

La valeur des systèmes d'information géographique à base de données satellites⁽¹⁾

Ahmed BOUNFOUR¹ et Eric LAMBIN²

¹Maître de conférences
à l'Université de Marne-La-Vallée

²Professeur au Département de Géographie
de l'Université Catholique de Louvain

RÉSUMÉ

Une approche de la valeur des systèmes d'information géographique à base de données satellitaires nécessite la mise en évidence de l'avantage compétitif de ces systèmes pour les décideurs, publics ou privés. Le principal objectif de cet article est de montrer, à partir d'une étude de cas - un SIG relatif au suivi de la déforestation tropicale -, la valeur de l'information géographique satellitaire et de ses systèmes reliés, sur la base d'une analyse coûts-avantages.

En effet, l'étude de cas, réalisée à partir d'un projet conduit pour une institution internationale, a mis en évidence plusieurs avantages des SIG, en particulier ceux relatifs à l'amélioration du processus de décision et à l'optimisation des ressources disponibles pour des projets à forte composante environnementale. Sur la base d'hypothèses réalistes formulées, la valeur nette du projet apparaît comme élevée pour l'institution. Plus généralement, l'étude de cas laisse entrevoir des développements méthodologiques intéressants, soit dans l'application des modèles actuellement disponibles aux différents champs de l'observation de la terre par satellite, et à ses différents contextes (public, privé, mixte), soit dans la recherche de modèles ad hoc ou hybrides.

Mots-clés : Analyse coûts-avantages, Données satellitaires, Information, Projet, SIG, Valeur.

(1) Cette recherche a bénéficié du soutien du CCR des Communautés européennes, que nous remercions. Nous remercions également deux lecteurs anonymes de la revue pour leurs précieuses remarques.

ABSTRACT

An approach dedicated to the analysis of the value of information derived from remote sensing GIS necessitates the analysis of the specific competitive advantage of such an information. This paper considers the problem of remote sensing GIS' value, on the basis of a Cost benefit analysis (CBA). This approach has been applied to a specific case study : the modelling of tropical deforestation. In this case study, the main advantages of the remote sensing-based information system came notably from an improvement of decision making and avoidance of bad decisions, as the rate of project failure, and the associated resource wastes, was expected to decrease as a result of the availability of more accurate information to support the decision-making process. Data estimates for this case study showed that, under a number of realistic assumptions, the ratio of benefits to costs was high. More generally, the approach developed appears as potentially generalisable to three generic categories of remote sensing projects and applications (private, public with short-term implications and public with long-term implications).

Key-words : Cost-benefit Analysis, Information, GIS, Project, Remote sensing, Value.

INTRODUCTION

Avec la multiplication des systèmes de satellites et leurs applications, l'observation de la terre entre dans sa phase industrielle. De ce fait, et à l'exemple de la plupart des ressources utilisées par de nombreuses institutions, organisations et entreprises, les données, les projets et services à base de données satellitaires sont supposés produire de la valeur pour leurs utilisateurs. Aussi, la question de la compétitivité de l'information géographique satellitaire, de manière absolue, ou en comparaison avec d'autres sources d'information géographique, apparaît comme une contrainte fondamentale pour ses utilisateurs et promoteurs.

Il s'agit là d'une importante question non encore suffisamment considérée par les décideurs publics ou privés et par les offreurs de services. Pourtant, répondre à cette question permettrait de fournir des perspectives intéressantes à l'identification des facteurs clés de succès au développement des applications de l'observation de la terre par satellite. Ceci d'autant plus que l'information est maintenant disponible sur les conditions techniques et commerciales du développement des applications tout au long de la chaîne de valeur de l'industrie, ainsi que sur les principaux obstacles à un tel développement, notamment ceux relatifs au comportement du secteur des services de traitement et d'interprétation de données (Bounfour et Lambin, 1993). Des projets pilotes ou préopérationnels, et des programmes démonstratifs ont été

menés sur une relative large échelle (projet des statistiques agricoles ou d'environnement au niveau européen par exemple).

Sur un plan managérial, des travaux récents se sont intéressés aux conditions organisationnelles de la mise en œuvre des systèmes d'information géographique, et à leur impact en termes de changement, à partir notamment des théories de l'apprentissage organisationnel (Robey et Sahay, 1996)⁽²⁾.

Au niveau institutionnel, la Commission européenne et l'Agence spatiale européenne, en particulier, ont décidé de travailler ensemble pour une meilleure utilisation des données d'observation de la terre, en combinant leur expertise avec d'autres organisations concernées telles que EUMETSAT, ainsi qu'avec les pays membres en vue d'établir un réseau décentralisé, et coordonnées : l'European Earth Observation System (EEOS) (Commission européenne, 1994).

Au plan global, le débat relancé récemment par l'article de Costanza et al. (1997) dans la revue *Nature*, au sein de la communauté scientifique internationale, pose le problème de la mesure de la valeur des services offerts par l'écosystème mondial. Dans cette perspective, le recours à l'information géographique satellitaire et à ses systèmes reliés n'est pas neutre, et peut même changer substantiellement les termes du débat.

Le principal objectif de la présente recherche n'est naturellement pas de répondre à cette question extrêmement complexe. Il

(2) Pour une présentation didactique des modes d'utilisation des SIG dans les entreprises, voir par exemple : Tufféry (1997).

est de mettre en évidence, à partir d'une étude de cas, comment l'information géographique satellitaire, en particulier celle produite par les systèmes d'information géographique (SIG), peut avoir une valeur pour un utilisateur final. Le présent article est structuré en quatre parties :

- une présentation des principales méthodes d'évaluation de la valeur de l'information, avec un descriptif détaillé de la méthode coûts-avantages ;

- une revue des résultats des principales évaluations passées ;

- une étude de cas portant sur la valeur de la mise en œuvre d'un système d'information géographique qui inclut une modélisation spatiale de la déforestation tropicale pour une institution internationale ;

- une ébauche d'élargissement des enseignements de l'étude de cas à l'ensemble des systèmes, projets et services d'observation de la terre par satellite, et applications reliées.

- *l'approche de la valeur de l'information comme réductrice de l'incertitude* (Akerlof, 1970 ; Arrow, 1971, 1973 ; Demski, 1980 ; Carter, 1986, entre autres) ;

- *la valeur des prévisions de marché*. Elle a été étudiée par les chercheurs, principalement dans une perspective sociétale, par l'analyse de son impact sur le comportement collectif (Lave, 1963 ; Byerlee et Anderson, 1969 ; Hayami and Peterson, 1972 ; Freebairn, 1976 ; Bradford et Kelejian, 1977) ;

- *la valeur de l'information géographique à portée spécifiquement environnementale*. L'un des problèmes ici est de mettre en évidence l'impact d'une information nouvelle sur différents types de valeur liés à l'usage du patrimoine environnemental : valeur d'option et valeur d'héritage notamment (Munasinghe, 1993) ;

- *l'analyse coûts-avantages*, dont le contenu est détaillé dans la section suivante.

1. LES DIFFÉRENTES APPROCHES

Une revue de la littérature permet de distinguer différents types d'approche. Certaines d'entre elles considèrent le problème de la valeur de l'information, alors que d'autres portent davantage sur la valeur de projets et systèmes. C'est en intégrant ces différentes approches qu'un cadre adapté peut être établi. Quatre approches peuvent être considérées comme potentiellement contributrices à la fondation d'un modèle intégré de la valeur de l'information géographique à base de données satellitaires :

1.1. L'analyse coûts-avantages

L'ACA a été développée durant les années 1960 et 1970, dans le contexte de l'évaluation de la valeur socio-économique de l'investissement, en particulier dans les économies émergentes (Kirpatrick and Weiss, 1996). Elle a été largement utilisée comme instrument de l'évaluation de choix publics. La revue de la littérature permet de distinguer deux types de productions intellectuelles : certaines sont dédiées à l'analyse théorique des problèmes (pour les prix de référence ou les coûts d'opportunité par exemple), alors que d'autres se sont intéressées davantage

aux aspects opérationnels de l'évaluation. La plupart des organisations internationales ont développé des outils d'évaluation propres, à l'initiative de plusieurs chercheurs et analystes : Little and Mirrlees (1968, 1974), Squire et Van der Tak (1975), Chervel (1973, 1995), parmi d'autres. Deux problèmes de base sont considérés par la littérature : le besoin d'utiliser les prix mondiaux comme base pour la valeur de biens ou services commercialisés et la nécessité de traiter le problème de la rareté des ressources.

D'une manière plus générale, la revue de la littérature (voir par exemple, Didier, 1990 ; Gauthier and Thibault, 1993), permet de montrer l'existence d'étapes spécifiques dans l'évaluation d'un projet. Généralement huit d'entre elles sont à distinguer :

- phase 1 : Définition du projet et de ses missions ;
- phase 2 : Définition détaillée du projet et de ses objectifs ;
- phase 3 : Définition des applications des groupes d'utilisateurs ;
- phase 4 : Précision de la durée de vie du projet ;
- phase 5 : Identification et mesure des principaux effets : les avantages et coûts du projet ;
- phase 6 : Mesure des avantages et des coûts ;
- phase 7 : Calcul de la rentabilité économique et financière du projet ;
- phase 8 : Partage des coûts et des bénéfices.

Le contenu de chacune de ces phases pour un SIG est détaillé ci-après.

Encadré 1 : Les étapes de l'analyse coûts-avantages pour un SIG

Phase 1 : Définition du projet et de ses missions

Un projet remplit des missions, utilise des inputs et produit des outputs. Il est délimité par des frontières. Il est également défini par rapport à une situation qui existerait sans le projet.

Phase 2 : Définition détaillée du projet et de ses objectifs

L'analyse définira ici précisément les objectifs du projet, et ses fonctions futures. Les questions suivantes devraient être posées :

- pourquoi la situation existante (s'il y en a une) ?
- pourquoi allouer de nouvelles ressources au projet ?
- quelles en sont les principales attentes ?

A ce niveau, des hypothèses alternatives doivent être définies. Des changements attendus, en comparaison de la situation de départ devraient être globalement précisés. Les hypothèses devraient être évaluées.

Phase 3 : Définition des applications et identification des groupes d'utilisateurs

A ce niveau, sont définis les types de produits et systèmes reliés aux groupes d'utilisateurs. Les principales applications, qu'elles soient thématiques ou standard, doivent être définies.

Phase 4 : Durée du projet

Les SIG sont généralement définis pour une période de 5 à 10 ans. Une durée plausible est à définir, en tenant compte du contexte réel du projet.

Phase 5 : Identification et mesure des effets : avantages et coûts du projet

L'analyse se concentrera ici sur l'identification des effets directs et indirects des projets, avec une distinction entre avantages et coûts. Les effets directs sont ceux qui concernent les utilisateurs, les activités et les marchés directement affectés par le projet. Les effets indirects sont ceux relatifs aux utilisateurs, activités et marchés indirectement, affectés par le projet. Puis répartition des effets entre avantages et coûts.

Phase 6 : Mesure des avantages et des coûts

Les avantages sont estimés par référence à un prix de marché (domestique, international) ou en ayant recours à d'autres méthodes telles que celle des coûts évités (par exemple via la réduction des coûts ou de la consommation de gain de temps du fait de la substitution de méthodes de traitement numérique aux méthodes traditionnelles). Les avantages sont estimés pour les principaux utilisateurs ainsi que pour les principaux marchés.

Les coûts sont estimés pour les principaux groupes utilisateurs. Ils sont estimés au prix de marché ou par référence à des coûts d'opportunité.

Phase 7 : Taux de rentabilité économique et financière du projet

Le retour financier est calculé pour un utilisateur spécifique (une entreprise, un gouvernement local, et plus généralement un utilisateur final spécifique). Le calcul du retour est similaire à celui utilisé sur les marchés privés.

Le retour économique a pour objet de mesurer l'impact du projet sur une collectivité considérée globalement (un pays, une région, un sous-système).

Pour chacune de ces approches, le retour du projet est calculé en comparant les bénéfices aux coûts, la différence étant actualisée pour la durée de vie du projet. Si la Valeur actuelle nette (VAN) est positive, alors l'analyse conclura que la valeur pour une communauté ou une organisation augmentera suite à la mise en œuvre du projet. Dans le cas contraire, il y aurait appauvrissement de la communauté ou de ladite organisation.

Ce processus d'actualisation mène au calcul du taux de rendement interne du projet.

Dans le même temps, des tests de sensibilité sont conduits sur la base de différentes hypothèses, en particulier celles relatives à l'évolution des avantages et des coûts, ainsi qu'aux incertitudes possibles (technologiques ou institutionnelles, par exemple).

Phase 8 : Partage des bénéfices et des coûts

L'analyse déterminera comment différents groupes, départements ou organisations, seront affectés par le projet, et donc comment les bénéfices et les avantages devraient être répartis.

Dans le prolongement de l'ACA, Parker et Benson (1988) ont développé un cadre méthodologique autour de ce qu'ils appellent l'économie de l'information (information economics). Cette approche est pragmatique. Elle présente un important avantage en comparaison des méthodes précédentes puisqu'elle intègre toutes les composantes de la création de valeur. Elle a été appliquée dans différents secteurs, notamment dans le secteur bancaire (Lejeune, Saint-Amant, 1997).

2. LES LEÇONS DES ÉVALUATIONS PASSÉES

Sur les dix dernières années, des recherches - peu nombreuses - se sont intéressées spécifiquement à l'évaluation de la valeur économique des systèmes d'information géographique. La plupart d'entre elles ont utilisé l'approche ACA. A notre connais-

sance, aucune recherche ne s'est encore intéressée à l'évaluation de SIG à base de données satellitaires.

- *Le cas de GEOMAPS, Département des Ressources naturelles, Etat de Washington*

A la suite de Epstein and Duchesneau (1984) qui ont présenté

un cadre général de l'évaluation économique des SIG, Dickinson et Calkins (1988) ont analysé le problème de l'évaluation d'un SIG à partir d'un cas spécifique : GEOMAPS, un SIG mis en œuvre en novembre 1983 par le Département des ressources naturelles de l'Etat de Washington, sur la base d'un système ARC/INFO.

L'analyse coûts-avantages a été utilisée. Les avantages (bénéfices) pour GEOMAPS (point focal de l'analyse) sont définis comme des réductions de coûts ou des améliorations de performance. En juin 1986, une revue post-mise en œuvre a été réalisée. Elle a mis en évidence la caractère favorable du couple coûts-avantages de GEOMAPS, en comparaison des deux systèmes précédents utilisés (GRIDS and CALMA). L'analyse a en effet montré l'existence d'un différentiel coût avantage nettement bénéficiaire pour le Département⁽³⁾.

• *L'analyse coût-avantage pour un SIG pour la ville de Ottawa*

Dans un article plus récent, Smith et Tomlinson (1992), ont développé une approche opérationnelle à la mesure du couple coûts-avantages qui résulterait de l'implantation d'un SIG pour la ville de Ottawa. Le bénéfice net d'un SIG est défini par sa valeur actuelle nette.

Les avantages du SIG sont véhiculés par plus de 100 produits. Ils ont été évalués via des interviews avec les responsables de la ville de Ottawa en charge de certains de ces produits. Globalement, les estimations ont indiqué que les bénéfices tangibles

pour les opérations de la ville de 1990 à 2000, dépasseront 30 millions de \$, exprimés en \$1991 actualisés.

Des évaluations similaires ont été conduites en France, notamment dans le cadre des travaux du CNIG. Didier (1990), par exemple, a évalué le couple coûts-avantages de la base de données urbaine de la ville de Toulouse. La méthode de coûts évités est utilisée ici comme moyen de mesure des bénéfices du projet. Pour la période 1984-1989, le ratio bénéfices nets/investissements se situerait entre 2,4 et 3 selon l'hypothèse d'actualisation retenue.

• *Le "Joint Nordic project"*

Il s'agit d'un important programme de développement de systèmes d'information géographique mené par les pays nordiques en deux phases :

- une phase 1 ("Nordisk Kvantif I") dédiée à l'évaluation (quantification) de la cartographie sur une grande échelle (Joint Nordic Project, 1987) ;

- une phase 2 (Nordisk Kvantif II), dédiée à la cartographie des infrastructures dans des zones locales ou urbaines (Joint Nordic Project, 1990).

Pour le premier projet, la recherche a été conduite par les autorités publiques en Suède, Finlande, Norvège et Danemark. Selon les calculs réalisés pour la période 1986-1990, le ratio coûts-bénéfices se situerait entre 3,2 et 7,7, en fonction du taux d'intérêt et du scénario considéré. Le second projet avait pour objectif de permettre aux autorités cartogra-

(3) Cette approche a fait l'objet d'une critique de Wilcox (1990), avec réponse des auteurs.

phiques de faire face aux défis des années 1990. La recherche a consisté en plusieurs étapes :

- revue du succès des applications de SIG dans le secteur privé ;
- spécification de bases de données potentielles et services reliés ;
- évaluation des coûts ;
- évaluation des avantages.

Parmi les principales conclusions de la recherche :

- les projets conduits sur la base d'évaluations financières ex-ante ont montré une meilleure performance que ceux décidés sur une base purement technologique ;
- les projets profitables sont des systèmes ouverts, orientés vers le client et non orientés par la production.

3. L'ANALYSE COÛT-AVANTAGE D'UN SIG : LA MODÉLISATION SPATIALE DE LA DÉFORESTATION TROPICALE

La démarche développée dans cette section renvoie aux phases clés de l'analyse coûts-avantages telle qu'elle a été explicitée plus haut. Le choix de cette méthode s'explique par plusieurs raisons :

- cette méthode est largement utilisée par les évaluateurs de projets et systèmes, en particulier par les organismes de financement international ;
- la méthode permet le dialogue entre acteurs à finalités différentes ;
- cette méthode a été utilisée pour l'analyse de l'avantage compétitif de SIG ;

- la spécificité du projet considéré (multiplicité d'objectifs, implications d'organismes de financement internationaux, mise en œuvre dans un contexte en développement) milite en faveur de l'utilisation de cette méthode.

3.1. Description du système

L'étude de cas porte sur un projet dont l'objectif est le développement d'un système d'information géographique et d'aide à la décision, à partir de données d'observation de la terre par satellite. Le système analyse l'impact de différents types d'activités économiques (telles que la construction de routes, l'amélioration des voies de transports, le développement de marchés, ou les activités forestières) sur le couvert forestier. Il combine des fonctionnalités de SIG à base de données spatiales avec des modèles spatiaux de changements d'occupation du sol. Le système a des capacités prédictives, et peut donc être utilisé en tant qu'outil de simulation pour tester les impacts environnementaux de différents scénarios d'activités économiques.

L'hypothèse de l'analyse est que le projet a atteint sa phase opérationnelle et est effectivement mis en œuvre par les services d'une institution internationale ainsi que par ceux du gouvernement du pays considéré. Outre ces deux acteurs, il est à la disposition d'autres acteurs (firmes d'exploitation forestières, organisations non gouvernementales en tant que représentatives des générations futures).

Dans ce qui suit, l'ACA sera appliquée au projet considéré dans sa totalité et pas seulement à l'introduction de données d'observa-

tion de la terre par satellite dans le système. Cependant, il convient de noter que la mise en œuvre de ce dernier n'est possible que grâce aux données d'observation de la terre.

3.2. Les phases de l'évaluation

Phase 1 : Définition du système et de ses missions

Missions du système

Le système a pour objet d'évaluer de manière spatialement explicite l'impact de l'utilisation du sol sur le couvert forestier dans un pays tropical, et de simuler les impacts potentiels des projets d'infrastructure (construction ou réhabilitation de routes) sur des décisions relatives à la gestion de l'utilisation du sol (concessions forestières, réserves de forêt, développement agricole). En tant que tel, le projet peut être classifié comme un "système d'information et de management", et plus spécifiquement, comme un outil d'aide à la décision, couplé avec un SIG.

Les inputs du système

Le système inclut la production et l'intégration à un SIG d'une base de données sur les changements de couverture du sol, pour permettre le développement d'un modèle spatial de déforestation. La plupart des variables de cette base de données sont dérivées de données d'observation de la terre par satellite. Quelques variables sont produites par numérisation de cartes topographiques ou thématiques. Des observations de terrain ont été collectées pour

la calibration du modèle et sa validation.

Les outputs du système

Les principaux outputs du projet sont : (i) une analyse statistique, multivariée des causes de la déforestation, (ii) une carte des zones à risque d'être déboisées, (iii) une évaluation cartographique des impacts potentiels de la déforestation sur l'érosion du sol et la biodiversité, et (iv) des simulations d'usage du sol pour le soutien aux processus de décision et la planification de l'occupation du sol.

Situation sans le système

Les responsables de la gestion de l'occupation des sols et les planificateurs régionaux, qu'ils soient publics ou privés, n'ont pas la capacité d'évaluer de manière synoptique les impacts écologiques d'actions locales. Les impacts à l'échelle régionale sont le résultat d'un ensemble de décisions individuelles. Chaque acteur n'a qu'une perception spatiale limitée de la somme des impacts. Aussi, en l'absence d'une analyse spatiale d'envergure, les impacts écologiques des actions tendent à être ignorés et n'influencent pas le processus de décision, s'agissant de la gestion de l'occupation des sols.

Phase 2 : Définition détaillée des objectifs du système

Pourquoi mettre en œuvre le système ?

Le pays tropical analysé est affecté par un taux de déforestation élevé. De grandes réserves de biodiversité sont actuellement mena-

cées. De nouveaux projets de routes ont été proposés pour un financement par des institutions internationales. Des empiétements agricoles interviennent à la bordure des réserves de biodiversité. De nouvelles concessions forestières ont été attribuées.

Objectifs détaillés du système

Les objectifs du système sont :

- de quantifier l'évolution du couvert forestier ;
- d'analyser statistiquement les principales causes de la déforestation ;
- d'élaborer des projections spatiales des tendances futures de la déforestation ;
- de stimuler l'impact de projets de développement d'infrastructures et de nouvelles initiatives de gestion de l'occupation des sols (concessions forestières, réserves forestières, développement agricole) sur la déforestation.

Hypothèses alternatives

Une approche alternative aux données d'observation de la terre par satellite aurait consisté en la mise en œuvre d'un réseau de stations au sol, avec des mesures systématiques d'indicateurs socio-économiques et écologiques et à intervalles fréquents. Ceci aurait nécessité un investissement lourd et n'aurait pas abouti à la production d'une vue spatialement explicite de l'impact écologique. De plus, un tel système aurait posé de sérieux problèmes de transmission et d'intégration de données.

Phase 3 : Définition des applications et identification de groupes d'utilisateurs

Applications du système

L'application principale a été développée pour les besoins spécifiques du processus de décision de l'institution internationale ; elle concerne principalement la planification des infrastructures et en particulier l'évaluation de l'impact environnemental de projets de construction de routes et de leur réhabilitation. A noter cependant l'existence d'autres applications pour des utilisateurs non ciblés par le projet initial : l'évaluation des impacts environnementaux après l'abandon de concessions forestières, la conservation de la biodiversité et l'identification de menaces potentielles.

D'autres applications sont également à considérer ; elles concernent la gestion de la forêt au sein du pays considéré : planification agricole pour les agriculteurs (petits propriétaires, grandes plantations) ; protection et conservation des sols. Des applications secondaires non ciblées lors de l'identification du projet initial concernent le développement du tourisme (parcs nationaux, réserves de chasse) et le contrôle de la chasse et du braconnage.

Groupes d'utilisateurs

Le tableau 1 précise les groupes d'utilisateurs concernés par les principales applications. Il s'agit de communautés (locales, nationales, ou les générations futures dans le cas de la sauvegarde de la biodiversité), ou d'intérêts purement privés. La logique de l'ACA est naturellement différente pour chacun des cas considérés.

	Utilisateurs principaux	Utilisateurs secondaires
Applications directes	<ul style="list-style-type: none"> • au sein de l'institution internationale : services en charge des infrastructures et/ou de l'environnement ; 	<ul style="list-style-type: none"> • au sein du pays équatorial : entreprises privées impliquées dans les plantations agricoles, compagnies forestières (locales et internationales), ONG en charge de la conservation de la nature ;
Applications indirectes	<ul style="list-style-type: none"> • au sein du pays équatorial : services en charge des infrastructures et/ou de l'environnement ; • au sein du pays : services agricoles, services forestiers ; • au sein de l'institution internationale : projets similaires dans d'autres parties du monde. 	<ul style="list-style-type: none"> • en dehors du pays : les agences de développement, ONG en charge de la conservation de la nature ; • au sein du pays : agences de voyages, activités d'hôtellerie ; unités anti-braconnage ; • en dehors du pays : compagnies pharmaceutiques et cosmétiques.

Tableau 1 : Applications et groupes d'utilisateurs concernés par le SIG : modélisation de la déforestation tropicale

Phase 4 : Durée de vie du projet

Les outputs du projet peuvent être considérés comme valides pour une période de 5 ans pour les raisons suivantes : (i) il s'agit de l'horizon temporel pour les projections ; (ii) les validations de la projection seront possibles après une période de 5 ans ; (iii) des innovations techniques qui affecteront la conception du modèle risquent d'intervenir durant cette période.

Phase 5 : Identification des principaux effets : avantages et coûts du système

Quels avantages et coûts prendre en compte ?

Le système d'information génère des avantages d'une part en ce qui concerne l'amélioration du processus de décision dans l'institution internationale et d'autre part en permettant de nouvelles

activités dans le pays concerné suite à la disponibilité d'une nouvelle information produite par le système. Dans ce qui suit, seuls les avantages et les coûts pour l'institution internationale - commanditaire direct du système - seront pris en compte. Les avantages pour les autres acteurs : le gouvernement local, les firmes forestières et les ONG, ne seront donc pas intégrés à cette phase de l'analyse. En effet, nous faisons l'hypothèse que la décision par l'institution internationale d'acquérir ou non le système d'information dépend avant tout des avantages que cette institution en retirera directement.

Avantages

L'analyse des avantages peut être conduite de deux manières. Premièrement, en comparant les performances des systèmes d'information basés sur l'observation de la terre par satellite à celles des systèmes assurant les mêmes tâches, mais de manière moins ef-

ficiente ; dans ce cas l'avantage différentiel est mesuré par l'économie de coût réalisée ; deuxièmement, en mettant en évidence le caractère entièrement nouveau des services offerts par les systèmes basés sur les données d'observation de la terre par satellite. C'est cette deuxième approche qui est adoptée par la présente analyse.

Un projet d'investissement au sein d'une institution internationale traverse des phases successives bien définies : *l'identification* de ressources spécifiques sujettes à un risque de dégradation, *la préparation* du projet (qui requiert une analyse et une évaluation objectives des principaux problèmes), *l'évaluation technique* du projet (qui considère l'ensemble des dimensions du problème, y compris les aspects environnementaux) et *l'évaluation* du projet. Les SIG à base de données satellitaires fournissent des avantages pour la plupart des étapes du cycle de projet au sein de cette institution.

Les impacts du système sur les processus de décision portent sur les points de performance suivants :

(i) *améliorer le processus de décision*. La décision sera prise sur une base plus solide, et de ce fait avec un plus haut degré de confiance. Ceci se traduira en premier lieu par une réduction du nombre de réunions, ainsi que du nombre d'études ou de négociations nécessaires à l'atteinte d'une décision. Deuxièmement, le recours au SIG à base de données satellitaires se traduira par un cycle de décision plus court, et de ce fait par un gain de temps dans la mise en œuvre des projets dans le pays concerné. Ces projets vont dès lors générer des bénéfices pour ce pays plus tôt ;

(ii) *éviter les mauvaises décisions*. Le taux d'échec de projets et donc de mauvaises allocations de ressources devrait décroître suite à un meilleur processus de décision. Les ressources financières relatives au coût de projets qui auraient été approuvés dans d'autres contextes d'information, peuvent être disponibles pour d'autres projets. Il s'agit là d'un bénéfice substantiel de la mise en œuvre du système.

Coûts

Les coûts du projet peuvent être divisés en deux catégories :

(i) *le développement et la calibration du modèle*. Il s'agit là du coût de recherche et développement du projet, qui inclut le coût d'acquisition de séries temporelles de données satellitaires ;

(ii) *l'implantation du modèle*. Il s'agit là d'un coût récurrent associé à l'exploitation du modèle, à la réalisation de simulations et au traitement des paramètres techniques de décision.

Phase 6 : Mesure des avantages et des coûts pour l'institution internationale

Avantages

La quantification des avantages est basée sur la consultation d'experts impliqués dans la gestion de projets équivalents à cette étude de cas et sur l'expérience des auteurs dans la conduite de tels projets. Lorsque cela était nécessaire, des hypothèses, aussi réalistes que possibles, ont été formulées. Ces hypothèses ont été clairement identifiées comme telles. Nous sommes conscients que certaines de ces hypothèses

introduisent une légère part d'arbitraire. Néanmoins, d'une part, nous cherchons avant tout à illustrer l'application d'une démarche et, d'autre part, la sensibilité des résultats à ces hypothèses peut être facilement estimée sur la base des données fournies par l'étude de cas.

• (i) *Amélioration du processus de décision*

1. Les éléments d'information disponibles permettent d'estimer que le nombre de réunions pour atteindre une décision peut être réduit de 50 % grâce à l'information dérivée du nouveau système. Pour les seules réunions du Comité de sélection, on peut estimer les économies de coût de la manière suivante : 3 heures x 6 Directeurs x 100 ECU (taux horaire) = 1800 ECU. Si le nombre de réunions pour atteindre une décision est réduit de 4 à 2, alors les économies (et donc les coûts évités) pour l'institution s'élèvent à 3 600 ECU.

2. L'avantage financier associé à une mise en œuvre précoce de la décision dépend :

(i) des avantages financiers de la décision par mois ;

(ii) du nombre de mois gagnés dans la mise en œuvre du projet. Ces derniers peuvent être estimés à trois mois pour de petits projets d'infrastructure (construction ou réhabilitation de routes). Les premiers dépendent du type de projet. On peut soutenir que, pour justifier son financement par l'institution internationale, un projet de route se doit de produire d'importants bénéfices pour la région. On fait ici l'hypothèse qu'un projet d'infrastructure a une durée de vie de 10 ans, et donc que son bénéfice additionnel mensuel est

de l'ordre de $1/(10 \times 12)$ de son coût. Si le coût d'un projet de construction ou de réhabilitation d'un segment de route est estimé à 3 000 000 ECU, alors son avantage peut être estimé à 75 000 ECU.

• (ii) *Eviter les mauvaises décisions*

Le taux d'échec de projets et donc de mauvaise allocation de ressources doit décroître du fait de la disponibilité d'une information de meilleure qualité, produite par le nouveau système. Les ressources financières couvrant les coûts associés à de mauvais projets qui auraient été approuvés sans information solide, mais qui seront rejetés grâce à l'information satellitaire, sont maintenant disponibles pour de nouvelles activités ou d'autres usages (placement financier). Si un projet sur 5 est rejeté grâce à la nouvelle information, alors la nouvelle ressource disponible correspond à 20 % du coût du projet (estimé à 3 000 000 ECU). Il est supposé que cette ressource peut être investie et produire un retour de 8 %, ce qui totaliserait un avantage de 240 000 ECU pour la première année. Pour les années suivantes, le bénéfice est calculé par intérêts composés au même taux.

Notons que, sur un plan méthodologique, le fait d'estimer qu'un projet sur cinq est rejeté grâce à l'information disponible suppose *a priori* que l'information a de la valeur. La question que l'on se pose dans ce cas-ci est de savoir si la valeur de cette information est supérieure à son coût. Cette approche diffère d'autres démarches dont l'objectif est de démontrer *ex-ante* que l'information a de la valeur, c'est-à-dire qu'elle permettrait d'éviter de mauvais projets.

L'avantage total du système d'information pour l'institution internationale dépend du nombre de projets d'infrastructures analysés par an. Puisque la recherche porte sur un seul pays, on peut supposer qu'un projet est analysé par an, pour l'ensemble de la région.

Les coûts

Deux types de coûts ont été retenus : les coûts de conception et les coûts récurrents, liés à la mise en œuvre du modèle.

(i) Les coûts associés à la conception du modèle et à sa calibration ont été estimés de manière précise sur la base d'un projet réel conduit par l'un des auteurs, et qui est très similaire à l'étude de cas discutée ici.

Pour un site, équivalent à une scène du capteur satellitaire Landsat (180 x 180 km), ces coûts ont été estimés comme suit :

- coût de personnel : 3 mois = 13 500 ECU ;
- acquisition de données de télédétection = 15 000 ECU ;
- acquisition et numérisation de données auxiliaires : 4 000 ECU ;
- vérification terrain : 5 000 ECU ;
- Informatique (équipement, logiciels et maintenance) : traitement d'image, SIG et logiciels statistiques) : 3 000 ECU ;
- frais généraux : 8 000 ECU ;
- Total pour un site = 48 500 ECU.
- Total pour la zone forestière du pays (équivalent à 7 sites) = 339 500 ECU.

(ii) Les coûts récurrents associés à la mise en œuvre du modèle, ont été estimés de la manière suivante :

- coût de personnel : 3 hommes/mois = 13 500 ECU ;
- vérifications terrain : 5 000 ECU ;
- informatique (équipement, logiciels et maintenance) : traitement d'image, SIG et logiciels statistiques) : 3 000 ECU ;
- frais généraux : 4 300 ECU ;
- Total pour un site = 25 800 ECU ;
- Total pour la zone forestière du pays (7 sites) = 180 600 ECU.

Phase 7 : Calcul de la rentabilité économique du système

Le tableau 2 résume les principaux avantages et coûts que l'on peut mesurer. Seuls les avantages associés au processus de décision au sein de l'institution internationale ont été pris en compte ici.

Les hypothèses associées à ce calcul peuvent être résumées comme suit :

- une réduction de 50 % du coût du processus de décision est enregistrée, grâce à la nouvelle information produite par le SIG ;
- cette information permet d'avancer la mise en œuvre du projet d'infrastructure de 3 mois environ ;
- un projet de développement forestier est examiné par an au sein de l'institution internationale ;
- la durée d'un projet d'infrastructure est de 10 ans ;
- un projet sur 5 est rejeté grâce à la nouvelle information.

Conformément aux hypothèses définies par cette recherche, nous constatons que sur la base de trois taux d'actualisation différents, la mise en œuvre du SIG à base de données satellitaires devrait produire des bénéfices nets

pour l'institution. Le ratio bénéfices nets actualisés rapportés aux coûts du projet varient de 196 % à 226 %. Naturellement, ce résultat est à apprécier en tenant compte du coût d'opportunité du capital pour l'institution internationale, à calculer sur la base de son coût du capital réel.

Par ailleurs, tous les avantages ne sont pas inclus dans les calculs, dans la mesure où plusieurs organisations bénéficieront du projet : le gouvernement du pays, les compagnies forestières et les

ONG en charge de la biodiversité. Dans ce contexte, la rentabilité du projet apparaît comme sous-estimée. Par exemple, les aspects relatifs à la biodiversité, tels que les valeurs d'héritage, ne sont pas inclus dans l'analyse, alors qu'ils constituent une question essentielle pour ce projet. D'autre part, les taux de rentabilité sont également fonction du niveau de l'avantage (par exemple si le taux de rejet de projets est réduit à 10 %, ou au contraire dépasse les 20 % retenus pour l'analyse).

Tableau 2 : Quantification des avantages et des coûts pour l'institution internationale, relatifs au SIG : modélisation spatiale de la déforestation tropicale (en 1 000 ECU)

Année	0	1	2	3	4	5
Avantages						
- réduction du cycle de décision	0	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
- mise en œuvre avancée des décisions	0	75	75	75	75	75
- ressources disponibles du fait du rejet de projets	0	240	259,2	279,9	302,3	326,5
TOTAL	0	318,6	337,8	358,5	380,9	405,1
Coûts						
- personnel / site	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5
- données satellitaires / site	15	0	0	0	0	0
- autres données / site	4	0	0	0	0	0
- voyages terrain / site	5	5	5	5	5	5
- informatique / site	3	3	3	3	3	3
- frais généraux / site	8	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
Total / site	48,5	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8
TOTAL (7 sites)	339,5	180,6	180,6	180,6	180,6	180,6
Bénéfice net	-	138	157,2	177,9	200,3	224,5
Rentabilité nette :						
<i>Ratio Bénéfices actualisés / coûts initiaux</i>						
• à un taux d'actualisation de 10 %	196 %					
• à un taux d'actualisation de 8 %	207 %					
• à un taux d'actualisation de 5 %	226 %					

4. LA VALEUR DES PROJETS ET SYSTÈMES D'OBSERVATION DE LA TERRE PAR SATELLITE : POTENTIEL DE GÉNÉRALISATION DE L'APPROCHE

4.1. Les leçons de l'analyse

L'objectif de cette quatrième section est de résumer les principaux éléments d'évaluation relatifs au problème de la valeur de l'information géographique satellitaire, de ses produits et systèmes reliés. La question à laquelle nous devons répondre est la suivante : peut-on qualifier cette valeur et si oui comment procéder ?

A ce stade, la recherche est de nature principalement exploratoire. Le principal objectif ici était de définir une approche générale. Deux types d'inputs ont été simultanément utilisés :

- une revue de la littérature sur la valeur de l'information et de ses projets ;
- l'analyse de la valeur de l'information pour un système spécifique.

Cette revue montre la disponibilité pour les chercheurs et les décideurs d'outils et de concepts d'évaluation, relevant de champs disciplinaires divers. Certains d'entre eux ont été mis en œuvre dans des contextes similaires au problème ici analysé. D'autres doivent encore être adaptés au contexte de l'observation de la terre par satellite.

L'étude de cas a montré l'intérêt de recourir à l'un des outils les plus opérationnels pour l'analyse de l'intérêt de mise en œuvre d'un projet de télédétection à base de données spatiales. A travers la présentation du système, on peut observer la multiplicité des ac-

teurs (une institution internationale, un gouvernement local, des compagnies forestières, et une problématique globale de la biodiversité représentée par les ONG). Nous observons également la multiplicité des objectifs et des processus de décision, et comment la mise en œuvre d'un système d'information spécifique, basé sur des données et services d'observation de la terre par satellite, pourrait améliorer substantiellement ce processus.

Naturellement, le caractère limité de l'information disponible ne permet pas, à ce stade de la recherche, de considérer la rationalité spécifique du comportement de chacun de ces acteurs. Cependant, nous avons essayé d'évaluer les coûts et avantages de la mise en œuvre du système à l'intérieur d'une institution internationale, en charge de projets forestiers dans un pays en développement. Les données estimées ont montré que le ratio coûts-bénéfices était relativement élevé, et ceci en tenant compte du fait que seulement trois types d'avantages étaient inclus :

- le raccourcissement du cycle de décision ;
- une mise en œuvre précoce de la décision ;
- une disponibilité de ressources du fait du rejet de mauvais projets.

Dans le contexte de la définition de paramètres ainsi retenus, les ratios des bénéfices nets rapportés aux coûts du projet étaient respectivement de 196 %, 207 % et 226 %, pour les taux d'actualisation suivants : 10 %, 8 % et 5 %. Pour l'institution internationale, l'investissement dans ce projet est donc, du strict point de vue financier, bénéficiaire et devrait être recommandé pour une mise en œuvre.

Cependant, au plan de la logique des acteurs, le recours à une analyse quantifiée de ce type, dans le cas où il serait généralisé à l'ensemble des acteurs, permet d'entrevoir un changement de comportement et probablement l'émergence d'une nouvelle rationalité tournée vers l'optimisation des ressources disponibles. Pour les *grandes entreprises forestières* par exemple, il est probable que la disponibilité de ce type d'information va les amener à changer substantiellement les types de contrats à conclure avec les pouvoirs locaux ; ceux-ci seront d'avantage des contrats à long terme, intégrant une dimension préservation du patrimoine forestier et donc moins centrés sur la coupe systématique des forêts. Pour les *gouvernements locaux*, se dessine également une vision à long terme de leurs ressources. Pour *l'institution internationale*, outre la dimension optimisation des coûts internes, se dessine la perspective de sélection et de management de projets avec une forte dimension environnementale. Enfin pour les *générations futures* (représentées par les ONG), la sauvegarde de la biodiversité devient techniquement potentiellement observable.

A travers ces quatre types d'acteurs, se dessine bien une problématique fondamentalement managériale, dans la mesure où, au-delà de considérations techniques du calcul économique, nous pouvons constater comment l'investissement dans un système d'information à base de données satellitaires, est susceptible, en raison du caractère spécifique, et intrinsèquement "compétitif" de cette information, d'influer sur les comportements, ne serait-ce que du fait qu'il apporte une vision globale des ressources disponibles et

de leur évolution dans le temps, compte tenu du comportement des hommes et des organisations dont ils font partie.

4.2. **Elargissement de l'analyse et prochaines étapes**

A partir de cette étude de cas, nous voyons la richesse potentielle de l'analyse ainsi que sa valeur pour l'efficacité des processus de décision. Un cadre général devrait consister dans la considération de différentes facettes de la résolution des problèmes ainsi que de la logique de comportement des acteurs concernés.

En fait, la valeur économique du système devrait être complétée en intégrant différents points de vue :

- une ACA pour chacun des acteurs (gouvernements, compagnies forestières, autres acteurs) ;
- une ACA élargie, prenant en compte l'impact du système sur les différentes valeurs résultant du non-recours aux ressources actuelles (valeur d'option et valeur d'héritage en particulier) ;
- une analyse en termes d'économie de l'information au sein de l'institution internationale, ou de toute autre organisation, prenant en compte non seulement les bénéfices et coûts directs des projets, mais aussi ses possibles effets sur les valeurs de restructuration, de liaison, ou d'innovation, selon le modèle de Parker et Benson.
- une analyse en termes de comportement vis-à-vis d'une technologie nouvelle, selon les théories de l'apprentissage organisationnel.

L'ensemble de ces approches sont complémentaires.

4.3. Les applications de l'observation de la terre par satellite et problématique de la valeur des systèmes d'information géographique

L'étude de cas montre clairement qu'il est possible d'évaluer l'intérêt d'un système d'information géographique à base de données satellitaires. Il convient donc de considérer le potentiel de généralisation de l'approche ainsi proposée. Les activités d'observation de la terre sont généralement segmentées selon différents critères :

- par application (environnement, géologie, pédologie, études côtières, utilisation du sol, cartographie, etc.) ;

- par type d'output : services spécifiques, projets, SIG, systèmes d'information et de management ;
- par niveau d'intégration de valeur : données brutes, données pré-traitées, services de traitement et d'interprétation, formation, conseil, produits complètement intégrés ;
- par nature d'utilisateur : totalement privés, totalement publics, ou mixtes.

En tenant compte de cette taxonomie, il est important de voir quels sont les outils les plus appropriés lorsque l'on traite du problème de la valeur des données, services et systèmes basés sur l'observation de la terre par satellite. Le tableau 2 indique la nature des outils les plus applicables, en considérant d'une part le type d'utilisateur et d'autre part le type d'output.

Tableau 3 : Les approches de la mesure de la valeur pour les principaux outputs de l'observation de la terre par satellite

Type d'usage ou d'utilisateur	Usage totalement privé (ex. : Cie pétrolière mise en œuvre de SIG)	Usage partiellement privé (inventaire forestier)	Usage totalement public avec des implications globales (ex. : biodiversité, changement global)
Les outputs et applications de l'obs. de la terre			
Données brutes ou pré-traitées	ACA		ACA élargie
Applications et projets	ACA, analyse financière		ACA élargie
Systèmes d'information et de management (y compris les SIG)	ACA, économie de l'information		ACA élargie

A partir de ce tableau, nous voyons clairement, qu'en fonction du contexte considéré, différentes

approches de la mesure de la valeur de l'information géographique satellitaire apparaissent comme

potentiellement adaptées. Des applications spécifiques nécessitent des outils spécifiques. Par exemple, pour les compagnies pétrolières, nous pouvons voir que l'ACA, les approches financières et l'économie de l'information, constituent trois approches possibles du problème de la décision. Pour les applications de nature semi-publique, les mêmes approches peuvent être adoptées. Cependant, une perspective duale doit être considérée ici, puisque nous avons affaire à deux types d'organisations : les organisations publiques telles que les gouvernements, et les organisations privées telles que les compagnies forestières. Enfin, dans un cas où prédominent des enjeux planétaires (changement global, biodiversité), l'approche la plus appropriée est une ACA élargie, qui intègre l'analyse des différentes valeurs des projets et systèmes d'information géographique au niveau régional et mondial : les valeurs directes et indirectes, mais également d'autres valeurs importantes énoncées antérieurement : valeur d'option, valeur d'héritage et valeur d'existence d'un patrimoine environnemental. C'est notamment vers l'intégration de ces valeurs dans l'évaluation des systèmes d'information géographique satellitaire à portée environnementale que nos recherches actuelles s'orientent.

BIBLIOGRAPHIE

- Akerlof, G. (1970), « The Market for "lemons" : Quality Uncertainty and the Market Mechanism », *Quarterly Journal of Economics*, Vol. LXXXIV, August, p. 488-500.
- Arrow, K.J. (1971), « The value and demand for information », in *Essays in the theory of risk-bearing* (Markham, Chicago, Ill), p. 268-278.
- Arrow, K.J. (1973), « Information and Economic Behavior », texte repris in *The Economics of Information*, Collected Papers of Kenneth Arrow, (1984), Basil Blackwell.
- Bounfour, A., Lambin, E. (1993), « Earth observation data processing and interpretation services : analysis of the sector and conditions for its development », *International Journal of Remote Sensing*, Francis & Taylor-GB, Vol. 14, n° 4.
- Bounfour, A., Lambin, E. (1997), *Earth Observation economic value : Development of a cost-advantage approach*, European Commission, DG XII, Joint Research Centre, Rapport final, décembre.
- Bradford, D.F., Kelejjan, H.R. (1977), « The value of information for Crop forecasting in a market system : some theoretical issues », *The Review of economic studies*, Vol. 3, n° 138, p. 519-531.
- Byerlee, D.R. and J.R. Anderson, (1969), « Value of Predictors of Uncontrolled Factors in Response Functions » *Australian Journal of Agricultural Economics*, Vol. 13, December, p. 118-227.
- Carter, P.M. (1986), « A Methodology for the Economic Appraisal of Management Information », *International Journal of Information Management*, Vol. 6, n° 4, p. 193-201.
- Chervel, M. (1995), *L'évaluation économique des projets, calculs économiques publics et planification*, Publisud.
- Costanza, R. et al., (1997), « The value of the world's ecosystem services and natural capital », *Nature*, Vol. 387, 15 mai, p. 253-260.
- Demski, J.S., (1980), « Basic Ideas in the economic Analysis of Information. First Lecture », in : G. Lobo and M. Maher, eds., *Information Economics and Accounting Research*, Michigan, The University of Michigan, p. 3-21.
- Dickinson, H.J., Calkins, H.W. (1988), « The economic evaluation of implementing a GIS », *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 2, n° 4, p. 307-327.
- Dickinson, H.J., Calkins, H.W. (1990), « The economic evaluation of

implementing a GIS », *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 4, n° 2, April-June 1990, p. 211-212

Didier, M. (1990), *Utilité et valeur de l'information géographique*, Economica.

Epstein, E., Duchesneau, T.D. (1984), *The Use and Value of Geodesic Reference System*. Orono, Maine, University of Maine.

European Commission (1994), *A European Commission RTD Strategy for Applications of Earth Observation From Space*, A working paper submitted for discussion to the Space Advisory Group Meeting of 16 June 1994. The European Commission - DG XII, D-4 - Space Unit.

Freebairn, J.W. (1976), « The Value and distribution of the Benefits of Commodity Price Outlook Information ? » *Economic Record*, June, p. 199-212.

Gauthier, G., Thibault, M. (1993), *L'analyse coûts-avantages, défis et controverses*, Economica.

Hayami, Y. and Peterson, W. (1972), « Social Returns to Public Information Services : Statistical Reporting of US Farm Commodities », *American Economic Review*, Vol. 52, March, p. 119-130.

Joint Nordic Project (1987), Report 3, *Digital Map Data Bases, Economics and user Experiences in North America*. Edited by Viak A/S, Norway.

Joint Nordic Project, (1990), *Economics of Geographic Information, Organisational Impact of technological Change in the Road GIS case*, Economists' Report-Part A : Main Text, joint Nordic Project, Nordic Kvantif II, Published by the National Board of Survey, Helsinki, May.

Kirpatrick, C. and Weiss, J. (1996), *Cost-Benefit Analysis and Project Appraisal in Developing Countries*, Edward Elgar Publishing Company.

Lave, L.B. (1963), « The Value of Better Weather Information to the Raisin Industry », *Econometrica*, Vol. 31, n° 1-2, January-April, p. 151-164.

Lejeune, A., Saint-Amant, G. (1997), « Révision du processus d'évaluation des technologies de l'information à la Banque Mutuelle du Québec », *Systèmes d'Information et Management*, Vol. 2, n° 4, p. 161-86.

Little, I. and Mirrlees, J. (1968), *Manual of Industrial Projects Analysis in Developing Countries*, Vol. 2, OECD.

Little, I. and Mirrlees, J. (1974), *Project Appraisal and Planning for Developing Countries*, London, Heinemann.

Msunasinghe, M. and Ernst Lutz, E. (1993), « Environmental Economics and Valuation in Development Decisionmaking », in M. Munasinghe (ed). *Environmental Economics and Natural Management Resources In Developing Countries*, Committee of International Institutions on the Environment (CIDIE), The International institution, 1993.

Parker, M., Benson, R.J., Trainor, H.E. (1988), *Information Economics, Linking Business Performance to Information Technology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Robey, D., Sahay, S. (1996), « Transforming work through information technology : a comparative case study of geographic information systems in county government », *Information Systems Research*, Vol. 7, n° 1, March, p. 93-110.

Smith, D.A., Tomlison, R.F. (1992), « Assessing costs and benefits of geographical information systems : methodological and implementation issues », *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 6, n° 3, p. 247-156.

Squire, L. and Van der Tak, H. (1975), *Economic Analysis of projects*, Baltimore, Md, John Hopkins University Press.

Tufféry, Ch. (1997), *Les SIG dans les entreprises*, Hermès.

Wilcox, D.L. (1990), « Concerning The economic evaluation of implementing a GIS », *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 4, n° 2, p. 203-210.