



La télédétection en agriculture : actes du colloque de Montpellier

M. Deshayes

► To cite this version:

M. Deshayes. La télédétection en agriculture : actes du colloque de Montpellier. Colloque CIHEAM - MAE - CNES La Télédétection en Agriculture, Montpellier, 13-15 Mars 1990, 1990, France. CIHEAM, pp.154, 1990, Options méditerranéennes, Série A : Séminaires Méditerranéens n°4. hal-02603176

HAL Id: hal-02603176

<https://hal.inrae.fr/hal-02603176>

Submitted on 16 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



OPTIONS méditerranéennes

SERIE A : SEMINAIRES MEDITERRANEENS
Numéro 4

La télédétection en Agriculture Remote Sensing in Agriculture

CIHEAM / MAE / CNES



C I H E A M

Centre International de Hautes Etudes
Agronomiques Méditerranéennes

*International Centre for Advanced
Mediterranean Agronomic Studies*

President: Albert SIMANTOV

Secrétaire Général / *Secretary General*: Raymond FEVRIER

11, rue Newton
75116 PARIS

TEL.: (1) 47 20 70 03 - TELEX: CIMED 620 130 F - FAX: 47 20 10 47

IAM

Instituts Agronomiques Méditerranéens
Mediterranean Agronomic Institutes

Bari - Chania - Montpellier - Zaragoza

IAM-Bari

Dir.: Cosimo LACIRIGNOLA
Strada Provinciale per Ceglie
70010 Valenzano, Bari, Italy
TEL. (39) 80 87 71 958 - TELEX 43810309
FAX: 80 87 71 957

IAM-Chania

Dir.: Alkinoos NIKOLAIDIS
Alsyllion Agrokepion - P. O. Box 85
Chania TK 73100, Crete, Greece
TEL. (30) 821 895 11 - TELEX 291270 GR
FAX: 30 821 41360

IAM-Montpellier

Dir.: Roland PEREZ
3191, route de Mende
BP 5056
34033 Montpellier Cédex 1, France
TEL. (33) 67 63 28 80 - TELEX 480 783 F
FAX: 67 54 25 27

IAM-Saragosse

Dir.: Miguel VALLS ORTIZ
Montañana, 177
Apt. de Correos 202, Zaragoza, Spain
TEL. (34) 76 57 60 13 - TELEX 58672 E
FAX: (34) 76 57 63 77

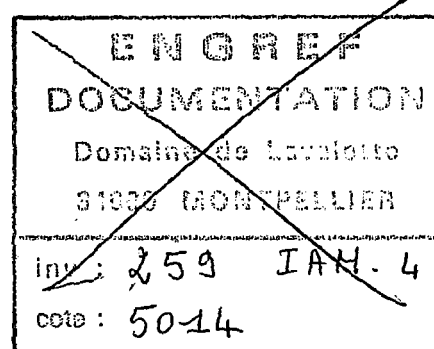
DOCUMENTATION
MAISON DE LA TELEDETECTION
500, rue J.F. Breton
34093 MONTPELLIER CEDEX 5

22 JAN 1990

H2
CIH
0028.

La télédétection en agriculture
Remote Sensing in Agriculture

DOCUMENTATION
MAISON DE LA TELEDETECTION
500, rue J.F. Breton
34093 MONTPELLIER CEDEX 5



Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes
(CIHEAM)

Options Méditerranéennes

Série A : Séminaires Méditerranéens, n° 4

La télédétection en agriculture *Remote Sensing in Agriculture*

Actes du colloque de Montpellier / *Proceedings of the Montpellier seminar*
(13 – 15 mars / March 1990, IAM-Montpellier)
organisé par / organized by : CIHEAM, MAE & CNES

Editeur scientifique / *Scientific editor* : Michel Deshayes

CIHEAM
Centre International de Hautes
Etudes Agronomiques
Méditerranéennes

MAE
Ministère français
des Affaires Etrangères

CNES
Centre National
d'Etudes Spatiales
SPOT IMAGE

La conception, la maquette, la mise en page
et l'édition de ce numéro
d'*Options Méditerranéennes*, ont été réalisées à l'Atelier d'Edition
du CIHEAM/IAM, Montpellier
sous la responsabilité de François **Lerin**

Photo de couverture : SPOT-IMAGE

Editing and translation in English: Mira **Fischer**

Imprimeur : OFFSET 2000
Adresse : Espace Commercial - Lot 49
Montpellier - Fréjorgues
34130 MAUGUIO (France)
Tél : 67 64 63 64

Tirage : 700 exemplaires

Fiche bibliographique :

La télédétection en agriculture – Remote sensing in agriculture.
Actes du colloque de Montpellier, 13-15 mars, 1990.
- Ed. : Deshayes (M.).
- Paris : CIHEAM (Centre International de Hautes Etudes Agronomiques
Méditerranéennes)/MAE (Ministère des Affaires Etrangères/CNES (Centre
National d'Etudes Spatiales SPOT IMAGE), 1990.- 154 p.
(Série A : Séminaires Méditerranéens n° 4,
Options Méditerranéennes).

ISSN : 1016-121X
ISBN : 2-85352-099-4

©

CIHEAM, 1990
Reproduction partielle ou totale interdite sans
l'autorisation
d'*Options Méditerranéennes*

Sommaire / Table of contents

Avant-Propos / Foreword : R. Février

Première partie – Principes généraux de la télédétection

Part one – General principles of remote sensing

- | | |
|--|----|
| ☐ L'image spatial et son contenu (M. Deshayes, P. Maurel) | 11 |
| ☐ <i>Remote sensing imagery and its contents</i> (M. Deshayes, P. Maurel) | 21 |
| ☐ Les systèmes spatiaux d'observation de la terre (J. C. Cazaux) | 31 |

Deuxième partie – Généralités

Part two – General applications

- | | |
|---|----|
| ☐ L'utilisation de la télédétection dans les projets de développement de la CEE – <i>Use of remote sensing in EEC-sponsored development projects</i> (R. Grégoire) | 41 |
| ☐ La coopération française dans le domaine de la télédétection pour la gestion des ressources naturelles – <i>French cooperation for resource management based on remote sensing</i> (M. Bied-Charreton) | 51 |

Troisième partie – Occupation du sol et statistiques agricoles

Part three – Land use and agricultural statistics

- | | |
|---|-----|
| ☐ Le projet pilote de télédétection appliquée aux statistiques agricoles en Europe – <i>Pilot project of remote sensing applied to agricultural statistics in Europe</i> (J. Meyer-Roux) | 57 |
| ☐ Le projet CORINE Land Cover au Portugal – <i>The CORINE Land Cover project in Portugal</i> (Y. Heyman, R. G. Henriques) | 65 |
| ☐ <i>Use of SPOT orthoimages for agriculture in Catalonia</i> – Utilisation d'orthoimages couleur SPOT pour l'agriculture en Catalogne (J. Romeu, V. Pala, O. Vinas, R. Arbiol) | 71 |
| ☐ <i>Advantage of SPOT for land use mapping in Slovenia</i> – Intérêt de SPOT pour la cartographie de l'occupation du sol en Slovénie (A. Trejak) | 79 |
| ☐ Une utilisation opérationnelle de la télédétection pour les statistiques agricoles : l'inventaire régional de la Makedonia – <i>Agricultural statistics and remote sensing: regional inventory of Makedonia</i> (O. Leo, D. Ziogas, J. Delincé) | 87 |
| ☐ <i>Remote sensing applications for the southeastern Anatolian Project</i> – Applications de la télédétection dans le projet de développement de l'Anatolie du Sud-Est (O. Tekinel, U. Dinc, I. Yegingil, S. Kapur, S. Senol) | 95 |
| ☐ <i>Cartography of the Arable Land Area in the Faiyûm region using SPOT imagery</i> – Cartographie de la Surface Agricole Utile pour l'oasis du Fayoum à partir d'une image SPOT (S. Bakir, F. Rantrua) | 103 |
| ☐ Estimation de la biomasse et du rendement des cultures à partir du satellite SPOT : résultats d'une expérimentation sur blé dur en Camargue – <i>Biomass and yield estimation using SPOT data: results of an experiment on durum wheat in the Camargue region</i> (M. Guérif, B. Seguin) | 115 |

Quatrième partie – Gestion des périmètres irrigués
Part four – Management of irrigation systems and forests

- ☐ *Remote sensing and management of large irrigation projects – Applications de la télédétection à la gestion des grands périmètres irrigués – Cas du Gharb (Maroc) (O. Lahlou, A. Vidal)* 131
- ☐ *Inventaire et cartographie des périmètres irrigués en Algérie par Imagerie SPOT – Inventory and mapping of irrigation systems in Algeria using SPOT data (P. Carton)* 139
- ☐ *Application de la télédétection spatiale à la cartographie des formations forestières et au suivi de leur évolution – Use of satellite data for mapping and monitoring forest lands (J. G. Boureau, J. P. Ratte)* 145
- ☐ *Evaluation des ressources sylvicoles du Rif marocain oriental à partir de données SPOT – Evaluation of forest resources in the Eastern Rif region of Morocco using SPOT data (E. Barisano)* 151



Avant-propos / Foreword

Raymond Février

Secrétaire Général du CIHEAM / Secretary General of CIHEAM

A côté de la formation post-universitaire qu'il dispense dans ses quatre Instituts Agronomiques Méditerranéens (Zaragoza, Montpellier, Bari, Chania) et de l'activité de ses vingt-trois réseaux de recherche groupant les équipes nationales de ses treize pays membres, le CIHEAM organise périodiquement des débats sur les grands problèmes de l'agriculture méditerranéenne.

Les thèmes de ces débats concernent l'économie (céréales, lait, olivier, fruits et légumes), les productions (légumineuses, pomme de terre...), les relations avec l'environnement (oasis, arbustes fourragers), les institutions (recherche, formation) et des problèmes scientifiques (photosynthèse, physiologie digestive du dromadaire, biotechnologies...).

Le développement de la télédétection et son utilisation en agriculture ne pouvait laisser indifférents les responsables de l'agriculture méditerranéenne, d'autant moins qu'ayant souvent de vastes espaces à gérer et à aménager, ils ont besoin, plus que d'autres, d'un outil aussi performant.

C'est pourquoi avec l'aide du CNES et en collaboration avec les experts d'Agropolis, notamment le laboratoire commun de télédétection CEMAGREF-ENGREF, le CIHEAM a organisé ce séminaire, au cours duquel ont été exposées les techniques mises en oeuvre récemment, et quelques cas concrets d'utilisation de la télédétection, en particulier pour les statistiques comme pour la gestion des périmètres irrigués et des forêts. Au cours de ces trois journées, les débats ont permis de faire le point sur les acquis et les promesses de cette nouvelle technologie, dont les spécialistes et les utilisateurs seront mieux armés pour contribuer au développement de l'agriculture méditerranéenne.

CIHEAM regularly organizes conferences on major issues of Mediterranean agriculture. The meetings form a complement to the postgraduate training programs organized at its four Mediterranean Agronomic Institutes (Zaragoza, Spain; Montpellier, France; Bari, Italy; Chania, Greece) and the research network activities in the 13 member countries.

The conferences cover a wide range of themes : agricultural economics (cereals, milk, olive, fruits and vegetables), commodities (legumes, potato), environment (oases, forage crops), institutions (research, training), and scientific topics (photosynthesis, nutritional requirements of dromedaries, biotechnology).

The development of remote sensing and its use in agriculture is of special interest to agricultural policy makers in the Mediterranean region. They are concerned with the management and development of large agricultural areas and their task is greatly facilitated by the use of efficient techniques such as remote sensing. --

It is for this reason that CIHEAM organized this workshop on Remote Sensing in Agriculture with support from the French space studies center, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), and in collaboration with specialists from Agropolis, Montpellier, in particular the CEMAGREF-ENGREF Laboratoire Commun de Télédétection.

The papers described recent applications of remote sensing. Case studies were presented on the use of these techniques for agricultural statistics, and irrigation system and forestry management. The 3-day meeting offered an opportunity to review the results and future potential of this new technology to assist specialists and users to respond to the challenges for developing agriculture in the Mediterranean region.

Première partie – Principes généraux de la télédétection

Part one – General principles of remote sensing

L'image spatiale et son contenu

Michel DESHAYES, Pierre MAUREL
Laboratoire Commun de Télédétection
CEMAGREF-ENGREF, Montpellier (France)

Résumé : Cette présentation vise à donner un premier aperçu de ce qu'est une image de télédétection, du type d'information qu'elle contient et des moyens à mettre en œuvre pour accéder à cette information. Compte tenu de l'étendue du sujet, nous avons volontairement limité le cadre de notre exposé aux images satellitaires en ce qui concerne la nature des images, et aux traitements numériques en ce qui concerne leur analyse. Nous ne traiterons donc pas de domaines tels que la photographie aérienne ou la photointerprétation.

I. – Structure d'une image numérique de télédétection

La principale différence entre les photographies aériennes et les images satellitaires fournies par un radiomètre réside dans le fait que ces dernières ont été échantillonnées.

Il y a un double échantillonnage de l'information :

- ☐ **spatial** : la zone observée est découpée en surfaces élémentaires (taches ou pixels) dont la taille caractérise la résolution spatiale du satellite ;
- ☐ **numérique** : le signal analogique enregistré par les détecteurs est codé à l'aide d'entiers compris entre 0 et 255.

Une image numérique est donc un tableau à deux dimensions (**figure 1**). Ainsi, une image SPOT de dimensions 60 × 60 km avec une taille de pixel de 20 × 20 m correspond à un tableau de 3 000 lignes × 3 000 colonnes.

Afin d'obtenir des informations différentes, les capteurs observent la terre dans plusieurs bandes de longueurs d'onde, encore appelées «canaux». On dit qu'ils sont multispectraux. Une image multispectrale comprend donc plusieurs tableaux, chaque tableau correspondant à un canal du satellite (**figure 2**).

Prenons le cas d'une image multispectrale SPOT :

- ☐ elle est composée de trois tableaux superposés ;
- ☐ à chaque pixel sont associées trois valeurs radiométriques comprises entre 0 et 255.

La visualisation de la répartition des valeurs numériques de l'ensemble des pixels d'une image peut alors se faire à l'aide d'un histogramme. Ainsi, dans le cas d'un seul canal, l'histogramme représente la fréquence de chacune des valeurs obtenues dans ce canal (**figure 3**). Dans certains cas, on utilise un histogramme bidimensionnel construit à partir de deux canaux significatifs d'une image.

II. – Paramètres influant sur le contenu d'une image de télédétection

Le contenu des images de télédétection est fortement lié à certains paramètres qui dépendent des

caractéristiques du satellite. Il s'agit notamment de :

1. La définition de l'image

La taille des phénomènes étudiés doit être nettement plus grande que celle des pixels, d'où l'importance de la résolution spatiale du satellite. Ainsi, par exemple, travailler sur un parcellaire dont la surface moyenne des champs est d'un hectare avec Landsat MSS, dont le pixel représente un demi-hectare, est voué à l'échec dans le cas d'un inventaire des cultures.

2. Les canaux disponibles

Les valeurs radiométriques d'un pixel dépendent de ses propriétés optiques. Ainsi, dans le cas d'un pixel de végétation, la réponse dans les canaux du visible (vert et rouge pour SPOT) est fonction de la teneur en pigments foliaires des végétaux alors qu'elle dépend surtout de la structure des feuilles dans le proche infrarouge (PIR) et de la teneur en eau dans le moyen infrarouge (MIR). Nous voyons donc que chaque domaine spectral apporte une information bien particulière sur la nature du corps observé. Les valeurs d'un pixel dans les différents canaux permettent donc de caractériser sa nature ; on parle de signature spectrale (**figure 4**). Bien entendu, il arrive que des pixels de nature différente présentent à un moment donné des signatures spectrales similaires. C'est parfois le cas par exemple du soja et du maïs. Des images prises à des dates judicieuses sont alors nécessaires.

3. La date de prise de vue

Elle doit être en relation avec les thèmes à extraire et de ce fait nécessite une bonne connaissance du terrain. Ce paramètre est d'autant plus important que le thème étudié évolue rapidement. C'est par exemple le cas en agriculture. Ainsi, en France, une image de printemps contient l'information concernant l'orge, le blé, le colza, etc., alors qu'une image d'automne nous renseignera sur des cultures telles que le maïs, le soja, etc. Il est même nécessaire dans la plupart des cas de disposer de deux images prises à des dates différentes pour arriver à une bonne séparation des cultures entre elles.

Nous voyons donc ici tout l'intérêt de la répétitivité du satellite, c'est-à-dire du fait que le satellite repasse régulièrement sur la même zone (tous les 16 jours pour Landsat TM, jusqu'à moins de trois jours en moyenne pour SPOT grâce à la visée latérale).

III. – Les différents modes de traitement des données de télédétection

Les méthodes utilisées pour extraire de l'image l'information recherchée varient selon le type de support. Il est en effet possible de reconstituer point à point l'image sur un support photographique ou de la conserver sous sa forme numérique sur support magnétique (bande ou disquette). Si l'analyse des films positifs et des tirages sur papier relève du domaine de la photointerprétation, les données numériques sont par contre traitées à l'aide de moyens informatiques et de logiciels spécifiques.

1. La photointerprétation

Nous ne développerons pas ici les principes de la photointerprétation, cette technique étant pratiquée depuis de nombreuses années dans le domaine de la photographie aérienne. Elle continue à être largement utilisée en imagerie satellitaire où elle présente certains avantages.

En fonction de sa connaissance du sujet étudié et du terrain, le photointerprète expérimenté peut analyser une image dans son ensemble, en prenant en compte non seulement les teintes et couleurs mais également la forme, la texture et la structure des divers éléments qui la composent, ainsi que leur

agencement dans l'espace et faire abstraction des données parasites (ou «bruit»). Il peut de plus prendre en compte des informations extérieures à l'image (géologiques, pédologiques, climatologiques, etc.) et tirer parti de son expérience. La qualité de l'interprétation de l'image dépend donc avant tout de la compétence du photointerprète.

Par contre, l'estimation des superficies occupées par les différents thèmes délimités par l'observateur reste longue, fastidieuse et pas très précise. De manière générale, la photointerprétation met en jeu des procédés difficilement généralisables, qui doivent être renouvelés à chaque image traitée. Toutefois, on commence à parler de photointerprétation assistée par ordinateur.

2. Les traitements numériques des données

Les traitements numériques permettent de reproduire nombre d'opérations effectuées avec des films, ainsi que, souvent, une plus grande adaptation des données aux exigences de l'utilisateur. Leurs avantages se situent aux niveaux suivants :

- **Meilleure visualisation.** Une table de transcodage valeur numérique/couleur permet de visualiser les données sur un écran. L'utilisateur peut modifier à sa guise la table de transcodage jusqu'à l'obtention d'un contraste adapté aux besoins de son étude. De plus un seul canal ou plusieurs canaux peuvent être visualisés simultanément soit en noir et blanc, soit en couleur ;
- **Souplesse d'édition.** La même souplesse existe pour l'édition des données brutes ou des résultats sur papier avec une imprimante ;
- **Facilités de cartographie.** Une fois mise au point, la méthode numérique est bien plus rapide et bien moins fastidieuse qu'en photointerprétation. Elle fait appel aux trois grandes familles de traitements numériques qui seront détaillées plus loin :
 - **Les corrections géométriques** afin de rendre la projection de l'image enregistrée identique à celle des cartes habituelles. Sous forme numérique la correction est plus facile que sous forme photographique. Ce type de traitement est aussi nécessaire pour l'analyse multitemporelle et l'assemblage d'image.
 - **Les classifications** consistent à regrouper les pixels de l'image dans un certain nombre de classes et à visualiser le résultat après avoir affecté une couleur à chaque classe.
 - **L'analyse multitemporelle**, destinée à comparer deux images prises à des dates différentes. Elle nécessite que les deux images aient la même géométrie d'où le besoin de corriger géométriquement l'une des deux (ou les deux) de manière à ce qu'elles soient superposables l'une à l'autre (éventuellement à une carte). Lorsqu'une zone d'étude se situe à cheval sur plusieurs images, il est nécessaire d'assembler des images, d'où l'importance là aussi de l'ajustement géométrique des données.
- **Estimation de surface.** Une fois une classification obtenue, il est possible de compter automatiquement le nombre de pixels de chaque classe. En multipliant ce nombre par la surface élémentaire du pixel (0,04 ha dans le cas de SPOT), on obtient alors la surface de la classe dans l'image.
- **Réduction de dimensions.** Landsat TM fournit six valeurs radiométriques par pixel (la bande thermique n'est pas prise en compte) ce qui rend le travail d'analyse ultérieur particulièrement long et difficile, toute visualisation ne permettant de travailler au plus que sur trois canaux simultanément (un canal pour chacune des trois couleurs fondamentales : rouge, vert, bleu). Des traitements numériques utilisant les techniques de l'analyse de données permettent de comprimer l'ensemble de l'information en un nombre plus restreint (trois en général) de nouveaux canaux.

IV. – Les prétraitements numériques

On distingue classiquement les traitements préalables destinés à la mise en forme optimale des données et les traitements proprement dits pour interpréter les données et évaluer les résultats.

1. Prétraitements

□ **Corrections radiométriques.** Elles permettent de diminuer les perturbations dues à l'atmosphère et aux capteurs. Dans le cas d'étude multitemporelle, il est souvent souhaitable de corriger la radiométrie en fonction de la date (éclaircissements solaires différents) afin de pouvoir comparer sérieusement les deux images. Pour cela, on choisit des «invariants», objets au sols dont la radiométrie ne change pas ou dont la loi de variation est connue. Dans la filière de la production des données, ces traitements sont réalisés de manière générale en amont de l'utilisation finale.

□ **Corrections géométriques.** Elles sont destinées à corriger l'image des déformations systématiques dues à la prise de vue (ellipsoïde terrestre, défilement du satellite, variations de vol, technologie du capteur) ainsi qu'à rendre l'image superposable à une carte. Elles sont faites soit à partir de paramètres d'orbite et d'attitude enregistrés durant le vol, soit à l'aide de lois de déformations, pour rendre l'image conforme à un type de projection cartographique connu (UTM ou Lambert II étendu, par exemple). Les lois de déformations sont calculées à partir de points particuliers, encore appelés amers, dont les coordonnées sont connues à la fois sur le terrain et sur l'image (croisement de routes, de chemins de fer, etc.). Dans certains cas, il n'est pas nécessaire de procéder dès le départ à une correction géométrique. Il est alors plus économique de réaliser ce traitement particulièrement lourd uniquement sur l'image finale, équivalent à un canal, plutôt que sur l'ensemble des canaux d'origine.

2. Méthodes globales d'amélioration de contraste et de compression des données

En général, ces méthodes servent à améliorer l'apparence des données avant de démarrer les traitements proprement dits.

□ **Étalement de dynamique.** Prenons le cas d'un seul canal visualisé en teintes de gris. Comme les données sont habituellement codées de 0 à 255 (0 pour une absence de lumière et 255 pour une lumière maximale), la visualisation la plus simple consiste à visualiser les pixels de valeur 0 en noir, ceux de valeur 255 en blanc et ceux de valeur intermédiaire dans la teinte de gris linéairement correspondante.

Cependant, dans la réalité, il est rare que toute cette plage de teintes soit utilisée. Dans certains cas, la gamme effectivement recueillie dans une image peut être très étroite : elle pourra par exemple être comprise entre les niveaux 40 et 80, d'où l'impression d'une image terne, où peu de détails apparaissent.

Avec un ordinateur, il est aisé de faire en sorte que le niveau 40 de l'image d'origine soit pris pour niveau 0 d'une nouvelle image (autrement dit on remplacera le gris le plus foncé par du noir), que le niveau 80 de cette image corresponde au niveau 255 (le gris le plus clair devenant du blanc) et que les niveaux intermédiaires entre 40 et 80 soient linéairement répartis entre 0 et 255, afin que la nouvelle image fasse très bien apparaître les contrastes. On aura donc étalé la dynamique.

De plus, si les informations intéressantes se situent plutôt dans telle ou telle partie de l'intervalle, on pourra choisir de privilégier cette partie de l'histogramme. Bien entendu, il existe des fonctions plus complexes qu'un simple étalement linéaire pour réaliser ce type d'opération.

□ **Equipopulation.** La visualisation en équipopulation d'un canal donné est à la fois une technique d'amélioration de contraste et une technique de compression des données.

On choisit de diminuer le nombre de teintes de gris, par exemple 5 au lieu des 255 théoriques, et on procède à la nouvelle affectation de telle sorte que chaque teinte de gris ait environ le même nombre de représentants dans l'image. En résultat, on dispose du maximum de niveaux distincts là où il y a le plus d'informations à percevoir. Cette procédure permet une vision optimale de l'image.

□ **Analyse en Composantes Principales (ACP).** Cette technique a pour but de résumer l'information des canaux originaux (les six canaux de Landsat TM par exemple) dans un nombre plus réduit de nouveaux canaux (deux ou trois). Plus exactement, on définit et on ordonne de nouveaux canaux de telle sorte que les premiers représentent le maximum d'information. Du fait de l'existence de corrélation entre les divers canaux d'une image, le fait de sélectionner alors les trois premiers canaux n'entraîne qu'une faible perte d'information.

V. – Les traitements proprement dits

L'extraction d'informations peut se faire selon plusieurs méthodes, dont nous présenterons ici les deux plus répandues :

- l'**approche statistique** d'après les seules valeurs radiométriques du pixel, qui débouche sur de nombreux procédés de seuillage et de classification ;
- **les autres approches** qui prennent en compte non seulement la radiométrie individuelle d'un pixel mais également celle des pixels de son voisinage immédiat ou ailleurs dans l'image.

1. Les traitements statistiques

Nous avons vu qu'à un pixel est associé autant de valeurs radiométriques que le satellite a de canaux. Ainsi on peut représenter un pixel d'une image SPOT XS (trois canaux) dans un espace à trois dimensions (**figure 5**).

Chaque pixel a un point représentatif dans cet espace des radiométries et une image constitue donc un nuage de points, sur lequel on peut appliquer divers traitements : tous consistent à isoler des portions du nuage (ou classes) et à identifier sur l'image les pixels correspondants.

• Seuillage d'un histogramme monodimensionnel

A partir de l'histogramme d'un seul canal, cette technique consiste à ne retenir que les pixels dont la radiométrie est comprise entre deux valeurs. Bien que très sommaire, elle permet cependant dans certains cas de séparer certains thèmes bien caractéristiques, ces thèmes se traduisant souvent sur l'histogramme par la présence de plusieurs «bosses». L'exemple classique est celui de la mise en évidence des pixels en eau dans le canal du proche infrarouge (**figure 6**).

• Classifications

Les classifications consistent à découper le nuage de points en cubes, en sphères ou en ellipsoïdes, chacun regroupant les éléments de l'image appartenant à la même classe. Le but de l'opération consiste à réaliser le découpage optimal.

Lorsque les cubes ou les sphères se recoupent, l'affectation du pixel à classer à l'un ou à l'autre se fait par des calculs plus ou moins complexes dont le plus simple consiste à comparer les distances du point considéré au centre des deux cubes ou sphères.

Les méthodes de classification se divisent en 2 grands groupes : les méthodes supervisées et les méthodes non supervisées.

Les méthodes non supervisées ont été mises au point pour être utilisées lorsque l'on ne dispose pas d'information *a priori* sur la zone. Le traitement regroupe alors les pixels radiométriques semblables en un nombre de classes fixé au départ. Le thématicien intervient ensuite pour donner un nom à chacune des classes obtenues, ce qui n'est pas toujours facile.

C'est pourquoi, on préfère en général une **méthode supervisée**, où l'on dispose au départ d'échantillons dans l'image des différentes classes que l'on cherche à obtenir. La classification comportera alors les étapes suivantes :

- définition de la légende et obtention d'une carte comprenant des échantillons de chaque classe de la légende,
- délimitation de ces échantillons sur l'image numérique,
- extraction des paramètres statistiques des échantillons et des classes,
- vérification de la possibilité de réaliser la classification (matrice de confusion avec 2^e jeu d'échantillons) et éventuelle modification de la légende,
- classification de toute l'image,
- édition de la carte obtenue.

• Utilisation d'opérateurs non linéaires et recherche d'indices

Ces traitements, qui peuvent être également classés comme méthodes de compression des données, sont issus de l'analyse de la physique des phénomènes. Les images résultantes ont une signification concrète. L'examen des réponses obtenues dans les canaux du rouge et du proche infrarouge ont conduit à la définition de deux indices : l'indice de végétation et l'indice de brillance.

– **L'indice de végétation** est lié à l'activité du couvert végétal : les pigments foliaires absorbent fortement le rayonnement dans le rouge (R) alors que le parenchyme lacuneux réfléchit une grande partie du rayonnement proche infrarouge (PIR). Ainsi en phase de développement d'un couvert, la biomasse et les quantités de pigments augmentent, ce qui entraîne une hausse dans le proche infrarouge et une baisse dans le rouge. L'inverse se produit en fin de cycle végétatif. Plusieurs indices, proportionnels à une activité chlorophyllienne active; ont ainsi été mis au point parmi lesquels un des plus connus est :

$$NDVI = (PIR - R)/(PIR + R) \text{ dont les valeurs varient entre } -1 \text{ et } +1$$

(NDVI pour : *Normalized Difference Vegetation Index*)

– **L'indice de brillance** traduit pour sa part les changements de teintes des sols nus et des roches. Le passage des teintes sombres aux teintes claires s'accompagne d'une augmentation simultanée des valeurs radiométriques dans les deux canaux. Cet axe communément appelé «droite des sols» sera représenté physiquement par l'indice de brillance :

$$IB^2 = PIR^2 + R^2$$

Cet indice varie aussi de manière inversement proportionnelle avec l'humidité et la rugosité du sol.

• Apport de la thématique

L'apport de la connaissance du milieu peut se faire à différents niveaux :

- dans le cas d'un inventaire des cultures, le suivi radiométrique dans le temps des différentes cultures à l'aide d'un appareil portable permet de déterminer les meilleures dates d'acquisition des images satellites pour une séparabilité optimale.
- en phase de classification, les caractéristiques statistiques des différentes classes peuvent être déterminées d'après la radiométrie de zones d'entraînement isolées sur l'image et identifiées sur le terrain. La «supervision» du processus peut continuer par la modification des classes initiales (changement des paramètres statistiques, suppression ou fusion de ces classes) ou la création de nouvelles classes afin d'arriver à une cartographie thématique représentative.
- la validité du résultat final peut être évaluée à l'aide de zones de contrôle qui n'ont pas servi à la définition préalable des classes.
- la segmentation préliminaire de l'image en zones géographiques homogènes peut être souvent nécessaire pour permettre par la suite une classification cohérente.

2. Les autres traitements

• Avec l'apparition des satellites à haute résolution (SPOT, Landsat TM), la notion de texture joue un rôle de plus en plus important en analyse d'images. La texture correspond à un aspect local particulier tel que le moutonnement du couvert forestier. Certains critères de texture servent parfois à améliorer des processus de classification.

• des opérateurs mathématiques, encore appelés «filtres», permettent d'éliminer un bruit particulier sur l'image, de réhausser ou au contraire d'atténuer les contrastes locaux, d'accroître ou de faire disparaître tel ou tel thème dans une image classée, de segmenter automatiquement une image en zones homogènes.

• d'autres algorithmes sont utilisés pour extraire des formes caractéristiques dans l'image (réseau linéaire tel que les routes ou les cours d'eau par exemple). On rentre ici dans le domaine de la morphologie mathématique.

L'utilisation de ces techniques est encore récente en télédétection et elles font l'objet de nombreux travaux de recherche.

3. Les tendances actuelles

Le fait le plus marquant, mis à part les essais d'utilisation de résultats des recherches en morphologie mathématique (reconnaissance de formes), réside dans les efforts qui sont faits pour coupler les données satellitaires avec des données exogènes stockées sous forme numérique. On parle d'intégration des images satellitaires dans les systèmes d'informations géographiques ou SIG (en anglais, *Geographic Information System* ou *GIS*).

Les intérêts sont nombreux en télédétection : on peut par exemple segmenter automatiquement l'image satellitaire si les limites recherchées (zones administratives, agro-climatiques, etc.) sont déjà stockées dans le SIG. On peut également introduire des critères de décision supplémentaires dans les processus de classification de l'image pour améliorer la thématique finale. C'est le cas par exemple de la prise en compte de critères tels que l'altitude, l'exposition, le type de sol lors d'une étude d'inventaire de cultures.

VI. – Les systèmes de traitement d'images

Alors qu'auparavant les procédures de traitement numérique n'étaient accessibles que sur matériels spécialisés (donc chers) ou sur moyens ou gros systèmes informatiques, les progrès récents de la microinformatique en termes de capacité de calcul et de stockage de données ont permis l'apparition sur le marché de logiciels de traitement d'image (CARTO PC, CHIPS, DIDACTIM, ERDAS, MULTISCOPE, etc.) pilotables par des micro-ordinateurs standard compatibles PC.

La principale conséquence est une diminution très sensible des coûts d'une station complète de traitements d'images (micro-ordinateur + périphériques + logiciels) ; ils varient actuellement entre 150 000 F et 300 000 F selon la configuration choisie.

Apparus dans un premier temps dans les organismes de recherche ou de formation, ces matériels équipent actuellement les bureaux d'étude et même certains utilisateurs finaux. En collaboration avec ces utilisateurs, les fabricants des logiciels commencent à développer des algorithmes spécifiques à telle ou telle application (cartes d'occupation du sol, extraction automatique des zones urbaines, etc.).

Les années qui viennent verront donc, à la suite d'un effort de formation et d'équipement des utilisateurs et de la mise au point de nouvelles applications, l'intégration plus poussée de la télédétection dans les outils d'aide à la décision.



Figure 1 : Structure d'une image numérique monospectrale de télédétection

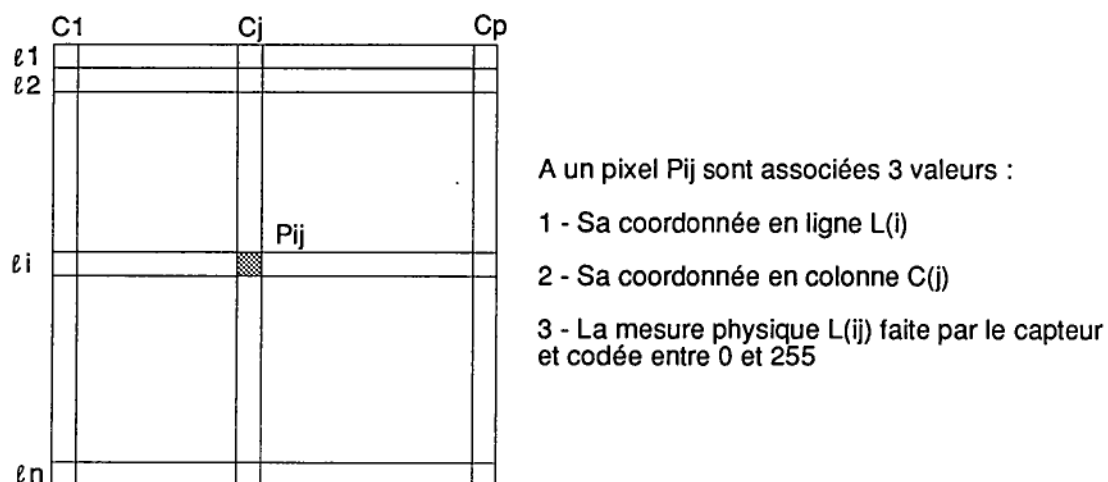


Figure 2 : Structure d'une image numérique multispectrale de télédétection

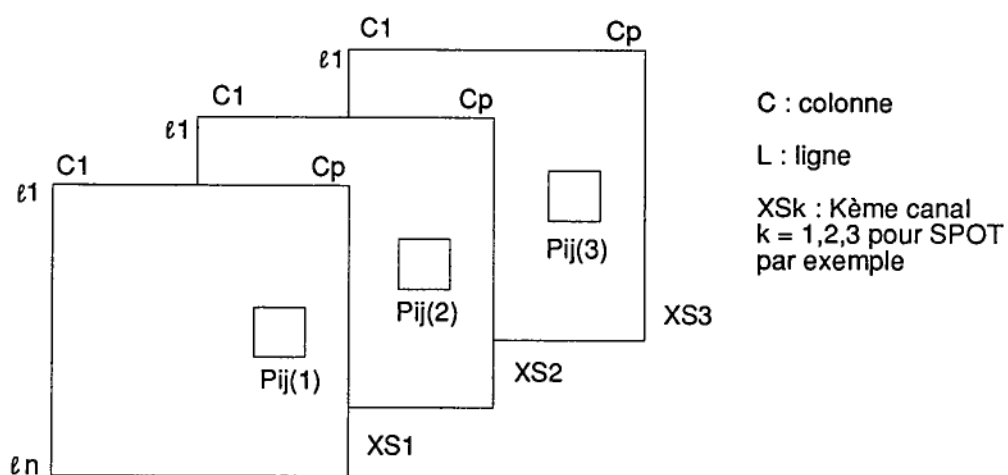


Figure 3 : Histogramme des valeurs numériques d'un canal

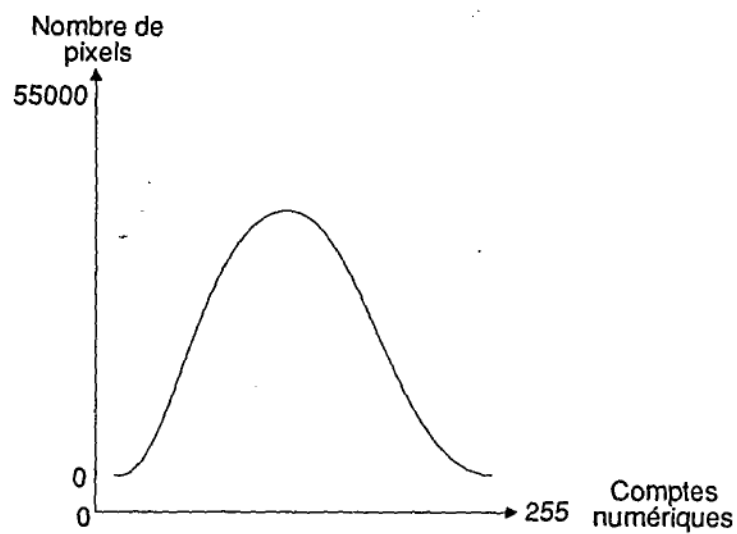


Figure 4 : Signatures spectrales de divers éléments

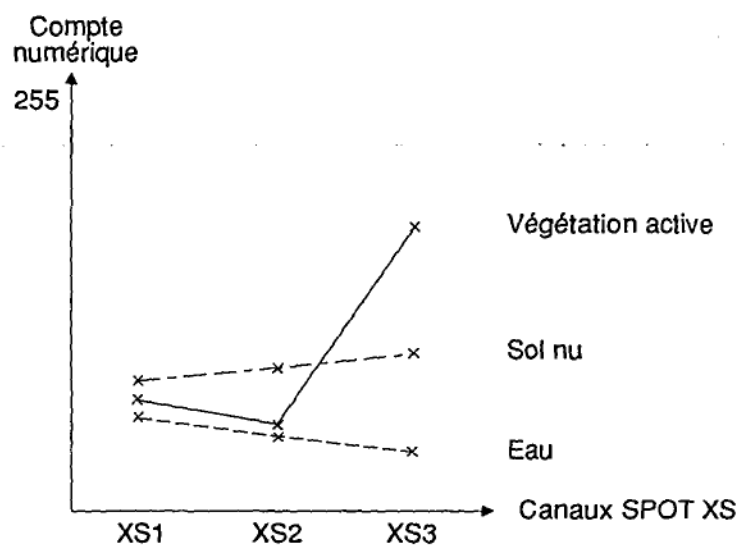


Figure 5 : Visualisation d'un pixel d'une image SPOT XS dans l'espace des radiométries

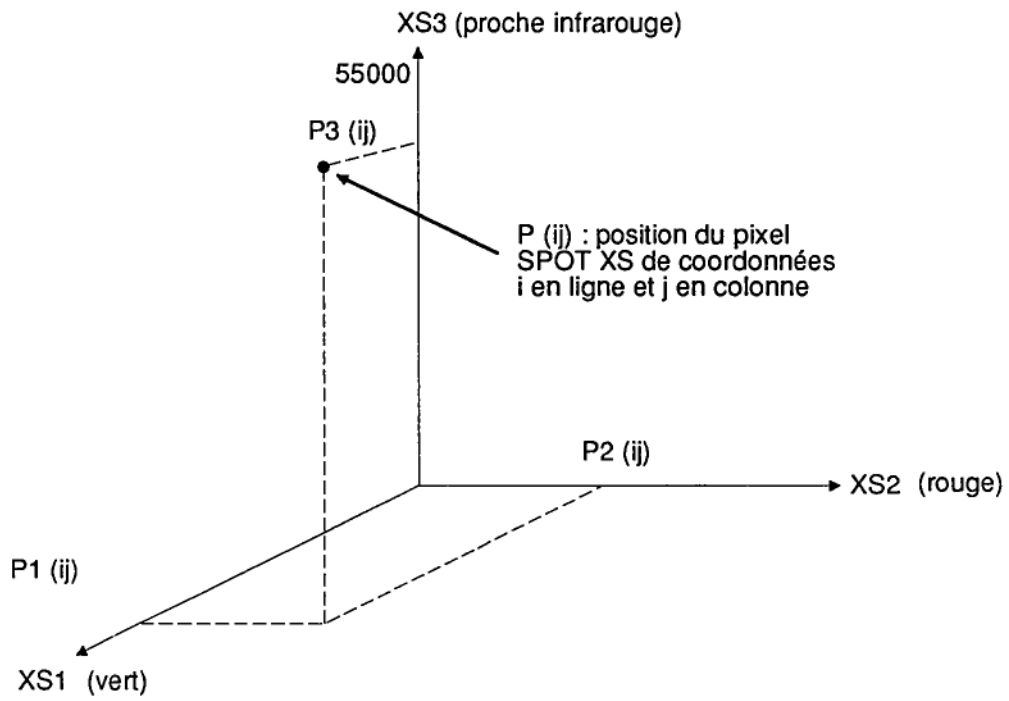
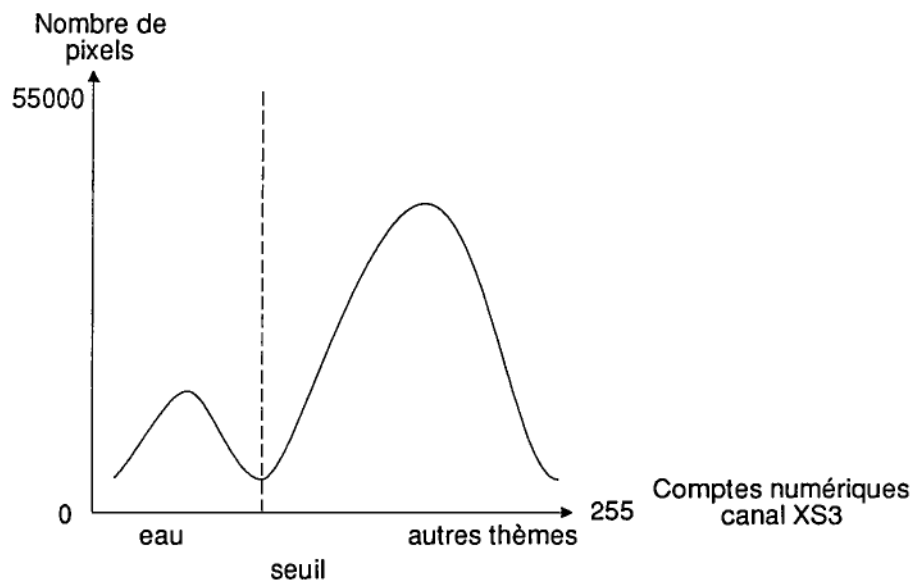


Figure 6 : Caractérisation de l'eau par seuillage du canal proche infrarouge (XS3)



Remote sensing imagery and its contents

Michel DESHAYES, Pierre MAUREL
Laboratoire Commun de Télédétection
CEMAGREF-ENGREF, Montpellier (France)

Abstract: This paper is designed to give an overview of remote sensing imagery, the kind of information that it contains, and the techniques needed to use it. Given the breadth of the subject, we have limited this paper to the digital analysis of satellite imagery. Fields such as aerial photography and photo interpretation are not covered.

I. – Structure of digital remote sensing imagery

The main difference between aerial photographs and radiometer-generated satellite images is that the latter are based on two types of information sampling:

- **spatial sampling:** the zone under observation is broken down into elementary surfaces or pixels, whose size is determined by the resolution power of the satellite;
- **digital sampling:** the analog signal recorded by the detectors is coded with integers between 0 and 225.

A digitized image is thus a two-dimensional array (**Figure 1**). A SPOT image of 60 × 60 km with a pixel size of 20 × 20 m corresponds to a picture of 3000 lines × 3000 columns. In order to obtain different information, the sensors are multispectral: they use several wavelength bands to observe the Earth.

A multispectral image thus includes several pictures, each one corresponding to a satellite band (**Figure 2**). A multispectral SPOT image, for example, consists of three superimposed pictures and each pixel is associated with three radiometric values between 0 and 255.

The distribution of digital values of all the pixels of an image can thus be visualized through a histogram. In the case of a single band, the histogram represents the frequency of each of the values obtained in this band (**Figure 3**). In certain cases, a bidimensional histogram based on two main bands of an image is used.

II. – Parameters influencing the contents of remote sensing imagery

The contents of remote sensing imagery are strongly linked to certain parameters determined by the characteristics of the satellite.

1. Image definition

The size of subjects studied must be much larger than that of the pixels, which explains the importance of the spatial resolution of the satellite. For crop inventories, areas with an average field size of 1 ha cannot be studied with Landsat MSS (pixel size 0.5 ha).

2. Available bands

The radiometric values of a pixel depend on its optical properties. In the case of a pixel of vegetation, the response in visible bands (green and red for SPOT) is determined by the leaf pigment content, in the near infrared (NIR) band by leaf structure, and in the medium infrared (MIR) by water content. Each band provides specific information on the nature of the body observed. A pixel is characterized by its radiometric values in different bands, which constitute its spectral signature (**Figure 4**). Different types of pixels may at certain periods have similar spectral signatures. This sometimes occurs for soybean and maize crops, in which case it is important to use images taken on carefully selected dates.

3. Date of image acquisition

The date of image acquisition should be related to the subject at hand and this requires good field experience. The date is particularly important when working with rapidly changing subjects, such as agricultural crops. In France, for example, a spring image will contain useful information on barley, wheat, rapeseed, etc., and an image recorded in the fall will provide better information on crops such as maize, sunflower, soybean, etc. In most cases, it is even necessary to have two images taken on different dates to distinguish between certain crops.

The revisit capability of a satellite is therefore of significant importance: every 16 days for Landsat TM and less than 3 days for SPOT due to its side-viewing capability.

III. – Processing of satellite data

The methods used to extract useful information from recorded data vary according to the available infrastructure. An image can be reconstituted pixel by pixel on a photographic medium or kept in its digital form on magnetic tapes or disks. The paper prints are analyzed using photo interpretation techniques while digital data are processed with computer support using special software.

1. Photo interpretation

We will not deal here with the principles of photo interpretation, as this technique has been commonly used for aerial photographs. It continues to be widely used in the interpretation of satellite imagery, for which it has certain advantages.

An experienced analyst with knowledge of the subject and terrain can interpret an image with its different aspects on the basis of color, tone, shape, structure, and relative position of its components, and by eliminating noise (undesirable data). The analyst also draws on past experience to consider general information on geology, pedology, climatology, etc., not contained on the image. The quality of the interpretation of such images thus depends first and foremost on the competence of the analyst. Area estimation for different crops or formations, however, remains a long and tedious task when precision is needed.

In general, photo interpretation procedures are difficult to standardize and need to be adapted to each image. There is, however, growing interest in computer-assisted photo interpretation.

2. Processing of digital data

Numerous photo interpretation operations can also be carried out by computer processing, which often facilitates the work.

- **Better visualization.** A look-up table enables visualization of data on a color screen. The user can modify the transformation to obtain the best contrast. A single or several bands can be visualized either in black and white or in color.

- **Printing flexibility.** The same flexibility exists for printing raw data or results on paper.

- **Mapping possibilities.** Once computer processing is made operational, it is much quicker and easier than photo interpretation. Three major techniques can be used for computer processing:

- **Geometric correction** makes the recorded image identical to conventional maps. The procedure is much easier with computer techniques than with photographic techniques. This type of processing is also necessary for multirate analysis and image mosaicking.

- **Multirate analysis**, designed to compare two images taken on different dates, requires that both images have the same geometry, which explains the need for geometric correction on one (or both) of the images so that they can be overlaid or compared with a map. When a study site is split between two images, they are then fused together, another reason for the importance of geometric correction techniques.

- **Classifications** consist in grouping image pixels in a certain number of classes and visualizing the result after having given each class its own color.

- **Surface estimates.** Once a classification has been defined, the number of pixels in each class is counted. This number is multiplied by the basic pixel size (0.04 ha for SPOT) to obtain the surface area covered by each class in the image.

- **Dimension reduction.** Landsat TM provides six radiometric values per pixel – the thermal band is not considered – which makes subsequent analyses particularly long and difficult as only three bands can be visualized simultaneously (one each for the three primary colors: red, green, blue). Computer processing using data analysis techniques enables all the information to be compressed into fewer (two or three) bands.

IV. – Digital preprocessing

A distinction is normally made between preliminary processing to obtain optimum presentation of the data and interpretation and evaluation of the data and results.

1. Preprocessing

- **Radiometric correction.** Radiometric corrections enable the reduction of distortions caused by the sensors and atmospheric conditions. For multitemporal studies, radiometric values obtained on different dates (different solar conditions) are standardized for proper comparison of the images. Reference features are selected for radiometric correction; they are objects on the ground whose radiometry does not change or whose variations are known. In data production, such preprocessing is generally done before final use.

- **Geometric correction.** Geometric correction is designed to rectify systematic image distortions caused by the sensing process (earth ellipsoid, satellite movements, flight path variations, sensing technology) so that the images can be overlaid on a map. Such corrections are made either on the basis of the orbit and altitude parameters recorded during the overpass or on the basis of distortion laws, to ensure that the image conforms to an accepted cartographic projection (e.g. UTM or extended Lambert II). The distortion laws are calculated on the basis of ground control points, whose coordinates are known both on the ground and image (road and railroad intersections, etc.). In some cases, it is not necessary to start with geometric correction as it may be more economical to undertake this expensive procedure only for the final image which is made up of only one band.

2. Methods for improving image contrast and data compression

In general, these methods improve data presentation before actual processing.

- **Contrast stretching.** For a single band visualized in a gray scale the data are normally coded from 0 to 255 (0 for the absence of light and 255 for maximum light). The simplest method involves visualization of the 0 – value pixels in black, 255 – value pixels in white, and those of intermediate value in corresponding intermediate gray levels.

In reality, however, the entire range of tones is rarely used. In certain cases, the range actually recorded in an image can be very narrow with values between 40 and 80, which results in a poor image with few details.

With a computer the data can be reprocessed to transform the original 40 value into 0 on the new image (replacing dark gray by black) and the original 80 value into 255 (replacing light gray by white). The intermediate values between 40 and 80 are redistributed linearly between 0 and 255. The new image thus has more contrast and detail. This is called contrast stretching.

Furthermore, information located in a specific value range is thus given special treatment. There are more complicated methods than simple linear stretching to achieve such results.

- **Histogram equalization.** This technique aims to improve image contrast and data compression for an optimum analysis of the image. For example, the number of gray tones can be reduced from 255 to 5 and redistributed so that each tone has about the same number of representatives in the image. The number of different levels is therefore increased for areas with information.

- **Principal component analysis (PCA).** This technique aims to summarize information in the original bands (e.g. the 6 Landsat TM bands) into a smaller number of new bands (2 or 3). It defines the new bands and arranges them so that the first one contains the most information. Given the existence of correlations between the different bands of an image, the selection of the first three bands results in only a minor loss of information.

V. – Processing

Information can be extracted in several ways, but the most common methods are:

- **Statistical approach.** It is exclusively based on the radiometric value of the pixel and involves numerous density slicing and classification methods.

- **Other analyses.** These analyses are not confined to pixel-by-pixel classification; they also consider information contained in neighboring pixels or in the rest of the image.

1. Statistical processing

A pixel is attributed as many radiometric values as there are satellite bands. A pixel of a SPOT XS image (3 bands) can thus be represented in three dimensions (**Figure 5**). Each pixel has a representative point in this radiometric space. An image is made up of a cloud of points that can be processed in various ways. The basic method is to isolate parts of the cloud (or classes) and identify the corresponding pixels on the image.

• Density slicing

Based on the histogram of a single band, this technique consists in retaining only those pixels whose radiometry is between two values. Although it is very simple, it can separate some characteristic themes which often show up on the histogram as "bumps." The most common example is the separation of pixels of water in the near infrared band of the XS3 SPOT image (Figure 6).

• Classifications

Classifications consist in dividing the cloud of points into cubes, spheres or ellipsoids, each of which groups image elements from the same class to produce an optimum division.

When the cubes or spheres overlap, the assignment of a pixel to a particular class is determined by calculation. The simplest calculation is the comparison of distances between the representative point considered and the centers of the two overlapping cubes or spheres.

Classification methods can be divided into two main groups: supervised and nonsupervised methods. **Nonsupervised methods** were developed for situations where no field information is available on the zone. They consist in regrouping similar radiometric pixels into a fixed number of classes. The analyst can then give a name to each of the classes, which is not always easy. This explains why, in general, **supervised methods** are preferred when reference samples of the different classes to be identified can be located on the image. Supervised classification includes the following steps:

- definition of the legend and establishment of a map with samples for each class of the legend;
- location of the samples on the digital image;
- extraction of statistical parameters related to the samples and classes;
- verification of classification accuracy (confusion matrix using a second series of samples) and modification of the legend;
- classification of the entire image;
- printing of the map.

• Use of nonlinear operators and indices

These processing methods, which can also be considered as data compression methods, are derived from the analysis of physical phenomena. The resulting images have a concrete significance. The examination of the responses obtained in the red and near infrared bands leads to the definition of two indices:

– The **vegetation index** is linked to the activity of the vegetation cover. Leaf pigment strongly absorbs radiation in the red (R) wavelength, while lacunose parenchyma reflects a large part of near-infrared (NIR) radiation. Thus, during the vegetation development growth phase, biomass and pigment development result in an increase in near infrared and a decrease in red radiation. The contrary occurs at the end of the growing cycle. Several indices, proportional to chlorophyll activity, have thus been developed. One of the most common is the normalized difference vegetation index (NDVI):

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

where the values vary between -1 and +1.

– The **brilliance index (BI)** reflects changes in the color of exposed soil and rocks: the change from dark to light tones is accompanied by a simultaneous increase in radiometric values in both bands. This axis, commonly called "soil axis," can be represented physically by the brilliance index:

$$BI = NIR^2 + R^2$$

The index also varies in inverse proportion to soil moisture and roughness.

• Thematic input

Thematic information on the area is used in different ways:

- for crop inventories, radiometric monitoring of different crops with the help of a portable device enables the determination of the best image acquisition dates to enable optimum analysis
- in the classification phase, the statistical characteristics of different classes can be determined by the radiometry of training zones isolated on the image and located in the field. "Supervision" of the process can be extended with the modification of the initial classes (changing the statistical parameters, eliminating or combining classes) or the creation of new classes in order to develop a representative thematic map
- for the final result validity is evaluated by using control zones which were not previously used for defining the classes
- preliminary breakdown of the image into homogeneous geographic zones to develop an accurate classification

2. Other analyses

Other types of analyses are required to study the relationship of a pixel to its context:

- With the appearance of high-resolution satellites (SPOT, Landsat TM), texture plays an increasing role in image analysis. Texture corresponds to a specific local aspect such as the patchwork pattern of tone of a forest canopy. Certain texture criteria are sometimes used in the classification process.
- Mathematical operators, called "filters," are used to eliminate specific noise from an image, to increase or decrease local contrast, to highlight or remove a specific theme from a classified image, and to automatically segment an image into homogeneous zones.
- Other algorithms are used to identify characteristic forms in the image (e.g. linear networks such as highways or watercourses). They are related to mathematical morphology.

The use of these techniques for remote sensing is still recent and further research is required.

3. Current trends

In addition to attempts to adapt mathematical morphology research results, efforts are made to link satellite data with other digital data. This should result in the integration of satellite image data into **geographic information systems** (GIS).

Such integration offers several advantages. For example, satellite imagery can be automatically segmented if the desired limits (administration zones, agroclimatic regions, etc.) are already stored in the GIS database. Supplementary decision-making criteria can also be introduced in the image classification process to improve the legend. For example, criteria such as altitude, exposure, and soil type can be introduced for a crop inventory.

VI. – Image processing systems

In the past, digital processing systems were only available on specialized—and thus expensive—equipment or mainframes. The recent microcomputer revolution has greatly enhanced calculation capacity and data storage and led to the marketing of image processing software (CARTO PC, CHIPS, DIDACTIM, ERDAS, MULTISCOPE, etc.) that can be used with standard IBM-compatible microcomputers.

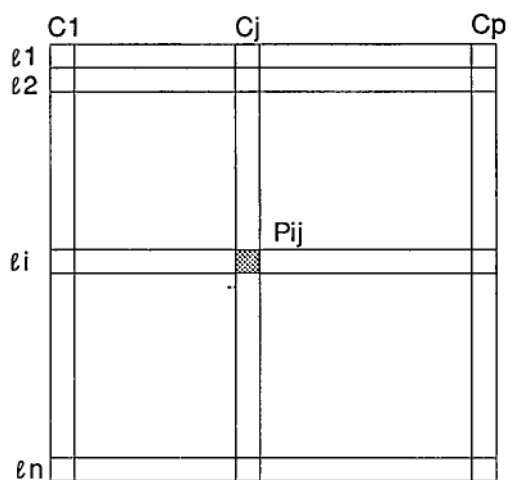
The main consequence has been a sharp drop in the cost of a complete image processing system (microcomputer, peripherals, software), which now varies between Fr150 000 and Fr300 000 according to the selected configuration.

First used in research or training organizations, such equipment is now found in consulting companies and even with certain end users. Software manufacturers are developing software packages for specific applications (land use maps, automatic identification of urban areas, etc.) in collaboration with users.

With the spread of image processing systems and user training, the future will no doubt see the development of new applications and increased integration of remote sensing as a decision-making tool.



Figure 1. Structure of a remotely sensed monospectral digitized image.



A pixel P_{ij} is attributed three values :

- 1 - line coordinate $L(i)$
- 2 - column coordinate $C(j)$
- 3 - physical measure $L(ij)$ determined by sensor and coded between 0 and 255.

Figure 2. Structure of a remotely sensed multispectral digitized image.

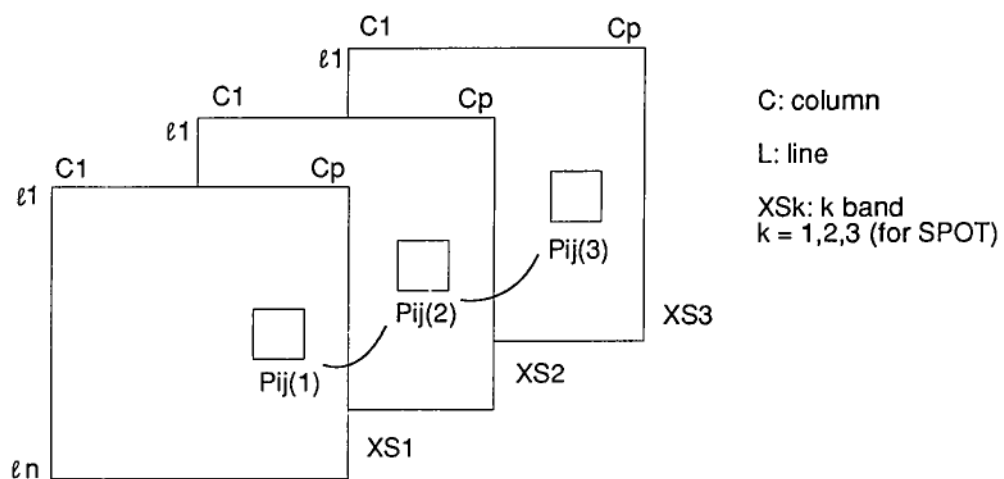


Figure 3. Histogram of digital values of a single band.

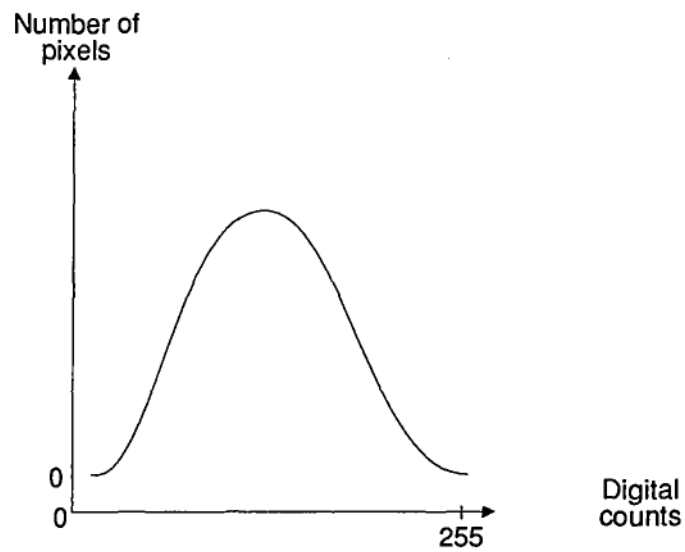


Figure 4. Spectral signatures of different features.

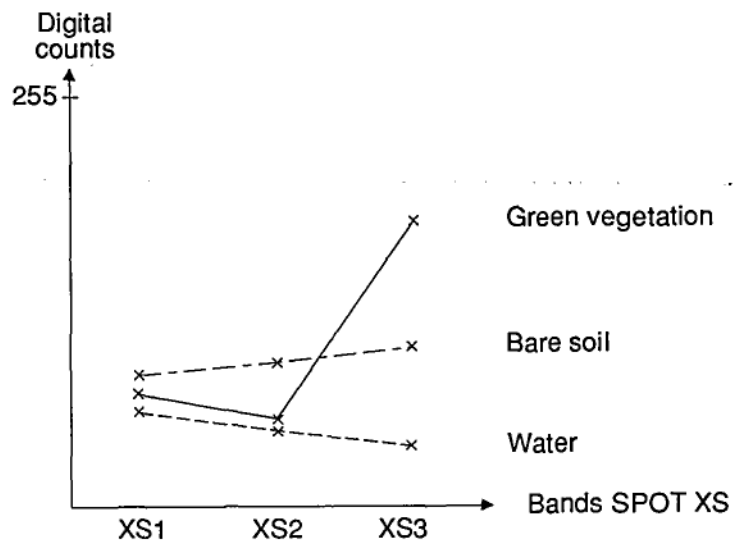


Figure 5. A pixel from a SPOT XS image in relation to the radiometric space.

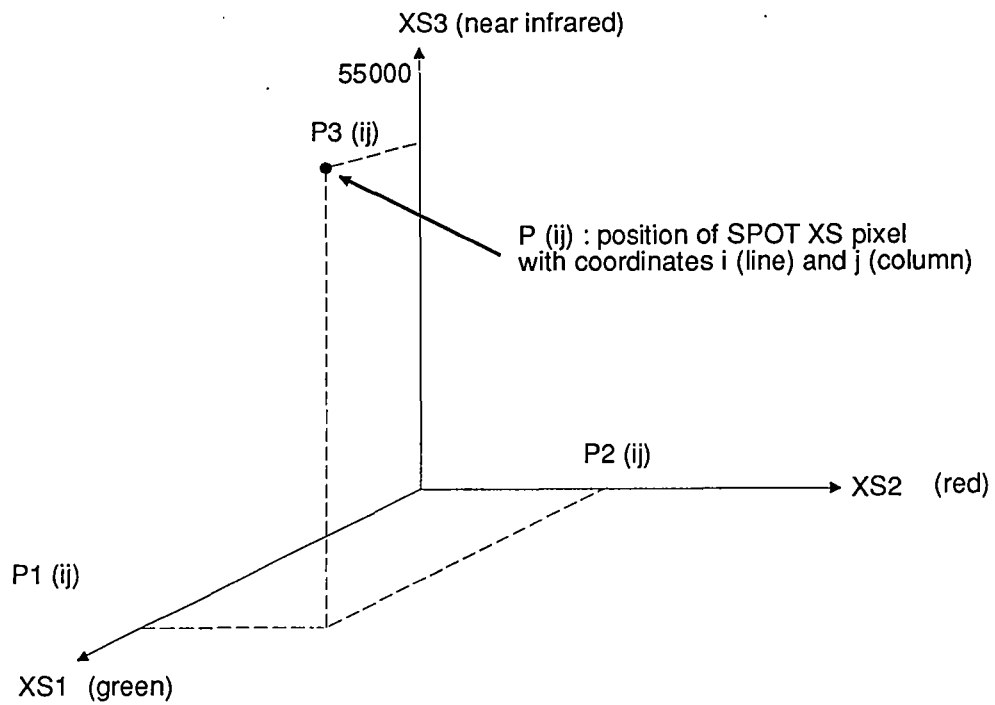
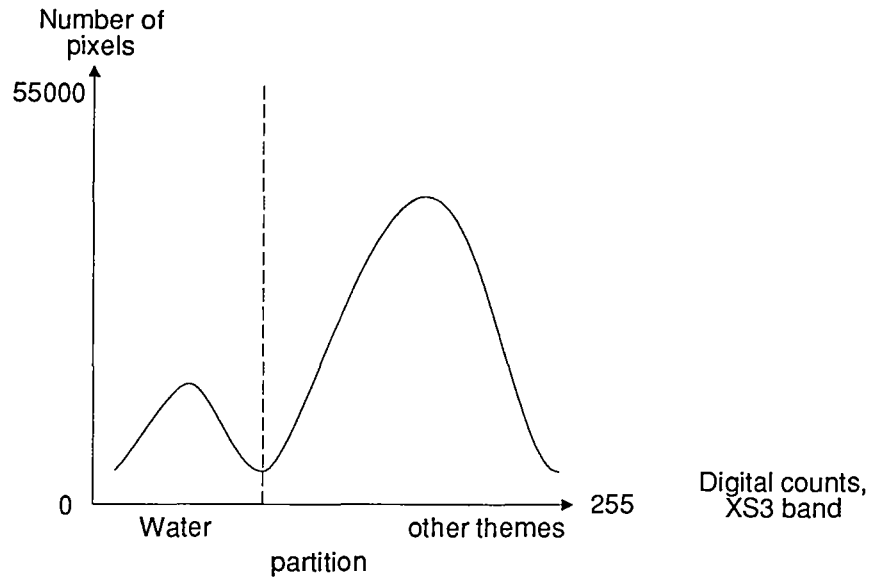


Figure 6. Characterization of water by histogram slicing of the near infrared band (XS3).



Les systèmes spatiaux d'observation de la terre

Jean-Claude CAZAUX
Scot Conseil, Toulouse (France)

Résumé : Cet article présente les principales caractéristiques des systèmes spatiaux d'observation de la terre.

Nés en 1960, à une époque où la photographie est en plein développement, les satellites d'observation de la terre ont franchi de nouvelles étapes en 1972 avec le lancement de Landsat 1 et au milieu des années 80 avec ceux de Landsat 4 et 5 et de SPOT.

Parmi ces satellites, il faut distinguer les satellites géostationnaires, tel Meteosat, à fréquence de prise de vue élevée mais à faible résolution, des satellites à défilement, dont les orbites plus basses sont héliosynchrones, ce qui conjugué avec une répétitivité de 15 à 30 jours offre de nombreux avantages.

La technologie des capteurs a beaucoup évolué. Les longueurs d'onde du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge thermique sont explorées avec une résolution au sol qui s'améliore. Les résolutions spectrales et radiométriques s'améliorent aussi.

Toutes ces améliorations nous donnent maintenant des données de plus en plus précises et fiables sur de plus grandes surfaces avec des répétitivités plus fortes. Elles permettent déjà le contrôle de la gestion des ressources naturelles avec des garanties de continuité de service.

Abstract

Earth observation satellite systems

This paper presents the main characteristics of Earth observation satellite systems.

They were launched in 1960 when aerial photography became fully operational. Observation satellites entered a new era with the launching of Landsat 1 in 1972. That of Landsat 4 and 5, and SPOT satellites in the mid-1980s marks another phase.

Geostationary satellites such as Meteosat have a high image acquisition frequency but a low resolution. Polar orbiting satellites in lower, heliosynchronous orbits, with a revisit capability of 15-30 days offer a distinct advantage for observation.

Sensor technology has evolved considerably. Wavelengths of the visible, near-infrared, and thermal infrared bands are explored with greater ground resolution. Spectral and radiometric resolutions have also increased.

These improvements have led to more accurate and reliable results; larger areas can be covered with greater frequency. They guarantee continuous information acquisition for the natural resource management.

I. – Introduction

La télédétection a une longue histoire où cinq phases peuvent être identifiées.

– Avant 1925

Les premières photographies prises depuis les airs à l'aide de pigeons «embarquant» des appareils photographiques ont été réalisées dans les dernières années du XIX^e siècle. Des photographies aériennes prises depuis des ballons et des avions montrent ensuite la valeur des vues aériennes du sol, valeur très exploitée durant la 1^{ère} guerre mondiale.

— Entre 1925 et 1945

Les améliorations techniques de la photographie aérienne permettent l'élargissement des applications en particulier dans le domaine de la cartographie topographique avec les images stéréoscopiques.

— Entre 1945 et 1960

La photographie aérienne est en plein développement et les explications débordent la topographie, apportant de nombreuses informations en géologie, agriculture, forêt, archéologie...

Cette période correspond à la réalisation de couverture aérienne de nombreux pays en voie de développement.

— Entre 1960 et 1972

C'est la naissance des satellites de télédétection avec caméras et capteurs relativement primitifs. Ces années correspondent au développement des satellites météorologiques.

Cette période correspond à la mise en place d'un système mondial d'observation météorologique, avec l'investigation d'autres parties du spectre, en particulier l'infrarouge thermique, celles attachées à l'observation photographique.

— Enfin entre 1972 et 1989

A ces années correspond la maturité de la technologie et des systèmes d'observation de la Terre avec le développement de la haute résolution spatiale, l'acquisition et distribution opérationnelle et l'expérimentation de nouveaux capteurs dans une variété de bandes spectrales.

La période commence avec le lancement de Landsat en 1972 et dans le milieu des années 1980 ce programme est devenu opérationnel ; c'est également la période du lancement du premier satellite opérationnel français SPOT.

Dans l'exposé qui suit nous nous limiterons aux deux dernières périodes évoquées, en gardant toutefois en mémoire l'importance de la complémentarité apportée par la photographie aérienne. Nous décrirons en premier les grandes familles de satellites de manière relativement exhaustive mais en mettant un accent sur les 4 programmes les plus importants Meteosat, Série NOAA, Landsat et SPOT.

Nous terminerons en dégagant les orientations pour la période devant nous conduire à la fin du siècle.

II. – Les grandes familles de satellites

Selon leur mission propre, les satellites ont des caractéristiques bien différentes. Ils se répartissent en plusieurs catégories dont la naissance s'échelonne d'avril 1960 (lancement de «Transit 1», premier engin spatial pour la navigation) et juillet 1962 («Telstar», premier satellite de communication) à juillet 1972 («Landsat 1», considéré comme le premier satellite opérationnel d'observation de la terre).

A noter que, durant cette période, et surtout depuis, on ne compte plus les engins qui ont été lancés dans l'espace. Plusieurs centaines gravitent autour de notre planète, cependant que d'autres voyagent dans le cosmos, telles les sondes parties vers Mars, Mercure, Vénus, sans oublier le premier vol habité autour de la Terre avec Youri Gagarine en 1961 et l'arrivée de l'homme sur la Lune en 1969 avec les américains Neil Armstrong et Edwin Aldrin.

Les satellites artificiels de la Terre peuvent être classés selon leur vocation : nous nous intéresserons à ceux chargés de l'observation des ressources terrestres (Landsat, SPOT) et à ceux dont le but est l'environnement et la météorologie (Meteosat, NOAA). C'est en effet pour la météorologie qu'ont d'abord été utilisés les satellites d'observation : satellites à défilement jusqu'en 1966, auxquels se sont joints ensuite les satellites géostationnaires.

On doit, en outre, distinguer les satellites d'après leurs caractères astronomiques car ceux-ci influent sur leurs facultés d'observation, lesquelles dépendent des divers types de capteurs embarqués à leur bord.

Deux grandes catégories de satellites artificiels de la Terre correspondent à des caractéristiques astronomiques différentes :

- ☐ les satellites géostationnaires,
- ☐ les satellites à orbite polaire ou à défilement.

III. – Les satellites géostationnaires

Les satellites géostationnaires apparaissent comme immobiles au-dessus d'un point de la Terre. Pour cela, ils doivent avoir une vitesse angulaire égale à celle de la rotation de la Terre et décrire dans le même sens une orbite circulaire dans un plan équatorial. Ils font donc un grand cercle chaque jour. Ces caractères imposent leur altitude d'environ 36 000 km. Ils déterminent aussi le champ de vision potentiel. Depuis le satellite, notre planète est vue à l'intérieur d'un cône d'environ 17° d'angle au sommet.

On peut observer en permanence une même partie du globe terrestre, laquelle représente 42 % de la surface totale. Le système de projection qui en résulte donne des images de plus en plus déformées lorsqu'on se déplace du nadir, c'est-à-dire de la projection verticale du satellite sur la terre, vers le pourtour de la zone observable. Aucune observation des régions polaires n'est possible par ces dispositifs.

A partir d'un satellite géostationnaire, il est possible d'effectuer de fréquentes mesures. Cette répétitivité des observations est précieuse ; elle permet un suivi poussé de l'évolution de la situation atmosphérique. Par contre, le point élémentaire (*picture element* ou pixel) au centre de l'image, est un grand carré de quelques kilomètres de côté. La superficie et la forme de ce «point» se dégradent progressivement lorsqu'on se rapproche de l'horizon.

Enfin, comme on le verra un peu plus loin, la sensibilité des radiomètres (capteurs) installés à bord de ces satellites, très éloignés de la Terre, ne permet pas non plus une bonne résolution spectrale, c'est-à-dire une mesure fine du rayonnement électromagnétique en provenance des multiples points composant les scènes observées.

Les satellites géostationnaires ou géosynchrones sont en général utilisés pour les communications et la météorologie. Il est utile de noter que, se trouvant toujours à la verticale du même point de la Terre, ils observent celle-ci selon le rythme quotidien, une partie de jour, une partie de nuit, tantôt éclairée, tantôt dans l'obscurité.

Le programme de recherches sur l'atmosphère GARP (*Global Atmospheric Research Programme*) lancé au début des années 1970, avait pour but la mise en place de 5 satellites géostationnaires afin de réaliser une observation permanente de la plus grande partie du globe terrestre. A côté de deux satellites américains, d'un soviétique et d'un japonais, était prévu un européen : *Meteosat* pris en charge par l'Agence Spatiale Européenne. Leurs lancements ont été effectués entre 1974 et 1978. Celui lancé sur l'Océan Indien l'a été par les Etats-Unis et l'Europe et non pas par l'URSS. Il a été remplacé en 1986 par un satellite indien.

IV. – Les satellites à défilement

Les satellites à défilement (orbite polaire) à la différence des précédents, ne demeurent pas au-dessus du même point de la Terre, mais se déplacent à une vitesse d'environ 7 km/seconde par rapport à la surface terrestre qui défile au-dessous d'eux.

1. Les orbites

Afin d'observer correctement, ils sont lancés en général de façon à avoir une orbite circulaire ou très peu excentrique et à une altitude un peu inférieure à 1 000 km. Leur période, c'est-à-dire le temps nécessaire à l'accomplissement d'une révolution (un tour de Terre) est assez brève : en moyenne 1 h 40 et jusqu'à un peu moins de 2 heures.

L'inclinaison, c'est-à-dire l'angle que fait le plan dans lequel se meut le satellite avec celui de l'équateur terrestre, peut varier. Plus il est inférieur à 90° et moindre est la surface du globe couverte par

l'observation. Seuls les satellites dont l'orbite est inclinée à 90° , c'est-à-dire qui se déplacent dans un plan contenant l'axe des pôles perpendiculaires à l'équateur, peuvent survoler l'ensemble de la Terre. Ceux destinés à l'observation, et qui nous intéressent ici, ont une inclinaison comprise entre 98 et 102° .

Cette inclinaison et l'altitude commandent la précession des noeuds (intersections de la trajectoire du satellite avec le plan de l'équateur), c'est-à-dire le mouvement du plan de l'orbite autour de l'axe des pôles ; correctement conjugués, ils permettent d'obtenir des orbites héliosynchrones ou à ensoleillement constant. Celles-ci précessionnent dans le même sens et à la même vitesse angulaire que le mouvement du soleil moyen autour de la terre (un peu moins d'un degré par jour).

Ces orbites ont l'avantage de donner des passages du satellite à des heures constantes en temps civil local pour chacun des noeuds. Le décalage des heures de passage de part et d'autre de l'équateur ne dépend que de la latitude pour une inclinaison donnée. Lors des passages successifs du satellite au-dessus d'un lieu donné, l'éclairement est presque toujours semblable, la hauteur du soleil ne variant qu'en fonction de la saison et non de l'heure.

Etant donné la période de révolution des satellites qui nous intéressent (NOAA, Landsat, SPOT), en moyenne 1 h 40, le nombre de révolutions avoisine 14. Si l'on repère le passage au zénith d'un point équatorial à une certaine heure, les passages suivants vont être décalés à la verticale d'une succession d'autres points équidistants sur l'Equateur, vers l'ouest. Au bout de 24 heures, comme la circonférence terrestre n'est pas un multiple exact du décalage observé à chaque passage du satellite, celui-ci passera à proximité du lieu survolé la veille, mais avec un certain écart. Dans le cas de SPOT par exemple, le décalage était de 108,6 km vers l'ouest et ce n'est qu'après vingt-six jours, à la 370^{ème} révolution, qu'il y a coïncidence avec la trace initiale. Ce cycle de révolutions ou cycle orbital varie selon les caractères astronomiques des satellites. Cette régularité cyclique est très appréciée pour l'observation de la Terre.

Quant à l'aire instantanément visible d'un satellite à orbite polaire basse, elle est naturellement très réduite en étendue (6% de la surface terrestre) par rapport à celle des satellites géostationnaires (42 %). Elle est vue aussi sous un angle bien plus grand (122° au lieu de 17°). La détection est médiocre sur les côtes pour les satellites tels NOAA 9 ou 10, dont les capteurs balaient la quasi-totalité du champ, contrairement à ceux de Landsat 5 ou de Spot 1.

Cette notion d'aire apparente est très relative car l'aire utilisable n'est pas toujours explorée en totalité, beaucoup s'en faut. En fait, ce qui compte, c'est le champ des capteurs employés, comme on le verra en examinant les caractéristiques des satellites NOAA d'une part, Landsat et SPOT d'autre part, deux catégories fort différentes à cet égard (champ, pixel, etc.).

2. Les capteurs

Les capteurs sont les équipements placés à bord des satellites et grâce auxquels on obtient les données de base pour l'usage de la télédétection.

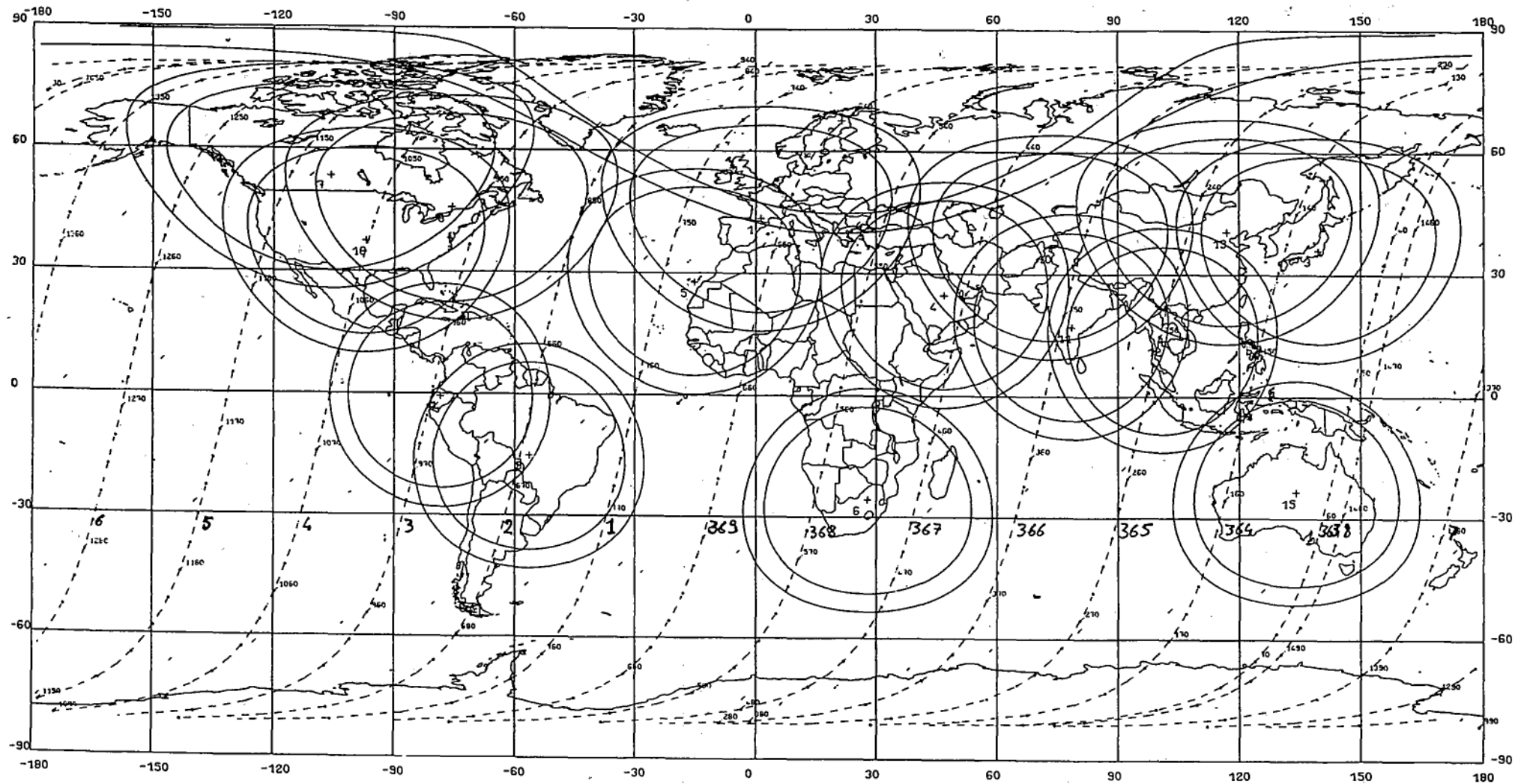
Avant de se pencher sur les différents types de capteurs, il est nécessaire d'évoquer leurs caractéristiques et de préciser la nature et les modalités des mesures qu'ils effectuent.

La donnée primaire sur laquelle repose la télédétection satellitaire est la mesure de l'énergie électromagnétique réfléchie ou émise par tout corps à la surface de la Terre.

Ce rayonnement électromagnétique se caractérise par sa longueur d'onde exprimée en microns ($1\mu = 1$ millième de millimètre) et son flux ou puissance exprimé en watts.

Les capteurs mesurent la quantité d'énergie que leur apporte le rayonnement électromagnétique dans un angle de champ instantané et dans une partie du spectre donnés.

Traces d'un satellite d'observation de la terre sur une journée
et cercles de visibilité des stations de réception : l'exemple de SPOT



A) Les longueurs d'onde étudiées

Les ondes qui composent le spectre électromagnétique ne peuvent être utilisées pour l'observation de la Terre que dans des secteurs du spectre (fenêtres) dans lesquels la transmission atmosphérique est suffisante.

Comme le montre le tableau ci-après représentant, outre les caractéristiques des capteurs des satellites d'observation, le classement des rayonnements en fonction de leur longueur d'onde, on distingue essentiellement en télédétection deux grandes catégories :

I° – la **zone du «visible»** laquelle comprend la plage des longueurs d'onde correspondant à la vue humaine (0,4 à 0,7 μ) et celle du **«proche infrarouge»** (0,7 à 1,1 μ). La source du rayonnement est la lumière solaire réfléchie, le rayonnement solaire allant de 0,4 à 2 μ . On peut le capter de jour et à condition qu'il n'y ait pas de nuage entre la zone terrestre observée et le satellite.

II° – la zone de **«l'infrarouge thermique»** qui va de 7 à 25 μ de longueur d'onde et correspond au rayonnement émis par les objets au sol. Ce rayonnement transfère la chaleur de l'objet ; sa longueur d'onde est fonction de sa température. Il peut être capté indifféremment de jour ou de nuit et permet l'observation de la Terre lorsqu'il n'y a pas de nuage.

Longueurs d'ondes et fréquences utilisées en télédétection satellitaire

Type	Longueur d'onde		Fréquence	Exemple
Visible	0,4 – 0,7 μ m	400 – 700 nm	—	SPOT HRV
Proche infrarouge	0,7– 1,5 μ m	700 – 1 500 nm	—	NOAA AVHRR
Infrarouge moyen	1,5 – 3,0 μ m	1 500 – 3 000 nm	—	Landsat TM
Infrarouge thermique	8,5 – 12,5 μ m	8 500 – 2 500 nm	—	Meteosat
Microondes :	24 – 300 mm		1 – 12,5 GHz	ERS-1 Seasat
– Bande X	24 – 38 mm		8 – 12,5 GHz	
– Bande C	38 – 75 mm		4 – 8 GHz	
– Bande L	150 – 300 mm		1 – 2GHz	

Il existe aussi des radars embarqués à bord de certains satellites. Ils émettent des micro-ondes (200 μ et au-delà) que renvoient les objets terrestres. Leur usage est encore très limité pour l'observation de la surface terrestre (terre ou mer naturellement) de jour et de nuit par tout temps.

Dans le domaine du «visible» essentiellement, on parle souvent chez les spécialistes de la signature spectrale d'un objet. Celle-ci se matérialise par la courbe de réflectance de l'objet en fonction de la longueur d'onde. Ainsi, par exemple, la caractéristique commune à toute végétation est d'avoir une courbe de réflectance qui monte très fortement dans le proche infrarouge, ce qui correspond à la couleur rouge que l'on peut voir sur les combinaisons colorées habituelles dites en fausses couleurs ainsi que sur les photographies en infrarouge couleur.

Rappelons que la rétine de l'oeil humain est sensible à la lumière de longueur d'onde comprise entre 0,4 et 0,7 μ . Elle transforme l'énergie reçue dans les 3 couleurs de base (bleu, vert, rouge) en informations transmises au cerveau qui, en les recombinaison, nous donne la sensation des nuances de couleur. De même, les émulsions photographiques, moyen le plus ancien et toujours utilisé de télédétection, sont sensibles aux longueurs d'onde comprises dans une plus large bande spectrale qui va de 0,35 à 1,2 μ . Celle-ci déborde largement celle utilisable par l'oeil humain et recouvre en plus les longueurs situées entre 0,7 et 1,2 μ .

Les détecteurs employés en télédétection élargissent beaucoup les capacités d'observation. D'abord, ils sont très sensibles et peuvent faire des mesures de rayonnement provenant de la Terre jusqu'à des dizaines de milliers de kilomètres. Ensuite, ils sont très sensibles dans une bande de longueurs d'onde très large, de 0,4 à 25 μ . Il devient alors possible d'effectuer des observations en mesurant le rayonnement électromagnétique provenant de deux sources différentes (lumière solaire réfléchi : bande «visible» et partie de l'infrarouge moyen ; rayonnement émis par la Terre : infrarouge thermique).

Ces mesures radiométriques permettent, en jouant sur la gamme des longueurs d'onde, particulièrement dans la bande du «visible», d'obtenir des informations dont la combinaison est fort instructive sur l'état et la nature des objets observés, par exemple la végétation.

B) Les caractéristiques des capteurs

Il serait trop long et très complexe d'exposer la méthode et les caractéristiques des capteurs embarqués à bord des satellites avec tous leurs équipements annexes de stockage et de transmissions des informations. Retenons simplement que leurs capacités ont beaucoup progressé dans les domaines qui les caractérisent, qu'il s'agisse de :

- ☐ résolution spatiale, c'est-à-dire de la dimension et des qualités d'observation du point élémentaire (pixel). Toutes choses égales d'ailleurs, comme on l'a vu précédemment, cette résolution varie beaucoup selon la mission et le type de satellite ;
- ☐ résolution spectrale, c'est-à-dire de la finesse de séparation des longueurs d'onde proches ;
- ☐ résolution radiométrique, qui consiste en la distinction de quantité d'énergie captée, sa limite étant la plus petite variation d'énergie décelable.

Les très grandes qualités des résolutions spatiale et radiométrique permettent, entre autres, des mesures très précises de températures. Le radiomètre de la série des satellites NOAA employé depuis NOAA 6, lancé en 1979, détecte des écarts de température d'1/8^e de degré C. L'*Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), embarqué sur cette série, et qui équipe aussi les satellites NOAA 9 et NOAA 10 actuellement en service, représente un progrès très important par rapport au VHRR, le capteur de 7 ans plus vieux embarqué sur les satellites plus anciens jusqu'à NOAA 5.

L'AVHRR mesure des écarts thermiques 5 fois plus petits que le VHRR, pour une même résolution spatiale, alors qu'on sait que pour une technologie donnée, la résolution radiométrique ne peut être améliorée qu'aux dépens de la résolution spatiale. En effet, pour avoir une quantité d'énergie suffisante à mesurer, il convient de disposer d'un champ instantané d'une étendue aussi grande que possible.

Même si la comparaison est un peu grossière, il existe de nombreuses analogies entre les satellites et capteurs embarqués d'une part, les appareils photographiques ordinaires d'autre part. Les uns et les autres doivent tenir compte des mêmes contraintes et leurs opérateurs sont souvent confrontés à la nécessité de réaliser des compromis semblables entre des impératifs et des facteurs antagonistes.

Profondeur de champ et résolution spatiale d'un côté ; quantité de lumière (ouverture du diaphragme X temps de pause) et résolution radiométrique de l'autre, donnent un aperçu de cette parenté. Il faudrait ajouter bien d'autres paramètres ou caractéristiques qui montreraient au lecteur que les satellites SPOT ou Landsat sont un peu ce que les téléobjectifs ou les systèmes «zoom» représentent par rapport aux systèmes à courte focale et objectifs grands angles qui embrassent un champ beaucoup plus vaste, comme le font les satellites Meteosat ou NOAA.



Deuxième partie – Généralités

Part two – General applications

L'utilisation de la télédétection dans les projets de développement de la CEE

Robert GREGOIRE

Commission des Communautés Européennes, DG VIII, Bruxelles (Belgique)

Résumé : Les problèmes auxquels sont confrontés les pays en voie de développement, accentués par une conjoncture mondiale préoccupante (crise économique, sécheresse, explosion démographique) ne laissent pas indifférente la Communauté Economique Européenne, traditionnellement liée à ceux-ci.

La recherche de solutions, compte tenu d'un contexte local nécessitant une vue d'ensemble, intègre les possibilités offertes par les techniques de télédétection satellitaire. A ce jour, celle-ci a déjà pu jouer un rôle déterminant dans la prévision des productions agricoles et la surveillance des ressources naturelles renouvelables en Afrique de l'Ouest : l'aménagement des bassins versants élémentaires en Guinée, Fouta Djallon, et dans le Haut Bassin du fleuve Niger ; dans la caractérisation de la dynamique de la désertification à la périphérie sud du Sahara.

Une évaluation des résultats obtenus a conclu à l'intérêt de la poursuite de ces études en privilégiant cette fois l'analyse multitemporelle, une approche plus régionale et une coopération plus grande entre les groupes de recherche. Il s'agit également d'activer les transferts de technologie.

Par ailleurs, la télédétection est également engagée dans de très nombreux autres projets tant en Afrique qu'en Amérique du Sud ou en Asie, qu'il s'agisse d'études fondamentales, de plans directeurs d'aménagement, d'études de faisabilité ou de cartographie. Outre les limitations techniques inhérentes à l'exploitation du système, les problèmes liés à son utilisation sont aujourd'hui beaucoup plus le fait du creusement d'un écart entre des possibilités propres et les usages qui pourront en être faits...

Mise à part la limitation technique due à la nébulosité, les efforts devront porter sur la réduction des délais de fourniture des résultats aux décideurs et sur la sensibilisation de ceux-ci à l'importance de ces données.

Abstract

Use of remote sensing in EEC-sponsored development projects

The European Economic Community linked by traditional ties with the developing countries cannot remain indifferent to their problems, which are aggravated by current instability (economic crisis, drought, population growth).

Satellite imagery, which allows an overall view of a location, is useful for developing solutions. It has been a key factor for yield estimation and surveys of renewable resources in West Africa (small watersheds management in Guinea, Fouta Djallon, and the upper Niger basin) and in monitoring desertification along the southern fringe of the Sahara.

Result evaluations confirm the utility of remote sensing studies. In future they should focus on multitemporal analyses, a regional approach with increased cooperation between research groups, and transfer of technology.

Remote sensing has also been used in many other projects conducted in Africa, South America, and Asia. The projects include baseline, land use planning, feasibility, and mapping studies.

Technical limitations such as cloud cover, however, constrain wider application. Efforts should be made to rapidly provide the results to decision-makers and to promote the importance of remotely sensed data for development.

I. – Les problèmes auxquels sont confrontés actuellement les pays en voie de développement (PVD)

La plupart des PVD sont confrontés à de très graves problèmes qui sont, pour ne citer que les plus importants d'entre eux :

- ☐ la sous-alimentation,
- ☐ la destruction des grands équilibres écologiques,
- ☐ la surexploitation des réserves halieutiques,
- ☐ un exode rural qui se traduit en particulier par une urbanisation anarchique et excessive.

Depuis une vingtaine d'années, les effets de ces phénomènes sont accentués par différentes causes :

- ☐ la crise économique mondiale,
- ☐ la sécheresse qui sévit en de nombreuses régions,
- ☐ une véritable explosion démographique qui touche l'ensemble des PVD,
- ☐ un accroissement excessif des troupeaux domestiques en zone sub-aride en particulier,
- ☐ enfin une diffusion sans doute trop rapide de techniques d'exploitation de la biosphère, certes performantes, mais aussi trop souvent agressives pour un milieu écologique insuffisamment préparé à les recevoir.

II. – La Communauté Economique Européenne face à cette situation

La Communauté Economique Européenne (CEE), de par ses relations privilégiées avec la plupart des PVD mais aussi par le passé colonial de ses membres, par tous les liens économiques et culturels qui se sont tissés au fil des ans, tout particulièrement avec l'Afrique, ne peut se désintéresser de ces problèmes fondamentaux. La lutte contre la sous-alimentation et la protection de l'environnement sont ainsi au nombre des objectifs fondamentaux des accords de coopération de la 3^e convention de Lomé.

III. – La recherche en commun de solutions et les contraintes du contexte local

Malgré une prise de conscience relativement récente mais très nette de la gravité de ces problèmes et de l'urgence qu'il y a à leur apporter remède, tant au niveau des pays industriels qu'à celui des dirigeants des PVD, l'on constate malheureusement, par ailleurs, que plusieurs conditions locales nécessaires à la réussite des interventions se détériorent chaque jour davantage : sous-alimentation, état sanitaire déficient, difficultés de communication, compétence technique insuffisante, environnement socio-économique défavorable, etc.

D'autre part, les conséquences tragiques de ces situations vont en s'aggravant très rapidement : dans la course qui se joue entre l'extension de ces phénomènes et la lutte menée pour les arrêter, voire les faire régresser, l'homme est actuellement perdant car ses réactions sont encore trop dispersées et lentes, ses moyens financiers trop limités, sa mobilisation sur le terrain très insuffisante.

Comment remédier à ces problèmes alors que la mise en oeuvre des solutions demande des décades d'intervention et la nécessité d'une mobilisation massive à tous les échelons, depuis la conception des actions et leurs financements, jusqu'à leur réalisation sur le terrain ? Trop souvent, ces actions restent ponctuelles et le fait d'un petit nombre.

Pour répondre à ces problèmes et dans ce contexte, les techniques de la télédétection ont leur place dans l'éventail des moyens à mettre en oeuvre.

IV. – Contribution de la télédétection

Les techniques de télédétection spatiale permettent une vue d'ensemble de certains phénomènes terrestres. En outre, l'acquisition répétitive des informations facilite la vision dynamique des phénomènes observés, ce qui peut être parfois d'une extrême importance.

Elles répondent donc tout particulièrement à certaines caractéristiques des problèmes posés par la lutte contre la sous-alimentation et la dégradation des facteurs naturels de production.

Mais il est très vite apparu que si l'on veut pouvoir exploiter toutes les potentialités des techniques de télédétection, il importe :

- 1° – de recevoir le plus rapidement possible les informations satellitaires,
- 2° – de bénéficier d'un éventail de capteurs ayant des caractéristiques diverses, notamment dans les domaines spectraux et ceux des résolutions au sol.

Ce sont ces raisons qui ont d'ailleurs incité la CEE à financer les transformations de la station de Mas Palomas (Iles Canaries) qui peut maintenant recevoir et traiter l'information captée par les satellites LANDSAT, NOAA-AVHRR et SPOT. De même, elle finance deux autres études pour l'installation de futures stations de réception qui couvriront l'Afrique centrale et l'Afrique de l'est.

Quelques exemples mettront en évidence le rôle que joue la télédétection dans les projets de développement rural financés par la CEE.

V. – Prévision des productions agricoles et surveillance des ressources naturelles renouvelables en Afrique de l'Ouest

A l'origine, le problème était le suivant : le Mali entreprend des efforts importants pour satisfaire ses besoins en eau. Il s'agit en fait de s'assurer une meilleure maîtrise de l'eau par contrôle des submersions des plaines du fleuve Niger ensemencées en riz. Cette maîtrise devrait augmenter la production totale annuelle et atténuer les variations interannuelles dues à une pluviométrie irrégulière. D'où un programme important d'aménagements hydroagricoles décidé par le gouvernement malien et financé par le Front Européen de Développement (FED). Or, malgré ces aménagements, les résultats n'ont pas atteint les niveaux attendus, en partie à cause du manque d'informations locales fiables sur la pluviométrie, les superficies, le régime de la crue, etc., ce qui a entraîné un gaspillage d'impôts annuels très important et un mauvais emploi des investissements. Parallèlement, l'impossibilité de prévoir, même approximativement, le volume de la récolte de riz, empêchait d'organiser correctement son stockage et sa distribution ainsi que de programmer, d'une manière adéquate, l'aide alimentaire extérieure.

Compte tenu du contexte local et à titre expérimental, on s'est tourné vers les techniques de télédétection. Il s'agissait :

- 1° – de connaître le plus tôt possible le début de la crue du fleuve afin d'en déduire les emblavures à mettre en riz et donc de programmer, en temps utile, tous les intrants nécessaires pour les cultures.
- 2° – d'essayer d'appréhender ce que pourra être le volume de la récolte à partir d'une meilleure connaissance des superficies mises en riz et de paramètres culturels tels que variétés, vigueur, densité.

Lancé en 1980, ce projet a permis d'obtenir, au point de vue méthodologique, des résultats intéressants. Plus particulièrement, il a mis en évidence l'intérêt que peut représenter le suivi d'une série de réservoirs hydrologiques du haut-bassin du Niger (Guinée), en l'occurrence certaines mares semi-permanentes en bordure du Milo, comme indicateurs précoces des crues utiles pour la région des aménagements hydro-agricoles du Mali, soit 300 à 400 km en aval.

La méthode a pu être testée en 1986 grâce à trois images SPOT, exemptes de nuages. Le nombre et la qualité des séries d'imageries à Haute Résolution permettent en effet de mieux profiter des éclaircies pour

le suivi hydrologique du bassin et des mares-témoins. On pourrait obtenir également en fin de saison sèche/début de saison des pluies un état de la situation hydrologique de départ qui servirait de référence pour l'analyse hydrologique de la saison des pluies.

En outre, cette situation en fin de saison sèche pourrait être comparée avec celle des années précédentes. L'état de remplissage des mares-témoins à cette période donnerait ainsi une première indication de ce que va être la vie hydrologique du bassin en question.

Par ailleurs, et cette fois-ci au titre de la prévision des récoltes, on peut obtenir de bonnes estimations des superficies en riz dressés et flottants, ainsi que de celles couvertes par la végétation naturelle non rizicole et ce à plusieurs stades phénologiques de la plante.

A l'issue de cette première phase, les résultats ont paru suffisamment intéressants pour que les membres du Comité Inter-Africain de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS) aient demandé l'extension du projet. A partir de 1985, il s'est agi de prendre en compte le Sénégal, le Niger, le Burkina-Faso ainsi que d'autres cultures céréalières sous pluie comme le mil ou le sorgho.

La persistance de la sécheresse entraîne en fait des besoins croissants en aide alimentaire et le désir d'avoir des informations plus larges sur l'ensemble des productions céréalières des pays du Sahel. Compte tenu d'un certain nombre de contraintes, l'effort s'est porté plus spécialement vers l'estimation des superficies des cultures sous pluie. Par ailleurs, l'étude se devait de recouper l'intervention des services nationaux de la statistique dont une des vocations est d'estimer la production agricole. Ces services reçoivent une aide de la CEE pour améliorer leur efficacité dans le cadre du projet *Diagnostic Permanent*.

L'aspect rizicole a donc pris moins d'importance. Toutefois, il a été encore l'occasion pour le CCR d'Ispra de mettre au point l'utilisation d'ULM (Ultra Léger Motorisé) comme plate-forme de reconnaissance aérienne (photos aériennes) et de mesures radiométriques.

Pour le suivi, dans un but de prévision des productions agricoles sous pluies, deux facteurs sont à considérer : la **superficie** et le **rendement**.

Etant donné l'extrême dispersion des parcelles exploitées (moins de 15 % de la superficie «agricole») et la variation dans l'espace de cette dispersion, il est apparu préférable d'améliorer la qualité des résultats obtenus classiquement par les services nationaux de statistiques en leur permettant de consacrer leurs efforts et les moyens dont ils disposent à un échantillonnage plus représentatif du pays. L'accroissement en taille de l'échantillon permet en effet :

- ☐ d'homogénéiser l'échantillonnage par la prise en compte des facteurs environnementaux ; ce qui réduit la variabilité des observations ;
- ☐ d'alléger le travail des enquêteurs sur le terrain. Les imageries LANDSAT permettent en effet de localiser des régions agricoles ayant un minimum d'homogénéité, tandis qu'à l'intérieur de celles-ci, les imageries SPOT facilitent le classement et la cartographie précise des terroirs à l'intérieur desquels doivent travailler les enquêteurs.

Il semble que cette méthode améliore grandement la qualité des informations «superficies cultivées» et puisse être opérationnelle assez rapidement. Notons en outre — et c'est extrêmement important pour son image de marque — que la télédétection valorise, à cette occasion, un service national, alors que dans la plupart des cas, elle est perçue par celui-ci comme une concurrence directe.

Pour le volet «rendement», l'étude méthodologique est moins avancée. L'objectif recherché est de pouvoir donner une estimation des rendements avec une erreur inférieure à 15 %, environ un mois avant le début de la récolte (stade «phénologique fin de la montaison/début épiaison») qui se situe globalement, pour les pays du Sahel, fin août/début septembre. Mais pour ce faire, il faudrait assurer un véritable suivi de la saison agricole qui n'est sans doute pas pour demain.

Plusieurs difficultés subsistent :

- ☐ délais de livraison des images et/ou problèmes de couverture nuageuse,
- ☐ les enquêtes au sol sont encore largement entachées d'erreurs,
- ☐ les relations rendements agricoles et indices de végétation sont difficilement utilisables car la part de la surface cultivée par rapport à la superficie agricole est faible (5 à 10%) et varie beaucoup d'un terroir à l'autre. En outre, en zone soudano-sahélienne, le taux de recouvrement du sol par la plante cultivée est souvent faible et les radiomètres réagissent surtout à la biomasse active provenant de la végétation non productive.
- ☐ les différentes cultures, mil et sorgho par exemple, sont difficiles à dissocier. Par contre, les expérimentations menées en station semblent indiquer pour les différentes céréales locales un rapport paille-grain extrêmement voisin.

Il semble donc qu'il faille encore deux ou trois campagnes pour rendre la méthode fiable.

VI. – Aménagement de bassins versants élémentaires en Guinée : Fouta Djallon et haut bassin du fleuve Niger

La plupart des grands fleuves soudano-sahéliens prennent leur source en Guinée, dénommée pour ce fait le «château d'eau de l'Afrique de l'Ouest». Ils y reçoivent l'essentiel de l'eau qu'ils vont véhiculer plus au nord, dans des régions moins arrosées.

De nombreux aménagements de leurs lits majeurs (par exemple Sélingué sur le Sankarani, affluent du Niger, et celui de Manatall sur le Bafing, affluent du Sénégal) essaient ainsi de mobiliser le potentiel important qu'ils représentent. Malheureusement, ces fleuves ont un régime de plus en plus torrentiel avec des crues très variables d'une année sur l'autre. Les pointes sont très marquées et dans la plupart des cas peu étalées dans le temps, gênant considérablement la mise en eau des aménagements.

Les raisons de cette dégradation du régime des fleuves sont diverses mais deux raisons semblent prédominer :

- 1° – une modification climatique en Guinée où le volume des pluies a diminué depuis une dizaine d'années de 100 à 200 mm suivant les lieux et même 700 mm les années les plus sèches, avec un rétrécissement marqué de la période pluvieuse;
- 2° – une dégradation du couvert arboré, particulièrement marquée au Fouta Djallon, sous la triple pression de feux de brousse sauvages, des défrichements pour mise en culture, d'une pression pastorale croissante.

Or, il est possible d'atténuer les effets négatifs et surtout de lutter contre la dégradation des facteurs naturels de productions en zones agricoles que sont le micro-climat, le sol et l'eau. On connaît en effet l'essentiel des techniques permettant cette lutte à l'image de quelques exemples d'applications réussies qui font apparaître des oasis de verdure au milieu d'immenses régions de plus en plus dégradées. Cependant, la région géographique concernée couvre environ 150 000 km² soit 15 millions d'ha, et en zone soudano-sahélienne les superficies sont encore plus grandes. C'est dire l'ampleur des problèmes auxquels il importe de s'attaquer.

Parallèlement, seule une participation généralisée des populations rurales à la mise en oeuvre des techniques de Défense et Restauration des Sols (DRS) peut permettre, avec les moyens financiers dont on dispose, de toucher des superficies importantes. Les techniques doivent être simples, peu onéreuses, donc reproductibles aisément, les populations doivent également y trouver solution à leurs problèmes immédiats.

Ces différentes contraintes expliquent la méthode retenue pour exécuter la première tranche du programme d'aménagement des hauts bassins versants en Guinée. Celle-ci concerne :

- ☐ la réalisation d'un premier train d'études en vue de l'aménagement ultérieur de 250 000 ha,
- ☐ l'aménagement proprement dit, en quatre ans, de ces 250 000 ha,
- ☐ le lancement d'un deuxième train d'études pour une deuxième tranche d'aménagement concernant plus de 500 000 ha.

Elle s'articule autour de quatre points de référence :

- ☐ une cartographie de l'ensemble des bassins versants élémentaires et un classement des bassins en fonction de critères hydro-écologiques,
- ☐ une ouverture des populations au dialogue pour qu'elles expriment leurs problèmes et que soient définies avec elles les conditions de leurs participations au programme,
- ☐ la mise en oeuvre de techniques simples et sûres, peu onéreuses, pouvant être reproductibles dans l'espace,
- ☐ la prise en compte d'une superficie importante, même si le résultat à l'unité de surface est médiocre.

Les techniques de télédétection sont à la base du premier et du dernier point. Leur emploi a été établi par le CCR d'Ispra en 1985-1986 et rôdé sur un premier quadrilatère situé entre Kankan, Kouroussa, Faranah et Kissidougou, concernant les bassins versants élémentaires du Niger supérieur, du Niandan, du Mafou et du Milo et couvrant environ 30 000 km². Utilisant imagerie Landsat, photos aériennes au 1/50 000^e et cartes au 1/200 000^e, elle a permis de cartographier les limites de 199 bassins élémentaires; d'en effectuer un zonage en huit groupes, en fonction d'un certain nombre de critères hydro-écologiques; de mettre en évidence grâce à la comparaison une érosion sur une quarantaine de bassins élémentaires des imageries d'avril-mai 1975 et de celles de la même époque de 1985. Cette période de fin de saison sèche a été choisie afin d'éliminer les effets gênants de la strate herbacée pour le calcul de l'indice de végétation normalisée. La synthèse de l'imagerie et de la carte des limites de bassins permet d'avoir à la fois l'information et la localisation de l'information et ceci est particulièrement précieux pour les feux de brousse dont on peut suivre les évolutions, définissant ainsi les interventions futures en matière de gestion de l'espace arboré.

La méthode a fourni une série de documents cartographiques permettant de photographier, à un moment donné, la situation d'un bassin hydrologique. Cette photo peut servir de base à une analyse dynamique de l'évolution du milieu. En outre, elle a fait apparaître un certain nombre de sites privilégiés, où l'on peut utiliser judicieusement des images satellitaires à haute résolution visible de type SPOT.

Enfin, elle a permis de cerner rapidement les limites géographiques à imposer aux interventions des équipes socioculturelles et techniques, facilitant ainsi la construction rapide d'un avant-projet d'aménagement de l'espace.

Les informations satellitaires ont bien sûr été confrontées avec la réalité-terrain, à l'occasion de missions conjointes sur le terrain menées par des équipes sociologiques et techniques comprenant les autorités guinéennes et le CCR, la DG VIII, qui ont en charge le projet. Depuis cette méthode a été appliquée par des bureaux d'études européens sur les hauts bassins du Sankarani, du Bakoy, de la Gambie et de la Koulountou.

Les informations doivent continuer à être exploitées, voire affinées sur les bases suivantes :

- ☐ examen de la répartition des valeurs d'indices (et non plus des indices de végétation moyens par bassin) pour mieux évaluer la superficie de chaque stade de végétation,
- ☐ choix de sites d'observation au sol pour un suivi visuel du couvert végétal,
- ☐ étude des transformations entre 1985 et 1986 grâce aux images NOAA, parallèlement à l'utilisation de données à plus hautes résolutions spatiales type Landsat ou SPOT. Les informations NOAA/AVHRR 1981-1985 devraient être opérationnelles en 1990 avec une première évaluation vers juin 1989.
- ☐ mise en place, en liaison avec le projet, d'un réseau de stations de collecte automatique d'information hydro-agrométéorologiques.

VII. – Caractérisation par la télédétection de la dynamique de la désertification à la périphérie sud du Sahara

Si la dégradation des facteurs naturels de production a été particulièrement remarquée au cours de la période 1973-1984, cette dégradation est malheureusement un élément permanent auquel sont confrontés tous les pays d'Afrique de l'ouest voisins du Sahara. Cette constatation fondamentale doit donc guider les gouvernements concernés en matière de développement rural et de stratégie d'intervention.

Pour aider ces mêmes gouvernements dans leur lutte contre la désertification, la Commission des Communautés Européennes finance depuis 1984 un programme régional d'études destiné à mieux connaître la dynamique des principaux phénomènes qui caractérisent la désertification.

Etant donné l'ampleur de la zone géographique concernée, le caractère évolutif des phénomènes à étudier et l'absence d'informations chiffrées fiables en matière de dégradation, l'emploi des techniques de télédétection s'est avéré prédominant dans la mise en oeuvre de ce programme.

Ces études ont concerné les domaines suivants :

- ☐ estimation des ressources fourragères en milieu pastoral (Niger),
- ☐ répartition, en zone sédentaire, des grands ensembles pastoraux, forestiers et agricoles (Mali),
- ☐ repérage des ressources en eau souterraine superficielle dans les massifs sahariens (Adrar des Iforas, Mali),
- ☐ bilan hydrique dans différentes zones rurales (Sénégal),
- ☐ prévision des ressources en eau des principaux fleuves (Guinée, Sénégal),
- ☐ suivi de la dégradation de la strate arborée à la périphérie des principales villes soudano-sahéliennes (Mali).

Ces études, exécutées par les instituts de recherches européens des sept pays membres, ont nécessité la réactivation de la station de réception des satellites de Mas Palomas aux Iles Canaries. En 1984, en effet, l'Afrique de l'ouest n'était pas encore équipée, ce qui entraînait des délais de livraison trop longs et des difficultés pour obtenir ces images. Plus récemment, la station de Mas Palomas a été également équipée pour effectuer le prétraitement de base.

Par ailleurs, cette gamme d'études est complétée par l'établissement d'une banque de données auprès du Centre Régional de Télédétection Opérationnelle de Ouagadougou (CROTO) au Burkina Faso.

Enfin, un programme d'études est en cours concernant les méthodologies applicables sur micro-ordinateurs dans la détermination des paramètres agro-météorologiques et des indicateurs de la végétation sur base de données satellitaires (Burkina Faso).

Une évaluation effectuée à la fin de la première phase a conclu à l'intérêt de la poursuite de ces études lors d'une deuxième phase. Par exemple, la détection des eaux souterraines superficielles dans les massifs sahariens et leurs piedmonts et une meilleure connaissance de la répartition spatiale des pluies pourraient permettre en zone de culture de tendre vers une prévision plus fiable des récoltes. Le suivi de l'évolution de la strate arborée autour des grandes villes du Sahel devrait permettre également de mieux programmer les actions à mener en matière de reboisement.

Toutefois, il est apparu :

- 1° - que les objectifs de recherche-développement étaient trop nombreux, entraînant ainsi une dispersion des moyens
- 2° - que les objectifs confiés à chaque opérateur n'avaient pas assez été précisés.

La deuxième phase commencée fin 1987 privilégie donc l'analyse multi-temporelle en s'appuyant sur toute une gamme d'imageries, une approche plus régionale et sur une coopération plus grande entre les groupes de recherche du programme et ceux qui travaillent sur la même région.

Enfin, le transfert de technologie, qui s'est matérialisé pendant la première phase par la formation de chercheurs nationaux se poursuivra pendant la deuxième phase 1987-1990. Il se concrétisera par une série de rencontres au CROTO, s'adressant à des scientifiques et à des décideurs politiques et financiers. En outre, l'on s'efforcera d'impliquer davantage les organismes régionaux et nationaux comme le CROTO et le réseau AGRHYMET, concernés par le suivi continu des différents aspects de la dégradation des facteurs naturels de production. Il est envisagé aussi, en vue de mieux préparer les rencontres de «Ouagadougou», de constituer de petits groupes de travail sur des thèmes comme ceux de la Biomasse, des Pâturages, du Reboisement, regroupant les instituts européens de recherche concernés et les chercheurs ou organismes africains intéressés.

VIII. – Autres projets où intervient la télédétection

Les trois exemples cités mettent en évidence les possibilités mais aussi les limites, dans un contexte donné, de la télédétection. Celle-ci intervient néanmoins dans de très nombreux projets financés par l'aide communautaire :

- ☐ études diverses en vue de l'installation de stations de réception des satellites en Afrique de l'ouest et en Afrique de l'est ;
- ☐ utilisation des terres aux frontières de la Mongolie (Chine) ;
- ☐ cartographie et vue dynamique de l'occupation des terres au Rwanda ;
- ☐ plan directeur d'aménagement des mangroves de Guinée ;
- ☐ implantation de réseau de forage au Burkina Faso pour l'étude de la recherche des aquifères dans les roches dures fracturées ;
- ☐ carte d'occupation des terres aux Philippines. Les informations satellitaires étant insuffisantes, on s'est d'ailleurs finalement adressé à la photographie aérienne ;
- ☐ étude des écosystèmes littoraux de l'île Maurice ;
- ☐ étude de l'impact de l'homme sur les écosystèmes de la haute Amazonie péruvienne ;
- ☐ suivi des feux de brousse dans les zones montagneuses frontalières de l'Afrique de l'Ouest (Guinée, Sierra Leone et Libéria) ;
- ☐ étude de faisabilité portant sur la caractérisation par télédétection de la dynamique des phénomènes de désertification à la périphérie nord du Sahara.

On envisage prochainement une analyse globale de la dynamique des écosystèmes forestiers dans la ceinture intertropicale.

IX. – Conclusion

Les quelques exemples cités mettent en évidence les possibilités réelles de la télédétection pour la mise en oeuvre de projets de développement rural, au moins dans le contexte actuel :

- ☐ Possibilité d'acquérir d'une manière répétitive des informations sur de grandes superficies. On peut ainsi étudier l'évolution d'informations qui concernent aussi bien la géographie humaine, que l'inventaire des feux de brousse et leur dynamique dans l'espace et dans le temps ; les eaux souterraines et celles de surface — crue et étiage ; les différentes formes d'érosion.
- ☐ En utilisant la gamme actuelle des résolutions, elle permet, complétée par les photos aériennes et les vérifications au sol, d'établir rapidement des cartes thématiques, cartes que l'on peut actualiser autant que de besoin...
- ☐ Aide à la prévision des récoltes ou de la biomasse disponible, notamment par une meilleure appréciation des superficies et de certains facteurs de productivité.

Cependant, la nébulosité reste une gêne pour l'appréciation et le suivi des campagnes agricoles. Par ailleurs des délais encore longs dans la transmission de l'information du satellite à l'utilisateur — même en se limitant aux bureaux d'études européens, voire à la cellule de programmation du Ministère du Plan d'un pays sahélien — hypothèque la possibilité, en cours de campagne agricole, de modifier les programmes de mise en valeur ou de commercialisation.

D'autre part, dans la pratique, l'information obtenue arrive mal à sensibiliser dans des délais raisonnables les décideurs politiques ou financiers. Pourtant tous les programmes comportant un volet «télédétection» prévoient et assurent la formation d'utilisateurs nationaux soit en Europe soit au niveau de centres africains tels que CRTO à Ouagadougou ou son homologue à Nairobi.

Cependant, l'absence d'équipements adéquats, à l'échelon national, ne permet pas aux utilisateurs locaux de conserver la technicité acquise à l'occasion de stages de formation et limite l'emploi de la télédétection qui reste encore largement «étrangère» à la plupart des pays. Cet état de fait nourrit à la fois la réserve que manifeste vis-à-vis d'elle de nombreux décideurs nationaux et, au contraire, l'enthousiasme excessif de certains d'entre eux.

Enfin, même si les performances de plus en plus grandes des satellites permettent d'accumuler une quantité croissante d'information, cette accumulation pose pour les pays industrialisés le double problème du stockage de l'imagerie et celui de son interprétation.

De cette manière, se creuse un fossé de plus en plus large entre les possibilités de la télédétection et l'usage que peuvent en faire de nombreux pays. Et c'est peut-être là un des principaux problèmes auxquels nous sommes confrontés.

Références

- BRGM/AQUATER, 1988, *La recherche naturelle des aquifères de socle sous climats sahélien et soudanien – Etudes expérimentales au Burkina Faso*, Orléans : BRGM, 157 p.
- COMMISSION des C.E., 1986, *Protection des ressources naturelles – Lutte contre la désertification en Afrique*, Bruxelles : CCE/DG VIII (Communication au Conseil et au Parlement Européen).
- GRÉGOIRE (J.M.), GALÈS (D.), 1987, *Comparaison de l'état du couvert végétal arbustif et arboré en 1975 et 1985 sur le haut-bassin du fleuve Niger en Guinée ; exploitation de l'indice de végétation normalisé déduit des enregistrements Landsat-WSS*, Ispra : CCR.
- GRÉGOIRE (J.M.), ZEYEN (R.), 1987, *Campagne radiométrique par ultra-léger-motorisé : Ségou 1985 – Conclusions et perspectives*, Ispra : CCR.
- GRÉGOIRE (J.M.), FLASSE (S.), MALINGREAU (J.P.), 1988, *Evaluation de l'action des feux de brousse de novembre 1987 à février 1988 dans la région frontalière Guinée-Sierra Leone*, Ispra : CCR.
- GRÉGOIRE (R.), 1984, *Coopération entre pays industrialisés et pays en voie de développement dans le domaine de la télédétection*, Bruxelles : CCE DG VIII.
- JUSTICE (C.O.), PRINCE (S.D.), 1987, *Evaluation/première phase de l'étude sur la caractérisation par télédétection de la dynamique des phénomènes de désertification à la périphérie sud du Sahara*, London University : Queen Mary College.



La coopération française dans le domaine de la télédétection pour la gestion des ressources naturelles

Marc BIED-CHARRETON

Ministère des Affaires Etrangères, Paris (France)

Résumé : Les activités de la coopération française dans le domaine de la télédétection pour la gestion des ressources naturelles sont conduites à la requête des Etats ou organisations internationales et s'inscrivent dans le cadre des relations internationales de la France. Elles correspondent à un double objectif :

- aider les pays, en particulier les pays en développement, à maîtriser mieux leurs ressources en utilisant des technologies nouvelles telles que télédétection-télétransmission, etc.
- promouvoir les technologies et le savoir faire français en la matière.

Elles sont articulées selon les lignes directrices suivantes :

- soutiens institutionnels à des centres nationaux et régionaux existants ou appui à leur création.
- opérations de consultance et d'expertise.
- séminaires, cours, conférences, sensibilisation, programmes de formation.
- appuis à des opérations de recherches/développement (R/D) et à des projets pilotes ou à des opérations de développement en cours, sur des thèmes prioritaires.

Abstract

French cooperation for resource management based on remote sensing

Activities related to resource management based on remote sensing are undertaken at the request of foreign governments or international organizations as part of France's international cooperation policy. The objectives are:

- to primarily assist developing countries in the management of their resources, using state-of-the-art techniques such as remote sensing, data transmission, etc.;*
- to promote French technology and know-how.*

The cooperative activities include:

- institutional support to existing national and regional centers or assistance in the creation of such centers;*
 - consulting and expert missions;*
 - organization of training programs, workshops, public awareness campaigns;*
 - support to R&D operations, pilot projects, and on-going development operations related to priority themes.*
-

1. Soutiens institutionnels

Ils comportent des appuis en personnel : mise à disposition d'experts pour des durées courtes moyennes ou longues (experts permanents), organisation de stage ou de formation sur place, soutien logistique, apports de matériel, logiciels, documentation, appui à des projets.

Les centres soutenus ont en général des vocations multiples : soit formation-recherche-enseignement, soit centres de production multi-utilisateurs, avec formation, archivage, documentation...

Sont ainsi appuyés :

- en **agrométéorologie** : **CATIE** au Costa Rica (deux experts), **AGRHYMET** à Niamey (deux experts), Nairobi et Djibouti (IGADD) : deux experts en 1989, **FAO** : un expert (soutenu par l'ORSTOM : CRODT de Dakar, La Réunion) ;

— en **télédétection et cartographie** :

- **SEAMEO – BIOTROP** (Bogot): deux experts – carto-végétation
- **AIT** (Bangkok) : trois seniors – un VSNA – formation-recherche
- **CRTO** (Ouagadougou) : formation – projets pilotes : deux experts *seniors* – deux VSNA (Ministère de la Coopération)
- **RECTAS** (Ile-Ifé - Nigéria) : un senior – un VSNA – formation – projets pilotes
- **DRSRS** (Nairobi) : deux seniors – un VSNA – production – recherche – développement
- **Centre Régional de Télédétection et Cartographie** (Nairobi) : un senior – un VSNA – formation – séminaires – projets
- **RJGC** (Amman) : un senior – un VSNA – production – projets – formation
- **IGAC** (Bogota) : un senior – un VSNA – projets – séminaires
- **FAO** (Rome) : centre de télédétection – un senior – un expert associé
- **Banque Mondiale** (Washington) : un expert (1989)

En préparation pour 1989 :

- création d'un Centre National de Télédétection en Tunisie ; création du Centre Royal de Télédétection du Maroc et appui aux cellules ministérielles de télédétection ;
- en liaison avec la DREE :
- renforcement de la station de l'Indonésie,
- achèvement de la station du Bangladesh.

2. Opérations de consultance et expertise

Ces opérations concernent essentiellement :

- ☐ des missions de consultance pour l'analyse des besoins et l'aide à la constitution de services ou de centres ou à leur renforcement ;
- ☐ des missions de diagnostic de situation et de recommandations de solutions techniques ou organisationnelles ;
- ☐ des études économiques sur l'intérêt et le coût de l'utilisation des techniques spatiales ;
- ☐ des missions de montage de projets : analyse préalable, recherche des financements et des partenaires, mise en place des moyens, suivi...

3. Séminaires – Formation – Sensibilisation

Il y a lieu de distinguer les actions en France auxquelles nous invitons des personnalités étrangères, ainsi que les formations en France, longues, académiques ou professionnelles ou de courte durée, et les actions à l'étranger, comprenant la mise à disposition d'experts de durée variable (dont les experts permanents cités ci-dessus) pour des formations spécifiques dans les centres compétents, l'organisation de manifestations courtes pour des décideurs, la participation à des conférences scientifiques ou à des réunions internationales.

4. Appui à la recherche et développement et aux projets

Les thèmes les plus importants sont actuellement les suivants :

- ☐ connaissance des mécanismes climatiques, suivi des anomalies, recherches sur les prévisions, mise au point de systèmes d'alerte rapide sur les paramètres agricoles et du milieu et sur la sécurité alimentaire, développement de l'agrométéorologie, de la télétransmission et des télécommunications. Cas particulier des zones arides et sahéliennes et des catastrophes type locustes... ;
- ☐ inventaire et gestion des ressources renouvelables : suivi et évaluation des pâturages, de la ressource forestière (et suivi de la désertification, de la déforestation, des inondations, mouvements sableux, dunaires...) ; aide à la détermination des potentialités agricoles : ressources en eau et en sols ; aide aux statistiques agricoles et prévision de rendements — aides à la gestion de grands projets (irrigation, schéma directeur...) ;
- ☐ cartographie topographique, thématique et base de données (SIG), apport de l'imagerie spatiale pour la révision et la fabrication de cartes traditionnelles ou de nouvelles cartes, aide à l'aménagement régional et urbain et des zones littorales ;
- ☐ géologie et aide à la prospection minière ;
- ☐ océanographie, recherches sur les interactions océan : atmosphère, aide à la pêche.

5. Les opérateurs

Ces activités, coordonnées entre la Ministère des Affaires Etrangères et le Ministère de la Coopération mais également avec les autres ministères responsables et les grands organismes publics par le Comité de Pilotage, appuyé par un Comité d'Experts de la Télédétection en Coopération (Comité de Pilotage présidé par M. Bied-Charreton, Comité d'Experts par le Professeur Chorowitz qui succède à F. Blasco), sont conduites essentiellement par les opérateurs suivants :

- CNES et filiales : SPOTIMAGE, GDTA, SCOT, notamment pour tout ce qui concerne la consultance (SCOT), la formation (GDTA), les appuis institutionnels, les séminaires ;
- les opérateurs publics spécialisés :
 - Recherche fondamentale et appliquée** : certains labos du CNRS et INRA, ORSTOM, CIRAD, IFREMER, certaines universités, CEMAGREF, GIS (Groupement d'Intérêt Scientifique) existants ou futurs,
 - Production** (et parfois recherche thématique) : IGN et sa filiale IFI, BRGM, IFP ;
- des opérateurs de droit privé, type sociétés d'intervention, sociétés de services : BDPA-SCETAGRI, SODETEG, SFERES, GEOSYS, BCEOM ;
- des industriels du matériel et du logiciel : SEPIMAGE, MATRA, CAP SOGETI, AES...

6. Les partenaires internationaux

D'autres donateurs participent parfois aux appuis français, ou sont recherchés pour plus de cohésion de l'action de Coopération internationale (sans perdre de vue qu'il s'agit souvent de nos concurrents), tandis que des actions spécifiques sont menées pour sensibiliser les chefs de projets et les décideurs des grands organismes, financiers ou de développement du système des Nations Unies : FAO, PNUD, Banque Mondiale, banques régionales, des actions sont menées avec la CEE, une coordination est en cours de montage avec l'ASE et des contacts maintenus avec l'USAID, l'ACDI (Canada), la RFA notamment, et plus tard avec les Pays-Bas, l'Italie et l'Espagne. Les approches régionales sont privilégiées à certains stades : Méditerranée, Asie du Sud-Est, CILSS, IGADD, Pacte Andin. Des coopérations régionales sont recherchées à partir des TOM-DOM (Caraïbes, Océan Indien, Pacifique).

IGAC	<i>Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogota, Colombie.</i>
AGRHMET	Centre Régional d'Agro-Hydro-Météorologie du Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel, Niamey, Niger.
IGADD	<i>Intergovernmental Authority for Development and Desertification.</i>
CRODT	Centre de Recherche Océanographique de Dakar, Thiaroye, Sénégal.
CATIE	<i>Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica.</i>
SEAMEO	<i>South East Asian Ministers of Education Organisation (Siège à Bangkok, Thaïlande).</i>
AIT	<i>Asian Institute of Technology, Bangkok, Thaïlande.</i>
RECTAS	<i>Regional Center for Training in Aerospace Survey, Ile-Ife, Nigéria.</i>
DRSRS	<i>Department of Resources Survey and Remote Sensing - Ministry of Finance, Nairobi, Kenya.</i>
RJGC	<i>Royal Jordan Geographic Center, Amman, Jordanie.</i>
AREE	Direction des Relations Economiques Extérieures, Ministère des Finances, Paris, France.
ACDI	Agence Canadienne pour le Développement International, Ottawa, Canada.

Troisième partie – Occupation du sol et statistiques agricoles

Part three – Land use and agricultural statistics

Le projet pilote de télédétection appliquée aux statistiques agricoles en Europe

Jean MEYER-ROUX

Institut des Applications de la Télédétection, CCR, Ispra (Italie)

Résumé : Le projet pilote de télédétection appliquée aux statistiques agricoles, est un projet de la DG VI – Agriculture, qui a pour but de tester les applications de la télédétection spatiale dans le domaine de la statistique agricole.

Ses priorités sont :

- distinguer, identifier et mesurer la surface des cultures d'importance significative,
- évaluer en temps utile la production réalisée,
- prévoir cette production.

Le programme (géré par le Centre Commun de Recherches des Communautés Européennes) a été structuré en sept actions : les quatre premières ont un objectif opérationnel, et sont réalisées en liaison avec l'action 6 «Enquêtes de terrain». Les deux autres correspondent d'une part à une recherche à long terme et d'autre part au test d'un système avancé d'information sur l'agriculture, qui intégrera les résultats des autres actions.

L'action 1 «Inventaires régionaux» s'applique dans cinq pays européens à l'une de leurs principales régions agricoles. Réalisée pour la première fois en 88, elle a été reconduite pendant deux ans avec quelques adaptations. Elle couvre au total 100 000 km².

L'action 4 «Estimations rapides au niveau européen des superficies et des rendements potentiels» comprend une analyse en temps quasi réel d'une série d'images satellitaires haute résolution (SPOT, TM) sur 50 sites, et un volet «Enquêtes terrains, données agronomiques».

Les deux dernières actions à objectif opérationnel sont l'action 2 «Suivi des cultures, indicateurs de rendement», qui utilise des données satellitaires basse résolution NOAA/AVHRR et l'action 3 «Modèles de prévision du rendement».

A terme, l'ensemble de ces opérations doit permettre à l'Office statistique des Communautés Européennes, qui participe au projet, de développer un système avancé d'information sur l'agriculture (Action 5) qui utilisera en routine les données de télédétection à haute ou basse résolution pour une connaissance plus précise et plus rapide de l'agriculture européenne et même de celle d'autres pays à production agricole importante.

Abstract

Pilot Project of Remote Sensing Applied to Agricultural Statistics in Europe

The Pilot Project of Remote Sensing Applied to Agricultural Statistics is undertaken by Directorate-General VI (Agriculture).

The objective is to test remote sensing applications for agricultural statistics. The main thrusts are:

- differentiation, identification, and measurement of surface area of major crops;*
- crop monitoring;*
- estimation of crop production.*

The project, which is directed by the Joint Research Center of the Commission of the European Communities, is organized into seven action programs. The first four are of an operational nature and are linked to action program 6 on Area Sampling Frame. The other two programs concern long-term research and testing of an advanced agricultural information system based on the integration of results from the other programs.

Action program 1 on Regional Inventories covers a total area of 100 000 km² in five EC countries. It was initiated in 1988 and extended over a 2-year period with adaptations.

Action program 4 on Rapid European Estimation of Acreages and Potential Yields includes an analysis in almost real time of high-resolution satellite imagery (SPOT, TM) of 50 locations. It also includes a section on land surveys and agricultural data.

Action program 2-of the operational phase focuses on Crop Monitoring and Yield Indicators based on low-resolution NOAA/AVHRR satellite imagery. Action program 3 generates Yield Forecast Models.

These operations should enable the Statistical Office of the European Communities to set up an advanced information system (action program 5). High- and low-resolution satellite imagery is used to rapidly obtain accurate information on agriculture in EC countries and other major agricultural producers.

I. – Introduction

Le 26 septembre 1988, le Conseil des Ministres de la Communauté Européenne approuvait le Projet Pilote de Télédétection Appliquée aux Statistiques Agricoles.

Ce projet, présenté par la Direction Générale VI (Agriculture) en collaboration avec l'Office Statistique des Communautés Européennes a pour but de tester les applications de la télédétection spatiale dans le domaine de la statistique agricole de façon à intégrer à terme ce nouveau type d'information dans les procédures actuelles d'information sur l'agriculture.

Cet ambitieux programme a été préparé et est mis en oeuvre par le Centre Commun de Recherche (CCR) des Communautés Européennes. Coordonné par une équipe du centre, il est effectué essentiellement par des organismes nationaux.

Les priorités en sont les suivantes :

- 1° – distinguer, identifier et mesurer la surface des cultures d'importance significative,
- 2° – évaluer en temps utile la production réalisée,
- 3° – prévoir cette production.

Le programme a été structuré en 7 actions. Les **actions 1-4** correspondent chacune à un objectif opérationnel. L'**action 6** est un support (enquêtes de terrain) nécessaire à toutes les actions. L'**action 7** consiste en plusieurs éléments de recherche à long terme.

Les résultats de ce projet devraient s'intégrer dans un système avancé d'information sur l'agriculture, fondé sur de nouvelles informations telles que les données de télédétection provenant de satellites à haute résolution et à basse résolution, et sur des méthodes d'interprétation plus élaborées telles que les modèles agrométéorologiques. Les tests d'un tel système avancé correspondent à l'**action 5**.

Dans le programme de recherche, l'accent sera mis sur la télédétection mais, au niveau de l'utilisation opérationnelle, cette technique est considérée comme complémentaire des données plus classiques. Les projets semi-opérationnels à l'intérieur du programme testeront ce type de complémentarité.

II. – Présentation schématique des actions du projet pilote

1. Actions du projet pilote

1) Inventaires régionaux

Observation terrain + données satellite haute résolution : estimateur de régression.

2) Suivi de la végétation et indicateur de rendement

- ☐ comparaison spatiale et temporelle de 2 indicateurs : indices de végétation — température de surface,
- ☐ dérivés des données satellite — basse résolution AVHRR de la série NOAA.

3) Modèles de prévision des rendements

- ☐ modèles de bilan hydrique
- ☐ modèles phénologiques

4) Estimations rapides au niveau européen des superficies et des rendements potentiels

- ☐ interprétation assistée par ordinateur des données satellite haute résolution,

□ analyse rapide et publication.

Actions de support

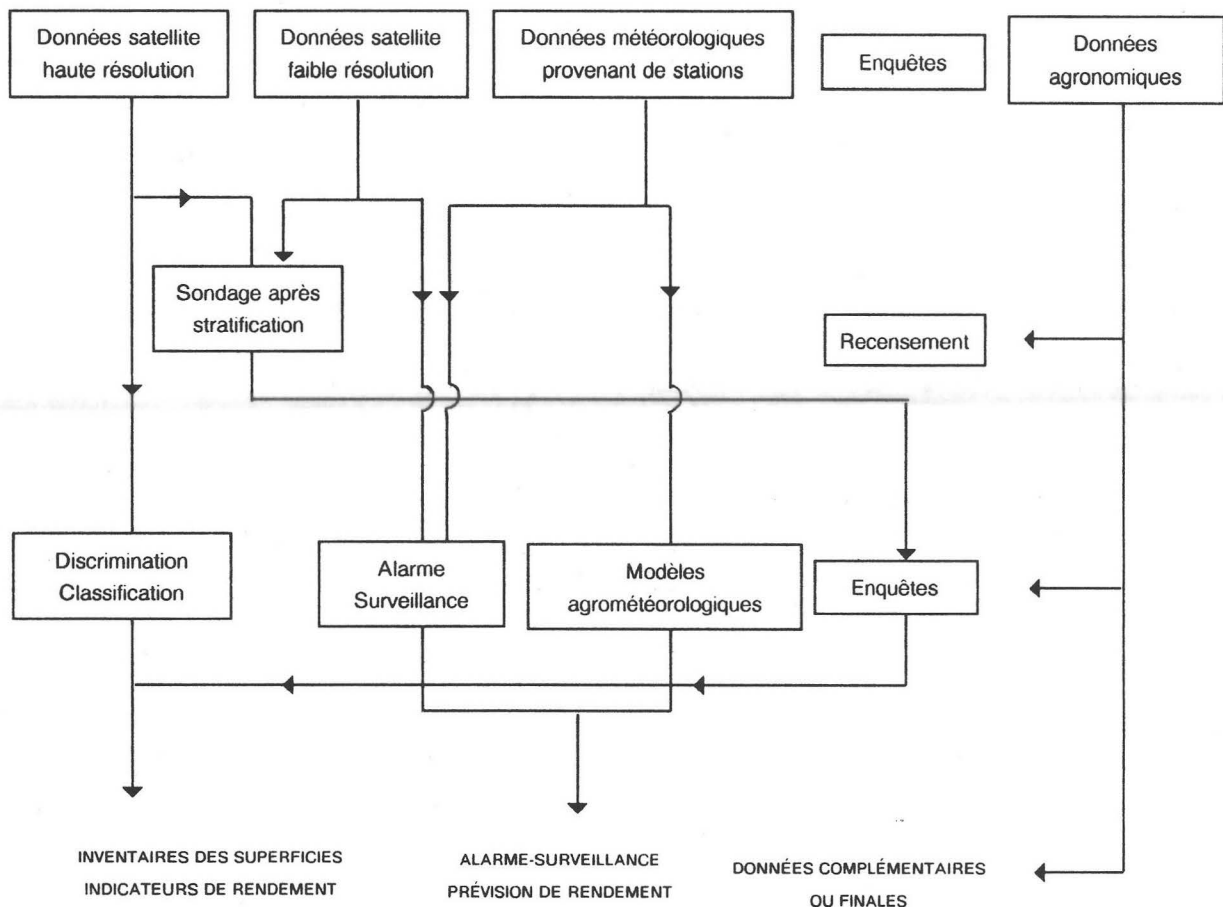
- 5) Système avancé d'information sur l'agriculture
- 6) Base de sondages aréolaires, enquêtes associées
- 7) Recherche à long terme

2. Le système avancé d'informations sur l'agriculture

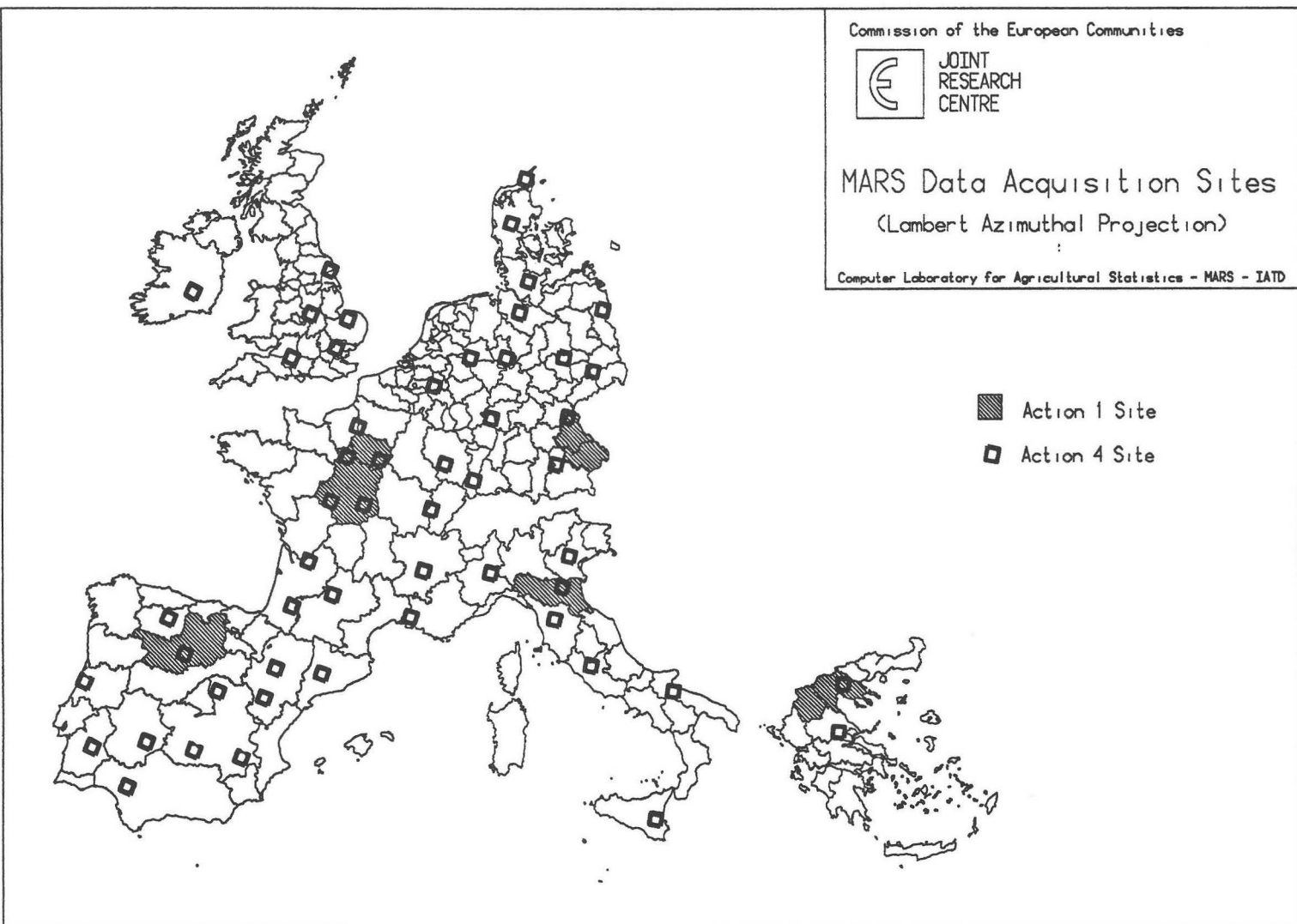
L'objectif est de tester l'intégration et l'interactivité de différentes méthodes : les méthodes classiques et les nouvelles méthodes de télédétection.

Les actions 1 à 4 sont étudiées séparément pour leur précision respective. Dans le cadre de l'action 5, toutes les méthodes seront utilisées sur les mêmes sites pour tester un système avancé d'information sur l'agriculture, qui répondrait à différents besoins. Cette action préparera une transition vers un système opérationnel.

Figure 1 : Diagramme d'un système avancé d'information sur l'agriculture



3. Carte de situation des régions et sites-test



III. – Détail des actions

Les actions du projet ont pu être progressivement engagées dès 1987 et 1988 sur financement propre du CCR sur la base du document : *Plan décennal de recherche et développement pour l'application de la télédétection aux statistiques agricoles* (SP 1.87.39).

Action 1 – Inventaires Régionaux

Objectifs

- suivi de l'évolution des principales cultures sur quelques régions

Méthode

- couverture complète par données haute résolution (SPOT, TM)
- observation terrain sur des segments
- estimateur de régression

Suite à l'appel d'offres paru au *Journal Officiel* S 186/46 du 25.9.1987, ces inventaires régionaux ont été réalisés en 1988 sur 5 régions administratives (100 000 km² au total). Les couvertures satellitaires soit en Landsat TM soit avec SPOT ont été obtenues et les résultats provisoires remis par les sociétés contractées. Ceux-ci sont en cours de contrôle et d'analyse au sein du projet.

Les travaux seront reconduits sur les mêmes régions en 1989 et 1990 avec certaines adaptations.

La recherche propre du projet vise à une simplification et à une automatisation du système de traitement des données, tant terrain que satellitaires.

Action 2 – Suivi des Cultures. Indicateurs de Rendement

Objectifs

- suivi qualitatif fréquent
- indicateurs statistiques de rendements
- couverture continentale

Méthode

- utilisation des données satellite basse résolution AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) de la série NOAA (*National Oceanic and Atmosphere Administration - USA*)
- suivi d'indices et de température de surface (Ts) de ces données
- comparaison spatiale et temporelle de ces indicateurs

Suite à l'appel d'offres au *Journal Officiel* S 37/89 du 23 février 1988, sept études sont réalisées sous contrat sur des thèmes concernant les relations :

- ☐ des profils NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), ainsi que du paramètre Ts (Températures de surface) avec les conditions de développement et du rendement des cultures,
- ☐ des données AVHRR avec des modèles radiométriques, phénologiques, LAI (*Leaf Area Index*) des principales cultures.

Ces études se dérouleront essentiellement en 1989 et 1990. Une publication les détaillant sera prochainement disponible.

En collaboration avec l'Agence Spatiale Européenne, une chaîne de traitement des données NOAA-AVHRR est en cours de définition. Le projet développe la partie «niveaux 2 et 3» de la chaîne informatique correspondant à des produits élaborés, ce qui a fait l'objet d'un appel d'offres au *Journal Officiel* S 198/83 du 8 octobre 1988. Ces développements devront prendre environ 2 ans.

Les principes de base de l'action 3 ont été détaillés dans la publication *Télédétection et modèles agrométéorologiques de prévisions des rendements*, sept. 1988 (SP 1.88.40/FR).

Action 3 – Modèle de Prédiction des Rendements

Objectifs

- prévision des rendements régionaux à l'aide de modèles agrométéorologiques reproduisant les effets du climat sur le rendement des cultures
- expression cartographique à l'échelle régionale de l'état de croissance et du bilan hydrique des cultures au cours du temps
- intégration des données de télédétection essentiellement sous forme de contrôle

Méthode

- constitution d'un Système d'Informations Géographiques (SIG) sur les connaissances physiques et agronomiques du milieu rural
- développement de modèles de type semi-déterministe concernant la dynamique hydrique et les stades de développement des cultures en liaison avec la télédétection

Suite à l'appel d'offres paru au *Journal Officiel S 168* du 28 août 1988, 11 études vont être lancées permettant de couvrir dans un premier temps les quatre thèmes de l'appel d'offres :

- des inventaires agrométéorologiques pour les principales cultures en Europe,
- une approche pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle en Europe, valable pour les différentes zones climatiques de la Communauté,
- une application de la méthode «*Capture du pollen dans l'atmosphère*» pour la prévision des productions du vin et d'olive dans les pays méditerranéens,
- un complément du modèle EUROSTAT-AGROMET utilisé par l'Office Statistique des Communautés Européennes.

Les travaux internes visent à définir les informations utiles à extraire de la carte pédologique au millionième de la CEE et d'une façon générale à rassembler les données de base nécessaires : sur les productions, les rendements, les données météorologiques...

Action 4 – Estimations Rapides au Niveau Européen des Superficies et des Rendements Potentiels

Objectifs

- estimation de superficies des principales cultures au niveau européen ainsi que leurs conditions de développement et rendements potentiels
- tester une méthodologie non supervisée qui pourrait être appliquée à l'évaluation des récoltes dans les pays en dehors de la communauté

Méthode

- échantillonnage de 50 sites
- données satellite haute résolution
- interprétation assistée par ordinateur
- évaluation par des enquêtes spécifiques par sondage

Cette action comporte 2 volets distincts :

Volet Analyse des images sur 50 sites

C'est un programme à réaliser par un seul contractant. Il a fait l'objet d'un appel à propositions paru au *Journal Officiel* du 24 septembre 1988 ; le contractant sélectionné devra mettre au point la méthode en 1989 à l'aide des données recueillies en 1988 puis poursuivre les analyses en 1990 et 1991.

Volet Enquêtes de terrain, données agronomiques

L'acquisition des images et les observations terrain de contrôle ont été réalisées en 1988 sur 3 pays (Danemark : 2 sites ; Royaume-Uni : 5 sites ; Espagne : 3 sites + 7 autres sites espagnols pour test complet sur un pays).

En 1989, les travaux seront étendus à : 7 sites espagnols dont l'étude était partielle en 1988 ; 1 site irlandais ; 2 sites portugais.

IV. – Conclusion

Les résultats des premiers travaux effectués en 1988 sont maintenant disponibles. La présentation des inventaires régionaux effectués en Makedonia au cours de cette conférence en est un exemple.

La création fin 1988 d'un Institut des Applications de la Télédétection au sein du Centre Commun de Recherche devrait permettre une impulsion nouvelle de cette technique en Europe et donner en particulier un cadre adéquat au Projet Pilote de Télédétection Appliquée aux Statistiques Agricoles.



Le projet CORINE Land Cover au Portugal

Yves HEYMAN

Eurosense, Bruxelles (Belgique)

Rui GONÇALVES HENRIQUES

Sistema de Informação Geográfica, Lisboa (Portugal)

Résumé : Le projet *Land Cover*, un des projets du programme communautaire *CORINE* qui vise à mettre sur pied un système d'information sur l'environnement, consiste en un inventaire cartographique de l'occupation du sol des douze pays de la CEE.

Dans un premier temps, une étude de faisabilité sur dix zones-test de neuf pays a permis l'établissement d'une nomenclature et d'une méthodologie définitive, valables pour l'ensemble des pays de la Communauté.

La méthodologie repose sur une photointerprétation assistée par ordinateur d'images satellitaires SPOT et Landsat TM, débouchant sur une cartographie à une échelle du 1/100 000^e bien adaptée aux besoins de la Commission et aux besoins locaux. Elle a permis la mise au point du concept d'écozone, outil de base du travail cartographique.

A l'issue de cette phase, une opération-pilote en vraie grandeur a été lancée sur le Portugal. Cette opération conduit à la réalisation d'une base de données géocodées sur l'occupation du sol utilisable à l'échelle du 1/100 000^e. Elle a démontré la nécessité de réaliser une validation de la cartographie, qui renseigne sur sa précision et sur le degré d'hétérogénéité des unités cartographiées.

Après ce premier test actuellement en phase finale, le projet *CORINE Land Cover* doit démarrer sur deux pays: la France et l'Espagne.

Abstract

The CORINE Land Cover project in Portugal

The CORINE Land Cover project was undertaken by the EC program CORINE to establish an environment information system involving land use mapping for the 12 EC countries.

A feasibility study was first carried out in 10 test areas in 9 countries to define a common classification system and methodology for all the EC countries.

Computer-aided photo interpretation of SPOT and TM satellite imagery is used to generate a map (1:100 000) that responds to local needs and those of the Commission. The ecozone concept was defined to serve as a basic mapping tool.

The mapping phase was followed by a field-scale pilot operation organized in Portugal. A geocoded database was constituted on land use (1:100 000). It confirmed the importance of ground truth verification for assessing the accuracy and degree of heterogeneity of the mapping units.

The pilot project is in its final phase; the Land Cover program will now be extended to France and Spain.

I. – Introduction

La définition et la mise en place d'une politique de gestion de l'environnement supposent, comme condition, une bonne connaissance de l'occupation du sol et de son évolution. Le Programme Communautaire *CORINE*, établi en 1985 par décision du Conseil, a pour but de développer un système d'information sur l'environnement qui puisse contribuer à la définition et à l'exécution de cette politique de l'environnement à l'échelle européenne.

Le projet *Land Cover*, un des multiples projets en cours de développement dans le cadre du Programme *CORINE*, consiste en un inventaire cartographique de l'occupation du sol des douze pays de la CEE. Le Projet *Land Cover* doit fournir au programme *CORINE* une information de référence à usage multiple.

En 1985, année de lancement de l'étude de faisabilité *Land Cover*, chacun pouvait faire la constatation que dans tous les pays de la communauté, l'information sur l'occupation du sol, qu'elle soit statistique ou cartographique, présentait les mêmes caractéristiques :

- ☐ hétérogénéité,
- ☐ dispersion,
- ☐ diffusion presque confidentielle.

Cet état de l'information et l'objectif du projet *Land Cover*, qui est de mettre à la disposition du plus grand nombre d'utilisateurs une information sur l'occupation du sol homogène et strictement comparable sur tous les pays concernés, faisaient de ce projet, dès son lancement, une des plus vastes tentatives de réalisation d'inventaire cartographique à l'échelle du 1/1000 000^e jamais entreprise.

L'ampleur de la tâche se résume en quelques chiffres :

- ☐ la surface à cartographier s'étend sur 2,25 millions de km² ;
- ☐ cette surface est couverte par plus de 13 000 feuillets cartographiques 1/100 000^e au format standard ;
- ☐ elle se répartit entre douze pays qui utilisent pratiquement tous, à cette échelle, des systèmes de projection cartographique différents ;
- ☐ enfin, cette cartographie doit, selon le souhait de la Commission, être mise à jour tous les cinq ans puisque, pour la gestion, c'est la connaissance de l'évolution de l'occupation du sol qui importe.

Il convient d'ailleurs de souligner que, conscient de l'ampleur de la tâche à accomplir, le Conseil avait dans sa décision 338.85 relative au projet *CORINE* :

- identifié la collecte d'une information cohérente sur l'utilisation des terres comme une opération prioritaire du Projet ;
- indiqué explicitement l'utilisation des données des satellites d'observation de la terre pour obtenir cette information.

Depuis le lancement en juillet 1972 de Landsat 1, l'observation de la Terre à l'aide de capteurs multispectraux en orbite à bord de satellites artificiels semblaient, en effet, fournir un instrument idéal et peu coûteux pour la réalisation de l'inventaire cartographique de l'occupation du sol d'une zone très étendue.

II. – Mise en place du projet *CORINE Land Cover*

1. Introduction

La décision du Conseil définissait donc parfaitement le cadre général de ce qui est devenu le projet *CORINE Land Cover* : un inventaire cartographique de l'occupation du sol utilisant comme source d'information principale les données de la télédétection spatiale.

Ajoutons ce que le Conseil n'avait pas précisé : cet inventaire doit constituer un des éléments d'une base de données géocodées sur l'environnement en réseau. Dans ce cadre général, les moyens mis en oeuvre par la DG XI se sont révélés efficaces.

Ces moyens ont été :

- ☐ réalisation d'une étude de faisabilité comportant dix zones-test réparties dans neuf pays,
- ☐ réalisation d'une application pilote en vraie grandeur sur le Portugal,
- ☐ mise en place d'une organisation permanente légère chargée de promouvoir et de suivre la réalisation du programme dans les différents pays.

2. Etude de faisabilité

Dans un premier temps, l'étude de faisabilité a consisté en l'application d'une méthodologie provisoire à dix zones-test d'une superficie moyenne de 2 400 km² réparties dans neuf pays afin de couvrir les plus grands nombres possibles de paysages caractéristiques de la communauté. Elle a permis d'établir deux documents fondamentaux du programme : une nomenclature et une méthodologie définitive.

A) Nomenclature

En ce qui concerne la nomenclature, il est important de souligner les points suivants :

- premièrement, il faut convenir qu'il n'existe pas de nomenclature parfaite ;
- une nomenclature est toujours un compromis qui résume l'ensemble des contraintes qui pèsent sur un programme ;
- il y a donc des nomenclatures imparfaites qui sont à la base de programmes opérationnels dont les résultats sont utilisés tous les jours ;
- il y a, d'un autre côté, des tentatives pour bâtir des nomenclatures parfaites qui ne trouvent jamais de programme d'application.

La nomenclature *Land Cover*, qui n'est donc ni meilleure, ni pire que les autres, présente cependant quelques caractéristiques qui méritent d'être soulignées :

- elle permet de fournir à la Commission une information suffisamment détaillée ;
- chaque pays peut, s'il le souhaite, ajuster en fonction de ses procédures ou de ses préoccupations, un niveau hiérarchique supplémentaire dans le cadre même du programme *CORINE* ;
- elle est largement admise par l'ensemble des intervenants du programme ;
- enfin, elle est cohérente avec le mode d'utilisation des données de télédétection défini par la méthodologie.

B) Méthodologie

Le second document issu de l'étude de faisabilité est la méthodologie. Avant de commenter ce document, il faut signaler que dans le projet *Land Cover*, la méthodologie a un statut un peu particulier.

Ce statut particulier résulte du fait que les informations de base, c'est-à-dire les données numériques transmises par les satellites sont partiellement identiques pour tous les pays, donc pour chacune des équipes nationales. De plus, la collecte de ces données est parfaitement répétitive et, grâce aux deux satellites actuellement en service (SPOT 1 et LANDSAT 5), on pourrait disposer de deux couvertures de l'Europe tous les ans. La méthodologie *Land Cover* n'est donc pas concernée par la collecte des données de base qui est assurée par les organismes qui gèrent les satellites.

Dans ses grandes lignes la méthodologie retenue peut être définie par trois éléments fondamentaux :

- 1°- l'échelle de la cartographie : le 1/100 000^e ;
- 2°- le mode d'exploitation des données du satellite que l'on peut désigner comme une photo-interprétation d'images fausses couleurs assistée par ordinateur ;
- 3°- la définition d'une unité spatiale et statistique propre au projet et provisoirement dénommée «Ecozone».

L'échelle de 1/100 000^e pour cette cartographie européenne a été retenue pour deux raisons fondamentales :

- ☐ elle satisfait les besoins de la Commission ;
- ☐ elle est bien adaptée pour servir de base dans chaque pays à la réalisation, sur des zones limitées, d'applications thématiques particulières à des échelles plus grandes et donc plus directement utilisables dans le cadre d'avant-projets d'aménagement ou de protection des milieux.

L'unité cartographique est un aspect essentiel de cette méthodologie. La documentation dépouillée durant l'étude de faisabilité a mis en évidence une situation pour le moins paradoxale : en effet, d'un côté l'observation de la Terre à partir de satellites artificiels fournit *a priori* le moyen idéal de réalisation d'inventaires cartographiques de l'occupation du sol de vastes régions du globe, d'un autre côté, les opérations d'inventaire lancées dans différents pays semblent :

- ☐ soit avoir rencontré beaucoup de difficultés à se finaliser ;

- ☐ soit déboucher sur des demi-succès, voire sur des demi-échecs.

L'analyse de ces expériences nous a conduit à la conclusion suivante : les difficultés rencontrées dans la réalisation d'inventaires cartographiques d'occupation du sol utilisant les données de télédétection résultent du fait que l'on considère que l'occupation du sol est une notion banale et évidente ; l'unité spatiale à cartographier (l'objet du travail) tombe sous le sens commun et ne nécessite, de ce fait, aucun travail particulier d'élaboration théorique.

Il nous est apparu, tout au contraire, que l'utilisation des données satellitaires à des fins d'inventaire thématique ne pouvait se limiter à une réflexion sur la nomenclature d'occupation du sol à utiliser, mais qu'elle impliquait une réflexion approfondie sur l'unité spatiale cartographiée.

Cette unité (et sa définition rigoureuse) est en effet l'outil de lecture et d'organisation des données de télédétection qui, sous leur forme la plus habituelle, l'image de la Terre, est la représentation foisonnante de la diversité et de l'hétérogénéité de la nature.

Dans la réalité, l'occupation du sol se présente comme une combinaison (ou un assemblage) de zones plus ou moins hétérogènes et ce, quelle que soit l'échelle de représentation adoptée :

- ☐ le capteur du satellite fournit une représentation de cette réalité non immédiatement lisible en terme d'occupation du sol ;
- ☐ cette réalité même de l'occupation du sol peut, dans sa complexité/diversité, être cartographiée.

On est donc conduit à construire et à définir pour tout travail d'inventaire, une unité spatiale et statistique qui puisse satisfaire aux deux exigences suivantes :

- ☐ son «contenu» doit être conforme aux besoins thématiques des utilisateurs de l'inventaire cartographique produit ;
- ☐ cette unité doit fournir une représentation acceptable de la réalité compte tenu du thème envisagé.

Ces considérations ont conduit les responsables de l'étude de faisabilité à la définition suivante d'une unité spatiale qu'ils ont provisoirement baptisée «Ecozone» : *«Macro-système identifiable sur une zone d'une taille significative à l'échelle de travail adoptée (25 ha) et dont la structure, en terme d'occupation du sol, est suffisamment représentative et stable pour servir d'unité de collectes de données plus fines».*

3. Application pilote au Portugal du Projet CORINE Land Cover

Le bilan de l'étude de faisabilité s'étant révélé positif, la DG XI a décidé de lancer une opération pilote en vraie grandeur sur l'ensemble d'un pays de 90 000 km², le Portugal.

Du déroulement de cette opération pilote, trois aspects peuvent être retenus :

- 1° – cette opération a montré que la méthodologie était bien applicable à un pays dans sa totalité ;
- 2° – elle a ensuite permis à l'équipe technique d'être confrontée dans le cadre d'une application en vraie grandeur, aux problèmes de constitution d'une base de données thématiques géocodées ;
- 3° – enfin, elle nous a contraint à établir une méthodologie de validation de la cartographie.

Dans le cas du Portugal cette méthode, qui repose sur le contrôle par sondage aléatoire sur l'ensemble des unités cartographiées stratifiées par classes d'occupation du sol et par classes de surfaces, conduit au contrôle sur photos aériennes ou directement sur le terrain de 60 000 points appartenant à 2 500 unités.

L'avantage de cette méthode est qu'elle fournit deux types d'information :

- ☐ le niveau de faisabilité de la cartographie en terme de pourcentage du territoire correctement classé ;
- ☐ des indications sur le degré d'hétérogénéité des unités cartographiées, ce qui est très important puisque comme nous l'avons souligné, la notion de zone homogène d'occupation du sol (25 ha) y est une abstraction, rigoureuse certes, mais qui peut se révéler un facteur limitant pour les utilisateurs futurs de la base de données.

Le Portugal sera dans un avenir proche le premier pays de la Communauté à disposer d'une base de données géocodées sur l'occupation du sol validée et utilisable à l'échelle de 1/100 000^e.

Aujourd'hui, avec le début des travaux du programme *Land Cover* en France et en Espagne, le programme prend une ampleur particulière. Actuellement, le programme *CORINE Land Cover* concerne près de 1,2 million de km². Il est un des premiers programmes mondiaux d'inventaire cartographique utilisant comme données de base les données des satellites d'observation de la Terre.

III. – Organisation du projet *CORINE Land Cover* au Portugal

1. Organisation du travail

D'après la méthodologie établie pour ce projet, le travail a compris les phases suivantes :

- ☐ acquisition des images satellitaires,
- ☐ production des images-cartes à l'échelle du 1/100 000^e,
- ☐ inventaire de l'information exogène existante,
- ☐ interprétation des images-cartes,
- ☐ interprétation des images assistées par ordinateur,
- ☐ vérification de l'interprétation produite,
- ☐ digitalisation et organisation de la base de données *Land Cover*,
- ☐ validation des résultats.

En ce moment le processus de la vérification/validation est en cours, après conclusion des phases précédentes. En raison de l'inexistence (au début de 1987) de systèmes opérationnels de traitement digitalisé d'images satellitaires et pour l'exécution de l'application au Portugal du projet *Land Cover*, une équipe internationale a été formée sous l'orientation du responsable de ce projet (Y. Heyman).

L'acquisition et la production des images-cartes ont été réalisées à Bruxelles, par la société Eurosense, tandis que les tâches d'inventaire de l'information existante et d'interprétation de ces images-cartes ont eu lieu à Lisbonne ; elles ont été réalisées par une équipe interministérielle et pluridisciplinaire portugaise mise en place pour cet objectif spécifique.

2. Méthodologie

Pour l'application au Portugal du projet *CORINE Land Cover*, des images Landsat MSS furent choisies comme base de travail pour la production de la première version de la cartographie biophysique du territoire. Plus tard, des images Landsat TM couvrant la partie occidentale du pays (où la taille très réduite des parcelles agricoles posait des difficultés particulières d'interprétation) ont été achetées pour compléter l'analyse effectuée sur la base des images MSS.

A partir des bandes magnétiques CCT de ces images et après la correction géométrique (le rééchantillonnage des images a été réalisé pour des pixels de 50 m) des «images-cartes» à l'échelle du 1/100 000^e furent produites. Ces images cartes, qui correspondent aux 53 feuilles de la série cartographique du 1/100 000^e, ont été l'objet d'une première interprétation, ayant pour but d'identifier et de délimiter les écozones établies dans le cadre de la méthodologie du projet et de leur attribuer leur classification respective, en utilisant la nomenclature adoptée. L'interprétation a été facilitée par l'utilisation de données exogènes disponibles, notamment la photographie aérienne.

Actuellement (mars 1989), le travail de vérification est en cours ; nous faisons appel au traitement digital d'images pour la caractérisation des écozones plus complexes. Un essai d'exécution de la méthodologie établie pour la validation de la cartographie produite a été déjà réalisé à la fin de 1988 (cette méthodologie aura pour base la stratification des écozones par taille et, éventuellement par région, sur laquelle on fera l'échantillonnage des zones à valider) ; on espère pouvoir terminer cette validation avant la fin de l'été prochain.

3. Principales difficultés rencontrées

Trois sortes de contraintes ont caractérisé cette opération :

I° – le temps disponible pour réaliser ce projet a été particulièrement court. L'étude de faisabilité sur la zone-test portugaise a été réalisée en seulement deux mois (le rapport et la carte compris). La cartographie de l'ensemble du territoire portugais, basée sur l'interprétation des images-cartes a été terminée dans les six mois suivant la production des images-cartes ;

II° – la complexité de l'occupation du sol au Portugal résulte de la complexité morphologique du territoire, de la diversité climatique, de l'hétérogénéité de la structure de la propriété rurale du pays et des pratiques agricoles suivies. Par exemple, de larges surfaces sont micro-parcellées et ont une utilisation agricole diversifiée (associations agriculture-forêt ou agriculture-végétation naturelle, sur les mêmes parcelles de sol) ;

III° – un système de nomenclature européen qui ne permet pas de mettre en valeur la spécificité de l'utilisation du sol au Portugal. Bien que ce problème soit commun aux autres pays méditerranéens la classification de l'occupation du sol a été particulièrement difficile pour de nombreuses zones du territoire portugais, en raison des tailles très réduites des parcelles agricoles et de l'hétérogénéité du paysage.

4. Conclusion

Le film vidéo produit sur l'application du projet *Land Cover* au Portugal présente l'état du projet avant les conclusions des phases de vérification et de validation.

Avant la fin de l'été 1989, avec la conclusion du projet au Portugal, il sera possible d'utiliser de façon systématique la base de données digitalisée qui sera introduite, non seulement dans le système d'information *CORINE* de la DG XI à Bruxelles, mais aussi au Portugal, au niveau de l'administration centrale et dans les cinq commissions régionales de coordination.

Au Portugal, la cartographie digitalisée produite dans le cadre de ce projet sera l'une des nombreuses «couches» d'information à introduire dans les systèmes d'informations géographiques au niveau national et régional qui sont en train d'être mis en place dans le cadre du projet *Sistema Nacional de Informação Geográfica*, qui envisage, en même temps, d'établir un réseau entre les différentes bases de données sectorielles existantes ou en cours de développement au Portugal.

Pour 1989, l'utilisation systématique de la cartographie *Land Cover* sera sans doute une réalité pour les administrations centrale et régionale, notamment en ce qui concerne l'analyse des projets d'aménagement du territoire et l'étude d'impact sur l'environnement de nouveaux projets de travaux publics.



Use of SPOT orthoimages for agriculture in Catalonia

Juan ROMEU, Vicenç PALA, Oriol VIÑAS, Roman ARBIOL
Institut Cartogràfic de Catalonia, Barcelona (Spain)

Abstract: Improved management of agricultural and forest resources requires accurate and updated land use maps. In Spain such maps are produced by the Ministry of Agriculture. The maps, called *Mapa de cultivos y aprovechamientos* (MCA), are produced at a scale of 1:50 000 by photo interpretation of aerial photographs and intensive field work. Updating the maps with the same methods would require the same long and laborious effort.

Production of SPOT orthoimages by the cartography institute, *Institut Cartogràfic de Catalonia* is a convenient method for obtaining georeferenced documents that serve as a basis for photo interpretation.

The method used in this research consists in overlaying the transparency of the map to be updated on the SPOT orthoimage and drawing visible changes of forms and contents on a new transparent film. The resulting document is then completed in the field.

The new method has a definite advantage compared with the traditional system even if the MCA classes cannot be directly interpreted on the orthoimage. With the new method the new polygons can be identified and processed directly at the scale of the published map; the number of documents to be processed is reduced and only a single document is required for field work.

Résumé

Utilisation d'orthoimages couleur SPOT pour l'agriculture en Catalogne

Une cartographie de l'occupation du sol précise et à jour est absolument nécessaire pour une meilleure gestion des ressources agricoles et forestières. En Espagne, ces cartes appelées «Mapa de Cultivos et Aprovechamientos» (MCA) sont produites par le Ministère de l'Agriculture en utilisant une méthode de photointerprétation de photos aériennes et de travail intensif sur le terrain. L'échelle finale d'édition est le 1/50 000^e. La mise à jour de ces cartes avec la même méthodologie signifierait de nouveau le même long et fastidieux travail.

La production d'orthoimages SPOT par l'Institut Cartographique de Catalogne rend possible la production rapide de documents de base géoréférencés pour cette mise à jour.

La nouvelle méthode utilisée dans cette recherche consiste à superposer un calque de la carte à mettre à jour sur une orthoimage SPOT et à dessiner sur un nouveau film transparent le changement de formes et de contenu, si possible, de façon à produire un document qui sera complété sur le terrain.

Bien que la complexité de la légende des MCA (plus de 80 classes) rende impossible l'interprétation directe sur l'orthoimage, la méthode confirme en pratique les avantages théoriques sur les systèmes traditionnels de mise à jour cartographique, c'est-à-dire les nouveaux polygones sont directement saisis à l'échelle de publication, le nombre de documents à traiter est réduit et un seul document est utilisé sur le terrain.

I. – Introduction

The Catalanian cartography institute, *Institut Cartogràfic de Catalonia* (ICC) is an autonomous organization attached to the Territorial Policy and Public Works Council. It has the responsibility to produce topographic maps and to undertake any cartographic work. Two main working areas are being developed at present: generation of 1:5 000 and 1:25 000 scale orthophotomaps and of false color maps at 1:100 000 and 1:250 000 scales from Landsat 5 satellite imagery.

This paper deals with the false color 1:50 000 series which links the two working areas. SPOT imagery and a digital terrain model (DTM) are processed by software developed at ICC.

The second part of the paper deals with the applications of orthophotomaps to agriculture. It describes the methods used by ICC for extracting information required by the Department of Agriculture of the *Generalitat de Catalunya* (autonomous government of Catalonia) on the status and distribution of crops. This part focuses on updating of inventories, monitoring of newly irrigated land, stratification for agricultural statistics, and the use of orthophotomaps as a support in agricultural thematic cartography.

II. – Orthophotomap generation

1. Data

Several studies have demonstrated the suitability of SPOT panchromatic images registered by high-resolution visible (HRV) sensor for 1:50 000 orthophotomap generation (Baudoin, 1986). Moreover, the availability of both P and XS images (**Table 1**) from a single satellite source facilitates merging of information previously contained in separate images.

Table 1. Characteristics of SPOT HRV bands.

Bands	Wavelength	Pixel size (m)
XS1	0.50 - 0.59 green	20
XS2	0.61 - 0.68 red	20
XS3	0.79 - 0.89 near-infrared	20
P	0.50 - 0.75 panchromatic	10

The dates for satellite programming were fixed between June and September as images can be obtained without cloud cover and snow in summer; they also have the best radiometry.

A DTM with a high precision level is required for geometric correction. Initially, the DTM generated by the defense mapping agency was used. It consisted of a grid of elevations at 3-second intervals. Maps to locate ground control points included 1:5 000 scale orthophotomaps and 1:25 000 scale topographic maps.

2. Geometric correction

The most common geometric distortions in satellite images are caused by earth rotation, perspective, spacecraft velocity, attitude, altitude, and desired projection (e.g. UTM).

Additionally, in the case of SPOT, distortions due to relief are more accentuated in lateral views (**Table 2**).

The traditional method for geometric correction is based on the adjustment of a polynomial function that correlates digital image coordinates (line, column) and the geographic position of ground control points. This method was adopted for producing 1:100 000 scale maps from Landsat TM images (Arbiol, 1986).

For SPOT imagery, the **polynomial model** is not suitable for rough terrains. An alternative and more sophisticated method that uses terrain information supplied by DTM was adopted.

Several authors (Salamonowicz, 1986; Gudan, 1987) have developed models that establish the satellite orbit and sensor attitude variations for each image line from a few ground control points. ICC tested two other models that are based on the collinearity equations. Both rely on image position parameters, and

Table 2. Displacement (in meters) according to lateral view angle and terrain height.

Height (m)	Lateral view angle		
	0 degree	5 degrees	10 degrees
2000	72	247	424
1000	36	123	212
500	18	61	106
100	3	12	21

geographic coordinates and height of ground control points. A least squares adjustment technique (Mikhail, 1976) is used. The parameters are used for geometric correction of the image.

A simplified model simplifies the problem; it considers relief features with reference to a flat base (and not spherical), the satellite orbit as rectilinear, and the sensor attitude as constant. The Earth rotation effect is stimulated by correcting orbit inclination and sensor attitude. The model takes into account the panoramic effect because it uses an array of sensors. The flat-surface approximation of the geoid and variations in sensor attitude remain as residual errors.

In the **more realistic** model the satellite position is qualified in terms of orbital parameters (inclination, longitude of descending node, orbit radius, and geocentric latitude) and its linear attitude is described by six more parameters. The Earth's shape is described by an ellipsoid. The geometric correction of the image needs a time-consuming loop compared with the first model which only requires systematic computation (no loop) of a simple expression.

3. Metric accuracy

Two different tests were made to control the accuracy calculated from the three different models (Table 3).

Table 3. Characteristics and results of the test for comparing three geometric correction models.

Spectral band	PAN	PAN
Date	22 March 1986	22 March 1986
Incidence angle	R20.4	R7.3
Area	Marseille	Barcelona
Test points	40	32
RMSE	X / Y	X / Y
Polynom degree 2	66.7/ 8.9	11.5/8.2
Simplified model	12.2/ 10.2	9.4/8.8
Realistic model	10.5/ 6.3	8.7/8.8

4. Image registration

After correction of both images (XS, P), an image-to-image registration was required as geometric correction only guarantees a mean error of ± 1 pixel and image overlaying is very sensitive to small position differences.

For the image registration, homogeneous control points (image-to-image) were found on both images to build a second-order polynomial function that converts the geometry of the XS image into the geometry of the P band. The points on the image were not selected manually to avoid introducing a position error; instead, digital correlation techniques were used to overcome the problem.

Once a set of systematically defined points were computed, those giving large errors were deleted. Some reasons of poor correlation are:

- radiometric artifacts in the image
- points over the sea
- radiometric differences between both sensors

These points were detected using the "Danish method" to attribute weights to control points. Once the polynomial function was defined, the geometry of the XS image was adjusted to the geometry of the P image to enable proper registration of the four SPOT bands.

5. XS and P combination

Some authors (Chavez, 1986; Cliche, 1985) discuss the problem of combining information from different sensors with different spatial and spectral resolution: for instance, merging multispectral information (TM, MSS, HRV-MSS) with panchromatic high-resolution images (HRV-P, NHAP). In this case the resulting information combines the advantages of color from the XS image and of better resolution from the P image.

The technique that gives the best results is based on HSL (hue, saturation, lightness) transformation for more intuitive color management (Foley, 1982). The HSL transformation is applied to multispectral bands. The P image is then substituted to the lightness image and the inverse transformation is then applied. The best resolution of the panchromatic image is thus achieved for all resulting bands.

HSL transformation usually allows more controlled color management and improves the quality of the final product. For instance, more saturated colors are obtained by modifying the values in the S component.

6. Final processing

Before generating the final image, a set of procedures are applied to enhance local radiometry. The first process is a Laplacian filter that displays high frequencies on the image. Linear structures are made more visible despite an increase in noise.

This is followed by contrast enhancement using the local histograms computed inside each square of a regular grid. A normalizing operation is computed for each window (square). A contrast function resulting from a combination of the normalizing functions related to the four windows closest to the pixel is applied to each pixel. The functions are weighted according to the distance between the pixel and windows.

Since pixel size at 1:50 000 scale is 0.2 mm and the human eye is very sensitive to blocks with these dimensions (Wiesel, 1985), it is necessary to compute a new image with a pixel size that hides this effect on printed maps. A 1.4 reduction factor is applied, which is enough to get the desired effect. The 16 neighboring pixels are taken into account in a discreet $\sin(x)/x$ interpolation function of new pixels. This function smooths the noise increased by the Laplacian filter.

Finally radiometric retouching of each band avoids some basic color predominance and excessive dark or light shades.

7. Printing

The processed digital images need to be converted into analogical images. A writer laser system is used to produce three screened films (cyan, magenta, and yellow colors) at the desired scale.

The final map, like the 1:100 000 scale map series of Catalonia (Arbiol, 1986), includes marginal information to facilitate map reading by users who are not familiar with this kind of images. The main land covers in each map are shown using small examples taken from the image. Magnetic declination date, image time and date, and a brief process description are also included. A guide map of the area with toponyms, the hydrographic network, and roads is also provided. Another map helps to locate each sheet in the series. The image is fitted in a geographic overlay with the administrative boundaries and main place-names in the image.

8. Production of a series

ICC plans to generate an orthophotomap of the entire Catalanian territory. However, the production of a series involves additional difficulties due to mosaicking, cloud detection and elimination, and radiometric variations.

The 86-sheet series will maintain a certain uniformity but each sheet will be processed separately to increase its visual interpretation possibilities. Production of the series will take at least 1 year with the existing resources.

III. – Examples of use of SPOT orthophotomaps in agriculture

One of the main constraints to regular use of satellite images by land development planners is the cost of the images and the computing time. Microcomputers are used for processing satellite imagery and microcomputers and the use of conventional photo interpretation techniques for printed photographs.

As ICC's main thrust is the production of orthophotomaps, efforts are directed towards the development of methods for facilitating interpretation of this type of photographs. The Department of Agriculture is very interested in upgrading its information systems by adopting modern cartographic techniques that use the orthophotomaps created from SPOT imagery.

1. Inventory updates

The first task in photo interpretation is updating the crops and production map, *Mapa de Cultivos y Aprovechamientos* (MCA), which was made by the Ministry of Agriculture and covers the entire Spanish territory. Some features of this map are:

- 1 200 sheets at 1:50 000 scale
- focus on natural vegetation and permanent crops
- annual herbaceous crops are differentiated in irrigated and nonirrigated areas
- a very detailed legend with differentiation up to species level
- more than 90 different codes
- based on photographs and intensive field work

This inventory needs to be updated because it took around 10 years to complete the work and the criteria used by photo interpreters were not the same throughout the project.

The following method was used for updating (MOREIRA, 1987; CORINE, 1988). It involves:

- Digitalization of the MCA polygons on a transparent film at the scale of 1:50 000 and overlaying on the SPOT false color orthoimage.
- Interpretation of overlaid document. Vegetation evolution can be assessed more accurately because the image acquisition date is known. Changes in land use can be interpreted by an analyst. At this stage, it is easy to differentiate:
 - growth of urban areas
 - forest fires
 - transformation of woodland into agriculture land
 - abandonment of fields
 - appearance of new irrigation
 - new plantations
 - clearcuts
- The MCA legend is more complex than that resulting from orthophotomap interpretation. However, as areas where changes have occurred can be located from the images, field work can be planned more efficiently.
- The new polygons drawn on the orthoimage can be digitized directly and included in the database where the map is stored.

The MCA update tests used sheet 360 (Agramunt sheet in the province of Lleida). Some characteristics of this area are:

- very flat area (200 m–300 m)
- about 60% of agricultural land is irrigated from a network of channels
- main irrigated crops are: maize, wheat, fruit trees
- main nonirrigated crops are: barley, wheat
- some isolated hills covered by natural vegetation
- average plot size is around 1 ha

The image taken in June 1986 was selected because this is the best period to differentiate vegetation. Some results obtained from photo interpretation are:

- Incorrect cartographic positioning of a large number of polygons was observed in MCA. This was easily corrected by using the orthoimage. The final metric precision is conditioned by the error committed during the construction of the orthoimage (10 m RMS error) and that in the digitalization phase.
- Woods and scrub areas tend to diminish as they are cleared to provide new agricultural land.
- Agricultural plots over gypsum with poor productivity were abandoned and have become scrubland.
- Labeling of plots from orthoimage interpretation could be evaluated with 90% accuracy.

This method of updating can significantly reduce costs for both processing and field work. This reduction makes it possible to keep the MCA up-to-date.

2. Other applications

Another type of application of the SPOT orthophotomaps is related to its accuracy in representing a varied geographical reality. This characteristic makes them very suitable for use as a base for various types of information. The obvious examples of this type of use are soil mapping, potential vegetation maps, fire risk

maps (access, water points), or any other mapping application that requires a precise geographical reference.

One of the concrete applications of the SPOT orthophotomap at ICC is the compilation of crops statistics. In this projet, SPOT images are used in the digital classification form for classification processing and the printed form for the stratification of study areas.

Another suggestion by the Department of Agriculture is the possibility of updating irrigation zones which can be easily interpreted from false color orthophotomaps.

IV. – Conclusion

SPOT imagery has many applications in agriculture. A digital image processing computer is not always required to obtain information from these satellite images. Very important and varied information that is difficult to obtain otherwise can be extracted from published orthophotomaps by specialists in various fields other than agriculture.

Easy handling of the printed images, geometric quality of the interpretations carried out on the orthophotomap and the possibility of regular coverage are a definite advantage for inventory, monitoring management of agricultural resources. Orthophotomaps are also a useful basic tool for producing thematic maps.

References and further reading

- ARBIOL (R.), ROMEU (J.), VIÑAS (O.), 1986. Mapa falso color de Catalunya a escala 1:100,000 a partir de imágenes del sensor TM del satélite Landsat-5. *Reunion científica del grupo de trabajo en teledetección*, pp. 9-29, Barcelona.
- BAUDOIN (A.), 1986 Premier bilan des traitements et de l'utilisation des images SPOT par l'Institut Géographique National. *SPOT 1, premiers résultats en vol.*, pp. 41- 47, Toulouse.
- CLICHE (C.), BONN (F.) TEILLET (P.), 1985. Integration of the SPOT panchromatic channel into its multispectral mode for image sharpness enhancement. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 51(3), pp. 311-316.
- CHAVEZ (P.S.), 1986. Digital merging of Landsat TM and digitized NHAP data for 1:24 000-scale image mapping. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 52(10), pp. 1637-1646.
- COMMISSION des COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, 1987. *CORINE Land Cover*, Bruxelles: CEE (étude de faisabilité, usage interne).
- FOLEY (J.D.), Van Dam (A.), 1982. *Fundamentals of interactive computer graphics*. Reading (Mass): Addison-Wesley.
- GUGAN (D.J.), 1987. Actualización de inventarios agrícolas mediante el uso de ortoimágenes Landsat TM. // *Reunion científica del grupo de trabajo en teledetección* (Valencia).
- MIKHAIL (E.M.) 1976. *Observations and least squares*. IEP 1976, New York.
- MOREIRA (J.M.), 1987. Actualización de inventarios agrícolas mediante el uso de ortoimágenes Landsat TM. // *Reunion científica del grupo de trabajo en teledetección*, Valencia.
- SALAMONOWICZ (P.H.), 1986. Satellite orientation and position for geometric correction of scanner imagery. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 52(4), pp. 491-499.
- WIESEL (I.), 1985. Digital image processing for orthophoto generation. *Photogrammetria*, 40, 69-76.



Advantage of SPOT data for land use mapping in Slovenia

Ana TRETJAK

Zavod SR Slovenije za Statistiko, Ljubljana (Yugoslavia)

Abstract : The primary purpose of the federal agricultural statistics service of the Yugoslav statistical office, *Zavod SR Slovenije za Statistiko*, is to provide information about current and future supplies of agricultural commodities. The current methodology for collecting agrostatistical data is discussed and a need for georeferenced data is expressed. The author suggests high-resolution digital satellite data combined with other georeferenced databases would provide the most appropriate data source for agricultural management, planning, and decision-making. A case study at municipality level of the classification of SPOT PAN and XS data into major land use and agricultural classes is presented. The results are compared with official statistics of this area.

Résumé

Intérêt de SPOT pour la cartographie de l'occupation du sol en Slovénie

Le principal objectif du Service Fédéral de Statistiques Agricoles de l'Office de Statistiques de Yougoslavie est de fournir des informations sur les productions agricoles actuelles et futures. La méthodologie utilisée actuellement pour la collecte de données agrostatistiques est discutée et un besoin de données à références spatiales est exprimé. L'auteur suggère que l'utilisation de données satellitaires digitales à haute-résolution, combinées avec les autres bases de données géoréférencées constituerait la source de données la plus appropriée pour la gestion, la planification et la prise de décisions agricoles. Un cas d'étude, au niveau d'une municipalité, d'une classification de données panchromatiques et multispectrales SPOT, entre les principales classes agricoles et d'occupation du sol est présenté. Les résultats obtenus sont comparés avec les données statistiques officielles de cette région.

I. – Introduction

Sustained increase of agricultural production is one of the main government priorities in Yugoslavia. Realistic planning needs to be based on a reliable inventory of land resources and on assessment of land potential for agricultural production and development.

In Yugoslavia, reliable data on agricultural land use at the national or federal level are not available. The available estimates are too crude to provide a basis for planning better land utilization to increase production.

Land use, field acreage, and crop forecasting estimates are based on information provided by agents of the reporting service. The principal disadvantage of the existing method is the risk of subjective bias and lack of geographic coordinates of individual acreage data. As a result the estimates cannot be combined with other ground information (analog or digital), such as soil maps, digital relief model, hydrometeorological data, etc.). Agro-economic methods needed for sound economic planning cannot be used, particularly for reliable forecasting of crop production.

Over the past 10 years intensive efforts have been devoted to social planning in Yugoslavia. New laws and regulations have integrated the human environment within social planning. In SR Slovenia an analog database of Land Cover was established with data derived mostly from interpreted aerial photographs as cadastral data are obsolete. The basic map scale is 1:25 000, which is mainly used in planning at municipality and national level.

One of the main reasons for not using the photointerpreted data in agrostistics is that it is a time-consuming technique. Moreover, the analog form does not allow combination of photointerpreted data with other existing digital databases.

The research project "Remote sensing: application of digital satellite scanned techniques in the fields of land use and agrostistics" was launched in 1982. It was initiated to develop a federal-level methodology for collecting agrostistical data that would provide timely, objective, and accurate information. Its ultimate goal is to develop a land use information system that will be incorporated with other relevant geocoded data into a Geographic Information System, GIS (**Figure 1**).

II. – Previous land use maps based on remotely sensed data

In 1986 and 1987 the remote sensing project received assistance from FAO through its TCP program; the following digital products were generated:

- Landsat MSS (all final output at 1:500 000 scale):

- geometric oriented mosaic of SR Slovenia compiled from three MSS scenes with main land use classification statistics
- delineation of homogeneous land units within the territory of SR Slovenia, based on geological and geomorphic vegetation characteristics.

- Landsat TM (all final output at 1:50 000 scale):

- classification of Ptuj municipality into main agricultural land use classes
- estimation of hop field acreages based on multitemporal analysis in the Savinja valley
- location and acreage estimates of various forest stands on the hilly region of Pohorje

- SPOT PAN and XS (final output at 1:50 000 scale):

- unsupervised classification of the Krško municipality into main land use classes.

This work was published and presented on the International Workshop on "Application of Satellite Remote Sensing Techniques to the needs of Agricultural Statistics" held in Ljubljana in June 1987.

III. – Land use map of the Krško municipality

1. SPOT data

In the FAO-YUG project two SPOT scenes, both covering the Krško municipality of the Republic of Slovenia, were analyzed (**Figure 2**). The XS SPOT CCT is a vertical scene (K/J: 069/257, date: 19 May 1986); the PAN CCT has a scanning angle of 5.8° W degrees (KJ 069/257, date: 5 July 1986).

The work was done at the FAO Remote Sensing Centre in Rome, with access to the Dipix-Aries-II Image Analysis System.

Among the existing scenes of the area, scenes with the least cloud coverage were ordered. However, the extreme southern part of the municipality area was still not covered (**Figure 3**). As the missing part is mainly hilly and predominantly under forest, the two scenes were retained for further analysis. Unfortunately both images had quite large portions under clouds, far above the stated 0-10% cloud coverage.

2. Geometric corrections

Due to strict national regulations concerning any ground or map data, only the map of SR Slovenia at 1:400,000 scale and the map of the Krško municipality at scale 1:50 000 scale were used.

After generating a working window to cover the Krško area, the PAN data were registered to the Krško map (scale 1:50 000). The linear transformation and cubic convolution resampling algorithm were used with 17 ground control points with a standard error of 14.12 m and 13.28 m for the x and y axes, respectively. Residual error was acceptable because it only produces a difference of 0.28 mm and 0.26 mm respectively, at the final output scale of 1:50 000.

The municipality boundaries were digitized on the geometrically oriented PAN working window. The municipality area according to scanned data is 34 590 ha and differs by + 0.4% from official data.

3. Classification

The PAN data were classified using histogram slicing (Table 1).

Table 1. Reflectance values of different land use classes.

Reflectance values	Land use classes
01 - 51	Forest
52 - 57	Grassland
58 - 60	Haze, clouds, shadows
61 - 70	Large fields, haze
71 - 76	Large fields, open land
> 77	Industrial area, open land

The results were used to determine average cluster values for the nonsupervised classification of PAN and XS data; XS data of bands 2 and 3 were previously resampled to the 10 m × 10 m pixel resolution and merged with PAN data.

In addition, the nonsupervised classification was refined by integrating individually sampled pixels of each land use and agricultural class (Table 1).

4. Results

Only the classes forest and grassland were compared with official statistical data due to lack of ground truth data and the poor quality of scanned data (cloudiness). The forest class had a difference of -5.2% compared with statistics, while grassland differed by +4.6%. The other classes were too biased by prevailing atmospheric conditions but their position on the map was located precisely.

A comparison of the information obtained from each band confirmed that the panchromatic band contributed most to facilitate separation of linear features such as roads, paths, and field boundaries. These data would suffice for updating the cadastral data or maps.

IV. – Conclusion

On the basis of the experience gained from the analysis and interpretation of digital satellite data, we believe that data derived from Landsat MSS, Landsat TM and SPOT earth resource satellites, combined

Table 2: Results of the nonsupervised classification of merged SPOT PAN and XS data on the Krško municipality.

Clusters	Land use class	Area (ha)	% of total area
CLU - 1	Forest	15 261	44.1
CLU - 2	Grassland	9 358	27.1
CLU - 3	Small fields, built up areas	739	2.1
CLU - 4	Large fields	501	1.4
CLU - 5	Water & clouds	2 219	6.4
Unclassified		6 510	18.8
Total		34 590	100.0

with digitized aerial photographs and ground surveys in a multistage sampling design can provide information on agricultural land use that is suited to national requirements. Such method presupposes an adequate area sampling frame that stratifies the area into homogeneous land units according to land use types. Each unit has a specific sampling density. The configuration of such a multistage remote sensing design and the selection of the scanned pixel size will depend on the requirements of particular applications, climatic and soil conditions, local farming practices, availability of remote sensing data, and cost-effectiveness of various options.

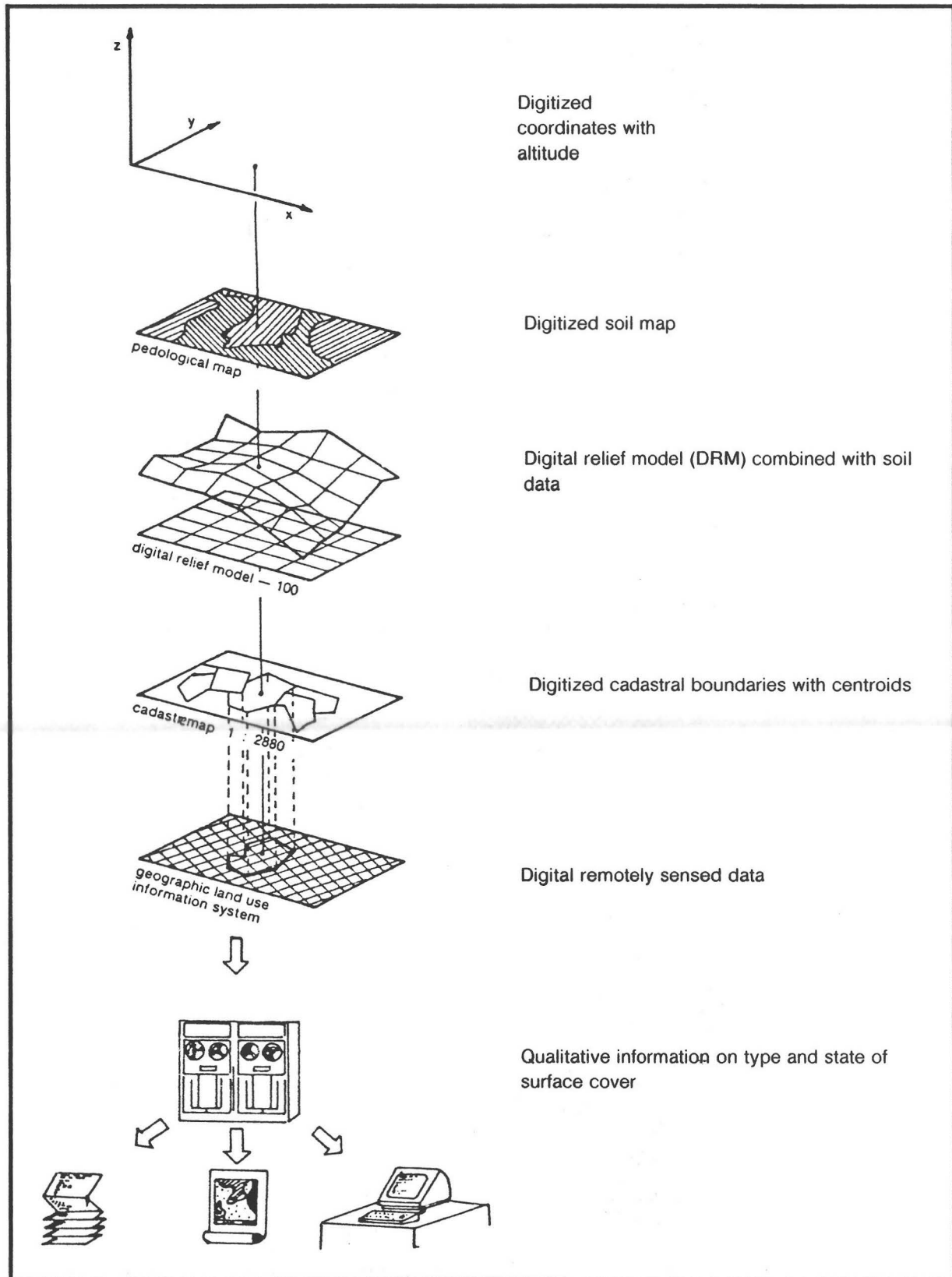
Follow-up work for a federal remote sensing project will concentrate on:

- analysis of spectral signatures for main land use categories and crops in Slovenia in various bands throughout the growing season
- establishment of a computerized based land use information system integrated with other relevant geocoded databases and existing socio-demographic databases, resulting in a geographic information system
- extension of the project to other republics and autonomous provinces of Yugoslavia, taking into consideration their specific environmental conditions and local agrarian systems

The digital multistage remote sensing method based on an adequate area sampling frame would enable the incorporation of the resulting digital data into a national and federal geographic information system which will be linked to various existing databases. The data could then be processed for various applications (**Figure 4**), including modeling, to provide farmers and planners with reliable data for their agro-economic analyses.



Figure 1. Schematic presentation of the use of a computerized database with satellite data on land use, agriculture, and forestry.



Source: Banovec T., personal communication.

Figure 2. Location of SPOT PAN and XS scenes covering the area of the Krško municipality, SR Slovenia.



Figure 3. Coverage of Krško municipality by SPOT data.

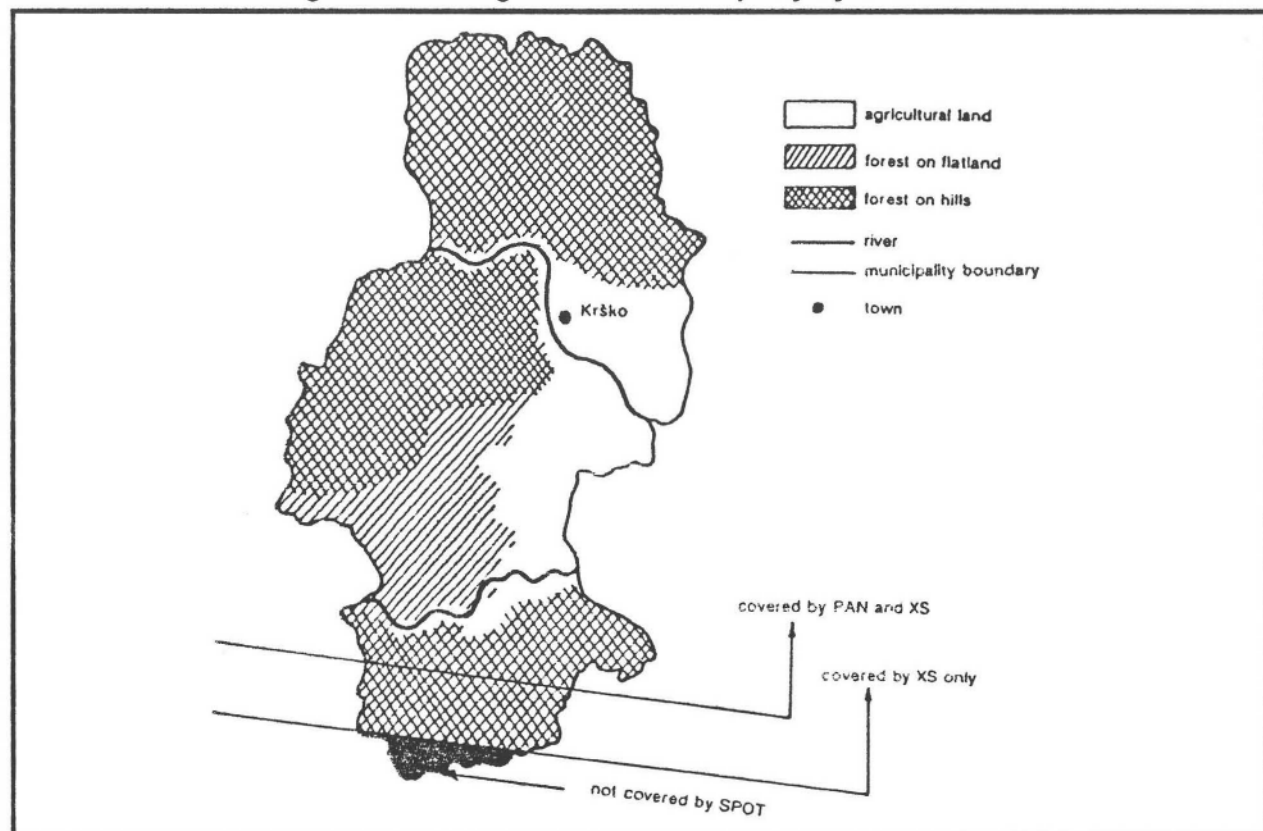
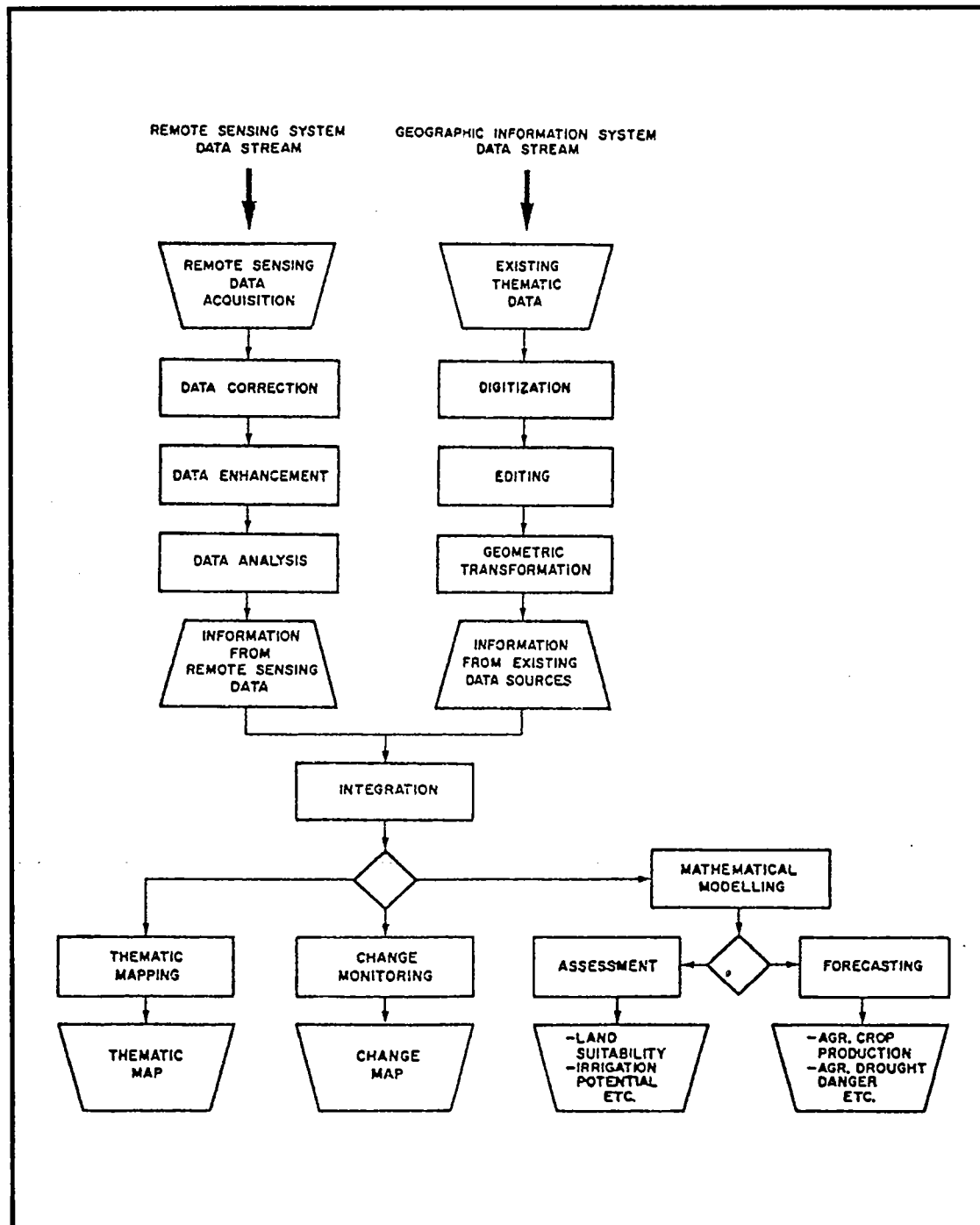


Figure 4. Flowchart processing and integration of remotely sensed and geographic information system data.



Source : Z. D. Kelensky, FAO, 1987.

Une utilisation opérationnelle de la télédétection pour les statistiques agricoles : l'inventaire régional de la Makedonia

Olivier LEO

Systèmes et Aménagement (SYSAME), Sophia-Antipolis (France)

Dimitri ZIOGAS

ADK, Athènes (Grèce)

Jacques DELINCE

Institut des Applications de la Télédétection, CCR, Ispra (Italie)

Résumé : Les inventaires régionaux sont des opérations pilotes, réalisés en Europe sur 5 régions dans le cadre du programme agriculture et télédétection du CCR d'Ispra, dont l'objectif est l'amélioration des statistiques agricoles de la CEE.

L'inventaire de la Makedonia (Grèce) concerne une région de 429 000 ha et a été confié à un groupement franco-grec constitué du BDPA-SCETAGRI, du BRGM et d'ADK.

La méthode de l'estimateur de régression combine des enquêtes terrains sur des segments (échantillon de 1 %) et une classification supervisée des données satellites à haute résolution.

Sa mise en oeuvre en 1988 a été un plein succès :

- démonstration de la faisabilité en vraie grandeur des enquêtes aréolaires dans le contexte grec,
- obtention réussie des données satellitaires : les deux satellites SPOT et Landsat TM ont fourni une couverture complète (avec respectivement 11 et 3 scènes + 1 quart) pendant la période optimum de programmation (5 semaines),
- évaluation précise des grandes cultures d'intérêt de la CEE comme le blé dur, le blé tendre, l'orge, résultats validés par la méthode statistique et la comparaison avec les données officielles,
- enfin, obtention rapide des résultats (3 mois pour l'enquête terrain, 6 mois pour la télédétection, contre 3 ans pour les recensements actuels grecs).

Cette étude a ainsi démontré le très fort développement du blé dur au détriment du blé tendre (effet d'incitation de la politique de la CEE), la croissance du riz, du coton, de la betterave, la stabilité du maïs et du tabac, l'extension spectaculaire du tournesol.

Les inventaires régionaux en Makedonia se poursuivront en 89 et 90 en utilisant une méthodologie optimisée et en abordant le volet rendement.

Abstract

Agricultural statistics and remote sensing: regional inventory of Makedonia

The regional inventories are pilot projects undertaken in five regions of Europe as part of the agriculture and remote sensing program of the Joint Research Center, Italy, whose objective is to improve agricultural statistics in the EEC.

The inventory of Makedonia (Greece) involves a region of 2 429 500 ha. It was contracted to a Franco-Greek consortium made up by BDPA-SCETAGRI, BRGM, and ADK.

The regression estimate method combines field surveys of segments representing 1 % of the region and a supervised classification of high-resolution satellite data. Its implementation in 1988 was a complete success, with:

- a full-scale demonstration of the feasibility of area frame sampling surveys in Greece;*
- complete coverage by data from the SPOT and Landsat TM satellites (with 11 and 3 plus one quarter scenes respectively) during the optimum programming period (5 weeks);*
- accurate evaluation of major crops of interest to the EEC such as durum wheat, soft wheat, barley, maize, cotton, tobacco, beet, rice, with results validated by both statistical methods and comparison with official data;*
- rapid production of results (3 months for field survey and 6 months for remote sensing, compared with 3 years for current Greek surveys).*

The study showed the development of durum wheat at the expense of soft wheat (as a result of EEC incentives); growth of rice, cotton, and beet; stabilization of maize and tobacco and remarkable development of sunflower.

Regional inventories in Makedonia were continued in 1989 and 1990; they used improved methodology and included yield estimation.

I. – Introduction

La politique agricole commune étant un des axes principaux de la CEE, elle nécessite une information fiable et rapide sur les productions agricoles afin de mieux gérer un dispositif complexe de règlements et subventions. Or les statistiques actuellement fournies par les états membres, bien qu'elles procurent des informations valables, sont obtenues par des méthodes différentes et des délais qui varient beaucoup d'un pays à l'autre.

La télédétection satellitaire semble être une des techniques en mesure d'apporter des améliorations dans le domaine des statistiques agricoles, tant d'un point de vue précision et rapidité que d'une homogénéisation souhaitable des moyens et des résultats entre les différents états membres.

Ainsi, un programme décennal de Recherche-Développement a été défini par la CEE. Ce programme, intitulé «Agriculture et Télédétection» géré par le Centre Commun de Recherche (CCR d'Ispra, Italie), a démarré en 1987. Il comporte sept actions différentes, couvrant à différents niveaux d'opérationnalité l'ensemble des techniques nouvelles susceptibles à terme d'améliorer l'information sur les productions agricoles : télédétection à haute résolution (SPOT, Landsat TM), à basse résolution (NOAA-AVHRR), mais aussi, modélisation agrométéorologique, etc.

L'ensemble de ces actions vise à la mise en place d'un système avancé d'information sur l'agriculture qui intégrera à différents niveaux les résultats de ce programme de recherche développement.

II. – Présentation de l'action «Inventaires régionaux»

Cette action, considérée comme semi-opérationnelle, a pour but une évaluation des surfaces des principales cultures en utilisant conjointement :

- ☐ des enquêtes de terrain par sondages aréolaires (base géographique),
- ☐ des classifications supervisées par traitement des images satellitaires SPOT et Landsat TM.

Ce travail devrait permettre :

- ☐ de tester l'application des techniques de sondage aréolaire à plusieurs pays et d'en évaluer les contraintes spécifiques (documents de base, personnel, etc.) ;
- ☐ de définir la complémentarité entre la télédétection et les méthodes classiques d'enquêtes au sol ;
- ☐ d'optimiser le dispositif d'enquête (taux de sondage, stratification) et de traitement d'image, afin de rendre la technique totalement opérationnelle et «portable» aux différents états membres.

Il portait en 1988 sur les régions et sur les principales cultures d'intérêt qui figurent dans les **tableaux 1 et 2**.

La région Makedonia (Grèce) a été attribuée à un groupement constitué des sociétés suivantes :

- ☐ BDPA-SCETAGRI (Paris),
- ☐ ADK (Athènes),
- ☐ BRGM (Orléans) pour la partie traitement d'image.

Les travaux ont débuté en février 1988 et se sont terminés en janvier 1989.

Tableau 1 : Groupes de cultures des régions concernées par l'Action Inventaires Régionaux en 1988

Allemagne	Bayern (Niederbayern, Oberpfalz)	Cultures d'hiver et de printemps
Espagne	Castilla-Leon (Valladolid, Zamora)	Cultures d'hiver et de printemps
France	Centre (Eure et Loir, Loir et Cher, Loiret)	Cultures d'hiver et de printemps
Italie	Emilia Romagna	Cultures d'été

Tableau 2 : Cultures représentées en Makedonia

1	blé tendre	gr 1	gr 1 = culture d'hiver ou de printemps gr 2 = culture d'été
2	blé dur	gr 1	
3	orge	gr 1	
4	maïs	gr 2	
5	riz	gr 2	
6	légumes secs	gr 1-2	
7	betteraves	gr 2	
8	pommes de terre	gr 2	
9	colza	gr 1	
10	tournesol	gr 2	
11	tabac	gr 2	
12	coton	gr 2	

III. – Présentation de la zone de l'étude

Il s'agit d'un inventaire régional, couvrant la partie ouest et centre de la Makedonia (Grèce), soit dix départements ou 2 429 430 ha.

Cette région frontalière (Albanie, Yougoslavie et Bulgarie) est très contrastée. Y alternent :

- ☐ de grands massifs montagneux culminants à plus de 2 900 m (mont Olympe, Smolika, etc.)
- ☐ de grandes plaines agricoles fortement mises en valeur par l'irrigation qui couvrent quelque 6 500 km², soit environ 25% de la surface totale.

La population rurale totale est de 520 000 habitants et correspond à une densité moyenne de 21 habitants/km². Elle est également concentrée dans les zones d'agriculture intensive.

La SAU qui se trouve en Makedonia représente 20 % du total de la Grèce et l'occupation générale des sols est la suivante :

☐ terres agricoles	33 % (18-44 % suivant dépt.)
☐ parcours	32 % (16-54 % suivant dépt.)
☐ forêts	26 % (10-47 % suivant dépt.)
☐ divers (bâtiment, eaux, etc.)	9 %

L'importance des surfaces cultivées de la Makedonia en fait une des premières régions agricoles de la Grèce : avec plus de 30 % des surfaces en céréales, près de la moitié des surfaces en blé tendre et riz, 30 % du tabac, 31 % des betteraves et plus de 65% des arbres fruitiers hors agrumes (pêche, pomme, poire, cerises etc.).

Par contre, on notera l'absence totale d'agrumes, la très faible présence de la vigne (1 %) et de l'olivier (3 %) par rapport au reste de la Grèce.

Couverture par satellite

La zone d'étude concerne un grand nombre de scènes SPOT et Landsat TM :

- ☐ SPOT (KJ nominaux), 18 scènes réparties sur 6 orbites pour une couverture totale,
- ☐ TM 4 scènes (ou 9-quarts de scènes) réparties sur 3 orbites.

Du fait d'une programmation optimum (dépointage), une couverture quasi totale (90 %) a été assurée par SPOT IMAGE avec 11 scènes, réparties sur 4 orbites.

La programmation des satellites, définie en fonction des calendriers des cultures, était effectuée entre le 1er juin et le 15 juillet 1988.

La région Makedonia fut la seule à être couverte totalement en 1988 par les deux satellites avec les dates suivantes : 18 juin, 3 et 14 juillet pour SPOT et 12 juin, 5 et 12 juillet pour Landsat TM.

IV. – Méthodologie d'ensemble

La mise en oeuvre rigoureuse de la télédétection nécessite une base d'enquête fournissant déjà à elle seule des résultats statistiques fiables. Ces enquêtes terrain pour pouvoir être localisées précisément sur l'image sont réalisées sur des segments et sur la base d'un sondage aréolaire.

● **L'ensemble de la méthode** mise en oeuvre comporte les étapes suivantes :

– Volet enquête terrain

- ☐ stratification géographique avec des critères géomorphologiques, altimétriques et culturels ;
- ☐ tirage aléatoire des segments (en fait tirage systématique aligné) suivant un carroyage de 11,2 × 11,2 km (256 segments) ;
- ☐ report des segments (700 × 700 m) sur des cartes détaillées, puis sur des agrandissements photos au 1/50 000^e ;
- ☐ enquête terrain, cartographie au 1/5 000^e des segments, du parcellaire et détermination du contenu, planimétrage ou numérisation ;
- ☐ exploitation statistique de l'enquête terrain donnant une première série de résultats.

– Volet télédétection

- ☐ numérisation des segments,
- ☐ mosaïquage et correction géométrique des images,
- ☐ positionnement des segments sur les images,
- ☐ entraînement et classification supervisée (maximum de vraisemblance, avec ou sans *pré-clustering*),
- ☐ classification d'ensemble et estimations des résultats par la méthode dite de régression.

Commentaire

Ce sondage aréolaire est réalisé sur une base géographique : l'individu enquêté est le segment, portion aléatoire du territoire d'environ 50 ha, et la caractéristique d'intérêt est le pourcentage des différentes cultures rencontrées sur le segment.

Le passage aux surfaces régionales se fait par le biais de l'estimation d'un pourcentage moyen et par une simple multiplication par la surface totale de l'entité administrative. L'analyse statistique des données permet d'estimer la variance d'échantillonnage et donc l'erreur-standard de l'estimation des surfaces.

La stratification préalable a pour but de réduire *a priori* la variance de la population des segments et donc d'améliorer l'estimation finale. Son efficacité est mesurée par le ratio de la variance *random* sur la variance stratifiée.

La méthode de l'estimateur de régression, mise en oeuvre par le volet télédétection, repose sur le principe de correction d'une variable enquêtée sur un échantillon par une seconde variable qui lui soit suffisamment corrélée et pour laquelle une information exhaustive est disponible.

En pratique, la méthode de régression consiste à établir, à partir de la classification des images satellitaires haute résolution et pour l'ensemble des segments dans chaque strate, la droite de régression entre :

- ☐ le pourcentage d'une culture donnée classée par télédétection,
- ☐ le pourcentage correspondant de la réalité-terrain.

Le résultat de l'enquête terrain est ensuite corrigé par un facteur «télédétection» soit la différence entre l'estimation de la surface sur l'entité totale par télédétection et la moyenne des segments, pondérée par la pente de la droite de régression.

Ainsi la télédétection apporte en définitive une vision exhaustive permettant de corriger les données de l'enquête terrain limitée à un échantillon (1%) que l'on supposerait représentatif en l'absence de la télédétection. Le coefficient de corrélation obtenu par la méthode de régression permet d'évaluer l'erreur standard des estimations de surface obtenues.

Enfin la comparaison des variances permet d'évaluer pour chaque culture le gain de précision apporté par la télédétection par rapport aux résultats finaux (efficacité de la télédétection).

• Volume des travaux

— Terrain

En Makedonia, 7 strates ont été définies pour l'enquête-terrain, avec des taux de sondage variables de 0,4 % à 3,2 %. Le nombre total des segments enquêtés est de 478, soit un taux moyen de 0,94 %. Les enquêtes se sont déroulées du 6 au 25 juin 1988 et ont nécessité 12 enquêteurs (en moyenne 1,8 segment/jour/enquêteur en zone agricole). La nomenclature comportait une cinquantaine de codes élémentaires d'occupation des sols, pour lesquels des évaluations statistiques ont été calculées au niveau régional et départemental.

— Télédétection

Les différentes dates d'acquisition et les intersections strate/image, ont rendu nécessaires des néo-stratifications (10 néostrates SPOT, 9 néostrates TM). Les images SPOT ou TM ont été systématiquement mosaïquées par orbite ou tracés (même date) pour former des images d'une taille considérable : de 20 à 25 millions de pixels pour TM de 26 à 43 millions pour SPOT.

Le volet télédétection s'est limité aux huit cultures d'intérêt du groupe 2 (**tableau 2**) auxquelles ont été rajoutés le blé dur et le blé tendre du fait de leur grande importance pour la CEE.

V. – Les principaux résultats

1. Stratification

Réalisée à partir des données exogènes (cartes 1/200 000^e, zonages des périmètres irrigués, altimétrie), la stratification 1988 n'a pas pris en compte des données satellitaires.

2. Enquête terrain

L'enquête terrain s'est heurtée à des contraintes de parcellaire avec en moyenne 28 parcelles par segment (1,75 ha/parcelle), cette moyenne se situant plutôt à 40 parcelles pour les zones strictement agricoles (1,2 ha/parcelle).

Les grandes cultures céréalières (blé dur, blé tendre, etc.) sont évaluées avec une **erreur standard** comprise entre 5 et 10 %.

Les cultures d'été sont évaluées avec une précision variable, liée à l'adaptation de la stratification et à leur importance relative :

- ☐ de 10 à 15 % pour le riz, le maïs, le coton, le tabac, la luzerne, les légumes frais, les fruits frais,
- ☐ de 18 % pour les fruits secs, 20 % pour la betterave et le tournesol,

Toutefois une comparaison avec les seules données officielles disponibles à cette date (1983) démontrait :

- ☐ le très fort développement du blé dur (+ 100 %) devenu à peu près égal au blé tendre, le total blé restant à peu près au même niveau ;
- ☐ une forte sous-évaluation dans les données officielles du riz qui subit une très forte croissance depuis 5 ans (+ 135 %) et du seigle dont les surfaces ont triplé ;
- ☐ une forte progression du coton et de la betterave (+ 50 à 60 %) ;
- ☐ le développement considérable du tournesol dont les surfaces ont été multipliées au moins par 60 en 5 ans ;
- ☐ enfin, une croissance significative de l'olivier (+ 25 %) et des fruits frais (+ 17 %).

L'efficacité de la stratification est variable :

- ☐ inférieure à 1 pour les cultures peu représentées (avoine) ou à définition relativement subjective (céréales de printemps) ainsi que pour la pomme de terre, peu représentée et fortement marquée par un effet «de pôle de concentration», lié à des micro-terroirs ou à de grosses exploitations spécialisées (pomme de terre cultivée pour production de semence),
- ☐ comprise entre 1,25 et 1,50 pour les cultures très représentées (blés, orge, seigle), ainsi que le tabac, les betteraves,
- ☐ meilleure pour les cultures d'été : de 1,5 à 2,8 pour le maïs, coton, soja et de l'ordre de 7 pour le riz, certes limité au delta de l'Axios.

3. Volet télédétection

La numérisation des segments est une étape fastidieuse et longue qui constitue un goulet d'étranglement dans la procédure générale. Par ailleurs, si une fonction de transfert est calculée à partir de points d'amer pour repositionner les segments, un calage visuel s'est avéré indispensable : sur ce point, l'image TM avec sa résolution de 30 m (9 points/ha) s'avère beaucoup moins adaptée au parcellaire grec que l'image SPOT (20 m, 25 points/ha).

Parcelles d'entraînement et de validation : seules les grandes parcelles contenant un nombre suffisant de pixels purs sont retenues. La nécessité d'avoir cinq segments différents, et de l'ordre de 150 pixels d'entraînement par culture, a limité le nombre des cultures «utiles» (abandon des cultures peu ou mal représentées). Ainsi en 1989, une enquête supplémentaire sera effectuée ayant comme support de terrain des données SPOT 1988 pour positionner des parcelles complémentaires d'entraînement, hors segments.

Des classifications supervisées spécifiques ont été entraînées, dans chaque néo-strate, à partir des 10 cultures d'intérêt auxquelles ont été rajoutées de 4 à 7 classes supplémentaires correspondant aux autres types d'occupation du sol (bois, résineux, parcours, prairies, zone urbaine, vergers, etc.).

Les classifications ont par ailleurs montré l'intérêt du *pré-clustering*, c'est-à-dire de la détermination de plusieurs sous-classes d'entraînement pour une même culture (en général 22 sous-classes). Ceci s'explique par le fait qu'une même culture présente souvent plusieurs «faciès» radiométriques liés à des sols ou pédoclimats différents (céréales d'hiver), à l'état du plan d'eau (riz), ou aux différentes variétés présentes. Ainsi la classification des images de télédétection a utilisé de 19 à 30 sous-classes d'entraînement suivant les néostrates (moyenne de 24).

Les coefficients de corrélation r obtenus, sont variables d'une culture à l'autre, d'une date à l'autre selon les deux satellites (SPOT ou TM) exploités. Ils mettent en évidence la plus ou moins bonne discrimination des cultures, mais

ne permettent pas de présumer de la précision des résultats régionaux : une très bonne corrélation peut ne concerner qu'une strate peu importante pour la culture considérée.

La corrélation moyenne (toutes cultures et strates confondues) est de 0,70 pour SPOT comme pour TM: SPOT apparaissant plus performant pour le maïs, les betteraves, le tournesol ; TM pour le coton, les céréales, le riz.

4. Résultats

Les résultats sont récapitulés dans le **tableau 3**, en comparaison des données officielles pour les dix cultures d'intérêt. L'amélioration la plus sensible des résultats terrain concerne les céréales (TM), le riz (TM), le maïs (SPOT), les betteraves et le tournesol (SPOT). Elle est mesurée par l'efficacité relative, rapport des variances avant et après télédétection.

Dans toutes les cultures suffisamment représentées (excepté légumes secs et pommes de terre), la télédétection confirme et permet d'affiner les résultats terrain de façon sensible et utile à la statistique.

La comparaison avec les données officielles (recensement 1983, seul publié au moment de l'étude, celui de 1985 étant en cours d'élaboration) confirme :

- ☐ la validité des estimations effectuées — les données 1985 se rapprochent toujours des évaluations 1988 ;
- ☐ la très grande rapidité d'évaluation (3 mois pour le terrain, 6-7 mois pour la télédétection) comparativement aux méthodes traditionnelles utilisées en Grèce (enquête exhaustive auprès des communes agricoles) ;

La campagne 1988 des «Inventaires régionaux» du CCR d'Ispira a ainsi pour la première fois :

- ☐ démontré la faisabilité, opérationnelle et en vraie grandeur, des enquêtes aréolaires dans le contexte européen,
- ☐ montré l'intérêt de la télédétection pour affiner les résultats, ou alléger les enquêtes à précision égale,
- ☐ La suite du programme doit permettre dans les deux années à venir :
 - d'optimiser le dispositif d'enquête et la chaîne complète d'information terrain télédétection,
 - d'aborder les enquêtes de rendement,
 - d'augmenter la rapidité d'obtention des résultats.

Tableau 3 : Inventaires régionaux MAKEDONIA 1988
Résultats finaux (ha)

Culture d'intérêt	Donnée officielle 1983	Enquête aréolaire		Régression SPOT			Régression TM		
		1(*)	2(*)	1(*)	2(*)	3(*)	1(*)	2(*)	3(*)
Groupe 1									
Blé dur	87 565	184 100	18 040	183 426	15 612	1,33	175 383	12 251	2,17
Blé tendre	284 662	183 194	15 889	182 084	12 866	1,52	158 519	11 730	1,83
Groupe 2									
Maïs	31 471	27 086	4 258	27 434	2 995	2,02	27 504	3 293	1,67
Riz	6 911	16 261	2 702	15 593	1 607	2,83	14 080	1 076	6,3
Betteraves	11 938	18 879	4 258	19 007	1 840	5,35	14 922	3 839	1,23
Tournesol	241	17 657	4 090	14 675	3 207	1,63	16 558	3 478	1,38
Tabac	32 793	34 605	4 804	32 659	5 039	0,91	31 671	4 665	1,06
Coton	40 301	63 978	7 627	81 685	6 768	1,27	73 905	6 151	1,54

(*) 1. Estimation (ha) ; 2. Erreur standard (ha) ; 3. Efficacité de la télédétection.

Remote sensing applications for the southeastern Anatolian project

Osman TEKINEL, Ural DINC, İlhami YEGINGIL, Salim KAPUR, Suat SENOL
University of Çukurova (Turkey)

Abstract: The southeastern Anatolian development project, *Güneydogu Anadolu Projesi* (GAP), is one of the largest irrigation and hydroelectric power projects to be undertaken in Turkey. This integrated project consists of 13 subprojects located on the Euphrates and Tigris rivers. The target is the irrigation of 1.65 million ha and annual production of 26 billion kWh of energy.

A detailed soil survey of the area using remote sensing techniques is planned over the next 3 years. Preliminary studies in the GAP area and Çukurova region revealed the undeniable importance of this technique for agriculture. Cloud-free conditions favorable to satellite image recording in this arid region have largely contributed to the success of these studies. The bare land surfaces are also an advantage, specially for detailed and accurate computer-assisted soil mapping.

An area as large as the southeastern Anatolian development project needs reliable and detailed data for reorganizing agriculture in the area. Earlier remote sensing surveys have proved the utility of this technique for generating considerable digital information for large areas.

Résumé

Applications de la télédétection dans le projet de développement de l'Anatolie du Sud-Est

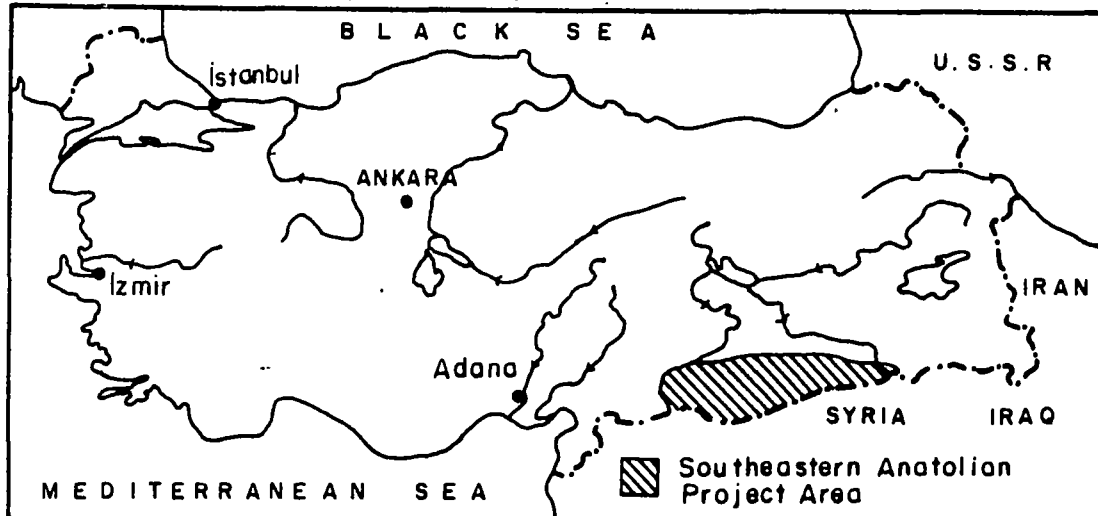
Le projet de développement de l'Anatolie du Sud-Est est l'un des plus grands projets d'irrigation et de production d'énergie hydroélectrique qui ait été entrepris en Turquie. Ce projet intégré consiste en treize sous-projets situés sur les rivières Euphrate et Tigre. L'objectif est l'irrigation de 1,65 million d'hectares et la production annuelle de 26 milliards de kWh.

Un inventaire et une cartographie détaillés des sols doivent être faits dans cette zone pendant les trois prochaines années avec l'aide des techniques de télédétection. Les études préliminaires entreprises dans la région du projet et dans la région de Çukurova ont montré l'indéniable importance de cette technique pour l'agriculture. Le succès obtenu dans ces études est dû principalement au grand nombre de jours sans nuages favorables à l'enregistrement d'imagerie satellitaire de ces régions arides. L'absence de cultures en été dans ces régions présente l'avantage d'observer des sols nus, avantages appréciés des pédologues qui doivent produire avec l'aide de l'ordinateur des cartes précises et détaillées.

Une zone aussi grande que celle du projet de développement de l'Anatolie du Sud-Est a besoin de données fiables et détaillées pour la réorganisation de l'agriculture. Les résultats obtenus lors des études précédentes utilisant la télédétection ont prouvé la possibilité de produire des informations numériques sur de grandes surfaces.

The southeastern Anatolian development project, *Güneydogu Anadolu Projesi* (GAP), is one of the largest irrigation and hydroelectric power projects to be undertaken in Turkey. The GAP area is 74 000 km² which is one-tenth of the total area and one-fourth of the irrigable area of Turkey (**Figure 1**). It covers six provinces situated on the fertile plains formed by the tributaries of the Euphrates and Tigris rivers.

Figure 1. Location of the GAP area.



The integrated project was developed between 1936 and 1960 as hydrological and land surveys. The feasibility studies of the 13 subprojects that make up the whole project area were prepared in 1970 (Table 1). These preliminary surveys and studies provided the groundwork for the vast southeastern Anatolian project. Construction of the subprojects will be completed within a period of 30 years.

Table 1. The GAP projects.

Projects	Energy production (gWh/year)	Area to be irrigated (ha)
Euphrates projects		
1. Lower Euphrates	8 245	706 208
2. Karakaya	7 354	
3. Border Euphrates	3 170	
4. Suruc-Baziki	107	146 600
5. Göksu-Araban		82 685
6. Adiyaman-Kahta	509	74 510
7. Gaziantep		89 000
Tigris projects		
8. Dicle Kiralkizi	444	126 080
9. Batman	483	37 744
10. Batman Silvan	670	213 000
11. Garzan	315	60 000
12. Ilisu	3 830	
13. Cizre	1 000	121 000
Total	26 127	1 656 627

Massive energy production on completion of the project will greatly improve agriculture as well as the social structure. The main objective of the GAP project is to improve the economic status of the people in the area and to intensify the use of potential resources. Table 2 shows current production in Turkey and the benefits to be gained from GAP for certain crops. Agricultural production in Turkey is expected to almost double in size as a result of this project.

Table 2. Comparison of current and expected agricultural production in the GAP area.

Crop	Production (t)		Percent increase after GAP
	Current	GAP (estimate)	
Cotton	580 000	685 402	118
Tobacco	177 529	18 888	11
Sugar beet	14 308 375	4 098 895	29
Oilseeds	1 807 904	1 327 820	73
Maize	1 500 000	117 869	8
Rice	168 000	141 838	84
Vegetables	12 398 950	3 513 842	28
Nuts	23 000	66 458	289
Fruits	1 303 900	660 019	51

The aim of this paper is to present the **reconnaissance work** carried out for agricultural development and the water resource management in the GAP area and to briefly discuss the possibilities for the application of remote sensing techniques, giving examples from similar sites.

I. – The GAP water resources system

The GAP water resources system comprises 13 subprojects, of which 7 are on the river Euphrates and 6 on the river Tigris. The irrigation and hydroelectric power generation components of the system include 15 dams and 18 power stations.

Following the completion of the project the total area to be irrigated — surface and ground water — is estimated at 1.65 million ha and annual energy production at 26 billion kWh. The energy target is equal to total energy production in Turkey in 1981 (Bayoglu, 1984). Total investment for the project according to present figures is approximately US\$11 billion, which is almost equal to the total Turkish budget for 1987. Sixty percent of the investment is earmarked for irrigation and the remaining 40% for the reconstruction of power stations.

Two-thirds of the development potential is in the Euphrates subsystem and one-third in the Tigris subsystem (**Table 1**). The most important project of the Euphrates subsystem is located on the lower Euphrates; it comprises five subprojects: Urfa-Harran, Mardin-Ceylanpinar, Siverek-Hilvan, and Bozova irrigation and pumping irrigation subprojects; Atatürk dam. The other Euphrates projects are the Keban dam (completed in 1976) and Karakaya dam (1986).

II. – Previous and future remote sensing studies

Since 1974, satellite data have been used in the University of Çukurova by soil scientists, agronomists, and physicists. Natural resources were studied by visual image interpretation and computer-assisted methods. The studies include soil mapping, and acreage and yield estimation for small grains and cotton.

Previous studies

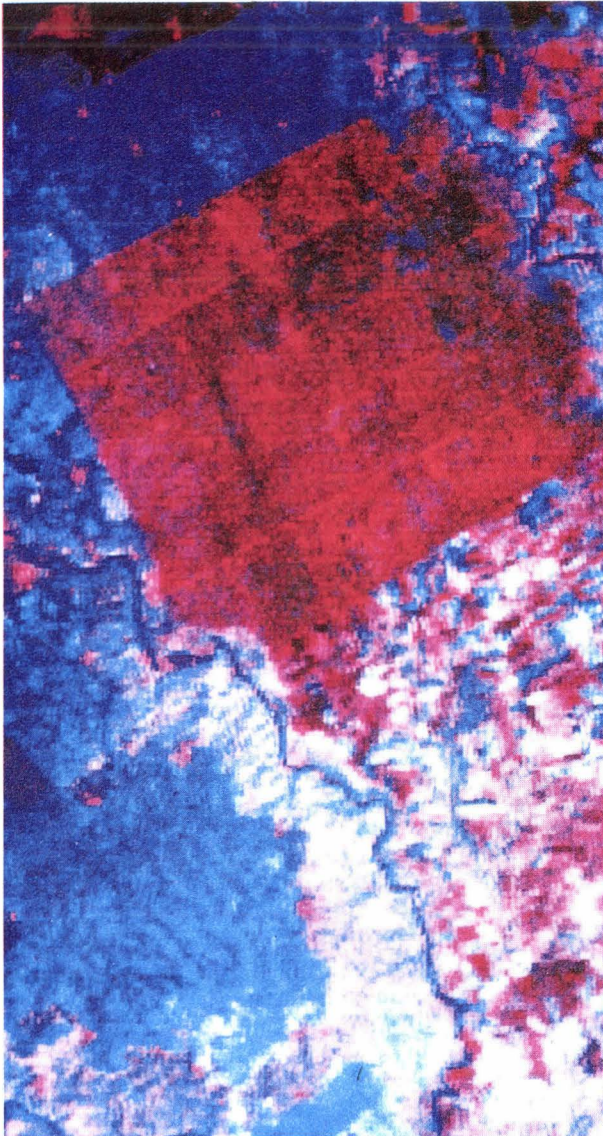
● Landsat-3 MSS data and ground-based measurements with a portable radiometer were used to **determine soil characteristics and small-grain acreage** in the Ceylanpinar State Farm, one of the

largest in the world (**Figure 2**). Two different methods — maximum likelihood and vegetation index — were used to classify soils and small-grain fields. For yield estimation, it was observed that small-grain yields were related to soil structure and characteristics (Dinc et al., in press).

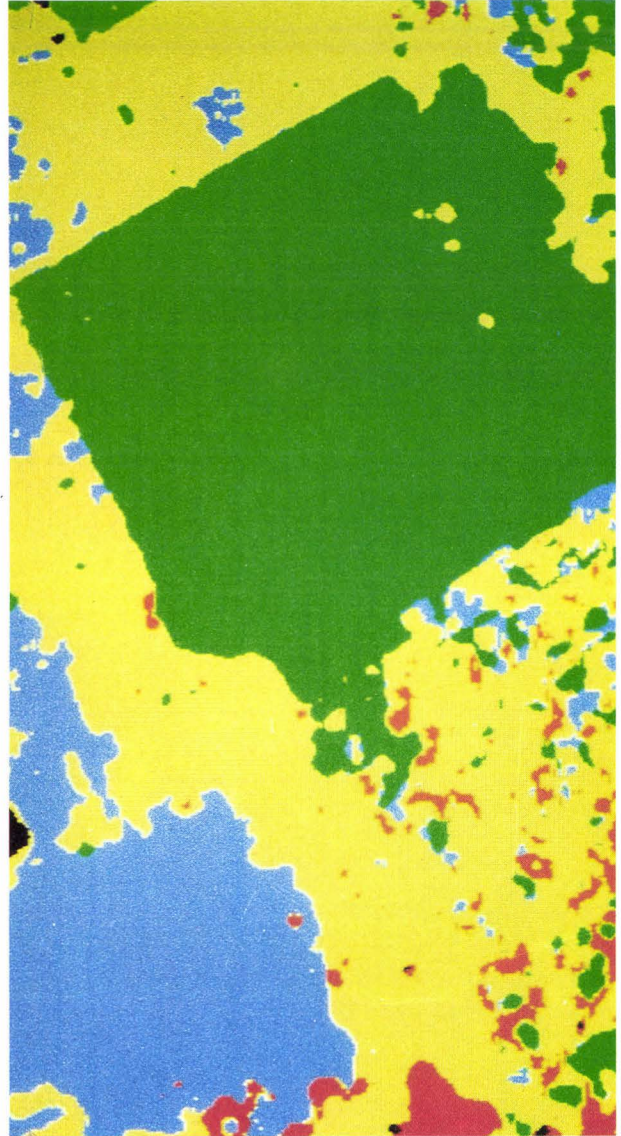
Figure 2. Ceylanpinar State Farm.

A small part seen as: (a) Landsat-3 MSS image in band 7
(b) classified image based on the vegetation index, where:
dark gray tones represent wheat crops; light gray, grass; and white-gray, bare soil.

(a)

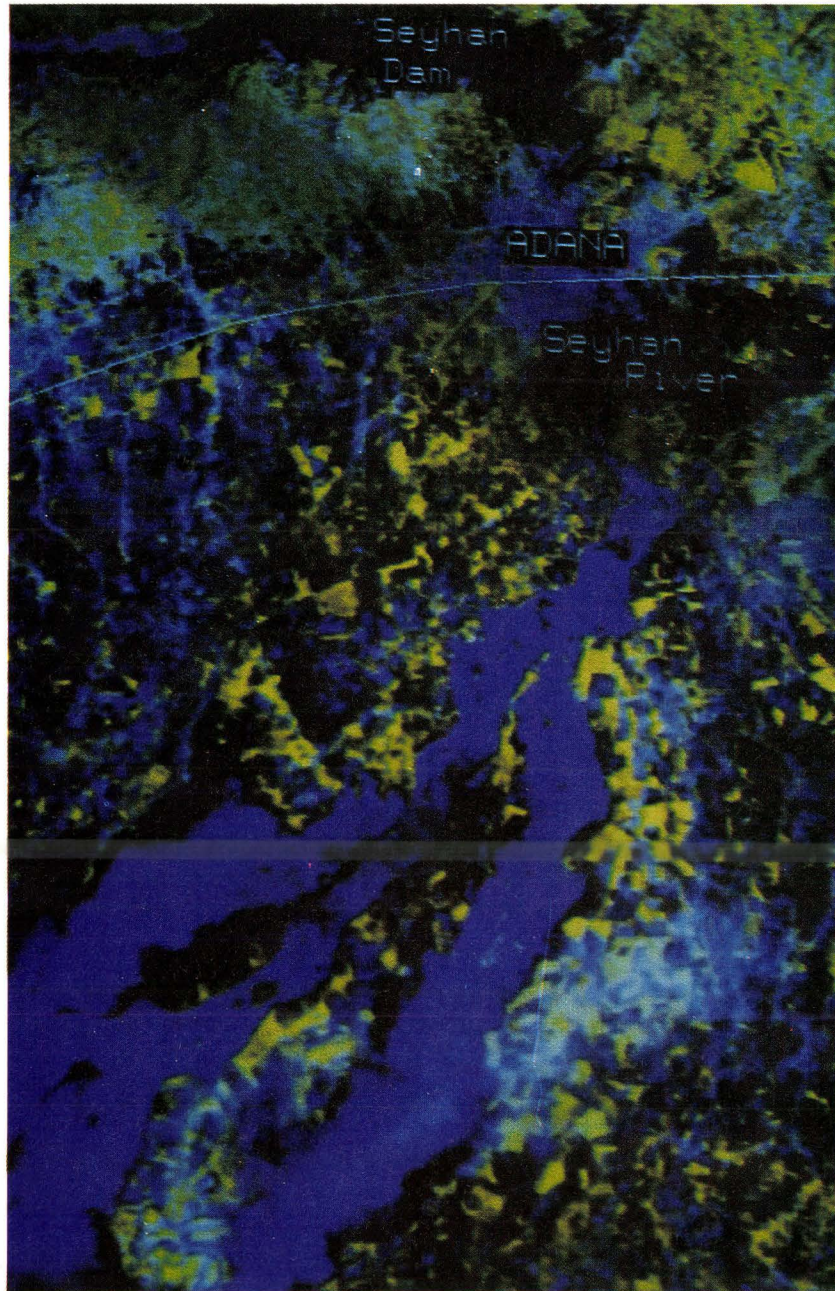


(b)



Landsat-5 TM data were used for detailed mapping at soil series level for an area covering 1 800 ha in the Çukurova region. Supervised classification revealed spectral separations for seven soil series in bands 5 and 7. It was concluded that February and March were the most suitable months for mapping similar Mediterranean alluvial soils by using satellite data. Comparison of the TM classified images with the previously compiled soil map of the region showed 80.6 % similarity. Subsequent ground truth verification showed that the TM classification was correct with a 90 % confidence level (Sari et al., in press).

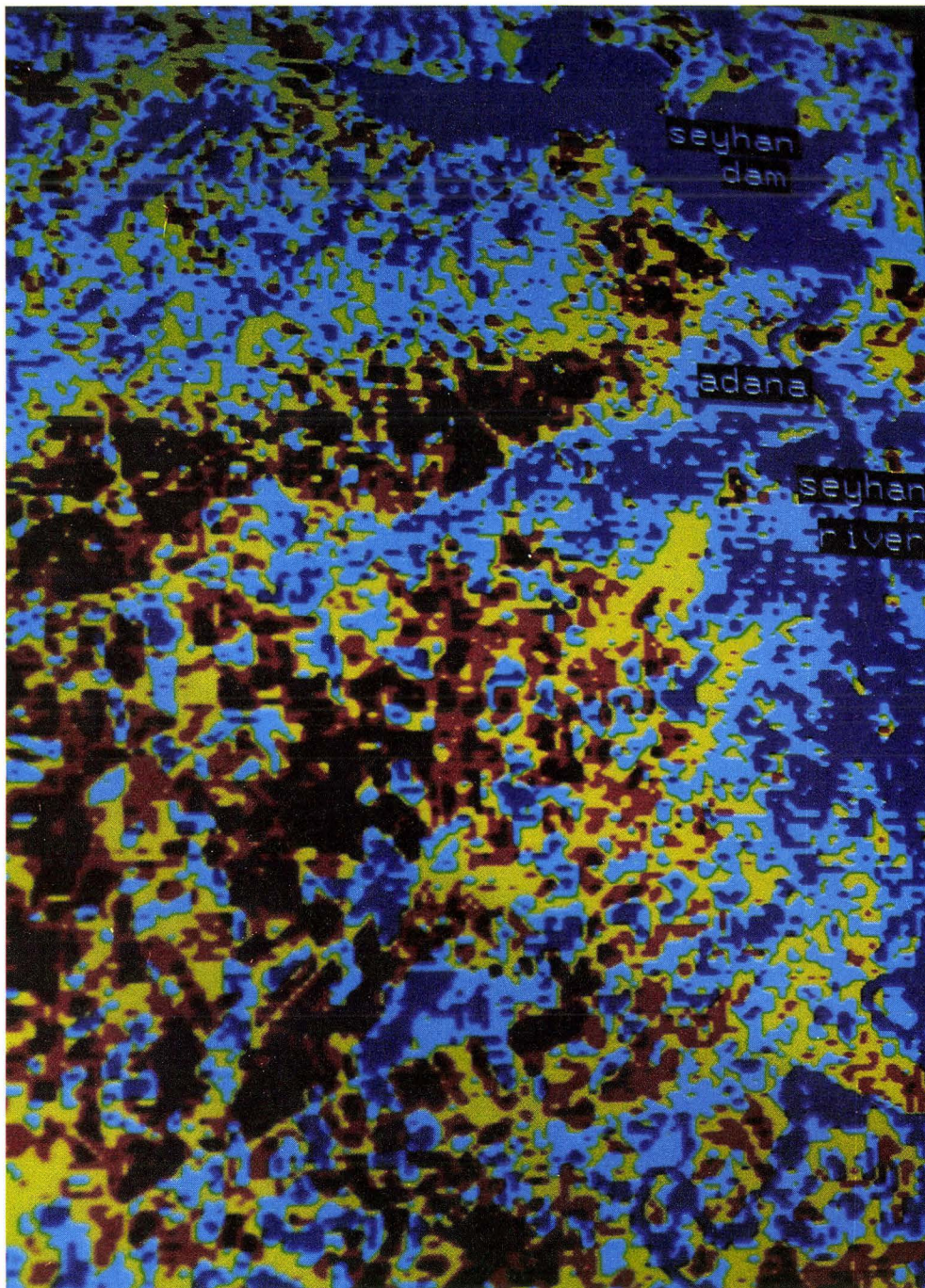
Figure 3. Classified image of the Çukurova region after the flood in April 1980.
 (darkest gray: water without sediment; lightest gray: water with highest sediment content)



● The Taurus mountains in southern Turkey receive considerable precipitation, mostly in the form of snow. In spring the snow melts and fills the Seyhan dam on the Seyhan river near Adana. Excess water ($1\,400\text{ m}^3/\text{s}$) caused a major flood in 1980. The **flood area** was studied using Landsat-3 data (**Figure 3**). The use of satellite data for such work proved to be an easy, fast, and inexpensive way to obtain correct results (Dinc et al., 1982).

Figure 4. Thermal image of the frost-affected areas in the Çukurova region on 8 March 1985.

The cold and hot weather corridors can be clearly distinguished.
(dark gray: cold areas; medium and light gray: high-temperature areas)



● Another interesting study (Pestemalci et.al., in press) was the determination of **frost-affected areas** in the Çukurova region by using Landsat-TM data (**Figure 4**). The frost damage observed through TM data

occurred in February and March 1985 and affected vegetation, especially citrus trees. Certain citrus-planted areas were not affected by frost due to their topographic situation. The cold weather corridors were also checked at level ground. The frost-affected citrus areas were determined and correlated with the Landsat results.

- Remotely sensed data were also used for detailed **soil mapping** of the Harran plain, which will be irrigated by 1992 (Dinc et al., 1986). A high degree of accuracy was obtained for the the soil-map legend and boundaries of different soil series.

Future studies

The remote sensing working group of the University of Çukurova has prepared a project for a **detailed soil map** (1:25 000, 1:50 000) of the GAP area using Landsat-TM and SPOT data. The project covers an area of 450 000 ha in the Mardin-Ceylanpinar plains.

The method that will be used for the detailed soil map of the GAP area was developed and applied to various small-scale model areas in the GAP area and Çukurova region. The method involves four steps. In the first step, the area covered with vegetation is removed from the satellite image by using a vegetation index method so that only bare soil is left in the satellite data. In step two, one of the statistical unsupervised classification methods, such as clustering, is used for soil classification. The third step comprises ground-based measurements to check the classified soil map. In this phase some more data need to be collected for unclassified or misclassified regions. The fourth step involves ground data input. An accurate soil map of the study area is generated by using one of the supervised classification methods.

- The remote sensing working group will also work on projects dealing with **annual discrimination of crop pattern and changes in land use** with the application of irrigation practices. Postirrigation yields of major field crops such as wheat and cotton will be estimated. **Seasonal soil drainage and soil salinity and alkalinity**, which are of utmost importance for irrigated high-altitude clayey tablelands, will be determined and monitored using satellite data.

III. – Conclusion

The southeastern Anatolian project, GAP, is one of the largest development efforts undertaken at the lower reach of the Euphrates and Tigris rivers in Turkey. The total area of the region is about 74 000 km². The targets of the integrated project are irrigation of 1.65 million ha of land and annual production of 26 billion kWh of net energy. The region has an arid climate, with practically no precipitation between June and September. Its economy is largely based on agriculture. Dryland agricultural techniques are generally practiced. Due to the high development potential of the project area, modernization of agriculture is given a high priority. Production value is expected to increase ten- to twentyfold.

The detailed soil survey of this plain is scheduled to be completed within 3 years. This period is much shorter than that of conventional soil surveys to be undertaken in the area. Such detailed soil maps are the basic material for optimum land use planning.

Preliminary studies conducted in the GAP area and Çukurova region have indicated the importance of remotely sensed data for agriculture. The success of the preliminary studies in the GAP area can be attributed to the number of cloud-free days (average 280-310 days annually) and arid climatic conditions in the area. The bare land surface of summer fallow is also an advantage for accurate and detailed computer-assisted soil mapping. Large projects like GAP necessitate detailed basic data for reorganizing agriculture. Remote sensing data provide considerable digital information for large areas. Although existing reconnaissance data on soils and geology have been constantly updated and enhanced over the past decades, more detailed information on the GAP area is needed for successful reorganization of agriculture in the region.

References and further reading

- BALABAN (A.), 1986, Planning and Application Problems of the Integrated System of Southeastern Anatolian Project (GAP), *The GAP Development Symposium*, Ankara, pp. 1-19.
- BALABAN (A.), 1988, *The Southeastern Anatolian Project*, Univ. of Ankara.
- BAYOĞLU (S.), 1984, The Southeastern Anatolian Project, Water Resources and Energy Production, State Water Affairs, Ankara: *Monthly Bull.*, pp. 3-17, n° 280.
- DINC (U.), ÖGELMAN (H.), TEFEK (M.), YAZICI (H.), YEGINGİL (I.), 1982, Determination of the 1980 Seyhan-Ceyhan Flood Area by Using Landsat-3 data, *Turkish Journal of Science (Doğa)*, series A, V.6 : Ankara.
- DINC (U.), SENOL (S.), SARI (M.), YESILSOY (S.), KAYA (Z.), ÖZBEK (H.), SAYIN (M.), COLAK (A.K.), YEGINGİL (I.), 1986, *Soils of the Harran Plain, Symposium of the Southeastern Anatolian Development Project*, Ankara: Univ. of Ankara, Fac. of Agr., pp. 91-108.
- DINC (U.), YEGINGİL (I.), PESTEMALCI (V.), BERKMAN (A.), ÖGELMAN (H.), TEFEK (M.), YESILSOY (S.), 1988, Preliminary Studies on the Acreage Estimation of Small Grain Area in the Eastern Mediterranean Region Using Landsat-3 Data, *5th Symposium of the Remote Sensing Working Group of ISSS* : Budapest (in press).
- PESTEMALCI (V.), YEGINGİL (I.), DINC (U.), Determination of the Frost Affected Areas: Çukurova region, *5th Symposium of the Remote Sensing Working Group of ISSS* : Budapest, 1988 (in press).
- SARI (M.), DINC (U.), SENOL (S.), YEGINGİL (I.), PESTEMALCI (V.), 1988, Computer assisted soil mapping of the Seyhan river plain using Landsat-TM data, *5th Symposium of the Remote sensing Working Group of ISSS* : Budapest (in press).
- TEKINEL (O.), *The Southeastern Anatolian Irrigation Project (GAP)*, 1987, Adana: Univ. of Çukurova Pub., pp. 1-13.
- TEKINEL (O.), CEVIK (B.), KANBER (R.), BOYTORUN (A.N.), 1987, *The expected impact of the Southeastern Anatolian Project on the economical development of the region*. Istanbul : Univ. of Istanbul (Conference of the Faculty of Forests), pp. 1-15.
- TEKINEL (O.), 1988, *Turkish experiences gained from the Lower Seyhan Irrigation and its application to the Southeastern Anatolian Project*, Bari : CIHEAM (in press).



Cartography of the arable land area in the Faiyûm region using SPOT imagery

Salwa BAKIR

Egyptian Survey Authority (ESA), Cairo (Egypt)

François RANTRUA

Institut Géographique National (IGN), Saint-Mandé (France)

Abstract: A Franco-Egyptian cooperative project was established for estimation and mapping of the arable land area in the Faiyûm oasis 100 km to the southeast of Cairo, using SPOT multispectral imagery.

The method involved a supervised classification on the TRIAS digital image processing system of the French survey authority, Institut Géographique National (IGN). After preparatory work in France, a joint field mission was undertaken to determine land use in 40 test areas and 50 control areas spread throughout the study area.

Results of the field mission reveal a certain degree of confusion between the nine mapping classes. The image was stratified to reduce confusion. The five strata used in the analysis were classified separately. They were later reassembled to produce the final document.

The final products are:

- map and infrastructure update;
- statistical results: estimated arable land area for Faiyûm was 247 000 *feddans* (1 *feddan* = 0.42 ha) on the SPOT image and 326 500 *feddans* after correction (error level 5.3%);
- final map of the study area at a scale of 1:100 000.

The rapidity of the method and its statistical and cartographic accuracy makes it a useful tool for the Egyptian Survey Authority for mapping larger areas.

Résumé

Cartographie de la Surface Agricole Utile pour l'oasis du Fayoum à partir d'une image SPOT

Un projet de coopération franco-égyptien a donné lieu à l'estimation et à la cartographie de la Surface Agricole Utile (SAU) pour l'oasis du Fayoum, à 100 km au Sud-Est du Caire, à partir d'une image multispectrale SPOT.

La méthodologie a consisté en une classification supervisée sur le système de traitement d'image numérique TRIAS de l'IGN. Après un travail de préparation en France, une mission conjointe de terrain a permis de déterminer l'occupation du sol de 40 zones-test ainsi que de 50 zones de contrôle réparties sur l'ensemble de l'image.

L'analyse des résultats de cette mission de terrain mettait en évidence un certain nombre de problèmes de confusion entre les neuf classes à cartographier. Une stratification de l'image en 5 strates permettait alors de réduire les confusions. Chaque strate fut classée séparément. Les 5 strates étant ensuite réassemblées pour produire le document final.

Les résultats finaux ont consisté en :

- une mise à jour de la cartographie, des infrastructures ;*
- des résultats statistiques, après regroupements de 4 classes, la SAU a été estimée à 247 000 feddans sur l'image SPOT et évaluée à 326 500 feddans sur le gouvernorat du Fayoum. L'erreur commise a été évaluée à 5,3% ;*
- une carte finale au 1/100 000e.*

La rapidité de la méthode et ses précisions statistiques et cartographiques devraient permettre à l'Egyptian Survey Authority de l'utiliser dans des cartographies sur de plus grandes surfaces.

I. – Presentation of the project

1. Introduction

The Faiyûm pilot operation was the third and last phase of a Franco-Egyptian cooperative project. The first two phases concerning space-map production were successfully concluded from September to December 1985. Users were satisfied with the printed map of Cairo, specially the quality of the planimetric overprinting and the printing of place names in Arabic. However, the Thematic Mapper image resolution (30 m) proved to be insufficient for the urban zone. It was hoped that another experiment could be undertaken in the near future using a panchromatic SPOT image with a 10-meter resolution.

This paper deals with the estimation of arable land area (ALA) on a multispectral SPOT image (resolution: 20 m) dated 31 March 1987 of the Faiyûm region. The project, undertaken jointly by the Egyptian Survey Authority (ESA) and the *Institut Géographique National* (IGN), France, was defined by a technical note dated 24 June 1986. The proposed methodology was followed and the results were obtained in November 1987. In general, the processing was executed as planned. The main difficulties were linked to the time of image acquisition (31 March 1987) which coincided with crop transition. More than one-third of the agricultural land was fallow. It was difficult to differentiate bare soil in Faiyûm from urban areas or uncultivated saline soils around the lakes (Quarun). The 31 March image was selected because the images received on previously planned dates were of poor quality.

2. Methodology

ALA was determined by computer-assisted supervised classification. The principle is to select homogeneous zones, called test zones, on the image and to identify land use in these zones by field surveys. Digital processing then distributes the image pixels according to their radiometric resemblance to the test zone pixels (depending on their "distance" from the class centers in the radiometric space). The map legend shows the selected themes. The field survey and selected themes are fundamental elements. It is also necessary to check a posteriori the validity and quality of the classification of the control zones, which were also identified in the field but were not taken into account for class determination.

● Zone selection

The Faiyûm oasis was selected for the pilot project at ESA's request. The oasis is of particular importance to agriculture. However, it is a special case in Egypt and is consequently not fully representative.

The results were mapped for the zone of the Faiyûm oasis covered by the image.

● Legend themes

Although the final result only shows ALA, the classification included several themes corresponding to the different colors on the cartographic documents. For the purpose of this operation ALA represents the cultivated area; saline soils are considered as nonagricultural land.

Nonagricultural areas include:

- water bodies: lakes and canals
- built-up areas: towns and villages
- sand: desert and sandy zones inside the oasis
- uncultivated bare soil: these zones are basically found in the northeastern part of the image and are no longer or were never cultivated (e.g. saline soils)
- natural vegetation: mainly hydrophytes (these zones are situated along the shores of the two water bodies on the image)

Arable land area includes:

- crops
- tree crops: orchards in the central zone, palm trees along the irrigation canal
- fallow land: on 31 March fallows covered large areas because it was a transition period between winter and summer crops
- flooded land: flooded crops (e.g. rice and papyrus) or fallow land flooded for fertilization

II. – Operations

1. Faiyûm and its agriculture

Situated 100 km to the southeast of Cairo, the Faiyûm oasis is called the "Garden of Egypt" on account of the abundance and diversity of its crops which cover about 320 000 *feddans*.¹

In addition, 17 000 *feddans* are occupied by fruit crops (orange, lemon, mandarin, guava, mango, apple, pear, etc.) and 500 *feddans* along the canal banks are covered by date palms. It should also be noted that sugarcane is practically absent from the Faiyûm crop rotation.

Faiyûm is a large triangular depression fed by the Nile waters and bounded by the salt water lake Quarun to the north and by the desert on the other two sides.

The land has been developed to the west and northeast, but salinization, and town and village growth remain two major problems. Agricultural production in Egypt is insufficient and the country imports 70% of the wheat consumed. Agricultural development must be horizontal (development of new areas) and vertical (drainage improvement, rationalization of irrigation systems, production increase). Remote sensing, particularly SPOT satellite imagery, makes it possible to plan and implement appropriate development measures.

2. Field operations (14-30 July 1987): establishment of an interpretation key

Aerial photographs are generally used for ground surveys as it is easier to recognize landmarks. For Faiyûm, aerial photographs were not available but the 1:100 000 scale SPOT image was as useful, although the crops were no longer the same as those on the image.

In 1 week about 40 test zones and 50 control zones were surveyed. It was also possible to identify special points on the image.

Once the legend had been produced, interpretation was based on the colors that the eye could distinguish. Consequently, it was possible to distinguish four gray classes. The information was noted on field record cards for each test zone. Two colors – sky blue and pink – are not indicated in the table as they correspond to small areas on the image. They represent clear and not very deep water on saline soil and threshed straw and grain temporarily stored in large quantities on special desert sites bordering the maize-growing areas, respectively. A pocket tape recorder was useful for increasing the daily coverage.

Although the results are not obtained by statistical analysis, they indicate likely classification confusions. Visual separation is not as accurate as computer processing; in any case the legend themes do not correspond to precise radiometric zones.

The urban theme is a particularly conclusive case. A raw classification cannot isolate towns without considering texture and shape or without pre-zonation. In addition, certain legend themes have the same

1. 1 *feddan* = 0.42 ha.

response. In this case there is ambiguity in the northern and southwestern parts of the image where towns, saline soils (northern part), and bare cultivated soils (fallow land) are three themes that are difficult to differentiate.

As saline soils often have a regular plot pattern they cannot be differentiated by shape criteria. These areas appear, however, in lighter shades than cultivated land because they were not irrigated (and it had not rained recently).

III. – Image processing

1. Introduction

All the digital processing was carried out at IGN, France, on the TRIAS 2 (Aerospace Image Processing) system. The system consists of three interactive processing consoles. The mainframe is a VAX 750 (DEC) with three disk units, two of which are removable. The entire processing was undertaken with a 300-megabyte disk pack. (The original image occupies 27 MB and the final image with marginal information, 50 MB).

Image processing was carried out in four basic stages:

1. geometric corrections
2. classification
3. planimetric acquisition and compilation
4. marginal information and film output

From the technical point of view the procedure was conventional. The aim was to display the cartographic and thematic qualities of SPOT imagery and the possibility of using it for land plots as small as those of North Faiyûm, where 0.2-feddan plots (2 SPOT pixels) are a common feature. This was also an opportunity to test the capacity for using remote sensing techniques to map large areas in reasonably short periods.

2. Geometric correction

Geometric correction of the image was required so that the map output could be overlaid on the existing 1:100 000 map. District boundaries can thus be digitized and integrated into the map via the digitizing table. The image can also be overlaid on the 1947 map for comparison.

3. Stratified supervised classification

• Principle

The supervised classification method has been discussed in section 2 on methodology. A preliminary classification after the field mission revealed certain problems which were confirmed at the end of the field operations:

- the urban theme could not be recognized by a pixel-by-pixel classification
- there was confusion between natural vegetation and tree crops
- uncultivated bare soils and fallow land were often difficult to differentiate

There are three possibilities for solving the problems:

- Texture considerations could be used to differentiate urban areas. The areas show a wide variety of radiometric responses which make neighboring pixels very different. Textural analysis of the image with carefully selected parameters can enhance differences and it is then possible to isolate towns.

Unfortunately, trials carried out on the image were only conclusive for the main urban centers (Medina, Faiyûm, Ibshawai, Sinnuris, etc.). The small villages are much too homogeneous to be discriminated by this procedure. As it is extremely important to identify town and village limits for a subsequent analysis of their developments, the procedure had to be rejected.

– Overlaying of images obtained at different dates (section 3.4).

– Themes that cannot be separated radiometrically can be identified through stratification by using their position on the image. In Faiyûm, natural vegetation is situated around the lake and tree crops are concentrated at the center of the image. The idea of stratification is to separate the image into several zones to remove confusions on the complete image or at least to minimize those on the subimages.

• Results

For the urban and village theme the mask includes the town/village and a small part of its outskirts. This can be produced automatically by digitizing all the towns and their boundaries with the help of the map. For Faiyûm, as evolution of the urban areas since 1947 has been too large, zoning cannot be done automatically but has to be done interactively. Consequently, the urban theme was only classified on the mask, which means that if a new locality had appeared since 1947 it could not be detected by the analyst and would therefore not be shown in the final classification.

Figure 1 shows the five strata selected for classification.

In Stratum I the tree crops and flooded land were excluded. Centers of the uncultivated land class differed from those in the other strata. In this stratum uncultivated and waste lands are covered by a small amount of vegetation and are wetter than in other strata.

Stratum II was produced to isolate the saline soils in the north.

Strata III and IV have the same themes but certain centers are different. Water in these two strata was reduced to a very low value with a very low threshold (contrary to the water theme in Stratum II) so that flooded land could be easily detected.

Stratum V was constituted by the town and village mask.

To summarize, five classifications were undertaken which were later reassembled after checking that the limits of the preceding strata could not be seen. Such a long procedure cannot be envisaged for the entire country. It can be avoided by a more precise selection of the image-acquisition date which would limit ambiguities related to bare soils. The quality of the results can be considerably improved by opting for multirate classification, if resources permit.

4. Multirate classification

This alternative had been envisaged in case the classification of the 31 March image had not been sufficiently accurate.

The principle is simple. If a pixel forms part of ALA, it would show cultivated land for at least part of the year. By adding more dates and, consequently, more images the chances of separating ALA are increased.

In this case the 31 March image could have been combined with a mid-November image. As the 1986 catalogue did not offer such an image, the satellite would need to be programmed for November 1987, which would have considerably delayed the results. It was more practical to carry out the processing on a single image, at least for the preliminary phase.

5. Revision of previous maps

Faiyûm has changed considerably since 1947. For example, a new road was constructed along lake Quarun, new canals were excavated, and an artificial lake was formed in the south. The data obtained on roads and canals were not sufficient for producing a new map; in any case that was not one of the objectives of the operation. However, basic data on the road and railroad networks were obtained from the SPOT image. Some of the main canals were also displayed, which demonstrates the suitability of SPOT data for this kind of planimetric plotting.

Furthermore, sand and towns were not shown by a single color, as is usual on image classifications. The original image data were retained for these themes; only the texture was modified to enhance contrasts. Processing increased cartographic information on the final image; this can be seen in the airport zone to the north of Faiyûm or in Faiyûm itself.

V. – Statistical results

1. Cartographic output

The cartographic output of a classification forms an indispensable complement to the statistical tables. It enables the location of themes in the field and the analysis of the relationship between the zones and their neighbors. Mapping is a vital tool for analysis and basic decision making.

It was for these reasons that special care was taken with the cartographic representation of the classification. Two sets were produced on two different laser cameras:

- one positive film at 1:400 000 on the VIZIR COLOR (SEP) film recorder
- four films at 1:100 000 (1 per primary color + marginal information film in black) on the SEMIO system for subsequent printing of the document

An extract of the final map is shown in the color plate insert.

2. Future prospects

The initial task of assessing ALA from SPOT imagery has been successfully completed. The advantage of remote sensing over traditional methods used until now in Egypt can be summarized briefly:

- rapidity of the method, which is suitable for ALA monitoring
- immediate cartographic results with high precision level
- objective processing and awareness of the errors involved

For an extension of the operations to a national scale, the output and quality of the remote sensing operations could be improved by a better selection of the image-acquisition dates. The use of several dates would increase accuracy of the results. Processing of single images would then be sufficient to measure ALA changes at later dates.

Figure 1. Location of the five strata in the image.

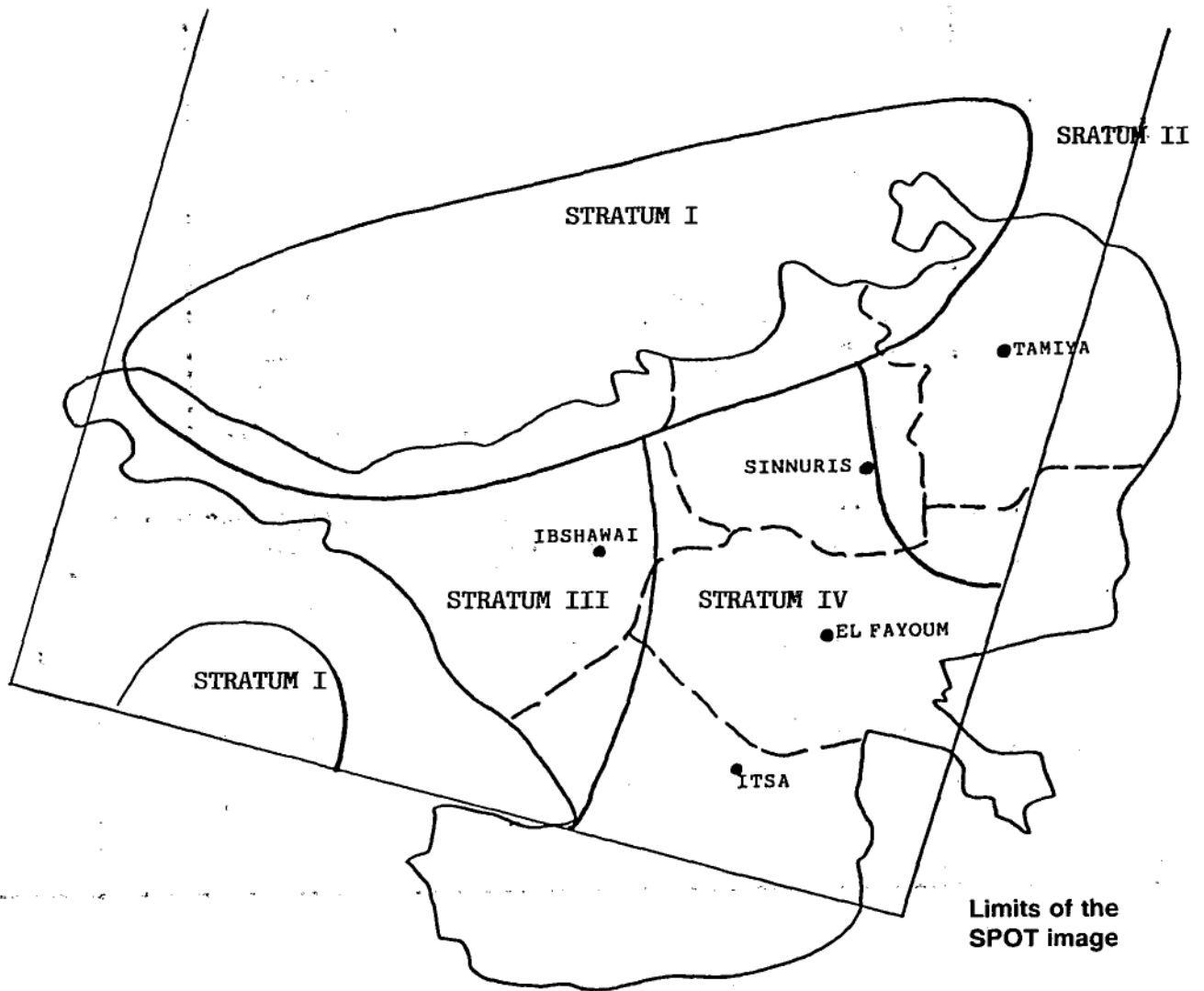


Table 1. Area and cropping season for major crops of the Faiyûm oasis.

Cropping season	Main crops	Area ^a (feddan)
Jan–Apr	Rice, fodder crops, papyrus	–
May–Sep	Cotton	138 000
	Maize	112 000
	Vegetables, tomato, medicinal plants	–
	Sorghum	52 000
Oct–Dec	Clover	147 500
	Wheat	66 000
	Vegetables	–

^a Approximate figures, not produced by this study.

Table 2. Distribution of selected test zones according to corresponding color on the satellite image and to land use on 31 March 1987.

Themes Colors/Number of test zones	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bright red 4	4								
Medium red 10									
Dark red 10	10	8				2			
Light gray							5	3	2
Medium gray 10			4						1
Gray-brown 10			3					7	
Black 10				8	2				
White 5								3	2
Sand 5									5

1: Crops; 2: Tree crops; 3: Fallow land; 4: Flooded land; 5: Water; 6: Natural vegetation; 7: Uncultivated land; 8: Urban area; 9: Sand.

Table 3. Results of the supervised classification of the image.

Theme	Total for image (pixel)	Total for image (feddan)	Share of theme (%)
Crops	1 542 821	147 000	43.0
Tree crops	189 513	18 000	5.0
Fallow land	785 739	74 800	22.0
Flooded land	75 664	7 200	2.0
Total ALA	2 593 737	247 000	72.0
Water	701 745	66 800	20.0
Natural vegetation	8 009	760	0.2
Uncultivated land	120 203	11 450	4.0
Towns	135 478	12 900	4.0
Total uncultivated	965 435	91 910	28.0
Total (all themes)	3 559 172	338 910	100.0

Note: Lake Quarun is included in the image; it covers 56 632 feddans. Tree crops are concentrated between Ibshawai and Sinnuris; the total of 18 000 feddans is therefore valid for the entire Faiyûm region.

Table 4. Extrapolation of results to the entire Faiyûm region.

District	SPOT-based ALA (feddan)	Crops (%)	% of district on the image	Extrapolated ALA (feddan)
Sinnuris	51 996	92.87	100.00	
Ibshawai	74 052	87.69	99.71	74 290
El Faiyûm	41 765	91.83	65.28	63 978
Itsa	51 951	94.82	62.09	83 670
Tamiya	27 158	86.70	49.90	54 425
Governorate of Faiyûm	246 922			328 359 326 500 ^a

a. This is the area after subtracting the area covered by roads and canals (approx. 2000 feddans) that were too small for classification. The area after correction therefore represents ALA for the governorate.

Table 5. Confusion between arable land area and uncultivated land.

(I) \ (II)	ALA	Uncultivated land	Total
Number of test zones	21	13	34
Total number of classified pixels	1039	593	1632
Pixels classified as ALA	1001	52	1053
Pixels classified as uncultivated land	38	541	579
Accurately classified pixels	$\frac{1001}{1039} \times 100 = 96.3\%$	$\frac{541}{593} \times 100 = 91.2\%$	
Weight assigned to class (%)	68	32	100
Overall classification accuracy (%)	94.7		

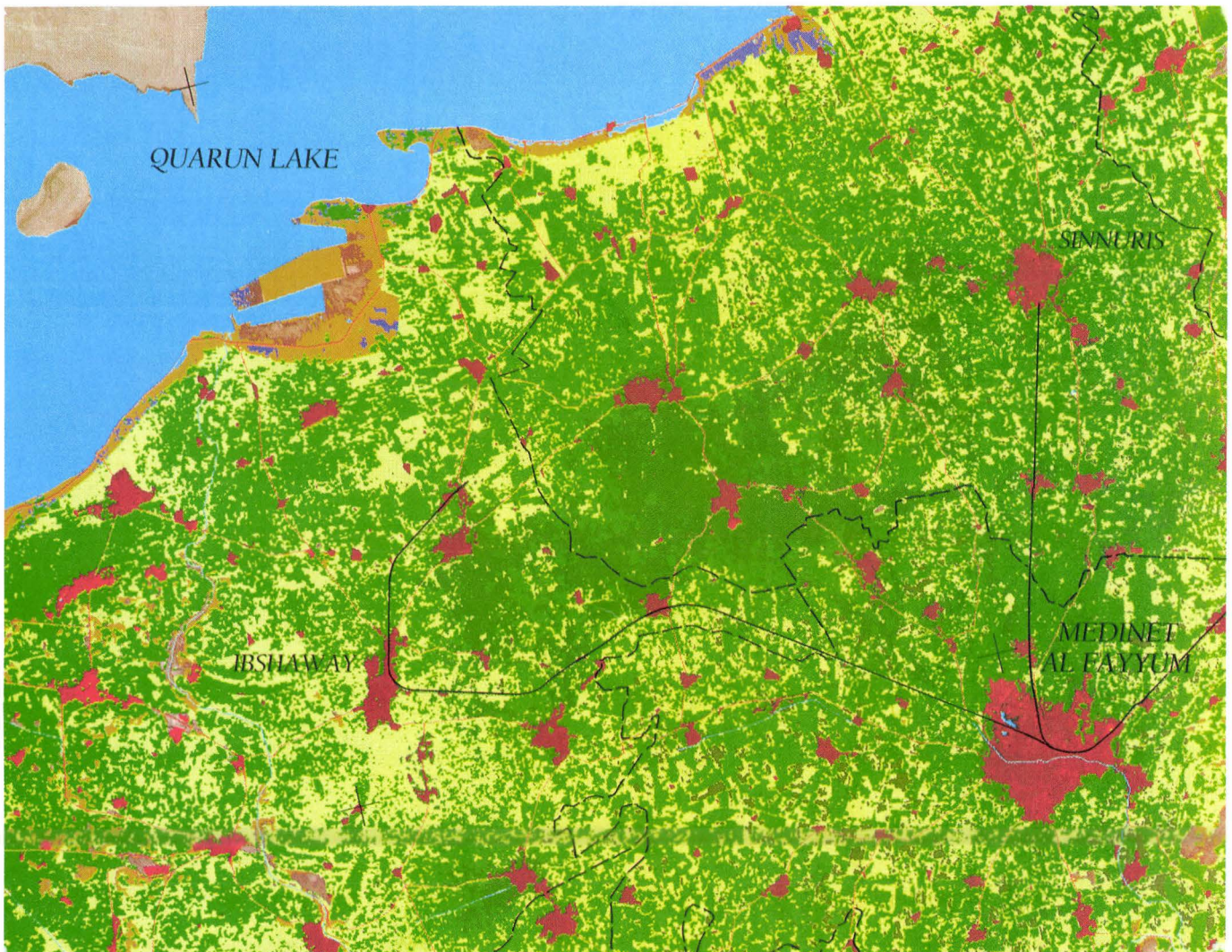
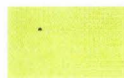
(I) Control zones

(II) Classification

Note: Calculation of the percentage of accurately classified pixels (94.7%) is based on the sand class which was weighted 5%. The statistical weight corresponds to the frequency of this class inside the oasis. Level of error is 5.3%; it is only valid for ALA on the image (246 923 feddans). Error is higher for the extrapolated values, but it is difficult to determine the exact level.

Figure 2. An extract from: **Thematic map from Spot Imagery. Al Fayyum.**

IGN-Paris/ESA-Cairo, 1988, SPOT Product – CNES/IGN, 1987

**ARABLE LAND AREA****CROPS**
147 000 Fed.**TREE-CROPS**
18 000 Fed.**FALLOWLAND**
74 800 Fed.**FLOODED LAND**
7 200 Fed.TOTAL AREA ARABLE LAND ON IMAGE
247 000 Feddams**NON AGRICULTURAL AREA****OPEN WATER**
66 800 Fed.**NATURAL VEGETATION**
760 Fed.**BARE GROUND
UNCULTIVATED**
11 450 Fed.**HOUSING**
12 900 Fed.TOTAL AREA NON AGRICULTURAL LAND ON IMAGE
91 910 Feddams**SAND****AREA IN FEDDANS**

1 Fed. = 0,42 Hect. = 10,5 SPOT pixels

PLANIMETRY**ROADS****RAILWAYS****CANALS****DISTRICT BOUNDARIES**

Estimation de la biomasse et du rendement des cultures à partir du satellite SPOT : résultats d'une expérimentation sur blé dur en Camargue

Martine GUERIF, Bernard SEGUIN

Institut National de la Recherche Agronomique (INRA),
Station de Bioclimatologie, Montfavet (France)

Résumé : L'utilisation de la télédétection dans les domaines visible et proche infrarouge pour estimer l'état des cultures et en particulier leurs caractéristiques de rendement a fait l'objet de nombreux travaux dont les plus avancés sont réalisés à des échelles très locales. La disponibilité de satellite à haute résolution spatiale, du type de SPOT, permet d'envisager l'adaptation à l'échelle régionale de ces méthodes mises au point à l'échelle locale.

Nous avons développé dans cet objectif en 86 et 87 un programme portant sur le blé dur en Camargue dans lequel on teste une méthodologie de type semi empirique qui procède en deux étapes :

1. Estimation de la biomasse à partir des indices de végétation suivant un formalisme très simplifié dérivé de modèles d'interaction du rayonnement avec le couvert végétal et de photosynthèse :

$$MS = k \sum_{j=d_1}^{d_2} (DN_j - DN_s) \cdot PAR_j$$

où : MS est la biomasse sèche accumulée par unité de surface entre deux dates d_1 et d_2 .

DN_j est la différence normalisée de la culture au jour j , DN_s celle du sol nu,

PAR_j est le rayonnement photosynthétiquement actif cumulé du jour j .

2. Estimation du rendement ou de ses composantes (nombre d'épis par m^2 , nombre de grains par m^2) à partir de la biomasse à des stades-clés du développement (début montaison, floraison, maturité).

Pour la mise au point des modèles on s'appuie sur une quinzaine de parcelles de blé dur regroupant différentes variétés et dates de semis pour lesquelles on dispose des caractérisations radiométrique (au sol) et biologique tout au long du cycle de végétation. Pour leur validation, on s'appuie sur un autre ensemble de 16 parcelles pour lesquelles on a mesuré la biomasse à certains stades et les composantes du rendement, la caractérisation radiométrique se faisant par des données SPOT (5 images de début mars à fin juin) que l'on aura transformées en réflectance grâce aux mesures au sol dont on dispose.

Les relations indices de végétation-biomasse trouvées sont très significatives ; elles sont effectivement linéaires et leur pente varie en fonction de la période phénologique considérée. Les relations biomasse à certains stades - composantes du rendement sont plus floues à cause en particulier de leur spécificité variétale. C'est entre le rendement final et la biomasse à la récolte que la liaison est la plus forte.

L'application de ces relations aux parcelles de validation pose le problème de la reconstitution de leur profil radiométrique à partir des 5 scènes SPOT acquises. Selon les dates de semis considérées cette reconstitution n'est pas de bonne qualité et limite, au même titre que les différentes hypothèses simplificatrices qui la sous-tendent, les performances du modèle.

Abstract

Biomass and yield estimation using SPOT data: results of an experiment on durum wheat in the Camargue region

Remotely-sensed data in the visible and near infrared bands are often used to monitor crop condition and yield characteristics. The greatest progress has been achieved in site-specific projects. Methods developed at local scale can now be extended to a regional scale with the development of high-resolution imagery of the SPOT type.

In 1986-1987 a program on durum wheat was established in the Camargue region in southern France to test semi-empirical methods. The program comprised two phases:

1. Estimation of biomass from vegetation indexes derived from models of the interaction between solar irradiance, and crop cover and photosynthesis:

$$MS = k \sum_{j=d_1}^{d_2} (DN_j - DN_s) \cdot PAR_j$$

where:

MS: dry biomass accumulated per unit area between two dates (d_1 , d_2)

DN_j : normalized difference of the crop on day j

DN_s : normalized difference of bare soil

PAR_j : cumulative photosynthetically active radiation on day j

2. Yield or yield component estimation (number of earheads/m², number of grains/m²) based on the biomass at critical crop development stages (early elongation, flowering, maturity).

Fifteen plots of durum wheat representing different varieties and planting dates, for which ground-measured radiometric and biological data were available for the entire growing season, were used for developing models.

Sixteen other plots were used as controls. Biomass at certain development stages and yields components were measured. Radiometric characterization was based on SPOT data (5 images from early March to late June) translated into reflectance using ground measurements.

The observed biomass-vegetation index relations are highly significant. They are linear and the slope depends on the phenological period. Biomass at certain stages is not clearly correlated to yield components due to varietal specificity. Correlation is highest between final yield and harvested biomass.

Application of the correlations to the 16 control plots raised the problem of reconstituting their radiometric profile from the five SPOT images. Reconstitution is not uniformly reliable for different planting dates; this problem and the underlying simplification hypotheses affect the model's efficiency.

I. – Introduction

La possibilité d'utiliser les données satellitaires pour le suivi des cultures est apparue il y a une dizaine d'années, à partir des satellites américains Landsat. Elle introduit deux possibilités nouvelles, par rapport à la surveillance traditionnelle assurée par les agriculteurs ou les services d'enquêtes statistiques :

- ☐ l'accès simultané, sur un support informatique, à l'ensemble des parcelles d'une même zone,
- ☐ la vision globale des propriétés spatiales des cultures, dont on sait depuis longtemps (par les photographies aériennes, par exemple) qu'elle apporte des informations d'une autre nature que celles que l'on peut avoir simplement en rentrant dans le champ.

Il faut bien évidemment, pour tirer parti de ces nouvelles sources d'informations, d'abord établir quels sont les liens entre les propriétés mesurées par les satellites dans les différentes longueurs d'onde et les paramètres biologiques et agronomiques qui définissent l'état d'une culture et ses caractéristiques de rendement. Ce point a fait l'objet de nombreux travaux ces dix dernières années, tant à l'étranger (essentiellement aux USA) qu'en France. Ceux-ci ont permis de mettre au point des méthodes, qui permettent de relier ces différentes mesures (en général combinées sous forme d'indices de végétation) et les paramètres de rendement (en particulier la biomasse). Mais ces relations, d'une part n'ont été établies qu'à une échelle locale (de l'ordre du m², avec des radiomètres au sol qui simulent les mesures satellitaires), d'autre part ne tiennent pas compte des limitations liées aux fréquences de passage des satellites (une fois tous les 18 jours pour Landsat, par exemple). Ce qui explique que, si les applications satellitaires à l'estimation des surfaces cultivées sont entrées quasiment dans le domaine de l'opérationnel, peu d'utilisations effectives (en dehors de la surveillance globale des grandes zones céréalières de USA et d'URSS) ont déjà vu le jour dans le domaine de la prévision du rendement unitaire.

L'arrivée du satellite français SPOT est un élément nouveau important pour deux aspects :

- 1°- sa résolution spatiale (20 m) qui permet d'accéder aux dimensions caractéristiques des parcelles de culture en Europe,
- 2°- sa possibilité de visée latérale qui permet d'obtenir des mesures répétitives sur une zone programmée et donc d'avoir une fréquence plus élevée et plus souple d'accès qu'avec Landsat.

Le lancement de SPOT en 1986 nous a conduit à proposer un programme de recherche visant à établir les possibilités d'applications au niveau satellitaire des travaux effectués à l'échelle locale. Ce programme a eu comme support expérimental le blé dur dans la basse vallée du Rhône et ce pour trois types de raisons :

- la première tient à l'implantation de notre laboratoire dans cette région,
- la seconde aux caractéristiques climatiques très favorables pour l'utilisation des satellites, en tous cas dans le contexte français (en tant que pourcentage de situations avec ciel dégagé).
- la troisième à la présence d'exploitations céréalières de grandes dimensions, en relief plan, dans la région de la basse vallée du Rhône (Camargue et nord de la Crau)

Ce programme a porté sur les deux années 86 et 87 avec comme objectifs : dans un premier temps, la mise au point des protocoles expérimentaux pour l'acquisition de la vérité — sol sur blé dur : définition des paramètres à mesurer et surtout des normes d'échantillonnage à respecter pour mesurer les caractéristiques moyennes des parcelles (taille de la placette élémentaire de mesure, nombre de placettes en fonction de l'hétérogénéité des parcelles...).

Dans un deuxième temps, la définition et la mise au point d'une méthodologie d'estimation de la biomasse et du rendement dans le cas du blé dur, sur une douzaine de parcelles suivies au sol ; la validation s'effectuant sur un autre ensemble de parcelles grâce aux données SPOT.

II. – L'expérimentation

1. L'expérimentation au sol

L'expérimentation principale s'est déroulée en Camargue (delta du Rhône) en 1987.

Pour établir le modèle biomasse-indices de végétation, nous voulions obtenir des états de croissance les plus contrastés possibles ; nous avons donc sélectionné 9 parcelles représentant différentes variétés (3 Arcour, 2 Capdur, 3 Creso et 1 Olint) et une gamme de dates de semis la plus étalée possible (du 26 octobre au 26 novembre 1986). Cela permet en outre de se placer dans les conditions réelles de la problématique «prévision du rendement à l'échelle régionale».

A ces parcelles s'ajoutent :

- 2 parcelles (var. Agatée) semées à 1 mois d'intervalle en 1986 au même endroit.
- une parcelle (var. Arcour) située en Crau (en conditions très sèches) en 1987 qui comporte 4 traitements croisant 2 régimes d'irrigation et 2 régimes de fertilisation azotée de manière à créer des états de croissance différents et apprécier l'effet du stress hydrique sur la production de biomasse et le rendement.

L'ensemble de ces parcelles a fait l'objet d'un suivi régulier, au cours du cycle de végétation, de leurs caractéristiques biologiques et radiométriques moyennes :

- mesure de la biomasse aérienne totale, de l'indice foliaire vert sur 10 placettes représentant environ 0,25m². En 1986, le protocole d'échantillonnage était différent : dans chacune des parcelles, l'une homogène, l'autre très hétérogène, étaient disposées 3 stations de 400 m² dans lesquelles on prélevait 10 placettes.
- suivi de l'évolution phénologique et mesure à la récolte des composantes du rendement sur la même base d'échantillonnage,
- mesure des réflectances dans les 3 canaux de SPOT avec un radiomètre (Cimel) monté sur un support permettant une visée verticale (2,5 m de hauteur) d'une surface d'environ 0,25 m², sur 10 à 15 placettes (30 en 1986, correspondant exactement aux placettes de prélèvement biologique), et ce dans des conditions garantissant au maximum la standardisation (midi solaire, ciel clair, temps calme).

Pour la validation, nous nous sommes appuyés en grande partie sur des réseaux de parcelles d'observation existants (Association blé dur – développement, LECSA) pour mesurer à certains stades la biomasse totale et les composantes du rendement. Au total 16 parcelles ont été retenues.

2. Les données satellitaires SPOT

Les scènes SPOT couvrent une surface de 60 km × 60 km et permettent d'obtenir des données numériques de luminance dans les trois canaux XS1 (500-590 nm), XS2 (610-680 nm), XS3 (700-890 nm) avec une résolution de 20 m.

Nous avons fait une demande de programmation du satellite pour 6 périodes : 5 scènes ont été obtenues (5 et 30 mars, 15 avril, 6 et 27 juin), la période n'ayant pu être couverte (mai) correspond malheureusement au maximum des indices de végétation du blé.

Les données numériques dans les bandes rouge (XS2) et proche infrarouge (XS3) sont d'abord calibrées (application de coefficients de calibration fournis par SPOT Image). Les luminances ainsi obtenues sont ensuite corrigées des effets d'éclairement (hauteur du soleil au moment du passage du satellite) et d'angle de prise de vue. Le problème, dans l'utilisation de données multitemporelles, est de s'affranchir des effets liés à l'atmosphère (dont les états varient d'une date à l'autre). On montre que l'action de ces effets (globalement transmission et diffusion) sur la luminance réelle au sol peut être additif et qu'inversement on peut déduire la réflectance au sol r de la luminance enregistrée par le satellite L par une relation linéaire :

$$r = aL + b$$

L'indice de végétation le plus classique, la différence normalisée (DN), est ensuite calculé à partir des réflectances dans le rouge et le proche infrarouge :

$$DN = \frac{XS3 - XS2}{XS3 + XS2}$$

Ce calcul étant fait pour les 5 dates, il est alors possible d'obtenir l'évolution dans le temps de DN pour les parcelles suivies en faisant une interpolation linéaire entre ces dates.

On procède de même entre la date de semis, connue (où $DN = DN$ sol nu), et celle de la première donnée SPOT ; pour la reconstitution du maximum, on a pris 2 options : l'option minimale, par défaut, et l'option maximale définie par l'intersection des 2 segments encadrant le maximum ou leur intersection et la droite $DN = 1$.

Suivant que les parcelles ont été semées tardivement ou précocement (en gros, après ou avant le 15 novembre), les données SPOT obtenues permettent de décrire plus ou moins bien cette évolution (en particulier, on surestime beaucoup le début dans le cas des semis précoces).

III. – Les résultats obtenus

Le but du programme proposé était d'établir, dans les conditions de l'agriculture française (et plus particulièrement de la région sud-est, compte tenu de ses caractéristiques favorables d'ensoleillement), la possibilité de caractériser les rendements des céréales (essentiellement blé dur, puis dans un deuxième temps riz) à partir des données de luminance fournies par SPOT. La voie la plus réaliste à l'heure actuelle consiste à essayer d'utiliser ces données (combinées en indices de végétation) pour prédire la biomasse, et utiliser celle-ci pour atteindre le rendement.

La façon la plus directe de relier la biomasse de la culture au rendement est de calculer, au moment de la récolte, le rapport entre les deux ou l'indice de récolte. Mais l'inconvénient de ce critère, son manque de validité générale, est prévisible et il semble préférable de mieux prendre en compte la façon dont s'est élaboré le rendement en étudiant plutôt les relations entre les états de croissance à certains stades-clés du développement et les composantes du rendement.

Les agronomes ont l'habitude de travailler sur ce type de relation qui leur permet de définir des potentiels de rendement. Il s'agit essentiellement, dans le cas du blé tendre de relier le nombre potentiel d'épis à la biomasse sur pied au stade blé (peu différent du début montaison) et le nombre potentiel de grains à la biomasse sur pied à la floraison. Ces relations exprimant des potentiels (c'est-à-dire des niveaux probables sous réserves que toutes les conditions de croissance sont à l'optimum) sont de forme généralement paraboliques, ce sont les enveloppes de courbes reliant les états de croissance (biomasse), aux stades cités, aux niveaux réels des composantes du rendement. Ce sont ces dernières courbes que nous nous proposons d'établir. La grande limitation de ce type de relation dans notre cas est leur spécificité variétale.

1. Description de la production de biomasse

La méthode est basée sur la relation proposée initialement par Monteith, reprise et adaptée par Gosse et Varlet-Grancher.

$$\frac{dMST}{dt} = \varepsilon_b \varepsilon_i \varepsilon_c \cdot RG$$

où le taux de production de matière sèche totale $dMST/dt$ est relié au rayonnement global RG par le biais de son équivalence en rayonnement photosynthétiquement actif $PAR (\varepsilon_c \cdot RG)$, de son absorption par le couvert végétal (traduite par le coefficient ε_i) et de sa conversion en matière sèche (traduite par ε_b).

Dans l'approche adoptée, les données d'indice de végétation DN sont utilisées pour reconstituer l'efficacité d'interception ε_i par : $\varepsilon_i = a (DN - DN_0)$, DN_0 étant l'indice de végétation du sol nu. ε_c est pris égal à 0,42 (d'après les mesures de la parcelle expérimentale de Montfavet).

Par intégration de l'expression précédente avec un pas de temps journalier, et moyennant les hypothèses de constance de a et ε_b (elles seront discutées dans la suite), la matière sèche MST_i produite entre deux dates d_i et d_{i+k} peut s'écrire :

$$MST_i = a \cdot \varepsilon_b \cdot \varepsilon_c \cdot \sum_{j=i}^{i+k} (DN_j - DN_0) \cdot RG_j$$

L'application de cette relation aux conditions expérimentales de l'année 1987 (**figure 4**) en utilisant les données climatiques du poste de Fourques, permet d'obtenir des relations significatives entre MST produite pendant différentes phases et $\sum DN \cdot RG$ (**figure 1**).

Si l'on considère les périodes emboîtées à partir du semis on constate que les relations restent bonnes car le schéma de développement pour les différentes parcelles est très semblable. Sur les graphiques, on a fait apparaître les points correspondant aux traitements «Crau non irrigués» pour montrer la sensibilité de la relation au stress hydrique (via ε_b) mais étant donné leur caractère parfaitement non naturel, nous ne les avons pas pris en compte dans le calcul de la relation.

A partir des coefficients de régression calculés ($a, \varepsilon_b, \varepsilon_c$), on peut, en prenant $\varepsilon_c = 0,42$ et $a = 1,2$, calculer les valeurs de ε_b suivantes :

semis – début montaison	0,95g/MJ/m ²
début montaison – floraison	2,43 "
floraison – récolte	1,70 "
semis – floraison	1,89 "
semis – récolte	1,80 "

Ces valeurs sont évidemment plus faibles que les valeurs trouvées habituellement dans la littérature et fluctuent en fonction des périodes pour différentes raisons (limitation à la biomasse aérienne et répartition variable entre parties aériennes et souterraines) auxquelles on peut ajouter la sous-estimation de la mesure de la matière sèche sur pied, de plus en plus marquée au fur et à mesure qu'on avance dans le temps car les feuilles sénescentes ne sont pas récoltables (elles disparaissent).

2. Passage de la biomasse aux composantes du rendement

Les relations établies entre le nombre d'épis par m² et la biomasse au début de la montaison d'une part, le nombre de grains par m² et la biomasse à la floraison d'autre part (figure 2) sont, comme prévu, significatives mais assez lâches en partie à cause de l'effet variétal (cf. Olinto, variété haute à très larges feuilles) et de l'influence des conditions de culture (cf. traitements secs en Crau et problèmes de salinité notoire en Camargue). Il faut noter que, à cause de la difficulté à obtenir des mesures précises de la date d'occurrence d'un stade (phénomène continu et non pas discret, suivi non quotidien mais quasi-hebdomadaire sur le terrain), la détermination de la biomasse à un stade donné est entachée d'une erreur non négligeable, particulièrement à la floraison où sa vitesse d'évolution est très grande.

L'indice de récolte (figure 2) se révèle le critère le plus intéressant (73 à 82 % de la variance des rendements expliquée par la biomasse à la récolte). Comme par ailleurs la biomasse produite pendant la période semis-récolte est bien reliée à la somme des DN*RG, le modèle que nous retiendrons est constitué des deux relations suivantes :

$$MST_{rec} = 0,906 \sum_{sem}^{rec} (DN_j - DNO).RG_j + 14$$

avec $DN_0 = 0,12$ pour la Camargue, $0,17$ pour la Crau et rendement = $0.353 MST_{rec} + 34$.

3. Passage à l'échelle de SPOT

L'application de ces relations aux parcelles de validation suivies par SPOT, permet d'obtenir des résultats relativement intéressants pour la biomasse, beaucoup plus dispersés au niveau du rendement final (fig. 3).

La surestimation des indices de végétation dans la période hivernale pour les semis précoces conduisent à une surestimation systématique de la biomasse et du rendement pour ces derniers. L'absence de données SPOT au cours du mois de mai introduit des erreurs supplémentaires. D'autres facteurs interviennent pour expliquer ces résultats : ils sont liés aux hypothèses fortes sur lesquelles est fondée cette méthode :

- ☐ la variabilité de ε_b en fonction des stades. Or toutes les parcelles ne franchissent pas les mêmes stades au même moment et pas avec les mêmes états de croissance, des situations culturales pouvant créer ou non des stress (hydrique, azoté, dû à la salinité excessive),
- ☐ l'influence de la structure (et donc de l'effet variétal) et des propriétés optiques des cultures (donc de leur état de sénescence ou sanitaire) sur le a de la relation $\varepsilon_i - DN$,
- ☐ la grande dépendance variétale des relations biomasse-composantes du rendement et leur validité contestable en dehors de conditions de cultures optimales.

On peut ajouter d'autres sources d'erreur :

- ☐ la mauvaise précision obtenue sur les mesures ponctuelles de biomasse à la récolte (échantillonnage très faible et pas de possibilité de lissage de l'erreur sur la mesure finale par l'ajustement logistique),
- ☐ la méthode utilisée permet le cumul des erreurs au cours des deux étapes de l'estimation.

IV. – Conclusion

On voit ici les difficultés rencontrées dans la phase de validation d'un modèle qui se veut applicable en grandeur nature avec des données satellitaires. Elles tiennent à deux types de considérations :

Sur la forme du modèle : bien que, pour la première partie, les fondements physiques en soient assurés, les hypothèses simplificatrices faites lui confèrent un fort degré d'empirisme. Des améliorations peuvent lui être apportées par :

- ☐ une meilleure modélisation de ε_i en fonction des réflectances rouge et proche infrarouge, mieux paramétrée en fonction des changements de structure liés aux différentes phases du développement,
- ☐ une meilleure prise en compte de la variabilité de ε_b à la fois en fonction du stade de développement de la culture et en fonction des conditions climatiques.

La deuxième partie du modèle peut également être améliorée par une modélisation de type agrométéorologique et donner :

- ☐ des estimations des niveaux réels des composantes du rendement à partir des niveaux potentiels,
- ☐ directement une composante du rendement (le poids des grains par exemple),

Sur la grande variabilité des situations qui existent à l'échelle régionale (variétés, dates de semis, techniques culturales) et qui, quel que soit le modèle utilisé sera à prendre en compte.

Au-delà de ces considérations précises, qui délimitent les axes de recherche sur lesquels nous devons faire porter l'effort dans les années à venir, il est possible de tirer de cette première expérimentation en vraie grandeur avec les données SPOT les enseignements suivants :

- Le suivi des cultures avec un satellite tel que SPOT est techniquement possible, même si apparaissent de sérieux problèmes (périodes nuageuses, concurrence des programmations) pour obtenir les données souhaitées.
- L'approche de la biomasse par la démarche «interception de l'énergie lumineuse» est envisageable pour un climat de type méditerranéen, alors que dans les autres régions productrices françaises (type bassin parisien ou sud ouest), il n'apparaît guère possible de faire autrement que d'espérer obtenir des données à des dates significatives et utiliser ensuite des relations empiriques entre biomasse, rendement et indices de végétation.

Ces travaux ont été conduits en conditions méditerranéennes assez particulières puisque, grâce à la présence d'une nappe phréatique très superficielle, les cultures peuvent être considérées comme «protégées» du stress hydrique. Cependant la forme du modèle proposé peut fort bien prendre en compte des situations hydriques moins favorisées, à condition de quantifier l'effet du stress hydrique sur la production de biomasse via ε_b , effet nettement visible pour les parcelles de Crau non irriguées sur les **figures 1 et 2**. Des travaux ont été entrepris dans ce sens à une échelle locale et visent à coupler cette approche radiométrique de la biomasse avec une caractérisation de l'état hydrique du couvert par l'information radiométrique dans l'infrarouge thermique. Les retombées de ce type de travaux seront évidemment d'un grand intérêt pour les études de la productivité des cultures en zone aride, envisageables à grande échelle grâce aux données satellitaires.

Références

- KUMAR (M.), MONTEITH (J.L.), 1982, Remote sensing of crop growth, in *Plants and the daylight spectrum*, Smith H., Academic Press, pp. 133-144.
- STEVEN (M. D.), BISCOE (P.V.) and JAGGARD (K.W.), 1983, Estimation of sugar beet productivity from reflection in the red and infrared spectral bands, *Int. J. Remote Sensing* 4(2), pp. 325-334.
- JAPPIOT (M), 1987, *Estimation de la biomasse d'une culture de blé à partir des indices de végétation SPOT*, Marseille : Fac. St Jérôme, 30 p. + annexes (mémoire DEA).
- STEINMETZ (S.), GUERIF (M.), DELÉCOLLE (R.), BARET (F.), 1989, Spectral estimates of intercepted photosynthetically active radiation and biomass production of a durum winter wheat affected by nitrogen and water deficiencies. *Application of remote sensing in agriculture, Remote sensing Workshop*, University of Nottingham (UK), 3-7 April 1989.
- DELÉCOLLE (R.), GUERIF (M.), 1988, Introducing spectral data into a plant process model for improving its predicting ability, *Proc. 4th Intern Symp. Sign Spectr*, Aussois, 18-22 janvier 1988.
- VARLET-GRANCHER (C.), CHARTIER (M.), ARTIS (P.), 1982, Efficience de la conversion de l'énergie solaire par un couvert végétal, *Acta Oecologica, Oecol. Plant.* 3(17), pp. 3-26.
- HATFIELD (J.L.), ASRAR (G.), KANEMASU (E.T.), 1984, Intercepted photosynthetically active radiation estimated by spectral reflectance, *Remote Sensing of Environment*, 14, pp. 65-75.
- BARET (F.), CHARRIER (X.), MEYNARD (J.M.), 1987, *Estimation du potentiel de rendement d'une culture de blé au stade début montaison*, Avignon : INRA, 22 p. (note interne Stat. Bioclim.)
- MASLE (J.), 1980, L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver. Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière, Paris-Grignon : INA, 274 p. (thèse de Docteur-Ingénieur).

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une ATP-CNES-CNRS-INRA et a reçu un soutien financier du Conseil Général de la Région PACA.

Figure 1 : Localisation des parcelles expérimentales.

(Le carré en pointillé figure la zone de l'image SPOT présentée sur les photos)

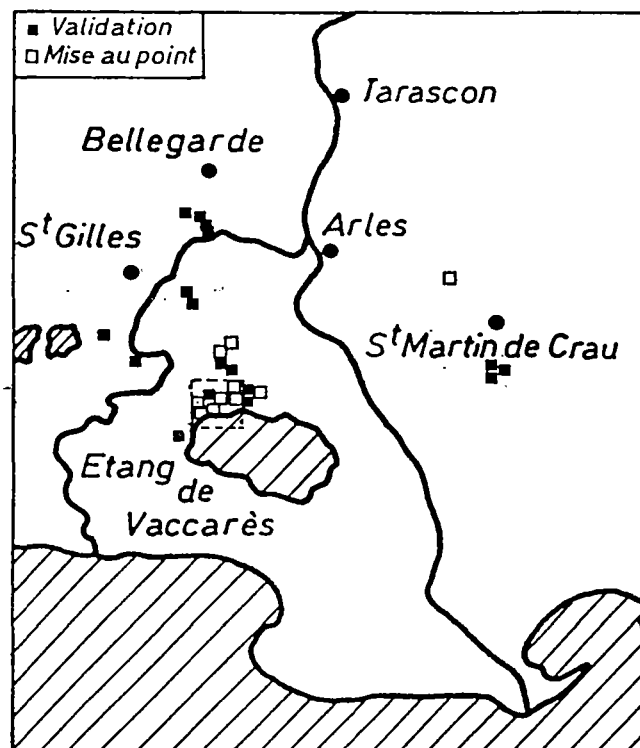


Figure 2 : Evolution des indices de végétation (DN) sur une zone 5*5 km²

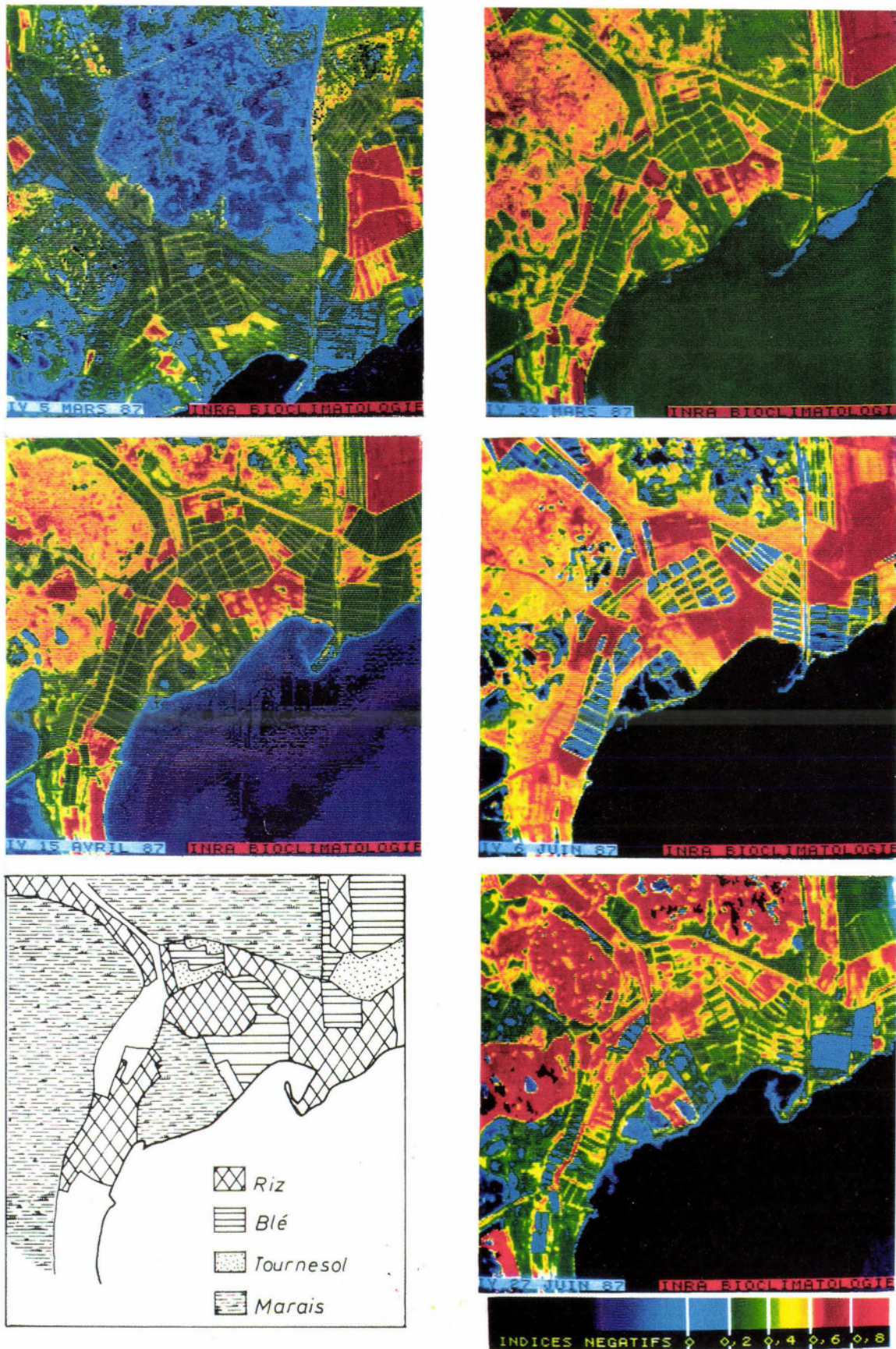


Figure 3 : Reconstitution de l'évolution de la différence normalisée à partir des données SPOT Options mini (---) et maxi (—)

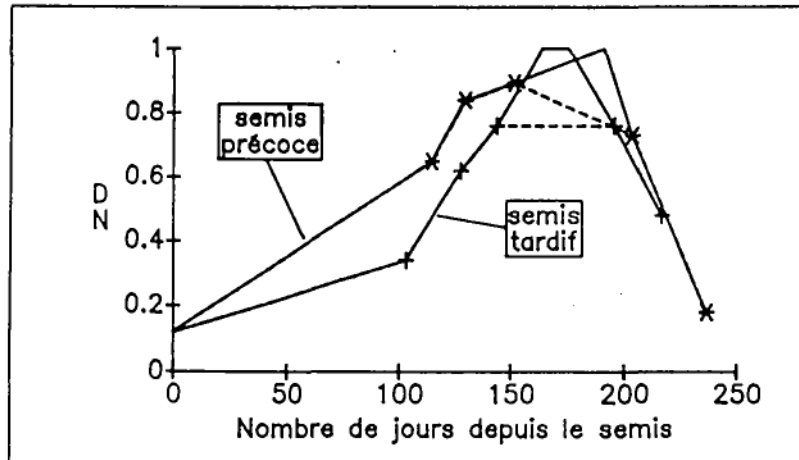


Figure 4 : Evolution comparée de RG, DN, Σ DN.RG pour une parcelle

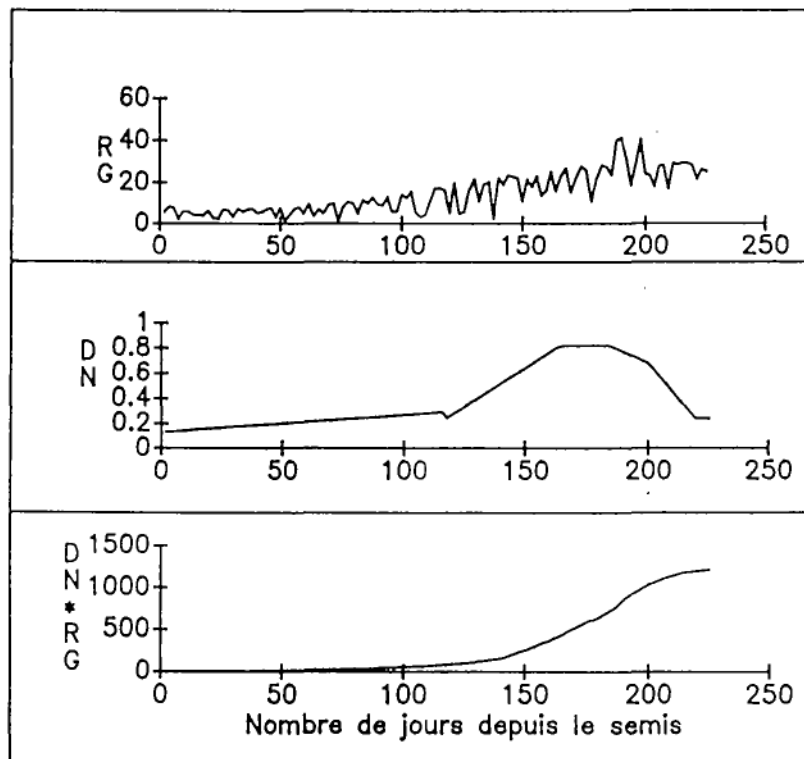


Figure 5 : Relations biomasse- Σ DN.RG pour les trois périodes
 a) semis-montaison, montaison-floraison et floraison-récolte
 b) semis-montaison, semis-floraison et semis-récolte
 (les points Crau sec (O) sont exclus de la régression)

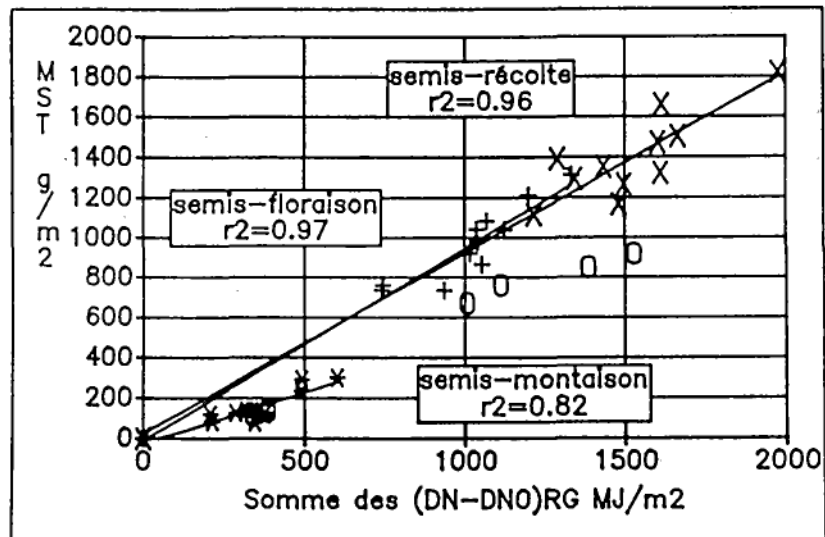
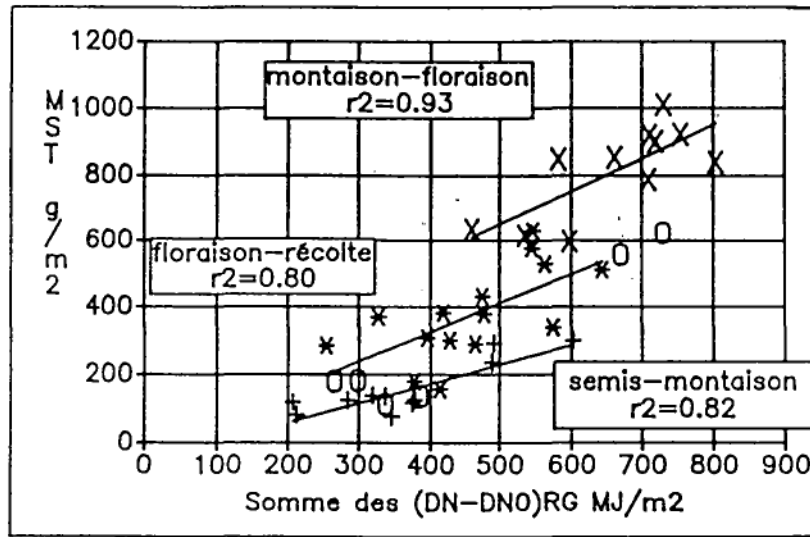


Figure 6 : Relations biomasse-composantes du rendement.

Les régressions sont faites sur l'ensemble des points (—)
ou après avoir exclu la Crau sèche et la var. Olinto (---)

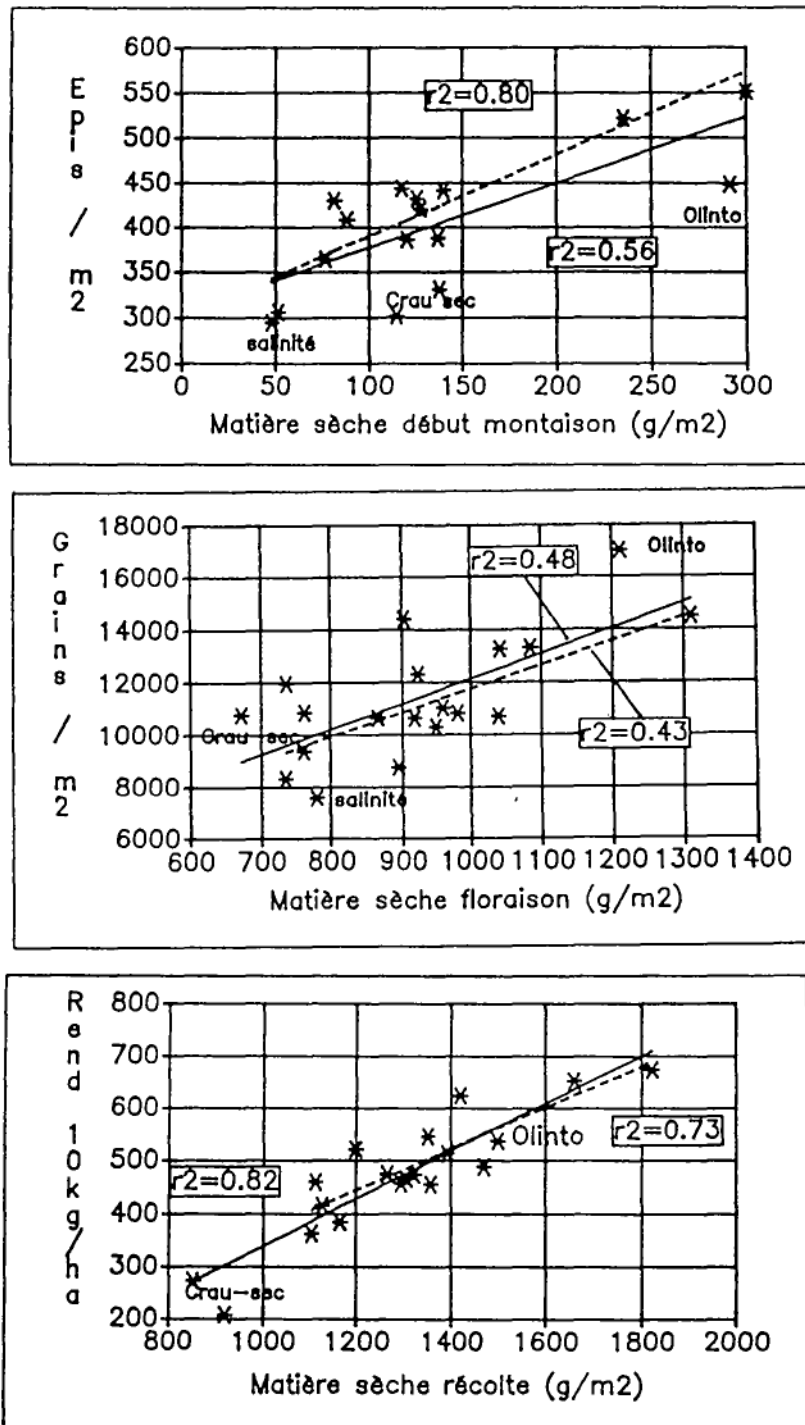
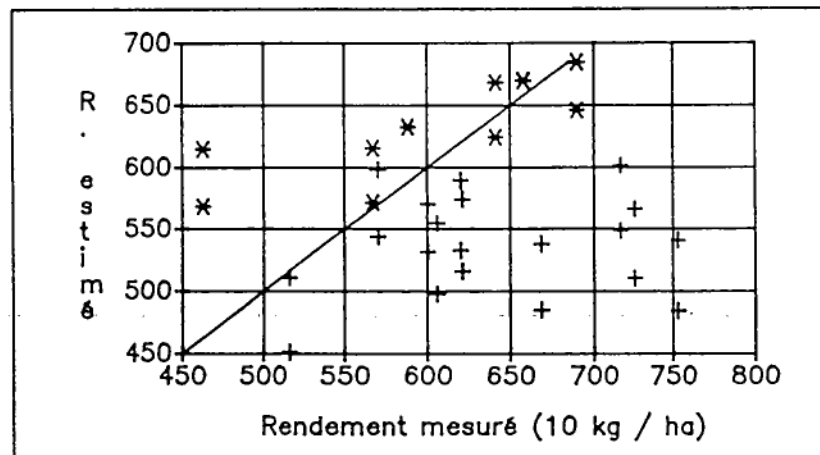
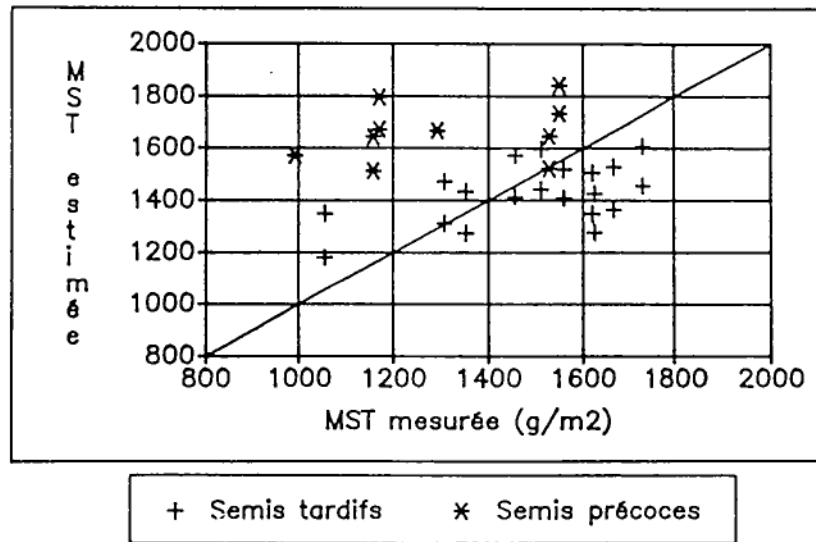


Figure 7 : Comparaison des biomasses et rendements estimés/mesurés.
 (On a relié entre elles les estimations dérivant des options mini et maxi de DN)



Quatrième partie – Gestion de périmètres irrigués et de forêts

Part four – Management of irrigation systems and forests

Remote sensing and management of large irrigation projects

Othmane LAHLOU

Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb (ORMVAG), Kenitra (Morocco)

Alain VIDAL

Laboratoire Commun de Télédétection
CEMAGREF-ENGREF, Montpellier (France)

Abstract: Satellite data now give localized and regular information for use in agriculture. Recent results obtained by CEMAGREF, France, ORMVAG and IAV HASSAN II, Morocco, in the irrigation project of Gharb, Morocco, show that remote sensing can be applied to irrigation management.

Applications that are not specific to irrigation projects are presented first:

- land use mapping
- static and dynamic mapping of floods

This is followed by an examination of the applications related to irrigation management:

- mapping of irrigated crops
- detection of intra-plot heterogeneity, to improve irrigation management
- irrigation control in sugarcane plantations based on water balance monitoring on a regional scale

Résumé

Applications de la télédétection à la gestion des grands périmètres irrigués – cas du Gharb (Maroc)

Les images satellitaires fournissent désormais une information localisée et répétitive utilisable en agriculture. Les résultats obtenus par le CEMAGREF (France), l'ORMVAG et l'IAV HASSAN II (Maroc) dans le périmètre irrigué du Gharb (Maroc) débouchent sur des applications de la télédétection à la gestion des grands périmètres irrigués.

On présente d'abord deux applications non spécifiques des périmètres irrigués :

- cartographie d'occupation du sol,
- cartographie et suivi des inondations.

Puis sont présentées les applications à la gestion de l'irrigation :

- cartographie des cultures irriguées,
- détection d'anomalies dans les parcelles irriguées,
- contrôle de l'irrigation de la canne à sucre par suivi du bilan hydrique à l'échelle régionale.

Satellite data give now localized and regular information that can be used in agriculture. Recent results obtained by CEMAGREF, France, ORMVAG and IAV HASSAN II, Morocco in the irrigation project of Gharb, Morocco, show that remote sensing can be applied to irrigation management.

The study area is a plain extending over 250 000 ha, of which 100 000 ha are irrigated, in northwestern Morocco. Annual rainfall is between 400 and 600 mm and average temperatures are between 11°C in winter and 27°C in summer. Soils are generally clayey. Main crops are sugarcane, sugar beet, rice, orange, and dry farming cereals. Remote sensing data have been successfully used for land use mapping, flood monitoring, and to meet the specific needs of irrigation management.

I. – Land use mapping

Authorities of the irrigated area of Gharb need a quarterly updated land use map for irrigation management and agricultural monitoring. The map is also useful for remote sensing applications. High-resolution remote sensing is an appropriate technique for obtaining such a map.

A series of ground measurements of radiometric properties of crops were carried out in 1987. Three periods were identified for a correct discrimination of crops (1 in winter, 1 in spring, 1 in summer). It was subsequently decided to program SPOT acquisition a few days before each period.

The final land use map with a global confusion rate of 18% is obtained each year in July.

II. – Flood monitoring

The area of Gharb is generally flooded once every 3 year. The feasibility of monitoring and mapping the floods by remote sensing during the submersion period was tested; it was found that 3 SPOT and 14 NOAA cloud-free images can be obtained during this period.

NOAA data are used to monitor the flood extension on a daily basis under cloud-free conditions. The level of submersion is determined by histogram slicing on NOAA AVHRR band 3 (i.e. 3.55-3.93 μm), except when the band is disturbed by instrumental noise (then the normalized difference vegetation index, NDVI, is used). The following levels were defined: dry, wet, partially flooded crop, completely flooded crop.

With these maps, it is possible to analyze flood spread, and produce a map of submersion duration. As flood duration is related to loss of production of the inundated crop, it is possible to predict production losses in the area. Such information is useful for postharvest processing industries for the national economy as Gharb is a major cereal-growing area in Morocco.

SPOT data can also be used to accurately map the maximum extension of the flood and different levels of submersion. They can also be used to get other information on the flood, such as:

- location of river overflows
- location of flow areas where irrigation and/or road infrastructure may be damaged
- control of drainage system
- erosion in cultivated plots

III. – Applications for irrigation management

1. Mapping of irrigated crops

The Gharb area is irrigated by pumping stations along rivers with upstream dams for flow regulation. Private pumping units along the rivers between the dams and the irrigated area considerably decrease available flow.

The problem is to know the exact area irrigated by these private pumping units as many of these are not authorized.

A SPOT XS or a Landsat TM image can be used to map irrigated crops by NDVI histogram slicing. The resulting map is useful for updating irrigation taxes and for estimating the flow to be released in the rivers from dams.

2. Detection of anomalies

Heterogeneities in irrigated plots are generally due to anomalies of irrigation, drainage or farming practices.

Many anomalies can be detected, on the one hand, by ground radiometric measurement. The gradients observed in some plots in the Gharb area are significant.

The anomalies can also be detected by remote sensing, using SPOT XS data. The following anomalies have been already detected:

- localized water stress, generally due to low flow at the beginning of the plot (in gravity irrigation systems) showing a decrease of NDVI,
- water excess due to poor drainage, irrigation heterogeneities or irrigation network defects. This can be detected by histogram slicing of the near infra-red band, because vegetation is transparent and water strongly absorbs in this waveband. For example, a simple leak in the irrigation network may result in a 20 m x 20 m pool, which is the size of a SPOT pixel,
- access to certain areas diminish water excess on tracks. This excess is detected by a high vegetation index,
- excess vegetation in drainage canals can be detected by a high vegetation index.

Even if remote sensing does not automatically indicate the nature of the anomaly, it shows its location. With the help of the map the authorities in charge of the irrigated area can identify the location where a diagnostic is required.

3. Irrigation control by the water balance monitoring

Thermal infra-red data from NOAA-AVHRR give repetitive information on large areas, with a resolution of 1.1 km. This information can be used to monitor the water balance at a regional scale (Seguin, 1984).

NOAA data are first corrected for geometrical distortions and for atmospheric and emissivity effects (Vidal, 1989), then transformed into surface temperature maps for a defined crop (in this case sugarcane, with an assumed emissivity of 0.96). For such a crop, a simplified equation of daily evapotranspiration and surface temperature is used:

$$(ETR - R_n)_d = A - B (T_s - T_a)_i$$

where :

$(ETR - R_n)_d$ is the daily difference between actual evapotranspiration and net radiation,
 $(T_s - T_a)_i$ is the instantaneous difference between surface and air temperature near midday.

Recent works (Vidal and Perrier 1988) show that, for an irrigated crop, A and B are almost constant and may be estimated as:

$$A = 0.0$$

$$B = B_0 + 0.05$$

with $B_0 = 0.30$ for sugarcane.

If R_{n_d} and T_{a_i} are known from meteorological measurements, it is then possible to compute the daily evapotranspiration for each pixel where sugarcane is dominant.

On these pixels, we control the ratio ETR/ETM, where ETR is the maximum evapotranspiration of the crop, in order to detect stressed areas, which will then be given priority for the next irrigation.

High-resolution data (see detection of anomalies) will then explain the observed stresses so that irrigation can be improved in the following year.

Thus low- and high-resolution satellite data are a reliable tool in irrigation management. Some of these applications are already operational (flood monitoring, mapping of irrigated crops). The others have to be tested in 1989 and 1990, but results obtained during the last 3 years are very encouraging.

References

- SEGUIN (B.), 1984, Estimation de l'évapotranspiration à partir de l'infra-rouge thermique, *11^e coll. Int. Signatures spectrales d'objets en télédétection*, Bordeaux, 12-16 Sept. 1983, pp. 428-446, Paris : INRA (Les colloques de l'INRA, 23).
- VIDAL (A.), PERRIER (A.), 1988, Analysis of a simplified relation used to estimate daily evapotranspiration from satellite IR data. *Int. J. Rem. Sens.*, **10** (8), 1327-1337.
- VIDAL (A.), 1989, Atmospheric and emissivity correction of land surface temperature measured from satellite using ground measurements or satellite data (to be published in *Int. J. Rem. Sens.*).



Figure 1. Map of the flood in February 1986 obtained from NOAA of 11 February 1986 (beginning). Submerged areas appear in blue.

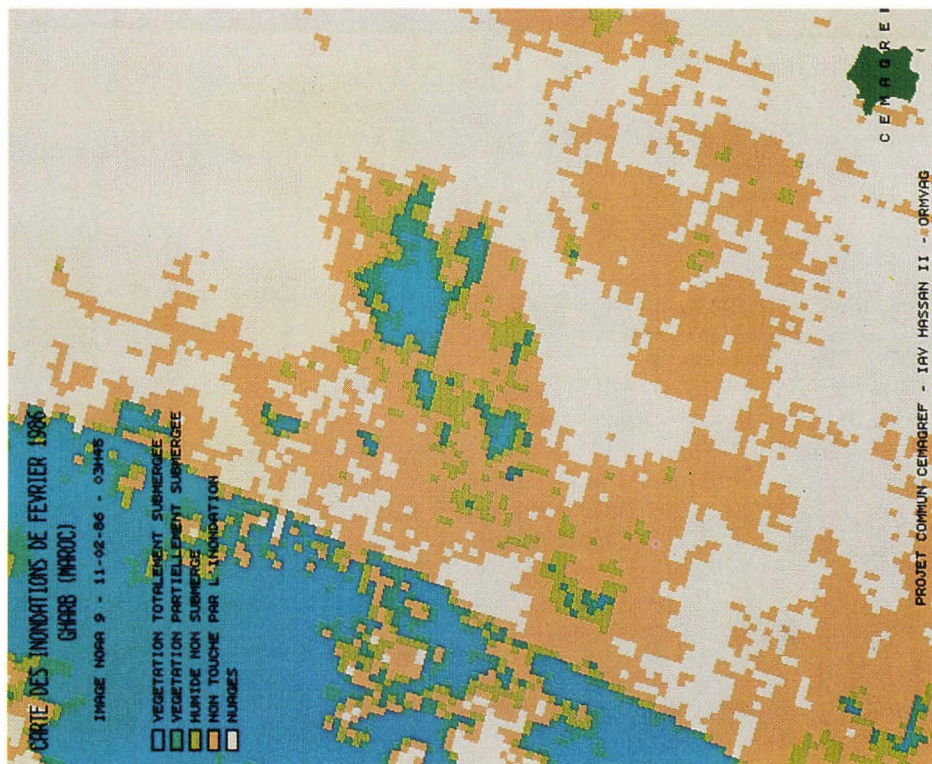


Figure 2. Map of the flood in February 1986, 2 days later, obtained from NOAA image of February 1986 (maximum extension).

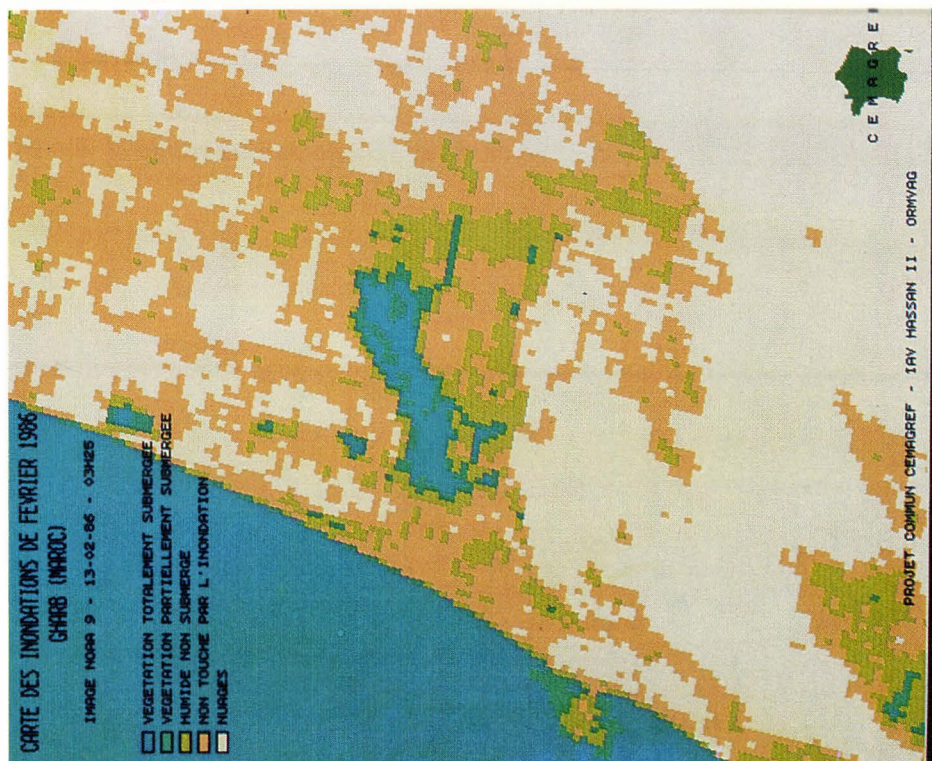


Figure 3. Map of subversion duration, obtained from five NOAA images taken in February 1986.

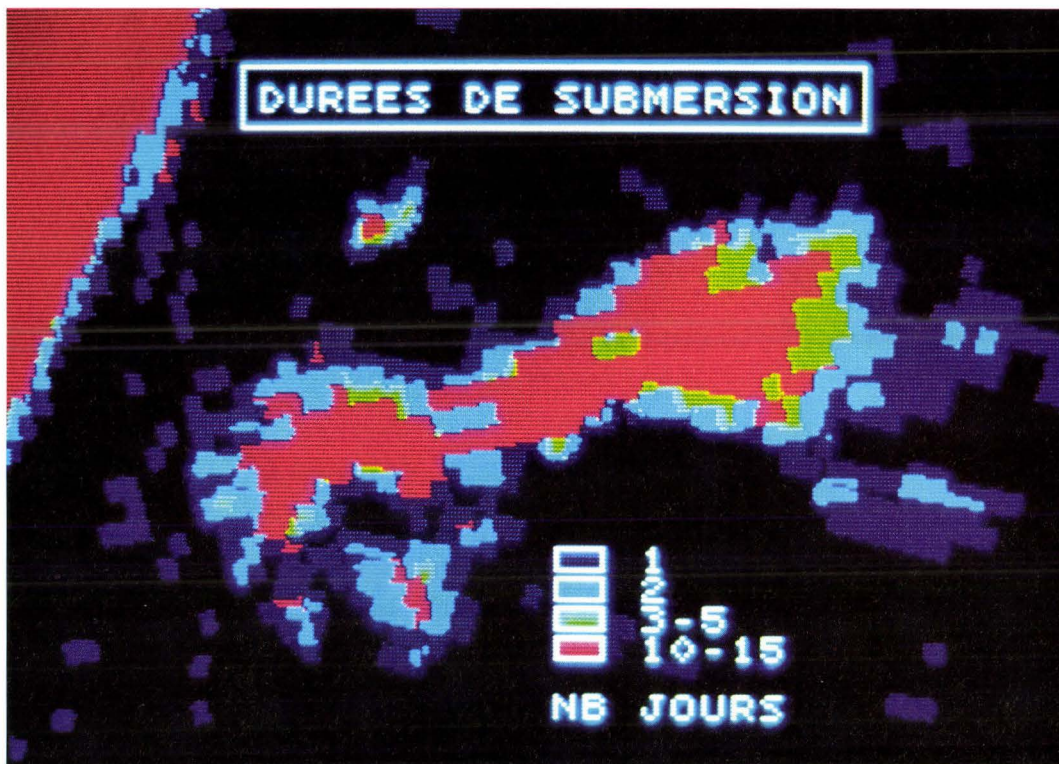


Figure 4. SPOT XS image of March 1986 showing the flood in February. Areas with problems can be seen on the image.

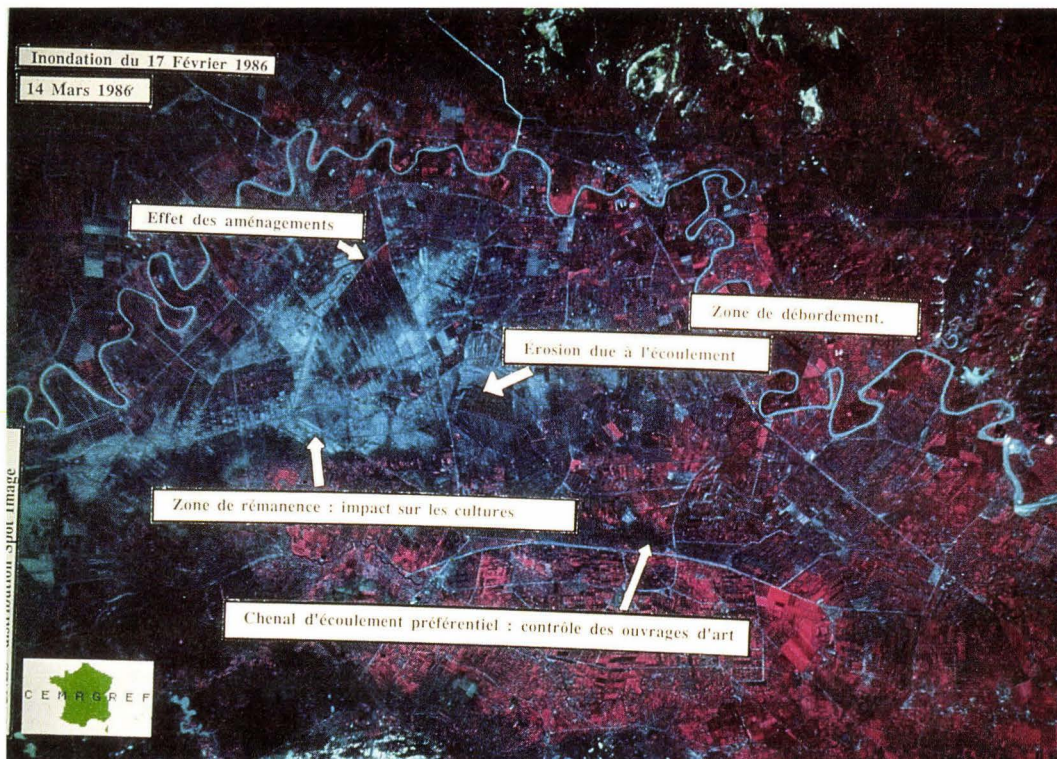


Figure 5. Classification from the SPOT image presented in Figure 4. Completely and partially submerged areas appear in blue, wet areas in yellow, dry areas in red.

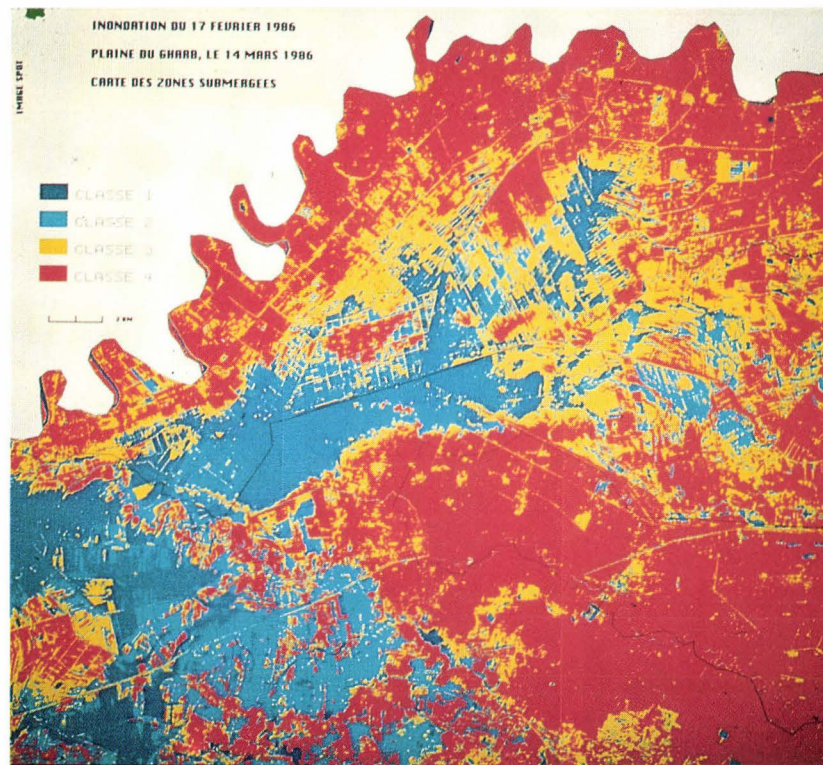


Figure 6. Landsat TM image of 10 July 1987 showing areas irrigated by private pumping units (in green along the river)



Figure 7 : Classification from the Landsat TM image presented in Figure 6

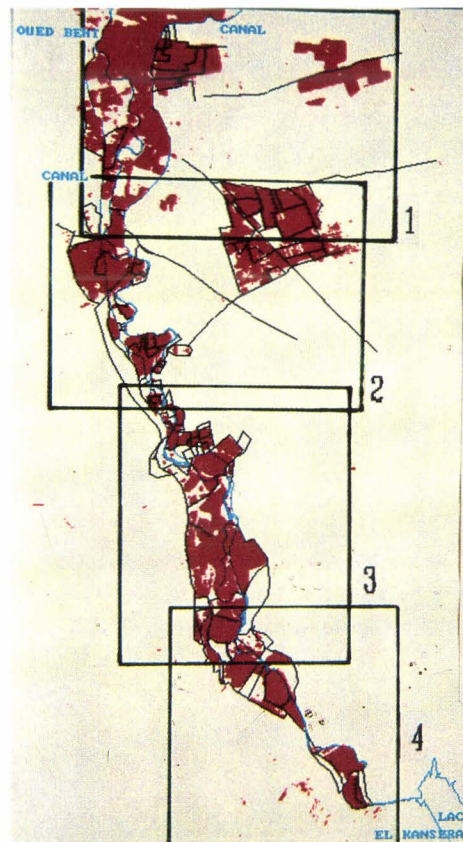


Figure 8. Map of anomalies on an area of 1520 ha obtained from Landsat TM image of 10 July 1987.



Inventaire et cartographie des périmètres irrigués en Algérie par imagerie SPOT

Philippe CARTON
SOGREAH, Grenoble (France)

Résumé : La Société SOGREAH Ingénieurs Conseils a réalisé une étude pilote dont l'objectif était de mettre au point la méthodologie la mieux adaptée à l'inventaire des périmètres irrigués en Algérie par télédétection. Cette étude répond à la volonté du Ministère Algérien de l'Hydraulique, de l'Environnement et des Forêts de réaliser cet inventaire à l'échelle nationale.

L'étude pilote a été menée à partir de deux images SPOT localisées sur deux zones aux caractéristiques agroclimatiques très différents :

- la région de Mascara-Tiaret assez montagneuse où les périmètres irrigués sont de petite taille et alimentés par des pompages dans les oueds,
- la région du Chott El Hodna, beaucoup plus aride où les périmètres irrigués sont localisés autour de petits forages ou en bordure d'oueds par épandage de crue.

Les traitements numériques d'images du mois de juin assistés d'une mission de vérité terrain ont abouti aux résultats suivants :

- localisation exhaustive des périmètres irrigués de plus de 0,25 ha,
- cartographie en couleurs de ces périmètres à l'échelle du 1/50 000^e superposable aux fonds de plan topographiques du pays,
- comptage des périmètres et calcul de leur superficie à l'intérieur des sous-bassins versants.

La SOGREAH avait réalisé en 1968 le même inventaire à l'échelle nationale par des méthodes traditionnelles et a pu apprécier les avantages de la télédétection en termes d'économie de moyens, de précision cartographique et de fiabilité de l'évaluation des surfaces.

Abstract

Inventory and mapping of irrigation systems in Algeria using SPOT data

SOGREAH Consulting Engineers, France, carried out a pilot study with the aim of developing appropriate methods for using remote sensing in an inventory of irrigation systems in Algeria. It was undertaken in response to the need expressed by the Algerian Ministry of Water Resources, Environment and Forests for a nationwide inventory.

Two SPOT images of two very different agroclimatic zones were used:

- the mountainous Mascara-Tiaret area with relatively small irrigation systems using water pumped from wadis
- the much more arid Chott El Hodna area where the irrigation systems are supplied from boreholes or by flooding

Digital processing of images taken in June combined with a ground truth mission produced the following results:

- exhaustive location of irrigation systems above 0.25 ha
- color map of the system at a scale of 1:50 000 to overlay on national topographical maps
- computerized count and area estimation of irrigation systems in the subwatersheds

In 1968, SOGREAH had carried out a similar nationwide inventory using conventional techniques. It can now confirm that remote sensing offers a definite advantage in terms of cost-effectiveness and accuracy.

I. – Introduction

L'irrigation des cultures est une pratique séculaire dans les pays méditerranéens qui permet de combattre les effets d'une saison sèche particulièrement longue. Le développement régulier des surfaces irriguées traduit le souci de valoriser au mieux les ressources hydrauliques pour améliorer l'autosuffisance alimentaire et fournir des productions destinées à l'exportation. Les périmètres irrigués

ont un impact économique particulièrement important puisqu'on y récolte des productions à forte valeur ajoutée, principalement des fruits et légumes.

Les périmètres dits de **grande hydraulique** sont bien connus des décideurs nationaux car ils sont alimentés en général par des ouvrages de stockage importants et une structure de gestion leur est souvent affectée. Par contre, le domaine de la **petite et moyenne hydraulique** est plus diffus car il est constitué de périmètres de tailles très variables dont l'alimentation en eau est diversifiée : petits barrages, pompage dans les oueds, forages, épandages de crues, etc... Les aménagements de petite et moyenne hydraulique (pmh), évoluent de façon peu contrôlable au gré des ressources en eau disponibles et des fluctuations économiques. Cela signifie que le nombre de ces périmètres varie dans le temps de même que leur surface unitaire et leur degré d'intensification.

Le Ministère Algérien de l'Hydraulique, de l'Environnement et des Forêts s'intéresse particulièrement à ce secteur d'activité et souhaite réaliser à l'échelle nationale l'inventaire et la cartographie des périmètres de pmh. La télédétection satellitaire est un outil très adapté à ce type d'étude touchant de vastes surfaces, puisqu'elle peut fournir une couverture exhaustive, récente et homogène.

L'étude qui fait l'objet de la présente communication a consisté à mettre au point sur 2 zones test la méthodologie de repérage et de représentation cartographique des périmètres irrigués grâce aux données numériques du satellite SPOT.

II. – Choix des deux scènes-test

Deux scènes-test ont été choisies en accord avec le Ministère de l'Hydraulique pour caractériser 2 zones agroclimatiques bien différentes comportant des périmètres irrigués aux caractéristiques contrastées :

1° – La scène K46-J279 du 22.06.1986 multispectrale est une vue verticale de la région de l'oued El-Abd (nord-ouest du pays) où l'administration souhaitait en effet visualiser la forte extension des petites parcelles irriguées par pompage dans les oueds.

2° – La scène K54-J279 du 28.6.1986 multispectrale est une vue verticale du chott El-Hodna (centre-est du pays) où les périmètres irrigués sont situés surtout autour de petits forages.

Les prises de vue ont été choisies dans le catalogue de SPOT Image et la période retenue (mois de Juin) correspond au maximum d'extension des périmètres irrigués qui se distinguent alors très bien de leur environnement agricole beaucoup plus sec. A ce moment de l'année, les céréales sont, suivant les régions, déjà récoltées ou en cours de récolte.

III. – Objectifs et méthodes de travail

Les principaux objectifs de cette étude pilote sont les suivants :

- ☐ repérer si possible de façon exhaustive les périmètres irrigués de chaque scène,
- ☐ définir quelle est la surface minimum d'un périmètre que SPOT peut déceler,
- ☐ représenter tous les périmètres à l'échelle du 1/50 000^e redressé dans le système de coordonnées Lambert,
- ☐ planimétrer de façon la plus systématique possible les surfaces irriguées par petites zones géographiques.

Il n'est pas prévu d'entrer dans le détail des «signatures spectrales» des différentes cultures irriguées constituant chaque périmètre. La méthode de travail retenue consiste à comparer deux types de traitements numériques :

- 1° – le calcul d'un indice de végétation intégrant la bande spectrale XS1 pour renforcer les contours géométriques des parcelles cultivées,
- 2° – une classification supervisée basée sur des zones d'entraînement bien connues, caractérisant la diversité des signatures spectrales des périmètres.

Le premier type de traitement a été confié à la Mission Télédétection de l'ORSTOM Paris.

IV. – Réalisation de spatiocartes

Afin de préparer la mission de vérité terrain, nous avons établi des spatiocartes sur traceur couleur visualisant un calcul d'indice de végétation sur les deux zones d'étude. Ces sorties à l'échelle de 1/31 000^e étaient redressées suivant la projection Lambert par l'introduction d'amers choisis à la fois sur les images SPOT et sur les fonds topographiques au 1/50 000^e du pays (croisements de routes, méandres d'oueds, etc.).

Les spatiocartes étaient découpés en formats manipulables sur le terrain et comportaient en surimpression le quadrillage Lambert permettant de se repérer au sol (grille à 5 km et sous-grille mobile au km).

V. – Mission de vérité terrain

La mission de vérité terrain a été réalisée en Algérie en juin 1988, c'est-à-dire exactement deux ans après les prises de vues (utilisées). D'une durée de cinq semaines, cette mission a été effectuée en collaboration avec les chercheurs du Centre National Algérien des Techniques Spatiales et avec l'appui des services décentralisés du Ministère de l'Hydraulique.

L'objet du travail était d'identifier avec précision les zones à fort indice de végétation, représentant les périmètres irrigués, mais également certaines plantations de pin d'Alep qui ne se distinguaient pas toujours des périmètres. Nous avons pu vérifier que l'emplacement des périmètres irrigués n'avait pratiquement pas varié depuis 1986, ce qui aurait été théoriquement possible par déplacement des pompes et des tuyaux. Quelques rares extensions ont été notées, en particulier sur la rive de la retenue du barrage Sidi Mohamed Ben Aouda sur l'oued Mina.

Les périmètres irrigués se distinguent très nettement dans le paysage sous la forme de petites parcelles polygonales vert cru dans un environnement déjà très aride en juin. Les cultures pratiquées sont essentiellement des cultures de légumes (oignon, pomme de terre, tomates, etc.) et parfois des plantations (grenadiers, abricotiers, amandiers, etc.).

La vérité terrain a donc porté sur d'autres thèmes dans le but «d'habiller» les restitutions des périmètres :

- ☐ céréales récoltées (chaumes) ou encore sur pied (en épis),
- ☐ divers boisements de pin d'Alep,
- ☐ plantations d'oliviers,
- ☐ vignes,
- ☐ villages,
- ☐ dunes,
- ☐ etc...

Dans la région de l'oued El Abd, les périmètres sont nombreux, de petite taille unitaire (parfois 2 000 m²) situés exclusivement le long des oueds disjoints, mais souvent disposés par grappes.

Dans la région du chott El-Hodna, l'irrigation prend la forme d'oasis autour de forages ou de puits artésiens. L'étendue du chott était beaucoup plus réduite en 1988 qu'en 1986 en raison des faibles apports des oueds qui s'y déversent. Il apparaît qu'à la date des prises de vue, l'extension des périmètres irrigués restait limitée autour des forages et des puits artésiens.

Dans de telles zones arides du pays, il paraît préférable d'utiliser des images plus précoces du mois d'avril pour visualiser les périmètres céréaliers, les épandages de crue, d'extension plus importante. En juin par contre, les céréales de ces périmètres sont déjà récoltées et leurs chaumes se confondent avec ceux des céréales cultivées en sec.

VI. – Traitements numériques des images

1. Indice de végétation

Le traitement consiste à réaliser une composition colorée mettant en évidence le plus nettement possible les zones à végétation active. La première étape est le calcul d'un indice de végétation pondéré suivant la formule :

$$IV = \frac{200 \times (XS3 - XS2) + 120}{XS3 + XS2}$$

On crée ensuite une composition colorée à partir des canaux XS1, IV et XS3.

Le résultat est alors visualisé sur écran par imagerie témoins de 1 024 × 1 024 pixels et, en fonction des observations, de terrain, on procède à un affinage des couleurs en décalant par exemple la dynamique du rouge pour faire ressortir les périmètres irrigués.

Les restitutions de cette composition colorée sur traceur VERSATEC au 1/50 000^e à partir d'un très grand nombre de couleurs, soulignent bien tous les éléments du paysage et constituent un habillage parfait du thème étudié : on distingue très bien le micro-relief, les grands axes de circulation et les grandes unités géomorphologiques.

Ce type de traitement est rapide à mettre en oeuvre car il est systématique et ne nécessite pas l'extraction et l'analyse de zones d'entraînement. Cependant, les difficultés surgissent lorsque l'opérateur souhaite évaluer les superficies irriguées en utilisant l'indice de végétation.

En effet, un indice de végétation ne discrimine pas à coup sûr tous les types de végétation : par exemple, sur l'image de la région de l'oued El-Abd, il existe un chevauchement dans les fortes valeurs de l'indice de végétation entre les périmètres irrigués et les plantations de pins d'Alep.

Partant de la constatation que les pins d'Alep se situent exclusivement sur les reliefs et les périmètres seulement dans les plaines et le long des oueds, le recours à des «masques» placés sur les zones *a priori* sans périmètres pourrait permettre de contourner la difficulté et d'obtenir une estimation assez précise des surfaces irriguées. Cette opération nécessite une délimitation préalable de tous les bassins versants et donc un important travail d'analyse des fonds topographiques et de numérisation des «masques».

Elle s'avère inapplicable en réalité car d'autres types de végétation se confondent avec les périmètres irrigués y compris dans les plaines.

2. Classification supervisée

Le principe d'une classification supervisée repose sur l'isolement à l'écran de zones d'entraînement homogènes (ou taxons) qui correspondent à un thème d'occupation du sol connu et vérifié sur le terrain. Chaque taxon a une gamme de valeurs radiométriques différente pour les 3 bandes spectrales de SPOT (vert, rouge et proche infrarouge). L'ensemble des valeurs radiométriques de chaque taxon dans chaque bande spectrale constitue un nuage de points à 3 dimensions dont le centre est calculé automatiquement par le logiciel de classification.

Cette classification est basée sur la fixation d'une distance euclidienne donnée par rapport au centre du nuage de points de chaque taxon. Cette distance est choisie par approches successives et elle est automatiquement pondérée par l'écart type de chaque taxon. Tous les pixels de l'image sont analysés. Lorsque l'un d'entre eux se situe dans le proche voisinage du nuage de points d'un taxon, il est affecté à la classe de ce taxon ; s'il est situé trop loin, le pixel est considéré comme non classé. Par conséquent, le

traitement consiste à créer autant de classes que de taxons choisis dans l'image et à répartir dans ces classes les pixels qui en sont proches. Le résultat de la classification est visualisé sur écran en affectant aux pixels une couleur différente pour chaque classe et une couleur spéciale pour les non classés.

Le thème **périmètre irrigué** est forcément diversifié à cause des différentes cultures pratiquées et du stade de leur cycle cultural. Par conséquent, il est nécessaire d'extraire de nombreux taxons «périmètres» et de comparer leurs valeurs radiométriques pour retenir ceux qui sont très typiques et contrastés.

Lorsqu'on est certain d'avoir cerné la diversité des périmètres, il est possible de donner, après classification, la même couleur à toutes les classes de périmètres irrigués. Il apparaît que les images étudiées comportent un grand nombre de petits périmètres très diffus qui représentent en tout seulement 0,2 % de la surface de l'image.

Il a donc paru utile d'enrichir les sorties sur imprimante avec d'autres thèmes reconnus sur le terrain :

- ☐ céréales récoltées (chaumes),
- ☐ céréales non encore récoltées (épis),
- ☐ eau libre (lacs et cours d'eau),
- ☐ plantations de pin d'Alep.

Dans ces conditions, on obtient environ 25 % de pixels classés, les non classés correspondant aux thèmes non étudiés (en particulier les sols nus) et les restitutions individualisent très nettement des périmètres même très petits (de l'ordre d'un quart d'hectare).

Ce type de classification est très performant mais demande un important travail de vérité terrain et d'analyse fine d'un assez grand nombre de taxons. Par contre, il permet de calculer aisément les surfaces irriguées par comptage automatique des pixels classés dans des sous-zones délimitées à la souris sur l'écran. On peut réaliser ainsi, par simple travail de numérisation des contours, des statistiques particulièrement précieuses (surfaces par bassin versant, par zone administrative, etc.).

VII. – Conclusion

Les enseignements de cette étude méthodologique pourront être mis à profit pour réaliser l'inventaire et la cartographie des périmètres irrigués sur les 250 000 km² du nord algérien.

Il apparaît qu'un panachage des deux méthodes employées devrait permettre d'allier la précision de l'inventaire et l'édition de cartes comprenant d'autres thèmes pour situer les périmètres irrigués dans leur environnement :

- ☐ la classification supervisée permet une bonne discrimination des périmètres et une précision satisfaisante pour leur planimétrie,
- ☐ la composition colorée, en visualisant (avec une excellente imprimante) les zones non classées, apporte un habillage riche d'informations (routes, microrelief, autres types d'occupation du sol).

Cependant, le nombre important de scènes à traiter induit d'autres contraintes de gestion de fichiers et de chaînes de traitement en continu. Par ailleurs, un prézonage agroclimatique de la zone d'étude est indispensable pour optimiser les campagnes de vérité terrain.



Application de la télédétection spatiale à la cartographie des formations forestières et au suivi de leur évolution

Jean Guy BOUREAU, Jean Pierre RATTE
Inventaire Forestier National, Maurin (France)

Résumé : Dans cette opération, l'imagerie satellitaire a servi à mettre à jour et à enrichir la carte forestière au 1/25 000^e produite par l'Inventaire Forestier National (IFN). Cette cartographie est basée sur une notion de type de peuplement développée à l'IFN. Cette notion synthétique caractérise des aires de plusieurs hectares dont le contenu forestier est relativement homogène mais dont la radiométrie comme la texture sont souvent très hétérogènes.

L'actualisation de cette cartographie à échéances rapprochées pour le suivi de la gestion et de l'évolution des peuplements forestiers est difficilement envisageable aujourd'hui sans le recours à l'imagerie numérique.

La carte IFN obtenue par photo-interprétation est numérisée pour réaliser des masques au travers desquels l'image est observée et classée. La méthode comprend une classification non supervisée des masques et une interprétation visuelle. La physionomie radiométrique interne à chaque type de peuplement est alors mise en évidence. La méthode a été testée sur une zone de 31 000 ha dans le Sommail-Espinouse (Hérault).

Les résultats obtenus par interprétation visuelle des classifications au sein de chaque masque sont variables selon la nature des peuplements.

Le découpage préalable de l'image en types de peuplement ne supprime pas totalement les confusions radiométriques classiquement rencontrées en télédétection forestière.

Cependant, apparaissent de façon plus nette :

- différents stades de développement de la futaie résineuse ;
- des proportions d'essences dans les mélanges feuillus-résineux ;
- la répartition du morcellement dans les peuplements lâches.

Les coupes rases sont identifiées et localisées particulièrement dans le domaine forestier résineux. Quant aux reboisements, ils ne sont détectables que lorsque la formation est totalement couvrante.

La méthode suivie, classification non supervisée sur masques successifs et interprétation visuelle des résultats, nous a permis d'atteindre partiellement nos objectifs.

Mais la simple détection des anomalies ou physionomies douteuses au lieu d'une identification automatique des phénomènes paraît un objectif plus réaliste. Une fois localisés, ces changements pourraient être identifiés à l'aide de moyens plus traditionnels, et qui réaliseraient le suivi recherché.

La richesse radiométrique intra-peuplement apparaît clairement dans cette étude. Elle laisse présager favorablement de l'intérêt de ce type d'approche dans le cadre d'un enrichissement de la carte IFN par la prise en compte de caractéristiques forestières autres que la seule essence dominante ou structure d'ensemble, différents stades d'évolution de la futaie par exemple.

Abstract

Use of satellite data for mapping and monitoring forest lands

For this operation satellite imagery served as a tool for updating and enhancing the forestry map (1:25 000) produced by the French organization for forest inventories, Inventaire Forestier National (IFN). The mapping is based on a forest stand concept developed by IFN to characterize stands of several hectares having a relatively uniform forest cover but with highly differentiated radiometry and texture. Digital imagery is the only means to obtain regular updates required to monitor management and evolution of forest stands.

The IFN map was produced by photo interpretation; it was then digitized to produce mask files to facilitate observation and classification of the image. The method included non-supervised classification on the masks and visual interpretation; it was tested

over 31 000 ha in the Sommail-Espinouse region in southwestern France. Each mask corresponds to the internal radiometric physiognomy of a given stand type.

The accuracy of classification of each stand type was verified by visual assessments based on color infrared aerial photographs. The results vary according to the forest type.

Reprocessing into stand type masks does not totally eliminate radiometric confusion generally found in forest inventories using remotely sensed data. However, the following elements appear more clearly:

- difficult development stages of conifer stands
- species proportions in mixed broad leaf/conifer stands
- density limits in low density stands

Identification of clear cuts, particularly in conifer stands, did not raise major problems. Reforested areas can be detected only when the cover is complete or if there are major land preparation operations.

However, detection of anomalies or doubtful physiognomy rather than automatic identification of the phenomena is a more realistic objective. The changes are then recognized by conventional means to provide the required monitoring results.

The study clearly reveals high intrastand radiometric richness. It indicates the utility of this approach for an enhanced version of the IFN map by considering forest characteristics other than dominant species or overall structure as different development stages for example.

I. – Introduction

La cartographie des types de peuplement au niveau départemental français est réalisée à l'échelle du 1/25 000^e grâce à l'interprétation de photographies aériennes. La notion de type de peuplement développée à l'IFN est une notion synthétique caractérisant des aires de plusieurs hectares dont la radiométrie comme la texture sont souvent très hétérogènes. Or, la nature maillée d'une image numérique et les classifications point par point ou sur un environnement limité sont insuffisantes à ce jour pour permettre la réalisation de la carte forestière au seuil de précision souhaité. De nombreuses études l'ont déjà montré.

Par contre, l'actualisation de cette cartographie à échéances rapprochées, le suivi de la gestion et de l'évolution des peuplements forestiers est difficilement envisageable aujourd'hui sans le recours à de nouvelles techniques.

L'utilisation de l'imagerie SPOT peut-elle alors répondre au souci de mise à jour des données ? Peut-elle aider à la gestion de périmètres déjà pré-identifiés en types de peuplement ?

Une zone d'étude de 31 000 ha couvrant la région forestière du Sommail Espinouse (Hérault) nous sert de secteur d'entraînement. Elle est couverte par la scène SPOT du 21 mai 1987 (KJ 45/262). Cette étude a été initiée par la SODETEG dans le cadre du programme SPOT Aval (CNES-SODETEG/GIRAUD, 1988). Son évaluation a été conduite à l'IFN et fait l'objet de développements.

II. – Méthode

La carte IFN, après numérisation est utilisée pour réaliser des masques au travers desquels l'image sera observée et classifiée. Le traitement n'a alors de valeur que pour le type de peuplement ou l'association de types sur lequel il est appliqué. C'est l'image de la physiognomie radiométrique interne à chaque type de peuplement qui est fournie.

Par masquages successifs, chaque unité cartographiée est traitée de manière autonome. Les données satellite sont donc optimisées pour chaque peuplement. Comme la carte date de 1981 et l'image satellite de 1987, une visualisation des évolutions est ainsi permise.

Cinq masques sont appliqués :

- ☐ peuplements résineux (reboisements et futaies adultes)
- ☐ hêtraie
- ☐ autres feuillus
- ☐ mélanges d'essences f/r
- ☐ peuplements lâches

A l'intérieur de chaque masque, des classifications non supervisées sont effectuées, réalisant ainsi une stratification intra-peuplement. Chaque classe radiométrique obtenue à l'issue du traitement est visualisée selon l'unique couleur représentant son centre de gravité (valeur moyenne dans chacun des canaux rouge, vert, bleu).

On obtient alors une image classée en couleurs comparable aux compositions colorées classiques ou aux photographies en infrarouge couleur. Les classes de feuillus restent rouges et celles de résineux brunes. L'interprétation des résultats est immédiate et aisée pour le photo-interprète.

Un certain nombre «d'anomalies radiométriques» induites par des changements dans l'utilisation du sol ou l'état des peuplements peuvent apparaître entre la réalité de terrain (la carte) et l'image classée. Elles sont alors immédiatement détectées par l'interprète.

L'évaluation systématique de la pertinence des résultats obtenus a ensuite été réalisée (**tableau 1**). Sur les 31 000 ha de la région Sommail-Espinouse 15 000 ha environ ont fait l'objet d'un examen critique et systématique du traitement.

Pour chaque type de peuplement, la pertinence des classes a fait l'objet d'une évaluation visuelle grâce aux photographies aériennes infrarouge couleur (IRC).

Six ans séparent les dates de prises de vues des photographies aériennes (1981) et de l'image satellitaire (1987). Compte tenu de la faible évolution naturelle de la plupart des peuplements pendant ce laps de temps, la photographie aérienne peut donc être utilisée pour valider la stratification intra-peuplement issue des classifications.

Néanmoins, certains changements importants ont pu intervenir dans ce laps de temps (coupes, reboisements, feux, etc.) susceptibles de conduire à une révision de l'évaluation des surfaces. Les «anomalies radiométriques» contrastées sont-elles alors le reflet de ces changements et évolutions naturelles ?

III. – Stratification

La pertinence de la stratification réalisée par la classification d'image est de valeur inégale selon les types de peuplement. Dans la plupart des cas, le nombre de classes radiométriques est important pour chaque type de peuplement. Chacune des classes prises individuellement ne semble pas correspondre à des strates significatives pour le forestier.

En revanche, l'association de certaines d'entre elles révèle de façon plus nette :

- ☐ différents stades de développement de la futaie résineuse,
- ☐ des proportions d'essences dans les mélanges feuillus-résineux,
- ☐ la répartition du morcellement dans les peuplements lâches.

D'autre part, le découpage préalable de l'image en types de peuplements ne supprime pas totalement les confusions radiométriques classiquement rencontrées en télédétection forestière. En particulier :

- ☐ confusions entre ligneux bas et ligneux hauts
- ☐ confusions entre essences qu'elles soient feuillues ou résineuses

Ceci conduit notamment à des erreurs sur la reconnaissance des stades de la futaie résineuse dans le type «reboisement».

Le morcellement en de nombreuses classes radiométriques nous semble aussi être le reflet de la variabilité écologique du milieu.

Le même peuplement a des aspects multiples selon les conditions du milieu physique. Ceci est d'autant plus important que nous nous situons en montagne : domaine écologiquement hétérogène. Se surajoutent également les variations radiométriques dues aux différentes expositions solaires.

IV. – Evolution .

Les résultats obtenus confirment ceux du programme PEPS n° 82 conduit par l'IFN.

Les coupes rases sont manifestement identifiées et localisées particulièrement dans le domaine forestier résineux.

Faute de cas de figure, il est difficile d'apprécier l'incidence radiométrique de coupes partielles. Au vue de la stratification évaluée plus haut, on ne peut espérer détecter un tel type d'intervention que lorsqu'un minimum de 50 % du couvert est touché.

Les reboisements ne sont détectables que lorsque la formation est totalement couvrante. Ceux réalisés entre 1981 et 1987 ne peuvent donc être détectés. Seuls les travaux récents, à l'aspect de sol nu, ou les coupes rases dans un peuplement préexistant, peuvent laisser présumer un reboisement.

V. – Conclusion

La physionomie radiométrique d'un type de peuplement est très variable dans le temps comme dans l'espace. Toute stratification ou détection automatique de changements aboutit pour l'instant à de graves erreurs. La méthode suivie, classification non supervisée par masques successifs et interprétation visuelle des résultats, nous a permis cependant d'atteindre partiellement nos objectifs.

Le repérage des coupes rases, surtout en futaie résineuse, ne pose pas de problèmes majeurs. En revanche, les très jeunes reboisements sont radiométriquement imperceptibles. Seule la détection de travaux du sol ou celle de coupes peut laisser présumer une plantation en cours ou prochaine.

La stratification en stades d'évolution (semis, jeune ou adulte) semble possible. Mais c'est alors l'interprète grâce à sa connaissance du milieu naturel et celle du comportement radiométrique des peuplements qui est à même de réaliser cette stratification.

Enfin un travail de terrain demeure indispensable car, bien que localisées, un certain nombres d'anomalies radiométriques restent douteuses (confusions entre ligneux hauts et ligneux bas).

Plus qu'une classification préalable des radiométries, des améliorations d'images adaptées à chaque type de peuplement sont peut être préférables. De même, la simple détection des anomalies ou physionomies douteuses au lieu d'une identification automatique des phénomènes paraît un objectif plus réaliste. Une fois localisée, la reconnaissance de ces changements à l'aide de moyens plus traditionnels réaliserait le suivi recherché.

L'obligation du forestier à gérer lui-même le traitement d'image n'autorise l'intégration de la télédétection spatiale dans les bases de données cartographiques que par l'intermédiaire de systèmes souples et très conviviaux.

La richesse radiométrique intra-peuplement apparaît clairement dans cette étude. Elle laisse présager favorablement de l'intérêt de ce type d'approche dans le cadre d'un enrichissement de la carte IFN par la prise en compte de caractéristiques forestières autres que la seule essence dominante ou structure d'ensemble.

Tableau 1 : Résultats de l'évaluation visuelle de la méthode

Nature du peuplement Nomenclature IFN	Evaluation de la stratification	Détection des évolutions
Résineux : reboisements (< 40 ans)	Nombreuses classes : possibilités de regroupement en 3 strates : • semis ou sol nu • jeune reboisement couvrant • futaie > 30-40 ans selon les essences Distinction douteuse pins/sapins-épicéas si âge douteux > 40 ans	Jeunes reboisements non couvrant ou semis non détectés Doute entre stade d'évolution du reboisement et landes à ligneux bas
Futaie adulte (> 40 ans)	Stratification possible de deux classes de couvert (< ou > 40-50%) Repérage des enclaves de landes	De par la méthode, reboisements hors masque (zone agricole, landes) non détectés Coupe rase résineuse détectée
Mélange feuillus/résineux	Localisation des surfaces plutôt «feuillues» ou plutôt «résineuses»	Coupe rase à dominante résineuse détectée
Feuillus purs et mélanges feuillus	Localisation possible des enclaves de landes ou des surfaces plus clairiérées Stratification douteuse et différenciation des essences impossible Importante influence de la topographie (éclaircissements)	Coupe rase feuillue détectée
Peuplements lâches	Repérage et distinction des surfaces boisées par rapport aux landes, sols nus	Pas de constatation d'évolution

Evaluation des ressources sylvicoles du Rif marocain oriental à partir de données SPOT

Emilio BARISANO
SODETEG, Sophia-Antipolis (France)

Résumé : Une étude du domaine forestier du Nord Marocain, à partir d'images fournies par le satellite SPOT, a été confiée au Centre de Télédétection de SODETEG-TAI par la Direction des programmes du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES).

L'objectif défini en commun était de montrer que le traitement des données SPOT dans un environnement industriel permettait de satisfaire pleinement les professionnels de la forêt pour leurs besoins d'inventaire et de gestion.

Les besoins des gestionnaires de la forêt en matière de cartographie sont différents selon les pays. Le Maroc est un pays ne possédant pas une couverture cartographique forestière complète, les données sont généralement ponctuelles, l'évolution des paysages rapide. Il est donc important de mettre au point un système qui autorise, dans un laps de temps très court, avec un coût relativement réduit, la production de documents cartographiques permettant la localisation des massifs forestiers, les principales essences, et la densité des peuplements.

Cet exposé présente la méthode de traitement employée et les résultats obtenus sur le Nord Marocain.

La méthode de traitement de l'image SPOT a été choisie en fonction de la vérité terrain disponible. En effet, les données existantes sur cette région n'ont pu permettre d'obtenir un résultat probant par classification supervisée, et une campagne d'échantillonnage systématique n'était pas prévue dans les coûts de réalisation. De fait, il nous a semblé intéressant de réaliser un système de traitement non supervisé que l'on pourrait qualifier de photo-interprétation assistée par ordinateur.

Les résultats obtenus (carte dont la typologie exprime une quinzaine de classes en région forestière) ont été validés par les professionnels locaux de la forêt. Ils ne peuvent en aucun cas être pris comme référence pour exprimer le niveau de perception optimum que l'on peut obtenir avec une image SPOT (le mode de classification utilisé ne se prête pas à ce type de démarche). Mais leur qualité, la rapidité d'exécution et la relative faiblesse des coûts font de cette démarche un exemple opérationnel de traitement qui peut être étendu à de vastes territoires sans pour autant nécessiter des campagnes de terrain systématiques.

Abstract

Evaluation of forest resources in the Eastern Rif region of Morocco using SPOT data

The CNES program directorate commissioned to the SODETEG-TAI remote sensing center a study of the forest region in northern Morocco based on SPOT satellite imagery. The main goal of the project was to show that SPOT data processed in an engineering environment adequately responds to forestry inventory and management.

Mapping requirements for forestry management vary with the country. In Morocco, the forest cover has not been mapped completely or systematically. Moreover, it is a rapidly evolving environment.

A rapid and low-cost system is needed to produce maps for locating forest mountains, major species, and stand density.

This paper presents the processing methodology and main results obtained in northern Morocco. The SPOT image processing method was chosen according to the type of ground truth available. Existing data for this area did not furnish conclusive results through supervised classification, and a systematic frame sampling campaign had not been included in the cost structures. Non-supervised with computer-aided photo interpretation was used instead.

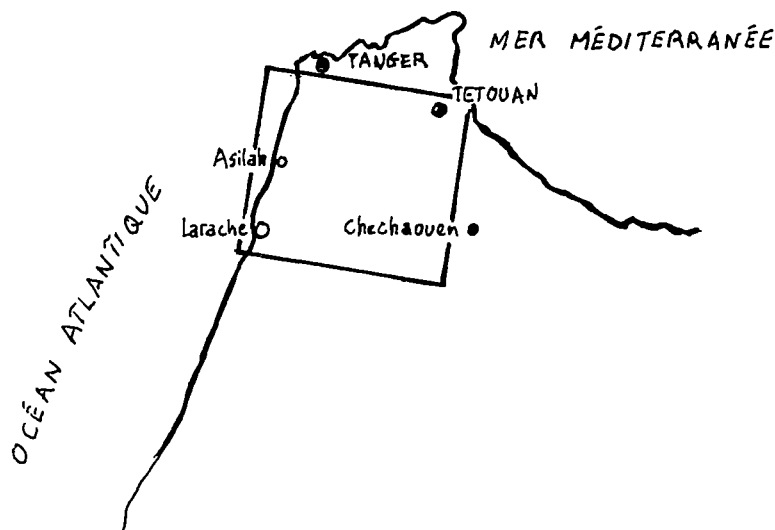
The resulting map with 15 classes was validated by local forestry professionals.

The results cannot be considered as a reference for the optimum perception level of SPOT imagery because the classification method is not suited to such an operation. The accuracy, rapidity and low cost, however, show the operational nature of the processing methodology and that its use can be extended to large areas without previous systematic ground truth campaigns.

I. – La zone d'étude

L'image SPOT choisie par les forestiers marocains (scène 33/279 du 11.06.86) couvre la pointe occidentale du Rif Marocain.

Carte de situation de la zone d'étude



La zone d'étude est incluse dans l'aire du chêne liège, qui est l'essence dominante. On rencontre aussi le chêne zeen en association. Les résineux sont presque exclusivement des pins de reboisement. Les eucalyptus sont présents en reboisements sur le littoral.

La pression humaine est très importante sur cette région de la forêt marocaine : exploitation de la chênaie, pâturage, défrichage, incendies sont des fléaux millénaires responsables de la régression de la forêt. La régression de la forêt méditerranéenne et les conséquences écologiques qu'elle entraîne pour ces régions ainsi fragilisées est un problème qui sensibilise les administrations concernées. Dans ce cadre, une étude de l'évolution du couvert forestier est nécessaire.

II. – Traitement des données SPOT

1. Présentation générale

Le système de traitement des données SPOT utilisé lors de cette étude a été réalisé au Centre de Télédétection de SODETEG-TAI à SOPHIA-ANTIPOLIS.

Le principe général de la classification est basé sur le seuillage des trois histogrammes (XS1, XS2, XS3) et sur leur combinaison en un histogramme tridimensionnel. Chaque bloc de l'espace multispectral correspond à une partie du spectre de chacun des canaux originaux, il contient les signatures d'un certain nombre de pixels et est caractérisé par une couleur et un code. L'image de ces blocs peut ne pas être visualisable (plus de 256 classes). Un regroupement simple ou par nuée dynamique permet une réduction de l'effectif. Le regroupement par nuées dynamiques peut être fait autour de noyaux choisis au hasard ou prédéterminés.

Ce mode de traitement est complètement interactif. A l'issue de chaque étape, une visualisation est possible, le thématicien peut intervenir à tous les niveaux (choix des seuils, type de regroupement, nombre de classes, utilisation ou non d'une vérité terrain). Ce traitement peut être utilisé pour tous les types de classification qu'ils soient ou non supervisés ; en effet, la connaissance du terrain, ou la réponse spectrale des objets à discriminer peut être injectée à tous les niveaux :

- ☐ le choix des seuils peut être complètement manuel si l'on connaît le comportement spectral des objets,
- ☐ la définition des noyaux autour desquels sera réalisé le regroupement peut être imposée par l'utilisateur,
- ☐ chacun des blocs peut être identifié par l'intégration d'une vérité terrain numérisée.

2. Méthode employée

La méthode employée a été dictée par l'absence de données récentes sur la région, et les moyens nécessaires à une campagne de vérité-terrain n'étaient pas prévus.

La méthode de classification s'apparente donc à une photo-interprétation assistée par ordinateur.

Composition colorée

La composition colorée des trois canaux XS1, XS2, XS3 (bleu, vert, rouge) est enregistrée sur film photographique et agrandie au 1/100 000^e. Certaines régions définies au préalable pour leur représentativité sont agrandies au 1/50 000^e. Ces documents photographiques permettront la réalisation des transects terrain.

Transects terrains

Ils sont choisis en fonction du terrain. La photo-interprétation est réalisée sur les photos des combinaisons colorées.

Pré-classification

Après seuillage, la première étape de la classification donne une image en 256 classes. Ces classes sont regroupées par nuées dynamiques en une cinquantaine de groupes.

Identification thématique

Ces cinquante classes sont identifiées à partir des résultats des transects. Quand des confusions apparaissent, les classes indéterminées sont analysées selon les cas.

Si l'effectif d'une classe indéterminée est important, on pourra dans un premier temps retourner à l'image en 256 niveaux pour vérifier visuellement si le regroupement par nuées dynamiques est thématiquement cohérent. Si le résultat n'est pas satisfaisant, il est alors possible de réaliser une nouvelle classification sur cette seule classe. Ceci permet de déterminer un nouveau seuillage des histogrammes bruts uniquement sur les intervalles qui contiennent les réponses spectrales des pixels affectés à cette classe. Ce nouveau seuillage est évidemment plus fin, et permet d'appréhender des seuils non discriminés dans la première étape.

Si les effectifs de ces classes sont faibles, l'affectation à un thème peut être réalisée soit du point de vue spatial (affectation au thème incluant cette classe) soit du point de vue spectral (affectation au thème de «couleur» la plus proche).

Validation

Elle a été réalisée par analyse visuelle avec les responsables de terrain de l'administration forestière de la région.

III. – Les résultats

Les résultats ont été visualisés sous forme cartographique.

Parmi les zones boisées :

- ☐ le chêne liège a été identifié avec trois classes de densité,
- ☐ le chêne zeen fait l'objet d'une classe (formation homogène),
- ☐ les reboisements en eucalyptus ont pu être discriminés dans certains endroits, ils sont aussi présents dans la classe feuillus,
- ☐ les feuillus de gros diamètre sont soit du chêne liège soit du chêne zeen,

- ☐ la classe feuillu rassemble les essences déjà citées qui n'ont pu être convenablement discriminées,
- ☐ les peuplements dégradés sont des zones de boisements très lâches.

Parmi les zones non boisées :

- ☐ ont été distingués les maquis (ciste), les zones dégradées (*Chamerops humilis*), les zones incendiées.

IV. – Conclusion

Les résultats obtenus ont été validés par les responsables de la forêt marocaine. Le temps et les coût de l'opération ne nous ont pas permis de réaliser une validation systématique.

Le système de traitement utilisé prend toute sa valeur dans ce type d'étude car sa souplesse lui permet de s'adapter quel que soit la vérité-terrain.

De plus, l'interactivité du système autorise des traitements en relation complète avec les gestionnaires des territoires qui peuvent participer en temps réel à l'élaboration des documents qui leur sont nécessaires.

Le résultat cartographique peut être intégré au sein d'une unité de gestion afin de réaliser une banque de données forêt. Cette banque de données peut être le lieu de stockage de l'ensemble des informations géographiques relatives aux zones boisées :

- ☐ commune forestière,
- ☐ localisation des coupes et reboisements,
- ☐ incendies,
- ☐ extension du domaine agraire.

Le Centre de Télédétection de SODETEG-TAI a, dans ce même cadre de collaboration avec le CNES, réalisé deux autres études, toutes deux en France (départements de l'Hérault et Vosges). Ces trois exemples qui couvrent des domaines forestiers divers montrent qu'il est impossible de décrire une méthodologie générale unique propre au traitement d'images satellitaires en foresterie.

En effet, le mode de traitement est directement lié aux objectifs qui doivent être préalablement définis, et, aux informations déjà existantes et susceptibles d'être utilisées. Il dépend aussi de la situation géographique de la zone d'étude et des moyens financiers qui seront employés pour la réalisation.

Ainsi, pour un résultat optimum, les opérations doivent être réalisées en étroite collaboration avec les demandeurs dans un contexte opérationnel avec une équipe expérimentée dans le domaine à traiter.



**Le Centre International
de Hautes Etudes
Agronomiques
Méditerranéennes**

CIHEAM

**The International Centre
for Advanced
Mediterranean
Agronomic Studies**

Options Méditerranéennes

OM est le titre du CIHEAM au service des agricultures méditerranéennes. Revue périodique de 1970 à 1976, OM est devenu le nom d'une collection "*Etudes*" entre 1981 et 1989 (19 numéros thématiques publiés). Aujourd'hui, deux séries se partagent les numéros édités : "*Colloques méditerranéens*" (Sér. A), et "*Etudes et Recherches*" (Sér. B).

Agricultures méditerranéennes : la Turquie

L'agriculture turque, par le volume de sa production et de ses exportations est une des toutes premières du bassin méditerranéen. Depuis la fondation de la République en 1923, elle a connu une progression importante et continue. De grands programmes souhaitent encore accélérer cette modernisation et augmenter la compétitivité sur les marchés extérieurs. Or, paradoxalement, l'agriculture turque reste très largement méconnue et les lecteurs francophones, notamment, ne disposaient pas d'ouvrage entièrement consacré à ce sujet.

Options Méditerranéennes comble pour partie ce vide avec cet ouvrage rassemblant 27 contributions qui décrivent et analysent le secteur agricole turc. Près de quarante contributeurs travaillant dans des institutions de recherche, d'enseignement, d'administration ou de développement - presque exclusivement turcs - ont participé à ce numéro.

L'éditeur scientifique : Yavuz **Tekelioğlu**, économiste, professeur à l'Université d'Hacettepe (Ankara), est spécialiste des questions agricoles turques. Il a publié de nombreux articles et rapports sur le sujet. Il a préparé ce numéro au cours de l'année universitaire 1988/89, lors d'une année sabbatique à l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier (CIHEAM).

Options Méditerranéennes

OM est un titre du CIHEAM au service des agricultures méditerranéennes. Revue périodique de 1970 à 1976, OM est devenue le titre d'une collection "*Etudes*" entre 1981 et 1989 (19 numéros thématiques publiés). Aujourd'hui, deux séries se partagent les titres publiés : "*Colloques Méditerranéens*" (sér. A), et "*Etudes et Recherches*" (sér. B).

Titre en préparation dans la série B :

- Jean **Le Coz** : *Espaces méditerranéens et dynamiques agraires* (n°2)
- Jemaïel **Hassainya** : *Irrigation et développement agricole en Tunisie* (n°3).

**Série B, n°3 :
Espaces méditerranéens et dynamiques agraires**

Le Monde méditerranéen, zone biogéographique parmi les mieux typées du globe et carrefour de civilisations, constitue un laboratoire d'une exceptionnelle richesse pour l'analyse des relations des sociétés à leurs espaces.

La référence à la notion de système agro-territorial permet d'intégrer l'analyse des unités de production à la dynamique des relations entre agriculteurs et États, en faisant ressortir la permanence et le renouvellement des corps intermédiaires et des communautés rurales.

Il existe une incontestable identité méditerranéenne, soulignée par un label paysager et la spécificité de certaines productions : agrumes, maraîchage, vigne..., à portée du grand marché de l'Europe du Nord-Ouest. Cependant la coupure maritime continue à tenir, entre ses deux rives, le rôle de fossé culturel, de fracture économique et politique (entre CEE et "pays tiers"), d'élément de la grande ligne de front planétaire entre Nord et Sud, opposant ici les espaces à friche volontariste à ceux de la désertification subie.

Les temps sont venus de replacer ces problèmes de gestion écologique et d'équilibres géopolitiques au sein d'une véritable science des territoires, au service d'une volonté politique de maîtriser cette "nouvelle frontière" qu'est le Bassin méditerranéen.

L'auteur : Jean **Le Coz**, géographe, spécialiste des questions agraires et méditerranéennes et de l'aménagement du territoire, professeur émérite à l'Université Paul Valéry, Montpellier.

Parmi ses principales publications, citons : *Le Rharb. Fellahs et colons* (1964) ; *Les réformes agraires. De Zapata à Mao Tsé Toung et la F.A.O.* (1974) ; *Socialisme et localité*, Tome 1 : *Le deuxième cycle agraire de la Chine* (1984), Tome 2 : *L'Algérie* (en préparation) ; *La micro-régionalisation dans le système territorial français* (1987).

Titres de la série B parus :

- Yavuz **Tekelioglu** (Ed.) : *Agricultures méditerranéennes : La Turquie* (n°1)

Titres en préparation :

- Jemaïel **Hassainya** : *Irrigation et développement agricole en Tunisie* (n°3)

- *Tables des valeurs fourragères* (n°4)

**Série A, n°11 :
Les systèmes agricoles oasiens**

L'agriculture d'oasis fait vivre dans le monde dix millions "d'oasiens". L'oasis "îlot de survie", zone intensément cultivée dans un milieu fortement marqué par l'aridité est une zone refuge, un lieu de production, une base de conquête des vastes espaces environnants. De nombreux projets de recherche et de développement s'attachent à sauvegarder les oasis existantes, à les réhabiliter ou à en créer de nouvelles.

Au cours du colloque de Tozeur, une centaine de chercheurs et "développeurs" des pays du pourtour saharien ont confronté leurs points de vue et les résultats de leurs travaux sur les systèmes de production oasiens et les problèmes que soulève leur développement. Ils ont analysé les conditions de maintien de ces écosystèmes dynamiques associant sous diverses formes culture du palmier dattier, activités agricoles et d'élevage. Un bilan de l'état des recherches a été dressé sur quelques points essentiels pour la sauvegarde des oasis existantes. L'étude de quelques opérations de développement permet de tirer des recommandations pour de futures opérations en milieu oasien.

Les éditeurs scientifiques :

Vincent Dollé : Agronome, chercheur au Département Systèmes Agraires du CIRAD à Montpellier, a travaillé dans les oasis du Sud du Maroc. Il effectue maintenant de nombreuses missions pour le développement de systèmes de production dans les pays du pourtour saharien et de la péninsule arabique. Il anime le Groupe de Recherche et d'Information pour le Développement de l'Agriculture d'Oasis (GRIDAO).

Georges Toutain : Agronome, a accumulé au cours des 30 dernières années une grande expérience sur l'agriculture d'oasis et le palmier dattier. A séjourné 20 ans dans les oasis du Maghreb, spécialiste de la culture du palmier dattier et de l'économie oasienne. Il est conseiller technique du Groupe de Recherche Français sur le Palmier dattier (GRFP) à Porquerolles. Il a publié un ouvrage de référence sur l'agronomie saharienne.

Titres parus dans la série A : *Reuse of low quality water* (n°1) ; *Digestion, nutrition et alimentation du dromadaire* (n°2) ; *Bases ecológicas para la gestión de ecosistemas terrestres* (n°3) ; *Porte-greffes de l'amandier* (n°5) ; *Le lait dans la région méditerranéenne* (n°6).

Titres en préparation : *La télédétection en agriculture* (n°4) ; *L'aviculture en méditerranée* (n°7) ; *Race et population locales méditerranéennes de lapins* (n°8) ; *Chick Pea Crop Production and Improvement in the Mediterranean Countries* (n°9) ; *Faba Bean Crop Production and Improvement in Mediterranean Countries* (n°10).

**Série A, n°12 :
Les petits ruminants et leurs productions laitières
dans la région méditerranéenne**

Le Salon International de l'Agriculture a consacré, en mars 1990, deux journées au thème "Les petits ruminants et leurs productions laitières dans la région méditerranéenne".

- Le CENECA a organisé une confrontation internationale des races ovines laitières méditerranéennes ainsi qu'un colloque sur les aspects techniques de cette production ;
- Le CIHEAM, associé au CENECA, a organisé un colloque sur "Les débouchés de la production laitière ovine et caprine en zone méditerranéenne : des cas concrets".

La présente publication regroupe les exposés et les interventions des participants.

Les éditeurs scientifiques :

Jacques Bougler : Professeur de Zootechnie à l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, est aussi Directeur de l'Union Nationale des Unités de Sélection et de Promotion de races et des autres organismes tenant les Livres Généalogiques en France (U.N.L.G.). Il s'intéresse tout particulièrement à l'évolution des races en relation avec le milieu et les conditions socio-économiques.

Jean-Louis Tisserand : Professeur de Zootechnie à l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agronomiques Appliquées, Président de la Commission Nutrition de la Fédération Européenne de Zootechnie, Membre du Comité Scientifique Consultatif du CIHEAM, spécialiste de digestion microbienne, il s'intéresse aussi aux systèmes d'élevage méditerranéen.

Titres parus dans la série A : *Reuse of low quality water* (n°1) ; *Digestion, nutrition et alimentation du dromadaire* (n°2) ; *Bases ecológicas para la gestión de ecosistemas terrestres* (n°3) ; *Porte-greffes de l'amandier* (n°5) ; *Le lait dans la région méditerranéenne* (n°6) ; *Les systèmes agricoles oasiens* (n° 11) .

Titres en préparation : *La télédétection en agriculture* (n°4) ; *L'aviculture en méditerranée* (n°7) ; *Race et population locales méditerranéennes de lapins* (n°8) ; *Chick Pea Crop Production and Improvement in the Mediterranean Countries* (n°9) ; *Faba Bean Crop Production and Improvement in Mediterranean Countries* (n°10).

Catalogue d'Options Méditerranéennes

**Les numéros d'Options Méditerranéennes
peuvent être commandés à :**
Issues of Options Méditerranéennes can be ordered from:

IAM - Zaragoza
Montañana, 177 Apt. de Correos 202
Zaragoza, Espagne/Spain
TEL : (34) 76 57 60 13 - TELEX : 58672 E - FAX : (34) 76 57 63 77

IAM - Montpellier
3191, Route de Mende - B.P. 5056
34033 Montpellier Cédex 1, France
TEL. : (67) 63 28 80 - TELEX: 480 783 F - FAX : (67) 54 25 27

**Toute commande émanant de libraires et Centres d'Achat
doit être adressée à notre diffuseur /All orders from
bookstores and mail-order houses should be sent
to our distributor :**

Librairie Lavoisier
Technique et Documentation
11, rue Lavoisier - F 75384 PARIS CEDEX 08 - France
TEL (1) 42 65 39 95
TELEX : 649404 F
FAX : (1) 42 65 02 46

Revue / Periodical (1970 – 1976)

Options Méditerranéennes a été une revue de 1970 à 1976. Trente-six numéros thématiques ont été publiés pendant cette période. Les numéros disponibles peuvent être demandés aux Instituts de Montpellier ou de Saragosse.

Options Méditerranéennes appeared in the form of a periodical from 1970 to 1976 when 36 issues on specialized topics were published. Those issues still available can be obtained from the Institutes of Montpellier or Zaragoza.

Série / Series (1981 – 1990)

Depuis 1981, le titre *Options Méditerranéennes* est devenu celui d'une série publiant des ouvrages, manuels et actes de colloques et séminaires méditerranéens.

Since 1981, the title *Options Méditerranéennes* has been given to a series of publications including books and manuals, as well as proceedings of conferences and seminars dealing with the Mediterranean.



Groupe de travail international d'études méditerranéennes pour l'amandier. GREMPA. Colloque Izmir, 1980. Saragosse : IAMZ (Activité : Fruticulture), 1981-I.- 166 p. (Prix/Price: 50 FF).

Tableaux de la valeur alimentaire pour les ruminants des fourrages et sous-produits d'origine méditerranéenne.- Saragosse : IAMZ (Activité : Production Animale), 1981-II.- 89 p. (Prix/Price: 30 FF).

Le croisement industriel ovin en Méditerranée.- Saragosse : IAMZ (Activité : Production Animale), 1981-III.- 174 p. (Prix/Price: 40 FF).

Tableau de la valeur alimentaire pour les ruminants des fourrages et sous-produits d'origine méditerranéenne : Données complémentaires.- Saragosse : IAMZ (Activité : Production Animale), 1983-I.- 47 p. (Prix/Price: 13 FF).

Energy flow in the Ebro Basin.- Saragosse : IAMZ (Activité : Environnement), 1983-II. 71 p. (Prix/Price: 40 FF).

Ressources humaines dans le développement rural intégré.- Paris : CIHEAM (Activité : Formation)/UNESCO, 1983.- 66 p. (Prix/Price: 40 FF).

Workshop Agroecology.- Zaragoza 1984. Saragosse : IAMZ (Activité : Environnement), 1984-I.- 166 p. (Prix/Price: 40 FF).

GREMPA Colloque 1983. Sfax.- Saragosse : IAMZ (Activité : Fruticulture), 1984-II.- 204 p. (Prix/Price: 40 FF).

Le Pin d'Alep et le Pin Brutia dans la sylviculture méditerranéenne. Séminaire 1985, Tunis.- Saragosse : IAMZ (Activité : Sylviculture), 1986-I.- 209 p. (Prix/Price: 40 FF).

Céréales et produits céréaliers. Actes du Colloque de Rabat, Maroc 6-8 mars 1985, INAV-HII/CIHEAM. Ed. F. LERIN.- Montpellier : IAMM, déc. 1986.- 336 p. (Prix/Price: 200 FF).

BOURBOUZE (A.), DONADIEU (P.).- *L'élevage sur parcours en régions méditerranéennes*.- Montpellier : CIHEAM/IAMM, nov. 1987.- 104 p. (Prix/Price: 70 FF).

La formation agronomique dans les pays du bassin méditerranéen. Actes du Colloque de Rabat, 28 mars-1er avril 1987, INAV-HII. Ed. B. HERVIEU.- Paris: CIHEAM, nov. 1987.- 253 p. (Prix/Price: 80 FF).

Le coton en Méditerranée et au Moyen-Orient. Actes du colloque de Montpellier, CIHEAM/ICAC/IRCT, 3-7 mars 1986. Eds. M. BRAUD, P. CAMPAGNE.- Montpellier : IAMM/IRCT, mars 1988.- 261 p. (Prix/Price: 80 FF).

Agronomic Training in Countries of the Mediterranean Region. Proceedings of the Rabat Seminar, 28 March-1st April, 1987, INAV-HII. Ed. B. HERVIEU.- Paris : CEC (DG XII)/ICAMAS, May 1988.- 250 p. (Prix/Price: 80 FF). (Version angl. de : La formation agronomique...)

La recherche agronomique dans les pays du bassin méditerranéen. Actes du Colloque d'Istanbul, 1-3 décembre 1986. Ed. J. CASAS.- Paris : CCE (DG XII)/CIHEAM, avril 1988.-185 p. (Prix/Price: 80 FF).

ALLAYA (M.), LABONNE (M.), PAPAYANNAKIS (M.).- Les échanges agro-alimentaires méditerranéens : enjeu mondial.- Montpellier : CIHEAM/IAMM, 1988.- 307 p. (Prix/Price: 120 FF).

L'économie de l'olivier. Actes du Colloque de Tunisie, 20-22 janvier 1987. Ed. M. ALLAYA.- Paris : CCE (DG I)/CIHEAM, sept. 1988.- 219 p. (Prix/Price: 80 FF).

Agricultural Research in Countries of the Mediterranean Region. Proceedings of the Istanbul Seminar, 1-3 December, 1986. Ed. J. CASAS.- Paris : CEC (DG XII)/CIHEAM, September 1988.- 185 p. (Prix/Price: 80 FF). (Version angl. de : La recherche agronomique...)

The Production of Pig Meat in Mediterranean Countries. Proceedings of the Belgrade Seminar, 21-22-23 April, 1986. Ed. A. AUMAITRE.- Paris: CEC (DGI)/CIHEAM, January 1989.- 187 p. (Prix/Price: 120 FF).

Nouvelles séries / New series

A partir de l'été 1989, les numéros d'**Options Méditerranéennes** sont distribués en deux séries: l'une, la série A «*Colloques méditerranéens*», regroupe les numéros consacrés à l'édition d'actes de séminaires, de colloques et de réunions méditerranéennes organisés ou co-organisés par le CIHEAM ; l'autre, la série B «*Etude et Recherche*», diffuse des travaux intéressant le secteur agricole de la Méditerranée.

As of the summer of 1989, **Options Méditerranéennes** are published in two series : Series A "Mediterranean workshops" will include those issues that contain the proceedings of the seminars, workshops and meetings on Mediterranean subjects organized or co-organized by CIHEAM; and Series B "Research and Analysis" will include other work of interest to people working on Mediterranean agriculture.



Série A : Séminaires Méditerranéens

Series A : Mediterranean Workshops

A/1 : Reuse of Low Quality Water for Irrigation. Proceedings of the Cairo/Aswan Seminar, 16-21 January, 1988. Ed. R. BOUCHET.- Paris : IAM-B/CIHEAM,WRC, 1989.- 204 p. (Prix/Price: 120 FF).

A/2 : La digestion, la nutrition et l'alimentation du dromadaire. Actes du colloque de Ouargla, 28-29 février-1er mars 1988. Ed. J.L. TISSERAND.- Zaragoza : IAM-Z/CIHEAM, CCE/DG XII, 1989.- 187 p. (Prix/Price: 120 FF).

A/3 : Bases ecologicas para la gestion en ecosistemas terrestres. Actas de las jornadas de Zaragoza, 13-15 junio 1988. Ed. J. BELLOT.- Zaragoza : IAM-Z/CIHEAM, 1989.- 364 p. (Prix/Price: 130 FF).

Nouvelles séries / New series

A/4 : *La télédétection en agriculture*. Actes du séminaire de Montpellier (France), 13-15 mars 1989. Ed. M. DESHAYES.- Montpellier : CIHEAM, 1990.- 154 p. (Prix/Price : 200 F).

A/5 : *Porte-greffes de l'amandier (GREMPA)*. Actes du colloque de Saragosse (Espagne), 29-30 novembre 1988. Eds. A. FELIPE, R. SOCIAS.- Zaragoza : CIHEAM, 1989.- 75 p. (Prix/Price : 120 FF).

A/6 : *Le lait dans la région méditerranéenne*. Actes du colloque de Rabat (Maroc), 25-27 octobre 1988.- Zaragoza : IAM-Z/CIHEAM, 1989.- 319 p. (Prix/Price : 200 FF).

A/7 : *L'aviculture en Méditerranée*. Actes du colloque de Belgrade (Yougoslavie), 5-7 novembre 1987. Ed. B. SAUVEUR.- Montpellier : CIHEAM/CEE-DGI, 1990.- 314 p. (Prix/Price : 350 FF).

A/8 : *Races et populations locales méditerranéennes de lapins : gestion génétique et performances zootechniques*. Actes des colloques de Saragosse (Espagne), 9-11 fév. 1987 et Saida, 23-26 octobre 1988. Ed. R. ROUVIER.- Zaragoza : IAM-Z/CIHEAM, 1990.- 122 p. (Prix/Price : 130 FF).

A/9 : *Present, Status and Future Prospects of Chickpea Crop Production and Improvement in Mediterranean Countries*. Proceedings of the Zaragoza seminar, 11-13 July 1988. Eds. M.C. SAXENA, J.I. CUBERO, J. WERY.- Zaragoza : CIHEAM, 1990.

A/10 : *Present, Status and Future Prospect of Faba Bean Crop Production and Improvement in Mediterranean Countries*. Proceedings of the Zaragoza seminar, 11-13 July 1988. Eds. M.C. SAXENA, J.I. CUBERO.- Zaragoza : CIHEAM, 1990 (Sous presse)

A/11 : *Les systèmes agricoles oasiens*. Actes du séminaire de Tozeur (Tunisie), 19-21 novembre 1988. Eds. V. DOLLÉ, G. TOUTAIN.- Montpellier : IAM-M-CIHEAM/DG VIII., 1990.- 336 p. (Prix/Price: 120 FF).

A/12 : *Les petits ruminants et leurs productions laitières dans la région méditerranéenne*. Actes des colloques de Paris (France), 5 et 9 mars 1990. Eds. J. BOUGLER, J. L.TISSERAND.- Paris : CIHEAM-CENCA, 1990.- 128 p. (Prix/Price: 120 FF).

Séminaires programmés

A/13 : *Etat corporel des brebis et des chèvres*. Actes du séminaire de Zaragoza (Espagne), 14-16 mai 1990. Eds. A. PURROY et al.- Zaragoza : CIHEAM.

A/14 : *Place et rôle des biotechnologies dans les systèmes de recherche agronomique des pays méditerranéens*. Actes du colloque de Valencia (Espagne), 18-20 juin 1990. Ed. Y. DEMARLY.- Zaragoza : CCE/FAO/IVIA/CIHEAM.

A/15 : *Abandon des terres et conservation de l'environnement*. Actes du séminaire de Zaragoza, 10-12 décembre 1989. Ed. J. BAUDRY.- Zaragoza : CIHEAM.

A/16 : *Fourrages et sous-produits méditerranéens*. Actes du colloque de Montpellier (France), 5-6 juillet 1990. Ed. J. L. TISSERAND, J. ALIBES.- Zaragoza : CIHEAM.

A/17 : *Production et génétique du lapin dans la région méditerranéenne*. Actes de la Conférence de Zagazig (Egypte), 3-7 septembre 1990. Eds. R. ROUVIER, M. BASELGA.- Zaragoza : CIHEAM.

Nouvelles séries / New series

A/18 : *Culture de la pomme de terre dans les conditions méditerranéennes*. Actes de l'Atelier de Zaragoza (Espagne), 10-13 septembre 1990. Eds. R. T. CORTBAOUI et al.- Zaragoza : CIHEAM.

A/19 : *L'économie des fruits et légumes en région méditerranéenne*. Actes du colloque de Chania (Grèce), 12-14 novembre 1990. Ed. F. LAURET.- Montpellier : CIHEAM.

A/20 : *Paramètres de qualité de l'orge pour l'industrie du malt et pour l'alimentation animale*. Actes du séminaire de Barcelone (Espagne), 15-16 novembre 1990. Ed. J. ALIBES.- Zaragoza : CIHEAM.

Série B : Etudes et Recherches Series B : Research and Analysis

B/1 : *Agricultures méditerranéennes : La Turquie*. Ed. Y. TEKELIOGLU.- Montpellier : IAM-M/CIHEAM, 1989.- 282 p. (Prix/Price: 300 FF).

B/2 : Jean Le COZ.- *Espaces méditerranéens et dynamiques agraires - Etat territorial et communautés rurales*.- Paris : UNESCO-MAB/CIHEAM, 1990.- 393 p. (Prix/Price: 120 FF).

B/3 : Jemaïel HASSAINYA.- *Irrigation et développement agricole en Tunisie - La problématique des périmètres irrigués*.- Montpellier : CIHEAM (En préparation)

B/4 : *Tableaux de la valeur alimentaire pour les ruminants des fourrages et sous-produits d'origine méditerranéenne*. Ed. X. ALIBES et J. L. TISSERAND.- Zaragoza : CIHEAM, 1990.- 152 p. (Prix/Price : 200 FF).

Ouvrages programmés

B/5 : *Travaux du Réseau Agriculture Familiale Comparée (RAFAC)*.- Montpellier : CIHEAM.

B/6 : *Travaux du réseau : Economie céréalière en Méditerranée*.- Montpellier : CIHEAM.

