.