
Gestion de l'eau et intégration de données spatialisées

Alain Vidal, Pierre Belouze, Solène Laloux et Damien Lepoutre

Depuis quelques années, la généralisation d'outils informatiques matériels et logiciels standardisés et relativement peu coûteux a permis le développement de systèmes d'information pour la gestion de l'irrigation et du drainage dans un certain nombre de pays. Ce développement a souvent porté ses fruits, mais on constate parfois que les systèmes d'information mis en place, ne permettent pas l'intégration de nouvelles fonctionnalités : ils sont soit sous utilisés, soit devenus obsolètes. Ce constat résulte souvent de la démarche adoptée pour mettre en place un tel système, qui est souvent plus orientée vers l'outil que vers les besoins de l'utilisateur.

En effet, s'il est largement admis que la gestion des ressources doit être considérée comme un ensemble, sa mise en œuvre est délicate, car elle implique une diversité d'acteurs dont les objectifs et les actions peuvent diverger, voire se concurrencer, en particulier lorsque les ressources sont limitées. Dans le cas de la gestion de l'eau agricole, par exemple, les acteurs vont du gestionnaire de la ressource (société d'aménagement régional, association syndicale autorisée) à l'agriculteur lui-même, en passant par l'agence de l'Eau, le gestionnaire des cours d'eau concernés, les autres usagers de l'eau (domestique, industrielle, etc.).

Face à cette diversité d'acteurs, les gestionnaires, qui sont le plus souvent les utilisateurs du système d'information, souhaitent disposer à la fois d'informations très hétérogènes (qualitatives, quantitatives, administratives...), fiables et spatialisées. Dans la plupart des cas, il est nécessaire d'analyser l'ensemble des processus de gestion avant la

mise en place d'un système d'information adapté, afin que celui-ci apporte une réelle valeur ajoutée aux niveaux des décisions de l'utilisateur, de l'information apportée en interne à l'utilisateur et en externe aux différents acteurs, et enfin de la communication et de la concertation entre les acteurs.

De plus en plus souvent, la télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) sont des composantes de tels systèmes d'information, et leur intégration est particulièrement délicate, car ils permettent de disposer et de manipuler des données spatialisées. Ces données spatialisées, et les outils permettant de les gérer au mieux, présentent un intérêt particulier dans la gestion durable de l'agriculture (gestion raisonnée des intrants, suivi du stress et des rendements), de l'eau (gestion de bassins versants, de périmètres irrigués), de l'environnement (modifications du paysage et de l'utilisation du sol, risques naturels), de la forêt (suivi de la production, du risque d'incendie), et de manière générale de toutes les ressources renouvelables, et ce à des échelles allant de la petite région agricole, du bassin versant ou du massif forestier, à la planète entière lorsqu'il s'agit d'appréhender les phénomènes globaux de l'évolution du climat et de la biosphère.

L'exemple de la gestion de l'eau est particulièrement intéressant parce qu'il fait intervenir de nombreux acteurs et disciplines, sur la gestion d'une ressource dont tout le monde admet aujourd'hui la valeur, la rareté, et le risque de conflits locaux ou régionaux qu'elle engendre. C'est pourquoi cet article présente les travaux menés par l'AFEID¹ au sein de son groupe de travail sur *la télédétection et les SIG* et désigné par la suite par GT-AFEID.

1. Association Française pour l'Étude des Irrigations et du Drainage.

Alain Vidal
Cemagref
BP 5095
34033 Montpellier
Cedex 1

Pierre Belouze
LCT Cemagref-
Engref
500 rue J.-F. Breton
34093 Montpellier
Cedex 5

Solène Laloux
CACG
BP 449
65004 Tarbes
Cedex

Damien Lepoutre
GEOSYS
3 rue Hermès
31526 Ramonville
Cedex

2. Commission Internationale des Irrigations et du Drainage

Ces travaux s'intègrent dans ceux du groupe de travail CIID² sur les *systèmes d'aide à la décision pour la gestion des terres et des eaux*, et visent à publier en 1997 un guide CIID sur l'utilisation de la télédétection et des SIG en irrigation et drainage.

La préparation de ces guides nous a amenés à considérer l'ensemble de la démarche nécessaire à la mise en place d'un système d'information pour la gestion de l'irrigation et du drainage, pour aboutir à des recommandations techniques et pratiques pour favoriser l'intégration d'informations spatialisées dans de tels systèmes. Nous présentons ici :

- la démarche qui a été adoptée ;
- comment cette démarche a été mise en œuvre, sur un cas concret de gestion de la ressource en eau utilisant la télédétection et un SIG ;
- comment cette démarche pourrait être utilisée dans le cas d'un périmètre irrigué ;
- enfin, un exemple d'application de la démarche sur un périmètre irrigué au Pakistan.

Méthode

L'originalité de la démarche choisie, à l'usage de gestionnaires de périmètres irrigués et/ou drainés, découle de l'application de l'analyse des systèmes d'informations plus classiquement utilisée en audit d'entreprise, et présentée à la figure 1. Le choix de cette démarche d'analyse ne résulte pas d'un inventaire exhaustif des méthodes existantes, mais plutôt du choix délibéré et pragmatique du GT-AFEID, qui souhaitait s'inspirer des travaux de

certification selon la norme ISO 9000 menés chez plusieurs membres du GT-AFEID.

Cette analyse a été adaptée aux contraintes spécifiques de la composante géographique de l'information, sur la base de nombreuses expériences de conseil et de mise en place de systèmes d'aide à la décision pour les gestionnaires publics de grands territoires.

Cette démarche suit les étapes suivantes :

- analyse de la stratégie du gestionnaire ;
- détermination des indicateurs et des facteurs de succès et d'échec ;
- analyse des processus de décision interne, incluant la description du système d'information auxquels ces processus font appel ;
- définition des produits d'information, classés en cinq catégories selon le délai d'utilisation : (i) produits d'information-communication, (ii) produits permettant des décisions stratégiques (objectifs à long et moyen terme, planification), (iii) tactiques (gestion à moyen terme), (iv) logistiques (gestion à court terme, opération et maintenance), et (v) produits d'alerte ;
- analyse de l'utilisation de ces produits d'information ;
- connaissance des données, normes et contraintes pour élaborer ces produits ;
- analyse des outils à mettre en œuvre pour disposer des produits d'information : c'est à cette étape seulement que seront abordés la télédétection et les SIG.

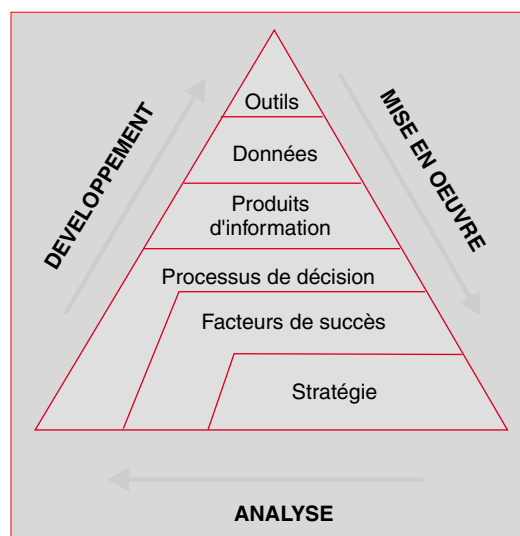


Figure 1.– Représentation de l'analyse des systèmes d'information appliquée à l'information géographique. ►

Le cheminement logique consiste, en partant de la base du triangle (stratégie), à remonter sur la gauche pour l'analyse et redescendre par la droite pour la mise en œuvre du système d'information. Dans un certain nombre de cas, la partie ascendante est négligée, au profit de la démarche descendante où l'on cherche simplement à organiser des données disponibles (par exemple des images satellitaires, des enquêtes, des relevés...) pour mettre en œuvre le système, ce qui conduit le plus souvent à un échec. Cet échec a déjà pu être observé dans des cas précis (encadré 1), mais il est relativement général dans le domaine de l'utilisation des données satellitaires, où le marché stagne depuis plusieurs années, après une explosion consécutive au lancement du premier satellite SPOT en 1986. Cette méthode a été appliquée avec suc-

Encadré 1

Un exemple d'échec : l'utilisation de la télédétection pour le suivi du risque d'incendies de forêts

Le Laboratoire commun de Télédétection mène depuis 1991 des travaux sur le suivi du risque d'incendies de forêt en région méditerranéenne (Desbois et Vidal, 1995, *Ingénieries-EAT*, n°1, 21-29). En dépit de résultats très encourageants et d'une recherche s'enracinant dès le départ dans une réelle demande sociale, le suivi en temps réel, utilisant des données satellitaires et météorologiques, du risque à l'échelle du massif forestier, n'a pu faire l'objet d'un véritable transfert technologique en France, principalement pour des raisons institutionnelles. La Sécurité Civile, principal utilisateur des indices de risque, n'est en fait pas prête pour l'instant à investir dans une technologie à forte valeur ajoutée, alors que la technologie existante (les indices de risque dits numériques, qui prennent en compte les conditions météorologiques mais pas l'état de la végétation) lui est fournie gratuitement par Météo France.

Dans ce cas, l'absence d'analyse de la stratégie de la Sécurité Civile a abouti à un échec, car seules les données et les outils ont été considérés, et ce bien que la méthode apporte une réelle valeur ajoutée (elle est sur le point d'être utilisée de façon opérationnelle en Andalousie) et réponde à une demande sociale.

Un semi-échec : l'utilisation de la télédétection pour la gestion d'un grand périmètre irrigué

Un SIG et un système de traitement d'images satellitaires a été entièrement installé dans les années 1990 dans un Office gestionnaire d'un grand périmètre irrigué du Maroc. Ces systèmes ainsi que le personnel attaché constituaient la cellule télédétection : un secrétariat, un premier ingénieur, puis un second ont été formés et, avec le soutien de la Coopération française et du Cemagref, ils ont développé un certain nombre d'applications opérationnelles : cartes d'occupation du sol ; détection d'anomalies de fonctionnement de l'irrigation ; détection des zones irriguées non déclarées ; détection précoce des zones de gel de la canne à sucre ; suivi des crues de l'émissaire principal. En dépit de ces résultats intéressants, cette cellule a cessé de fonctionner correctement à partir de 1992 pour progressivement tomber en sommeil, en dépit de ressources humaines suffisantes. En 1996, cette cellule a retrouvé un regain d'activité, avec toutefois l'objectif assigné de créer un SIG pour l'entretien des systèmes d'irrigation.

L'explication possible de cette évolution pourrait être celle exposée plus loin et relèverait alors de la « sociologie des facteurs d'échecs ». En effet, à l'origine, la cellule de télédétection était sous l'autorité directe du directeur de l'Office, et n'avait de ce fait aucun problème pour fonctionner et acquérir sa légitimité. Le directeur a changé et le remplaçant, peu fervent d'imagerie satellitaire, a rattaché cette cellule à un service de valorisation et de diffusion. Un des ingénieurs a été promu et déplacé. Eloignée des centres de décision, ayant perdu de son autonomie, la cellule de télédétection a également perdu de son efficacité, d'autant plus que le circuit de distribution des images s'est entre-temps allongé. Elle ne pouvait que périr, ceci indépendamment des compétences individuelles qui la constituaient.

Il est certain que la volonté du premier directeur a été un facteur de succès. Ceci n'a pas généré l'adhésion totale au projet de la part du management de l'Office. La cellule s'est arrêtée dès que le facteur de succès a disparu. Alors pourquoi le regain d'intérêt noté en 1996 ? La position de la cellule dans l'organigramme a changé et elle a été rattachée au service exploitation. Les objectifs de la cellule ont été redéfinis et les moyens opérationnels révisés. La partie « imagerie satellitaire » a été abandonnée, la gestion en temps réel des événements, comme par exemple une crue, étant impossibles en raison du délai trop important pour accéder aux images. Les traitements futurs, basés sur images d'archives seront sous-traités. Cette réorganisation, mûrie par l'Office sur sa propre initiative, a toutes les chances de réussir.

Ainsi donc, il faut non seulement étudier les facteurs de succès, mais aussi s'assurer des conditions de leur pérennité.

cès au cas de la gestion des ressources en eau sur le bassin de la Seine (France), cf. chapitre suivant.

Par ailleurs, pour aboutir à la démarche d'analyse, le GT-AFEID sur la Télédétection et les SIG se sont appuyés sur la grille d'analyse des processus de décision et des fonctions utilisées par la SCP (société du canal de Provence). Cette base de travail a été enrichie de l'expérience d'organismes variés tels que centres de recherche, compagnies d'aménagement, sociétés de service (en France et à l'étranger) et, ensuite, de l'analyse des métiers liés à l'irrigation et des produits d'information qu'ils engendrent. Les résultats de cette analyse, présentés dans la page 71 de ce document, sont centrés sur un nombre limité de produits d'information, les plus pertinents en réponse aux attentes des gestionnaires.

Un exemple d'application en gestion des ressources en eau

Cet exemple concerne la mise en place d'un système d'aide à la décision pour l'extension des ressources du bassin de la Seine (France) en fonction des futurs besoins en eau. Cette étude associe d'une part, deux utilisateurs, l'agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN) et l'institution interdépartementale des barrages réservoirs du bassin de la Seine (IIBRBS), et, d'autre part, deux opérateurs représentés au sein du GT-AFEID, la compagnie d'aménagement des Coteaux de Gascogne (CACG) et la société GEOSYS.

■ La demande

Afin d'anticiper sur les besoins futurs en eau dans le bassin amont de la Seine, à l'horizon 2015, l'AESN et l'IIBRBS souhaitent disposer d'informations sur les besoins qualitatifs et quantitatifs afin d'avoir en main les éléments décisionnels pour garantir les ressources en eau futures. La demande d'informations concerne donc autant l'existant que le futur. Ces dernières informations doivent reposer sur des hypothèses selon trois scénarios d'évolution des besoins et des actions à mener :

- évolution tendancielle,
- évolution contrôlée,
- évolution maîtrisée.

■ Analyse de la stratégie des acteurs

L'AESN et l'IIBRBS sont des organismes techniques devant apporter des éléments incontestables

et objectifs, pour aider les décideurs à définir des actions garantissant la quantité et la qualité des ressources en eau de la région parisienne et du bassin amont de la Seine. Les informations à fournir sont donc de type stratégique. De celles-ci dépendront des décisions d'investissement très lourds. Elles doivent donc être fiables, plutôt que précises. Or, étant appuyées sur des prévisions, elles sont par nature hypothétiques. La décision stratégique se devait donc de prendre en compte les risques sur les hypothèses afin d'évaluer les enjeux et risques sur chaque décision qui en découle.

■ Indicateurs et facteurs clés de succès

L'analyse des facteurs clés de succès de l'étude a permis de constater qu'il était important que les décideurs ne puissent remettre en cause les informations à la base du travail, tout en connaissant les hypothèses et risques. Les actions et les engagements qui découlent de l'étude sont nombreux et étalés dans le temps (jusqu'en 2015). La possibilité de remplacer des données prévisionnelles par la réalité au fur et à mesure du temps était aussi un facteur clé de succès. Il fallait donc pérenniser l'expertise acquise (données collectées, traitements et modèles appliqués). L'évolution dans le temps peut aussi amener à revoir des scénarios avec de nouvelles hypothèses pour le futur. En résumé, les facteurs clés du succès identifiés sont :

- la disponibilité d'informations objectives (informations reconnues par tous les acteurs),
- la non-remise en cause des informations de base,
- la possibilité de rejouer des scénarios pour des paramètres ou données mises à jour,
- la facilité d'utilisation et de consultation (convivialité),
- la pérennité de l'expertise acquise (données collectées).

■ Processus de décision

Il s'agit ici d'aider à la décision sur des éléments fiables, pour planifier des actions ou des structures améliorant l'accès aux ressources en eau. La maîtrise des risques sur les hypothèses implique de conduire des simulations en modifiant, si possible interactivement, les hypothèses pour le futur. Il ne s'agit donc pas de réaliser une étude avec un résultat pour chacune des trois hypothèses, mais bien de mettre en place un système d'informa-

tion très convivial et interactif, permettant d'analyser l'impact sur les résultats d'un intervalle de confiance sur ces hypothèses.

Les décisions et évolutions sur le bassin modifieront les données qui remplaceront au fur et à mesure les hypothèses de simulation. Le processus de décision s'appuiera donc sur une base de données très structurée permettant de réaliser de nouvelles simulations en mettant à jour des données. Le système d'information s'appuie totalement sur une base de données relationnelles. L'évolution des connaissances et expertises amèneront à modifier et optimiser les critères de décision, ainsi que les modèles de simulation. Les décideurs feront donc évoluer le système de simulation. Le système doit donc être modulaire et documenté.

L'ensemble des informations mises en œuvre étant géographiques et interdépendantes, le système devait donc être un système d'information géographique.

■ *Produits d'informations*

Les produits d'informations sont actifs, et se composent de :

- une base d'informations quantitatives (besoins),
- une modélisation (prospective).

De ce fait il s'agit d'un système de consultation et d'un système de simulation. Le caractère spatial des entités mises en œuvre induit des actions de géo-consultation et de géo-simulation. Les clés de sélection sont géographiques (bassins versants, communes, départements).

■ *Informations de base*

Les regroupements d'informations selon plusieurs critères thématiques (administratifs, hydrographiques, gestion, infrastructures, etc.) rendent difficiles la constitution d'un objet élémentaire commun. La commune constitue une maille élémentaire de référence. En effet, elle permet une cohérence géographique et thématique tout en garantissant une représentativité des données associées (occupation du sol, données socio-économiques, consommations, etc.). Au niveau d'analyse choisi (grand bassin versant), la maille communale permet de consolider les informations par :

- entités administratives (département, région),
- entités de gestion (distributeurs),

- entités d'infrastructures (réseaux interconnectés),
- entités de programmation (syndicats d'études et de prospectives),
- entités hydrographiques (bassin versant),
- entités homogènes par rapport à des types de consommation.

La maille communale permet de garder une cohérence géographique entre la région Ile-de-France et le haut bassin de la Seine, tout en ayant deux niveaux de description des données thématiques associées. L'ensemble représente :

- pour l'Ile-de-France : 1 300 communes (8 départements),
- pour le haut bassin de la Seine : 4 013 communes (12 départements).

Les informations sont fiables, mais peu précises géographiquement. C'est la caractéristique principale des informations mises en œuvre pour la prise de décision.

■ *Utilisation de ces produits*

La *géo-consultation* : il s'agit d'une consultation conviviale des informations rassemblées dans le cadre de l'étude. La consultation s'effectue en désignant des éléments géographiques d'intérêt.

La *géo-simulation* : l'utilisation doit permettre de simuler des scénarios en paramétrant des éléments géographiques.

■ *Analyse des outils et résultats*

Le *poste de consultation* doit permettre de :

- stocker un grand nombre d'informations,
- structurer l'information,
- gérer des éléments géographiques,
- manipuler des informations descriptives et géographiques (visualisation),
- définir des écrans de dialogue (interface homme/machine).

Le *poste de simulation* doit permettre de :

- effectuer des calculs rapidement,
- consolider des informations par différents liens,
- visualiser les résultats de simulation.

L'exploitation simultanée d'informations thématiques et géographiques implique la mise en œuvre

Figure 2. – « Fiche commune » permettant de visualiser l'ensemble des attributs communaux relatifs aux consommations en eau, et utilisées pour simuler l'évolution future des consommations. ▶

Commune : - code INSEE :

N° du S.I.E.P. :

Nom du S.I.E.P. :

Code la Z.R.I. :

Nom du distributeur :

Secteur :

	Population	Emploi
En 1990 :	<input type="text"/>	<input type="text"/>
En 2015 :	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Augmentation :	<input type="text"/>	<input type="text"/>

DONNÉES BRUTES DE CONSOMMATION

Domestique : Unitaire domestique :

Economique :

Collective :

Totale AEP : Unitaire totale :

Occupation du sol

Consommation calculée en 1990

Consommation tendancielle en 2015

Consommation contrôlée en 2015

Consommation Maîtrisée en 2015

Estimation de la consommation

Figure 3.- « Fiche Consommation » illustrant un exemple de simulation obtenue dans un scénario dit de contrôle d'évolution de la demande en eau. ▼

Consommation en 2015 Scénario "contrôlé"

	Commune	Dép.	Secteur	Bassin	
Nombre de communes :	<input type="text"/>	36	10	140	m³/ an
Domestique :	6531070	102308220	39396700	410231010	m³/ an
Économique :	4036892	39588605	16421885	192288549	m³/ an
Collective :	587796	10202278	03897353	40212860	m³/ an
Totale AEP :	11155758	152099104	59715940	642732427	m³/ an
Prélèvement AEP :	12395287	168999006	66351044	714147136	m³/ an

Figure 4. – Écran de dialogue pour définir un scénario (un scénario est défini par quatre paramètres : densité d'urbanisation, CUD, coeff emploi et rendement réseau). ▼

Bassins Vézère
 ZRI
 Coefficient
 Départements
 Sites
 Districts

Tableau des paramètres. Scénario de consommations

Paramètres	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
	ZRI > 60%	ZRI > 60%	ZRI < 60%	Reste
C.U.D.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
"e"	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
"k"	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Rendement	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Scénario

du SIG. La spécificité d'utilisation nécessite de développer une application particulièrement adaptée aux besoins des utilisateurs. Le tableau 1 résume le contenu du système et les choix retenus par rapport à la demande ; il est à rapprocher de la figure 1. Les figures 2 et 3 présentent des exem-

ples issus de l'applicatif, de la « Fiche commune » (poste de consultation) et de la « fiche Consommation ». La figure 4 représente l'écran de dialogue pour définir un scénario (un scénario est défini par quatre paramètres : densité d'urbanisation, CUD, coeff emploi et rendement réseau).

	Demande exprimée	Analyse	Solution mise en œuvre
Système de décision	Evaluer les enjeux et risques d'une hypothèse d'évolution des besoins en eau par rapport aux ressources	Disposer d'informations de base fiables Définir des hypothèses d'évolution	Système d'aide à la décision basé sur une simulation paramétrée et une base de données fiable et cohérente
Produits d'information	Disposer de résultats par rapport à des scénarios établis	Evaluer l'impact des scénarios choisis	Modification et ajustement possibles des paramètres pris pour chaque scénario
Données de base	Hypothèses d'évolution simples Base d'informations fiables et non remises en cause	Structuration des informations et validation de ces dernières	Base de données relationnelles associées à des entités géographiques Structuration des hypothèses
Outils	Expertise Modularité	Ergonomie Simplicité de mise en œuvre Mise à jour des données	Outil totalement dédié construit sur SIG - Interfaces conviviales

▲ Tableau 1. – Demande des utilisateurs, analyse et solutions retenues pour la gestion prévisionnelle des ressources sur le bassin de la Seine, France.

Résultats de l'analyse en irrigation et drainage

■ Résultats méthodologiques

Après confrontation des diverses expériences en France et à l'étranger, nous présentons ici le résultat de l'analyse menée dans le cas des produits d'information permettant la prise de décision au niveau :

- *stratégique*, correspondant en général à des objectifs à moyen et long terme (*planification*) : c'est l'objet du tableau 2 ;
- *logistique*, correspondant plus aux tâches d'*opération et maintenance* : c'est l'objet du tableau 3.

Ces deux niveaux ont été retenus car ils sont complémentaires, et illustrent bien les approches différentes selon le pas de temps auquel le gestionnaire souhaite disposer de ces produits pour aider à sa décision.

Ce tableau démontre que toutes les fonctions identifiées à un niveau de décision donné ne nécessitent pas des produits d'information spatialisés, et qu'il serait donc inadéquat de partir des données (spatialisées ou non) pour bâtir un système d'information.

Par ailleurs, on peut remarquer que certaines fonctions, comme celles liées à la maintenance, nécessiteront des produits spatialisés, qui se situent plus aux échelons tactique et logistique qu'à l'échelon stratégique.

■ Application de la méthode sur le périmètre irrigué de Chistian au Pakistan

Après une brève présentation des spécificités du secteur irrigué pakistanais (encadré 2), nous présentons l'exemple d'un acteur impliqué dans la gestion de l'irrigation, qui servira de base à une demande potentielle pour définir quelques pro-

Tableau 2.– Analyse des processus de décision et des **fonctions stratégiques** dans un système irrigué/drainé, définition des produits d'information et de leurs caractéristiques. ▼

Missions	Critères	Description des fonctions	Produits d'information	Nature spatialisée
Planification de la maintenance		Fixer les objectifs de maintenance. Analyser les indicateurs de niveau de maintenance réalisée, fixer les orientations de budget de maintenance et les règles de gestion de maintenance	Tableau de bord	Non, pas en stratégique
Planification de l'exploitation		Définir le budget, les règles de gestion de l'exploitation et du contrôle des ouvrages	Indicateurs de performances	Non
Planification budgétaire		Analyser les recettes, les consommations, les coûts de production énergétiques et leur évolution dans le temps	Prix des services, type de contrat, consommations et surfaces	Non
Évaluation de la gestion technique		Analyser les indicateurs de performances et de saturation des réseaux et leur évolution dans le temps	Indicateurs de performances (graphes)	Oui, pour l'analyse
Planification des actions commerciales et des extensions		Analyser les indicateurs d'évolution de la clientèle existante, planifier l'action commerciale en conséquence et en fonction des objectifs généraux de l'organisme. Analyser la demande extérieure	Consommations, enquêtes de satisfaction, analyse des besoins, analyse de l'existant et des potentialités	Oui = géo-marketing
Planification de l'accès aux ressources		Planifier l'extension des ressources en fonction des besoins et des moyens actuels et futurs.	Connaissance des besoins et des ressources (nappes, climat, rivières)	Oui
Qualité			Organisation, documentation, procédures	Non
Établissement des principes légaux		Établir les lois sur l'eau, les grands principes légaux, l'accès au foncier	Lois, décrets, règles	Non

Tableau 3. – Analyse des processus de décision et des **fonctions logistiques** dans un système irrigué/drainé, définition des produits d'information et de leurs caractéristiques.

Critères Missions	Description des fonctions	Produits d'information	Nature spatialisée
Interventions de maintenance	Exécuter et rapporter les interventions de maintenance préventive et corrective	Tableaux de relevés d'intervention	Oui
Gestion du réseau	Assurer la distribution grâce aux informations issues des systèmes d'irrigation, gérer les réseaux (automatique ou manuel), archiver les changements d'état et les mesures, identifier les défauts de fonctionnement, effectuer les opérations d'urgence	Indicateurs techniques issus d'opérations manuelles ou automatiques. Informations ponctuelles et synthèses par secteur. Indicateurs de performance spatialisés	Oui
Suivi des usagers	Suivre la demande des usagers, les requêtes, de facturation, la qualité de la prestation. Assurer la recherche, le contact, le suivi des prospects	Base de donnée usagers avec état des facturations et problèmes, et des actions commerciales. Tableaux de suivi des usagers	Non
Police des eaux	Effectuer un contrôle périodique sur le terrain du respect des contrats et des règles : quantités prélevées, superficies irriguées Vérifier les prises d'eau. Assurer le règlement des conflits	Consommations Surfaces	Oui
Exécution des opérations de renforcement et d'extension	Satisfaire les nouvelles demandes de connexion, renforcement ou extension par la réalisation des travaux	Relevé et cartographie des interventions	Oui
Mise en place des contrats	Constituer les dossiers usagers et réalisation, transmettre les engagements contractuels, mettre en service. Modifier et résilier les contrats	Base de données des contrats avec informations foncières, juridiques, techniques	Oui
Supervision et contrôle global	Contrôler l'ensemble des structures de régulation des eaux	Bilan services fournis - demande, tableaux des interventions et des indicateurs de performance	Oui
Gestion et comptabilité	Assurer la comptabilité et la gestion administrative	Pièces comptables et analytiques	Non

Encadré 2

L'irrigation au Pakistan

Le Pakistan est le quatrième pays à l'échelle mondiale en termes de superficie irriguée, et possède la particularité d'avoir le plus grand système irrigué contigu avec 14 millions d'hectares irrigués. Du fait d'un climat semi-aride dans la majeure partie du pays où l'évapotranspiration annuelle (environ 2 400 mm) excède largement les précipitations (200 mm), l'irrigation représente un enjeu vital pour la société pakistanaise, et les chiffres du secteur irrigué dans l'économie (main-d'œuvre employée, pourcentage du PNB...) montrent sa prédominance et son importance, tout particulièrement dans un contexte de forte croissance démographique. A la suite de nombreux changements au cours de ce siècle, et malgré divers programmes d'amélioration et de réhabilitation, le secteur irrigué est reconnu à l'heure actuelle pour être peu performant. En particulier, les niveaux atteints par les rendements agricoles comptent parmi les plus bas au monde. Réformes institutionnelles ou projets techniques de grande envergure sont alors envisagés pour rétablir l'efficacité productive du système irrigué.

Autre particularité de l'irrigation au Pakistan : son système de distribution de l'eau, via un gigantesque réseau de canaux hérité de la période d'administration britannique, repose sur des principes dont l'un est de devoir être soumis au minimum d'interférence humaine. C'est pourquoi de nombreux ouvrages ont été conçus pour délivrer les débits de projets quasi automatiquement quand les hauteurs d'eau sont ad hoc. De même, des règles de rotation stricte pour l'allocation de la ressource (ou Warabandi) sont, à différents niveaux du réseau, les principes de gestion hydraulique officielle.

En théorie, cette manière de faire se traduit par peu d'interactions entre le département d'irrigation, chargé de la distribution de l'eau, et les agriculteurs, et un principe d'équité devrait être respecté. Cependant, la rigidité du système est en fait perturbée par des interférences illégales des agriculteurs dans la gestion hydraulique, soit directement, soit indirectement par des pressions politiques externes. De plus la mise en place d'associations d'agriculteurs dans le cadre des réformes institutionnelles actuelles (instauration de marchés de l'eau) rendra à court terme officielle l'implication des agriculteurs dans la gestion de la distribution d'eau.

3. pour Sub-Division Officer

4. Institut International de Management de l'Irrigation, Lahore, Pakistan

duits d'information pertinents : il s'agit d'un responsable de la subdivision (ou SDO³) de Chistian, périmètre irrigué pakistanaise de 70 000 ha situé au sud du Penjab, sur lequel le Cemagref travaille depuis plusieurs années avec l'IIMI⁴.

Le département d'irrigation qui contrôle le système de Chistian a une structure très hiérarchisée, et les fonctions de commande de manœuvre des ouvrages hydrauliques se situent au niveau de la *subdivision*, qui peut concerner une superficie irriguée de plusieurs dizaines de milliers d'hectares.

Le système de Chistian est une de ces *subdivisions* et se compose d'un canal primaire régulé, lequel alimente plusieurs canaux secondaires. Ceux-ci délivrent de l'eau à des canaux tertiaires (les *watercourses*) à partir desquels les agriculteurs irriguent leur champ.

Avant de décliner la méthodologie d'analyse sur le cas pakistanaise, il faut préciser que cet exemple doit être avant tout être considéré comme un cas d'école. En effet, aucune demande réelle en termes d'implantation de système d'information n'est formulée, et l'on prendra la suite comme une analyse dans le cas d'une demande potentielle.

Stratégie

Le SDO, chef de la subdivision, est responsable de la distribution de l'eau sur l'ensemble des canaux jusqu'à l'entrée des canaux tertiaires. Sa stratégie est donc de piloter la distribution, et de contrôler l'état physique de l'outil de distribution : canaux et ouvrages. Sa stratégie est limitée par la rigidité institutionnelle et technique : des règles de distribution par rotation appelées « Warabandi » (concernant le niveau stratégique et tactique de ses décisions) et des contraintes physiques dues à la construction des canaux fixent en grande partie sa marge de manœuvre.

Facteurs-clé de succès et indicateurs

Les Facteurs-clé de succès concernent essentiellement la productivité du travail engagé (par opposition par exemple aux conséquences environnementales qu'il peut avoir) ; les indicateurs externes qui sont importants pour l'implantation d'un système d'information sont alors :

– les niveaux d'eau à la tête et à la queue des canaux secondaires ;

– la qualité du service de distribution d'eau par la connaissance des conflits entre agriculteurs et département d'irrigation. Ces conflits se règlent en général par des opérations de maintenance, dont il faut garder la trace dans le système d'information.

La difficile prédictibilité de l'évolution de l'état des canaux, et les irrégularités des comportements par rapport aux consignes rendent très difficile leur gestion : de nombreuses données doivent venir alimenter périodiquement la connaissance de l'état des canaux, et le système d'information devra donc facilement effectuer de nombreuses mises à jour

sur cet état. Enfin, en vue de faciliter le traitement des données et l'utilisation de simulations, le couplage entre les bases de données et des logiciels de simulation hydraulique pourra être un point clé.

Processus de décisions

Le SDO a principalement la responsabilité de trois fonctions :

1 – Distribution de l'eau et manœuvre des ouvrages

Les activités relatives à cette fonction sont constituées de la définition et transmission des rotations de priorités entre canaux secondaires, des manœuvres de vannes et des réactions en cas d'urgence.

2 – Police des eaux

Le SDO constate les anomalies et peut verbaliser voire emprisonner. C'est à lui que revient le maintien de l'ordre hydraulique (vols d'eau). Les activités sont, à la base, des opérations de contrôle des prises d'eau à partir du canal. Il faut noter les problèmes, dans certains périmètres comme Chistian, pour faire respecter ce rôle de police. Implanter un système d'information dans ces conditions peut être prématuré.

3 – Maintenance des canaux

Le SDO prépare le budget annuel de maintenance des canaux de la *subdivision*. Durant l'année suivante, le SDO supervise alors les travaux de maintenance acceptés après arbitrage. Les propositions des tâches à effectuer sont du ressort du SDO, du fait de la connaissance qu'il a de son système à partir des contrôles effectués et des autres informations transmises.

Définition de produits d'information et rappel des contraintes

1 – Pour la distribution de l'eau dans les canaux et la manœuvre des ouvrages

Les activités sont essentiellement au niveau logistique. Au niveau des manœuvres des ouvrages proprement dites, les seules informations nécessaires sont les niveaux d'eau en amont, ce qui serait différent si d'autres informations plus lointaines venaient modifier les règles de décisions de l'aiguadier (amplitude d'une perturbation à venir par exemple). Au niveau du plan de manœuvre (à la charge du SDO), la connaissance de l'état des

canaux amène à la définition d'un tableau de bord, et au stockage des données.

2 – Pour les activités de police et de magistrature

Il s'agit de définir au niveau tactique une programmation des opérations de police de l'irrigation, et de tenir à jour les actes de police au niveau logistique. On pourra affecter un coefficient d'aléa à ces produits d'information.

3 – Pour les activités de maintenance

Les dossiers de requêtes de financement pour les opérations de maintenance concernent le niveau tactique, voire stratégique si elles sont pluri-annuelles. Bien entendu, il s'agit aussi de tenir à jour les opérations de réalisation de maintenance (logistique).

4 – Pour l'évaluation des opérations

Le système d'information doit disposer de capacités de traitement en vue d'évaluer les opérations. Les produits d'information correspondants sont les chroniques de débits dans les canaux, qui peuvent permettre :

- d'évaluer la distribution sur des périodes plus grandes,
- de comparer entre la distribution officielle et réelle,
- de diagnostiquer des zones sensibles,
- et de procéder à une analyse spatiale (l'ensemble des données étant spatialisées) des problèmes de distribution de l'eau...

C'est à ce titre que l'association avec des logiciels de simulation peut être intéressante.

Le tableau 4 présente les produits d'information issus de cette analyse. L'ensemble des produits d'information sont de nature spatialisée, mais il faut noter que dans l'état actuel où les indicateurs importants du point de vue de la stratégie du SDO concernent uniquement des données hydrauliques en amont des canaux tertiaires, cette nature spatiale est strictement reliée à l'arborescence du réseau hydraulique.

La nature spatiale est donc assez simplifiée ; les outils de gestion de l'information spatialisée qu'il convient alors de mettre en place sont :

- une base de données relationnelle permettrait d'associer facilement l'ensemble des données relatives à un même canal (secondaire par exemple),

Tableau 4. – Produits d'informations à l'échelle de la subdivision de Chistian, Pakistan.

- un outil de visualisation spatiale des données (comme un système d'information géographique, ou un logiciel de cartographie) se justifie davantage pour des raisons de communication, qui ne sont pas forcément d'actualité pour l'instant sur l'exemple de Chistian. En revanche, cet outil est indispensable si des fonctions d'évaluation s'avèrent reconnues et importantes (pour la distribution de l'eau, les opérations de police),
- un outil de représentation de l'état du canal, notamment avec une perspective d'utilisation de

logiciel de simulation hydraulique, est également à inclure.

Rappelons enfin les contraintes qui pèsent sur la réalisation d'un tel système d'information pour la gestion de la production d'eau d'irrigation. D'une part, en raison de l'importance de l'aspect organisationnel, on ne peut faire abstraction d'une réflexion sur la communication et la transmission des données. C'est d'ailleurs à ce niveau que les demandes de la part du département d'irrigation se manifestent. D'autre part, les symptômes de

Niveau	Mission	Activités	Description	Produit d'information	Nature spatialisée	Niveau géographique	Caract. temporelles : horizon, période
Stratégique	Planification de la maintenance	Maintenance	Établir un dossier de requêtes des opérations de maintenance envisagée pour l'année en cours	Dossier, planning de maintenance	Oui pour les requêtes	Primaire, secondaire et tertiaire	H= 1 an P= 1 an
Stratégique (ou tactique)	Évaluation des opérations de production	Gestion de la production	Évaluer et analyser la distribution de l'eau par la détermination des hauteurs d'eau à des points clés	Indicateurs de fonctionnement	Oui	Primaire, secondaire et tertiaire	Hypothétique
Tactique	Programmation des contrôles	Police de l'irrigation	Prévoir les dates et lieux de contrôle de l'irrigation (pratiques d'irrigation, état des ouvrages)	Planning de contrôle	Oui	Primaire, secondaire et tertiaire	H, P = saison culturale
Tactique	Entraînement pour la régulation	Gestion de la production	Utiliser des simulations pour tester différentes alternatives de régulation	Simulation	Oui	Primaire, secondaire et tertiaire	Hypothétique
Logistique	Gestion du réseau	Exploitation	Assurer et contrôler la distribution grâce aux indicateurs de fonctionnement et aux débits délivrés à la subdivision	Tableau de bord et stockage des données	Oui	Primaire, secondaire et tertiaire	Temps réel
Logistique	Contrôle et verbalisation	Police de l'irrigation	Tenir à jour les dossiers, lieux de contrôle et de verbalisation	Carte de contrôle, base de données	Oui	Primaire, secondaire et tertiaire	H, P = jour
Logistique	Suivi des travaux de maintenance	Maintenance	Enregistrer et suivre les travaux de maintenance	Tableau des relevés d'intervention et de travaux de maintenance	Oui	Primaire, secondaire et tertiaire	H, P = semaine

non-fonctionnalité sur le périmètre incitent à envisager en parallèle des travaux sur les sources de dysfonctionnement. Un des facteurs de succès consiste à doter le département d'irrigation d'un équipement informatique approprié.

Conclusion

La finalité de cette approche est d'inciter et d'aider les gestionnaires qui souhaitent élargir leurs méthodes de gestion à de nouvelles technologies à :

- analyser leurs besoins en produits d'information plutôt qu'en données ;
- raisonner en processus de décision au-delà des produits d'information ;
- raisonner en termes de gestion et d'organisation au-delà des seuls outils ;
- développer un système d'information de type géographique, dédié à leurs besoins, plutôt qu'une

base de données trop générale et mal adaptée.

A partir de ces tableaux, il est maintenant possible de définir les données et les types d'applications utilisant des informations spatialisées, et en particulier les données satellitaires. C'est ainsi que le guide CIID Télédétection et SIG en irrigation et drainage permettra aux utilisateurs de transposer ces tableaux à leur cas particulier, et de définir ainsi leur système d'information, les données nécessaires à l'élaboration de produits d'information adaptés, et les applications les plus adéquates. □

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier ici les membres du GT-AFEID qui ont participé à la préparation et à la relecture de ce rapport : P. d'Aquino, CIRAD-SAR ; F. Axès, SPOT Image ; G. Fabre, BRL ; P. Garin, Cemagref Irrigation ; P. Lagacherie, INRA Science du Sol ; P. Le Goulven, ORSTOM Hydrologie ; M. Terrazzoni, SCP ; P. Triboulet, INRA SAD ; et B. Vincent, Cemagref Drainage.

Résumé

Les gestionnaires de périmètres irrigués souhaitent disposer à la fois d'informations hétérogènes, fiables et spatialisées. Deux technologies peuvent ici être valorisées : la télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG). La démarche s'appuie sur la base de nombreuses expériences de conseil et de mise en place de systèmes d'aide à la décision pour les gestionnaires de grands territoires, et suit plusieurs étapes : analyse de la stratégie ; détermination des facteurs de succès et d'échec ; analyse des processus de décision ; définition des produits d'information et de leur utilisation ; connaissance des données et contraintes ; analyse des outils à mettre en œuvre. Après un exemple d'application de cette méthode sur un cas concret de gestion des ressources en eau, sont présentés les premiers résultats de la démarche utilisée pour la gestion des systèmes irrigués. Elle est centrée sur un nombre limité de produits d'information, les plus pertinents en réponse aux attentes des gestionnaires. La finalité de cette approche est d'inciter et d'aider les gestionnaires à analyser leurs besoins en produits d'information, raisonner en termes de processus de décision, de gestion et d'organisation, et développer un système d'information de type géographique, adapté à leurs besoins. Enfin, un exemple concret d'application sur le Pakistan est proposé.

Abstract

Managers of irrigation systems require heterogeneous, reliable and spatially distributed information. This provides an application for two technologies : remote sensing and geographic information systems (GIS). The approach is based on considerable experience of providing advice and setting up decision making tools for public authorities managing large areas. It is divided into several stages: strategy analysis; determination of success and failure factors; decision process analysis; definition of information products and their use ; knowledge of the data and the constraints to develop these products; analysis of the tools to be developed. First of all, an example of applying this method to a specific case of water resources management is described and then the initial results of the approach applied to irrigation system management are presented. The method is focused on a limited number of information products, i.e. the most appropriate for managers' requirements. The aim of this approach is to encourage and help managers to analyse their requirement in terms of information products, to think in terms of decision, management and organisation processes and to develop an geographic information system that meets their requirements. Finally, a specific example of application in Pakistan is described.

Bibliographie

- AGENCE DE L'EAU Adour-Garonne, GEOSYS, 1993. Étude de définition et spécification d'un tableau de bord de la ressource en eau.
- AGENCE DE L'EAU Seine-Normandie, CACG, Juin 1995. Étude prospective des besoins en eau dans le bassin amont de la Seine-Normandie.
- AGENCE DE L'EAU SEINE-NORMANDIE, CACG/GEOSYS, 1995. Mise en place d'un système de simulation spatiale et de géo-consultation des besoins en eau à l'horizon 2015, manuel d'utilisation et manuel de référence.
- CARLIER, A., 1992. Stratégie appliquée à l'audit des Systèmes d'Information, Ed. HERMES.
- DESBOIS, N., VIDAL A., 1995. La télédétection dans la prévision des incendies de forêts, *Ingénieries - EAT*, n°1, 21-29.
- BOUYEYRON, D., 1993. *Guide économique et méthodologique des SIG*, Ed. HERMES.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE / DERE, GEOSYS, 1994. Définition du plan de mise en œuvre des Systèmes d'Information Géographique (SIG) pour les mesures agri-environnementales dans le domaine de la protection des eaux.
- PRÉFECTURE de région Midi-Pyrénées, GEOSYS, 1993. Proposition d'une stratégie de développement des Systèmes d'Information Géographique (SIG) au sein des services de l'État en région.
- VIDAL, A., 1995. Remote sensing applied to irrigation, drainage and flood control. *Proc. ICID-CIID Special Technical Session*, Rome (Italy), 13 september 1995. 10 p. (Actes non paginés)
- VIDAL, A., SAGARDOY J.-A., 1994. Conclusions of the Workshop on the use of remote sensing techniques in irrigation and drainage, Montpellier, France, 2-5 November 1993. *GRID Bulletin*, 1994 (1), 13-14.
- VIDAL, A., SAGARDOY J.-A., 1995. Use of Remote Sensing Techniques in Irrigation and Drainage, Proceedings of the Expert Consultation, Montpellier, France, 2-4 November 1993, FAO Ed., *Water Reports*, n°4, Rome, 200 p.