

Téledétection et irrigation traditionnelle en milieu tropical de montagne

Alain Vidal, Patrick Le Goulven, Thierry Ruf et Isabelle Chaffaut

Dans le monde, les réseaux d'irrigation à gestion traditionnelle représentent près de la moitié des superficies irriguées et occupent la majorité des irrigants. Longtemps délaissés par le développement moderne, ils connaissent actuellement de gros problèmes de fonctionnement mis en évidence par une productivité faible et une émigration croissante vers les villes. Leur réhabilitation semble constituer un thème majeur pour le développement agricole des prochaines décennies.

Ainsi, en Equateur comme dans beaucoup d'autres pays, l'intervention de l'Etat dans le développement agricole a généré 2 grands types d'irrigation. Le premier type correspond à des systèmes entièrement construits et gérés par des institutions publiques, sur lesquels les irrigants interviennent très peu, voire pas du tout (irrigation publique).

Le second type correspond à des infrastructures construites, maintenues et gérées par les usagers eux-mêmes. Leur intervention se fait en général au sein d'organisations structurées. Il s'agit de l'irrigation à gestion traditionnelle, ou du système de gestion de l'irrigation agricole (le FMIS). Dans ce cas, l'Etat n'intervient que pour fixer certaines normes légales de dérivation, de transport et d'utilisation de la ressource en eau, ainsi que pour faire respecter ces normes.

L'irrigation traditionnelle est largement prédominante dans tout le pays et très variée. Elle est appliquée dans des petites propriétés de cultures vivrières comme dans des grandes exploitations agroalimentaires. Malgré cela, l'irrigation traditionnelle est fort mal connue. C'est pourquoi, depuis 1987, l'Institut équatorien de ressources

hydrauliques (Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos, INERHI, Quito, Equateur) et l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM) se sont associés pour financer un projet de recherches pluridisciplinaires sur le fonctionnement de l'irrigation traditionnelle dans les Andes de l'Équateur (projet FITADE). L'objectif est de dégager des recommandations pour le plan national d'irrigation.

L'étude est menée à diverses échelles régionales. Pour dégager ces recommandations, il était nécessaire de localiser, décrire et caractériser l'ensemble des systèmes, de les cartographier, d'identifier des indicateurs de fonctionnement et de comprendre le problème de la distribution de l'eau au niveau des parcelles.

Le Cemagref (Institut français de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement) et la Société française d'ingénierie (le BCEOM) se sont associés au projet dans la partie « localisation, organisation et caractérisation de l'irrigation en Equateur » pour évaluer les possibilités d'utiliser l'imagerie satellitaire en complément de l'approche avec les photographies aériennes. En effet, cet outil d'analyse pourrait se révéler intéressant pour l'étude de périmètres irrigués dans des régions à relief prononcé.

Après une rapide présentation du projet FITADE et de ses objectifs, les limites de l'utilisation de la photographie aérienne sont exposées, et l'application des images satellitaires dans un bassin particulier du projet est développée. En fin d'article, les perspectives d'utilisation aux régions méditerranéennes sont abordées.

Alain Vidal
Cemagref
Laboratoire commun
de télédétection
34093 Montpellier
cedex 5

**Patrick Le Goulven
et Thierry Ruf**
ORSTOM
BP 5045
34032 Montpellier
cedex 1

Isabelle Chaffaut
BCEOM
Parc scientifique
Agropolis
34980 Montferrier/Lez



► Photo 1. –
Périmètre irrigué
paysan d'Urququi.

Le projet FITADE

Dans le projet de recherches pluridisciplinaires sur le fonctionnement de l'irrigation traditionnelle dans les Andes de l'Équateur (projet FITADE), l'étude est menée à diverses échelles régionale, du terroir et du système d'irrigation.

Au niveau régional, il s'agit de l'opération Localisation, organisation et caractérisation de l'irrigation en Équateur (opération LOCIE).

Ce niveau d'analyse correspond aux grands bassins hydrographiques du couloir interandin compris entre 3 000 et 10 000 km². A cette échelle, le projet procède à la localisation, description et caractérisation systématique de l'ensemble des systèmes irrigués par l'analyse de la documentation existante et des photos aériennes à l'échelle du 1/50 000. Une première cartographie est alors élaborée, longuement vérifiée ensuite sur le terrain et complétée par des enquêtes rapides sur chacun des systèmes. Les données sont stockées et gérées dans une banque informatique élaborée sous FoxPro et associée à une cartographie définitive au 1/50 000.

Au niveau du terroir (opération Travaux, actions pluridisciplinaires sur l'agriculture de terrains représentatifs de l'irrigation équatorienne,

TAPATRIE), chaque bassin régional est découpé en « zones d'analyse et de recommandations » (ZARI). Leurs limites tiennent compte de l'organisation des infrastructures d'irrigation dans leur globalité, depuis la prise d'eau jusqu'au périmètre. Les zones d'analyse et de recommandations sont des terroirs d'environ 100 km², séparés par des vallées encaissées que les canaux avaient du mal à franchir. Dans chaque grand bassin, une zone représentative est sélectionnée. Pour chacune, des analyses beaucoup plus détaillées menées au niveau régional sont complétées par des mesures hydrologiques et des enquêtes agro-socio-économiques. L'objectif est de cerner les indicateurs de fonctionnement pertinents.

Enfin, **au niveau du système d'irrigation**, dans chacune de ces zones d'analyse et de recommandations représentatives, un système pilote est choisi pour effectuer des mesures et suivis journaliers. L'objectif est de comprendre les problèmes de distribution d'eau et d'application à la parcelle en tenant compte de l'évolution historique du système étudié et de son organisation sociale.

Tous les résultats sont rassemblés dans une banque de données à partir de laquelle il est possible

d'élaborer des typologies de fonctionnement et de présenter des scénarios d'intervention à court, moyen et long termes.

Les limites de l'interprétation des photographies aériennes

La photo-interprétation représente un outil important pour le travail d'analyse, surtout au niveau régional. Or elle s'est révélée insuffisante pour délimiter et caractériser correctement les systèmes d'irrigation traditionnels. Elle devait être complétée par de nombreuses vérifications de terrain qui rendaient l'opération « localisation, organisation et caractérisation de l'irrigation en Équateur » lourde et onéreuse.

La couverture photographique disponible utilisée est ancienne et hétérogène puisque la première couverture systématique au 1/50 000 date de 1965/1966 et fut réalisée au mois de février en pleine croissance végétale. La seconde effectuée, elle, en 1976 au 1/70 000 correspond au mois de septembre, c'est-à-dire à l'époque des labours. Le projet utilise de préférence les photos de 1966 qui présentent une netteté et un piqué largement supérieurs au survol de 1976.

La délimitation des périmètres irrigués se fait en tenant compte de l'organisation des parcelles et des différents tons de grisé repérables sur les clichés. La procédure est loin d'être évidente dans les zones froides et tempérées où l'irrigation est utilisée en appoint de sécurité. Le repérage des canaux d'irrigation est possible grâce à la végétation parfois abondante qui les borde, mais celle-ci se confond souvent avec la végétation environnante, surtout lorsque les prises d'eau sont situées dans la partie haute des versants. Les problèmes de photo-interprétation dans les Andes équatoriennes sont décrits en détail par P. Gondard (1984) qui s'est servi des mêmes photos pour réaliser l'inventaire de l'usage du sol.

Les apports potentiels de la téledétection

L'utilisation du satellite SPOT présente un attrait indéniable pour obtenir facilement des images récentes et une actualisation régulière. Compte tenu des besoins du projet FITADE, l'utilisation de l'imagerie satellitaire est testée pour deux types d'action.

En premier lieu, elle permet d'élaborer le tracé des principales infrastructures de transport (*acequias*), c'est-à-dire de combiner le repérage de la végétation de bordure de canal avec l'utilisation d'un modèle numérique de terrain en sachant que les canaux suivent généralement les courbes de niveau. En second lieu, elle permet de déterminer les cultures principales (seules ou en association). Or actuellement, les cultures sont déterminées au niveau du périmètre suivant les cartes d'usage du sol au 1/50 000, actualisées par les enquêtes systématiques.

La délimitation des surfaces équipées et des surfaces réellement irriguées est une des utilisations directes de l'imagerie satellitaire. En effet, l'enveloppe de la zone sous infrastructure est délimitable à partir des photographies aériennes mais, à l'intérieur de cet espace, il existe des parties non irriguées pour diverses raisons : relief, qualité du sol, parcelles sans droits d'eau, stratégie paysanne en cas de dotation faible... Le projet FITADE différencie la partie réellement irriguée à partir des enquêtes systématiques.

Les méthodes et techniques employées sont d'abord testées sur le système paysan de la ZARI d'Urcuqui où il existe une information de terrain très précise. On connaît ainsi le cadastre du périmètre, les pratiques culturales pour chaque parcelle et le calendrier d'arrosage journalier fourni par l'aigadier (responsable local de la distribution de l'eau). Du périmètre, elles seront étendues à l'ensemble du terroir qui est considéré comme une zone pilote au sein du projet FITADE. Par la suite, elles pourraient être transposées à tout le bassin hydrographique concerné où les données de terrain sont moins nombreuses et moins précises (niveau régional).

Le bassin du Mira et la ZARI d'Urcuqui

Limité par la Colombie au nord et le Pérou au sud, l'Équateur est traversé en son milieu par la cordillère des Andes. Le bassin du Mira, situé au nord du pays dans le couloir inter-andin, a été choisi pour tester les capacités des images du satellite SPOT à répondre aux objectifs fixés. Ce bassin de 3 500 km² est découpé selon 3 grandes vallées principales et son altitude varie entre 1 500 et 4 500 mètres. Le relief bien marqué engendre des gradients climatiques importants. La région est soumise à un régime pluviométrique à deux saisons des pluies, sur lequel sont calés les cycles culturels.

L'irrigation est présente dans les trois étages climatiques rencontrés : comme complément dans l'étage froid (> 2 700 m) et dans le tempéré (entre 2 300 et 2 700 m), comme élément indispensable dans l'étage subtropical (< 2 300 m). Elle alimente en eau deux grands types de propriétés :

– les haciendas (grandes propriétés) qui prédominent dans l'étage froid (prairies, orge, pomme de terre) et dans l'étage subtropical (canne à sucre, luzerne, cultures maraîchères) ;

– les minifundios (petites propriétés) qui sont surtout présents dans l'étage tempéré où ils pratiquent une polyculture à base de l'association maïs-haricot.

Le bassin du Mira a été découpé en 18 ZARI et celle d'Urcuqui a été sélectionnée comme zone pilote. Représentative d'une certaine économie agricole, ses caractéristiques figurent dans le tableau 1.

A l'intérieur de la ZARI, le périmètre paysan (320 ha, 460 usagers) situé dans l'étage tempéré

est le seul à contenir de petites exploitations avec des parcelles de taille réduite (moins de 0,5 ha) et bordées de haies (photo 1). Il a fait l'objet de mesures nombreuses et précises : il constitue un excellent test pour mesurer les capacités et les limites de l'utilisation de l'imagerie satellitaire.

Les méthodes et techniques employées

En raison de la petite taille des parcelles dans la région andine, comme dans la plupart des régions de montagne, 2 images SPOT sont utilisées. La première, dite en mode multispectral (ou XS) correspond à une résolution au sol de 20 m. La seconde, dite en mode panchromatique (ou P) correspond à une résolution de 10 m. Elles sont combinées pour constituer une image dite P + XS, dont l'intérêt est de conserver la richesse fournie par les trois canaux du mode multispectral, informations dans le vert, le rouge et le proche infrarouge, en même temps qu'on utilise la finesse

1	Surface totale ZARI	12 635	ha
2	Surface agricole utilisable	9 800	ha
3	Surface cultivée	7 435	ha (59 % de 1, 76 % de 2)
4	Surface irriguée	5 087	ha (68 % de 3) en 26 périmètres dont 27% dans l'étage tempéré (pluie/ETP de 795/1165 mm par an) 73% dans l'étage subtropical (pluie/ETP de 540/1405 mm par an) 90 % en « haciendas » 10 % en « minifundios »
5	irrigation traditionnelle	4 548	ha (90 % de 4)
6	irrigation d'Etat	223	ha (4 % de 4)
7	irrigation mixte	316	ha (6 % de 4)
8	Nombre de systèmes d'irrigation	19	
9	Longueur totale des canaux	192	km dont 10 % revêtus 90 % traditionnels en terre
10	Débit total concédé	4,43	m ³ /s
11	Débit total réellement dérivé	4,65	m ³ /s
12	Population totale de la ZARI	5 592	habitants
13	Population concernée par l'irrigation	4 966	hab. (89% de 11)

▲ Tableau 1. – Caractéristiques de la zone pilote d'Urcuqui dans le bassin du Mira (Equateur).

de détail du paysage permise par le mode panchromatique.

Afin de superposer parfaitement ces images, il est nécessaire de corriger les effets géométriques liés tout d'abord au relief, la plupart des parcelles ayant une pente comprise entre 12 et 25 % (photo 2), allant parfois jusqu'à plus de 50 %, ainsi qu'aux conditions d'acquisition, angles de vue satellitaires supérieurs à 15°. Ces corrections sont réalisées en utilisant un logiciel développé par le Cemagref, et un modèle numérique de terrain (MNT) réalisé sur place au pas de 40 m par l'Orstom, à partir des cartes topographiques au 1/25 000 et 1/50 000. La précision des ortho-images ainsi obtenues est de 15 m RMS, soit moins qu'un pixel SPOT XS.

En raison de la forte nébulosité de la région, il est assez difficile d'obtenir des images sans nuages. Pour les deux images acquises, les nuages épars sur l'image (couvrant principalement les zones d'une altitude supérieure à 2 700 m) sont masqués, afin de ne pas être pris en compte dans les traitements ultérieurs.

La cartographie des infrastructures est réalisée par photo-interprétation assistée par ordinateur de l'image P + XS associant les modes multi-spectral et panchromatique, enrichie d'un plan graphique comportant les courbes de niveau. Les canaux d'irrigation sont identifiés à partir de leur signature dans l'espace. Ils se manifestent en effet par une bande de végétation naturelle qui se développe de part et d'autre, constituant un ruban comprenant le canal et la végétation de quelques mètres de large. La topographie contribue à cette identification, les canaux suivent en effet assez fidèlement les courbes de niveau (photo 3). Enfin, la présence à l'aval de parcelles irriguées, aisément repérables sur l'image, permet de confirmer ou d'infirmer la nature de la structure linéaire identifiée.

L'inventaire des principales cultures est réalisé à partir d'une procédure de classification classique en télédétection consistant en une classification par maximum de vraisemblance sous hypothèse gaussienne. On introduit des probabilités *a priori* d'apparition des différents thèmes en fonction de l'étage climatique, qui seules permettent de différencier les cultures dans le cas de la région d'Urququi.



▲ Photo 2. – Exemple d'irrigation sur une parcelle en pente dans la ZARI d'Urququi.



▲ Photo 3. – Paysage de l'étage tempéré sur la ZARI d'Urququi. Deux canaux d'irrigation parallèles apparaissent nettement au flanc du versant en contrebas du plateau, grâce à la végétation qui les borde.

Le traitement d'images numériques

Le développement des logiciels de traitement d'images numériques a permis d'améliorer considérablement l'interprétation des images satellitaires. Ils permettent, sur micro-ordinateur ou station de travail, de visualiser en couleurs les différentes bandes spectrales contenues dans l'image, et d'effectuer de nombreuses opérations. Parmi ces opérations, deux sont fréquemment utilisées pour l'identification et la cartographie :

- la photo-interprétation assistée par ordinateur (ou PIAO) consiste à photo-interpréter une image préalablement améliorée (corrections géométriques et radiométriques, filtrages, choix et/ou combinaison de bandes spectrales) directement sur un écran couleur, et d'utiliser les possibilités d'annotation du logiciel (tracé de courbes, de polygones, texte) pour réaliser interactivement un document cartographique sur fond d'image satellitaire ;
- les classifications consistent, selon une procédure statistique définie par l'utilisateur, à affecter les éléments de l'image (ou pixels), caractérisés par une valeur radiométrique dans chaque bande spectrale, dans des classes statistiques, en général définies à partir d'un échantillon de parcelles dites d'apprentissage ; la méthode la plus utilisée est la classification par maximum de vraisemblance sous hypothèse gaussienne, qui affecte, dans un espace à n dimensions (n étant le nombre de bandes spectrales utilisées), chaque pixel à la classe la plus proche, chaque classe étant supposée avoir une distribution gaussienne dans chacune des n dimensions.

Résultats

■ Cartographie des infrastructures

Le repérage des infrastructures de transport aboutit à des résultats très hétérogènes :

- zones d'altitude : moins de 10 % des canaux ont été identifiés, car ils se distinguent mal de la végétation arborée, et la présence de nuages perturbe l'analyse.
- zones basses rurales : les résultats s'améliorent nettement puisque 68 % des canaux sont identifiés avec certitude (et 79 % des canaux principaux), 12 % ont été confondus avec des routes ou des rivières et 27 % n'ont pas été perçus (photo 4) ;
- zones basses urbaines : il existe une plus grande confusion avec les chemins et les rigoles de drainage puisque 23 % seulement des canaux sont repérés correctement.

Globalement, sur les 192 km de canaux existants dans le terroir d'Urcuqui, 46 % sont tracés correctement, 10 % ont été confondus avec des routes ou des rivières et 44 % échappent au traitement.

Il reste difficile de faire une comparaison quantitative avec les résultats obtenus par simple photo-interprétation, car celle-ci n'a jamais été utilisée seule mais toujours en complément d'une autre analyse (documentation cartographique existante, terrain, etc.). Néanmoins, il semble, selon les utilisateurs, que les résultats obtenus par la télédétection soient un peu meilleurs.

Il semble possible de les améliorer (jusqu'à 70 à 80 % de canaux identifiés) en délimitant d'abord les périmètres irrigués, en utilisant un MNT performant (10 à 20 m de résolution) et en menant l'analyse avec des spécialistes en analyse de l'espace (géographe rural par exemple).

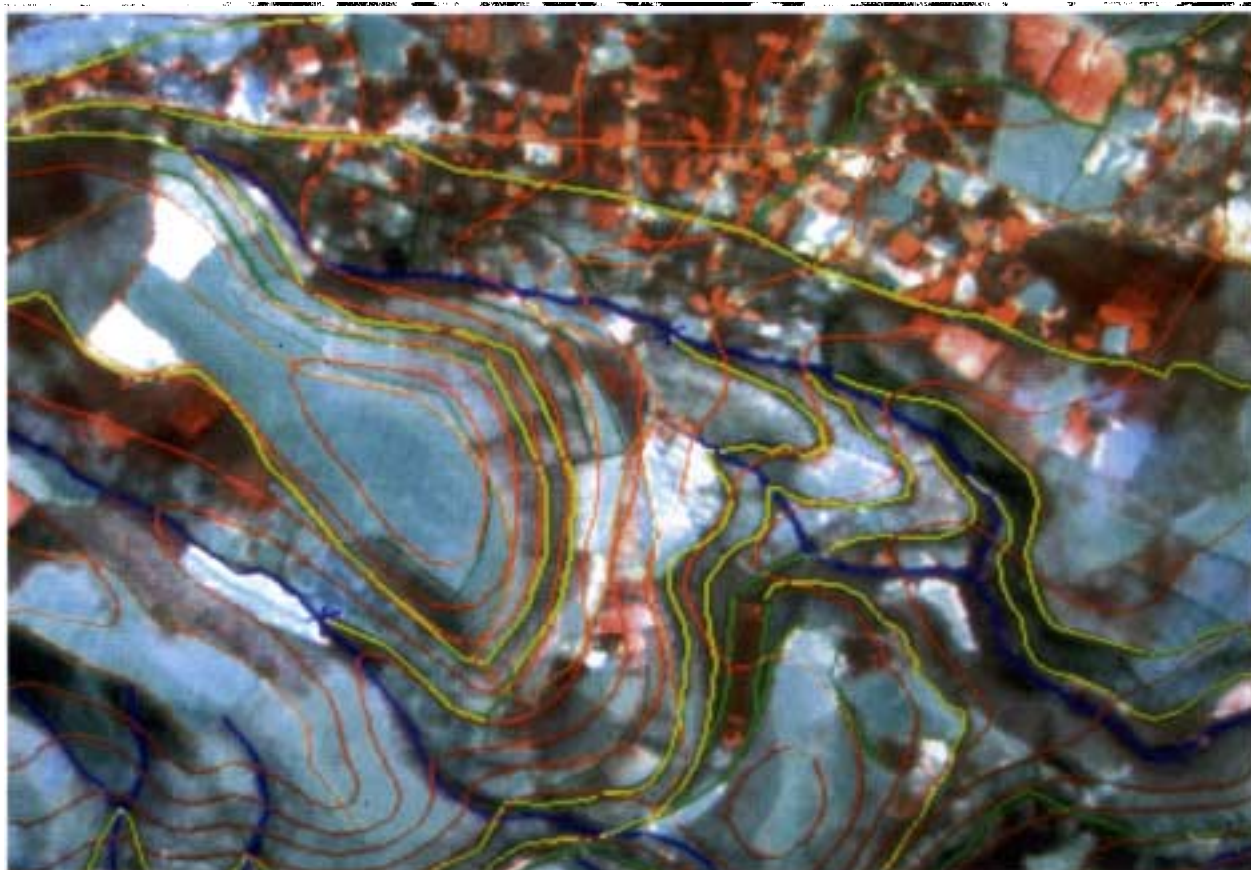
Le problème est important car il existe 1 164 km de canaux dans le bassin du Mira et un peu plus de 10 000 km dans la Sierra équatorienne. La quasi-totalité de ces canaux sont en terre et leur forme primaire s'est peu à peu dégradée au cours du temps. Or la réhabilitation de l'irrigation traditionnelle passe bien évidemment par une réorganisation des infrastructures de captage et de transport pour mieux gérer la ressource en eau disponible et faciliter la maintenance des réseaux par les associations d'irrigants.

■ Inventaire des principales cultures

Pour cet inventaire, deux approches ont été testées

- l'une, basée sur une segmentation préalable de la zone en trois niveaux climatiques définis précédemment ;
- l'autre, basée sur la même segmentation et complétée par l'introduction de probabilités *a priori* d'apparition de chaque culture, ceci afin de tenir compte de la présence plus ou moins importante d'une culture en fonction de l'étage climatique.

Cette dernière approche donne de meilleurs résultats, comme on peut le voir sur la figure 1, à la fois sur l'ensemble de la zone et pour chaque étage climatique. En effet, elle permet de passer à 53 % de l'image bien classée pour l'ensemble des zones à 76 % en moyenne, et jusqu'à 92 % pour



— Photo 4. – Exemple de cartographie des infrastructures par PIAO sur le périmètre paysan d'Urcuqui.

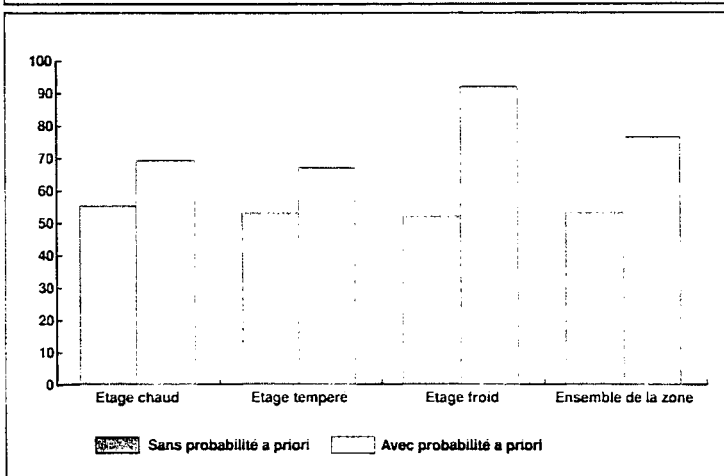
Rouge : Courbes de niveau	Bleu : Talwegs et ruisseaux
Marron : Routes	Jaune : Canaux « certains »
Vert : Canaux « probables »	

l'étage climatique froid. La classification de chaque culture peut être évaluée par comparaison avec un échantillon de parcelles de contrôle prise dans les différents étages.

Les précisions obtenues sont globalement moins bonnes que celles obtenues par télédétection satellitaire dans des systèmes agricoles de plaine. Ceci est principalement dû :

- au grand nombre de cultures présentes (maraîchage, cultures en mélange) ;
- à la taille des parcelles, parfois incompatible avec la résolution de SPOT ;

– (1 image SPOT XS obtenue malgré une demande de programmation du satellite couvrant l'ensemble du cycle), alors que les inventaires culturaux nécessitent en général l'acquisition de deux images à deux dates différentes.



▲ Figure 1. – Comparaison des précisions des classifications pour chaque étage climatique sans et avec introduction de probabilités *a priori* d'apparition des cultures.

■ *Possibilités d'utilisation : cartographie des zones équipées et des zones irriguées*

Bien que non spécifiquement testée dans cette étude, cette cartographie est possible compte tenu des résultats précédents. En effet, la cartographie des infrastructures permet sans difficulté de délimiter les zones équipées, sans qu'il soit cependant toujours possible de définir précisément les zones irrigables à partir d'un canal donné en raison de l'imbrication des systèmes et des canaux d'irrigation. Par ailleurs, la cartographie de principales cultures permet de connaître avec précision la localisation et la surface des parcelles irriguées au sein de chaque périmètre équipé.

Conclusions et perspectives d'utilisation

Les résultats obtenus par cette étude de faisabilité sur la zone d'analyse et de recommandations d'Urcuqui sont relativement satisfaisants, au moins dans la mesure où l'utilisation de l'imagerie satellitaire permet déjà de faire l'économie d'une partie des vérifications sur le terrain, qui sont obligatoires dans les inventaires classiques par photo-interprétation. Néanmoins, ces résultats restent encore trop imprécis pour fournir une bonne cartographie des systèmes irrigués traditionnels andins et de leurs systèmes de cultures. L'utilisation de produits plus adéquats tels les images panchromatiques et multispectrales prises au même moment, des modèles numériques de terrain plus précis devraient améliorer les apports de la télédétection. La combinaison du traitement des images avec une analyse du paysage réalisée par un géographe rural connaissant bien les structures d'irrigation contribuera à améliorer les performances de la télédétection.

■ *Perspectives d'utilisation en régions méditerranéennes*

Les Andes équatoriennes font partie des régions très anciennement aménagées par l'hydraulique agricole, tout comme l'ensemble des vallées inter-andines du nord du Chili à l'ouest du Venezuela. Plusieurs siècles d'interventions humaines ont transformé le paysage et lui ont imprimé un maillage hydraulique fort complexe. Les derniers projets publics d'irrigation financés par des emprunts internationaux apparaissent finalement comme le dernier maillon d'une longue chaîne d'aménagements superposés.

Ces configurations spatiales en réseaux imbriqués existent également dans d'autres massifs montagneux souffrant de déficits hydriques saisonniers ou permanents. Ainsi, le Bassin méditerranéen comprend un grand nombre de situations qui peuvent être abordées de manière similaire à celle des Andes équatoriennes. On peut en mentionner quelques unes plus ou moins proches de nous.

En France, les Cévennes par exemple ont connu dix siècles d'aménagement hydro-agricole du Moyen Âge au XIX^e siècle. Cet aménagement était fondé sur la mise en valeur des versants en terrasses irriguées à partir de sources locales, de dériviages des cours d'eau et de sources captées au moyen de mines ou de tunnels régulièrement entretenus. Le village de Ribes, en Ardèche, est ainsi un site exemplaire du maillage ancien des réseaux cévenols avec une organisation des lignes de sources captées artificiellement au moyen de ces mines et correspondant chacune à des groupes familiaux précis. Le système est conçu de manière à évacuer le surplus d'eau lors des pluies diluviennes et à recycler les eaux de drainage dans les terrasses d'aval, grâce à de nouvelles lignes de mines. Ces dispositifs ont été délaissés et l'eau des mines alimente des besoins domestiques et de loisirs et non plus une agriculture intensive de montagne méditerranéenne.

En revanche, dans le sud de la Méditerranée, certaines sociétés conservent une organisation hydraulique ancienne comme dans le cas du Haut Atlas au Maroc, où se perpétuent les règles d'usage de l'eau et de l'entretien des réseaux.

Très souvent, les montagnes méditerranéennes ont connu, comme les Andes, différentes étapes d'aménagement : on retrouve la coexistence de réseaux anciens et de réseaux modernes, comme en Provence, dans la vallée de la Durance, où sont juxtaposés des canaux du Moyen Âge, du XVIII^e et XIX^e siècle toujours en usage, et des réseaux modernes construits par une société d'aménagement régionale, la Société du canal de Provence.

Le cas du bassin du Jourdain (Moyen-Orient) est l'exemple le plus significatif que l'on puisse citer : plusieurs phases d'aménagements ont bouleversé l'accès à une ressource hydrique extrêmement rare dans la région, l'eau se trouvant au cœur du conflit israélo-arabe. Sans l'inventaire précis des infrastructures actuelles d'irrigation et d'usage de l'eau pour

d'autres finalités, sans éclaircissements sur l'histoire des différents aménagements, les parties prenantes risquent de ne jamais trouver un accord satisfaisant sur le partage des ressources en eau.

La télédétection est une technique appelée à s'affiner rapidement, autant le support lui-même que dans l'analyse des données. En attendant la mise en orbite de satellites avec une meilleure résolution (SPOT 5/6 disposeront d'un panchromatique à 5 m), il est tout à fait possible d'améliorer les

techniques d'analyse étant donné les enjeux actuels du monde agricole.

Aujourd'hui, de nombreuses équipes s'intéressent aux réseaux d'irrigation traditionnelle en Amérique du Sud, en Afrique et en Asie, encouragés par les organisations internationales. Nos recherches montrent que les applications cartographiques de la télédétection sont d'ores et déjà susceptibles de contribuer à ces études.

Résumé

Dans le cadre d'un projet de réhabilitation de systèmes irrigués traditionnels sur un relief fortement contrasté des Andes équatoriennes, les auteurs montrent comment l'utilisation d'images du satellite SPOT et d'un modèle numérique de terrain peut aboutir à une meilleure caractérisation des systèmes irrigués en zone de montagne. Cette méthode permet de cartographier les infrastructures d'irrigation et l'occupation du sol. Les possibilités de transfert des méthodes proposées aux régions montagneuses du pourtour méditerranéen sont envisagées.

Abstract

This study concerns a rehabilitation project on traditional irrigation systems located at various altitudes in the Ecuadorian Andes. The use of SPOT satellite imagery combined with a digital elevation model is proved to be able to improve the assessment and characterisation of irrigation systems in mountainous regions, by providing maps of irrigation infrastructure and of land use. Possibilities of transferring the developed methods to mountainous regions of the Mediterranean area are also mentioned.

Bibliographie

- DROSNE D., 1993. Traitements d'images satellitaires et modèles numériques de terrain. Corrections géométriques et validation de modèles numériques de terrain. *Mémoire de 3^e année de l'ENGEES*. LCT Montpellier. 94 p + annexes.
- LAHLOU O., MANNO J.M., POZZOBON D., VIDAL A., 1990. Aide à la gestion d'un périmètre irrigué : le Gharb. *Colloque international «Spot - Outil de développement»*, Paris, 26-29 juin 1990.
- LE GOULVEN P., RUF T., RIBADENEIRA H., 1989. Traditional irrigation in the Andes of Ecuador. 1) Research and planning. 2) Dysfunctions and rehabilitation. *7th Afro-Asian Regional Conf.*, Tokyo, 15-25/10/1989, Tokyo, International Commission on Irrigation and Drainage, pp 351-371.
- LE GOULVEN P., VIDAL A., CHAFFAUT I., 1993. Characterisation of traditional irrigation in Ecuadorian Andes. *Pre-Proceedings of the CEMAGREF-FAO Workshop on the Use of Remote Sensing Techniques in Irrigation and Drainage*, Montpellier, 2-4 November 1993, 116.
- MAUREL P., VIDAL A., LAHLOU A., 1993. Integration of remote sensing and GIS for the management of large irrigation projects. *EARSel Advances in Remote Sensing*, 2 (3), 27-33.
- PUECH C., MAUREL P., 1990. Reconnaissance des cultures irriguées par télédétection. *Bull. S.F.P.T.*, 120, 4-16.
- RUF T., Le GOULVEN P., 1994. Gestion des ressources en eau dans les Andes équatoriennes, structures, bilans, règles et modèles. *Symposium international Recherches-système en agriculture et développements rural*, Atelier 2, besoins nouveaux de gestion des ressources et de l'environnement, 21-25 nov.1994, Montpellier, AFSR/E, CIRAD, INRA, ORSTOM, 18 p.
- VIDAL A., 1994. Télédétection appliquée à l'irrigation, au drainage et à la maîtrise des crues. *Actes des Ateliers de l'eau - Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux - Atelier 4 : L'eau facteur de développement - 22 mars 1993*, 345-351.