

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

LES SATELLITES LANDSAT DANS L'ETUDE
ET LA CARTOGRAPHIE DES SOLS
APPLICATION A LA REPUBLIQUE DE GUINEE

RAPPORT DE STAGE

BALDE YOUNOUSSA

MARS 1979



AVANT-PROPOS

Le présent document tient lieu de rapport du stage de surformation que nous avons suivi en France de Juillet 1978 à Mars 1979 dans différents centres et instituts de Recherches scientifiques.

L'objet fondamental de ce stage est l'étude des techniques de la télédétection et leurs applications pour l'étude et la cartographie des sols. Il a été organisé dans 3 centres différents :

1. Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer, sous la direction de Mr CRUETTE, de Juillet à Septembre 1978, puis de Janvier à Mars 1979.
2. Institut National Agronomique PARIS-GRIGNON, sous la direction de Mr GIRARD.
3. Institut National de Recherches Agronomiques, centre de Montpellier, sous la direction de Mr NAERT.

Le programme de formation a été appliqué ; il a consisté à l'exécution des travaux pratiques dont les thèmes se rapportent aux applications des techniques d'exploitation et des données de télédétection. Les thèmes traités peuvent être regroupés en 3 rubriques :

- Analyse visuelle de photographie aérienne (photo-interprétation) et des images de satellites ;
- Traitements photochimiques des images de satellites ;
- Analyse numérique des données landsat.

Les exercices ont été exécutés dans la plupart des cas, sur des données relatives à la République de Guinée, ce qui nous a permis de voir des problèmes connus et d'estimer la valeur de chaque technique et méthode pour son application dans les conditions guinéennes.

De plus nous nous sommes intéressés aux problèmes relatifs à l'application de l'informatique à la pédologie.

Le présent rapport aborde l'aspect télédétection et pédologie. Il n'a pas la prétention de présenter des résultats définitifs ; tel d'ailleurs n'était pas l'objet de notre stage. Nous

avons voulu, dans ce document, présenter les méthodes et techniques d'application de la télédétection à l'étude et à la cartographie des sols, montrer les possibilités qu'elles offrent et ce en donnant des exemples pris sur la Guinée. Toutefois, certains résultats obtenus ouvrent la voie pour des recherches sérieuses et des applications utiles.

Au cours de notre stage, nous avons eu accès à toutes les techniques, à tous le matériel scientifique sans limite dans le temps et mieux, les chercheurs nous ont toujours accordé les consultations sollicitées et nous ont communiqué leur connaissance, leur expérience et leur point de vue.

Nous adressons, à tous ceux qui ont participé à notre formation, nos sincères remerciements et notre profonde reconnaissance et en particulier à :

- Monsieur J. CRUETTE, Directeur du Bureau de Télédétection de l'ORSTOM et à tout le personnel de son service ;
- Monsieur et Madame M.C. GIRARD, Professeurs à l'INA, Paris-Grignon ;
- Monsieur B. NAERT, Chef du Service Télédétection de l'INRA de Montpellier ;
- Messieurs A. COMBEAU, R. MAIGNIEN et G. SIEFFERMANN pour leur consultations dans le domaine de la Pédologie ;
- A la Direction de l'A.C.T.I.M. , de l'O.R.S.T.O.M. et de l'I.N.R.A., nous adressons également nos remerciements.

INTRODUCTION

Il existe de nombreux processus physiques qui transmettent des informations relatives à un objet jusqu'à des capteurs capables de les enregistrer : ondes de pression (acoustique), ondes de gravité ondes électriques, ondes magnétiques et ondes électro-magnétiques.

L'ensemble des moyens mis en oeuvre pour saisir et quantifier les informations relatives aux propriétés des ondes électromagnétiques d'un objet et les méthodes de traitement et d'interprétation des données ainsi obtenues constituent la Télédétection.

La Télédétection utilise les ondes électromagnétiques pour l'étude des divers objets de la terre. Chaque point P de l'espace est sous l'action d'un champ électromagnétique caractérisé par 2 vecteurs perpendiculaires : le premier caractérisant le champ électrique et le second le champ magnétique. Ces deux champs varient dans le temps et dans l'espace. La variation est quantifiée par la période et celle dans l'espace par la vitesse de propagation et la longueur d'onde.

Le spectre électromagnétique regroupe des phénomènes de même nature et est divisé en 3 grands domaines selon les longueurs d'onde. Ce sont le domaine ultra-violet, le domaine optique et le domaine des micro-ondes.

La Télédétection utilise largement le domaine optique et un peu le domaine des micro-ondes. L'atmosphère est un milieu perturbateur et les gaz qu'il contient absorbe l'énergie de certaines longueurs d'ondes. Seules, les longueurs d'ondes qui traversent l'atmosphère sont en définitive utiles.

Le système de saisie des données peut être présenté sous forme simplifiée de la façon suivante :

une source lumineuse → un objet → un milieu de transmission → un capteur-détecteur.

L'utilisation des informations ainsi obtenues remonte aux années 1920, à la naissance et au développement de la photographie aérienne (1839 photographie, 1858 première photographie aérienne). On peut considérer qu'elle a été systématique pour l'étude et la

cartographie des sols dès après la seconde guerre mondiale.

Les techniques d'interprétation des données se regroupent en 3 rubriques : analyse visuelle, traitements photochimiques et analyses numériques.

Après avoir posé le problème de la pédologie et de la Télé-détection, nous aborderons dans le présent document, quelques méthodes d'interprétation des données relevant de chacune de ces trois rubriques. Ces méthodes seront illustrées par des exemples tirés des travaux que nous avons effectués au cours de notre stage.

CHAPITRE I : PEDOLOGIE ET TELEDETECTION

1. CONSIDERATIONS GENERALES.

La carte des sols est le document de base de tout programme de mise en valeur et d'exploitation des terres. A Bialousz la définit comme "un document graphique qui présente la répartition géographique des sols d'une région donnée : l'image cartométrique, avec la précision dépendant de la projection cartographique appliquée" (16 p. 213).

Il existe plusieurs types de cartes pédologiques. Elles sont classées, selon l'échelle en cartes à petite (échelle inférieure à 1/250.000e) moyenne (échelle variant entre 1/250.000 et 1/100.000e) et grande échelle (échelle supérieure à 1/50.000e). Selon l'objet et le but de l'étude on distingue les cartes d'intérêt général et les cartes appliquées.

Les cartes d'intérêt général sont des cartes à petite ou moyenne échelle. L'étude des sols est faite dans le sens le plus large et sur la base des facteurs morphologiques et analytiques. Elles permettent de faire un inventaire général des ressources en sols de terre, de dégager une politique d'exploitation et de conservation à long terme et constituent les documents de base pour les cartes appliquées.

Les cartes appliquées sont à grande échelle. Les sols sont étudiés sous l'aspect d'exploitation, d'amélioration et de protection. Les cartes thématiques par exemple, abordent un sujet bien précis : problème du drainage et/ou irrigation, aptitude à la culture de la canne à sucre, etc...

Quel que soit le type de document considéré la cartographie pédologique implique la résolution de deux problèmes majeurs :

- La définition du contenu de chaque unité de sols ; elle relève de la typologie des sols et peut être conduite sous l'aspect génétique (facteurs et processus de formation) et/ou morphologie et analytique.
- Le tracé des contours, des limites de chaque unité de sols.

Le pédologue aborde ces problèmes avec des méthodes

d'approche et des techniques assez variées au nombre desquelles la Télédétection.

2. DEFINITION DE LA TELEDETECTION.

Le terme Télédétection (Remote sensing en anglais) est apparu il y a une dizaine d'années. Sa définition, son contenu et ses limites ne sont pas encore très précis.

Robert Bariou en donne la définition suivante : "La Télédétection regroupe l'ensemble des techniques capables de fournir à distance les informations relatives à un objet en utilisant l'étude de l'émission et de la réflexion électromagnétiques dans l'ensemble du spectre de longueur d'onde allant des ultra-violet aux hyperfréquences" (15 p. 5).

Le terme englobe la photographie aérienne classique, les techniques mises en oeuvre pour la saisie et l'interprétation des données et ne s'applique qu'à l'étude des ressources de la terre.

3. FONDEMENT SCIENTIFIQUE.

Les données de Télédétection sont l'expression par un système défini de l'énergie électromagnétique d'un objet ou d'un phénomène donné à un temps précis. Les principes physiques de base de la Télédétection sont les lois régissant le rayonnement électromagnétique en général et dans l'atmosphère en particulier (loi de Planck, loi de Wien, loi de Stefa-Boltzman, loi des inverses des carrés, absorption atmosphérique...).

Max Guy (13 p. 31) présente le système de Télédétection ainsi : "Tout système de détection à distance peut s'analyser suivant le schéma en :

- une source lumineuse,
- un milieu de transmission,
- un objet,
- un capteur-détecteur qui donne l'image".

La source lumineuse est dite passive quand elle est naturelle (soleil, terre, objet...) et active quand elle est artificielle (radar, laser, ...).

Le milieu de transmission est l'atmosphère. Il contient des gaz (ozone, CO_2 ...) qui absorbent le rayonnement de certaines longueurs. La transmission n'est pas totale et on parle de "fenêtres atmosphériques" (voir schéma n° 1 , ci-après).

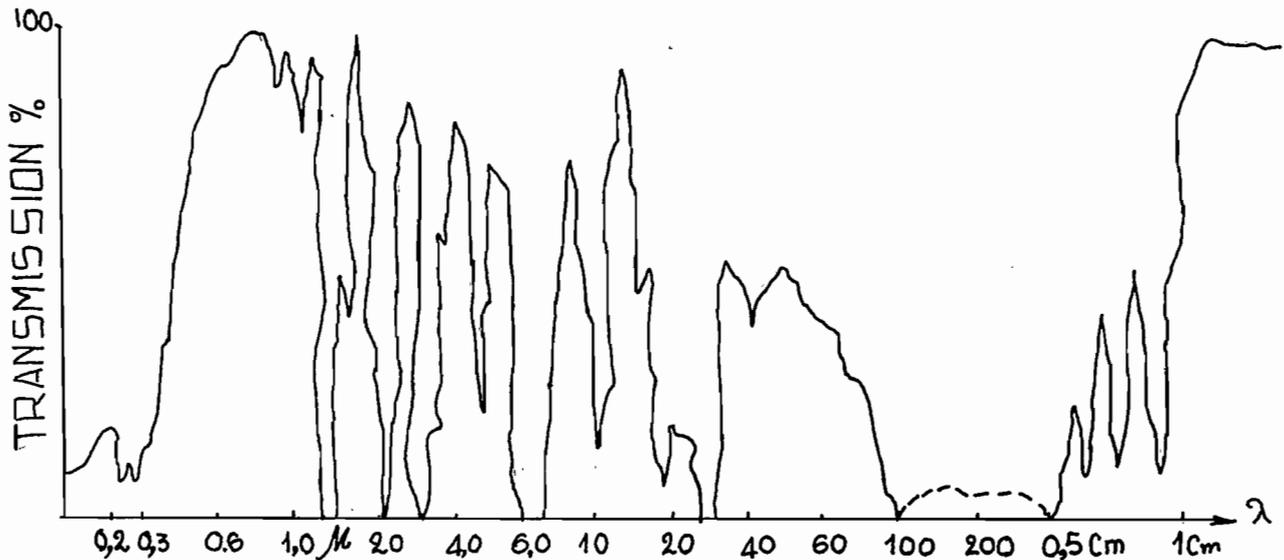


Schéma n° 1. Fenêtre de transmission atmosphérique.

Fenêtres de transmission de l'atmosphère pour le rayonnement E M.

4. SAISIE DES DONNES.

Les données sont saisies au moyen de capteurs embarqués à bord de plate-forme ou vecteur.

4.1. Les capteurs.

Le capteur est un système capable d'absorber le rayonnement électromagnétique, de le quantifier et le transformer en réalité palpable par notre vue. On distingue 3 grands groupes de capteurs : photographie aérienne, radar et radiomètre.

4.1.1. Photographie aérienne : C'est le capteur le plus ancien (fin du 19ème siècle).

"Le système formateur d'images est un objectif photographique qui donne le plan récepteur, la surface sensible photographique, une image optique réelle. Par effet photochimique, l'image optique donne naissance à une image latente. Cette image latente

invisible comme son nom l'indique, à l'oeil nu ou même aux microscopes optiques les plus puissants (mais décelables au microscope électronique) est transformée en image argentique par l'action d'un révélateur" (p. n° 19 p.II-17).

L'objectif photographique est constitué d'un assemblage de lentilles optiques. Il existe de nos jours plusieurs types d'objectifs.

Le rôle de capteur est joué principalement par l'émulsion photographique. Les émulsions "sont constituées de la même base qui est un sel d'argent (bromure, iodure...) en suspension dans un support transparent (en général GELATINE)". (Détection à distance, p. 44).

Les premières émulsions utilisées sont des émulsions panchromatiques Noir & Blanc qui sont sensibles à toutes la lumière du domaine visible. De nos jours on dispose d'émulsion de sensibilité et de contraste meilleurs et plus grands : Panchromatique, couleur, Orthochromatique, I.R. Noir & Blanc, I.R. couleur.

L'utilisation des filtres permet de faire une sélection de la lumière et faire une analyse spectrale plus fine de la photographie aérienne.

Les prises de vue aériennes sont organisées et exécutées de telle sorte que deux photographies successives aient un recouvrement supérieur à 50 %. Ceci permet un examen stéréoscopique du paysage à analyser.

4.1.2. Le RADAR.

C'est un système actif qui utilise une source lumineuse artificielle.

"D'une façon générale, un radar comprend une antenne polarisée dont les dimensions déterminent, à la longueur d'utilisation, le gain, la résolution angulaire et, en définitive, la résolution linéaire au sol compte tenu de la position relative de la cible et de la technique de balayage (mécanique ou électronique) de la zone à analyser... Il comprend un ensemble émission et un ensemble réception et l'antenne est alternativement branchée sur les deux ensembles". (21 p. 106).

Ce système utilise le domaine des hyperfréquences du spectre électro-magnétique (longueur d'onde supérieur à 1 mm). On distingue les radars sans image (scattéromètres) et les radars imageurs (radar latéral).

Le radar latéral, encore appelé "S.L.A.R." (Side Looking Airborne Radar) est un système aéroporté à haute altitude, d'une résolution spatiale bonne qui fournit des données sous forme digitale (bande magnétique) et analogique (image). Il est très utilisé pour l'étude des ressources naturelles surtout dans les régions où les conditions météorologiques ne sont pas favorables à l'utilisation des sources passives.

4.1.3. Les radiomètres.

Ce sont des capteurs passifs dont l'action consiste à mesurer l'énergie incidente sur des cellules sensibles. Ils sont mono- ou multispectral. Il existe des radiomètres non imageurs tels les spectromètres et les radiomètres imageurs ou à balayage, encore appelés scanner.

Les radiomètres à balayage, conçus pour réaliser l'image de la région à analyser sont actuellement les plus utilisés en télédétection. Un système de balayage se caractérise par sa manière d'analyser la surface de la terre afin d'en former une image. Il y a balayage lorsque l'image du paysage est formée, ligne par ligne, le recouvrement des lignes étant assuré par le déplacement du vecteur.

Les radiomètres imageurs comportent 3 parties : balayage, détection et enregistrement. Le balayage est en général assuré par un miroir qui peut être oscillant ou statique. Les scanners embarquées à bord des satellites landsat ont un système de balayage réalisé par un miroir oscillant. Le schéma ci-après (P. 6) présente ces radiomètres.

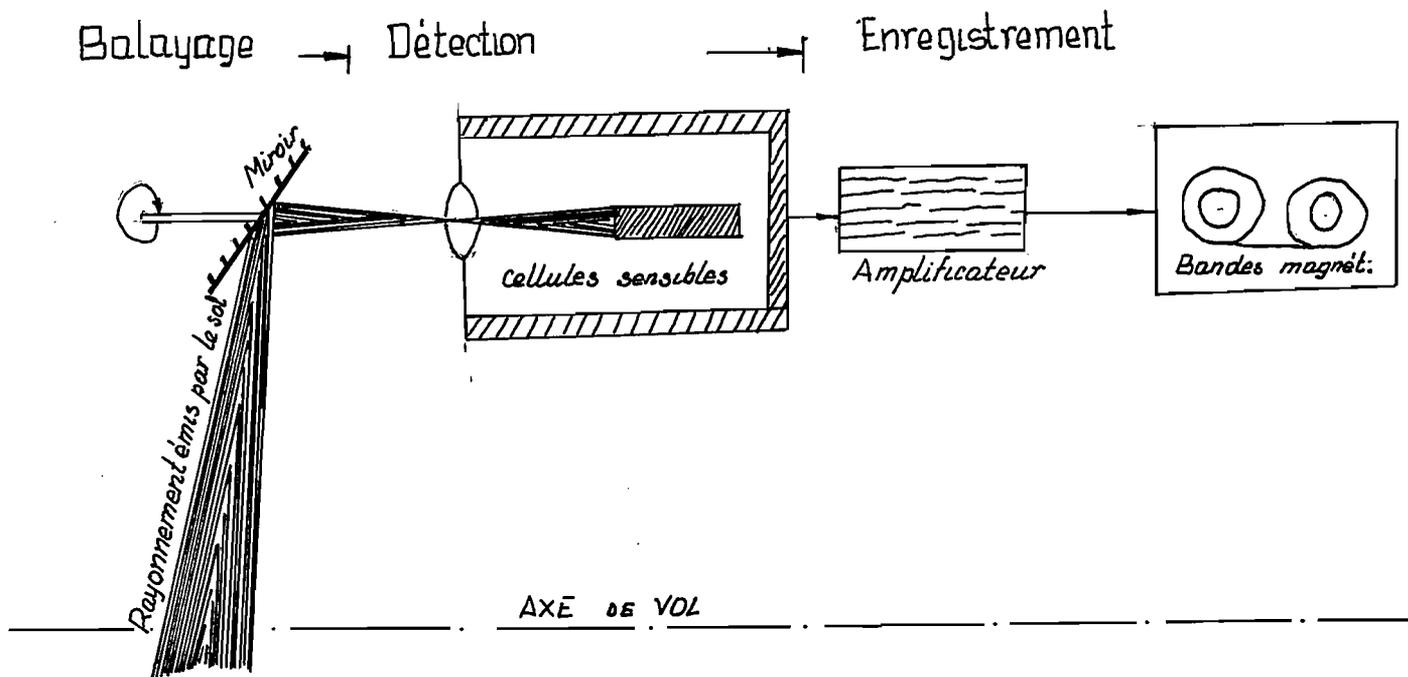


Schéma n° 2 : Schéma théorique d'un scanner.

La détection est assurée par une série de cellules sensibles à la lumière émise dans des longueurs d'onde bien définies.

L'enregistrement est fait sous forme analogique puis numérisée.

Les progrès de la télédétection sont en grande partie dus au développement des capteurs. Chacun de ces systèmes présente des avantages et des inconvénients et les intérêts réciproques des divers capteurs se présentent comme suit : (d'après

1 / Radiomètre Multi-spectral - Photographie.

1.1. Supériorité du radiomètre car :

- Bandes d'informations plus larges,
- Calibrage des signaux plus faciles,
- Enregistrement entre les bandes,
- Automatisation plus aisée.

1.2. Inconvénients du radiomètre :

- Coût très élevé,
- Résolution au sol faible.

2 / Radiomètre Multi-spectral - Radar latéral.

2.1. Supériorité du radiomètre :

- Informations plus variées,
- Distinction des éléments plus facile,
- Résolution spatiale et spectrale meilleures.

2.2. Défauts des radiomètres / Radar :

- Incapacité d'obtenir des images de nuit, sauf utilisation de l'infra-rouge,
- Pénétration faible dans la végétation et sol

Il convient de retenir que la photographie ne coûte pas chère, le radiomètre multispectral couvre une grande étendue de paysage et que le radar latéral fonctionne par tout temps. Le choix d'un système sera fonction entre autres, de l'objet d'étude, de la quantité et de la nature d'informations que l'on désire obtenir, et des moyens financiers.

4.2. Les plate-formes.

Le rôle et les conditions de travail des plate-formes sont ainsi définis :

"Elles sont destinées à déplacer les capteurs par rapport aux zones d'intérêt dans les conditions du mouvement (en particulier de vitesse et d'altitude) voulues de façon à permettre selon le cas une observation occasionnelle ou périodique et à des dates fixées (données chronoséquentielles) ou même permanente dans des conditions de stabilité et de préservation des rayonnements parasites (cas du soleil visible) voulues". (21 p.120).

Comme plate-formes sont utilisés des grues, des ballons, des avions et des satellites. Les avions et les satellites sont les plus courants. Les conditions d'utilisation (altitude et vitesse) et les caractéristiques techniques (angle de prise de vue et d'observation, bruit) entraînent des perturbations dans le système de saisie des données et provoquent des déformations géométriques de l'image et des erreurs des valeurs radiométriques qui impliquent des corrections avant utilisation.

4.3. Caractéristiques générales des satellites landsat.

Les landsats sont des satellites d'observation et d'études des ressources de la terre de la NASA. Le premier a été lancé en 1972, le second en 1974 et le troisième en 1978.

Ces satellites pèsent approximativement 953 kg et mesurent 3 m de haut. Ils se trouvent à environ 920 km d'altitude, ont une orbite polaire et circulaire et héliosynchrone et parcourent leur orbite en 103 minutes et font 14 fois le tour de la terre. Il y a au cours d'une révolution un décalage de 1°5' vers l'ouest entre deux orbites. Chaque révolution a un cycle de 18 jours.

Ces satellites sont équipés de 2 types de détecteurs :

- Une caméra photographique type R.B.V. (Retrun Beam Vidécom), qui opère dans le visible,
- Un radiomètre multi-spectral à balayage. Ce système est succinctement conçu comme suit :

"Un miroir envoie sur un système optique un faisceau lumineux. Ce miroir est animé d'un mouvement oscillant de 13.62 M Z de fréquence et 73.42 millisecondes de période. La phase utile de balayage d'ouest en est dure 33 millisecondes.

Un prisme compris dans le système de balayage, décompose le faisceau lumineux en 4 faisceaux de longueur d'onde différentes (canaux 4, 5, 6, 7). Chaque faisceau est reçu par un ensemble de 6 détecteurs qui transforment l'énergie lumineuse en énergie électrique.

Chaque détecteur reçoit un faisceau qui correspond à un champ instantané de vue (I.F.O.V.) 79 x 79 m". (O.R.S.T.O.M., Télé-détection 1, p. 11).

Chaque satellite offre :

- a. Une résolution temporelle égale à 18 jours.
- b. Une résolution spectrale égale à 4 canaux : 2 dans le visible (vert et rouge) et 2 dans le proche infra-rouge.
- c. Une résolution spatiale de 79 x 79 m (I.F.O.V.). Il faut souligner qu'il y a recouvrement entre deux points d'analyse consécutifs. Le point élémentaire d'un enregistrement (PIXEL) a une dimension réelle 79 x 57 m. La distance balayée au cours d'une période de rotation du miroir est de 185 km.

Le signal lumineux enregistré par les capteurs est transformé en signal analogique continue et correspond à la variation de la différence de potentiel à la sortie du circuit du radiomètre. Cette information est digitalisée à l'aide d'un banc qui est à bord du satellite et chaque niveau de luminance est codé sur un octet, ce qui permet une variation possible des valeurs de 0 à 255.

Les canaux 4, 5 et 6 ont des valeurs s'étalant jusqu'à 127 (mode comprimé) et le canal 7 jusqu'à 63 (mode linéaire).

Les données numériques sont traduites sur film noir et blanc à l'échelle du 1/3.369.000e.

Ainsi, les données de landsat se présentent sous forme de bande magnétique (enre. digital) et image sur film (enre. analogique). Chaque scène est identifiée par la date de prise de vue, les coordonnées du Centre de l'image et du Nadic, l'Azimut, l'exactitude des repères géographiques, le Centre de réception de l'image, le n° du satellite, le nombre de jours ayant précédé son lancement, l'heure de prise de vue (en heure, minute, et seconde G.M.T.).

Seuls les enregistrements dont il est possible de faire le repérage géographique sont conservés. Ces repères sont marqués sur les bords de l'image.

5. EXPLOITATION DES DONNEES.

5.1. Principe théorique.

L'exploitation des données de télédétection repose sur l'hypothèse qu'il est possible de distinguer et de classer les objets et phénomènes de la surface de la terre à partir de leur rayonnement électromagnétique, autrement dit un objet ou un lot d'objets donné, émet une énergie qui lui est propre et spécifique et qui, saisie et analysé permet de l'identifier ou tout au moins d'émettre une hypothèse sur sa nature et ses propriétés.

La réflectance d'un objet pour une longueur d'onde, est le rapport exprimé en pourcent, entre l'énergie incidente et l'énergie réfléchiée par unité de surface.

Des travaux ont été effectués dans de nombreux laboratoires et en plein champ pour déterminer la réflectance des objets. Dans la bibliographie sont données de nombreuses courbes traduisant la réflectance de certains objets (eau, sol sec, sol humide, sol sableux).

sol argileux, sol couvert et sol nu).

L'étude détaillée des réflectances montre que la relation entre l'objet et son rayonnement n'est pas biunivoque et de nombreux objets et phénomènes peuvent avoir la même quantité d'énergie et inversement un objet peut avoir plusieurs valeurs radiométriques selon l'époque par exemple. Cette difficulté est liée à deux problèmes majeurs: à l'interférence des différentes propriétés des objets, sur l'énergie rayonnée et les perturbations enregistrées lors de la saisie des données.

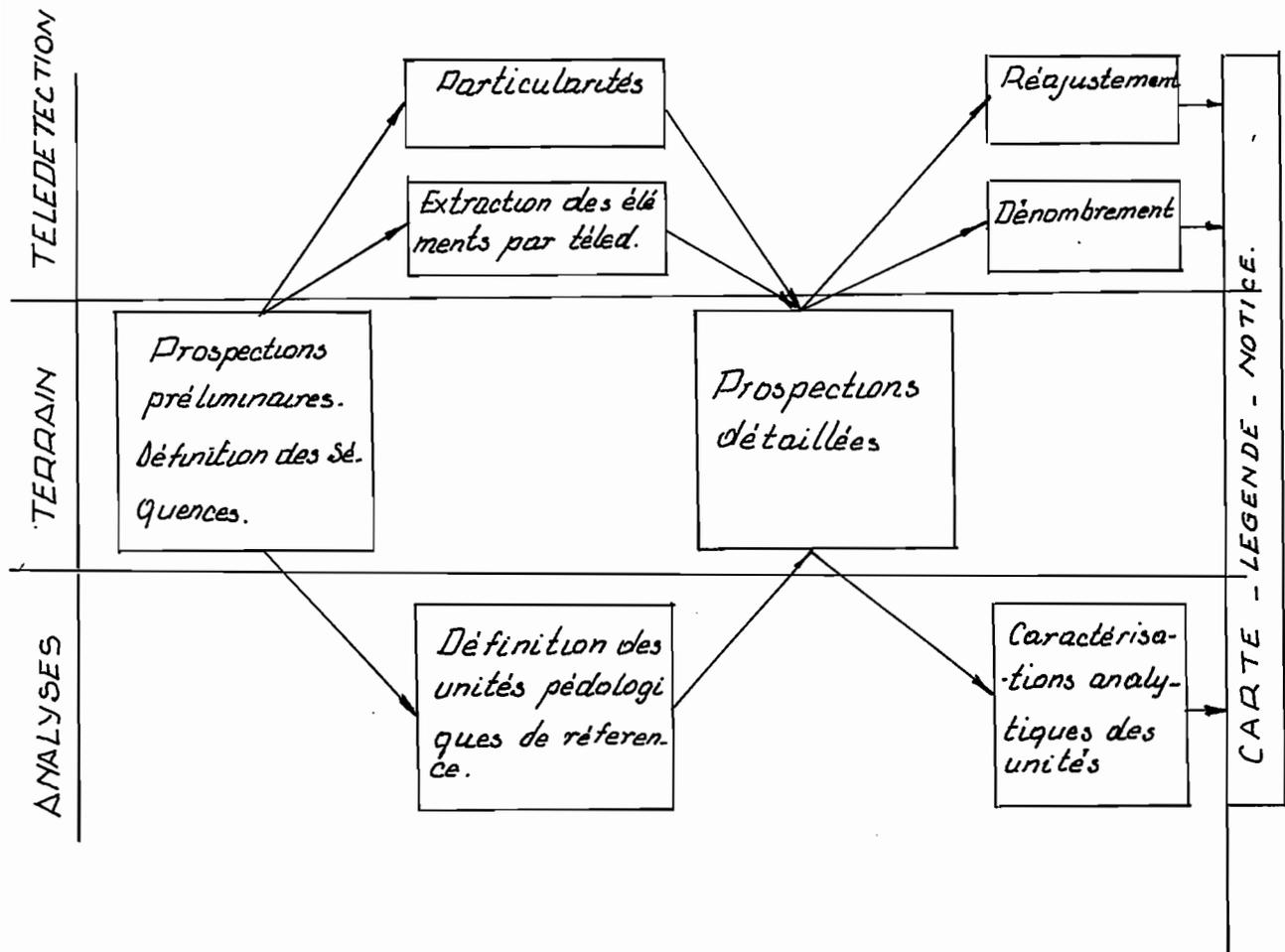
5.2. Méthodologie.

5.2.1 Exploitation des données pour l'étude des sols.

L'utilisation de la photographie aérienne pour l'étude et la cartographie des sols remonte aux années 1950 et de nos jours les données de télédétection sont de plus en plus utilisées en pédologie. Les résultats sont satisfaisants et les domaines d'application sont variés :

- a. Etude des facteurs de pédogenèse : relief, végétation, géomorphologie, hydromorphie ;
- b. Préparation des prospections et des travaux de terrain ; tracé d'itinéraires, choix des sites des tranchées ;
- c. Identification, inventaire de certaines unités de sols : sols humides, sols nus, affleurement de roche, ...
- d. Tracé des contours des unités pédologiques.
- e. Etude chronoséquentielle des unités de sols intéressant un projet de mise en valeur.

Ainsi, selon l'objet, le but, la place de la télédétection dans les travaux du pédologue varie. B. NAERT donne le schéma ci-après (p. 11) montrant la place de la télédétection dans l'étude et la cartographie des sols.



La Télédétection dans la cartographie des sols (B. NAERT).

Il ressort de ce schéma, que la télédétection se place après les prospections préliminaires et permet de mieux envisager les prospections détaillées.

D'autres chercheurs placeront les interprétations des documents de télédétection avant les prospections préliminaires et il est difficile de trancher sur les deux méthodologies.

En effet, les données sont relatives à l'état de surface du sol ; or, l'étude des sols est basée sur la description du pédon (du profil du sol), lequel est une conception de volume. Seules quelques propriétés des sols sont détectables : humidité ou état de sécheresse, affleurement de roche ou de cuirasse, battance. Les propriétés morphologiques des profils sont obtenues par extrapolation, par analyse des éléments de surface. Il semble donc d'une impérieuse nécessité de bien connaître les relations entre les éléments de surface et les propriétés des sols (morphologie, végétation, état hydrique) pour bien exploiter les données.

Il ne faut non plus oublier que ces relations ne sont pas absolues et que les relations entre l'objet et son

rayonnement électromagnétique ne sont pas biunivoques. Aussi toute interprétation est-elle en définitive supposition, hypothèse qu'il faut faire valider ou réajuster par des vérifications sur le terrain !

Quoiqu'il en soit, les techniques de télédétection offrent l'intérêt d'une méthode globale d'approche dans la généralisation des problèmes pouvant être traités, dans la rapidité d'accès à l'information et dans la possibilité de suivre l'évolution chronoséquentielle des phénomènes et objets. Il n'est pas à douter, que ces techniques convenablement utilisées permettent gain de temps, de moyens financiers et garantissent la précision des résultats.

5.2.2. Méthodes d'interprétation.

Il existe plusieurs méthodes et techniques d'interprétation des données de télédétection. Elles peuvent être regroupées en trois rubriques : analyse visuelle, traitements photographiques et traitements numériques.

a. Analyse visuelle :

Elle porte sur les images photographiques et repose sur la faculté des yeux de distinguer les éléments selon des critères bien définis. Elle consiste à délimiter des zones homogènes et à leur donner une signification. A cet effet, on utilise les notions de texture et de structure.

b. Traitements photochimiques :

Ils consistent en des manipulations, des techniques photographiques pour améliorer la lisibilité de l'image (document en couleur, composition colorée), pour isoler ou faire disparaître des zones correspondant à des réalités de terrain (équidensité, maculométrie, sélection chromatique) ou encore tracé des contours (réductions des contours).

c. Traitements numériques :

Se font sur les données radiométriques enregistrées sur bandes et utilisent un support informatique. Les méthodes consistent à des classifications des valeurs (analyse multivariable, composantes principales...). Ils donnent des résultats plus précis et plus détaillés mais ne sont pas encore tous au point.

CHAPITRE II : ANALYSE VISUELLE ET TRAITEMENTS PHOTOGRAPHIQUES DES IMAGES LANDSAT

1. CONSIDERATIONS GENERALES.

L'analyse visuelle des images de télédétection comporte trois volets : texturation, structuration et modélisation.

1.1. La texturation vise à distinguer dans l'image le plus grand nombre de classes significatives (zone homogène) suivant la couleur, la forme, les dimensions, l'abondance des tâches.

Dans le cas d'une image en noir et blanc, la couleur sera définie par le niveau de gris, par ex. : noir, gris sombre, gris, gris clair et blanc. Ce caractère traduit au-delà des conditions de traitements photographiques, la quantité d'énergie réfléchie par l'objet. On retiendra que plus un objet réfléchit une grande énergie, plus il est clair sur l'image et inversement.

La dimension des taches, ainsi que leur abondance permet de voir le caractère dominant de la zone ; la forme peut avoir une grande importance dans l'identification de l'objet.

1.2. La structuration consiste à établir des relations de position et de signification entre les différents éléments texturaux, en fonction de l'échelle du document et du problème posé. Ces relations sont traduites en terme de contraste entre les différentes plages et de mode d'assemblage. Le contraste peut être fort, moyen ou faible selon que la différence d'énergie émise par les objets l'est ou non. Le mode d'assemblage peut être ordonné ou non ordonné. Il confère à chaque zone un aspect hiérarchisé ou non et permet de dégager des séquences physiographiques là où elles existent.

1.3. La modélisation fait correspondre aux différents éléments texturaux et structuraux, une propriété de l'objet étudié ou plus généralement un thème. C'est la phase d'interprétation. La construction d'un modèle se fait avec l'appui de toutes les données bibliographiques et cartographiques disponibles ainsi que les connaissances antérieures du terrain. Elle n'exige cependant pas

une prospection préliminaire.

On peut constater que le principe d'interprétation d'analyse des images est le même que celui des photographies aériennes classiques. Les techniques d'étude sont différentes en raison de la nature des données. Les images de satellites ne se prêtent pas en général, à un examen stéréoscopique, par contre la texturation et la structuration se font sur des documents multispectraux et multitemporels.

L'analyse multispectrale permet une meilleure appréhension de l'énergie réfléchie par les objets et de pouvoir mieux les distinguer.

La comparaison des documents de plusieurs dates, convenablement choisies, fait apparaître la dynamique des différents éléments, les caractères physiographiques stables.

L'analyse visuelle aboutit à une carte d'unités physiographiques. La valeur de ce document dépend certes de l'expérience et des connaissances de l'interpréteur. Mais son intérêt est fonction du thème étudié d'une part et d'autre part, de la forte relation qui existe entre ce thème et les éléments directement perceptibles.

2. DESCRIPTION DE QUELQUES UNITES PHYSIOGRAPHIQUES DE LA REPUBLIQUE DE GUINEE A PARTIR DES IMAGES LANDSAT.

La Guinée est couverte par 14 scènes de landsat dont 10 sont internes. Ces vues sont situées sur les orbites repérées par les "traces" comprises entre 214 et 220 et les "rangs" de 051 à 054. Les deux premiers satellites ont fourni de nombreuses données de 1972 à 1976. Elles sont en général faites entre Octobre et Avril.

2.1. Objet et Matériel de travail.

L'objet de ce travail était de monter une mosaïque d'images de satellite couvrant toute la Guinée.

La mosaïque a été montée à partir des images en noir et blanc des canaux 7 (infra-rouge) disponibles à la téléthèque du

Bureau de Télédétection de l'O.R.S.T.O.M. Bondy. Les caractères référentiels de ces images sont consignés dans le tableau n° 1.

2.2. Résultats.

La densité et le contraste des films, très différents sur les originaux, ont été homogénéisés avec satisfaction au cours des reproductions photographiques.

Le raccordement des différentes vues n'a pas posé de problèmes majeurs. Il n'y a pas eu de trou ni de décalage supérieur à 0,2 mm sur l'ensemble de la mosaïque.

Du point de vue technique le résultat est satisfaisant, malgré les différences de dates entre les scènes. Une analyse d'ensemble de la mosaïque permet de distinguer de grandes unités physiographiques. Avec l'aide des cartes topographiques I.G.N. au 1/200.000e disponibles des connaissances antérieures du terrain, nous avons fait une description de certaines de ces unités.

Dans les pages suivantes, nous donnons la description de 10 unités. Chaque unité est d'abord décrite telle qu'elle se présente sur l'image et ensuite caractérisée par des données physiographiques tirées des quelques documents que nous avons à notre disposition (cartes topographiques I.G.N. 1/200.000e de 1930) et connaissances de terrain que nous avons.

L'ordre des unités se suit d'Ouest en Est de 1 jusqu'à 7, les unités 8 et 9 se trouvent au nord, et l'unité n° 10 au sud. La répartition géographique de ces unités est à peu près celle-ci :

1. Bordure de côte,
2. Régions Coyah-Forécaréah,
3. Coyah, Dubieka, Kindia,
4. 5. Kindia,
6. Mamou, sud de Dalaba, Petor,
7. Partie ouest de Télémélé, Fria, Boké-Gaoual,
8. Partie nord de Boké, ouest de Gaoual, sud de Koundara,
9. Gaoual - Koundara,
10. Sud de Mamou, sud-est de Kindia.

2.2.1. Unité 1 :

Elle apparait en gris sombre, homogène, contrastant nettement avec les zones voisines. Elle est traversée par des cours d'eau apparaissant en noir et comporte par endroit des plages blanches. Le réseau hydrographique est anastomosé.

C'est la zone des plaines côtières, à altitude faible (de quelques mètres) à relief plat, formés sur sédiments fluvio-marins déposés au quaternaire. La végétation est la mangrove (*Avicennia* sp. *Rizophora* et diverses prairies). C'est une zone humide, à sols argileux (couleur gris sombre !) appartenant à la classe des sols sur dépôts fluvio-marins.

2.2.2. Unité 2 :

Elle est composée de taches grises, gris clair et gris sombre, de taille moyenne à grande, de forme plus ou moins arrondie. Les taches gris-sombre sont rares (moins de 10 %). Le contraste entre les différents éléments texturaux varie de moyen à faible. L'unité se distingue des zones voisines par son ton.

C'est une région de pénéplaines dont l'altitude est de quelques dizaines de mètres (100 m tout au plus), faiblement ondulée, à dénivellation faible. La végétation n'est pas dense et est dans sa majorité constituée de savane arbustive et à graminées. Les sols sont légers, à texture sablo-limoneuse, gravillonnaires dans certains endroits et cuirassés dans d'autres. Les affleurements de cuirasse sont cependant rares. Les feux de burisse (taches gris sombre ?) parcourent certains domaines.

Cette unité occupe une position parallèle à la première.

2.2.3. Unité 3 :

Elle est composée de plages gris-sombres à noires séparées les unes des autres par des traits blancs, droits et enveloppés par une auréole blanche. Les plages gris-sombre sont de grande taille. Les traits blancs sont fins de l'ordre de dixième de mm, et ont une orientation NE-SW. L'auréole blanche n'enveloppe que partiellement la zone et a une largeur de l'ordre du cm. Le contraste entre les éléments texturaux est fort et leur mode d'assemblage offre à la zone un aspect spécifique. L'abondance des traits blancs varie d'un endroit à un autre et la zone peut être subdivisée en deux sous unités distinctes.

Cette unité représente les massifs gréseux de Kakoulinea, jusqu'au Mont Tabau, au nord-est de Dubréka, et du Mont Gangan dans la région de Kindia. C'est une région montagneuse, d'altitude variant entre 800-1200 m, de falaises abruptes. Les sommets sont tabulaires. La région comporte de nombreuses failles.

Les sommets tabulaires, ne comportent qu'une maigre végétation et les sols sont dans leur majorité constitués de sols lithosoliques et d'affleurements de roches.

Les versants sont colonisés par une savane arbustive. Les sols sont des sols peu évolués sur éboulis de roche.

Cette unité est située à l'Est de l'unité 2 et apparaît en 3 lots séparés.

2.2.4. Unité 4 :

De couleur grise et homogène à plus de 70 %, elle comporte quelques petites taches noires et arrondies ; dans sa partie Nord, un examen minutieux révèle de nombreux traits blancs ou gris-clair, fins, formant un réseau en mailles désordonnées et denses. Ce critère peut conduire à sub-diviser la zone en deux sous-unités.

C'est une région dont l'altitude se situe autour de 250 m, constitué de plateaux et pénéplaines ondulés ; formés probablement sur grés de l'ordovicien. C'est une région de savane arbustive et arborée, à sol légers, sablo-limoneux, profonds, bien voisine de l'unité 2.

Dans son ensemble elle est située à l'Est de l'unité 3.

2.2.5. Unité 5 :

Elle est une association d'une zone gris-clair et d'une zone blanche. Le passage de l'une à l'autre est très graduel. La partie blanche est allonguée, d'une largeur de l'ordre du centimètre et se subdivise en tronçons courbés. Le contraste entre les éléments texturaux est moyen.

C'est une zone offrant un paysage de montagnes, d'altitude de 800 à 1000 m environ, avec des pentes très fortes. La couverture géologique semble être dominée par des grés, des schistes. La végétation est du type savane arborée. Les sols sont à prédominance de ferrallitiques divers et sols peu évolués sur éboulis de roche et de cuirasse.

Cette unité située à l'est de l'unité 4 est d'une extension faible et pourrait être considérée comme une zone de transition.

2.2.6. Unité 6 :

Elle est constituée de taches noires, de taille petite à moyenne, de forme arrondie et de plage gris à gris sombre. Les taches noires occupent environ 40-50 % de la zone et sont par endroit bordées de traits blancs très fins. Il n'y a pas une répartition ordonnée et hiérarchisée des taches noires. Le contraste interzone est fort et l'unité se distingue bien des zones voisines.

Cette unité présente un relief accidenté, d'altitude variant entre 700-100 m, à sommet arrondi, à pentes et dénivellations fortes. Le paysage est vallonné dans l'ensemble. Les roches semblent être à prédominance granitique et des grès avec intrusions de dolérites. La couverture végétale varie de la savane arborée à la steppe à graminées. Les sols dominants sont des affleurements de cuirasse et des sols sur éboulis de cuirasse.

Cette zone est située à l'Est de l'unité n° 5. Elle se distingue facilement des zones voisines dans sa partie Nord, Est et Ouest, mais ses limites sont difficiles à préciser dans le Sud.

2.2.7. Unité 7 :

Elle est composée d'une suite plus ou moins ordonnée de taches noires et blanches, petites et allongées. Le contraste est fort entre les éléments texturaux. La proportion des taches varie d'une partie à une autre de la zone, ce qui conduit à distinguer 2 sous-unités. Une première où l'on note la prédominance des taches noires et où les taches blanches offrent une direction préférentielle NE-SW et une seconde où ce sont les taches blanches qui prédominent.

C'est une région de montagnes, à sommet tabulaire, à altitude de 650 -750 m, vallonnée, dénivellations et pentes fortes. Les roches les plus fréquentes sont des schistes, des grès et des dolérites. La région a subi dans les temps anciens de nombreuses fractures et failles qui servent de lits à de nombreux cours d'eau.

On distingue deux grands types de végétation : une steppe de graminées, généralement localisée sur les sommets ou corniches

des montagnes et une savane arbustive sur les versants de montagne. Par endroits où l'intervention de l'homme et des feux de brousse est nulle, on trouve des forêts secondaires à Parinari.

Cette unité est composée d'affleurements de cuirasses et de sols peu évolués sur éboulis de cuirasse. C'est la région des bowés, plateaux à cuirasses bauxitiques de Préa, Boké et Gaoual.

2.2.8. Unité 8 :

Elle est composée de grandes taches de couleur grise, séparées par des lignes gris-clair, d'une largeur variant de quelques dixième de mm à 1 mm, formant un réseau dendritique plus ou moins dense. Le contraste inter-zone est moyen ; la démarcation avec l'unité 7 n'est pas très nette.

C'est une région de plateaux faiblement ondulés dans l'ensemble, d'altitude variant entre 150 et 250 m avec des versants à pente moyenne. Le réseau hydrographique est dense et bordés de forêts galeries. La végétation est à dominance de savane arbustive et graminée. Les sols sont des ferrallitiques gravillonnaires et cuirassés.

2.2.9. Unité 9 :

Elle est composée de taches gris-sombre, de grande taille, de forme plus ou moins arrondie, et de traits gris-clair à blanc d'une épaisseur de 2 mm au plus. Les taches gris-sombre passent au noir par endroit. Les traits gris-clair sont organisés en un réseau de treillis, lâches, pénné. Le contraste inter-zone varie de moyen à faible. L'assemblage des éléments est plus ou moins ordonnés. Cette unité se distingue facilement de celle située au Nord (non étudiée) mais la démarcation est moins nette avec l'unité 8 située au Sud.

La carte topographique au 1/200.000e I.G.N. indique que c'est une région d'altitude variant entre 150 et 250 m, constituée de plateaux faiblement ondulés, à pentes et dénivellations faibles. Du réseau hydrographique, (apparaissant en blanc à cause des forêts galeries) on peut envisager la prédominance de roches sédimentaires dures (schistes et diverses argilites) et/ou de roches granitiques. Au bord des fleuves et cours d'eau on note la présence de forêts galeries et sur les glacis et sommets des

plateaux une savane arbustive et graminéenne. Les sols appartiennent aux groupes de sols ferrallitiques gravillonnaires divers ; on y rencontre également des affleurements de cuirasses et des sols à hydromorphie temporaire.

2.2.10. Unité 10 :

Elle apparaît en gris-clair avec des taches arrondies gris-sombre, de taille petite et moyenne. Ces taches gris-sombre, qui par endroit sont noires, occupent 30 à 40 % de la surface de l'unité. Un examen minutieux révèle de nombreux traits blancs fins (de l'ordre du dixième de millimètre), organisés en réseau maillé dense.

L'altitude de la région varie entre 500 et 600 mètres. Le paysage offre un ensemble de montagnes avec des pentes moyennes à fortes . Les sommets des montagnes sont arrondis. L'organisation du réseau hydrographique fait penser à la présence de roches dures.

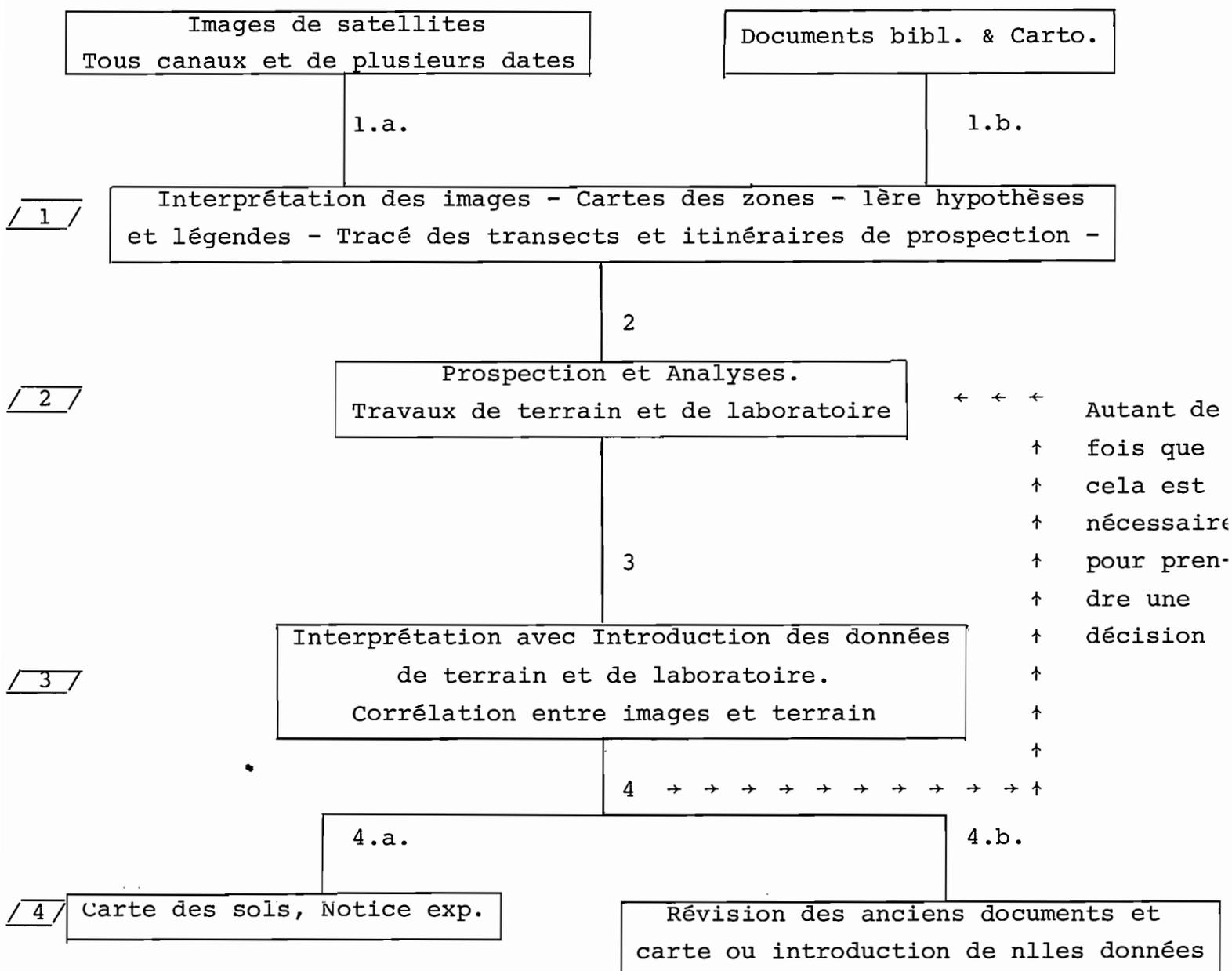
Dans les pages précédentes, nous avons donné des exemples de description et d'interprétation des images de satellites. Ils sont bien d'exprimer toutes les potentialités des images de satellites et donnent un aperçu du problème sous un aspect général. L'analyse visuelle, doit s'appuyer sur les documents de tous les canaux et de plusieurs dates et s'axer sur un thème bien défini.

3. APPLICATION DES IMAGES DE SATELLITES A L'ETUDE ET A LA CARTOGRAPHIE DES SOLS.

3.1. Objet - Méthode.

L'étude et la cartographie des sols sont des domaines très vastes et la méthode d'approche varie selon le thème et le niveau de l'étude. L'objet de notre travail, est l'établissement de la carte pédologique au 1/250.000e, objet qui est celui du Service National des Sols de la République de Guinée.

L'utilisation des données de satellites peut être menée dans les études des sols de la façon suivante :



La démarche comporte 4 étapes, chacune d'elles étant une série d'opérations.

La première est l'interprétation des images de satellites, qui comporte la texturation, la structuration et la construction de modèles, phases décrites dans les pages précédentes.

Dans cet ordre d'idée, nous nous sommes proposé d'appliquer cette démarche à la préparation de l'étude des sols de la région située entre 11° N et 11° 30 N et 12°W - 12°W.

A notre disposition il y avait les documents ci-après :

a. Images de satellites :

- en blanc et noir de tous les canaux des scènes du 27.10.75 et du 17.2.75, à l'échelle de 1/250.000e ;
- composition colorée des mêmes scènes au 1/250.000e; composition colorée réalisée avec les canaux 4 (orange), 5 (magenta) et 7 (Cyan).

b. Cartes topographique 1/200.000, feuille LABE, coupure I.G.N. de 1934, carte des sols et vocation des terres à l'échelle 1/100.000e de Pereira BARETO (1964) et une carte géologique 1/500.000e dressée à l'ORSTOM.

3.2. Résultats.

Les résultats obtenus ne concernent que la première étape de la méthode d'approche et feront l'objet d'une publication après les travaux de terrain.

Au cours de l'interprétation des images de satellites nous avons dégagé 7 grands ensembles. Nous donnons dans les pages suivantes, la description et l'interprétation de l'ensemble 1.

Cet ensemble est composé de taches vert-sombre disséminées dans des grandes plages rouges. La zone est sillonnée par des bandes jaunes, d'une épaisseur de quelques millimètres, organisées en un réseau dendritique. Les taches vertes sont de dimensions très variables, et traduisent des valeurs radiométriques faibles dans les canaux 4 et 7 et fortes dans le canal 5. Cette unité occupe une superficie assez considérable et apparaît comme un paysage bien individualisé à 3 parties de la région. Sur la série du 17 Février 1975, l'unité apparaît de la même façon dans son ensemble avec la particularité des taches vertes qui se distinguaient en deux : les vues qui restent vertes, mais un vert plus clair et les autres qui prenaient une coloration plutôt bleutée ; les dimensions des taches vertes, à quelques millimètres près, restent identiques sur les deux documents. Le fait est que l'on peut conclure que cette unité existe bien et est censée avoir une signification sur le terrain ; les faibles variations observées d'un document à l'autre, découlent des traitements photographiques et des variations temporelles des différents éléments constituant l'unité.

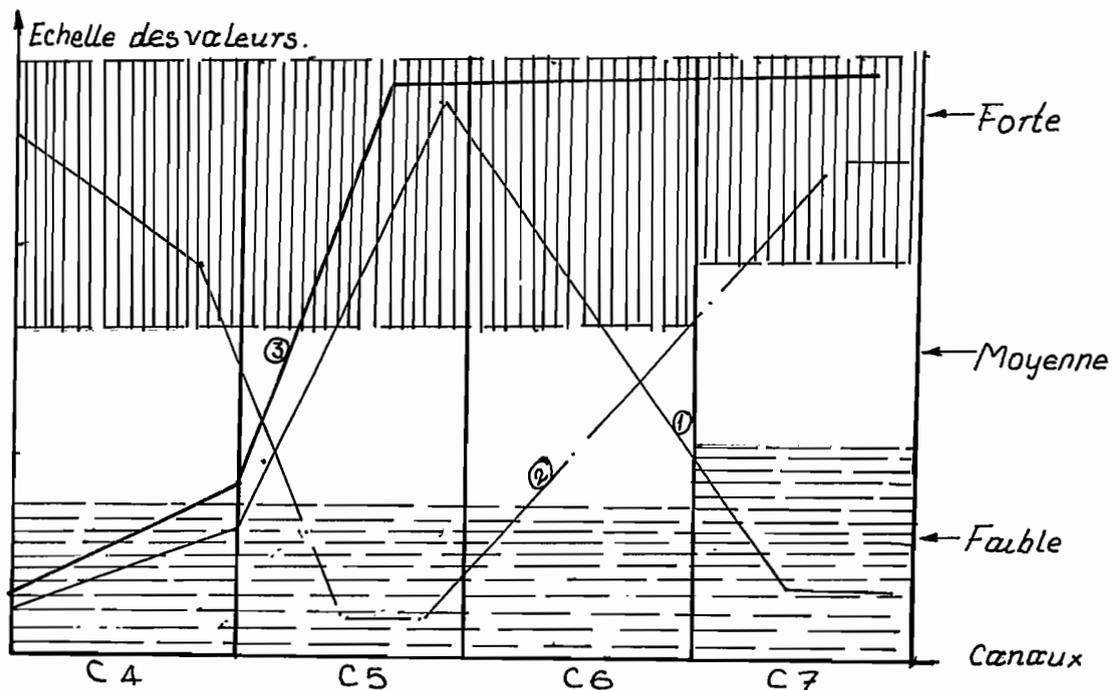
Ces caractéristiques conduisent aux hypothèses ci-après :

Les taches vert-sombre représentent des zones dénudées, sans couvert végétal (car leur valeur radiométrique est très forte dans le canal 5). Le fait que leur valeur radiométrique soit faible dans le canal 7 implique plusieurs hypothèses : liées soit à un état d'humidité très élevé, soit à des sols très argileux, soit à des zones sombres du fait du passage de deux de brousse ou par suite d'affleurements de roches sombres.

Les plages rouges traduisent la présence d'une végétation dont la fonction chlorophyllienne est bonne. Il n'y a là aucune équivoque.

Les bandes jaunes représentent des zones où le couvert végétal est nul ou à fonction chlorophyllienne nulle, (graminées sèches par ex.) et sèche. Cette hypothèse est basée sur les fortes valeurs radiométriques dans les canaux 5 et 7. La récapitulation des valeurs radiométriques de ces 3 éléments texturaux est faite dans le tableau ci-dessous.

Numéro	Couleur	C ₄	C ₅	C ₇
1	Vert-sombre	Faible	Forte	Faible
2	Rouge	Forte	Faible/Moy.	Forte
3	Jaune	Faible	Forte	Forte



figⁿ 1. Courbe des valeurs radiométriques estimées.

Les dimensions des taches vertes sont très variables. Il en existe de grandes, se détachant facilement et cartographiables et d'autres qui sont petites voire même très petites, se présentant en paquet groupées. Ceci fait penser à une action de démantèlement d'une grande tache verte, sous l'action des divers facteurs d'érosion et de désagrégation.

Les bandes jaunes, sont allongées et font penser à des plaines suivant les cours d'eau.

La présence de cette unité dans la région semble être liée à un facteur géologique et les relations entre les différents éléments texturaux semblent être à des facteurs de topographie. Cette hypothèse serait en accord avec la conclusion faite par plusieurs pédologues (Maignien et al.) selon laquelle, la nature des sols ainsi que leur répartition sont dans cette région, déterminées en tout premier lieu par la nature du matériau et de la topographie. En effet, cette unité se rencontre dans des zones, offrant une altitude supérieure à 800 m, à relief montagneux, avec des sommets arrondis, formées sur dolérite, selon la carte géologique au 1/500.000e. Cette dolérite est d'âge secondaire et constitue des sills ou dykes dans les grès siliceux déposés au silurien ou gothlandien.

La nature des sols se présenterait comme suit : les dolérites ont donné des sols ferrallitiques, où l'action des conditions favorables se sont formées des cuirasses ferrallitiques. Les divers processus d'érosion, surtout l'érosion hydraulique, ont entraîné les décapages des couches superficielles et la mise à nu des cuirasses. Les taches vert-sombre seraient probablement ces cuirasses. Les unes sont encore très importantes mais d'autres sont en voie de démantèlement. Elles se retrouvent au sommet ou sur les corniches des montagnes.

Sur les versants la situation est fort variable et dépend dans une certaine mesure des processus qui se passent en amont et de la force et l'intensité de l'érosion. Deux cas sont possibles :

- des sols peu évolués, formés sur éboulis de cuirasse ou de roche (dolérite et grès). Ce sont des sols peu profonds, fortement érodés, comportant dans leur profil de nombreux blocs.

- des sols ferrallitiques profonds, ayant une couverture végétale forte qui exerce une action réductrice sur les processus de l'érosion.

En bas de pente, la région offre un paysage de plaines, où se développent des graminées annuelles. Les sols sont les uns ferrallitiques, les autres à hydromorphie temporaire, formés sur colluvions et il ne sera pas étonnant de rencontrer des blocs de roche ou de cuirasse dans leur profil à 30 - 50 cm de profondeur. Les taches noires que l'on trouve dans ces bandes sont soit des cuirasses, soit des feux de brousse. L'origine des cuirasses dans ces endroits est liée sans aucun doute à la migration latérale des sesquioxydes (Fer, Al, Mn) et leur accumulation et durcissement par suite des alternances des conditions d'humidité et de sécheresse.

Le rapprochement avec la carte des sols et des vocations de terre au 1/100.000e confirme dans une certaine mesure le modèle ainsi élaboré. Les régions où se rencontre cette unité, comportent des affleurements de cuirasse, des sols squelettiques, et des sols hydromorphes sur dépôts colluviaux peu profonds. Les limites ne se superposent pas, mais, il n'empêche que, dans l'ensemble, les unités apparaissent aux mêmes endroits. Mieux, en ce qui concerne les affleurements de cuirasses et les sols hydromorphes, ils ont des limites, plus fines et plus précises sur les images de satellites.

Ce modèle, reste hypothèse et doit être confronté aux réalités de terrain, organisées en deux étapes.

Le choix des itinéraires et des sites de prospection sera fait par superposition de l'image satellite et d'une carte topographique.

Pour les sept grandes unités décrites le travail a été le même. Les résultats seront confrontés aux réalités de terrain et feront l'objet d'une publication dans le bulletin du Service National des Sols de la Guinée.

4. IMPORTANCE ET VALEUR DE L'ANALYSE VISUELLE.

Au terme de ces travaux, deux idées ressortent :

1. C'est une méthode d'approche très simple et qui est facile à

mettre en oeuvre, car n'exigent pas de gros moyens. Elle permet d'avoir une idée de la zone à analyser et la construction de modèles logiques, dont la chance d'aboutir dépend de l'expérience et des connaissances du chercheur.

2. Pour l'étude et la cartographie des sols aux petites et moyennes échelles, l'analyse visuelle des images landsat peut être considérée comme étape préliminaire à toute prospection. Les conclusions doivent comporter un tracé d'itinéraire et un choix des sites de prospection. Les travaux de prospection des sites choisis peuvent être réduits et facilités avec l'examen de quelques photographies aériennes.
3. La texturation, la structuration ainsi que la construction des modèles sont des opérations faciles à condition d'avoir des images d'excellente qualité. De là l'intérêt du choix des images mais et surtout de la qualité des traitements photographiques des films choisis et achetés.

5. TRAITEMENTS PHOTOGRAPHIQUES.

Les utilisateurs ont à leur disposition des films (négatifs ou positifs) en noir et blanc, des canaux 4, 5, 6 et 7 obtenus par transformation analogique des bandes magnétiques. Ces films sont soit à l'échelle de 1/3.369.000e soit 1.1.000.000e. Ces documents sont de la 4ème génération.

La date, le couvert nuageux et la qualité des films sont les critères déterminant le choix d'une scène de landsat.

Les traitements photographiques ont pour objet d'améliorer la lisibilité des documents. Ils sont faits en amont et en aval de l'analyse visuelle.

Les traitements en amont sont une reproduction soit à échelle égale, soit à échelle plus grande du document original, reproduction soit en noir et blanc soit en couleur.

Les traitements en aval sont des traitements spécifiques ayant pour objet d'isoler, de sélectionner ou de faire disparaître des plages de gris significatifs ou correspondant à une bande de longueur d'onde définie.

Densité et contraste des documents.

Ces opérations sont basées sur les notions de densité et contraste et sur la fonction de restitution des différentes émulsions.

La densité est une notion quantitative définie comme le logarithme de l'opacité du document.

Le contraste en terme simplifié est la différence de densité entre les plages les plus sombres et les plus claires.

La connaissance de ces paramètres permet d'apprécier les résultats.

5.1. Densitométrie.

5.1.1. L'objet de ce travail a été de voir l'influence du temps de développement sur la restitution des densités et des contrastes.

5.1.2. Conditions.

- Matériel utilisé : Films négatifs au 1/1.000.000e C7,
- Films de reproduction : Film 41 P AGFA,
- Temps de pose : 5 secondes,
- Développement : effectué sur machine automatique aux vitesses de 25 inch/mn et 5 inch/m ; ces vitesses correspondent à des temps de 50 sec. et 250 de séjour dans les différents bains.

5.1.3. Résultats.

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

N°	Références	Négatifs		Positifs 25 inch/s		Positifs 5 inch/s	
		C 7		C 7		C 7	
1	:81-043-102-357-	:0,68 à 1,25:	:	0,40 à 0,88	:	0,51 à 2,04	:
2	:82-045-103-507-	:0,58 à 1,45:	:	0,43 à 0,75	:	0,73 à 2,11	:

Tableau n° 1 - Effet des temps de développement sur la restitution de la densité.

Il ressort que les positifs obtenus par développement lent à la vitesse de 5 inch/mn sont de meilleure qualité, ont une densité et un contraste plus élevés et ont exploité la restitution du film NP 41. Leur lisibilité est meilleure.

Quelle que soit la nature du traitement photographique ou son objet, il convient de s'assurer que la restitution des densités et des contrastes est faite dans les limites optimales, autrement dit que la sensibilité des films, des documents est utilisée dans les limites satisfaisantes. Chaque film a une courbe de restitution qui peut être tracée facielement par des séries d'essais. La courbe ci-dessous représente la restitution des densités du film NP 41 dans les conditions ci-dessous décrites.

Fig. n° 2 : Courbe de restitution (8) du film Agfa NP 41.

Cette courbe offre de vastes possibilités pour la maîtrise de certains paramètres et en particulier du temps de pose.

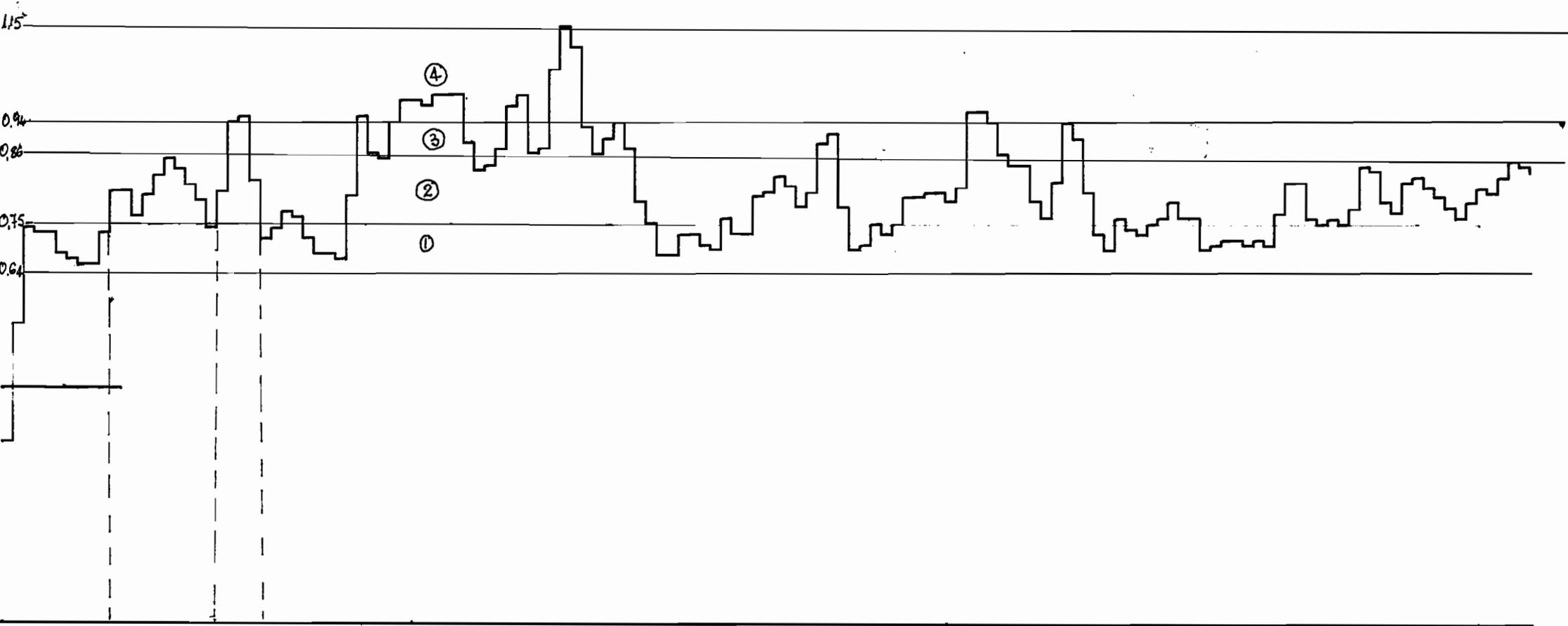
5.2. Microdensitométrie.

La mesure des densités d'un document peut être systématique et il est facile de mettre un système de balayage du film et d'enregistrement des résultats. On traduit ainsi les différents grisés du document en valeur numérique.

Au laboratoire de télédétection de l'I.N.R.A. de Montpellier, des manipulations de microdensitométrie ont donné les résultats présentés par la courbe de la page . L'examen de cette courbe fait apparaître des zones plus ou moins caractéristiques et qui sont : les grés, la zone des cuirasses et des feux de brousse que l'on identifie bien en regardant l'image en noir et blanc.

Variation des densités optiques sur un film positif C7

- ① Densité faible
- ② —"— moyenne
- ③ —"— forte
- ④ —"— très forte



Cette façon d'aborder les traitements photographiques permette d'acquérir des résultats plus précis et plus objectifs. Deux remarques s'imposent :

- la mesure de la densité des images de satellite se heurte au balayage , plus le diaphragme du densitomètre est petit mieux cela vaudra.
- la microdensitométrie est une opération de faible intérêt si l'on dispose de bandes magnétiques.

5.3. Agrandissements.

Ce sont des traitements de reproduction des documents avec augmentation des échelles. Ils offrent l'avantage de faire ressortir des éléments de détails dont la perception est difficile sur les originaux à cause de leurs petites dimensions. Au cours de ces opérations il y a souvent perte de densité dans les valeurs absolues. Les originaux de landsat peuvent être agrandis jusqu'à 1/100.000e ; les lignes de balayage sont dans une certaine mesure des facteurs limitants. Les meilleures échelles d'agrandissement semblent se situées entre 1/500.000e et 1/250.000e.

5.4. Composition colorée.

Elle est obtenue par addition de couleur à partir des documents en blanc et noir des différents canaux. Les couleurs utilisées sont le Cyan, le magenta et le jaune. On traduit l'image de chaque canal par une couleur et on procède à une superposition. Généralement on utilise des films positifs dans les relations suivantes : canal 4 en jaune, canal 5 en magenta et canal 7 en Cyan.

Le document final obtenu est une composition en couleur, plus ou moins esthétique et permettant une distinction plus grande des éléments. Ce document permet en plus une analyse multispectrale immédiate.

La mise en oeuvre est facile et ne coûte pas chère. Il rend bien les contrastes et offre des possibilités plus grandes pour l'analyse visuelle.

Toutefois, des documents que nous avons composés à partir des scènes de landsat, nous avons eu l'occasion d'observer que toutes les limites ne sont pas nettes et que certains éléments ne sont pas bien individualisés.

5.5. Equidensité colorée.

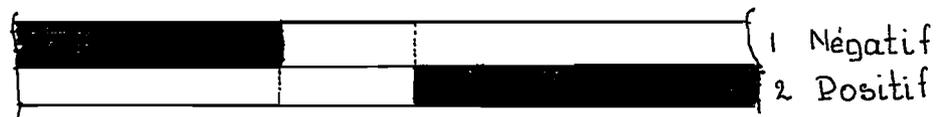
Le principe est d'isoler des zones de densité égale et de leur affecter une couleur. On utilise des émulsions spéciales appelées films trait ou films liths.

Ce procédé présente un grand intérêt surtout dans la délimitation des objets et en cartographie.

Au cours de notre stage nous avons pratiqué deux techniques différentes d'équidensité.

5.5.1. Procédé Kodak.

Il consiste à construire des fenêtres de densité par la superposition de deux films et à leur affecter des couleurs par la technique color Key. Le schéma ci-dessous décrit la technique.



Le premier film a été coupé au niveau 5 et le second au niveau 6. Leur superposition donne une fenêtre, un trou entre 5 et 6. On peut isoler ainsi quatre fenêtres et colorier chacune d'elle sur le même document.

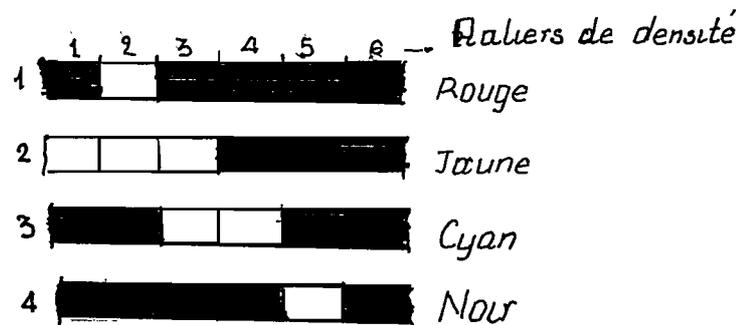


Schéma d'affectation des couleurs

Fenêtre 1 : jaune,
2 : orange,
3 : vert,

Fenêtre 4 : bleu,
6 : blanc,
5 : noir.

Le document final, présentera 6 couleurs différentes correspondant à des classes de densité.

Cette technique offre des possibilités très grandes. Dans la zone comprise entre 9°30 N - 10° N de la scène 217 x 053 du 25 Mars 1975, nous avons pu dégager :

- 1 Eau libre,
- 2 Mangrove,
- 3 Grès,
- 4 Zone des terrasses anciennes.

Dans cette manipulation nous avons utilisé les canaux 5 et 7.

5.5.2. Procédé copyproof.

Il se fait sur des produits spécifiques et consiste à traduire des niveaux de densité choisie à une couleur. Le procédé est rapide et moins coûteux. Il a été appliqué sur les films positifs des canaux 5 et 7 de la scène 217 x 053+ dans les combinaisons suivantes :

Tableau n° 2 - Combinaisons des couleurs pour l'équidensité par copyproof.

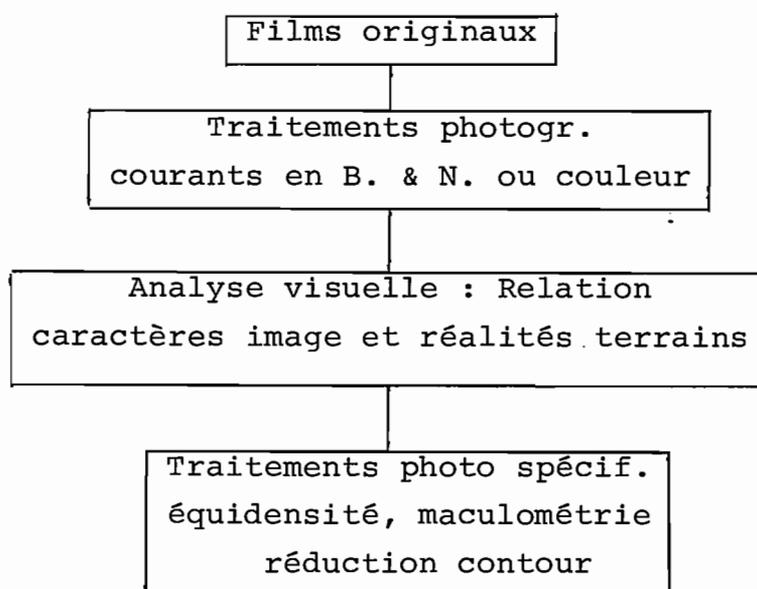
Numéro	Canal	Couleur	Temps pose	Transfert.
1	C 7	Noire	12 sec.	Positif
2	C 5	Magenta	30 sec.	Négatif
3	C 7	Cyan	24 sec.	Négatif
4	C 7	Jaune	5 sec.	Positif

La superposition de ces 4 documents a donné une image d'une grande valeur esthétique et comportant 5 classes bien tranchées : Noir, Violet, Orange, Jaune et Bleu. La signification des couleurs varie d'une zone à une autre, et l'on ne peut certes pas établir une légende précise. Par exemple dans le bleu se trouvent traduits les affleurements de cuirasse, les affleurements de grès et autre chose ; de même que le violet correspond à la mangrove plus autre chose.

L'utilisation de la technique d'équidensité facilite sans aucun doute l'analyse visuelle, mais l'interprétation des couleurs doit se faire avec prudence ; mieux son utilisation comme technique cartographique doit tenir compte de la variation de densité dans les différentes zones du film.

Il existe bien d'autres traitements photographiques tels que l'utilisation de la couleur classique, la combinaison chromatique, la réduction contour, dont nous n'aborderons pas ici, mais qui peuvent être utilisés pour l'exploitation et l'interprétation des images de satellite.

Il faudrait retenir que l'analyse visuelle et les traitements photographiques constituent les deux premières méthodes de base pour l'interprétation des données de télédétection. Elles doivent être considérées comme complémentaires et leur utilisation peut être schématisée de la façon suivante :



Ces méthodes offrent l'avantage d'être relativement simples, faciles à mettre en oeuvre. Elles ont cependant leur limite. L'analyse visuelle est limitée par la faculté de perception de l'oeil et est dans une certaine mesure subjective. Les traitements photographiques sont limités par diverses contraintes techniques qu'il n'est pas toujours facile de surmonter : perte de densité et de contraste et apparition du balayage au cours des agrandissements, impossibilité de séparer certaines valeurs de densité, etc... Aussi, ces méthodes sont utilisées pour des études à petite ou moyenne échelle 1/100.000e tout au plus. Une étude plus fine nécessite le recours aux valeurs radiométriques dont la résolution au sol est de 79 m x 57 m.

CHAPITRE III - ANALYSE NUMERIQUE

1. CONSIDERATIONS GENERALES :

L'analyse numérique est effectuée sur les valeurs radiométriques des pixels établies par les radiomètres multispectraux embarqués à bord des satellites. Ces valeurs radiométriques sont enregistrées sur des bandes magnétiques dont les caractéristiques techniques et informatiques dépendent des conditions de travail de la station de réception.

Les bandes d'origine américaine sont présentées en enregistrements de 800 bytes par inch. (800 bpi) ou 1600 bpi. et il faut 2 bandes de 800 bpi. ou une de 1600 bpi. pour une vue de Landsat.

Les valeurs sont étalées de 0 à 255 soit 2^8 octet ; les canaux 4, 5 et 6 sont des valeurs comprises entre 0 et 127 (2^7 octet) et le canal 7 entre 0 et 63 (2^6 octet). Les bandes américaines sont composées de 3.240 colonnes et 2.340 lignes, réparties en quatre parties égales de 810 colonnes appelées "streep". La position d'une zone ou d'un point est repérée par son numéro de ligne et de colonne.

Au-delà de ces caractères liés aux possibilités techniques de la station, les valeurs radiométriques d'une vue landsat présentent la structure d'un espace à quatre dimensions. En effet à une vue il correspond plusieurs points et chaque point est caractérisé par 4 valeurs (une valeur pour chaque canal). Leur analyse en vue d'une classification automatique des points relève du domaine de la reconnaissance de structure dans un espace multidimensionnel.

De nombreuses méthodes ont été mises au point pour l'analyse des données de landsat :

- Méthode de Classification Automatique des données Multi-Spectrales (C.L.A.M.S.),
- Méthode d'analyse en composantes principales,
- Méthode d'analyse multivariante etc...

Il est intéressant de constater que ces méthodes utilisent, pour la reconnaissance, la définition de la structure, une petite

zone, dite zone d'apprentissage ou zone test.

La méthode est dite supervisée quand au cours des traitements on fait appel aux données de terrain et non supervisée le cas contraire.

L'importance quantitative des données à manipuler le nombre de calculs et d'opérations à exécuter font que toutes les méthodes sont basées sur des supports informatiques.

Dans les pages qui suivent, nous parlerons de l'analyse multivariable - "Procédure loterie" -, méthode d'étude et de reconnaissance des structures dans une vue de landsat.

2. PRINCIPES ET TECHNIQUES DE LA PROCEDURE LOTERIE.

Les bases scientifiques de la méthode ainsi que la définition des concepts et la description des techniques ont été publiées dans le livre "Télédétection n° 2".

Les notions fondamentales sont le polynombre, le serpent, le lot, le thème et la parenté.

Par définition, un polynombre de niveau K est une suite de K nombres entiers positifs et un serpent est un ensemble de polynombres, ensemble dont les limites sont définies par celle des polynombres. Par exemples :

$$A = 22, 26, 33, 13$$

$$B = 20, 21, 30, 9$$

sont deux polynombres de niveau K. Ils définissent un serpent

$$S = 22. 26. 33. 13$$

$$20, 21, 30, 9$$

comprenant 3 x 6 x 4 x 5 polynombres.

Ces deux concepts peuvent être facilement appliqués à une vue landsat. Dans ces conditions un lot représente un ensemble de point dont les polynombres se trouvent compris dans un serpent S, bien défini.

Ce lot de points, peut ou non avoir une signification sur le terrain ; on dit alors qu'il représente ou ne représente pas tel thème.

La méthode repose sur l'hypothèse, que dans une vue V, en connaissant tous les points rattachés à un thème, il est possible

de composer un serpent S (V,L) tel qu'un lot de la vue V contienne tous les points du thème et rien qu'eux ; mieux s'il est possible de procéder à une extrapolation, le serpent est appelé parenté du thème.

La procédure loterie est simple dans son application. Elle comporte 3 étapes :

- Extraction au cours de laquelle nous recherchons les valeurs radiométriques des différents ^{points} le serpent de définition de la vue, les histogrammes des valeurs radiométriques dans chaque canal. Ces opérations sont exécutées par un programme informatique très simple appelé "LOUS" ou "LOFI".
- Recherche des occurrences des différents polynombres effectuée par le programme "LOOC".
- Constitution des lots : les lots sont constitués après un découpage des valeurs radiométriques des canaux selon un barème de dégradation établi. Il s'agit en fait d'un découpage en niveau de valeurs radiométriques. Ces opérations sont effectuées par PIMA (petite image) quand on est intéressé par un seul lot ou LOTE quand on est intéressé par plusieurs lots.

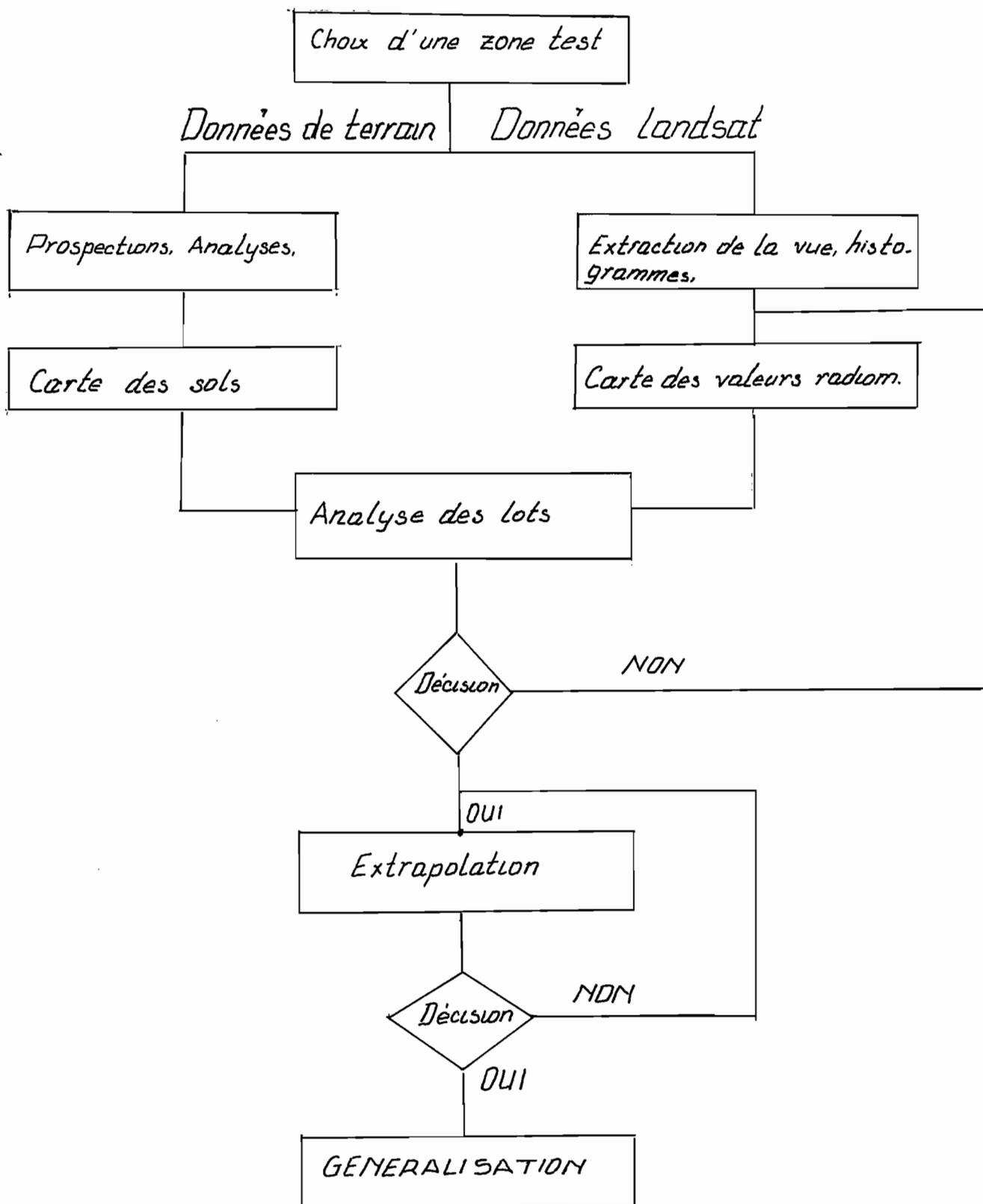
Les programmes sont simples et rédigés en langage COBOL. La procédure est une gestion de données et ne fait pas recours à des calculs compliqués. Elle est souple et peut être abordée de plusieurs manières.

Mais dans son ensemble, c'est une technique supervisée dont la conclusion impose un recours aux données de terrain.

Pour l'étude des sols, elle peut être d'une utilité assez grande. Elle peut s'inscrire, dans l'étude et la cartographie des sols de la façon suivante : (voir schéma).

Il convient d'insister sur le fait que la carte obtenue ne peut être appelée carte des sols, mais plutôt carte des valeurs radiométriques.

Au cours de notre stage, nous avons appliqué cette méthode à la bande magnétique correspondant à la scène de landsat 2, du 1er Mars 1976, référencée sous le n° 82.404.102.605. Cette scène est située au tracé x rang 217 x 053 et concerne la zone située entre 9°30'N-11°0'N et 12°30'W-13°30'W en Guinée. Nous avons sur cette bande, cherché quelques thèmes qui nous sont bien connus :



Procédure loterie et cartographie des sols

Schéma d'utilisation des traitements numériques des données Landsat pour l'étude et la cartographie des sols.

mangrove, affleurement gréseux, affleurements de cuirasse, forêt galerie, etc...

3. RECHERCHE DU THEME MANGROVE.

3.1. Objet et méthode.

L'objet a été :

- a. de déterminer un lot stable lié au thème mangrove et de voir la possibilité d'extrapolation.
- b. de trouver les lots dans cette même région. Lots dont l'image est sensée représentée une réalité sur le terrain.

Pour le premier objet, nous avons utilisé le programme P.I.M.A. pour déterminer la stabilité du lot et la parenté du thème.

Pour le second objet, nous avons procédé à la constitution et à l'étude de plusieurs lots par le programme loterie.

3.2. Zones test.

Nous avons choisi deux zones test dans la mangrove délimitée par les numéros de lignes et de colonne ci-après :

a. Mangrove.

Colonne de 851 à 970 streep n° 2
Ligne de 1880 à 1940.

b. Fenêtre Parenté-Mangrove.

Colonne de 951 à 1070 streep n°2
Ligne de 1900 à 2020.

La mangrove est le nom commun donné au paysage des zones du littoral tropical. Ce sont des basses terres, submergées par les eaux des mers et des fleuves, formées sur dépôts fluvio-marins, argilo-sableux. Elles sont colonisées par une végétation spéciale (mangrove). Cette végétation, selon plusieurs facteurs et en particulier de sa position vis-à-vis des eaux de mer est à dominance d'Avicennia ou de Rhizophora ou encore de prairies.

Les sols que l'on y rencontre sont très spécifiques, appartiennent à la classe des sols sur alluvions récentes, et sont

regroupés sous le terme de "sols sulfatés acides" à cause des processus d'évolution du soufre dont ils sont le siège. Ils ont fait l'objet de nombreuses études et en Guinée l'on peut citer le travail de A. Kawalee, dans sa thèse pour Doctorat et de J. D'Host.

Sur les images de satellite cette unité se distingue facilement par son ton gris-sombre homogène dans les canaux 5 et 7.

Les fenêtres ainsi choisies sont localisées entre 9°30'N - 9°38'N et 13°28'W - 13°35'W.

3.3. Recherche d'un lot stable.

3.3.1. Détermination du serpent de la vue.

Les recherches ont été effectuées sur la première fenêtre allant des colonnes 851 à 970 et des lignes 1880 à 1940. Cette vue compte 7320 points et son serpent de définition est :

$$SV = \begin{pmatrix} 30. & 37. & 44. & 19 \\ 1, & 4, & 18, & 5 \end{pmatrix}$$

Les histogrammes des valeurs radiométriques des canaux 4, 5, 6 et 7 sont présentés par les courbes de la figure n° 3 et 4.

Ces courbes montrent une répartition très concentrée dans les canaux 4 (de 20 à 30), 5 (de 20 à 37) et 7 (de 7 à 19) et plus étendue dans le canal 6.

Le serpent de la vue est représenté dans la figure n° 5.

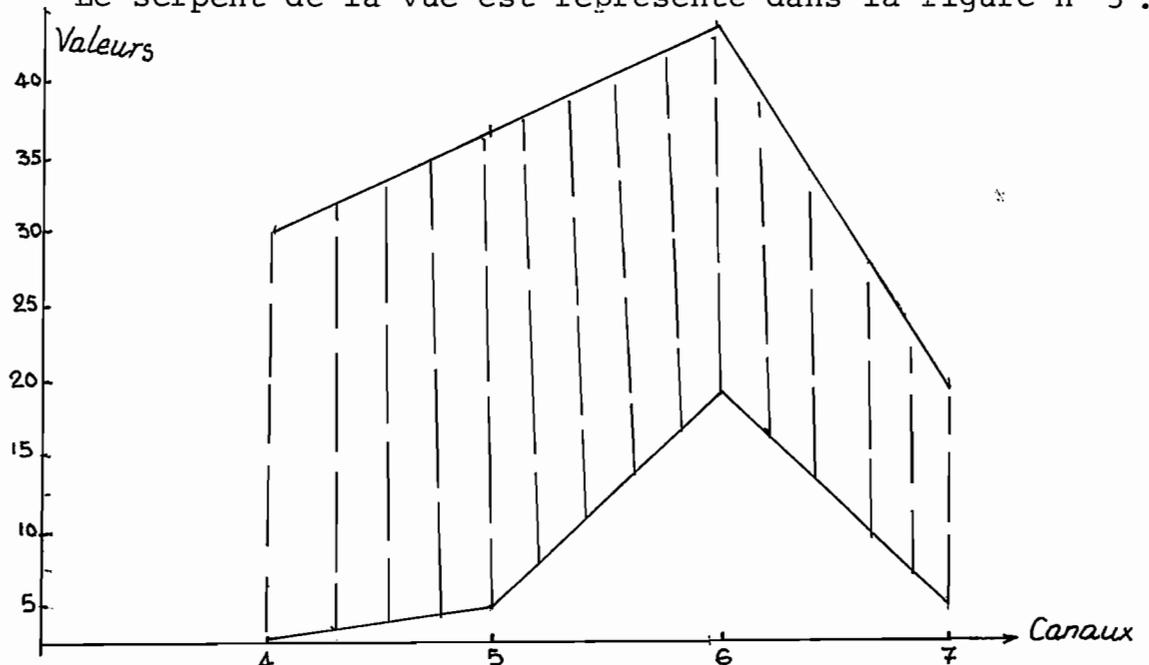


Fig. n° 5.

fig 3: histogrammes des valeurs
radiométriques c5 et c7
"fenêtre - Mangrove"

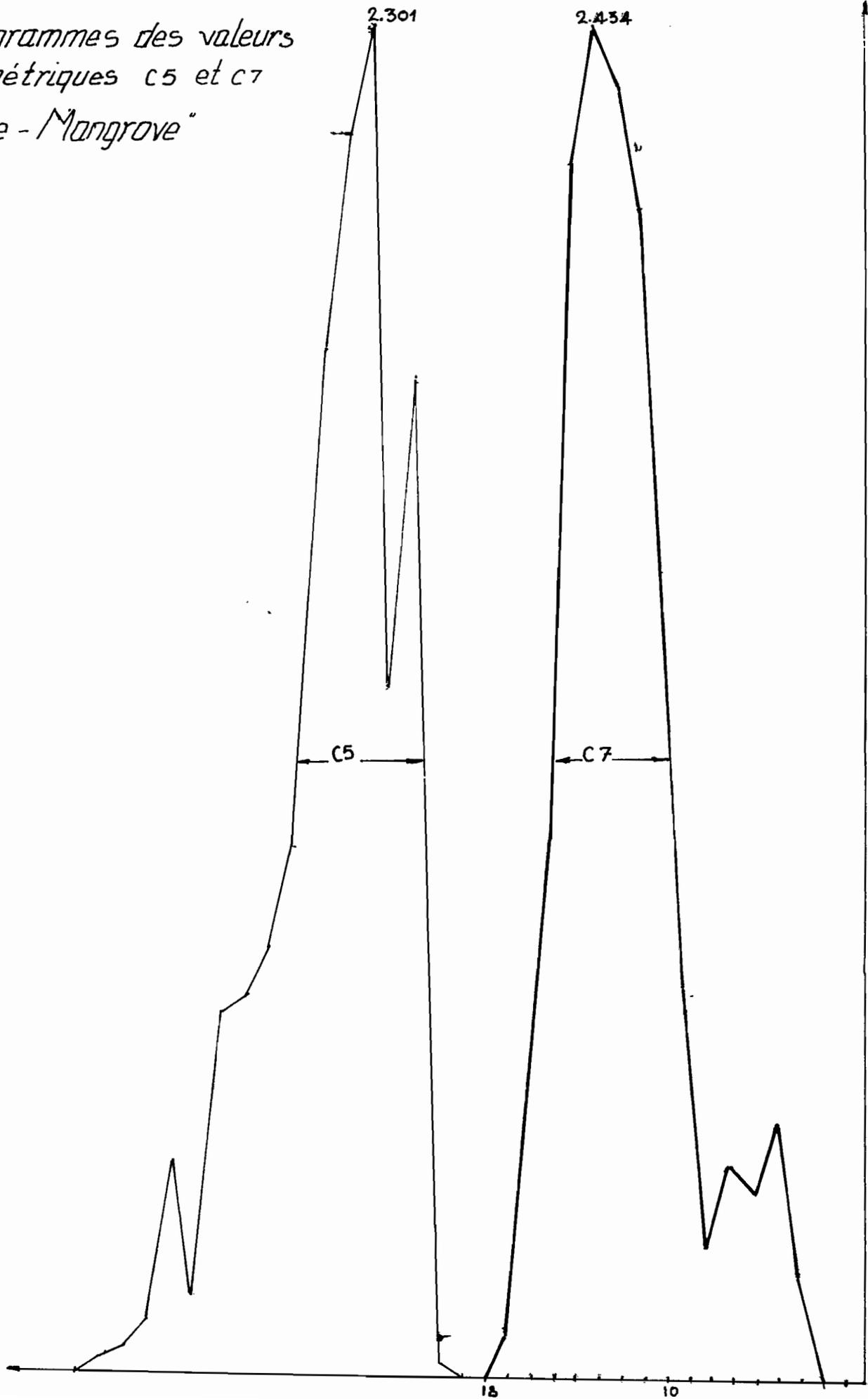
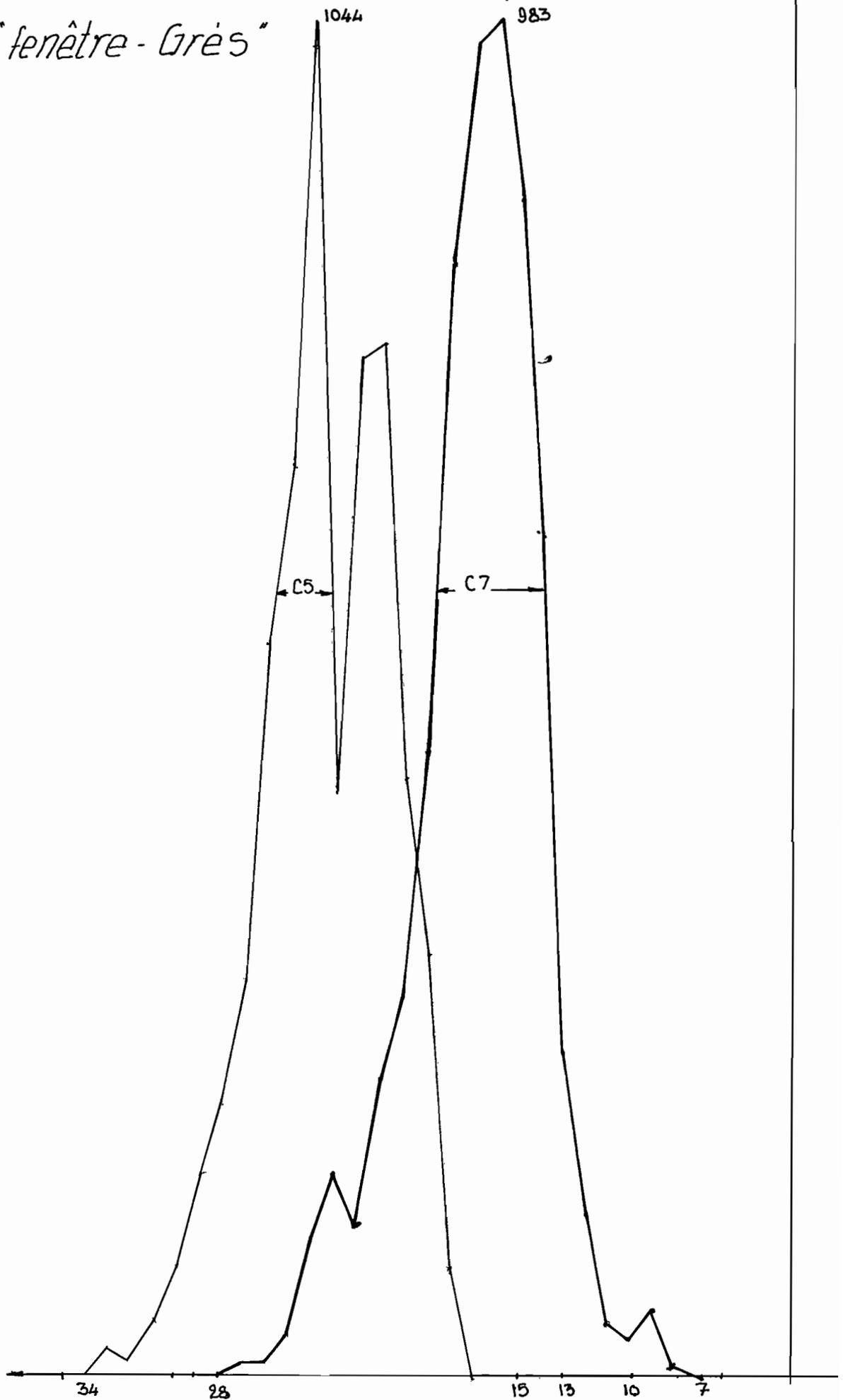


fig. 4: Histogrammes des valeurs radiométriques c5 et c7

"fenêtre - Grès"



L'importance de ce serpent est de 427.870 c'est là que le nombre théorique de polynombres est plus grand que le nombre réel de points. Il va sans dire que de nombreux polynombres auront une occurrence nulle.

3.3.2. Serpent et image d'un lot stable.

Le programme LOOC donne les 50 polynombres de plus forte occurrence. Ces résultats sont donnés dans le tableau de la page Si l'on compose un serpent constitué des valeurs de ces polynombres, on obtient un lot sensé grouper des points caractérisés par ces polynombres. En élargissant petit à petit ce serpent, on obtient un lot stable.

Le serpent de départ à été ainsi composé :

$$S_0 = \begin{pmatrix} 27. & 26. & 35. & 15 \\ 23, & 22, & 32, & 11 \end{pmatrix}$$

L'étude de la stabilité du lot présenté par ce serpent a donné les résultats mentionnés dans le tableau ci-dessous :

N°	Serpents	Nbre pts N	Imp. T	Log N	Log T
1	27. 26. 35. 15 23, 22, 32, 11	1.887	500	3,28	2,70
2	29. 28. 37. 16 23, 22, 32, 11	1.993	1.764	3,30	3,25
3	29. 29. 38. 17 23, 22, 32, 11	2.125	2.401	3,33	3,38
4	30. 30. 39. 18 23, 22, 32, 11	2.456	4.608	3,39	3,66
5	30. 31. 41. 19 22, 21, 30, 10	3.631	11.880	3,56	4,07
6	30. 31. 41. 19 21, 20, 30, 10	3.996	15.840	3,60	4,20
7	30. 31. 41. 19 21, 20, 30, 9	4.000	14.400	3,60	4,16
8	30. 31. 41. 19 20, 20, 30, 9	4.000	17.424	3,60	4,24
9	30. 31. 41. 19 20, 19, 30, 9	4.000	18.876	3,60	4,28
10	30. 32. 41. 19 21, 20, 30, 9	4.126	18.876	3,62	4,28

Tableau n° 3 - Caractères des serpents de stabilité.

La figure n° traduit l'évolution en fonction logarithmique du nombre de points et de l'importance des serpents.

L'analyse de ces serpents et de la courbe d'évolution du nombre de points, montre que la stabilité du lot s'observe avec le serpent

$$S = \begin{pmatrix} 30. & 31. & 41. & 19 \\ 21, & 20, & 30, & 9 \end{pmatrix},$$

serpent qui contient 4.000 points. L'image de ce lot est donnée à la page

Cette image montre bien que les points du lot appartiennent à la mangrove. Les documents que nous avons à notre disposition ne nous permettent pas une analyse fine pour savoir si le lot ne contient que tous les points du thème et rien que ceux-là. Une vérification de terrain s'impose.

Pour la suite, nous supposons que ce lot stable contient tous les points du thème et rien qu'eux et nous définissons le thème "mangrove" par le serpent S.

3.3.3. Recherche de la parenté et extrapolation.

3.3.3.1. La parenté du thème a été étudiée en cherchant le rôle des bornes inférieures et supérieures de chaque canal. Ils convient de souligner que les bornes inférieures des canaux 4 (20) et 5 (21) et les bornes supérieures des canaux 4 et 7 coïncident pratiquement avec celles de la vue. Leur étude n'est d'aucun intérêt. Les résultats obtenus pour les autres limites sont présentés dans le tableau n°4

N°	Serpents	Nbre pts N	Imp. T	Log T	Log N
1	30. 31. 41. 19 21, 20, 30, 9	4.000	15.840	4,20	3,60
2	30. 37. 41. 19 21, 20, 30, 9	4.233	23.760	4,38	3,63
3	30. 31. 44. 19 21, 20, 30, 9	4.000	19.800	4,30	3,60
4	30. 31. 41. 19 21, 20, 17, 9	6.310	21.600	4,52	3,80
5	30. 31. 41. 19 21, 20, 17, 5	4.000	21.600	4,33	3,60

Tableau n° 4 - Caractères des serpents de parenté.

Ces résultats permettent de conclure que dans cette vue et pour la détermination de la mangrove, la borne supérieure du canal 5 et la borne inférieure du canal 7 sont déterminantes. La parenté du thème est :

$$\left(\begin{array}{cccc} - & 31 & - & - \\ - & ; & - & ; \\ & & 30 & - \end{array} \right)$$

Extrapolation :

Elle a été faite sur la fenêtre b définie à la page
Le serpent de définition de cette fenêtre est

$$s = \left(\begin{array}{cccc} 31. & 36. & 43. & 18 \\ 2, & 19, & 15, & 4 \end{array} \right).$$

L'image du serpent mangrove dans cette fenêtre est donnée à la page 41b. Le lot compte 9.600.

L'analyse fine de cette image et sa comparaison avec les images en noir et blanc des canaux 5 et 6, montre qu'il y a beaucoup de points en trop. L'explication est que le serpent est trop important et qu'il faudrait raffiner et préciser les limites. Ce travail a été fait sur le canal 7 et les résultats obtenus sont donnés dans le tableau

Tableau n° 5 - Caractères des serpents de parenté.

N°	Serpents	Nbre pts N	Ump. T	Log N	Log T
1	31, 31, 41, 19 21; 20; 30; 9	9.600	17.424	3,98	4,24
2	31, 31, 41, 17 21; 20; 30; 9	9.600	14.256	3,98	4,15
3	31, 31, 41, 15 21; 20; 30; 9	9.120	11.088	3,96	4,04
4	31, 21, 41, 14 21; 30; 30; 9	8.260	9.504	3,92	3,98
5	31, 21, 41, 13 21; 30; 30; 9	6.202	7.920	3,79	3,90
6	31, 21, 41, 14 21; 30; 30; 7	8.262	12.672	3,92	4,10
7	31, 21, 41, 14 21; 30; 30; 5	8.262	15.840	3,92	4,20
8	31, 31, 41, 13 21; 30; 30; 5	6.204	14.256	3,79	4,15
9	31, 31, 41, 12 21; 20; 30; 5	3.889	12.672	3,59	4,10
10	31, 31, 41, 11 21; 20; 30; 5	1.788	11.088	3,25	4,04

L'examen de ces 10 serpents fait ressortir 3 limites importantes. Ce sont les valeurs 15, 14, 13, 12 et 11. Chacune d'elles correspond à un nombre de points bien déterminé. La décision à prendre dépend des données de terrain ou à défaut des données bibliographiques (cartes, documents...) déjà disponibles. A l'examen des images de satellites nous retenons la limite 13 qui fait mieux ressortir l'unité de la carte présentée à la page . L'image du serpent ayant la limite 14 est également acceptable. Seules les vérifications permettront de voir la valeur, la justesse de la décision prise.

Avec cette nouvelle limite le serpent de la mangrove devient :

$$S = \begin{pmatrix} 30; & 31; & 41; & 13 \\ 21 & 20 & 30 & 9 \end{pmatrix} \text{ et la parenté } S' = \begin{pmatrix} - & 31 & - & 13 \\ -; & -; & 30; & - \end{pmatrix}.$$

Cette parenté devient plus précise et le serpent appliqué à la lère vue donne un lot comptant points.

4. RECHERCHE SUR D'AUTRES THEMES.

Par la même méthode nous avons recherché des lots stables rattachés à d'autres thèmes, nous donnons les résultats obtenus pour certains thèmes.

4.1. Affleurements de grés.

Ce thème a été étudié sur la fenêtre définie comme suit et baptisée "GRES" :

- Colonne de 1451 - 1570 streep n° 2.
- Ligne de 1750 - 1800.

Le serpent de la vue est

$$S = \begin{pmatrix} 31; & 39; & 62; & 32 \\ 0 & 17 & 25 & 10 \end{pmatrix} \text{ et groupe } 6.120 \text{ points.}$$

Cette fenêtre est située entre 9°40'N-9°45'N et 13°10'W et 13°20'W.

L'étude successive de plusieurs serpents a abouti à la stabilité du lot avec le serpent

$$\begin{pmatrix} 38; & 33; & 43; & 22 \\ 20 & 23 & 27 & 14 \end{pmatrix}$$

qui a une importance de 18.513 et groupe 4.160 points. La parenté

du thème est définie comme suit :

$$s' = \begin{pmatrix} - & - & 43 & 22 \\ - & - & - & - \end{pmatrix}.$$

L'étude comparée des serpents de mangrove et de grés montre qu'ils sont disjoints au niveau du canal 7. Le serpent Mangrove appliqué à la fenêtre des grés donne un lot de points.

4.2. Recherche serpent Forêt galerie.

Ce thème a été étudié sur la fenêtre Koukoué , définie par :

- Colonne 2301 - 2420 streep n° 3.
- Ligne 230 - 350

Le serpent de la vue est

$$s = \begin{pmatrix} 24 & 22 & 24 & 20 \\ 16 & 16 & 22 & 8 \end{pmatrix} \text{ et compte } 14.120 \text{ points. Elle est située}$$

entre

L'étude successive de serpents liés au thème "Forêt galerie" conduit au serpent

$$s = \begin{pmatrix} 24 & 22 & 44 & 20 \\ 17 & 17 & 21 & 10 \end{pmatrix} \text{ comme définissant un lot stable,}$$

avec 2.389 points.

L'étude de la parenté n'a pas été faite, mais il est certain que l'extrapolation exige de tester la valeur de toutes les limites.

La conclusion que l'on retient de cette méthode d'approche est :

- La technique est simple et rapide. En effet, le programme PIMA, est très simple dans son exécution ;
- La recherche de la stabilité est un critère objectif pour arrêter les traitements ;
- Une seconde zone test est souvent nécessaire pour raffiner les limites du serpent du lot et définir de façon plus exacte les limites de la parenté ;
- Dans la recherche d'une unité de sols pour laquelle il existe une relation entre les valeurs radiométriques, les caractéristiques pédologiques, cette méthode offre une possibilité très grande et une précision acceptable ;

- Dans une démarche non supervisée, la stabilité n'implique pas que le lot soit lié à un thème précis et contient tous les points de ce thème et rien que ceux-là ;
- Si l'on applique le programme loterie consistant à distinguer plusieurs lots dans une fenêtre, le programme PIMA devient un complément utile pour l'étude des lots significatifs.

5. CARTE DES VALEURS RADIOMETRIQUES.

Dans ce terme, nous désignons un document représentant l'image de plusieurs lots définis par des valeurs radiométriques définies.

Le programme "LOTE" de la procédure loterie permet d'avoir un tel document. Ce programme procède d'abord à une dégradation et à un découpage en échelon des valeurs radiométriques ensuite à la constitution des lots selon les valeurs dégradés, puis à leur représentation par des symboles. La dégradation est au bon soin de l'opérateur qui est guidé en tout premier lieu à la signification réelle des lots. La dégradation est faite jusqu'à obtention des résultats souhaités.

5.1. Traitements par loterie de la fenêtre "Parenté-Mangrove".

5.1.1. Première dégradation.

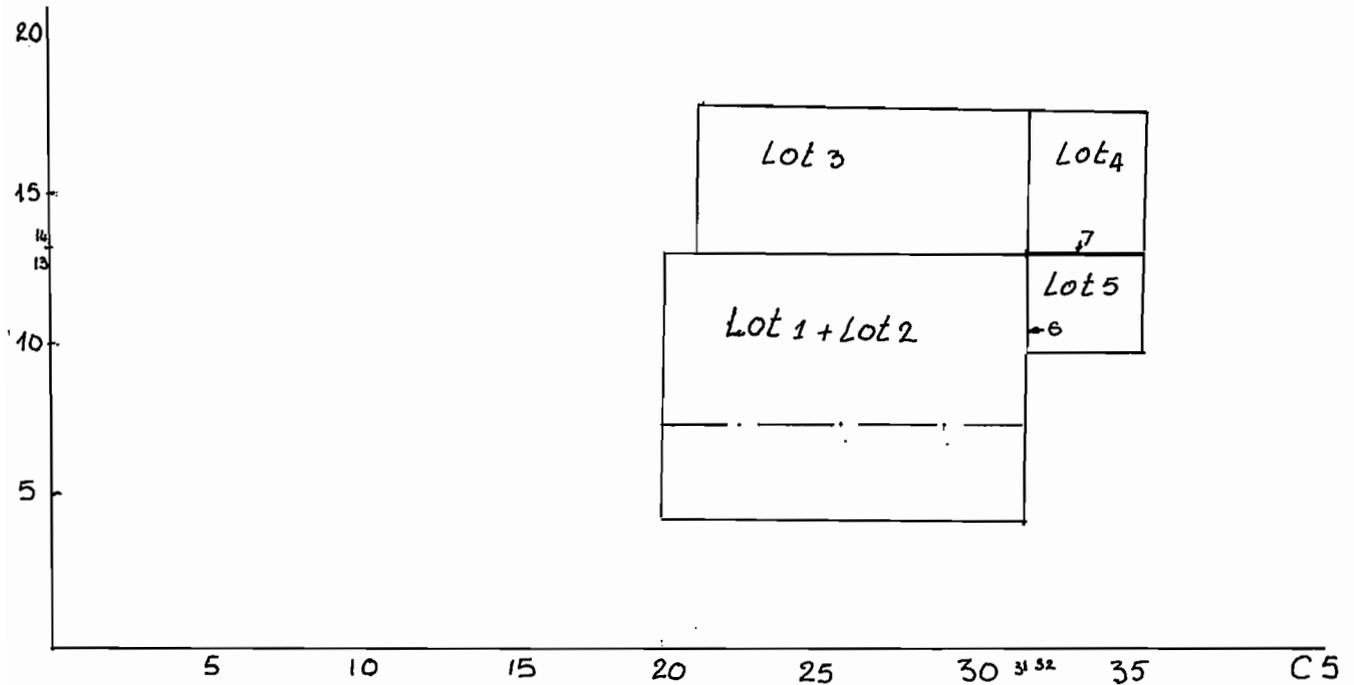
Le premier barème de dégradation a porté sur les canaux 5 et 7 et a été établi comme suit :

Canal 5	- de 20 à 31	1
	de 32 à 36	2
Canal 7	- de 4 à 13	1
	de 14 à 18	2

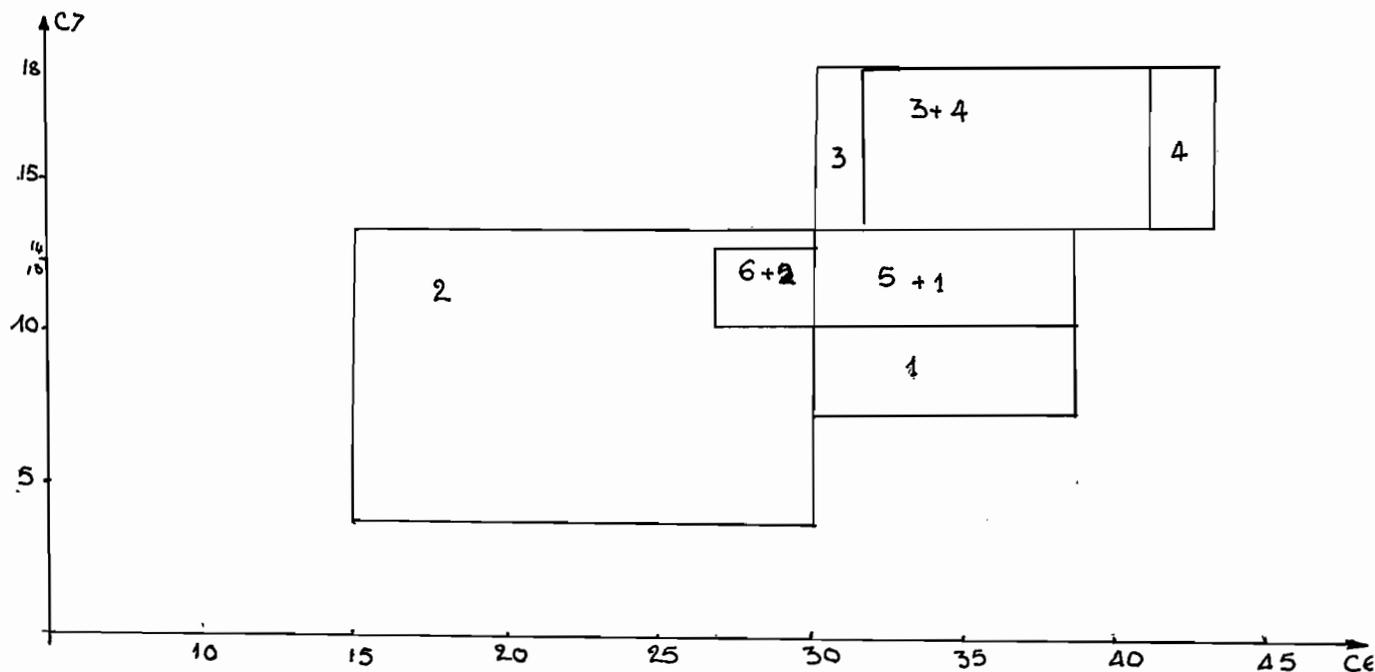
Le résultat a donné 7 lots ainsi composés :

1 : 5.348 points	5 : 203 points
2 : 5.173 "	6 : 9 "
3 : 3.404 "	7 : 8 "
4 : 375 "	

Dans le graphique ci-dessous, nous donnons la représentation de ces lots dans les canaux 5 et 7 :



Le schéma ci-dessous présente la représentation des lots sur les canaux 6 et 7 :



Ce schéma montre bien qu'il y a une certaine superposition dans les lots en ce qui concerne le canal 6.

L'image des lots obtenus, comparée aux images développées en noir et blanc, n'a aucune signification.

5.1.2. Seconde dégradation.

Elle a été appliquée sur les canaux 5, 6 et 7 selon le barème ci-dessous :

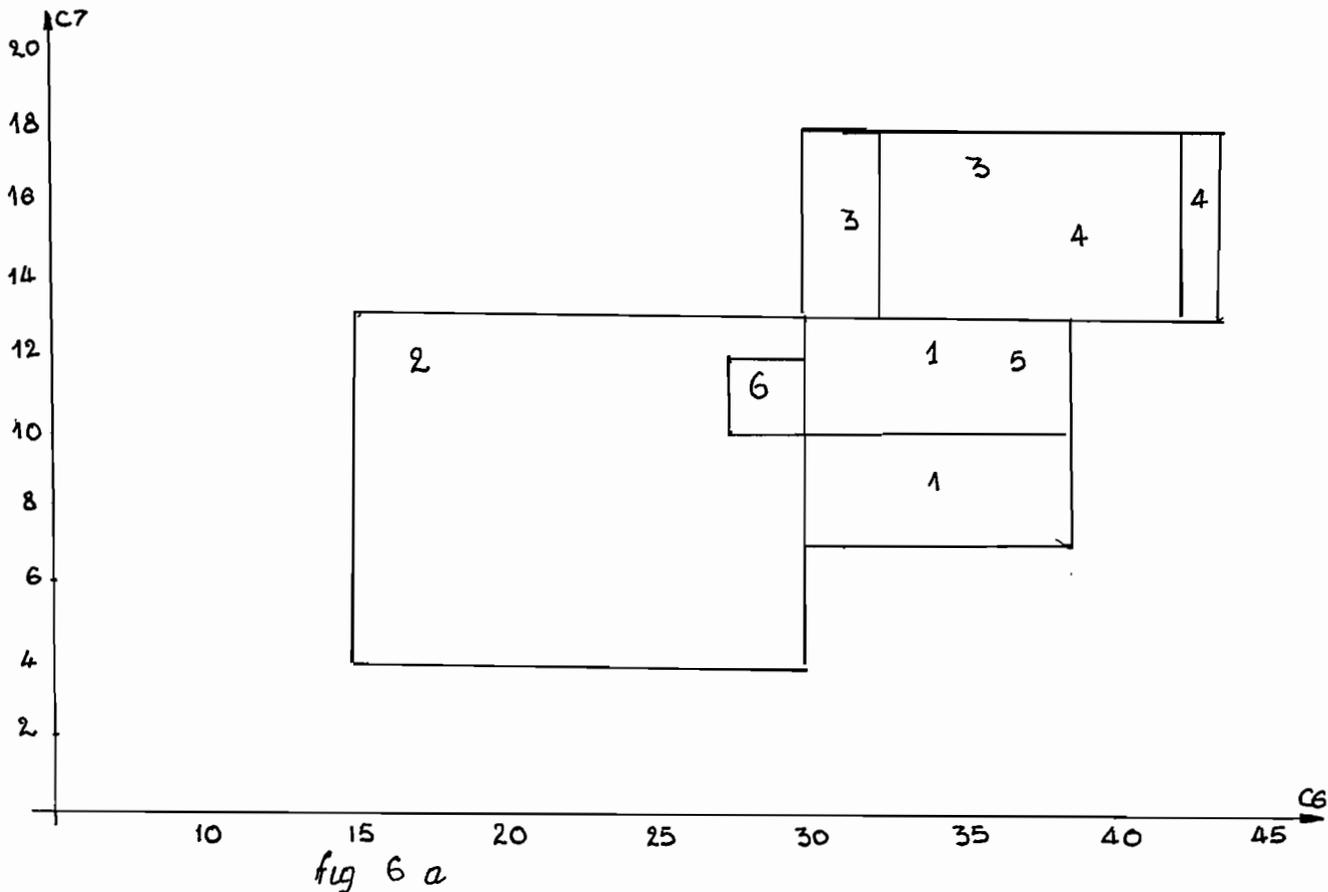
Canaux	Ech. 1	Ech. 2
5	15 à 30	31 à 38
6	15 à 30	31 à 43
7	5 à 13	14 à 18

Cette seconde opération regroupe les 14.520 points de la vue en 7 lots définis dans le tableau ci-dessous.

Tableau n° 6 . Caractères des lots de la seconde dégradation.

N°	Polyn. dégra.	Serpents réels	Importance	Nombre de pts
1	1-1-2-1	29; 31; 38; 13 21; 20; 31; 7	6.048	5.348
2	1-1-1-1	29; 31; 30; 13 21; 20; 15; 4	17.288	5.173
3	1-1-2-2	29; 31; 42; 18 21; 19; 31; 14	7.020	3.404
4	1-2-2-2	30; 36; 43; 17 25; 32; 32; 14	1.320	375
5	1-2-2-1	31; 36; 38; 13 25; 32; 31; 10	1.120	203
6	1-2-1-1	28; 32; 30; 12 25; 32; 27; 10	48	9
7	1-2-1-2	25; 24; 30; 14 22; 22; 29; 14	64	8

Dans les figures n° 6 a et b se trouvent présentés ces lots selon les canaux 5 et 7 et 6 et 7.



La figure n° a présente les lots 1 et 2 comme une somme de points, se trouvant dans un ensemble commun, tandis que les lots 6 et 7 ont leurs points situés sur des lignes.

La figure n° b présente les points des lots 3, 4, 5 et 6 dans un même rectangle tandis que les points des lots 1 et 2 sont nettement distincts.

L'analyse des images des lots indique que le lot 1 peut être rattaché au thème eau, le lot au thème mangrove. Ils ne contiennent cependant pas uniquement et tous les points de leur thème.

5.1.3. Troisième dégradation.

Elle porte sur le canal et compte 3 échelons :

Ech. 1 - de 4 à 6

Ech. 2 de 7 à 13

Ech. 3 de 14 à 18.

De plus, les valeurs des autres sont conservées sans dégradation. Les résultats donnent 3 Lots ainsi répartis :

- lot 1. 9.706 $\begin{bmatrix} 21; 36; 38; 13 \\ 21 \ 20 \ 17 \ 7 \end{bmatrix}$ Mangrove 1.
- lot 2. 3.787 $\begin{bmatrix} 30; 36; 43; 18 \\ 2 \ 19 \ 29 \ 14 \end{bmatrix}$ Mangrove 2.

lot 3. 1.027 $\left[\begin{array}{cccc} 30; & 36; & 43; & 6 \\ 2 & 19 & 29 & 4 \end{array} \right]$ Eau.

L'analyse de l'image conduit à conclure que le lot n° 3 ne contient pas tous les points de l'eau tandis que le lot n° 1 contient certains points non représentatifs de la Mangrove.

5.1.4. Quatrième dégradation.

Elle porte également sur le canal 7 seulement et selon le barême :

Canal 7	- de	4 à	8	1.	
		de	9 à	13	2.
		de	14 à		3.

Cette quatrième dégradation donne 3 lots définis comme suit :

- lot n° 1.	$\left[\begin{array}{cccc} 31; & 36; & 38; & 13 \\ 21 & 20 & 22 & 9 \end{array} \right]$	9.060 points.
- lot n° 2.	$\left[\begin{array}{cccc} 30; & 36; & 43; & 18 \\ 2 & 19 & 29 & 14 \end{array} \right]$	3.787 " .
- lot n° 3.	$\left[\begin{array}{cccc} 28; & 21; & 31; & 8 \\ 23 & 30 & 15 & 4 \end{array} \right]$	1.673 " .

L'image des lots est donnée à la page 48 bis

A ce stade on obtient une carte des valeurs radiométriques des 3 thèmes : Eau, Mangrove 1 et Mangrove 2.

La question se pose alors de savoir si chaque lot contient tous les points de son thème et rien qu'eux, autrement dit, est-ce qu'on cerne bien le thème ou question ? La confrontation avec les réalités de terrain permet de répondre à cette question.

Dans le cas où l'on ne serait pas satisfait, on pourrait envisager d'autres dégradations. Celles-ci se feraient alors uniquement sur les points de chaque lot de façon séparée. Une telle démarche a été faite sur la fenêtre Koukoure pour cerner les thèmes "Eau libre" et "Forets galleries".

Cette méthode d'approche a été appliquée à la fenêtre Koukoure délimitée ainsi :

Fenêtre Koukoure : Colonne de 2301 à 2420,

Ligne de 240 à 360.

Le serpent de la vue est $\begin{matrix} 27; 39; 54; 26 \\ 16; 16; 22; 8 \end{matrix}$ et compte 14.520 points.

La première dégradation a porté sur les canaux 5 et 7 selon le barème ci-dessous :

Canal	Echelon 1	Echelon 2	Echelon 3	Echelon 4
5	de 1 à 22	de 23 à 25	de 26 à 30	de 31 à 39
7	de 1 à 12	de 13 à 15	de 16 à 26	

Les résultats de cette dégradation ont permis de dégager 4 lots dont les points appartiennent aux thèmes "Forêts galeries" et "Eaux libres". Les traitements ultérieurs ont concerné uniquement les points de ces thèmes.

La deuxième dégradation effectuée a donné des résultats qui nous semblent satisfaisants:

Elle dégage 2 lots : un représentant les points de l'eau libre et un représentant les forêts galeries. Le serpent des lots sont :

$$S_1 = \text{Serpent eau} = \begin{bmatrix} - & 22; & - & 14 \\ - & 16 & - & 8 \end{bmatrix}$$

$$S_2 = \text{Serpent forêt galerie} = \begin{bmatrix} - & 22; & - & 20 \\ - & 18 & - & 15 \end{bmatrix}$$

L'image de cette dégradation est présentée à la page 49 bis

Le rapprochement avec les photographie aériennes et la composition colorée semble bien confirmer le résultat obtenu.

DISCUSSION.

La procédure loterie est une méthode simple et souple. Les résultats présentés ici nécessitent des vérifications de terrain pour voir leur justesse et fiabilité.

Des chercheurs de l'ORSTOM ont appliqué cette méthode pour l'étude des sols. Les résultats obtenus par Monsieur SIEFFERMANN dans les travaux relatifs à l'étude des sols de la région de Manapiaré (Vénézuela) sont concluant. Il a pu dégager des unités de la carte des sols au 1/100.000e établies sur la base des travaux de terrain et mieux avec la combinaison des canaux 5 et 6 ces unités étaient nettement distinctes.

Cette technique a été utilisée par Monsieur COMBEAU pour l'étude des espèces végétales et des parcelles cultivées dans une région de France où des réalités de terrain sont disponibles. Les premiers résultats sont satisfaisants.

Monsieur LOINTRER, utilisant la même méthode a pu déterminer les forêts de la région de Moselle (France) avec une erreur variant entre 5 et 10 %.

Ainsi, grâce à la souplesse de la méthode, il est possible d'aborder l'étude des problèmes de plusieurs façons selon les besoins.

La simplicité des programmes informatiques fait que la procédure ne coûte pas chère et peut être mise en route dans tout atelier d'informatique. Il est donc à espérer que des efforts tendant à implanter cette méthode en République de Guinée, ne seront pas vains et mieux, seront couronnés de résultats satisfaisants dans plusieurs domaines.

Cette méthode examinée de près, revient à un découpage en niveau des valeurs radiométriques.

Il est donc logique que ses limites d'application apparaissent dès que des objets différents présentent des valeurs radiométriques qui se confondent. C'est le problème qui se pose dans les traitements en équidensité des films. Il est possible que l'utilisation des données de plusieurs dates et/ou des opérations sur les canaux (addition, soustraction, multiplication) peuvent permettre de transcender ces limites.

CONCLUSIONS GENERALES.

L'utilisation de la télédétection dans l'étude et la cartographie des ressources de la terre devient de plus en plus courante. Ceci tient des faits suivants :

- les données sont de plus en plus nombreuses et précises grâce aux progrès réalisés dans le domaine de la réalisation des capteurs et de leurs vecteurs ;
- les besoins d'avoir des informations précises et dans des délais relativement courts sur les différentes ressources pour des programmes d'exploitation ou/et de conservation bien élaborés.

Les données des satellites landsat ont retenu l'attention non seulement à cause des informations qu'elles apportent et de leur précision mais aussi à cause des facilités d'acquisition que la NASA a créées et de leur répétitivité dans le temps.

Les techniques d'interprétation des données Landsat peuvent être regroupées en 3 : analyse visuelle, traitements photographiques et analyses numériques des valeurs radiométriques. La préférence à donner à une technique dépendra du thème, de l'objet du travail, des moyens matériels et financiers disponibles.

Des quelques résultats que nous avons obtenus il se dégage :

1. Que les images de satellite peuvent être d'une grande application pour l'étude et la cartographie des sols en Guinée. En effet de nombreuses vues de landsat 1 et 2 sont disponibles et sont de bonne qualité. Si l'on sait que les documents de base sont rares et font défaut, l'on comprendra combien l'exploitation des images de satellite est indispensable, du moins dans la phase actuelle, pour dégager les éléments physiographiques (réseau hydrographique, végétation, éléments de géologie).
2. L'analyse visuelle, en combinaison avec des traitements photochimiques seront deux techniques d'interprétation à retenir pour les études de reconnaissance faites aux petite et moyenne échelles (égale ou inférieure à 1/250.000e).

L'analyse visuelle permet de dégager des zones physiographiques, de voir les caractères différentiels entre elles, dégager certains éléments de formation et d'évolution des sols, d'envisager, organiser les travaux de terrain. Elle se placera en amont de toutes prospection, ainsi que le présente le schéma

de la page . L'analyse visuelle devra se faire sur des documents relatifs au moins à 3 dates. Les documents initiaux pourront être des compositions colorées, car elles ne sont pas chères et peuvent être réalisées sur place.

Les traitements photographiques doivent être envisagés sur place. En effet, il est apparu que mes indications de l'utilisateur sont d'une grande valeur dans l'amélioration des traitements. L'utilisation correcte des images de satellites par analyse visuelle implique l'existence d'un laboratoire de traitements photographiques. La mise en route ne sera pas d'un prix exorbitant eu égard aux résultats espérés.

3. Les traitements présentent un intérêt certain mais il faut dire dès à présent qu'ils sont au stade de recherche. Les perspectives de développement de système de saisies de données sont très grandes, de même d'ailleurs que les potentialités de la télédétection. Ceci étant, il est bon d'envisager dès à présent l'implantation d'un système d'analyse des valeurs radiométriques. La procédure de la loterie, en raison de sa simplicité (simple gestion de données) et de sa souplesse dans ses méthodes d'approche peut être implantée en Guinée. L'accès à un ordinateur et la collaboration avec une équipe d'informaticiens sont indispensables. Les résultats obtenus avec les quelques traitements laissent un espoir grand pour l'utilisation de cette méthode.

4. Quelle que soit la technique d'interprétation les résultats obtenus ne sont pas des contes de sols dans le sens classique et conventionnel du terme et peuvent être présentées que sous forme d'hypothèses qui nécessitent des vérifications de terrain.

Dans la mesure où la fiabilité des conclusions faites est acceptable après vérifications de terrain, les données de landsat (images ou bandes) permettent de faire une estimation de nos différentes potentialités en sols et en terre.

5. L'application des données de landsat en République de Guinée ne concernent pas seulement les études des sols. Elle offre des possibilités pour plusieurs autres domaines en particulier pour l'hydrologie et la géologie.

D'une façon plus générale, l'intérêt des satellites landsat pour un pays, ainsi que les applications qui en découlent dépendent de son niveau de développement technique et scientifique.

Dans les pays où les documents de base pour l'étude et la mise en valeurs des ressources font défaut soit à cause de l'accès difficile ou du faible niveau du développement économique, les images de satellites landsat fournissent, quand leur qualité est bonne, les informations de base à toutes entreprise de recherche, d'étude et de cartographie.

Il ne faut toutefois pas oublier l'existence des autres formes de données en particulier les photographies aériennes. La combinaison des 2 formes d'informations permettant d'aboutir à des résultats plus précis, dans des délais plus courts. Dans cet ordre les images de landsat seront utilisées pour l'analyse de grands ensembles, organiser les prospections dans leur ensemble, et les photographies aériennes seront utilisées pour les prospections détaillées des sites retenus.

BIBLIOGRAPHIE.

1. ALONGES A. - La télédétection des ressources terrestres. Recherche spatiale. Vol. XII/4. 1973.
2. BERNARD L. - Le traitement des données multispectrales acquises par télédétection. Thèse Docteur-Ingénieur. 1975.
3. BALDE Y. et KAWALCE A. - Rapport de prospections pédologiques campagne 1977-1978. (Conakry-Kindia-Télé-mélé). Bulletin Senasol n° 3. 1978.
4. CAILLEUX J. et TRICART J. - Traité de Géomorphologie. Le modèle des régions chaudes. 2ème édition. 1974.
5. DELCOUR F. et KINDMANS M. - Manuel de description des sols. Service de la Science du Sol. Gembloux. 1977.
6. DUCHAUFOUR P. - Précis de Pédologie. Tome 1. 1977.
7. GIRARD M.C. - Cours de photo-interprétation E.N.S.A. Grignon. 1970.
8. HURAUULT L. - L'examen stéréoscopique des photographies aériennes. Tomes I et II. I.G.N. 1960.
9. JAMAGNE J. - Bases et techniques d'une cartographie des sols. Annales agronomiques. 1967, Vol. 18.
10. LAIDET L. - Les expériences de télédétection par Ballon. Recherche spatiale Vol. XII/4.
11. LEGROS J.P. - Eléments de statistiques appliquées à la science du sol. I.N.R.A.-S.E.S., Montpellier, 1973.
12. MAIGNIEN R. - Les sols ferrugineux tropicaux. 8e Congrès A.I.S.S., 1964.
13. MAX GUY - La détection à distance. Progrès récents de la photographie. Annales des Mines. 1969.
14. NAERT B. - Cartographie des sols et interprétation photographique des données? Revue Photo-interprétation. 1977/3.

Autres publications.

15. Abrégé sur une nouvelle source d'informations : la télédétection. - Ministère de la Qualité de la Vie - Secrétariat d'Etat à l'Environnement. Paris 1976.
16. Pédologie et Télédétection. 1er colloque. Rome 1977.
17. Analyse multivariable "procédure loterie". Télédétection n° 2. ORSTOM, 1978.

18. Les satellites d'observation de la terre. Landsat Télédétection n° 1. ORSTOM, 1977.
19. Journées de Télédétection. C.A.S.P., 1977.
20. Télédétection du littoral Océanique de France. Equipe P.R.A.L.I.T. n° 11, 1977.
21. Etat de l'Art en Télédétection. O.P.I.T., 1977.