OPÉRATION PILOTE INTERMINISTÉRIELLE DE TÉLÉDÉTECTION

O. P. I. T.

RAPPORT PRELIMINAIRE

ETAT DE L'ART EN TELEDETECTION

(2ème partie - Chapitre 1)

TELEDETECTION ET AMENAGEMENT

par

M. BIED-CHARRETON

avec les contributions de M. BALASINSKI, A. BALLUT, G. FLOUZAT, Ph. FOURNIER, B. GAIGNEROT, J.P. GILG.

77/463

Novembre 1977

AVANT PROPOS

Le présent rapport a été élaboré, sous la coordination de Marc BIED-CHARRETON, par :

Marc BIED-CHARRETON	Maître de Recherche Principal à l'ORSTOM OPIT 15 rue d'Astorg 75008 Paris.
Marguerite BALASINSKI	Géographe
A. BALLUT	Géographe-urbaniste à l'institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile de Franc (IAURIF), 21 rue Miollis 75015 Paris.
G. FLOUZAT	CESR, 9 avenue du Colonel Roche 31029 Toulouse Cedex.
Philippe FOURNIER	Ingénieur en Chef d'Agronomie. Service centra des Etudes et Enquêtes Statistiques du Ministère de l'Agriculture. OPIT.
B. GAIGNEROT	OPIT.
J. P. GILG	Maître assistant à l'EHESS. OPIT.

TELEDETECTION ET AMENAGEMENT

S O M M A I R E

S O M M A I R E (suite)

PREAMBULE

Le présent chapitre n'a pas l'intention d'être exhaustif : il ne prétend pas faire le point de toutes les expériences ou recherches en cours sur l'utilisation de la télédétection dans ses rapports avec l'aménagement en général. Par ailleurs, les exemples cités mériteraient de plus amples développements et une illustration adéquate mais pour l'instant coûteuse. Ce chapitre s'adresse plus aux utilisateurs ou futurs utilisateurs de la télédétection qu'aux spécialistes du traitement et aux divers thématiciens ayant déjà utilisé cet instrument. Cependant, il serait souhaitable que ceux-ci collaborent à un document ultérieur mieux élaboré en envoyant leurs critiques, commentaires, suggestions et propositions, en particulier sur certains aspects non ou mal abordés (comme par exemple, l'utilisation de capteurs aéroportés, de données thermiques ou radar). De la même façon, il serait souhaitable que les utilisateurs envoient leurs critiques et surtout leurs besoins, afin de participer à l'optimisation, si ce n'est à la définition de l'outil "Télédétection".

TELEDETECTION ET AMENAGEMENT

INTRODUCTION

Ile ne peut être question ici de donner une définition complète de l'aménagement du territoire. On se contentera de quelques lignes directrices ; en effet, cette notion, comme celle voisine de "régional planning", ne correspond ni à une discipline universitaire ni à une préoccupation dépendant d'une seule administration ; elle dépend plutôt des pratiques réelles que l'on constate dans divers pays ; celles-ci sont fonction à la fois des structures administratives et de volontés politiques.

Les structures administratives couvrent une étendue territoriale donnée, un espace, et possèdent des degrés divers d'autonomie au plan des décisions et des capacités de financement. Des distinctions sont à faire selon qu'il s'agit de communes rurales, de communes urbaines de différentes tailles, de cantons, d'arrondissements ou de régions agricoles, de départements, de région ou du territoire national. L'espace dans lequel vivent les citoyens dépend, réglementairement parlant, de l'un ou l'autre de ces échelons ou de tous à la fois. Dans d'autres pays, on parlera de communes, de cités, de comtés, de "lander d'état puis d'état fédéral.

Ces espaces successifs induisent des notions différentielles d'échelle d'appréhension des problèmes et de niveaux de décision selon l'organisation politique de chaque pays.

Le "régional planning", comme l'aménagement du territoire, peut être une activité intégratrice plus ou moins centralisée ; il ne peut être qu'incitateur, agissant plus par voie réglementaire ou fiscale que par action directe ; il peut agir par l'intermédiaire de fonds budgétaires à disposition : en France, c'est le FIAT, Fonds d'Intervention pour

l'aménagement du Territoire, créé en 1963 et à la disposition de la DATAR, des crédits gérés avec d'autres Ministères (par exemple crédits de rénovations rurale), des primes et des prêts.

On peut, en définitive, proposer une définition générale qui satisfasse tous les cas : "c'est l'ensemble des mesures concertées qui règlent l'utilisation de l'espace et son équipement de manière à assurer le plein épanouissement des individus, à faciliter la vie sociale en minimisant les frictions qui résultent de la distance ou du rapprochement d'activités antinomiques et à éviter les perturbations de l'équilibre naturel dont la destruction serait, immédiatement ou à terme, nuisible à la collectivité". (Paul Claval, in Grande Encyclopédie Larousse, Paris 1971, Tome 1 p. 564). Tout aménagement véritable comporte trois idées de base : définition d'objectifs, actions coordonnées, répartition volontaire.

Dans le rapport d'activité 1976 du Ministère d'Etat chargé du Plan et de l'Aménagement du Territoire (1), il est rappelé la nécessité d'une politique d'aménagement du Territoire et les grandes orientations assignées par le Conseil Central de Planification qui conduisent à trois propositions majeures :

- la politique d'aménagement du Territoire doit assurer un développement harmonieux des villes en améliorant la qualité des métropoles d'équilibre et en renforçant le réseau des villes moyennes et petites ;
- elle doit également contribuer à maintenir sur place la population des zones rurales et éviter la dégradation ou la désertification des espaces naturels ;
- elle doit enfin veiller à assurer une répartition plus équilibrée des activités industrielles et tertiaires sur l'ensemble du pays.

Cette politique doit associer les collectivités concernées tandis que par ailleurs chaque ministère, dans le cadre de ses attributions propres, doit concourir activement à l'aménagement du territoire.

L'aménagement est donc affaire de choix. Pour les préparer, un grand nombre d'informations est nécessaire. Nous nous proposons de faire un tour d'horizon des besoins en informations préalables à tout aménagement et nécessaires pour leur suivi et de voir dans quelle mesure ces besoins peuvent être satisfaits par la télédétection.

---

(1) Lois de Finances pour 1977 - Annexe : Régionalisation du budget d'équipement pour 1976 et aménagement du Territoire - Tome 1, Paris, Imprimerie nationale, 1976, 140 p.

Leur recensement résulte pour une part de dépouillements bibliographiques et d'enquêtes auprès des administrations françaises concernées par les problèmes d'aménagement. Ces enquêtes, menées pour le compte de l'ORIT[1] n'en sont qu'à leur début et elles doivent se prolonger afin de donner lieu à une confrontation plus complète que celle présentée dans ce rapport entre besoins et état de l'art.

La connaissance de cet état de l'art provient de trois sources essentielles :

1. Le suivi des activités des laboratoires et organismes français engagés dans la télédétection et pouvant concerner l'aménagement, soit par contacts personnels, soit par la bibliographie ou les colloques, soit par des enquêtes telles que celle réalisée dans le cadre du récent séminaire européen "aménagement du territoire et télédétection".

2. Le suivi des activités des laboratoires et sociétés européennes, soit par la bibliographie, soit par des organismes ou associations tels que l'ESA ou l'EARSEL (2).

3. Le suivi des activités américaines en matière de télédétection appliquée au "régional planning", soit par un dépouillement bibliographique réalisé à partir des actes des principaux synposium de ces dernières années (Ann Arbor, Purdue, Tulahoma, Johnson Space Center), soit par le dépouillement de quelques rapports spécifiques de la NASA, de l'USGS, de Goddard Space Flight Center, du Sénat américain ou de l'Acamédie des sciences américaines.

Dans le cadre de ce bilan provisoire, nous n'avons guère les moyens de critiquer valablement les résultats annoncés dans la bibliographie car les articles sont souvent incomplets et peu critiques. Ce bilan sera donc un constat de ce que l'on dit que l'on sait faire. Il y a lieu de distinguer ce que l'on sait théoriquement ou partiellement fai de façon pré-opérationnelle, de ce que l'on fait de façon expérimental

(1) En collaboration avec le CNES.

(2) European Association of Remote Sensing Laboratories, fondée en 197

On appellera "pré-opérationnel", ce qui se fait presque en routine, de l'acquisition des données à la publication de résultats imprimés et disponibles, utilisables, à défaut d'être utilisés, et surtout renouvelables : une procédure dite opérationnelle pour un thème, un groupe de thèmes ou des objectifs donnés, doit être capable d'analyser de façon répétitive, un grand nombre de données avec une intervention minimale d'opérateurs ou de temps machine et un rapport coût/efficacité satisfaisant.

La télédétection étant une chaîne, un système, on s'efforcera d'indiquer où se trouvent actuellement les points forts et les points faibles de cette chaîne. Quand les éléments de ce système ne sont pas tous en place, on parlera de recherches en cours ou d'actions "expérimentales".

CHAPITRE 1.

LES DONNES ET LES THEMES ABORDES / NOMENCLATURE DES BESOINS DES AMENAGEURS.

Les aménageurs doivent pouvoir disposer d'un ensemble d'informations brutes et traitées, d'indicateurs ou de descripteurs divers des réalités socio-économiques. Les mêmes informations sont indispensables pour effectuer les choix et organiser le suivi des aménagements.
On peut distinguer deux types d'informations :

1. Les informations sur le milieu naturel, brutes, analytiques ou thématiques et les projections sur l'espace des activités humaine
2. Les informations synoptiques et synthétiques, résultant du traitement des informations précédentes avec intégration de données complémentaires d'ordre socio-économique.

Ces deux types d'informations et toutes données supplémentaires sur le fonctionnement des systèmes doivent pouvoir être disponibles selon divers critères de rapidité d'obtention, de précision statistique, de localisation géographique, d'échelle et d'obsolescence :

. strictement localisés, à l'échelon local, départemental, régional, national, voire supra-national ;
. correctement spatialisés, aux diverses échelles ;
. globaux et synthétisés avec une précision statistique connue.

Ces critères doivent conduire à la définition des différentes couvertures et résolutions de l'outil télédétection, en deçà desquelles il est illusoire de vouloir l'utiliser. Il s'agit des résolutions spatiales, spectrales, énergétiques et temporelles.

Les informations utiles sont généralement présentées selon deux options complémentaires sous forme de données statistiques et de cartes, ceci au degré fiabilité et de précision et à l'échelle voulus par l'utilisateur, selon une répétitivité fonction de la rapidité des changements q l'on veut observer et mesurer.

Certaines informations sont actuellement issues de systèmes de collecte classiques et fonctionnent normalement selon des fréquences variables : on peut citer par exemple, le recensement général de la population, le recensement général de l'agriculture, l'enquête "utilisation du territoire" (TERUTI) (1), le cadastre, divers fichiers urbains, des enquêtes foncières, des enquêtes "prévisions", etc ... D'autres informations relèvent de systèmes de saisie occasionnels, ponctuels et spécifiques. L'ensemble de ces données conduit à la réalisation d'inventaires qui doivent être renouvelés selon des périodicités variables : on peut distinguer les inventaires des éléments relativements permanents ou semi-permanents : topographie, géologie, géomorphologie, pédologie, réseau hydrographique, éco-systèmes naturels, grandes infrastructures, espaces urbains denses, etc ... et les inventaires des éléments mobiles dans le temps et dans l'espace : occupation des sols par l'agriculture, extension des zones urbaines, inondations, enneigement, ...

Ces inventaires sont pour la plupart déjà réalisés, du moins en Europe, selon les moyens conventionnels par des administrations, des universités ou des laboratoires de recherche ou par des sociétés d'études. Leur degré de fiabilité est variable et leur renouvellement pose des problème car les méthodes actuelles sont longues et coûteuses. Les inventaires se traduisent pas des cartes analytiques donnant un état à un instant donné qui n'est pas le même pour tous, et des statistiques plus ou moins globales, plus ou moins spatialisées et le plus souvent non superposable

L'intégration de données socio-économiques de types mouvements de population, industrialisation, régime foncier, valeur vénale des terres et des données sur le fonctionnement des systèmes, soit d'ordre physique et biologique, soit d'ordre socio-politique, permet de dépasser le stade de l'inventaire pour permettre la mise en évidence de contraintes, de possibilités, d'évolution ou de modèles prévisionnels d'évolution, de passer du statique au dynamique. La dimension "temps" permet de plus de suivre les évolutions spontanées ou planifiées.

---

(1) Enquête menée tous les ans par le Ministère de l'Agriculture.

L'ensemble de ces informations a été classé ainsi de manière à constitu une sorte de nomenclature des besoins des aménageurs :

GROUPE 1. Données ou informations nécessaires aux inventaires, aux cartes de base, aux cartes analytiques et aux premières synthèses :

- topographie
- géologie, tectonique (fracturations, failles)
- prospection des ressources minières et géothermiques
- géomorphologie, pentes
- géodynamique externe, érosion, sédimentation, alluvionnement
- pédologie
- conditions climatiques (précipitations, températures, évapotranspiration, meso-climats, ...)
- végétation, phyto-écologie
- hydrologie de surface, zones humides
- dynamique des bassins versants, liaisons eaux de surfaces-eaux souterraines
- équilibres biologiques, mécanismes physico-chimiques, liaisons eau/sol/plantes
- nivologie, glaciologie, avalanches
- données "géotechniques"
- ensemble des cartes de base
- zonage écologique
- détermination des contraintes du milieu naturel
- détermination des potentialités du milieu
- occupation du sol en grandes catégories

GROUPE 2. Données d'ordre socio-économique et domaines d'aménagemer au sens large :

- population : recensement, dynamique, localisation et activités
- utilisation du sol en grandes catégories
- utilisation et aménagement de l'espace urbain : tissu urbain, densit de bâti, infrastructures, accroissement des villes, rénovation des villes, influence sur les milieux environnants, "zoning urbain"

. utilisation et aménagement de l'espace rural : utilisation des terres agricoles, pastorales et forestières, landes et friches, définition de paysages ruraux significatifs
. aménagement du littoral : types de côtes, aménagement rural et urbain des franges, pollution marine et fleuves côtiers, rejets
. aménagement de la montagne
. équipements industriels, portuaires, complexes divers, influence sur les milieux environnants
. équipements du secteur tertiaire
. tourisme
. parcs nationaux et régionaux

GROUPE 3. Domaines des activités régionales et locales.

. schémas directeurs des régions françaises et des départements : travaux des OREAM, GEP, agences d'agglomérations, ateliers municipaux des agglomérations urbaines, CETE, DDA, AREAR, Compagnies d'aménagement, etc ...
. élaboration de POS, SDAU, ZAC, PAR, PAF, ...

GROUPE 4. La dynamique dans l'espace et dans le temps des activités humaines et leurs conséquences.

. changements dans l'affectation des sols, définition de "vocations" des sols
. consommation d'espace, dynamique de l'occupation et de l'utilisation des terres, études des interfaces urbain/rural/milieu naturel
. évolution des équilibres biologiques, conservation du patrimoine
. gestion des ressources en eaux
. évolution des structures de production
. prévision de production
. évolution, surveillance et prévention des pollutions atmosphériques et de l'eau (rejets, nappes)
. prévision et contrôle des conséquences des catastrophes naturelles
. optimisation d'implantation et/ou d'extension d'aménagements et d'équipement
. état de l'environnement
. études d'impact

Cette nomenclature n'est ni exhaustive ni figée, elle a seulement pour but de classer les divers thèmes qui relèvent, de près ou de loin, de l'aménagement.

Elle a trait essentiellement à ce qui est observable sur le sol.
Nous y ajouterons un cinquième groupe relevant d'observations indirecte

GROUPE 5. Phénomènes non observables directement et phénomènes liés ; définition d'"indicateurs".

- étude des volumes (en milieu urbain et forestier par exemple, relevai actuellement d'observations sur le terrain ou de la stéréo photogram- métrie)
- étude des relations entre des structures spatiales observables et des unités morpho-pédologiques, entre les structures spatiales et des espaces socio-économiques
- définition d'indicateurs à caractère physique ou biologique pour l'étude de l'état phyto-sanitaire des végétaux
- définition d'indicateurs de densité de population en relation avec la surface bâtie
- définition d'indicateurs de signes extérieurs de richesse
- interfaces entre les postes des 5 groupes de nomenclature

CHAPITRE 2

ETAT DE L'ART DANS LE DOMAINE DE L'OCCUPATION ET DE L'UTILISATION DU SOL

Introduction

Les thèmes que nous avons inventoriés et ordonnés au chapitre précédent couvrent à peu près l'ensemble des besoins en informations nécessaires à l'aménagement du territoire. Dans ce chapitre on ne fera pas un bilan exhaustif du savoir faire de la Télédétection. En effet, certains thèmes se situent très en amont de l'aménagement, d'autres ne sont guère abordables par télédétection, du moins aujourd'hui, d'autres n'ont pas encore fait l'objet de recherches ou d'expérimentations incluant cette source d'informations. Par ailleurs, nous n'avons pas connaissance à ce jour d'opérations complètes d'aménagement ayant intégré la télédétection. Certains thèmes font l'objet de rapports particuliers (ressources en eau) où ne relèvent pas des administrtions membres de l'OPIT.

Nous nous axerons sur certains besoins prioritaires des administrations françaises et sur lesquels des réalisations concrètes de télédétection ont été effectuées ou sont en cours au niveau de la fourniture d'informations. Ces réalisations sont majoritairement américaines, il y aura donc lieu de ne pas transposer purement et simplement les résultats mais d'indiquer clairement les conditions dans lesquelles ils ont été obtenus.

Ces réalisations se rapportent essentiellement aux groupes de thèmes suivants :

- cartographie de base, spécialement géologique et tectonique(1), pédologique et couverture végétale.
- occupation du sol en grandes catégories.
- utilisation du sol en grandes catégories (ces deux thèmes sont à rapprocher du concept anglo-saxon de "Land cover and land use").

(1) Le domaine de la géologie ne sera pas abordé. Rappelons que les géologues ont été les premiers à tirer parti avec efficacité de l'imagerie satellite.

- utilisation et aménagement de l'espace rural
- utilisation et aménagement de l'espace urbain
- agriculture et forêts

Bien que donnant à la télédétection son acceptation la plus large, incluant la photographie aérienne, nous n'avons retenu dans ce chapitre que les réalisations qui ont utilisé prioritairement et principalement des données multispectrales, aériennes ou satellites, traitées par voie photographique et/ou numérique. Nous n'avons pas examiné les études basées sur la seule photo-interprétation de clichés aériens classiques dont les acquis sont largement connus.

Nous envisagerons successivement la bibliographie américaine puis un panorama des activités françaises et européennes.

2.1.- BILAN DU "SAVOIR FAIRE" D'APRES LE DEPOUILLEMENT DE LA BIBLIOGRAPHIE AMERICAINE

2.1.1.- Sources - objectifs des expérimentations retenues - Notion de "Land cover and land use"

La source principale d'information réside dans les publications des actes de certains colloques qui se tiennent régulièrement aux U.S.A. : Ann Arbor, Purdue, Tulahoma, NASA. Une première lecture de 150 articles a permis de sélectionner ceux qui nous concernent directement. Un dépouillement plus systématique a ensuite été effectué dans le but de recueillir un maximum d'informations sur les points suivants, considérés comme essentiels pour porter un jugement :

- objectifs ou thèmes abordés
- zone géographique et superficie étudiées
- données utilisées pour l'étude, en particulier nombre d'images Landsat
- type de traitement utilisé
- type de sortie
- si possible temps et coûts

Un autre critère de sélection des articles a été utilisé : dans la mesure du possible nous avons essayé de trouver des expérimentations qui réunissent des utilisateurs et des techniciens. Sans entrer dans les détails de l'organisation américaine, nous savons cependant qu'un grand nombre d'expérimentations et d'opérations ont été conduites aux U.S.A. dans le domaine du "Land cover and Land use" sous l'impulsion de l'USGS (1) et de la NASA en liaison avec des Etats et souvent avec des subventions fédérales.

---

(1) USGS : United States Geological Survey, agence du Département d'Etat de l'intérieur.

En effet, une première phase d'expérimentations a tout d'abord eu lieu, avant même le lancement du premier LANDSAT, en utilisant des données aéroportées, soit des photographies aériennes à haute ou moyenne altitude, soit des données multispectrales, ceci dans le but de préparer l'utilisation des données satellite. Une deuxième phase d'expérimentation a concerné ensuite l'utilisation de l'imagerie fournie par LANDSAT 1, puis LANDSAT 2, venant en complément des données traditionnelles. Cette deuxième phase, non encore terminée, est menée sous l'impulsion d'agences fédérales par la création de groupes réunissant des utilisateurs fédéraux ou locaux, dans les Etats ou les Comtés, et des techniciens provenant de la NASA, de l'USGS, de certaines universités et de groupes privés développant les technologies de traitements. Ces groupes fonctionnent avec des subventions fédérales sans lesquelles peu d'expérimentations auraient eu lieu, à l'exception du domaine de la prospection géologique. Ils prennent des formes variées selon les régions américaines ; citons par exemple le "LUMIS" de Los Angeles : Land Use Management Information System, le "Natural Resource Information System in Mississipi", le "Remote Sensing Task Force" du Texas, l'Ohio Kentucky Indiana Regional Council of Governments", OKI, le "South Dakota Land Use Inventory System", etc... Tous associent des universités, des centres de la NASA et les agences locales intéressées, en général sous l'autorité du gouverneur de l'Etat.

Le concept de "Land cover and Land use" mérite un certain développement. Ce terme apparaît en Grande Bretagne où est réalisé entre 1931 et 1938 le "Land use survey of Britain". En 1956 est instauré un "World Land Use Survey", sous l'impulsion de Stamp, lors du XVIIIè congrès de l'UGI (Union Géographique Internationale). Différentes organisations d'enseignement et de recherche, surtout anglo-saxonnes, utiliseront ce concept et réaliseront des cartes, au niveau national ou régional. Citons par exemple les Australien et Néo-Zélandais du CSIRO. Cette notion a repris de la vigueur avec la télédétection en 1971 sous l'impulsion de J.R. Anderson, de l'USGS. Elle se traduit par la publication, en 1976, d'une nomenclature à plusieurs niveaux (cf. annexe) qui sert de base à toute réalisation cartographique aux U.S.A. sur ce thème (J.R. Anderson, E.E. Hardy, J.J. Roach, R.E. Witmer : "A land use and land cover classification system for use with remote sensor data", USGS professional paper n° 964 - Washington, 1976, 28 p.).

L'intérêt des américains pour ce concept et son approche par télédétection peut être ainsi résumé : "une nation moderne comme une entreprise moderne se doit d'avoir les informations adéquates sur les aspects des interrelations nombreuses et complexes de ses activités en vue d'être en mesure de prendre des décisions" (Extrait de la brochure USGS de présentation du système de classification du "land use"). La nécessité d'une gestion générale du sol considéré comme un bien collectif se fait jour aux U.S.A., tant au niveau fédéral qu'au niveau des cités et des comtés. En effet, la consommation d'espace devient préoccupante même dans ce vaste pays et de nombreux conflits en cours nécessitent des études de base sur les affectations du sol et l'environnement d'une façon générale. Les mouvements de population et d'industries, l'écologie, les économies d'énergie, l'inventaire des ressources ont provoqué une volonté de mise en place d'outils, non pas de contrôle mais capables de faire apparaître des évolutions.

D'autre part, il n'y a pas de collecte systématique d'information sur l'occupation et l'utilisation du sol aux U.S.A. contrairement à ce qui se passe au Canada, au Japon ou dans certains pays européens. Enfin, les Etats-Unis ont un très grand retard cartographique par rapport aux pays européens. En France, par exemple, la couverture complète du pays à grande échelle est réalisée ou en achèvement (1/80.000 puis 1/25.000)et les statistiques y datent d'avant la création des U.S.A. et du Canada : les premiers fondements de la connaissance du territoire et de la statistique agricole sont antérieurs à la Révolution de 1789. Les forêts royales, puis domaniales, sont gérées et aménagées depuis François 1er ou Colbert. Le cadastre date de Napoléon 1er. Une carte topographique traditionnelle au 1/250.000 est en cours de réalisation aux U.S.A. sous la responsabilité de l'USGS. Des documents complémentaires sur l'utilisation du sol, à cette échelle, y sont adjoints. L'ensemble est digitalisé et peut être combiné avec d'autres sources d'informations. Cette opération fait suite à une première tentative de l'USGS dans les années 60 conduisant à la réalisation "d'orthophotomaps".

Actuellement, 20 % du territoire US est couvert par ce document, la totalité devant être terminée vers 1985. L'échelle du 1/250.000, quoique peu fine, a été retenue de façon à homogénéiser les résultats et à pouvoir disposer d'un document d'inventaire sur tout le pays. Il a été décidé en 1971 la création d'un comité directeur interagences (1) pour étudier les informations et la classification de l'utilisation du sol et développer un système national capable d'intégrer des données conventionnelles et celles issues de la télédétection. Les critères devant servir de base à la définition de ce système sont les suivants :

- niveau de précision minimum dans l'identification de l'utilisation des sols à partir des données issues de la télédétection fixé à 85 %.
- cette précision doit être la même pour toutes les catégories d'utilisation du sol.
- on doit parvenir à la similitude des résultats entre deux interprètes ou deux "détecteurs".
- la classification doit être applicable sur des zones extérieures.
- la classification doit pouvoir être utilisée à différentes périodes de l'année.
- elle doit être compatible avec des données issues d'observations au sol.
- l'agrégation des catégories d'utilisation du sol doit être possible.
- la comparaison doit être possible avec de futures utilisations du sol.
- les différentes utilisations du sol doivent être reconnues.

En définitive, le système monté demande à la chaîne de télédétection d'exécuter, par des classifications ou classements des données radiométriques, des cartes automatiques et des statistiques de l'occupation et de

(1) Interagency Steerning Committee, comprenant l'USGS, la NASA, le service de la conservation des sols, l'Association des géographes américains et l'Union géographique internationale.

l'utilisation du sol à des fins d'inventaire statique et si possible dynamique, c'est-à-dire renouvelable.

Par cartes automatiques issues de classement, on entend que chaque pixel de la scène traitée soit affecté à une classe par une procédure la plus automatique possible et que cette classe ait une relation bi-univoque avec une catégorie d'utilisation du sol. Dès que l'on a réussi à établir cette relation classe-catégorie d'utilisation du sol, une légende peut être attribuée au résultat de classement et il ne reste plus qu'à régler le problème de sa représentation cartographique. Cette démarche globale reste un modèle théorique vers lequel on s'efforce de tendre mais qu'il n'est pas toujours possible de réaliser avec une représentativité suffisante, tout au moins dans l'état actuel des connaissances et des données.

On peut dès maintenant dire que ces procédures sont au point pour un nombre limité d'images, à des dates données. Dès que l'on change de date, il y a nécessité de refaire des étapes d'entraînement, en particulier à cause du problème des corrections radiométriques à introduire. En effet, la radiométrie des objets change en fonction de leur état physique et de leur éclairement et l'énergie captée à bord du satellite est fonction d'une part de l'état de l'atmosphère, d'autre part des performances des détecteurs. Par ailleurs, le problème du recalage d'une image prise à une date sur une autre image de la même scène, pixel à pixel, est résolu, mais très onéreux.

C'est dans cet état d'esprit que nous avons dépouillé la bibliographie américaine. Nous verrons au paragraphe "conclusions" les précautions à prendre concernant les problèmes français.

Nous proposons, pour rendre compte du concept "land cover and land use", la traduction française suivante : "occupation et utilisation du sol". Le terme "land cover" a en effet une résonnance passive, il s'agit d'un constat de l'occupation du sol, soit par différents types de couverture végétale, soit par les eaux, l'agriculture ou l'urbanisation. Le terme "land use" introduit une notion active que l'on peut rendre par le mot utilisation qui sous-entend utilisation par l'homme. Le mot land est souvent traduit indifféremment par sol, terres, territoire ou espace. La notion d'utilisation prend en compte non seulement ce qui se passe à la surface du sol, mais également les faits socio-économiques de type structure des exploitations agricoles, régime foncier du sol, valeur vénale des terres, etc... qui, pour

l'instant, nécessitent des dispositifs d'enquêtes spécifiques. Des indicateurs indirects de ces faits sont parfois discernables sur les documents de télédétection. (Ceci n'est pour le moment qu'au stade de la recherche). Le terme d'occupation et utilisation du sol concerne un premier niveau d'observation. Un niveau plus précis, renvoyant à des domaines bien circonscrits (l'agriculture, l'urbain, ...) autorise l'emploi du terme utilisation des terres. Le terme occupation et utilisation de l'espace (ou du territoire) concerne non seulement l'espace-support mais également l'espace-objet, c'est-à-dire la relation entre une société et son espace : propriété, valeur, usage.

2.1.2.- Définition des termes employés en télédétection

Les numéros renvoient aux colonnes des tableaux 1, 2, 3 et 4.

Types de données : il s'agit des différentes données de télédétection acquises par avion ou par satellite. On distinguera successivement :

1 - Les photographies aériennes classiques noir et blanc (panchromatiques, ou IR N/B) prises à différentes altitudes, soit à l'occasion de l'expérimentation, soit existantes dans des collections permanentes et remises à jour selon des périodicités variées. Rappelons que si la photographie aérienne est incluse dans la télédétection au sens large du terme, nous n'avons pas retenu les expérimentations qui font uniquement appel à ce moyen. Dans notre cas, il s'agit d'un moyen d'accompagnement qui n'est pas nécessairement indispensable.

2 - Les photographies aériennes IRC, infra-rouge couleurs (dites parfois fausses couleurs). Même remarque que précédemment, en observant cependant que la richesse informationnelle des clichés IRC est nettement supérieure à celle des clichés panchromatiques au moins dans les domaines de la végétation et de l'humidité. C'est pourquoi il est fait souvent appel à ce type de données.

3 - MSS aéroporté : ce sont les données acquises par des capteurs multispectraux aéroportés, à balayage, travaillant généralement dans les longueurs d'onde du visible au proche infra-rouge et dans quelques bandes de l'infra-rouge thermique.

4 - Landsat "image" : sous ce terme on désigne les restitutions sur film des bandes magnétiques contenant les données acquises par les capteurs embarqués sur les satellites Landsat 1 et 2. Ces restitutions sont disponibles sur films négatifs ou positifs, avec ou sans amélioration d'image et sont suceptibles de traitements photographiques ou optiques. Les plus utilisés sont les tirages sur papier à différentes échelles de chaque canal, les équidensités colorées et les compositions colorées.

5 - Landsat "digital" : ce sont les données numériques stockées sur bande magnétique CCT (computer compatible tapes) selon deux formats (américain ou européen).
Rappelons qu'une "scène", ou une "vue" Landsat contient, sur bande magnétique, les données de 7.581.600 points, ou pixels, soit 2.340 lignes et 3.240 colonnes ; la taille du pixel est 57 x 79 mètres ; chaque pixel est caractérisé par 4 valeurs numériques codées sur 6 ou 7 bits, représentant les énergies réfléchies dans les 4 canaux du capteur MSS-Landsat. Le pixel couvre un acre, ou 40 ares. Une "image" ou "vue" représente une scène, c'est-à-dire une fraction de la surface du sol, de 185 km x 185 km prise en 27 sec 6, à une date donnée. La même fraction de la surface du sol (la même scène) sera survolée 18 jours plus tard et cela constituera une autre image (ou vue).

6 - Skylab : les données acquises par Skylab sont parfois utilisées, notamment celles issues du capteur MSS (S 192) travaillant dans 13 longueurs d'onde comprises entre 0,41 et 12,5 micron avec un balayage conique et une résolution de 33 ou 66 mètres. Ces données sont assez bruitées ; elles ne sont généralement utilisées que sous forme de restitution sur film dans certains canaux pour combler le manque d'images Landsat ou à titre de comparaison, par photointerprétation. Il y aussi des photographies classiques.

7 - Autres satellites : aucune expérimentation française centrée sur l'occupation et l'utilisation du sol n'a utilisé de données provenant d'autres satellites que les Landsat 1 et 2 et Skylab. Il semble que certaines expériences américaines aient pu bénéficier de données de satellites militaires dont les performances et les caractéristiques ne sont pas connues.

8 - Nombre d'images : le nombre qui figure dans cette colonne indique, quand on a pu le trouver, le nombre "d'images" (vues ou scènes) Landsat de 185 km x 185 km telles que définies au § 5 utilisées dans l'expérimentation, sous forme de bande magnétique ou de restitution sur film.

9 - Vérité terrain : sont recensées dans cette colonne, les expérimentations qui ont procédé à une acquisition de "données sol" (1) spécifique, en général au moment des survols avion ou satellite. Le but de ces données est d'initialiser certains traitements numériques, de contrôler et d'interpréter les résultats de classification, d'aider à l'identification des images dans les actions de photointerprétation et d'étudier certains problèmes physiques.

10 - Photointerprétation classique : comme il a été dit au § 1, cette démarche n'est jamais utilisée seule dans le cadre de cette étude, mais toujours en complément des autres méthodes. C'est une technique désormais éprouvée dans de nombreux domaines, qu'il s'agisse des clichés panchromatiques ou IRC, mais qui fait appel essentiellement à la qualité du photointerprète. A ces techniques il faut maintenant ajouter les nouvelles conceptions d'analyse de textures et de structures qui font progresser la recherche des informations contenues dans les clichés aériens. La photointerprétation joue un rôle important, à côté de la vérité terrain, dans les opérations d'initialisation et d'interprétation du traitement numérique, notamment pour tout ce qui concerne la recherche de zones homogènes, le repérage et l'identification.

11 - Photointerprétation d'image Landsat : par ce terme, il faut entendre l'interprétation, selon des techniques analogues à celles utilisées en photointerprétation classique, des visualisations des données Landsat. Ces "visus" se présentent, soit sous la forme de transparents ou de tirages papier des canaux Landsat à des échelles variant entre le 1/1.000.000 et le 1/100.000, avec ou sans amélioration d'image, soit sous la forme de compositions colorées obtenues à partir des canaux 4, 5 et 7, aux mêmes échelles que les transparents d'origine.
Ces visualisations peuvent également être obtenues et interprétées sur des écrans colorés dans le cadre de systèmes interactifs.

---

(1) On emploie les termes de "vérité terrain", "données sol", "acquisition sur site", etc...

12 - Traitement numérique : on indique là les expérimentations qui ont travaillé sur les données numériques avec des systèmes qui comprennent en général des algorithmes spécifiques, un calculateur avec ses périphériques habituels, une ou plusieurs consoles de visualisation, et des sorties graphiques qui peuvent aboutir à une cartographie automatique.

Les principaux systèmes actuels sont les suivants (1) :
(l'ordre adopté n'a aucune signification)

IMAGE 100	- General Electric	- algorithme par bornes	- interactif
M-DAS	- BENDIX	- gaussien	- interactif
LARSYS	- LARS (2)	- gaussien	- interactif
LARS JSC	- dérivé de LARSYS au Jonhson Space Center - HOUSTON	- gaussien	- non interactif
CALSCAN	- dérivé de LARSYS California University		
ERIPS (3)	- IBM	- gaussien	- interactif
SYSTEME 101	- I_2S (4)	- gaussien	- interactif
ISOCLAS ISOCLS	- dérivé de ISODATA au Jonhson Space Center	- gaussien	- non supervisé
CLAMS FRACAM	- Ecole des Mines - EPHE - ENS - CNES	- analyse des correspondances	- non supervisé
FRACARTE	- id -	- bornes	- interacti
IFP	- Institut français des Pétroles	(- composantes principales (- gaussien	- non supervisé - non interacti
ARGUS	- DFVLR (RFA) en cours de développement		
HIPS	- Harwell Image Processing System (G.B.)	(- composantes principales (- gaussien	- interactif
ERMAN 2	- IBM en cours de développement en France		

(1) Se reporter au chapitre sur les traitements.

(2) Laboratory for Applications of Remote Sensing - Purdue University (Indian

(3) Earth Ressources Interactive Processing System

(4) International Imaging Society

13 - 14 - 15 - Précisions sur le type de traitement numérique : on s'est contenté d'indiquer là s'il s'agit de traitements supervisés, interactifs ou pas, ou de traitements non supervisés.

Type de sortie : dans le domaine de l'occupation et de l'utilisation des sols, les résultats recherchés sont généralement présentés sous forme cartographique et/ou statistique.

16 - Cartes classiques : il s'agit de cartes obtenues manuellement après interprétation des visualisations soit des données Landsat, soit des résultats de classification. Une carte porte obligatoirement une échelle, une légende et un système géographique de référence (coordonnées). Cela signifie que tout résultat de traitement a été clairement interprété et traduit en termes utilisables.

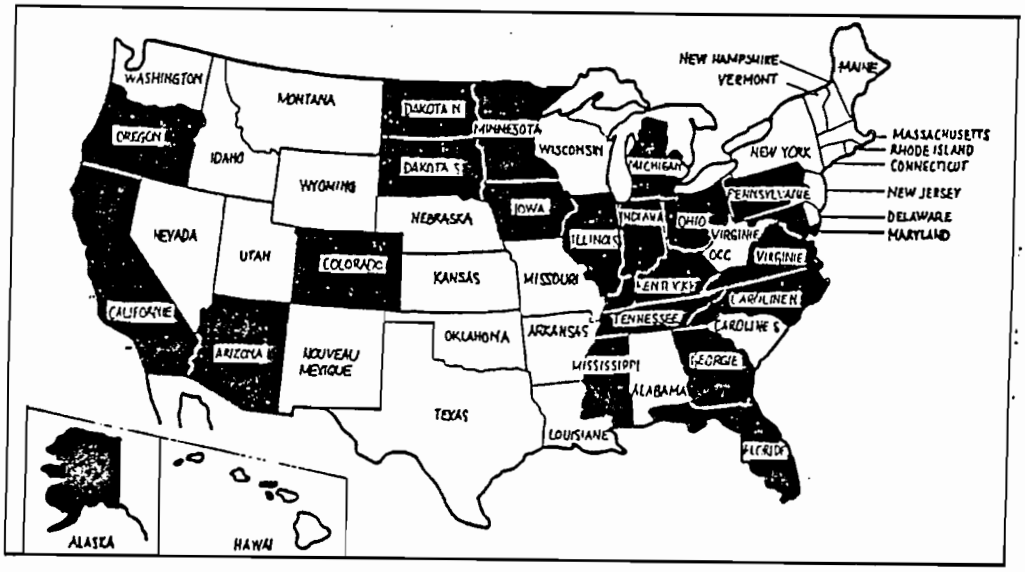
17 - Cartes automatiques : ce sont des cartes obtenues à la suite du traitement numérique par divers procédés (trac eurs, restituteurs d'images ...) sans intervention manuelle au niveau du dessin et généralement à la suite d'opérations de lissage. Comme les autres cartes, elles supposent une légende explicite, c'est-à-dire que l'on ait correctement attribué un contenu à chaque classe issue du traitement numérique, une échelle et des coordonnées, ce qui suppose que l'on ait résolu les problèmes de géométrie.

18 - Statistiques : ce sont des tableaux qui indiquent, au minimum, les superficies occupées par les différentes classes obtenues par traitement numérique, en valeur absolue ou relativement, en % du nombre de points traités. On n'a pas indiqué dans cette colonne les statistiques obtenues "à la main" par planimétrage ou après digitalisation des cartes.

19 - 20 : préopérationnel, expérimental : on a porté dans ces colonnes l'avis des auteurs des articles dépouillés ; il ne s'agit pas d'une évaluation faite par nous. Pour éclairer cet avis, il faut se reporter à des données telles que superficie traitée, nombre d'images utilisées, méthode employée, organisme demandant l'étude, conditions particulières de l'expérimentation et du terrain.

2.1.3.- Tableaux de dépouillement de la bibliographie

Localisation des expérimentations US analysées dans le présent chapitre.



Les expérimentations ne concernent pas toujours l'ensemble de l'Etat figuré en noir. Cette carte ne représente pas non plus la totalité des Etats ayant entrepris des expérimentations "télédétection".

TABLEAU 1.

PRINCIPAUX THEMES		ARTICLES	LOCALISATION	TYPE DE DONNEES								METHODOLOGIE				TRAITEMENT NUMERIQUE			TYPE DE SORTIES			ESTIMATION	
				Photographie aérienne classique	Photographies aériennes IRC	MSS aéroporté	Landsat image	Landsat digital	Skylab	Autres satellites	Nombre d'images Landsat	Vérité terrain	Photointerprétation classique	Photointerprétation images Landsat	Traitement numérique	Supervisé	Supervisé interactif	Non supervisé	Cartes classiques	Cartes automatiques	Statistiques	Prépérationnel	Expérimental
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
INVENTAIRE DE L'OCCUPATION DU SOL	a	AGRICULTURAL ANALYSIS OF LANDSAT DIGITAL DATA FROM WILLIAM COUNTY, NORTH DAKOTA, USING G.E. IMAGE 100 SYSTEMS	Deux zones test (3 x 13 Km) North Dakota Saskatchewan					●			2	●	-		●		●			●	●		●
	c	MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA FOR CHANGE DETECTION	Colorado Rocky Mountains Indiana Marion County					●			2				●		●						
	d	RESULTS FROM THE CROP IDENTIFICATION TECHNOLOGY ASSESSMENT FOR REMOTE SENSING (C.I.T.A.R.)	Indiana et Illinois Six zones test		●			●			6	●	●		●		●						●
	d	ILLINOIS CROP AGREAGE ESTIMATION EXPERIMENT	Etat Illinois (10 départements sur 102)	●	●			●			1	●			●		●			●			●
	e	INVENTORY OF RICEFIELDS IN FRANCE USING LANDSAT AND AIRCRAFT DATA	Camargue 12.000 ha 4°25W - 4°50W 43°24N - 43°45N	●	●	●	●	●				●	●		●	●		●					●
	a	LANDSAT I DATA, ITS USE IN A SOIL SURVEY PROGRAM	ES Dakota et W Minnesota lat. 45°15'				●	●			2	●		●			●		●	●			
	c	THE SOUTH DAKOTA LAND USE INVENTORY SYSTEM	South Dakota	●				●				●			●		●			●			●
	b	OHIO'S STATEWIDE LAND USE INVENTORY	L'état Ohio				●	●			12				●		●			●	●		●
	e	DIGITAL ANALYSIS OF LANDSAT DATA FOR SURVEYING NATURAL RESOURCES IN WESTERN SUDAN	SE partie du N-KORDOFAN NE partie du S-KORDOFAN				●	●				●			●		●			●		●	
	e	APPLICATION OF LANDSAT DATA TO WETLAND STUDY AND LAND USE CLASSIFICATION IN WEST TENNESEE	North Fork Watershed of the North Fork-Forked Deer River Northwest Tennesee		●		●				1	●			●	●				●			●
	b	APPLICATION OF SATELLITE REMOTE-SENSING DATA TO LAND SELECTION AND MANAGEMENT	Alaska région de Kaltag - Grayling	●			●					●	●	●					●			●	
	b	ARIZONA LAND USE EXPERIMENT	Etat Arizona	●	●		●						●	●					●				●
	e	PRODUCTION OF A MAP OF LAND-USE IN IOWA THROUGH MANUAL INTERPRETATION OF LANDSAT IMAGERY	Iowa	●			●		●			●	●	●					●			●	
	e	THE DEVELOPMENT OF A LAND USE INVENTORY FOR REGIONAL PLANNING USING SATELLITE IMAGERY (OHIO)	Etat Ohio, région Cincinnati Ohio-Kentucky-Indiana ; 2700 square miles				●							●						●			
	e	LAND UTILISATION AND ECOLOGICAL ASPECTS IN THE SYLHET-MYMENSINGH HAOR REGION OF BANGLADESH : AN ANALYSIS OF LANDSAT DATA	Haors 3,128 square miles	●			●				1	●	●	●					●				●
	g	PRESENT AND POTENTIAL LAND USE MAPPING IN MEXICO	Mexique	●	●		●		●		200	●	●	●					●			●	

Sources:

a NASA Earth Resources Survey Symposium Houston, Texas, June 1975 Vol. I - A
b Vol. I - C

c LARS . Purdue University - Symposium Proceedings Machine Processing of Remotely Sensed Data June 3 - 5 - 1975
d June 29 - July 1 - 1976

e Eleventh International Symposium on Remote Sensing of Environment April 25 - 29 - 1977 Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan

f Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (Journal of the American Society of Photogrammetry, Vol. XL II, 3, March 1976

g Secretaria de Recursos hydrolico - Mexico

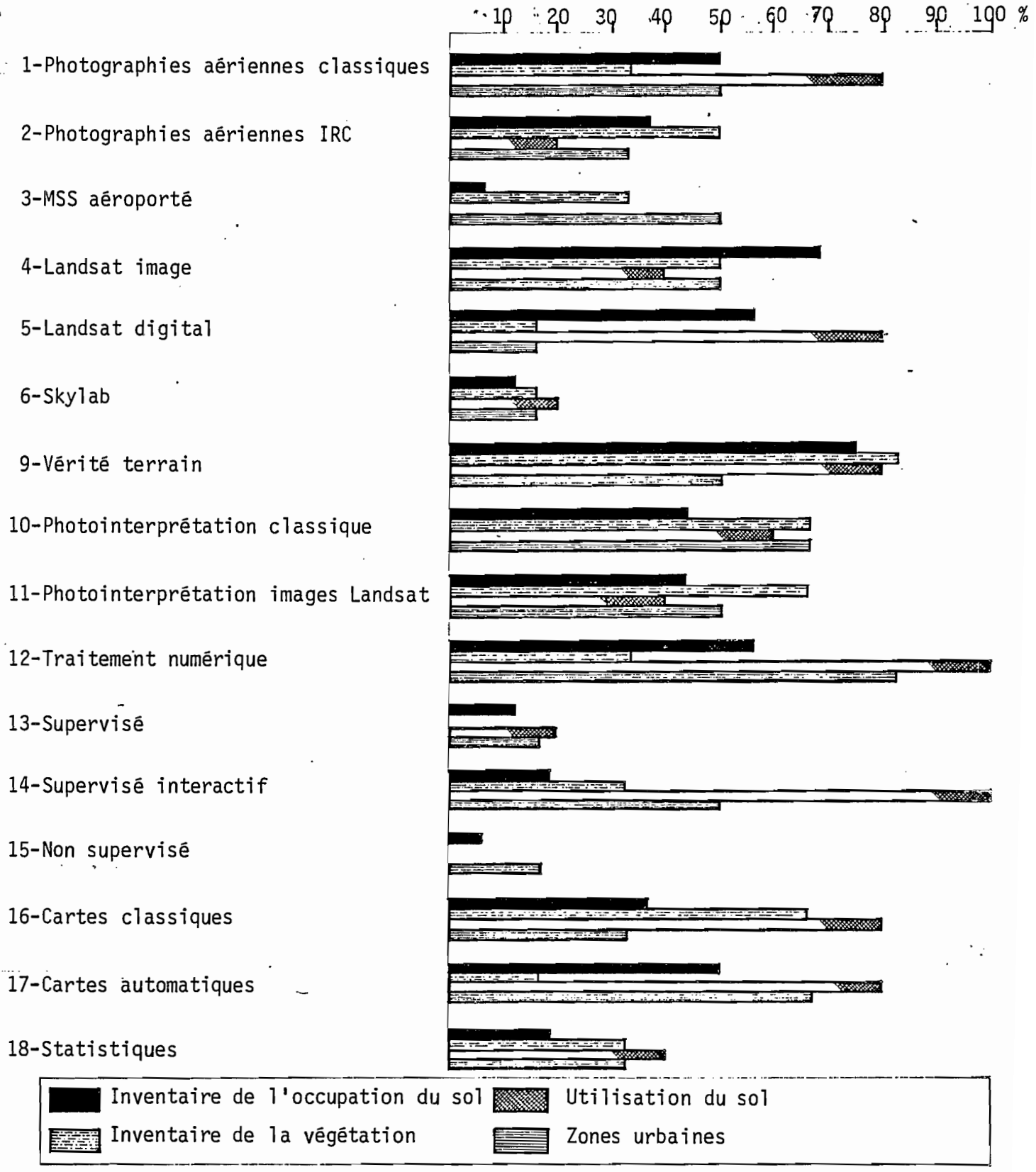
TABLEAU 1. (suite)

PRINCIPAUX THEMES		ARTICLES	LOCALISATION	TYPE DE DONNEES								METHODOLOGIE				TRAITEMENT NUMERIQUE			TYPE DE SORTIES			ESTIMATION	
				Photographie aérienne classique	Photographies aériennes IRC	MSS aéroporté	Landsat image	Landsat digital	Skylab	Autres satellites	Nombre d'images Landsat	Vérité terrain	Photointerprétation classique	Photointerprétation images Landsat	Traitement numerique	Supervisé	Supervisé interactif	Non supervisé	Cartes classiques	Cartes automatiques	Statistiques	Préopérationnel	Expérimental
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
INVENTAIRE DE LA VEGETATION	a	COMPUTER IMPLEMENTED CLASSIFICATION OF VEGETATION USING AIRCRAFT ACQUIRED MULTISPECTRAL SCANNER DATA	N Mississipi T/SHOMINGO STATE PARK		●	●							●		●		●				●		
	a	AUTOMATED IMAGE PROCESSING OF LANDSAT 2 DIGITAL DATA	Californie 22.400 ha autour du LAKE Isabella	●				●				●			●		●			●			●
	a	MONITORING IRRIGATED LAND ACREAGE USING LANDSAT IMAGERY : AN APPLICATION EXAMPLE	Oregon Bassin de Klamath River				●				2	●		●		X	X	X	●		●		●
	d	COMPARAISON OF VEGETATION CLASSES IN THE GREAT DISMAL SWAMP USING TWO INDIVIDUAL LANDSAT IMAGES AND A TEMPORAL COMPOSITE	Virginia (Nord) Carolina. Great Dismal Swamp	●	●		●				2	●	●	●		X	X	X	●				●
	a	UTILIZATION OF LANDSAT IMAGERY FOR MAPPING VEGETATION ON THE MILLONTH SCALE	KANSAS				●				20	●		●		X	X	X	●			●	
	a	THE USE OF SKYLAB DATA TO STUDY THE EARLY DETECTION OF INSECT INFESTATIONS AND DENSITY AND DISTRIBUTION OF HOST PLANTS	100 miles² au N de Weslaco Texas 100 miles² au NW de Mission		●	●			●		2	●	●	●		X	X	X	●				●
UTILISATION DU SOL	b	AN EXAMINATION OF THE POTENTIAL APPLICATIONS OF AUTOMATIC CLASSIFICATION AND TECHNIQUES TO GEORGIA MANAGEMENT PROBLEMS	Etat de Georgia Ile Georgia Savannah Brunswick					●			1	●			●	●	●						●
	b	THE SOUTH DAKOTA COOPERATIVE LAND USE EFFORT	Etat Sud Dakota	●	●		●	●			2	●	●	●	●		●		●	●	●		●
	b	LAND USE AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT IN THE CENTRAL ATLANTIC REGION	Baltimore Philadelphia, Richmond, Norfolk Washington	●			●		●					●	●		●		●	●			
	b	HIGHWAY PLANNING - MICHIGAN	Michigan	●				●				●	●		●		●		●	●	●		
	d	REMOTE SENSING APPLICATIONS FOR IDENTIFYING POTENTIAL RECREATION RESOURCES	Ohio Geauga County, 6.560 acres	●				●			1	●	●		●		●		●	●			●
ZONES URBAINES	d	THE AUTOMATED RECOGNITION OF URBAN DEVELOPMENT FROM LANDSAT IMAGES	Zones urbaines : Reading, Hemel Hempstaed Newmarket	●		●	●	●			2	●			●	●	●		●	●	●		●
	a	LANDSAT-D THEMATIC MAPPER SIMULATION USING AIRCRAFT MULTISPECTRAL SCANNER DATA	Los Angeles 2 miles²			●					1	●			●		●			●			●
	a	SATELLITE INFORMATION ON ORLANDO, FLORIDA	Comté d'ORANGE Ville Orlando et ses environs		●	●	●						●	●	●		●				●		●
	b	INTERACTIVE MULTI-SPECTRAL ANALYSIS OF MORE THAN ONE SONRAI VILLAGE IN NIGER, WEST AFRICA	Fleuve Niger Gothèye, Koulbagou - Haoussa	●			●						●	●	●			●		●			●
	b	LUMIS - A LAND USE MANAGEMENT INFORMATION S M FOR URBAN PLANNING (California)	Bassin de Los Angeles Santa Monica Moutains Ville de Los Angeles	●									●		●		●			●			●
	f	LAND USE MAPPING FROM SKYLAB S-190B PHOTOGRAPHY	Virginia Ville Fair fax		●				●			●	●	●		X	X	X	●				●

Sources:

- NASA Earth Resources Survey Symposium Houston, Texas, June 1975
  - a Vol. I - A
  - b Vol. I - C
- LARS . Purdue University - Symposium Proceedings Machine Processing of Remotely Sensed Data
  - c June 3 - 5 - 1975
  - d June 29 - July 1 - 1976
- Eleventh International Symposium on Remote Sensing of Environment
  - e April 25 - 29 - 1977
  - Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan
- f Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (Journal of the American Society of Photogrammetry, Vol. XL II, 3, March 1976
- g Secretaria de Recursos hydrolico - Mexico

ABAQUE DES EXPERIMENTATIONS DEPOUILLEES



		Nombre d'expérimentations	TYPE DE DONNES						METHODOLOGIE				TYPE DE TRAITEMENT NUMERIQUE			TYPE DE SORTIE			ESTIMATION	
			Photographies aériennes classiques	Photographies aériennes IRC	MSS aéroporté	Landsat image	Landsat digital	Skylab	Vérité terrain	Photointerprétation classique	Photointerprétation images Landsat	Traitement numérique	Supervisé	Supervisé interactif	Non supervisé	Cartes classiques	Cartes automatiques	Statistiques	Préopérationnel	Expérimental
			1	2	3	4	5	6	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
I	INVENTAIRE DE L'OCCUPATION DU SOL	16	8	6	1	11	9	2	12	7	7	9	2	3	1	6	8	2	4	9
II	INVENTAIRE DE LA VEGETATION	6	2	3	2	3	1	1	5	4	4	2	-	2	-	4	1	2	1	4
III	UTILISATION DU SOL	5	4	1	-	2	4	1	4	3	2	5	1	5	-	4	4	2	-	3
IV	ZONES URBAINES	6	3	2	3	3	1	1	3	4	3	5	1	3	1	2	4	2	-	6
	TOTAL	33	17	12	6	19	15	5	24	18	16	21	4	13	2	16	17	8	5	22

Tableau 2 - Répartition des expérimentations dépouillées selon le thème principal, le type de données, la méthodologie, le type de traitement numérique et le type de sortie (unite = l'expérimentation dépouillée)

		Nombre d'expérimentations (%)	TYPE DE DONNES						METHODOLOGIE				TYPE DE TRAITEMENT NUMERIQUE			TYPE DE SORTIE			ESTIMATION	
			Photographies aériennes classiques	Photographies aériennes IRC	MSS aéroporté	Landsat image	Landsat digital	Skylab	Vérité terrain	Photointerprétation classique	Photointerprétation images Landsat	Traitement numérique	Supervisé	Supervisé interactif	Non supervisé	Cartes classiques	Cartes automatiques	Statistiques	Préopérationnel	Expérimental
			1	2	3	4	5	6	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
I	INVENTAIRE DE L'OCCUPATION DU SOL	48	47	50	17	58	60	40	50	39	44	43	50	23	50	38	47	25	80	41
II	INVENTAIRE DE LA VEGETATION	18	12	25	33	16	7	20	21	22	25	9	-	15	-	25	6	25	20	18
III	UTILISATION DU SOL	16	23	8	-	10	26	20	17	17	12	24	25	39	-	25	24	25	-	14
IV	ZONES URBAINES	18	18	17	50	16	7	20	12	22	19	24	25	23	50	12	23	5	-	27
	TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tableau 3 - Répartition des expérimentations par méthode, type de données, type de traitement numérique et type de sorties, selon les thèmes principaux (en %)

		Nombre d'expérimentations (%)	TYPE DE DONNES						METHODOLOGIE				TYPE DE TRAITEMENT NUMERIQUE			TYPE DE SORTIE			ESTIMATION	
			Photographies aériennes classiques	Photographies aériennes IRC	MSS aéroporté	Landsat image	Landsat digital	Skylab	Vérité terrain	Photointerprétation classique	Photointerprétation images Landsat	Traitement numérique	Supervisé	Supervisé interactif	Non supervisé	Cartes classiques	Cartes automatiques	Statistiques	Préopérationnel	Expérimental
			1	2	3	4	5	6	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
I	INVENTAIRE DE L'OCCUPATION DU SOL	100	50	37	6	69	56	12	75	44	44	56	12	19	6	37	50	19	25	56
II	INVENTAIRE DE LA VEGETATION	100	33	50	33	50	17	17	83	67	67	33	-	33	-	67	17	33	17	67
III	UTILISATION DU SOL	100	80	20	-	40	80	20	80	60	40	100	20	100	-	80	80	40	-	60
IV	ZONES URBAINES	100	50	33	50	50	17	17	50	67	50	83	17	50	17	33	67	33	-	100
	ENSEMBLE		51	36	18	57	42	15	73	54	48	64	12	39	6	48	51	24	15	67

Tableau 4 - Répartition des expérimentations, dans chaque thème principal, selon les méthodes utilisées, le type de données, le type de traitement et le type de sorties (en %)

2.1.4.- Analyse des tableaux

2.1.4.1.- Généralités

Les tableaux précédents tentent de regrouper les éléments qui se sont dégagés lors du dépouillement de la bibliographie américaine.

Le tableau 1 présente des caractéristiques des expérimentations retenues: en ligne les expérimentations groupées en quatre thèmes principaux : "inventaire de l'occupation des sols", "inventaire de la végétation", "utilisation du sol" et "zones urbaines", en colonne les localisations, types de données, méthodologie et type de sortie tels que définis au § 2.1.2.

Un premier abaque reprend en ligne les méthodes employées, selon les quatre grands groupes cités précédemment ; on y lit que 50 % des expérimentations dans le domaine de l'occupation des sols utilisent la photo-aérienne, que 80 % des expérimentations dans le domaine de l'utilisation du sol ont également recours à la photo aérienne, etc...

Le tableau 2 regroupe les expérimentations en donnant les chiffres absolus ; exemple : 16 expérimentations traitent de l'inventaire de l'occupation des sols, 8 utilisent la photo classique, 6 la photo IRC, 11 Landsat "image", etc...

Le tableau 3 reprend ces mêmes chiffres mais en pourcentages effectués par rapport au total en colonne du tableau 2. On y lit que 47 % du total des expérimentations utilisant la photo-aérienne se rapporte au thème "inventaire de l'occupation des sols", etc...

Le tableau 4 reprend les chiffres du tableau 2 mais en pourcentages effectués par rapport au total en ligne, où l'on y lit que 50 % des expérimentations du thème "inventaire de l'occupation des sols" utilise la photo aérienne, etc...

Il faut noter que chaque expérimentation utilise en général plusieurs types de données et plusieurs méthodes ; ceci explique pourquoi le total des pourcentages en ligne du tableau dépasse 100 (remarque analogue pour le tableau 3).

On remarque globalement les points suivants :

1° La photographie aérienne joue un rôle très important dans ces expérimentations. Par rapport au cas français, il faut rappeler que les américains utilisent largement ce moyen qui comprend les missions à basse et moyenne altitude et les missions à haute altitude à l'aide des avions U2 (22.000 km d'altitude).

2° Que l'on utilise ou non le traitement numérique, il est fait largement appel aux techniques de la photointerprétation, utilisées non seulement sur les clichés classiques mais aussi sur les documents Landsat.

3° Le poids de la "vérité terrain" est très élevé. Aux U.S.A., la "vérité terrain" consiste en général en des observations directes, spécifiques, mais peu nombreuses accompagnées d'un rassemblement de toute la documentation existante qui permet, au minimum, de retrouver ce que l'on sait déjà et de mettre sur pied des dispositifs relativement simples, à l'aide de systèmes automatiques de traitement, à la disposition des thématiciens locaux.

4° Les traitements numériques supervisés interactifs sont très employés, particulièrement pour le thème utilisation du sol.

5° On notera enfin la part importante (la moitié) consacrée aux problèmes d'inventaire et de cartographie de l'occupation des sols.

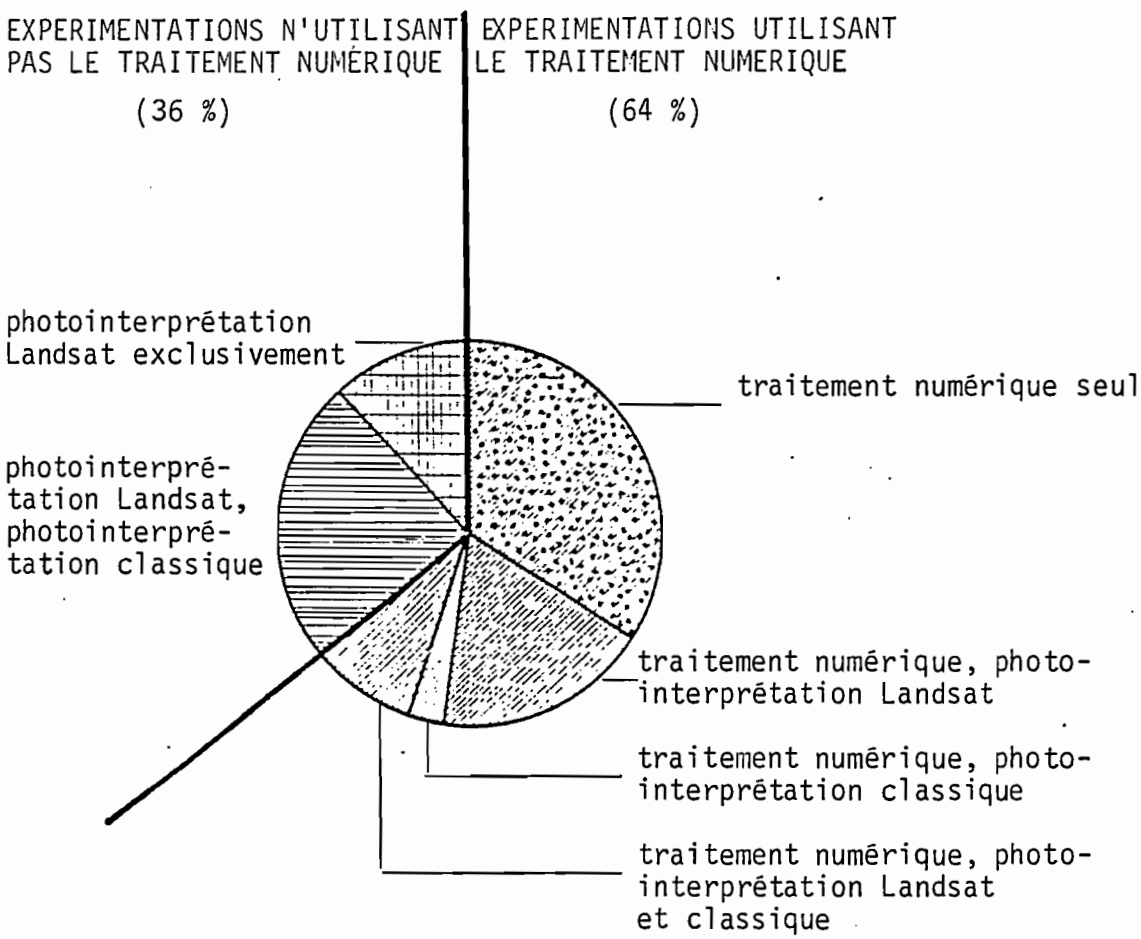
2.1.4.2.- Commentaires sur l'ensemble des expérimentations retenues

On peut constater globalement les faits suivants :

- la moitié des expérimentations utilise la photographie aérienne classique et un tiers les clichés infrarouge couleur, soit comme vérité terrain pour initialiser et évaluer les traitements numériques, soit comme élément de comparaison ou de recours de la photointerprétation des images satellites ou de l'interprétation des résultats de classification, soit comme moyen de complément de Landsat quand la résolution satellite est insuffisante.
- 57 % des expérimentations utilisent les images Landsat ;
- 48 % utilisent les données Landsat numériques ;
- 15 % utilisent les images Skylab, en général pour suppléer le manque d'images Landsat ou à titre de comparaison et de complément ;
- 73 % ont requis une vérité terrain spécifique, c'est-à-dire des enquêtes au sol réalisées pour l'expérimentation et venant en complément de données terrain déjà existantes (photographies aériennes, cartes, enquêtes ou dispositifs permanents divers...).
- la moitié des expérimentations utilise la photointerprétation classique en complément d'autres méthodes ;
- un tiers utilise la photointerprétation des images Landsat, en général de compositions colorées ;
- les deux-tiers emploient le traitement numérique, principalement des traitements supervisés interactifs de type M-DAS de BENDIX, IMAGE 100 de General Electric ou LARSYS du LARS de Purdue ;
- la moitié des expérimentations a pour résultat final des cartes en couleur au 1/250.000 ou au 1/500.000 d'utilisation du sol en diverses catégories de la nomenclature Land Use de l'USGS, niveau 1 parfois niveau 2 ;
- le quart donne des statistiques ;
- enfin, 15 % se déclarent "pré-opérationnels", sur les problèmes d'inventaire de l'occupation du sol et de la végétation.

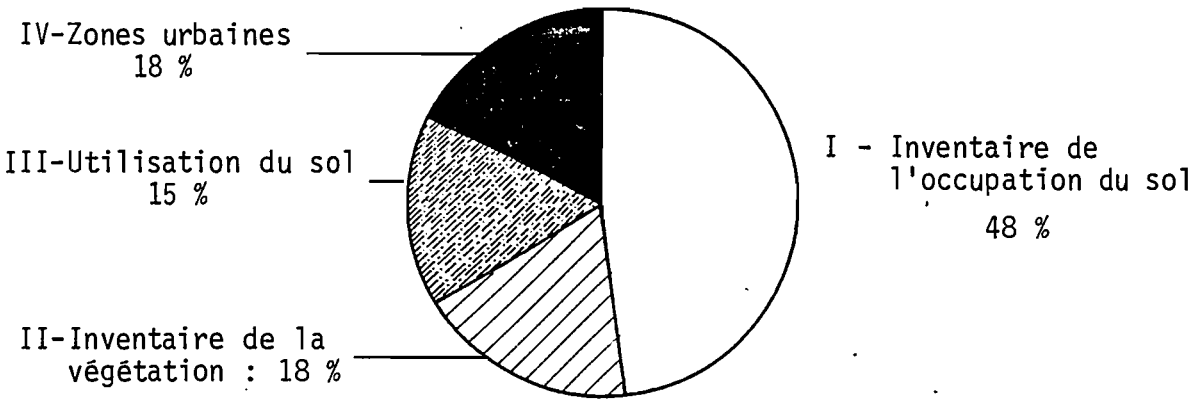
En ce qui concerne la complémentarité des données et des traitements, on remarque globalement que les expérimentations se distribuent ainsi :

		%
	- Expérimentations n'utilisant pas le traitement numérique :	36
dont	. expérimentations utilisant exclusivement la photointerprétation d'images Landsat	12%
	. expérimentations utilisant conjointement la photointerprétation classique et la photointerprétation d'images Landsat	24%
	- Expérimentations utilisant le traitement numérique :	64
dont	. traitement numérique seulement, sans photointerprétation classique ni images Landsat	33%
	. traitement numérique accompagné de photointerprétation classique	18%
	. traitement numérique accompagné de photointerprétation d'images Landsat	4%
	. traitement numérique accompagné de photointerprétation classique et de photointerprétation d'images Landsat	9%



2.1.4.3.- Commentaires selon les thèmes et les méthodes (tableau 3)

On constate tout d'abord que les expérimentations se répartissent ainsi, selon le thème principal, en % :



48 % des expérimentations retenues concernent le thème I,

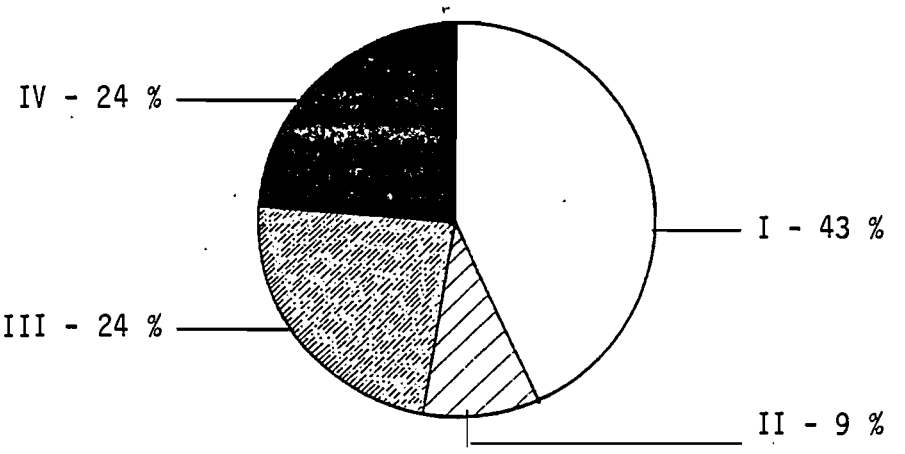
18 % le thème II, "inventaire de l'occupation du sol"

15 % le thème III, "inventaire de la végétation"

18 % le thème IV, "utilisation du sol - zones urbaines".

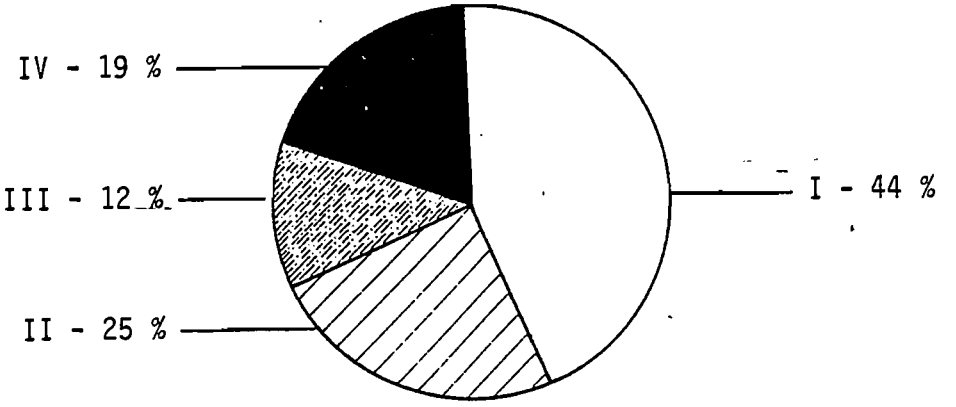
En ce qui concerne l'utilisation des données de télédétection en vue de l'aménagement on observe donc une part prépondérente des expérimentations ayant pour but d'inventorier et de cartographier les faits d'occupation du sol par rapport aux frais d'utilisation par l'homme. Nous sommes en amont de l'aménagement et cela correspond aux préoccupations des grands Etats (type USA) de réaliser des inventaires complets,au niveau national, et selon la même nomenclature. Ceci ne correspond sans doute pas au contexte français purement national, mais semble primordial vis-à-vis des pays en voie de développement.

- Répartition des expérimentations utilisant le traitement numérique, selon le thème principal (en %) ; (colonne 12) :



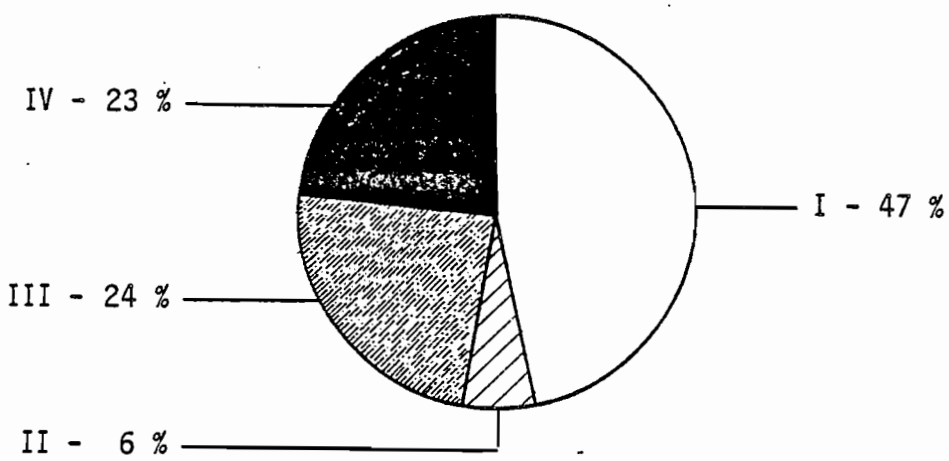
Sur 100 expérimentations utilisant le traitement numérique, 43 concernent le thème 1, "occupation des sols", 9 le thème "végétation", 24 le thème "utilisation du sol" et 24 les thèmes urbains.

- Répartition des expérimentations utilisant la photointerprétation des images Landsat, selon le thème principal, en % (colonne 11) :



Sur 100 expérimentations utilisant les images Landsat pour les interpréter, 44 concernent le thème "occupation des sols".

- Répartition des expérimentations ayant pour sortie des cartes automatiques, selon le thème principal, en % (colonne 17) :



Sur 100 expérimentations qui se terminent par des cartes automatiques, 47 concernent le thème 1.

2.1.4.4. Analyse par thème (tableau 4)

1 - Occupation des sols

. 56 % des expérimentations de ce thème utilisent le traitement numérique, avec une prédominance du traitement supervisé interactif, suivi du supervisé puis du non-supervisé. Parmi ces expérimentations, le quart emploie uniquement le traitement numérique, sans vérité terrain particulière, la moitié emploie le traitement numérique accompagné d'une vérité terrain spécifique, le quart emploie simultanément le traitement numérique, une vérité terrrain spécifique et la photointerprétation.

. 37 % utilisent la photographie aérienne IRC ;

. toutes utilisent Landsat, image ou digital ou les deux conjointement (25 % des cas) ;

. 50 % des expérimentations débouchent sur de la cartographie automatique, 19 % sur des statistiques.

2 - Végétation

. un tiers des expérimentations sur ce thème utilisent le traitement numérique (supervisé interactif), la moitié de celles-ci utilisent également la photointerprétation ;

. un tiers utilise des clichés IRC et des données MSS aéroportées avec traitement numérique ;

. un tiers utilise la photointerprétation d'images Landsat ;

. les deux tiers sortent des cartes classiques.

3 - Utilisation du sol

. toutes les expérimentations sur ce thème utilisent le traitement numérique ;
. 20 % utilisent toutes les méthodes combinées (photographies aériennes, IRC, MSS aéroporté, image Landsat et traitement numérique, avec vérité terrain spécifique) ;
. 40 % utilisent la photointerprétation classique, une vérité terrain spécifique et du traitement numérique ;
. 20 % utilisent conjointement Landsat image et Landsat digital ;
. 20 % le traitement numérique seulement.
. Dans 40 % des cas, il y a trois types de sorties : cartes classiques, cartes automatiques et statistiques.

4 - Zones urbaines

. 83 % des expérimentations sur ce thème utilisent le traitement numérique ;
. la moitié utilise des données MSS aéroportées (plus le radar dans une expérimentation) ;
. 33 % utilisent la photo classique, la photointerprétation des images Landsat et du traitement numérique ;
. 33 % utilisent conjointement Landsat digital et données MSS aéroportées ;
. 33 % utilisent Landsat image et digital ;
. 17 % donnent trois types de sortie.

2.1.5. Premières conclusions

Ce dépouillement d'expérimentations vraisembablement équiréparties dans la bibliographie américaine appelle les commentaires suivants :

1°)- Les thèmes abordés relèvent essentiellement du groupe 1 et partiellement du groupe 2 de la nomenclature des besoins des aménageurs cités au chapitre 1 : inventaires de base et inventaire de l'utilisation au sol, selon la nomenclature USGS citée ci-après . En fait, nos critères de sélection d'articles ont conduit à éliminer des expérimentations sur un certain nombre d'autres thèmes car celles-ci n'apportent pas encore de résultats concluants pour l'aménageur ; elles en sont au stade de la recherche. C'est le cas par exemple des recherches sur les cultures (stades phénologiques, état phyto-sanitaire, ...) et les liaisons eau-sol-plante.

2°)- Les conditions de réalisation de ces expérimentations sont particulières et elles n'autorisent pas d'extrapolation pure et simple à l'espace français. En effet, la plupart concerne le territoire américain. Or celui-ci présente globalement des caractéristiques d'organisation de l'espace très différentes de ce que nous connaissons en France :
- plus grande homogénéité des milieux naturels
- parcellaire de grande taille
- moindre diversité des cultures qu'en Europe

Par ailleurs l'accès à l'imagerie est plus facile.
Le pixel du satellite Landsat correspond à peu près à une superficie d'un acre. Si l'on considère de plus la capacité des systèmes de traitement actuels, les champs américains de plusieurs dizaines, voire centaines d'acres ont une probabilité élevée d'être identifiés et inventoriés à partir des données Landsat et cela est moins évident dans le contexte du parcellaire français.

3°)- Le résultat concret de la plupart de ces expérimentations est une cartographie en un certain nombre de niveaux

Nous citerons tout d'abord la nomenclature de base d'Anderson :

ANDERSON LAND USE CLASSIFICATION

1er niveau	2ème niveau	
1-URBAN or BUILT-UP LAND URBAIN-Zones urbanisées	11-Residential	Résidentiel
	12-Commercial and Services	Commerces et Services
	13-Industrial	Industrie
	14-Transportation, Communications and Utilities	Transports, Communications, et Services publics
	15-Industrial and commercial complexes	Complexes et commerciaux
	16-Mixed Urban or Built-up land	Terrains partiellement urbanisés ou bâtis
	17-Other Urban or Built-up land	Autres terrains urbanisés ou bâtis
2-AGRICULTURAL LAND zones agricoles	21-Cropland and Pasture	Cultures annuelles et pâturages
	22-Orchards, groves vineyards, Nurseries and ornamental horticulture areas	Vergers, bosquets, vignes, pépinières et horticulture ornementale
	23-Confined Feeding Operations	Elevage industriel
	24-Other agricultural land	Autres terres agricoles
3-RANGELAND landes et friches	31-Herbaceous rangeland	Landes et friches en herbe
	32-Shrub and Brush rangeland	Landes et friches à buisson et épineux
	33-Mixed rangeland	Mixte

4-FOREST LAND Forêts	41-Deciduous forest land	Forêts à feuilles caduques
	42-Evergreen forest land	Forêts à feuilles persistantes
	43-Mixed forest land	Forêts mixtes
5-WATER Eaux	51-Streams and canals	Cours d'eau canaux
	52-Lakes	Lacs
	53-Reservoirs	Réservoirs
	54-Bays and estuaries	Baies et estuaires
6-WETLAND Zones humides	61-Forested wetland	Zones humides boisées
	62-Nonforested wetland	Zones humides non boisées
7-BARREN LAND Terrains nus et arides	71-Dry Salt Flats	Lacs salés-chotts
	72-Beaches	Plages-grèves
	73-Sandy areas other than beaches	Zones sableuses autres que plages
	74-Bare exposed rock	Roches à nu
	75-Strip mines, quarries and gravel pits	Mines à ciel ouvert, carrières sablières
	76-Transitional areas	Zones de transition
	77-Mixed barren land	Zones mixtes

8-TUNDRA	81-Schrub and bruch tundra	Toundra à buissons et épineux
Toundra	82-Herbaceous tundra	Toundra herbeuse
	83-Bare ground tundra	Toundra aride
	84-Wet Tundra	Toundra humide
	85-Mixed Tundra	Mixte
9-PERENNIAL SNOW OU ICE		
Neiges éternelles ou glaces	91-Perennial Snow-fields	Neiges éternelles
	92-Glaciers	Glaciers

Les niveaux 1 et 2 sont suivis de niveaux inférieurs allant plus loin dans le détail (cf. annexe).

Il s'agit d'une nomenclature à niveaux emboîtés proposée pour l'ensemble du territoire américain. Un certain nombre d'autres pays utilisent ce type de nomenclature en l'adaptant à leur cas (Canada, Grande Bretagne, Japon, ...). Le principe est toujours le même : on décompose d'abord le territoire, l'espace, en grandes catégories (niv.1) : dans la plupart des cas, la région étudiée comprend quelques unes de ces catégories que Landsat, en numérique ou par analyse visuelle, donne assez facilement. Dans les zones américaines de l'Est ou du Centre, cette catégorisation débouche très vite sur une cartographie au 1/500.000 ou au 1/25000 donnant, au niveau 1 :

- les zones urbanisées
- les terres agricoles
- les forêts
- les superficies en eaux, continentales ou marines
- les terres à nu
- les terres en friches, non occupées

A ce stade, on peut dire que l'utilisation des données Landsat aux USA est opérationnelle partiquement partout. Inventorier les grandes catégories d'occupation de l'espace à petite échelle est donc un acquis indiscutable de la télédétection par les satellites Landsat. Reste à savoir si ces renseignements ne sont pas déjà parfaitement connus par les méthodes classiques. On peut à cet égard classer les pays de la façon suivante :

- les petits pays très contrastés : ceux-ci nécessitent une nomenclature plus fine que le niveau 1, donc de descendre aux niveaux 2, 3, 4 très rapidement. On se heurte alors à un problème de résolution spatiale des systèmes satellites actuels. Ces pays peuvent être par ailleurs bien connus par les systèmes classiques, y compris la photointerprétation.

- les pays de superficie moyenne (type pays européens), pour lesquels cet apport de la télédétection n'a d'intérêt que s'ils ne disposent pas encore de cette cartographie de base ou s'ils souhaitent la renouveler rapidement. La résolution spatiale actuelle est vite limitante.

- les grands pays, tant par la superficie que par l'extension spatiale importante des phénomènes d'occupation du sol : à ce titre, la télédétection spatiale est d'un grand intérêt non seulement pour établir les grands inventaires mais aussi pour les mettre à jour régulièrement, ce qu'aucune autre méthode n'est capable d'effectuer rapidement et à moindre coût, du moins à ces échelles.
  C'est seulement dans ce cas que le niveau 1 justifie réellement des systèmes de télédétection à satellite.
  Dans les autres cas, il y a lieu d'examiner jusqu'à quel niveau les données satellites permettent de descendre, avec ou sans données complémentaires et quelle devrait être alors la résolution optimale

Le système de nomenclature à niveaux est quelque peu rigide et "enfermant" notamment dans le cas de paysages assez diversifiés et à parcellaire de petite taille (aux alentours de quelques hectares ou moins). La nomenclature USGS rend mal compte de la complexité de l'espace car elle tend à le fractionner en sous-ensembles élémentaires exclusifs les uns des autres : cette fragmentation est valable pour les grandes catégories (niveaux 1 ou 2) et pour les objets simples bien représentés et identifiés mais elle n'est pas opératoire pour catégoriser des associations de petits objets : si on veut discriminer les petits objets il faut une résolution spatiale très fine, sinon il faut chercher à discriminer des sous-ensembles complexes et raisonner en termes de dominante d'occupation du sol.

En effet, la résolution spatiale et les systèmes de traitements actuels permettent de catégoriser ce qui se passe à la surface du sol, sur une parcelle, à la condition que celle-ci ait une taille correspondant à un minimum de 20 à 30 pixels, c'est à dire 20 à 30 acres, soit 10 hectares. Si la géométrie soleil-objet-capteur est optimale (ce qui revient à dire si la parcelle est bien placée par rapport aux lignes de balayage) et si le contraste entre parcelles voisines est bon, cette taille minimum peut être ramenée à 7 hectares dans l'état actuel des systèmes de traitements automatiques, supervisés ou non supervisés, et à 5 hectares pour pouvoir être repérée facilement sur des visualisations à l'échelle du 1/100.000. On doit souligner cependant que des phénomènes plus petits sont discernables, soit sur les restitutions sur film, soit sur certaines visualisations de résultats de traitements numériques simples (bonne coupure des histogrammes, combinaisons de canaux). Citons en particulier la discrimination d'étendues d'eaux libres ou de certains objets "urbains" (exemple la Tour Eiffel qui fait un pixel) ou des tracés routiers ou ferroviaires .

Dans bien des cas, il sera donc difficile d'arriver à un résultat sur le contenu de la parcelle, en milieu naturel, rural ou urbain par les seules données Landsat : on parviendra plutôt à définir des types de paysages homogènes : paysage peut s'entendre ici au sens de "paysage radiométrique", c'est-à-dire de zones dont la radiométrie globale présente un bon degré d'homogénéité dans des limites spectrales et spatiales connues et dont on recherchera la signification en relation avec un type d'arrangement et d'état physique des objets à la surface du sol au moment de la prise de vue. Ce sera par exemple un type d'assolement, un type d'organisation (un parcellaire, un bocage, ...) ou des catégories d'association d'objets en milieu urbain. Or c'est là un défaut de la nomenclature USGS qui prévoit mal ces postes : il faut pour cela pouvoir agglomérer des postes élémentaires situés souvent à des niveaux différents de la nomenclature de base.

Il y a là un problème qui n'est pas résolu globalement mais simplement au coup par coup, ce qui ne permet pas d'affirmer que les systèmes basés uniquement sur Landsat avec cette nomenclature sont opérationnels pour tous les usages dans ce domaine de l'occupation et de l'utilisation de l'espace.

Nous allons donner un exemple significatif des niveaux atteints par une expérimentation citée dans le paragraphe précédent (tableau 1).

- Cas de l'"Ohio's statewide land use inventory" :

12 scènes Landsat traitées (3 époques différentes en 1975 et 1976) - Classification supervisée gaussienne (recherche de signatures spectrales sur des zones test). La nomenclature suivante a été obtenue et livrée sous forme d'une carte synthétique au 1/500.000 et 9 cartes thématiques régionales au 1/250.000.

Niveau 1	Niveau 2
1 - Urbain	- habitat dense du centre - zones industrielles et commerciales du centre - zones urbaines avec 35 % de couverture végétale
	- zones suburbaines industrielles et commerciales - zones suburbaines à habitat peu dense - zones suburbaines avec 35 à 80 % de couverture végétale
2 - Terres agricoles	- production agricole intense - production végétale moyenne - terres à nu (récoltées) - pâturages
3 - Terrains de parcours, landes et friches	- friches en zones suburbaines - buissons - herbes
4 - Forêts	- feuillus - cônifères - mixtes

5 - Eaux
- turbides
  claires

6 - Zones humides
- boisées
- non boisées

7 - Terrains nus
- aires de dépôt de déchets
- mines, carrières
- plages
- urbain nu

8 - Non classé

Soit 7 niveaux 1 de la nomenclature USGS. La cartographie établie est recalée, après corrections géométriques, sur le système de coordonnées géographiques en usage aux USA. Les Etats du Dakota du Nord, du Dakota du Sud, de l'Illinois, Indiana, Arizona, Alaska, Kentucky, Géorgie ont obtenu une cartographie à peu près équivalente avec un peu moins de postes de nomenclature au niveau 2 urbain surtout.

En général, les cultures ne sont pas identifiées en propre. Ce n'était pas le but d'une cartographie à cette échelle du "land use" mais cela indique que pour l'instant aucune cartographie systématique et régulière des espèces cultivées n'a été réalisée. L'effort dans ce domaine porte surtout sur le blé comme on le verra au paragraphe "agriculture" (programmes LACIE et CITARS).

4°)- La cartographie obtenue doit être replacée dans son contexte historique et institutionnel (cf. paragraphe 2.1.) et ceci n'autorise guère d'extrapolation au cas français pour lequel il y a lieu d'effectuer des expérimentations spécifiques afin de tester la faisabilité des systèmes à satellite actuellement disponibles.

Il faut noter de plus que les précisions annoncées en matière de classification ou de classement sont intrinsèques aux systèmes utilisés ; en d'autres termes cela veut dire que l'on retrouve ce qu'on y a mis. Les résultats obtenus par télédétection sont rarement comparés à ceux obtenus par des sources classiques.

Il y a donc lieu d'effectuer des réserves sur le caractère "opérationnel" parfois annoncé : celui-ci s'applique à un contexte bien particulier et si certaines méthodes de traitement, ainsi que certains matériels, sont maintenant "rodés", il faut noter que les procédures d'apprentissage sont encore longues et qu'elles nécessitent toujours un recours important à une vérité terrain spécifique ou à d'autres sources de données.

2.2. PANORAMA DE LA TELEDETECTION APPLIQUEE A L'AMENAGEMENT EN FRANCE

Nous traiterons tout d'abord des résultats d'une enquête organisée pour le récent séminaire européen de juin 77, puis de l'utilisation de Landsat en France et de l'utilisation de données multispectrales aéroportées.

2.2.1. Résultats de l'enquête "séminaire européen "

La délégation française du groupe de travail "cartographie de l'aménagement du territoire" de la Conférence Européenne des Ministres responsables de l'aménagement du territoire a mis sur pied, en mai 1977, une enquête sur les réalisations et les projets français dans le domaine des applications de la Télédétection (1) à l'aménagement du Territoire dans le cadre du séminaire européen organisé en juin 1977 à Toulouse par le Conseil de l'Europe, l'ESA, l'EARSEL, la DATAR et l'OPIT.

L'objectif principal visait à présenter, pour chacun des besoins de l'aménagement, les réponses de la télédétection. Un questionnaire a été envoyé à une centaine d'organismes, de sociétés et d'institutions diverses. 145 travaux et sujets de recherche réalisés ou en cours de réalisation et 20 projets en préparation active ont été ainsi répertoriés.

Ce questionnaire, simple à remplir, comprenait les questions suivantes :

- énoncé de la réalisation et thème ;
- échelle de restitution du document final ;
- moyens d'enregistrement des données (vecteurs, capteurs) ;
- type de corrections effectuées (géométriques, radiométriques) ;
- type de traitements effectués (photointerprétation, traitement numérique, optique, photographique, ...) ;
- coût total, coût de l'appui terrain.

Il a été envoyé aux principaux laboratoires et centres de recherche dépendant des grandes centrales de la recherche française et des universités, aux organismes publics, aux Sociétés d'Etat, Sociétés d'économies mixtes, et

---

(1) Pris au sens large du terme, donc incluant la photointerprétation.

sociétés privées réalisant des travaux tant de recherche que de production dans les domaines d'activités de l'aménagement.

Le fait que les questionnaires soient inégalement remplis, notamment au plan des coûts, n'autorise pas l'exposition d'un bilan exhaustif de l'état de l'art et de la satisfaction des besoins des aménageurs. On peut cependant dégager des tendances significatives tant par la diversité des thèmes abordés, des échelles, des types de traitement que par les structures des organismes de compétence qui ont répondu.

Les travaux répertoriés peuvent être classés ainsi :

- 45 % concernent les grands inventaires, les cartes thématiques, l'étude des mécanismes, des contraintes et des potentialités ;
- 35 % concernent directement les grands domaines de l'aménagement : l'utilisation de l'espace, l'aménagement urbain, l'aménagement rural sous toutes ses composantes, la consommation d'espace, les problèmes de la montagne, du littoral ; les problèmes d'industrialisation, de transport, de tourisme ;
- 10 % concernent l'étude des activités humaines dans leurs dimensions spatiales et temporelles : dynamique de la consommation d'espace, meilleure allocation des terres, évolution des structures de production, optimisation des implantations d'équipement, études d'impact, d'effects directs ou indirects, gestion des ressources en eau, surveillance et protection (pollution, catastrophes naturelles,...)
- 5 % concernent la participation à l'élaboration de schémas directeurs et de plan d'aménagement ou d'occupation des sols au plan local ou régional ;
- 5 % enfin concernent les aspects bilans et élaboration de modèles prévionnels.

En conclusion provisoire de l'enquête, on peut temporairement avancer que si la télédétection est très largement utilisée dans les domaines "amont" de l'aménagement, elle reste encore non opérationnelle et peu utilisée pour ce qui concerne les aspects dynamiques tant dans le temps que dans l'espace. C'est à ce niveau que se placent d'ailleurs les projets et les espoirs fondés sur la télédétection.

En ce qui concerne les données et les moyens de traitement, on note encore actuellement une prépondérance de la photointerprétation classique puisque 50 % des travaux font exclusivement appel à ces techniques désormais éprouvées. Les trois quart de ces travaux sont réalisés par les sociétés publiques et privées de "production", le reste par les laboratoires de recherche. Cette tendance s'inverse au plan des traitements numériques et de l'utilisation soit de capteurs aéroportés soit des données Landsat. 22 % des travaux utilisent les données de ce satellite (ce sont des opérations de recherche pour la plupart, sauf dans le domaine de la géologie) en complément des autres moyens (photo, capteurs) ; 18 % des travaux seulement font appel aux traitements numériques, les trois quarts de ceux-ci étant réalisés par des laboratoires et organismes publics.

Les échelles de restitution varient du 1/200 au 1./1.000.000 ; le quart des travaux est restitué au 1/25.000 ou au 1/20.000 ; 60 % des travaux intéressent les échelles qui vont du 1/20.000 au 1/100.000, ceci étant lié aux couvertures photographiques classiques. Les superficies étudiées vairent de la centaine d'hectares ou aux éléments très ponctuels (type rejets) à 20.000.000 d'hectares. Aucun enseignement valable ne peut être tiré des quelques coûts avancés.

Les principaux résultats sont synthétisés dans les tableaux ci-dessous.

TABLEAU 5

Echelles de restitution	En pourcentage du total des travaux recensés
1/2.000 et moins	4
1/5.000	9
1/10.000	9
1/20.000 et 1/25.000	26
1/50.000	19
1/100.000	14
1/250.000	8
1/500.000	9
1/1.000.000	2
	100

TABLEAU 6

TYPES DE DONNEES, TYPES DE TRAITEMENT PAR CATEGORIE D'ORGANISMES

	Total	Labo.public	Organismes publics et para publics	Sociétés privées
- Photointerprétation de clichés panchro	51	11	37	3
- Traitement numérique sur clichés	10	1	7	2
- Photointerprétation de clichés infrarouges couleurs	19	7	11	1
- Photointerprétation de clichés couleurs naturelles	1			1
- Utilisation conjointe de clichés et de données multispectrales "avion"	4	1	2	1
- Utilisation de données multispectrales "avion"				
. par photointerprétation	7		6	1
. par traitement numérique	21	12	6	3
- Utilisation de données Landsat				
. par photointerprétation	6	2	2	2
. par traitement numérique	1			1
. les deux	3	1	2	
- Utilisation de clichés classiques et de données Landsat				
. par photointerprétation	12	5	5	2
. par traitement numérique et photointerprétation	4	1	2	1
- Utilisation combinée de clichés, données multispectrales "avion" et "satellite"				
. par traitement numérique et photointerprétation	9	4	5	
145 travaux	145	45	83	17

TABLEAU 7

THEMES
(Nombre de travaux par thème)

I - Inventaires - cartes de base - cartes thématiques - cartes de synthèse

1 . Topographie
7 . Géologie
7 . Géomorphologie
9 . Pédologie
7 . Végétation
3 . Zones humides - Hydrologie
6 . Bassins versants - Eaux de surface/eaux souterraines
2 . Equilibres biologiques - Physiologie des cultures
4 . Erosion - Sédimentation - Avalanches - Glaces
1 . Ressources minières
2 . Ressources géothermiques
3 . Données géotechniques
1 . Conditions climatiques
5 . Zonages écologiques

3 . Détermination des contraintes du milieu
6 . Détermination des potentialités du milieu

7 . Ensemble des cartes de base
2 . Recensement du gibier
1 . Prospection archéologique

8 . Océanographie

II - Domaines d'aménagement

1 . Population - Habitat
12 . Occupation de l'espace - Utilisation du sol
8 . Aménagement urbain
15 . Aménagement rural - Forêt - Pâturages - Cultures - Définition régions agricoles - Paysages ruraux

2 . Dynamique de l'occupation - Consommation d'espace - Interfaces urbain - rural - milieu naturel
2 . Rénovation rurale - Loisirs - Politique de montagne
20 . Littoral : type de côtes, aménagement, pollution marine et fleuves côtiers, rejets
1 . Equipements industriels, portuaires, complexes divers
3 . Transports, communication
1 . Tourisme, parcs nationaux ou régionaux

III - Activités régionales ou locales

. Schémas directeurs divers de régions françaises
3 . Elaboration POS, SDAU, ZAC, ...
autres pays : Afrique Tropicale et Equatoriale, Moyen Orient, Asie, Amérique latine : nombreux travaux français en cours(1)

IV - Activités humaines, dynamique espace/temps

2 . Suivis, dynamique, mise à jour d'inventaire
2 . Evolution des structures de production
1 . Prévision des catastrophes naturelles
2 . Meilleure allocation des terres
2 . Optimisation des implantations d'aménagements et des extensions
5 . Effets directs ou indirects, études d'impact
1 . Lutte contre la pollution - Surveillance
3 . Gestion des ressources en eau (besoins totaux, irrigation, ...)

V - Etudes intégrées - Bilans

6 . Etudes d'évolution à long terme, quantification et localisation des changements, mobilité des structures
Elaboration de modèles

Total : 182 thèmes pour 154 travaux inventoriés.

---

(1) Les principaux organismes français travaillant à l'étranger et utilisant la télédétection (géologie, géomorphologie, océanographie, hydrologie, inventaires des sols, de la couverture végétale et de l'occupation des sols) sont l'IFP, le BRGM, l'ORSTOM, le BDPA, le CEGET, le CEPE, le GERDAT (l'ordre n'a pas de signification).

TABLEAU 8

SUPERFICIES COUVERTES PAR LES ACTIONS RECENSEES

- Actions ponctuelles (rejets)	20	
- Inférieur à 1.000 ha	2	
- 1.000 à 50.000 ha	15	
- 50.000 à 1.000.000 ha	15	
- 1.000.000 à 10.000.000 ha	6	(à l'étranger)
- supérieur à 10.000.000 ha	3	

61 réponses à cette question

2.2.2. Le traitement numérique des données Landsat en France

Un grand nombre de laboratoires publics, d'établissements d'enseignement supérieur et de recherche, quelques organismes publics, semi-publics et privés sont maintenant familiarisés avec les "images" Landsat et savent obtenir des documents utilisables, pour leurs usages, après interprétation de restitutions sur film, canal par canal, d'équidensités ou de compositions colorées. Le domaine le plus avancé est sans conteste celui de la géologie, tant en France qu'à l'étranger.

Il n'en est pas de même pour les traitements numériques des données Landsat. Les principaux travaux publiés à ce jour dans les domaines qui ont rapport avec l'aménagement sont les suivants :

2.2.2.1. Travaux de l'équipe "FRALIT" (French Atlantic Littoral)

Il s'agit d'un groupe crée en 1971 et associant, sous la responsabilité de Monsieur F. Verger,

. l'Ecole Pratique des Hautes Etudes
. l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris
. les Universités de Poitiers, Nantes et Amiens
. le BRGM et l'IGN
. l'Ecole Normale Supérieure

L'objectif de ce groupe est l'étude du littoral océanique de la France selon un programme agréé par la NASA et soutenu par le CNES (1975, 76, 77) et le CNRS (RCP 353, 1974 à 1977). Il a mis au point des algorithmes de traitement des données multispectrales (programmes CLAMS, FRACARTE, FRACAM, FRATHERM) et essayé un grand nombre de systèmes américains (IMAGE 100, LARS JSC, ISOCLS, LARSYS) sur les zones test suivantes :

- Fromentine
- Marais Charentais
- Marais Poitevin
- Anse de l'Aiguillon
- Baie de Bourgneuf
- Estuaire de la Loire
- Baie du Mont-Saint-Michel

- Chausey Jersey
- Arcachon
- Golf Normand - Breton

Les zones test font généralement 40.000 points (pixels), soit environ 160 km^2. Outre les données Landsat, l'équipe Fralit a traité des données satellites NOAA et aéroportées Daedalus.

Les résultats se présentent sous forme de cartes "infographiques" réalisées à partir de la visualisation des résultats des traitements numériques, avec ou sans lissage, à l'aide d'une traceur Benson. Ils portent essentiellement sur la qualité des eaux marines : teneur en chlorophylle, en particules en suspension, en matières organiques en solution ; sur les mouvements des eaux littorales (cheminement des panaches sédimentaires), la cartographie des bancs sableux sous-marins et des zones intertidales. Sur le domaine terrestre, on peut citer quelques résultats de classification obtenus :

exemple du marais charentais (image du 11/7/73, programme FRACARTE) : cinq types de paysage sont mis en évidence, à l'intérieur desquels on peut distinguer :

1 - la presqu'ile de Marennes avec
- des cultures
- des prairies
- des centres de villages principaux

2 - le marais de Brouage, avec
- herbe rase
- végétation plus dense et plus élevée

3 - les marais de la Sendre, avec
- anciens marais salants et prairies
- bassins en eau
- claires à huitres
- eau douce

4 - la presqu'ile d'Arvert, avec
- ensemble complexe prairies - cultures
- forêt de conifères et quelques feuillus
- plages

5 - la mer, d'autant plus bleue que pauvre en éléments en suspension.

exemple de Fromentine (images de sept.72,juillet 73, juillet 75) :

Les surfaces en eau et les terres sont séparées par toutes les méthodes, ainsi que les sables et les pins maritimes, pour lesquels il subsiste quelques confusions (avec quelques cultures ou des polders en eau). Dans les marais, le programme FRACARTE donne deux classes :

- dunes recouvertes, prés et cultures,
- cultures,

tandis que le programme FRACAM donne six classes :

- cultures
- espaces partiellement bâtis
- dunes recouvertes, prés de marais
- cultures peu couvrantes sur sols sableux
- sartières
- parties basses de polder.

2.2.2.2. Travaux de l'ATP "traitement d'image"

Il s'agit d'une ATP (Action Thematique Programmée du CNRS) menée par le BRGM et le CRPE (Centre de Recherche en Physique de l'Environnement Terrestre et Planétaire) et dont les résultats ont été publiés en janvier 1976 (travaux du CRPE n° 19). Il s'agit de résultats essentiellement méthodologiques concernant l'utilisation de l'algorithme des nuées dynamiques à partir de données multispectrales avion (Daedalus à 1500 et 7000 m) et Landsat dans l'optique de la recherche de paramètres utiles pour la prospection et la gestion des ressources en eau dans les Bouches-du-Rhône.

2.2.2.3. Projet AGRESTE

Il s'agit d'un projet pilote initié en 1973 sous l'égide des Communautés Européennes et coordonné en France par le CESR (Centre d'Etudes Spatiales des Rayonnements, Toulouse) et en Italie par le CCR (Centre Commun de Recherches, Euratom, Ispra) avec le concours de laboratoires et d'organismes des 2 pays. Il consiste en une étude de l'apport de la télédétection dans quelques domaines spécifiques de l'Agriculture et de la Sylviculture : riz, peupliers,

L'étude de la riziculture en Camargue s'effectue à partir de vérités terrains et de données Landsat de diverses dates. Elle conduit aux conclusions provisoires suivantes :

la résolution de Landsat n'est pas adaptée au parcellaire de la Camargue : 20 m-30 m serait souhaitable. L'utilisation de données prises à différentes époques permet cependant de bons résultats (12 000 ha inventoriés en 75, contre 10 500 ha estimés par les services officiels).

L'étude des peupliers s'effectue en vallée de la Garonne. La reconnaissance des quatre classes d'âge par photointerprétation de clichés IRC (correspondance taux de couverture - âge de la plantation) conduit à une prévision de la disponibilité en bois pour la quinzaine d'années à venir.

2.2.2.4. Projet ARZOTU

Recensement des ressources terrestres et contrôle des déséquilibres écologiques des zones arides de Tunisie. Projet mené par le CEPE-CNRS (Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques de Montpellier) en association avec l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie et l'ORSTOM. Zonage écologique et cartographie d'après les données Landsat de plusieurs dates, correspondance entre luminance et degré de recouvrement de la végétation par rapport au sol nu, en utilisant complémentairement des traitements optiques et numériques (visionneuse multispectrale ADCOL, traitement supervisé interactif).

2.2.2.5. Projet SAPHYR

Etudes des anomalies des crues du fleuve NIGER. Etudes agro-géomorphologiques. Etude menée par l'ORSTOM pour la Direction de l'hydraulique du Gouvernement du Mali et agréé par la NASA. Apports complémentaires des traitements photographiques et numériques sur de vastes zones connaissant des variations importantes dans le temps et dans l'espace. Cartographie automatique des zones inondées, recherche de corrélations avec les hauteurs d'eau mesurées à l'aide d'un réseau limnimétrique ; études des bourrelets de berge, des systèmes de culture inondées et de décrues, des pâturages. Un des problèmes majeurs réside dans le manque de données réellement répétitives et l'absence de données depuis avril 1976. Utilisation d'un algorithme interactif par bornes développé par l'ORSTOM.

2.2.2.6. Autres équipes pratiquant le traitement numérique des données Landsat

A l'exception des expérimentations OPIT dont il sera fait état dans le paragraphe suivant, il y a lieu de mentionner les équipes suivantes :

1° Groupe du G D T A (CNES - BRGM - IFP - IGN)

a - C N E S (Centre National d'Etudes Spatiales)

Le CNES a implanté, outre un dispositif interactif de traitement d'image (console couleur CIT-Alcatel), divers algorithmes de classification ou de classement : CLAMS (non supervisé), supervisé gaussien (SUPLCAS),ceci en liaison avec divers laboratoires scientifiques qui reçoivent le soutien de cet organisme pour leur traitement numérique. Des études plus thématiques sont en cours : occupation du sol en marais Poitevin (liaison avec FRALIT), recherches de parcelles irriguées en Beauce et Gatinais.

b - B R G M (Bureau de Recherche Géologique et Minière)

Le BRGM a développé, dans son cadre propre, les méthodes d'interprétation des images Landsat destinées à la carte géologique de la France et àla carte sismo-tectonique et plus particulièrement dans le Massif Central et ses bordures sédimentaires ainsi que dans la Massif Armoricain (dans le cadre de FRALIT). Les données multispectrales ne sont pas traitées numériquement mais les clichés ont été caractérisés et analysés automatiquement par un analyseur d'image (QTM : quantitative télévision micros coper).

c - I F P (Institut Français du Pétrole)

et B E I C I P (Bureau d'Etudes Industrielles et de Cartographies de l'Institut Français des Pétroles) : ce groupe dispose des moyens de calculs de FRANLAB et d'un restituteur d'images VIZIR qui permet d'excellente visualisations après amélioration d'image. Cette équipe a implémenté divers algorithmes et les a essayés sur quelques zones test (Bouches du Rhône, les Vans, Val de Loire) : analyse en composantes principales, nuées dynamiques, supervisé gaussien.

d - I G N (Institut Géographique National)

L'IGN est en train de développer à Saint-Mandé le "système 101" de la Compagnie I_2S, remanié par Matra pour le traitement interactif d'image (satellite, avion) et la classification, en prévoyant une assistance aux utilisateurs. Un des objectifs propres de l'IGN est la remise à jour des cartes au 1/50 000 grâce à la télédétection.

2° Autres équipes

Le C E S R, déjà cité, a testé un certain nombre d'algorithmes de classification supervisée.

Le C E P E a également analysé des images sur la région de Montpellier.

Le C T A M (Centre de Télédétection et d'Analyse des Milieux naturels, de l'Ecole des Mines) traite, outre Landsat, les données NOAA. (les équipes travaillant sur le milieu marin et l'océanographie en général ne sont pas citées dans ce rapport).

Le GROUPE DE RECHERCHE EN TELEDETECTION RADIOMETRIQUE DE STRASBOURG a développé un analyseur d'image pouvant également être utilisé pour raccorder des données de télédétection avec des données géocodées et prépare l'implementation d'algorithmes de traitement numérique.

Parmi les sociétés privées, il faut mentionner particulièrement :

- la C G G (Compagnie Générale de Géophysique) qui obtient de bonnes visualisations au 1/100 000 à partir d'une imprimante électrostatique.
- la SOCIETE MATRA, qui a manipulé quelques données satellite en composantes principales.
- la S F E R E S, qui a fait faire des traitements par la Société Américaine Bendix.
- I B M, qui va implanter en France le système ERMAN 2, dérivé de l'ERIPS.

Pour plus de précision sur les systèmes de traitements, on se reportera au volume "état de l'art en télédétection", 1ère partie, chapitre 2, consacré aux traitements.

2.2.3. Le traitement des données multispectrales aéroportées

Un cerain nombre de campagnes aéroportées ont eu lieu en France depuis plusieurs années avec des capteurs multispectraux à balayage (décrits dans le volume "état de l'art", 1ère partie, chapitre 1 page 55 à 112). Nous nous bornerons ici à citer celles qui peuvent concerner l'aménagement.

2.2.3.1. Les campagnes du G D T A

Celles-ci sont régulièrement décrites dans les rapports annuels de campagne de cet organisme. Les campagnes entreprises de 1970 à 1975 ont été présentées au colloque du GDTA organisé à Toulouse les 26 - 27 et 28 octobre 1976 (cf actes du colloque , tome 1, page 1 à 9, GDTA, Toulouse, 1976). Parmi celles-ci, on peut mentionner :

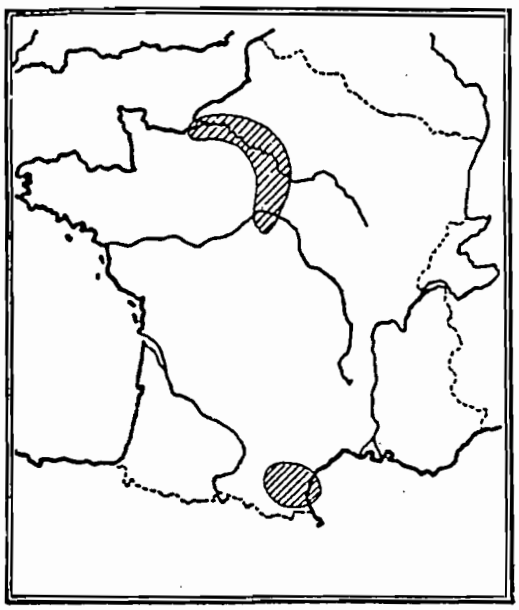
a - Les expérimentations du CERGH (Centre d'Etudes et de Recherches Géologiques et Hydrologiques, Montpellier), qui utilisent également d'autres campagnes effectuées par eux-mêmes, essentiellement dans le domaine de l'eau et avec des capteurs thermiques :

- localisation des zones d'infiltration et d'émergence des aquifères karstiques, en Aveyron et Hérault,
- étude des étangs du Languedoc : courantologie des eaux superficielles par exploitation des données thermographiques superficielles,
- étude de rejets thermiques dans le Golf de Fos.

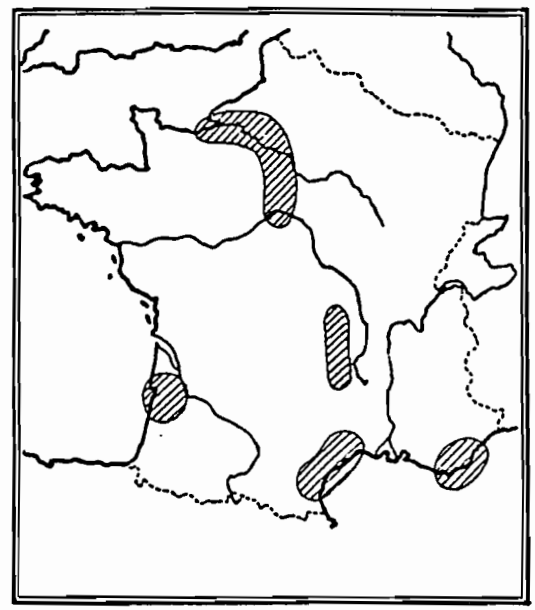
b - Les expérimentations du Laboratoire de Radiogéologie et de Mécanique des Roches (LRMR) de l'Université de Bordeaux 1, concernant la cartographie hydrologique et géologique (région du Bec d'Ambes et Vallée de la Dordogne) à l'aide de comparaisons de données photographiques (IRC et satellite Landsat) thermographiques et radar.

PROGRAMME EXPERIMENTAL DU G.D.T.A.

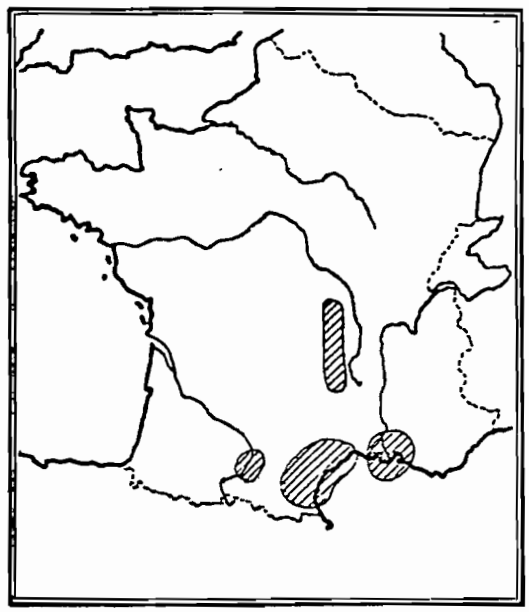
REGIONS	Géologie	Volcanologie	Hydrogéologie	Hydrologie	Océanographie	Pollution	Agronomie	Pédologie	Sylviculture	Ecologie végét	Ostréiculture	Géographie	INVESTIGATEURS
Baie-de-Seine					X								CNEXO
Basse-Seine						X							EDF
Pays-de-Bray	X							X					BRGM - IFP
Grignon-la-Minière							X	X					INA
Forêts de Lyons et Rambouillet									X				INA
Beauce			X										INA - INRA
Val-de-Loire				X									INA - INRA
Sologne							X						INA - INRA
Rennes-Vannes							X	X		X			INRA
Marais Poitevin	X											X	IGN - INA
Forêt de Chize										X			SCV
Forêt de Bouconne									X				SCV
Minervois (Aude et Hérault)	X									X			CEPE - IFP
Saint Pons												X	INRA
Côte Languedocienne		X	X	X		X					X		CEPE - CERGH - IFP - Fac Orsay
Baie de la Ciotat				X		X							Fac Orsay
Maures et Esterel									X				Fac Orsay
Forêt Landaise									X				INRA
Causse de Guilhomard			X				X						CEPE - CERGH - INRA - Orsay
Auvergne		X					X						IFP
Val-de-Munster												X	CGA
Delta du Rhône				X		X							CEPE - CERGH
Aire/A-Minervois	X		X	X				X					CEPE - IFP
Causse Méjean	X												BRGM - CEPE - IFP
Pollumer					X	X							IFP
Langrou	X			X		X							CERGH
Les Vans	X												IFP
Etang de Maugio				X		X							CERGH
Vaccares-Fos				X		X							BRGM - CEPE - CERGH
Raphèle-les-Arles	X												BRGM - CEPE
Etang de Landre				X		X							BRGM - CEPE - CERGH
Rennes St Meen							X	X					INRA
Forêt de Lyons									X				INRA
Orgères en Beauce									X				INRA
Dive - Sèvre Niortaise			X		X			X			X		IGN
Coirons	X												IFP - BRGM
Auriol - Les Polyes	X		X										Fac Orsay
Annecy						X							Fac Orsay - INRA
Chaine des Puys	X	X											Fac Orsay
Chaudes Aigues	X		X										Fac Orsay
Bouches du Rhône			X				X	X				X	OPIT - BRGM - CERGH - CEPE
Biscarosse - Arcachon									X				INRA
Gironde			X			X							LRMR
Forêt de Roumare									X				INRA
Montpellierais							X	X					CEPE - SES INRA
Peupliers de la Garonne									X				CESR
Rennes							X						INRA
Pyrenees Orientales	X												UPS
Orgeval			X										BRGM
Cancale				X	X							X	EPHE
Golfe de Fos					X								CNEXO
Dordogne	X												LRMR
Guyane	X			X			X		X				INRA - IFP - BRGM
Guadeloupe		X		X			X			X			INRA - IFP - BRGM



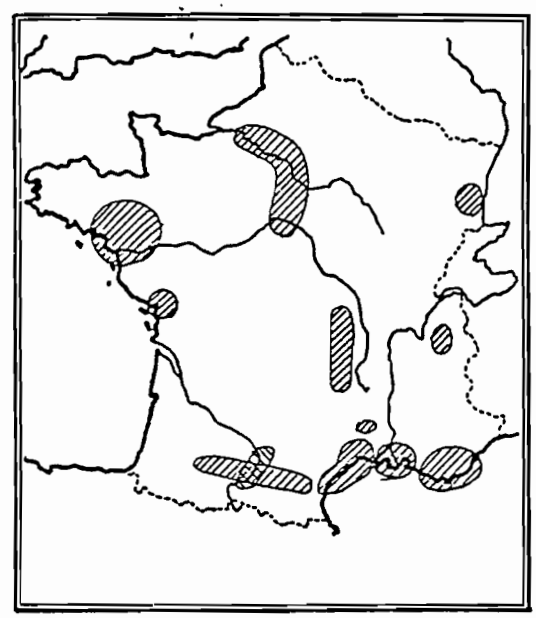
ZONES TESTS DE 1970



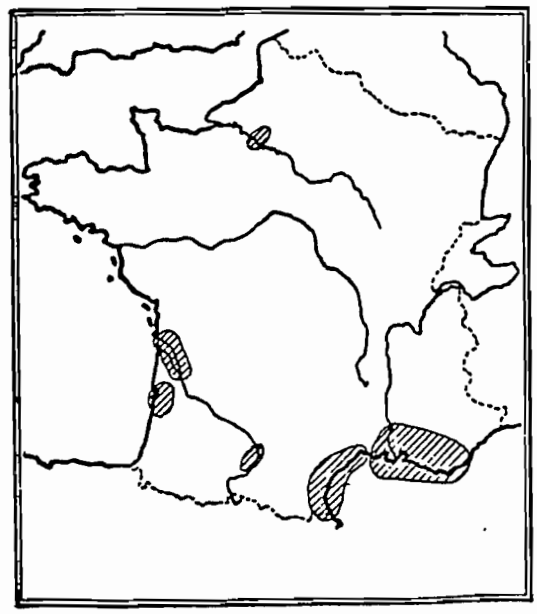
ZONES TESTS DE 1971



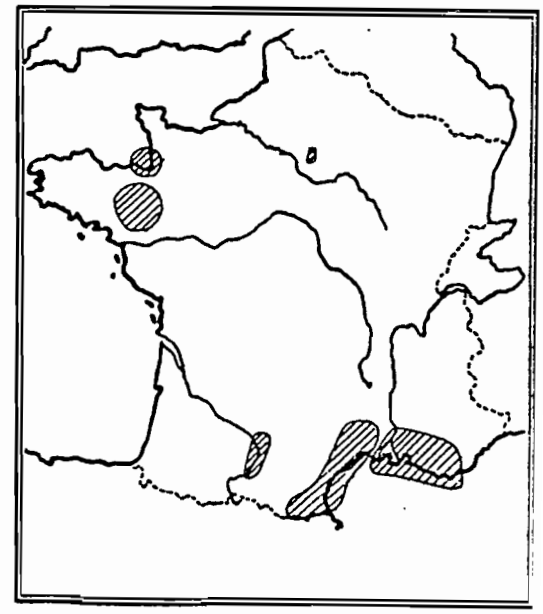
ZONES TESTS DE 1972



ZONES TESTS DE 1973



ZONES TESTS DE 1974



ZONES TESTS DE 1975

c - L'expérimentaiton de l'INRA sur des zones bocagères et ouvertes (remembrées) dans l'Ouest de la France (Bretagne), utilisant des données acquises par le GDTA et par les moyens techniques du LMD (Laboratoire de Météorologie Dynamique), qui a développé le capteur ARIES.

Cette expérimentation doit apporter de nouvelles connaissances sur le fonctionnement de systèmes. Ses objectifs sont :

1 - Faire un bilan thermique dans une zone bocagère et une zone remembrée (influence des haies sur le micro climat, bilan selon le type de culture et recherche de corrélations avec l'état phénologique, évolution journalière du bilan).

2 - Effectuer des classifications automatiques pour obtenir des classes de cultures et leur état.

3 - Inventorier les haies, arbres, bosquets et mettre en évidence des structures.

4 - Effectuer une caractérisation structurale et texturale du bocage.

5 - Se préparer à utiliser les données HCMM (mission thermographique du satellite NASA "explorer A", devant être lancé en 1978).

d - L'expérimentation "Bouches-du-Rhône" réalisée tout d'abord dans un cadre GDTA - Equipe interdisciplinaire et interorganisme, (comprenant notamment les Ministères de l'Agriculture et de l'Environnement et des organismes de recherches) puis reprise par l'OPIT en 1976 et ayant pour but :

. d'élaborer des méthodes d'observations périodiques

. de mettre au point des techniques de traitement et d'interprétation de données multispectrales

. d'étudier les possibilités offertes par les futurs satellites devant avoir des résolutions proches de la résolution "avion" des campagnes Bouches-du-Rhône (de l'ordre de 20 m). Un certain nombre de traitements sur zones test ont eu lieu au CNES (CLAMS et supervisé gaussien), tandis qu'une photointerprétation complète a été développée par l'IGN et l'EHESS pour servir de base à l'initialisation de traitements numériques, avec une importante vérité terrain acquise lors des campagnes, et de référence

statistique destinée à vérifier les résultats de traitements. Plusieurs exploitations sont actuellement en cours (cf expérimentations OPIT).

e - Etude de la végétation dans le Montpellierais par l'équipe du CEPE par photo-interprétation et traitements numériques effectués au CNES (CLAMS, étude des réponses spectrales).

f - Etude de cartographie des sols dans le Montpellierais par le SES-INRA de Montpellier, par photointerprétation et traitements des IRC et de diverses visualisations.

g - Essai d'évaluation régionale de l'évapotranspiration. Ce problème est examiné dans le cadre d'un bassin hydrologique (Orgeval, Seine et Marne) qui a fait l'objet de plusieurs survols à des époques différentes et à des heures de la journée différentes de manière à établir un bilan radiatif qui sert à évaluer l'énergie utilisable dans le processus d'évopotranspiration. Ce travail est effectué par une équipe BRGM - CTGREF d'Antony. Les résultats obtenus avec un modèle de la surface terrestre sont en accord avec ceux issus de la méthode de Brunt (vérification sur une zone semi-aride d'Afrique).

2.2.3.2. Autres expérimentations

a - Essais du capteur ARIES du LMD : un certain nombre d'expérimentations ont eu lieu avec ce capteur embarqué sur un DC 3, ceci principalement dans le domaine de l'atmosphère, mais aussi en zones côtières : échange des eaux fluviales et des eaux marines près des estuaires, rejet d'affluents chauds et pollution marine par les hydrocarbures ainsi que pour la surveillance par thermographie des eaux du Rhin par le groupe de télédétection radiométrique de Strasbourg.

b - Recherches dans le domaine de l'eau liée et de l'eau libre : se rapporter au volume "Etat de l'art en télédétection", 2ème partie, chapitre 2, "Ressources en eau et télédétection".

c - Opérations de surveillance de rejets côtiers : se reporter également au volume "Ressources en eau et télédétection".

2.2.4. Les expérimentations OPIT

2.2.4.1. Buts

L'OPIT a entrepris dans le courant de l'année 1977 un programme d'expérimentations qui répond à plusieurs objectifs :

a - Tenter de répondre, grâce à l'utilisation de la télédétection, à des besoins actuellement formulés par les administrations membres de l'OPIT.

b - Associer dès à présent les futurs utilisateurs, tant aux échelons centraux, régionaux que départementaux, à la définition des objectifs des expérimentations, à l'interprétation et à l'évaluation des résultats ; par là même, préciser les besoins des administrations et participer à la formation des futurs utilisateurs.

c - Tester les sytèmes actuels, à savoir :

. les données : on s'est axé principalement sur les données Landsat étant donné le peu d'expériences en la matière en France dans le domaine de l'aménagement en général ; les données NOAA et des données aéroportées aux résolutions des futurs systèmes à satellite (20 m) sont également utilisées.

. les algorithmes existants, non supervisés et supervisés.

. les moyens de visualisation et de restitution des données et des résultats de traitements.

. les méthodes d'interprétation.

. les délais, les coûts.

d - Indiquer les limites actuelles de la télédétection : en résolution, en logiciels, en interprétation selon les thèmes abordés et les régions étudiées

e - En tirer des conclusions quant à la définition de systèmes adaptés aux problèmes à résoudre.

2.2.4.2. Thèmes et régions

Les thèmes retenus sont pour l'instant :

- utilisation du sol en milieu rural, discrimination de certaines cultures et de paysages ruraux significatifs, cartographie et statistique selon nomenclature la plus fine possible.

- utilisation du sol en milieu urbain.
- inventaire et caractérisation de la forêt, protection.
- inventaire et caractérisation de zones humides et de qualités des eaux, de zones écologiques.

Les régions qui font l'objet d'expérimentations sont les suivantes :

- Département des Bouches-du-Rhône (données Daedalus répétitives, données Landsat) expérimentations portant sur :
  . la forêt méditerranéenne
  . le bâti en zone rurale
  . l'étude du milieu camarguais
  . l'utilisation du sol en milieu urbain
  . la cartographie pédologique
  . l'utilisation du sol en milieu rural

- Etangs du Languedoc :
  . recherche sur la qualité des eaux
  . utilisation du sol dans la frange côtière
  . détermination des zones humides

- Limousin :
  . utilisation du sol, équilibre résineux, cultures, prairies, étangs

- Val de Loire :
  . utilisation du sol et discrimination de cultures (blé, maïs, prairies)
  . recherche des effets de la sécheresse de 1976

- Forêt Vosges - Vivarais :
  . inventaire forestier

Par ailleurs, l'OPIT apporte son concours à d'autres expérimentations selon des modalités diverses (échanges d'informations et de données, fourniture de données, ...).

Les premiers résultats de certaines expérimentations seront disponibles en décembre 77 et feront l'objet d'une diffusion appropriée.

2.3. Bref panorama de la télédétection dans quelques pays d'Europe

Autriche : Les thèmes principaux actuellement étudiés relèvent de la protection de l'environnement : pollution, eutrophisation des lacs, érosion des sols. Pour l'instant il est fait appel uniquement à la photointerprétation classique et aux cameras multibandes.

Belgique : Les problèmes étudiés appartiennent aux domaines de l'étude de l'écologie en général. Des recherches sont en cours sur les problèmes urbains des grandes agglomérations belges. Les méthodes utilisées font appel à la photointerprétation classique et à l'interprétation d'images Landsat (compositions colorées) développées aux Universités de Louvain et de Gand (utilisation du Zoom Transfer Scope et du QTM 720).

Groenland : Les données Landsat et NOAA ainsi que des couvertures radar sont utilisées pour les thèmes océanographiques et les problèmes de glaces (épaisseur des glaces, icebergs)

Finlande : Est concernée, comme les autres pays nordiques, par un programme de recherche sur les icebergs (Project Sea Ice, 1975), incluant les données radar.

Allemagne Fédérale : Une étude des besoins est en cours par le DFVLR (1) qui développe en ce moment des recherches technologiques sur les instruments et la physique du rayonnement, et travaille à la mise au point d'un système de traitement (ARGUS). Il dispose de nombreux capteurs aéroportés et d'avions.

---

(1) DFVLR : Deutsche Forshungs und Versuchsanstalt für Luft und Raumfahrt.

Des projets sont en cours sur quatre thèmes principaux :

- littoral - sédimentation - pollution
- biosphère des régions industrialisées
- land use (végétation naturelle, agriculture et forêts)
- hydrologie et géologie (Alpes)

Des travaux en cours plus avancés ont lieu sur les thèmes "forêts" et "science du sol". Des données acquises par capteurs multispectraux aéroportés sont utilisées dans le domaine de la pollution des fleuves et celui des conflits dans l'utilisation du sol entre les activités urbaines et industrielles et les activités agricoles. (Vallée du Rhin notamment).

Une grande part de l'activité du DFVLR est consacrée au programme Spacelab.

D'autre part le S.V.R (1) mène des campagnes régulières avec "capteurs thermiques" pour analyser et surveiller la pollution du Rhin et de ses affluents dans la région de la Rhur.(cf. Ch. 5, § 5-2, p. 143).

Grande-Bretagne : Le Département de l'industrie tient à jour un inventaire des organismes et des matériels disponibles dans le domaine de la télédétection des ressources terrestres. Celle-ci est particulièrement développée par le DOE, Department of Environment, qui utilise les images Landsat sur les zones urbanisées du territoire, venant en complément d'enquêtes classiques et de photointerprétation qui ont conduit à la mise à jour du Land use survey.

Les recherches sur la télédétection sont conduites par les Universités et par le Centre de recherches atomiques d'Harwell qui s'est en partie reconvertie vers la télédétection en développant un système de traitement des données à partir des calculateurs existants et d'algorithmes achetés aux USA (HIPS : Harwell Image Processing System).

---

(1) SVR : Siedlung Verbaud Rurkolenbezirk.

Italie : Plusieurs thèmes sont traités soit à l'aide de données satellites, soit à l'aide de données avion (photo et capteurs multispectraux) :
- géologie structurale et phénomènes volcaniques
- hydrologéologie et hydrologie du Pô
- pollution côtière
- utilisation du sol dans les Appenins.

Islande : Une carte de la végétation a été réalisée par photo-interprétation de clichés classiques et de compositions colorées au 1/1.000.000 à partir des données Landsat.

Pays-Bas : C'est un pays où la photointerprétation classique est particulièrement développée, à l'ITC (International Institut for Aerial Survey and Earth Sciences, Enschede) dans le domaine du Land Use (programme USEMAP) et des études urbaines. Dans le domaine végétal, des recherches sont en cours sur les réflectances et les signatures spectrales à Wageningen et Delft (NIWARS)(1). D'autres recherches sur l'infra-rouge, le radar, ainsi que sur les prétraitements ont lieu au National Aerospace Laboratory et au Laboratoire de physique du National Defense Researc organisation.

Norvège : Le Norvegian Water Resources and Electricity Board est intéressé par des études en cours à partir de satellites sur l'enneigement afin de faire des prévisions de disponibilités en eau pour l'énergie hydro-électrique.

Espagne : Il existe à Madrid un organisme qui commence à être opérationnel dans le domaine du Land use sur la région centrale d'Espagne (une carte éditée sur la zone Nord de Madrid) : le Remote Sensing laboratory for Cartography and Natural Ressources analysis, dans le cadre de l'Instituto Geographico y Cadastral.
Le système de traitement utilisé est dérivé de l'ERIPS pa une association IBM-Université de Madrid.

---

(1) NIWARS : Netherlands Interdepartmental Working Community for the Application of Remote Sensing.

Suède : La Suède participe au Sea Ice Project et, comme la Norvège, s'intéresse à sa couverture neigeuse. Les recherches sont en cours à partir de données Landsat, infra-rouges et radar.

Suisse : Un système intégré est à l'étude dans le but de cartographier automatiquement et de mesurer les changements de catégories d'utilisation du sol, en relation avec les systèmes classiques. Les programmes actuels utilisen des données multispectrales aéroportées et des données satellites sur les thèmes suivants, dans quelques zones tests :

- relief et enneigement
- land use
- identification de cultures

Des recherches sont également en cours sur l'utilisation des radars (humidité des sols, couverture neigeuse).

U.R.S.S. : Les soviétiques utilisent les images Landsat sur certain problèmes d'occupation des sols par l'agriculture en collaboration avec les USA et cherchent à développer des méthodes propres.
Un laboratoire de l'Université de Leningrad dispose d'avion et de divers capteurs. Des séries de satellites Cosmos sont régulièrement lancés avec des caméras multi-bandes (3 longueurs d'onde) qui sont récupérées au sol en fin de mission. Les vaisseaux Soyouz et les stations orbitales Saliout sont également équipés de telles optiques. Il ne semble pas que les soviétiques aient lancé des satellites automatiques de télédétection disposant de capteurs multispectraux à balayage avec numérisation à bord.

Chapitre 3 : TELEDETECTION ET AGRICULTURE *

INTRODUCTION

L'agriculture (et les forêts) couvre la majorité des terres des zones tempérées, on peut donc considérer que l'état de l'art en matière d'inventaire des cultures a été étudié dans le chapitre précédent. Différents problèmes spécifiques se posent néanmoins :

- les cultures des terres labourables, telles que les céréales en particulier, ont un cycle végétatif annuel, des stades phénologiques très différenciés sur un laps de temps relativement court, n'occupent le sol que durant 8 à 9 mois dans l'année. La question est d'appréhender les cultures au moment où elles se distinguent le mieux de leur milieu environnant ou de la culture voisine, mais aussi de les reconnaître pour elles-mêmes.

- les cultures permanentes, prairies ou permanents ligneux (vigne et verger) occupent le sol de façon quasi continue mais présentent également des stades phénologiques différents au cours de l'année.

- les parcelles de culture (on entend par parcelle un champ semé à la même date, de la même culture, de même variété, ayant reçu les mêmes techniques culturales) ne peuvent, par définition, être de très grande taille, ne serait-ce que pour des problèmes d'assolement de culture.

- les cultures répondent aux influences du sous-sol, du sol, des techniques culturales, des conditions météorologiques, de l'état sanitaire.

L'inventaire seul ne fournit qu'une des composantes de la production agricole, la seconde étant le rendement. Des recherches ont été effectuées sur la mesure de la biomasse à partir de la télédétection, mais elles sont très ponctuelles et peu satisfaisantes : cette notion de biomasse ne pourrait d'ailleurs que s'appliquer aux prairies, la valeur globale de la biomasse ne pouvant être correlée avec un rendement en grain d'une céréale par exemple.

* Chapitre rédigé par Ph. FOURNIER.

Un état de l'art des Etats-Unis ou du Canada ne peut être transposé brutalement et directement au cas de l'agriculture française ou européenne :

. la parcelle de culture est le plus souvent de faible dimension et de forme pas toujours régulière.
. il existe peu de secteurs de monoculture.
. les étendues de culture ne sont pas comparables.
. les "paysages" sont très variés.

Il est nécessaire en outre de signaler qu'il existe en France un système de statistique agricole (administration et professionnels) implanté de longue date et que les estimations de superficie ou les prévisions de récolte se font souvent à moins de 3 % près au niveau national.

Une abondante littérature existe sur les problèmes d'inventaire des cultures, il semble néanmoins plus intéressant de donner, presque in extenso, la présentation du programme LACIE, qui met en évidence les problèmes soulevés pour la reconnaissance d'une culture, les moyens mis en oeuvre pour les résoudre, la démarche intelectuelle suivie par l'administration américaine, pour la prévision de récolte de blé. Plusieurs points méritent l'attention :

. cette démarche utilisée pour le blé est valable pour toute autre culture à condition de l'adapter à la culture considérée, au pays concerné.
. cette approche met en lumière tout l'apport du traitement chronoséquentiel, à condition toutefois d'avoir au préalable étudié les stades phénologiques intéressants dela culture.
. la "statistique globale" obtenue par télédétection peut être considérée comme bonne ou suffisante sans que les résultats de classification pixel par pixel soient parfaitement satisfaisants.

Nous traiterons tout d'abord du programme LACIE, puis nous reporterons une déclaration du Directeur du Service Economique du Ministère US de l'Agriculture.

3.1. LE PROGRAMME LACIE "LARGE AREA CROP INVENTORY EXPERIMENT"

D'après :
RB Mac Donald. FG Hall. RB Erb. NASA. Lyndon Johnson Space Center
Houston Texas

(Symposium Houston - juin 1975 - volume II A)

Expérience utilisant les données multispectrales Landsat et les données météorologiques pour identifier des grandes cultures et estimer leur rendement, qui s'appuie sur un effet concerté de recherche, de test et d'évaluation. Ce système subira plusieurs itérations afin de développer une technologie qui, ou bien satisfait les applications objectives, ou montre que des applications objectives puissent être satisfaites, compte tenu que des solutions soient développées pour des problèmes spécifiques.

Ainsi l'objectif de LACIE est de développer et tester la technologie pour les inventaires des productions agricoles sur une échelle globale ou essentiellement définir les problèmes qui doivent être résolus en priorité afin de construire un système opérationnel.

Les principaux facteurs influençant une décision étaient les suivants :

- applications - objectifs - besoins
- état de l'art actuel de la technologie de la télédétection
- échéancier
- sources disponibles pour l'expérimentation
- contraintes internes et locales des organismes participant à LACIE

APPLICATIONS - OBJECTIFS - BESOINS

L'inventaire des récoltes a été retenu parce qu'il représente une application économique importante sans doute réalisable à court terme avec les moyens actuels de la télédétection. Le blé a été choisi en particulier en raison de son importance pour l'alimentation humaine et le marché international qu'il représente. Afin de tester la technologie, la production de blé, les surfaces et les estimations de rendement devraient être connus au niveau régional et national. Le système à mettre en place devrait être capable de donner des informations périodiques sur les surfaces, les rendements et les estimations de production (avec le degré de précision) depuis la plantation jusqu'à la récolte. Il y aurait lieu également d'identifier les stades végétatifs du blé auxquels ont été faites les estimations ainsi que toutes les données utilisées dont proviennent les estimations. La précision et/ou l'opportunité de cette information doit améliorer la précision et/ou l'opportunité obtenues par l'USDA de zones intérieures aux USA ou au Canada. De plus toute information devrait être raccordée à des coordonnées géographiques.

ETAT DE L'ART ACTUEL DE LA TECHNOLOGIE DE LA TELEDETECTION

Une enquête soigneuse sur l'état de l'art réalisée avant le lancement de LACIE a montré que les inventaires "blé" étaient réalisables pour de grandes zones. La principale tâche correspond à étendre la technologie de relativement petites zones à de grandes surfaces.

Pour l'estimation des superficies les efforts les plus grands sont à mobiliser sur le développement de la méthodologie afin d'obtenir des séries statistiques sur les régions inaccessibles et d'étendre ces statistiques à de plus larges étendues. D'un autre côté, un gros effort est également à poursuivre pour minimiser l'effet de la couverture nuageuse sur les données Landsat et pour conduire l'analyse d'une multitude de données correspondant à de très grandes superficies.

En 1966, des modèles ont été construits pour classer automatiquement les principales cultures en fonction de l'analyse des mesures électromagnétiques multispectrales. Il a été reconnu que le blé à maturité pouvait ainsi être reconnu avec fiabilité. La première application de cette technologie a été en 1971 la surveillance de la rouille du blé. En complément des expériences ont été conduites à partir des données Mercury, Gemini et Appolo ; en particulier à partir des données Appolo 9 on a pu simuler les bandes spectrales de Landsat et ainsi démontrer que les cultures pouvaient être reconnues automatiquement avec des mesures simulées Landsat.

Une série d'investigations sur la faisabilité en agriculture à partir des données Landsat 1 lancé en Juillet 1972, sur différents sites test ont établi que la majorité des cultures pouvait être identifiée et mesurée avec une fiabilité raisonnable. Ce taux de fiabilité a été calculé de façon approximative,les investigations ayant des objectifs limités, c'est-à-dire que les résultats ont été obtenus sur une seule date, des superficies limitées. Ces résultats ont néanmoins convaincus à l'intérieur de la communauté "télédétection" que cette technologie pouvait être utilisée pour de grands inventaires. L'effort suivant a été proposé à mi-73 à la NASA:intensification de la faisabilité de Landsat 1, établissement de classification, mesure de la précision dans l'identification de la plupart des blés poussant dans différents secteurs tests des USA. En parallèle la répétitivité de Landsat permettait des investigations sur les "petites" céréales. A la fin 1973, USDA et NASA se mettent d'accord sur l'inventaire d'une seule culture, c'est-à-dire le blé, qui représente un intérêt considérable. Le blé a été retenu pour l'expérience qu'on avait de la reconnaissance par télédétection et pour son importance économique mondiale.

Le Johnson space center a utilisé les données Landsat 1 acquises sur le Montana à trois stades phénologiques (montaison - épiaison - maturation) et deux en Nord Dakota (pousse et tallage). La multitemporalité fournit une très grande amélioration des performances.

La différence entre les résultats obtenus et la superficie réelle est due à trois facteurs :

- la relation entre classification par pixel et estimation de la superficie n'est pas complètement établie ;
- le taux de dégradation de la performance de classification, affecté par certains facteurs lorsque l'on s'intéresse à de plus grandes superficies, n'est pas connu (différence de transparence de l'atmosphère, angle du soleil, couleur du sol, saisons, pratiques culturales) ;
- l'erreur entre le modèle d'estimation des superficies utilisé dans LACIE et la classification à utiliser par pixel par le maximum de vraisemblance est inconnue.

La réponse aux deux derniers facteurs peut être apportée en conduisant une expérimentation sur de plus grandes superficies.

Soit p(w/w) la probabilité qu'un pixel de blé soit classé en blé
p(w/o) la probabilité qu'un pixel non blé soit classé en blé
Pw proportion en blé dans l'échantillon
Pew proportion en blé à partir des résultats de la classification pixel par pixel

$$Pew = p(w/w)\ Pw + p(w/o)\ (1 - Pw)$$

– PROBABILITIES FOR CORRECT CLASSIFICATION AND PROBABILITIES FOR COMMISSION ERROR

(a) Hill County, Montana

Probability	Single pass			Multidate		
	t_1 (a)	t_2 (b)	t_3 (c)	(t_1, t_2)	(t_1, t_3)	(t_1, t_2, t_3)
P(w/w)	0.70	0.90	0.80	0.90	0.90	0.95
P(w/o)	.20	.15	.05	.05	.05	.00

(b) Burke County, North Dakota

Probability	t_1 (d)	t_2 (e)	(t_1, t_2)
P(w/w)	0.75	0.85	0.90
P(w/o)	.10	.10	.05

[a]Greening. [d]Emergence.
[b]Heading. [e]Jointing.
[c]Mature.

La différence relative entre Pew et Pw s'exprime par :

$$D = \frac{p(w/w)\ Pw + p(w/o)\ (1 - Pw) - Pw}{Pw}$$

Les valeurs p(w/w),p(w/o) dépendent de la confusion entre les différentes cultures présentes ce qui varie considérablement selon les régions céréalières. De plus la différence relative entre la proportion estimée et réelle dépend de l'importance relative en blé d'un secteur. Les valeurs p(w/w) et p(w/o) sont dans la littérature souvent inconnues ou non retranscrites par les auteurs.

Une nouvelle étude a donc été réalisée sur un secteur de 2 x 6 miles de Hill Country (Montana) : deux classifications ont été réalisées à partir des passages du 16/4/73 et du 23/5/73. La 3ème classification a combiné les 12 canaux, c'est-à-dire la combinaison des 2 premiers passages plus celui du 27/6/73. Pour ce secteur la proportion Pw en blé est de 30,2 %. Le tableau 2 fournit les résultats de cette expérience.

TABLE II.– AREA ESTIMATION ACCURACY RESULTS

FOR HILL COUNTY STUDY

Parameter	Single pass		Multidate, three passes
	Greening	Heading	
P(w/w)	0.586	0.698	0.851
P(w/o)	.141	.155	.060
Bias error *D*	-.089	.056	-.01

Les valeurs p(w/w) et p(w/o) sont moins bonnes que dans l'exemple précédent, bien que portant sur la même zone. Ces valeurs ont été obtenues à partir de processus plus représentatifs de ceux utilisés dans LACIE où le nombre d'interactions et d'itérations est grandement réduit. Même si le taux correct de classification par pixel est de 58,6 à 85,1 %, l'estimation en blé pour le secteur est bonne à plus de 90 %. (D de 8,9 à 1 %) : il y a compensation entre les erreurs dues aux omissions et les erreurs dues aux substitutions. Si cette compensation se révèle dans tous les secteurs traités alors on peut penser que l'on aura l'estimation de grandes superficies avec une précision de plus de 90 %.

A ce biais dû aux méthodes de classification, il faudrait, en outre, ajouter l'erreur aléatoire due au fait que l'on procède par sondage. Un effort a été fait pour fournir des estimations de la validité des paramètres utilisés dans LACIE : ces tests ont montré que les résultats de classification utilisés n'avaient pas un biais négligeable et qu'il pouvait être difficile de le corriger. Nénamoins, certaines autres procédures de classification sur le blé et le soja a des instants optimaux de discrimination de ces cultures ont donné des valeurs du biais et de la variance de l'estimation qui rendaient acceptables ces estimations.

Pour la détermination de la production, il est nécessaire d'obtenir des estimations de rendement : les statistiques agricoles montrent que les variations de production sont dues autant aux variations de rendement qu'aux variations de superficies. Cette estimation des rendements exige un effort considérable d'étude des séries chronologiques et des données météorologiques ; des facteurs tels que la pratique agronomique et les attaques parasitaires, non modélisables, doivent être également évalués. L'application de la télédétection à la détermination de la production est en effet à un stade trop peu avancé : la corrélation entre les données multispectrales et les rendements n'a pas été calculée. Le JSC s'est adressé à la NOAA pour étudier des modèles agrométéorologiques de prévision de rendement qui paraissent plus prometteurs pour une application à grande échelle bien que les données spectrales soient considérées comme étant une des nombreuses sources d'information sur les conditions de récolte. Les données introduits dans les modèles agrométéorologiques peuvent être obtenues en temps quasi réel.

ECHEANCIER

Cet échéancier résulte de diverses considérations. Parmi celles-ci les plus importantes sont les suivantes :

. besoin technique pour la télédétection de maintenir une continuité dans le développement et l'utilisation des données MSS satellite pour les applications pratiques

. temps escompté pour développer la technologie et un système d'inventaire

. calendrier particulier des cycles de production du blé sur les régions intéressant LACIE.

En considération de ces exigences une approche en 3 phases, recouvrant 3 ans 1/2 a été retenue : 1ère phase qui était double et qui concernait la faisabilité en ce qui concerne l'estimation des superficies et l'estimation des rendements en blé, les 2ème et 3ème phases qui concernent les tests proprement dits de détermination des superficies et rendements tant aux USA que dans les autres régions de production de blé.

RESSOURCES DISPONIBLES

Les trois déterminantes pour exécuter LACIE sont :

- la désignation et l'explicitation du système expérimental d'inventaire à partir de la technologie existante ;
- la disponibilité en personnel et heures machine pour analyser la grande masse de données ;
- appuyer la recherche, tester et évaluer pour combler les "trous" dans la technologie actuelle.

AUTRES FACTEURS DE CONTRAINTES

Les dernières considérations sur la description de LACIE sont des contraintes que l'on s'est imposées et supposent une certaine organisation et des ressources pécuniaires à distribuer aux différentes organisations travaillant à LACIE. Deux contraintes majeures :

1) les vérités terrain pour l'année en cours seraient réduites.
2) l'expérimentation devait être menée de manière quasi opérationnelle avec analyse en temps réel (2 semaines entre l'acquisition de données et l'achèvement du processus).

La première contrainte réduisait l'acquisition sol a des zones limitées des US et par là même limitait l'utilisation de ces données pour l'évaluation de LACIE et le développement des statistiques d'apprentissage pour les autres pays. Cette restriction exigeait que soient développés deux aspects de la technologie : identification du type de culture sur des données représentant 2 % de l'image LANDSAT et procédure d'extension des signatures spectrales aux 98 % autres de l'image.

LACIE a été structuré essentiellement à partir du programme existant d'analyse ADP (Automatic Data Processing) multispectrale de la NASA. Le "Earth Resources Interactive Processing System" (ERIPS) contient une technologie de traitement de données facilement utilisable pour LACIE. ERIPS était installé sur IBM 360/75 du HOUSTON Real Time Computer Complex. Un autre facteur ayant influencé le système est la décision d'utiliser le multitemporel ;la technique d'enregistrement qui pouvait être utilisée facilement ne permettrait pas de prendre plus qu'environ un centième de l'image Landsat, soit un peu moins de 100 miles carrés sur le terrain. A l'intérieur de ces contraintes l'unité d'échantillonnage de 5 ou 6 miles nautiques était retenue comme adéquate.

Un des principaux facteurs contraignants pour l'USDA étaient les moyens à mettre en oeuvre pour acquérir la vérité terrain et les mesures nécessaires pour critiquer et évaluer les résultats de LACIE. Ainsi 28 zones tests ont été retenues, représentant 268.000 acres (soit 107.000 ha). En novembre 1974, les opérations initiales ont commencé avec un premier système de classification et mesure du blé à partir de Landsat 1 sur des zones du Kansas.

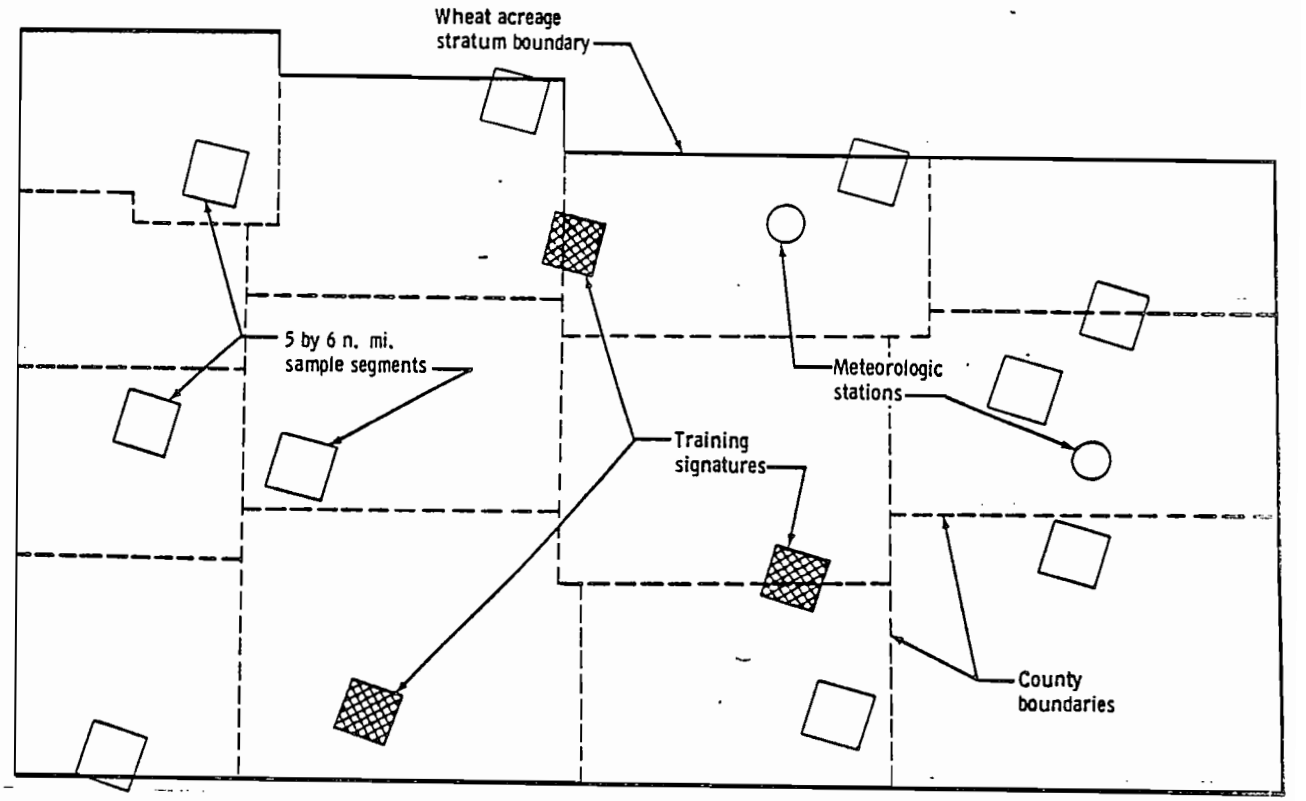
DESCRIPTION DE LACIE

Approche technique

L'identification et l'évaluation des surfaces se réalisent à partir des données multispectrales de Landsat, l'apprentissage de

cet inventaire étant fait sur échantillon.

Un échantillon aléatoire stratifié de segments de 5 ou 6 miles nautiques a été retenu, la stratification ayant été effectuée à partir des données du recensement de l'agriculture de 1969. Un total de 637 segments a été retenu au niveau de l'ensemble des US, ce qui donne une erreur d'échantillonnage de 2 % environ. Ces 637 segments sont répartis par comté proportionnellement à la production du comté. Ce tirage donne de 0 à 5 segments par comté et un maximum de 15 par strate. Les données de ces segments de 5x6 miles représentent 117 lignes de 196 pixels pour chacun et sont extraites des scènes par la NASA.



– Segment locations within a crop reporting district.

Environ 20 % de ces segments sont retenus pour l'apprentissage (étude des signatures). Sur les images Landsat les champs "échantillons" sont repérés manuellement afin d'effectuer l'apprentissage de l'algorithme de classification identifiant le blé aussi bien dans les segments d'apprentissage que dans les autres segments. Est jugé comme acceptable pour l'apprentissage un segment qui n'est pas recouvert de nuages. Il est procédé à des traitements sur les segments "ordinaires" pour chacune des 4 phases biologiques retenues (semis - montaison - épiaison - maturation). Pour chaque segment les premiers enregistrements de la saison deviennent la référence et les données suivantes sont enregistrées par rapport à ces références afin de constituer une série multitemporelle de 16 canaux.

L'analyse des données est faite intentionnellement sans vérité terrain (qui ne sont utilisées que pour l'évaluation) les seules données utilisées opérationnellement devant être obtenues en temps réel sur des grandes superficies à partir de sources existantes. Ceci nécessite de faire l'apprentissage de classification à partir de calendrier de culture établi à partir des calendriers d'années normales modulés par les conditions climatiques de l'année en cours. Ce modèle de calendrier est basé sur le modèle de Robertson qui fait intervenir les températures journalières maxi et mini à partir de la date de semis et peut être utilisé pour fournir par quinzaine des indications sur les phases biologiques pour chacun des 60 districts d'entrainement des Etats Unis.

Les données Landsat sont visualisées sur film et un photo-interprète retient 40 à 50 champs "d'apprentissage" en blé ou autre culture par segment d'apprentissage et donne les limites de ces champs ; ceci représente environ 2 % des données Landsat qui font l'objet de photointerprétation. Le photo-interprète distingue le blé du non blé d'après certaines clés d'interprétation faisant intervenir la tonalité, le changement saisonnier et des informations telles que la texture et la forme. De plus le photo-interprète doit connaître l'assolement agricole de chaque segment. Chaque semaine l'interprète a les données météo, fournies par la NOAA, susceptibles de modifier l'apparence de la culture (chutes de neige, précipitations, sécheresse, températures extérieures). Les grandes régions de culture peuvent être découpées en plus petites régions où la "signature spectrale"

est homogène. Si des problèmes de couverture nuageuse se posent on peut ainsi raisonner sur des segments d'une petite région d'une "signature" donnée et extrapoler à la petite région ayant la même "signature". La classification est donc basée sur un jugement à 4 dates différentes : en général les limites des champs échantillons sont bien définies.

Des corrections radiométriques et géométriques peuvent être réalisées si nécessaire. Une procédure de réduction du nombre de canaux, utilisant la distance de Bhattacharyya peut être également utilisée. Le segment est classé en maximum de vraisemblance en blé et non blé.

Le fondement de LACIE repose sur les "signatures". L'extension des signatures impose la définition de méthodes de détermination de "strate de même signature" c'est-à-dire de zones géographiques à l'intérieur desquelles les signatures sont suffisamment homogènes pour ne pas influencer sur le degré de précision de la classification, et le développement d'algorithmes permettant d'étendre la "signature" selon les conditions d'environnement, c'est-à-dire conditions atmosphériques ou angle du soleil à la prise de vue. Les "strates de même signature" doivent être vraisemblement de même caractéristiques spectrales au point de vue du sol, de phases biologiques de la culture et de techniques culturales.

Les estimations de rendement sont faites à partir de modèles incluant les données météorologiques, essentiellement les précipitations et la température. De telles données doivent être obtenues à partir du réseau normal.

Des modèles de prévision de rendement plus sophistiqués, tel que le modèle de Bauer, peuvent être utilisés (faisant intervenir les stades phénologiques).

LACIE doit fournir mensuellement des prévisions de rendement, des situations de superficie et de production pour chacun des districts et états plus gros producteurs de blé des USA.

L'estimation globale de la superficie se fait par extrapolation à partir de la stratification réalisée. Les méthodes d'agrégation des rendements est encore à la phase de recherche, de test et d'évaluation.

La dernière phase du programme consiste à comparer les résultats obtenus par LACIE avec ceux obtenus par l'USDA avec les moyens conventionnels. La fiabilité des résultats peut se mesurer par :

- % de différence entre les deux estimations
- intervalle de confiance de l'estimation de superficie obtenue par LACIE
- la probabilité pour que l'estimation par LACIE diffère moins de 10 % de l'estimation conventionnelle.

De telles estimations sont en fait plus faciles à définir qu'à obtenir :

- on ne connaît pas la valeur réelle de l'estimation conventionnelle
- le calcul de la variance n'est pas possible pour les comtés ayant un seul segment, quant à l'hypothèse de la "normalité" de la taille des champs, elle ne peut être vérifiée à l'intérieur d'un segment.

Approche administrative

Sans la contrainte de temps toutes les opérations s'intégrant dans LACIE auraient normalement été conduites séquentiellement. En particulier, le système d'évaluation n'a jamais été complètement développé ni sérieusement testé.

Trois organismes participent à LACIE et chacun d'eux maintient son propre contrôle administratif sur les fonds alloués à LACIE. Néanmoins la cellule de commandement est entièrement intégrée.

Le calendrier théorique était :

1974-1975 : estimation des superficies dans 9 états des plaines centrales US et modèles de rendements testés dans deux états.

1975-printemps 1977 : élargissement à l'ensemble des Etats-Unis - développement sur des sites des hémisphères nord et sud.

QUELQUES ELEMENTS DE JUGEMENT SUR LACIE

Le tableau 1 fournit les résultats des tests effectués sur la photointerprétation des images Landsat à partir de champs classés en blé ou en non blé par le photo-interprètateur en regard de la vérité terrain et en fonction des stades végétatifs.

Le tableau 2 donne les performances de classification, pour un seul passage en fonction des différents stades végétatifs : ces résultats varient considérablement de segment à segment et d'un stade végétatif à l'autre mais l'analyse chronoséquentielle améliore considérablement ces performances.

Le tableau 3 montre à partir d'un échantillon de 12 segments sur 28 (du Kansas) la différence d'estimation de proportion en blé, à partir de Landsat, et à partir d'une enquête terrain (échantillon de 1 mile carré à l'intérieur du segment de 5 x 6 miles nautiques) menée par le service statistique du Ministère de l'Agriculture.

Le tableau 4 fournit les estimations par "strate de sondage" faites par le service statistique et obtenues par LACIE et au niveau de l'ensemble des 6 strates composant le Kansas.

La figure 1 donne enfin le calendrier théorique retenu pour LACIE et l'état d'avancement en juin 1975. D'ores et déjà on peut avancer que le programme a acquis plusieurs mois de retard.

[Percent of fields correctly identified]

Biological phase	Morton		Finney		Ellis		Saline		Rice	
	W[a]	NW[b]	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW
1A Fall seedbed preparation	27	100								
1B Spring reemergence	100	100	100	80	100	66				
2 Booting through heading	89	100	100	100	100	80	100	100		
3 Soft dough to harvest (mature)			100	100	100	80			100	100
4 Postharvest	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[a]W = wheat. [b]NW = nonwheat.

TABLEAU 1.

Pourcentage de champs correctement identifiés par photointerprétation selon le stade biologique :

1A : semis à l'automne
1B : reprise de végétation au printemps
2 : tallage à montaison
3 : grain pâteux à maturité
4 : après moisson

– CLASSIFICATION PERFORMANCE ON FIVE KANSAS

INTENSIVE TEST SITES

[Probability of correct classification]

Phase[a]	Segment and crop type[b]									
	1034 (Finney County)		1042 (Morton County)		1106 (Ellis County)		1111 (Rice County)		1114 (Saline County)	
	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW	W	NW
1A			0.76	0.90						
1B	0.54	0.76	.73	.95	0.22	0.85				
2	.87	.61	.75	.79	.66	.31			0.78	0.82
3	.69	.89			.80	.19				
4	.38	.85	.38	.55			0.85	0.48	.78	.68
									.78	.65

[a]Numbers correspond to biological phases

[b]W = wheat; NW = nonwheat.

TABLEAU 2.

.– COMPARISONS OF SRS AND

LACIE ESTIMATE

Segment	County	Phase[a]	Wheat proportion	
			Landsat	SRS
1040	Kearny	2	0.322	0.337
1109	Marion	1	.254	.222
1036	Grant	1	.520	.321
1118	Reno	2	.180	.434
1018	Graham	2	.127	.182
1029	Scott	1	.400	.411
1037	Gray	1	.290	.266
1045	Stevens	2	.249	.209
1065	Haskell	1	.300	.321
1104	Barton	3	.380	.605
1106	Ellis	2	.607	.404
1110	McPherson	2	.526	.401
		Mean:[b]	0.34625	0.34275

[a]Phase numbers correspond to biological phases listed in table IV.

[b]Difference in means = 0.0035; associated standard error = 0.0407.

SRS : Statistical Reporting Service de l'USDA

TABLEAU 3.

.– A MAP COMPARISON OF USDA AND LACIE

WHEAT PROPORTION ESTIMATES FOR SIX KANSAS CROP

REPORTING DISTRICTS

Kansas CRD number	Wheat proportion		Relative difference, percent
	USDA (1973-74)	LACIE	
1	0.244	0.189	-22
2	.228	.230	1
4	.255	.214	-16
5	.307	.390	27
7	.267	.321	20
8	.385	.282	-27
All 6 CRD's	0.286	0.278	-3

TABLEAU 4.

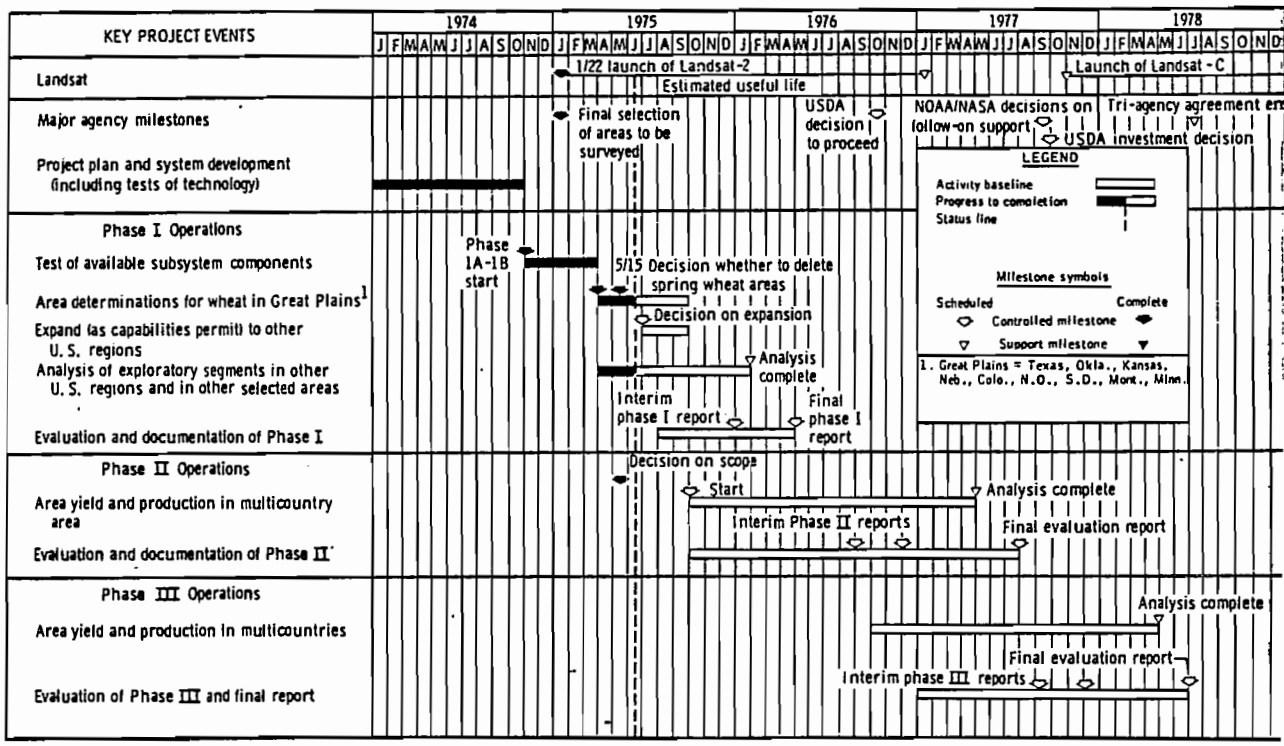


FIGURE 1.

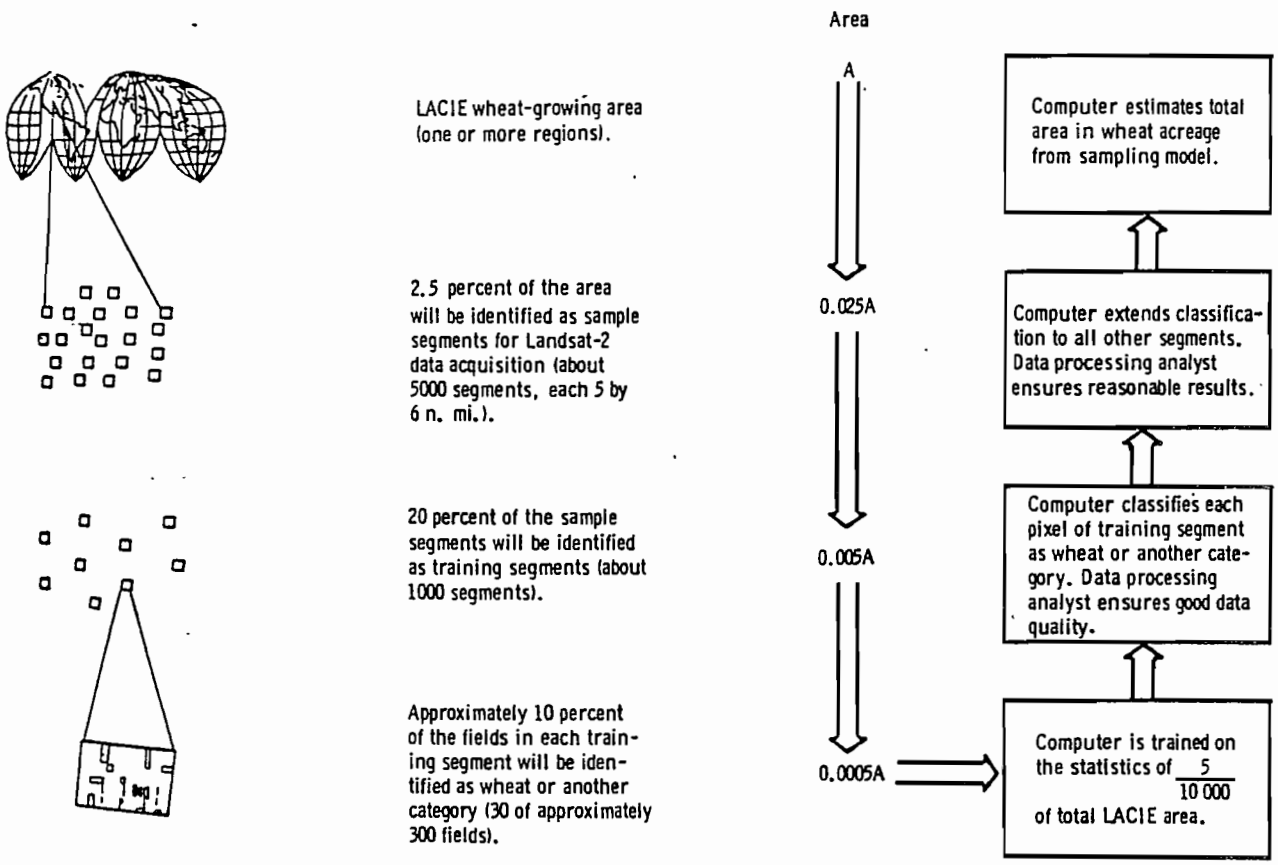


FIGURE 2.

ESTIMATION DES RENDEMENTS A PARTIR DE MODELES AGROMETEOROLOGIQUES

Le "Center for Climatic and Environmental Assessment" (CCEA) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) établi depuis 1974 à Columbia (Missouri) a développé des modèles agro-météorologiques sur le blé à partir des données climatiques de 45 ans, des estimations de rendement et de production au niveau de la strate de sondage des "segments" d'apprentissage de reconnaissance des superficies. En premier lieu une documentation a été réunie sur les nouvelles variétés introduites, les taux d'engrais utilisés, les façons culturales, etc ... Les variations de rendements par rapport au trend technologique ont été reconnues comme étant correlées avec les conditions climatiques.

February truncation

$$\hat{Y} = 10.471 + 0.268(25) + 0.741(21) + 0.521(AFP - 10.271)$$

June truncation

$$\hat{Y} = 13.347 + 0.225(25) + 0.759(21) + 0.284(AFP - 10.271) + 1.591(MPP - 0.796) - 0.139(MPP - 0.796)^2 - 0.299(MP - 3.540)^2 - 2.453(MDD) - 0.133(JP - 3.809) - 0.119(JP - 3.809)^2$$

$\hat{Y}$ Yield estimate in bushels per harvested acre
AFP August to February precipitation (in.)
MPP March precipitation - potential evapotranspiration (in.)
MP May precipitation (in.)
MDD May degree days above 90° F (= 1 if degree days greater than 8.5, = 0 otherwise)
JP June precipitation (in.)

— Truncated yield forecasts for 1975 by use of the Kansas wheat model.

Les modèles de prévision de rendement ont en réalité été développés à partir de 35 années d'observation (à partir de 1965) puis testés sur chacune des 10 années de 1966 à 1975 en temps réel et comparés avec les mesures objectives de rendement effectuées dans chaque état.

3.2. DECLARATION DE M. DON PAARLBERG, DIRECTEUR DES SERVICES ECONOMIQUES DU MINISTERE U.S. DE L'AGRICULTURE, PRONONCEE DEVANT LA COMMISSION SENATORIALE POUR LES SCIENCES AERONAUTIQUES ET SPACIALES, LE 5.2.1976

M. Le Président et MM. les membres de la Commission, je suis heureux de pouvoir examiner avec vous l'utilisation de la télédétection par le Ministère de l'Agriculture. Comme vous l'avez demandé, j'insisterai sur les travaux entrepris en coopération avec la NASA.

En exécutant les vastes tâches qui lui incombent, le Ministère de l'Agriculture (U.S.D.A.) doit entretenir un réseau extensif d'information. La collecte, l'analyse et la diffusion de données fort diverses aux utilisateurs, ceux du Ministère et d'autres encore, constituent des tâches essentielles.

Le Ministère est, de longue date, utilisateur de la télédétection. Depuis près de 40 ans, il réalise et utilise des photographies aériennes. Il a d'abord utilisé la photographie en noir et blanc pour des mesures de répartition du territoire, des études sur les cultures et les sols, la cartographie et des levés de terrain.

Plus récemment, le Ministère a expérimenté la photographie infra-rouge couleur pour l'identification des cultures et la détection des carences. Nous utilisons aussi des scanners thermiques aéroportés pour détecter et contrôles les incendies de forêts.

En 1971, le Ministère, en coopération avec la NASA et la communauté scientifique, a expérimenté l'emploi de la télédétection pour le dépistage et le contrôle de l'invasion des céréales du Sud par la nielle des blés. L'expérience a prouvé que les techniques de photo-interprétation permettaient de distinguer les céréales saines ou légèrement atteintes des céréales moyennement ou gravement malades. Plus important encore, nous avons appris que le traitement automatique (computer processing) des données fournies par le scanner

multispectral permettaient une évaluation plus précise des dégâts que l'évaluation permise par les méthodes conventionnelles de photo-interprétation. Cette opération nous a également permis d'acquérir une expérience précieuse dans la conduite d'une entreprise expérimentale de grande envergure et impliquant la participation d'un certain nombre d'organismes.

Dès l'apparition des satellites Landsat le Ministère reconnut qu'ils pouvaient lui être d'une très grande utilité dans la poursuite de ses objectifs. Les satellites Landsat fournissent, pour des régions très étendues, des données multispectrales susceptibles d'être traitées sur ordinateur. Ils réalisent aussi des couvertures répétitives (tous les 18 jours) qui permettent, par exemple, l'observation continue des cultures pendant toute la période de croissance.

Nous rechercherons activement les moyens susceptibles de permettre d'obtenir une grande variété d'informations à partir des véhicules spatiaux. Nous consacrons des ressources substantielles à des études permettant de déterminer les possibilités d'utilisation, par le Ministère, de toutes sortes de données télédétectées. Les activités du Ministère en matière de télédétection comportent :

1) une réalisation commune : Min. de l'Agriculture-NASA-NOAA;LACIE, test quasi-opérationnel destiné à déterminer la possibilité et la rentabilité d'une utilisation conjointe des données Landsat et de données météorologiques, climatologiques et chronologiques relatives à la production activole en vue de prévoir la production de blé, culture alimentaire d'une importance mondiale.

2) la création d'un "Corps des usagers de la télédétection" (Task Force) composé de membres des services du Ministère, utilisateurs de données concernant les ressources terrestres, pour dresser un inventaire des demandes du Ministère dans ce domaine, reconnaître celles qui ont le plus de chances d'être satisfaites et qui donneraient le maximum de résultats, et pour mettre au point un programme

coordonné pour l'acquisition, le traitement, l'analyse et la diffusion de l'information. Le "Task Force" s'acquitte bien de ses fonctions et la NASA lui prête une assistance technique.

3) La participation à des groupes ou à des équipes qui conseillent et/ou orientent la NASA pour le développement d'une nouvelle technologie permettant de répondre aux demandes des services, comprenant Federal Interagency Decision Team : le commettee on Remote Sensing for Earth Resource Survey : et divers groupes d'étude

4) Etablissement d'une photothèque pour l'imagerie Landsat/Skylab à l'intérieur du Ministère à l'intention des utilisateurs (du Ministère ou d'ailleurs) de l'imagerie de la NASA.

5) Une recherche fondamentale et appliquée sur les possibilités d'application des techniques de la télédétection aérospatiale et de la méthodologie correspondante aux problèmes relatifs aux carences des plantes, à l'érosion, à la sédimentation et au ruissellement des eaux.

6) Un projet U.S.D.A./NASA d'applications forestières, qui étudie l'utilisation des données Landsat et avion :
   a) pour l'inventaire des potentialités des sols ;
   b) l'inventaire des ressources en bois ;
   c) un triple inventaire des ressources à l'échelle de l'état et du comté ;
   d) les procédures d'assistance à la planification de l'utilisation du sol.

7) Une recherche sur l'utilité des données Landsat pour la réalisation des sondages spatiaux, des cadres utilisés par le Ministère pour ses programmes d'estimation de récoltes, et sur l'utilisation des données Landsat dans la classification de l'utilisation du sol (Land use classification).

8) Recherche sur l'utilisation des techniques de traitement des données Landsat et apparentées pour améliorer la précision des estimations de récoltes réalisées par le Ministère au niveau de l'Etat et au niveau du comté. Le Ministère a travaillé en collaboration étroite avec le Laboratoire d'Applications de la Télédétection (LARS) de la Purdue University, au développement des "automated system" pour

l'utilisation des données Landsat dans diverses applications à l'agriculture.

9) Un effort commun avec l'URSS pour l'identification de la végétation, des sols et de l'utilisation du sol, utilisant la vérité-terrain et les technologies aérospatiales, a été approuvé en accord avec la convention de 1972. L'effort de coopération proposé implique un échange de données télédétectées et de vérité-terrain pour les sites U.S. et soviétiques, des analyses de données indépendantes pour les sites (U.S. et Soviétiques) et un échange intégral des résultats de la recherche.

Le Ministère participe à ce programme avec la NASA.

On prévoit que les travaux de télédétection nécessaires à la réalisation de ces programmes, en février 1977, coûtera au Ministère environ 9,2 millions de dollars. En bien des cas, les coûts n'apparaissent pas directement liés à la télédétection, puisque cette activité fait partie intégrante d'un programme plus vaste, opérationnel ou de recherche.

Il faut noter que les efforts actuels au Ministère, en matière de télédétection, pour exploiter les données Landsat sont orientés vers la recherche et le développement. Généralement, l'utilisation par le Ministère des données ressources terrestres des satellites n'est pas opérationnelle. Cependant, nous sommes très optimistes et convaincus que les travaux (research and development) en cours donneront naissance à des techniques dont l'utilisation augmentera la capacité du Ministère à faire face à ses responsabilités dans un monde en continuelle transformation. Par exemple, nous pensons que LACIE - si ce programme s'avère réalisable et rentable - sera le prototype d'un système de prévision des récoltes, basé sur une technologie avancée.

Je voudrai maintenant exposer quelques conclusions préliminaires concernant les données Landsat et leur utilité future pour le Ministère :

1) Les données multispectrales répétitives Landsat peuvent constituer un apport de valeur aux systèmes d'information. Cependant, Landsat n'est pas une source de données universelle. Pour rendre un maximum de services, les données Landsat doivent être utilisées conjointement avec des données agricoles, démographiques, météorologiques, climatologiques et autres.

   En d'autres termes, Landsat peut fournir un apport valable à un système d'information utilisant des sources multiples.

2) Dans la plupart des cas, les données Landsat ne peuvent être exploitées exhaustivement que par le traitement sur ordinateur. L'oeil humain n'est pas capable de distinguer tous les degrés de la gamme des gris. En outre, pour la plupart des utilisations, les données sont trop nombreuses pour être traitées utilement par des interprétateurs humains.

3) Landsat, à cause de sa résolution relativement faible, est inadéquat pour la cartographie à grande échelle et l'étude de très petites régions qui nécessitent une capacité à enregistrer avec de grandes résolutions spaciales. Ceci s'appliquera encore à Landsat, même si la résolution des capteurs est améliorée.

4) Dans les limites de sa résolution, Landsat est une source unique de données jusqu'alors inacessibles, susceptibles d'améliorer grandement certains secteurs du réseau d'information du Ministère. Cependant, les données Landsat doivent être exploitées dès leur acquisition dans le cas de programmes opérationnels.

5) Les responsables du programme du Ministère hésiteront à engager des ressources considérables dans le développement et l'utilisation de systèmes opérationnels reposant sur des données spatiales multispectrales tant qu'ils n'auront pas la certitude d'un approvisionnement continu de données valables.

Leurs décisions dépendront aussi de la preuve qui pourra être faite de la rentabilité de ces systèmes et de considérations budgétaires.

En conclusion, le Ministère travaille continuellement à l'amélioration de son réseau d'information. Nous sommes pleinement conscients du rôle que peut jouer la télédétection dans ce réseau - non Landsat seul, mais un large ensemble de sources de données. Les résultats des recherches et réalisation en cours et le rapport de notre "Remote Sensing User Requirement Task Force' influenceront l'orientation du programme de télédétection du Ministère.

Nous envisageons avec satisfaction la poursuite de notre étroite collaboration avec la NASA (litt. de l'étroite coopération entre la NASA et la "communauté - télédétection").

Chapitre 4 : POSSIBILITES ACTUELLES DE LA TELEDETECTION DANS LE DOMAINE FORESTIER *

AVANT-PROPOS

La synthèse sur les possibilités actuelles de la télédétection dans le domaine forestier a été réalisée à partir d'expériences connues directement ou par des rapports ou publications présentés dans les revues ou les colloques spécialisés.

Cependant, dans cette action, il ne pouvait être question d'ignorer les besoins exprimés au niveau national. Aussi, les réflexions de ce document sont-elles orientées globalement par les trois recommandations du conseil économique et social (1971).

- Protéger et conserver la forêt
- Mettre la forêt en état de mieux remplir ses fonctions
- Etendre la forêt.

* Chapitre rédigé par G. FLOUZAT.

4.1.- GENERALITES

1 - Fonction de la télédétection dans le domaine forestier

Les objectifs principaux que l'on doit assigner à l'utilisation de la télédétection pour satisfaire les besoins exprimés pour la connaissance et la gestion de la forêt française appartiennent à deux catégories :

- statistiques des surfaces :
  . en fonction des interventions d'exploitation et de gestion
  . en fonction des divers phénomènes de dégradation

- Identification et cartographie des essences :
  . localisation géographique des peuplements
  . estimation des productions sur pied.

Les travaux et le savoir-faire actuels sont regroupés dans ce document selon les affinités de l'acquisition, du traitement et du thème étudié.

Ils proviennent d'expérimentations que l'on peut attribuer à trois phases "historiques" du développement de l'observation de la terre :

1) Photo-interprétation de photographies aériennes à grande et moyenne échelle
2) Traitement photogrammétrique combiné à la photo-interprétation des mêmes documents
3) Traitements analogiques et numériques de données multispectrales à des échelles de plus en plus petites.

Dans de nombreuses analyses, seule la troisième phase est assimilée à la télédétection. Pourtant, en matière de forêt, les deux premières fournissent des moyens actuellement opérationnels. Il faut donc en tenir compte même si les travaux récents tendent à identifier le véhicule-satellite à l'action-télédétection.

Toutefois, deux observations doivent être faites devant cette restriction :

- les investigations globales sont dès maintenant possibles. Des statistiques de surfaces (boisement, défrichement, essences pures en massif) devraient pouvoir être faites dans une étude dynamique grâce à la répétivité de l'observation par satellite sur un même site ;

- le progrès technologique que l'on peut raisonnablement attendre dans les prochaines années devrait permettre des observations par satellite dans des conditions qui sont actuellement celles obtenues par des radiomètres à balayage embarqués dans des avions à haute altitude.

En outre, une conception globale de la télédétection fait obligatoirement intervenir les véhicules aériens à capteurs délivrant des images pouvant être traitées selon les mêmes méthodes.

Dans cette perspective de l'utilisation de la télédétection en France quelques notions fondamentales doivent être rappelées pour une meilleure exploitation de méthodes appliquées dans d'autres pays :

1 - la discrimination et l'identification des objets au sol ne sont pas des termes synonymes. La discrimination consiste à classer des objets sans leur affecteur une nomenclature. L'identification consiste à reconnaître, donc à attribuer une nature spécifique à des objets. L'assimilation abusive de ces deux types de résultats a parfois conduit à des généralisations hâtives sur les possibilités de la télédétection des forêts en ne tenant pas compte des conditions d'expériences particulières.

2 - La signification de l'information enregistrée sur des images de télédétection (photographie ou radiométrie à balayage) est fonction du rapport entre la résolution spatiale des données et la taille de l'objet élémentaire que l'on veut étudier. Il apparaît ainsi que la notion d'échelle n'est pas directement liée à l'information disponible.

3 - La signature spectrale d'un objet végétal est une réponse complexe provenant de la réflectance propre de l'organe foliaire, de la morphologie de l'individu et de la physionomie du peuplement considéré. Ce phénomène prend d'autant plus d'importance que la détection est effectuée à haute altitude.

4 - La reconnaissance d'un objet semble liée à la disponibilité d'une quantité d'informations nécessaires. Jusqu'à ces dernières années l'obtention de cette quantité s'est traduite par la multiplication des bandes spectrales à l'acquisition des données. Cependant, depuis peu, des efforts sont faits pour parvenir à ce résultat grâce à plusieurs dates d'observation. Les véhicules dont les trajectroies peuvent se superposer exactement (satellites) trouvent donc là une réelle justification de principe (les modalités et les objectifs d'utilisation devant définir les conditions d'orbite).

Cette dernière notion explique que l'essentiel des travaux de traitement de l'image porte sur les méthodes de classement. Elle amène également à constater le peu d'importance des résultats obtenus dans l'analyse de texture, bien que cette démarche soit plus proche de l'interprétation directe d'une image. En particulier, il faut souligner l'absence quasi-totale de travaux de traitement optique des données de télédétection en matière de végétation.

Enfin, si l'analyse multitemporelle est une méthode possible, elle n'a pratiquement jamais été mise en oeuvre avec un système cohérent d'acquisition pour l'étude dynamique des ecosystèmes naturels.

4.2.- METHODES D'ANALYSE

4.2.1.- Méthodologie de l'échantillonnage

Cette partie des travaux forestiers est sans doute celle où la photographie aérienne et la télédétection peuvent apporter un bénéfice évident en réduisant les prospections sur le terrain.

De nombreux travaux d'échantillonnage ont été réalisés afin de localiser les points représentatifs d'un massif ou des forêts d'une région.

L'utilisation de la télédétection pour déterminer les stations représentatives se fait par délimitation de zones élémentaires à l'intérieur desquelles les conditions identifiables de milieu et de peuplement ne varient pas. Le choix des points représentatifs est ensuite fait dans ces zones.

En général, cette action est réalisée par des stratifications géographiques successives sur des documents d'échelles de plus en plus grandes. L'échelle la plus petite utilisée est définie par l'étendue du territoire à couvrir alors que la plus grande l'est par l'objectif final de l'étude.

A chaque stade, c'est l'homogénéité de la physionomie qui permet d'individualiser de nouvelles unités. Ce critère résulte d'une combinaison constante de divers caractères dans la zone élémentaire :

- Couleur ou ton de gris (signature spectrale ou intensité de la réponse de l'objet)
- Taille des objets d'une même couleur ou d'un même ton
- Forme de ces objets
- Agencement et distribution de ces objets.

La signification de ces caractères est évidemment différente selon l'échelle et la résolution de l'imagerie utilisée. Ainsi, les zonages successifs conduisent à une caractérisation particulière des conditions stationnelles dont la précision est fonction du dernier document analysé.

Des informations sont alors dégagées sur :
- le type de formation forestière
- la densité de peuplement

- la catégorie de taille d'arbres
- la composition spécifique.

La qualité de ces indications varie avec les paramètres de l'imagerie utilisée en dernière phase (échelle, résolution, nombre et nature des bandes spectrales).

Les points repérés dans ces zones seront plus ou moins nombreux selon la diversité des facteurs non détectés. Deux catégories d'action peuvent leur être appliquées :

- obtention de paramètres biométriques du peuplement par des levés aériens à très grande échelle
- exécution de mensurations aux points échantillonnés.

L'application de mesures biométriques aux arbres situés en ces points repérés a généralement deux types d'objectifs qui se complètent :

- les inventaires des volumes disponibles
- les études d'évolution et de croissance.

Cette méthodologie de l'échantillonnage par photographie aérienne et télédétection contribue à l'acquisition de connaissances sur le domaine forestier.

4.2.2.- Méthodologie du traitement

Ce chapitre a pour but de présenter les grandes catégories de traitement qui sont actuellement employées dans l'analyse d'images de télédétection de forêts. Le fonctionnement informatique ou technique de ces méthodes fait l'objet de parties spécifiques de cette étude sur l'état des connaissances en télédétection. Cet aspect ne sera donc pas abordé. Par contre, seront mentionnés les besoins de développement qui

semblent nécessaires en consultant les travaux du type de ceux présentés dans la bibliographie adjointe.

La première catégorie de traitement est la photointerprétation.

Un premier aspect est l'analyse globale d'une scène avec une ou plusieurs images. L'utilisateur fait alors appel aux connaissances propres au thème qu'il traite. Il interprète en fonction de paramètres d'environnement qu'il a reconnus ou dont la présence conjointe l'oriente vers un diagnostic.

Un second aspect est la photoidentification d'objets à partir de caractères transcrits en variables d'état. Cette démarche constitue une première approche vers une logique de l'interprétation. Cette forme d'analyse consiste à appliquer successivement des règles préformulées à différents éléments de l'occupation du sol. Le résultat est obtenu par superposition de toutes ces phases.

Cependant, peu de travaux ont été faits sur l'action même de l'interprétateur afin, non d'en mesurer les performances, mais d'en décomposer le processus. De telles recherches seraient un apport important pour mettre au point de nouveaux algorithmes de traitement automatique de l'image. La nécessité de ces études se fait surtout ressentir pour les analyses de texture.

Les documents qui sont fournis à la photointerprétation sont de trois types :

- photographies noir et blanc (panchromatique ou infrarouge), couleur et infra-rouge couleur. Ces dernières sont indiscutablement celles qui permettent le plus grand nombre de discriminations et d'identification pour la végétation.

- photographies multibandes. Deux formules existent : d'une part, les prises de vues simultanées avec les émulsions mentionnées ci-dessus, et d'autre part, les prises de vues multispectrales sur une même émulsion. Dans les deux cas, il y a amélioration du pouvoir de discrimination sans que l'intérêt de l'infra-rouge couleur disparaisse.

- visualisations d'enregistrements multispectraux par des systèmes à balayage. Cette solution permet une première exploitation rapide des données et guide généralement le traitement numérique.

Des aides à l'interprétation permettent d'améliorer les résultats d'une analyse visuelle :

- traitements photographiques : équidensités et combinaisons colorées diverses
- comparaison à des références sous forme de mires ou de maquettes
- analyse de profils densitométriques choisis sur l'image. Cette technique a permis d'approcher une quantification des structures de toits forestiers. Ces études mériteraient un développement supplémentaire puisqu'elles représentent une méthode de traitement de l'information spatiale contenue dans les imageries de télédétection.

La seconde catégorie de traitement est l'analyse numérique de l'image

Quand les données ne sont pas directement saisies sous forme numérique (bandes magnétiques), une première méthode nécessaire a été la transformation d'images photographiques en données numériques : c'est la microdensitométrie. La digitalisation fournit donc des informations quantitatives en partant d'imageries panchromatiques ou multibandes. Cette technique permet également d'obtenir des données multispectrales par numérisations successives avec différents filtrages d'une même image sur une émulsion colorée.

La microdensitométrie a permis de traiter numériquement des photographies et est à l'origine des premiers résultats d'analyse numérique de données satellite (numérisation de clichés pris depuis les Gemini et Appolo). Elle a présenté un intermédiaire important pour appliquer des méthodes informatiques à ce type d'imagerie.

Les méthodes qui ont recours à l'informatique sont principalement des méthodes de classement. Elles sont applicables directement aux données fournies par des radiomètres à balayage. Elles consistent à combiner les valeurs des réponses d'un même objet dans différentes bandes spectrales. Par exemple, dans le spectre visible, la couleur d'un peuplement forestier est traduite par la quantité d'énergie lumineuse reçue par un détecteur au travers de différents filtres. L'ensemble de ces valeurs permet d'en constituer la signature spectrale.

Les algorithmes de classement ont pour but :
- la localisation des points d'une image ayant des signatures spectrales données
- la localisation des familles de points ayant les mêmes signatures spectrales.

Les premiers sont dits supervisés car c'est l'échantillonnage d'un point ou d'un groupe de points correspondant à un objet connu qui définit la signature à reconnaître.

Les seconds sont dits non-supervisés car c'est le traitement qui agglomère les signatures voisines et cartographie la répartition des points appartenant à chacune des familles de signatures.

Ces méthodes sont donc à rapprocher de l'automatisation des photo-discriminations ou photo-identifications exécutées visuellement sur des imageries colorées ou multibandes. Elles s'appliquent également à des données multiples provenant de dates différentes au lieu de bandes spectrales différentes. Les résultats de ces analyses multi-temporelles sont bons pour l'identification des essences en massifs purs. En fait, ce traitement est efficace car il tient compte de la variation de la signature dans le temps, variation qui est la conséquence de l'évolution phénologique des objets végétaux étudiés.

Au chapitre des traitements numériques, la diversification des algorithmes de classement s'est faite au détriment d'analyses combinant les informaations spatiales et spectrales contenues dans une image de télédétection.

La troisième catégorie de traitement est l'analyse en optique.

Elle consiste, schématiquement, à établir la transformée de Fourier d'une image sur film en la traversant par exemple par un faisceau de lumière cohérente (laser). Les diagrammes obtenus sont des figures caractéristiques des objets éclairés. Des filtrages peuvent être opérés en masquant une partie des figures de difraction. La recomposition de l'image sur le faisceau fait alors apparaître une nouvelle image correspondant à la première moins une partie caractérisée par une propriété géométrique liée à la nature du filtrage.

Ces traitements touchent à l'information spatiale et énergétique contenue dans une image. Cet aspect de l'analyse fait regretter la disproportion entre traitements numériques et traitements optiques, lesquels sont quasi absents dans l'étude de la végétation par télédétection.

Dans cette rapide étude des traitements possibles, une méthode apparaît très insuffisante. Il s'agit de l'analyse combinée des données images et des informations de terrain correspondant à des points précis du site observé. Cette déficience d'un système d'entrée d'informations géographiques extérieures est un obstacle majeur à la simulation d'un interprétateur faisant appel à ses connaissances thématiques lors de son interprétation.

Deux observations concluront cet examen des méthodes de traitement :
- dans la majorité des expérimentations, l'interprétation est associée à l'analyse numérique,
- l'exploitation rigoureuse des résultats d'une classification nécessite que l'utilisateur replace ceux-ci dans le contexte géographique étudié.

Cette conclusion montre l'intérêt des systèmes interactifs souples dans le traitement puisque des interventions thématiques sont fréquemment nécessaires. L'automatisation de systèmes interactifs serait un objectif ultérieur.

4.3.- TRAVAUX D'INVENTAIRE

4.3.1.- Inventaires et études cartographiques

L'utilisation de la télédétection pour la cartographie forestière doit fournir différents groupes de renseignements que l'on peut hiérarchiser comme suit :

- Ensemble ou massif forestier
- Type de formation forestière
- Identification des essences présentes
- Surfaces occupées par ces essences
- Surfaces des peuplements homogènes.

Bien qu'il soit difficile de définir un critère efficace pour apprécier les performances de la télédétection dans ce domaine, on admet que :

- la qualité des résultats est fonction du niveau de nomenclature atteint
- les matrices de confusion établies sur l'identification des essences sont une technique objective (avec les difficultés inhérentes aux problèmes forestiers sur la pureté d'une station dans un peuplement donné).

Dans les problèmes d'identification des essences, de nombreuses recherches ont été menées sur l'intérêt respectif des différentes émulsions disponibles et de leur utilisation. Si globalement, les résultats sont meilleurs avec des échelles plus grandes, il faut tenir compte des points suivants :

- la qualité de prise de vue
- la date (saison, époque phénologique)
- les combinaisons de filtrage
- l'acquis de l'interprétateur.

Ces études montrent que l'émulsion infra-rouge couleur est la plus efficace. L'identification des arbres est généralement bonne aux échelles voisines de 1/15.000 alors que la délimitation des formations

ou des peuplements peut se satisfaire d'échelles allant de 1/30.000 à 1/50.000. Lorsque ces données sont acquises, les surfaces sont mesurables d'après les cartographies. Les précisions en surface dépendent donc de l'efficacité des déterminations.

Des traitements numériques multispectraux ont été essayés sur les fims ou les combinaisons multibandes. Aux résolutions près, les résultats ne sont pas vraiment inférieurs à ceux obtenus avec des radiomètres à balayage.

Dans le cas où l'information multispectrale est acquise par ces radiomètres on obtient de bonnes discriminations spécifiques si l'on reste dans une même région écologique. Il faut cependant que les conditions de prise de vue soient bonnes et la date adéquate. Dans le cas contraire, les déterminations s'arrêtent à la distinction de physionomies.

Les contraintes d'utilisation de ces techniques montrent les précautions qui sont prises par les expérimentateurs lorsqu'une même opération couvre des régions très différentes. La connaissance de l'écologie et de la phénologie des essences est donc un facteur de réussite en cartographie forestière par télédétection.

L'homogénéité des traitements numériques sur une même scène fait que l'analyse numérique est préférable à l'interprétation, même si les discriminations et identifications ne sont pas meilleures. Cela évite que des zones de même physionomie et de réponses voisines soient regroupées ou séparées arbitrairement.

Une observation générale doit être faite sur l'évolution de ces méthodes aériennes : l'amélioration des émulsions, des radiomètres, et des optiques permettra d'obtenir des résultats identiques pour des échelles de plus en plus petites. La manipulation d'une documentation réduite augmentera donc les performances des mêmes techniques.

Des réalisations de ce type sont dues aux premières photographies orbitales. Ainsi, des missions de télédétection ont été exécutées avec les véhicules Apollo. Les résolutions obtenues grâce aux films récupérés et à la qualité des images ont permis une cartographie précise des grandes catégories de formations forestières (résineux, feuillus), mélanges, sols travaillés dans les massifs).

Des résultats intéressants sont également possibles avec les satellites Landsat. Cependant, la résolution du radiomètre est plus faible (1 pixel ≃ 0,50 ha). Les déterminations sont géographiquement moins précises mais la répétitivité délivre une information temporelle qui améliore les identifications (surtout dans les peuplements purs du fait de la résolution).

Les satellites n'apportent pas actuellement une qualité cartographique satisfaisante pour la gestion de forêts déjà très connues. Leur intérêt immédiat est de pouvoir détecter un changement rapide ou une évolution dans une région. Ainsi, les défrichement, incendies, déboisements ou mise en culture sont des aspects dynamiques des mutations de l'occupation du sol qui peuvent être suivies. Les satellites sont donc actuellement et compte tenu de leurs charges utiles opérationnelles beaucoup plus qu'un complément aux moyens aériens, surtout si l'on tient compte de la vue synoptique qu'ils donnent de sites étendus.

L'orientation bibliographique qui est donnée en annexe est uniquement représentative de la multiplicité des travaux sur ce thème. Les articles cités ont été choisis pour représenter les études et recherches de leurs auteurs et les méthodes utilisées dans un but donné.

4.3.2.- Inventaires et études volumétriques

Les études volumétriques visent à quantifier un stock de bois disponible, exploitable et sa vitesse de croissance et de renouvellement.

Les informations quantitatives nécessaires ne peuvent donc découler que de mesures précises. Cela explique que l'essentiel des méthodes et des résultats acquis sont fondés sur des images à très haute résolution, donc des photographies aériennes à grande échelle.

La disponibilité de celles-ci depuis de nombreuses années est à l'origine de la quantité et de la diversité des travaux effectués. Les résultats obtenus sont de deux types :
- des tables d'estimation aérienne du volume des tiges
- des formules de classement de peuplements forestiers.

Leur généralisation doit être soumise à des contrôles encore plus stricts que la plupart des résultats en télédétection de forêts. Ces documents représentent les modalités de croissance des essences étudiées. Ils intègrent donc les conditions écologiques (climat, sol, action humaine) d'où ils proviennent. Ce rappel explique les réserves qu'il faut émettre avant la transposition de tels résultats.

Par contre, la méthodologie de leur définition et la place qu'ils occupent dans les inventaires volumétriques conservent toute leur validité. Ils interviennent après la stratification en zones homogènes élémentaires. Deux procédures existent selon le but de l'inventaire :

- échantillonnage de stations représentatives de la zone,
- classement global de la zone.

Dans la première procédure, les individus retenus dans les stations sont mesurés et leurs volumes estimés d'après des tables aériennes adaptées. Ces dernières consistent à établir des relations biométriques entre deux groupes de paramètres :

- paramètres de surface détectables directement (diamètre, surface des couronnes, recouvrement du peuplement, hauteur par mesure photogrammétrique)
- paramètres mesurés sur les arbres eux-mêmes (surface terrière, volume des tiges).

De nombreuses formules ont été établies selon ce principe. Il en ressort que les relations entre les paramètres détectables et les volumes sont souvent complexes, alors que les relations entre les paramètres détectables et la surface terrière sont plus directes.

Si l'âge des arbres mesurés est connu, elles prennent une signification dynamique d'où l'on peut déduire des modalités de croissance, donc approcher les accroissements. Leur utilisation sur une station étudiée donne donc des indications de volume.

L'inventaire consiste alors, au niveau échantillon, à établir la distribution des classes de volumes. Cette information constitue finalement une indication précieuse pour la gestion forestière.

Dans la seconde procédure, les données de télédétection servent à acquérir les paramètres apparents (densité, recouvrement, diamètre et surface des houppiers, hauteur des peuplements, strates visibles, organisation du couvert). On en déduit l'appartenance à une catégorie de volume disponible, de productivité et de réserve. Il n'y a donc pas réellement de quantification. Pourtant, la comparaison avec des mensurations au sol permet l'établissement de classes significatives. La zone est ensuite classée globalement dans une catégorie. Ce type d'inventaire, moins intensif, est plus rapide et facilite le suivi relativement détaillé de grands massifs forestiers. De plus, il apporte un affinage de la stratification.

Divers auteurs ont donné les échelles optimales pour les deux types de procédures :
- tables d'estimation aériennes des volumes : 1/5.000
- classement global des zones élémentaires : 1/15.000

L'ensemble de ces travaux est donc lié aux grandes échelles de détection. Pourtant, les imageries de satellites ou autres véhicules à échelles plus petites ne manquent pas d'intérêt :

- elles améliorent et accélèrent la stratification dans les grandes zones forestières (même apport que pour l'échantillonnage et la cartographie qui sont nécessaires) ;
- elles fournissent des réponses liées aux principales catégories de réserves dans les peuplements monospécifiques.

Il n'y a donc un apport direct pour les peuplement purs dans des zones écologiques homogènes.

4.4.- ETUDES ET PREVENTION DES DEGRADATIONS

4.4.1.- Effet et lutte contre les incendies

L'apport de la télédétection dans la lutte contre les incendies de forêts n'a d'intérêt que par une intervention rapide déclenchée le plus immédiatement possible après le début d'un sinistre. Cette contrainte impliqua donc un dispositif réellement opérationnel et un détecteur pouvant opérer jour et nuit.

Cette partie active de la surveillance des incendies est replacée, dans les expériences ou les services lui faisant appel, dans un dispositif de lutte intégrée contre les feux.

Trois phases composent ce dispositif :

- les aménagements préalables
- la détection proprement dite
- l'évaluation des dommages.

Les aménagements préalables faciliteront les interventions au sol, indiqueront le danger d'un incendie et pourront freiner sa propagation. Ils sont de quatre types :

- inventaires des voies d'accessibilité
- zones à espèces sensibles facilitant la propogation du feu
- localisation globale des réserves ligneuses
- obstacles naturels et lignes pare-feu.

La détection doit satisfaire plusieurs contraintes pour être efficace. Le système doit avoir une sensibilité permettant le repérage du feu de nuit comme de jour, mais aussi quand des fumées, brumes, ou voiles divers se répandent dans l'atmosphère. Cette sensibilité doit également permettre de distinguer l'importance des feux afin d'adapter l'intervention au sol.

L'appareillage doit, en outre, fournir une image en temps réel afin de délimiter l'extension du feu et de le repérer par rapport à la topographie ou à d'autres éléments du paysage.

Les systèmes donnant actuellement satisfaction sont des détecteurs infra-rouge bispectraux (une bande à 3-4 µm et une bande à 8,5 - 11 µm). Ils sont généralement employés à des altitudes de 1.000 à 5.000 m.

L'évaluation des dommages se décompose en trois actions :

- connaissance des limites exactes des sinistres et recherche des éventuels îlots non brûlés à protéger activement ;
- recherche de l'impact sur les différents peuplements. Des images à l'échelle du 1/20.000 donnent satisfaction. L'émulsion infra-rouge couleur est la plus satisfaisante (facilité de mise en oeuvre et pouvoir de discrimination) pour ces deux actions ;
- détection de l'intensité et suivi de la regénération des surfaces atteintes. La répétitivité des satellites en faisant une ébauche d'observation quasi-permanente apporte des indications satisfaisantes sur l'évolution des zones brûlées. Des images de Gemini, Apollo et Landsat ont même permis de détecter des feux et d'en donner l'extension et l'intensité.

4.4.2.- Effet et lutte contre les maladies

La synthèse de ce chapitre "maladies" présente des renseignements de télédétection applicable tant pour les dommages provoqués par les micro-organismes que par les insectes. Il semble pourtant que les dégâts dus aux insectes soient les plus détectables.

L'identification d'une attaque parasitaire se fait par discrimination du foyer d'infestation par rapport aux arbes sains. Cela est possible parce que des groupes d'arbres sont touchés simultanément et qu'un changement de couleur de leur feuillage en découle.

Cette variation est plus ou moins grande selon le stade d'avancement de la maladie et peut aller jusqu'aux tons grisés correspondant à la défoliation complète observable sur des images en couleurs.

En plus de ce changement spectral, la forme de répartition de l'attaque dans la forêt est caractéristique et donne donc un modèle de reconnaissance à l'interprétateur. En effet, à partir d'un point infesté, la prolifération se fait de manière centrifuge : elle se développe donc en auréoles concentriques.

Les émulsions les plus efficaces dans ces reconnaissances sont la couleur et surtout l'infra-rouge couleur. Dans certains cas, les images de télédétection sont plus efficaces que les observations de terrain. Ce fait existe pour les attaques de chenilles qui affectent le sommet ou les plus hautes branches que l'on ne voit pas depuis le sol. Les échelles utilisées pour obtenir de bons résultats de localisation des arbres malades vont de 1/1.000 à 1/4.000. Pourtant, des foyers importants ont pu être détectés à des échelles inférieures à 1/150.000. Par contre, des infestations touchant moins de cinq arbres ne peuvent être repérés à des échelles inférieures à 1/30.000.

Les photographies multitemporelles apportent d'autres renseignements car elles permettent d'obtenir une indication sur l'intensité et la dynamique de prolifération. Dans une certaine mesure, c'est donc une approche du stade de développement de la population infestante.

Dans des études précises, des radiomètres à balayage ont conduit à savoir quels arbres d'un peuplement étaient morts depuis le plus longtemps. (vols de 500 à 2.000 m).

Enfin, la combinaison des études de volume sur pied et de la détection des arbres attaqués dans un même échantillonnage peut donner une estimation du volume de bois perdu sur des massifs forestiers importants.

4.4.3.- Effet et lutte contre les pollutions - Divers

Les agressions contre les forêts ou les écosystèmes naturels peuvent être détectées dans des conditions voisines de celles utilisées pour la lutte contre les maladies.

Le modèle aidant la reconnaissance est, par contre, très différent. La distribution et l'intensité des pollutions atmosphériques sont ainsi fonction de la distance à l'origine géographique du polluant.

Les accidents atmosphériques (ex : orage) sont identifiables aux échelles convenant aux études volumétriques des stations. Les actions suivantes sont ainsi effectuées :

- localisation des dégâts
- surface atteinte
- intensité de l'accident
- échantillonnage.

L'estimation des pertes est souvent faite avec des études volumétriques de peuplements voisins de même nature.

Il reste que l'aspect le plus sensible dans cette action de protection de la forêt et des écosystèmes est le déclenchement de l'intervention au sol. Actuellement aucun système d'alerte ne permet une action suffisamment précoce qui pourrait juguler un sinistre naissant.

Chapitre 5 : POSSIBILITES ACTUELLES D'ETUDE DU MILIEU URBAIN PAR TELEDECTECTION *

INTRODUCTION

Le milieu urbain, par sa grande complexité est extrêmement difficile à analyser. La télédétection grâce à son approche globale pourrait apporter des réponses dans certains créneaux, comme par exemple l'évolution des composants physiques de la ville, qu'il conviendrait de mieux connaitre. C'est dans ce but qu'un certain nombre d'expérimentations ont été entreprises en France et à l'étranger, principalement aux Etats-Unis.

Les résultats ne sont que provisoires. Des étapes techniques ont été franchies et il y a actuellement une certaine pause, surtout aux Etats-Unis, en attendant un nouveau pas technologique en avant lié aux nouveaux capteurs qui vont être mis en orbite dans les années prochaines.

* Chapitre rédigé par A. BALLUT.

5.1.- SITUATION EN AMERIQUE -

La télédétection est une des "retombées"directes des programmes spatiaux américains ; aussi, dès que furent lancés les satellites "Landsat" pour l'observation et l'inventaire des ressources terrestres[1] la NASA passa-t-elle des contrats à des laboratoires afin de réaliser des opérations expérimentales permettant de connaître les possibilités du nouvel outil. Les premiers champs d'investigations ont été la géologie (ressources minières, pétrole ...) l'agriculture (inventaire des cultures), les forêts (inventaire) et l'environnement (pollution des eaux et de l'air), mais très vite les responsables de la NASA ont étendu ces expériences au milieu urbain. Le premier but à atteindre semble avoir été la mise au point de programmes d'exploitation des donnée satellites. Comme on le verra dans ce § 5, quatre ou cinq principaux programmes ont ainsi été élaborés fournissant une précision d'interprétation des données en milieu urbain échelonnées entre 70 et 85 %. Actuellement, il y a une sorte de pause, si l'on excepte l'expérience en cours sur une vingtaine de sites urbains. La préoccupation immédiate des responsables des laboratoires ayant mis au point ces programmes est plus de les commercialiser que de les améliorer. Certes, les recherches ne sont pas totalement abonadonnées et il y a encore à Purdue ou à Passadena (sans parler du Canada) des scientifiques qui travaillent sur ces programmes, mais l'impression générale est que ces outils sont disponibles ; il faut les utiliser et on verra plus tard pour une deuxième génération liée peut-être aux nouveaux capteurs des années 80.

5.1.1.- Les sources de données -

Afin de mettre à la disposition des utilisateurs avec le maximum de facilité les données acquises par télédétection le Département de l'Intérieur (USDI) a créé en 1966, un service spécial administré par l'U.S.G.S., l'Earth Resources Observation Systems (E.R.O.S.) localisé à Sioux Falls et chargé du pré-traitement et de la distribution des données. De plus, plusieurs scientifiques sont attachés à l'E.R.O.S. Data Center pour faire des recherches thématiques.

---

(1) *Landsat 1 fut lancé en juillet 1972*

On peut classer ces données en 4 catégories différentes :

- données satellites non habités (Landsat)
- données satellites habités (Skylab)
- données issues de vols "Gemini-Apollo"
- données avions

5.1.2.- Les différents niveaux d'approche -

Trois niveaux administratifs différents sont à distinguer aux Etats-Unis :

5.1.2.1.- Niveau Fédéral -

a - Expérience en cours sur 20 villes.

L'Adminsitration Fédérale, afin d'avoir une meilleure connaissance des possibilités de la télédétection dans ses applications civiles, a piloté ou financé un certain nombre d'expériences. Ces travaux ont été réalisés soit directement par l'U.S.G.S., ou sous son contrôle, soit à partir d'un financement de la NASA par des laboratoires de recherche d'Universités. Une de ces expériences (encore actuellement en cours) concerne une vingtaine de sites urbains et connue sous le nom de "Census Cities project". C'est une part du programme EROS du ministère de l'intérieur américain, et il est largement financé par leprogramme d'observation terrestre (Earth Observations Program) de la NASA. Les sites tests incluent Washington, Boston, New Haven, San Francisco, Cedar Rapids et Pontiac ; les données de base proviennent à la fois de sources traditionnelles (recensement) et de sources aériennes telles que photographies multispectacles prises à haute altitude (15 000 à 18 000 m avec caméra RB 5) ou de données satellite. Les prises de vues multispectacles à haute altitude, très utilisées aux Etats-Unis, sont effectuées par des avions U2. Cette expérience qui s'étale sur plusieurs années donne lieu à des sorties de résultats sous forme cartographique, soit sur imprimante, soit sur table traçante avec possibilités de faire

apparaître les changements d'occupation du sol d'une année à l'autre. Il ne s'agit là que d'une expérience mais les résultats et les conclusions devraient permettre d'orienter les travaux sur de nombreuses villes américaines.

Parallèlement à cette expérience sur vingt sites urbains la NASA, par l'intermédiaire de contrats, fait faire des recherches dans les laboratoires de plusieurs universités (Ann Arbor, Purdue , ...) sur les apports de la télédétection dans les domaines de la connaissance de l'occupation du sol ou la recherche de ressource. La NASA a également patroné et distribué des fonds fédéraux pour des recherches semblables dans cadre d'études régionales comme par exemple sur une zone située à cheval sur l'Indiana et le Kentuky. Par ailleurs, en vertu du traité Canado-Américain de 1909 sur les eaux délimitant la frontière entre les deux pays (Boundary Waters Treaty), une importante recherche a été menée pour une meilleure connaissan de l'occupation du sol autour des Grands Lacs et de leur pollution. Cette recherche est menée par la NASA, du côté américa et par la Direction des Terres du Département de l'Environneme et le Centre Canadien de Télédétection (Canada Centre for Remote Sensing) du côté canadien. Les sources utilisées dans cette étude sont très larges et vont de la photographie IRC à haute altitude aux données satellites.

b - Expérience d'utilisation de la télédétection sur la Côte Est.

La NASA a mis sur pied un programme d'utilisation de données issues de télédétection pour la Côte Est, et plus spécialement la Baie Chesapeake(1). "Coastal Zone Management Journal" Volume 3 n° 2, D.B. FULLER, DM. HARMAN et KB. FULLER font le point sur l'utilisation des données dans le cadre de c programme.

---

(1) *NASA wallops four-year olf chesapeake Bay Ecological Progr*

Début 1977, 43 agences avaient utilisé ces données dans 80 projets différents dont 19 agences fédérales et 14 agences d'Etat.

Pour la grande majorité de ces 80 projets, l'utilisation de la télédétection est considérée comme un plein succès et confirme l'utilité de ces données dans le cadre d'études régionales.

5.1.2.2.- Niveau d'Etat -

Certains Etats de leur côté, ont pris l'initiative d'études ou la mise en place d'outils pour la collecte et le traitement du sol. Bien souvent, ils ont reçu pour ce genre de recherche une aide financière fédérale.

En Géorgie, par exemple, l'A.R.C. (Atlanta Regional Commission) a fait faire une étude d'occupation du sol à partir de données satellites comparées aux photographies aériennes. Si les résultats sont modestes en ce qui concerne l'inventaire de l'occupation du sol, ils sont par contre excellents pour le suivi des mutations de terrain avec une précision supérieure à 90 %.

Dans le Maryland, c'est un outil assez complet qui a été mis en place par le Maryland Department of State Planning pour une meilleure connaissance de l'usage du sol. Les données proviennent, soit de photographies aériennes (des prises de vues aériennes mensuelles sont effectuées par la NASA entre Washington et Baltimore), soit de données satellite dans le cadre d'un contrat avec un centre de la NASA (1).

La légende de 43 postes couvre l'ensemble des types d'occupation du sol en milieu urbain et rural et est en accord avec la classification "nationale" de l'U.S.G.S. Le référentiel

---

(1) *Goddart Space Flight Center.*

géographique adopté est de caractéristique locale : c'est le système MAGI (Maryland Automated Geographic Information) basé sur un carroyage avec une maille de 2 000 pieds (650 m environ). Le logiciel de ce système permet des croisements tels que géologie, régime des eaux, occupation du sol qui fournissent des informations utiles à la décision.

5.1.2.3.- Niveau Local -

Contrairement aux deux niveaux précédents, le niveau local (cités, comtés) utilise relativement peu la télédétection comme source d'information de l'occupation du sol pour deux raisons majeures :

1° Les données satellites traitées par les programmes américains actuellement utilisables ne donnent guère de résultats suffisamment fins pour permettre une identification précise en mili urbain dense et répondre aux besoins locaux.

2° Les planificateurs disposent d'autres sources détaillées dans la mesure où ils ont accès aux fichiers cadastraux, fiscaux, et bien entendu à ceux des recensements (tous les 10 ans aux Etats-Unis). Dans la plupart des villes américaines importantes il existe un bureau chargé de la collecte des informations non seulement relatives à l'occupation du sol, mais également de caractère socio-économique. La source de ces informations est dans la plupart des cas le recensement décennal. Chaque ilôt (Block) est identifié par un numéro à 4 chiffres et les données relatives à cet ilot codées avec ce numéro. C'est ce système qui fonctionne à Los Angeles, San Francisco, Chicago... Par contre, à New York, les informations proviennent à la fois du recensement et du bureau "cadastral" qui établit l'assiette de l'impôt. Dans tous les cas, les données sont stockées sur support informatique. A Baltimore, plusieurs sources sont utilisées par les deux organismes qui ont chacun un bureau spécialisé pour la collecte des informations : le R.P.C. et le Department of Planning de la ville de Baltimore.

Le R.P.C. (Regional Planning Council) ne correspond à aucune entité politique mais son territoire d'intervention est l'aire métropolitaine de Baltimore (Baltimore plus les cinq comtés environnants soit une surface comparable à la région Ile-de-France). Le R.P.C. a mis en place un système de saisie et de traitement de l'information qui s'appuie sur le référentiel géographique D.I.M.E. (Dual Independant Map Encoding : très voisin du Répertoire Géographique Urbain, R.G.U. et dont ce dernier a été inspiré) qui offre la particularité de positionner géographiquement une adresse postale sur un segment de droite dont les coordonnées des extrémités sont connues. Ce système, largement diffusé par le service de recensement (Census Bureau) sert de passerelle entre des fichiers-adresses et des documents cartographiques. Le R.P.C. peut donc utiliser plusieurs sources de données en plus du recensement et du "cadastre" qui sont essentiellement :

. la statistique semestrielle des compteurs domestiques et industriels de la compagnie de distribution du gaz et de l'électricité (1),

. les fichiers des données sur les revenus et la taille des ménages constitués par le service des impôts sur les revenus,

. l'exploitation des données de permis de construire instruits par les collectivités locales (comtés),

. les photographies aériennes à l'échelle du 1/24 000 ainsi que les données du satellite Landsat grâce à un arrangement conclu avec le laboratoire "Interlab" du Goddard Space Flight Center de la Nasa.

En partant de la base de données de 1973, l'étude sur l'occupation du sol est actualisée en 1975. Cette étude est définie comme le "Programme 208" du R.P.C. et doit servir à une prévision d'évolution jusqu'en 1995.

---

(1) *Baltimore Gas and Electric Company.*

Le Department of Planning de Baltimore reçoit du R.P.C. une part importante des informations dont il a besoin. De plus, il existe un service qui assure le suivi permanent des mutations d'occupation du sol à partir du fichier du "cadastre". La ville de Baltimore dispose d'un excellent plan à grande échelle constamment tenu à jour et c'est sur ce document que sont reportés les renseignements relatifs à l'utilisation du sol parcelle par parcelle.

Indépendamment des services officiels, certaines compagnies privées font exécuter des études sur l'occupation du sol pourleurs besoins propres. Par exemple en Californie la "Pacific Gas and Electric Company" a chargé un laboratoire privé(1) de réaliser un projet expérimental appelé LUMOS (Land Use Mapping and Overlay Study) sur la ville de Fresno.

La collecte des données est faite par interprétation de photographies aériennes au 1/32 500 et les renseignements sont reportés sur des cartes au 1/24 000. A partir de ces cartes, les informations sont digitalisées pour être traitées en informatique par un programme appelé PIOS (Polygon Information Overlay System). L'occupation du sol est exprimée de manière très détaillée grâce à une légende en 52 postes et permet à la "P.G. and E.C." de mieux adapter son réseau de distribution aux besoins de ses clients.

---

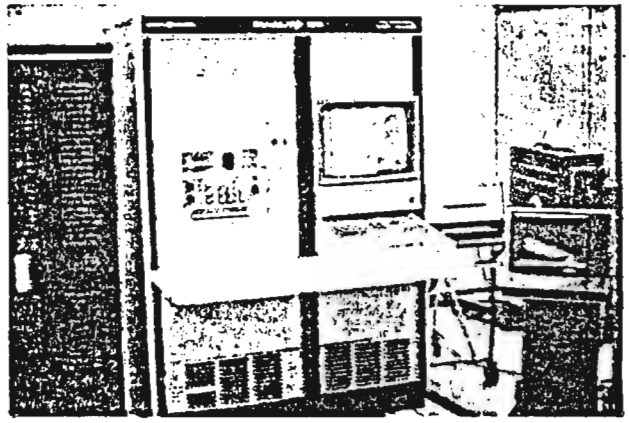
(1) *Environmental Systems Research Institute.*

5.1.3.- L'occupation du sol au Canada -

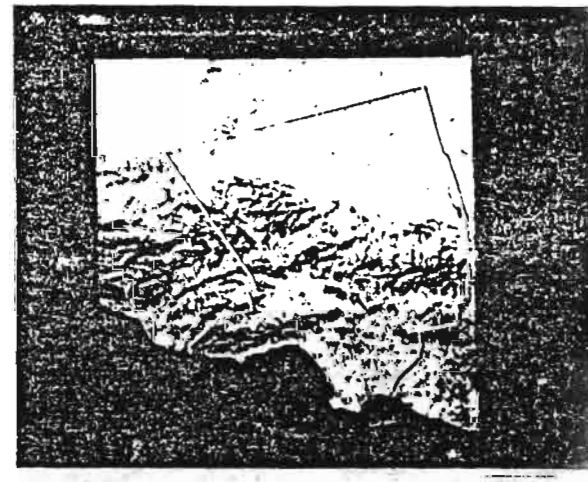
De leur côté, les Canadiens ont depuis longtemps mis en place des outils de collectes et de traitements des informations relatives à l'occupation du sol et la plupart de ces données sont enregistrées sur support informatique au niveau national par le "Système d'Information Géographique du Canada" (S.I.G.C.) avec sortie automatique sur écrans cathodiques ou tables traçantes. Les Canadiens semblent particulièrement intéressés par les franges urbaines et de nombreuses études sont faites sur ce sujet, c'est-à-dire la transformation de terrains agricoles en terrains à bâtir. La télédétection occupe une bonne place parmi les outils de collecte d'information. Au niveau national, le "Centre Canadien de Télédétection" dirige de nombreux travaux sur l'inventaire des territoires. Ce centre travaille en étroite collaboration avec les organismes américains comme la NASA, les universités ayant un laboratoire de télédétection, et les fabricants de matériel.

5.1.4.- Le traitement des données -

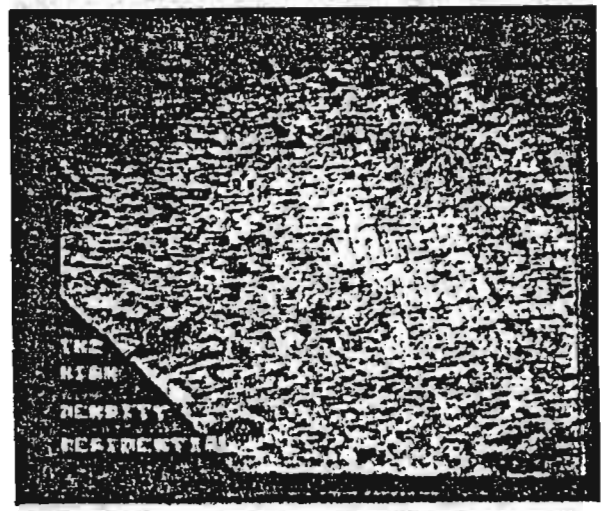
Disposant d'une source nouvelle d'information et souhaitant la mettre à la disposition des techniciens des différentes disciplines des sciences de la terre, la NASA subventionna de nombreux laboratoires d'universités pour réaliser des expériences permettant de mesurer les apports de ces nouvelles données. Dans le domaine urbain des subventions fédérales furent allouées à la fois à des laboratoires d'universités et à des municipalités soucieuses d'utiliser ces nouvelles techniques d'acquisition d'information, quelquefois à des laboratoires d'universités et à des municipalités soucieuses d'utiliser ces nouvelles techniques d'acquisition d'information, quelquefois ce sont des universités qui, disposant de crédits de la NASA, ont pris contact avec des municipalités pour réaliser des expériences test sur le territoire de celles-ci.



Analyseur "Image 100"



le comté de Los Angeles
sur l'écran de l'analyseur



Visualisation sur écran
couleur de l'habitat
individuel

Dans d'autres cas, des fabricants de matériel de traitement des données ont passé des contrats avec des organismes de recherche pour tester le matériel et mettre au point des programmes de classification. C'est ainsi, par exemple, que la Division Espace de la General Electric Company a fait essayer son analyseur multispectral interactif "Image 100" par le Centre Canadien de télédétection sur des zones rurales canadiennes où il y avait une bonne connaissance du terrain, mais également sur une zone urbaine : le comté de Los Angeles.

Cet essai a permis d'améliorer le programme de classification lié à ce système et de mieux définir son degré de précision.

Les premiers programmes d'interprétation des données Landsat en milieu urbain étaient très ambitieux. Il s'agissait ni plus ni moins que d'identifier les objets urbains et de les situer géographiquement. Très vite, il apparu que le calage géographique absolu coûtait très cher en heures d'ordinateur et ne présentait qu'un intérêt secondaire. Quant à l'identification des objets urbains, il fallut se rendre à l'évidence : la résolution spatiale actuelle des Landsat ne permettait pas de descendre en-dessous d'un certain seuil d'erreurs de 15 à 20 %.

En fait, actuellement les recherches sont orientées différemment. Seules les corrections radiométriques et géométriques sont effectuées, ensuite deux voies d'exploitation sont utilisées :

. la méthode surpervisée : recherche de la corrélation entre les objets et le rayonnement enregistré établie à partir de zones tests "vérité terrain"

. la méthode non supervisée : classification des données en zones homogènes qui ne seront identifiées qu'à posteriori.

Le J.P.L. (Jet Propulsion Laboratory, à Passadena), par exemple, fait une classification sur des zones témoins en utilisant un programme inter-actif (VICAR processing), fait une autre classification sur des zones de recensement et croise ensuite les deux méthodes.

Autre exemple : à Baltimore, le Regional Planning Council utilise le programme ORSER (Office of Remote Sensing and Environmental Research de la Pensylvania State University) basé sur le principe de différenciation de zones homogènes (traitement non supervisé) puis d'une comparaison avec la vérité terrain. Ceci amène une amélioration des catégories par définition de nouveaux niveaux de séparation (en introduisant de nouvelles frontières entre les signatures spectrales puis en limitant les catégories). En fait, comme dans tout système interactif, c'est une conversation permanente entre le technicien et le système de classification. En travaillant sur les quatre canaux Landsat ce système aurait permis d'établir une légende qui atteindrait 40 postes.

Par ailleurs l'U.S.G.S. a fait une expérience sur la ville de Washington (DC) et a réussi à distinguer 26 séparations qui ont été ramenées à 15 ; le taux de précision étant de 75 à 85 % suivant les postes. Par exemple, des bancs rocheux du Potomac ont été classés (par le programme informatique) en centre commercial.

Dans tous ces exemples qui ne présentent qu'une très faible part des expériences menées en milieu urbain aux U.S.A., il apparaît que les données Landsat sont un peu justes en terme de résolution pour permettre un inventaire détaillée de l'occupation du sol : il est vrai que les américains disposant d'autres sources plus fines au niveau de la parcelle, cela explique qu'ils n'aient pas poussé plus loin les recherches. Par contre, tous les techniciens s'accordent à dirent que ce type de données (de part leur répétitivité) est extrêmement précieux pour le suivi des changements d'utilisation du sol, les différentes expériences menées faisant apparaître une précision supérieure à 92 %.

Parallèlement, plusieurs expériences sont menées afin de déterminer la valeur des informations collectées aux différentes altitudes par différents vecteurs et capteurs.

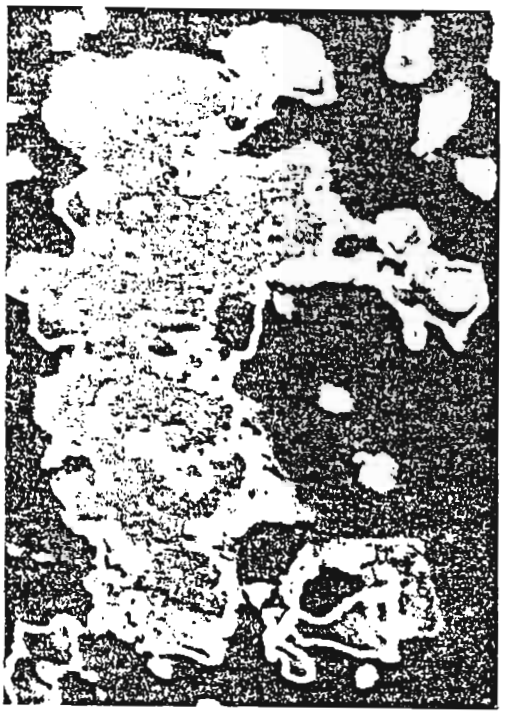
Par exemple, une expérience a été réalisée à l'Université d'Etat de San José (Californie) par les professeurs R. ELLEFSEN et D. PERUZZI pour mieux connaître les différences entre les données numériques Landsat et les données photographiques Skylab, à la fois en terme de précision de la détection de changement d'occupation du sol et en terme de suivi temporel de ces changement.
A l'U.S.G.S., Harry F. LINS Jr, a réalisé une expérience du même genre entre les données photographiques issues de la caméra S-190 B de Skylab à l'échelle du 1/970 000 et celles issues de la caméra RC 10 d'un avion U 2 à l'échelle du 1/130 000.

Le calage géographique absolu a été presque partout abandonné sauf pour de très petites zones en raison de son coût élevé, par contre les programmes américains maîtrisent parfaitement la superposition des données sur une même zone à un an d'intervalle ; par exemple, la précision est telle qu'il est possible de superposer "pixel" sur "pixel". Ce résultat est fondamental pour le suivi de l'occupation du sol.

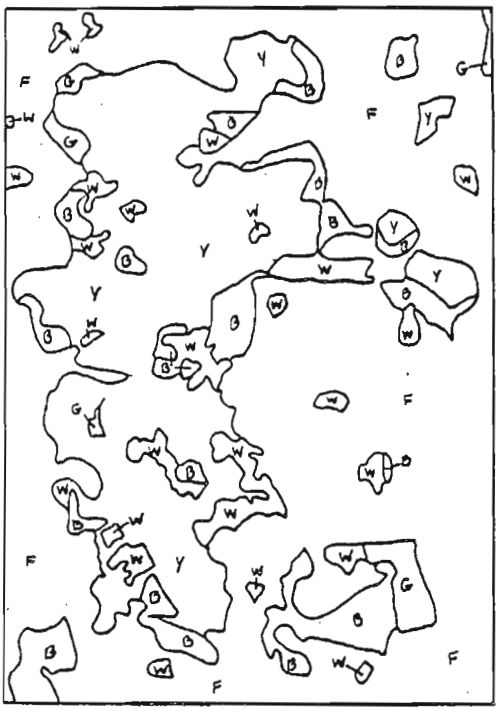
Quelques exemples de coûts de traitement :

	Prix en dollars
achat de deux bandes magnétiques de données (2 longueurs d'ondes)	2 x 200 = 400
corrections spectrales	2 x 100 = 200
corrections géométriques	2 x 5 000 = 10 000
enregistrement de l'image, traitement thématique	2 x 2 000 = 4 000
1 heure d'ordinateur IBM. 360-67	= 400

A



B



C

Comparaison de la "vérité terrain" de la photo A avec l'image ERTS de la photo B et carte d'interprétation.

Légende

Y : habitat individuel

B : infrastructure urbaine intensive ou terrain agricole nu

W : infrastructure urbaine de faible intensité/infrastructure de zone de fange

G : présence de végétation de couverture (terrain de golf ou plantations agricoles d'hiver)

F : forêt

Détection de terrains nus en utilisant l'imagerie ERTS dans le corridor Baltimore-Washington :

fig 1 vérité terrain

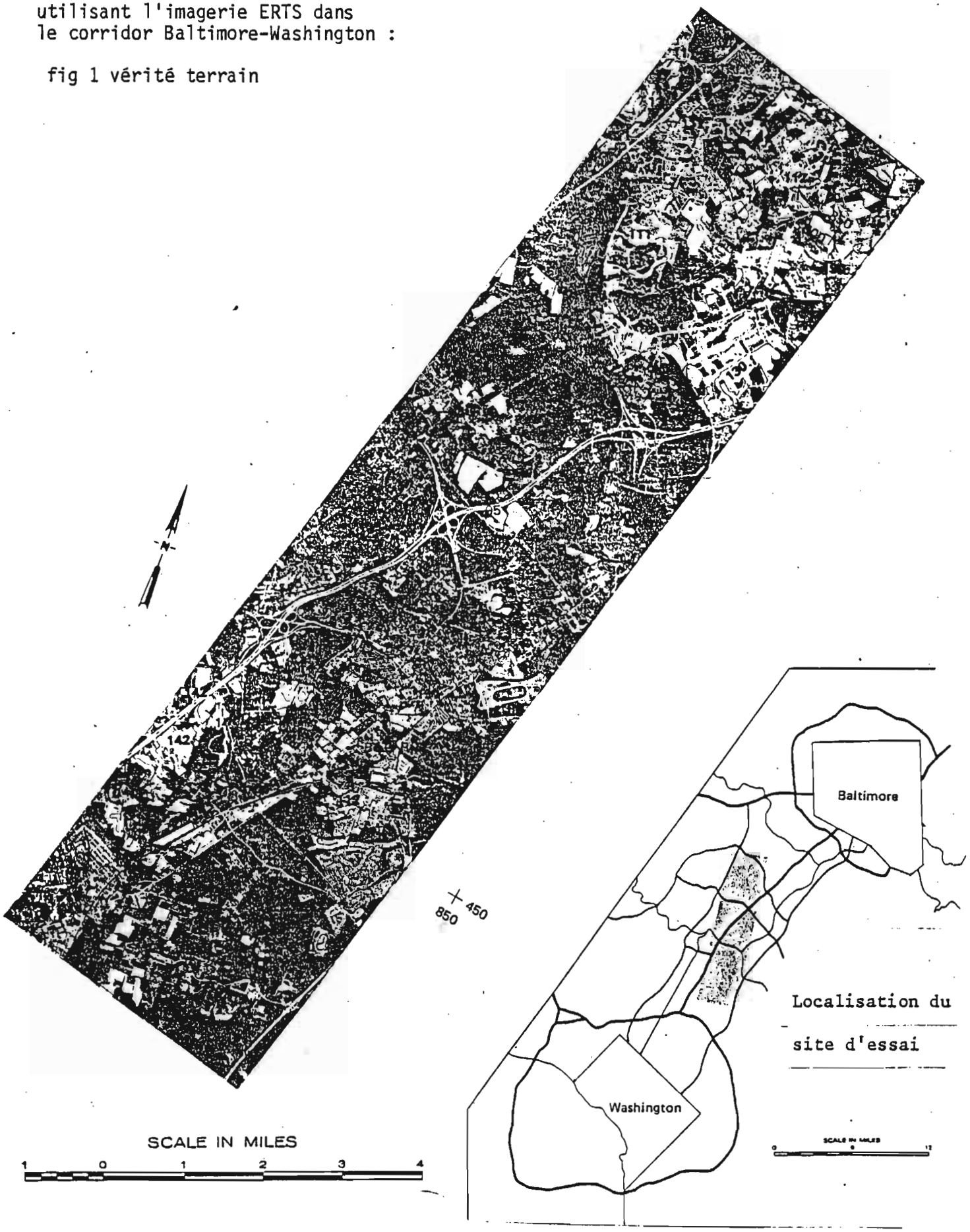


Fig 2 : classification multispectrale maximum

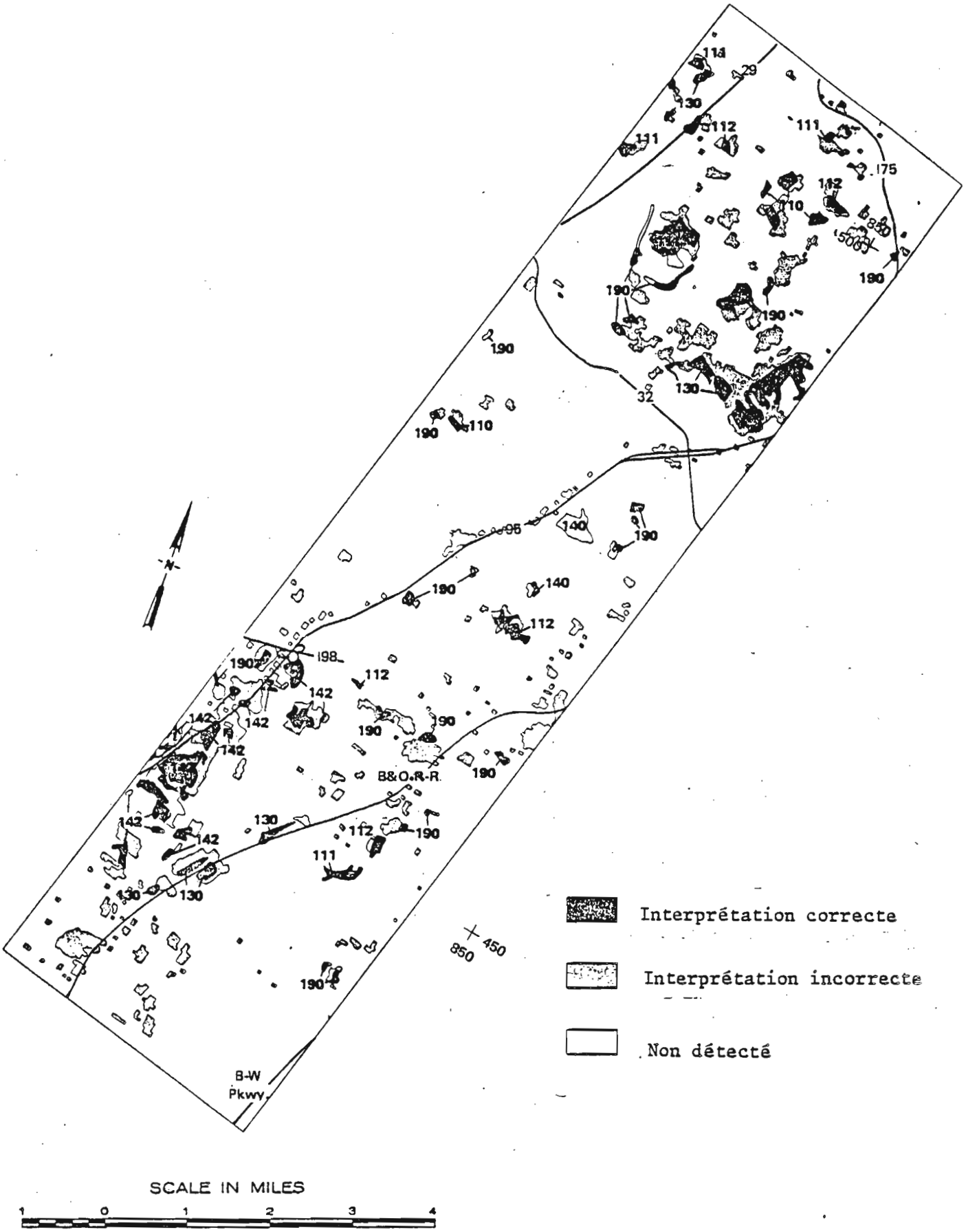


Fig 3 : analyse multispectrale
numérique de l'image

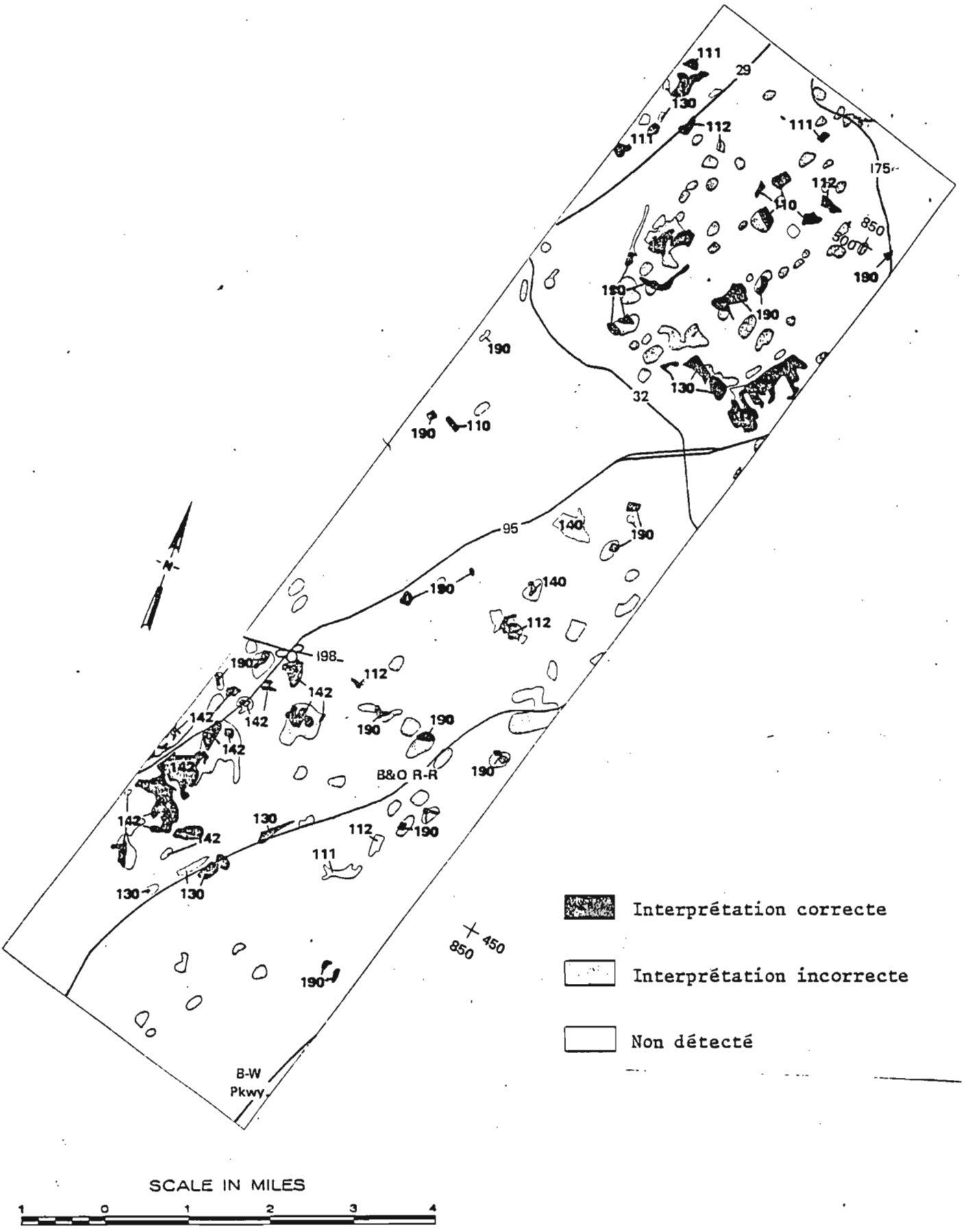


Fig 4 : film de l'image numérique

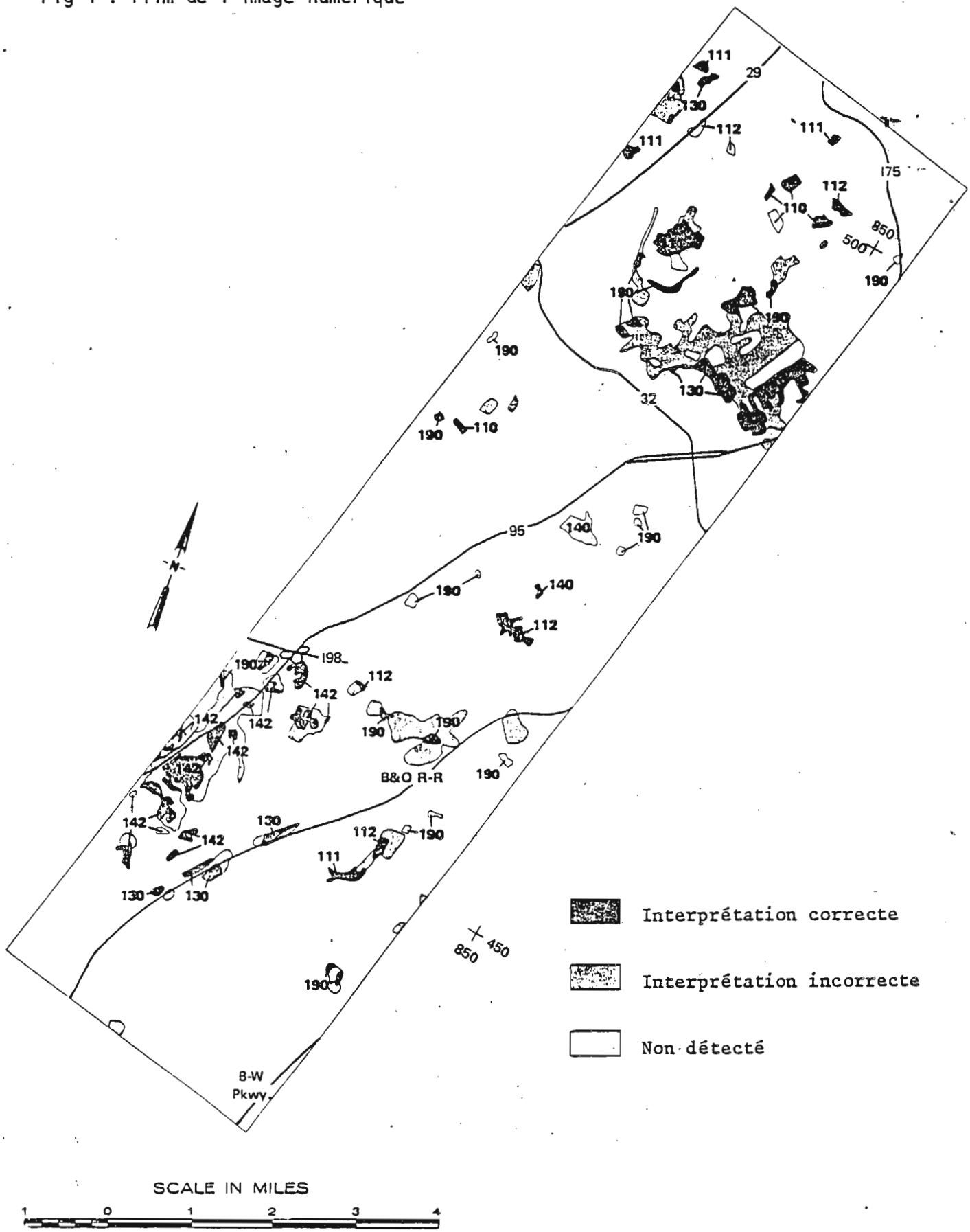
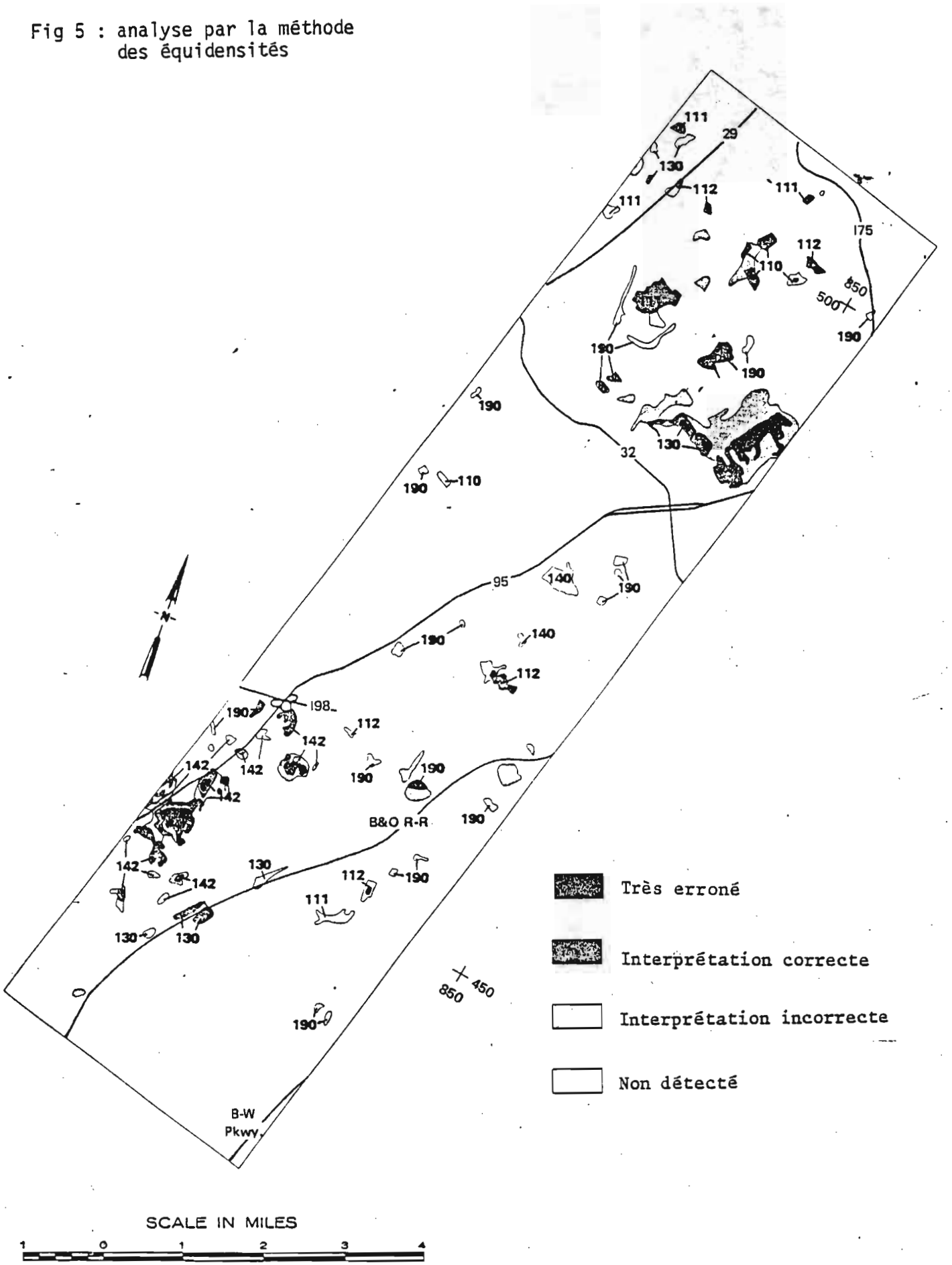
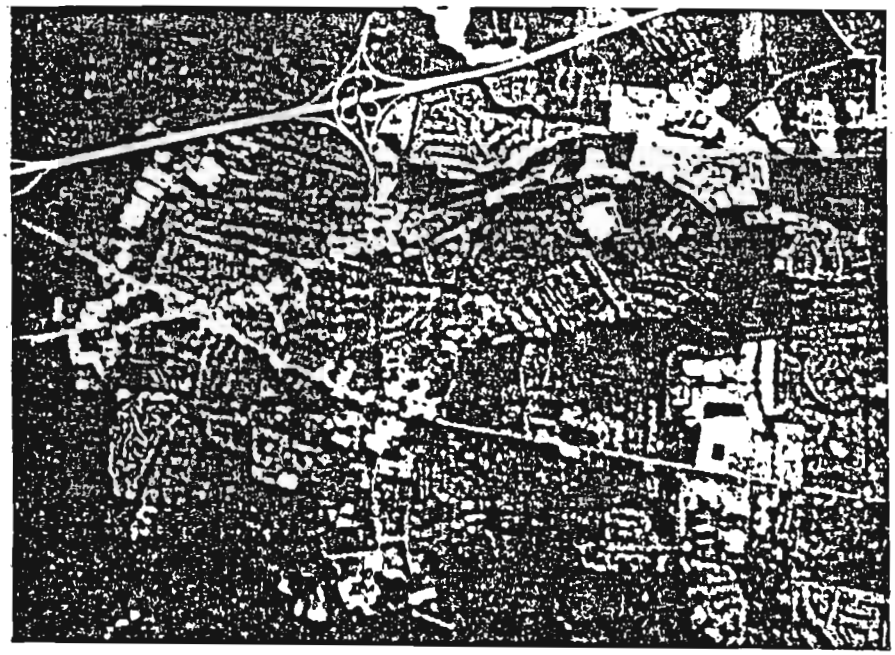
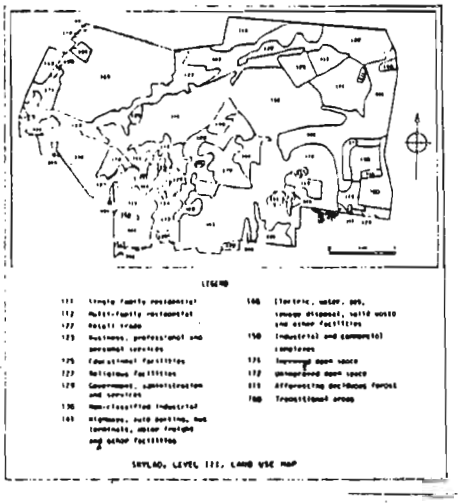
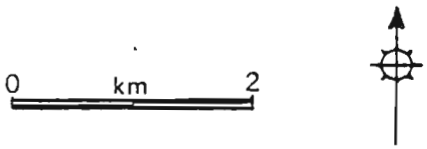


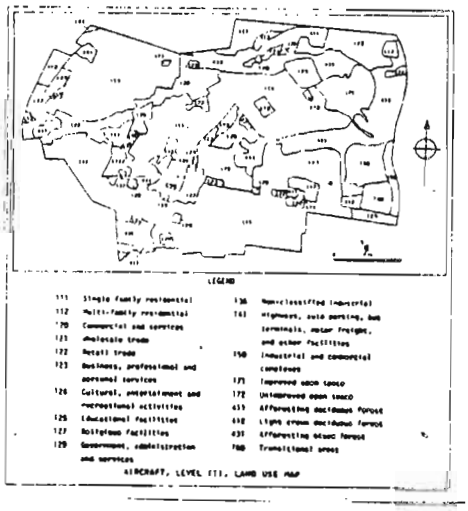
Fig 5 : analyse par la méthode des équidensités











Exemple de comparaison entre des données "Skylab" et "U 2"

<u>En haut</u> : photographie couleur de la ville de Fairfax en Virginie, prise en août 1973 par une caméra S 190 B pendant la mission Skylab 3 et l'interprétation qui en a été faite.

<u>En bas</u> : photographie infra-rouge couleur de la même zone prise en octobre 1973 par une caméra RC 10 à bord d'un avion U 2 et son interprétation.

N. B. le cliché original Skylab est au 1/970 000 et celui de l'U 2 au 1/130 000

5.1.5.- Les résultats (le bilan actuel) -

En télédétection, comme pour beaucoup d'autres domaines scientifiques, les américains mettent rapidement au point des techniques et les exploitent avant d'aller plus loin.

Les programmes de traitement des données ont atteint un certain seuil de qualité qui les satisfait provisoirement d'autant plus que leur souci majeur, en milieu urbain, n'est pas l'inventaire de l'occupation du sol, mais plutôt les changements d'utilisation. Les programmes ont une précision comprise entre 75 à 85 % pour une légende qui varie de 7 à 10 postes en général (les changements d'utilisation du sol sont repérés à plus de 90 %). Les expériences faisant état de classification plus performante ne sont pas encore opérationnelles. Ces programmes bien rodés et sans problèmes dans ces limites de précision sont à vendre. Il est très difficile d'obtenir des détails sur les programmes de traitement des données dans la mesure où les laboratoires ou instituts de recherche sont des prestataires de services, toujours prêts à envisager la signature d'un contrat (même au niveau de la NASA au Goddard Space Flight Center).

Dans l'état actuel des choses, les utilisateurs des données radiométriques en milieu urbain sont de deux ordres :

1° L'U.S.G.S. pour l'établissement de la carte d'occupation du sol sur l'ensemble du territoire des Etats-Unis au 1/250 000 et qui, de ce fait, est amené à traiter les agglomérations urbaines, mais en restant aux niveaux 1 et 2.

2° Des municipalités ou organismes d'études régionales qui s'intéressent surtout à l'impact de la ville sur son environnement ou à l'inventaire des terres constructibles (les détails plus fins sur l'agglomération elle-même, étant fournis par d'autres sources).

Cependant, dans certains organismes ou laboratoires, comme le R.P.C. à Baltimore, le LARS de Purdue University, le J.P.L. de

Passadena ou la section des applications de l'EROS Center, des recherches sont en cours pour améliorer les techniques de traitement et préparer la nouvelle génération de satellites et de capteurs multispectraux des années 80.

Il ne faudrait cependant pas transposer directement ces résultats qui ne sont significatifs que dans le contexte américain. Les villes américaines peuvent difficilement se comparer aux villes européennes, la distribution spatiale des fonctions urbaines y est différente. Les ilôts (block) sont de forme plus géométrique que régulière (carré ou rectangle) et de grande taille. De plus, l'occupation du sol, du fait de la politique du "zonning", y est homogène, les fonctions urbaines y sont bien distinguées (habitat, commerce, industrie). En fait, les américains se trouvent dans de conditions plus favorables pour utiliser la télédétection que les aménageurs européens qui doivent analyser un parcellaire beaucoup plus petit.

5.2. LA TELEDETECTION EN REPUBLIQUE FEDERALE ALLEMANDE

En République Fédérale (RFA), les recherches en télédétection font l'objet de nombreuses études menées sur l'ensemble du territoire par environ une centaine de spécialistes. Un des organismes les plus puissants, le S.V.R.(1) utilise depuis plusieurs années les données multispectrales pour analyser la pollution des eaux de surface du bassin minier et la qualité de la végétation des espaces verts. Les données Landsat sont jugées trop grossières pour les résultats recherchés et les acquisitions de données sont faites à partir de vols avions équipés de cameras multispectrales et de scanner Deadalu et Bendix. Les vols sont effectués à une altitude de 4000 mètres au-dessus du sol à minuit et à 4 heures du matin, et les données recueillies dans les bandes comprises entre 5 et 13 μ sont examinées à l'aide d'un système Digicol et traitées numériquement par ordinateur. La précision des températures relevées est évaluée à 1/2° Celsius, le calage thermique étant assuré par des équipes au sol qui prennent les mesures au moment même du passage de l'avion. Les corrections géométriques précises ne sont faites que sur le document final, afin de le rendre superposable à une carte.

Le S.V.R. obtient ainsi une image traitée en équidensité colorée qui fournit des informations aux planificateurs pour l'implantation des usines en fonction des capacités d'absorption d'eaux chaudes du Rhin et de ses affluents.

En ce qui concerne les espaces verts, la télédétection permet de mesurer l'influence de ces coupures dans l'urbanisation à partir des températures et de l'activité chlorophylienne, et de mieux appréhender les conséquences de l'interface rural/urbain.

Par ailleurs, la télédétection a été utilisée en RFA pour le comptage des phoques sur les rivages de la mer Baltique, alors que les vols avions à très basse altitude effrayaient les animaux et qu'il n'était pas possible de les photographier. Les spécialistes allemands ont également participé à des comptages de nomades au Maghreb par analyse thermique des tentes.

---

(1) Siedlung Verband Ruhrkolenbezirk.

5.3.- CONCLUSION -

Aux Etats-Unis, les techniques de télédétection, quoique encore imparfaitement au point, sont utilisées par de nombreux organismes (fédéraux ou ayant des subventions fédérales) et, contrairement à ce qui se passe ailleur, surtout en France, sont connues de la plupart des "aménageurs", même si, dans l'état actuel de leurs performances, leur utilisation en milieu urbain est limitée. Il faut noter cependant un point très positif et signalé par tous les utilisateurs américains de télédétection : c'est la possibilité d'assurer par cette technique un suivi de l'évolution du tissu urbain, chaque modification de l'occupation du sol pouvant être détectée suffisamment rapidement. Les chercheurs américains semblent abandonner les corrections géométriques complètes permettant un calage géographique moins onéreuses au profit de la superposition de données chronoséquentielles qu'il est possible maintenant de caler à titre expérimental pixel sur pixel.

En ce qui concerne l'analyse du tissu urbain proprement dit, les programmes actuels ne permettent pas à partir des données satellites de définir plus de sept composants de l'occupation du sol, avec un taux d'erreur qui varie entre 20 et 30 % :

- habitat (individuel / collectif dense)
- commerces
- industrie
- espace vert
- espace vacant
- eau

Dans plusieurs organismes des expériences sont en cours pour tenter de descendre à un niveau de plus grande finesse, mais les résultats ne sont pas encore connus.

Par contre, avec les photographies IRC prises à haute altitude les résultats sont infiniments meilleurs et permettent aisément des classements de niveau 3.

Il semble bien que les difficultés actuelles d'utilisation de la télédétection en milieu urbain soient liées au manque de résolution des données satellites : les américains ont développé des techniques, des programmes permettant d'utiliser cette "imagerie" en milieu urbain, mais ils buttent sur la taille du pixel. Procédant par étape, ils utilisent ces techniques dans leur état actuel et dans le contexte administratifs auquel elles sont le mieux adaptées (fédéral, état, régional) en attendant l'étape suivante des années 80 qui verra la mise en oeuvre de capteurs plus performants et sans doute mieux adapté à la complexité du tissu urbain.

Chapitre 6 - CONCLUSIONS

Dans le présent rapport, on s'est efforcé de faire le point sur les utilisations actuelles de la télédétection et principalement des données des satellites Landsat, dans le domaine de l'aménagement en général et plus précisément dans celui de la fourniture de données utiles aux aménageurs. Le poids de la littérature américaine ne doit pas étonner car c'est aux U.S.A. que s'est développé le plus tôt et le plus rapidement la télédétection.

6.1. Conclusions des américains

Pour compléter ce panorama, il apparaît nécessaire de citer un certain nombre de résultats d'une enquête menée pour la NASA en 1976 auprès d'un échantillon d'environ 3.000 utilisateurs de données de télédétection (1).

Ce rapport final met en évidence les points forts suivants :

- montant, en US $, de données Landsat achetées :
  - . 1973 : 241.378
  - . 1974 : 644.733
  - . 1975 : 1.126.922
  - . 1976 : 1.548.000 (projection)

La projection pour 1976 donne 280.000 scènes et 2.250 bandes magnétiques achetées. De 1973 à 1976, 700.000 scènes environ ont été vendues.

Les données Landsat sont légèrement plus utilisées que les données "avion" à haute altitude. La moitié des usagers interrogés utilisent landsat "digital".

Les utilisateurs de données sont regroupés ainsi :

. industriels	: 24 %
. états, administrations régionales et locales (2)	: 1 %
. administrations fédérales	: 15%
. universités	: 15 %
. autres	: 25 %
. étranger	: 20 %

---

(1) Final report en Survey of users of earth resources remote sensing date to NASA user affairs. March 1976. Batelle, Columbus Laboratories, 505 King Avenue, Columbus, Ohio, 43201.

(2) Il faut noter que les administrations ne semblent pas participer directement aux acquisitions de données ; ce sont les universités et les bureaux d'études qui travaillent pour elles.

Les principaux thèmes intéressés sont regroupés ainsi : en tête vient la géologie, immédiatement suivi du thème "land use" ; puis agriculture et ressources en eau, enfin l'environnement. On estime que les usages industriels pour la recherche minière et pétrolière pourraient représenter dix fois plus que les autres utilisations courantes mais en ne requièrant que peu de données répétitives. Les administrations fédérales s'intéressent davantage à l'occupation et à l'utilisation des terres, aux inventaires agricoles et forestiers, à la production végétale, aux ressources en eau continentales et marines et à la géologie. Il est estimé que cette catégorie d'usagers constitue "la clef du transfert des technologies (télédétection) aux autres utilisateurs administratifs", en raison de son acquis et de l'importance de ses moyens financiers.

Les administrations locales (1) sont en retard pour diverses raisons : résolution spatiale de Landsat pas toujours adéquate, faiblesse des moyens techniques et financiers, structures institutionnelles s'opposant à un processus de transfert technologique, possibilité de collecter les informations à d'autres sources. Ces administrations ont réalisé cependant des progrès importants dans le domaine de la cartographie de l'utilisation du sol. Les universités participent au développement des techniques et méthodes. Elles réunissent souvent des organismes administratifs et privés, les sensibilisent et les forment.

Les principales conclusions du rapport précité méritent d'être citées intégralement :

. Il existe un nombre important et croissant d'utilisateurs de données d'observation des ressources terrestres (ORT)(2) explicites et identifiables. Ils comprennent :
  1) ceux qui achètent et analysent ces données de façon routinière grâce à leurs moyens propres (entreprises privées, et la plupart des usagers étrangers ;
  2) ceux qui développent et testent les systèmes en vue d'un recours routinier à ces données pour couvrir de grandes surfaces, réaliser des inventaires de ressources à petite te échelle et des applications à la surveillance et à la gestion par modélisation (la plupart du temps il s'agit de programmes cofinancés par les administrations fédérales, régionales ou des états);
  3) ceux qui expérimentent les données pour évaluer la faisabilité d'application des données ORT à des thèmes nouveaux, ainsi que de nouvelles méthodes (programmes de recherche et d'enseignement financés par toutes les catégories d'usagers mais le plus largement par l'administration fédérale).

---

(1) Administrations des Etats, des villes et des comtés.

(2) Données saisies par Landsat 1, Landsat 2, Skylab.

. L'importance de l'appel aux centres de données ORT varie de façon significative selon les catégories d'usagers. Le groupe d'utilisateurs plus important est constitué des entreprises privées américaines, avec à la fois celles qui utilisent les données à leurs fins et celles qui les utilisent en tant que sociétés de service pour d'autres utilisateurs. L'utilisation principale dans ce groupe concerne la recherche minière et pétrolière. Le second groupe par importance comprend les usagers non-américains/ou étrangers. Les administrations fédérales et les universités sont presque ex aequo à la troisième place pour l'utilisation des données, qui recouvre toutes les applications possibles. A la dernière place on trouve les administrations des états, régionales et locales qui semblent cependant plus impliquées que ne le laissent apparaître les fichiers des centres de données.

. L'usage des données ORT est assez égale d'un thème à l'autre. Bien que les applications des données ORT à l'utilisation du territoire et à la géologie paraissent représenter les intérêts d'application courante les plus importantes, l'utilisation totale de ces données pour la plupart des domaines d'application thématique (tous utilisateurs confondus) est très uniforme. Il subsiste une exception en ce qui concerne les utilisations à l'environnement, car là on observe considérablement moins d'utilisation routinière que pour les autres domaines.

. L'utilité des données ORT varie en fonction des utilisateurs et des usagers. La plupart des compagnies minière et pétrolières estiment que l'utilisation courante de ces données varie d'importante à très importante dans les activités de gestion et d'exploration, dans le pays et surtout à l'étranger. Elles restent cependant incapables d'en chiffer les bénéfices. En revanche la plupart des autres utilisateurs, quoique positifs, n'étaient pas aussi fermes dans leurs vues concernant l'efficacité et la valeur des produits courants. L'évaluation faite par l'usager par thèmes montre que les // usages actuels les plus pertinents, mais que les applications aux utilisations du territoire, à l'agriculture, aux forêts et à l'environnement verront leur importance croître à l'avenir. En termes de bénéfices globaux, la conclusion des usagers est que le domaine de l'utilisation du territoire et des ressources en eau seront ceux qui gagneront le plus à l'utilisation de de ces données.

. Une croissance importante du nombre des utilisateurs, des usages et de la valeur de ces données sera la conséquence d'améliorations possibles et prévues des paramètres du futur système LANDSAT. Un progrès important a été réalisé :
1) en établissant des liens entre les usagers et leurs problèmes d'une part et les performances des données ORT d'autre part ;
2) en concevant et en conduisant des expérimentations destinées à évaluer les possibilités économiques et techniques des applications ;

// ..applications à la géologie et à l'utilisation du territoire constituent les ...

3) en développant des systèmes de démonstration quasi opérationnels pour l'utilisation en routine des données ;
4) en identifiant et développant des améliorations destinées à enrichir les applications des systèmes futurs. Les perfectionnements prévus à court terme (par ex. LANDSAT C) auront pour conséquence d'augmenter d'une certaine façon le nombre d'usagers et d'usages, mais ce sont des améliorations bien plus importantes dans l'acquisition des données, dans leur traitement (au sol et à bord), dans leur diffusion et dans la formation et les capacités de l'utisateur final qui seront nécessaires avant qu'une très large utilisation de ces données, financée par les usagers, intervienne sur une base opérationnelle.

Ces conclusions sont suivies de recommandations à la NASA allant dans le sens d'une accélération des programmes de développement des systèmes à satellites afin de fournir des données améliorées et d'augmenter le nombre d'utilisateurs. La formation spécialisée doit être améliorée, en particulier au niveau régional ; les programmes futurs doivent être étudiés et définis conformément aux besoins des utilisateurs finaux, ce qui implique que ces besoins soient mieux connus et que les possibilités des systèmes actuels soient mieux explorées et diffusées. De telles recommandations sont transposables au cas français bien que les problèmes s'y posent de façon différente : le territoire national est plus petit et plus morcellé que l'espace américain, l'organisation administrative, la recherche et les sociétés privées y sont différemment articulées.

6.2. Observations concernant le cas français

Au vu des conclusions tirées par les américains eux-mêmes et de celles que nous avons pu formuler au paragraphe 2.1.5. et compte tenu de l'expérience française de l'utilisation de la télédétection, et particulièrement des données Landsat, on peut avancer les observations suivantes :

6.2.1. Limites actuelles des résolutions et corrections (notamment pour Landsat)

Nous traiterons successivement des résolutions spatiales, spectrales et temporelles, renvoyant le lecteur aux volumes "Etat de l'art en télédétection saisie des données et traitements pour plus de précisions techniques sur ce sujet.

6.2.1.1. Limite en résolution spatiale

La résolution spatiale (79 x 57 m) des Landsat 1 et 2 apparaît insuffisante compte tenu de la taille moyenne du parcellaire français, de la taille des objets ou groupements d'objets en milieu urbain ou bâti, de la taille de certains phénomènes ponctuels (affleurements, zones humides ou en eau, pollutions, ...) et ceci en regard du domaine de l'occupation et de l'utilisation du sol.

Cependant il y a lieu de préciser que cette résolution spatiale est sans doute suffisante dans les cas suivants :

- inventaire des forêts et des cultures dominantes dans les régions françaises à grand parcellaire. L'objectif de certaines expérimentations OPIT est de définir la limite inférieure en deça de laquelle on ne peut plus inventorier, avec une bonne précision, les cultures en utilisant des données Landsat (le même travail est effectué avec des données avion à meilleure résolution).

- si l'on cherche non plus à discriminer et à inventorier des cultures mais à définir des paysages ruraux significatifs (cf. § 2.1.5.), la résolution actuelle paraît suffisante.

- l'utilisation d'images prises à plusieurs dates différentes devrait permettre de pallier l'insuffisance de résolution des Landsat.

- dans le domaine urbain, cette résolution ne permet pas de faire une analyse fine des composants de la ville mais laisse la possibilité de définir des zones homogènes et de mesurer aux franges des agglomérations la consommation d'espace.

6.2.1.2. Limite en résolution spectrale

Les utilisateurs américains semblent se satisfaire des bandes spectrales actuelles. Certains proposent, pour les satellites futurs, les trois canaux suivants (dans le visible et proche IR)

- bleu-vert : 0,47 à 0,57 microns
- vert-rouge : 0,57 à 0,70 microns
- proche infrarouge : 0,76 à 1,05 microns (1)

---

(1) Extrait de "Proposed parameters for an operational Landsat" by A.P. Colvocoresses, USGS, Reston, Virginia 22092,Janv.19

En fait, les recherches sur la radiométrie (en particulier des plantes cultivées) ne sont pas encore en état de livrer des conclusions définitives ainsi que celles sur la transmission atmosphérique. Par ailleurs, les possibilités des capteurs infrarouges thermiques, des radiomètres et systèmes actifs dans d'autres parties du spectre, notamment en hyperfréquences, ne sont pas encore connues assez précisément (cf. rapport "état de l'art en télédétection", 1ère partie, chapitre 1, § 2.1., 2.4., 2.5.). Toutefois, en ce qui concerne le visible et le proche infrarouge, des modifications de canaux de Landsat D par rapport aux versions actuelles ont été prévues de façon à saisir des données mieux appropriées à la satisfaction des besoins des utilisateurs, notamment pour faciliter la séparation et l'identification des espèces dans les récoltes et pour préciser la qualité des eaux (cf. rapport précite, tableau p. 102).

6.2.1.3. Problème de l'heure et de la fréquence de passage

Les différents thèmes concernant les aménageurs et abordables par télédétection n'imposent pas tous les mêmes contraintes à un système de télédétection, qu'il soit à satellite ou aéroporté En effet, il y a lieu de distinguer le suivi de phénomènes à évolution lente, qui relève d'un passage par an, celui de phénomènes plus rapides comme l'urbanisation, la transformation du milieu urbain, la consommation d'espace aux franges des villes, qui peut nécessiter plusieurs prises de données par an, celui du contrôle de la qualité des eaux et de l'atmosphère qui nécessite une mise en oeuvre presque immédiate et/ou une répétitivité élevée (semaine, par exemple) pour suivre valablement ces phénomènes en des lieux bien précis ; en ce qui concerne les milieux agricoles, forestiers et naturels, des prises de données plusieurs fois par an, sont nécessaires pour l'estimation des superficies cultivées et l'estimation de la tendance de la production tandis que des systèmes d'alerte et de prévention doivent être étudiés pour les maladies, attaques et accidents climatiques.

6.2.1.4. Limite en résolution temporelle

Par cette notion de résolution "temporelle" nous signifions la capacité réelle d'un système à satellite à fournir des informations régulières. La répétitivité actuelle de chaque Landsat étant de 18 jours, la répétitivité théorique de l'ensemble est de 9 jours. Or cette répétitivité ne se traduit pas dans les faits par une mise à disposition de données tous les neuf jours pour deux raisons :

- l'une tient, bien évidemment, aux conditions de propagation atmosphérique qui peuvent dans certains trop dégrader, voire anihiler le rayonnement du sol vers le capteur ;
- l'autre tient au dispositif lui-même d'exploitation, de stockage, de transmission et de mise en vente des données. Aujourd'hui la mémoire du Landsat 1 ne fonctionne plus et Landsat 2 n'a plus que la moitié de sa capacité. Il appartient au segment "sol" du système à satellite d'être en mesure de fournir, dans les délais les plus brefs, une imagerie de bonne qualité.

6.2.1.5. Problèmes posés par les traitements diachroniques

Deux catégories de problèmes se posent :

- celle des corrections radiométriques
- celle des corrections géométriques

Les corrections radiométriques

Les corrections radiométriques absolues demandent un modèle d'atmosphère (Etat de l'art, 1ère partie, chapitre 1, § 2.1.). On peut effectuer des corrections relatives en recalant les images étudiées par rapport à une image choisie comme référence et en vérifiant les paramètres (hauteur du soleil, conditions d'éclairement).

Il reste que dans le cas d'un enregistrement aéroporté des corrections radiométriques sont nécessaires pour éliminer les variations angulaires de l'effet atmosphérique et égaliser les conditions d'éclairement des cibles qui peuvent changer considérablement d'un bord à l'autre du champ d'analyse.

Les corrections géométriques

Deux sens sont parfois donnés à ce terme : le calage géographique d'une image de télédétection par rapport à un système de coordonnées classiques, qui se fait par interpolation entre des points connus ("amers") et le recalage d'une image sur une autre image de la même scène obtenue dans des conditions différentes, pixel à pixel (cf. "état de l'art en télédétection", 1ère partie, chapitre 2, traitements). Ceci est réalisable mais très coûteux.

6.2.2. Nature des données radiométriques

On est loin d'avoir exploré totalement le contenu informationnel des données multispectrales. La réflectance dépend d'un grand nombre de facteurs :

- dans le cas d'une couverture végétale : structure, état de surface, nature du sol, propriétés spectrales des plantes, indice foliaire, contraintes hydriques, attaques parasitaires, effets climatiques, minéraux proches de la surface du sol, salure du sol, époque de la prise de vue ;

- dans le cas de sol nu : texture du sol, composition en surface, rayonnements induits par le sous-sol ;

- dans le cas de l'eau : turbidité, profondeur, polluants divers ;
  (cf. "état de l'art en télédétection", 1ère partie, chapitre 1, pp. 24-25).

Des modélisations des réflectances sont nécessaires pour pouvoir déduire des propriétés de la surface à partir des mesures de télédétection. Il reste que des traitements numériques permettent de classer les points d'une image en différents "taxons" (ou classes) dont on étudie après coup le contenu, cas par cas, où que l'on prédétermine avant traitement à partir d'une vérité terrain effectuée au moment de l'enregistrement.

Enfin, dans le domaine du thermique, toute une recherche est à faire pour expliciter le contenu informationnel des thermographies, c'est-à-dire la relation entre le signal et ce qui a contribué à le former.

6.2.3. Complémentarité nécessaire de différentes données

Dans la phase expérimentale ou pré-opérationnelle actuelle, il reste particulièrement nécessaire de ne pas vouloir substituer les données satellites aux autres types de données de télédétection, y compris la photographie aérienne, qui ont des résolutions spatiales et spectrales différentes. Les apports respectifs de ces données sont complémentaires et dans une phase de mise au point d'un outil et de méthodes, on doit nécessairement utiliser plusieurs types de données, qu'elles soient issues de satellites ou des systèmes classiques.

6.2.4. Absence d'expérimentations sur certains thèmes

Il ressort de ce rapport qu'un certain nombre de thèmes évoqués au chapitre 1 n'ont pas été abordés, soit parce qu'ils n'ont pas fait l'objet d'expérimentations utilisant la télédétection,

soit parce que celles-ci en sont à un stade recherche sans résultats encore utilisables. Il s'agit principalement des thèmes suivants :

- utilisation et aménagement de l'espace urbain : Dans ce domaine, de nombreuses techniques, parfois fort coûteuses, sont parfaitement opérationnelles et atteignent des degrés de précision élevés, voire supérieure à ce dont on a besoin (ortho-photogrammétrie, stereo-ortho-photogrammétrie, photo-interprétation). A l'opposé, Landsat, en raison de sa faible résolution, n'a pu indiquer sur ce thème que des grandes catégories d'utilisation du sol complémentairement aux données prises à haute altitude. Une seule expérimentation française a lieu sur ce thème, en utilisant des données à différentes résolutions (milieu urbain dans le département des Bouches du Rhône). De plus, la capacité des données thermique reste à tester en vraie grandeur.

- utilisation et aménagement de l'espace rural : Si les problèmes d'inventaire en grandes catégories d'utilisation du so sont bien résolus ou en voie de l'être aux U.S.A., un travail analogue reste à conduire en France dans des conditions différentes et en vue de discriminer, inventorier et cartographier les principales cultures, au moins deux fois par an et à des périodes bien déterminées. La connaissance des superficies cultivées est indispensable pour approcher le thème "prévision de récoltes". D'autres travaux sont à effectuer dans l'optique d'une meilleure allocation des terres, ce qui suppose la connaissance prélable d'une série de cartes de base que l'on peut obtenir par télédétection. Il en est de même pour l'étude générale de la consommation d'espace qui demande des répétitivités différentielles selon la rapidité de tel ou tel phénomène ou mécanisme. D'autres études sont à poursuivre dans le domaine de la surveillance et de la prévention des attaques et accidents parasitaires ou climatiques.
  Dans le domaine spécifique des cultures, peu de travaux concernent les prairies et le potentiel fourrager : si les prairies sont le plus souvent discernables, il reste à lever certaines confusions (avec le maïs par exemple) et à caractériser les différentes prairies. Egalement peu de travaux sur la discrimination des cultures permanentes ligeuses (vigne, verger) qui pose des problèmes en raison de l'importance du facteur "sol dans la réponse spectrale, sur ce type de culture peu couvrante. Par ailleurs, ces cultures sont souvent disposées selon des petits parcellaires et des études sur la signature "spatiale" devraient compléter les traitements effectués uniquement sur les valeurs radiométriques (étude du voisinage et des fréquences spatiales).
  Le problème des landes, friches et "boisés agricoles" concerne tous ceux qui s'occupent de consommation d'espace en général et qui ont un manque d'information sur ce sujet.

D'une façon générale, toutes les études concernant la "dynamique dans l'espace et dans le temps des activités humaines et leurs conséquences" n'ont pas encore intégré la télédétection faute d'un développement méthodologique poussée de celle-ci.

6.2.5. Inadéquation des données relativement à certains besoins

Il est illusoire de vouloir faire dire à la télédétection d'aujourd'hui ce qu'elle ne peut donner, pour des raisons de résolution spatiale et spectrale, donc d'avancer ou de refuter cette technique comme réponse à des problèmes non résolus.

Avant toute expérimentation dans un domaine quelconque, il est nécessaire de rechercher le type de données qui pourraient le mieux convenir : époque(s) de prise de vue, bandes spectrales, résolution spatiale, méthodologie de traitement ; de même, il est nécessaire de bien définir ce que l'on recherche et d'essayer d'y associer un modèle au moins qualitatif si ce n'est quantitatif de rayonnement.

6.2.6. Méthodes de traitement non encore satisfaisantes

Les méthodes de traitements sont décrites dans le volume "état de l'art et télédétection", 1ère partie, chapitre 2. En ce qui concerne la visualisation des résultats de traitement, on se heurte pour le moment à des problèmes de supports qui sont dûs autant aux types de matériels utilisés qu'à l'absence de définition correcte de la meilleure sortie pour un thème donné.

Les différentes sorties actuels peuvent être résumées ainsi :

- sortie sur imprimante classique, en affectant un symbole graphique à chaque classe. Les points de l'image reçoivent ainsi un symbole correspondant à leur classe. C'est une sortie intermédiaire de travail ;

- sortie sur écran noir et blanc ou couleurs, qui suppose que l'on photographie l'écran quand on a obtenu le résultat recherché ;

- sortie sur imprimante électrostatique ;

- sortie sur traceur Benson ou Calcomp, assez facilement utilisable ensuite pour une impression ;

- sortie sur bande magnétique et visualisation à l'aide de restituteurs d'image sur film (visumat ou vizir), que l'on développe ensuite et qui peut être utilisé après pour impression.

Dans tous les cas, il s'agit de sorties qui séparent l'aspect cartographie de l'aspect statistique. La cartographie est issue de la sortie graphique, tandis que la statistique est fournie sur tableaux séparés, en % de points d'images par classe par rapport au total des points analysés.

6.2.7. Méthodes d'interprétation et d'évaluation imparfaitement mises au point

Dans la plupart des cas, les méthodes d'interprétation actuelles sont fondées sur les principes de la photointerprétation pour ce qui concerne les visualisations des divers canaux, les résultats de manipulations photographiques (équidensités, compositions colorées) ou de traitements d'image sur consoles. Les résultats de classification sont interprétés comme des pré-cartes, c'est-à-dire que l'on recherche la correspondance la plus adéquate entre les classes obtenues et ce que l'on recherche . Cela met en oeuvre une série de documents annexes de type cartes existantes, visualisations, photographies aériennes, vérité-terrain à repérer et à intégrer. Ces procédures sont pour le moment presque toutes exécutées à la main et nécessitent une certaine souplesse de l'interprétat- qui doit manipuler plusieurs documents de nature différente et souvent à des échelles variées. Il y a là un réel facteur de blocage et des recherches sur l'automatisation de ces procédures sont en cours.

Des recherches complémentaires sont en général nécessaires pour préciser le contenu des classes obtenues car il est rare de parvenir d'emblée à un classement satisfaisant. Il y a donc lieu de revenir au terrain et à la physique du rayonnement pour exprimer les complexes qui ont produit les données radiométriques et qui forment ce que certains auteurs ont appelé des néo-taxons exprimant par là que la télédétection peut apporter des informations nouvelles par rapport aux renseignements classiques que l'on recherche habituellement. Une illustration concrète de ces possibilités non encore bien développées peut être schématisée par le développement, aux U.S.A., d'une nomenclature spécialement adaptée à la télédétection et, en France, par la difficulté que nous avons de mettre en regard des résultats de classification avec les postes des nomenclatures habituellement utilisées (cf. annexe "nomenclatures"). Dans cette optique, il serait nécessaire de mieux développer la recherche des informations sur la distribution spatiale des phénomènes. C'est en conjuguant le spatial, le spectral et le diachronique que l'on pourra mieux mettre en évidence des séries d'indicateurs tels que décrits au chapitre 1, groupe 5 de la nomenclature des besoins.

Enfin, il y a lieu de rechercher des formes graphiques d'expression adaptées aux néo-taxons produits par la télédétection en combinant bien, par exemple, des résultats statistiques et leur localisation avec le degré de précision permis par le système.

6.2.8. Intégration des éléments d'un système

Un des handicaps actuels du développement de la télédétection réside, du moins en France, dans une intégration imparfaitement réalisée par les organismes de compétence des divers éléments d'un système de télédétection. Il faudrait à la fois maîtriser l'acquisition des données, leur qualité, leurs traitements et leur mise à disposition dans des délais les plus brefs possibles, les visualiser correctement, initialiser les traitements en fonction des objectifs recherchés par les utilisateurs, exécuter ces traitements, contrôler les résultats et les éditer rapidement. Cela suppose la réunion en un certain nombre de lieux de données, de calculateurs, de périphériques de sortie, d'algorithmes et enfin d'équipes d'utilisateurs capables de préciser et de guider progressivement et par itération la définition et le développement des différents sous-ensembles d'une chaîne de télédétection de façon à optimiser cette dernière vis-à-vis de la satisfaction des besoins. Les utilisateurs devraient de plus intégrer les données issues des systèmes de collectes classiques afin que la télédétection vienne prendre place dans l'ensemble des systèmes d'information nécessaires à tout aménageur. Il ne faut pas oublier en effet que la France dispose de bon nombre de statistiques classiques dans les différents domaines de l'aménagement et que la télédétection doit être envisagée comme un moyen supplémentaire et complémentaire, donc à harmoniser avec les sources classiques et à laquelle celles ci devront s'adapter.

B I B L I O G R A P H I E

1. OUVRAGES ET ARTICLES GENERAUX

. A Land Use and Land Cover classification System for Use with Remote Sensor Data - J.R. ANDERSON, E.E. MARDY, J.T.ROACH, R.E. WITMER USGS Professional Paper 964. 1976 , Washington DC US Government Printing Office.

. Land Use and Land cover changes - A framework for monitoring. J.R ANDERSON, Jour. Research USGS Vol.5 n°2, Apr. 1977 - p. 143/153.

. The use of remotely Sensed Data in the Land Use and Land cover map and data compilation programm of the US Geological survey 21 p. multigr. JR ANDERSON, R.E. WITMER, communication au séminaire européen "Amenagement et Télédétection", Toulouse, Juin 1977.

. Australia.Department of National Resources, Australia 1/100.000 land use series, notes on classification used - Camberra 1976.

. A Remote sensing compatible land use activity classification - R.A. RYERSON, O.M. GIERMAN, Centre canadien de Télédétection, note technique 75-1, 1975.

. National Academy of sciences, the National Research Council in 1976. Washington 1976.

. A survey of Users of Earth resources remote sensing data. Battelle's Columbus Laboratories, Columbus, Ohio, 1976.

. Programm on Earth observation data management systemes (EODMS). Cente for development Technology, Washington University, St Louis, Missouri, 1976, 199 p. (for Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland).

. Proposed parameters for an operational Landsat - A.P. COLVOCORESSES USGS, Reston Virginia 22092.1977.

. Proceedings of the symposia on Machine Processing of remotely Sensed Data, 1975 et 1976, LARS, Purdue University, West Lafayette , Indiana.

. Proceedings of the european conference on remote sensing, LINGBY 1976 Conseil de l'Europe, Strasbourg, 1976, 97 p.

. Proceedings of the NASA Earth Resources Survey Symposium, Houston, Texas, june 1975 - LYNDON B. JOHNSON Space Center, vol. IA IB IC, vol.II and vol. III

. Summaries of symposia on Remote Sensing of Environment (1975 et 1977) Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan.

. Remote sensing applied to regional planning in the United States. R.L. ROWLEY, NASA, J.S.C., 68 p. multigr. communication au séminaire européen " Aménagement et Télédétection", Toulouse, juin 1977.

. Stamp LD. The Land of Britain, its use and misuse, 3rd ed. LONGMANS. 546 p. 1962.

. International géographical union, 1956. Report of the commission on inventory of world Land use. XVIIIe International geographical Congress, Rio de Janeiro - commonwealth Press, Worcester, Massachussets, 67 p.

. Manual of Remote sensing, vol. 1 Theory. Instruments and technics. vol. 2 Interpretation and applications. The american society of Photogrammetry, Falls church, Virginia, 22046. 1975.

. Journées de Télédétection du GDTA : 26-28/10/76 TOULOUSE
21-23/09/77 SAINT MANDE
G.D.T.A. Av. Ed. Belin, TOULOUSE.

. Equipe FRALIT, Télédétection du littoral océanique de la France. Coll. de l'Ecole Normale Supérieure de Jeunes Filles n° 11, 1977.

2. EXEMPLES REGIONAUX (Chap. 2/3 & 5)

. New York Office of planning services. Land Use and natural resources inventory of New York State, LUNR classification manual. ALBANY, juin 72.

. University of Minnesota Land Management, Information system Study-1971 Minnesota State Planning Agency.

. The Land use classification system. Maryland Department of State Planning. Baltimore-1974.

Provenant des actes du 11ème symposium d'Ann Arbor (1977) ERIM Ann Arbor, Michigan.

. Digital analysis of Landsat Data for surveying natural resources in Western Sudan. M.F. BAUMGARDNER, S.T. KRISTOF, LARS, Purdue University, West Lafayette, Indiana and Y. YAGOUB, Ministry of Agricult Kartoum, Sudan.

. Automated image processing of Landsat 2 - Digital Data for Watershed run off prédiction, R.R. SASSO, J.R. JENSEN, J.E. ESTRES. Geography remote sensign Unit, University of California, Santa Barbara California, for KCWA (Kern County Water Agency).

. Application of Landsat Data to Wetland Study and land use classification in West Tennessee - N.L. JONES, F. SHAHROKHI, Remote Sensing Division, University of Tennessee, Tullahoma, Tennessee.

. Remote Sensing of environmental impact of land use activities. Ch. K. PAUL, NASA, Washington D.C.

. Testing the accuracy of remote sensign land use maps. J.L. VAN GENDEREN, B.F. LOCK, P.A. VASS.

. Landsat D Thematic mapper simulation using aircraft multispectral scanner data. J. CLARK, N.A. BRYANT, Jet propulsion laboratory, Pasadena, California 91 103.

. Remote sensing in rangeland management : an overview of applications and benefits. D.M. CARNEGGIE. USGS Sioux Falls, South Dakota.

. Necessity to adapt land use and land cover classification systems to readly accept radar data. BEN DRAKE, Remote sensing laboratory of physic and geographical sciences, Old Dominion University, Norfolk, Virginia.

. Landsat data agricultural sites : crop signature analysis. P.N. MISTRA, S.G. WHEELER, IBM, Federal system division, Houston Texas

. Inventory of rice fields in France using Landsat and aircraft data. T. LE TOAN, P. CASSIRAME, J. QUACH. CESR Toulouse. R. MARIE, INRA, Montpellier.

. Monitoring irrigated land acreage using Landsat imagery : an application axample. W.C. DRAEGER, Technicolor Graphic Services, inc. Sioux Falls, South Dakota.

. Land utilisation and ecological aspects in the Sylhet Mymensingh Haor région of Bangladesh : an analysis of Landsat Data. M.I. CHOWDHURY, K. MANDEOD ELAHI, Département of géography, Johan Girnagar University, Savar, Dacca, Blangladesh.

. Production of a map of land use in Iowa through manual interpretation of Landsat imagery. R.R. ANDERSEN, IOWA geological survey, Iowa city, Iowa.

Provenant du "symposium on machine processing of remotely sensed data", June 1975, July 1976, Laboratory for applications of Remote Sensing (LARS), Purdue University, West Lafayette, Indiana.

. Land use studies with Skylab S 192 data - D.S. SIMONETT, University of California, Santa Barbara, R.I. SHOTWELL, N. BELKNAP, Earthsat, Washington.

. Remote sensing applications for identifying potential recreation resources - W.C. BEATTIC, M.S. KENNETH A. WENNER, PH.D. PARK and Recreation division Ohio Stae University Columbus, Ohio.

. Comparaison of vegetation classes in the great dismal swamp using two individual Landsat images and a temporal composite. P.T. GAMMON, Dismal Swalp National Wildlife Refuge Suffolk, Virginia - Virginia P. CARTER, U.S. Geological Survey Reston, Virginia.

. Agricultural analysis of Landsat digital data from Williams County, North Dakota, using G.E. image 100 systems. - D.D. EGBERT, D.L. DIETRICH, R.E. FRIES, General Electric Company Space System Organisation Beltsville, Maryland.

. The South Dakota land use inventory system - P.A. TESSAR, South Dakota State Planning Bureau Pierre, South Dakota.

. A better approach to state and federal agencies - C.J. JOHANNSEN, State Extension Agronomy specialist, Land Use, University of Missouri, Columbia,Missouri.

. The automated recognition of urban development from Landsat Images C.P. JACKSON M., Image Analysis Group, Materials Physics Division, AERE Harwell, Nr. Dideot, Oxforshire - department of Environment, Prince Consort House, A. EMBANKMENT, Londond SE 1 7TF.

. Digital analysis of human impact on tropical vegetation. S. TEXTOR department of Geography Columbia University, New York 10027. J.C. COINE Goddard Institute for space studies, New Yord 10027.

. Results from crop identification technology assessment for Remote Sensing (CITAR) - F.G. HALL, R.M. BIZZELL, A.H. FEIVESON, National Aeromatic and Space Administration John son Space Center, Houston Texas. M.E. BAUER, B.J. DAVIS, Laboratory for application of Remote Sensing, Purdue University West Lafayette, Indiana. W.A. MALILA, D.P. RICE, Environmental Research, Institute of Michigan, Ann. Arbor, Michigan.

. Illinois crop acreage estimation experiment. R.M. RAY, H.F. HUDDLENSTON, Center for Advanced computation, University of Illino Urbana, Champaign.

. Stratification of Landsat data claustering. M.E. BAUER, B.J. DAV Laboratory for application of Remote Sensing, Purdue University West Lafayette, Indiana.

. Current methods and policies of the statistical reporting service. C.E. CAUDILL, Director Research Division, Statistical reportingservice, U.S. Department of agriculture, Washington, D.C. 20250.

. Provenant du Symposium NASA 1975. L.B. JOHNSON Space Center, Houston Texas.

. Computer complemented classifcation of vegetation using aircraft acquiried multispectral scanner data. W.G. GIBULA, NASA/JSC, Earth Resources Laboratory Bay St Louis, Mississipi.

. Utilisation of Landsat imagery for mapping vegetation on the millonth scale. D.L. WILLIAMS and J.C. COINER, University of Kansas Space technology center, University of Kansas, Lawrence, Kansas 66045.

. Landsat 1 data, its use in a soil survey program. F.C. WESTIN and C.J. FRAZEE, Plant Science departmentand Remote Sensing Institute, South Dakota State University, Brookings, south Dakota.

. The use of Skylab data to study the early detection of insect infestations and density and distribution of host plants. W.G. HART, S.J. INGLE, M.R. DAVIS, USDA Agricultural Research Service, Southern region - Citrus insects research Westaco, Texas.

. Land use and environmental assessment in the central atlantic region. R.H. ALEXANDER, K. FITZPATRICK, H.F. LINS, H.K. Mac Ginty.

. Highway planning - Michigan. F.J. THOMSON, A.N. SELLMANN.

. Interactive multi-spectral analysis of more than one Sonrai village in Niger, West Africa. P. REINING, D. EGBERT.

. Satellite information on Orlando, Florida. J.W. HANNAH, GARLAND L. THOMAS, F. ESPANZA.

. Essai d'une application potentielle de la classification automatique pour les problèmes d'aménagement. B. Q. RADO, Department of natural resources, Office of planning in research, Atlanta ; Georgia.

. The development of a land use inventory for regional planning using satellite imagery (Ohio). A.H. HESSLING, T.G. MARA.

. "Ohio's statewide land use inventory". P.E. BALDRIGDE, P.H. GOESLING, F. LEONE, C. MINSHALL, R.H. RODGERS, C.L. WILHELM.

. Lumis - A land use managment information system for urban planning (California) - C.K. PAUL, Pasadena, California.

. Arizona land use experiment. C.C. WINIKKA, H. H. SCHUMANN.

. The south Dakota cooperative land use effort. P.A. TESSAR, State planning bureau, south Dakota. D.R. HOOD, USGS, EROS Data Center. South Dakota. W.J. TODD, Technicolor Graphique service.

. Agricultural inventory capabilities of machine processed Landsat digital Data. D.L. DIETRICH, R.E. FRIES, D.D. EGBERT, General Electric Company, Space systems organisation, Beltsville, Maryland.

3°-Bibliographie du chapitre 4 (Forêts)

§ 41 American Society of Photogrammetry, 1960.
Manual of photographic interpretation : Washington, D.C., Amer. Soc. Photogram. 868 p.

AMIDON,E.L., 1972.
Glossaire de termes : Appendix in geographical Data Handling. Tomlison editor. Vol. 2 : I.G.U. Geogr. data Sens. and Process. Ottawa, Canada.

ALDRICH, R.C. 1968.
Remote sensing and the forest survey-present applications, research and a look at the future : 5th Symp. on Remote Sens.of Env., Ann. Arbor Michigan pp. 357-372.

AVERY,T.E., 1962.
Interpretation of aerial photographs. Burgess Publishing Company. Minneapolis. Minnesota.

AVERY,T.E., 1966.
Forester's guide to aerial photointerpretation : Agriculture Handbook 308 . U.S. Departement of Agriculture - Forest Service.

AVERY,T.E., 1967.
Forest measurements : New York, Mc Graw Hill.

BECKETT,P.H.T., 1968.
Method and scale of land resource survey in relation to precision and cost. In : Land evaluation (G.A. Stewart, editeur). Mac Millan of Australia. Melbourne - Australia.

BOUCHARD,H., MOFFITT,F.H., 1959.
Surveying - Fourth edition - International textbook company. Scrantar Pennsylvania.

GOLDMAN, L.M., 1960.
Application of colour air photography for the study of the terrain. Moscou. Publ. House Geodet. Litt. Russia.

HOWARD, J.A., 1970.
Aerial photo ecology : Faber and Faber Ltd, London, 325 p.

LOETSCH, F., 1964.
Forest Inventory - Volume 1. Bays, Landw Verlag, Munchen.

Manual of Photo-Interpretation, 1960. Photo-interpretation in forestry, chap.7, Washington, D.C. Am. Soc. of Photogram. p. 474-482.

PARDE, J., 1961.
Deutrométrie. Editions de l'ENEF. 1 vol. : 350 p.

RUDD, R.D., 1971.
Macro land-use mapping with simulated space photos. Photogrammetric Eng. April 1971.

SCHUMACHER, F.X., CHAPMAN, R.A., 1948.
Sampling methods in Forestry and range management : Duke Univ. Press. Durham. N.C. Bull.7, 2nd ed., 222 p.

MINISTERE DE L'AGRICULTURE - SERVICE DES FORETS - 1972 -

Inventaire forestier national;buts et méthodes.

SPURR, S.H. , 1948.
Aerial photographs in Forestry. New York, Ronald, 333 p.

SPURR, S.H., 1952.
Forest inventory : New York, Ronald.

STELLINGWERF, D.A., 1964.
Compilation of forest and vegetation maps of vertical photographs. ITC. Textbook of photointerpretation. X-4, Delft.

THORLEY, G.A., 1968.
Some uses of color aerial photography in forestry. Manuel of color aerial photography. A.S.P.

United States Department Agriculture, 1965.
Timber trends in the United States : Forest Resources : Report n° 17.

United States Department Agriculture Forest Service, 1968.
Timber management plan inventory Handbook. Forest Service. USDA. 2441-1-R5. Supplement n° 65.

WEAR, J.F., 1971.
Monitoring forest land from high altitude and space : Ann. Prog. Rept. Forestry Remote Sensing Lab. for Earth Resources Program, NASA, by Pacific Southwest Forest and Range Exp. Sta., Berkeley, California, 179 p.

ALDRED,A.H., KIPPEN F.W., 1967.
Plot volumes from large-scale 70 mm air photographs : Forest Sci. 13, N° 4.

AZEVEDO, L.H., 1971.
Radar in Amazon - 7th Symp. on Rem. Sens. of Env. Univ. of Michigan

BAUMGARDNER, M.F., 1973.
Use of ERTS-1 in Agriculture Forestry and rangeland survey. Amer. Geoph. Union Trans.-54, 7.

BELOV, S.W., BEREZIN, A.M., 1958.

The importance of photographic conditions and different types of aerofilms for the survey of forests. Trudy Lab. Aeromethod- Vol. 6, pp. 146-175.

BENSON, M.L., SIMS, W.G., 1967.
False colour film fails in practice: J.Forestry. 65, p 904.

CARNEGGIE, D.M., LAWER, D.T., 1966.
Uses of multiband remote sensing in forest and range inventory. Photogrammetria -21. p. 115-141.

COLWELL, R.N. et al. , 1969.
An evaluation of earth resources using Apollo 9 photography : Final Report. NASA contract n° 9-9348, OSSA/NASA, Earth resources survey program, by the forestry remote sensing Lab. Berkeley, California.

COOK, C.F., 1969.
The use of light aircraft in forest inventory and mapping. Pulp and Paper Mag. Canada. V. 70 - N° 13.

DAUSS, S.J., LAUER, D.T., 1971.
Testing the usefulness of side-looking airborne radar imagery for evaluating forest vegetation resources. Rept. of research performed on Contract n° CRINC 1775-9 for Center for Research, Kansas and For. Rem. Sens. Lab., Berkeley, California.

DETHIER, B.E.,ASHLEY, D.M.,BLAIR, B., HOPP, R.J., 1973.
Phenology satellite experiment. Symp. on significant results obtained from the ERTS-1, 1A, p. 157-166. NASA/GSFC. March 5-9.

DRAEGER, W.C., BENSON, A.S., 1971.
Operational Feasability. Am. Prog. Rept. Analysis of remote Sensing data evaluating vegetation resources. For. Rem. Sens. Lab.Univ. California. Berkeley.

FELTON, G.C., 1967.
Use of the AFDS-2 airborne forest fire detector and mapping system. Ontario Dept. of Lands and Forests. 16 p.

HAACK, P.M., 1962.
Evaluating color, infrared and pan aerial photos for the Forest Surve of interior Alaska. Photogram. Eng. 28, p. 592-598.

HARDY , N.E., 1971. Vegetation mapping with SLAR - AGARD conference proceedings n° 90. On propagation limitations in Remote Sensing. NATO. Neuilly sur Seine.

HIRSCH, S.N., 1964.
Forest fire detection systems. Western Forest Fire Research Council, p 3-5.

HODAREV, J.K. et.al. 1971.
Some possible uses of optical and radio-physical remote measurements for earth investigations. 7th Symp. on Rem. Sens. of Env. Ann. Arbor. Michigan.

HOWARD, J.A., 1971.
The reflectivity foliaceous of tree species. In : Applic. of Remote Sensors in forestry, Freiburg, 127-146.

JOHNSON, E.W., 1958.
Effect of photographic scale on precision of individual tree height measurement. Photogram . Eng. 24, n° 1, p 142-152.

KENNEVEG, H. 1971.
Color and false color photography : its growing use in forestry- an european view, in : Applic. of Remote Sensors in forestry. Internat. Union of Forest Research Organizations. Joint Rpt. 25, p 57-73.

KLEIN, W.H., 1970.
Mini-aerial photography - Jour. Forestry. V 68, pp. 475-478.

KONDRATYEV, K.J, VASILYEV, O.B., MIRONOVA, Z.F., 1971.
On a procedure of coding the optical spectral reflectance of natural formations : 7 th Symp. on Rem. Sens. of env., Ann. Arbor, Michigan. p. 647-661.

KUNZI, K., WUTHRICH M., SCHANDA, E., 1971.
A MM-wave scanning radiometer for terrain mapping. 7th Symp. on Remote Sens. of Env., Ann. Arbor, Michigan, p.865-867.

LANGLEY, P.G., SHARPNACK, D.A., 1968.
The development of an earth resources information system using aerial photographs and digital computers. Ann. Prog. Rept. for Contract n° R-09-038-002, Earth Resources Survey Program. OSSA/NASA, Pacific Southwest Forest and range Exp. Sta., Forest Service - USDA.

LAUER, D.T., 1969.
Multispectral sensing of forest vegetation. Photogram. Eng. 35, n° 4, p 345-354.

LAUER, D.T. et al., 1970.
Quantitative evaluation of multiband photographic techniques. Final Report, NASA contract 9-9577 for Earth Observations Division Manned Spacecraft Center - by Forestry Rem. Sens. Lab. Univ. of California, Berkeley.

LAUER, D.T., BENSON, A.S., HAY, C.M, 1971.
Multiband photography forestry and agricultural applications. Presented at the ASP-ACSM fall convention, San Francisco, California, in Conference Proc. Paper n° 71-348- p 531.

LAUER, D.T., KRUMPE, P.E., 1973.
Testing the usefulness of ERTS-1 imagery for inventorying wildland resources in Northern California - from ERTS-1, 1A; p 97-104, NASA/GSFC, Marche 5-9.

MORAIN, S.A., SIMONETT D.S., 1966.
Vegetation analysis with radar imagery. Center for Research Inc. Univ. Kansas, CRES Report 61-9.

MORAIN, S.A., SIMONETT D.S1967.
K-band radar in vegetation mapping. Photogram. Eng. 3, p 730-740.

NILSEN, UDO, SAYN-WITTGENSTEIN, L, 1970.
The forestry radar altimeter tested over steep topography. Canadian Forestry Service. Dept. Fisheries and Forestry. Internat. Rept. EMR-18- p 18

ODIN, H., PERTTU, K., 1966.
Radiation measurements near the forest limit in Northern Sweden-Coll. Helsinki sur l'écologie des régions subarctiques - UNESCO -

OLSON, C.E., GOOD, R.E., BUDELSKY, C.A., LISTON, R.L., MUNTER, D.D., 1964.
Analysis of measurements of light reflectance from tree foliage made during 1960 and 1961. Dept. of Forestry Agricultural Experiment Station. Univ. of Ill. 222.

ROSETTI, C., KOWALSKI, P., HAVE, N. 1966 -
Relations entre les caractéristiques de réflexion spectrale de quelques espèces végétales et leurs images sur des photographies en couleur, terrestres et aériennes. Int. Arch. Photogram. 16, n° 2, p 27-50.

SADOWSKI, F.G., MALILA, W.A., SARNO, J.E., NALEPKA, R.F., 1977.
The influence of multispectral scanner spatial resolution on forest feature classification. 11th Symp. of Rem. Sens., Ann. Arbor, Michigan

SCHULTE, O.W., 1951.
Use of Pan, IR, and color photos in the study of plant distribution. Photogram. Eng. 17, p 688-714.

SICCO SMIT, G., 1971.
Aplication de las imagenes de radar en la foto-interpretacion de bosqu humedos tropicales. Centro Interamericano de Foto-interpretation, Colu bia, 16 p.

SPURR, S.H., 1949.
Films and filters for forest aerial photography : Photogram. Eng. 15 p 473-481.

SPURR, S.H., BROWN, C.T., 1946.
Specifications for photographs used in forest management. Photogram. Eng. 12, p 131-141.

STEINER, D., GUTERMANN, T., 1966.
Russian data on spectral reflectance of vegetation, soil and rock type Dept. Geography Univ. Zurich.

SVENSON, H.,1971.
Wind action displayed by thermal imagery. Internat. Symp. Photo-interpretation, Dresden, 1970, p 697-700.

TITUS, S.J., WENSEL, L.C., 1977.
Use of multispectral data in design of forest Sample Surveys. 11th Symp. on Rem. Sens. of Env., Ann.Arbor , Michigan.

VERMEER, J., 1971.
Interpretation of radar and thermal infrared images. Internat. Symp. Photo-interpretation, Dresden, 1970, p701-709.

VIKSNE, A., LISTON, T.C., SAPP, C.D., 1970.
SLR reconnaissance of Panama : Photogram. Eng. 36 , n° 3, p 253-259.

WESTBY, R.L., ALDRED, A.H., SAYN-WITTGENSTEIN, L., 1968.
The potential of large scale air-photographs and radar altimetry in La evaluation, Mac Millan- Australia - 8 p.

WILLIAMS, D.E., KOURTZ, P.H., 1965.
An assessment of the airborne infrared fire detection system. Canada, Dept. of Forestry. Forest Fire Research Inst. Internal rept. N° FF-2.

WERT, S.L., 1962.
A system of using sensing techniques to detect and co-ordinate air pollution effects on forests stands. 6th Symp. on Rem. Sens. Ann Arbor Michigan.

ZSILINSZKY, V.G., 1969.
Supplementary aerial photography with miniature cameras : Photogrammet V 25, pp 27-38.

§42 - ALDRICH, R.C., 1967.
Stratifying photo plots into volume classes by crown closure comparator : U.S. Forest Service Research . Note PSW - 151 - 12 p.

ALDRICH, R.C., NORICK, N.X., 1969.
Stratifying stand volume on nonstereo aerial photos-recudes errors in Forest Survey estimates : US. Forest Service Research Paper PSW - 51 - 14 p.

BICKFORD, C.A., 1952.
The sampling design used in the forest survey of the northeast : Jour. Forestry. v 50, p 290-293.

BICKFORD, C.A., 1961.
Stratification for timber cruising . Jour. Forestry v-59, p 761-763.

BICKFORD, C.A., 1963.
AN efficient sampling design for forest inventory : the northeastern forest survey : Jour. Forestry . v 61, p 826-833.

BRENAC, L, 1962.
L'utilisation des photographies aériennes pour l'inventaire des forêts françaises. Bull. Française Photogram. 8, p 2-31.

GROSENBOUGH, L.R., 1965.
Three-Poe sampling theory and program "ThPP" for computer generation of selection criteria : U.S. Forest Service Research Paper PSW 21.

HELLER, R.C., WEAR, J.F., 1969.
Sampling forest insect epidemics with colour films. 6th Symp. of Rem. Sens. of Env. Ann Arbor, Michigan, p 1157-1167.

HINDLEY, E.H., 1971.
A progress report from the forest industries developpement project on inventory design, sampling costs and quality assessment in teh mixed dipterocarp forest of Sarawak, Malaysia, 25th IUFRO World Congress, Florida, U.S.A.

JOHNSON, F.A., 1949.
Sampling for estimates of timber volume on large aeras. Timberman, 50 (8).

KRUMPE, P.F., 1973.
A regional approach to wildland resource distributional analysis utilizing high altitude and earth orbital imagery. 39th Meeting Soc. of Photogram. Washington.

LANGLEY, P.G., 1969.
New multistage sampling techniques using space and aircraft imagery for forest inventory. 6th Symp. on Rem. Sens. of Env. Ann. Arbor, Michigan, p 1179-1192.

LANGLEY, P.G., ALDRICH, R.C., HELLER, R.C., 1969.
Multistage sampling of forest resources by using space photography. 2nd Earth Resources Aircraft Status Review - Houston - 21 p.

LYONS, E.H., 1966.
Fixed air-base 70 mm photography, a new tool for forest sampling. Forestry chron. v 42, n° 4, p 420-429.

PAIJAMANS, K., 1966.
Typing of tropical vegetation by aerial photographs and field sampling in Northern Papua. Photogrammetria. v 21, p 1-25.

PAYMANS, K., 1970.
Land evaluation by air photo-interpretation and field sampling in Australian New Guinea. Photogrammetria. v 26, p 77-100.

SHIUE, CHERNG-JIANN, JOHN, H.H., 1962.
A proposed sampling design for extensive forest inventory : double systematic sampling for regression with multiple random starts. Jour. Forestry, v 60, n° 9, p 607-610.

AKÇA, A., 1971.
Identification of land use classes and forest types by means of microdensitometer and discriminant analysis : Applications of Remote Sensing in Forestry. Joint Rept. Freibutg i. Br. p 147-164.

ANDERSON, J.R., 1971.
Land use classification shemes . Photogram. Eng . April 1971.

BUCKLEY, B.A., 1971.
Computerized isodensity mapping. Photogram. Eng. v 37, p 1039-1042.

CATINOT, R. SAINT AUBIN, C de, 1960.
Utilisation des photographies aériennes sans point au sol en cartographie forestière. Bois et Forêt des Tropiques, 69, p 17-25.

CAMBOU, F., LE TOAN, T., MONCHANT, M., GUYADER, J.C., 1973.
Problèmes posés par la digitalisation d'une image et l'extraction de l'information - Ecole d'été - UNESCO - CNES.

COLWELL, R.N., 1965.
Aids for the selection and training of photo interpreters. Photogram. Eng. v 31, n° 2, p 326-339.

DEJACE, J., MEGIER, J., 1977.
Computer aided classification for remote sensing in agriculture and forestry in Northern Italy. 11th Symp. of Rem. Sens. Ann. Arbor. Michigan.

FLOUZAT, G., 1975.
A preliminary theoretical study in order to estimate by remote sensing the biomass in a poplar site. NTIS . Weekly abstracts. C.R. 146822. July 5, 1976.

GUPTA, P.N., 1969.
Photo-interpretation dans la cartographie et l'inventaire des Forêts ITC Publications. Série B - n° 5 . Delft.

DRISCOU, R.S., REPPERT, J.N., HELLER, R.C., 1974.
Microdensitometry to identify plant communities and components on color infrared aerial photos. Range Management Jour. 27, n° 1, p 66-70.

DRISCOU, R.S., SPENCER, H.M., 1972.
Multispectral Scanner Imagery for plant community classification. 8th Symp. on Rem. Sens. of Env. Ann. Arbor., Michigan, p 1259.

DOVERSPIKE, G.E., FLYNN, F.M., HELLER, R.C., 1965.
Microdensitometer applied to land use classification. Photogram. Eng. 31, p 294-306.

HARALICK, R.M.SHANMUGAM, K.S., 1973.
Combined spectral ans spatial processing of ERTS imagery data. Symp. on Signif. Resul. obtained from ERTS - v 1, Section B, paper I-16, New Carrolton.

HEGG, K.M., 1966.
A photo-identification guide for the land and forest types of interior Alaska : Northern Forest Expt. Sta., Forest Service, USDA, Research paper NOR-3.

HELLER, R.C., ALDRICH, R.C., Mc CAMBRIDGE, W.F., WEBER, F.P., WERT, S.L. 1969
The use of multispectral sensing techniques to detect ponderosa pine trees under stress from insect or pathogenic organisms : Ann. Prog. Rept. Forestry, Rem. Sens. Lab. for Earth Res. Surv. Prog., NASA, by Pacific Southwest Forest and Range Expt. Sta. Berkeley, California,45p.

HOWARD, J.A., 1959.
The classification of woodland in Western Tanzania for the mapping from aerial photographs : Empire Forest Rev. 38, p 348-364.

JAAKKOLA, S.P., DRAEGER, W.C., 1971.
Techniques for evaluating forest stand delineation in Analysis of Rem. Sens. data for evaluating vegetation resources : Ann. Prog. Rept. Rem. Sens. Applic. in Forestry, OSSA/NASA, Earth Res. Surv. Prog. by the Forestry Rem. Sens. Lab., Univ. California. Berkeley.

KIRVIDA, L., 1970.
Image classification applied to forest type mapping. Rept. 31, Sys. and Res. Div. Honeywell. Minneapolis.

KONDRATYEV, K.Y., DYACHENKO,L.N., BINENKO, V.I., CHERNENKO, AP, 1972.
Detection of small fires and mapping of large forest fires by infrared imagery. 8th Symp. of Rem. Sens. of Env. Ann. Arbor. Michigan, p 1297.

LANDGREBE, D.A., 1972.
Automatic classification of soil and vegetation with ERTS-1 data. Print 101472 - LARS.

LAUER, D.T., 1966.
The feasability of identifying forest species and delineating major timber types in California by means of high altitude small scale aerial photography. Ann. Prog. Rept. , Rem. Sens. Applic. in forestry, OSSA/NASA, Earth Res. Surv. Prog. by the Forestry Rem. Sens. Lab., Univ. California, Berkeley.

LAUER, D.T., 1968.
Forest species identification and timber type delineation on multispectral photography : Ann. Prog. Rept., Rem. Sens. Applic. in forestry, for Earth Res. Surv. Prog. by the Forestry Rem. Sens., Lab., Univ. California, Berkeley.

LAUER, D.T., BENSON, A.S., 1973.
Classification of forest lands with ultra-high altitude small scale false-color infrared photography : Internat. Union of Fores. Res. Organizations (IUFRO) Symp. on Rem. Sens. in Forestry - Freiberg, West German, September,17-21.

LENT, J.D.,1969.
Automatic image classification and data processing. Chap 5 in Analysis of Rem. Sens. data for evaluating forest and range resources . Ann. Prog. Rept., Forestry Rem. Sens. Lab., Univ. California, Berkeley.

OLSON, C.E., ROHDE W.G., 1970.
Multispectral sensing of moisture stress : Ann. Earth. Res. Prog. Rev. 3rd, NASA/MSC, Houston, v 11, p 35-1.

PALGEN, J.J.O., 1968.
International bibliography of pictorial pattern recognition. Allied Res. Assoc., Concord, Mass.

PARK, A.B., 1969.
Remote sensing of time dependant phenomena. 6th Symp. on Rem. Sens. of Env. Ann. Arbor, Michigan, p 1227.

PETTINGER, L.R., 1971.
Field data collection. An essentiel element in remote sensing applications. Earth Res. Surv. Syst., v II, p 49.

RAFSNIDER, G.T., ROGERS, R.H., MORSE, A., 1977.
Forestland type identification and analysis in Western Massachussets : a linkage of a Landsat forest inventory with an optimization study. 11th Symp. of Rem. Sens. of Env., Ann. Arbor., Michigan.

RICHARDSON, A.J., WIEGAND, C.L., TORLINE, R.J., 1972.
Temporal analysis of Multispectral scanner data. 8th Symp. on Rem. Sens. of Env., Ann. Arbor, Michigan, p 1249.

SAYN-WITTGENSTEIN, L., 1960.
Recognition of tree species on air photographs by crown characteristics Forest Research Branch, Canadian Dept. of Forestry, Tech. Note , n° 95.

SPENCER, M.M., 1971.
Analysis and Recognition Processing of Multispectral scanner Imagery of the Maniton Experimental Forest Site in Colorado. Univ. of Michigan. Rept. n° 31650-80-L. Ann. Arbor., Michigan.

STEINER, D., 1968.
Practical applications of aerial photographs in forestry and other vegetation studies. ITC Publications. Série B-46-48. Delft.

STEINER, D., 1970.
Time dimension for Crop Survey from space. Photogram. Eng. 36, n° 2, pp 187-193.

STEINER, D., 1972.
Multispectral-multitemporal photography and automatic terrain recogniti 1st Canad. Symp. on Rem. Sens., Ottawa, Dept. of Energy, Mines and Res. v 2, p 601-609.

STELLINGWERF, D.A., YEARSLEY, M.G., 1961.
Forest maps from air photographs : accuracy and the use of some simple mapping instruments. ITC Information n°1, Delft.

STELLINGWERF, D.A., 1966.
Applications pratiques des photographies aériennes aux travaux forestier et à l'étude des autres types de végétation. ITC. Publications. Série B. 36-37-38. Delft.

THORLEY, G.A., COLWELL, R.N., 1971.
Summary and Conclusions, in Ann. Prog. Rept., Analysis of Rem. Sens. Data for evaluating vegetation resources. Forestry Rem. Sens. Lab. Univ. California. Berkeley.

TSCHERKASOV, I.A., 1971.
Up-to-date conditions and automation prospects of aerial photo interpretation processes by the methode of optical image filtering. Berichte III Internat. Symp. Photo interpretation, Dresde, 1970, v 1, pp 821-834.

TURNER, R.H., 1971.
Measurements of spatial and temporal changes in vegetation from color. IR film. Internat. Workshop on Earth Res. Surv. Syst., V II, p 513.

WACKER, A.G., LANDGREBE, D.A., 1970.
Boundaries in multispectral imagery by clustering. 9th IEEE Symp. on Adaptative Processes Decision and Control. University of Texas.

WEBER, F.P., ALDRICH, R.C., SADOWSKI, F.G., THOMSON, F.J., 1972.
Land use classification in the Southeastern Forest region by multispectr scanning and computerized mapping. 8th Symp. on Rem. Sens. of Env., Ann. Arbor, Michigan, p 351.

WEBSTER, R., WONG, I.F.T., 1969.
A numerical procedure for testing soil boundaries interpreted from air photographs. Photogrammetria n° 24.

YOUNG, H.E., STOECKELER, E.G., 1956.
Quantitative evaluation of photointerpretation mapping. Photogram. Eng. 22, n° 1, pp 137-143.

§ 43

AKÇA, A., 1969.
Eine Untersuchung zur Unterscheidung und Identifizierung einiger Objekte auf Schwarz-Weiss-Luftbildern durch quantitative Beschreibung der photographisden Tuxtur : Diss. Freiburg i. Br.

ALDRICH, R.C., 1971.
Space photos for land use and forestry : Photogram. Eng. v 37, n° 4, pp. 389-401

ALDRICH, R.C. , GREENTREE, W.S., 1971.
Microscale Photointerpretation of Forest and non forest land classes. 4th Ann. Earth Res. Prog. Rev. , Houston, Texas, 121-1.

ALDRICH , R.C., SUSAN et al. 1971.
An effort to identify the canadian forest-tundra. Ecotome signature on weather satellite imagery. Rem. Sens. of Env., v2, n° 1, pp. 9-20.

AXELSON, H., MOLLER, S.G., 1962.
The measurement of forest dements with the aid of aerial photograph Nor. Skog. Tids., IV, 381-446.

BALLEYDIER, R. , GALMICHE, P., 1964.
Un exemple d'utilisation des photographies aériennes : la carte forestière de la France au 1/100 000e établie par le Service de l'Inventair Forestier. UNESCO - Conférence de Toulouse

BAUMGARDNER, M.F., 1972.
Differentiating elements of the soil-vegetation complex. 4th Ann. Earth. Res. Surv. Prog. Rev. Section 47, pp 1-24.

BECKING, R.W., 1959.
Forestry applications of aerial color photography : Photogram. Eng. v 25, pp 559-565.

BICKERSTAFF, A., HIRVONEN, R.P, 1969.
Forest inventory practices of canadian provincial and federal agencie Dept. Fish. and Forest., Can, For. Serv. , Forest manage. Inst. Infor. Rept. FMR-X-19-71p

BODECHTEL, J., KRITIKOS, G., 1971.
Quantative image enhancement of photographic data for earth resources 7th symposium on Rem. Sens. of Env. Ann. Arbor. Michigan, pp 469-486.

CATTO, A.T.,1965.
Aerial photography for mapping cut-over areas : Pulp and Paper Mag., Canada, v 66, n° 3 , pp 120-124.

CHASE, C.S., KOROTOV, J., 1947.
Key to forest types in Marinette Country, Wisconsin , on infrared minus-blue filter at 1/12 000, autumn photography : Processed Copy in the Langlois Library - Washington, D.C.

COCHRANE, G.R., 1969.
Ecological valence of mountain ash (Eucalyptus regnans F. Mell.) as a key to its distribution : Victorian Nat. , v 86, pp 6-26.

DRISCOLL,R.S., 1974.
Use of remote sensing in range and forest management. Great Plains Agricultural Council. pp 111-133.

FLOUZAT, G. , DAGNAC, J., 1976.
Comparaison et première interprétation de différentes données de télédétection sur une même zone de peupleraies. NTIS - Weekily abstracts. CR. 146822, July 5, 1976.

FRANCIS,D.A., 1957.
The use of aerial photographs in tropical forests. Unasylva. v 11, pp 103-109.

FRANCIS, D.A., 1960.
Interim report to the Government of the Sudan on forest inventory. FAO Interim report n° 59-10-7837. Rome

HAIG, L.T., HUBERMAN, M.A., AUNG, D.U., 1958.
Tropical sylviculture - V 1, FAO, Forestry and Forest Products Studies n° 13.

HEATH, G.R., PARKER, H.D., 1973.
Forest and range mapping in the Houston area with ERTS-1 data. Symp. on signif. Result. Obtained from the ERTS-1, 1A, pp 167-172.

HEINSDIJK, D. , GLERUM, B.B., 1967.
Inventories and commercial possibilities of Brazilian forests . Turialba, v 17, n° 3, pp 337-347.

HELLER, R.C, DOVERSPIKE, G.E., ALDRICH, R.C., 1964.
Identification of tree species on large scale panchromatic and color aerial photographs. Forest Service, USDA, Agriculture Handbook, n° 261.

HILDEBRANDT, G., 1963.
Ein vergleich der forstlichen luftbild - interpretation panchromatischer un infraroter bilder. Arch. Internat. Photogram., v 14, pp 239-244.

HILDEBRANDT, G., KENNEWEG, H., 1968.
Einige Anwendungsmoglichkeiten der Falsohfarben-photographie in forstlichen luftbildwesen : Allg. Forst-u, Jagd.zeitung, pp 205-213.

KRUMPE, P.F., 1971.
The delineation and prediction of forest cover and site parameters by multiband remote sensing on Wilson Mountain, Morgan Country, Tenessee Dept. of Botany, M.S. Thesis, Univ. Tenessee, Knoxville, 120 p

LAPIETRA, G., MERGIER, J., 1976.
Acreage estimation of poplar planted areas from Landsat satellite data in Northern Italy. 16th IUFRO World Congress. Oslo. Norway.

LAUER, D.T., 1968.
Vegetation mapping with aerial photos. California agriculture, v 23, n° 11, pp 8-10.

LE RAY, J., 1958.
Aspects et possibilités de la photographie aérienne en zone de forêt dense africaine. Revue Bois et Forêts des Tropiques. n° 61, p 27-33.

LE RAY, J., 1962.
L'interprétation des photographies aériennes verticales et les problèmes de l'exploitation forestière tropicale. Bull. n° 8. Soc. Franc. de Photogram. pp 23-33.

LE SCHACK, L.A., 1971.
ADP of forest imagery, spatial distribution information of the reflectin trees was extracted from aerial imagery and serves to delineate unambiguaussly five forests from each other. Photogram. Eng. v 37. pp 885-896.

LOETSCH, F., 1957.
A forest inventory in Thailand. Unasylva, v 11, pp 174-180.

LOETSCH, F., 1964.
Forest inventory. Volume 1. Bayn. Landw. Verlag, Munchen.

Mc CORMAC, R.J., 1967.
Land capability classification for forestry. The Canada Land Inventory Rept. n° 4, Dept. of Forestry and Rural development. 26 p.

MILLER, R.G., 1960.
The interpretation of tropical vegetation and crops on aerial photos Photogrammetria, V 16, n° 3,. pp 232-240.

MINNICH,R.A., BOWDEN, L.W., PEASE, R.W., 1970.
Mapping montane vegetation in Southern California from color infrared imagery. USDA contract 14-08-0001-10674- Statur rept. 3. Tech. Rept.3

MOESSNER. K.E., 1948.
Photo classification of forest sites. Soc. Am. Foresters. 1948 Proc. pp 278-291.

NYYSSNONEN, A., 1961.
Survey methods of tropical forests : FAO- Rome, 71p

NYYSSONEN, A., POSO, S., KEIL, C., 1968.
The use of aerial photographs in the estimation of some forest characteristics : Acta forestalia Feunica, n° 82.

OLSON, C.E., TOMBAUGH, L.W., DAVIS, H.C., 1969.
Inventory of recreation sites : Photogram. Eng. v 35, pp 561-568.

PAGE A.I., 1969 a.
Use of large-scale mosaïcs for planning and control of aerial seeding New Zeland Jour. Forestry, v 14, n° 2, pp 239-241

PERRET, N.G., 1970
Land capability classification for wildlife : The canada Land Inventor Rept. n° 7, Dept. of Regional Economic Expansion, 30 p.

POPE, R.B., 1960.
Ocular estimation of crown density on aerial photos. Forestry. Chron. v 36, n° 1, pp 89-90.

RANDALL, A.C., 1969.
Forest surveys for economic developpment Physical resource investigations for economic developpment : A case book of OAS field experienc in Latina America. Gen. Seer. Org. of Am. States. pp 183-227.

REINHOLD,A., 1967.
Large scale aerial photos as an aid in assessing the silvicultural condition of pine plantations and thickets : Archiv. Forestwesen, v 16, n° 6/9, pp 905-910.

ROGERS, E.J., 1956.
Photogrammetry research in forest surveys : Internat. Soc. Photogram. Working group IV, Comm VII, 14 p

ROGERS, E.J., 1960.
Forest survey design applying aerial photographs and regression techniques for the Caspian Forest of Iran . Photogram Eng. v 26, n° 3, pp 441-443.

ROLLET, 1960.
Emploi des photographies aériennes au 1/40 000 pour l'interprétation de la végétation et les inventaires forestiers au Cambodge et au Vietnam. Bois et Forêts des Tropiques, n° 74.

ROSAYRO, R.A., 1959.
The application of aerial photography to stockmapping and inventories or an ecological basis in rainforest in Ceylon. Emp. For. Rev., n° 38 pp 141-147.

SAYN-WITTGENSTEIN, L. 1961.
Phenological aids to species identification on air photographs. Canada Forest Research Branch. Technical note N° 104, 26 p.

SEELEY, H.E., 1955.
A forest survey method : Canada dept. Northern Affairs and Natl. Resources, Forest Research Div. , Tech. note n° 8

SPURR, S.H., 1949.
L'application des relevés aériens aux inventaires des forêts aux Etats Unis. Rapport au Conseil Economique et Social des Nations Unies. 14 p.

STELLINGWERF, D.A., 1969.
Vegetation mapping from aerial photographs. East African Agric. and For. Jour., v34, Sp. issue pp 80-86.

STONE, K.H., 1950.
Aerial photographic interpretation of natural vegetation in the Anchorage. Alaska area. Survey and Mapping, v10, n° 3, p 261.

SWANTJE, H., 1957.
Photogrammetric methods in repretation surveys. Photogram. Eng. v 23, pp 789-790.

SWELLENGREBEL, E.J.G., 1959.
On the value of large scale aerial photographs in British Guiana forestry., Emp. Forest Rev., v 38, n° 1, pp 54-64.

THOMPSONG MORRIS, M. ROSENFIELD, G.H., 1971.
On map accuracy specifications. Surveying and mapping. March. pp 57-64.

TIWART, K.P., 1975.
Tree species identification on large scale aerial photographs at new forest. The Indian Forester, v 101, n° 2, pp 132-136.

WASTENSON, L., KLEVEMARK, E., HOLMGREN, B., 1972.
Photo-interpretation of tree species, Aquatic macrophytes and Bedrock outcrops. Comparative studies in different aerials photographs. Dept. of Phys. Geogr., Univ. of Stockolm.

WIECZOREK, ULRICH, 1972.
Deir Einsatz von Aquidensiten in der luftbildinterpretation und bei der quantitativen Analyse von Texturen : Mündrener Geographische Abhandlingen., Bd 7, p 197.

WIEGAND, G.L., GAUSMAN, H.W., CUELLEN, J.F., GERBERMAN, A.H. RICHARDSON, A.J. 1974.
Vegetation density as deduced from ERTS-1 HSS response. 3 rd Symp. on Results obtained from ERTS-1 NASA SP-351, 93-107.

YOUNG, H.E., CALL, F.M., TRYON, T.G., 1963.
Multimillion aerea forest inventories based on airphotos. Photogram. Eng. , v 29, n° 4.

ZARZYCKI, J.H., 1968.
Remarks on planning and execution of mapping projects in tropical areas. 11th Cong. ISP, Comm VII, Lausanne, 19 p

ZSILINSZKY, V.G., 1963.
Photographic interpretation of tree species in Ontario. by the timber branch, Dept. of Lands and Forests, Downsview, Ontario.

BONNER, G.M., 1964.
A tree volume table for red pine by crown with and height. Forest Chron. v 40, pp 339-346.

BONNER, G.M, 1966.
Provisional aerial stand volume tables for selected forest types in Canada. Canada Dept, Forestry and Rural develop^{t}, For. Br. Dept. Pub. n° 1175.

BONNER, G.M., 1968.
A comparison of photo and ground measurements of canopy density. For. Chron., v 44, n° 3, pp 12-16.

CHAPMAN, R.C., 1965.
Preliminary aerial photo stand volume tables for some California timbe types. U.S. Forest Service Research.Note PSW-93.

DILLWORTH, J.R., 1959.
Aerial mensuration tables : Oregon State Coll. Agr. Exp. Stat. , Forest Research Div., Research note n° 2.

FEREE, M.J.1953.
A method of estimating timber volumes from aerial photographs. New York Univ. , Coll. Forestry at Syracuse, 50 p.

GIMBARZEVSKY, P., 1967.
Landforms and the productive capacity of forest land. 2nd Seminar on Air Photo Interpret. in the develop. of Canada.Ottawa, pp 32-56.

GINGRICH, G.F., MEYER, H.A., 1955.
Construction of an aeiral stand volume table for upland oak. F=rest Sci. , v 1, n° 2, pp 140-147.

HANKS, L.F., THOMSON, G.W., 1964.
Aerial stand volume tables for Iowa hardwoods. Iowa State Jour. Sci. v 38, n° 4.

KIPPEN, F.W., SAYN-WITTGENSTEIN, L., 1964.
Tree measurements on large scale, vertical, 70 mm air photographs. For.Research Branch. Dept. of Forestry. n° 1053. Ottawa.

KUUSELA, K., POSD, S, 1970.
Satellite pictures in the estimation of the growing stock over extensive areas. Photogram. Jour., Finland, V4, n° 1.

LANGLEY, P.G., 1962.
Aerial photo-interpretation manual for the integrated forest survey and timber management inventory in California. Pacific Southwest Forest and Range Exp. Sta., Forest Service, Berkeley.

LOSEE, S.T.B., 1953.
Timber estimates from large scale photographs. Photogram. Eng. v 19, pp 752-762.

MINOR, C.O., 1951.
Stem-crown diameter relations in southern pine, Jour. Forestry, v 49, n° 7, pp 490-493.

MOESSNER, K.E., 1949.
A crown density scale for photo-interpreters. Jour. FOrestry., v 47 , n° 7, p 569.

MOESSNER, K.E., 1960.
Estimating timber volume by direct photogrammetric methods. Soc. of Am. For., meeting 1959, San Francisco, pp 148-151.

MOESSNER, K.E., 1963.
A test of aerial photo classifications in forest management-volume inventories. US Forest Service, Research. Paper INT-3.

MOESSNER, K.E., 1964.
Learning to estimate stand volume from aerial photo. US Forest Service Research. Note INT-25.

MORRIS, A.W., 1957.
Aerial volume table for black spruce type for the northeastern coniferous zone. Canadian Pulp and Paper Assoc. Woodlands Section, Index n° 1650.

NASH, A.J., 1948.
Some volume tables for use in air survey. Forestry Chron., v 24, n° 1, pp 1-14.

NASH, A.J., 1952.
Construction and application of air survey volume tables. New York Univ. Coll. of Forestry. Unpublished Master's Thesis. 80 p.

NYYSSONEN, A., 1955.
On the estimation of the growing stock from aerial photographs. Comm. Inst. For. Fem., v 46.

NYSSONEN, A., 1967.
Photogrammetric volume estimation in forest inventory. 14th IUFRO Congress. Munchen., pp 1-11, v 6.

PAELINCK, P., 1958.
Note sur l'estimation du volume des peuplements à limba (terminalia superba) au Mayumbe, à l'aide des photos aériennes. Bull. Agric. Congo, v 49, pp 1045-54.

POPE, R.B., 1961.
Aerial photo volume tables for Douglas. Fir in the Pacific Northwest. US Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Exp. Sta. Researc note n° 214.

POPE, R.B., 1962.
Constructing aerial photo volume tables ; US Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Exp. Sta. Research paper n° 49.

ROGERS, E.J., 1946.
Use of parallax wedge in measuring tree heights on vertical aerial photographs. US Forest Service, Northeastern Forest exp.sta., Forest survey, note N° 1.

ROGERS, E.J., 1949.
Estimating tree heights from shadows on vertical aerial photographs Jour. Forestry. v 47, n°3, pp 182-191.

SAYN-WITTGENSTEIN, L., ALDRED, A.H., 1967.
Tree volumes from large scale photos Photogram. Eng. v 33, pp 69-73.

SCHUT, G.H., VAN WIJK, M.C., 1964.
The determination of tree heights from parallax measurements. Canadian Surveyor. , v 19, pp 415-427.

SMIT, D.U., 1969.
Timber volume with a Kelsh plotter. Photogram. Eng. v 35, n° 4, pp 363-365.

SPURR, S.M., 1946.
Volume tables for use with aerial photographs. Petersham, Massachusett Harvard Forest Offset.

SWELLENGREBEL, E.J.G. 1961.
Estimation of greenheart volume from small scale aerial photographs. Empire Forestry Rev. , v 40, n° 2, pp 162-171.

WERT, S.L., MYHRE, R.J., 1967.
Wedge measures parallax separations on large-scale 70 mm aerial photographs. US Forest Service Research note PSW-142.

WORLEY, D.P., MEYER, H.A., 1955.
Measurement of crown diameter and crown cover and their accuracy on 1/12 000 scale photographs. Photogram. Eng., v 21, pp 372-375.

ALLISON, C.W., BREADON, R.C., 1958.
Provisional aerial photo stand volume tables for interior British Columbia. Forest. Chron. , v 34, pp 77-83.

ALLISON, G.W., BREADON, R.C., 1960.
Timber volume estimates from aerial photographs. British Columbia Forest Service. For. Surv. Note n° 5.

AVERY, T.E., 1958.
Composite aerial volume table for southern pines and hardwoods. Jour. For. , v 56, pp 741-745.

AVERY, T.E., 1959.
Volume tables for aerial timber estimating in Northern Minnesota. U.S. Forest Service. Lake States Forest exp. sta. Paper 78.

BARTORELLI, U., 1967.
L'application deutrométrique de la photogrammétrie. Bull. Trim. Soc. Belge de Photogram., n° 88.

BEREZIN, A.M., 1958.
Détermination de la quantité d'arbres et des réserves de plantations d'arbres d'après les photographies en couleur et en noir et blanc. Trudy Lab. aeromethod. SSSR, 5, pp 216-222.

BEREZIN, A.M., TRUNON, I.A., 1963.
Détermination des diamètres des arbres d'après les photos aériennes. Trudy Lab. aeromethod. SSSR. Krasnojarsk , 60-3.

ARNOLD, K., 1951.
Uses of aerial photographs in control of forest fires. Jour. Forestry, v 49, p 631.

COCHRANE, G.R., 1970.
Colour and false colour aerial photography for mapping bushfires and forest vegetation. Proc. New Zealand Ecol. Soc., v 17, pp 96-105.

HIRSCH, S.N. ,1963.
Applications of remote sensing to forest fire detection and supression 2nd Symp. on Rem. Sens. of Env., Ann. Arbor., Michigan, pp 295-308.

HIRSCH, S.N, 1965.
Preliminary experimental results with infrared line scanners for forest fire surveillance . 3rd Symp. on Remote Sens. of Env., Ann. Arbo Michigan, pp 623-648.

HIRSCH, S.N., 1971.
Applications of infrared scanners to forest fire detection. Internat. Workshop Earth Res. Surv. Syst. Proc., v2, pp 153-169.

HIRSCH, S.N. KRUCKEBERG, R.F., MADDEN, F.H., 1971.
The bispectral forest fire detection system. 7th Symp. on Rem. Sens. of Env., Ann. Arbor, Michigan, V 1, pp 99-118.

MINNICH, R.A., 1974.
The impact of fire suppression on Southern California conifer forests. A case study of the Big Bear Fire, Nov. 1970. Proc. of Symp. living with the Chaparral, 1973.

MURTHA, P.A., 1972.
A guide to aerial photographic interpretation of forest damage in Canada. Canada Forest Service, Dept. of the Env. Publ. n° 1292.

WILLIAMS, D.E., 1966.
A report on the 1965 field tests of the airborne fire detection system AFDS-2, developped by computing devices of Canada limited. Canada Dept. of Forestry, Forest Fire Research Inst.

WILSON, R.A., HIRSCH, S.N., LOSENSKY, B.J., MADDEN, F.H., 1971.
Airborne infrared forest fire detection system. Final rept. USDA Forest Service, Research paper INT-93.

§ 44

ALDRICH, R.C., DROOZ, A.T., 1967.
Estimating Fraser fir mortality and balsam wooly aphid infestation tren using aerial photography. Forest. Sci. v 13, pp 300-313.

ALDRICH, R.C., HELLER, R.C., 1969.
Large scale color photography reflect changes in a forest community during a spruce budworm epidemic. Rem. Sens. in Ecology. Athens. Univ. of Georgia.

ARNBERG, W., WASTENSON, L., LEKANDER, B., 1973.
Use of aerial photographs for early detection of Bark Beetle Infestatio of Spruce. AMBIO, 1973, 3, pp 77-83. Sweden.

CIELSA, W.M., BELL, J.C., CURLIN, J.W., 1967.
Color photos and the southern pine beetle : Photogram. Eng. v 33, pp 883-888.

CIELSA, W.M., FURNISS, M.H., Mc GREGOR, M.D. BOUSFIELD, W.E., 1971.
Evaluation of Douglas-Fir beetle infestations in the North Fork Clearwater River Drainage, Idaho-1971, USDA Forest Service, Northern region, Rept n° 71-46.

CROXTON, R.J., 1966.
Detection and classification of ash dieback on large scale color aeria photographs : US Forest Service Research Paper PSW-35.

DAVIDSON, A.G., PRENTICE,R.M. 1967.
Important forest insects and diseases of mutual concern to Canada, the United States and Mexico. Canada Dept. Forest and Rural develop. Publ. n° 1180.

HANSON, J.B., LAUTZ, W., 1969.
Infrared photography for estimating tree mortality caused by Annosus root rot and notes on color infrared photography to assess insect dama ge . Workshop on Aerial Color Photography in the plant Sciences. Gainesville. pp 89-92.

HELLER, R.C., ALDRICH, R.C., BAILEY, W.F., 1959.
An evaluation of aerial photography for detecting southern pine beetle damage. Photogram . Eng. v15, pp 595-606.

HELLER, R.C., LOWE,J.H., ALDRICH, R.C., WEBER, F.P., 1966.
A test with large scale aerial photographs to sample balsam woolly aphid damage in the Northeast : Jour Forestry, v 65, n° 1, pp 10-18.

HELLER, R.C., BEGA, R.V., 1973.
Detection of Forest diseases by remote sensing. Jour. of Forestry, V 1, n° 1, pp 18-21.

HOUSTON, D.R., 1969.
Comparison of infrared color and true-color aerial photography for studying beech bark disease : Workshop on Aerial Color Photography in the Plant Sciences, Gainesville, pp 76-77.

KIPPEN, F.W., 1973.
Beetle-killed pine estimates. Photogram. Eng. V 39, pp 385-388.

LAPERRIERE, L.R., HOWARD, W.A., 1971.
Discriminating previsual symptoms of stress associated with Dutch elm disease trough color infrared photography. Univ. Denver, Dept. Geog., Tech. Paper n° 71-1.

Mc GREGOR, M.D., BOUSFIELD, W.E., ALMOS, D., 1972.
Evaluation of the Douglas. Fire beetle infestation in the North Fork Clearwater River Drainage. Idaho. USDA Forest Service. Rept. n° 1-72-

MEYER, M.P., FRENCH, D.W., 1966.
Forest disease spread. Photogram. Eng., v 32, n° 5, pp 812-814.

MEYER, M.P., FRENCH, D.W., LATHAM, R., NELSON, C., DOUGLASS, R., 1971.
Vigor loss in conifers due to dwarf mistletoe. Ann. Prog. Rep. for Earth Res. Surv. Prog., by Univ. Minn. , Coll. For., 39 p.

MILLER, J.M., KEEN, F.P., 1960.
Biology and control of the western pine beetle. USDA. Misc. Publ. 800. 381 p

POPE, R.B., 1957.
The role of aerial photography in the current balsam wolly aphid outbreak. Forestry chron., v 33, N° 3, pp 263-264.

ROTH, E.R., HELLER, R.C., STEGALL, W.A., 1963.
Color photography for oak with detection. Jour. Forestry, v 61, n° 10, pp 774-778.

THORLEY, G.A., LENT, J.D., COLWELL, R.N., 1965.
An evaluation of insect induced mortality by aerial color photography in Giant Forest Lodgepole area of the Sequoia-Kings Canyon National Park. Univ. California. Project WR-34-64-633.

WEAR, J.F., POPE, R.B., ORR, P.W., 1966.
Aerial photograph techniques for estimating damage by insects in western forests. USDA Forest Service - Pacific Southwest Forest and Range Exp. Sta.

WEAR, J.F., 1972.
Potentiality for obtaining Poria disease signatures in the Oregon Cascades from orbital altitudes. 4th Ann. Earth. Res. Prog. Rev. Section 122.

WEBER, F.P. 1964.
An aerial survey of spruce and fir volume killed by the spruce bondworm in Northern Minnesota. US Forest Service Research note WO-2-

WEBER F.P., 1965.
Aerial volume table for estimating cubic foot losses of white spruce and balsam fir in Minnesota. Jour. Forestry, v 63, n° 1, pp 25-29.

WERT, S.L., ROETTGERING, B., 1968.
Douglas fir beetle survey with color photos. Photogram. Eng. v 34, pp 1243-1248.

MURTHA, P.A., 1972.
Sulfur dioxide damage delineation on high-altitude photographs. 1st Can. Symp. Rem. Sens., Ottawa.

RHODY, B., 1962.
Methods of estimating storm damage with the aid of aerial photographs, exemplified by the Werdenbergerforest, St Gallen Rheintal. Schweig. Z. Forstwesen, v 114, p 314.

ROHDE, W.C., OLSON, C.E., 1970.
Detecting tree moisture stress. Photogram. Eng. v 36, n° 6, pp 561-566.

TOKMANOGLU, T., 1969.
Estimating storm damage in forests. Istanbul Univ. Orm. Fak. Derg. v 19, n° 1.

WEBER, F.P., POLCYN, F.C., 1972.
Remote sensing to detect stress in forests. Photogram. Eng., v 38, n° 6 pp 163-175.

WEIT, S.L., 1969.
A system for using remote sensing techniques to detect and evaluate air pollution effects on Forest Stands. 6th Symp. on Rem. Sens. of Env. Ann. Arbor, Michigan, pp 1169-1178.

A N N E X E S

ANNEXE 1 : NOMENCLATURES.

Outre la nomenclature d'Anderson citée au 215 nous présentons ici les nomenclatures suivantes :

1° trois nomenclatures en milieu urbain:USGS,nomenclature anglaise et la nomenclature du MOS de l'IAURIF (mode d'occupation des sols établi par l'Institut d'Aménagement et d'urbanisme de la Région Ile de France)

2° la nomenclature utilisée par le Service Central des Etudes et Enquêtes statistiques du Ministère de l'Agriculture et ses échelons départementaux dans le cadre de l'enquête annuelle "TERUTI",utilisation du territoire.(Document SCEES-TERUTI 1976 n°3)

3° la nomenclature utilisée au Canada.

4° une proposition de nomenclature à niveaux pour les terres agricoles issue de la nomenclature TERUTI et de la nomenclature utilisée lors des campagnes Bouches du Rhône et mise au point par Ph.Fournier, M.Bied-Charreton,J.P.Gilg et l'EHESS.

1°-Exemple de nomenclatures en milieu urbain

a- Nomenclature USGS - 2ème niveau

URBAN

Residentiel
Commerces et services
Industries
Voies de communication
Complexes industriels et commerciaux
Zones urbaines concentrées et dispersées
Autres zones urbaines

b- Nomenclature anglaise

Residential
Manufacturing
Transportation, communication and utilities
Trade
Services
Cultural, recreational

c- Nomenclature MOS de l'IAURIF

Espace non construit (indeveloped land)
Espace vert ouvert au public
Espace vert non ouvert au public
Espace agricole
Espace vacant
Plans d'eau - cours d'eau
Carrières - zones d'extraction

Espace construit (Built up land)
Habitat individuel
Habitat collectif continu bas
Habitat collectif continu haut
Habitat collectif discontinu
Emprise d'activités industrielles
Emprise d'activités tertiaires
Cimetières
Equipement collectif
Grande emprise publique
Emprise autoroutière, autres grandes voies, parking

2° Nomenclature "TERUTI"

a- NOMENCLATURE PHYSIQUE.

. Eaux permanentes et zones humides	- Mers - Marais Salants (y.c. étangs en bordures de mer)		
	- Lacs - bassins, pièces d'eau (y.c. piscines)		
	- Rivières, estuaires, canaux		
	- Marais, zones humides (y.c. marécages)		
. Sols à roche mère affleurante	- Rochers, galets		
	- Dunes blanches, plages		
	- Glaciers, neiges éternelles		
. Sols à couverture boisée	- Bois et forêts	. feuillus	
		. résineux	
		. feuillus en voie d'enrésinement	
		. mixte	
	- Superficies boisées hors forêt (SBHF)		
		. bosquet	
		. haie boisée	
		. alignement	
		. arbres épars	
	- peupleraies	. en plein	
		. associées	
		. alignement	
		. peupliers épars	
. Sols à couverture de lande (végétation ligneuse non arborée)	- landes et maquis boisés		
	- landes et maquis non boisés		
	- terrains vagues urbains		
. Sols à végétation autre que bois et lande	- céréales	. blé	
		. orge	
		. avoine	
		. maïs	
		. mélanges et autres	
		. céréales fourragères (y.c. maïs fourragers)	
	- plantes sarclées	- betteraves industrielles	
		non fourragères - pommes de terre	
	- plantes fourragères	- plantes sarclées fourragères	
		- fourrages annuels autres que céréales fourragères	
	- cultures industrielles		
	- cultures légumières		
		. légumes secs	
		. légumes frais de plein champ	
		. maraîchage et potager	

- superficies en herbe
  - . prairies artificielles et temporaires
  - . superficies enherbées de façon permanente
  - . pré-verger des 6 espèces
  - . pré-verger des autres espèces fruitières que les 6
- jachères
  - . des cultures des terres labourables
  - . des cultures permanentes (y.c. friches)
- vergers
  - . cultures pures d'abricotiers
  - . cultures pures de cerisiers
  - . cultures pures de pêchers
  - . cultures pures de pruniers
  - . cultures pures dc poiriers
  - . cultures pures de pommiers
  - . mélanges des 6 espèces
  - . cultures pures autres espèces fruitières que les 6
  - . cultures associées des 6 espèces
  - . cultures associées des autres espèces
- autres cultures spécialisées
  - . vignes en cultures pures
  - . vignes en culture associées
  - . autres cultures (fleurs, petits fruits, etc...)
  - . vignes - verger des 6 espèces

. Sols à profils altérés artificiellement
- par extraction
- par dépôts

. Sols revêtus ou stabilisés artificiellement
- aréolaire
- linéaire

. Sols bâtis
- Volumes construits avant 1918 clos et couverts
  - . Hauteur faible état apparent bon
  - . Hauteur faible état apparent moyen
  - . Hauteur faible état apparent mauvais
  - . Hauteur moyenne état apparent bon
  - . Hauteur moyenne état apparent moyen
  - . Hauteur moyenne état apparent mauvais
  - . Hauteur forte état apparent bon
  - . Hauteur forte état apparent moyen
  - . Hauteur forte état apparent mauvais
- Volumes construits entre 1918 et 1950 clos et couverts
  - . Hauteur faible état apparent bon
  - . Hauteur faible état apparent moyen
  - . Hauteur faible état apparent mauvais
  - . Hauteur moyenne état apparent bon
  - . Hauteur moyenne état apparent moyen
  - . Hauteur moyenne état apparent mauvais
  - . Hauteur forte état apparent bon
  - . Hauteur forte état apparent moyen
  - . Hauteur forte état apparent mauvais

- Volumes construits après 1950 clos et couverts
    - . Hauteur faible état apparent bon
    - . Hauteur faible état apparent moyen
    - . Hauteur faible état apparent mauvais
    - . Hauteur moyenne état apparent bon
    - . Hauteur moyenne état apparent moyen
    - . Hauteur moyenne état apparent mauvais
    - . Hauteur forte état apparent bon
    - . Hauteur forte état apparent moyen
    - . Hauteur forte état apparent mauvais
- Volumes construits à une date indéterminée clos et couverts
    - . Hauteur faible état apparent bon
    - . Hauteur faible état apparent moyen
    - . Hauteur faible état apparent mauvais
    - . Hauteur moyenne état apparent bon
    - . Hauteur moyenne état apparent moyen
    - . Hauteur moyenne état apparent mauvais
    - . Hauteur forte état apparent bon
    - . Hauteur forte état apparent moyen
    - . Hauteur forte état apparent mauvais
- Volumes construits couverts seulement
    - . Hauteur faible état apparent bon
    - . Hauteur faible état apparent moyen
    - . Hauteur faible état apparent mauvais
    - . Hauteur moyenne état apparent bon
    - . Hauteur moyenne état apparent moyen
    - . Hauteur moyenne état apparent mauvais
    - . Hauteur forte état apparent bon
    - . Hauteur forte état apparent moyen
    - . Hauteur forte état apparent mauvais
- Volumes construits temporaires
- Volumes en construction
- Ouvrages d'art
- Superstructures de génie industriel
- Ruines et gravats.

b - NOMENCLATURE D'EMPRISE FONCTIONNELLE.

. **Production primaire**	- minière - agricole - ligneuse - piscicole - aménagement des ressources cynégétiques
. **Production secondaire**	- industrie - BTP - énergie
. **Production de service et infrastructures de transport ou de stationnement**	- commerce - bureaux privés (y.c. secteur nationalisé) - réseau routier - réseau ferroviaire - réseau fluvial - réseau aérien - réseau maritime - autres réseaux (lignes électriques HT etc...)
. **Habitat et annexes**	- gîtes - annexes utilitaires - agrément
. **Sports et loisirs de plein air**	- sports (y.c. sport à spectacle) - loisirs
. **Équipements collectifs généraux**	- administration - armée
. **Équipements scolaires universitaires, culturels et cultuels**	- enseignement - recherche - culturel - lieu de culte
. **Équipements sociaux et sanitaires**	- soins médicaux - crêches, foyers, maisons de retraite
. **Protection du milieu**	- protection réelle du milieu - cimetières - décharges publiques

. **Absence d'usage ou non utilisation temporaire.**

3° CANADA LAND INVENTORY LAND USE CLASSIFICATION

1. URBAN

Land used for urban and associated non-agricultural purposes:

(a) Built-up Area. Mapping symbol: B. Parks and other open space within built-up areas are included.
(b) Mines, Quarries, Sand and Gravel Pits. Mapping symbol: E. Open excavations: land used for the removal of earth materials.
(c) Outdoor Recreation. Mapping symbol: O. Some examples are: Golf courses, parks, beaches, summer cottage areas, game preserves and historical sites.

2. HORTICULTURE, POULTRY AND FUR OPERATIONS.

Mapping symbol: H.
Land used for intensive cultivation of vegetables and small fruits. Includes market gardens, nurseries, flower and bulb farms and sod farms. Large scale commercial fur and poultry farms are also included because of their specialized agricultural nature.

3. ORCHARDS AND VINEYARDS.

Mapping symbol: G.
Land used for the production of tree fruits, hops and grapes.

4. CROPLAND.

Mapping symbol: A.
Land used for annual field crops: grain, oilseeds, sugar beets, tobacco, potatoes, field vegetables, associated fallow, and land being cleared for field crops.

5. IMPROVED PASTURE AND FORAGE CROPS.

Mapping symbol: P.
Land used for improved pasture or for the production of hay and other cultivated fodder crops, including land being cleared for these purposes.

6. ROUGH GRAZING AND RANGELAND.

Mapping symbol: K.
(a) Areas of natural grasslands, sedges, herbaceous plants and abandoned farmland whether used for grazing or not. Bushes

and trees may cover up to 25 per cent of the area. Intermittently wet hay lands (sloughs or meadows) are included, if utilized.

(b) Woodland grazing. In some grassy, open woodlands, bushes and trees may somewhat exceed 25 per cent cover if the area is actively grazed and no other use dominates.

7. WOODLAND.

Land covered with tree, scrub or bush growth.

(a) PRODUCTIVE WOODLAND.
Mapping symbol: T. Wooded land with trees having over 25 per cent canopy cover and over approximately 20 feet in height. Plantations and artificially reforested areas are included regardless of age.

(b) NON-PRODUCTIVE WOODLAND.
Mapping symbol: U. Land with trees or bushes exceeding 25 per cent crown cover and shorter than approximately 20 feet in height. Much cut-over and burned-over land is included. (Note grazing provision in category 6).

8. SWAMP, MARSH OR BOG.

Mapping symbol: M.
Open wetlands except those which frequently dry up and show evidence of grazing or hay cutting. (Category 6).

9. UNPRODUCTIVE LAND.

Land which in its present state, does not and will not support vegetation, e.g., eroded soil or rock and active depositional features.

(a) SAND. Sand bars, sand flats, dunes, beaches. Mapping symbol: S.

(b) ROCK AND OTHER UNVEGETATED SURFACES. Mapping symbol: L. Rock barrens, badlands, alkaili flats, gravel bars, eroded river banks, mine dumps.

10. WATER.

Mapping symbol: Z.

SOURCE: McClellan et al, 1968.

4° Proposition de nomenclature physique pour les terres agricoles et les sols à couverture de landes (végétation ligneuse non arborée).

Niveau 1 Terres agricoles

niveau 2	niveau 3	niveau 4	niveau 5
Terres labourables	céréales	blé	blé dur blé tendre
		orge	escourgeon orge
		avoine	
		maïs	
		mélange et autres	riz sorgho
	plantes sarclées	betteraves industrielles	
		pommes de terre	
		autres	
	plantes fourragères	plantes sarclées	
		fourragères	
		fourrages annuels	
	cultures industrielles	colza	
		tabac	
		lin	
		tournesol	
		autres	chanvre
		plantes aromatiques et à parfum	lavande lavandin
	cultures légumières	de plein champ	légumes frais
		maraîchage et potager	légumes verts
	jachères	de cultures de terres labourables	
		de cultures permanentes ligneuses	
Cultures permanentes			
ligneuses	vignes	culture pure	cuve - table
		associée	association verger
	vergers	à noyaux	abricot, cerise, pêche prune, olivier
		à pépins	poire, pomme
		à coque	noyer
		autres et mélanges	
	pépinières ligneuses		

Superficies en herbe	prairies artificielles et temporaires	
	prairies permanentes	fauchées paturées fauchées et paturées
	prés-vergers	

Sols à couverture de lande

Landes et maquis boisés
Landes et maquis non boisés
Terrains vagues urbains

ANNEXE 2 : EXTRAITS DE LA BIBLIOGRAPHIE AMERICAINE

1° Data used by land use planning agencies

2° Typical applications currently performed

Tableaux extraits de "Remote sensing applied to regional planning in the United States",by R.L. Rowley,NASA-JSC, communication au Séminaire Européen de Toulouse,Juin 1977.

3° liste des projets de démonstration en cours de la NASA

4° Tableaux et listes extraits du rapport BATELLE (cf chapitre 6)

5° Quelques coûts indicatifs à ne transposer qu'avec précautions extraits du rapport EODMS du Goddard Space Flight Center.

1. Data Used by Land Use Planning Agencies

Natural Resources

- land cover
- generalized geology
- physiographic areas
- topography
- slope
- soils patterns and characteristics
- soils drainage characteristics
- precipitation run-off characteristics
- rainfall amounts and frequencies
- climatic/weather data
- stream flow volume
- hydrologic data, e.g. hydrometeorologic analysis, sedimentation, ground water location and volumes
- surface water inventory
- water quality
- air quality
- noise information
- forest inventory
- agricultural survey
- watershed locations/characteristics
- flood plains locations
- wetlands boundaries/characteristics
- land suitability

Socio-Economic

- land use, existing and proposed
- land ownership
- Census Bureau statistics on population and housing (e.g. % population 65 years and over, % population change 1960-70, % owner-occupied units valued less than $15,000, % housing constructed after 1960).
- housing quality ratings
- existing sidewalks and curbs

Data Used by Land Use Planning Agencies
(continued)

Socio-Economic (cont.)

- population distribution and projection
- employment statistics
- economic data e.g. retail sales 1930-1970, total local government expenditures
- zoning codes and major variances
- construction activities
- utilities information, e.g. water lines, sewage lines, sewage treatment facilities, gas and electric lines, telephone lines.
- historical development
- public services data, e.g. police protection, fire protection, education, health, library and community buildings (type, location, population served, function, personnel, ownership, utilization, service capability, parking facilities, administration and management structure, method of support).
- traffic volume
- accident rates on highways
- highway inventory
- origin/destination zones
- information on existing policies and programs
- legal requirements

2. TYPICAL APPLICATIONS CURRENTLY PERFORMED

Land Capability/Suitability Analysis	A, B
Land Use/Land Cover Inventory & Monitoring	A-D
Land Use Data Analysis	A, B
Identification of Vacant Lands within Urban Areas	A-D
Monitor Urban Fringe Growth	A-D
Statistic & Graphic Display of Urban Forms for Use in Land Use Planning Policy	A, B
Land Use Classification in Urban Areas	A-C
Urban Fringe Change Detection	A-D
Urban Land Use Analysis & Land Conversion to Urban Uses	A-D
Transportation Planning	A-C
Geologic Mapping	A-D
Erosion & Sediment Control	A-C
Implementation & Enforcement of State Surface Mining Conservation & Reclamation Act	A-C
Coastal Zone Management	A-C
Physiographic Mapping - Coastal Erosion/Accretion Measurement	A-C
Natural Resources Planning	A-C
Critical Environmental Areas Identification & Monitoring	A, B
Wetlands Inventory/Mapping	A-C
Floodprone Areas Mapping	A-D
Flood Damage Assessment	A
Water Resource Conditions (Relevant to Land Development & Management Planning)	A, B
Drainage Basin Mapping	A-C

A - Low/Medium Altitude Photography

B - High Altitude Photography

C - Landsat Experimental and Limited

D - Landsat Quasi-Operational

"208" Water Quality Program	A-D
Lake Trophic Condition Analysis	A-C
Algal Density Patterns Measurement	A
Sediment Loads Detection - Particularly from Land Disturbance Operations, such as Urban Construction & Surface Mining	A-C
Water Quality Monitoring	A, B
Cropland Mapping for Input to Water Demand Model	A-C
Location, Monitoring, & Scaling of Development of Irrigated Agriculture	A-C
Crop Cover Typing	A-C
Range & Wildlife Management	
- Inventory Big Game & Livestock Ranges	A-C
- Species Composition Mapping for Undesirable Vegetation Control	A-C
- Develop Fire Fuel Map	A-C
Forestry Management	
- Inventory Forest Resources	A-C
- Determine Timber Volume by Species & by Ownership	A-C
- Fire Type Mapping	A-C
- Wildlife Habitat Inventory & Mapping	A-C
- Forest Vegetation Type Mapping	A-C
Orthophotoquad Production	A-C
Input to State Information System	A-C

A - Low/Medium Altitude Photography

B - High Altitude Photography

C - Landsat Experimental & Limited

D - Landsat Quasi-Operational

COMPARING GRANULARITY WITH LEVELS
CELL SIZES, SCALES, TASKS, AND JURISDICTIONS

Earth Resources Information Level	Descriptive Information Granularity	Cell Size (Feet)	Typical Presentation Scale	Typical Planning Task	Typical Planning Jurisdiction	Resolution	Frequency	Platform
III	Fine	25 x 25	1:24,000 1:12,000	Plan administration, functional planning and comprehensive planning of small areas	Local	1-5 meters	6 months to 1 year	A,B,C,D
II	Moderate	400 x 400	1:125,000 1:24,000	Functional planning, and comprehensive planning of regions and large cities	Regional	5-30 meters	1-3 years	A,B,C,D, E
I	Coarse	2,000 x 2,000	1:500,000 1:250,000	Some functional planning; primarily, comprehensive planning of large regions	Broad areas, such as states	10-100 meters	1-5 years	B,C,D,E

A - Low-Altitude Photography - operational
B - Medium-Altitude Photography - operational
C - High-Altitude Photography - operational
D - Landsat Currently Used - Experimental & Limited
E - Landsat Currently Used - Quasi-operational

NASA-S-76-10502

3º JOINT USER - NASA DEMONSTRATION AND EVALUATION PROJECTS

PROJECT	USERS	STATUS (COMP. DATE)	LOCATION	APPLICATION
• LARGE AREA CROP INVENTORY EXPERIMENT*	USDA/NOAA	ONGOING (1978)	U.S./GLOBAL	WHEAT FORECASTS
• OPERATIONAL APP'L SNOWCOVER OBSERVATIONS*	USDI/USACE	ONGOING (1979)	NORTHWEST U.S.	WATER FORECASTS
• WATER MANAGEMENT AND CONTROL*	USACE	PLANNING (1979)	U.S. WATERSHEDS	WATER MANAGEMENT
• FOREST RESOURCES INFORMATION SYSTEM*	ST. REGIS PAPER	PLANNING (1979)	SOUTHEAST U.S.	TIMBER MANAGEMENT
• WILDLAND VEGETATION INVENTORY*	BLM/USGS	PLANNING (1979)	WESTERN U.S.	VEGETATION INVENTORY
• LA ENVIRONMENTAL INFORMATION SYSTEM*	USACE	ONGOING (1977)	LOUISIANA	LAND USE MAPS
• APPALACHIAN STRIP MINING/LAND COVER	ARC[1] STATES	PLANNING (1980)	APPALACHIA	SURFACE MINE MONITORING
• MISS. NATURAL RESOURCES INVENTORY SYSTEM*	STATE OF MISS.	ONGOING (1978)	MISSISSIPPI	LAND USE PLANNING
• LAND COVER CHANGE DETECTION/UPDATE*	USGS	PLANNING (1979)	U.S.	UPDATED LAND USE MAPS
• CENSUS - URBANIZED AREA*	CENSUS BUREAU	PLANNING (1981)	U.S. URBAN AREAS	URBAN BOUNDARY MAPPING
• LAND RESOURCES INVENTORY DEMONSTRATION	USGS/PNRC[2]	ONGOING (1980)	PACIFIC N.W.	LAND USE PLANNING
• FOREST APPLICATIONS	USFS	ONGOING (1977)	TX GULF COAST	FOREST INVENTORY
• COASTAL ZONE INVENTORY	STATE OF TEXAS	ONGOING (1977)	TX GULF COAST	COASTAL ZONE MAPS
• WILDLIFE HABITAT MONITORING	STATE OF TEXAS	ONGOING (1977)	TEXAS	WILDLAND MAPPING
• WESTERN ENERGY MONITORING	E.P.A.	ONGOING (1979)	WESTERN U.S.	MINE POLLUTION MONITORING
• TX NATURAL RESOURCES INFORMATION SYSTEM	STATE OF TEXAS	ONGOING (1980)	TEXAS	NATURAL RESOURCES MAPS
• GA TECHNOLOGY TRANSFER	STATE OF GA	ONGOING (1978)	GEORGIA	LAND USE PLANNING
• MILUS	SEVERAL/VARIED	ONGOING	U.S.	LAND USE PLANNING
• ALA RESOURCES INFORMATION SYSTEM	STATE OF ALA	ONGOING (1976)	ALABAMA	LAND USE MAPS
• TENN INFORMATION RETRIEVAL SYSTEM	STATE OF TN	ONGOING (1976)	TENNESSEE	LAND USE MAPS
• INTRALAB	MANY/VARIED	ONGOING	U.S.	TECHNOLOGY TRANSFER
• DETECTION AND MAPPING PACKAGE	USACE/STATES	COMPLETED	U.S.	SURFACE WATER MAPS
• SOILS ASSOCIATION MAPPING DEMONSTRATION	USDA	PROJECTED (1979)	U.S.	SOILS MAPS

* - APPLICATION SYSTEM VERIFICATION AND TRANSFER PROJECT (ASVT)
1 - APPALACHIAN REGIONAL COMMISSION
2 - PACIFIC NORTHWEST REGIONAL COMMISSION

TABLE 8. USERS OF ERS DATA IN STATE GOVERNMENTS[1-4]

Alabama	Geological Survey of Alabama
Alaska	Office of the Governor University of Alaska Federal/State Joint Land Use Planning Commission
Arizona	Department of Revenue Department of Transportation
Arkansas	University of Arkansas
California	University of California Department of Water Resources Department of Food and Agriculture
Colorado	Department of Natural Resources University of Colorado Colorado State University Colorado School of Mines
Connecticut	Connecticut Department of Environmental Protection
Delaware	Department of Natural Resources and Environmental Control University of Delaware
Florida	Department of Natural Resources Department of Administration Department of Transportation
Georgia	State Department of Natural Resources
Hawaii	Department of Planning and Economic Development University of Hawaii
Idaho	State Planning and Community Affairs Agency University of Idaho
Illinois	State Department of Conservation University of Illinois
Indiana	Indiana Department of Natural Resources Purdue University
Iowa	Iowa Geological Survey Iowa Office of Planning and Programming
Kansas	Kansas Geological Survey University of Kansas
Kentucky	Department of Natural Resources and Environmental Protection University of Kentucky
Louisiana	Office of the Governor Louisiana State University
Maine	Department of Transportation Department of Environmental Protection Maine State Planning Office
Maryland	Department of State Planning State Geological Survey Maryland Bureau of Mines Department of Natural Resources University of Maryland
Massachusetts	Department of Natural Resources Department of Public Works
Michigan	Department of Natural Resources Michigan State University University of Michigan

TABLE 8. (Continued)

STATE	
Minnesota	Minnesota State Planning Agency Department of Natural Resources University of Minnesota
Mississippi	Mississippi Office of Science and Technology
Missouri	Department of Natural Resources Office of Administration University of Missouri
Montana	Department of Conservation and Natural Resources Montana University
Nebraska	Nebraska Geological Survey University of Nebraska
Nevada	Department of Conservation and Natural Resources University of Nevada
New Hampshire	New Hampshire Geological Survey University of New Hampshire
New Jersey	Department of Environmental Protection
New Mexico	State Planning Office Bureau of Mines and Mineral Resources
New York	Department of Natural Resources, Cornell University Division of State Planning State Geological Survey State Department of Conservation
North Carolina	Department of Economic and Natural Resources State Planning Office North Carolina State University
North Dakota	North Dakota State University
Ohio	Department of Economic & Community Development Department of Natural Resources Environmental Protection Agency
Oklahoma	Oklahoma Geological Survey University of Oklahoma
Oregon	Department of Environmental Quality Oregon State University Department of Forestry
Pennsylvania	Department of Environmental Resources Pennsylvania State University
Rhode Island	Department of Natural Resources University of Rhode Island
South Carolina	State Development Board South Carolina Water Resources Commission University of South Carolina
South Dakota	South Dakota State Planning Bureau South Dakota State University University of South Dakota
Tennessee	Office of the Governor University of Tennessee
Texas	Office of the Governor - General Land Office Texas A&M University Texas Parks and Wildlife Department University of Texas Texas Water Development Board
Utah	Department of Natural Resources University of Utah
Vermont	Vermont Agency of Environmental Conservation University of Vermont

TABLE 8. (Continued)

Virginia	Department of State Planning and Community Affairs
	Virginia State Water Control Board
	Virginia Institute of Marine Science
Washington	Department of Natural Resources
	University of Washington
West Virginia	Department of Natural Resources
	West Virginia University
Wisconsin	Department of Natural Resources
	Department of Administration
	University of Wisconsin
Wyoming	Wyoming Department of Land Use and Planning
	Wyoming Department of Economic Planning and Development
	University of Wyoming
	Wyoming Geological Survey

TABLE 10. MAJOR FEDERAL AGENCIES USING ERS/LANDSAT DATA[1-4]

Department of Agriculture • Agricultural Research Service • Forest Service* • Economic Research Service • Soil Conservation Service* • Statistical Reporting Service* • Foreign Agriculture Service	Department of Commerce • National Oceanic and Atmospheric Administration* • Social and Economic Statistics Administration • Economic Development Administration	Department of Defense • U.S. Army Corps of Engineers* • Defense Mapping Agency
Department of Interior • Bureau of Outdoor Recreation • Bureau of Land Management* • Bureau of Mines • Bureau of Reclamation • Geological Survey* • Fish and Wildlife Service • National Park Service	Department of Transportation • U.S. Coast Guard • Federal Highway Administration Department of State • Agency for International Development • American Embassy Offices	Federal Agencies and Commissions • Energy Research and Development Administration • Environmental Protection Agency • National Aeronautics and Space Administration* • Tennessee Valley Authority

* Most frequent Federal Government ERS data users - based primarily on frequency of ERS data orders from various data centers.[1-4]

TABLE 12. MAJOR COLLEGES AND UNIVERSITIES WHO ARE USERS OF ERS DATA[1-4]

Alabama, University of (a)
American University (a)
Arizona State University (a)
* Arizona, University of (a)
Arkansas, University of
* Alaska, University of
Bringham Young University (a)
* California State College
* California State University (a)
(Various Branches)
* California, University of (a)
(Various Branches)
Clemson University (a)
* Colorado State University (a)
Colorado, University of
Columbia, University of
Cornell University (a)
Dartmouth College
* Delaware, University of (a)
Florida, University of (a)
Florida Atlantic University (a)
Georgia Institute of Technology (a)
Georgia, University of (a)
Harvard University
Hawaii, University of (a)
Houston, University of
Idaho, University of (a)
Illinois, University of (a)
Indiana University (a)
Iowa State University
Iowa, University of (a)
Kansas, University of (a)
Kentucky, University of (a)
Louisiana State University (a)
Maryland, University of (a)
Massachusetts Institute of Technology (a)
* Michigan, University of (a)
* Michigan State University (a)
Michigan Tech University (a)
Minnesota, University of (a)
* Mississippi State University (a)
Mississippi, University of
Missouri, University of (a)
Montana, University of
* Nebraska, University of (a)
Nevada, University of (a)
New Mexico, University of (a)
New York, State University of (a)
North Carolina State University (a)
North Dakota, University of (a)
Ohio State University (a)
Ohio University
Oklahoma State University (a)
Oklahoma, University of (a)
* Oregon State University (a)
* Pennsylvania State University (a)
* Pennsylvania, University of
Pittsburgh, University of (a)
* Purdue University (a)
Rice University
Rutgers State University (a)
South Carolina, University of (a)
* South Dakota State University (a)
South Florida, University of
Southern California, Univ. of (a)
Southern Illinois, Univ. of
* Stanford University (a)
Tennessee, University of (a)
* Texas A&M University (a)
Texas Tech University (a)
* Texas University of (a)
Utah, University of (a)
Utah State University (a)
Virginia Polytechnic Institute
Washington State University
* Washington, University of (a)
West Virginia University (a)
* Wisconsin, University of (a)
Wyoming, University of (a)
Yale University

* Most frequent data users.

(a) Institutions having remote sensing programs.[22]

5° Quelques coûts indicatifs

LAND USE SURVEY COMPARISON COST

Task	Windshield Survey 3 Counties	Aerial Photos 6 Watersheds	Landsat (Budget) 7 Counties
1. Maps, Photos or Tape	$ 119.40	$ 18.75 *	$ 240.00
2. Travel	519.96	Minimal	600.00
3. Classification (Equipment & Manpower)	50,000.00	12,500.00	2,929.00
4. Measure Land Use & Tabulate	30,000.00	8,200.00	4,625.00
5. Ground Checking	NA	Minimal	625.00
6. Prepare Maps	20,000.00	4,000.00 **	5,615.00
7. Miscellaneous Materials	500.00	75.00	750.00
	$101,138.00	$24,793.00	$15,384.00
			(35,000 Sq. Miles)

* Photos borrowed - no charge, includes U.S.G.S. quad charges.

** Maps still being worked on.

Table B-7:

Cost of Level-II Land Use Maps (Alternative Method)

1:250,000 Scale, 19,500 km^2/Map Sheet

Step	Time	Cost/Hr.	Cost	Cost/km^2*
1. Collect data				
a) LANDSAT CCT's			$ 480**	.02
b) ground truth	40	$16	$ 640	.03
2. Preprocess data				
a) reformat			$ 100	
b) geometrically correct			$ 2,475	
c) overlay			$ 7,375	
SUBTOTAL			$ 9,950	.51
3. Process data (LARSYS)				
a) classify by max. likelihood ratio: assume 3 iterations			$11,700	.60
b) cluster classified data: assume 3 iterations			$ 750	.04
c) computer programmer	12	$20	$ 240	.01
4. Output and Print Data			$ 1,360	.07
TOTAL			$25,120	1.28

*Based on 19,500 km^2/map sheet.

**One 1:250,000 scale map sheet covers approximately 60 percent of one LANDSAT frame. The cost of one LANDSAT frame has been reduced proportionately under the assumption that an alternative system could utilize the remaining portion of the frame for additional products.

Costs of Level II Land Use Maps (Operational Method)
@ 1:24,000 Scale

Steps	Time	Hour Rate	Cost	Cost/km^2
1. Acquire Data			$ 22	.14
2. Mosaicing	6		930	6.00
3. Interpretation	9.3	$20	186	1.20
4. Cartographic	3.1	$12	38	.24
a) marginalia			194	1.25
5. Reproduction and Printing			480	3.10
TOTAL (per 155 km^2 sheet)			$ 1,850	11.93

*Estimate in this table are taken from costs cited in reference (B-7)

Costs of Level II Land Use Maps (Operational Method)
@ 1:250,000 Scale

Steps	Time	Hour Rate	Cost	Cost/km^2
1. Acquire Data H/A Coverage			$ 975	.05
2. Mosaicing			$ 3,120	.16
3. Interpretation	488	$20	$ 9,760	.50
4. Cartographic	156	$12	$ 2,150	.11
5. Reproduction and Printing			$ 1,365	.07
Total Cost: (per $19,500 km^2 sheet)			$17,370	.88

*Costs in this table are taken from costs cited in reference (B-7).

ANNEXE 3 : l'utilisation actuelle de la photographie aérienne

Les prises de vue aériennes et la photointerprétation ont connu au cours des dernières années trois types de développement dont les effets risquent, dans un avenir proche,de peser sur les méthodes d'exploitation et d'interprétation de la télédétection :

1°- L'apparition d'optiques et de nouvelles émulsions à haut pouvoir résolvant,en même temps que la disponibilité d'avions légers mais susceptibles d'opérer à haute altitude,a conduit progressivement au développement de prises de vue à petite et moyenne échelle (1/50 000 - 1/110 000) sur de vastes régions : on peut citer à titre d'exemple la couverture 1/110 000 pour le compte de la Mission Méditerranée qui a permis de dresser un bilan des formations végétales brûlées,ainsi que la mission 1/110 000 sur la Région Centre en cours d'interprétation par l'AREAR, l'OREAC et le BDPA.De telles missions ,permettant de rassembler l'information sur un petit nombre de documents,offrent de bonnes résolutions.De ce fait elles tendent à être utilisées de manière répétitive pour certaines applications.

2°- L'utilisation de filtres interférentiels soit dès l'acquisition soit lors du traitement permet à la photographie de concurrencer les radiomètres multi-spectraux dans tous les cas où une très bonne résolution spatiale est nécessaire.

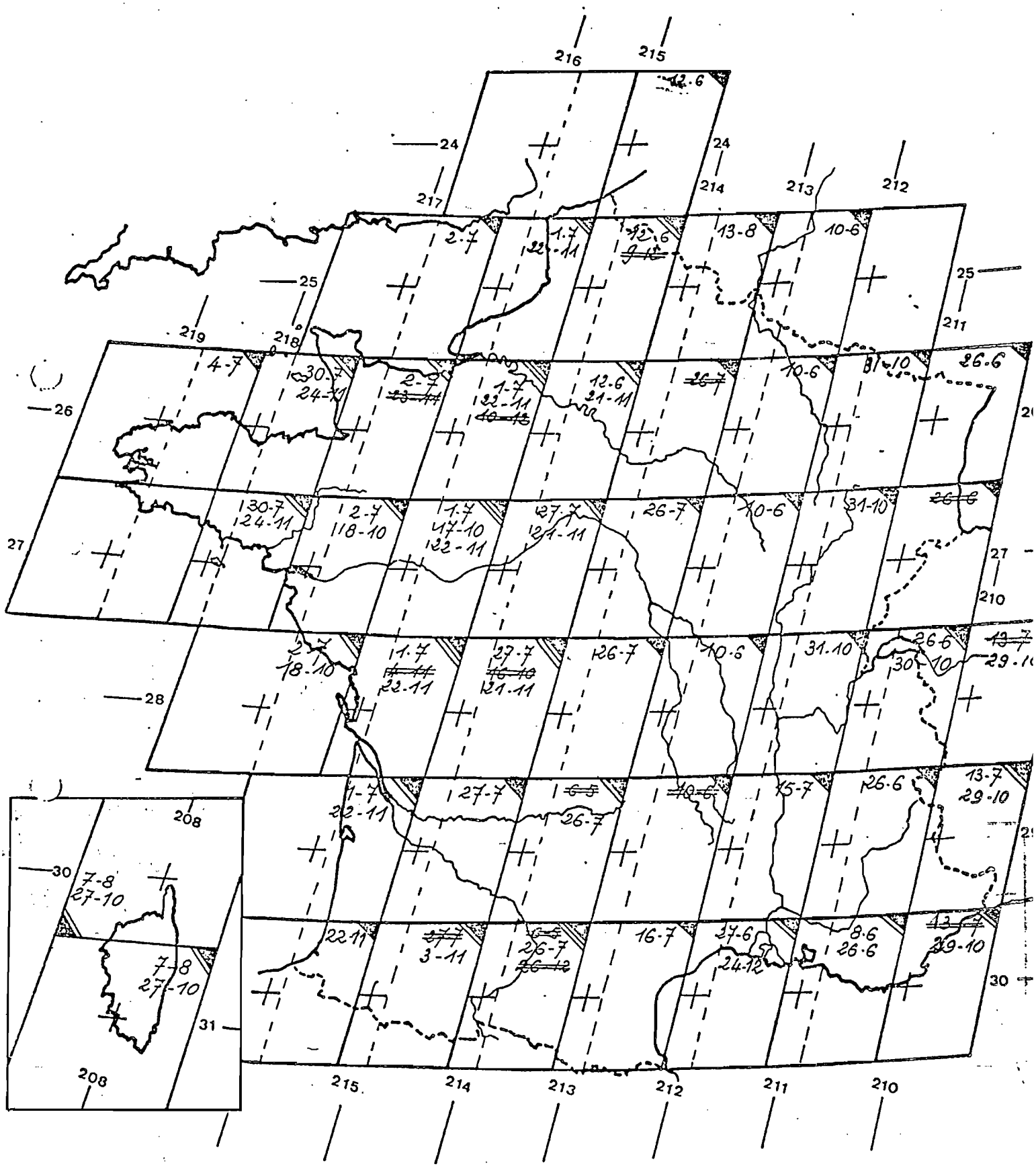
3°- Longtemps la photointerprétation est resté limitée à l'identification d' objets simples et à l'analyse des faits de paysages reconnus.Depuis quelques années,tant dans le domaine des sciences de la terre que dans celui des sciences humaines,les recherches portent de plus en plus sur la mise au point de "modèles naturels".Il s'agit,à partir d'une connaissance approfondie de la projection spatiale d'un phénomène,de trouver l'ensemble des parties de l'image où se trouve l'i nformation recherchée et les processus d' association du spectral et du spatial qui permettent de l'extraire.La démarche inverse est également suivie:certaines recherches s'efforcent de découvrir les relations d'ordre existant entre les composantes de l'image,de définir des classes de structures et d'en donner une signification.

Plus généralement,cette nouvelle photointerprétation tend à passer de la description à la recherche de l'explication.Dans ces démarches elle fait appel à l'analyse des structures,aux corrélations entre des faits de paysage directemen t observables et des faits naturels ou sociaux dont on ne trouve que des traces au sol.Le développement ultime de ces recherches est l'association de la photo aérienne et des sondages spatiaux.

ANNEXE 4

IMAGES LANDSAT 1975

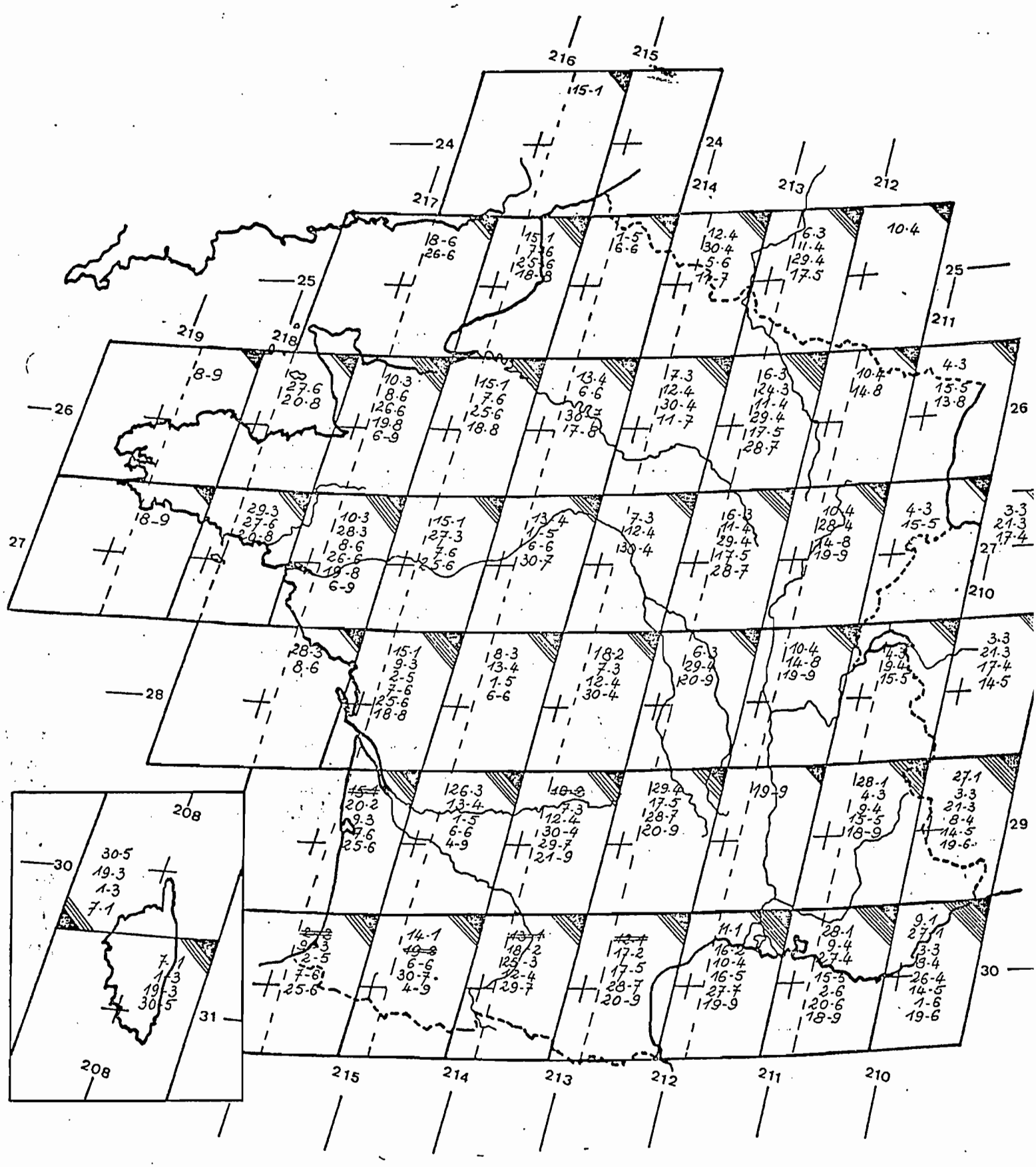
ACQUISES PAR LE GDTA



77 images au total.
- 14
63 " " "

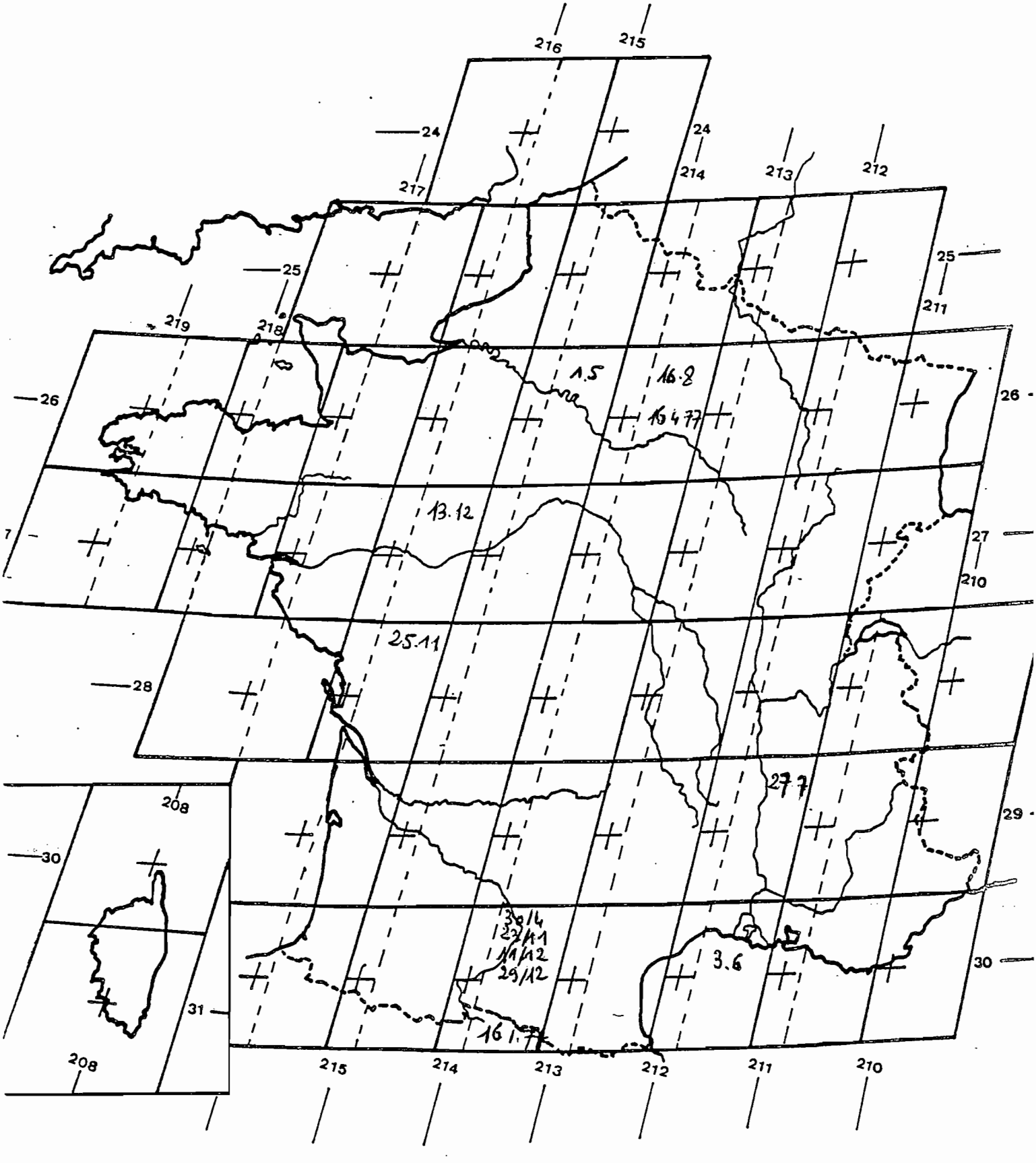
IMAGES LANDSAT 1976

ACQUISES PAR LE GDTA



le 19 octobre 76 · total 188 images

1976 (suite)


216
215
24
24
217
214
213
212
25
25
211
219
218
1.5
16.8
16.4.77
26
26
13.12
27
210
25.11
28
27.7
29
208
30
30
31
3.6
16.1.7
208
215
214
213
212
211
210