

RAPPORT de STAGE
sur la Télédétection
(26 Sept. - 7 Nov. 1975)
à l'Institut Français du Pétrole

Y. BOULVERT

ORSTOM-BANGUI
Novembre 1975

Diffusion interne

RAPPORT de STAGE

sur la Télédétection (optique "automatisme")
suivi du 26 septembre au 7 novembre
à l'Institut Français du Pétrole : I.F.P. - Rueil-Malmaison
dans le cadre de l'O.F.E.T.
(Organisation Française d'Enseignement de la Télédétection).

Y. BOULVERT

Maître de Recherches ORSTOM

ORSTOM-BANGUI

Novembre 1975

S O M M A I R E

- I - Panorama de la Télédétection
 - 1 Théorie de la Photo-Interprétation (Notion de Texture - Structure)
 - 2 Les systèmes à balayage
 - 2A- Sonars et radars
 - 2B- Thermographies
 - 3 Traitements des données
 - 3A- Traitements photographiques : Isodensités ou Equidensités
 - 3B- Traitements optiques des photographies : Laser
 - 3C- Traitements automatiques ou numériques
 - 4 Premières conclusions et propositions
- II - Interprétations et applications :
 - 1 - Formations superficielles - Pédologie
 - 2 - Végétation
 - 3 - Inventaire intégré de paysages
 - 4 - Urbanisme et archéologie
 - 5 - Détection des pollutions
 - 6 - Etude des linéaments
 - 7 - Etude des photographies ballons et Mystère 20 au 2/100.000
 - 8 - Présentation des programmes de satellites de ressources terrestres
 - 9 - Utilisation de satellites météo pour les Sciences de la terre
 - 10 - Courants éoliens transahariens
 - 11 - Visite de MATRA
- III - Les images LAND SAT (ou ERTS)
 - 1 Intérêt
 - 2 Résultats obtenus
 - Agriculture - Végétation
 - Géologie structurale et tectonique
 - Géomorphologie et Pédologie
 - 3 Exemples d'utilisations géologiques en R.C.A.
 - 4 Conclusions
 - 5 Propositions
- IV - Eléments bibliographiques

Dans ce compte-rendu de stage, nous n'avons pas voulu nous étendre sur la partie théorique (physique et mathématique) ni sur la partie technique des appareillages . Nous renvoyons pour cela au livre d'Initiation à la Télé-détection de C. et M. GIRARD , aux deux numéros spéciaux de "la Recherche Spatiale" , ou aux articles spécialisés (GUY , FONTANEL , TORRES ...) . Nous avons surtout essayé de faire ressortir ce qui pouvait présenter de l'intérêt présent ou futur pour nous , pédologues ORSTOM (et nos collègues géophysiciens, botanistes ...) .

I - PANORAMA DE LA TELEDETECTION

1. - Au cours de ce stage, M. GUY, Directeur du stage, nous présente un panorama de la Télédétection et une théorie de la photo-interprétation.

La méthode que nous employons dans la pratique est une méthode empirique : méthode des clefs ou globale. M. GUY préconise une méthode analytique utilisant les notions de Texture et de Structure.

La texture est l'ensemble fourni en extension des éléments textureux. Un élément textural d'une image est la plus petite zone continue et répétée dans laquelle un changement de caractère n'est pas décelable, ex.: niveau de gris. La structure est l'ensemble défini en compréhension des éléments structuraux. Les éléments structuraux sont définis par les relations répétées qui existent entre les éléments textureux.

Un problème classique de photo-interprétation est celui du tracé des limites. On le résout par l'étude du voisinage d'un point, des bords extérieurs et intérieurs. Des travaux pratiques furent réalisés sur des études de parcelaire, de chronologie, d'analyses du relief, de géologie structurale.

2. - Après une revue des divers émulsions photographiques (panchromatique, couleur, infra-rouge (1), fausses couleurs ...), les divers systèmes de balayage (scanners) furent présentés : scanners multi-spectraux, spectro-radiomètres (sonars et radars), scanners, infra-rouge (thermographies).

(1) : La photographie infra-rouge donne de bons résultats en régions équatoriales : la brume sèche est transparente dans l'I.R.

2A - Sonars et Radars (Conférencier Mr. FONTANEL)

Principe

Les SONARS (Sound Navigation an Ranging), tirés par un bateau, sont des appareils qui donnent des images du fond de l'eau en utilisant une onde acoustique, un ultra-son. Par contre, les RADARS (Radio Détection and Ranging) sont portés par avion, (en télédétection) et utilisent le domaine des hyperfréquences ou micro-ondes (λ d'ordre millimétrique, métrique ou plus)

Intérêt

Les ondes électromagnétiques utilisées ont une bonne propagation dans l'atmosphère quelles que soient les conditions météorologiques; on peut ainsi obtenir l'équivalent d'une photographie aérienne, même s'il y a des nuages. Le radar est un détecteur de jour et de nuit, tout temps.

Par ailleurs, les micro-ondes sont susceptibles de pénétrer dans les sols. Leur pouvoir de pénétration est fonction de la longueur d'onde reçue et de l'humidité des sols. D'après ESRO, les possibilités de lecture des sols par les radars sont les suivantes (Fig.1).

Cette courbe reste théorique : pour le moment, on ne dispose pas de radar de longueur d'onde suffisante.

Dans les nouveaux radars à antenne non plus réelle mais synthétique (qui utilisent l'effet Doppler), le pouvoir de résolution est bien meilleur (quelques mètres) ; le film n'est plus alors une image optique mais un hologramme qu'il faut retranscrire.

Les eaux absorbent complètement les ondes radar; elles apparaissent en noir. Ceci fournit une remarquable information pour les plaines alluviales et les régions amphibies.

L'angle d'incidence des rayons radars commande leur réflexion vers le capteur. Il en résulte des "effets d'ombre" visuellement comparables à ceux que produit l'estompage des cartes photographiques. Plus la pente des versants est forte, plus l'effet d'ombre est net. Malgré l'échelle (petite), le modelé de dissection est extrêmement visible (TRICART, 1973).

Surtout la végétation est peu visible (elle est assez pénétrable aux ondes radars de 30mm). Le voile constitué par la forêt dense est presque totalement éliminé.

Les principes d'interprétation sont ainsi les suivants :

- dans les régions de dissection, l'étude repose sur une analyse physiologique des modelés de dissection;
- dans les régions d'accumulation, l'humidité est un facteur important bien visible.

En conclusion, l'utilisation du radar paraît à recommander pour réaliser des inventaires rapides sur de très grandes surfaces et en particulier pour l'étude des zones de forêts denses, peu pénétrables, pour lesquelles les photographies classiques sont souvent délicates à interpréter en raison de la couverture végétale, sans parler de la couverture nuageuse. Un radar monté dans une caravelle volant à 11.000 mètres a été utilisé pour la reconnaissance des ressources de l'Amazonie (projet RADAM). Cette étude reste à faire en Afrique Centrale. Certes l'investissement est très coûteux; il paraît à la portée des "pays pétroliers" (Gabon et bientôt Congo).

2B - Les thermographies ou images thermiques (Confé. M. TORRES)

Principe

Ce type de scanner mesure le rayonnement thermique des objets (d'où l'on peut déduire la température de ces objets survolés si leur émissivité ne varie pas). Comme l'intensité du signal transmis croît avec la température, on obtient ainsi une image électrique des températures. Ce qui est "froid" apparaît noir, ce qui est chaud apparaît blanc.

Compte-tenu des "fenêtres" de transmission de l'atmosphère, les secteurs d'enregistrement de ce type de scanner sont l'infra-rouge moyen entre 3 et 5 μ (cas du scanner Cyclope) et l'infra-rouge lointain entre 8 et 14 μ (cas du scanner L.M.D.).

Intérêts :

Ces techniques peuvent permettre :

- la perception de la surface du sol sous la végétation et même de la roche-mère sous une pellicule d'altération. Des filons masqués pourraient être détectés en surface par leur comportement thermique.
- l'étude du comportement des sols à l'insolation, au refroidissement, à la pluie.
- une visualisation de l'humidité relative. On repère l'accumulation d'air froid dans les fonds de vallée, au cours de la nuit.

Inconvénients :

- L'interprète doit acquérir la connaissance globale de tous les phénomènes thermodynamiques déterminant l'aspect de l'image thermique, ce qui est délicat.
- Les moyens de traitement de l'information (comparaison, modèles) ne sont pas opérationnels.
- Le matériel d'enregistrement actuel n'est pas adapté. Les déformations géométriques sont telles que l'utilisation cartographique est pour l'instant exclue (C. TORRES). D'autres altérations sont dues au système électronique (contrôle de gain).
- Pour M. GIRARD, l'infra-rouge moyen ne donne rien du point de vue des sols; peut-être pourra-t-on tirer quelque chose de l'infra-rouge lointain.

3. - Traitement des données.

Les différentes données peuvent être enregistrées sous deux formes: soit analogique, soit numérique.

Un enregistrement analogique, fait correspondre à une variation d'intensité d'un phénomène, une variation d'intensité d'un autre phénomène. Ainsi, en photographie, une variation de la couleur du sol correspond à une variation de l'intensité du grisé.

Un enregistrement numérisé (ou "digitalisé") fait correspondre aux diverses intensités d'un phénomène des valeurs chiffrées. Les niveaux de gris reçus sous forme d'impulsions électriques sont numérisés, stockés sur bandes magnétiques. De telles données peuvent être analysées par un ordinateur, transcrites sur "listages" (imprimantes).

Traitements optiques et photographiques :

L'augmentation des contrastes des images peut être améliorée artificiellement.

3A - Traitement photographique : Méthode des isodensités ou équidensités
(Conférencier Mr. BICHET).

On analyse les différences de hauteurs des signaux d'un enregistrement électro-magnétique ou photographique et on les classe dans une série croissante par tranches successives. Chaque tranche ayant été isolée, on la transpose dans des couleurs conventionnelles en fonction des thèmes choisis. On peut cartographier des plages d'égale densité en éliminant les plages de densités supérieures ou inférieures par des jeux de masques et contre-masques.

L'analyse peut être réalisée par des simples manipulations photo-chimiques :

1/-Procédé Kodak-Pathé par masques successifs (CAZABAT, 1971)

A partir d'un négatif, on tire de nombreux positifs à des temps de pose différents. On recompose deux à deux, (positifs et négatifs) les niveaux de gris. La méthode est longue et fastidieuse.

2/-Procédé Agfa-Gevaert (film Agfa-contour-Transparex) par masque direct (RANZ, 1971).

Le même film a la propriété d'avoir une couche positive et une couche négative. On obtient les contours mais pas les valeurs.

3/-Procédé Minnesota 3M (Color-Key ou Pantone) par masques successifs.

Les films "Color-Key" sont des films polyesters, transparents, sensibles à la lumière ultra-violette. Ils se manipulent à la lumière ambiante, évitent donc la chambre noire. Ils existent en 9 couleurs transparentes dont les 4 couleurs de base : magenta, jaune, cyan, noir.

Intérêt des Equidensités colorées pour le photo-interpréteur :

- . Il peut décomposer l'image en autant de bandes qu'il le désire.
- . Il a la possibilité de combiner l'information contenue dans tout ou partie d'un canal avec celle contenue dans tout ou partie d'un autre canal.
- . Il peut additionner ou soustraire l'information d'un canal à celle d'un ou plusieurs autres et analyser ensuite le résultat obtenu.

Les équidensités colorées trouvent leur meilleur emploi dans des régions plates où les structures naturelles sont visibles par leur état de surface. Nul relief, nulle ombre ne vient perturber le message initial. (Si une partie de la photo est à l'ombre des nuages, on ne peut comparer les deux parties de la photo en isodensités. Il en serait de même pour les feux de brousse).

Equidensités électroniques (DIGICOL de la Société I.S.)

Cet appareil comprend une caméra de télévision sous laquelle on place l'objet à observer : photographie, contact papier ou film. Cet objet est éclairé de façon uniforme. L'information captée par la caméra est dirigée dans un ordinateur où elle est séparée en différents niveaux de densité. Un système permet de faire correspondre une couleur à un niveau de densité (on a le choix entre 8, 16 et 32 couleurs). C'est une image en couleurs qui apparaît sur l'écran de télévision, en fin de circuit. On fait varier, comme on le désire, la correspondance couleur, niveau de densité. Ce système permet de sélectionner très rapidement les niveaux à mettre en évidence. En manipulant les boutons de couleurs, on peut aussi bien supprimer une des 32 couleurs que toutes les couleurs sauf une, on obtient alors en équiréfectance, l'image noir et blanc correspondant à cette couleur. L'appareil permet de faire une mesure de la surface, en pourcentage de l'écran, de chacune des couleurs.

Propositions

Il semble que dans un premier temps, un technicien du laboratoire photographique de Bondy pourrait se spécialiser dans ces méthodes de traitements photographiques (Color-Key notamment) pour répondre aux demandes des Chercheurs. L'acquisition d'un Digicol représente en effet un investissement important (100.000F selon NATRA).

3B - Traitement optique des photographies (Conférencier M. BOISSARD)

Le filtrage optique consiste à former le spectre à deux dimensions du cliché étudié en lui faisant diffracter la lumière cohérente fournie par un laser. Les interférences formées à l'infini par ces rayons diffractés représentent la transformée de FOURIER du document, c'est-à-dire son spectre à deux dimensions. En masquant certaines parties du spectre, on peut en effet supprimer certaines fréquences spatiales ou certaines directions présentes sur l'original ou au contraire les isoler pour les faire apparaître seules.

Ce procédé rend de grands services en géologie où l'on peut détecter des réseaux de diaclasses ou de failles, en géomorphologie où, dans un pays recouvert de végétation, on peut retrouver les directions structurales par l'analyse de directions du réseau hydrographiques.

La transformation de FOURIER est un moyen pour trier l'information par direction. En effectuant des mesures sur le spectre des fréquences spatiales d'une photographie (i.e. en enregistrant sa figure de diffraction), le photo-interprète peut atteindre certaines grandeurs statistiques de la photo. Le travail de BOISSARD (1974) en est une application à l'étude de la végétation.

3C - Traitement automatique ou numérique des images de Télédétection

(Conférenciers MM. FONTANEL et GUY)

Depuis le lancement du satellite ERTS-1, les enregistrements sont faits à bord du satellite sur bandes magnétiques (enregistrement numérique ou digital). L'information peut donc être traitée de manière quantitative sur ordinateur permettant d'envisager la cartographie automatique.

Deux tendances méthodologiques se sont manifestées: l'une américaine utilise la "reconnaissance des formes" (pattern recognition), l'autre cherche à décomposer le comportement des photo-interprètes, appliquant les 3 étapes de la méthode analytique de photo-interprétation (M.GUY) : la Texturation consiste à distinguer le plus grand nombre de classes significatives d'objets; la Structuration étudie les relations de position et la signification des éléments

texturaux; enfin la Modélisation fait correspondre aux différentes structures, une propriété de l'objet étudié ou plus généralement un thème.

Quelques méthodes de texturation :

- 1) - Analyse discriminante. C'est une méthode supervisée : on connaît sur l'image des éléments de référence (zones test) et on recherche sur le reste de l'image, des objets correspondants. Cette analyse permet de séparer une population de n individus formant une image M en sous-nuage M_j (ou classes d'appartenance). Chacun des points de l'image est affecté à une sous-classe par application du projecteur a.i. (vecteur discriminant) ou vecteur caractérisant le point à classer.
- 2) - Analyse en composantes principales. Il n'est plus nécessaire de déterminer des zones tests mais seulement de choisir un certain nombre de points représentant statistiquement l'ensemble des classes (ou sous-nuages) à différencier dans l'image. En pratique, cette technique revient à faire tourner les axes de référence. Par le calcul, on recherche la meilleure combinaison linéaire de valeurs pour concentrer le maximum de résultats sur une variable. On fait appel à des inversions de matrice. Cela revient à rechercher les valeurs propres des vecteurs de covariance; il y a suppression de la redondance (i.e. du surplus d'information).
- 3) - Analyse adaptative (non supervisée) . Cette méthode consiste à déterminer, à partir des différents points de l'image, un algorithme de classification, grâce auquel chaque classe est définie en fonction de l'appartenance des points qui la composent à une certaine loi d'allure gaussienne. Chaque loi peut être par exemple caractérisée par le vecteur correspondant à son centre de gravité et sa matrice de covariance. On procède à plusieurs itérations avant d'aboutir à la classification définitive. Le processus est entièrement automatique en ce sens qu'aucune zone-test n'est à définir.

Eléments de structuration :

- 1) - Compacité spatiale. A la fin de l'analyse texturale, on s'assure que les points d'une classe donnée sont statistiquement entourés d'un nombre suffisant de points de la même classe, étant donné l'échelle à laquelle on travaille. Si cela n'est pas réalisé, cette classe de texture est éliminée.

2) - Régularisation des structures. Il est nécessaire de définir une certaine hiérarchie entre les textures, c'est-à-dire de définir une notion de ressemblance entre les classes. La régularisation consiste alors à modifier un petit élément textural, s'il existe dans son voisinage immédiat une texture "ressemblante" de plus grande étendue.

Ces exemples font appel à des principes de topologie; de nombreux essais déjà publiés utilisent d'autres types de structures (périodicité, directions).

La modélisation consiste à trouver une correspondance entre les structures précédemment déterminées et les propriétés des objets du thème cartographique . Cette étape n'est actuellement qu'ébauchée. On a pu par exemple extraire un cadastre romain d'une photographie aérienne grâce à l'utilisation des propriétés de la transformée de FOURIER Un algorithme topologique permet "d'extraire" les rivières

4. - Conclusion

Ce bref tableau veut seulement donner une idée de la grande diversité du domaine de la Télédétection et de la rapidité d'évolution des techniques. Les traitements optiques avec Laser datent de 1970, le banc optique de l'I.F.P. ne semble plus guère servir. Le "club pétrolier" a financé en 1972 un important programme de recherches sur les applications géologiques de la Thermographie; les résultats ne semblent pas avoir été à la mesure des espérances. Le traitement électronique des équidensités (DIGICOL) voudrait supplanter les traitements photographiques.

Les travaux de recherche se tournent de plus en plus vers le traitement numérique des données et l'automatisation de la cartographie thématique. Pour l'I.F.P., MATRA - ce sont les techniques d'avenir.

En Pédologie, Végétation - , aucun algorithme de formulation des limites n'a encore été établi. (Cela impliquerait que l'on définisse exactement pourquoi on dessine telle limite sur une carte pédologique, de façon à pouvoir décomposer les opérations, puis formuler un programme pour diriger l'ordinateur). On espère y arriver en Géologie.

Propositions

Les techniques évoluent très vite et l'ORSTOM doit se tenir au courant de cette évolution. Le programme de stage (option automatisme) comportait pendant les quinze derniers jours une initiation à l'Informatique (MM. GUY - DUBESSET...) : Cours de FORTRAN, intimement mêlé d'applications pratiques : préparations de programme de moins en moins simples en bénéficiant comme tout membre de l'I.F.P. de la présence du plus gros ordinateur en service en France: le Control Data 7600.

Bien que nous ayons fait d'énormes progrès (puisque partis de zéro) , nous ne pouvions en quinze jours être "opérationnels". Seuls nos collègues restant à l'I.F.P. (Stage 548 de 6 mois et demi : Formation approfondie en Télédétection et Automatisation) pourront l'être. C'est ce type de stage que devra suivre le pédologue choisi pour faire un travail personnel en automatisme.

II. - INTERPRETATIONS - APPLICATIONS

En dehors des exposés théoriques sur les méthodes de la Télédétection d'autres exposés et travaux pratiques furent consacrés aux applications et interprétations de ces méthodes. Signalons :

1) - Formations superficielles - Pédologie (M. GIRARD - INA)

Des études de réflectance (rapport de l'énergie totale réfléchie par unité de surface à l'énergie incidente) retenons que : la texture des sols joue un grand rôle dans leur comportement spectral. Les sols argileux sont composés d'éléments où l'eau liée est importante tandis que pour les sols sableux, contenant peu d'eau liée, la réflectance pourra être indépendante de la courbe d'absorption de l'eau.

La réflectance d'un sol ne varie pas régulièrement en fonction de teneurs croissantes en eau. Ce phénomène interdit une utilisation simpliste pour rechercher les sols humides.

Seuls les phénomènes intervenant à la surface des sols peuvent être étudiés en Télédétection. Si une croûte sèche se forme sur un sol humide, sa réflectance sera enregistrée et non celle du sol situé dessous.

Etat de surface : les échantillons à surface lisse ont une réflectance directionnelle plus grande que les autres.

Conductivité thermique (dans l'infra-rouge) : un sol sec s'échauffe plus vite le jour et se refroidit plus vite la nuit que le même sol humide. De même, un sol fraîchement remué s'échauffe et se refroidit plus vite que le même sol tassé.

L'Emissivité d'un sol (domaine des hyperfréquences) est fonction des propriétés diélectriques des éléments qui le composent, entre autres de l'humidité. L'émissivité d'un sol humide est beaucoup plus faible que celle d'un sol sec.

L'appréciation des couleurs en Télédétection varie en fonction de la distance à laquelle est vu le sol : plus le sol est vu de loin, plus il est perçu comme rouge.

Influence des éléments chimiques : le calcaire augmente la clarté des sols, la matière organique donne un grisé sombre; le fer contribue à augmenter l'intensité de la teinte mais ce n'est pas systématique.

L'émulsion infra-rouge permet une interprétation de l'humidité du sol. L'émulsion fausse-couleur permet de distinguer les zones très humides (bleu sombre) des zones plus sèches (bleu très clair). Il est facile d'y distinguer les zones de végétation (rouge) des autres (sol nu : bleu).

2) - Végétation (Mme C. GIRARD - INA)

Le comportement des végétaux dans le visible et le proche infra-rouge est sous l'influence des facteurs suivants :

- de 400 à 750nm : influence des pigments des feuilles (Le chlorophylle présente deux bandes d'absorption autour de 400nm (bleu) et 650nm (jaune orange) et un maximum à 550nm : on voit donc les feuilles vertes).
- de 750 à 1300nm: influence de la structure interne des feuilles (notamment de l'importance relative du parenchyme lacuneux).
- de 1300 à 2500nm: influence de l'humidité des feuilles (l'eau de constitution d'un végétal présente deux bandes d'absorption : 1400 et 1950nm).

Influence du couvert végétal sur l'interprétation en Télédétection :

Si le recouvrement R du sol par un végétal est $\leq 15\%$, la réponse est analogue à celle du sol. Si $R \geq 40\%$, le comportement est celui d'un végétal.

3) - Inventaire intégré des paysages (M. DIZIER - BDPA)

Etude de 4 cas :

- Bas-fonds rizicultivables de Côte d'Ivoire : Man, Odienné, Korhogo.
- Zones de rénovation de l'oliveraie en Kabylie
- Delta intérieur du Niger
- Vallée du Loir.

4) - Urbanisme et Archéologie (M. DASSIE)

Utilisation du Bilan Hydrique Intégré pour déterminer les conditions climatiques faisant ressortir au mieux les sites archéologiques en Télédétection.

5) - Détection des Pollutions (M. FONTANEL)

Essentiellement pollution de l'eau par les hydrocarbures.

6) - Etudes des linéaments (M. RIVEREAU)

Les études de l'I.F.P. sur les relations entre les Pyrénées et les Alpes (Projet Pyralp : GUILLEMOT et al. 1973) ont montré l'importance d'un alignement de très grande longueur (environ 1000km) allant de la ville de Gênes jusque dans les Pyrénées occidentales. Deux directions principales d'alignement rappellent un système coulissant de failles conjuguées.

L'I.F.P. termine une étude portant sur 10 Millions de Km² en 350 photos ERTS seulement : carte tectonique du bassin méditerranéen. Deux ou trois grandes familles ressortent d'un apparent fatras de linéaments. Une comparaison avec les cartes sismiques et bathymétriques montre que de grands canyons se situent dans le prolongement des linéaments. La grande fracture de La Mer Morte que l'on arrêtaient en Syrie se prolonge à travers la Turquie orientale jusqu'à la Mer Morte. (Comme pour le Chari au Tchad) un ancien delta du Nil a été détecté à l'Ouest de l'actuel.

7) - Etude des photographies ballons (GIRARD) et Mystère 20 au 1/100.000 (BDPA)

L'étude des photographies ballons du C.N.R.S., prises entre 30 et 35km d'altitude a permis la mise au point des photographies prises actuellement par l'I.G.N. avec un Mystère 20 et une focale de 88. On obtient des photographies à petite échelle 1/100.000, sur lesquelles les distorsions géométriques sont réduites ; ces documents (panchromatique doublé d'un infra-rouge couleur) sont pratiquement superposables à une carte. Autre avantage pour des régions à faible relief comme l'Afrique continentale : le coefficient d'hyper-stéréoscopie est de 5 (il est de 2 seulement pour les photographies classiques). Ce type de document convient pour les études régionales aux fins d'aménagement.

Il nous paraît à recommander pour des pays comme la R.C.A. qui désireraient renouveler une couverture aérienne datant de 20 ans. Une couverture portant sur 4 degrés carrés doit être réalisée prochainement en R.C.A.; nous proposons de l'étudier à titre expérimental.

8) - Présentation des programmes de satellites de ressources terrestres
(Mme CHEVREL - CNES)

Présentation de LAND SAT-1 et 2, des clients agréés LAND SAT, de SKYLAB, de NIMBUS ...

Dans les projets futurs, citons :

- EOS (1980) (Earth Observation Satellite) pour la prévision agricole des récoltes.
- HCM (High Capacity Mapping Mission) (1978) satellite thermique pour mesurer les températures du couvert végétal, différencier les roches, détecter les effluents thermiques, les ressources minérales.
- SEA SAT (1978) Satellite océanographique en hyper-fréquence.
- L'URSS prévoit pour 1979 un satellite héliosynchrone avec un radiomètre multi-spectral de 8 ou 10 canaux.

9) - Utilisation de satellites Météo pour les Sciences de la Terre (J.POUQUET)

Cet auteur attribuait (en 1965) au rayonnement ultra-violet, la responsabilité majeure de la libération massive du fer et moins voyante de Ca++ et Mg++ en conditions tropicales. Désormais, on voit pourquoi ces radiations à courtes longueurs d'onde affectent les régions tropicales. D'après la carte de répartition de l'ozone (NIMBUS III), les teneurs en sont à l'équateur moitié de celles des zones tempérées et surtout des pôles. La teneur minimale s'observe au-dessus de la Côte d'Ivoire.

L'étude des cartes de réflectance (NIMBUS III) montre par exemple au Mali (J.POUQUET 1972 : p.179) les accidents tectoniques, les anciens cours du Niger ...

10) -- Courants éoliens transahariens (Mme MAINGUET, Géog. Phys. Reims)

Les images dues aux satellites météorologiques NOAA3 puis ERTS-1 permettent de démontrer la réalité de trois courants éoliens majeurs transahariens, transporteurs de sable. Leur direction d'ensemble NE → SW, calquée sur celle de l'alizé s'infléchit pour devenir E → W au Sahel. M. GAUVAUD et al. avaient mis en évidence au Niger deux ergs : anciens et récents. L'erg récent redevient-il vivant? c'est le problème de la désertification du Sahel. Si les "silks" (dunes "fil de fer") rejoignent, la désertification suit.

A noter que ces courants éoliens de plusieurs milliers de kilomètres sont susceptibles de remettre en cause les interprétations des paléo-vents en particulier, des paléo-climats en général, lorsqu'ils se basent sur des études polliniques.

11) - Visite de la Division Optique de MATRA (M. LAGRAVE)

En dehors du DIGICCL - I₂S déjà signalé, différents appareils nous furent présentés :

- .Caméra métrique multispectrale MARK I et II
- .Orthophotoplan (restitution d'une projection cylindrique à partir d'une projection conique).
- .Chaîne numérique ou digitaliseur.
- .Scanner Aries (rendu quantitatif : calibration en vol par corps noirs thermostatés)
- .VISU-MAT : (restitution de photographies à partir de données numériques enregistrées sur bandes.
- .Visionneuse à couleurs composites (restituant les couleurs à partir de 4 clichés noirs et blancs).
- .Visionneuse PIMS (permet l'interprétation des images enregistrées sur film en bobine).
- .DIGISTRAND (permet l'acquisition analogique ou digitale à partir d'un enregistrement par transparence ou d'une projection).

III . - IMAGES LAND SAT (OU ERTS)

1. Intérêt des images LAND SAT ou ERTS

Les enregistrements sont réalisés suivant deux procédés:

-le procédé RBV (Return - Beam - Vidicon) de type caméra de télévision dans trois bandes du spectre visible

. canal 1 -	longueurs d'ondes comprises entre	475 et 575 nanomètre
. " 2 -	" " " "	575 et 680 "
. " 3 -	" " " "	680 et 810 "

-le procédé MSS (Multi Spectral Scanner) à balayage multispectral dans 4 bandes (dont 1 I.R.)

. canal 4 -	longueurs d'ondes comprises entre	500 et 600 nm
. " 5 -	" " " "	600 et 700 "
. " 6 -	" " " "	700 et 800 "
. " 7 -	" " " "	800 et 1000 "

Signalons que le procédé R.B.V. n'a pratiquement pas fonctionné sur ERTS-1; espérons qu'il fonctionnera sur LAND SAT-2 lancé début 1975.

L'intérêt de ces enregistrements est multiple :

- 1) - Les surfaces couvertes sont importantes. Plus de 34.000Km² sont enregistrés d'un seul tenant sur une image (de 185Km de côté).
- 2) - Les données sont répétitives. Tous les 18 jours, le satellite passe exactement au-dessus du même point. L'orbite de LAND SAT-2 est décalée de 180° par rapport à l'orbite du LAND SAT-1. Il s'ensuit que désormais chaque région est survolée tous les neuf jours. Il sera donc possible de suivre avec précision les détails de l'évolution des pâturages, de l'hydrologie de surface, de l'état de sécheresse d'une région.

En fait, jusqu'à une date récente, ceci n'était valable que pour les USA dont toutes les images étaient transmises aux stations de réception sol. Il est pour le moment très difficile d'obtenir une bonne couverture complète de l'Afrique Centrale : les images prises en saison des pluies ont été rarement retranscrites ou sont peu utilisables dès que la couverture nuageuse dépasse 30p.100. Les images prises en saison sèche sont (à partir du 15 novembre en

RCA) oblitérées par les feux de brousse qui occasionnent de grandes traînées noires dans la bande 7. Ce serait par contre un excellent moyen d'étudier leur développement, leur succession, leur répartition, la vitesse de reprise de la végétation.

Cette situation devrait changer avec la mise en service de la station de réception de Kinshasa (Zaire) qui couvrira un rayon de 3.000Km. Une seconde station ERTS pour l'Afrique est en cours de négociation à Ouagadougou.

3) - L'information est sélective: les divers canaux apportant chacun une information différenciée :

-les canaux 1 et 4 (bleu-vert) intègrent les éléments descriptifs de la vapeur d'eau, de la nature des sols, de la transparence de l'eau, des sédiments en transport. En pratique, cette bande qui est intéressante pour la sédimentologie des eaux estuariennes, ne l'est pas pour la pédologie, les effets de diffusion dans l'atmosphère sont importants et l'image est floue dès qu'il y a un peu de brume.

-les canaux 2 et 5 (jaune orange) fournissent une information proche de l'émulsion panchromatique traditionnelle. La faible réflectance de la végétation dans cette bande spectrale permet une bonne discrimination de la densité du couvert végétal et donc des types de végétation naturelle.

-les canaux 3 et 6 (rouge) donnent des renseignements semblables à 2 et 5. Toutefois, l'augmentation de la réflectance si elle maintient une bonne discrimination de la forêt, ne permet plus par exemple la distinction des cultures céréalières et des prairies.

-le canal 7 (infra-rouge proche) permet de différencier les aspects de sécheresse des végétaux, de mettre en évidence l'eau libre (bien individualisée en noir); elle fait ressortir la morphologie.

4) - Rappelons enfin que l'enregistrement électromagnétique des données permet des traitements numériques.

Le recouvrement des photos LAND SAT est au maximum de 14% à l'équateur. Une observation au stéréoscope n'est donc possible que sur cette partie commune de deux bandes successives. Par contre, on peut combiner l'information

contenue dans deux bandes, en examinant en pseudo-stéréoscopie la même image dans ces deux bandes.

La résolution au sol de LAND SAT est de 80 mètres. Celle du satellite SKYLAB est meilleure. Les photographies en sont particulièrement nettes. Malheureusement, peu sont disponibles pour l'Afrique.

2.- Résultats obtenus avec les images ERTS

2A - Agriculture - Végétation

Aux USA, on est arrivé en utilisant fausses couleurs ou traitements numériques à différencier l'utilisation des sols en maïs, soja, coton; en France, ce n'est pas possible; la résolution au sol est trop faible par rapport aux dimensions des parcelles culturales. En Afrique Centrale, ce serait encore pis, en raison de la dispersion et de la taille des parcelles. De plus, les contraintes météorologiques limitent considérablement cette application car il est difficile d'obtenir des images de bonne qualité en saison des pluies, pendant la période de croissance des cultures. Il semble donc difficile de déduire des images ERTS une prévision des récoltes et une planification des productions agricoles. Le problème est différent pour le riz si les surfaces d'un seul tenant sont suffisantes, étant donné la grande finesse des réponses des zones humides en fonction du taux d'humidité.

On a vu par contre qu'il était parfaitement possible, comme nous l'avions pressenti, de dresser des cartes phytogéographiques en utilisant les différences de densité du couvert végétal pour différencier les types de végétation naturelle. On peut distinguer forêt dense inondable ou non, forêt galerie, savane arborée, savane arbustive, brousse tigrée, steppe et même lakéré (en raison des contrastes et malgré leur petite taille). On distingue également les faciès de dégradation soit anthropique (autour des villes, le long des pistes), soit par surpâturage...

2B - Géologie structurale ou tectonique - Géophysique

L'image obtenue par télédétection exprime des différences d'ordre lithologique et non évidemment des limites stratigraphiques conventionnelles.

Un des résultats les plus importants obtenu par ERTS et qui n'était pas prévu au moment du lancement, est la détection des failles ou plutôt des linéaments : alignements observés sur photo. Nous même qui ne pensions pas nous occuper de structurale et de tectonique, nous y avons été conduits dès l'examen des premières photos ERTS de RCA.

Certaines failles peuvent être prolongées sans erreur par des alignements de type structural (limite de couche géologique, alignement de plis, chevauchement, etc) ou de type morphologique (dissection de rivière, relief...) ou des limites de textures végétales. Ce qui apparaît discontinu aux échelles d'observations habituelles peut être interprété en un seul alignement et il arrive que de tels éléments structuraux profonds sous une forte épaisseur de sédiments soient visibles en surface par des critères indirects tels que végétation, cultures, cours d'eau.

Sans parler des grands impacts météoriques décélés au Sahara, diverses anomalies circulaires ont été observées : certaines sont des centres intrusifs ou volcaniques, d'autres restent d'origine inconnue, (plusieurs ont été détectés en RCA).

En Alaska, on s'est aperçu que tous les épicesentres séismiques sont situés à des croisements de failles déjà reconnues ou de linéaments ERTS. Dans la Nevada, la distribution des mines et des centres volcaniques, au Texas une grande proportion des champs de gaz et de pétrole se trouve associée à certains alignements.

2C - Géomorphologie et Pédologie

Le principal intérêt est de donner une vue d'ensemble permettant la représentation des formes du terrain aux petites échelles. La photo ERTS ne détermine pas les types de sols mais elle donne des limites, surtout si on peut combiner l'interprétation des diverses bandes spectrales. Une limite sera d'autant mieux marquée qu'elle se retrouve sur différents canaux.

2D - Ressources hydrologiques de surface

Avec la bande infra-rouge, on peut mettre en évidence les surfaces d'eau libre (réseau hydrographique, lacs, étangs, mares) de taille supérieure à

la maille élémentaire. Si la retransmission des enregistrements ERTS est assurée, on pourra en suivre les variations saisonnières (cf projet SAPHYR).

LA CARTOGRAPHIE GEOLOGIQUE

3.- Exemple d'application géologique en République Centrafricaine

L'exemple de la République Centrafricaine montre ce que l'on peut tirer de l'utilisation de la Télédétection s.l. (photo-interprétation classique et images-satellites), liée à l'étude des formations superficielles dans un pays à cartographie géologique imprécise et incomplète.

Les premières cartes géologiques au 1/500.000 ont été dessinées avant que ne soit réalisée la couverture aérienne I.G.N. au 1/50.000. L'interprétation systématique des photographies aériennes pour l'étude des formations superficielles, a permis de préciser les limites des grès de Carnot qui couvrent 80.000km² dans l'Ouest du pays.

Les géologues de terrain ont été gênés par la rareté des affleurements dans un pays à couverture "latéritique" apparemment uniforme. En fait, comme le montre la Télédétection et l'étude pédologique (B.1968-75), cette "couverture latéritique" retranscrit la lithologie sous-jacente.

C'est pourquoi, nous essayons depuis plusieurs années d'attirer l'attention sur l'importance pédo-géomorphologique essentielle des cuirasses dénudées dites lakéré ou bowé : présence, fréquence, formes, orientation.

En raison des contrastes, on arrive à distinguer sur les photos ERTS, les éléments de la séquence de cuirassement type, d'ordre kilométrique, sur complexe amphibolique du MBomou :

- butte témoin cuirassée dénudée = lakéré de plateau
- escarpement boisé sur éboulis de cuirasse
- replat induré en pente douce : lakéré de versant
- vallon encaissé boisé.

Escarpement et vallon boisés : noir (canal 5) ou gris clair (canal 7) contrastent violemment avec butte et replat dénudés : gris clair (5) ou gris foncé et même noir après un feu de brousse (7).

Au nord de la RCA, les limites entre socle granitique ou quartzitiques, le Continental Terminal et les alluvions néotchadiennes étaient très mal connues.

Inselbergs granitiques et arêtes quartzitiques ressortent malgré leurs dimensions modestes en raison de l'éclairage rasant : le côté éclairé contraste vivement avec l'ombre portée sombre. Les zones granitiques présentent des lakéré en forme de fer à cheval ou parfois d'auréoles. Ces zones apparaissent gris terne (canal 7) ou gris foncé tacheté de blanc (canal 5).

Le modelé digité du Continental Terminal avec des zones exondées indurées qu'une frange de lakéré de battement de nappe sépare des bas-fonds engorgés, se traduit en Télédétection par des teintes contrastées; gris tacheté de blanc. La limite est nette avec les alluvions néotchadiennes non indurées et homogènes : gris assez clair (5) ou clair (7). Sur ces dernières, les alluvions récentes tranchent par leur hétérogénéité : blanc bariolé de noir à contraste fort. Signalons enfin l'erg ancien (Goz) gris terne (5) ou gris clair contrasté (7), et les vertisols topomorphes de la dépression de Matoumara : gris (5) ou blancs (7).

La simple observation sur les cuirasses d'alignements de végétation, de lakéré en lanières permet de penser (pour l'affirmer définitivement, il serait nécessaire d'avoir les moyens mécaniques de forer les cuirasses les plus dures) que cette cuirasse repose sur une roche orientée de type métamorphique et non pas sur une roche sans orientation de type éruptif (granit) ou sédimentaire (grès). Ces orientations du cuirassement sont pour nous la transcription de la lithologie et de la tectonique sous-jacente. Si donc on relève de telles orientations sur ce qui était cartographié en Continental Terminal et à fortiori en alluvions néotchadiennes, c'est que comme nous avons pu le démontrer dans l'Ouham : les dépôts du Continental Terminal, très minces dans cette région, laissent apparaître des fenêtres, des témoins du socle. Ces témoins expliquent sur la carte gravimétrique l'apparition d'anomalies lourdes (au nord de Kouki, Batangafo, Grivaï-Pamia).

L'examen systématique en photo-interprétation classique de ces orientations en lanières du cuirassement, joint au relevé des linéaments ERTS montre que la grande région apparemment homogène du complexe amphibolique du MBomou (Est-RCA), se subdivise en plusieurs secteurs de plus en plus basiques et fortement indurés vers l'Est, se terminant par un accident N-S majeur au niveau de Zémio. Chaque secteur séparé par des linéaments se caractérise par des orientations propres, souvent homogènes, parfois circulaires.

L'examen des linéaments fournit de la même façon des directions de recherches. Des indices miniers (uranium, diamants, lignite) se précisent dans la région de Bakouma, carrefour de trois directions de linéaments. L'indice de cuivre de Ngadé paraît situé sur un linéament E - N.E., se prolongeant vers la mine soudanaise d'Hofrat en Nahas. Cette direction se retrouve à travers les alluvions paléo-tchadiennes dans la région de Birao, dans le prolongement du fossé (pétrolifère) de Doba-Golongosso.

Signalons pour terminer la découverte par les satellites russes et américains (Cosmos 49 et Ogo 2,4 et 6 (Pogo), d'altitude comprise entre 400 et 700km) d'une très forte anomalie magnétique au centre de la RCA, dite anomalie de Bangui, associée à des hétérogénéités de la lithosphère (REGAN et al., 1973-1975). Cela confirme l'intérêt de la poursuite de l'étude des linéaments ERTS en liaison avec l'achèvement de la carte gravimétrique de RCA par nos collègues géophysiciens.

4.- Conclusions

En lançant le satellite ERTS, la NASA proposa des contrats liant la fourniture de documents ERTS en échange de rapports interprétatifs. Les USA furent à l'origine de 65% des projets acceptés, la répartition des autres étant la suivante: Europe 50%, Amérique 31%, Asie 10%, Océanie 4% et Afrique 1%, alors que c'est justement dans les pays en voie de développement, mal connus que les images ERTS peuvent apporter le plus de renseignements. On peut regretter pour son image internationale que l'ORSTOM n'ait pas été associé à ces projets dès l'origine et n'ait donc pas participé aux symposiums de Télé-détection. Il lui faut rattraper son retard. Plusieurs projets IGN, IEEVT, concernent le Sahel. Le cuirassement à l'échelle du Continent pourrait fournir

un thème d'étude.

Nous avons été frappé l'an dernier, lors de notre visite à Monsieur le Professeur d'HCORE à l'Université de Louvain de voir un assistant faire de l'interprétation pédologique d'images ERTS sur le Tchad et le Nigeria (GOMBEER 1974), sans être jamais venu en Afrique. S'il est un domaine où la vérification constante sur le terrain, comme nous le pratiquons, semble nécessaire, c'est bien celui-là. L'ORSTOM bien placé pour la "vérité terrain", doit utiliser et diffuser ses connaissances.

5.- Nouvelles propositions pour l'ORSTOM

Nous lisons avec surprise dans un exposé de l'IGN en colloque de Bamako (CAZABAT, 1975). "En dehors des cartes déjà anciennes à l'échelle de 1/200.000 ou 1/250.000 on peut dire qu'à part quelques publications à des échelles encore plus petites, nous ne possédons véritablement aucune connaissance et description véritable du Sahel", ce qui étonne pour le moins quand on connaît les études de synthèse ORSTOM au 1/1.000.000 (Tchad, Sénégal); au 1/500.000 (Niger, Haute-Volta).

L'ORSTOM travaille depuis trente ans dans les pays francophones d'Afrique. Il semble qu'il faille saisir l'occasion fournie par la vulgarisation des photographies satellites pour multiplier et divulguer les travaux de synthèse. Désormais toute étude au 1/500.000 ou 1/1.000.000 doit être corroborée par les photos ERTS (ou SKYLAB). De nouvelles études pourraient être entreprises (Mali, Guinée ...). D'anciennes synthèses pourraient être reprises avec ce moyen d'étude (Cameroun, Congo, Côte d'Ivoire).

Ces synthèses concerneraient essentiellement pour nous la pédologie, la géomorphologie et la géologie de surface. On a vu que des synthèses phyto-géographiques pouvaient être établies, en liaison avec l'ITEMT, spécialisé dans l'étude des pâturages. Les géophysiciens ORSTOM ont fait un grand effort de cartographie gravimétrique en Afrique Occidentale. Ce travail devrait être complété et confronté avec une étude systématique des linéaments ERTS sur ce continent.

C'est ce travail de synthèse en Géographie Physique au sens large que nous nous proposons de faire à l'échelle de la République Centrafricaine, si on nous en donne les moyens. Pour le moment nous disposons d'une couverture ERTS incomplète et défectueuse. Les quelques photos disponibles ont été prises en saison sèche (il est vrai que celles de saison des pluies sont inutilisables si la couverture nuageuse dépasse 30%), or dès le 15 novembre les photographies sont oblitérées par les feux de brousse (notamment dans la bande 7). Il nous faudrait donc des photos prises soit au printemps peu après les premières pluies soit en automne juste avant les premiers feux.

Ces travaux pourraient être effectués avec de simples photos ERTS. On a vu qu'il serait bon qu'à l'ORSTOM un technicien travaillant à la demande des chercheurs, se spécialise dans les traitements photographiques en équidensités (ou maniement du Digicol ou plus simplement de la visionneuse en couleurs composites.)

Enfin le traitement numérique des données semblant la voie d'avenir, un jeune pédologue devrait se spécialiser en Informatique avec pour objectif lointain la cartographie automatique.

IV. - ELEMENTS BIBLIOGRAPHIQUES DU STAGE

- ANONYME, 1973. La Télédétection des ressources terrestres au C.N.E.S.
La Recherche Spatiale (C.N.E.S.), n°4 et 5, vol. XII.
- ANONYME, 1974. Projet d'étude et de cartographie des pâturages du Sahel, de
l'évolution des capacités de change par Télédétection en
République du Niger, I.G.N.- I.E.M.V.T., 18p. multig.
- ANONYME, 1975. Projet de formation pour l'exploitation des images satellite
dans le cadre de l'installation de la station de Ouagadougou.
O F E T, 6p. multig.
- ANONYME, . Cours de FORTRAN. I.F.P. Rueil-Malmaison.
- ANONYME, 1972. Photogrammétrie numérique et cartographie automatique (3e Conf.
cartographie régionale pour l'Afrique, Addis Abéba, 9p. multig.)
- E. ARNOLD, 1974. Environmental remote-sensing : applications and achievements
(Papers presented at the Bristol Symposium on Remote-Sensing).
Departement of Geography, University of Bristol, 2 october 1972:
Barret and Curtis. London 309p.
- A. BAUDOIN, A. DECAE, P. DEMATHIEU, 1972. La détection à distance à l'Institut
Géographique National. Bull. d'information I.G.N., n°19.
- P. BOISSARD, 1972. Etude du spectre des fréquences spatiales d'une photographie.
Photo-interprétation 72-5, pp.21-29.
- P. BOISSARD, s.d. Analyse du spectre des fréquences spatiales d'une image
aérienne I.F.P., 10p. multig.
- P. BOISSARD, 1972. Le traitement optique des photographies. Photo-interprétation
72-5, pp.49-56.
- P. BOISSARD, 1974. Recherche d'une aide automatique à l'interprétation des images
aériennes. Application à l'étude de la végétation. Thèse 3e cycl.
Fac. Orléans. (Ecologie appliquée).
- Y. BOULVERT, 1974. Note préliminaire sur l'utilisation de la Télédétection en
République Centrafricaine. ORSTOM Bangui, 8p. multig.

- S. BRACONNE, 1975. Utilisation des structures topologiques en vue d'une cartographie automatique à partir des images de Télédétection. Thèse 3e cycl. Paris VI, 149p. multig.
- S. BRACONNE, A. FONTANEL, M. GUY, C. LALLEMAND, 1974. Cartographie thématique automatique; principes et réalisation partielle d'un système. 4e Symposium de Photo-interprétation, Banff.
- S. BRACONNE, M. CAVALIER, M. DUBESSET, J. GUILLEMOT and M. GUY : Creating a system for the geological exploitation of satellite images: automatic mapping and geophysical-data comparison. (rapport IFP par NASA, 16p. + fig.)
- R. BROSSIER, 1973. Applications de la Télédétection aux problèmes de la pollution (Confér. Salon Profes. National des Techniques anti-pollutions).
- R. BROSSIER, 1975. Note sur l'utilisation des images ERTS en Afrique I.G.N. Paris, 3p. multig.
- C. CAVALIER, J.Y. SCANVIC, G. WEECKSTEEN, A. ZISERMANN, 1973. Apport des images orbitales (ERTS-1) à la connaissance géologique et structurale d'un bassin sédimentaire : le bassin parisien. Photo-interprétation 73-2.
- M. CAVALIER, 1973. Panorama des résultats obtenus en Géologie et Géomorphologie grâce à ERTS-1. Revue Photo-Interprétation 1973-5, pp.44-53 1973-6.
- Ch. CAZABAT et J.P. NONY, 1971. Les équidensités colorées, applications à la photo-interprétation. Bull. Soc. Franc. Photogrammétrie, n°3.
- Ch. CAZABAT, P. DEMATHIEU, J. DUPUIS et F. VERGER, 1972. Le programme Fralit : Télédétection, par le satellite ERTS-A du littoral océanique de la France. Bull. Inform. IGN, n°19.
- Ch. CAZABAT, 1974. Les équidensités colorées. Applications au milieu littoral. Stage SERTEL. IFP.

- Ch. CAZABAT, 1975. Recherche d'une méthodologie cartographique appliquée aux pâturages sahéliens. Colloque sur l'Inventaire et la Cartographie des pâturages africains. Bamako, 3-8 mars 75 in. Bull. Inform. IGN, n°29.
- R. CHEVALLIER et al., 1965. Photographie aérienne. Panorama inter-technique. Gauthier-Villars, Paris, 237p. + fig.
- P. DEMATHIEU et F. VERGER, 1973. (Estuaire de la Loire) :
- . Etude diachronique des surfaces d'eau et des surfaces mouillées sur 2 images ERTS-1.
 - . Etude des eaux estuariennes et littorales sur 2 images ERTS-1.
 - . Etude d'une image composite couleurs
Photo-interprétation 73-5.
- A. FONTANEL et G. GRAU, 1968. Traitement optique de l'information en géophysique et dans le domaine de la photographie aérienne. L'onde électrique, 48, n°492, pp.235-244.
- A. FONTANEL, M.GUY, C.LALLEMAND. Cartographie automatique : Exemples de réalisation partielle d'un système IFP , pp.29-38.
- L. GEDNEY and J. VAN WORMER. Tectonic mapping in Alaska with ERTS-1 imagery. Photo-interprétation 73-1.
- C. et M. GIRARD, 1975. Applications de la Télédétection à l'étude de la biosphère, Masson et Cie, 186p.
- R. GOMBEER and J. D'HOORE, 1974. Pedological Interpretation of ERTS-1 imagery of the Rima-Sokoto river basin (N. Nigeria). Proc. ESRO Symp. on European Earth-Resources Satellite Experiments, Frascati (Italy).
- A. GUERENNEUR, 1974. Essai d'Interprétations semi-automatique des facteurs de la valeur foncière d'après les photographies aériennes IFP, 31p. multig.

- J. GUILLEMOT, M. GUY et M. LOBJOIT, 1973. Un système cohérent d'alignements structuraux commun aux Alpes et aux Pyrénées mis en évidence par le satellite ERTS-1, C.R. Acad. Sc. Paris, t. 277, sér. D. pp.481-484.
- H. GULINCK, R. GOMBEER and J. D'HOORE, 1974. ERTS-1 imagery recorded over the Chari-Logone river basin (Chad-Cameroun-Nigeria). Pedological interpretation. General conference of the Remote sensing society, Birmingham, 11p. multig. + 5 fig.
- M. GUY, 1969. La détection à distance : Progrès récents de la photo-géologie. Am. des Mines, février 69, pp.29-72
- M. GUY, 1970. Traitement des images et méthodes d'exploitation Géofom.3. pp.47-62.
- M. GUY, 1973. La complexité de la sédimentation holocène dans le delta du Rhône. Photo-Interprétation 73-1, pp.35-48.
- M. GUY et C. TORRES, 1973. Morphologie d'alluvions récentes décélée par Thermographie. Photo-Interprétation 73-3.
- C. LALLEMAND, G. THOMAS. Traitement de données multidimensionnelles. Application à la cartographie automatique des photos du satellite ERTS, IFP.
- L. LOUBERSAC, 1974. Application des Thermographies de moyenne altitude et des images de satellites ERTS-1, NOAA-2 et SKYLAB à la Télédétection de l'hydrodynamique de surface dans le golfe du Lion. IFP, 76p. multig.
- M. MAINGUET, 1975. La sédimentation éolienne au Sahara. Apports des images du satellite NOAA-3 dans l'étude des manifestations au sol des courants éoliens. Sémin. Montpellier.
- J.D. PALGEN, 1973. La Télédétection appliquée aux ressources naturelles. (Sémin. de Télédétection pour la zone du Sahel, Bamako, avril 73) EARTH SAT. CORP. Washington D.C.
- J. POUQUET, 1971. Les Sciences de la Terre à l'heure des satellites. P.U.F. Collection SUP., Paris, 259p.

- E. RANZ, 1971. Possibilités offertes à la photo-interprétation par le film à équidensité Agfa-contour. Bull. So. Fran. Photogrammétrie, n°43.
- J.C. RIVEREAU, 1973. Composition colorée d'une image ERTS de la région parisienne. Photo-interprétation, 73-4.
- R.D. REGAN, W.M. DAVIS, J.C. CAIN, 1973. The Bangui magnetic anomaly (abstract), EOS, Trans. AGU, 54 (4), 236.
- R.D. REGAN, J.C. CAIN, W.M. DAVIS, 1975. A global magnetic anomaly Map. Journal of Geophysical Research, vol. 80, n°5.
- Cl. TORRES, 1972. Déformation des Thermographies. Revue Photo-interprétation, 1972-1.
- Cl. TORRES, 1973. Cours sur les Thermographies. Stage ENS PM mai-juin 1973.
- Cl. TORRES, 1973. La Thermographie. Questions techniques et Problèmes de l'interprétation. Revue Photo-interprétation 73-2 et 73-3. pp.32-55.
- Cl. TORRES, 1975. L'utilisation de la Thermographie et des enregistrements infrarouges thermiques pour la Télédétection des formations superficielles et l'étude du milieu naturel. Thèse Doct. Paris I.
- J. TRICART, 1973. Etude de l'évolution morphologique récente d'un secteur de l'Amazonie sur des mosaïques radar-latéral. Photo-interprétation 73-5.
- G. de WISPELAERE, 1974. Rapport de stage sur la Télédétection. Applications à la cartographie des Pâturages (30 sept. - 15 nov. 1974). IEMVT. Maisons Alfort.