



MICROFICHE N°

03997

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية  
وزارة الزراعة

المركز القومي  
للتوثيق الفلاحي  
تونس

F 1

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
 LIBRARY  
 540 EAST 57TH STREET  
 CHICAGO, ILLINOIS 60637  
 U.S.A.

- LA TELEDETECTION DES DONNEES  
MULTISPECTRALES DU SYSTEME  
LANDSAT -

-----

THE LANDSAT SYSTEM MULTISPECTRAL  
DATA REMOTE SENSING

-----

RAPPORT DE MISSION AUX U.S.A.  
( Oct. Nov. Déc. 1978 )

Par T. CHATTAOUI Ingénieur Principal  
Pédologue à la Division des Sols  
Ministère de l'Agriculture -

-----

Janvier 1979

- S O M M A I R E -

	<u>Page</u>
ABSTRAT.....	1
RESUME.....	1
ACKNOWLEDGMENTS.....	2
INTRODUCTION.....	3
<u>1/- LES CARACTERISTIQUES DES DOMAINES DU SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE.....</u>	5
1.1.- <u>Les domaines du spectre détectés par les           capteurs MSS de LANDSAT 1,2 et 3.....</u>	5
1.2.- <u>Le milieu perturbateur : l'atmosphère.....</u>	5
1.3.- <u>Le comportement des objets dans les domaines           du visible et de l'infrarouge.....</u>	7
<u>2/- LES CARACTERISTIQUES DES SATELLITES LANDSAT 1, 2       et 3 : .....</u>	9
2.1.- <u>Orbite .....</u>	13
2.2.- <u>Stabilité.....</u>	13
2.3.- <u>Capteurs .....</u>	17
<u>3/- CONCEPTS RADIOMETRIQUES .....</u>	19
3.1.- <u>Les équations de Maxwell et les paramètres           énergétiques.....</u>	19
3.1.1.- <u>Les équations de Maxwell.....</u>	19
3.1.2.- <u>Les paramètres énergétiques.....</u>	21
3.2.- <u>Paramètres énergétiques spectraux et photo-           métriques.....</u>	22
3.2.1.- <u>Paramètres énergétiques spectraux.....</u>	22
3.2.2.- <u>Paramètres photométriques.....</u>	24
3.3.- <u>Rayonnement du corps naturel, émissivité, al-           bedo .....</u>	24
<u>4/- REDRESSEMENT DES IMAGES LANDSAT OU " CLEAN-UP "</u>	27
4.1.- <u>Corrections radiométriques.....</u>	27
4.2.- <u>Corrections géométriques.....</u>	28
4.3.- <u>Correction appliquée à l'effet de la brume           atmosphérique.....</u>	29

- S O M M A I R E -

	<u>Page</u>
ABSTRAT.....	1
RESUME.....	1
ACKNOWLEDGMENTS.....	2
INTRODUCTION.....	3
<u>1/- LES CARACTERISTIQUES DES DOMAINES DU SPECTRE</u>	
<u>ELECTROMAGNETIQUE.....</u>	5
1.1.- <u>Les domaines du spectre détectés par les</u> <u>capteurs MSS de LANDSAT 1,2 et 3.....</u>	5
1.2.- <u>Le milieu perturbateur : l'atmosphère.....</u>	5
1.3.- <u>Le comportement des objets dans les domaines</u> <u>du visible et de l'infrarouge.....</u>	7
<u>2/- LES CARACTERISTIQUES DES SATELLITES LANDSAT 1, 2</u> <u>et 3 : .....</u>	9
2.1.- <u>Orbite .....</u>	13
2.2.- <u>Stabilité.....</u>	13
2.3.- <u>Capteurs .....</u>	17
<u>3/- CONCEPTS RADIOMETRIQUES .....</u>	19
3.1.- <u>Les équations de Maxwell et les paramètres</u> <u>énergétiques.....</u>	19
3.1.1.- <u>Les équations de Maxwell.....</u>	19
3.1.2.- <u>Les paramètres énergétiques.....</u>	21
3.2.- <u>Paramètres énergétiques spectraux et photo-</u> <u>métriques.....</u>	22
3.2.1.- <u>Paramètres énergétiques spectraux.....</u>	22
3.2.2.- <u>Paramètres photométriques.....</u>	24
3.3.- <u>Rayonnement du corps naturel, émissivité, al-</u> <u>bedo .....</u>	24
<u>4/- REDRESSEMENT DES IMAGES LANDSAT OU " CLEAN-UP "</u>	27
4.1.- <u>Corrections radiométriques.....</u>	27
4.2.- <u>Corrections géométriques.....</u>	28
4.3.- <u>Correction appliquée à l'effet de la brume</u> <u>atmosphérique.....</u>	29

	<u>Page</u>
4.4.- <u>Correction de l'illumination solaire</u> .....	33
4.5.- <u>Correction de la distorsion optique du caméra digitale</u> .....	34
5/- <u>METHODES D'EXPLOITATION DES IMAGES</u> .....	34
5.1.- <u>Techniques de traitement automatique des images</u> .....	36
5.1.1.- Enregistrement géométrique.....	36
5.1.2.- Visualisation des images.....	36
5.1.3.- Digitalisation des images.....	37
5.1.4.- Accentuation des images.....	37
5.1.5.- Images de composition de couleurs et de couleurs naturelles assimilées	41
5.2.- <u>Interprétation manuelle des images</u> .....	41
5.3.- <u>Interprétation automatique des images</u> .....	43
5.3.1.- Classification dirigée.....	44
5.3.2.- Classification non dirigée.....	44
6/- <u>LES POSSIBILITES FUTURES ET LES LIMITATIONS DE LA TELEDETECTION DES IMAGES LANDSAT EN TUNISIE</u> :.....	47
6.1.- <u>Les qualités et les limitations du système MSS de LANDSAT</u> .....	47
6.2.- <u>Documents de travail disponibles</u> .....	48
6.2.1.- Documents bruts.....	48
6.2.2.- Documents élaborés.....	48
6.3.- <u>Les domaines d'application des données LANDSAT en Tunisie</u> .....	50
6.3.1.- Géologie et ressources minières.....	51
6.3.2.- Erosion et désertification.....	51
6.3.3.- Cartographie.....	51
6.3.4.- La forêt.....	52
6.3.5.- Hydrologie.....	52
<u>REFERENCES</u> .....	53

## A b s t r a c t

---

The main objective of this report is to provide selected information dealing with the characteristics of LANDSAT multispectral data system and the usefulness of its data for monitoring, mapping or inventorying specific Earth's Resource parameters in several disciplines such as Géology, Agriculture, Forestry... in Tunisia. Thus we are trying, through this report, to analyse briefly the following aspects which seem to be very interesting : characteristics of electromagnetic spectrum and LANDSAT multispectral data system, Radiometric concepts, Digital image processing to remove several types of artifacts as well as unwanted natural effects before any image enhancement techniques, and LANDSAT Digital image processing.

Finally, this report may be designed to give Tunisian scientists some familiarity with LANDSAT remote sensing system i.e., its characteristics, limitations, advantages, applications...

## RÉ s u m é

---

L'objectif principal du présent rapport de stage est de fournir des informations relatives aux caractéristiques du système multispectral de LANDSAT et à l'utilité de ces images pour la surveillance, la cartographie ou l'inventaire de certains paramètres des ressources naturelles terrestres dans divers domaines tels que, la géologie, l'Agriculture, la sylviculture... en Tunisie.

Nous essayerons donc d'analyser, à travers ce rapport, les aspects suivants qui semblent être très intéressants : les caractéristiques du spectre électromagnétique et du système LANDSAT, certains concepts radiométriques de base, le traitement des données LANDSAT pour améliorer leur qualité avant les traitements d'augmentation des contrastes, et le traitement digital des images LANDSAT.

Enfin, ce rapport peut être utilisé par les spécialistes Tunisiens qui s'intéressent à la Télédétection des images LANDSAT en vue de se familiariser avec les caractéristiques de ce système, ses limitations, ses avantages et ses applications dans l'étude des Ressources naturelles du pays.

A c k n o w l e d g m e n t s

I would like to express my appreciation to U.S. Agency for International Development and U.S. Geological survey for the perfect organization of our training in the USA.

I also appreciate the hospitality and the helpfulness of Washington International Center.

Thanks are extended to J.K. Thomas, J.Morgan and Williams for coordinating our trip through different states of the U.S.

I am really pleased with the lectures on Remote sensing given by P. Slater, A.C. Schowengerdt, BR. Hunt, C.E. Glass, SN. Davis, Castro, DF. Post and D. Mouat at the University of ARIZONA.

Thanks are also extended to P. Chavez (USGS. Flagstaff), S. Morain as well as the staff of Technology Applications center in Albuquerque (New Mexico), NASA in Slidell (Louisiana), EROS data center in Sioux Falls, and Laurin and all the staff of ERIM center in Ann Arbor (Michigan) for their assistance in data analysis, Field trips and briefings about "Image processing and Photolab facilities" during our successful training.

At last, I believe that our training was helpful for us not only by learning remote sensing techniques but also by establishing contacts with several american scientists to anticipate the prospects of this technology for developing Countries like Tunisia.

## INTRODUCTION :

Notre stage aux U.S.A., qui a duré sept semaines, s'intègre dans le cadre du transfert de la technologie concrétisé par l'accord de coopération entre l'U.S.A.I.D. et le Gouvernement Tunisien. Cet accord prévoit la création d'une unité de télédétection au sein de la Division des sols (Ministère de l'Agriculture) dans le but d'appliquer la télédétection, et en particulier les données LANDSAT, à l'étude des ressources naturelles du pays.

Des cours, organisés à l'Université de l'ARIZONA, nous ont permis d'acquérir une formation de base sur la Télédétection, de se familiariser davantage avec l'application du système de balayage multispectral de LANDSAT dans l'étude des ressources terrestres et avec les techniques les plus modernes de traitement de ces images. Ces cours sont suivis de nombreuses visites à plusieurs centres de Télédétection ainsi que des travaux pratiques d'interprétation des données LANDSAT du sud et du centre de la Tunisie.

Mais avant d'entrer dans les détails, il s'avère nécessaire de définir cette nouvelle technique, la télédétection ou " Remote sensing " car pour certains spécialistes et techniciens, ce mot n'intéresse que l'utilisation des photos prises principalement par des satellites ( LANDSAT 1, 2, 3... ) ou par des engins spatiaux (Skylab 1, 2 ).

Selon la définition donnée par le professeur P. SLATER de l'Université de l'ARIZONA, la télédétection concerne la cueillette des informations reliées, dans certains cas, aux ressources terrestres ou à l'environnement. Ces données recueillies principalement par les systèmes de Satellites ou d'avions..., en relation avec les études et les mesures faites sur le terrain, sont ensuite traitées par des ordinateurs ou des techniques optiques appropriées pour extraire les informations de valeur destinées à des scientifiques de différentes spécialités.

La télédétection relative aux aspects naturels ne s'intéresse qu'à la couleur ou aux caractéristiques de la radiance spectrale de ces structures car la forme et la taille ne sont pas utilisées pour identifier par exemple le type de culture dans une parcelle ou la nature de la roche dans une formation géologique.

D'après C.M. TRANTWEILL et J.V. TARANIK, la télédétection en géologie est définie comme étant l'étude de la radiation électromagnétique de la terre réfléchié ou émise par sa surface.

Cette radiation, de longueurs d'onde allant de 300 nm à 3 m, est fournie soit par le soleil, la terre ou émise par des sources artificielles. Les éléments du parcours de l'énergie ( les sources, l'intermédiaire, le paysage et les systèmes de détection) modifient la quantité et la distribution spectrale de l'énergie électromagnétique et c'est l'analyse de tous ces éléments qui doit être utilisée pour évaluer les données fournies par les capteurs ( Remote sensor). L'interprétation des images implique l'identification des variations radiométriques sur l'image en relation avec le paysage, le drainage, les variations du couvert.

En fait, les capteurs et les techniques de traitement des données utilisées en Télédétection ont contribué à l'amélioration de notre capacité de rassembler les informations relatives aux ressources terrestres et à l'environnement. La question qui se pose actuellement est la suivante : Pourquoi avons nous besoin d'améliorer une telle capacité ? La réponse se limite à deux aspects principaux :

1.- Améliorer notre capacité d'inventorier pour mieux gérer les ressources terrestres qui s'épuisent continuellement à cause de l'accroissement démographique continu.

2.- Surveiller les changements dans notre environnement causés à la fois par l'homme (pollution...) et la nature (inondation, désertification...).

Donc, chaquefois nous avons besoin d'information plus détaillée et plus globale que celle obtenue à partir des études faites sur le terrain.

Enfin, en cartographie pédologique qui consiste à délimiter les zones homogènes de sols, la Télédétection regroupe l'ensemble des techniques d'observation et d'analyse à distance des caractères de la surface des sols ou du milieu par l'intermédiaire des rayonnements électromagnétiques réfléchis ou émis par ces surfaces.

## 1.- LES CARACTERISTIQUES DES DOMAINES DU SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE

### 1.1.- Les domaines du spectre détectés par les capteurs de LANDSAT 1, 2 et 3.

Le spectre électromagnétique est divisé en plusieurs domaines allant des rayons cosmiques aux plus courtes longueurs d'onde ou l'ultraviolet. Les domaines habituellement utilisés par les systèmes de LANDSAT sont le visible et l'infrarouge (voir fig.1).

Le visible est la part du spectre électromagnétique dont les longueurs d'onde (400-700 nm) sont perçues par l'oeil humain alors que l'infrarouge moyen et lointain est invisible.

Il est donc clair que la seule source d'énergie dans le système des capteurs de LANDSAT 1 et 2 est le soleil puisque seul le domaine du visible (vert et rouge) et de l'infrarouge solaire réfléchi par les objets mais invisible sont détectés par ce système. De même que le système des capteurs de LANDSAT 3 peut détecter l'infrarouge thermique des objets qui restituent partiellement ou totalement l'énergie solaire absorbée.

Donc la Télédétection utilisée dans les systèmes de LANDSAT est passive puisque l'énergie émise ou réfléchie par les objets provient du soleil.

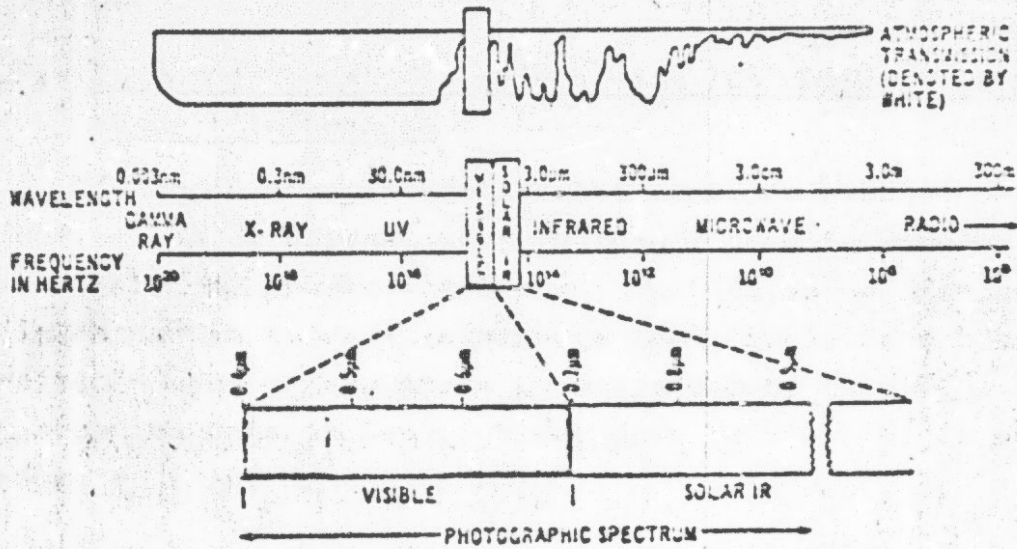
### 1.2.- Le milieu perturbateur : l'atmosphère

Le rayonnement solaire incident ou réfléchi par les objets et traversant l'atmosphère subit des perturbations diverses et sélectives en fonction de la longueur d'onde. Ces perturbations sont dues à :

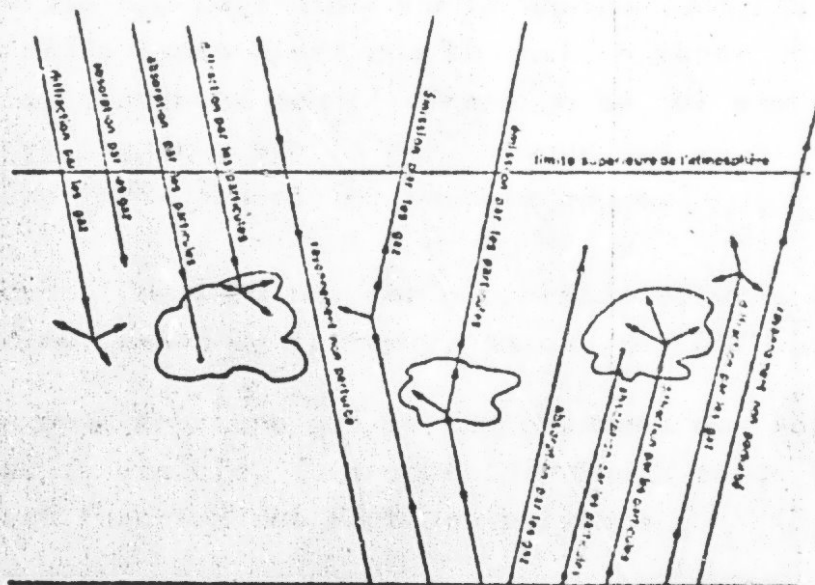
- l'absorption
- la diffusion ou diffraction
- l'émission propre du milieu
- la refraction.

La figure 2 illustre tous les effets perturbateurs de l'atmosphère. Dans le visible, l'ozone  $O_3$  provoque une faible absorption à 600 nm et l'oxygène moléculaire une absorption pour 690 et 760 nm. Dans la bande 1000-1500 nm, les principales absorptions dans l'infrarouge sont dues pour une part à l'eau et au gaz carbonique.

### ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



**Fig.1** : Le Spectre électromagnétique avec les domaines du visible et de l'infrarouge réfléchi (infrarouge solaire ou proche infrarouge).



**Fig.2** : L'atmosphère et le rayonnement solaire (d'après ALOUGES, CNES, 1969)

On appelle "fenêtres de transmission" de l'atmosphère tous les domaines du spectre électromagnétique transmis par l'atmosphère.

### 1.3.- Le comportement des objets dans les domaines du visible et de l'infrarouge

L'énergie enregistrée par les capteurs LANDSAT proviendra de la réflexion de rayonnements incidents dans le domaine du visible (vert, rouge) et du proche infrarouge, et l'émission d'ondes électromagnétiques par la terre (infrarouge thermique). Donc à travers ce paragraphe nous présenterons le comportement de divers objets, principalement les sols et les végétaux dans le visible, le proche infrarouge et l'infrarouge thermique.

#### 1.1.1.- Les végétaux :

Les courbes de réflectance des végétaux présentent un maximum vers 550 nm, un minimum vers 650 nm, une brusque augmentation vers 750 nm qui se prolonge en un palier jusqu'à 1300 nm suivi par un nouveau minimum à 1400 nm (voir fig. n°3).

La faible réflectance des végétaux dans le domaine du visible est due à la présence de pigments (chlorophylles...).

Les chlorophylles n'absorbent pas les longueurs d'onde voisines de 550 nm, cela explique le maximum que l'on voit sur les courbes de réflectance ainsi que la couleur verte des feuilles saines. Elles absorbent peu l'infrarouge ce qui explique la faible influence des pigments sur la réflectance des végétaux. Par contre, elles ont une forte absorption dans le rouge.

Au delà de 1500 nm, les propriétés spectrales des feuilles dépendent directement de la teneur en eau des cellules.

On peut conclure que le comportement des végétaux dans les domaines du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge thermique est fonction des facteurs suivants :

- de 400 à 750 nm : influence des pigments des feuilles.
- de 750 à 1300 nm : influence de la structure interne des feuilles.
- de 1300 à 2500 nm : influence de l'humidité des cellules foliaires.

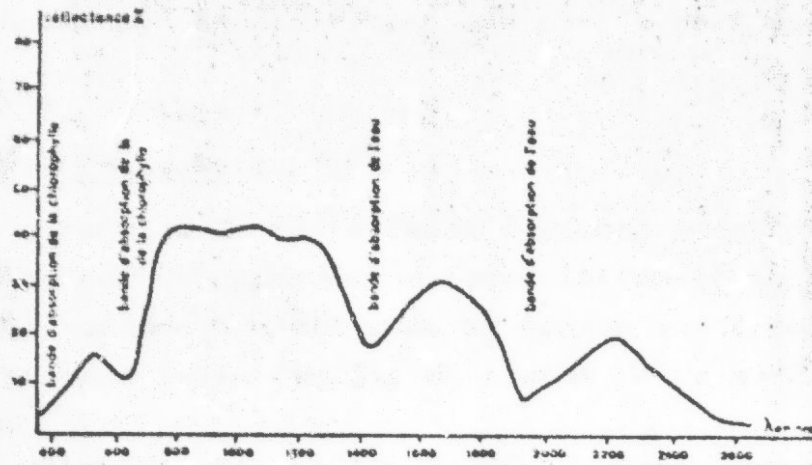


Fig.3 : Courbe théorique de réflectance d'un végétal (d'après L.A.R.S., 1968)

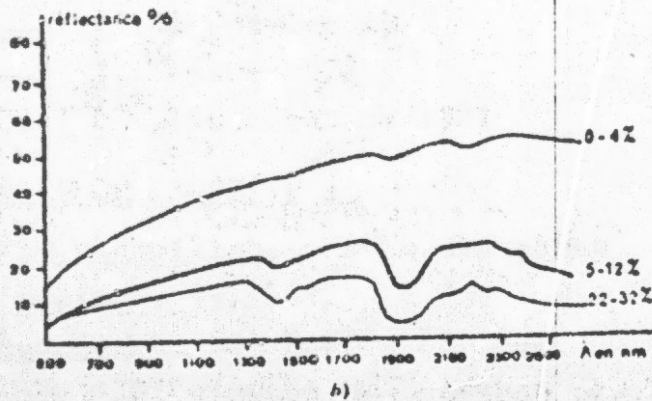
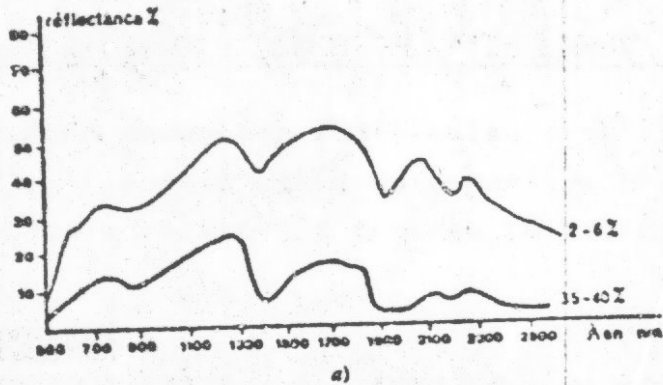


Fig.4 : Réflectance de sols

- a)- sols argileux à 2 niveaux d'humidité
- b)- sols sableux à 3 niveaux d'humidité.

Enfin dans le domaine de l'infrarouge thermique, les végétaux restituent par transpiration une partie de l'énergie provenant du soleil.

### 1.1.2.- Les sols :

Les courbes de réflectance des sols n'ont pas la même allure. Cette réflectance dépend essentiellement de la texture (voir fig.4), de son humidité, de sa teneur en calcaire ou en matière organique (voir fig.5), de l'état de sa surface.

En réalité, les longueurs d'onde détectées par les capteurs LANDSAT ne reflètent que la surface du sol surtout dans le domaine du visible et celui du proche infrarouge.

Dans le domaine de l'infrarouge thermique, l'énergie émise par les constituants du sol dépend essentiellement de leur conductivité thermique qui est en relation directe avec la porosité (structure, texture...) et l'humidité du sol, du couvert végétal...

## 2.- LES CARACTERISTIQUES DES SATELLITES LANDSAT 1, 2 et 3

Pour être davantage familiarisé avec le système LANDSAT<sup>1/</sup>, (voir fig.6), il paraît utile de connaître brièvement les caractéristiques de ces satellites à travers le tableau récapitulatif suivant :

### DATES DE LANCEMENT :

LANDSAT 1, 23 juillet 1972, fin de mission 6 janvier 1978

LANDSAT 2, 22 janvier 1975

LANDSAT 3, 5 mars 1978

LANDSAT D<sup>2/</sup>, au début de 1981

### CARACTERISTIQUES DE L'ORBITE :

Orbite circulaire, proche des pôles

Inclinaison, 99, 09°

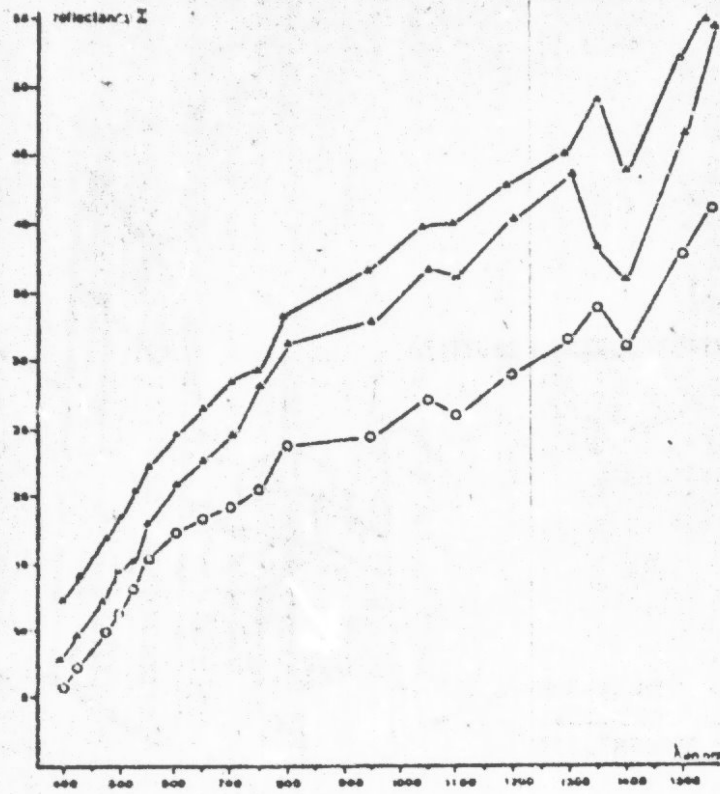
Recouvrement, 82° Nord à 82° Sud

Période, 103 minutes, en passant par l'équateur à 9.30 h, heure locale, (14 passages par jour).

Cycle, 18 jours, Landsat 3 suit Landsat 2 après 9 jours.

1/ LANDSAT 1,2,3 sont initialement appelés ERTS (Earth Resources Technology Satellite)

2/ LANDSAT D<sub>n</sub> ne devient LANDSAT 4 qu'après le succès de son lancement.



**Fig. 5 :** Réflectance de divers types de sols  
mesures faites sur le terrain.

- — ○ sol à glauconie ( vert )  $\text{Ca CO}_3$  : 57 % - Fe : 3,3 %
- △ — △ sol jaunâtre  $\text{Ca CO}_3$  : 65 % - Fe : 1,3 %
- ▲ — ▲ sol blanchâtre  $\text{Ca CO}_3$  : 67 % - Fe : 0,6 %

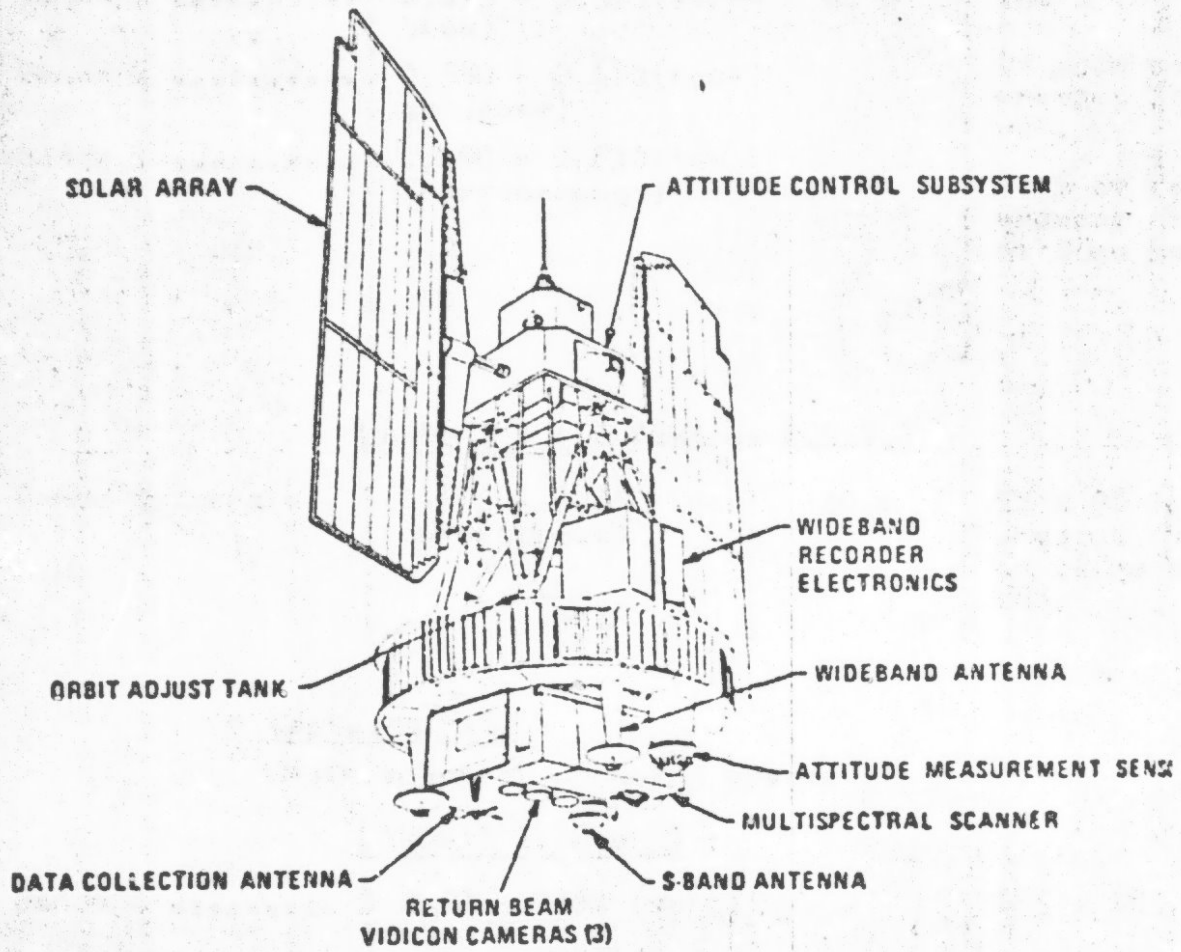


Fig. 6 : Schéma du Satellite LANDSAT

CAPTEURS :

\* Caméras de Télévision R.B.V.<sup>1/</sup> :

LANDSAT 1, 2 (3 Caméras R.B.V.)

	<u>Longueurs d'onde</u> ( $\mu$ m.)	<u>Résolution</u>	<u>Format de l'i- mage</u>
Bande 1 .....	0,475 - 0,575 (vert- bleu)	80 m	185 x 185 km.
Bande 2 .....	0,580 - 0,680 (rou- ge-jaune)		14 % de recou- vrement laté- ral.
Bande 3 .....	0,690 - 0,830 (in- frarouge-rouge)		10 % de recou- vrement d'en haut et d'en bas.

LANDSAT 3 (2 Caméras R.B.V.)

! Bande spectrale !	! 0,505 - 0,750 (pan- chromatique) !	! 40 m !	! 98 x 98 images ! ! presque avec ! ! un cadre de ! ! MSS. !
---------------------	---	----------	---

\* Capteurs M.S.

(Multispectral scanning system)

LANDSAT 1, 2 et 3 :

! Bande 4 .....	! 0,50 - 0,60 (vert) !		! 185 x 185 km !
! Bande 5 .....	! 0,60 - 0,70 (rouge) !		! 10 % de recou- vrement d'en
! Bande 6 .....	! 0,70 - 0,80 (pro- che infrarouge) !	! 80 m ! ! 40 m !	! haut et d'en bas. ! ! 14 % de recou- vrement latéra
! Bande 7 .....	! 0,80 - 1,1 (proche infrarouge) !		! à l'équateur en diminuant en allant vers les pôles.
! Bande 8 .....	! 10,4 -12,6 (infra- rouge thermique) !	! 240 m !	
! (Landsat 3 seule- ment) !			

<sup>1/</sup> R.B.V. : Return Beam Vidicon ( Caméra de Télévision )

DONNEES DISPONIBLES : Toutes les données reçues par les stations des Etats Unis sont disponibles pour être vendues soit sous forme d'images ou de Bande magnétique ou CCT (Computer-compatible tape) à EROS center du Departement de l'intérieur (Sioux Falls, South Dakota). Ce centre dispose également d'un système très perfectionné d'ordinateur pour les traitements des données LANDSAT.

STATIONS D'ACQUISITION DES DONNEES : Ils existent actuellement deux stations de reception des données LANDSAT aux Etats Unis (Fairbancks à l'Alaska, Goldston, en Californie), une station au Canada, au Brasil, en Italie, en Iran. D'autres ne sont pas encore fonctionnelles : Argentine, Australie, Inde, Japon, Suède, Haute Volta, Zaïre.

### 2.1.- Orbite

Les satellites LANDSAT ont une orbite circulaire presque polaire pour être toujours à la même altitude d'approximativement 919 km (voir fig.7). Les orbites ont été choisies de sorte que le Satellite passe régulièrement tous les 18 jours au dessus d'une même région ( voir fig.8 et 9), dans les mêmes conditions d'éclairément et à la même altitude.

LANDSAT 2 et 3 permettent d'obtenir une répétitivité de passage de 9 jours.

Pour que l'éclairément soit toujours à peu près le même, ces orbites sont dites synchrones du soleil (voir fig. 10) c'est - à - dire que l'angle entre le soleil, le centre de la terre et le satellite est constant et égal à 37,5 degrés (voir fig.11).

### 2.2.- Stabilité

Les satellites LANDSAT sont équipés d'un système actif, commandant son altitude et permettant d'éviter roulis (roll) et tangage (pitch or tilt) ainsi que les mouvements en lacets (yaw movement).

Enfin, le système du capteur multispectral de LANDSAT devait être le plus possible à la verticale du lieu de prise de vues.

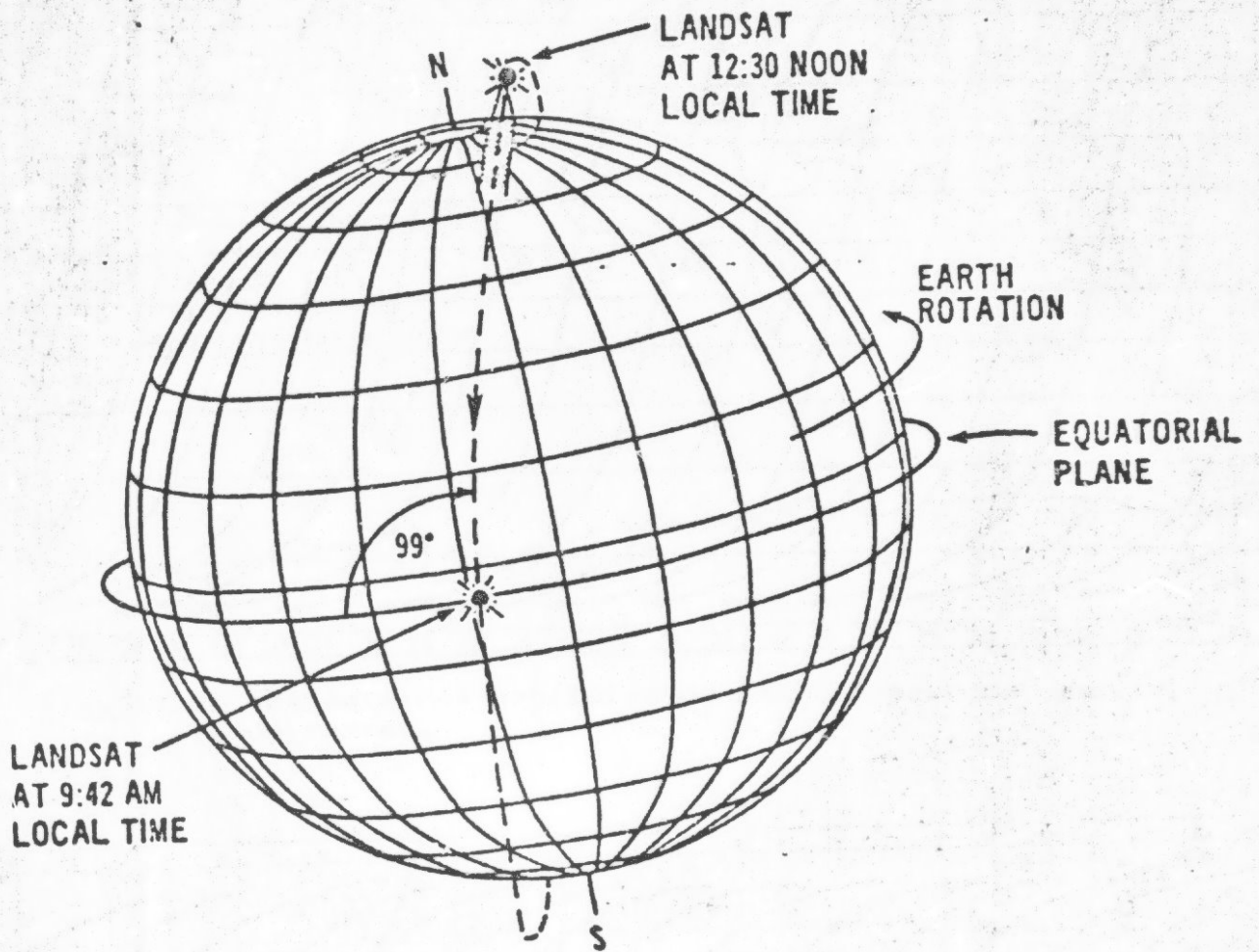


Fig. 7 : Inclinaison de l'orbite de LANDSAT pour maintenir l'orbite synchrone du soleil. (U.S. Geological Survey, 1978).

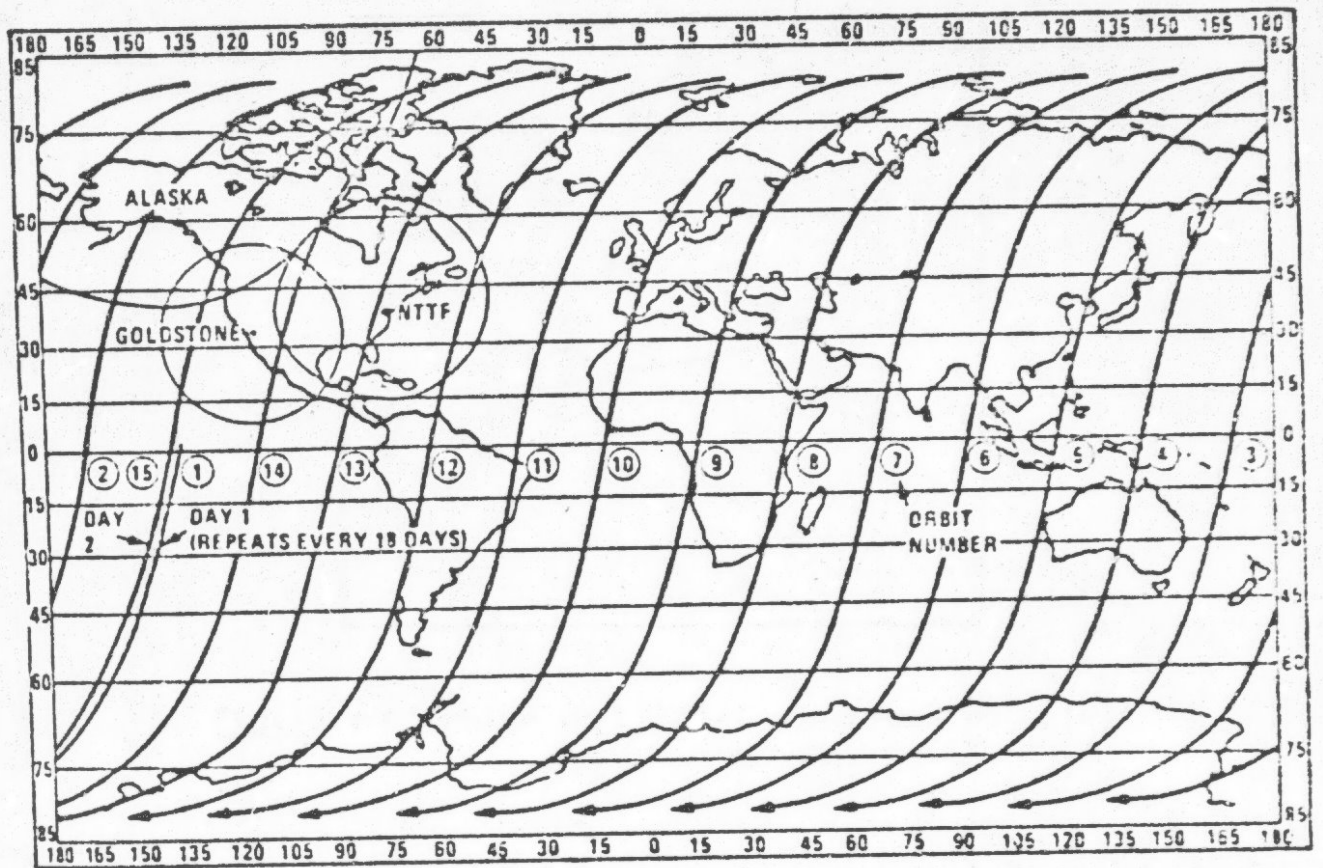


Fig. 8 : Les trajectoires orbitales de LANDSAT pour un jour de recouvrement.

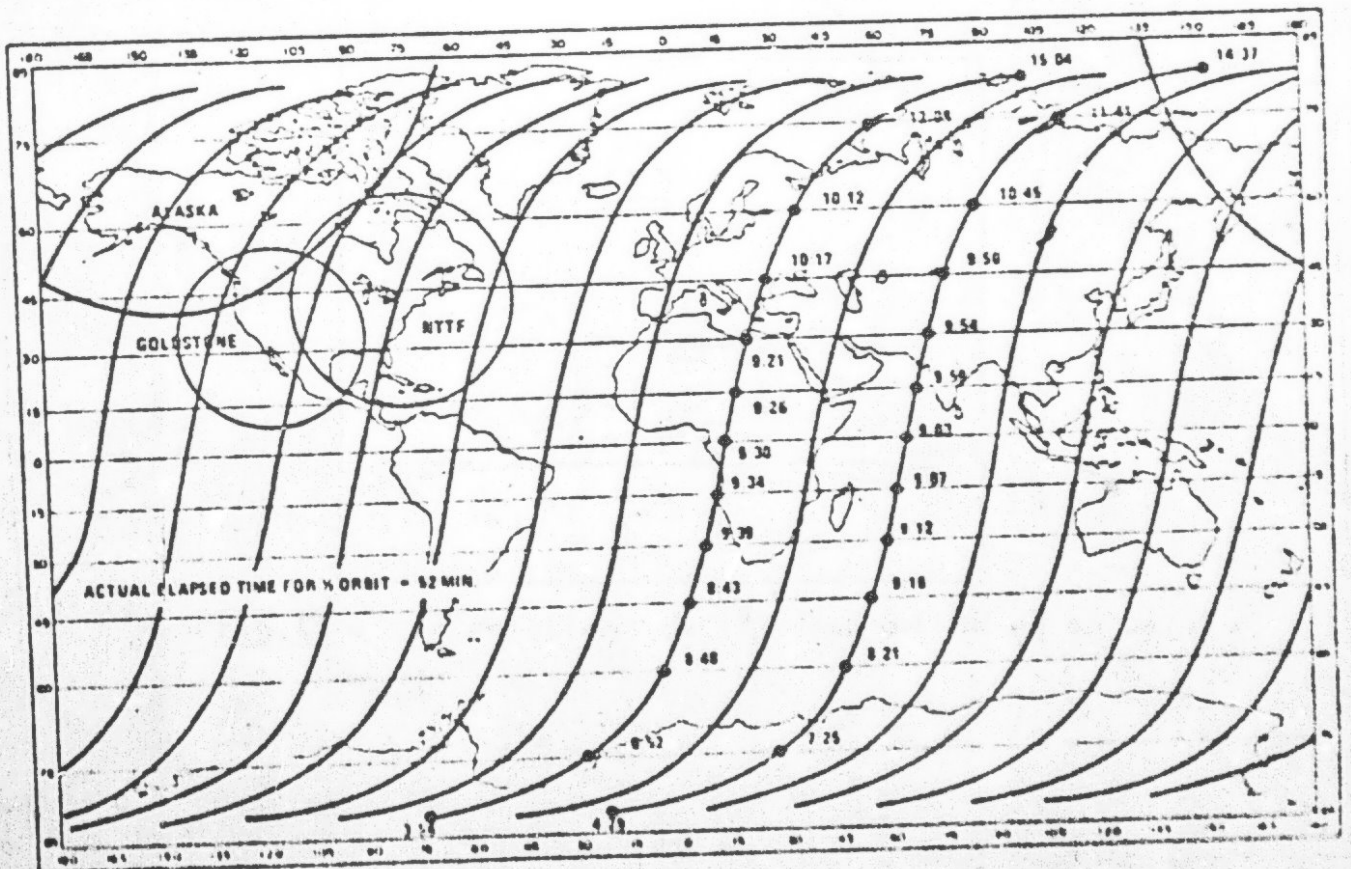


Fig. 9 : Les variations de l'acquisition des données en fonction de l'horaire local.

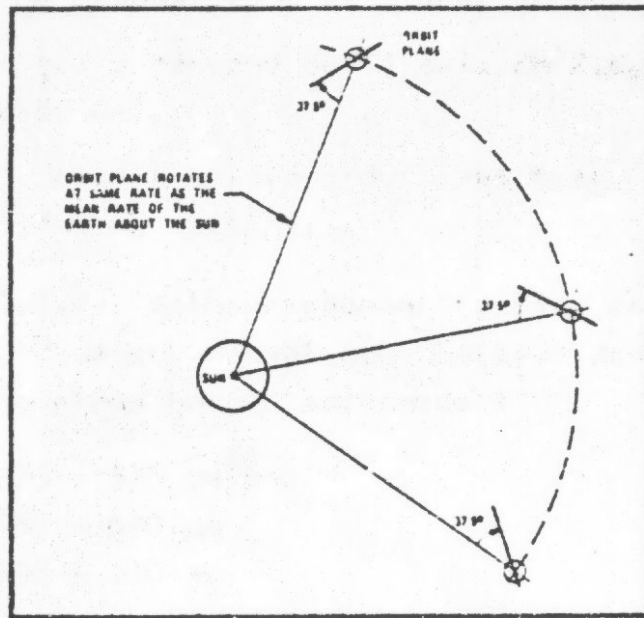


Fig.10 : L'orbite de LANDSAT synchrone du soleil.

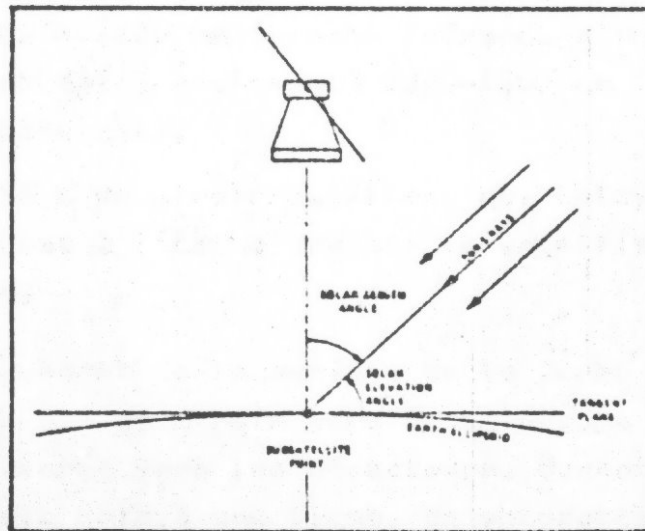


Fig.11 : Les relations de l'illumination du soleil.

### 2.3.- Capteurs

Les capteurs de LANDSAT 1, 2 et 3 sont de deux types :

- Deux à trois cameras de Télévision R.B.V. ( Return Beam Vidicon).
- Un détecteur à balayage multispectral MSS (Multispectral scanning system).

Les cameras R.B.V., malheureusement tombées en panne dès le début d'expérience, devaient normalement balayer des carrés de 185 km de côté dans les quatre bandes suivantes :

Bande 1 : 475 - 575 nm<sup>1/</sup>

Bande 2 : 580 - 680 nm

Bande 3 : 690 - 830 nm

Bande (LANDSAT 3 seulement) : 505 - 750 nm.

La résolution au sol est de 79 m pour LANDSAT 1 et 2 et de 40 m pour LANDSAT 3 ( voir tableau récapitulatif).

Les capteurs balayeurs multispectraux MSS détectent les 5 bandes spectrales suivantes :

Bande 4 : 500 - 600 nm (vert)

Bande 5 : 600 - 700 nm (rouge)

Bande 6 : 700 - 800 nm (proche infrarouge invisible)

Bande 7 : 800 - 1100 nm (proche infrarouge invisible)

Bande 8 : (LANDSAT 3 seulement) 1040-1260 nm (infrarouge thermique).

Le système MSS a un miroir oscillant qui balaye la surface de la terre de l'Ouest à l'Est alors que le satellite se déplace du Nord vers le Sud.

La radiation venant de la surface de la terre et de l'atmosphère est réfléchi par ce miroir vers un télescope optique réfléchissant qui la converge vers les détecteurs. Durant le retour du miroir et après avoir balayé une ligne, un obturateur bloque l'énergie provenant de la terre ( voir fig. 12).

Chaque bande possède 6 détecteurs (voir fig. 13), en même temps 6 lignes de données sont balayées pour chaque bande.

---

<sup>1/</sup> 1 nm = 10<sup>-9</sup> m

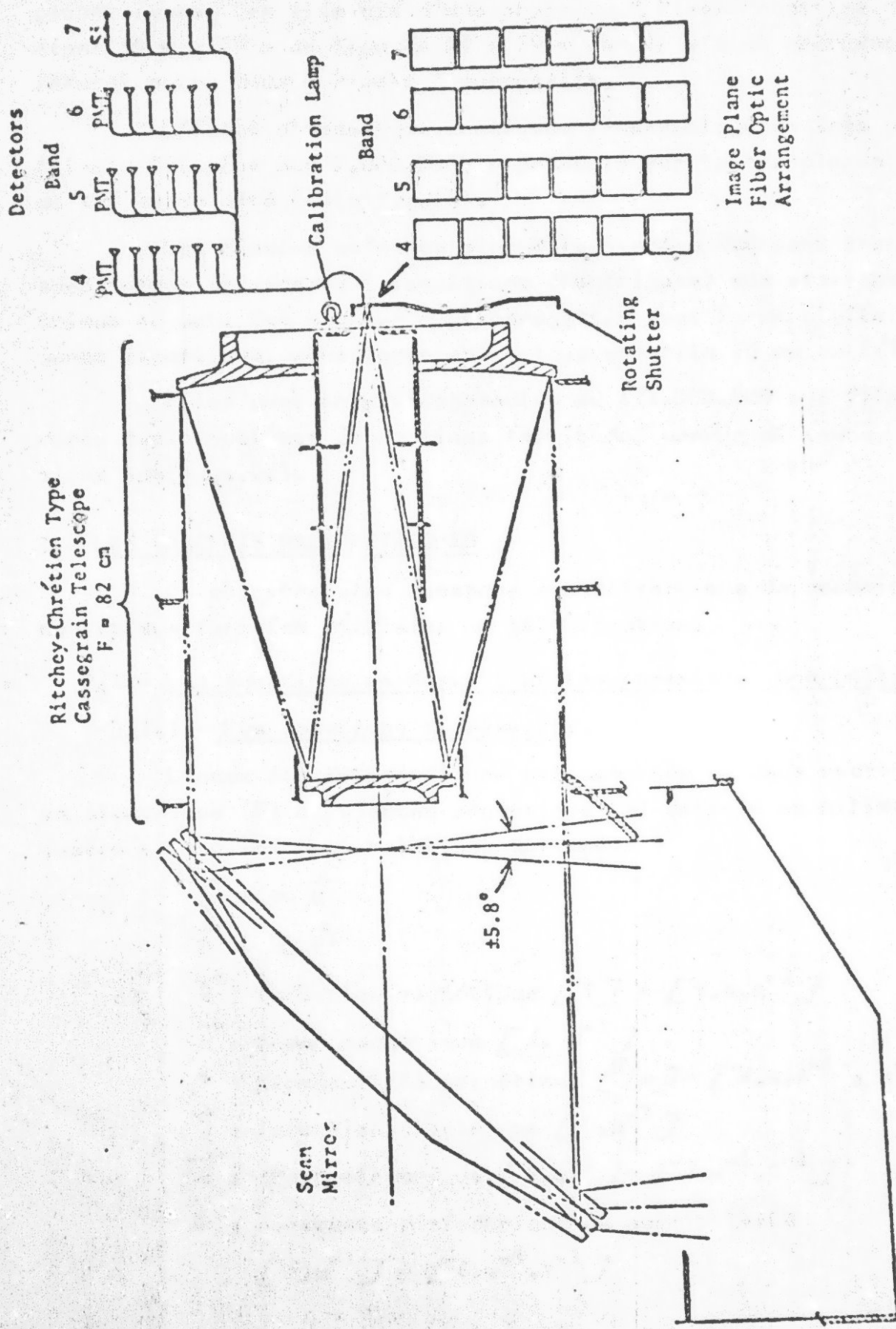


Fig.12 : Le système optique du M.S.S. des Satellites LANDSAT 1 et 2.

La résolution<sup>1/</sup> au sol des images obtenues est de 79 m et de 240 m pour la bande 8 seulement. Mais pour éviter les distorsions géométriques, les éléments d'une photo ou " Pixel " ont les dimensions 56 m x 79 m au lieu de 79 x 79 m car il y'a un recouvrement latéral entre deux " Pixels " successifs.

L'image obtenue qui constitue l'assemblage de très nombreux "pixels " ( plus que 7.000.000) représente sur le terrain un carré de 185 km de côté (voir fig.14).

Les données qu'enregistrent le système MSS sont transmises sous formes de signaux ( impulsions électriques) aux stations réceptrices au sol. Ces signaux sont enregistrés sous forme digitale sur bande magnétique, sous forme analogique sur film 70 mm au 1/3.369.000.

Elles sont ensuite agrandies au 1/1.000.000 sur film 240 mm après avoir subi des corrections (altitude, erreur de temps, distorsions optiques...).

### 3.- LES CONCEPTS RADIOMETRIQUES :

Ce chapitre sera consacré aux définitions de certains termes et aux formules utilisées en télédétection.

#### 3.1.- Les équations de Maxwell et les paramètres énergétiques

##### 3.1.1.- Les équations de Maxwell.

L'onde électromagnétique est composée de deux vecteurs, un électrique (E) et l'autre magnétique (H) définis en milieu isotrope, par les deux relations suivantes :

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}'$$

où  $\vec{B}$  : induction magnétique  $[T] = [V.s.m^{-2}]$

$\vec{H}$  : champ magnétique  $[A.m^{-1}]$

$\mu$  : perméabilité magnétique  $[H/m] = [V.s.A^{-1}.m^{-1}]$

$\vec{D}$  : induction électrique  $[C.m^{-2}]$

$\vec{E}$  : champ électrique  $[V.m^{-1}] = [J.m^{-1}.C^{-1}]$

$\epsilon$  : constante diélectrique ou permittivité

$$[F.m^{-1}] = [C.m^{-1}.V^{-1}]$$

1/ La résolution au sol d'une photo peut être définie comme les dimensions sur le terrain du plus petit élément que l'on peut distinguer sur la photo.



Les équations de Maxwell sont les suivantes :

$$\begin{cases} \nabla \cdot \vec{B} = 0 \\ \nabla \cdot \vec{E}' = 0 \\ \nabla \wedge \vec{B} = \mu \epsilon \frac{\partial \vec{E}'}{\partial t} \\ \nabla \wedge \vec{E}' = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \end{cases}$$

avec  $\left\{ \begin{array}{l} \nabla : \text{opération de Hamilton} \\ \nabla \cdot \vec{B} = \text{div } \vec{B} \\ t : \text{temps} \end{array} \right.$

Après transformations, on obtient les relations différentielles :

$$\nabla^2 \vec{B} - \mu \epsilon \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0$$

$$\nabla^2 \vec{E}' - \mu \epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}'}{\partial t^2} = 0$$

La forme générale d'équation des ondes électromagnétiques dans un milieu homogène, isotrope et neutre (cas des gaz) est la suivante :

$$\nabla^2 \psi - \mu \epsilon \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0$$

étant les projections sur les 3 axes de  $\vec{E}'$  et  $\vec{B}$ .  
Cette équation implique, en particulier, que les champs  $\vec{E}'$  et  $\vec{B}$  se propagent à la même vitesse  $v$  définie par :

$$\nabla^2 \psi - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0 \text{ de sorte que :}$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon}} ; \mu \epsilon = \frac{1}{v^2}$$

la vitesse de propagation  $v$  est aussi appelé célérité de l'onde.

Le mathématicien Fourier a montré que toutes les ondes électromagnétiques " physiquement possibles " sont réductibles à une superposition d'ondes planes sinusoïdales polarisées linéairement. Leur forme générale est donnée par la fonction d'onde :

$$\psi (Z, t) = \psi_0 \cos (\omega t - kZ)$$

où  $\psi_0$  = amplitude de la grandeur considérée  
 $\omega$  = fréquence angulaire  
 $k$  = nombre d'onde angulaire

3.1.2. - les paramètres énergétiques :

3.1.2.1. - Energie rayonnante Q :

Il s'agit de l'énergie transportée par le rayonnement ou la quantité de radiation. Cette énergie se mesure en joules [J].

3.1.2.2.- Flux du rayonnement  $\dot{\Phi} = \frac{dQ}{dt}$ , est la mesure du débit d'énergie rayonnante en un point de l'espace mesurée en watts  $[J. s^{-1}] = [W]$ .

Certains préfèrent le mot : puissance rayonnante.

3.1.2.3.- Densité du flux rayonnant à la surface, irradiance E et existence M.

$M = E \frac{d\Phi}{dA}$  est le quotient du flux de rayonnement incident sur  $dA$  la surface, par sa superficie.

L'irradiance E est le flux incident sur la surface unité.

L'existence M (ou emittance) représente le flux émanant d'une surface unitaire. L'unité reste toujours  $[W.m^{-2}]$ .

3.1.2.4.- Intensité rayonnante,  $I = \frac{d\Phi}{c \cdot r^2}$   $[W.s r^{-1}]$  d'un point source dans une direction donnée est le  $\frac{d\Phi}{c \cdot r^2}$  flux rayonnant par unité d'angle solide quittant une source ponctuelle dans la direction envisagée (voir fig. 15).

3.1.2.5.- Intensité spécifique rayonnante J, Radiance R

L'intensité spécifique rayonnante J dans la direction x est la puissance transportée au travers d'un élément de surface  $dA$ , perpendiculaire au rayonnement, par les rayons dont les directions sont comprises dans l'angle solide élémentaire  $d\Omega$  entourant la direction x (voir fig. 16).

$$J = \frac{S}{\Omega}$$

La radiance R est la puissance émise dans la direction x par une surface de dimension non négligeable. Cette puissance est rapportée à l'unité d'angle solide et à l'unité de surface perpendiculaire au rayonnement.

Elle s'exprime en  $(W.m^{-2}.s r^{-1})$  (voir fig. 17).

3.2.- Les paramètres énergétiques spectraux et photométriques

3.2.1.- Paramètres énergétiques spectraux

Toutes les ondes complexes peuvent être considérées comme une superposition d'ondes simples. La longueur d'onde  $\lambda$  est l'un de ces paramètres.

Les propriétés des rayonnements et en particulier leurs paramètres énergétiques peuvent varier en fonction de  $\lambda$ . Les unités

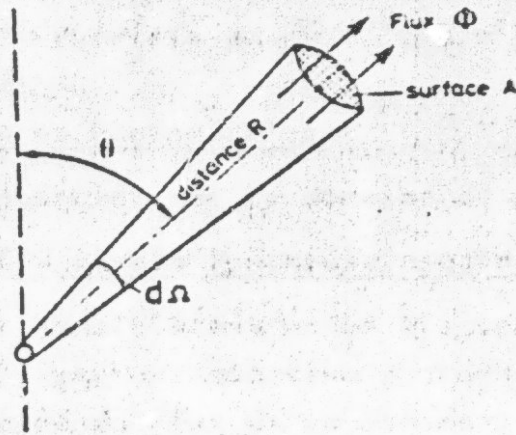


Fig.15 : Le concept d'intensité rayonnante I

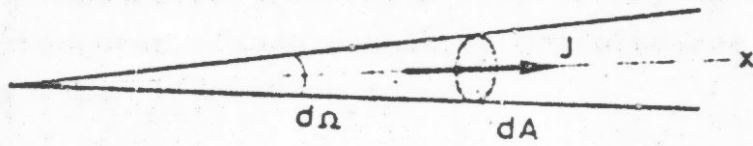


Fig.16 : Le concept d'intensité spécifique rayonnante

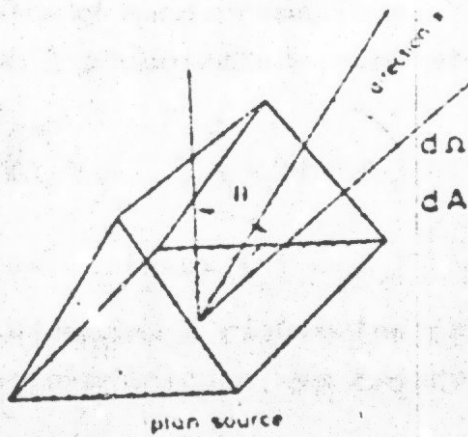


Fig.17 : Le concept de radiance

sont divisées <sup>par</sup> l'unité de la longueur d'onde ( m ou micron). Exemple:  
Radiance spectrale  $E_{\lambda}$  exprimée en  $[W.m^{-2} . s^{-1} (m^{-1} \text{ ou } \mu m^{-1})]$

### 3.2.2.- Paramètres Photométriques

Ils ne concernent que le domaine du visible.

#### 3.2.2.1.- Efficiéce lumineuse spectrale

L'oeil est sensible aux ondes électromagnétiques du visible (400 - 700 nm), par une réaction photochimique de la rétine.

La conversion du flux de rayonnement en impression visuelle n'est pas uniforme dans cette bande spectrale.

La relation liant la "réponse visuelle" à la longueur d'onde est appelée efficiéce lumineuse. C'est une quantité sans dimension représentée par le symbole  $V(\lambda)$ .

#### 3.2.2.2.- Flux lumineux monochromatique

Il mesure le pouvoir du flux de rayonnement monochromatique d'une longueur d'onde donnée, à produire une réponse visuelle. Il s'obtient par l'équation :

$$\Phi_{\lambda}^* = \Phi_{\lambda} . V(\lambda) (680 [l.m^{-1}])$$

où  $\Phi_{\lambda}^*$  = flux lumineux monochromatique  $[l.m^{-1}]$

$\Phi_{\lambda}$  = flux de rayonnement monochromatique.

#### 3.2.2.3.- Flux lumineux

C'est l'intégrale sur le spectre des ondes électromagnétiques du flux lumineux monochromatique. Il mesure le pouvoir du flux du rayonnement à produire une réponse visuelle.

$$\Phi^* = \int_0^{\infty} \Phi_{\lambda}^*(\lambda) d\lambda$$

$\Phi^*$  = flux lumineux ( l m )

Le tableau **numéro 1** résume les principaux paramètres énergétiques et photo-métriques des rayonnements.

### 3.3.- Rayonnement du corps naturel, Emissivité, Albédo

Un corps naturel n'absorbe pas tout le rayonnement qu'il reçoit : il n'est pas noir.

---

1 watt = 680 Lumen ( l m )

Paramètre énergétique	Symbole	Unités	Paramètre photométrique	Symbole	Unités
Energie rayonnante	Q	J	Energie lumineuse	Q*	Lt.s
Flux de rayonnement	Φ	W	Flux lumineux	Φ*	lm
Irradiance	E	W.m <sup>-2</sup>	Eclaircissement (1 lux [lx] = 1 Lt.m <sup>-2</sup> )	E*	lx
Exitance	M	W.m <sup>-2</sup>	Exitance lumineuse	M*	lx
Intensité rayonnante	I	W.sr <sup>-1</sup>	Intensité lumineuse (1 candela [cd] = 1 Lt.sr <sup>-1</sup> )	I*	cd
Radiance	R	W.m <sup>-2</sup> .sr <sup>-1</sup>	Luminance	R*	cd.m <sup>-2</sup>
Les paramètres spectraux, ou trichromatiques, sont affectés de l'indice λ. Leur unité s'obtient en divisant l'unité du paramètre "global" correspondant par l'unité de longueur d'onde ( m ou μm ). Exemple:					
Radiance spectrale	R <sub>λ</sub>	W.m <sup>-2</sup> .sr <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup>	Luminance spectrale	R <sub>λ</sub> *	cd.m <sup>-2</sup> .sr <sup>-1</sup>

Tableau No 1 :

Correspondance entre les paramètres énergétique et les paramètres photométriques

Son comportement par rapport à un corps noir placé dans les mêmes conditions obéit aux lois de la thermodynamique suivantes :

- l'irradiance totale se décompose en une part réfléchie, une autre absorbée par le corps et une part transmise.

$$E = E \text{ réfléchie} + E \text{ absorbée} + E \text{ transmise.}$$

- l'exitance propre du corps est égale à la part absorbée de l'irradiance, c'est la loi de KIRCHOFF :  $M = E \text{ absorbée}$

La première loi peut s'écrire sous la forme :

$$E = E_r + E_a + E_t$$

en éliminant E ou irradiance incidente on aura :

$$1 = r + a + t$$

avec r : réflectance ou coefficient de réflexion hémisphérique

$$r = \frac{E \text{ réfléchie}}{E}$$

a = Coefficient d'absorption hémisphérique ou absorbance

$$a = \frac{E \text{ absorbée}}{E}$$

t = Coefficient de transmission hémisphérique <sup>1/</sup>  
ou transmittance

$$t = \frac{E \text{ transmise}}{E}$$

L'Emittance est donnée par :

$$e = a = 1 - r - t$$

L'Exitance d'un corps naturel est exprimée par :

$$M = M^B \cdot e \quad \text{où}$$

$M^B$  : existence du corps noir définie par la Loi de Stephan

La Radiance du corps naturel est donnée par la loi :

$$R_{\lambda}(\theta, T) = R_{\lambda}^B(T) \cdot c_{\lambda}(\theta)$$

---

1/ Le mot hémisphérique précise qu'il s'agit de coefficient global.

Son comportement par rapport à un corps noir placé dans les mêmes conditions obéit aux lois de la thermodynamique suivantes:

- l'irradiance totale se décompose en une part réfléchie, une autre absorbée par le corps et une part transmise.

$$E = E \text{ réfléchie} + E \text{ absorbée} + E \text{ transmise.}$$

- l'existence propre du corps est égale à la part absorbée de l'irradiance, c'est la loi de KIRCHOFF :  $M = E \text{ absorbée}$

La première loi peut s'écrire sous la forme :

$$E = E_r + E_a + E_t$$

en éliminant E ou irradiance incidente on aura :

$$1 = r + a + t$$

avec r : reflectance ou coefficient de reflexion hémisphérique

$$r = \frac{E \text{ réfléchie}}{E}$$

a = Coefficient d'absorption hémisphérique ou absorbance

$$a = \frac{E \text{ absorbée}}{E}$$

t = Coefficient de transmission hémisphérique <sup>1/</sup>  
ou transmittance

$$t = \frac{E \text{ transmise}}{E}$$

L'Emittance est donnée par :

$$e = a = 1 - r - t$$

L'Existance d'un corps naturel est exprimée par :

$$M = M^B - e \quad \text{où}$$

$M^B$  : existence du corps noir définie par la Loi de Stephan

La Radiance du corps naturel est donnée par la loi :

$$R_{\lambda}(\theta, T) = R_{\lambda}^B(T) \cdot e_{\lambda}(\theta)$$

---

1/ Le mot hémisphérique précise qu'il s'agit de coefficient global.

- où  $R_{\lambda}(\theta, T)$  : radiance du corps naturel porté à la température  $T$  pour un angle d'émission
- $R_{\lambda}^B(T)$  : radiance spectrale d'un corps noir portée à la température  $T$ .
- $e_{\lambda}(\theta)$  : émissivité d'un corps naturel pour l'angle d'émissivité

L'albedo  $\alpha$  est défini comme la valeur moyenne de  $r$  sur l'ensemble du spectre du rayon incident selon l'équation :

$$\alpha = \frac{\int_0^{\infty} E_{\lambda} \cdot r(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} E_{\lambda} \cdot d\lambda}$$

#### 4.- REDRESSEMENTS DES IMAGES LANDSAT ou " CLEAN-UP "

Depuis le lancement du Satellite LANDSAT 1, les exigences d'images de bonne qualité ont sans cesse augmenté.

Les techniques de corrections des images par ordinateur sont devenues les seules méthodes valables pour l'obtention des images de très haute qualité.

Dans la plupart des cas, les données digitalisées nécessitent des corrections ou " Clean-up" qui consistent à éliminer plusieurs types d'artifacts ainsi que les effets naturels indésirables avant de procéder aux traitements proprement dits des données LANDSAT (exagérations des contrastes par exemple), car les formes de bruit ou autres sur une image affectent considérablement la qualité du produit final demandé.

A travers ce chapitre, nous essayerons de décrire les techniques de corrections suivantes des données digitalisées de LANDSAT.

- Corrections radiométriques.
- Corrections géométriques.
- Correction de l'illumination solaire.
- Correction des effets de la brume atmosphérique.
- Correction du Caméra digitale.

##### 4.1.- Corrections radiométriques.

Elles sont de deux types :

##### 4.1.1.- " Striping Noise Pattern"

Dans les données LANDSAT, "Striping Noisé Pattern" résulte du fait que les 24 détecteurs des 4 bandes spectrales ( à raison de 6 détecteurs par bande) n'ont pas le même gain de rayonnement.

Les méthodes utilisées pour minimiser ce bruit sont : le filtrage, la normalisation des histogrammes et la normalisation des histogrammes avec un ajustement de la moyenne locale de briance. Ce dernier procédé est appliqué au centre EROS à Sioux Falls ( Dakota du Sud).

#### 4.1.2.- Remplacement des lignes de balayage ratées

Les images LANDSAT peuvent avoir des lignes de balayage manquantes qui résultent soit du mauvais fonctionnement du capteur multispectral MSS ou des problèmes d'enregistrement, de transmission ou de traitement des données.

Deux méthodes sont utilisées pour remplacer les lignes ratées :

La première est l'interpolation qui consiste à ajouter des valeurs de briance de la ligne manquante, en déterminant la moyenne des valeurs de briance des lignes situées au dessus et au dessous de celle-ci.

La seconde méthode remplace statistiquement les valeurs de briance dans la ligne manquante par celles de la ligne précédente.

#### 4.2.- Corrections géométriques

Les distortions géométriques des images LANDSAT introduites par la rotation de la terre et les mouvements du Satellite sont corrigées sur les bandes magnétiques C C T.

##### 4.2.1.- Correction due à la rotation de la terre

La distortion de l'image causée par la rotation de la terre est une fonction à la fois de la latitude et de l'orientation du Satellite ( spacecraft heading).

##### 4.2.2.- Ajustement de la longueur de la ligne de balayage

La variation de la vitesse du mécanisme du miroir balayeur et les variations d'altitude du Satellite de 880 km à 940 km causent des variations dans la longueur de la ligne de balayage des données  
ii S S.

La ligne correcte de balayage, basée essentiellement sur un modèle de paramètres liés aux instruments et à l'orbite, est 3318 pixels puisque la longueur de la ligne de balayage obtenue sur la plupart des bandes magnétiques C C T correspond à 3240 pixels seulement.

#### 4.3.- Correction appliquée à l'effet de la brume atmosphérique

Le système de balayage multispectral ( M.S.S. ) de LANDSAT 1 et 2 détecte quatre bandes spectrales, deux bandes dans le domaine du visible ( bandes 4 et 5 ) et deux autres dans le domaine du proche infrarouge ( bandes 6 et 7 ).

La diffraction du rayonnement par l'atmosphère est fonction de sa longueur d'onde.

Mais à travers ce paragraphe, nous sommes concernés uniquement par les effets additifs.

Etant donné que la diffraction du rayonnement lumineux est inversement proportionnelle à la valeur de sa longueur d'onde élevée à la puissance quatre (  $\lambda^{-4}$  ); la bande 4 est la plus affectée par la diffraction moléculaire et la bande 7 est la moins affectée.

Les images fausse-couleur composites obtenues à partir des images brutes présentent une dominante teinte bleutée due à l'effet de la brume dans la bande 4, qui réduit considérablement les contrastes.

Dans une première correction, une valeur constante est extraite de l'image entière de LANDSAT pour chaque bande. Cette valeur diffère d'une bande à une autre et d'une image à une autre.

On peut distinguer deux méthodes pour calculer les valeurs de l'effet de la brume atmosphérique à partir des données digitalisées. La brume est sans effet sur la bande 7; ceci peut-être vérifié sur une image entière de LANDSAT en examinant le listing de la briance de l'eau claire qui a 0 % de réflectance dans la bande 7. En effet cette bande montre un niveau d'environ 1 unité de briance ( échelle de briance intermédiaire dans le format du C C T )<sup>1/</sup> pour les pentes douces et les surfaces de l'eau claire.

1/ Dans le format du C C T ( Computer compatible Tape ), l'échelle de briance va de 0 à 127 pour les bandes 4, 5, 6 et de 0 à 63 pour la bande 7.

La première technique de l'élimination de l'effet de la brume est appliquée à une surface de l'image LANDSAT où il y'a une variation topographique. La briance de chaque pixel dans la bande 7 est représentée graphiquement par rapport à la briance de chacun des trois autres bandes ( voir fig.18). Des points obtenus, on trace les droites représentatives.

S'il n'y a pas de brume dans les bandes 4, 5, 6, les droites obtenues passeront par l'origine des axes. En fait, ces droites coupent l'axe des abscissés au point " x ". Cette valeur représente l'effet de la brume dans chaque bande puisqu'elle exagère la briance.

Pour éliminer cet effet dans une bande donnée, il suffit de réduire cette valeur de la briance de chaque point ou pixel à travers l'image entière.

Un problème majeur se pose avec cette méthode, c'est qu'il faut faire plusieurs traitements par ordinateur. Aussi, les mélanges de matériau, avec des taux très variés, font que les points obtenus sont si éparpillés qu'il est difficile de tracer la droite représentative.

Une deuxième méthode développée exige moins d'intervention humaine. Dans chaque bande spectrale, les images sont constituées par 7,6 millions de points ou " pixels " dont la gamme des valeurs du " grey level <sup>1/</sup>", dans les bandes 4,5,6 va de 0 à 127 alors que dans la bande 7, elle n'est que de 0 à 63. Dans la plupart des images, la probabilité d'avoir au moins, un peu de points noirs (0 % de reflectance dans la bande 7) est très élevée.

Donc, l'histogramme de la bande 7 contient, au moins, un peu de points noirs alors que ceux des trois autres bandes ne montrent pas de pixels à zéro " grey level " (voir fig.19). Les histogrammes des bandes 4, 5 et 6 sont décalés vers la droite, et il y'a une brusque augmentation du nombre des pixels ayant une certaine valeur du grey level " x ". Cette valeur " x " est supposée être la quantité de brume dans une bande particulière.

Il y aura un problème si le cliché de la bande 7 de LANDSAT qui devait être traité n'a pas de niveaux topographiques de référence ayant 0 % de briance. Dans ces conditions, la correction est extrêmement difficile et doit être faite avec précaution.

---

1/ grey level : intensité ou niveau des grisés.

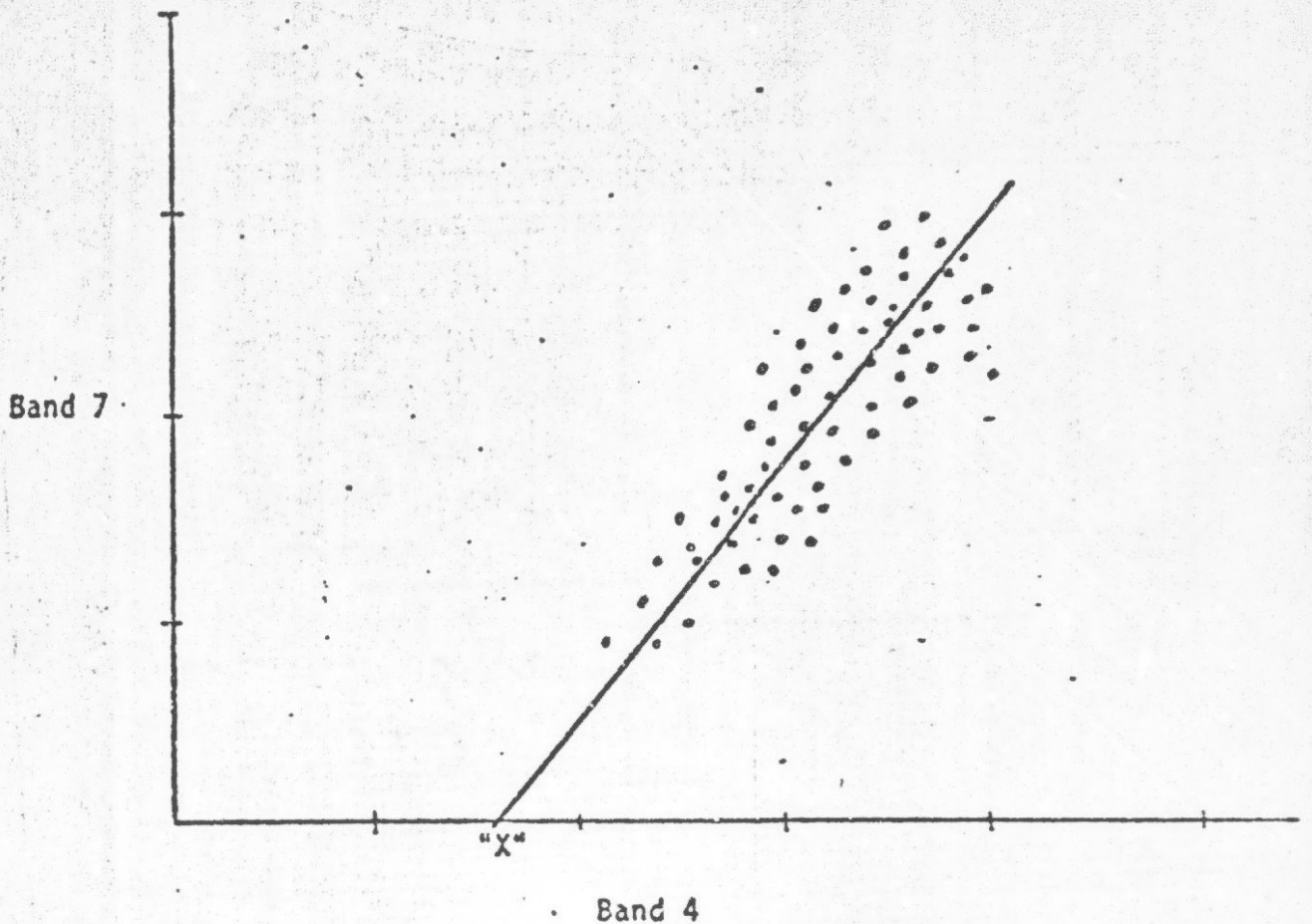


Fig. 18 :

C'est la représentation graphique des bandes 7 et 4 destinée à corriger l'effet de la brume atmosphérique dans la bande 4. Les points sont sélectionnés à partir d'une surface de l'image de topographie bien définie. Il est supposé que la bande 7 a seulement une unité de valeur de la brume parce qu'elle est virtuellement transparente à la diffraction des molécules atmosphériques. La droite tracée à partir des points coupe l'axe des X au point " x " qui est pris comme valeur de la brume pour être réduite de la bande 4. D'autres graphiques peuvent être tracés à partir des bandes 5 et 6.

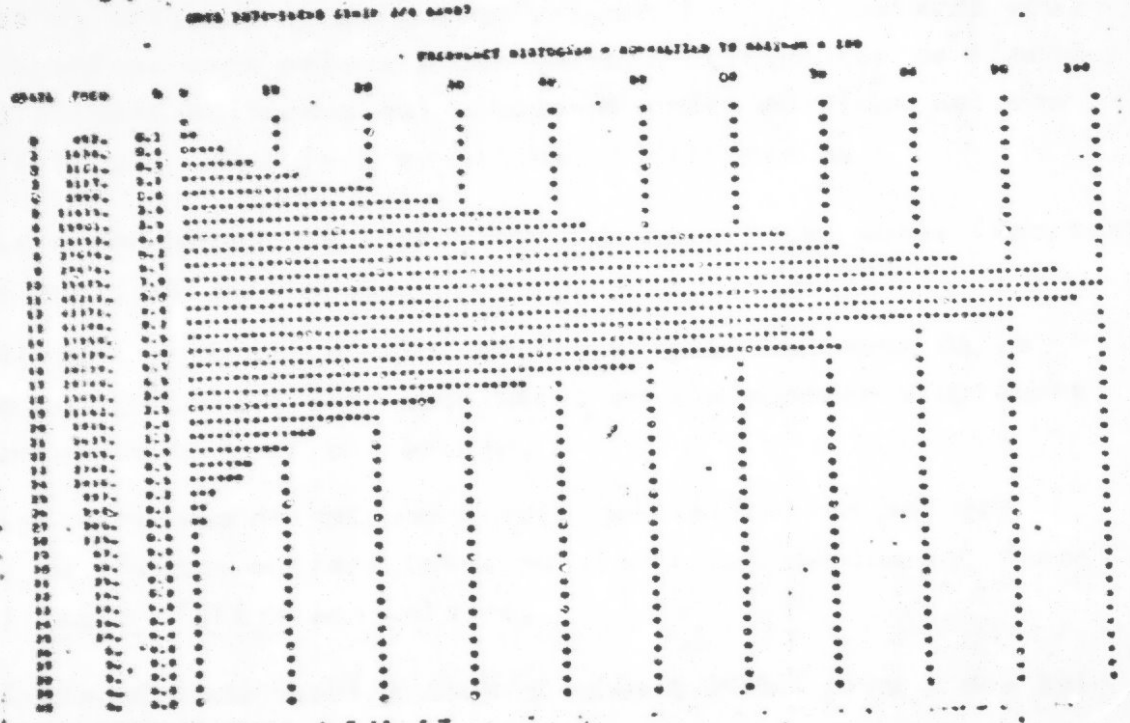
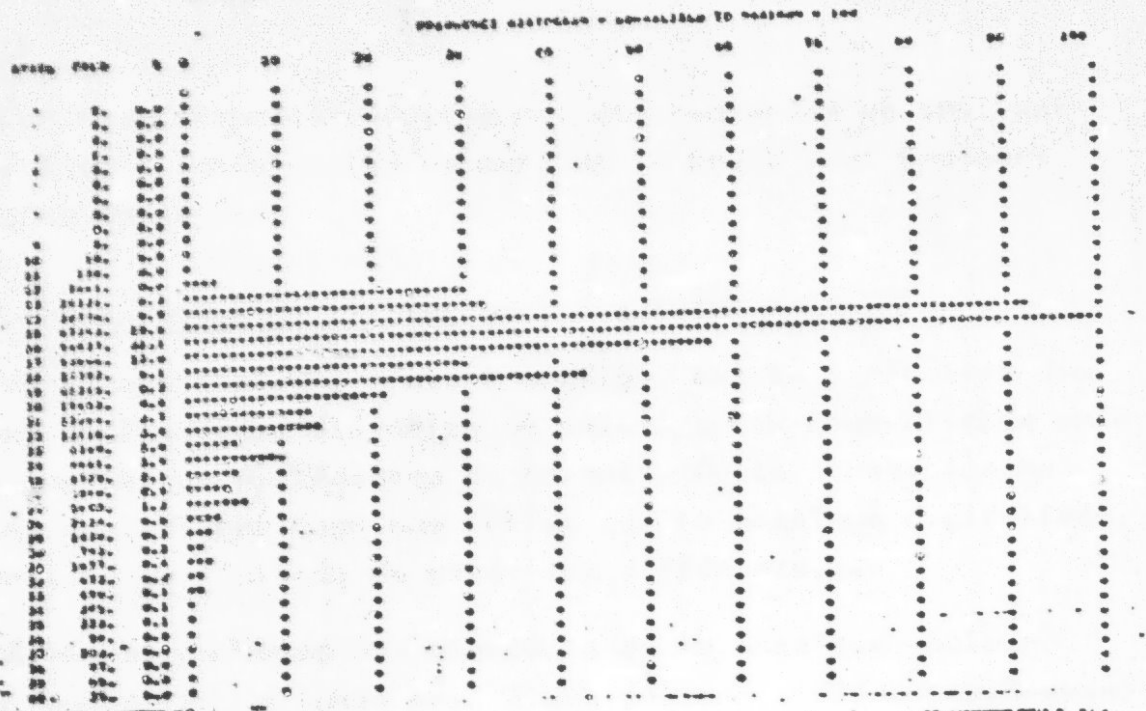


Fig. 19

Les histogrammes des bandes 4 et 7 utilisés pour sélectionner la quantité de brume dans la bande 4 en appliquant la deuxième méthode de l'élimination de l'effet de la brume atmosphérique. Les paramètres de l'effet de la brume sélectionnés pour les bandes 4 et 7 sont respectivement 10 et 0.

Les deux méthodes décrites ont été comparées en traitant une variété de clichés et les valeurs de la brume sont toujours à  $\pm 1$  " grey level ".

#### 4.4. - Correction de l'illumination solaire

Un second facteur, souvent négligé, est la correction des variations de l'angle d'élévation du soleil entre deux clichés pris dans des conditions différentes de briance. Cette correction est importante dans divers domaines telles que la mosaïque digitalisée, la comparaison de l'albedo de matériaux différents.

Elle est extrêmement importante si la mosaïque couleur demandée provient de clichés pris à des saisons différentes. Souvent les images de très bonne qualité qu'exigent les utilisateurs sous forme de mosaïque sont prises à des saisons différentes de l'année; ainsi les clichés adjacents qui composent cette mosaïque ont des angles d'élévation du soleil complètement différents.

Le redressement de l'élévation du soleil est aussi important que celui appliqué à la brume.

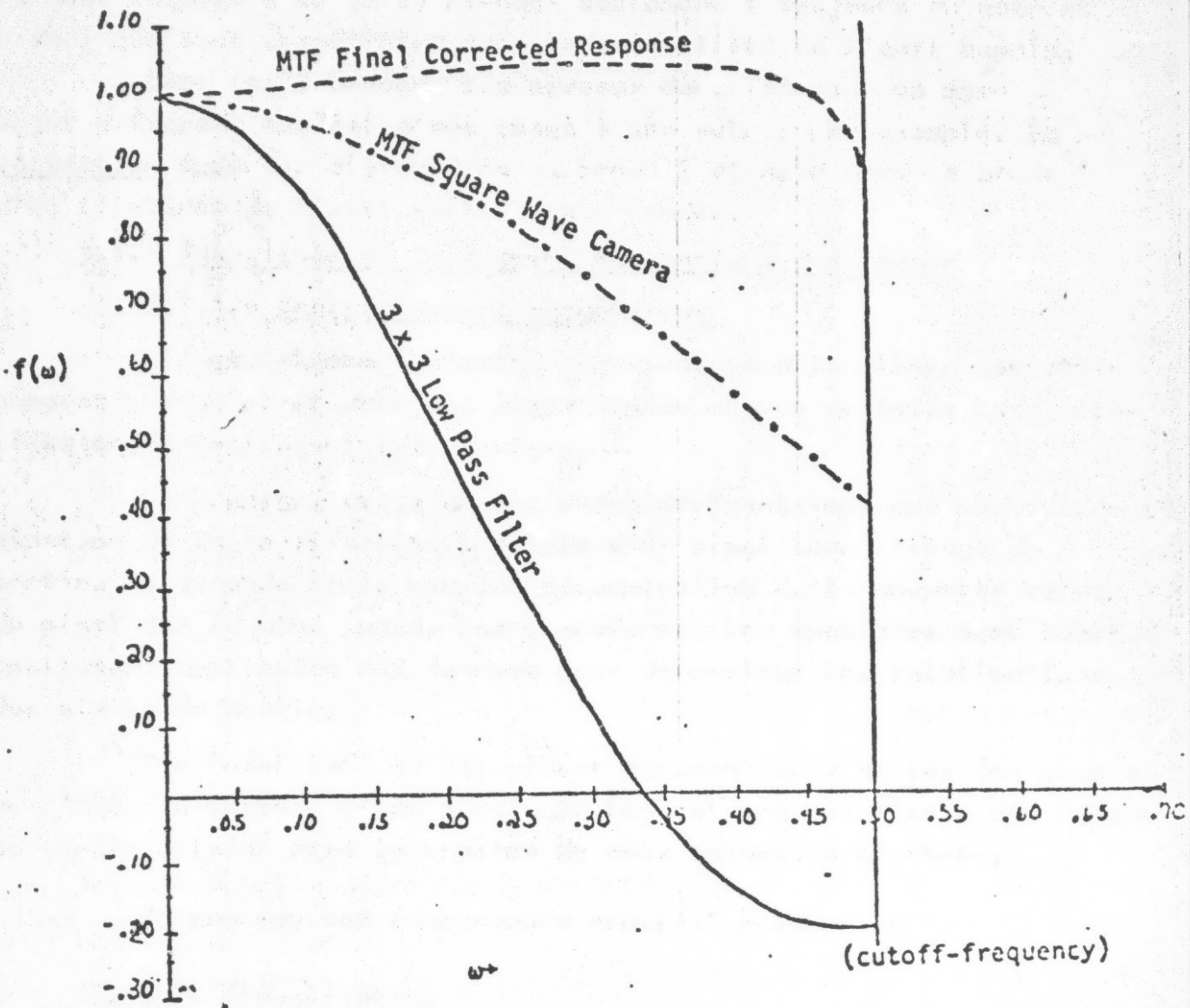
Il ne s'agit pas d'éliminer les effets complexes de la variation topographique dans une image, mais d'ajuster simplement la briance moyenne du cliché entier.

Le redressement est une simple multiplication par une constante de l'image entière. Cette constante est évidemment fonction de l'angle d'élévation solaire.

Cette méthode corrige deux clichés LANDSAT pris à des saisons différentes de l'année de sorte que les briances moyennes d'une zone plate soient les mêmes dans les deux images.

Le facteur de multiplication est dérivé de n'importe quelle fonction photométrique, les plus communes sont les lois de Lambert et Minnaert (Kiuper, 1961).

La fonction utilisée dans ce cas est Lambertienne (diviser par le cosinus de l'angle d'incidence). Étant que l'angle de l'élévation du soleil est le même dans les 4 bandes de LANDSAT; la même constante est utilisée pour configurer ces 4 bandes.



Légende :

- Moyenne de la transformation de Fourier
- M.T.F. Original
- M.T.F. corrigé du Caméra digitale

Fig. 20 : Représentation graphique de la technique utilisée pour corriger la perte de fréquence due à l'effet M.T.F. ( Modulation Transfer Fonction ).

Les 64 niveaux d'intensité des grisés sur la bande originale sont réduits à 10 ou 15 niveaux seulement ( toujours en noir et blanc) qui sont compatibles avec la sensibilité de l'oeil humain.

Dans les 4 bandes, les niveaux des grisés pour un même objet différent souvent d'une image à une autre; par exemple, la végétation apparaît claire dans la bande 7 et noir dans la bande 5, d'où l'intérêt de l'utilisation des 4 bandes.

### 5.1.- Techniques de traitement automatique des images

#### 5.1.1.- Enregistrement géométrique

L'enregistrement géométrique consiste à localiser géométriquement chaque pixel dans une image donnée en vue de faire la digitalisation du traitement informatique.

La première étape de cet enregistrement implique une détermination de la localisation spatiale d'un pixel dans l'image de sortie. La seconde étape est une détermination de la nouvelle valeur du pixel sur la même image. Les transformations spatiales sont habituellement appliquées aux données pour déterminer les localisations des pixels de sortie.

Ces localisations coïncident rarement avec celles des pixels de l'image d'entrée. C'est ainsi que les valeurs des pixels des images de sortie doivent être interpoler de ceux adjacents d'entrée.

Ce procédé est communément appelé " resampling ".

#### 5.1.2.- Visualisation

Les données enregistrées sur les bandes magnétiques par les scanners de LANDSAT peuvent être visualisées sur papier photographique, sur écran cathodique ou sur listage d'ordinateurs.

L'aspect du document photographique en noir et blanc obtenu n'est pas celui d'une photographie ordinaire car l'information de base consiste en des impulsions électriques et non en des impulsions lumineuses; d'ailleurs un examen attentif de ces documents nous permettra de discerner les lignes de balayage et d'éviter ainsi de les confondre avec des photographies ordinaires.

La visualisation sur écran cathodique peut être obtenue directement des bandes magnétiques digitales ou C C T. Ces mêmes bandes peuvent être analysées par ordinateur pour exprimer ces impulsions électriques sous la forme de listage ayant des codages différents.

### 5.1.3.- Digitalisation

Les informations d'une image peuvent être exprimées sous la forme de nombres correspondant à des différents niveaux de densités des grisés. Une fois que ces niveaux sont isolés, on peut matérialiser les zones équidenses par une couleur donnée.

L'abondance des données obtenues chaque jour implique l'application de méthodes de traitements automatiques par ordinateur. Les systèmes de digitalisation d'images sont très nombreux dont la microdensitométrie reste actuellement le meilleur système capable par une simple lecture automatique d'extraire l'information utile contenue dans le cliché. La visualisation de ces informations est obtenue soit sur listage d'ordinateur ou sur un écran cathodique.

### 5.1.4.- Accentuation des images

Plusieurs techniques d'accentuation automatique des images sont utilisées pour optimiser l'utilisation des données LANDSAT sous forme de films ou d'images photographiques; car pour passer des bandes magnétiques aux films, certaines données sont perdues, non pas par la sélection des paramètres du traitement digital mais par les caractéristiques très limitées d'enregistrement sur film (voir fig. 21).

Les données digitales sont soumises à trois techniques différentes d'accentuation des images :

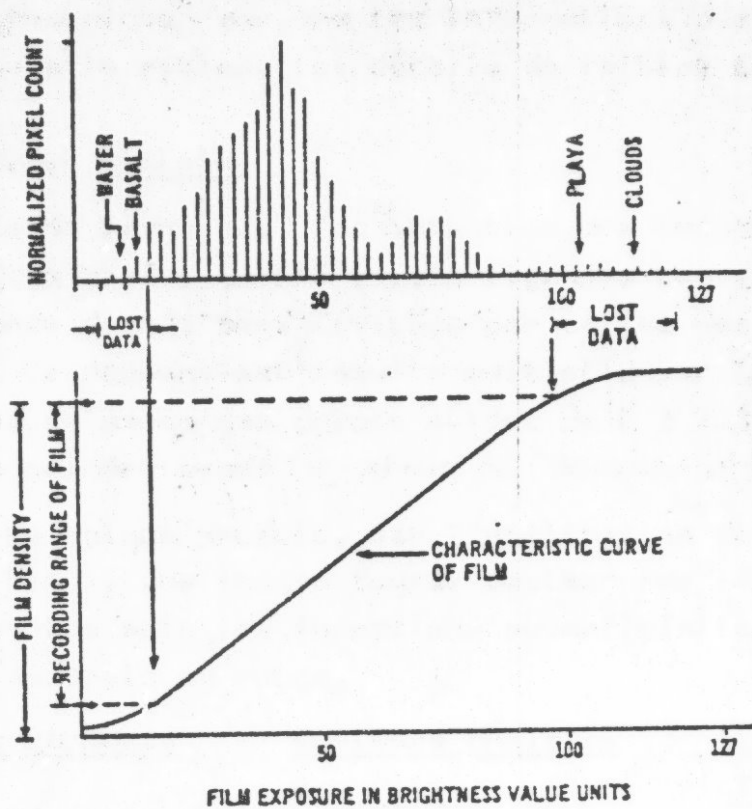
- Filtring ou Edge enhancement (exagération des limites ou filtrage).
- Rationing (Exagération des rapports des bandes).
- Stretching (Exagération des contrastes).

#### 5.1.4.1.- Filtring

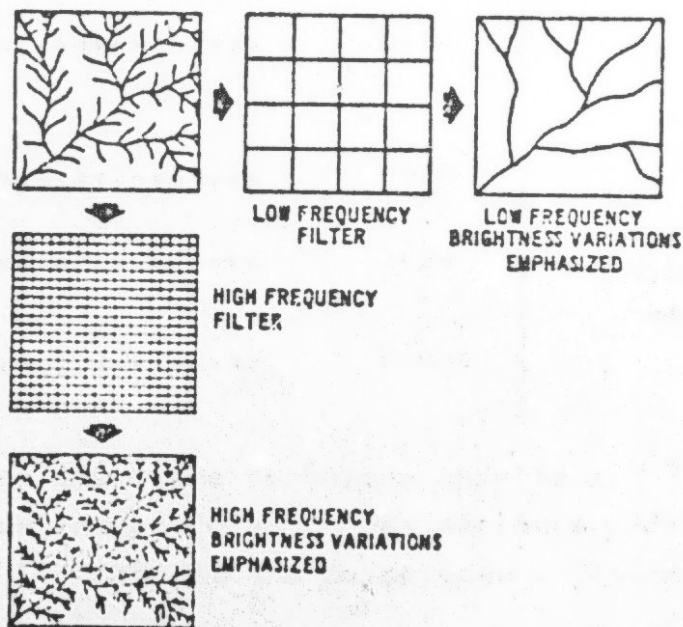
Le programme de filtrage digital consiste, par l'utilisation des deux filtres suivants, à ajuster la valeur d'un pixel par rapport à la moyenne des valeurs des pixels avoisinants :

- filtre de passage des faibles fréquences ou "low pass filter"
- filtre de passage des hautes fréquences ou "high pass filter"

La première technique, qui utilise le premier filtre, adoucit l'image de sortie que sur le produit final les différences de contrastes entre les pixels sont réduites à des tons graduels. Donc, seules les variations de briance de faibles fréquences apparaissent sur l'image traitée.



**Fig.21** : Relations indésirables entre les valeurs de briance du CCT d'entrée et de la densité du film de sortie (d'après Ragland et Chavers 1976)



**Fig.22** : Concept de l'exagération spatiale de fréquences.

Par opposition à la première, la deuxième technique utilise un filtre de passe des hautes fréquences ( voir fig. 22).

Cette technique exagère les informations des hautes fréquences alors qu'elle retient les détails de faibles fréquences.

5.1.4.2.- Ratioing

La seconde technique d'accentuation des images est celle du rapport de deux bandes du MSS ( voir fig.23). Les valeurs des pixels d'une bande donnée sont divisées par celles des pixels d'une deuxième bande. Le rapport est ensuite multiplié par 100 pour garder les valeurs dans la gamme des grisés allant de 0 à 225 et le nombre résultant est considéré comme la valeur du nouveau pixel.

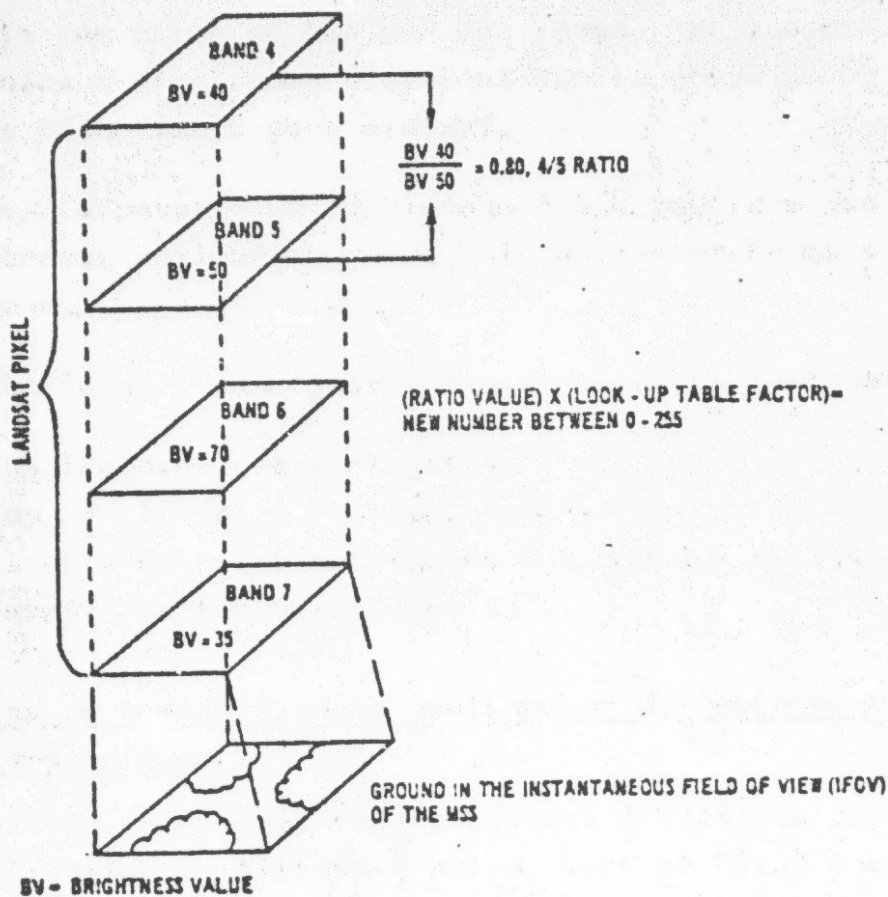
Cette technique produit, par l'utilisation de filtres colorés (rouge, vert et bleu), des images fausse couleur sur lesquelles apparaissent surtout les sols, les formations superficielles ainsi que la végétation qui apparait en rouge.

<u>Combinaison des rapports</u>	<u>Couleurs choisies sur film</u>	<u>Images de composition de couleurs</u>
<u>Bande 4</u> ..... <u>Bande 5</u>	vert	} Color ratio composite
<u>Bande 5</u> ..... <u>Bande 6</u>	rouge	
<u>Bande 6</u> ..... <u>Bande 7</u>	bleu	
<u>Bande 4</u> ..... <u>Bande 5</u>	vert	} Hybrid color ratio composite
<u>Bande 5</u> ..... <u>Bande 6</u>	bleu	
<u>Bande 6</u> ..... <u>Bande 7</u>	rouge	

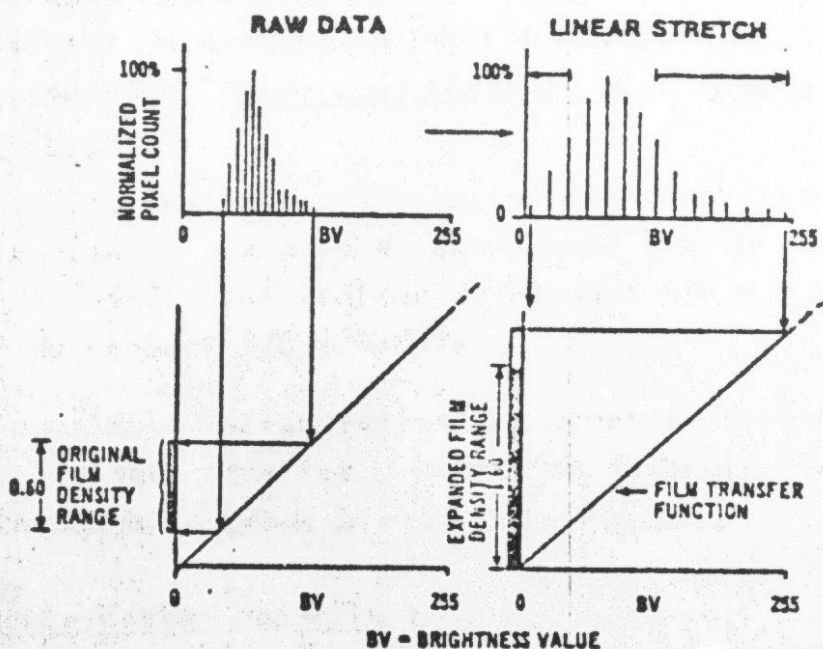
Enfin, une autre technique appelée : " Temporal Ratio " qui utilise des images prises à des périodes différentes, permet de déterminer les changements du paysage en fonction du temps.

5.1.4.3.- Contrast stretching

Une des plus importantes techniques d'accentuation des images est celle de l'exagération des contrastes ou " contrast stretching".



**Fig. 23** : Concept de superposition des bandes spectrales de LANDSAT



**Fig. 24** : Concept de l'exagération linéaire des contrastes

Elle permet d'utiliser tous les tons disponibles des grisés tout en exagérant la variation de ton sur une image. Par exemple, si la plupart des données digitalisées s'étalent sur la gamme de 60 niveaux, le contraste d'une image sera minimal.

Par contre, le passage de 60 niveaux à 256 implique des différences de contraste maximum et de ce fait un contraste plus net de l'image est obtenu.

On peut distinguer deux types d'exagération des contrastes :

- exagération linéaire des contrastes.
- exagération non linéaire des contrastes.

Les concepts de ces deux méthodes appliquées aux données digitalisées de LANDSAT sont montrés par les fig. 24 et 25.

#### 5.1.5.- Images de composition de couleurs et de couleurs naturelles simulées

Par opposition aux images fausse couleur " false color " qui résultent de l'utilisation de filtres ( rouge, vert et bleu) pour 3 bandes, les images de couleurs naturelles simulées sont obtenues au centre d'Astrogéologie de Flagstaff, ARIZONA.

La combinaison d'une bande bleue produite artificiellement par ordinateur avec les bandes existantes: 4 ( vert du visible) et 5 ( rouge du visible) du système MSS de LANDSAT permet la reconstitution d'images appelées " Simulated natural color images " ou Simulated true color images "

Le rapport des bandes 5/6 est utilisé pour identifier les pixels appartenant aux sols et aux roches (valeur du rapport  $5/6 = 1,5$ ), à la végétation (valeur du rapport  $5/6 = 0,45$ ) ou à l'eau (valeur du rapport  $5/6 = 1,45$ ).

Par une simple extrapolation des courbes obtenues à partir des valeurs de briance dans les 4 bandes, on détermine la briance des pixels dans la nouvelle bande bleue. ( voir Fig. 26).

#### 5.2.- Interprétation manuelle :

Après l'acquisition des premières données LANDSAT, les images multispectrales obtenues, qui ne donnent pas la dimension verticale et dont la faible résolution constitue un facteur limi-

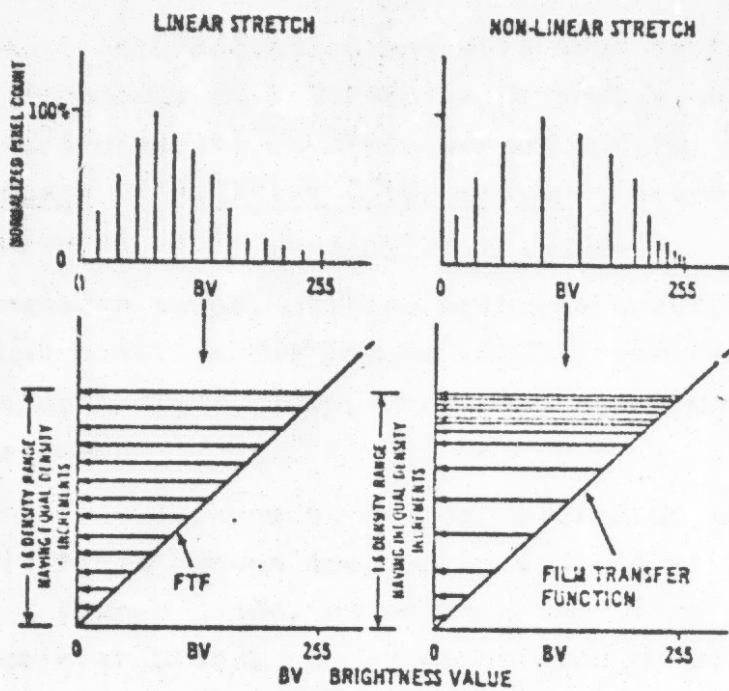


Fig. 25 : Concept de l'exagération non linéaire des contrastes.

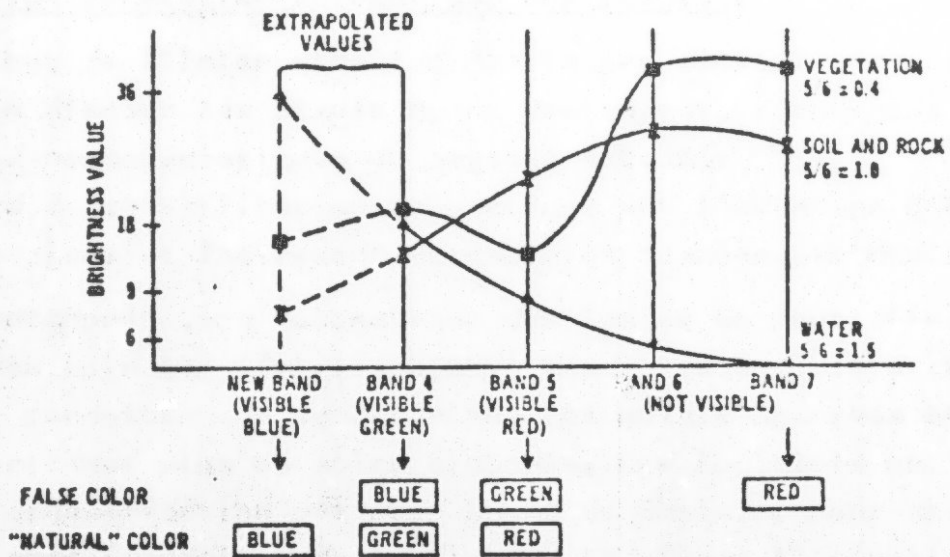


Fig. 26 : Concept de la simulation de couleurs naturelles.

tant dans l'agrandissement des images<sup>1/</sup>, nous fournissent des renseignements sur la nature du sol, la géomorphologie, la géologie, la végétation.

En Tunisie, l'interprétation manuelle peut se faire par l'acquisition d'instruments de laboratoire du photos en couleur (développeuse et agrandisseur) et d'équipement spécial tel que le Zoom transfer scope, l'Additive Color viewer (visionneuse de composition de couleurs) et le Densimetre optique.

Le Zoom transfer scope, utilisé principalement en cartographie, permet la superposition des images LANDSAT traitées sur des cartes de base (topographique, géologique...) n'ayant pas la même échelle que ces images.

En utilisant la visionneuse de composition de couleurs, le spécialiste choisit trois bandes spectrales (4 - 5 et 7). Une couleur est affectée à chaque bande, au moyen d'un filtre placé devant chaque cliché en noir et blanc. La superposition de ces trois bandes permet d'obtenir une image fausse couleur ou "color composite", de sorte que l'eau apparaît en noir, la végétation en rouge etc...

Le densimètre optique mesure les densités de couleurs d'une image fausse couleur ou de chaque niveau de couleur par l'insertion des filtres appropriés.

### 5.3.- Interprétation automatique des images :

Le but de l'Interprétation des images digitalisées est de regrouper en classes les pixels ayant des aspects identiques comparables aux caractéristiques du paysage détecté. Ces méthodes de classification automatique ont l'avantage d'être précises, rapides et facilement accessibles aux banques des données.

L'Interprétation automatique des images ne peut aller généralement très loin car l'utilisateur a besoin de logiciels très souples lui permettant de caractériser les points observés en fonction d'algorithmes plus ou moins élaborés. Les logiciels ou "software" de classification ont pour objet de choisir, pour chaque pixel des images avec le maximum de confiance, la classe à laquelle il appartient parmi celles définies par les deux méthodes suivantes de classification :

---

<sup>1/</sup>La limite d'agrandissement des images de LANDSAT 1 et 2 est le 1/200.000 car au delà de cette échelle, les images obtenues présentent un ensemble de carrés ou pixels ayant des densités de grisés différentes.

- méthode de classification supervisée : est effectuée par l'introduction de vérités terrain qui permettent de définir les classes associées.

- méthode de classification non supervisée : se fait par l'analyse d'une façon automatique des propriétés intrinsèques des images.

### 5.3.1.- Méthode de classification supervisée ou dirigée

À partir des bandes magnétiques C C T, l'image est séparée en différents niveaux de densité par ordinateur qui permet de faire correspondre une couleur à chaque niveau de densité. C'est l'image en couleurs qui apparaît sur l'écran de télévision existant en fin de circuit ( terminal). Sur l'image obtenue, on peut faire varier la correspondance couleur, niveau de densité tout en renforçant les contrastes et en séparant le mieux possible les zones homogènes sur lesquelles on isole, à l'aide d'un terminal de l'ordinateur, des sites de vérité terrain ou " training samples " pour chercher sur le terrain à qui correspondent ces zones.

Le nombre de classes obtenues est évidemment fonction de la complexité du terrain détecté.

Lorsqu'on a défini les limites des zones homogènes, on peut facilement isoler un aspect particulier tel que les sebkha pour définir par exemple sa superficie par rapport aux autres structures du paysage.

La carte finale obtenue sur l'écran peut être soit photographiée à l'aide de Caméra ou bien imprimée à l'aide de " printer/plotter " sous forme de listage dont le codage utilise des caractères alphanumériques ou des trames de points ( voir Fig.27 .et 28).

### 5.3.2.- Méthode de classification non supervisée :

Au début de l'interprétation automatique, une analyse statistique des valeurs de briance des pixels permet d'identifier par exemple l'eau, le substrat géologique, la végétation, le sebkha...

Pour l'application de cette méthode, le spécialiste doit être familiariser avec le paysage de l'image à interpréter.

À partir de l'analyse statistique et par la connaissance du paysage, on applique la méthode de classification non supervisée par la visualisation de l'image sur l'écran cathodique du terminal de l'ordinateur qui la décompose en niveaux colorés de densités.



Fig 27 : Extrait du listage en noir et blanc de la Bande 7 du Centre de la Tunisie ( l'amont d'Oued El-Leben) imprimé à l'aide du Plotter/ Printer selon un codage de trame de points.

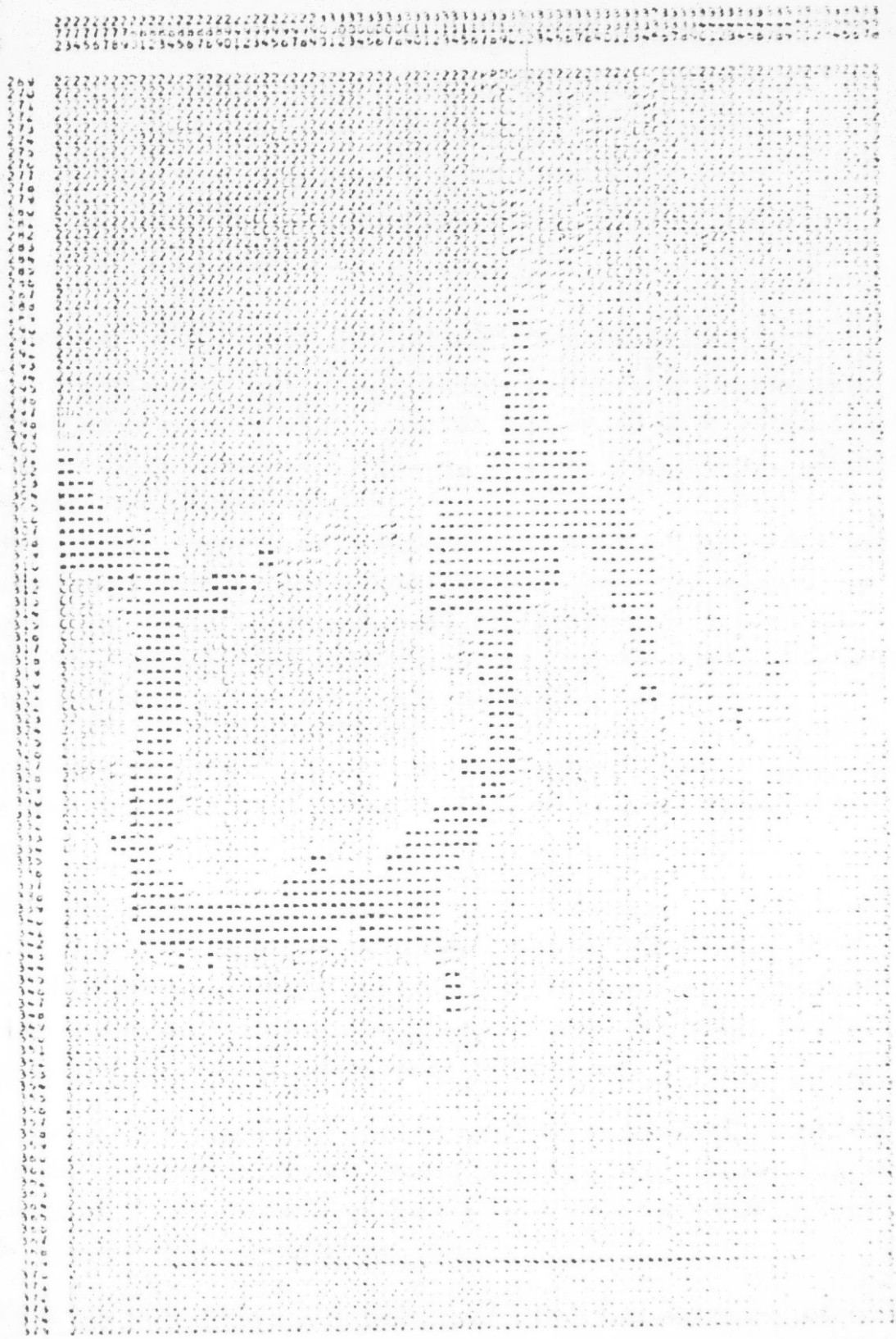


Fig. 28 : Carte de classification sous forme de listage des grisés utilisant des caractères alphanumériques pour indiquer les unités suivantes :  
C : conifère, W : eau, P : Paturage etc...

L'analyse sur l'image classe par classe permet d'identifier les caractéristiques du paysage tout en regroupant les classes identiques.

## 6.- POSSIBILITES FUTURES ET LIMITATIONS DE LA TELEDETECTION DES DONNEES LANDSAT EN TUNISIE :

### 6.1.- Les qualités et les limitations du système M.S.S.

La télédétection est depuis longtemps utilisée notamment sous la forme de prises de photographies aériennes pour l'établissement de nombreuses cartes thématiques ( carte géologique, pédologique, phytoécologique etc...).

Actuellement, elle connaît un développement très rapide car l'utilisation des satellites LANDSAT destinés à l'étude des ressources terrestres a introduit de nouvelles possibilités par la mise en oeuvre des détecteurs multispectraux qui ont les qualités suivantes par rapport aux caméras conventionnelles ordinaires :

- Les données LANDSAT sont disponibles sous forme digitalisée permettant des traitements à temps de très nombreuses données par ordinateur.

- Les prises de vue multispectrales, utilisant à la fois une gamme de longueurs d'ondes ( domaine du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge thermique) dans de clichés pris simultanément, permettent de différencier beaucoup plus nettement certaines caractéristiques du paysage (certaines formations, failles etc...).

- Le caractère répétitif du système MSS de LANDSAT constitue un atout majeur pour l'étude des phénomènes les plus dynamiques, donc changeants, de la surface et la révision des inventaires et des cartes thématiques correspondantes.

- Situés à très haute altitude ( 919 km) les capteurs de LANDSAT offrent une vue synoptique d'une zone très étendue (d'environ  $34.000 \text{ km}^2$ ) sur une seule image. Ce qui permet par exemple aux géologues de reconnaître des ensembles structuraux imperceptibles sur les mosaïques obtenues à partir des photos aériennes ordinaires.

- La fidélité technique ( géométrique et radiométrique) des données du M.S.S. de LANDSAT autorise la mise en oeuvre de moyens de traitements automatiques ou semi-automatiques très puissants qui méritent sérieusement d'être prise en considération, notamment pour

traiter à temps de très nombreuses données enregistrées chaque jour, donc compatibles avec la nature même des processus d'acquisition des données.

Les possibilités des images multispectrales de LANDSAT sont néanmoins limitées par la faible résolution spatiale ( 79 x 79 m ) car pour chaque point de références géométriques données, on a une information globale résultant de la combinaison de la réponse spectrale des cibles complexes de la surface détectée. De même que sans le secours d'une vérité terrain ( inventaires, contrôles, mesures... ), l'application de la Télédétection de ces images en Tunisie ne peut conduire qu'à l'expression de banalités sans intérêt pour le pays qui possède déjà une masse non négligeable de données sur ses ressources naturelles.

#### 6.2.- Documents de travail disponibles :

Il nous paraît utile d'analyser brièvement les différents documents de travail élaborés à partir des documents bruts par la voie automatique des ordinateurs ou tout simplement par le traitement manuel.

##### 6.2.1.- Documents bruts

A partir des clichés ( négatifs et positifs ) qui correspondent aux quatre canaux ( 4 - 5 - 6 - 7 ) d'enregistrement du M S S de LANDSAT 1 et 2, on peut obtenir des tirages sur papier photographique en noir et blanc.

Ces documents peuvent constituer un support de base pour la cartographie, l'étude des phénomènes de surface ( l'érosion et la désertification en particulier ) et l'inventaire des ressources forestières, pastorales, agricoles etc...

##### 6.2.2.- Documents élaborés

Les données initiales, positifs et négatifs en noir et blanc, sont à la source de tous les documents de travail qui seront étudiés ci-après.

##### - Les équidensités colorées

La technique utilisée pour obtenir les équidensités colorées consiste à sélectionner par ordinateur, un certain nombre de niveaux de densités des grisés d'une image en noir et blanc et par l'attribution d'une couleur à chacun des niveaux, on peut obtenir un document présentant autant d'équiplages colorés que de nombre de sélection.

tions. Ce nombre est évidemment fonction de la finesse des analyses requises.

Le document final est visualisé sur un écran de télévision ou tiré sur papier photographique en couleur.

Il est évident que ce document simplifié n'empêche pas l'ambiguïté d'une couleur qui peut représenter plusieurs phénomènes de la surface détectée, ou inversement, qu'un même phénomène peut être représenté par plusieurs couleurs.

Ces images peuvent nous parvenir directement de Telespazio en Italie ou bien de EROS center (Sioux Falls) aux U.S.A.

#### - Les compositions de couleurs

Les images "fausse couleur" peuvent être obtenues par la voie automatique ou d'une façon manuelle.

Le principe consiste tout simplement à affecter à chaque bande spectrale d'un même paysage une couleur au moyen d'un filtre coloré placé devant chaque transparent positif. En général, on utilise les bandes 4, 5 et 7 avec des filtres respectivement bleu, vert et rouge, car ces 3 bandes donnent normalement des informations différentes sur le paysage détecté.

Les images de composition de couleurs donnent une réponse colorée qui ne correspond pas à la réalité puisque la végétation saine, par exemple, compte tenu de sa forte réflectance dans le proche infrarouge, est de diverses couleurs rouges. L'eau libre de surface apparaît en vert alors que l'eau profonde est complètement noire.

Donc, la distinction entre les Djebels couverts de végétation et ceux à couvert végétal très faible ou inexistant, est très nette.

Par contre, il y a une grande ambiguïté de confusion entre les zones très cultivées en particulier à base de céréales et la végétation des milieux salés.

#### - Couleurs naturelles simulées

A partir des clichés en noir et blanc des 4 bandes spectrales du M S S d'une même vue, on peut obtenir, d'une façon automatique, des images appelées "couleurs naturelles simulées". Ces images ont les mêmes couleurs que celles obtenues à partir d'une émulsion de couleurs naturelles.

L'avantage majeur de ces images réside du fait que l'on peut observer le paysage détecté tel qu'il est c'est à dire à l'état naturel.

- Exagération des contrastes avec codage de couleurs

Les images dont les contrastes sont exagérés subissent d'une façon automatique le codage de couleurs de sorte que le produit final présente des couleurs contrastantes c'est à dire que tout changement de ton de grisé est traduit par une couleur.

L'inconvénient de ce type d'image est de faire ressortir seulement une partie des renseignements qu'existent déjà sur le document initial.

- Ratio de composition de couleurs:

On fait attribuer à chaque rapport de deux bandes spectrales un filtre ( voir § 5.1.4.2.); la superposition de trois rapports auxquels sont attribués 3 couleurs différentes permet d'obtenir des images de deux types selon la combinaison des filtres avec les rapports de bandes : " Color Ratio Composite " et Hybrid color ratio composite " .

L'intérêt de ce type de traitement est de faire ressortir en fausse couleur les changements de la réponse spectrale du paysage dans les 4 bandes du M.S.S. Cette technique des " Ratios " est, en fait, riche de promesses encore insuffisamment expérimentées dans un grand nombre de situations.

6.3.- Les domaines d'application des données LANDSAT en Tunisie

La possibilité d'étudier, d'inventorier ou de contrôler les ressources terrestres en Tunisie est diminuée malheureusement par le faible pouvoir de résolution des images LANDSAT 1 et 2. Malgré sa fidélité technique, l'image multispectrale, qui est un espace à deux dimensions, ne donne pas, en effet, la dimension vertical par la vue stéréoscopique puisque le recouvrement entre deux images adjacentes ne dépasse guère 14 % ( voir § 2 - tableau récapitulatif).

L'utilisation future de nouvelles techniques plus ou moins sophistiquées telles que l'exagération des contrastes, la composition de couleurs, l'équidensité colorée, l'analyse automatique et semi-automatique des données LANDSAT par ordinateur, ouvrira aux différentes disciplines suivantes : l'agriculture, la sylviculture, l'hydrologie, l'océanographie, la pollution, la géologie et les ressources minières, la cartographie... de larges horizons pour en tirer le maximum d'information.

La création au sein de la Division des sols (Ministère de l'Agriculture) d'une unité de Télédétection équipée de matériels de traitements peu coûteux (voir § 5.2.) permet aux spécialistes Tunisiens l'interprétation visuelle des images LANDSAT agrandies sur simple positifs et positifs transparents en fausse couleur.

#### 6.3.1.- Géologie et ressources minières

La vue synoptique des données LANDSAT offre aux géologues la possibilité de détecter de nouvelles anomalies et structures de la surface de la terre non identifiables par la photointerprétation classique. Ce qui implique évidemment la correction et la mise à jour de la carte géologique de la Tunisie au 1/500.000°.

Aux USA, les géologues, qui ont travaillé sur les images LANDSAT, ont trouvé que plusieurs structures et phénomènes d'origine profonde sont liés, en quelques sortes, aux structures de surface observables par LANDSAT.

#### 6.3.2.- Erosion et désertification

Le caractère répétitif des images et la vue synoptique d'une région donnée permettent de suivre dans l'espace et dans le temps l'évolution des bassins versants, la répartition de leurs eaux et de leurs sédiments.

La mise à jour des cartes d'érosion et de désertification est rendue possible par l'acquisition de ces images d'une façon constituée.

#### 6.3.3.- Cartographie

En cartographie, l'utilisation des images LANDSAT ne peut être valable que pour les cartes de synthèses à petites échelles (1/1.000.000 au 1/200.000°).

Pour la cartographie pédologique, ce genre de données ne permet que la répartition des unités homogènes du point de vue géomorphologique, végétation et aspect de la surface du sol.

Les capteurs MSS LANDSAT ont montré des capacités pour la cartographie qui dépassent largement les prévisions car les images obtenues ont les caractéristiques suivantes qui contribuent d'une façon significative au développement de la cartographie à petite échelle :

- Une uniformité de vue sur une région très étendue ( 34.000 km<sup>2</sup> ).
- Un angle de prise de vue presque à la verticale.
- Une excellente fidélité géométrique et radiométrique.
- Une netteté de certains aspects naturels.
- Une capacité d'obtenir une carte finale conforme au temps réel de l'acquisition des données.

#### 6.3.4.- La forêt

En sylviculture, l'importance de la Télédétection des images LANDSAT est considérable car elle s'applique bien, par l'utilisation des images " fausse couleur " pour inventorier les surfaces reboisées en Tunisie et surtout pour surveiller leurs états de dégradation.

#### 6.3.5.- Hydrologie

Dans ce domaine, l'utilisation des données LANDSAT peut jouer un rôle primordial dans l'étude des inondations à l'échelle d'une région entière.

De même que des estimations précises des ressources en eau peuvent être obtenues d'une façon quantitative et qualitative avec un coût plus faible par rapport à d'autres techniques.

En conclusion, le problème qui se pose actuellement à l'échelle nationale n'est pas celui de l'acquisition de nouvelles techniques très sophistiquées mais beaucoup plus celui de l'exploitation réelle par tous les services concernés du matériel de traitement existant déjà au laboratoire de Télédétection installé à la Division des sols ( Ministère de l'Agriculture ).

- R E F E R E N C E S -

- BOUDOIN A. : Acquisition des données de la Télédétection et moyens logistiques appropriés.  
Communication du séminaire de sensibilisation sur la Télédétection des ressources terrestres ( Tunis : 29 - 31 Oct. 1975).
- BERKEBILE J., RUSSELL J. and LUBE B. : A forestry application simulation of Man-machine Techniques for analysing Remotely sensed data ( 1976).
- CASENAV M. : L'analyse multispectrale des images LANDSAT du Sud de la Tunisie - Communication du séminaire de sensibilisation sur la Télédétection des ressources terrestres ( Tunis : 29 - 31 Oct. 1975).
- COMITEE ON REMOTE SENSING FOR DEVELOPMENT : Resource sensing from space : prospects for developing countries - National Academy of sciences - Washington D.C. ( 1977).
- CHAVEZ P. : Atmosphéric, solar and M T F corrections for ERTS digital imagery ( 1975).
- CHAVEZ P. : Simple high-speed digital image processing to remove quasi-coherent noise ( 1974).
- CHAVEZ P., BERLIN L., GROW T.E. and SODERBLOM L.A. : Preliminary geologic analysis of southwest JORDAN from Computer enhanced LANDSAT 1 image data ( 1975).
- CHAVEZ P., BERLIN G.L., ACOSTA A.V. : Computer processing of LANDSAT MSS digital data for linear enhancements ( 1976).
- CHAVEZ P., BERLIN G.L. : Computer enhancement techniques of LANDSAT MSS digital images for Land use Land Cover assessments ( 1977 ).
- DEBUSSCHE G. : L'analyse multispectrale des images LANDSAT du Sud de la Tunisie : Communication du séminaire de sensibilisation sur la Télédétection des ressources terrestres ( Tunis 29 - 31 Oct. 1975).
- GIRARD C.M. et M.C. : Applications de la Télédétection à l'étude de la biosphère ( 1975).

- KROECK D. : Everyone's space Hand book - A photo/ Imagery source manual ( 1976 ).
- LACAZE D. : L'analyse automatique des données LANDSAT du Sud de la Tunisie - Communication du seminaire de sensibilisation sur la Télédétection des ressources terrestres ( Tunis 29 - 31 Oct. 1975 ).
- MEYLAN P., MORZIER C., MUSY A. : Bases physiques de la Télédétection. Applications à l'hydrodynamique des sols - Lausanne - ( 1977 ).
- ROHDE W. G. : Digital image analysis techniques required for natural resource inventories - EROS center - Sioux Falls ( South Dakota ).
- ROHDE W. G., LO J. K. and POHL R. A. : EROS data center LANDSAT digital enhancement techniques and imagery availability ( 1977 ).
- RUDD R. D. : Remote sensing : A better view - University of Denver ( 1974 ).
- SOUISSI A. : La Télédétection des Ressources terrestres - ES-90 - Division des Sols.
- SOUISSI A. : Les applications de la Télédétection - LENGRIES : 9 - 20 Août 1976 - ES-155 - Division des Sols.
- SADOWSKI F. G. : The promises of Remote sensing for forestry in developing countries ( May 1978 ).
- SADOWSKI F. G. ; And MALILA W. A. : Investigation of techniques for inventorying forested regions- Volume I : reflectance Modeling and Empirical multispectral analysis of forest canopy components - NASA : ERIM Center ( Nov. 77 ).
- TARANIK J. V. and TRAUTWEIN C. M. : Integration of geological Remote sensing techniques in subsurface analysis - Sioux Falls, South Dakota - ( 1976 ).
- TARANIK J. V. : Characteristics of the LANDSAT multispectral data system ( U.S. geological survey) ( 1978 ).
- TRAUTWEIN and TARANIK J. V. : Analytic and interpretation procedures for remote sensing data - Sioux Falls, South Dakota (1978).
- TODD W. J. : Urban and Regional Land use change detected by using LANDSAT data - Sioux Falls - South Dakota ( 1977 ).



**SUITE EN**

**F 2**

TODD W. J., HALL R. M., HENRY C. C., and LAKE B. L. : Metropolitan Land cover inventory using multiseasonal LANDSAT data - EROS center - Sioux Falls, South Dakota ( 1978 ).

WAGNER T. W. and LOWE D. S. : Ground truth collection Techniques - ERIM center - Ann Arbor - ( Michigan ).

WHITLEY S. L. : Low cost data analysis systems for processing multi-spectral scanner data - Lyndon B. Johnson space center - NASA - Technical report - R 467 ( 1976 ).

-----

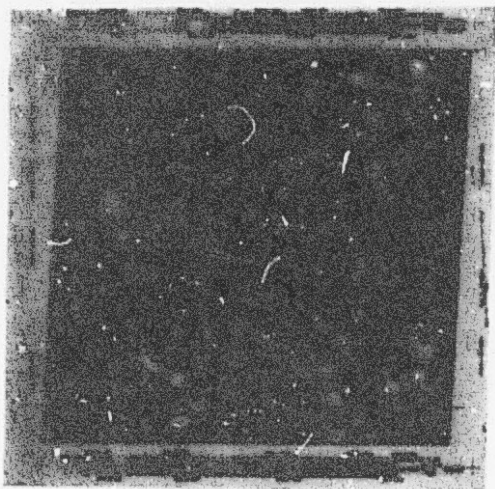


Image LANDSAT prise le 29 Juin 75, bande 4  
(500 - 600 nm vert visible) Echelle 1 : 3369.000

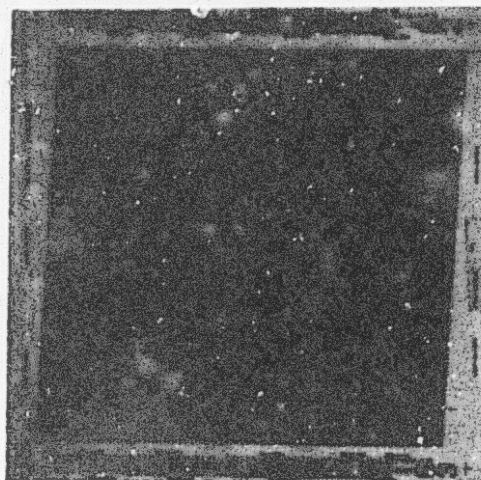


Image LANDSAT prise le 29 Juin 75, bande 5  
(600 - 700 nm rouge du visible) Echelle 1 : 3369.000

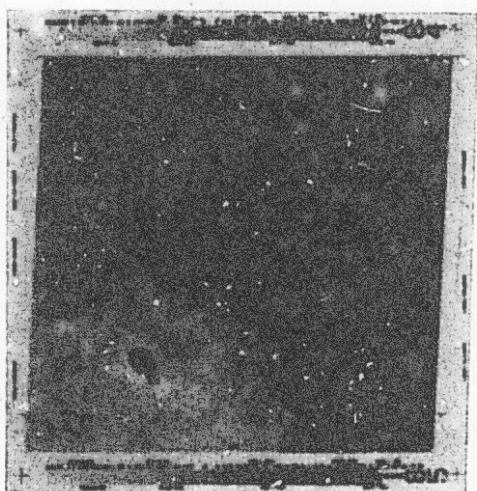


Image LANDSAT prise le 29 Juin 75, bande 6  
(700 - 800 nm proche infrarouge) Echelle 1 : 3369.000

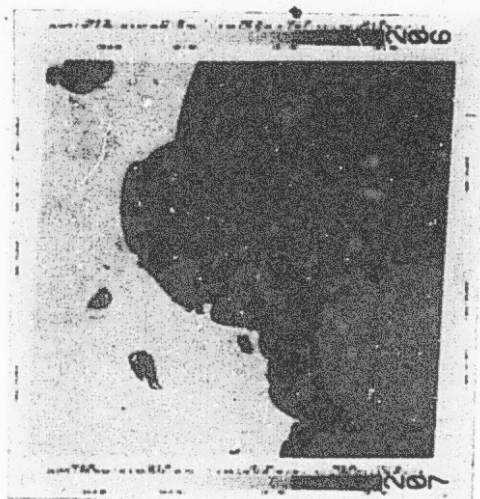


Image LANDSAT prise le 29 Juin 75, bande 7  
(800-1100 nm proche infrarouge) Echelle 1 : 3369.000

---

Ces quatre bandes spectrales du MSS du Satellite LANDSAT illustrent les avantages suivants de la Télédétection de l'espace :

- L'information sélective de chaque bande
- La vue synoptique d'une région très étendue sur la même image
- La fidélité géométrique et radiométrique incontestable des données LANDSAT obtenues
- La netteté de certaines structures du paysage détecté

**FIN**

**60**

**VUES**