



Pour une prise en compte globale de la télédétection en France

(Septembre 1980)

OPiT

opération
pilote
interministérielle
de
télétection

Pour une prise en compte globale de la télétection en France

(Septembre 1980)

Ce rapport,

*rédigé par Marc Bied-Charreton, Maître de recherche à l'ORSTOM, Directeur Adjoint de l'OPiT
a été réalisé par le Groupe Interministériel de Télétection :*

- *Jean Max de Lamare, Conseiller Technique à la DGRST, Président*
- *Robert Foulhouze, Ingénieur Général du GREF, Directeur du CTGREF*
- *Bernard Hurez, Adjoint au délégué à la Qualité de la Vie*
- *Jean Monge, Administrateur Civil, Adjoint au Directeur des Affaires Economiques et Internationales du Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie*
- *Philippe Vuitton, Ingénieur des Télécommunications, chargé de mission à la DATAR.*

S O M M A I R E

	<u>Page</u>
<u>INTRODUCTION : LA TELEDETECTION DES RESSOURCES TERRESTRES</u>	
Une réalité dans laquelle la France doit s'engager à fond	1
<u>PREMIERE PARTIE : ENJEU ET PROPOSITIONS</u>	
Chapitre 1 : Atouts et Enjeux	2
Chapitre 2 : Les implications pratiques de la télédétection	5
Chapitre 3 : La Télédétection, un marché à faire naître : proposition pour l'action	8
<u>DEUXIEME PARTIE : PRINCIPES ET APPLICATIONS</u>	
Sommaire de la 2ème partie	13
Chapitre 1 : Qu'est-ce que la télédétection ?	15
Chapitre 2 : Les acteurs de la télédétection	34
Chapitre 3 : Les applications de la télédétection	46
Chapitre 4 : Limites et perspectives de la télédétection	53
Annexes	56

INTRODUCTION

LA TELEDETECTION DES RESSOURCES TERRESTRES : Une réalité dans laquelle la France doit s'engager à fond

Depuis 1972, date de lancement par les Etats-Unis du premier satellite d'observation de la Terre (Landsat 1), une quarantaine d'organismes et laboratoires français ont entrepris d'exploiter ces nouvelles données, d'abord à des fins de recherche puis à des fins d'applications plus concrètes, de vérification et de transfert. Un réseau de diffusion, organisé au niveau européen, en permet un accès relativement aisé à des coûts modestes. Les programmes futurs autorisent de croire à une permanence de ce flot de données pour de nombreuses années. L'acquis des équipes françaises dans leur maniement et leur interprétation ainsi que l'intérêt manifesté par les utilisateurs potentiels conduisent à affirmer que l'on a atteint un point de non retour et que de toutes façons, la télédétection entrera un jour au rang des systèmes d'information classiques.

La France a déjà manifesté sa confiance dans l'avenir de cette technique en décidant la construction du Satellite Probatoire d'Observation de la Terre (SPOT) qui sera lancé en 1984 par la fusée ARIANE. A cette date la France maîtrisera donc le "segment spatial" de la télédétection.

Cet effort important entrepris en amont mérite que l'on se penche avec attention sur celui à faire en aval pour valoriser au mieux l'outil.

Certaines administrations (Agriculture, Environnement, Equipement, Transports, DGRST, DATAR) n'ont pas attendu la décision de produire SPOT pour consentir en commun un effort substantiel afin d'entamer la mise au point de techniques de télédétection orientées vers leurs propres utilisations et les rendre opérationnelles. C'est pour ces motifs qu'elles ont créé, en Juillet 1976, pour une durée de 4 ans, l'OPIT (Opération Pilote Interministérielle de Télédétection) qui a permis, en dépit de ce court laps de temps, de faire des progrès importants dans la sensibilisation des utilisateurs, l'expérimentation des techniques et le contrôle des résultats. Mais on ne peut, pour autant, affirmer aujourd'hui qu'un outil véritablement opérationnel est disponible. Un effort important reste à accomplir.

1ère PARTIE : ENJEU ET PROPOSITION

CHAPITRE I - ATOUTS ET ENJEUX

La France est en bonne place dans les domaines de l'acquisition des données, des matériels de traitement et du savoir-faire. Cette place se situe aussi bien à l'exportation qu'à l'intérieur de notre pays.

A. Les Atouts

1 - La France est en bonne place

Les communautés industrielle et scientifique françaises ont acquis une place importante sur ce qui n'est pas encore le marché de la télé-détection mais qui va le devenir à court terme, au plan national et au plan international. L'intérêt majeur de cette place est qu'elle se situe en tous points de la chaîne "télé-détection = celui de la fourniture de données, celui des matériels nécessaires à leur traitement et à leur restitution, celui du savoir-faire".

Le maniement de données satellite et avion, depuis dix ans, par les équipes françaises a permis la constitution d'un savoir-faire de valeur mais qui doit s'adapter encore mieux aux besoins des utilisateurs finals en commençant à livrer non plus seulement des résultats de recherche mais des procédures opérationnelles, voire dans certains cas, des produits finis.

2 - Elle disposera en 1984 de moyens autonomes

Concernant la fourniture de données, la décision, prise en 77, de construire SPOT, se concrétisera en 1984 par son lancement grâce à la fusée européenne Ariane et fournira, dans ce domaine, une autonomie de moyens par rapport aux USA. Le dispositif sera complété par la construction du réseau de stations de réception, de formatage et de prétraitements, qui permettront la diffusion de produits standard aux utilisateurs. Dès aujourd'hui, on note, concernant le traitement et la restitution des données, que l'informatique et l'électronique françaises offrent des matériels performants nécessaires sans que l'on soit obligé d'avoir recours à des techniques étrangères. La rapidité des progrès dans ce domaine autorise la sortie prochaine de calculateurs, de restituteurs et de traceurs adaptés aux problèmes de la télédétection.

Enfin, le savoir-faire mentionné plus haut permet de valoriser au mieux cette autonomie de moyens.

B. Les enjeux

1 - Gérer notre patrimoine grâce à la télédétection

La communauté nationale est confrontée à des problèmes liés au développement économique rapide depuis les années 50 et qui se traduisent par des conflits dans l'usage des sols, par une certaine anarchie de l'exploitation des ressources naturelles renouvelables, par une détérioration du cadre de vie.

La télédétection est maintenant envisagée soit comme moyen complémentaire, voire comme moyen de substitution (pallier la lassitude des enquêtes) soit comme source d'information totalement nouvelle (température de surface, vision globale, exhaustive, répétitive, ...).

Elle a fait ses preuves sur des objectifs précis, en laboratoire et en vraie grandeur au cours de tests opérationnels au niveau de départements en y associant des responsables locaux ; les recherches en cours devraient rapidement déboucher vers des applications pour peu que des passerelles efficaces soient maintenues entre chercheurs et utilisateurs.

Outil de connaissance et de gestion, la télédétection permet et permettra d'accéder à la connaissance des phénomènes de la biosphère (climats, biomasse, ressources en eau, sédimentation, ...), d'améliorer et d'accélérer les inventaires statistiques et cartographiques de l'utilisation du sol et des cultures, de mieux gérer les espaces de tous ordres (forestiers, agricoles, urbains, littoraux, montagnards, ...) et leurs interfaces tant sur les plans quantitatifs que qualitatifs (études d'impact, zonages, suivi et contrôle).

2 - Vendre français

Si à l'heure actuelle, le marché mondial n'est pas encore très développé, il faut noter cependant que la concurrence s'annonce sévère. Les Américains, et à moindre degré les Canadiens, les Japonais, les Allemands et les Anglais ont d'ores et déjà vendu à un certain nombre de pays des stations de réception ou de traitement des données Landsat ou des matériels divers. Les USA ont pratiqué une politique très libérale de vente de données brutes au coût marginal et de diffusion massive d'images à peine interprétées. La chance de la France sur les marchés extérieurs est d'avoir su profiter de ce libéralisme pour roder son savoir-faire, construire des matériels adéquats et préparer ses propres données. C'est sur ces trois volets fondamentaux de la télédétection (données, matériel de traitement, savoir-faire) que nous devons baser une politique commerciale offensive pour peu que les prix pratiqués ne soient pas décourageants. Nous pouvons dès à présent offrir des produits de qualité, en nombre malheureusement trop faible : moyens de traitement et de restitution (calculateurs, traceurs,...), savoir-faire qui permet de manipuler les données jusqu'à l'obtention d'un produit "utile" (statistiques, cartes, grandeurs physiques), voire même ce produit utile élaboré en France sous contrat avec tel ou tel Etat : bientôt s'ajouteront à cela nos propres données acquises sur la planète grâce à SPOT et des possibilités de stations de réception.

Les efforts de promotion à accomplir doivent s'orienter dans deux directions : les pays en développement et les pays industrialisés.

Pour les premiers, le recours à la télédétection spatiale permet de réaliser enfin les grands inventaires de leurs ressources naturelles et d'effectuer un suivi de problèmes cruciaux actuels (désertification, inondation, ...) ; ce qui est difficile, voire impossible par les méthodes actuelles (pour des raisons de coût, de délais, d'inaccessibilité).

Pour les seconds, l'emploi de la télédétection doit permettre une meilleure gestion de leurs ressources et leur donner la possibilité d'effectuer des prévisions.

La France, actuellement présente dans de nombreux pays par l'intermédiaire d'organismes de coopération ou de sociétés de services, doit renforcer son action mais les moyens ne sont pas suffisants et on ne connaît pas bien la demande, solvable ou non.

CHAPITRE II - LES IMPLICATIONS PRATIQUES DE LA TELEDETECTION

De par ses nombreuses applications et en raison des multiples techniques qu'elle met en jeu, la télédétection concerne une grande diversité d'acteurs.

A. Qui sont les partenaires ?

L'Administration et les organismes responsables de la vie économique de la Nation sont les principaux utilisateurs potentiels de la télédétection. La recherche d'amont est également utilisateur. Des retombées technologiques liées au développement de l'outil sont, par ailleurs, à atteindre. Elle concernent les secteurs industriels de pointe que sont l'électronique et l'informatique.

Les possibilités d'exportation des matériels et du savoir-faire intéressent tant les entreprises publiques ou privées françaises, que les États avec lesquels nous coopérons.

L'évolution rapide et la multiplicité des relations entre collectivités différentes au même niveau ou de niveaux différents (région, nation) amènent de plus en plus les responsables à rechercher des renseignements complets, précis, à jour et dans des délais fort courts. Les interactions entre phénomènes empêchent ou limitent les visions globales et synthétiques. La nécessité de prévoir à long terme les aménagements et la production, l'absence de connaissance de base pour certains pays, comme l'absence de connaissances dans les domaines nouveaux de la recherche scientifique (gestion de l'eau, prévision de récolte, ...), imposent la mise en oeuvre de nouveaux outils pour pallier l'insuffisance des moyens traditionnels d'investigation. C'est dire le nombre et l'importance des utilisateurs possibles.

Au plan intérieur français, les utilisateurs publics sont actuellement les plus intéressés. Ils se rencontrent au niveau national et à celui des services extérieurs des principales administrations de l'Agriculture, de l'Environnement, des Transports, de la DATAR et des organismes d'aménagement, ainsi qu'à celui, par exemple, des Chambres d'Agriculture et organismes professionnels, de collectivités locales et régionales, d'EDF, de l'IGN, etc... Toutefois, des utilisateurs privés mettent déjà en oeuvre la télédétection ou commencent à s'y intéresser : compagnies pétrolières, bureaux d'étude des entreprises de travaux publics.

B. Comment se sert-on de la télédétection ?

La télédétection est une chaîne d'outils successifs qui met en jeu respectivement le satellite et ses capteurs, la télétransmission et l'informatique pour recevoir, mettre en forme et traiter les données, l'électronique, la photochimie et la cartographie automatique pour les restituer, le savoir-faire des opérateurs et des thématiciens pour extraire d'une mesure physique une information utile dans les meilleurs délais et au moindre coût pour une qualité exigée par l'utilisateur. Cette chaîne met en jeu les pouvoirs publics en amont et en aval : en amont, car ce sont eux qui décident la politique spatiale et conçoivent les systèmes, en aval ils en seront les principaux bénéficiaires. Entre ces deux extrêmes interviennent les agents économiques habituels : laboratoires de recherche, bureaux d'étude, entreprises industrielles, publics ou privés.

Les qualifications requises recouvrent les domaines de la physique, de l'électronique et de leurs instruments, celui des mathématiques, des statistiques et de l'informatique, celui de la photointerprétation et de la cartographie et tous les domaines thématiques se rapportant aux diverses utilisations de l'outil : géologie, océanographie, hydrologie, agronomie, géographie, foresterie, aménagement, environnement.

On mesure ainsi la difficulté rencontrée pour passer de la donnée brute à la décision. On conçoit qu'il puisse exister différents modes de fonctionnement de la chaîne de Télédétection : de la boîte noire qui livre un produit fini à l'utilisateur sans que celui-ci ait à intervenir, à l'utilisateur effectuant lui-même le traitement adapté à son problème, définissant la qualité des données qu'il souhaite, voire construisant ou faisant construire lui-même son matériel, ses capteurs, ses satellites. Dans un cas, le scientifique et l'industriel imposeront leur produit, même s'il est mal adapté, dans l'autre l'utilisateur pourra faire valoir son point de vue mais au prix d'un effort soutenu de formation permettant un dialogue équilibré.

D'une façon générale, les expérimentations effectuées à ce jour montrent que les meilleurs succès ont toujours été obtenus avec une bonne participation des utilisateurs, en particulier dans la détermination des objectifs à atteindre et surtout dans la mise en oeuvre des procédures technologiques.

C. Quelles implications en résulte-t-il ?

Tout ceci milite en faveur d'une action coordonnée de la puissance publique, principale utilisatrice et seule susceptible au stade encore peu avancé du développement du marché de la télédétection de susciter une concurrence nécessaire et d'en garantir le libre jeu.

L'utilisation rationnelle et opérationnelle de la télédétection au sein de l'administration ou à l'intérieur de sociétés privées utilisatrices se heurte à diverses résistances institutionnelles et psychologiques dues aux habitudes antérieures comme à la nécessité d'un apprentissage qu'exige le maniement du nouvel outil. A ces obstacles s'ajoute l'absence de réponse claire à un certain nombre de questions : quel matériel adéquat, à quel prix ; quelle formation spécifique développer pour que l'utilisateur soit à même de décider des traitements, ou du moins d'assurer les contrôles ; quelle information entre les services faut-il développer pour que les résultats obtenus ici soient connus de tous pour limiter les expérimentations inutiles.

L'importance des enjeux et la multidisciplinarité des techniques de télédétection, impliquent de la part de l'Etat un rôle d'incitateur et de coordonnateur. Ainsi éviterait-on un développement anarchique et onéreux ou une non utilisation d'un outil existant et développé sur les fonds publics.

CHAPITRE III - LA TELEDETECTION, UN MARCHE A FAIRE NAITRE

Proposition pour le développement de la télédétection

Sil existe un marché des matériels intermédiaires et si le problème des données trouvera avec SPOT une solution, le développement des techniques de traitement des données et de leur interprétation requiert une attention particulière.

A. Les problèmes à résoudre

En dépit de succès probants, les actions de démonstration entreprises depuis 1977 montrent que toutes les difficultés techniques ne sont pas aplanies et que l'on n'a pas encore mis en évidence les modes d'insertion de ce moyen d'information dans l'action quotidienne.

Il faut aider la télédétection à dépasser les mythes entretenus à ses débuts et pour cela motiver une recherche encore insuffisante en nombre et pas toujours orientée vers une finalité pratique.

Il faut assurer une liaison efficace entre les industriels fabriquant les matériels nécessaires aux traitements et aux restitutions, les chercheurs et les utilisateurs de façon à mettre au point les systèmes complets, les optimiser et les vendre.

Il faut réaliser de véritables tests d'application avant de passer à la routine : si les opérations simples et spectaculaires sont utiles, elles ne sont pas suffisantes pour décider les utilisateurs à mettre graduellement à profit les méthodes et les applications validées. Dans la réussite d'un projet de démonstration, la procédure mise au point est aussi importante que le résultat thématique.

Il appartient à l'Etat d'assurer la continuité de l'effort, de garantir la diffusion des données, de soutenir les efforts de promotion des sociétés industrielles sur les marchés extérieurs. Il doit en outre faciliter la concertation et, le cas échéant, user de son autorité pour arbitrer entre des points de vue différents.

B. Les conditions du succès : vers la complémentarité de rôles bien définis.

On a vu que des acteurs publics et privés, tant en France qu'à l'étranger, oeuvraient pour le développement et le succès de la télédétection. Il est clair que l'Etat, par l'intermédiaire de ses services centraux ou extérieurs, n'a pas à se substituer à la nécessaire action des entreprises industrielles qui développent et fabriquent les matériels dont l'outil a besoin. Cependant, l'Etat a le devoir d'assurer une fécondité réciproque entre secteur public et secteur privé, entre les moyens de fabriquer le produit et son utilisation. C'est par l'organisation d'un dialogue constant entre ceux qui mettent au point un outil et ceux qui s'en servent que nous parviendrons en temps utile à un niveau élevé de compétitivité et à l'assurance d'une valorisation de nos propres données.

Le temps presse, car on sait combien est long le chemin de la mise au point et celui du transfert de technologie ; or nous devons être prêts en 1984.

C. Propositions pour l'action publique

C'est pour répondre à ces diverses questions que le présent document émet des propositions basées sur un axiome vérifié aux U.S.A., et à la suite de rencontres entre utilisateurs et techniciens français organisées en 1980 sous l'égide de l'OPIT et du CNES ; l'utilisateur a un rôle central à jouer dans le développement de la télédétection sous peine d'être constamment à la remorque d'une technique qui risquerait, d'être mal adaptée ou non utilisée.

Ce rôle central de l'utilisateur tient non seulement à ses responsabilités, mais également à ses compétences techniques spécifiques qu'il est le seul à pouvoir déployer, de la formulation des problèmes qu'il a à résoudre, à l'usage opérationnel des solutions que lui propose l'outil.

L'attention et les moyens ne doivent pas être concentrés uniquement sur le secteur "amont" de la production des données. Il faut de plus que les recherches sur les méthodes de traitement et d'interprétation soient assurées par des laboratoires compétents. Dans ce domaine l'action menée notamment par la DGRST, le CNRS et le CNES, doit être poursuivie et renforcée.

Mais un effort particulier doit être fait concernant le secteur "aval". Cet effort doit porter essentiellement sur la réalisation des projets de démonstration répondant aux besoins des utilisateurs et les impliquant directement, ainsi que sur la diffusion des produits obtenus.

La nature particulière de la donnée de télédétection et les interactions multiples des préoccupations des responsables de la gestion de notre territoire conduisent à préconiser le regroupement et la coordination de ces efforts, d'ailleurs souhaitable dans un souci d'économie, en recourant à un organisme à caractère interministériel investi d'un rôle d'interface entre télédétecteurs et utilisateurs et d'assistance technique à ces derniers.

Cette mission devrait consister :

d'une part, au bénéfice de l'ensemble des utilisateurs, et notamment dès à présent des Ministères de l'Agriculture, Environnement, Transports, Coopération, Économie, Budget, Industrie, Intérieur, etc...

- . l'établissement en langage approprié, de synthèses sur les possibilités techniques, les conditions et les coûts de mise en oeuvre,
- . la diffusion systématique de cette information et des informations générales sur la télédétection,
- . l'organisation de rencontres périodiques entre utilisateurs et techniciens au bon niveau de compétence,
- . enfin, de façon plus permanente, la représentation de la communauté utilisatrice en face des organismes techniques et de recherche.

- d'autre part, au bénéfice des utilisateurs qui en feraient la demande,
 - . la fourniture de conseils et d'assistance technique à leurs projets d'expérimentation,
 - . l'expertise des résultats obtenus par les techniciens,
 - . l'organisation de la formation nécessaire de leur personnel en liaison avec les organismes compétents.

Parallèlement les utilisateurs accroîtront leur engagement dans des programmes qu'ils mettront progressivement eux-mêmes en oeuvre.

Ils seront donc associés à la mise au point d'un outil qui pourra alors contribuer à la satisfaction de leurs besoins.

Ainsi sans casser la dynamique actuelle, une suite logique serait donnée aux travaux de l'OPIT qui ont permis de clairement poser les problèmes et d'apporter des solutions dont il convient d'accélérer la mise en oeuvre.

CONCLUSION

Après s'être lancée dans l'utilisation scientifique des données aériennes et satellites, la France a décidé de se doter de ses propres moyens d'acquisition en construisant le satellite SPOT. Elle fait la preuve de la capacité de ses matériels et de son savoir-faire, il reste à parfaire l'application de ces techniques pour une utilisation pleinement opérationnelle tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de notre pays.

Pour cela il importe aujourd'hui de continuer avec plus de vigueur la valorisation de notre potentiel télédétection, notamment par une action coordonnée des pouvoirs publics dans le secteur aval comme elle l'est déjà dans le secteur amont de cette chaîne complète qu'est ce nouvel outil.

LA TELEDETECTION DES RESSOURCES TERRESTRES

2ème partie : Principes - Applications

S O M M A I R E

	<u>Page</u>
<u>CHAPITRE I - QU'EST-CE QUE LA TELEDETECTION - PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT</u>	15
1.1. Définition de la télédétection - Télédétection aéroportée et télédétection spatiale	15
1.2. Orbites et satellites	18
1.3. Capteurs	20
1.4. Transmission - Réception - Diffusion des données	24
1.5. Traitement des données	28
1.6. Les produits obtenus	33
<u>CHAPITRE II - LES ACTEURS DE LA TELEDETECTION</u>	34
2.1. L'acquisition des données	34
2.2. La production de matériel de traitement et de visualisation	36
2.3. La mise au point des méthodes de traitement et d'interprétation	37
2.4. L'utilisateur final	40
2.5. La sensibilisation et la formation	42

	<u>Page</u>
<u>CHAPITRE III - LES APPLICATIONS DE LA TELEDETECTION</u>	46
3.1. Cartographie	46
3.2. Géologie et recherches minières	47
3.3. Météorologie	48
3.4. Océanographie	48
3.5. Utilisation du sol - Aménagement	49
3.6. Agriculture	51
3.7. Forêts	52
3.8. Ressources en eau	53
<u>CHAPITRE IV - LIMITES ET PERSPECTIVES DE LA TELEDETECTION</u>	53
 <u>ANNEXES</u>	
Annexe I : Découpage de la France en scène Landsat - Tableau des satellites	56
Annexe II : Réalisation des traitements et visualisation des résultats-Premières interprétations-Méthodes d'évaluation	59
Annexe III : Eléments de coûts (01/01/80)	68
Annexe IV : Liste des principaux centres de compétences équipés pour les traitements de données et l'édition de résultats	72
Annexe V : Lacie (Extrait des Cahiers de l'OPIT n°2)	73

CHAPITRE I - QU'EST-CE QUE LA TELEDETECTION - PRINCIPES DE FONCTION- NEMENT

1.1. Définition de la télédétection - Télédétection aéroportée et télédétection spatiale

La télédétection désigne l'ensemble des moyens et des méthodes qui permettent l'obtention, à distance, d'informations provenant du sol de notre planète, à partir de plate-formes situées en altitude et par l'intermédiaire du rayonnement électromagnétique.

Par télédétection on entend donc à la fois les techniques d'acquisition d'images, leur traitement et leur interprétation en vue d'obtenir des produits finals utiles : grandeurs physiques, statistiques, cartes.

Les plate-formes d'acquisition, appelées vecteurs, sont de trois types : avion, ballon, satellite. Dans les deux premiers cas, on parlera de télédétection aéroportée, dans le dernier de télédétection spatiale.

Ces vecteurs évoluent à des altitudes diverses comme l'indique le tableau suivant.

VECTEUR	TYPE	ALTITUDE
Satellite géostationnaire	Météosat, GOES	36.000 km
Satellite civil à défilement	Landsat, NOAA, SPOT	900 km
Satellite militaire à orbite basse	USAF-27 A certains COSMOS soviétiques	125 à 250 km au péricée
Ballon stratosphérique	CNES	20 - 40 km
Avion à haute altitude	U2 Mystère 20	20 km 12 km
Avion à moyenne altitude	B17 Aérocommander	4 à 7 km
Avion à basse altitude	CESNA Piper	1 km

Les instruments embarqués à bord des vecteurs et chargés de capter le rayonnement électromagnétique provenant de la surface survolée sont appelées les capteurs. Le rayonnement est ensuite enregistré puis renvoyé au sol par divers moyens. Ces enregistrements constituent les images que l'on va ensuite traiter ; celles-ci se présentent sous forme numérique ou sous forme analogique (photographies par exemple).

Un système de télédétection se compose donc d'un couple vecteur-capteur et des divers moyens de traitement des images enregistrées.

Une image de télédétection se caractérise par l'identification de la scène enregistrée (ou portion de territoire) et de la date d'enregistrement et par le couple vecteur-capteur utilisé, ce qui définit la taille minimale du point analysé au sol, appelé pixel, les bandes spectrales dans lesquelles on a enregistré le rayonnement, appelées canaux, et le nombre de pixels de la scène.

La plus ancienne image de télédétection est la photographie aérienne. Il existe une télédétection aéroportée moderne basée sur une instrumentation perfectionnée et des techniques de traitement sophistiquées. En effet, l'avion peut embarquer n'importe quel type de capteur : chambre photographique avec émulsions panchromatiques, infrarouge noir et blanc, infrarouge couleur ; capteurs à balayage, radars. Il permet des enregistrements à haute résolution, donc de voir des détails de petite taille (inférieur au mètre) et il présente, en principe, des avantages de souplesse d'intervention au lieu et à la date qui conviennent. Toutefois, ceci suppose une bonne organisation opérationnelle qui n'est pas toujours facile à réaliser.

L'avion est le vecteur irremplaçable pour étudier les phénomènes ponctuels, fugaces, imprévisibles tels que attaque parasitaire, pollution, incendie, avalanche, inondation ou pour étudier des zones géographiques de petite taille et à grande échelle.

Par contre son emploi est onéreux dès que l'on survole de vastes étendues (supérieures à plusieurs dizaines de km²), en raison des coûts en personnel et en carburant et des contraintes posées ensuite par l'interprétation des données acquises : la photo-interprétation manuelle demande beaucoup de temps ; les traitements numériques exigent au préalable des corrections coûteuses.

La télédétection par satellite présente des avantages complémentaires et non concurrents à ceux de la télédétection aéroportée :

- vision plus globale rendant possible l'observation de zones plus vastes, souvent inaccessibles, sans déformations géométriques excessives ;
- observations répétées ; le coût marginal de chaque couverture supplémentaire du globe étant très faible ;

Le présent document ne traitera que de la télédétection spatiale en raison de l'importance de ses enjeux, mentionnée en première partie.

1.2. Orbites et satellites

Les satellites ont des orbites régulières fixées une fois pour toutes (1). Ils décrivent approximativement une ellipse dont le centre de la terre occupe un foyer ; elle est déterminée par les conditions initiales de position et de vitesse au moment où le satellite est abandonné par son lanceur.

Les paramètres de l'orbite choisie vont donc déterminer les conditions de lancement du satellite.

Il existe deux types d'orbite pour l'observation de la terre :

- les orbites géostationnaires : circulaires, équatoriales et de période 24 heures elles permettent de disposer de satellites paraissant immobiles dans le ciel ; elles correspondent à une altitude de 36 000 km. Leur utilisation majeure réside dans les télécommunications et la télévision. Elles sont utilisées également par une série de satellites météorologiques qui ceinturent la terre (meteosat, GOES, ...) et qui réalisent des images toutes les demi-heures mais à résolution au sol grossière (5 km dans l'infra-rouge, 2,5 km dans le visible).
- les orbites circulaires, à défilement, héliosynchrones : on s'arrange pour que le satellite survole un endroit donné de la planète à intervalles réguliers, ce que l'on appelle la répétitivité, elle permet de survoler chaque région toujours à la même heure locale. On choisit l'inclinaison par rapport aux pôles la plus petite possible de façon à couvrir la majeure partie du globe et de façon à ce que la géométrie orbite-soleil demeure la même tout au long de l'année. Une telle orbite est appelée quasi-polaire et héliosynchrone. On appelle trace la projection sur le sol de la trajectoire du satellite. On appelle période le

(1) à l'exception de certains satellites militaires d'observation qui peuvent changer d'orbite.

temps nécessaire pour que le satellite repasse au même point de sa trajectoire. La trace d'un satellite à défilement est une "courbe sans fin qui s'enroule sur la terre à l'image d'une pelote de ficelle". On définira la période de telle façon que le satellite repasse au-dessus du même point au sol au bout de n jours et que les traces de chaque journée soient décalées par rapport à celles de la veille, et contiguës.

A titre d'exemple, voici les caractéristiques des satellites américains de la série Landsat :

Landsat 1 : lancé en Juillet 1972

Landsat 2 : lancé en Janvier 1975

Landsat 3 : lancé en Mars 1978

Seul Landsat 3 fonctionne actuellement.

- Orbite :
- presque circulaire. Son plan fait un angle de 9° avec l'axe des pôles
 - altitude : 920 km
 - période : 103, 267 mn
 - nombre de révolutions par jour : 14
 - répétitivité : 18 jours (soit 251 révolutions)
 - heure locale au noeud descendant, à l'équateur : 9h42
 - distance entre deux traces adjacentes au sol : 159,38 km à l'équateur
 - dimensions : H = 3 m, Largeur = 4 m, Poids total = 815 kg
Charge utile : 240 kg, 1m³

Les satellites à orbite basse ont une durée limitée en raison des frottements de l'atmosphère. Au-delà de 700 km d'altitude, la durée de vie est supérieure à deux ans.

Un satellite se compose d'une plate-forme sur laquelle on dispose la charge utile, c'est-à-dire les instruments spécifiques de la mission. La plate-forme comporte les sous-systèmes qui permettent de contrôler l'orbite, de contrôler l'attitude du satellite afin que celui-ci soit stable, de fournir la puissance à l'aide

de batteries et panneaux solaires, de dialoguer avec les stations de poursuite et d'émettre les données acquises vers les stations de réception. Ces dernières fonctions, télécommande et télémessure, sont gérées par un calculateur de bord qui peut comprendre des mémoires de stockage des données enregistrées.

La recharge utile comprend essentiellement les capteurs.

1.3. Capteurs

Ils reçoivent et mesurent le rayonnement provenant de la surface terrestre.

Ils sont caractérisés par leur champ global d'observation et leur champ instantané de vision, leur résolution spectrale et leur résolution énergétique.

- champ global et champ instantané : l'ouverture angulaire du capteur définit le champ global, c'est-à-dire la taille de la scène observée ; la projection au sol du champ instantané de vision définit la résolution spatiale, qui est la dimension analysée au sol, ou le pixel (1). Pour un même capteur, la résolution spatiale sera d'autant meilleure que le vecteur sera plus bas tandis que le champ d'observation sera d'autant plus vaste que le vecteur sera plus haut.
- résolution spectrale et énergétique : la résolution énergétique est la sensibilité du capteur, c'est-à-dire la plus petite différence d'énergie mesurable. La résolution spectrale est définie par la largeur des bandes spectrales de l'appareil. C'est l'ensemble du rayonnement interne à chaque bande, ou canal, qui sera globalement mesuré.

Résolution spectrale et spatiale varient en sens inverse : plus la bande spectrale est étroite, donc meilleure est la résolution spectrale, moins il rentre d'énergie dans le capteur, donc moins bonne est sa sensibilité, donc plus grand devra être le pixel. La définition d'un capteur est donc un compromis entre la taille du pixel, la largeur des bandes spectrales et la précision de la mesure.

(1) abréviation de picture element.

La couverture nuageuse constitue en effet un obstacle majeur pour l'observation de la surface terrestre dans les domaines du visible, de l'IR proche et l'IR thermique et elle diminue considérablement la répétitivité réelle.

Pour chaque pixel analysé au sol, on obtient donc un spectre, c'est-à-dire l'ensemble de ses réponses dans les différents canaux.

Il existe trois familles de capteurs :

- les caméras photographiques qui enregistrent quasi instantanément le visible et le proche infrarouge en plusieurs bandes grâce à des filtres et des émulsions spécifiques. Les photographies sont récupérées en capsules ou analysées automatiquement à bord par un micro-densitomètre puis les images ainsi digitalisées sont émises vers le sol.

Compte tenu de leur distance focale et de la basse altitude des satellites ainsi équipés ces caméras autorisent une résolution spatiale extrêmement performante (inférieure au mètre). Elles sont embarquées sur les satellites militaires américains et sur les satellites soviétiques d'observation des séries COSMOS ou sur le vaisseau spatial SOYOUZ.

- les capteurs électro-optiques disposent d'un système optique qui reçoit les faisceaux issus de la scène survolée et les renvoie sur des détecteurs qui transforment l'énergie en signaux électriques (par effet thermo-électrique ou photo-électrique), eux-mêmes numérisés puis renvoyés vers les stations de réception.

Ces capteurs sont caractérisés par leur détectivité spécifique (fonction de la bande passante, de la surface sensible de détection, des tensions maxi et mini), leur réponse spectrale et leur temps d'intégration minimale nécessaire à une réponse fiable.

Dans cette famille, on distingue :

- les caméras à tube-image : une cible photosensible conserve un certain temps l'image qui est alors lue par le balayage électronique d'un tube cathodique qui produit un signal vidéo mémorisant la mesure.
- les radiomètres mesurent le rayonnement incident, en relatif ou en absolu par référence à un corps noir calibré. Ils fonctionnent en monospectral ou en multispectral (1) par combinaison du mouvement du satellite et de l'oscillation d'un miroir qui permet de balayer des lignes perpendiculaires à la trajectoire du satellite. La surface terrestre est ainsi analysée ligne par ligne ; l'image obtenue est discrète, formée de "points", ou pixels.

Le radiomètre de Landsat fournit ainsi des lignes de 185 km de long et 79 m de large ; il y a environ 3 200 points sur chaque ligne, le pixel mesurant 79 x 57 m.

Le radiomètre de SPOT aura un balayage électronique, sans pièce mobile, l'image sera formée par des barettes totalisant 6 000 détecteurs et le mouvement du satellite. Il sera capable d'observer latéralement grâce à un dispositif de pointage programmable à l'avance. La répétitivité pourra donc être augmentée et l'on disposera de vues stéréoscopiques, c'est-à-dire permettant de reconstituer le relief.

- les radiomètres passifs à micro-ondes sont utilisés pour l'atmosphère et la surface de la mer (satellites Nimbus).
- les radars, capteurs actifs à micro-ondes, cités ici pour mémoire, le seul satellite ainsi équipé n'ayant fonctionné que de Juin à Octobre 1978 (SEASAT 1).

(1) Une désignation plus correcte serait "multibande".

1.4. Transmission - Réception - Diffusion des données

Les images, c'est-à-dire l'énergie mesurée dans chaque canal sur chaque pixel, sont digitalisées sur 7 ou 8 bits (c'est-à-dire sur une échelle de 0-127 ou 0-255) puis,

- soit transmises en direct vers les stations de réception au sol qui sont en vue du satellite
- soit enregistrées à bord puis retransmises

La mémoire des satellites est limitée pour l'instant (2 x 30 minutes pour Landsat). Aussi n'enregistre-t-on que ce que choisit le gérant du satellite. Par exemple Landsat n'enregistre pas les océans.

Il est envisagé, pour les satellites futurs (Landsat D) des satellites "relais" (TDRSS) qui achemineront les images en temps réel vers une seule station de réception.

En l'état actuel, on travaille sur un réseau, existant et en développement, de stations de réception au sol.

Une station couvre une zone d'environ 2 500 km de rayon. Actuellement il en existe 13 :

- Goldstone, Greenbelt, Fairbanks, aux USA
- Prince Albert, Shoe Cove, au Canada
- Fucino, en Italie
- Kiruna, en Suède
- Quiaba, au Brésil
- Alice Springs, en Australie
- Hyderabad en Inde
- Tokyo, au Japon
- Téhéran, en Iran
- Marchiquita, en Argentine

En construction :

- Thaïlande : fonctionnement prévu en 1982

Décidées :

- Toulouse et Ouagadougou : fonctionnement prévu pour 1984

En projet :

- Chine, Kenya, Afrique du Sud

Les débits d'émission sont importants et ne feront que croître : 24 megabits/sec pour Landsat, 50 pour SPOT. Il s'agit d'un flot considérable qui exige un archivage sur bandes haute densité (6 250 bpi) et qui doit être découpé en images de dimension finie. Ce découpage est répétitif et l'on découpe toujours de la même façon les images d'un territoire donné, que l'on appelle scène.

On consultera en annexe le découpage en scène Landsat du territoire national (45 scènes au total). Ces scènes mesurent 185 km x 185 km.

Elles sont survolées tous les 18 jours pour un Landsat. Actuellement seul Landsat 3 fonctionne mais pendant une courte période (fin 78-début 79), Landsat 2 et Landsat 3 ont été couplés, tandis que Landsat 1 et Landsat 2 ont fonctionné ensemble en 1976.

Un certain nombre de corrections appelées prétraitements sont nécessaires avant de fabriquer le format "commercial" des images :

- correction radiométrique ayant pour but de compenser les différences de sensibilité entre détecteurs
- corrections géométriques pour compenser certaines déformations dues aux variations d'attitude du satellite, au biais introduit dans les images par la rotation de la terre, à la rotondité de la terre,...

Les images prétraitées sont ensuite transférées, scène par scène, en format commercial sur bande compatible avec des calculateurs habituels, en général en 1 600 bpi (1). Il existe actuellement plusieurs formats, ou façons d'organiser les données sur la bande ; on distingue les formats "Sioux Falls" ancien et nouveau, le format européen "Télèspazio", le format canadien, le format brésilien.

Pour un utilisateur qui désire acquérir des données, la situation se présente ainsi :

- données des satellites météorologiques : contacter le CEMS de Lannion (2) ou l'Agence Spatiale Européenne (3)
- données des satellites américains de la série Landsat : pour l'Europe : il faut se mettre en rapport avec le point de contact national. En France, il s'agit du Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale (GDTA) (4). Cet organisme diffuse régulièrement un catalogue des données disponibles sur la France depuis Juillet 1975. On consultera en annexe la carte des scènes Landsat et un bref panorama des produits et des coûts. Pour les données antérieures à Juillet 1975, il faut contacter l'organisme américain compétent (voir ci-dessous).

(1) Les bandes magnétiques sont appelées CCT : computer compatible tapes.

(2) Centre d'Etudes Météorologiques Spatiales (CEMS) :

B.P. 73 - 22 301 LANNION - Tél. (96) 38 44 33

(3) Agence Spatiale Européenne (ASE) ou European Space Agency (ESA) :

8-10, rue Mario Nikis - 75 738 PARIS - Tél. 567 55 78

(4) Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale (GDTA) : 18, avenue Edouard Belin - 31 055 TOULOUSE CEDEX
Tél. (61) 53 11 12

GIE groupant le CNES, l'IGN, l'IFP, le BRGM et le BDPA.

- Pour le reste du monde : s'il s'agit d'un secteur géographique couvert par une station de réception on contactera celle-ci ou l'organisme gestionnaire. En général, pour les données antérieures à la date de mise en service de ces stations ou pour les parties du monde non couvertes, il faut s'adresser à l'USGS (1). Cet organisme a en charge l'archivage et la vente des données Landsat. Il diffuse, sur demande localisée, la liste des images en sa possession ainsi qu'un catalogue complet informatisé et régulièrement mis à jour, facilement consultable, de l'ensemble des images prises par les Landsat, aujourd'hui de l'ordre du million. Cela permet à l'utilisateur de choisir les dates qui lui conviennent et de commander les images.

Chaque "image" Landsat est caractérisée par :

- son numéro de "scène", c'est-à-dire sa localisation géographique, définie par son numéro de trace de l'orbite et son rang sur la trace et complétée par l'indication des coordonnées géographiques du centre de l'image,
- sa date d'enregistrement
- une indication de qualité et de couvert nuageux.

Pour une image, les produits standard sont de deux types :

- une bande magnétique (CCT) qui comprend les enregistrements, dans les 4 canaux, d'une portion de territoire de 185 km x 185 km, soit environ 7,5 millions de pixels de taille 57 x 79 m, codés sur 7 ou 8 bits, soit environ 30 millions d'octets. La position de chaque pixel dans l'image est identifiée par son numéro de ligne et sa position sur la ligne, ou numéro de colonne. Une image comprend environ 2 300 lignes et 3 200 colonnes.

(1) USGS : United States Geological Survey.
 EROS DATA CENTER : Earth Resource Observation System
 SIOUX FALLS - SD 57 198

- des films négatifs ou positifs, ou des tirages papiers, de chaque canal, format 55,8 mm ou 18,5 cm (Eros Data Center) ou format 18,5 cm au GDTA, soit à l'échelle du 1/1 000 000. Ces films sont fabriqués à l'aide de restituteurs d'images à partir de la bande magnétique selon divers procédés, avec ou sans amélioration des contours et des contrastes.

Bandes et films sont les produits standard du premier maillon de la chaîne télédétection, l'acquisition des données. On passe ensuite aux phases "traitements des données", interprétation et évaluation" des résultats puis fabrication du produit final de la télédétection.

1.5. Traitement des données

Le traitement des données consiste à rechercher l'information utile dans l'image ou les images que l'on a acquis pour cela. Il faut donc définir d'abord les questions auxquelles on se propose de répondre en utilisant les images spatiales.

Actuellement, elles sont de trois natures différentes :

- on cherche à obtenir des grandeurs physiques comme les températures de surface, ou des données radiométriques, que l'on utilise directement ou que l'on introduit dans des modèles ;
- on cherche à obtenir des statistiques ;
- on cherche à obtenir une cartographie permettant de localiser des phénomènes au sol et de mettre en évidence des structures particulières.

Dans les trois cas, il convient de définir la précision à laquelle on veut parvenir ainsi que les conditions de stabilité et de généralisation des résultats obtenus ; dans les deux derniers cas il convient de fixer la nomenclature à laquelle on veut aboutir ; dans le troisième cas l'échelle de restitution du résultat.

Plusieurs méthodes de traitements sont possibles, leurs principes sont exposés ci-dessous, des détails sont fournis en annexe.

Le choix des méthodes de traitement dépend à la fois des crédits disponibles, des capacités de traitement disponibles (en matériel et

en savoir-faire) et de la qualité et de la précision que l'on souhaite obtenir.

Trois voies sont actuellement pratiquées :

- les traitements de type photographique réalisés à partir des films négatifs ou positifs des quatre canaux et suivis de travaux de type photo-interprétation.
- ces mêmes traitements accompagnant un traitement numérique.
- les traitements numériques uniquement.

Il faut également fixer, en aval des traitements et souvent corrélativement avec les systèmes que l'on choisira, les modes de visualisation des résultats destinés à être édités.

Les principes généraux des divers traitements sont exposés ci-dessous.

1) Les corrections

a) Les corrections géométriques

Lorsque l'on exige des documents superposables aux cartes topographiques, ou que l'on compare des résultats obtenus à différentes dates, il est nécessaire de corriger les déformations géométriques des enregistrements (dus au système d'acquisition, aux variations d'attitude du capteur...).

Les corrections les plus pratiquées utilisent des points remarquables dont les coordonnées géographiques sont connues (amers) et des calculs de loi de déformation.

b) Les corrections radiométriques

L'atmosphère entre le sol et le capteur entraîne des perturbations dans les mesures radiométriques.

A l'aide d'objets invariants au sol (ville par exemple), on peut recalibrer une image par rapport à une autre, et mesurer ainsi l'évolution effective des phénomènes.

Les corrections radiométriques permettent aussi d'exprimer les mesures dans l'infrarouge en température absolue et de traduire en réflectance les données mesurées dans le visible.

Ces deux corrections ne sont pas toujours nécessaires ; elles s'imposent selon les objectifs fixés. En principe les produits disponibles ont déjà été corrigés sommairement. Des compléments de correction sont à la charge des utilisateurs.

2) Les traitements optiques et photographiques

Une visualisation de télédétection correspond à la restitution des données sur supports photographiques ou graphiques (imprimante) à une échelle donnée. On distingue généralement :

- la visualisation canal par canal

On peut visualiser séparément en noir et blanc les canaux bruts par attribution de niveaux de gris ou de symboles graphiques aux valeurs radiométriques.

- la composition colorée

C'est un document de synthèse, intégrant les variations observées sur les canaux bruts.

On affecte une couleur à chaque canal et on superpose les documents ainsi obtenus.

Les aspects des compositions colorées sont très divers selon les conventions adoptées dans l'affectation des couleurs (ex : avec Landsat le canal 4 en jaune, le 5 en rouge et le 7 en bleu donnent des images proches des photographies infrarouge couleur classiques).

- l'amélioration d'image

On peut améliorer la lecture des images par des traitements (optiques mais aussi numériques) qui augmentent le contraste, soulignent les limites des phénomènes, modifient la dynamique (étalement des valeurs sur des portions d'images par exemple).

- la photo-interprétation

Tous ces documents obtenus sur des supports photographiques ou graphiques peuvent être photo-interprétés au même titre que les photos aériennes classiques (obtention de zonages, cartes thématiques, etc...).

L'avantage de la photo-interprétation reste encore l'intégration des formes par l'esprit humain, intégration difficile à réaliser automatiquement par ordinateur (travaux qui nécessitent une informatique longue et complexe et qui sont en cours d'élaboration actuellement).

3) Les traitements numériques

Ils portent essentiellement sur les valeurs radiométriques des pixels et visent à regrouper ces pixels pour mettre en évidence les objets que l'on cherche à cartographier ou à compter.

Il faut utiliser une "hypothèse statistique" pour regrouper ces pixels, un critère de proximité radiométrique qui peut être de nature variable : chaque critère aura son résultat propre et doit être adapté à l'objet que l'on veut discriminer et identifier.

- les traitements supervisés

Cette méthode nécessite des données terrain au départ du traitement.

Elle consiste à repérer au sol des parcelles aussi représentatives que possible des phénomènes à observer et qui servent à établir une relation entre la radiométrie et le contenu de la parcelle. Cette relation constitue un modèle.

La simultanéité entre le relevé terrain et l'enregistrement de télédétection peut être plus ou moins respectée selon les phénomènes à observer (l'eau demande des enregistrements parfaitement synchrones par exemple).

Le traitement consiste à étendre à l'ensemble de l'image la relation préétablie à partir des parcelles test en regroupant les pixels selon une hypothèse statistique. Une hypothèse souvent utilisée est l'hypothèse gaussienne des mesures effectives. Il faut compléter le traitement par un seuil de rejet : quand la mesure d'un pixel est proche d'un modèle, il est classé dans la classe définie par ce modèle ; sinon, on cherche à quel autre modèle il peut être affecté, et ainsi de suite pour tous les pixels à traiter.

- les traitements non supervisés

Ils ne nécessitent pas de données terrain a priori. Ces traitements ne donnent pas des "cartes" (avec légende) mais des images dont l'interprétation doit être plus facile que celle de l'image originale. Parmi les grands nombres de mesures, l'hypothèse statistique définit des mesures "radiométriquement proches" et les regroupe en un petit nombre de classes fixé au départ (5 à 15 le plus souvent).

Pour définir les points "radiométriquement proches", on utilise une hypothèse statistique et une distance mathématique.

Les résultats doivent être interprétés a posteriori avec des données terrain et des cartes de référence.

- les méthodes interactives

Ce sont des méthodes supervisées où l'opérateur peut suivre devant un écran la progression du traitement et juger de la pertinence des résultats intermédiaires pour ainsi "ajuster" la démarche.

- les traitements chronoséquentiels ou diachroniques ou multitemporels

Les signatures spectrales des objets peuvent évoluer dans le temps et l'utilisation de plusieurs dates peut permettre d'améliorer la discrimination et l'identification des objets et de lever certaines ambiguïtés.

Ces traitements nécessitent des calculateurs équipés des périphériques nécessaires à la visualisation des résultats : imprimantes classiques ou électrostatiques, écran couleur, restituteur d'image soit de type traceur soit sur film.

L'intervention de l'homme se situe au niveau de la préparation des fichiers d'entrée, de la définition des paramètres du traitement, de l'interprétation des résultats au fur et à mesure du déroulement des opérations, de l'évaluation de leur qualité (pourcentage de pixels "bien classés", précision de localisation, précision des mesures, ...) et de la décision de fin d'opération. En effet on peut toujours améliorer un résultat mais un faible gain de précision peut coûter fort cher.

1.6. Les produits obtenus

On peut distinguer des produits intermédiaires et des produits finals.

Les produits intermédiaires sont les visualisations des canaux bruts, les compositions colorées ou les images améliorées ainsi que les résultats de traitement non interprétés en non validés.

Les produits finals sont interprétés et validés. Ils sont disponibles :

- soit sur listings : ce sont des tableaux statistiques des grandeurs physiques que l'on a trouvé ou les diverses catégories d'objets que l'on a classé. Ces statistiques peuvent être données par entités administratives si l'on a raccordé les données satellites avec les référentiels géographiques usuels.
- soit sur bande magnétique, si l'on prend la précaution de sauvegarder ainsi les résultats interprétés : sur la bande, chaque pixel reçoit un numéro de classe selon la catégorie dans laquelle le traitement l'a affecté et les statistiques globales y sont récapitulées.
- soit sur cartes fabriquées à partir des visualisations sur film ou à l'aide de traceur, en affectant à chaque classe obtenue une couleur ou une densité de gris.
La carte doit être légendée et renseignée par adjonction d'éléments toponymiques par exemple. Les échelles usuelles varient du 1/100 000 au 1/1 000 000.

Les produits intermédiaires visualisés à l'écran ou les tirages sur papier photographique posent des problèmes en raison de leur caractère éphémère pour les premiers ou coûteux à reproduire pour les seconds. Il n'existe pas encore de bonnes visualisations intermédiaires ou définitives, peu chères et facilement manipulables sur le terrain par exemple pour les contrôles.

Les méthodes de validation de la qualité des produits statistiques sont exposées en annexe II.

CHAPITRE II - LES ACTEURS DE LA TELEDETECTION

Pour exécuter les différentes fonctions de la chaîne technique décrite en chapitre I, il existe plusieurs catégories d'acteurs, certains remplissant plusieurs fonctions. Si l'on part des fonctions, on décrira successivement ceux qui jouent un rôle dans :

- l'acquisition des données nécessitant la mise en orbite, de satellites, leur gestion et celle des stations de réception, de rectification et de diffusion des données ;
- la production de matériel de traitement et de visualisation ;
- la mise au point des méthodes de traitements et d'interprétations ;
- la fonction d'utilisation finale ;
- la "promotion" de la télédétection.

2.1. L'acquisition des données

Cette fonction consiste en, successivement :

- i : financer un lanceur ou en être le maître d'ouvrage
- ii : financer un satellite ou en être le maître d'ouvrage, définir sa charge utile et les paramètres de mise sur orbite, le lancer et le gérer

- iii : recevoir les données
- iv : commercialiser un produit standard

On donnera quelques exemples d'acteurs au niveau américain, européen et français :

- i : la production des lanceurs est du ressort des agences spatiales nationales civiles et militaires ou internationales, leur construction étant assurée par l'industrie. Exemple : NASA (1) aux USA, NASDA (2) au Japon, ESA (3) en Europe, CNES (4) en France.

Le CNES est maître d'oeuvre d'Ariane pour le compte de l'Agence Spatiale Européenne. Ce programme est financé à 65 % par la France.

- ii : la construction , la mise en orbite et la gestion sont également du ressort des agences gouvernementales, aux USA, la NOAA (5) pour les satellites NOAA, TIROS, GOES et suite opérationnelle des Landsat D et D' ; en France, le CNES pour SPOT.

- iii : la réception des données : la NASA gère les trois stations de réception situées aux USA, l'ESA gère les stations du réseau européen "Earthnet" (Fucino et Kiruna pour Landsat, Lannion pour NOAA, Darmstadt pour Météosat). Les prétraitements y sont effectués.

Le CNES-Toulouse assurera la réception des données SPOT, un centre de rectification des images spatiales (CRIS) effectuera des prétraitements de divers niveaux en fonction des demandes. Sa conception est assurée par une association CNES-IGN.

-
- (1) NASA : National Aeronautics and Space Administration
 - (2) NASDA : Nippon Aeronautic and Space Development Agency
 - (3) ESA : European Space Agency
 - (4) Centre National d'Etudes Spatiales
 - (5) NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration

iv : la commercialisation des produits standard (et leur archivage) est assurée.

- aux USA par l'USGS au Centre de Sioux Falls (South Dakota)
- en Europe par le réseau Earthnet de l'ESA qui s'appuie sur des "points de contact" nationaux. En France c'est le GDTA. Le CNES envisage de créer une structure de commercialisation des données SPOT.

2.2. La production de matériel de traitement et de visualisation

Le traitement numérique des données implique des calculateurs et un certain nombre de périphériques de sortie adaptés aux besoins de la télédétection, c'est-à-dire essentiellement pour visualiser des images brutes, améliorées ou traitées.

En France, le traitement des données s'effectue soit sur des calculateurs lourds, par exemple :

- CDC 7 600 de Franlab (racheté par la CISI)
 - CDC Cyber 7 614 du CNES
 - IBM 370-168 AMDHAL 470 V7
- soit sur des calculateurs moyens
- IRIS 80 de diverses administrations
 - Mini 6 de CII-HB à l'ORSTOM
 - HP 21 MX et HP 2100 de l'École des Mines
 - Solar 16-65 de l'IGN et l'IFP.

Les consoles interactives proviennent en France des firmes CIT-Alcatel (console TRIM 512 et TRIAL 80), Numelec (console Pericolor) et MATRA en développement ; les systèmes de restitution du film sont français : Vizir, de la SEP, Visumat, de Matra, ou étrangers (SEMIO). Toutes les imprimantes classiques sont utilisées (IBM, Versatec, Gould, ...). De nombreux centres sont équipés avec des tables traçantes BENSON.

2.3. La mise au point des méthodes de traitement et d'interprétation peut être dissocié en deux fonctions : l'écriture de logiciel et le montage de système complet de traitement d'images et par ailleurs l'utilisation de ces systèmes pour les recherches thématiques et diverses applications par des organismes compétents.

Plusieurs cas se présentent, car certains acteurs sont susceptibles de remplir une ou plusieurs de ces fonctions.

- Des systèmes complets de traitement sont proposés par diverses firmes, fournissant matériels et logiciels (hard et soft), que ceux-ci soient développés en propre ou d'origines diverses. Exemples :

- . MATRA commercialise le "système 101", acheté par l'IFP et l'IGN (appelé TRIAS). Ces derniers ont perfectionné le logiciel et l'utilisent pour leurs propres besoins ou louent des heures à d'éventuels clients (voir annexe III les éléments de coût). Ce système est dérivé d'un système américain de la firme I₂S ; il comprend deux dérouleurs de bande, des disques, un écran noir et blanc, un écran couleur M70-I₂S, une imprimante, un calculateur Solar 16/65. A l'IGN on peut visualiser les résultats sur un restituteur sur film grand format (1m de large) de type SEMIO, utilisable pour la cartographie ; à l'IFP on peut visualiser sur un restituteur Vizir (format des films 40x40 cm).
- . IBM commercialise le système ERMAN 11 ;
- . General Electric le système IMAGE 100 ;
- . CIT-Alcatel propose un système complet à partir d'un PDP et de la console TRIAL 80.

- A l'inverse, des utilisateurs ou des organismes disposant de moyens de traitement classiques complètent leur équipement et développent, en propre, des logiciels de traitement d'image ; ils bénéficient ainsi de systèmes complets montés par leurs soins. Exemples :

- . le LARS (1) de l'Université américaine de Purdue a développé le système LARSYS ;
- . la Société Bendix a développé, sur contrat de l'ERIM (2), le système M-DAS ;
- . le Centre nucléaire anglais d'Harwell a développé le HIPS (Harwell image processing system) autour d'un calculateur CDC 7600 ;

(1) LARS : Laboratory for Applications of Remote Sensing.
ERIM : Environmental Research Institute of Michigan.

- . le DFVLR allemand a développé le DIBIAS
- . le CNES-Toulouse a développé plusieurs logiciels de traitement autour d'un CDC Cyber 7614, d'une console couleur CIT-Alcatel VG 1625/TRIM 512, de divers traceurs (Benson) et d'un restituteur Visumat ;
- . l'ORSTOM-Bondy a installé un système de traitement sur la base d'un Mini 6, d'une console Pericolor, d'un traceur Benson et d'un logiciel propre ;
- . l'Ecole des Mines, s'appuyant sur un IRIS 80 de l'Equipement, a monté un laboratoire (le CTAMN à Sophia-Antipolis) autour de deux Hewlett-Packard (HP 2100 et 21MX), une console couleur TRIM, une table à digitaliser, un traceur Benson et une imprimante Versatec ;
- . l'Ecole Normale Supérieure de Montrouge utilise les moyens lourds de calcul du CNRS (CIRCE d'Orsay), équipé en IBM 370-168 et Amdhal 470 V7 et imprimantes et traceur Benson ;
- . l'INRA et des laboratoires universitaires et du CNRS pour leurs propres besoins.

Concernant les moyens optiques ou photographiques, il existe une gamme de visionneuses et d'équipements classiques de laboratoire photographique dont le maniement à usage des images spatiales requiert une certaine compétence pour fournir des produits de bonne qualité, compte tenu du fait qu'il existe plusieurs techniques de restitution des images spatiales et de fabrication des documents photographiques de type composition colorée.

Les modes d'utilisation de ces divers systèmes varient entre deux situations extrêmes :

- une administration ou un laboratoire de recherche désire faire une carte par télédétection, par exemple les massifs forestiers de telle région. S'il ne dispose en propre d'aucun moyen de traitement, il devra faire appel à un ou plusieurs organismes équipés ;
- un organisme quelconque veut établir, pour ses propres besoins, une carte, il dispose d'un système complet. Il y a intégration complète entre les données, leur traitement, leur interprétation par un spécialiste et le besoin propre de l'organisme.

En situation moyenne, on placera les organismes thématiquement compétents mais qui ne disposent pas de moyens et qui contracteront avec des "traiteurs" et les organismes "traiteurs" mais non utilisateurs.

Exemples :

- L'IGN acquiert facilement les données de par son appartenance au GDTA, les traite sur son système pour ses applications propres comme la révision de la planche "forêt" des cartes topographiques au 1/100 000. Il peut également traiter pour d'autres organismes sur contrat ou forfaitairement selon un nombre d'heures d'utilisation du système.
- Il en est de même pour l'IFP ou le BRGM qui sont leur propre utilisateur à des fins géologiques et de prospection. L'IFP peut également traiter pour d'autres organismes.
- Même situation pour l'ORSTOM.

Par contre, un certain nombre de laboratoires de l'Université, du CNRS, de l'INRA et des services de l'administration ne sont équipés qu'en moyens légers ou très spécialisés dans leur domaine ou ne sont pas équipés du tout mais ils ont une compétence thématique qui leur permet d'interpréter des résultats, voire de piloter des traitements d'images. Ils font donc appel aux "traiteurs" pour les calculs sur les données image.

On voit donc que le "savoir-faire" résulte de la coexistence de systèmes de traitement et de capacités de les mettre en oeuvre pour répondre à des applications spécifiques. Ces capacités sont fonction de la connaissance thématique des objets à rechercher par télédétection.

2.4. L'utilisateur final

Sous ce vocable il y a lieu d'exclure ceux pour qui la télédétection est un objet, c'est-à-dire ceux qui travaillent à l'amélioration des instruments, des transmissions, des produits bruts, des matériels et des logiciels. Il y a deux communautés, plus ou moins imbriquées, d'utilisateurs finals :

- la communauté scientifique, pour qui la télédétection est un moyen nouveau de recherche et une nouvelle source d'informations dont le contenu est à explorer.

- celle qui a, ou qui aura, l'utilisation directe, en routine, des produits de la télédétection dans ses processus d'étude et de prise de décision.

Il peut exister une liaison entre ces deux communautés dans la mesure où la recherche est orientée vers des applications pratiques ou si les retombées de recherches de base parviennent à des non chercheurs.

Le problème actuel est de savoir si l'utilisateur final a le désir et la volonté de maîtriser la télédétection pour son domaine ou si au contraire il devra s'adapter à des produits qui ne coïncident pas forcément à ses besoins habituels, quelle que soit la manière dont il exercera ce contrôle.

On peut envisager en effet que l'utilisateur final s'adresse aux différents acteurs recensés plus haut ou qu'il devienne lui-même un nouvel acteur et s'équipant et/ou en acquérant le savoir-faire.

Voici, à titre d'exemple, un panorama d'utilisateurs actuels ou potentiels ayant déjà utilisé, au coup par coup, des produits de télédétection. On verra au chapitre suivant quelles en sont les applications.

Organisations internationales : FAO, Banque Mondiale (BIRD)

Aux USA

Utilisateurs fédéraux : NOAA (qui interviendra aussi comme producteurs de données)
 Environmental Protection Agency
 USDA (1)
 US Army Corps of Engineers
 USDI (2) - Bureau of Land Management

Etats

: Certaines agences d'Etat : Forestry, Land use, Water resources : Maryland, Minnesota, Texas, California, Mississippi, Ohio,...

Privés

: St Regis Paper Company
 Compagnies pétrolières et minières (Exxon, Chevron,...)

En France

Administrations

: - Inventaire Forestier National
 - Service Régional d'Aménagement Forestier de Provence - Côte d'Azur
 - Service Central des Enquêtes et Etudes Statistiques du Ministère de l'Agriculture et certains services départementaux (Haute-Vienne, Indre et Loire)
 - Agences de Bassin Rhin-Meuse, Seine-Normandie, Loire-Bretagne
 - Délégation à la Qualité de la Vie

Etablissements publics : ORSTOM - INRA - IGN

Universités-Recherche- : Certains laboratoires du CNRS

Grandes Ecoles

INA
 Ecole des Mines
 Université de Strasbourg-Institut de Physique
 EHESS
 EPHE
 Ecole Normale Supérieure de Jeunes Filles

(1) USDA : United States Department of Agriculture
 (2) USDI : United States Department of Interior

GIE : Membres du GDTA (IFP-BRGM)

Privés : CGG, pétroliers

L'utilisateur final est celui pour qui la télédétection livre un produit de qualité connue, utile à son action, et renouvelable. Cela suppose donc l'opérationalité des systèmes de télédétection. Sous ce terme on entend une permanence dans la fourniture des données, des matériels de traitements compétitifs au niveau de la manipulation des images, des coûts, des temps et des sorties, enfin des logiciels de traitements et un savoir-faire ayant conduit à la définition de procédures répétables.

De ce tableau d'ensemble, il ressort qu'actuellement peu de traiteurs ont une réelle vocation à exécuter des tâches de production pour d'autres tandis que la plupart des utilisateurs n'appartenant pas au secteur recherche n'étaient pas équipés pour traiter eux-mêmes.

Par ailleurs, en dehors des expérimentations pilotes effectuées au cours des toute dernières années, la liaison entre les traiteurs et les utilisateurs était insuffisante.

2.5. La sensibilisation et la formation

Afin de faire progresser la télédétection et son adaptation aux besoins réels des utilisateurs finals une étape importante doit être parcourue. Elle consiste à familiariser un public le plus large possible aux apports de cette technique, à entraîner la recherche dans les secteurs où des applications pratiques sont possibles, à évaluer les apports de la technique par rapport à ce qu'on obtient par les moyens classiques et en fonction des apports nouveaux qu'elle propose.

Cette fonction consiste également en la mise sur pied de procédures routinières de traitement et d'interprétation des données. Elle concerne enfin le secteur "formation".

Elle est remplie (1) par différents acteurs qui y ont tous intérêt :

- les utilisateurs finals par l'intermédiaire de structures comme l'OPIT ;
- les organismes "traiteurs" en vue d'améliorer leurs logiciels et leurs prestations ;
- les fabricants de matériels afin que la communauté la plus large possible puisse traiter rapidement des images et en restituer les résultats ;
- les producteurs de données s'ils veulent voir celles-ci utilisées à bon escient ;
- enfin, les chercheurs scientifiques dans les divers domaines thématiques concernés et en amont de la technique (physique du rayonnement, appareillage, télécommunication, mathématiques, informatique).

Quant au transfert de technologie, il consiste à transférer vers une chaîne opérationnelle une technologie mise au point par une chaîne de recherche.

La chaîne opérationnelle peut être du type :

- utilisateur final équipé de ses propres moyens
- utilisateur final contractant avec un traiteur ou une société de service.

Elle est envisageable dès lors qu'un utilisateur final a pris conscience de l'intérêt qu'il peut avoir à utiliser la télédétection. D'où l'importance d'une phase de sensibilisation et d'adaptation de la télédétection aux besoins actuels et futurs.

Une formation minimale à la télédétection est indispensable pour que le dialogue utilisateur final-traiteur puisse s'établir. De même, une formation "thématique" est importante pour les spécialistes du traitement s'ils veulent comprendre les questions posées par les utilisateurs. Des formations plus approfondies sont également nécessaires.

(1) Cycles GDTA SITEL-ORSTOM-Universités et Grandes Ecoles.

ACTEURS	FONCTIONS										
	Production Gestion de satellite	Réception-Prétraitement des données	Commercialisation des données	Fabrication de matériel de traitement (hard)	Conception de logiciel et de systèmes (soft)	Traitement des données	Interprétation des résultats pour utilisation propre	Recherche	Formation Enseignement	Sensibilisation- Transfert de technologie	Utilisateur final
NASA	X	X								X	
ESA	X	X	X								
CNES*	X	X			X	X		X	X		
MATRA	X			X	X						
THOMSON-CSF				X							
CIT-ALCATEL (CGE)				X							
SEP		X		X							
SEMS				X							
IBM				X	X						
NUMELEC				X							
BENSON				X							
GDTA			X					X	X		
IGN*					X	X	X		X		
IFP*					X	X	X		X		
BRGM*					X	X	X				
BDPA*							X				
ORSTOM					X	X	X	X	X	X	
INRA					X	X	X	X			
ENS-Mont- rouge					X	X	X	X	X		
Mines-CIAMN Sobhja					X	X		X			

* : membres du GDTA.

CHAPITRE III - LES APPLICATIONS DE LA TELEDETECTION

Dans ce chapitre, on n'envisagera que les applications dont la faisabilité a été ou doit être franchement établie. Pour la commodité de la présentation elles seront regroupées par grands domaines.

3.1. Cartographie

Une carte se compose d'un référentiel de coordonnées, d'une légende et d'une échelle. Elle peut comprendre en outre des références altimétriques.

Dans les pays développés les cartes de base sont réalisées, à partir de couvertures aériennes, par photogrammétrie. Leur problème est celui de la mise à jour.

Dans un certain nombre de pays encore insuffisamment développés, cette carte de base fait défaut, en raison souvent de conditions météo qui interdisent les missions aériennes. On estime que 50 % de la couverture du globe reste à réaliser.

La télédétection par satellite a déjà donné des documents pseudo-cartographiques de grande valeur avec un bon degré de précision au 1/250 000, voire 1/100 000, dans les zones semi arides du Proche Orient ou sur des régions pour lesquelles aucun document n'était disponible comme le continent Sud-Américain ou Kalimantan (Borneo).

Les éléments majeurs du paysage sont ainsi mis en évidence :

- hydrographie et zones inondées, y compris mangroves ;
- massifs forestiers ;
- roches à nu.

Les cartes à petite échelle et établies rapidement à un coût bien inférieur à celui des méthodes classiques sont un premier exemple d'application de la télédétection.

En France, le problème se pose au niveau de la révision des cartes classiques, en particulier de leur planche "forêt". L'IGN a commencé l'actualisation de ce thème sur ses feuilles au 1/100 000. 14 feuilles ont été révisées ainsi (région Bourgogne) et sont en instance de publication (Juillet 1980).

Des cartes altimétriques seront possibles avec SPOT avec une précision de l'ordre de 10 à 25 m pour le 1/250 000 et 2 à 5 m pour le 1/50 000.

3.2. Géologie et recherches minières

Les géologues des compagnies minières et pétrolières sont de gros consommateurs d'images Landsat (brutes ou améliorées) utilisées en préalable à des campagnes de prospection. Leur discrétion interdit de faire un point réel de l'état de l'art dans ce domaine.

Les géologues universitaires par contre font état de découvertes intéressantes dans le domaine de la tectonique et de la géologie structurale par la mise en évidence, grâce aux images à petite échelle jamais vues auparavant, de linéaments et de structures circulaires, témoins possibles d'accidents (failles, fractures, discontinuités géologiques) pouvant éventuellement être associés à des minéralisations. Des directions de fracturations peuvent également attirer l'attention sur des zones à risques sismiques élevés (Frioul par exemple) ou présentant des dangers pour l'implantation de barrages. Anomalies géochimiques et géothermiques peuvent également être mises en évidence.

Dans les régions mal connues, les images Landsat sont utilisées pour la géologie de reconnaissance (Chine, Plateaux Andin, Moyen-Orient, Antarctique, ...). De manière générale les documents satellites permettent une nouvelle approche des paysages, une meilleure préparation des campagnes terrain et une possibilité de généralisation de mesures ponctuelles.

3.3. Météorologie

On citera ici pour mémoire l'utilisation actuelle des satellites météorologiques par la Météorologie Nationale et certains laboratoires de recherches.

Les données Météosat et des satellites de la NOAA sont reçues à Lannion et sont quotidiennement utilisées à des fins de prévision de temps.

Par ailleurs, l'utilisation des radiomètres non imageurs donne des profils verticaux de température tandis que les mesures réalisées dans les canaux thermiques donnent des températures de surface (des océans ou des parties terrestres du globe).

3.4. Océanographie

Une aide à la navigation est possible par la mise en évidence par satellite (par temps découvert) des icebergs (Nord-Canada) tandis que le déplacement des grands courants marins (Gulf Stream) est suivi tous les jours par la NOAA. Les informations sur la température de surface du golfe de Guinée et ses variations font l'objet d'un travail ORSTOM-CNES dont les résultats sont envoyés à des groupements de pêcheurs de thon (Interthon) qui peuvent ainsi modifier leur route vers des zones de production primaire escomptée le long des fronts thermiques océaniques mis en évidence par Météosat.

Des recherches sont en cours pour mesurer la teneur en chlorophylle.

Si la télédétection aéroportée des nappes d'hydrocarbure est opérationnelle, il n'en est pas encore de même par satellite. Il faut en effet, pour cela, que le satellite passe au bon moment, que le ciel soit exempt de nuage, et que la détection puisse être possible.

3.5. Utilisation du sol - Aménagement

Les données Landsat sont utilisées aux USA pour effectuer une cartographie générale de l'utilisation du sol sur l'ensemble du pays, au 1/250 000.

En France, ces données ont été testées à différents niveaux dans ce domaine dans le but de fournir une statistique et une cartographie en 4 à 12 postes.

L'apport majeur de la télédétection par satellite réside dans la répétitivité et la rapidité d'obtention du résultat (quelques mois après la prise de données), son coût relativement modeste de l'ordre de 0,10 à 0,20 F/ha par traitement numérique, 0,05 F/ha par photo-interprétation d'image, par rapport aux méthodes conventionnelles et compte tenu du faible coût actuel des données Landsat.

- de documents cartographiques à des échelles pouvant aller jusqu'au 1/50 000 et permettant de localiser les postes de nomenclature mis en évidence ;
- de statistiques obtenues soit à un niveau administratif classique (département), soit au niveau d'un bassin versant, soit à celui de maillages divers ou d'agrégation de communes.

C'est ainsi qu'ont été traitées :

- une image Landsat entière sur le Languedoc-Roussillon
- le département de la Haute-Vienne
- le département de l'Indre et Loire
- le bassin versant de la Moselle française

Sont mis en évidence :

- l'eau libre et certaines zones humides
- les forêts "feuillus"
- les forêts "résineux"

- l'urbain dense
- les zones minéralisées
- les prairies
- les terres agricoles

avec une précision statistique variant de 95 à 85 % selon les thèmes et les dates traitées.

Des essais d'affinement de la nomenclature donnent pour l'instant des résultats de qualité variable.

Dans les zones géographiques insuffisamment connues, les images satellites ont permis d'accéder à une cartographie thématique simple et rapide par photo-interprétation de documents bruts ou améliorés (compositions colorées) ou par traitement numérique ; par exemple en Afrique de, à Kalimantan (1), sur le bassin du Mékong, au Mexique, en Tunisie, etc.

La nature biophysique des données autorise une meilleure approche des écosystèmes par des zonages appropriés des images prises à différentes dates.

Les images Landsat ont commencé, au Proche-Orient, à servir pour les études d'avant-projet de tracé-routier.

Elles sont désormais irremplaçables pour les études littorales : cartographie des estrans et courantologie côtière sur de grandes dimensions (plusieurs dizaines, voire centaines, de kilomètres) permettent de mieux définir l'emplacement d'équipements ponctuels pour limiter, par exemple, l'envasement.

En zone de montagne les images NOAA (sur le Massif Central) permettent de suivre les évolutions du manteau neigeux à des fins d'estimation de la réserve d'eau et de désenclavement de villages.

Le faible pouvoir de résolution des systèmes actuels ne permet pas de classer correctement les objets urbains et leur extension au détriment des milieux environnants. On peut cependant isoler les zones urbaines de type bourg ou petite ville.

(1) Bornéo.

3.6. Agriculture

Au niveau inventaires la télédétection offre une appréhension synthétique du milieu physique qui lui permet de s'intégrer au processus d'élaboration des cartes pédologiques, de la couverture végétale et de potentialités agricoles. Elle a montré, dans des cas encore trop limités, sa capacité à mettre en évidence des zones à drainer ou des zones sèches à irriguer.

De grands programmes ont été mis en chantier il y a quelques années pour inventorier les cultures, en particulier celles qui ont un rôle économique important comme les céréales (blé, maïs, riz).

Sur le programme américain LACIE et le système CCA (1) on se reportera au texte cité en annexe, extrait des cahiers de l'OPIT n°2. LACIE a duré de 1974 à 1978. Piloté par la NASA, il a coûté 85 millions de dollars et a concerné 265 personnes de la NASA, de l'USDA et de la NOAA. L'USDA a estimé qu'en phase opérationnelle un tel programme nécessiterait 60 personnes, 10 M de dollars d'investissement et 4 M de dollars par an de fonctionnement. Il a estimé également que ce programme n'avait pas rempli complètement son objectif, qu'une recherche fondamentale était nécessaire, que la NASA avait promis plus qu'elle ne pouvait donner, que les thématiciens (agronomes, physiologistes,...) n'avaient pas suffisamment équilibré les spécialistes du traitement des données. C'est pourquoi il a pris en charge le projet CCA.

En France, les études concernant l'identification des cultures permettent de conclure au fait que l'utilisation de plusieurs dates s'avère nécessaire pour séparer les céréales-paille du maïs ou de la prairie. Le maïs a pu être obtenu également dans des conditions optimales avec une image de Septembre 1978 sur la Petite Beauce et par utilisation conjointe d'images de Septembre et Mai 1979 sur l'Indre et Loire (62 000 ha obtenus par télédétection contre 66 000 par statistique classique par sondage, avec l'avantage de la localisation mais dans des délais plus longs).

(1) LACIE : Large area crop inventory experiment : expérience d'inventaire des récoltes de grandes surfaces.
CCA : Crop condition assessment : suivi de l'état des cultures

Les prairies sont généralement bien reconnues, avec un certain nombre de nuances non encore parfaitement interprétées (bocages, qualité,...).

Les cultures permanentes ligneuses posent encore des problèmes en raison de leur taux de recouvrement variable et de l'hétérogénéité de la couverture herbacée du sol.

Aucune étude concluante n'a encore été effectuée concernant les prévisions de rendement, celles-ci mettant en jeu des phénomènes relevant de recherches fondamentales en cours (évapotranspiration, modèles agro-météorologiques).

La surveillance phytosanitaire relève pour le moment de l'observation aéroportée.

3.7. Forêts

La séparation forêt-non forêt est un acquis de la télédétection spatiale, avec une précision de l'ordre de 95 %. Il est donc possible d'obtenir, sur n'importe quel type de territoire (feuille au 1/100 000, département, carroyage, ...) la superficie boisée et la localisation des massifs forestiers.

La séparation feuillus-résineux est bien réalisée si l'on dispose de dates d'enregistrement adéquates.

L'identification des landes, friches et des jeunes plantations pose des problèmes en raison de leur hétérogénéité physique.

La classification des forêts selon l'essence n'a pas été réalisée ; par contre, le mode de traitement, la structure et l'âge des arbres sont séparés en deux ou trois catégories (différents stades de futaie).

Volume et accroissement sur pied ne sont pas appréhendés. Les coupes rases de plus de 4 ha sont identifiables.

La statistique et la localisation des feux de forêts sont opérationnelles avec Landsat pour les feux d'au moins 10 ha, par traitement simple.

ANNEXES

L'interprétation des images améliorées (compositions colorées) permet d'effectuer des zonages préalables aux opérations d'inventaire.

3.8. Ressources en eau

La séparation eau libre-non eau est réalisée partout, à l'exception des petites étendues (inférieures à 3 pixels Landsat, soit 1 ha 1/2). Plusieurs catégories d'eau libre sont mises en évidence liées à la profondeur, la turbidité et la teneur en éléments chlorophylliens, sans que l'on puisse actuellement conclure valablement.

La mesure de la température de l'eau est possible (voir § 4 océanographie). Sur les fleuves et les étangs côtiers cette mesure est réalisée par télédétection aéroportée dans des conditions opérationnelles.

L'introduction de données d'occupation du sol obtenues par télédétection dans des modèles hydropluviométriques a été réalisée aux USA et en France (Moselle) avec des précisions estimées satisfaisantes par les utilisateurs (agence de bassin).

La reconnaissance de zones irriguées en Beauce et en bassin parisien a été effectuée par Landsat.

L'étude de rejets polluants (émissaires) n'est possible par satellite que si les panaches sont de taille suffisante, compatible avec la résolution, et si l'on dispose de dates de prise de vue adéquates.

L'état hydrique des sols n'est pas encore mesuré, seules quelques grandes catégories apparaissent par leur physionomie d'ensemble.

CHAPITRE IV - LIMITES ET PERSPECTIVES DE LA TELEDETECTION

Dans ce chapitre conclusif on mettra l'accent sur les points forts et les points faibles de la télédétection.

La télédétection apparaît généralement sous deux aspects positifs :

- venant en complément d'autres sources d'informations, elles les enrichit et les approfondit. Ceci est en particulier dû à l'homogénéité des données acquises et leur extension en superficie, à leur répétitivité et à la localisation des résultats obtenus. Ces qualités permettent de penser que dans certains cas, elle viendra se substituer à des techniques classiques, soit parce que ces techniques ne sont pas toujours utilisables (cas des zones géographiques difficiles d'accès), soit parce qu'il convient de pallier leurs insuffisances (coût et délais trop élevés), soit encore parce qu'il convient de les éliminer (par exemple à cause de la "lassitude des enquêtés").
- venant comme nouvelle source d'information, elle permet d'accéder à des domaines jusqu'à présent non abordés efficacement. C'est le cas notamment des informations météorologiques et des températures de surface, en particulier de l'eau et des océans.

C'est le cas également de tous les territoires sur lesquels on ne dispose d'aucune information et pour lesquels le recours à la télédétection spatiale est indispensable.

Par ailleurs, de nombreux programmes de recherche sont en cours de développement ; il n'en a pas été question dans ce document car ils relèvent encore des domaines de la physique, des instruments et de l'interprétation ; cependant on doit signaler que d'importants efforts sont consentis actuellement sur la thermographie (bilans énergétiques), les images radar (géologie, océans, eau dans le sol, ...) et la stéréoscopie (programme SPOT).

Cependant les applications mentionnées dans le chapitre précédent ne sont pas encore considérées comme opérationnelles en raison de certains points faibles :

- résolution insuffisante des satellites actuellement en orbite compte tenu du parcellaire de certaines régions (en France) ;
- répétitivité insuffisante due soit à la couverture nuageuse et au nombre encore trop faible de satellites en service soit à des défaillances temporaires des systèmes d'acquisition et de commercialisation des données ;

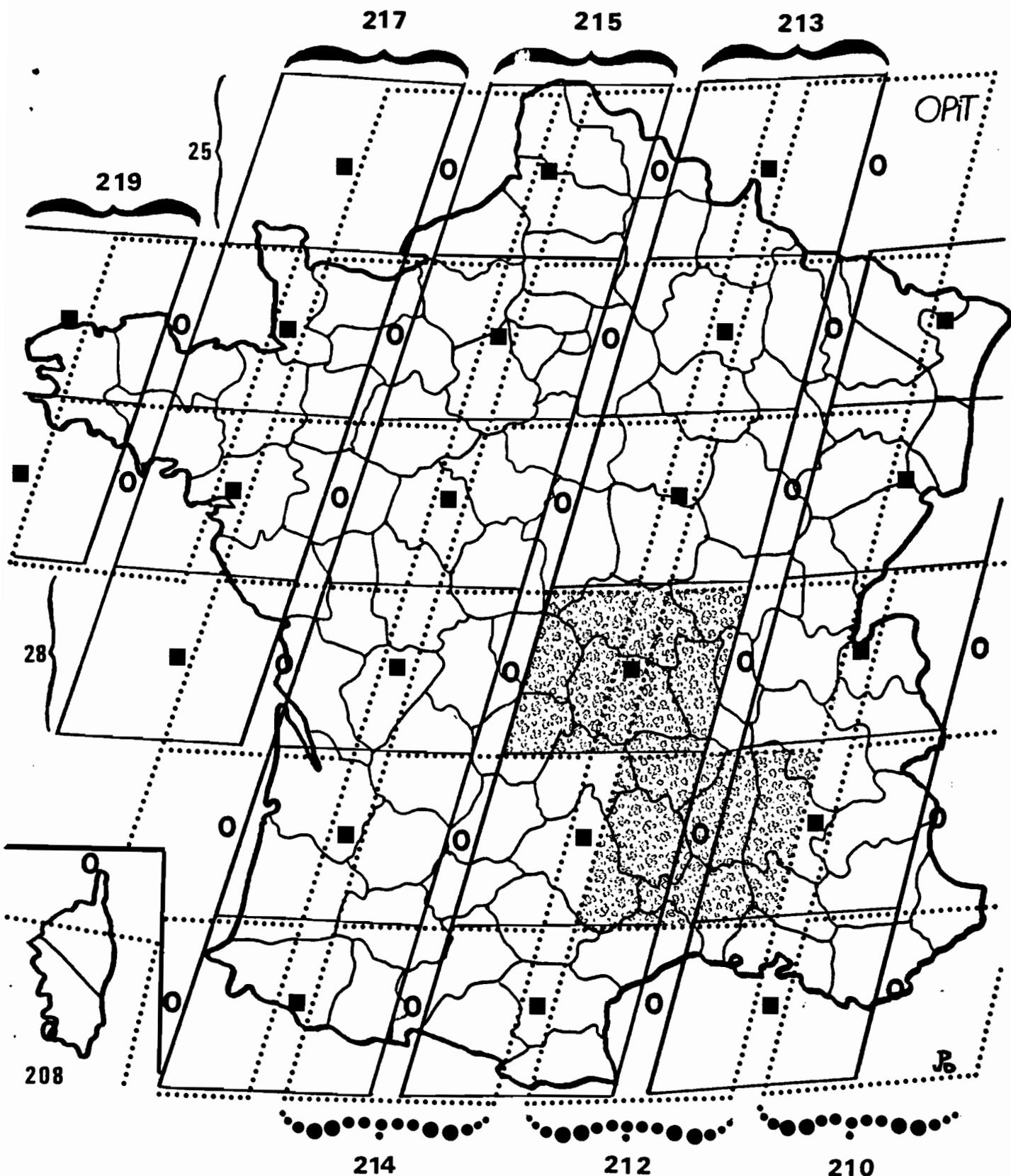
- inadéquation des nomenclatures habituelles avec les nomenclatures "physiques" obtenues par télédétection ;

Enfin des problèmes se posent au niveau organisationnel :

- le nombre d'opérations "en vraie grandeur" ayant fourni des produits utiles et validés n'est pas encore suffisant ;
- la sensibilisation des utilisateurs doit être poursuivie ;
- les liaisons recherche-traitement-utilisation doivent être renforcées ;
- il n'existe pas de définition claire des modalités pratiques de l'utilisation de la télédétection : l'utilisateur doit-il faire lui-même les traitements ou doit-il les faire exécuter ? Il n'y a pas encore de marché de la télédétection et pas assez d'organismes façonniers capables de traiter pour le compte d'un utilisateur ;
- la "promotion" a conduit à une mentalité erronée qui a d'abord pensé que la télédétection était une panacée puis déçue qui a estimé, à l'inverse, que ce n'était qu'un gadget ;

Pour l'avenir, on insistera sur les points suivants :

- une interaction continue entre utilisateurs et spécialistes du traitement est nécessaire : seul l'utilisateur maîtrise toutes les données extérieures indispensables à l'exploitation des images dans le sens qu'il souhaite ; lui seul peut donner un avis final sur la qualité du produit ;
- une politique d'information objective et de sensibilisation des utilisateurs doit être conduite.



ANNEXE I - DECOUPAGE DE LA FRANCE EN SCENE LANDSAT

Dates de passage de Landsat 3 en 1980 sur la trace 210 : →

- : centre des scènes sur les traces paires
- : centre des scènes sur les traces impaires

Une scène est repérée par son numéro de trace et son rang
ex. sont hachurées les scènes 213-28 et 212-29

- 06/01 - 04/07
- 24/01 - 22/07
- 11/02 - 09/08
- 29/02 - 27/08
- 18/03 - 14/09
- 05/04 - 02/10
- 23/04 - 07/11
- 11/05 - 25/11
- 29/05 - 13/12
- 16/06 - 31/12

Exemples de satellites civils d'observation de la Terre

Nom	Producteur	Date de lancement	Altitude	Durée de vie	Répétitivité	Capteurs (bandes spectrales)	Résolution au sol	Largeur de vue
1 — Satellites géostationnaires météorologiques								
Météosat	ESA (Europe)	11/77	36 000 km	Théoriquement infinie	30 minutes	Radiomètre visible Radiomètre IR moyen et IR thermique	2,5 km 5 km	
GOES (Est et Ouest)	NOAA (USA)	4/77 6/77	36 000 km	.	.	Radiomètre visible Radiomètre IR	1 km 1,5 km	
2 — Satellites héliosynchrones à défilement en activité								
Landsat 3	NASA	3/78	920 km	3 ans	18 jours	Caméra RBV visible + IR proche (3 canaux) Radiomètre MSS visible + IR proche (4 canaux)	80 m/40 m 80 m	180 km
Nimbus 7	NASA	8/78	950 km	3 ans	2 à 3 jours	Radiomètre visible (5 canaux) + IR thermique (coastal zone color scanner) + 7 autres capteurs	800 m	1 000 km
NOAA 5	NOAA		1 500 km	> 4 ans	12 heures	Radiomètre haute résolution (VHRR) visible + IR thermique	900 m	3 000 km
3 — Satellite à micro-ondes ayant cessé d'émettre								
Seasat 1	NASA	6/78	770 km	4 mois (incident)	1,5 jour	Radar à ouverture synthétique (SAR) Altimètre radar (mesure sur trace) Scatteromètre radar Radiomètre visible + IR thermique	25 m sans objet 50 km 3 km/5 km	100 km 2 x 500 km 1 800 km
4 — Satellites héliosynchrones futurs décidés								
Landsat D	NASA	1982	705 km	2 à 3 ans	16 jours	Radiomètre Thematic Mapper : Visible + IR proche (4 canaux) + IR moyen + IR thermique	30 m 40 m 120 m	180 km
Landsat D'	NASA	1983	705 km	2 à 3 ans	16 jours		Radiomètre MSS visible + IR proche (4 canaux)	80 m
SPOT	CNES	1984	820 km	3 ans	26 jours	2 radiomètres visible + IR proche (3 canaux chrom.) (1 canal panchro.)	20 m 10 m	2 x 60 km

ANNEXE II

REALISATION DES TRAITEMENTS ET VISUALISATION DES RESULTATS PREMIERES INTERPRETATIONS - METHODES D'EVALUATION

1. Principes

Le traitement consiste à rechercher les thèmes fixés au départ de l'opération dans l'image ou les images que l'on aura acquis. Comme il a été dit au chapitre 1, on a le choix entre plusieurs méthodes. En fait, les paramètres de choix sont peu nombreux et on peut les schématiser ainsi :

- on ne dispose pas d'un centre de traitement équipé pour la télédétection et les crédits ne permettent pas une sous-traitance ou la passation d'un marché : dans ce cas on sera limité aux traitements photographiques et optiques et à la photo-interprétation, qui sont les traitements les moins chers et qui peuvent donner satisfaction pour la cartographie de reconnaissance, les grands zonages, la cartographie du milieu naturel et des forêts à des échelles de type 1/100 000 à 1/500 000, voire 1/1 000 000.
- on dispose d'un centre de traitement ad hoc : dans ce cas, on se plie à ses contraintes et on prépare les données selon les paramètres des logiciels en usage dans ce centre.
- on a le choix possible entre plusieurs méthodes et plusieurs centres.

Dans les deux derniers cas, on adoptera la démarche suivante :

a) on ne sait rien, ou à peu près, du terrain :

deux voies possibles :

- traitement numérique non supervisé suivi d'une interprétation des résultats grâce aux quelques documents que l'on peut se procurer ou à des contrôles terrain a posteriori ; puis retour au centre de traitement pour éventuelles modifications du traitement.
- apprentissage à partir de l'image et traitement semi-supervisé on examine l'image en équidensité, canal par canal et des compositions colorées, soit sur des films soit à l'écran ; une première interprétation permet de dégager des ensembles radiométriquement homogènes à l'intérieur desquels on bâtitra des modèles pour chaque classe à partir d'un choix raisonné de parcelles d'entraînement effectué à l'écran ou sur des visualisations.

Ces modèles servent ensuite à un traitement supervisé proprement dit.

variante possible : au lieu d'examiner des équidensités faites de façon interactive sur chaque canal on peut procéder :

- soit à une analyse en composantes principales, puis à une interprétation des premières composantes pour définir des classes et faire un traitement supervisé sur ces documents ;
- soit au calcul de ratio ou de "signature", type index de végétation (GVI), index de sol (SVI), interpréter les résultats et construire des modèles si ceux-ci n'ont pas déjà d'emblée donné satisfaction.

b) on connaît explicitement le terrain

on se trouve alors dans de bonnes conditions pour procéder au démarrage d'un traitement supervisé à partir de modèles que l'on va construire sur la base de cette connaissance.

Il est toutefois nécessaire, dans la plupart des cas, de procéder à un zonage préalable du secteur à traiter compte tenu de la non stabilité dans l'espace de certaines signatures due à la variabilité de paramètres tels que sol, sous-sol, densité du couvert, stade végétatif, irrigation. On construira après, zone par zone, des modèles de signatures par classe que l'on recherche puis on effectuera le traitement supervisé proprement dit.

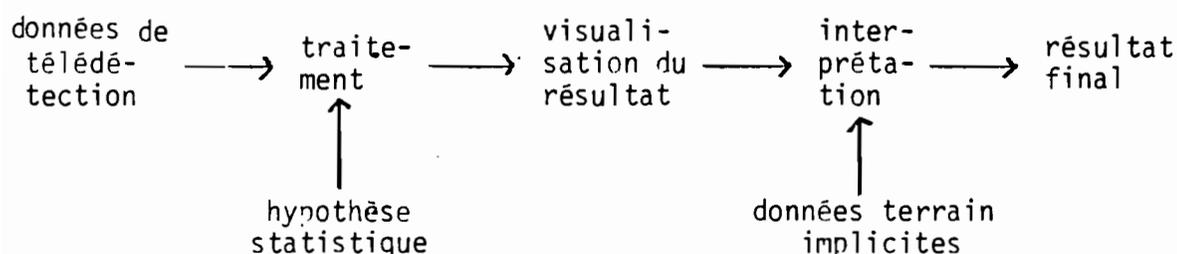
Deux situations se présentent :

- on ne cherche qu'un seul, ou deux thèmes : l'apprentissage du traitement ne concernera que ces thèmes et on pourra l'affiner dans de bonnes conditions en cherchant tous les pixels et rien que les pixels du thème ;

on cherche à classer tous les pixels de l'image. Dans ce cas, il faudra se donner des règles de décision d'affectation des pixels "impurs" à telle ou telle classe. On aura intérêt à disposer de données terrain en nombre élevé et bien réparties dans l'espace.

2. Les traitements "non supervisés" (ou classification)

Ils peuvent se représenter par le schéma suivant :



Ils ne nécessitent pas de données terrain au départ. L'algorithme et l'hypothèse statistique utilisés vont remplacer tout ensemble de points ayant des radiomètres "proches" les uns des autres par une seule valeur. En partant d'une image qui peut avoir autant de valeurs dans l'espace des canaux que de points, on obtient une classification de ceux-ci en un petit nombre de valeurs (5 à 15 en général) que l'on se fixe au départ. Il reste à interpréter la visualisation du résultat, après avoir affecté à chaque valeur obtenue, ou classe, un symbole graphique, ou une couleur ; c'est-à-dire à donner un contenu thématique à chaque classe, grâce aux données terrain implicites.

Plus le nombre de classes demandé au départ est grand,

- plus les chances d'adéquation de l'hypothèse statistique sont grandes,
- plus l'interprétation est difficile,
- plus le coût augmente.

Un des algorithmes les plus utilisés est celui des nuées dynamiques sous hypothèse gaussienne, avec utilisation d'une distance à choisir parmi les plus classiques (χ^2 , Euclide, Sebestien).

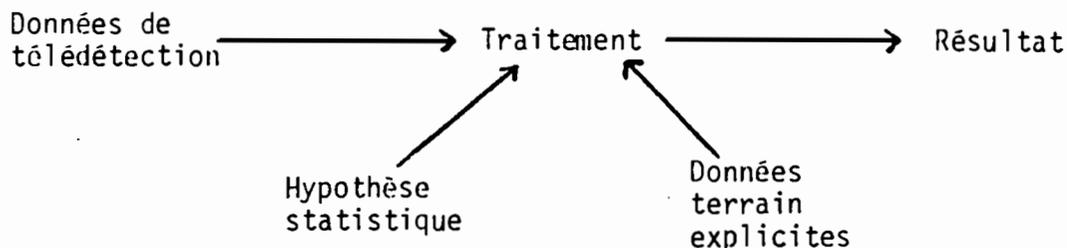
Ce type de traitement est informatiquement opérationnel en plusieurs centres (CNES, BRGM, IGN, IFP, OPIT, CESR,...). Il nécessite un temps machine élevé, qui, pour un même nombre de pixels, varie de 1 à 10 : 1 sur CDC 7 600, 5 sur IBM 370-168, 10 sur IRIS 80.

Son intérêt thématique est certain mais il reste trop d'incertitudes à lever entre la nomenclature que l'on veut obtenir et le choix du nombre de classes que l'on paramètre au départ ; comme on ne peut se permettre plusieurs essais en raison des coûts, cette méthode est finalement peu utilisée.

D'autres traitements non supervisés existent, de type analyse hiérarchique, analyse des correspondances, CLAMS (développé par Ecole des Mines-CNES). Ils offrent l'avantage de minimiser l'intervention de l'homme et de mettre en évidence automatiquement des regroupements radiométriques dans l'image. Par contre, ils sont en général lourds ; exigent des temps machine élevés et ils sont donc coûteux. Leur manque de souplesse est le revers de leur facilité de mise en oeuvre : s'il suffit de donner au départ 3 paramètres au maximum (nombre de classes souhaitées, nombre d'itération, distance mathématique), on s'aperçoit au résultat qu'il faut regrouper des classes ou que l'on n'en a pas demandé assez. Ces traitements sont en définitive peu utilisés pour la classification elle-même ; on s'en sert parfois pour étudier la structure des données.

3 - Les traitements "supervisés" (ou classement)

Ils peuvent se schématiser ainsi :



Tout d'abord on utilise des données-terrain explicites et une hypothèse statistique pour calibrer la relation mesures faites-informations désirées, soit la relation données de télédétection-postes de la nomenclature que l'on recherche. C'est une phase dite d'entraînement, ou d'initialisation qui utilise les données-terrain que l'on a relevé sur des parcelles-test d'initialisation.

Puis on analyse tous les points de l'image que l'on traite pour les affecter à telle ou telle classe en fonction de leur proximité à tel ou tel modèle établi et d'un seuil.

Cette méthode conduit donc à une partition de l'ensemble des points de l'image selon les postes de nomenclature que l'on a initialisé, avec une classe "rejet" qui comprend les points non affectés : soit que l'on ait retenu des seuils trop exigeants, soit que l'on n'ait pas initialisé toutes les classes possibles au sol.

Par contre, si les seuils ne sont pas assez serrés, certaines classes pourront confondre des objets différents au sol.

En effet, la relation biunivoque mesure-objet n'est pas toujours aisée à déterminer et de plus, à certaines époques de l'année, des objets différents peuvent avoir le même aspect physique et la même signature spectrale (prairie-céréales au printemps par exemple).

Les paramètres à déterminer avant le traitement sont donc de deux types :

- nombre et qualité des données terrain explicites servant à bâtir les modèles de chaque poste
- adoption de l'hypothèse statistique (en général gaussienne) et de seuils.

Plusieurs pratiques sont actuellement opérationnelles ; elles nécessitent l'interactivité du traitement, c'est-à-dire que l'on puisse intervenir pour changer les seuils ou changer les modèles en cas de non satisfaction au premier essai, après une évaluation rapide.

L'initialisation peut être conduite de différentes manières :

- soit on dispose d'un stock important de parcelles d'initialisation rendant compte de l'hétérogénéité physique des objets que l'on cherche et de leur variabilité spatiale, auquel cas on sera amené à définir un grand nombre de classes au départ, quitte à les regrouper en fin de traitement, et on n'examine pas leur radiométrie ;
- soit on définit les centres de classes possibles par examen de la radiométrie des parcelles-test.

Les algorithmes travaillent ensuite sur divers paramètres selon les systèmes : bornes dans les différents canaux, moyenne, écart-type, matrice de covariance considérée comme unité si la densité de probabilité de chaque classe est considérée comme gaussienne. Après calcul de la densité de probabilité on utilise soit le maximum de vraisemblance, soit une règle Bayésienne.

Avantages des méthodes supervisées : calculs plus rapides et mieux adaptés à ce qu'on cherche.

Inconvénients : la qualité d'un résultat dépend essentiellement de l'initialisation, c'est-à-dire de la définition de bonnes classes et de l'adoption de seuils significatifs. D'autre part, il faut initialiser à chaque traitement d'une nouvelle image.

On a parfois tendance, surtout quand on travaille en interactif, à sélectionner les parcelles les plus pures au point de vue radiométrique, ce qui conduit à limiter les confusions mais à ne retenir que des objets purs et à rejeter la complexité du réel. On aura donc, au résultat, des pixels bien classés dans le thème mais tous les pixels du thème ne seront pas classés dans une classe et on aura de plus une classe rejet importante. Or le but de la télédétection est de classer tous les pixels du thème et rien que les pixels de ce thème.

Cette contradiction entre la recherche de la pureté et le classement de toute la réalité contenue dans une image ne peut être levée que si l'on dispose de ses données-terrain en tenant compte essentiellement du terrain lui-même et de sa variabilité. Cela pose donc le problème du nombre de parcelles à lever pour l'initialisation et de la qualité de l'information terrain sur chaque parcelle qui doit être fonction des principaux paramètres qui influent sur l'interaction rayonnement-matière. C'est pourquoi on voit, dans les annexes 1 et 2, figurer des paramètres tels que humidité du sol, pierrosité de surface, pourcentage de couvert, nature du substrat,...

Pour bien choisir des parcelles d'initialisation, il faut tenir compte :

- de la résolution spatiale : une demi hectare pour Landsat, ce qui conduit à envisager des parcelles d'au moins 9 pixels, soit 4,5 ha, conditions minimales pour que l'on puisse les repérer d'une part, et que leurs pixels se différencient de ceux des parcelles environnantes ;

- de leur emplacement : il faut disperser les parcelles plutôt que de lever des pavés de parcelles contigues, ce qui ne rendrait pas compte de la diversité des situations possibles ;
- de leur contenu : éviter de choisir des parcelles trop hétérogènes mais ne pas se limiter aux parcelles "parfaites" sur le plan de l'homogénéité de la culture ou du couvert, par exemple ; on a tendance à éliminer les pixels de bordure donc à ne pas rendre compte des pixels composites.

Ceci est d'ailleurs un problème plus général lié à la résolution spatiale ; à l'heure actuelle les Landsat ne rendent pas compte de détails d'un paysage complexe (bocages par exemple) mais intègrent des éléments d'un paysage. On peut donc s'attendre à des résultats pas toujours conformes aux nomenclatures posés au départ.

Enfin, il faut disposer d'un nombre suffisant de parcelles. Pour l'instant il n'y a pas de recette ni de formule tendant à indiquer un nombre de parcelles par km² étudié.

Si l'on étudie un seul thème, l'eau libre par exemple, ou une seule culture, on tentera de déterminer, par rapport à la date traitée, les divers types de situations possibles que l'on pense pouvoir discriminer par traitement, quitte à les regrouper plus tard, par exemple : eaux limpides peu profondes, turbides peu profondes, eaux profondes, eutrophisation ; mais selon le stade végétatif, le caractère irrigué ou pas, la famille de sol. Une dizaine de parcelles-test par catégorie ainsi définie est statistiquement largement suffisant.

Si l'on doit classer tous les points, il est nécessaire de disposer, en situation optimale, de cette dizaine de parcelles par poste, voire à en augmenter le nombre en fonction des diverses sous-zones que l'on aura pu introduire avant traitement pour tenir compte de variations régionales. Cela conduit à des enquêtes sol parfois lourdes que l'on peut minimiser en réduisant les distances à parcourir et le nombre de parcelles à un strict minimum : pour une zone-test de 400 km², il faut pouvoir disposer d'une centaine de pixels d'initialisation par poste recherché.

Le traitement supervisé impose donc un certain savoir-faire qui doit cumuler celui de l'opérateur du traitement lui-même et celui du thématique ou de l'utilisateur qui sait ce qu'il cherche (1).

4 - Visualisation des résultats - Premières interprétations

On a déjà évoqué les procédés de visualisation des images. Après réalisation du traitement, deux produits sont disponibles :

- le premier est un tableau statistique des pixels par classes de traitement et les éléments caractéristiques de définition de ces classes. Le nombre de pixels par classes donne la superficie occupée par chaque poste de nomenclature et les pourcentages par rapport à la superficie totale traitée ;

(1) A titre d'exemple, le classement supervisé gaussien de 100 000 pixels (500 km²) en 13 classes dure 85 secondes sur CDC 7600 ; en 8 classes 70 secondes sur IBM 370-168.

- le résultat, fixé sur une bande magnétique ou disque, se présente en fait comme la succession des pixels avec leurs références ligne-colonne où l'on a remplacé leur radiométrie dans les différents canaux par un numéro arbitraire de classement. On a donc la possibilité de le visualiser en affectant à chaque numéro un symbole graphique, un niveau de gris, ou une couleur.

Le système idéal est celui qui permet de faire une première interprétation du résultat afin de décider si on arrête le traitement ou si on le recommence en le modifiant. Soit on opère ce travail sur une visu imprimante, soit sur la sortie à l'écran en codant en couleur les classes. On a intérêt alors à pouvoir effectuer des comparaisons avec l'image brute d'un canal ou une composition colorée en la regardant en même temps ou alternativement que chaque classe prise séparément.

L'écran couleur est donc un élément puissant d'appréciation du traitement.

Son inconvénient est de ne pas laisser de traces. Il faut donc soit photographier l'écran soit sortir en même temps une visu ordinaire avec une imprimante classique ou électrostatique. Le principal problème du résultat intermédiaire est en fait celui de sa duplication car on ne peut envisager de multigraphier un document qui ne donnera pas forcément satisfaction.

5 - Définition des méthodes d'évaluation des résultats

Deux phases d'évaluation sont à distinguer :

- une évaluation intervenant en cours de traitement afin d'améliorer celui-ci
- une évaluation en fin de traitement, qui a pour but de donner d'une part une précision objective du résultat obtenu par rapport à la nomenclature que l'on s'est fixé du départ et d'autre part d'estimer les apports supplémentaires de la télédétection

Dans le premier cas, on effectue des évaluations successives qui reposent sur des interprétations rapides au fur et à mesure du déroulement des diverses étapes de traitement sur la base de la connaissance que l'on a du terrain.

Cette connaissance doit être à la fois implicite et explicite :

- implicite : l'opérateur intègre ce qu'il connaît du terrain sous ses divers aspects : sol, sous-sol, végétation spontanée, cultures, hydromorphie, bâti, etc..., appuyé par une série de documents complémentaires, s'il en existe : cartes topographiques, cartes thématiques, photographies aériennes classiques, visualisations ou compositions colorées interprétées venant en soutien du traitement numérique ;

- explicite : l'opérateur dispose de connaissances plus précises sur un certain nombre de parcelles levées à cet effet, qu'il retrouve dans ses résultats de traitement et dont il vérifie, à l'oeil, le bon classement.

Dans le second cas, plusieurs méthodes sont possibles et sont décrites ci-dessus. Elles ne sont pas exclusives les unes des autres et leur choix repose souvent sur ce qui est disponible.

C'est à ce niveau qu'intervient, outre la vérification que ce qu'on a initié se trouve bien classé, la connaissance implicite du terrain ; en particulier, c'est sur des visualisations que l'on fait intervenir la répartition spatiale des objets, puisque l'utilisation de la texture dans la phase de traitement numérique n'est pas encore introduite. Les techniques de photo-interprétation des résultats permettent donc de se rendre compte de la qualité de la localisation des résultats attendus.

- 1) une première méthode consiste à comparer les résultats statistiques obtenus par traitement à des statistiques établies sur le même espace par des sources classiques. Plusieurs obstacles se heurtent à l'application systématique de cette méthode :
 - les nomenclatures résultant des méthodes classiques ne sont généralement pas adéquates à celles obtenues par traitements, même si on a orienté ces derniers vers l'obtention de celles-là ;
 - les dates ne sont pas forcément comparables et il n'est pas toujours aisé de trouver une concordance entre date d'acquisition de données de télédétection et date d'établissement de statistiques classiques ;
 - les espaces ne sont pas non plus toujours équivalents ; les statistiques classiques sont obtenues en général sur des périmètres administratifs (région, département, bassin versant) qui ne correspondent guère à la géométrie des images de télédétection.
La comparaison ne peut être valablement effectuée que si on a traité de tels périmètres dans leur ensemble.
- 2) une seconde méthode consiste à comparer visuellement le résultat à des documents cartographiques classiques ou des photos aériennes.

Les mêmes remarques sont à effectuer concernant l'adéquation des nomenclatures et des dates pour les diverses cartes.

En ce qui concerne la photographie aérienne, ce peut-être un outil de comparaison efficace si on dispose d'une bonne concordance de date entre la mission aérienne et la prise de données télédétection et si l'on effectue une photo-interprétation spécifique à la comparaison que l'on veut faire.

Cette méthode permet une bonne estimation de la qualité de la localisation géographique des résultats obtenus.

- 3) une troisième méthode consiste à comparer les résultats avec d'autres enquêtes statistiques comme l'enquête TERUTI du Ministère de l'Agriculture français. Cela pose le problème du calage des grilles de points TERUTI sur les documents de télé-détection, celui des dates et des nomenclatures déjà évoqué et celui de la validité de la représentation spatiale du point TERUTI.
- 4) une quatrième méthode consiste à comparer les résultats avec des banques de données existantes pour peu que l'on ait effectué le raccordement automatique entre la géométrie Landsat et celle de la banque de données et le raccord des nomenclatures.
- 5) une cinquième méthode consiste à faire des comptages sur une visualisation des résultats selon une grille de points et à les comparer à des comptages effectués dans des conditions semblables (même maillage) sur des photographies aériennes compatibles au point de vue des dates.
- 6) toutes ces méthodes sont manuelles et l'OPIT a développé une méthode spécifique, informatisée, qui permet des comparaisons automatiques de résultats de traitement grâce au logiciel GICS.

ANNEXE III - ELEMENTS DE COUTS (01/01/80)

1 - DONNEES LANDSAT - MSS

- EARTHNET : une bande Landsat 1 600 bpi - 9 pistes = 1 500 F HT
- SIOUX FALLS : une bande Landsat 1 600 bpi - 9 pistes = 200 \$ US
- EARTHNET : Film négatif N et B 1/1 000 000 = 80 F/canal
- SIOUX FALLS : Film négatif N et B 1/1 000 000 = 10 \$ /canal

2 - TRAITEMENTS PHOTOGRAPHIQUES

- tirages et agrandissement des films
- fabrication de composition colorée
- amélioration de l'image

variable selon les labo photo et les centres de traitements

Ordre de grandeur :

- un agrandissement d'un canal sur la scène entière
au 1/500 000 (format 50 x 50 cm) = entre 80 et 100 F
- un agrandissement d'un canal sur la scène entière
au 1/250 000 (format 90 x 90) = entre 100 et 150 F
- composition colorée : prix variant selon les
procédés et les supports (film ou papier)
 - . pour une scène au 1/1 000 000 = entre 50 et 500 F
 - . pour une scène au 1/500 000 (GDTA)(sur papier) = 740 F la première
120 F par tirage
supplémentaire
- jeu de 3 films tramés au 1/250 000 avec
tirage chromalin = 4 800 F
(GDTA) par exemplaire supplémentaire = 840 F

3 - TRAITEMENTS NUMERIQUES

- utilisation d'écrans couleur interactif
pour manipulation d'images et traitements
simples : au GDTA = environ 1 000 HT/heure
(soit à l'IGN-Saint-Mandé (Système TRIAS)
{ soit à l'IFP-Rueil (Système MATRA 500)
(soit au CNES-Toulouse (système TRIM-Alcatel)
soit à l'Ecole des Mines-Sophia Antipolis (TRIM) : prix sur devis
soit à l'ORSTOM-Bondy (Système Numelec-Pericolor): prix sur devis
soit à l'INRA-Versailles (Pericolor) : prix sur devis
(liste non exhaustive)

- heure de traitement numérique :
variable selon les systèmes

Actuellement certains centres travaillent avec des terminaux branchés sur des ordinateurs puissants ou à l'aide de calculateurs moyens ou mini.

Exemples :

- le CNES et l'IFP disposent de CDC 7 600 (et CII 10070 pour le CNES)
- le CIRCE d'IBM - 370-168 et Amdhal 470 V7 (ENS-EPHE)
- l'administration d'IRIS 80
- l'IGN et l'IFP de Solar 16/65
- l'ORSTOM de Mini-6
- l'Ecole des Mines de H-P 21MX

La facturation de l'heure de traitement (à capacité variable selon le calculateur) varie selon le type d'établissement et la nature du travail (recherche-production).

4 - COUT D'UNE OPERATION DE TELEDETECTION

Statistique et cartographie de l'utilisation du sol du département de l'Indre et Loire en 1979

- achat deux bandes (mai et septembre 1979)		3.000 F
- correction géométrique des deux scènes, mise en projection Lambert, intégration des limites administratives et des parcelles test définies par leur coordonnées Lambert		
selon tarif EARTHNET-GDTA (incluant le coût d'opérateur, coût de recherche des amers, le temps calcul)		29.000 F
- heures interactives de système TRIAS pour la préparation de la classification supervisée interactive :	40 h à 1 200 F	48.000 F
- heures de calcul sur SOLAR-16	20 h à 200 F	4.000 F
- sortie SEMIO au 1/100 000 d'une composition colorée et du résultat de classification avec essai couleur chromalin	2 x 5 000	10.000 F
- travaux d'édition :		
. dossier pour habillage	2 800)	
. impression	3 500)	5.300 F

Total données télédétection-traitements-édition :

. données	=	3.000 F
. corrections	=	29.000 F
. traitement	=	52.000 F
. sorties	=	15.300 F

- travaux terrain : levé-repérage-informatisation de 360 parcelles		10.000 F
--------------------------------------------------------------------	--	----------

Coût total environ (pour 6 200Km²) 110.000 F HT
(incluant une recherche méthodologique. Le coût de traitement devrait pouvoir être abaissé)

- conduite de l'opération : un homme sur cinq mois.

5 - ELEMENTS DE COÛTS - ACQUISITION DES DONNEES

(Sources : NASA, Sénat ou Congrès US, CNES)

ARIANE	- Coût total à achèvement du programme (Mars 80)	4 480 MF (francs 78)
	- Coût d'un lancement (avant mi-mai 86) :	
	1 satellite	175 MF
	2 satellites jumelés	95 MF
THOR-DELTA	- Coût d'un lancement :	
	version 3910 : 22 M\$	88 MF
	version 3920 : 30 M\$	120 MF
ATLAS-CENTAUR	- Coût d'un lancement	: 40 M\$ 160 MF
LANDSAT 1 à 3	- Développement du programme	: 251 M\$ 1 004 MF
	dont Landsat 3 seul (sans lancement) :	47 M\$ 188 MF
LANDSAT D	- Développement du satellite et du système sol, du MSS et du Thematic Mapper et d'un Landsat D'	: 350 M\$ 1 400 MF
SPOT	- Développement du programme, lancement, station de contrôle, station de réception, centre de rectification des images spatiales	1 200 MF (78)
	Coût d'installation d'une station de réception Landsat	: 4 à 7 M\$ 20 à 35 MF
	Coût d'exploitation annuel	: 1 à 2 M\$ 4 à 8 MF
	Redevance annuelle à NASA pour station de réception	: 0,2 M\$ 0,8 MF
	Station de réception Landsat D/SPOT avec prétraitement	30 à 50 MF
	Installation d'un système de traitement autonome (avec ordinateur moyen)	1 à 2 MF
	Mini-système de traitement	0,2 MF

ANNEXE IV - LISTE DES PRINCIPAUX CENTRES DE COMPETENCES EQUIPES POUR LES
TRAITEMENTS DE DONNEES ET L'EDITION DE RESULTATS

1 - Membres du GDTA

- . CNES - Toulouse
- . IGN - Saint Mandé
- . IFP - Reuil Malmaison

2 - Laboratoires de recherches du CNRS, des Universités ou de grandes Ecoles

- . CESR - Toulouse
- . CTAMN - Sophia Antipolis
- . ENS/EPHE - Montrouge
- . CEPE - Montpellier
- . Station d'Etudes en Baie de Somme (Université d'Amiens)

3 - Organismes publics de recherche

- . INRA - Laboratoires de Versailles - Bordeaux - Avignon - Montpellier
- . ORSTOM - Bondy

4 - Divers autres

- . CETE - Rouen
- . CETE - Aix-en-Provence
- . CGG
- . MATRA

Laboratoires compétents en matière d'interprétation de résultats

- . CERCG et Paris VII
- . EHESS - Paris-Marseille
- . CEGET - Bordeaux
- . INA - Pédologie-Botanique
- . CERGA - Montpellier
- . CGA - Strasbourg

Laboratoires de recherches disposant de moyens de traitement

- . LAEP
- . LMD
- . LOA

de LACIE au programme de six ans :

EXPÉRIENCE ET PROJETS DE L'USDA
EN TÉLÉDÉTECTION SPATIALE

ANNEXE V - LACIE

(extrait de :
"Les Cahiers de
l'OPIT N°2)

par Pierre Rimkine

Adjoint au chef du Service central des études et enquêtes statistiques
Ministère de l'Agriculture

Parmi les nombreux contacts de la mission OPIT de mars-avril 1979 en Amérique, ceux que nous avons pris avec les utilisateurs du ministère de l'Agriculture des États-Unis (USDA) méritent une mention spéciale; d'une part en raison de l'état relativement développé des expériences et des projets, lancés dès les premières missions Landsat en 1972, dans un domaine de compétence considéré comme favorable à l'application; d'autre part, parce que nos interlocuteurs ont cherché à nous transmettre les enseignements qu'ils ont tirés, en matière de méthode et d'organisation, de l'expérience LACIE (1), qui les a beaucoup marqués.

On tentera surtout ici, à côté d'une description des projets, de donner un reflet de la démarche critique et constructive qui a conduit de LACIE au projet pré-opérationnel CCA (2) et au programme 1980-1985 de recherche des applications à l'agriculture de la technologie aérospatiale, une initiative du ministre de l'Agriculture.

Cinq services de l'USDA sont principalement intéressés par l'utilisation de la télédétection spatiale :

- Le Foreign Agriculture Service (FAS).
- L'Economics, Statistics and Coopera-tive Service (ESCS).
- Le Soil Conservation Service (SCS).
- Le Forest Service (FS).
- Le Science and Education Administration/Agricultural Research (SEAAR).

A Washington, nous avons rencontré les responsables de la section statistiques de l'ESCS et un Comité de coordination technique du programme 1980-1985 réunissant des représentants de l'ESCS, du SCS, du FS et du World Food and Agricultural Outlook and situation Board (WFAOBS); à Houston, des représentants de la NASA, du FAS et de l'ESCS travaillant notamment sur le projet CCA auprès de la Division d'Observation Terrestre de la NASA. Enfin, nous emprunterons largement à un rapport présenté le 15 mars 1979 par l'USDA au sous-Comité du Congrès pour la science, la technologie et l'espace.

1) LACIE : Large area crop inventory experi-ment : Expérience d'inventaire des récoltes de grande surface).

2) CCA : Crop condition assessment, suivi de l'état des cultures.

1. Le projet LACIE

11. Objectifs, méthodes et coûts

Un symposium réuni à Houston en octobre 1978 a tiré les conclusions de cette expérience (3) lancée en 1974 par la NASA conjointement, au moins en théorie, avec l'USDA et la NOAA.

Il s'agissait avant tout pour la NASA d'un projet de démonstration de la nouvelle technologie dans le domaine sensible (4) de la prévision de la récolte de blé à l'échelle mondiale (en fait, dès le départ, on limitait le champ aux principaux pays producteurs : USA, Canada, URSS, Chine, Inde, Australie, Argentine, Brésil); cela dans des conditions fixées de délais (15 jours après la date d'acquisition des données) et de précision (estimation, au moment de la récolte, à moins de 10 % d'erreur, neuf ans sur dix, au niveau de chaque pays observé).

La méthodologie comportait quatre éléments :

a) L'estimation des surfaces emblavées.

Une première stratification des aires observées en zones administratives (pour y raccorder ultérieurement des estimations de rendement de sources classiques) était complétée par une sous-stratification en zones homogènes par leur densité agricole. Dans chacune de ces sous-strates, on tirait aléatoirement un nombre d'« area segments » (segments aréolaires) fonction de la densité agricole. Chacun de ces segments représentant 9 km × 11 km environ (23 000 pixels); sur chaque segment, on sélectionnait au hasard 60 pixels. Des photos interprètes analysaient alors ces pixels dans une série de scènes Landsat en compositions colorées (5) à l'aide de données auxiliaires (informations histori-

3) Les documents de ce symposium ont été publiés.

4) Il conditionne la politique d'achat et de vente des négociants, les décisions gouvernementales en matière de stockage, de prix de soutien, de gel des terres, etc. Les prévisions du FAS reposaient avant LACIE sur les rapports trimestriels des attachés agricoles et l'exploitation des rapports officiels des pays.

5) La classification expérimentée au Kansas repose sur une séquence d'images distantes de 18 jours pendant tout le cycle de végétation, sur un modèle des stades de végétation du blé et des courbes de signature correspondant à ces stades

ques, calendrier des récoltes) mais sans aucune vérité terrain (6). Ils déterminaient le classement de ces pixels en : céréales à petits grains (céréales hormis maïs) ou autre chose.

Il faut signaler que le temps de photo-interprétation d'un segment est tombé de 12 heures en 1975 à 3 heures, grâce à la mise au point de la « procédure I », et le temps d'exploitation machine correspondant de quelques heures à quelques minutes entre 75 et 78.

Les pixels classés en céréales à petits grains servaient alors de points de référence à une classification par la méthode de la vraisemblance maximale du segment échantillon en céréales à petits grains ou non. Cette classification était alors extrapolée à l'ensemble de la strate. Le passage des surfaces en petits grains aux surfaces en blé faisant intervenir des clés de répartition tirées des statistiques classiques.

b) La détermination des rendements.

Elle reposait sur des données historiques : au niveau de zones de prévision (33 en URSS, par exemple) on réduisait les données sur la formule :

Rendement = rendement de l'année précédente + ajustement de progrès technique + effets de la météorologie sur le rendement (température et pluies en moyennes mensuelles sur la durée de la campagne).

c) L'estimation de la production.

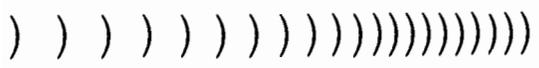
Elle résultait de l'agrégation des produits : surface en blé d'une strate × rendement sur la zone correspondante.

d) L'évaluation de la précision.

Elle résultait de la comparaison des estimations LACIE aux valeurs mesurées dans des zones tests et permettait de vérifier la satisfaction des conditions de précision imposées au départ.

Les moyens affectés à LACIE ont été considérables; son budget total a été de plus de 85 millions de dollars 1978, non compris les salaires de 75 employés des équipes Apollo

6) La classification n'était pas supervisée, c'est-à-dire que la vérité terrain n'était utilisée que pour vérifier a posteriori les résultats (cela seulement aux USA) et non pour classer les données. La NASA s'était en effet donné cette contrainte, liée à l'absence de mesures directes au sol dans les pays étrangers non accessibles.



de Lacie au programme de six ans

(suite)

réaffectés à plein temps à l'opération. Il a été pris en charge pour environ 72 millions de dollars par la NASA, 10 millions par l'USDA et 3 millions par la NOAA.

La part NASA comporte essentiellement le personnel de sous-traitance dans les Centres NASA (225 personnes) (7), les heures d'ordinateur et les contrats d'étude avec de nombreuses universités et compagnies privées pour des recherches sur les problèmes qui se posaient au cours de l'expérience; 30 personnes de l'USDA et 10 personnes de la NOAA ont participé à l'opération. Il faut préciser que la NASA avait comme responsabilité principale la fourniture des données Landsat et le développement des méthodes d'identification et de mesure des surfaces à partir de l'imagerie Landsat. Les données météorologiques nécessaires étaient apportées par la NOAA, qui développait et testait aussi des méthodes d'estimation des rendements de blé fondées sur des données climatiques actuelles et historiques. Le ministère de l'Agriculture fournissait les données agricoles nécessaires pour alimenter la recherche sur la détermination des surfaces et des rendements fournis par les deux autres organisations et calculait, à partir des surfaces et des rendements, la production de blé.

12. Bilan par l'USDA

Selon les termes mêmes du rapport de l'USDA au Congrès en date du 15 avril 1979, le projet « a montré que des estimations de récolte au niveau des pays pouvaient être faites sur une base sélective et limitée. Il a développé une équipe expérimentée. Plus encore, il a permis une meilleure compréhension de la complexité de la prévision et de l'estimation des récoltes. LACIE a révélé le besoin de l'appui accru d'une recherche fondamentale et la possibilité d'appliquer une technologie appropriée qui avait été testée convenablement et était relativement bon marché » (8).

LACIE a donc fourni le tronc pour les deux principales branches du programme de télédétection spatiale du Ministère : l'extension de la recherche et développement et le CCA.

Il reste que l'USDA estime que cette expérience n'a pas rempli ses objectifs initiaux en matière de champ géographique (trois pays couverts : USA, Canada, URSS), de délais (jamais moins d'un mois et demi) et de précision. A cet égard, les seuls succès directs sont l'estimation du blé d'hiver aux États-Unis et en URSS (et encore, en 1977, après correction des estimations initiales entachées d'erreurs de programme).

7) Appartenant notamment à Lockheed Electronics company.

8) L'USDA a estimé en 1977 qu'en phase opérationnelle, LACIE aurait nécessité un investissement en matériel et logiciels de 10 millions de dollars, 60 personnes, et 4 millions de fonctionnement par an.

Les estimations de surface du blé de printemps, au nord des États-Unis et au Canada, se sont heurtées à des problèmes de résolution spatiale (assolement biennal blé-jachère, en bandes étroites de moins de 80 m de large); de même pour les petits champs de Chine.

Par ailleurs, il semble que les modèles simples de rendement, par régression sur série chronologique, ont tendance à mal prendre en compte les conditions météorologiques exceptionnelles, celles-là mêmes qui justifient le plus l'intérêt d'une prévision précise, les récoltes anormales étant celles qui pèsent le plus sur les prix mondiaux.

Dès 1977, pour l'URSS (printemps exceptionnellement chaud et sec), des améliorations expérimentales de méthodes, incluant notamment dans le modèle des rendements les déficits mensuels entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle, ont permis d'améliorer nettement les résultats de la prévision.

Sur l'ensemble de ces points, les méthodes semblent perfectibles et tester les améliorations possibles était précisément un objectif de LACIE.

Certains griefs de l'USDA, qui ont d'ailleurs fortement orienté les options actuelles, sont plus fondamentaux et touchent à la prééminence excessive de la NASA dans la définition et la conduite de l'opération. On peut énumérer comme suit les points de contestation principaux, tels que nous avons pu les percevoir :

- Le caractère de démonstration voulu pour cette opération (en schématisant un peu, on pourrait dire le caractère « publicitaire ») a conduit la NASA à :
 - limiter le problème posé à l'estimation d'une production (le blé) sur huit pays (en définitive trois), alors que l'USDA est intéressé par une dizaine de récoltes sur une cinquantaine de pays, principalement en année exceptionnelle.
 - promettre a priori plus qu'elle ne pouvait donner (« overselling »). L'USDA s'est senti dans cette expérience « poussé par la technique », comme si les besoins de ses missions et programmes devaient s'adapter à la nouvelle source d'information plutôt que l'inverse. Il souhaite rétablir l'ordre des choses, ses missions et programmes « tirant maintenant la technologie ».
 - La constitution de l'équipe NASA autour d'un noyau de spécialistes de l'analyse des données issus des équipes Apollo, sans les équilibrer suffisamment par des thématiciens

(physiologistes, agronomes ou personnels connaissant les systèmes classiques de prévision de récolte) a eu, en matière de méthodologie pour effet de :

- court-circuiter une phase préalable de classification supervisée dans les pays où elle était possible, comme les États-Unis ou le Canada, riches en vérité terrain grâce aux enquêtes en place.
- négliger l'existence sur les États-Unis d'un système classique de prévision qu'il s'agirait plutôt d'incorporer en améliorant son efficacité, grâce à des techniques de « multi-stage sampling », sondage à plusieurs niveaux.
- bâtir a priori un système trop monolithique et mécaniste, insuffisamment modulaire. Il a conduit à une évolution permanente et mal programmée au départ, des méthodes pour les adapter à des situations concrètes très diverses. Ce système cadrait mal avec une politique d'investissements échelonnés et avec d'inévitables variations de la demande.

2. Le « crop condition assessment »

Dès 1977, avant donc l'achèvement de LACIE, l'USDA a implanté à Houston, Texas un nouveau système « préopérationnel », baptisé « Crop condition assessment » (CCA) : suivi de l'état des cultures.

Ce projet demandé par le FAS et géré par sa Crop condition assessment Division (CCAD) est l'avatar le plus direct de l'expérience LACIE. Il diffère d'elle, sur le plan des objectifs :

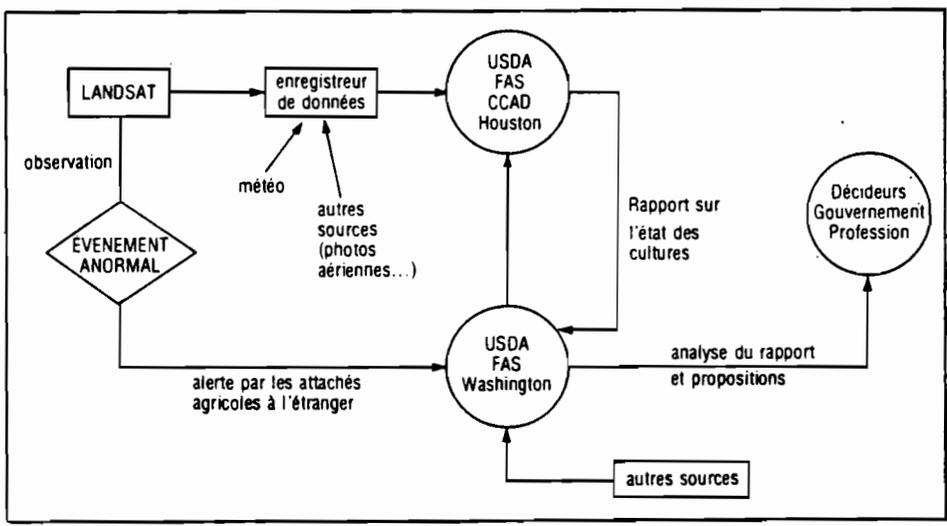
- par sa couverture géographique : le monde entier sauf les USA (9),
- par son champ en matière de produits agricoles : tous,
- par sa philosophie de gestion par exception : il s'agit seulement de produire des données sur les événements anormaux (inondation, sécheresse, gel, etc.) susceptibles d'affecter la qualité ou le rendement des récoltes (exemple : café au Brésil, etc.).

La nouvelle source est intégrée avec les autres sources d'information selon le schéma ci-dessous.

L'application a trois composantes :

- acquisition de données
- base de données principales (master data set) et secondaires (ancillary data set)

9) Mais il s'attache principalement aux zones de grand risque potentiel et aux zones agricoles importantes pour le commerce mondial. L'Europe Occidentale ne fait pas partie de ces zones, ce qui n'empêcherait pas de la couvrir en cas de conditions météorologiques ou de marché exceptionnelles.



— analyse

Pour la base de données principales, on divise les pays étudiés en carrés (cells) de 45 km de côté environ, au niveau desquels on enregistre les données sur :

- l'utilisation du territoire
- les cultures
- le climat
- la rotation des cultures
- les sols (dans les quadrants de 22.5 km de côté)
- les données météo courantes
- les frontières administratives
- les statistiques agricoles en série historique.

La base de données secondaires comprend par culture, région, année moyenne et année spécifique :

- les données Landsat (scanner multi-spectral)
- le modèle de rendement
- le calendrier des stades des cultures
- l'application à un sondage statistique
- l'agrégation statistique.

Ces bases de données géographiques à l'échelle mondiale sont conçues comme un cadre à remplir et à mettre à jour, non pas exhaustivement et partout dès le départ, mais progressivement quand se produit un événement anormal dans une région, sur une culture. Ainsi pourront-elles s'améliorer et s'enrichir progressivement. L'USDA insiste sur le fait qu'il s'agit d'un projet de longue haleine et rappelle que le système d'enquêtes statistiques de juin et décembre a mis 19 ans pour être en place sur tous les États-Unis.

Le projet utilise de nombreux éléments de la technologie testés dans LACIE : le modèle de calendrier des récoltes, les modèles de rendement, certaines méthodes d'analyse des données comme la « procédure I ».

Il ne dépend plus, comme LACIE, de la photo interprétation. Il est supervisé : on ne peut se passer de la réalité terrain dans la classification.

L'analyse des données Landsat peut être effectuée soit de manière digitale, soit de manière visuelle : dans ce dernier cas, le processus peut consister par exemple à comparer l'état de la végétation naturelle dans des zones proches de cours d'eau et des zones qui en sont plus éloignées (selon l'époque, une différence trop grande peut être signe de sécheresse...).

En 1979, le suivi se concentre sur la récolte de blé soviétique, car les données Landsat ne sont pas encore disponibles dans des délais rapides. En admettant que des négociations aboutissent avec la NASA pour livrer en temps utile les données Landsat au ministère de l'Agriculture, on projette que l'activité du suivi « de routine » de la condition des cultures pourra être étendue en 1980 à d'autres récoltes et pays.

L'activité pendant la campagne 1979 se centre sur un échantillon aléatoire de 300 segments de 9 km sur 11 dans les régions clés de production de blé de l'URSS. Ces segments sont analysés avec les données météo courantes pour produire une estimation de l'état des cultures, principalement qualitative, en tant que de besoin pendant la saison de végétation 1979. La CCAD met aussi à jour en 1979 la base de référence historique sur ordinateur pour l'URSS et les autres pays et développe la capacité de traiter et d'analyser des

données Landsat d'une image complète (full frame).

L'apprentissage du personnel USDA pendant l'expérience LACIE est aussi un transfert très important à partir de LACIE. 27 agents à plein temps, tous membres de l'USDA, sont employés par la CCAD à Houston Texas dans les locaux du Johnson space center de la NASA. Parmi eux, 10 informaticiens et 11 analystes thématiques. Mais l'USDA attache beaucoup d'importance au petit groupe de liaison maintenu dans ses bureaux de Washington. Il permet grâce à de très nombreux déplacements et contacts téléphoniques, d'éviter la « marginalisation » de cette équipe par rapport à l'USDA.

Les moyens financiers de CCA sont inclus dans le budget du programme 1980-85 qu'on évoquera plus loin.

3. Les autres activités de télédétection spatiale de l'USDA en 1979

En dehors du projet préopérationnel CCA, en 1979, les projets de recherche et développement en cours étaient, selon le rapport déjà cité du 15 mars 1979, les suivants :

31. Service de l'Économie, de la Statistique et des Coopératives

Trois projets en cours ont pour but :

- D'améliorer les techniques d'estimation des surfaces cultivées (principalement blé, maïs, soja).

- D'élaborer un système efficace d'utilisation des données de télédétection spatiale pour le suivi de l'utilisation du territoire (stratification des utilisations du sol en Californie à partir de l'imagerie Landsat) :

- D'améliorer la précision des estimations des récoltes et du cheptel grâce au développement de plans de sondage aréolaires (incorporation des données Landsat dans les estimations officielles de fin d'année des surfaces en maïs et en soja de l'Iowa). Les données Landsat ont aidé à réduire les erreurs d'échantillonnage. Nos interlocuteurs ont insisté sur l'intérêt de la télédétection spatiale pour étendre les résultats des enquêtes traditionnelles à des niveaux géographiques infra-États (comtés) où elles ne sont pas, par elles mêmes, suffisamment représentatives, sans que cela se traduise par une augmentation de l'échantillon des agriculteurs interviewés.

32. Service des Forêts

Le Service des Forêts poursuit ses efforts sur les NFAP (National Forestry Application Program : programme d'application à la forêt nationale).

Le programme NFA est un projet de démonstration et de transfert de technologie conjoint entre la NASA et le FS. Il fait suite à une expérimentation menée de 1971 à 1976 dans la région forestière n° 8 (sud).

Il prévoit :

- un guide de photo-interprétation pour les inventaires forestiers
- des procédures d'inventaire de ressources du sol
- une étude pilote des bois morts dans les forêts de l'Ouest
- un test pilote sur trois comtés du Texas
- le développement des procédures d'échantillonnage stratifié et des procédures d'évaluation
- le test des procédures dans 10 éco-systèmes différents, sur 9 sites délimités géographiquement

Ce dernier (TES : ten ecosystems study) a pour but d'évaluer les procédures et techniques développées pour appliquer les données Landsat MSS. On choisit (par exemple dans l'écosystème « forêt de la côte pacifique ») un site de 60 km × 60 km qui est travaillé sur photo infra-rouge couleur et on passe une semaine au sol sur chaque site.

Les objectifs du TES sont de :

- déterminer la capacité, après traitement, de Landsat à inventorier les forêts, prairies et eaux continentales,
- donner des informations agrégées au niveau de chaque État,
- identifier les problèmes caractéristiques de chaque écosystème,
- déterminer les saisons favorables
- transférer la technologie.

La nomenclature a un niveau I (forêt, non forêt), et a un niveau II : (résineux, feuillus) et (herbe, autres végétaux, eau).

Au niveau III, on essaie de distinguer les essences.

Le financement NASA a été en 1978 de 300 000 dollars. Le FS dépense peu ; environ 60 000 dollars.

De manière plus générale, la NASA est responsable des activités de recherche et développement dans ce domaine, après l'énoncé des priorités par le Service des Forêts.

33. La recherche agronomique

Elle a quatre grands objectifs pour la recherche en télédétection spatiale :

- alerter rapidement en cas de changements de l'environnement affectant la production et la qualité des produits agricoles ;
- prévoir les effets des modifications sur les rendements ;
- estimer les ressources en eau du sol en liaison avec les modèles et systèmes de prévision de rendements ;
- détecter la pollution et évaluer son impact.

Une partie importante de l'activité de ce service peut être considérée comme une recherche de base, qui servira aux projets des autres services. Par exemple, la détermination des caractéristiques de réflectance et d'émission de la couverture du sol, qui permettra ensuite l'identification par les capteurs, y compris ceux des plates-formes spatiales.

34. Le Service de conservation des sols

Il est engagé dans une recherche sur la délimitation et la cartographie des utilisations du sol. Des efforts sont faits pour suivre les projets liés à l'humidité du sol.

4. Le programme conjoint 1980-1985

Un certain nombre de raisons convergentes ont poussé l'USDA à se lancer dans un programme de six ans, de grande ampleur, d'évaluation des possibilités de la télédétection dans le domaine agricole :

- les 2 500 000 heures d'agriculteurs utilisées chaque année, pour répondre aux enquêtes statistiques agricoles aux États-Unis, sont un plafond que l'on ne peut politiquement pas dépasser ;
- certains résultats de LACIE et certains résultats de la recherche USDA sont assez puissants techniquement ;
- le peu d'information dont on dispose sur les productions étrangères (qui a été l'argument décisif).

Fort de l'expérience LACIE et conscient du besoin de coordination entre les organismes

de Lacie au programme de six ans *(suite)*

fédéraux concernés par la technologie aérospatiale. Le ministère de l'Agriculture s'est rapproché des départements du commerce et de l'Intérieur, de la NASA et de l'AID pour lancer ce programme conjoint. Cette initiative du ministre de l'Agriculture est basée sur l'étroite collaboration des cinq organismes mentionnés. Il inclut, à partir du 1^{er} janvier 1980, tous les domaines de programmation concernés du ministère de l'Agriculture (et notamment les projets en cours en 1979 : CCA et activités de recherche et développement évoquées plus haut).

41. Objectifs et moyens

Le but général de l'initiative est de déterminer, en utilité et en coût, la mesure dans laquelle la technologie de télédétection spatiale peut être **intégrée** dans les systèmes d'information existants ou futurs du ministère pour améliorer l'objectivité, la fiabilité, la rapidité et la précision de l'information nécessaire pour lui permettre de mener à bien ses missions.

Les objectifs spécifiques du programme portent sur le développement, le test et l'évaluation des procédures d'adaptation de la technologie en vue d'améliorer la capacité du ministère à :

- fournir des prévisions plus objectives et fiables sur les récoltes;
- alerter rapidement et suivre les modifications dans les conditions de la production agricole (végétale);
- aider à l'inventaire et à l'estimation des ressources naturelles, notamment la terre et l'eau;
- développer une base d'estimation des coûts pour permettre au ministère d'apprécier la possibilité d'une intégration de la technologie de télédétection spatiale dans les systèmes d'information existants.

Le souci est de réaliser un programme équilibré de recherche en matière de télédétection, en considérant non seulement Landsat, mais aussi la navette spatiale et sa caméra grand format, les satellites d'observation de l'environnement (NOAA) les satellites de communications et les capteurs aéroportés. La recherche et le développement seront combinés avec des tests d'application conduits par les utilisateurs pour déterminer le caractère opérationnel et les procédures à mettre au point pour l'utilisation des données de télédétection spatiale.

L'USDA a établi une liste de 3 000 besoins d'information. La résolution de Landsat fait que 20 à 25 % de ces demandes peuvent être satisfaites. De nombreux besoins nécessitent une résolution de 10 m. A partir de cette enquête, le ministre a défini sept domaines principaux sur lesquels le plan de six ans doit s'appliquer.

- alerte rapide pour les modifications affectant la production et la qualité des ressources renouvelables;
- prévision de la production;
- inventaire des ressources renouvelables;

- classification et mesure des utilisations du sol;
- estimation de la productivité des terres;
- suivi des pratiques de conservation;
- détection de la pollution et évaluation de l'impact.

En raison de la haute priorité assignée aux deux premiers besoins, environ 75 % du travail prévu leur est consacré. Des projets spécifiques orientés vers ces catégories de besoins d'information du ministère ont été établis.

Les services leaders ont été désignés pour chaque projet et les agents affectés.

Pour tirer parti de l'expérience et de la compétence de la NASA, ces projets recevront en particulier l'appui de plusieurs centres NASA dont Johnson space center, Goddard flight space center, Ames research center et Langley research center.

Ceci correspond à une mesure nouvelle de 4,9 millions par rapport à 1979, le reste du financement venant du redéploiement ou de la reprogrammation de ressources existantes. Le financement 1980 se répartit ainsi par activité (millions de dollars) :

Alerte rapide	5,0
Prévision production (dont modèles de rendement)	6,2
Ressources renouvelables	0,6
Utilisation du sol	0,5
Conservation	0,4
Détection de la pollution	0,4
Total	13,1

42. Organisation

Afin de garantir la cohérence de la maîtrise d'œuvre, on a créé une structure de gestion-coordination du programme conjoint. On a défini des relations étroites entre les ministères et organismes participants. Elles seront supervisées par des groupes mixtes rassemblant des agents de chaque organisme. C'est la structure conjointe de gestion-coordination qui définit les relations de travail USDA-NASA dans le cadre de l'initiative. La politique et les buts du programme sont révisés par un « groupe de pilotage inter-ministériel » au niveau du ministre adjoint. Les priorités, la définition du programme et l'allocation des ressources sont sous la responsabilité d'un « Comité de coordination inter-organismes » composé de membres des services et organismes concernés. La gestion technique, la définition des tâches et le contrôle des ressources prennent essentiellement place dans les projets conjoints.

La responsabilité de la coordination des activités de télédétection à l'USDA a été déléguée au directeur de l'Économie, de l'Analyse de la politique et du Budget qui, à son tour, se fait assister par le président du WFAOSB (Conseil sur la situation et la perspective de l'agriculture et de l'alimentation mondiale).

5. Un vade-mecum du futur utilisateur.

Il est naturel que la définition et la conduite d'application de la télédétection spatiale, nouvelle technologie peu « conviviale » s'il en est, créent des tensions entre, d'une part, les spécialistes polarisés par une technique complexe, neuve et parfois exaltante aux divers maillons de la chaîne (définition et gestion des orbites, des plates-formes, des capteurs, de l'émission, de la réception et du prétraitement des images, traitement informatique et statistique des données) et, d'autre part, les utilisateurs conscients de leurs responsabilités en matière d'application réellement utile de la nouvelle technique (souvent par son intégration dans le

système d'information existant) et facilement taxables de conservatisme par les spécialistes.

Nos interlocuteurs de l'USDA nous ont paru très convaincus à la fois, de l'intérêt réel et potentiel de la télédétection spatiale et de la nécessité impérieuse de piloter eux-mêmes les programmes de recherche et d'applications préopérationnelles.

Sans doute, cette détermination et cette conscience sont-elles nées dialectiquement de l'existence même de l'expérience LACIE de la NASA, dont ils contestent en partie l'orientation et le coût. En tout cas, leur aspiration à la conduite des opérations va de pair avec une conscience de la nécessité qui lui est liée d'acquiescer eux-mêmes la technicité en matière de traitement des données, afin de pouvoir dialoguer avec les spécialistes. En jugeant que l'expérience est transmissible, c'est avec conviction, amitié et humour qu'il nous ont légué un petit « vademecum du futur utilisateur de la télédétection spatiale », qu'on trouvera ci-après en conclusion :

a) La télédétection spatiale a autant besoin de la gestion des ressources renouvelables, principale demande de répétitivité des images, que l'inverse.

b) Cette nouvelle source de données doit être conçue pour s'adapter aux besoins des missions et des programmes, et non l'inverse.

c) Les données de la télédétection sont l'une des entrées des systèmes d'information agricole, où elles sont combinées avec d'autres types de données pour assurer une analyse complète.

d) Il ne faut pas s'en laisser imposer par le vocabulaire des spécialistes de l'acquisition et du traitement des données, mais leur demander d'abord de le définir.

e) Il faut rechercher la validité de l'information par delà l'esthétique des présentations.

f) Il faut avant tout déterminer l'information qu'on veut et s'y tenir ferme, quitte à faire évoluer plus tard cette demande face à des possibilités intéressantes de l'offre.

g) Il faut créer rapidement un consortium d'utilisateurs agricoles, pour éviter les gaspillages, résister à des attitudes de vente forcée et faire pression pour qu'on tienne compte des besoins pour la définition des plates-formes et des capteurs, pour la réduction des délais de transmission des données, etc.

h) Il faut définir les programmes de recherche et développement avec calendrier et critères de jugement; ne passer à l'étape suivante que lorsque la précédente est concluante et éviter les gros investissements « coups de tête ». Les freins institutionnels à l'utilisation de l'information sont souvent plus limitatifs que les possibilités technologiques de la produire.

i) Il faut toujours se méfier des estimations de coûts et, encore plus, de bénéfices, faites par les vendeurs.

j) Il faut être convaincu que, même si l'association des gens du terrain n'était pas nécessaire pour un processus de classification supervisée (elle l'est), elle le serait pour qu'ils assument la nouvelle information dans leurs décisions et leurs méthodes de travail.

k) Dans le cas particulier de la France, il ne faut pas tarder; pour préparer l'utilisation éventuelle des données Spot en France à partir de 1984, il faut lancer, dès maintenant, une expérimentation sur données Spot simulées. ■

A N N E X E VI

QUELQUES REALISATIONS DE TELEDETECTION

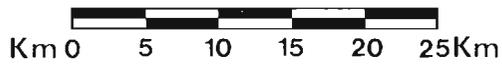
1° E

1° 30

HAUTE - VIENNE

TELEDETECTION DE L'OCCUPATION DES TERRES

Scene Landsat I du 30-04-1976



46°
20

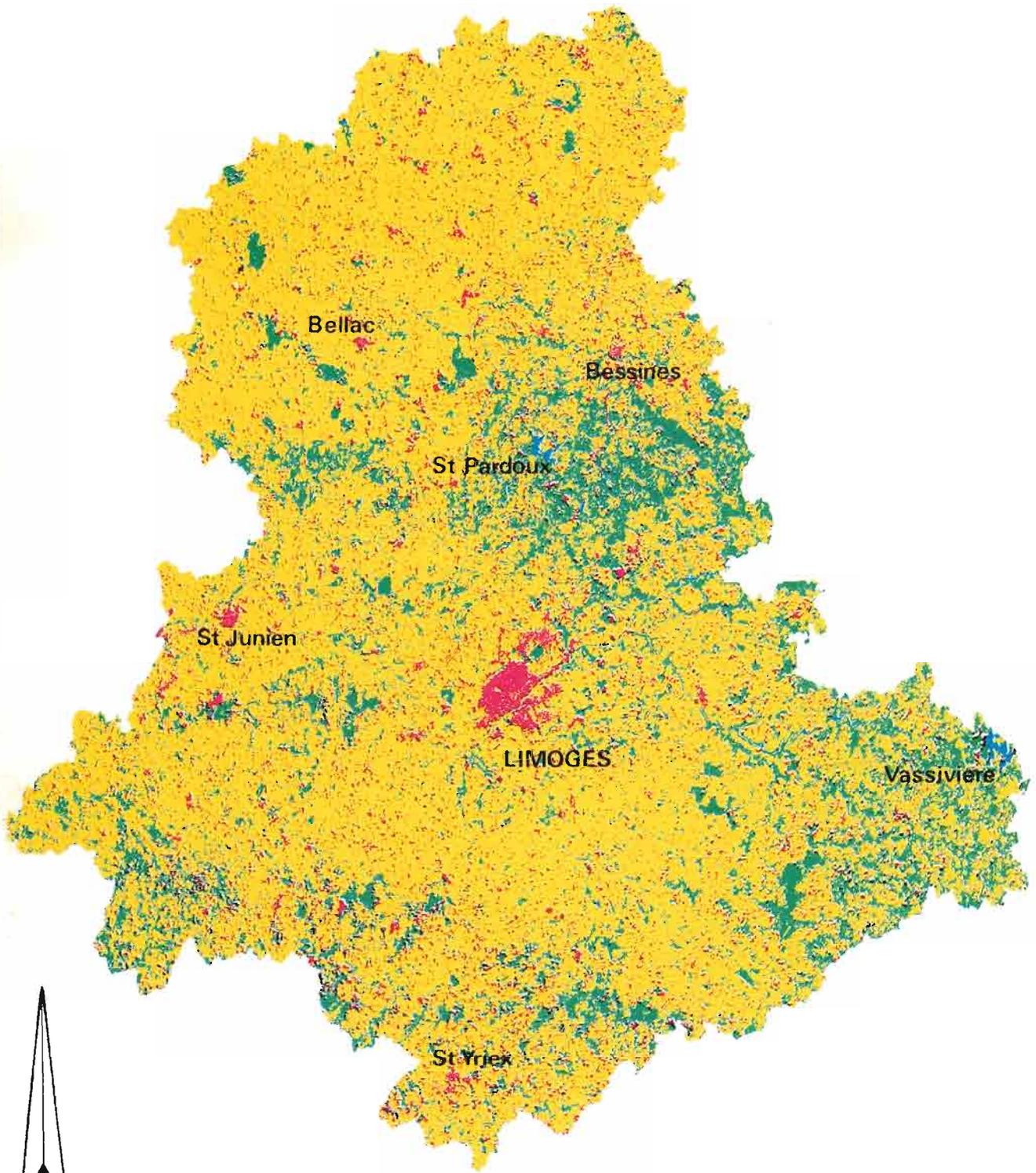
46°
20

46°

46°

45°
40

45°
40



- | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | Surfaces en forêts |  | Urbain et surfaces minérales |
|  | Surfaces en eau |  | Surface agricole utile |

OPIT - CESR

1° E

1° 30

L'image reproduite au verso est la reproduction d'un des résultats obtenus par l'opération pilote interministérielle de télédétection au cours de ses 4 ans d'activité.

Créée en 1976 par 5 des principales administrations responsables de la gestion des ressources naturelles, et de l'aménagement et de l'équipement du territoire, l'OPIT a défini, lancé et conduit au cours de cette période un programme important d'expérimentations concrètes d'évaluation des techniques de la télédétection qui a constitué un élément essentiel pour le développement des applications utiles de la télédétection au service des utilisateurs.

Les résultats de ces opérations ont été publiés dans de nombreux rapports techniques et vulgarisés dans les « Cahiers de l'OPIT » revue des utilisateurs de la télédétection d'où ces images sont souvent extraites.

OPIT

opération
pilote
interministérielle
de télédétection

TELEDETECTION DE L'OCCUPATION DES TERRES DE LA HAUTE-VIENNE

Réduction de la carte au 1/250 000^e

Les Directions Départementales de l'Agriculture (DDA) ont besoin de connaître l'utilisation du territoire et son évolution dans le temps et dans l'espace. Elles font réaliser pour cela par les services statistiques départementaux des enquêtes périodiques. Mais celles-ci ne donnent pas d'informations localisées alors que certaines décisions ne peuvent bien s'appuyer que sur une information bien localisée.

Dans le cas de la Haute-Vienne par exemple il s'agissait de déterminer les zones du département correspondant à des utilisations du territoire bien contrastées. Parmi les éléments entrant dans ce classement jouaient les points suivants : importance de la surface occupée par les forêts, en concurrence avec les surfaces agricoles, et équilibre feuillus-résineux ; importance des surfaces en eau et du bâti ; superficie agricole utile et part des prairies. La télédétection était-elle susceptible d'apporter au DDA des éléments utiles à ses décisions ?

Dans le cadre de sa mission d'évaluation de la télédétection l'OPIT a demandé au CESR de réaliser une carte par traitement de données Landsat acquises en Avril 1976. Une contrainte était imposée au départ : raisonner à l'intérieur des limites administratives.

Le traitement met en évidence les quatre postes les plus importants : eau en bleu, forêt en vert, urbain et minéralisé en rouges, surface agricole utile (SAU) en jaune. Des traitements complémentaires réalisés par l'OPIT sur des zones particulières (Plan d'aménagement rural - PAR - et Périmètre d'action forestière - PAF - du département) ont dégagé feuillus, résineux et prairies.

Après introduction des limites départementales grâce à un réseau d'amers et divers tests de traitements, la méthode retenue a été un algorithme « par bornes ». Le résultat global « forêt » approche celui de la DDA à 1,6 % près (par excès), il comprend les taillis et les jeunes plantations. L'eau est assez mal identifiée pour des raisons de dates essentiellement ; le poste « urbain et minéralisé » comprend, outre les villes et les terrains altérés artificiellement (carrières, mines), les terres labourées au 30 avril ; la SAU comprend les prairies mais agglomère également des landes et des jeunes plantations, postes difficiles à séparer.

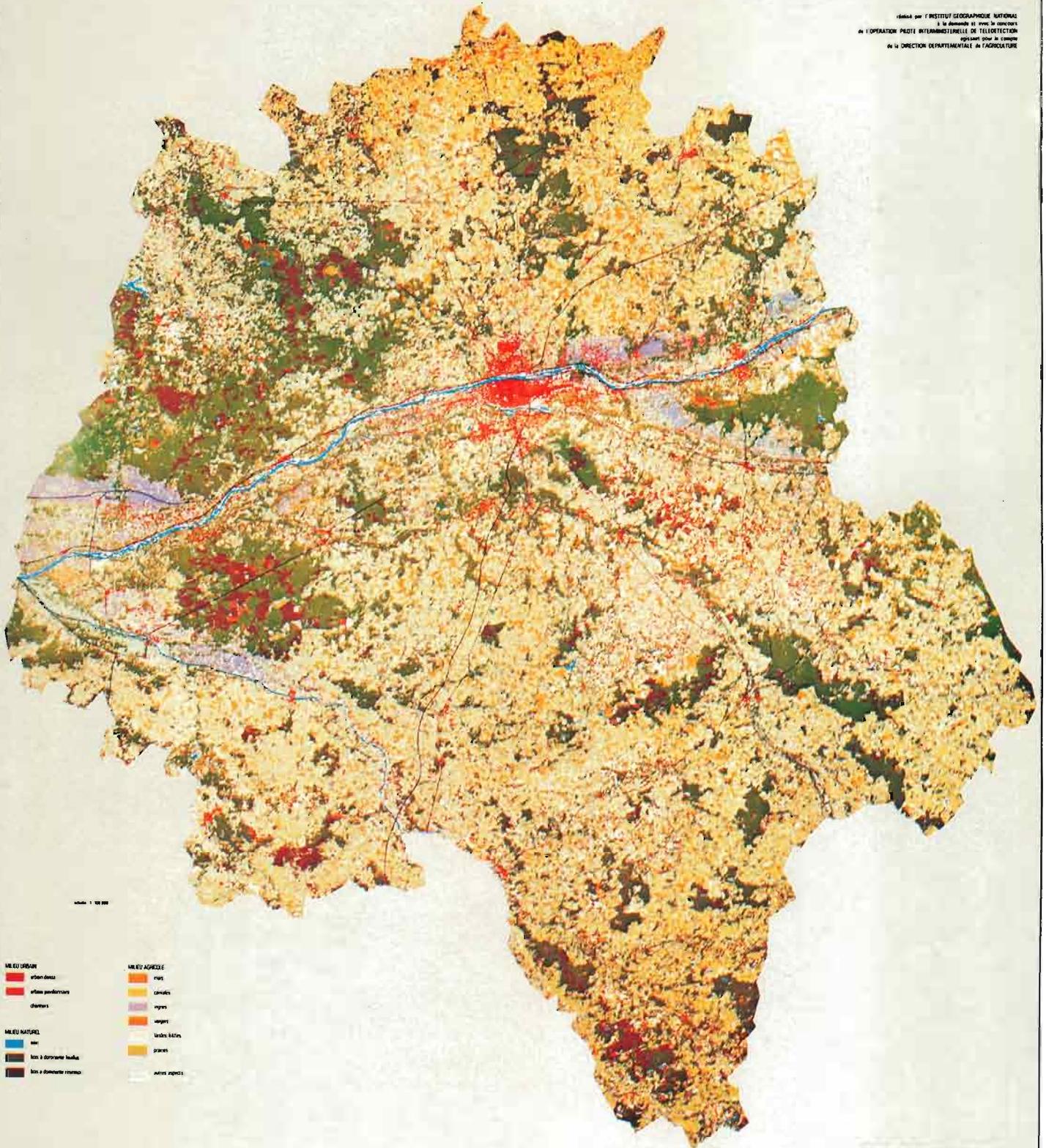
L'interprétation de la carte au 1/250 000 a permis la mise en évidence par les responsables du département de quatre grands secteurs selon l'importance de la SAU et des forêts. Ce nouveau découpage fondé sur les contrastes du paysage limousin a permis d'aider à la délimitation des zones dites de « piedmont », contigües aux zones de montagne et en faveur desquelles une politique de soutien des activités agricoles avait été décidée. Le coût d'une telle opération n'a pas été évalué compte tenu de son caractère très expérimental.

Réf. Cahiers OPIT n° 1 - p. 5 à 18.

CARTE D'OCCUPATION DU SOL

DEPARTEMENT DE L'INDRE ET LOIRE

réalisée par l'INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL
à la demande de l'Etat, la direction
de l'OPÉRATION PÉRIODE INTERMINISTÉRIELLE DE TÉLÉDETECTION
opérant sous la coupe
de la DIRECTION DÉPARTEMENTALE DE L'AGRICULTURE



échelle 1 : 50 000

- | | |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| USAGES URBAINS | USAGES AGRICOLES |
| ■ zones denses | ■ champs |
| ■ zones peu denses | ■ cultures |
| ■ zones peu denses | ■ vergers |
| ■ zones peu denses | ■ forêts feuillues |
| ■ zones à dominante bâties | ■ prairies |
| ■ zones à dominante bâties | ■ autres espaces |
| ■ zones à dominante bâties | |
| ■ zones à dominante bâties | |

© IGN - OPT 1978

Cartographie automatique établie après traitement informatique
des images recueillies et transmises par le satellite LANDSAT
(séances 254 827 des 13 mai et 16 septembre 1978)

OPT 

L'image reproduite au verso est la reproduction d'un des résultats obtenu par l'opération pilote interministérielle de télédétection au cours de ses 4 ans d'activité.

Créée en 1976 par 5 des principales administrations responsables de la gestion des ressources naturelles, et de l'aménagement et de l'équipement du territoire, l'OPIT a défini, lancé et conduit au cours de cette période un programme important d'expérimentations concrètes d'évaluation des techniques de la télédétection qui a constitué un élément essentiel pour le développement des applications utiles de la télédétection au service des utilisateurs.

Les résultats de ces opérations ont été publiés dans de nombreux rapports techniques et vulgarisés dans les « Cahiers de l'OPIT » revue des utilisateurs de la télédétection d'où ces images sont souvent extraites.

OPIT

opération
pilote
interministérielle
de télédétection

CARTE D'OCCUPATION DU SOL DEPARTEMENT DE L'INDRE-ET-LOIRE

Réduction de la carte au 1/100 000^e

Si les Directions Départementales de l'Agriculture (DDA) font réaliser une enquête annuelle sur l'utilisation du territoire, les cartes d'occupation des sols de ce type, en douze postes de nomenclatures, sont pratiquement inexistantes au niveau départemental.

Lorsqu'elles sont réalisées ponctuellement à l'occasion par exemple de monographies départementales, elles deviennent obsolètes quelques années plus tard. La nécessité de cette cartographie de l'occupation du sol et de sa périodique mise à jour se fait de plus en plus ressentir aux niveaux locaux et régionaux. C'est pourquoi, à la demande de la DDA de l'Indre-et-Loire avec laquelle l'OPIT travaillait depuis 1977 cette tâche a été entreprise en octobre 1979. Elle venait en complément d'une autre interrogation, commune à la DDA et à la Chambre d'Agriculture, concernant les superficies cultivées en maïs en 1979 sur l'Indre-et-Loire.

Les résultats définitifs de cette opération se présentent de deux façons :

- une carte au 1/100 000^e, représentant uniquement le département et l'occupation du sol en douze postes : rouge foncé : urbain dense; rouge moyen : urbain pavillonnaire; jaune pâle : chantiers; bleu : eau; vert foncé : bois à dominante feuillus; marron : bois à dominante résineux; orange : maïs; jaune : autres céréales; violet : vignes; ocre foncé : vergers; ocre pâle : landes et friches; vert pâle : prés, prairies; gris pâle : non classé. Les principales routes et villes ont été surajoutées.

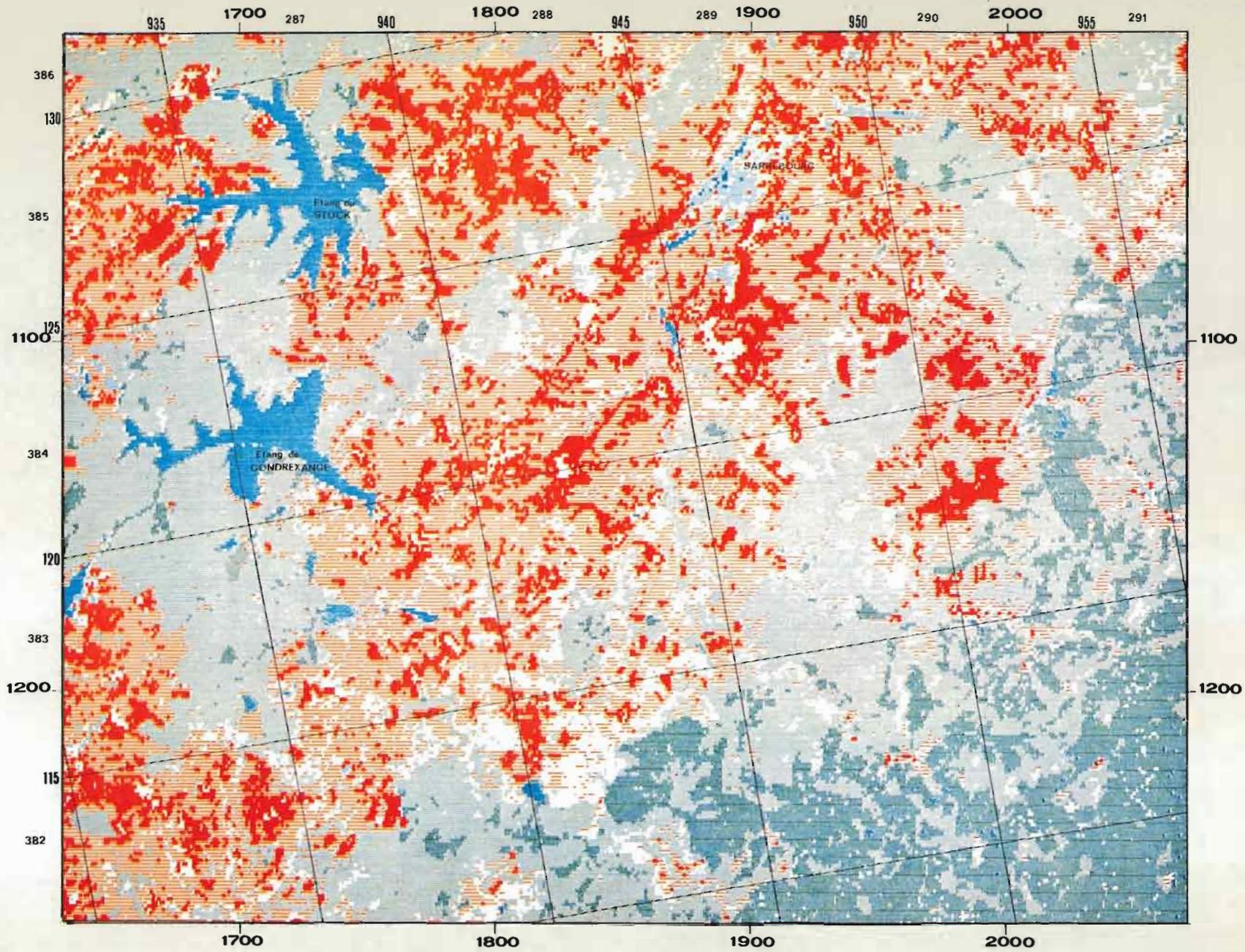
- une statistique globale, par poste, pour l'ensemble du département ; et une statistique par commune de l'occupation du sol.

En effet, outre le résultat thématique à proprement parler cette opération a conduit à un résultat méthodologique de première importance car, pour la première fois, on a raccordé aux enregistrements Landsat les banques de données de limites départementales et de limites communales ; ce raccord a nécessité tout d'abord la correction géométrique des deux images traitées (mai et septembre 1979) et leur superposition au référentiel Lambert II ; il a permis d'extraire des images les seuls points du département à traiter, puis de restituer les résultats avec la limite du département, enfin de sortir les statistiques commune par commune de façon automatique.

La méthode de traitement multitemporel repose sur une classification supervisée interactive (hypercubes) effectué par l'OPIT en collaboration avec l'IGN (système TRIAS) grâce à des parcelles d'initialisation levées par la DDA, la Chambre d'Agriculture et l'OPIT. L'évaluation du produit repose sur d'autres parcelles, levées par les mêmes. Globalement, on a trouvé 62 000 ha de maïs contre 67 000 obtenus par les services classiques. La superficie agricole utile (SAU) est approchée avec une sous-estimation globale d'environ 15 à 20 % selon les secteurs géographiques du département, tandis que la forêt est surestimée de 5 à 8 %.

Le travail a été effectué en quatre mois (non compris les délais d'impression de la carte) et a coûté environ 220 000 F, comprenant de nombreux tests de méthodes. En routine, il faudrait tabler sur 50 à 100 000, le coût devant s'abaisser si les temps de corrections géométriques et de calcul diminuent comme l'IGN l'annonce.

Les responsables départementaux de l'Agriculture estiment qu'une telle carte leur est utile et qu'elle devrait être mise à jour tous les 4 ou 5 ans.

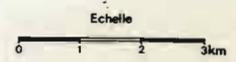


D'après les données
 LANDSAT 211-026 du
 13-8-1976

LEGENDE

- Eau libre**
 parenté (- 45 - 40)
 (- 27 - -)
- Zones urbanisées**
 parenté (- 47 78 57)
 (- 37 57 35)
- Résineux**
 parenté (- 26 - 60)
 (- 33 - 60)
 (- 27 - 40)
- Feuillus**
 parenté (- 34 94 - 61)
 (- - - 61)
- Prairies et vergers**
 parenté (- 40 - -)
 (- 35 58 41)
- Cultures**
 parenté (- 70 - -)
 (- 41 58 41)

1200 Lignes et colonnes
 LANDSAT
 290 Numéro du carreau
 hydrologique
 955 Coordonnées LAMBERT I
 zone Nord



OPIT



OCCUPATION DU SOL SUR LE BASSIN VERSANT DE LA MOSELLE

L'image reproduite au verso est la reproduction d'un des résultats obtenu par l'opération pilote interministérielle de télédétection au cours de ses 4 ans d'activité.

Créée en 1976 par 5 des principales administrations responsables de la gestion des ressources naturelles, et de l'aménagement et de l'équipement du territoire, l'OPIT a défini, lancé et conduit au cours de cette période un programme important d'expérimentations concrètes d'évaluation des techniques de la télédétection qui a constitué un élément essentiel pour le développement des applications utiles de la télédétection au service des utilisateurs.

Les résultats de ces opérations ont été publiés dans de nombreux rapports techniques et vulgarisés dans les « Cahiers de l'OPIT » revue des utilisateurs de la télédétection d'où ces images sont souvent extraites.

OPIT

opération
pilote
interministérielle
de télédétection

OCCUPATION DU SOL SUR LE BASSIN VERSANT DE LA MOSELLE

Réduction des cartes au 1/100 000 et au 1/50 000

Afin de simuler correctement le comportement dynamique des eaux de la Moselle dans la perspective de l'équipement de son bassin versant, les responsables de la gestion des eaux de l'Agence de Bassin Rhin-Meuse font fonctionner un modèle d'écoulement hydro-pluviométrique mis au point par le Service Hydrologique de l'ORSTOM.

Ce modèle demande, en entrée, outre des paramètres purement climatiques et de pente et perméabilité des sols, des données d'occupation des sols en six postes : feuillus, résineux, prés-prairies, cultures, eau, surfaces imperméabilisées (villes, carrières...). Ces données doivent être rassemblées par « carreaux » de 5 x 5 km.

L'ensemble du bassin versant de la Moselle est ainsi découpé en carreaux, et, sur un fichier informatisé, on dispose des superficies occupées par chacun des six postes sur chaque carreau. Ce fichier a été établi dans un premier temps par l'Université de Metz (département de géographie) par interprétation des documents existants : cartes IGN au 1/25 000^e ; photos aériennes, etc. Le principal problème réside dans l'hétérogénéité des documents de base et de leur date d'établissement (parfois 20 ans d'écart entre 2 documents jointifs), le second, dans le temps très long nécessaire pour ce type de travail manuel. D'où l'idée de recourir à la télédétection pour mettre au point une méthode rapide d'actualisation du fichier et capable de fournir des données homogènes car établies toutes à la même période.

En liaison avec l'agence de Bassin, l'Université de Metz, la Direction Départementale de la Moselle, l'OPIT et le bureau de télédétection de l'ORSTOM ont réalisé cet inventaire de l'occupation des sols, carreau par carreau, et livré le résultat sur une bande magnétique qui porte les superficies occupées par chaque poste et établies par traitement numérique des données Landsat d'août 1976.

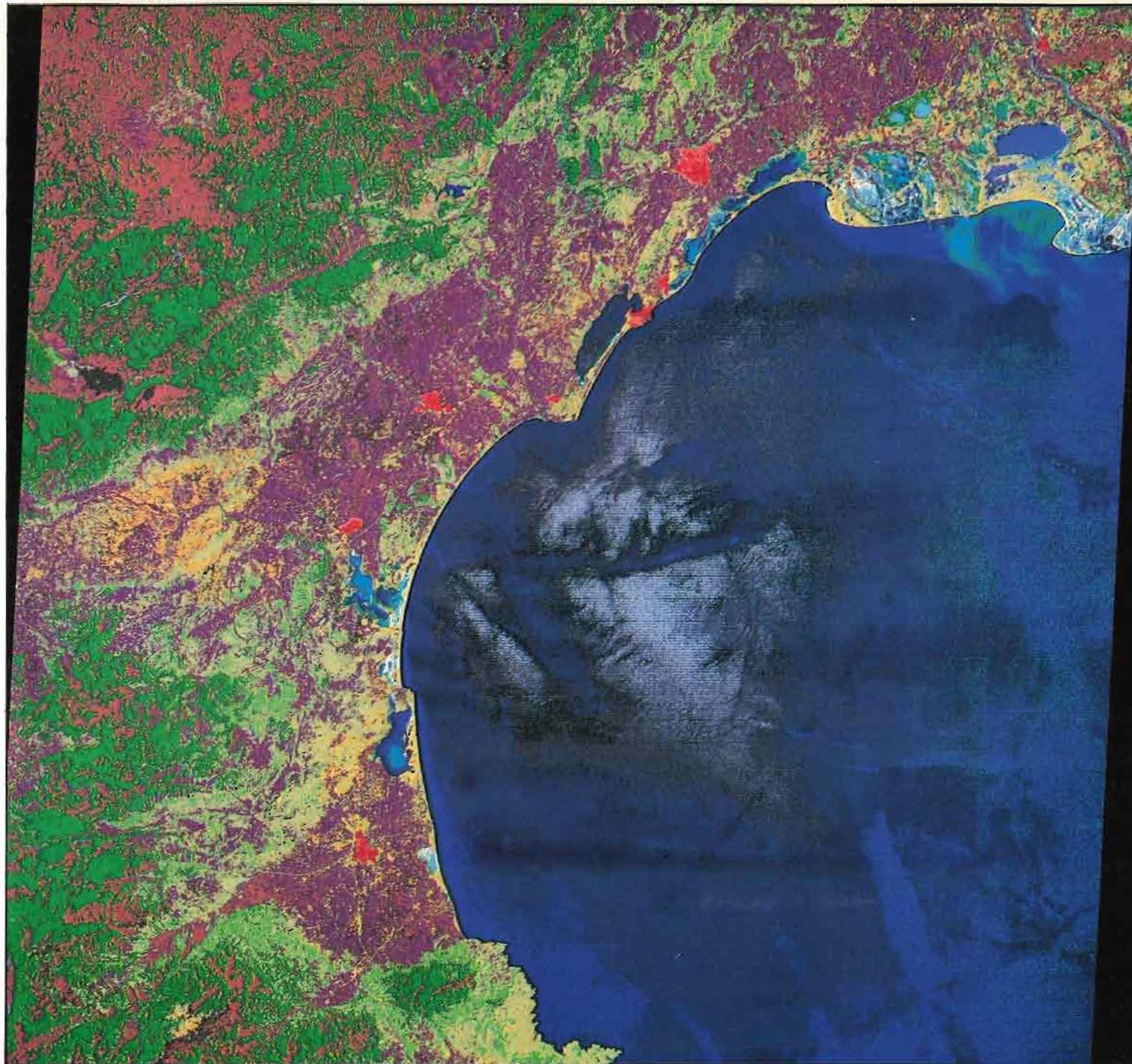
La méthode utilisée repose sur un algorithme « par bornes » qui procède par seuillage interactif sur les différents canaux de longueur d'onde enregistrés par Landsat et développé à l'ORSTOM. Un calage du carroyage 5 x 5 km sur Landsat a été nécessaire.

Les résultats obtenus ont été ensuite comparés aux données du fichier ainsi qu'à des données terrain et des cartes fournies par les différents services locaux et régionaux.

Les écarts enregistrés sont les suivants : 95 % des points classés « eau » sont de l'eau ; le traitement donne 0,5 % de surface en eau sur 60 carreaux, contre 0,8 % au fichier établi classiquement : feuillus et résineux sont approchés à 5 et 10 % près ; les prairies sont surestimées d'environ 10 %, les cultures sous-estimées de 10 à 15 % ; les zones urbanisées sont classées entre 30 à 10 % près. Ces chiffres ont été estimés suffisamment précis pour entrer dans le modèle d'écoulement.

Ce travail a demandé un an, comprenant la formation d'un hydrologue à la télédétection et la conduite du projet, il a coûté environ 100 000 F.

Au verso figure une carte réalisée en visualisant au traceur Benson les résultats obtenus par le traitement et utilisés par l'Agence de Bassin sous forme de fichier sur bande magnétique.



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 29
- 30
- 31

**littoral
du languedoc-roussillon
enregistrement
du satellite landsat II**

image catégorisée
et corrigée géométriquement
par traitement digital

date 6 juillet 1975
scène 212-30
centre de l'image . 43°04'N ; 3°225'E
soleil el 58° ; az 119°

- Légendes :
- 25 terres labourables, pâturages et landes.
 - 28 vignes et vergers.
 - 13 forêts de feuillus.
 - 15 forêts de résineux ou de feuillus semper virens.
 - 14 forêts mixtes.
 - 16 maquis, garrigues.
 - 23 sables et graviers.
 - 16 terrains nus.
 - 2 marais salants (en eau)
 - 9 zones humides 1
 - 10 zones humides 2
 - 12 marais salants (asséchés)
 - 20 urbain 1 : peu dense.
 - 18 urbain 2 : moyennement dense.
 - 17 urbain 3 : très dense.
 - 19 urbain 4 : autres.
 - 8 eau douce 1
 - 7 eau du Rhône et assimilée
 - 22 eau douce 2
 - 10 eau de mer 1
 - 11 eau de mer 2
 - 5 eau de mer 3
 - 4 eau saumâtre
 - 25 noir non catégorisée.

Réalisé pour l'opération
pilote interministérielle
de télédétection
par la société française d'études et
de recherches
économiques et statistiques.

L'image reproduite au verso est la reproduction d'un des résultats obtenu par l'opération pilote interministérielle de télédétection au cours de ses 4 ans d'activité.

Créée en 1976 par 5 des principales administrations responsables de la gestion des ressources naturelles, et de l'aménagement et de l'équipement du territoire, l'OPIT a défini, lancé et conduit au cours de cette période un programme important d'expérimentations concrètes d'évaluation des techniques de la télédétection qui a constitué un élément essentiel pour le développement des applications utiles de la télédétection au service des utilisateurs.

Les résultats de ces opérations ont été publiés dans de nombreux rapports techniques et vulgarisés dans les « Cahiers de l'OPIT » revue des utilisateurs de la télédétection d'où ces images sont souvent extraites.

OPIT

opération
pilote
interministérielle
de télédétection

LITTORAL DU LANGUEDOC-ROUSSILLON

Réduction de la carte au 1/250 000^e

Dans le cadre de sa mission d'évaluation des traitements de télédétection l'OPIT s'est également intéressée aux possibilités offertes par les systèmes disponibles à l'étranger.

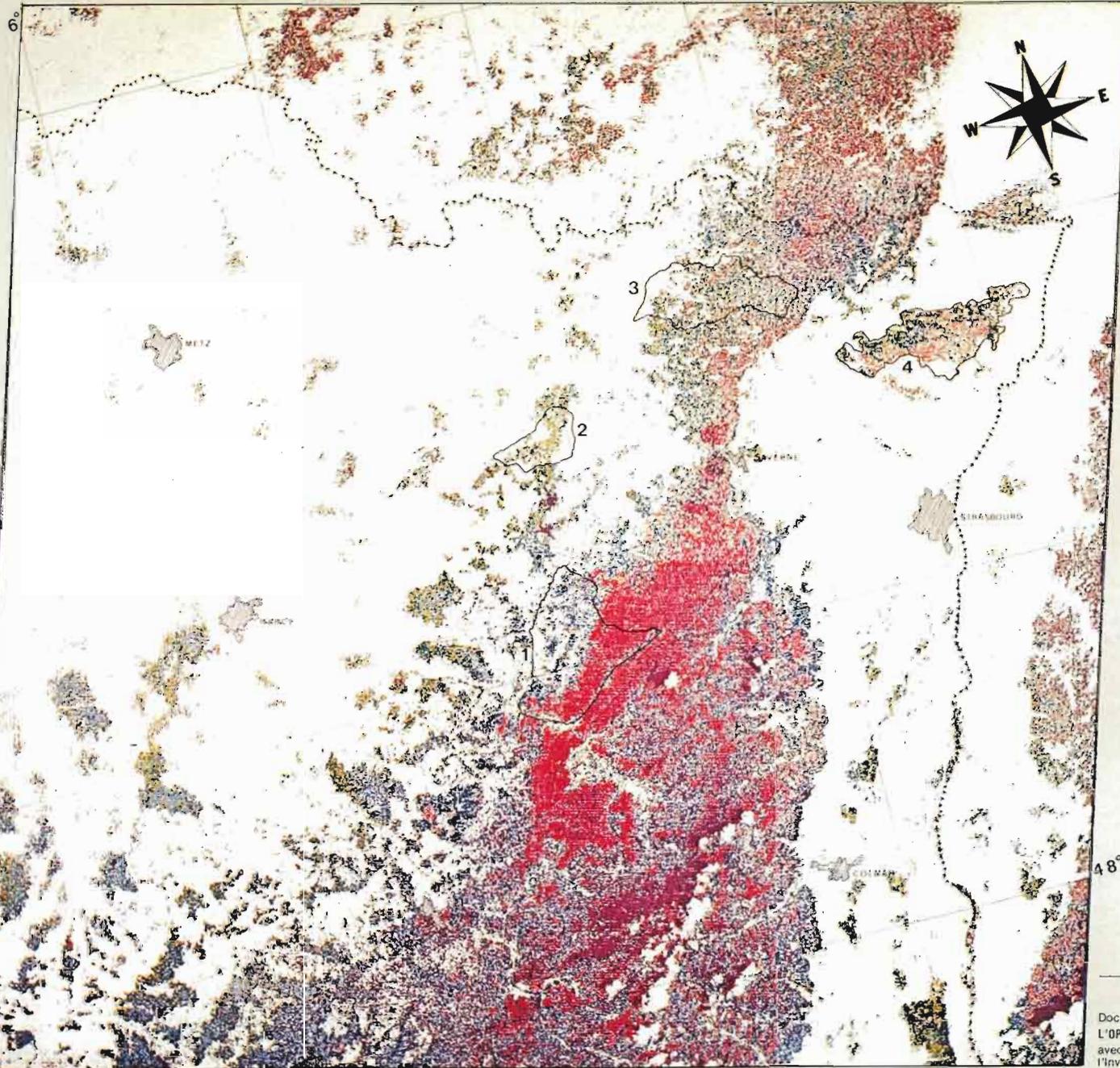
Cette carte résulte d'une classification supervisée interactive réalisée par une station de traitement américaine à l'ERIM (système M DAS de Bendix) sur une image Landsat entière, orientée d'abord vers la détermination des zones humides puis vers les zonages biophysiques et la classification de l'occupation du sol.

24 catégories sont distinguées sur la carte : terres labourables, vignes et vergers, 3 catégories de forêts, les maquis et garrigues, les sables, les terrains nus, 2 sortes de zones humides, les marais salants, 4 catégories d'urbain selon la densité, 3 catégories d'eau douce, 3 catégories d'eau de mer, l'eau saumâtre. La forêt a été approchée à 10 % près, la superficie agricole utile (SAU) entre 8 et 25 % selon les zones.

L'expérience a montré que tout traitement supervisé sur une vaste portion de territoire, nécessite un zonage préalable et un choix d'échantillons représentatifs des diverses situations physiques. Elle a montré également les difficultés d'étude des thèmes "eau libre" (salinité, turbidité, chlorophylle,...) en raison de la nécessité de disposer de données-terrain simultanées au passage de satellite, ce qui est difficile à réaliser. Elle a enfin confirmé l'importance de faire exécuter les traitements par des spécialistes connaissant bien la réalité du terrain étudié plutôt que par des généralistes éloignés de cette réalité.

Cartographie des Essences Forestières de la région Vosges-Alsace.

Centre de Télédétection et Analyse des Milieux Naturels · Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris · Sophia Antipolis · 06560 · Valbonne



Carte réalisée à l'aide des données
 LANDSAT 2-EARTHNET 211-26
 13 août 1976.
 Centre de l'image : N 48,74 - E 7,03
 Soleil : EL 717 mrad - AZ 2123 mrad

- | | |
|----|-------------------------------------------------------------|
| 1 | 1 - D1 : Chêne très chlorophyllien (Fénétrange - Bitche) |
| 2 | 2 - D2 : Chêne (Fénétrange - Bitche) |
| 3 | 3 - D3 : Chêne (Haguenau) |
| 4 | 4 - H1 : Hêtre peu chlorophyllien (Bitche - Badonviller) |
| 5 | 5 - H2 : Hêtre très chlorophyllien (Badonviller) |
| 6 | 6 - H3 : Mélange de hêtres et de chênes (Fénétrange) |
| 7 | 7 - H4 : Hêtre (Badonviller) |
| 8 | 8 - P1 : Pin sylvestre (Bitche) |
| 9 | 9 - P2 : Mélange de pins sylvestres et de feuillus (Bitche) |
| 10 | 10 - P3 : Pin sylvestre (Haguenau) |
| 11 | 11 - S1 : Mélange de sapins et de feuillus (Badonviller) |
| 12 | 12 - S2 : Sapin dense (Badonviller) |
| 13 | 13 - S3 : Sapin (Badonviller) |
| 14 | 14 - Bejet : Ombre des nuages, lacs et une partie du Rhin |

La partie blanche de la carte correspond à tout ce qui ne peut être répertorié comme n'appartenant pas à la classe forêt.

Cette carte présente les résultats d'une classification multi-spectrale des données LANDSAT, obtenue par une méthode supervisée à prépondérance géographique et co-assistance spectrale. Basée sur la connaissance précise des essences forestières sur des parcelles test de l'Inventaire Forestier National, la classification a été menée selon une règle d'attribution au maximum de vraisemblance.

L'apprentissage a été conduit sur quatre massifs forestiers choisis pour leurs conditions typiques au niveau des essences et du milieu.

- 1 - MASSIF FORESTIER DE BADONVILLER**
 Ce massif s'étend d'est en ouest sur le grès vosgien, l'altitude calcicole des collines sous-vosgiennes et le plateau Méraut. Sur les hauteurs, la forêt domaniale est consacrée à la sapinière avec un mélange de pin sylvestre selon l'exposition des versants. Sur les collines de bordure le hêtre domine tandis que le plateau forain est occupé par des massifs en mélange de chênes et de hêtres du domaine la chétive. Gérée par l'ONF de Lunéville (Meurthe et Moselle), elle dépend de la direction régionale de Lorraine.
- 2 - FORET DOMANIALE DE FENETRANGE**
 Occupant le plateau Méraut, elle s'étend sur le grès à horizons anguleux. Le peuplement est à dominante de chênes, le hêtre apparaissant en certains endroits où le sol est mieux drainé. Quelques brassonnements roments se rencontrent en parcelles de petite taille. Gérée par l'ONF de Sarrebourg, elle dépend de la direction régionale de Lorraine.
- 3 - MASSIF FORESTIER DE BITCHE**
 Il est essentiellement constitué des forêts domaniales de Mutterhouse et de Hainau. S'étendant sur le grès vosgien, on y trouve en peuplements mélangés du chêne, du pin sylvestre et d'autres résineux (pin douglas). Gérée par l'ONF de Bitche, il dépend de la direction régionale de Lorraine.
- 4 - FORET DE HAGUENAU**
 Elle est occupée par des peuplements de pin sylvestre et de chêne s'étendant dans la vallée alluviale sur sol gréseux d'alluvions anciennes avec quelques placages de fougères. Propriété mixte de l'état et de la commune de Haguenau, elle est gérée par l'ONF de Haguenau et dépend de la direction régionale d'Alsace.

IGN BORDA 300 45823 1975 - Université Nîmes - Université de Montpellier - Université de Toulouse

Echelle : 1/500.000



Document réalisé pour :
L'OPERATION PILOTE INTERMINISTERIELLE DE TELEDETECTION
 avec la collaboration des services de
 l'Inventaire Forestier National.

L'image reproduite au verso est la reproduction d'un des résultats obtenu par l'opération pilote interministérielle de télédétection au cours de ses 4 ans d'activité.

Créée en 1976 par 5 des principales administrations responsables de la gestion des ressources naturelles, et de l'aménagement et de l'équipement du territoire, l'OPIT a défini, lancé et conduit au cours de cette période un programme important d'expérimentations concrètes d'évaluation des techniques de la télédétection qui a constitué un élément essentiel pour le développement des applications utiles de la télédétection au service des utilisateurs.

Les résultats de ces opérations ont été publiés dans de nombreux rapports techniques et vulgarisés dans les « Cahiers de l'OPIT » revue des utilisateurs de la télédétection d'où ces images sont souvent extraites.

OPIT

opération
pilote
interministérielle
de télédétection

CARTOGRAPHIE DES ESSENCES FORESTIERES DE LA REGION VOSGES-ALSACE

Réduction de la carte au 1/500 000°

En matière de gestion des forêts, le premier besoin est celui de localiser et d'évaluer la surface des massifs forestiers, puis, à l'intérieur de ceux-ci, de distinguer les types de peuplement, les classes d'âge, les essences... Une bonne représentation cartographique des forêts ainsi qu'une mise à jour régulière satisfont les gestionnaires de la forêt française. Pour la télédétection, le premier travail peut donc consister à séparer ce qui est forêt de ce qui ne l'est pas ; puis on cherche à distinguer les feuillus des résineux, enfin on s'attaque à une recherche plus fine : essences, types de peuplement, etc...

Dans le cadre de sa mission d'évaluation de la télédétection, l'OPIT a proposé à l'Inventaire National Forestier de faire réaliser par le CTAMN de l'Ecole des Mines des expériences sur de vastes massifs forestiers. L'on espérait à ce stade distinguer les différentes essences composant ces massifs.

Des données Landsat ont été acquises à cinq reprises entre août 1975 et août 1976. Chaque date apporte sa contribution à la connaissance de la forêt. Le début du printemps permet de séparer nettement les massifs forestiers du reste, la fin du printemps de faire la distinction entre feuillus, le début de l'automne pour les conifères.

Le CTAMN-Sophia Antipolis a réalisé cette carte où ne figurent que les forêts par opposition au reste laissé en blanc.

La distinction forêt-non forêt s'effectue par télédétection avec de très bons résultats : il y a 95 % de chance qu'une parcelle forestière soit effectivement classée forêt par le traitement ; les superficies globales « feuillus » et « résineux » approchent les résultats connus de l'ONF avec moins de 5 % d'erreur ; les limites de massifs trouvées par télédétection se confondent aux limites de la cartographie classique lorsque l'opposition entre les catégories de territoire est nette. Clairières, coupes, feux de plus de 5 à 6 ha ne sont pas classés en forêt.

En revanche, les traitements réalisés (supervisés gaussiens) contrairement à ce que l'on pensait a priori ne mettent pas en évidence les diverses essences présentes (confusion chêne-hêtre par exemple). Cependant, les évaluations réalisées par l'IFN et l'OPIT montrent que l'on retrouve les gaulis-perchis à 69 %, les futaies adultes à 62 %, les futaies claires à 79 %, les épicéas à 73 %. Les données satellites, même avec la résolution grossière actuelle, mettent donc en évidence une succession de structures forestières, indépendamment des espèces : ce résultat confirme l'utilité d'une démarche expérimentale concrète comme celle qu'a imaginé l'OPIT dans l'intérêt des utilisateurs.

Réf. Cahiers OPIT n° 3 - p.4 à 13.

INCENDIES DE FORÊTS 1979



Echelle 1:150 000



OPT

Document établi à la demande et avec le concours de
l'Observatoire Pédagogique de l'Administration
généraliste pour le compte de
Service Régional d'Aménagement Forestier Provence Alpes Côte d'Azur

Tout image sur un fond blanc
à l'échelle de 1:150 000
à l'échelle de 1:150 000



IGN

Département de Télé-Inter-Station
© ICM - OPT

Scale 1:150 000

L'image reproduite au verso est la reproduction d'un des résultats obtenu par l'opération pilote interministérielle de télédétection au cours de ses 4 ans d'activité.

Créée en 1976 par 5 des principales administrations responsables de la gestion des ressources naturelles, et de l'aménagement et de l'équipement du territoire, l'OPIT a défini, lancé et conduit au cours de cette période un programme important d'expérimentations concrètes d'évaluation des techniques de la télédétection qui a constitué un élément essentiel pour le développement des applications utiles de la télédétection au service des utilisateurs.

Les résultats de ces opérations ont été publiés dans de nombreux rapports techniques et vulgarisés dans les « Cahiers de l'OPIT » revue des utilisateurs de la télédétection d'où ces images sont souvent extraites.

OPIT

opération
pilote
interministérielle
de télédétection

INCENDIES DE FORETS 1979 VAR/BOUCHES-DU-RHONE

Réduction de la carte au 1/150 000^e

On connaît la gravité du problème des feux en région méditerranéenne. Or les moyens classiques d'investigation ne parviennent guère à fournir de façon homogène à l'échelle régionale des renseignements à la fois suffisamment rapides et précis sur la localisation exacte des zones réellement incendiées et sur leur superficie. C'est pourquoi l'OPIT s'est vue demander d'apporter une solution à cette question en utilisant les données du satellite Landsat. Sa première réalisation remonte à 1977 sur l'ensemble du secteur méditerranéen de la France continentale, puis en 1978 en Corse et enfin en 1979 pour les départements du Var et des Bouches-du-Rhône, et ceci en étroite liaison avec les principaux utilisateurs concernés, à savoir : le dispositif « Prométhée » qui traite les informations provenant de cinq services différents (Inspections départementales des Services d'incendie et de secours, Direction Départementale de l'Agriculture - DDA -, Météo, Gendarmerie, base des avions Canadair) ; le Comité Scientifique et Technique pour le développement des moyens de prévention et de lutte contre les feux de forêts, qui regroupe la Sécurité Civile, les sapeurs-pompiers, la météo, l'Inventaire Forestier National... ; la division Protection des forêts contre l'incendie - PFCI - du Centre technique du Génie Rural des Eaux et Forêts - CTGREF - d'Aix-en-Provence ; ainsi que le Service Régional d'Aménagement Forestier de Provence-Côte d'Azur (SRAF) qui a participé au financement de l'opération 1979.

Le fond de la carte obtenue est constitué d'une composition colorée d'une image Landsat de septembre 1976 sur laquelle ont été plaqués en brun foncé les feux de l'année 1979 obtenus par traitement numérique des données Landsat de septembre 1979 réalisées par l'OPIT et l'IGN sur le système TRIAS.

La végétation active apparaît sous différents rouges : les feuillus (chataigniers, chênes blancs...) en vermillon ainsi que les ripisylves, les résineux (pins d'alep, pins maritimes...) en rouge sombre. Le domaine agricole figure en jaune/orange à l'exception des secteurs irrigués, en rouge ; villes et espaces minéralisés ressortent en blanc plus ou moins bleuté, les agglomérations denses en bleu, l'ombre portée des quelques nuages en noir, l'eau en bleu foncé et les marais salants en bleu plus clair.

La méthodologie utilisée pour localiser et estimer les superficies brûlées repose sur un seuillage de la deuxième composante principale. La visualisation a été réalisée sur système SEMIO à l'IGN.

Les résultats se présentent sous deux formes différentes :

- cette carte qui permet de localiser les superficies brûlées,
- des tableaux statistiques donnant l'estimation des superficies brûlées.

Les feux inférieurs à 3 ou 4 ha ne sont en général pas visibles sur les images Landsat, qui, par ailleurs, ne permettent de discerner que les incendies de moins d'un an. Seules les surfaces réellement détruites sont mesurées et contourées. On ne s'étonnera donc pas que les statistiques « Landsat » diffèrent des statistiques classiques en donnant des chiffres moins élevés.

L'image Landsat traitée (210-30 du 29/09/79) a été disponible mi-octobre et traitée courant novembre ; les statistiques des feux ainsi qu'une carte provisoire en noir et blanc ont été diffusées début décembre.

Le coût de l'opération, incluant des corrections géométriques, la carte en couleur et le travail de spécialistes en télédétection, se monte à 51 000 F H.T. pour deux départements.

Réf. : Télédétection des incendies de forêts en région méditerranéenne

par A. Husson in « Les Cahiers de l'OPIT » - n° 3 - 3^e trimestre 80, pp. 17 à 22.

NOAA

OP17-01400-NOAA-SHARONAUTM
CARTOGRAPHIE PEG-LANDSAT
PASSAGE DU 89/ 67% A 9 H 0 TU
Echelle 1/100000

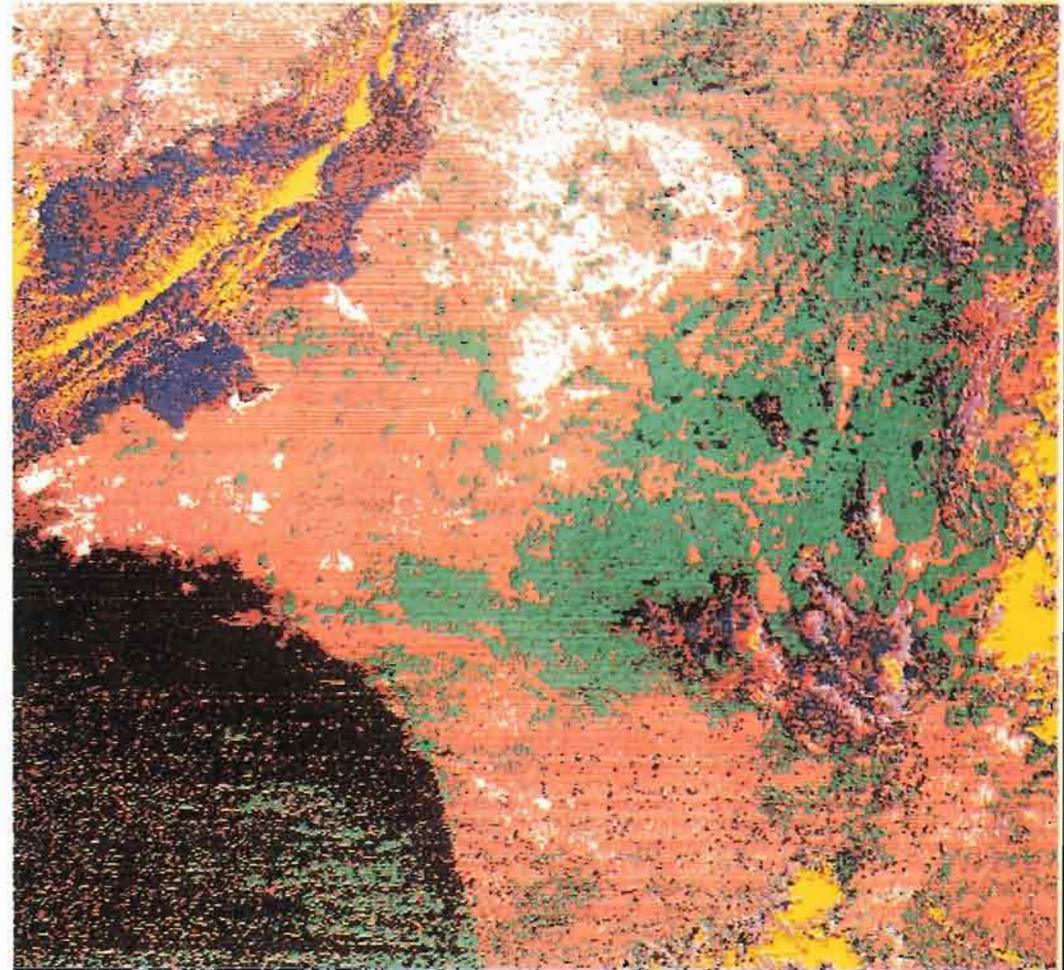
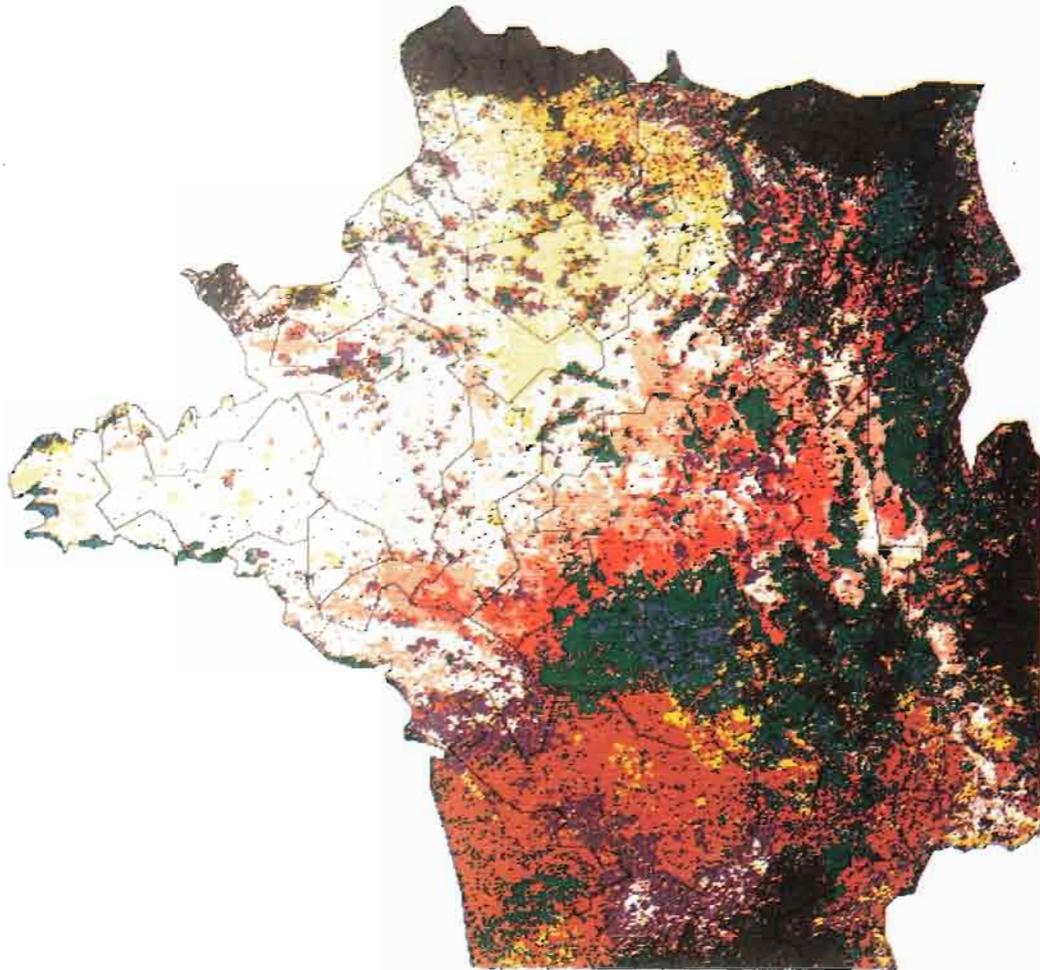


OPERATION PILOTE
INTERMINISTÉRIELLE DE
TÉLÉDETECTION
017-78

OP17-NOAA 03 AVRIL 1978
CARTOGRAPHIE PEG-LANDSAT
PASSAGE DU 89/ 67% A 9 H 0 TU
Echelle 1/100000



OPERATION PILOTE
INTERMINISTÉRIELLE DE
TÉLÉDETECTION
015-78



L'image reproduite au verso est la reproduction d'un des résultats obtenu par l'opération pilote interministérielle de télédétection au cours de ses 4 ans d'activité.

Créée en 1976 par 5 des principales administrations responsables de la gestion des ressources naturelles, et de l'aménagement et de l'équipement du territoire, l'OPIT a défini, lancé et conduit au cours de cette période un programme important d'expérimentations concrètes d'évaluation des techniques de la télédétection qui a constitué un élément essentiel pour le développement des applications utiles de la télédétection au service des utilisateurs.

Les résultats de ces opérations ont été publiés dans de nombreux rapports techniques et vulgarisés dans les « Cahiers de l'OPIT » revue des utilisateurs de la télédétection d'où ces images sont souvent extraites.

OPiT

opération
pilote
interministérielle
de télédétection

NOAA

Les données multispectrales enregistrées par le satellite NOAA les 29-4-76 et 5-8-76, dans les canaux « visibles » (0, 6-0, 7 μ) et IR (10-12 μ) ont subi un traitement non supervisé au CTAMN-Sophia Antipolis.

A la date d'avril, on peut cartographier ainsi 8 classes, respectivement nuages et cimes neigeuses, massifs montagneux non enneigés, grandes plaines agricoles, espaces agricoles traditionnels, certaines parties du Massif Central, les massifs forestiers, les eaux de l'Atlantique et les eaux côtières.

Sur la cartographie d'août, 7 classes se dégagent = zones nuageuses, eaux de l'Atlantique et de la Manche, régions de montagne, massifs forestiers, paysages bocagers, espaces terrestres les plus réfléchissants et les plus chauds.

Le traitement diachronique, après élimination des secteurs océaniques, montre les paysages stables de montagne (Massif Central, Jura et Vosges), les zones de faible altitude et les massifs forestiers, les espaces bocagers, les espaces de transition entre bocages et plaines agricoles, le nord du Massif Central, les grandes plaines agricoles et les paysages secs et chauds.

Imprimerie GRAPH'OFFSET
79, rue de Paris - 92110 CLICHY

Dépôt légal 1er trimestre 1981

Directeur de la publication : A. COUZY