

COMITE INTERAFRICAIN
D'ETUDES HYDRAULIQUES
(C. I. E. H.)

B.P. 369 — TEL. : 33-34-76
OUAGADOUGOU

CENTRE REGIONAL DE
TELEDETECTION DE OUAGADOUGOU
(C. R. T. O.)

B.P. 1762 — TEL. : 33-50-91
OUAGADOUGOU

2 1 2 . 1 LIBRARY
8 6 P O INTERNATIONAL REFERENCE CENTRE
FOR COMMUNITY WATER SUPPLY AND
SANITATION (IRC)

POSSIBILITE D'UTILISATION DE LA TÉLÉDETECTION DANS LE DOMAINE DE L'EAU EN AFRIQUE

Par H. JOANNES, J. PARNOT
F. RANTRUA, N.A. SOW



OCTOBRE 1986

212.1-06Po

Le Fond d'Aide et de Coopération (Ministère de la coopération, France) a confié au Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH) le soin de publier un ouvrage sur l'utilisation de la télédétection dans le domaine de l'eau en Afrique.

Le Centre Régional de Télédétection de Ouagadougou (CRTO) s'est vu chargé de la rédaction de l'ouvrage. L'équipe de rédaction, dirigée par J. Parnot, était composée de :

- H. JOANNES
- J. PARNOT
- F. RANTRUA
- N.A. SOW

Pour cette tâche, le CRTO a pu bénéficier du concours de nombreux organismes qui lui ont permis d'avoir accès à leurs fonds documentaires. Parmi ceux-ci il y a lieu de citer en particulier :

- . au Burkina : le CIEH, le ministère de l'eau, l'Office National des Barrages et Aménagements Hydro-agricoles (ONBAH), l'ORSTOM ...
- . en France : L'Association Française pour l'Etude des Eaux (AFEE), le Bureau pour le Développement de la Production Agricole (BDPA), le Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale (GDTA), l'Institut Géographique National (IGN) ...

Nous les remercions vivement pour leur efficace coopération.

LIBRARY, INTERNATIONAL REFERENCE
CENTRE FOR COMMUNITY WATER SUPPLY
AND SANITATION (IRC)
P.O. Box 93190, 2509 AD The Hague
Tel. (070) 814911 ext 141/142

RN: 07191
LO: 212.1 06PO

SOMMAIRE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA TELEDETECTION	p 1
1 - BASES PHYSIQUES	p 2
1.1. Généralités	2
1.2. Le rayonnement électromagnétique	2
1.2.1. Propriétés	2
1.2.2. Le spectre électromagnétique	2
1.3. Quantités mesurées en télédétection	3
1.4. Interaction rayonnement électromagnétique / matière ..	4
1.4.1. Bilan radiatif au niveau d'un objet	4
1.4.2. Réflexion par une surface	5
1.4.3. Pénétration de l'onde dans la matière Cas de l'eau	6
1.5. L'émission propre	7
1.6. Les perturbations atmosphériques	9
1.6.1. La réfraction	9
1.6.2. L'absorption atmosphérique	10
1.6.3. La diffusion	10
1.6.4. L'émission propre	11
1.7. Les corps naturels	11
2 - LES INSTRUMENTS DE LA TELEDETECTION	p 13
2.1. Les vecteurs	13
2.1.1. Les avions	13
2.1.2. Les satellites	20
2.1.3. Autres vecteurs	25
2.2. Les capteurs	25
2.2.1. Les systèmes d'enregistrement	25
2.2.2. Les capteurs photographiques	26
2.2.3. Les capteurs électromagnétiques	27
3 - TRAITEMENT ET INTERPRETATION DES DONNEES	p 32
3.1. Les traitements	32
3.1.1. Les traitements photographiques	32
3.1.2. Les traitements numériques	34
3.2. Mise en forme de données de télédétection	37
3.2.1. Traitements spécifiques des photographies	37
3.2.2. Produits numériques	38
3.3. Techniques d'interprétation en télédétection	40
3.3.1. Interprétation des photographies	40
3.3.2. Interprétation des images spatiales	41

CHAPITRE II : APPLICATIONS DE LA TELEDETECTION DANS LE DOMAINE DE L'EAU	p 43
1 - DONNEES DE BASE SUR L'ENVIRONNEMENT	p 45
1.1. Données de référence (Fonds topographiques)	45
1.1.1. Généralités	45
1.1.2. Méthodes d'établissement des fonds topographiques	45
1.1.3. Aspects financiers	47
1.2. Données thématiques de base	48
1.2.1. Généralités	48
1.2.2. Relations entre échelle des cartes et données de télédétection	50
1.2.3. Comparaison entre données de télédétection pour l'établissement des cartes thématiques ...	52
1.2.4. Relations entre les données de télédétection et les objets interprétés	57
1.2.5. Aspects financiers	61
1.3. Données sur l'eau (Hydrologie, Hydrogéologie)	63
1.3.1. Hydrologie fluviale (Domaine terrestre)	63
1.3.2. Hydrologie marine et océanographie	68
1.3.3. Hydrogéologie	68
1.3.4. Interprétation dans le domaine de l'eau : Tableau récapitulatif	74
1.4. Données spécifiques aux études hydrauliques	74
1.4.1. Etude des bassins versants (B.V.)	74
1.4.2. Etude des périmètres hydro-agricoles	76
1.4.3. Etudes d'assainissement urbain	78
1.4.4. Etudes sur le littoral	78
1.4.5. Aménagements en hydraulique souterraine	79
2 - DONNEES EVOLUTIVES SUR L'ENVIRONNEMENT	p 81
2.1. Evolution rapide saisonnière	82
2.1.1. Suivi climatique	82
2.1.2. Suivi écologique ou monitoring	83
2.1.3. Suivi agricole	84
2.1.4. Suivi hydrologique	85
2.1.5. Processus migratoires saisonniers	86
2.2. Evolution lente interannuelle	87
2.2.1. Processus de dégradation du milieu physique ...	88
2.2.2. Evolution de l'occupation du sol	89
2.2.3. Evolution des cours d'eau et des plans d'eau ..	90
2.2.4. Evolution du littoral	91
2.2.5. Suivi des aménagements hydrauliques	91
2.2.6. Suivi des établissements humains	92
3 - DONNEES CONJONCTURELLES SUR LE MILIEU PHYSIQUE ET HUMAIN	p 94
3.1. Prévision des évènements accidentels	94
3.1.1. Accidents météorologiques	94
3.1.2. Accidents orogéniques	94
3.1.3. Accidents biologiques	94

3.1.4. Accidents hydrologiques	95
3.2. Impacts et bilans des accidents	95

CHAPITRE III : EXEMPLES D'UTILISATION DE LA TELEDETECTION
DANS LE DOMAINE DE L'EAU EN AFRIQUE p 97

1 - ETUDES THEMATIQUES DE BASE p 98

1.1. Etudes multithématiques	98
1.2. Etudes thématiques spécialisées	99
1.2.1. Géologie	99
1.2.2. Géomorphologie	99
1.2.3. Pédologie	100
1.2.4. Biogéographie	100
1.2.5. Agriculture	100
1.2.6. Etablissements humains	101

2 - ETUDES SPECIFIQUES SUR L'EAU p 102

2.1. Hydrologie	102
2.2. Hydrogéologie	102

3 - ETUDES D'AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES p 104

3.1. Hydraulique de surface	104
3.2. Hydraulique souterraine	104

CONCLUSION p 139

ANNEXE : LEXIQUE

BIBLIOGRAPHIE

L'ouvrage qui suit a pour objectif d'aider les personnes intervenant dans le domaine de l'eau en Afrique à intégrer les techniques de télédétection dans leur démarche

Il s'adresse donc aussi bien aux Décideurs qu'aux Techniciens, tout en privilégiant les aspects pratiques et opérationnels plutôt que les aspects théoriques ou purement scientifiques.

Il a été scindé en trois principaux chapitres :

Le Chapitre I est consacré aux techniques de télédétection. Il s'intéresse aussi bien aux techniques aériennes (photographies aériennes en particulier) qu'aux techniques spatiales (images satellite en particulier).

Le Chapitre II concerne les applications dans le domaine de l'eau, au sens large. C'est pourquoi sont abordées tout d'abord les applications "thématiques" (géologie, pédologie, écologie préalable à l'intervention du spécialiste de l'eau. Les aspects plus spécifiques au domaine de l'eau (hydrologie, hydrogéologie, aménagements hydrauliques) sont ensuite abordés en détail.

Enfin, le Chapitre III fournit des exemples d'utilisation de la télédétection en Afrique. Y sont présentées vingt et une "fiches de projets" en vue d'illustrer les propos du Chapitre II.

CHAPITRE I
GENERALITES SUR
LA TELEDETECTION

Au sens général du terme, "Télé-détection" signifie acquisition d'informations sur un objet, sans qu'il n'y ait contact avec celui-ci. En ce qui nous concerne, la Télédétection regroupe l'ensemble des techniques qui contribuent à l'acquisition et à l'interprétation des informations sur notre environnement et son évolution au cours du temps. Le véhicule de l'information est l'onde électromagnétique, émise ou réfléchi par la portion de surface terrestre étudiée.

1 - BASES PHYSIQUES

1.1. Généralités

Pour acquérir, traiter ou stocker des images de la terre, la télédétection spatiale fait appel à de nombreuses techniques : aéronautique, optique, électronique, informatique etc ...

Bien que l'hydrologue ou l'aménageur ne soient pas censés les maîtriser, il est toutefois nécessaire de réaliser que les images qu'ils interprètent, les possibilités et donc les limites de la télédétection sont tributaires des moyens mis en oeuvre.

Ce chapitre est une présentation quantitative très sommaire des propriétés géométriques et énergétiques du rayonnement électromagnétique. Celui-ci véhicule en effet les informations que nous retrouvons sur l'image de l'objet par lequel il a été émis ou réfléchi.

Nous nous intéressons ici essentiellement à sa mesure, à son interaction avec les objets, à son émission par un corps naturel, et enfin aux perturbations qu'engendre la traversée de l'atmosphère sur les principaux éléments de la surface terrestre.

1.2. Le rayonnement électromagnétique

1.2.1. Propriétés

Engendré par des mouvements de vibration et de rotation intramoléculaires, il se présente comme une quantité d'énergie se propageant en ligne droite. On caractérise l'onde électromagnétique par sa longueur d'onde, λ ou sa fréquence ν . Dans le vide, la célérité de l'onde magnétique est $c = 300.000 \text{ km/s}$.

1.2.2. Le spectre électromagnétique

La lumière visible est composée d'ondes électromagnétiques ; à une longueur d'onde donnée correspond une couleur de l'arc-en-ciel. Une source de lumière naturelle n'émet pas que dans une seule longueur d'onde ; la couleur de cette source résulte de l'intensité de l'émission dans chacune des longueurs d'ondes visibles.

Les ondes visibles ne sont qu'une faible portion de l'ensemble des ondes électromagnétiques, ou spectre électromagnétique. Ce spectre est continu, pour des longueurs d'onde variant de quelques Angströms à plusieurs centaines de mètres. (Tableau I.1.)

λ	0,3Å	3nm	0,38 μ m	0,78 μ m	1,1 μ m	3 μ m	15 μ m	1mm	3m	
nom associé	rayons γ	rayons X	ultra-violet	visible	proche infra-rouge	moyen infra-rouge	infra-rouge therm.	infra-rouge loint.	radar	ondes radio

Tableau I.1 - Le spectre électromagnétique

Les objets qui nous entourent émettent et réfléchissent également dans des longueurs d'ondes invisibles ! La télédétection permet donc, avec des instruments appropriés, d'acquérir des informations sur un domaine beaucoup plus vaste que celui que l'oeil nous permet d'appréhender.

1.3. Quantités mesurées en télédétection

Une source de rayonnement électromagnétique se caractérise par :

- * Sa **luminance** (brillance énergétique), quantité d'énergie émise par une surface élémentaire dS , dans une direction donnée ; elle s'exprime en $W/m^2/stéradian$.
- * Son **émittance** (radiance), quantité d'énergie rayonnée par la surface élémentaire dS dans tout l'hémisphère supérieur. C'est à un facteur $\cos \beta$ près la somme des luminances pour tout l'hémisphère ; s'exprime en W/m^2 . (Fig.I.1.)

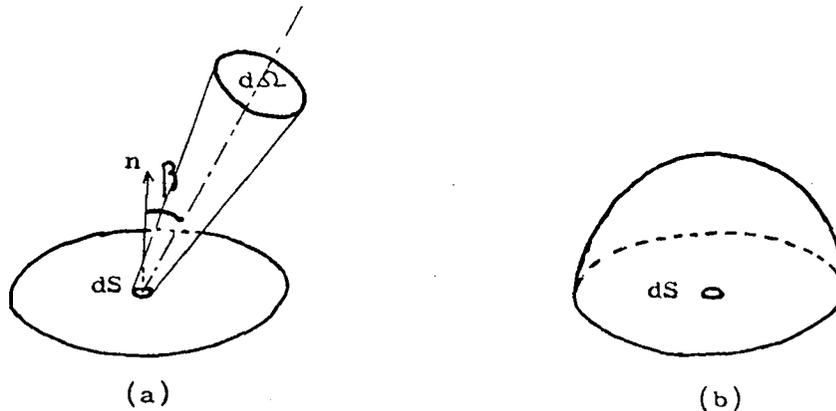


Fig.I.1 - Luminance (a) , et radiance (b)

Un élément de surface d'un capteur électronique (une cellule photo-électrique par exemple) reçoit une quantité d'énergie appelée éclairement; pour une longueur d'onde donnée, on définit

alors luminance, émittance ou éclairement spectral.
 Lorsque l'on mesure l'énergie provenant d'une direction donnée, on parle d'éclairement directionnel.

1.4. Interaction rayonnement électromagnétique / matière

1.4.1. Bilan radiatif au niveau d'un objet

Prenons un élément quelconque du paysage, un arbre par exemple, celui-ci reçoit un rayonnement incident i dont l'énergie va se répartir de la façon suivante (Fig.I.2.) :

Une partie sera réfléchie dans l'hémisphère supérieur : r

Une partie sera transmise à travers l'arbre, dans l'hémisphère inférieur : t

Le reste sera absorbé par le feuillage : a

On a donc, quelle que soit la longueur d'onde, la relation de conservation énergétique suivante :

$$i = r + t + a$$

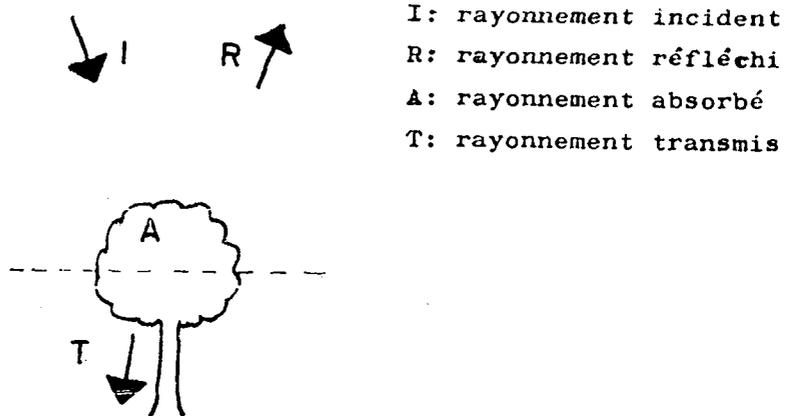


Fig.I.2 - bilan radiatif au niveau d'un objet.

Par exemple, pour une feuille de blé, les parts respectives de la réflexion, de l'absorption et de la transmission suivant la longueur d'onde sont représentées en Fig.I.3.
 On s'aperçoit effectivement, que pour toute longueur d'onde,

$$r/i + t/i + a/i = 1$$

D'autre part, la feuille est un cas particulier pour lequel réflexion et transmission suivent la même évolution sur le spectre.

Notons que dans le visible (0,4 à 0,75 microns), c'est pour la longueur d'onde correspondant au vert que la réflexion est maximale (0,52 microns).

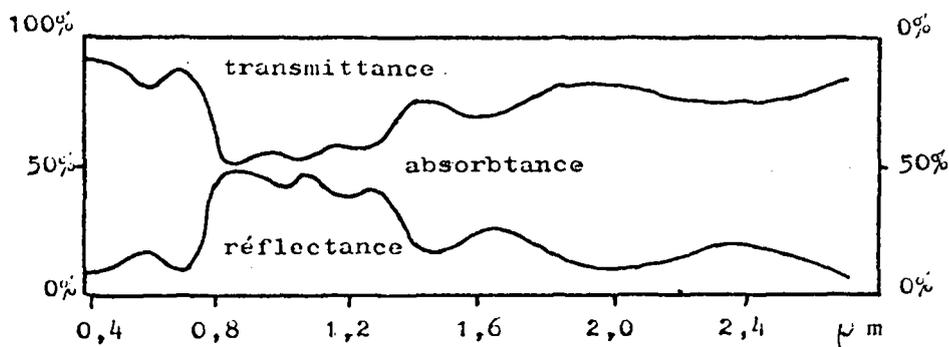


Fig.I.3 - Propriétés optiques d'une feuille de blé

1.4.2. Réflexion par une surface

On appelle réflectivité (ou réflectance) d'une surface, le rapport de l'énergie réfléchie à l'énergie incidente, ce paramètre peut être donné pour une longueur d'onde (réflectivité spectrale) ou une direction de réflexion (réflectivité directionnelle). La réflectivité est notée ρ . On définit également l'absorptivité α et la transmittivité τ .

$$\alpha = a/i \quad \tau = t/i \quad \rho = r/i$$

$$\text{Avec } \alpha + \tau + \rho = 1$$

La réflectivité spectrale dépend de :

* La nature des corps, on peut distinguer deux surfaces par leur réflectivité dans diverses longueurs d'onde.

* La longueur d'onde ou rayonnement incident, l'eau réfléchit beaucoup dans le bleu, pas du tout dans l'infra-rouge.

* L'angle d'incidence, l'eau réfléchit la presque totalité du rayonnement incident lorsque le soleil est rasant sur l'horizon ; sinon celui-ci est en grande partie réfracté sous l'eau. Pour être comparées, deux mesures doivent donc être effectuées à la même heure solaire; à cette fin, les satellites utilisés en télédétection sont héliosynchrones (voir § 2.1.2.1).

* La nature de la surface, lorsque celle-ci est plane, le rayonnement incident est réfléchi symétriquement par rapport à la normale au plan, la réflexion est dite spéculaire (Fig.I.4.). Si la surface est rugueuse, l'énergie du rayon incident est renvoyée dans plusieurs directions, la réflexion est diffuse.

La notion de rugosité est liée à celle de longueur d'onde; on

dira en effet qu'une surface est lisse pour une longueur d'onde donnée si les aspérités moyennes qu'elle présente sont inférieures à cette longueur d'onde.

La réflexion peut donc, pour une même surface, être diffuse dans le visible et spéculaire en ondes radar.

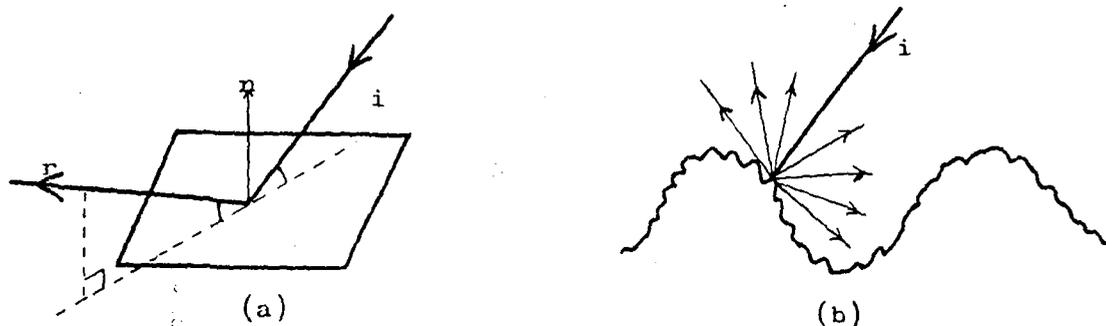


Fig.I.4 - Réflexion spéculaire (a) , et diffuse (b)

1.4.3. Pénétration de l'onde dans la matière - cas de l'eau

De manière générale, la pénétration d'un rayonnement dans un milieu est d'autant plus importante que sa longueur d'onde est grande ; dans le thermique, l'eau est opaque pour une couche de 0,02 cm alors que cette épaisseur est de 0,3 cm dans les ondes radar!

L'eau n'est transparente que dans le visible, avec un maximum dans le bleu (0,45 microns), pour lequel 70% de l'énergie lumineuse est encore présente après un trajet de 20 m dans l'eau (Fig.I.5.).

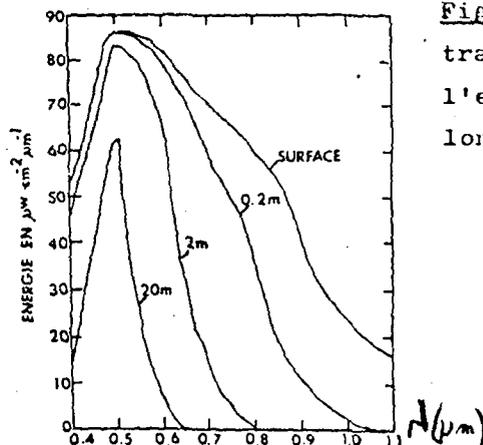


Fig.I.5 - Profondeur de pénétration de la lumière dans l'eau, en fonction de sa longueur d'onde.

Il est à noter que les substances dissoutes non colorées n'affectent pas l'absorption ou la diffusion dans l'eau en lumière visible. L'eau marine claire donne ainsi la même identification spectrale que l'eau distillée.

La turbidité de l'eau affecte considérablement la pénétration de l'onde, (Fig.I.6.). les particules suspendues augmentent la diffusion totale et la rétrodiffusion vers la surface. D'autre part, la distribution spectrale de la lumière est modifiée.

Ainsi : * l'eau turbide est plus réfléchive que l'eau claire.

* le signal reçu d'une eau turbide ne représente que les conditions de l'eau près de la surface.

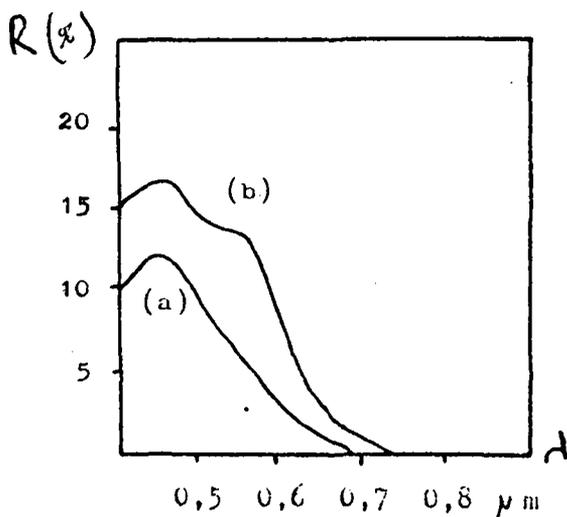


Fig.I.6 - Influence de la turbidité sur la réflectance spectrale de l'eau.

(a) : eau claire

(b) : eau turbide

1.5. L'émission propre

Un corps naturel n'est pas seulement un réflecteur, il émet également un rayonnement électromagnétique propre. Pour étudier cette émission, nous allons fabriquer - de façon théorique - un émetteur parfait. Supposons un corps capable d'absorber tout rayonnement incident sans réfléchir ni transmettre, ce corps étant en équilibre thermique. Un tel corps est appelé "corps noir".

Imaginons un four isolé, maintenu à température constante. Perçons un petit trou dans la paroi de ce four afin d'en observer l'intérieur sans en modifier l'équilibre. Si le four est chaud, on en verra l'intérieur rouge ; cette couleur rouge n'a rien à voir avec l'onde rouge réfléchi par la couverture rouge d'un cahier par exemple. Cette couleur du four résulte de son émission propre dans les longueurs d'ondes du rouge.

PLANCK a montré que la luminance du corps noir n'est fonction que de sa température, ainsi que de la longueur d'onde émise, comme le montre la Fig.I.7.

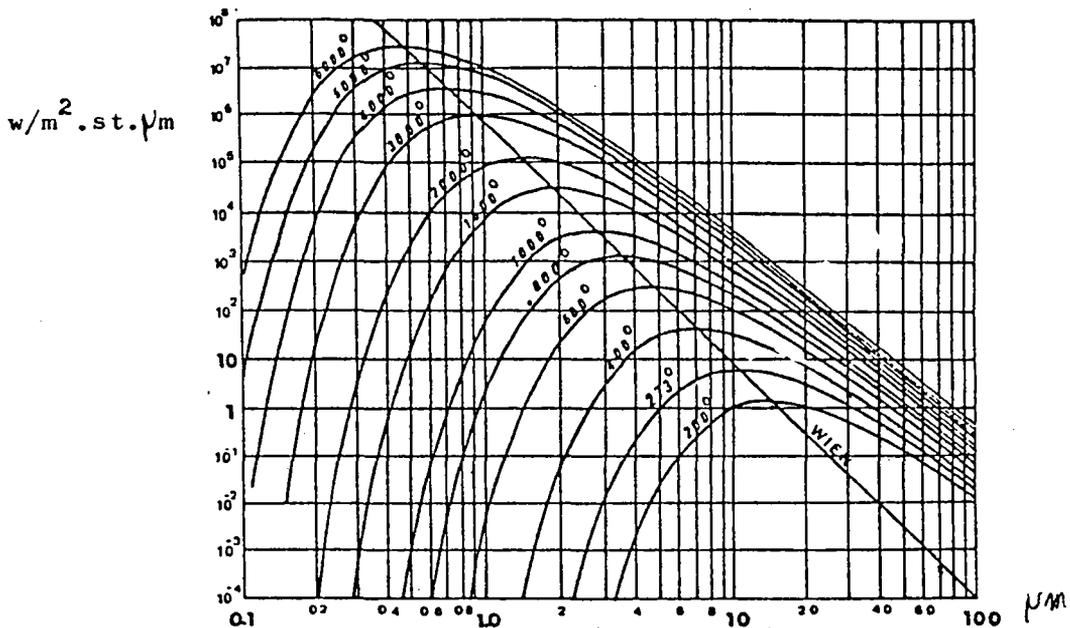


Fig.I.7 - Luminance spectrale du corps noir selon sa température, en K.

Les corps naturels ne sont pas des corps noirs, toutefois, leur courbe d'émission peut s'y apparenter ; ainsi le soleil peut être considéré comme un corps noir à 5900 K. Son maximum d'émission se trouve à 0,5 microns. La terre quant à elle sera assimilée à un corps noir à 300 K. Son maximum d'émission se situe donc dans l'infra-rouge, pour environ 10 microns (cf. Fig.I.7.).

Il est à noter sur cette figure que les maxima d'émission selon la température sont alignés lorsque les courbes sont tracées en coordonnées logarithmiques.

On peut comparer l'émission d'un corps naturel à celle d'un corps noir à la même température en introduisant la notion d'émissivité ξ : rapport de l'énergie émise par le corps naturel à celle émise par un corps noir de même température.

L'émissivité dépend de la nature du corps, de sa température, de son état de surface, de la longueur d'onde et enfin de la direction d'émission (émissivité directionnelle).

N.B. Lors du schéma sur le bilan radiatif au niveau d'un objet, nous avons évité de faire figurer l'émission propre de l'arbre afin de ne pas entraîner de confusion, la notion n'ayant pas encore été introduite. Il va de soi qu'en toute rigueur, cette grandeur aurait dû figurer !

Loi de KIRSCHOFF : Pour un corps en équilibre thermique, l'émissivité spectrale est égale à l'absorptivité spectrale, soit :

$$\epsilon(\lambda) = \alpha(\lambda)$$

D'autre part (§ 1-4-2) : $\alpha + \tau + \rho = 1$

que l'on applique au cas d'un corps opaque, qui ne transmet pas (le sol par exemple) ; il vient :

$$\alpha + \rho = 1$$

Il en résulte qu'un corps émettra surtout dans les longueurs d'onde où il réfléchit peu, et réciproquement. On retrouve le fait que pour un corps noir ($\rho = 1$), la réflexion soit nulle, tout rayonnement incident est absorbé.

La portion du flux solaire réfléchi par la terre est négligeable lorsque l'absorption est maximale, et réciproquement. Les thermographies peuvent donc être réalisées de jour, la réflexion solaire n'intervenant pas ou très peu dans l'enregistrement (la terre pouvant être considérée comme un corps noir à 300 K (Fig.I.7.).

1.6. Les perturbations atmosphériques

1.6.1. La réfraction

C'est une perturbation géométrique de l'onde, due à sa propagation à travers des milieux différents, ce qui modifie la direction de son trajet.

La loi de réfraction est donnée par la formule de DESCARTES :

$$n_1 * \sin i_1 = n_2 * \sin i_2$$

i étant l'angle d'incidence du rayon dans les milieux 1 et 2, d'indices n_1 et n_2 .

Dans l'atmosphère, la variation d'indice est continue entre le vide intersidéral et l'altitude zéro ; le rayon lumineux va alors emprunter un trajet courbe (Fig.I.8.).

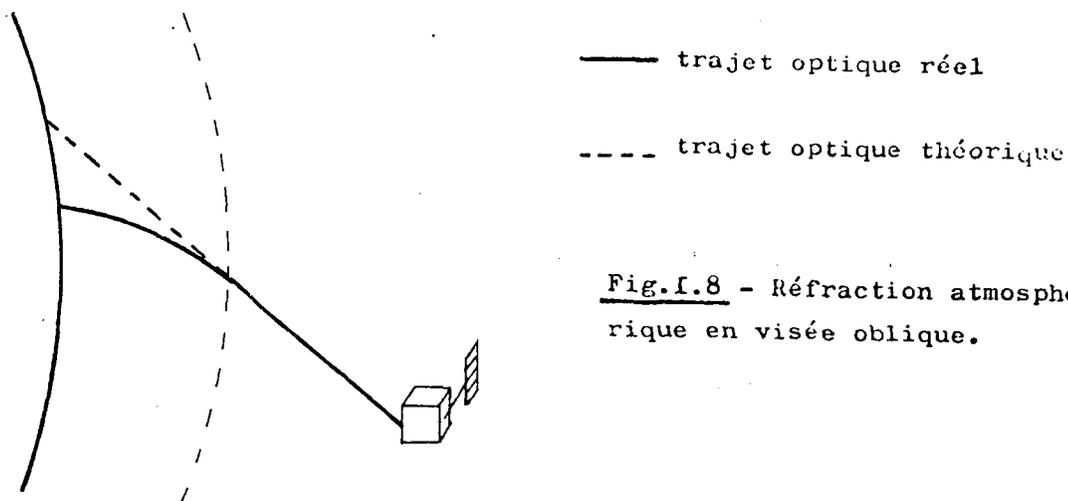


Fig.I.8 - Réfraction atmosphérique en visée oblique.

C'est donc pour les visées obliques que l'on doit tenir compte de ces perturbations ; le positionnement de l'image est modifié mais celle-ci n'est pas déformée.

1.6.2. L'absorption atmosphérique

Une molécule ou atome est capable d'absorber l'énergie d'une onde électromagnétique pour modifier sa structure électronique. Pour une particule donnée, seules certaines longueurs d'onde peuvent être absorbées. Les fenêtres atmosphériques sont les plages du spectre qui ne subissent pas d'absorption par les divers constituants de l'atmosphère (O₂, N₂, H₂, H₂O ...).

Les capteurs électromagnétiques utilisés en télédétection mesurent la luminance pour des canaux se trouvant à l'intérieur de telles fenêtres, pour lesquelles la transmittivité est sensiblement égale à l'unité (Fig.I.9.).

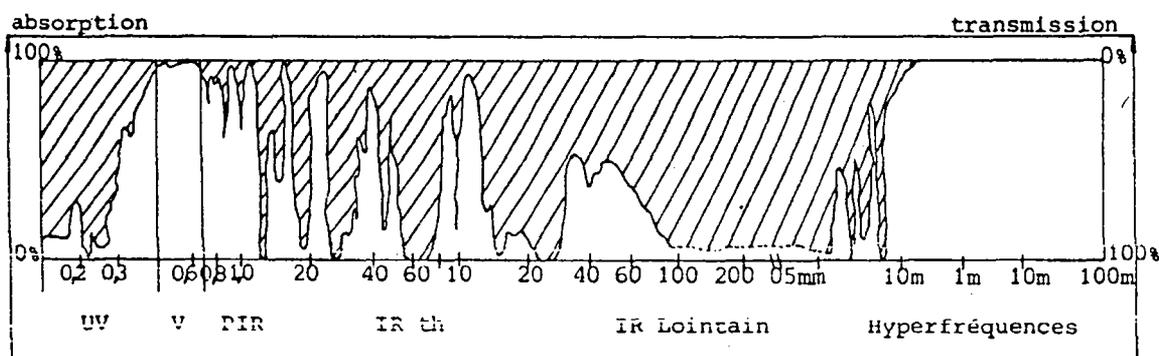


Fig.I.9 - Fenêtres de transmission atmosphérique.

1.6.3. La diffusion

C'est le rapport entre la longueur d'onde et la taille de la particule atmosphérique qui détermine l'importance de la diffusion. On considère deux types de diffusions, suivant la taille des particules :

Diffusion de RAYLEIGH, due aux molécules gazeuses (O₂, N₂, CO₂, ...).

Cette diffusion atmosphérique est beaucoup plus importante pour les courtes longueurs d'onde; le bleu est plus diffusé que le rouge, ce qui explique la couleur bleue du ciel.

Diffusion de MIE, due à l'interaction de l'onde avec les aérosols et les particules en suspension. Les ondes du spectre visibles sont toutes diffusées de cette façon par les nuages, ce qui explique leur couleur blanche.

1.6.4. L'émission propre

N'intervient que dans les bandes d'absorption atmosphérique, comme l'indique la loi de KIRSCHOFF (cf.1.5.). Elle a donc peu d'influence en télédétection, car les capteurs sont situés hors de ces bandes d'absorption.

1.7. Les corps naturels

Il est intéressant d'étudier expérimentalement les courbes de réflectivité spectrale des principaux objets naturels, afin de les caractériser par leur "signature spectrale", et donc de les distinguer.

On ne s'intéresse alors qu'à la portion du visible et du proche-IR (émissivité négligeable), pour laquelle les mesures expérimentales de réflectance peuvent être mises en relation avec les mesures de luminance sur le terrain.

Voici donc présentés certains spectres de réflectance de quelques corps naturels. Ceci permet de nous rendre compte de l'importance du choix des canaux utilisés en télédétection, en fonction de ce que l'on veut discriminer ; les principaux capteurs utilisés pour cette portion du spectre ont en général un canal dans le vert (0,55 microns) le rouge (0,65 microns) et le proche infra-rouge (0,82 microns).

Les résultats des mesures de luminance dans chaque canal permet d'établir les signatures spectrales de l'objet concerné (Fig.I.10.).

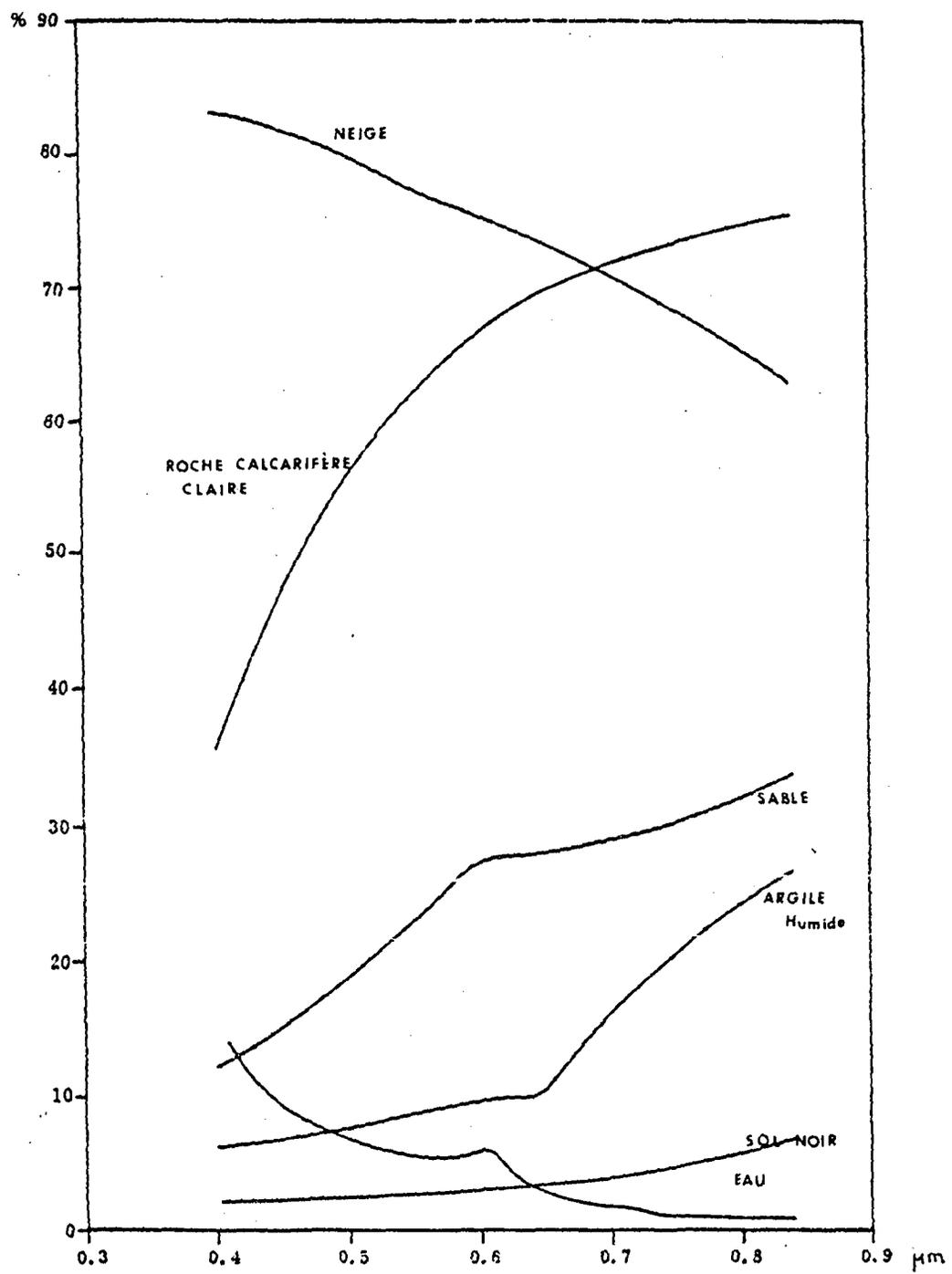


Fig.I.10 - Spectres de réflectance de quelques corps naturels.

2 - LES INSTRUMENTS DE LA TELEDETECTION

2.1. Les vecteurs

En télédétection, on distingue deux familles d'objets nécessaires à la réalisation d'un enregistrement. On donne le nom de vecteur à tout véhicule qui transporte un système d'enregistrement. A côté des deux principales familles de vecteurs (avions et satellites) on rencontre d'autres genres de vecteurs moins communs (ballons, pigeons, fusées téléguidées, navette spatiale).

2.1.1. Les avions

Ce sont les vecteurs les plus utilisés de nos jours. Ils ont pour intérêt de pouvoir être utilisés à la demande. La majorité des opérations qu'ils réalisent consiste à transporter des chambres de prise de vue. Mais d'autres systèmes d'enregistrement peuvent être installés à bord (enregistrement radar, radiométrique, etc). Les avions utilisés dans ce type de mission vont de l'appareil bimoteur à hélice à l'appareil biréacteur très sophistiqué, de haute performance.

2.1.1.1. La mission de prise de vue

Le but d'une mission de prise de vue aérienne est de survoler une aire précisément déterminée et d'y réaliser des enregistrements pendant le vol.

On choisit le type d'avion en fonction de certaines limites inhérentes à sa construction ou à son équipement. Les critères pris en compte sont, pour les principaux :

- son altitude maximale de vol (liée à l'échelle de l'enregistrement) ;
- la charge transportable (limite le nombre des enregistrements par sortie) ;
- son autonomie qui conditionne le rayon d'action (éloignement et durée de l'enregistrement par sortie) ;
- la nature et le nombre des appareils enregistreurs qu'il peut embarquer (missions photographiques simultanées en plusieurs émulsions).

Une mission classique de prises de vues est réalisée par bandes successives (Fig.I.11.).

2.1.1.2. La prise de vues aérienne

C'est le type d'enregistrement le plus anciennement utilisé. Son intérêt réside dans la grande diversité des produits que l'on peut obtenir. On peut s'imposer certaines caractéristiques (émulsion, échelle, recouvrement, etc ...).

Notons ici que c'est un avantage par rapport aux enregistrements spatiaux, que l'on est obligé d'utiliser selon les caractéristiques de "prise de vue" préétablies.

Les produits d'une mission de prise de vue aérienne sont généra-

lement des photographies du sol destinée à être exploitées dans un but thématique. Les caractéristiques de ces photographies sont choisies en fonction de leur utilisation en lecture stéréoscopique et de la dimension des détails à reconnaître.

Pour voir une image en relief il faut pouvoir regarder avec chaque oeil une image de ce terrain prise sous deux angles différents. Il faut donc un certain recouvrement entre les prises de vues successives.

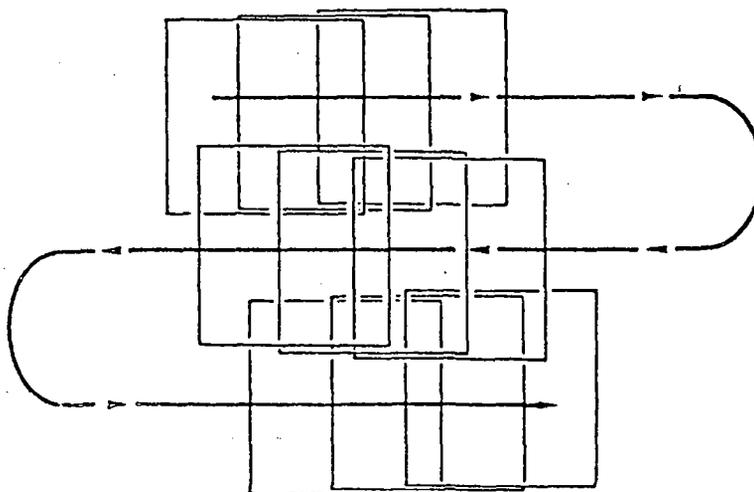


Fig.I.11 - Plan de vol d'une mission de prise de vues.

En pratique, on réalise des photographies à axe vertical, et chacune "recouvre" la précédente sur une surface de 50 ou 60 %. Cette partie commune s'appelle un "couple" (Fig.I.11.).

C'est la hauteur de vol au-dessus du sol qui déterminera l'échelle moyenne des photographies réalisées (Fig.I.12.).

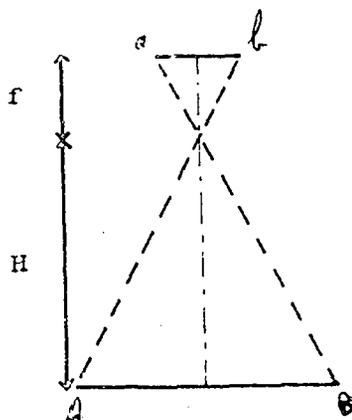


Fig.I.12 - Echelle d'un document photographique.

f : distance focale de l'objectif

H : altitude par rapport au sol

La figure I.12. montre que l'appareil photographique étant dirigé selon la verticale, et situé à une hauteur H par rapport au sol, on retrouve certaines similitudes géométriques. L'échelle des photographies aériennes peut s'écrire :

$$\frac{ab}{AB} \text{ ou } \frac{f}{H}$$

f étant la distance focale de l'objectif.

Notons que la hauteur de vol H est une distance moyenne ; s'il y a une colline ou une dépression H variera, ce qui entraîne que l'échelle n'est pas constante sur une photographie aérienne - (une même longueur photographiée sur le sommet d'une butte et au fond d'une dépression donnera sur la photographie deux segments de longueur sensiblement différente.

Pour réaliser une prise de vue aérienne, il faut préciser :

- la localisation et la surface du territoire à photographier afin de découper cette surface en lignes parallèles (selon la plus grande distance) dont l'écartement sera égal à la largeur d'une photographie (moins de 10 %) à l'échelle de prise de vue. La prise de vue sera faite selon ces lignes parallèles et la couverture photographique se composera de plusieurs "bandes" de photographies ayant entre elles un recouvrement transversal en général de 10 % ;

- la focale que l'on utilisera permettra de déterminer la hauteur de vol quand l'échelle sera fixée.

Sur les pages suivantes des abaques donnent rapidement les renseignements suivants :

- Hauteur de prise de vue en fonction de la focale et de l'échelle voulue ;
- Surface d'une photographie en fonction de l'échelle voulue ;
- Surface moyenne d'un couple stéréoscopique ;
- Le nombre de photographies nécessaires pour couvrir une bande de 100 km.

**CALCUL DE LA HAUTEUR (H_a) DE PRISE DE VUE
AU DESSUS D'UN POINT (A)
(vues aériennes)**

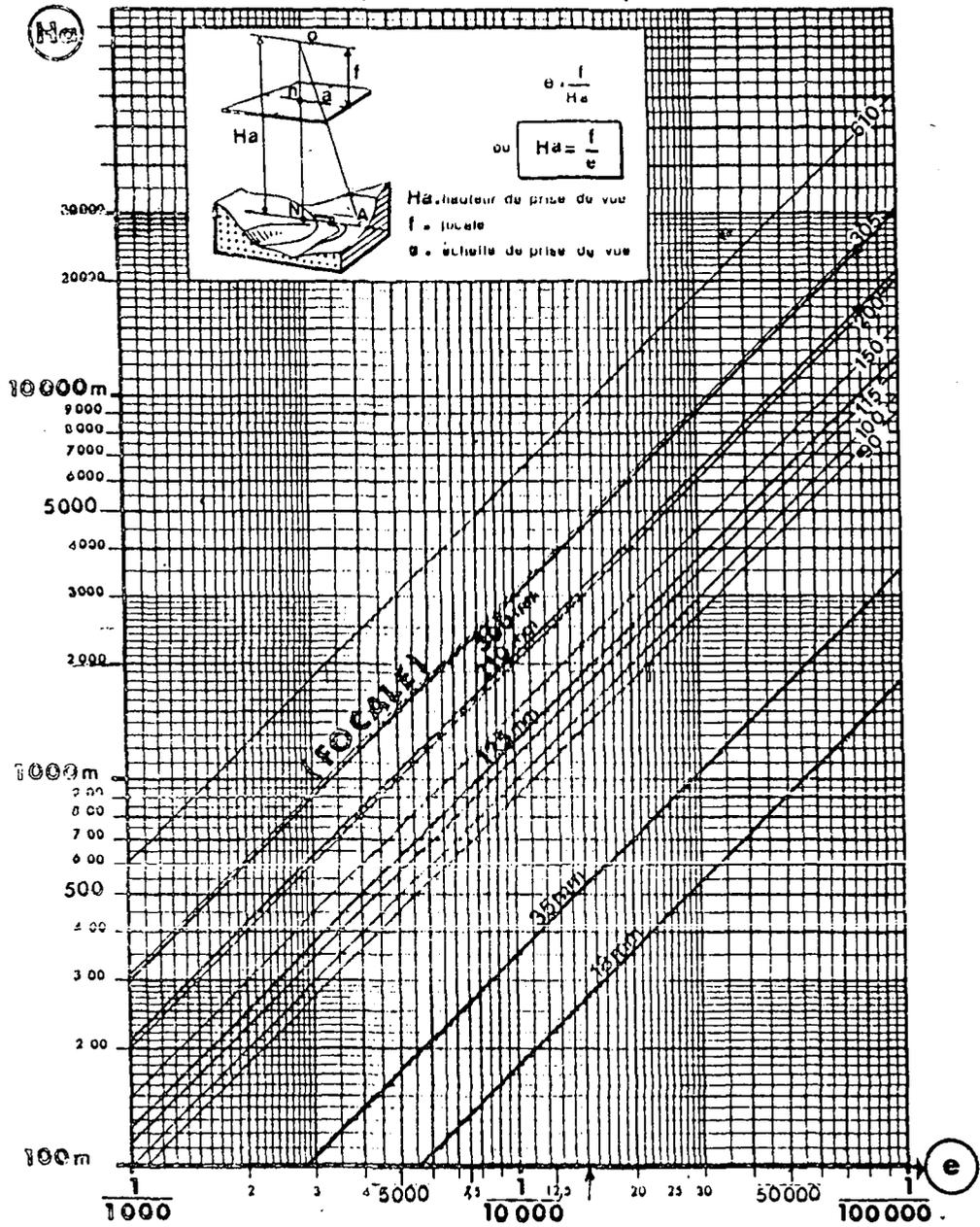


Fig.I.13

CALCUL DE LA SURFACE (S) D'UNE PHOTOGRAPHIE

- à différentes échelles -

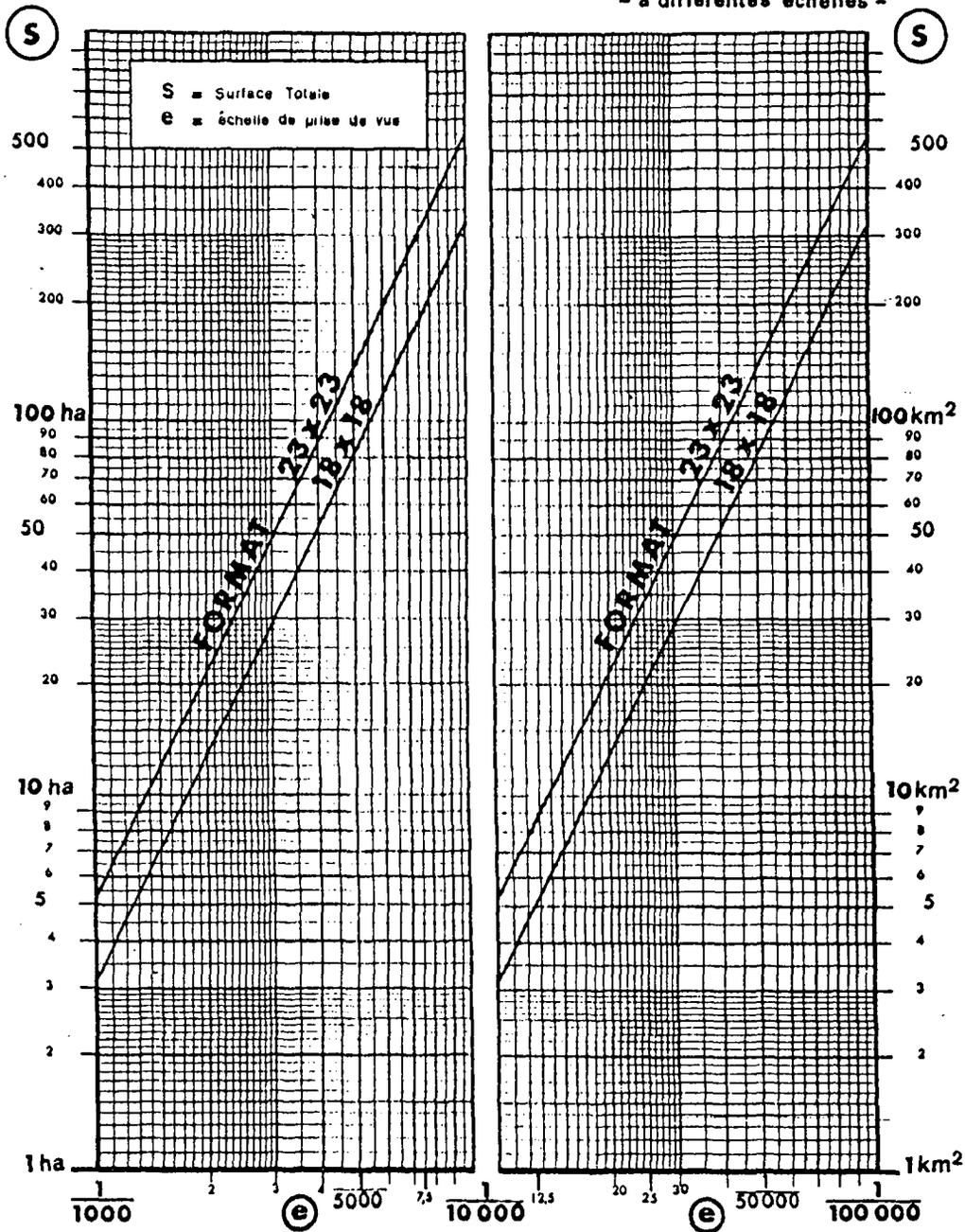


Fig.I.14

CALCUL DE LA SURFACE MOYENNE (S_p) D'UN COUPLE

en plaine

- à différentes échelles -

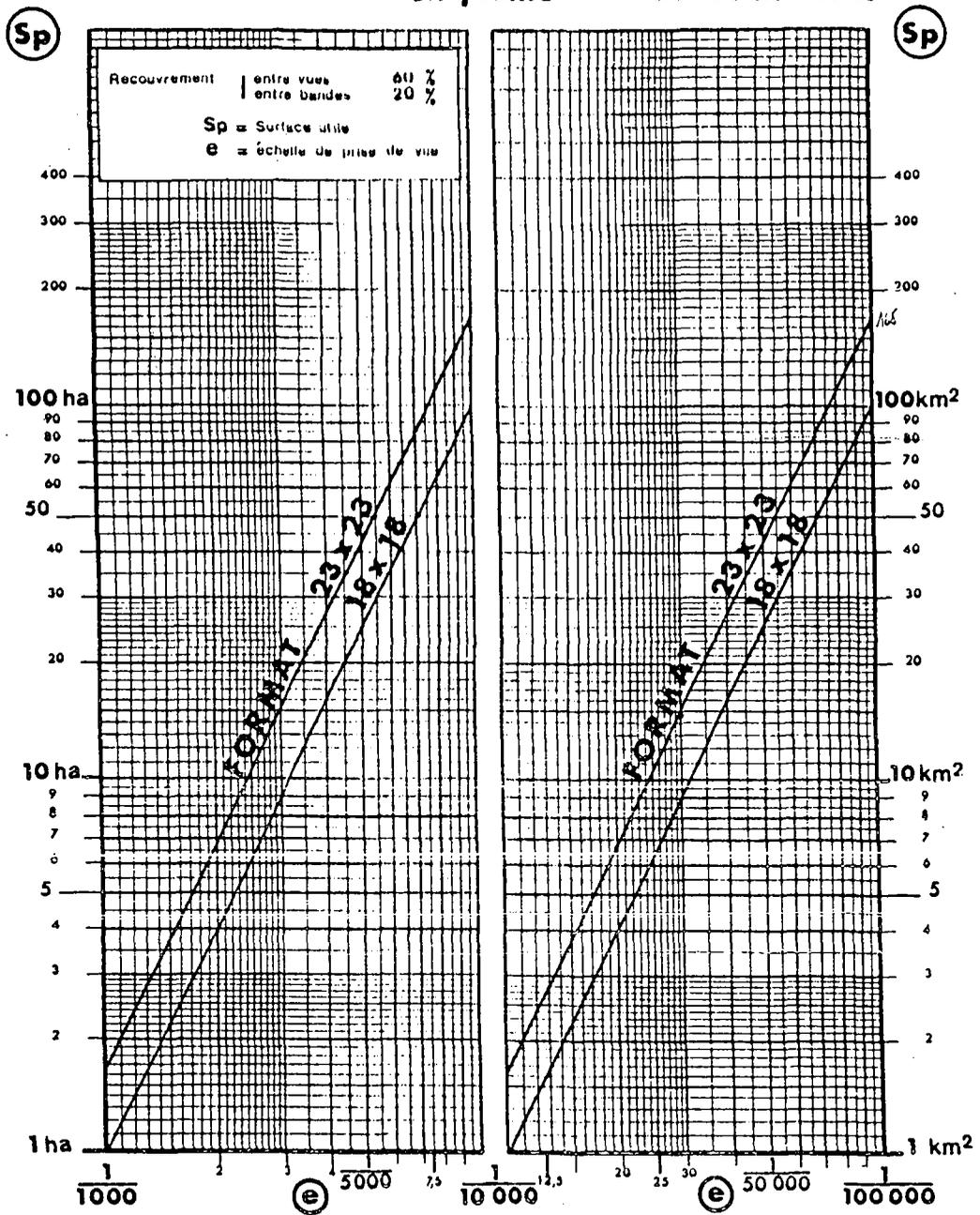


Fig.I.15

**CALCUL DU NOMBRE DE PHOTOGRAPHIES (N)
nécessaires pour couvrir une bande de 100 Kms
(format 18x18)**

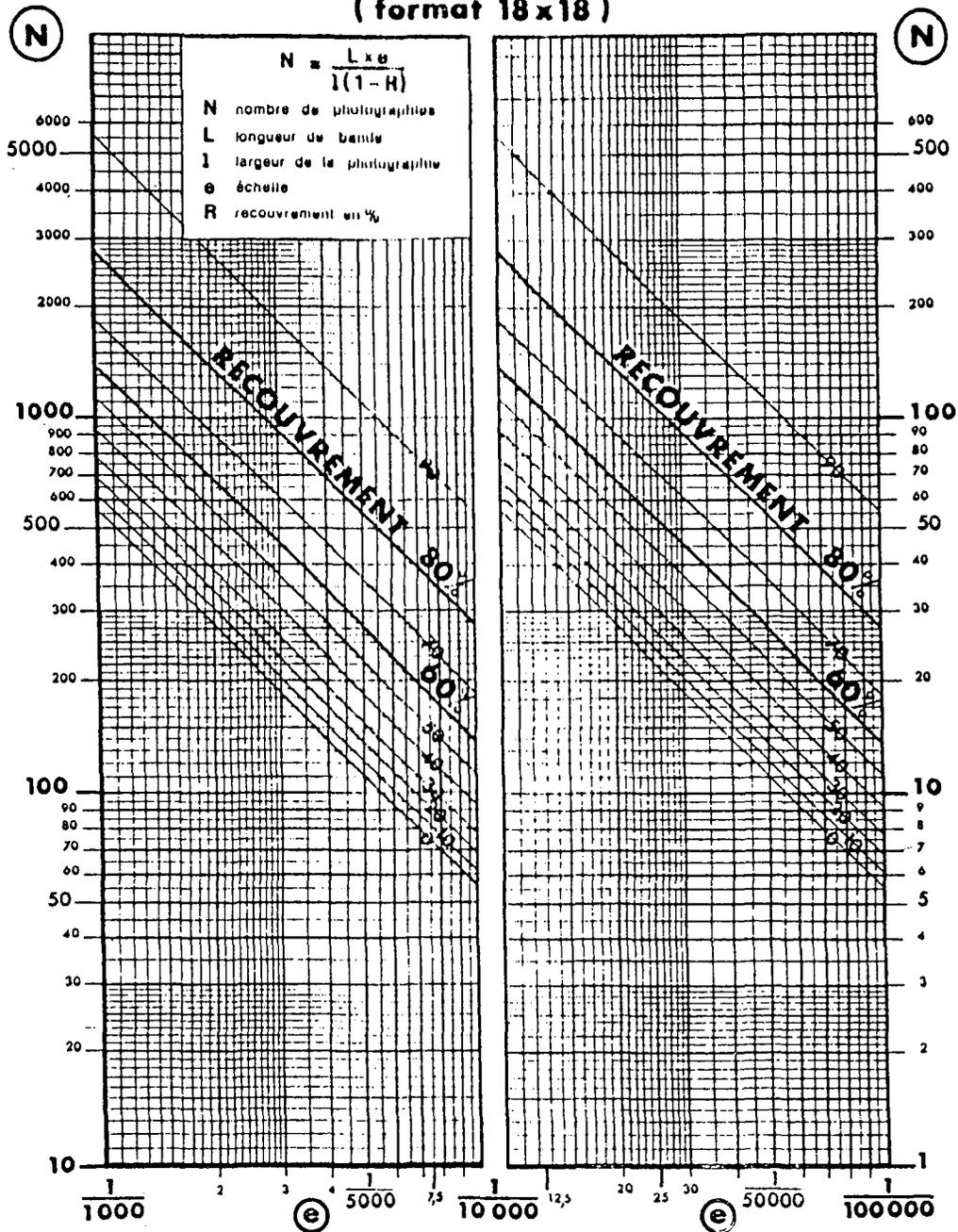


Fig.I-16

2.1.2. Les satellites

Vecteurs privilégiés en télédétection (répétitivité, larges zones couvertes, les satellites artificiels sont composés de deux parties :

- la charge utile, qui comprend les instruments spécifiques de la mission (radiomètres, optique, enregistreurs ...)
- la plate forme qui comprend les instruments nécessaires au bon déroulement de la mission (fourniture d'énergie, contrôle d'orbite et d'attitude (mouvements parasites du satellite)).

Un satellite abandonné au voisinage de la terre décrit une orbite ellipsoïde dont la terre occupe l'un des foyers ; les caractéristiques de cette orbite sont tributaire du type de mission à effectuer.

2.1.2.1. Les orbites

Parmi toutes les orbites possibles, deux types particuliers sont retenus pour l'observation de la terre : les orbites géostationnaires et les orbites héliosynchrones ; les deux sont quasi-circulaires.

* Les orbites géostationnaires sont telles que le satellite paraît constamment immobile au-dessus de la surface terrestre. Ce sont des orbites équatoriales de période 24 h. L'altitude d'une telle orbite est fixe, (35.800 km). Le satellite METEOSAT est placé sur une telle orbite, à la verticale du golfe de Guinée (0° de latitude, 0° de longitude).

* Les orbites héliosynchrones sont telles que le passage du satellite à la verticale d'un point se fasse toujours à la même heure solaire. Ce phénomène est obtenu par le choix de paramètres orbitaux tels que la précession du plan orbital compense exactement le mouvement moyen de la terre autour du soleil, soit environ 1° par jour (360° en 365, 25 jours).

Contrairement à l'orbite géostationnaire, il existe une infinité d'orbites héliosynchrones, pour des altitudes généralement comprises entre 600 et 1500 km.

L'inclinaison du plan orbital sur le plan équatorial est variable, entre 97 et 102° (quasi-polaire). Seules les régions polaires ne sont pas survolées par ces satellites à défilement, dont SPOT ou LANDSAT sont les plus connus.

2.1.2.2. Inventaire des principaux satellites d'observation de la terre

L'inventaire et les caractéristiques propres à ces satellites sont présentés sous forme de tableau en ce qui concerne les satellites dont les paramètres d'orbites sont fixés. Seront traités ensuite les satellites dont ces paramètres peuvent être modifiés.

a) Paramètres d'orbite fixes (Tableau I.2.)

SATELLITES	DATE	ALT. km	REV. mn	FREQ. MHz	RADIOMETRE	BANDES SPECTR. nm	PIXEL m	IMAGE km	RECEPTION AFRIQUE
LANDSAT 1	7/72	907	103	18 J	MSS	4: 500 - 600 5: 600 - 700 6: 700 - 800 7: 800 - 1100	80	185	(Plus d'émission)
LANDSAT 2	1/75								
LANDSAT 3	3/78	907	103	18 J	RBV	Panchro:475-820	35	46	(idem)
LANDSAT 4	7/82	705	99	16 J	MSS	1: 500 - 600 2: 600 - 700 3: 700 - 800 4: 800 - 1100	80	185	MAS PALOMAS (Afrique Ouest) USA via TDRS
LANDSAT 5	4/84	705	99	16 J	TM	1: 450 - 520 2: 520 - 600 3: 630 - 690 4: 760 - 900 5: 1550 - 2350 6: 10400 - 12500 7: 2080 - 2350	30 30 30 30 120 30	185	USA via TDRS
SPOT 1	1/86	832	101	26 J	HRV	S1: 500 - 590 S2: 610 - 680 S3: 790 - 890 P : 510 - 730	20 20 20 10	60	TOULOUSE (F) ou KIRUNA (S) avec enregistre- ment à bord
NOAA 7	80	862	101	24h	AVHRR	1: 580 - 680 2: 725 - 1000 3: 3550 - 3930 4: 10200-11300 5: 11500-12500	1100 (4400)	2700	LANNION (F) USA
NOAA 8									
METEOSAT	81	36000	Géosta- tion- naire	30mn		VIS: 500-1000 VDE: 5700-7100 IRT: 10500-12500	2500 5000 5000	12500	AGRHYMET CRODT DAKAR

(MSS : Multi Spectral Scanner - RBV : Return Beam Vidicom - TM : Thematic Mapper - HRV : Haute Résolution Visible
AVHRR : Advanced Very High Resolution Radiometer).

Tableau I.2 - Inventaire des principaux satellites d'observation de la terre.

Sont présentés dans ce tableau les principaux satellites d'observation de la terre, leurs paramètres orbitaux (altitude, période de révolution et fréquence de prise de vues au-dessus d'une même zone), ainsi que le type de radiomètre embarqué et ses caractéristiques.

Notons que la fréquence de prise de vue de SPOT peut aller jusqu'à 5 jours car il est possible d'effectuer des visées obliques. Le chiffre de 26 jours correspond à des visées verticales.

Seul le satellite Météosat est géostationnaire, son intérêt en télédétection reste assez marginal en regard des autres systèmes. Les satellites héliosynchrone sont des satellites à défilement ; et la quasi-totalité de la surface terrestre est couverte par bandes successives.

Pour choisir une image d'une zone d'étude, il faut disposer des grilles de références du satellite concerné ; ce sont des cartes du globe sur lesquelles sont figurées les traces du satellite, ainsi que l'emplacement des scènes sur ces traces. Chaque scène est repertoriée par son numéro d'orbite et son rang.

Sont représentées en Fig.I.17. l'emplacement des scènes LANDSAT 1,2 ou 3 (Fig.I.17.a) et LANDSAT 4,5 (Fig.I.17.b) sur l'Afrique de l'ouest.

b) Paramètres d'orbite modifiables

SKYLAB. Cette station habitée placée à 425 km d'altitude transportait deux caméras de prise de vues (visible et proche infra-rouge), un dispositif multispectral à 13 canaux (du visible à l'infra-rouge thermique) et des capteurs micro-ondes.

On notera en particulier l'intérêt de la caméra S 190 R qui permit des photographies ayant une résolution de 14 à 30 m, pour un champ de 109 km de côté.

Il y eut 3 missions SKYLAB, en Juin 73, d'Août à Septembre 74, et de Novembre 74 à Janvier 75.

Les images disponibles sur l'Afrique sont figurées par les traces sur la Fig.I.18.a.

SPACELAB. La navette spatiale américaine est opérationnelle depuis 1982 ; les laboratoires habités sont à environ 3000 km d'altitude. SPACELAB est essentiellement consacré à la réalisation de photographies classiques. Les instruments embarqués sont des caméras photographiques haute résolution, mais également un radar (SIR-A) et des radiomètres infra-rouge. Les vols étant brefs, le survol d'une même zone au sol reste limité, ce qui restreint l'utilisation des données SPACELAB en télédétection classique.

Les missions de la navette américaine sur l'Afrique sont représentées en (Fig.I.18.b).

Notons enfin l'interruption de ce programme, suite au dramatique accident de Challenger.

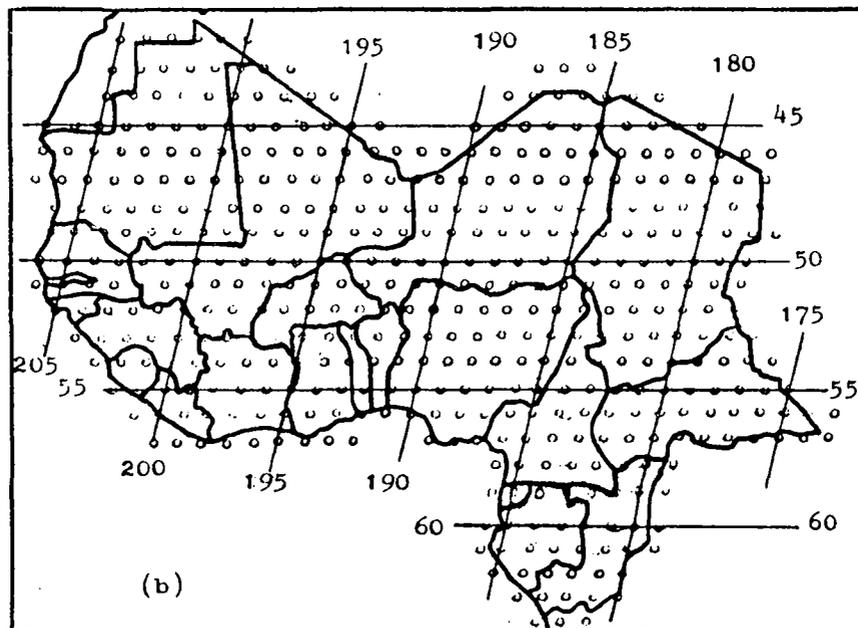
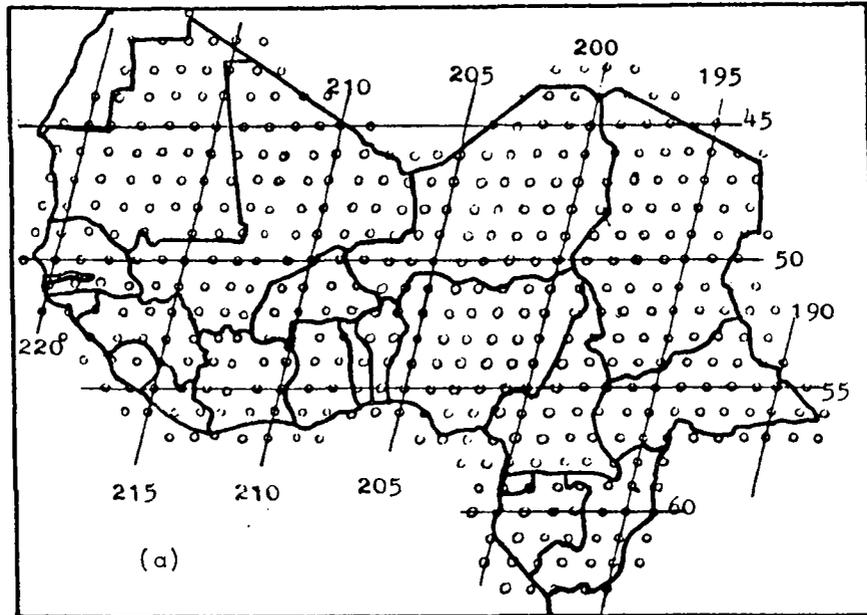


Fig.I.17 - Grilles de référence LANDSAT sur l'Afrique de l'Ouest.

(a) : LANDSAT 1,2, et 3.

(b) : LANDSAT 4 et 5.

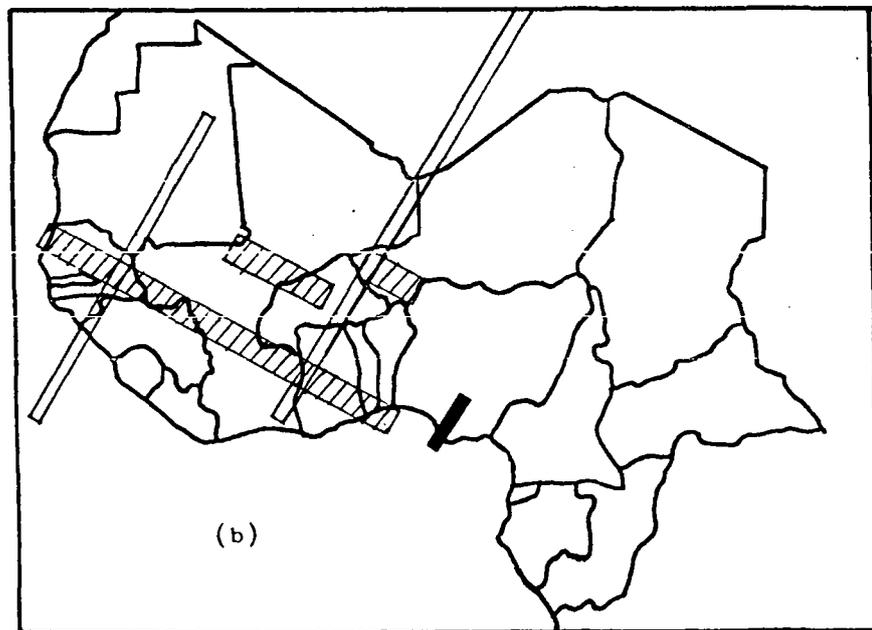
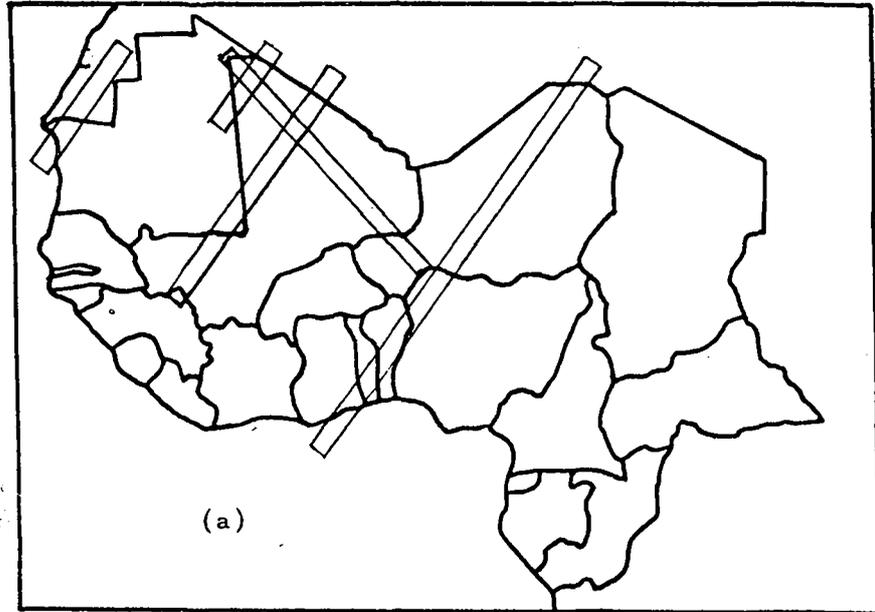


Fig.I.18 - Missions SKYLAB (a), et SPACELAB (b), sur l'Afrique de l'Ouest.

SPACELAB :

- Caméra métrique
- ▨ Moms-01
- Sir B

2.1.3. Autres vecteurs

LES BALLONS - Historiquement, le ballon est le premier vecteur en photographie aérienne (Nadar), cependant ce type de plate-forme reste d'une utilisation restreinte. On distingue cependant :

- les ballons stratosphériques, qui atteignent 30 à 40 km d'altitude (mais l'échelle des documents varie, et l'on ne maîtrise pas le déplacement du ballon !).
- les ballons troposphériques, rattachés au sol, ils ont une altitude d'environ 300 m.
- les dirigeables

LES VEHICULES SPATIAUX REUTILISABLES - Intermédiaires entre les satellites et les fusées ; la navette spatiale et le SPACELAB appartiennent à cette catégorie.

LES HELICOPTERES - très utilisés pour réaliser des thermographies localisées sur les villes (déperditions de chaleur) ou les étendues d'eau (polluants ...).

LES ULTRA LEGERS MOTORISES - utilisés comme vecteur d'appoint pour des missions photographiques sur de petites surfaces.

2.2. Les capteurs

Ce sont des instruments capables de recueillir des informations tant spatiales que radiométriques sur les objets terrestres. Les bandes spectrales (ou canaux) utilisées sont dépendantes de l'information recherchée.

On distingue deux sortes de capteurs en télédétection :

* Les capteurs photographiques, où les données de luminance terrestre sont directement acquises sur film. L'enregistrement photographique n'est possible que dans le visible ou le proche infra-rouge.

* les capteurs électromagnétiques, avec acquisition des données sur bande magnétique et/ou transmission des données. La bande spectrale utilisable est très étendue, allant du visible aux ondes radar. (Tableau I.1.).

2.2.1. Les systèmes d'enregistrement

La photographie - l'utilisation de la photographie aérienne est à l'origine de la télédétection ; elle a l'avantage de permettre une observation globale d'un paysage, sur lequel il est alors possible d'analyser les interactions des différents domaines entre eux (minéral, végétal, humain ...) sous un climat donné. La photographie aérienne permet en outre la vision du relief de la scène observée.

La mesure radiométrique - L'enregistrement radiométrique mesure l'énergie d'origine électromagnétique émise par des surfaces

élémentaires au sol appelées "pixels". La mesure radiométrique associe acquisition et numérisation de l'image ; à chaque pixel est associé une valeur discrète - généralement comprise entre 0 et 255 - et ce pour chaque canal de mesure.

Le choix de l'emplacement des canaux ainsi que leur étendue sur le spectre électromagnétique permet alors une étude beaucoup plus fine, plus sélective quant aux phénomènes étudiés. D'autre part, la numérisation des valeurs acquises permet d'appliquer différents algorithmes de traitements informatiques aux images obtenues, en vue de leur interprétation.

2.2.2. Les capteurs photographiques

2.2.2.1. Principe de la photographie

Il s'agit de la formation d'une image latente, dans une émulsion de gélatine qui contient des cristaux de sels d'argent. Ces sels sont déstabilisés par l'action de la lumière, puis traités chimiquement - le développement - pour faire apparaître en noir les grains impressionnés par la lumière - "le négatif". L'émulsion fixée, on tire ensuite un "positif" en exposant une nouvelle émulsion à un flux lumineux filtré par le négatif.

2.2.2.2. La chambre de prise de vue

Il s'agit d'un appareil photographique embarqué à bord de l'avion. Elle est positionnée sur une trappe aménagée sur la face ventrale de la carlingue.

Une chambre de prise de vues se compose :

- * d'un système optique très élaboré contenant un obturateur central. La distance focale de ce système est connue avec précision.

- * d'un fond de chambre rigoureusement plan par rapport auquel est monté le système optique. L'image d'un objet situé à l'infini - cas de la photographie aérienne - doit être nette sur le fond de chambre ; l'émulsion doit donc être située à une distance rigoureusement égale à la distance focale de l'optique.

- * d'un appareillage complémentaire adjoint à ces parties essentielles ; un berceau supporte la chambre et corrige l'angle de dérive de l'avion, un intervallo-mètre déclenche le cycle de fonctionnement des prises de vues.

2.2.2.3. Les types d'émulsion

- * les émulsions noir et blanc (panchromatique noir et blanc) sont le plus couramment employées en photographie aérienne ; elles présentent une courbe de sensibilité spectrale très favorable entre 0,4 et 0,6 microns.

- * les émulsions infra-rouge noir et blanc (ou IR) présentent une sensibilité spectrale plus large, de 0,4 à 0,825 microns. On se limite strictement à l'infra-rouge en positionnant un filtre jaune qui stoppe tout flux de longueur d'onde inférieure à 0,6 microns. L'infra-rouge apporte des informations complémentaires de celles du visible, notamment en ce qui concerne les études

relatives à l'eau (forte absorption de l'infra-rouge) ou la végétation (forte réflexion infra-rouge).

* les émulsions "couleurs naturelles" ou panchromatique couleur. Constituées de trois couches de gélatine superposées, leur principe repose sur celui de la trichromie - toute couleur visible résulte de l'association de trois couleurs fondamentales, le bleu, le vert et le rouge. Chacune des trois couches va générer des plages de chacune de ces trois couleurs qui, associées, reconstitueront les couleurs naturelles.

Deux produits sont utilisés ; le film inversible couleur (diapositives), ou les tirages sur papier après développement d'un négatif.

* les émulsions "infra-rouge couleur" ou IRC - appelées aussi "fausses couleurs", le principe du film couleur à trois couches de gélatine est conservé, mais les sensibilités sont décalées vers l'infra-rouge. La première couche est sensible au vert, la seconde au rouge et la troisième à l'infra-rouge ; il y a un glissement du rendu des couleurs naturelles : (Tableau I.3.).

couleur naturelle	bleu	vert	rouge	IR
"couleur" IRC	noir	bleu	vert	rouge

Tableau I.3. Glissement du rendu des couleurs en IRC.

Mis à part les considérations de focale ou d'altitude par rapport au sol, la résolution obtenue par les procédés photographiques est tributaire du type d'émulsion, comme le montre le tableau I.4.

Type d'émulsion	P	IRC	CN	IRC
Résolution (m)	0,11	0,13	0,13	0,17

Tableau I.4. Résolution moyenne selon le type d'émulsion utilisé - focale 152 mm et 1000 m d'altitude.

P : Panchromatique noir et blanc
 IR : Infra-rouge noir et blanc
 CN : Couleurs naturelles
 IRC : Infra-rouge couleur.

2.2.3. Les capteurs électromagnétiques

Ceux-ci comprennent :

* en mode "passif", les appareils à balayage et les radiomètres mic'ondes.

* en mode dit "actif", les radars latéraux.

2.2.3.1. Les capteurs passifs

Le soleil est ici la source du rayonnement électromagnétique incident. L'appareil mesure les caractéristiques du rayonnement émis ou réfléchi par la surface terrestre.

Suivant la technologie employée, et le domaine spectral concerné, on distingue plusieurs types de capteurs passifs.

a) Radiomètres à balayage

Ces appareils recueillent l'information par un balayage continu suivant deux axes perpendiculaires :

- * axe de vol du vecteur
- * axe de balayage du système.

Le rayonnement électromagnétique incident au capteur est focalisé sur une cellule détectrice sensible à la longueur d'onde choisie. La tension de sortie est fonction de la puissance du rayonnement incident. Le signal est ensuite amplifié puis numérisé et enregistré sur bande magnétique.

Le balayage propre au système peut être de deux types, mécanique ou électronique.

Les appareils à balayage mécanique comportent un miroir oscillant qui recueille l'information des surfaces élémentaires (pixels) consécutives le long d'une ligne image. Le déplacement du vecteur, coordonné à la vitesse de rotation du miroir, permet d'obtenir les différentes lignes images consécutives qui généreront la scène finale. (Fig.I.19).

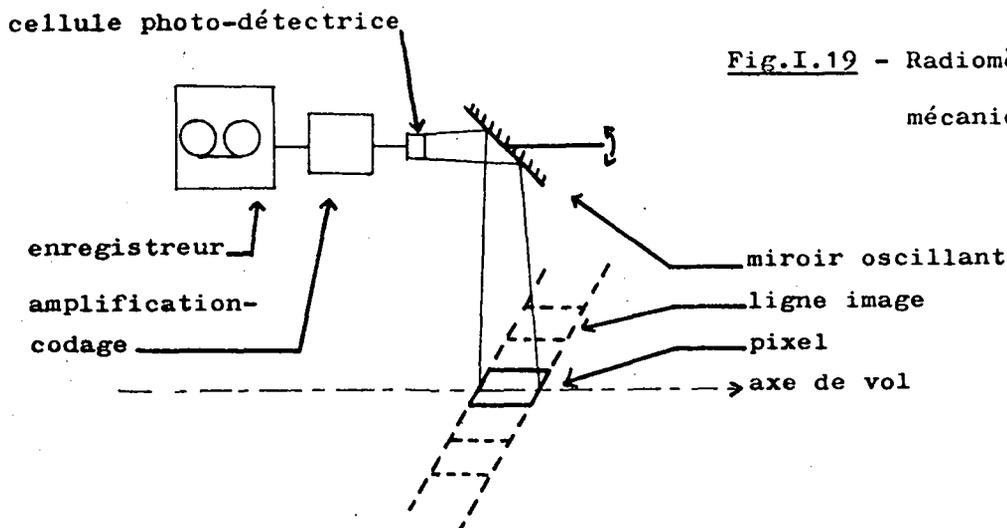


Fig.I.19 - Radiomètre à balayage mécanique.

Les principaux radiomètres à balayage mécanique sont : MSS et TM de LANDSAT, AVHRR de NOAA (Tableau I.2.). Hormis ces radiomètres embarqués sur des satellites, le Daedalus est un radiomètre multispectral à balayage très utilisé en mission aéroportée.

Les appareils à balayage électronique (HRV de SPOT) ne comportent aucune pièce en mouvement ; la détection dans l'axe perpendiculaire au mouvement du vecteur est assurée par une barette constituée de photodétecteurs placés côte à côte et scrutés séquentiellement. Il est nécessaire de disposer d'une barette par canal. Ce système est encore appelé "push-broom" (Fig.I.20).

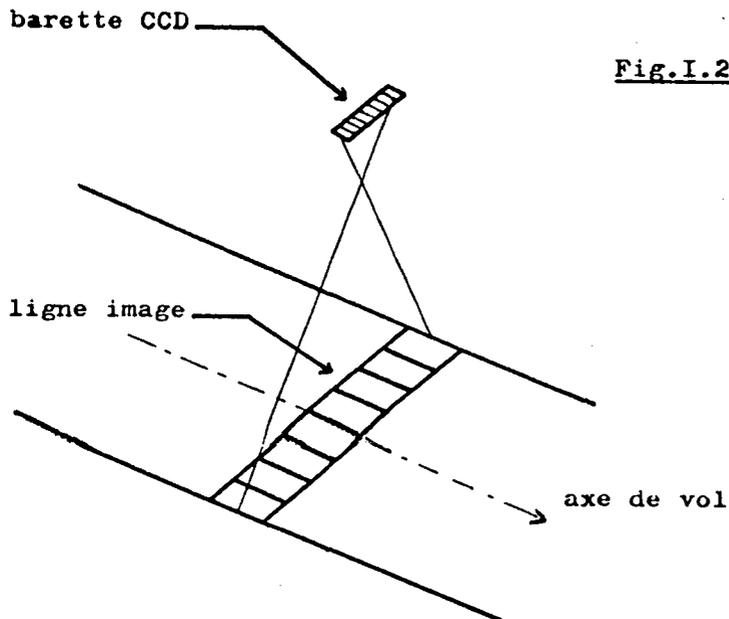


Fig.I.20 - Radiomètre à balayage électronique.

Les radiomètres à balayage mécanique sont actuellement utilisés pour la partie visible du spectre, mais également dans le proche, le moyen infra-rouge ainsi que l'infra-rouge thermique (3 à 14 microns).

Les radiomètres à balayage électronique ne sont actuellement utilisés que pour la partie visible du spectre, ainsi que le proche IR.

Les caméras vidéo (RBV de LANDSAT 1,2 et 3) constituent un type particulier de capteur à balayage électronique. Dans ce cas, la prise de vue est de type cônica instantanée (par opposition au balayage linéaire), et la numérisation est immédiatement postérieure à l'acquisition. Après exposition, la caméra est obturée, et l'image reste en mémoire sur la couche photoconductrice de l'écran. Le balayage de la cible par un faisceau d'électrons permet ensuite de prélever l'information stockée et fournit en sortie un signal électrique vidéo.

Les caméras vidéo ne sont néanmoins que d'une utilisation limitée en télédétection appliquée aux ressources terrestres.

b) Radiomètres micro-ondes

Ces radiomètres sont conçus pour mesurer et enregistrer le rayonnement électromagnétique émis par les corps terrestres, entre quelques mm et quelques cm de longueur d'onde.

Un radiomètre micro-ondes comprend :

- une antenne, sensible aux rayonnements recueillis dans un angle solide définissant la résolution de l'appareil ;
- un récepteur, qui génère un signal électrique ;
- un système d'enregistrement et de visualisation.

2.2.3.2. Les capteurs actifs

Un capteur actif n'utilise pas le soleil comme source de rayonnement électromagnétique; il comprend simultanément deux systèmes : émission et réception d'une onde.

La gamme du spectre électromagnétique concernée par ces capteurs actifs se situent en micro-ondes radar, ou hyperfréquences (de quelques mm à quelques dizaines de cm de longueur d'onde).

L'intérêt d'un système actif en regard d'un système passif réside dans le fait que l'on maîtrise les caractéristiques de l'onde envoyée vers le sol (amplitude, phase, polarisation, fréquence); une analyse beaucoup plus fine est alors possible sur le signal renvoyé par la surface terrestre (Fig.I.21).

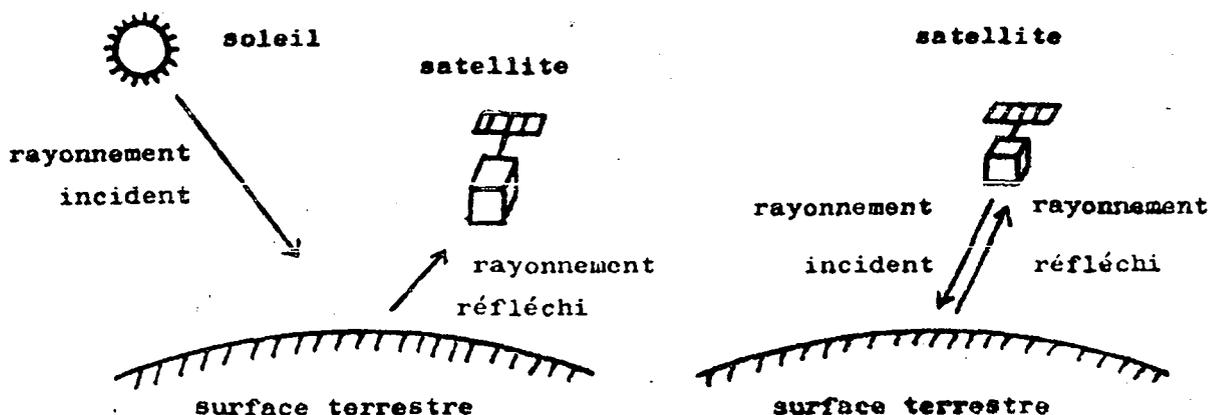


Fig.I.21 - Télédétection passive et télédétection active.

Le radar latéral émet un étroit faisceau d'ondes électromagnétiques vers le sol avec une incidence d'environ 45° . Une partie de cette énergie est retrodiffusée par la surface terrestre, et les caractéristiques de l'onde retour sont comparées à celles de l'onde émise, ce qui permet d'en déduire les modifications dues aux propriétés de la surface réflectrice (pente, rugosité, coefficient de rétrodiffusion ...). Ce sont ici des antennes qui assurent l'émission et la collecte du signal retour.

Le principal intérêt du radar latéral est de permettre la réalisation d'enregistrement "tous temps", car le coefficient de tran-

transmission atmosphérique est proche de 1 dans cette plage du spectre électromagnétique. On réalise ainsi des cartographies sur des régions où la couverture nuageuse est quasi permanente (Congo, Amazonie ...). Le radar est d'autre part très utilisé en océanographie.

Notons enfin que la résolution que permet le radar ne dépend que de la taille de l'antenne, avec laquelle elle est inversement proportionnelle. Pour ne pas avoir à utiliser des antennes gigantesques, on est amené à réaliser des antennes virtuelles, les "antennes synthétiques" qui permettent alors d'arriver à des résolutions de l'ordre du mètre. Le principe de ces antennes repose sur le déplacement du satellite entre le moment où est émis le train d'onde et sa réception par réflexion.

2.2.3.3. Numérisation de l'image

La numérisation de l'image acquise par le capteur électromagnétique a deux objectifs :

- * faciliter le stockage et la transmission des données ;
- * permettre l'interprétation des données au moyen de traitements numériques.

L'ordinateur se révèle être indispensable devant le flot de données à intégrer.

L'acquisition de l'image spatiale repose, nous l'avons vu, sur un balayage continu du capteur sur le champ observé. Ce balayage répond à une loi de balayage, spécifique de chaque instrument.

Le signal électrique de sortie de cellule est tel que la tension soit fonction de la luminance en chaque point.

La numérisation de ce signal analogique est réalisée par un convertisseur analogique/digital qui échantillonne le signal sur n niveaux. Dans le cas d'un codage sur 8 bits, il y aura donc 256 valeurs possibles, de 0 à 255.

Ainsi, à chaque pixel est associée une valeur numérique, et ce, pour chaque canal de l'instrument. Le satellite SPOT prend des images de 6000 x 6000 pixels, elles sont donc codées sur 36 millions de mots de 8 bits ou octets.

3.1. Les traitements

3.1.1. Les traitements photographiques

Les enregistrements photographiques peuvent être utilisés directement ou faire l'objet de traitements qui utilisent les propriétés géométriques et radiométriques des émulsions.

3.1.1.1. Caractéristiques des émulsions

a) La sensibilité

C'est l'intensité de noircissement obtenue après développement, en fonction de la variation d'une quantité de lumière blanche. La courbe de noircissement présente un pied (éclairage insuffisant) et un seuil de saturation. La pente de la portion linéaire de cette sigmoïde matérialise le facteur de contraste de l'émulsion (Fig.I.22). La sensibilité d'une émulsion est caractérisée par des données exprimées dans un système de référence (ISO, ASA, DIN ...).

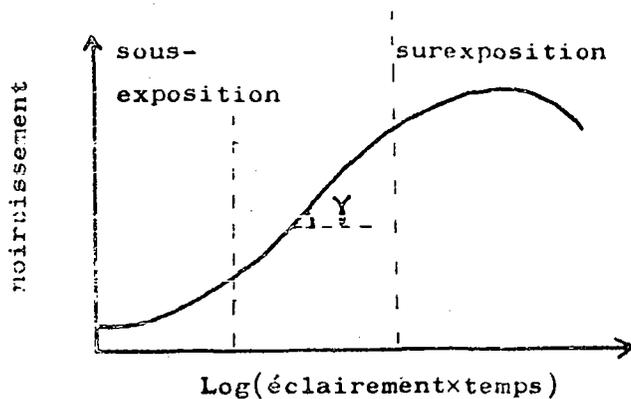


Fig.I.22 - Courbe de sensibilité d'une émulsion.

b) Sensibilité spectrale (ou chromatique)

On mesure également le noircissement produit par une variation de la longueur d'onde ; on obtient ainsi une courbe qui donnera la sensibilité de l'émulsion en fonction de la longueur d'onde reçue.

c) La résolution

Dans une émulsion, la répartition des sels d'argent susceptibles de réagir à la lumière est considérée comme uniforme. Si la dimension de ces grains est modifiée, la courbe de sensibilité évolue ; les émulsions à grains fins présentent un facteur de contraste inférieur à celle comportant de gros grains. Rappelons que la résolution d'une émulsion est également liée au type de celle-ci (Tableau I.4).

3.1.1.2. Traitements par équidensités

a) Notion d'équidensité

Il est possible de mesurer point par point la densité d'un film - négatif ou positif -, on mesure la quantité de lumière résiduelle provenant d'une source calibrée, après passage à travers le document. Dans le cas d'une émulsion en demi-teinte, il existe des tons de gris décroissants, de densité différentes, du noir total au translucide total.

Si l'on joint par une ligne les tons de gris de même densité, on délimite des "plages de gris" homogènes. Si l'on parvient ensuite à associer une couleur à chacune d'entre elles, nous obtenons alors une traduction du document noir et blanc sous forme de différentes plages colorées. La séparation des tons de gris est réalisable sur documents demi-teintes (photographies) mais également à partir d'une image satellite exprimant différents tons de gris selon la radiométrie des différents pixels.

b) Les équidensités colorées

A partir d'une image demi-teinte, on génère un jeu de masques et de contre-masques - l'un étant le négatif de l'autre - pour des équidensités choisies. La réalisation de ces masques est faite en impressionnant une émulsion à fort contraste après le passage d'un flux lumineux au travers du film demi-teinte. Après développement, ces masques ne comportent que des zones noires ou translucides.

Le contre-masque est réalisé par développement contact.

En final, l'association judicieuse de masques et de contre-masques ne laissera apparaître sur l'image que certaines équidensités choisies (Fig.I.23).

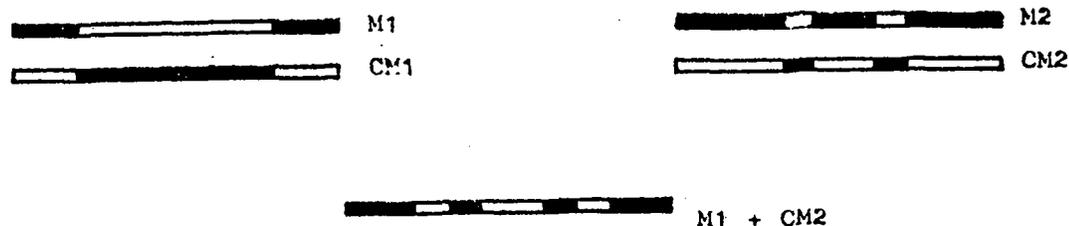


Fig.I.23 - Association de masques et de contre-masques.

L'association de M1 et de CM2 ne laisse apparaître que les équidensités comprises entre M1 et M2.

L'application de ce processus permet d'obtenir un document final coloré en exposant un film couleur derrière un filtre de couleur différente pour chaque plage de ton de gris. Cette opération nécessite un laboratoire photographique bien équipé.

En particulier, le procédé color-key est une émulsion à contraste extrême, sensible au rayonnement ultra-violet, déposée sur des supports plastiques colorés. On obtient une plage colorée dans la couleur choisie pour chaque équidensité. La superposition de ces films colorés aboutit à une composition colorée, exploitable sur table lumineuse et/ou reproductible sur film.

c) Compositions colorées multispectrales

On utilise trois canaux d'une image satellite multispectrale, le vert (MSS 4, TM 2, ou X1 de SPOT...) le rouge (MSS 5, TM3 ou X2 de SPOT...) et le proche infra-rouge (MSS 7, TM 4, ou X3 de SPOT...). On réalise photographiquement une composition colorée en reproduisant le canal "vert" en jaune, le canal "rouge" en magenta et le canal "proche infra-rouge" en cyan. La superposition de ces trois documents donne une composition colorée dont les caractéristiques sont voisines d'une image en fausse couleur.

d) Traitements spéciaux

Ce sont des traitements effectuées à la demande des utilisateurs, nous citons deux exemples :

- * superposition négatif/positif, qui permet de rehausser les contours, et qui trouve également des applications en géologie structurale ;

- * superposition positif IR/négatif panchromatique, qui permet de générer une image retraçant la répartition de la biomasse (réflectance forte en IR et faible dans le visible).

3.1.2. Les traitements numériques

L'image numérique est, nous l'avons vu, constituée par une série de valeurs numériques discrètes, représentant la radiométrie des pixels, pour un canal donné d'un capteur multispectral à balayage.

Les traitements numériques appliqués sont de deux types :

- * le prétraitement, qui vise à corriger les distorsions radiométriques et géométriques induites par les capteurs, de manière à obtenir une image standard de référence ;
- * le traitement proprement dit, qui consiste à faire ressortir de l'image l'information "utile" à l'utilisateur.

3.1.2.1. Les prétraitements

a) Corrections radiométriques

Les distorsions radiométriques (bruit, capteurs non linéaires, sensibilité différente des capteurs, convolution ...) entraînent une dégradation de l'information fournie par l'image. Les prétraitements radiométriques doivent remédier à ces défauts sans altérer la qualité de l'information acquise.

Connaissant les modèles mathématiques des erreurs occasionnées, un traitement informatique est appliqué à l'ensemble des points de l'image, pour la "redresser".

b) Corrections géométriques

La courbe terrestre, la rotation de la terre, un balayage imparfait ... Nombreuses sont les causes de déformations géométriques de l'image. Il est également nécessaire de modéliser la source d'erreur, afin d'en corriger les effets par le calcul point à point sur l'image. L'utilisation de points d'appui permet également de corriger l'image.

Les prétraitements corrigent de manière plus ou moins parfaite les défauts occasionnés sur l'image acquise. Devant l'importance du nombre de points à traiter, ces traitements peuvent coûter énormément de temps et d'heures de calcul. On cherche donc un équilibre entre les précisions requises et les coûts de prétraitement.

3.1.2.2. Les traitements utilisateurs

a) Représentation des données

Du point de vue radiométrique, un pixel se présente comme un ensemble de n valeurs radiométriques, pour les n canaux de l'image.

Dans l'espace radiométrique ayant pour axes de coordonnées les différents canaux - 3 en général -, le pixel est représenté par un point, et l'image par un nuage de points (Fig.I.24).

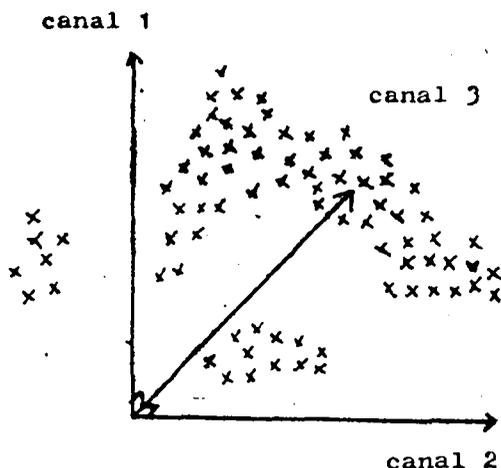


Fig.I.24 - Représentation d'une image dans l'espace radiométrique. Nuage de points dans un espace à n dimensions - ici, $n=3$

Notion d'histogramme

On génère des histogrammes mono ou bi-dimensionnels en comptabilisant le nombre de valeurs de l'espace radiométrique projeté sur un axe, ou le plan formé par deux axes (Fig.I.25).

b) Optimisation d'une image

Stretching ; cela consiste en un "étirement" de l'histogramme, de manière à augmenter la dynamique de l'image (Fig.I.26).

Seuillage, consiste à individualiser des zones de radiométrie homogènes, et à supprimer les pixels à l'extérieur des valeurs seuil ainsi définies.

Traitements multi-canaux

Il existe un certain degré de corrélation entre les différents canaux utilisés. Le calcul de nouveaux canaux (nouveaux axes de l'espace radiométrique) décorrélés par une analyse en composantes principales permet de tirer un meilleur parti de l'information radiométrique augmentant la dynamique de l'image.

Rapports de canaux (ratios)

Ceci est particulièrement utilisé pour déterminer un indice de végétation. Le calcul :

$$\frac{R_{pir} - R_r}{R_{pir} + R_r}$$

pir : Proche infra-rouge
r : Rouge
R : Valeur radiométrique

met en évidence la végétation active au sein de l'image.

Traitements multitemporels

Après un prétraitement géométrique adapté, qui rendra les deux images d'une même scène à deux dates différentes parfaitement superposables, on peut mettre en évidence les éléments ayant subi de fortes évolutions entre les deux prises de vues.

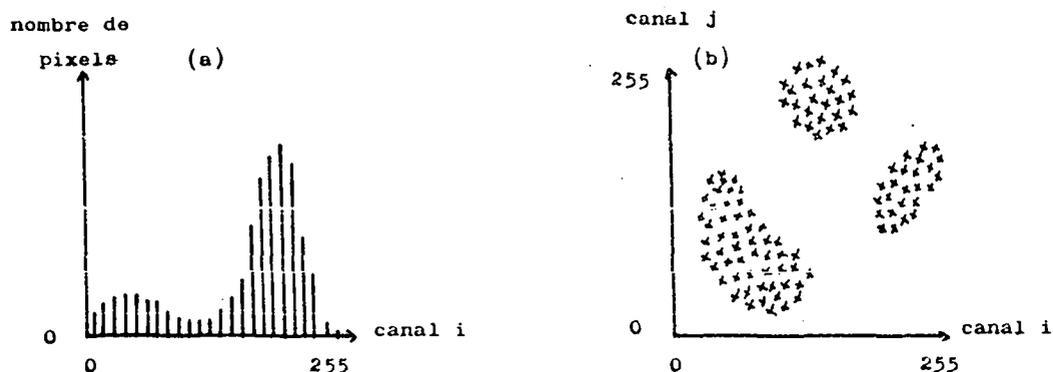


Fig.I.25 - Histogramme mono-dimensionnel (a), et bi-dimensionnel (b).

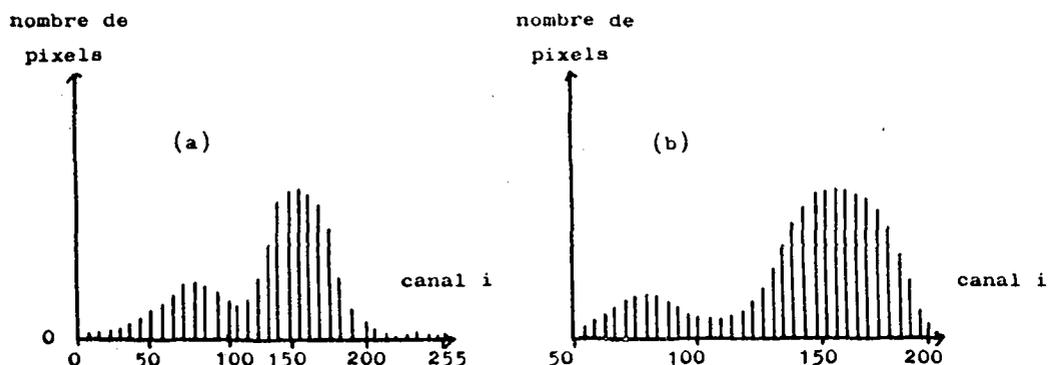


Fig.I.26 - Le stretching, ou étirement de dynamique, permet de passer de l'histogramme (a) à l'histogramme (b).

c) Notion de thèmes

L'approche thématique est très usitée dans l'utilisation des images spatiales ; il s'agit d'individualiser le ou les thèmes particuliers auxquels s'intéresse l'utilisateur ; cela peut-être l'eau, mais aussi la végétation, les sols nus ... Les histogrammes mono, mais surtout bi-dimensionnels sont alors de très bons outils de discrimination, à condition de choisir les canaux appropriés au thème recherché.

Pour l'eau, les canaux du vert et du proche infra rouge semblent appropriés. Un traitement interactif avec l'ordinateur permet de visualiser sur l'image les pixels appartenant au thème individualisé.

d) Classifications

On distingue les classifications supervisées et non supervisées.

Les premières reposant sur la comparaison d'un thème individualisé sur l'image, avec sa "vérité terrain" ; c'est donc une validation "à posteriori" de la classification thématique effectuée.

La classification non supervisée est une approche "à priori" ; l'ordinateur individualise des thèmes en se basant sur la proximité des points dans l'espace radiométrique. Il est alors fondamental de vérifier la logique de la classification obtenue, en regard de l'objectif fixé. En effet, il peut y avoir regroupement sous un même thème de deux thèmes voisins, indissociables par le calcul, et réciproquement, un même thème peut se scinder en plusieurs classes radiométriques !

e) Textures et structures

Ce sont deux éléments fondamentaux de la photo-interprétation. Une structure représente un domaine individualisable de l'image, dont la texture est l'arrangement radiométrique des pixels les uns par rapport aux autres.

La texture d'un champ (structure) peut être lisse, ou granulaire, striée...

Ces traitements numériques reposent sur la reconnaissance des formes et la recherche d'aires homogènes à contours fermés.

3.2. Mise en forme des données de télédétection

Seront abordés dans ce paragraphe les différents types de documents dont peuvent disposer les utilisateurs de la télédétection, en considérant d'une part les produits photographiques et d'autre part les produits numériques

3.2.1. Traitements spécifiques des photographies

3.2.1.1. Les tirages

Les tirages photographiques peuvent être réalisés soit par contact, soit à l'agrandisseur.

a) Tirages par contact

Réalisés par le passage d'un flux lumineux sur un support sensible masqué (par contact) par le film négatif. Un tel tirage laisse donc rigoureusement les documents à l'échelle. Le support photo-sensible peut être un papier (tirage papier) ou un film. L'utilisation des films (positifs ou négatifs) peut se faire directement par lecture des diapositives ou stéréoscope sur table lumineuse, ou par un procédé optique de projection et d'agrandissement (projecteur diapositives, mappograph, variographe ...).

b) Tirages à l'agrandisseur

Lorsque l'on désire obtenir des documents à une échelle donnée, on est amené à réaliser des réductions ou des agrandissements lors du tirage photographique du document de départ. Le support sensible utilisé peut être un papier photographique ou un film. Notons que les tirages à l'agrandisseur permettent également de procéder au redressement des documents, lorsque cela est nécessaire. On bascule alors légèrement la table sur laquelle est projeté le document de départ, avant d'impressionner le support sensible.

3.2.1.2. Assemblages photographiques

Moins les traitements photographiques, les produits photographiques de départ peuvent avoir une autre vocation: les assemblages. Un assemblage photographique (ou mosaïque), consiste en la réunion d'un ensemble de photographies de manière à couvrir un territoire donné.

On distingue trois types d'assemblages, selon la finesse de la restitution géométrique :

a) L'assemblage simple est une mise bout à bout des photographies voisines, après découpage des zones de bordure (en double). Il est alors réalisé une photographie de ce montage.

b) L'assemblage semi-contrôlé est un assemblage simple sur lequel l'échelle générale de la mosaïque est contrôlée, en référence à certains points du territoire, extraits de la mosaïque.

c) La mosaïque contrôlée est obtenue après redressement et mise à l'échelle de chacune des photographies. Elle nécessite donc des points de calage régulièrement répartis sur le terrain. Après photo-restitution, ce type de document peut servir de fond pour l'établissement d'un photo plan, par superposition de signes cartographiques à la photographie (courbes de niveau, topographie etc ...).

3.2.2. Produits numériques

La numérisation des images, abordées au paragraphe 2.2.3.3. permet de disposer d'images numériques de la surface terrestre. Ces fichiers peuvent alors être accessibles sous différentes formes :

3.2.2.1. Produits numériques standards

Ce sont les supports magnétiques sur lesquels sont inscrits les données spatiales. Il s'agit de bandes magnétiques CCT (Compatible Computer Tapes de 1600 ou 6250 BPI (Byte Per Inch), ou de disquettes 5 pouces 1/4 ou 3 pouces 1/2.

Quel que soit le support sur lequel sont fournies ces données, il peut s'agir de produits prétraités (cf.3.1.2.1.) ou de données brutes, sans corrections géométriques ni radiométriques.

3.2.2.2. Produits numériques traités

Ce sont des images numériques ayant subi un traitement informatique ayant pour but de faciliter le travail de l'utilisateur.

a) Les restitutions colorées

Celles-ci permettent d'obtenir des traitements combinés entre plusieurs types de données, par synthèse d'une image composite couleur. La méthode la plus classique est la synthèse additive ce qui permet de combiner 3 types de données, celles-ci correspondant aux 3 teintes primaires (bleu, vert et rouge).

La plus classique est la composition colorée type IRC, ou fausse couleur, obtenue par synthèse des canaux vert, rouge et infra-rouge. De nombreuses autres images composites peuvent être obtenues par ce procédé en sélectionnant d'autres canaux (par ex. canal thermique associé aux canaux visibles et/ou proche infra-rouge) ou des canaux issus de traitements antérieurs (par ex. ratio, composante principale ...). Il est même possible, après calage géométrique, d'intégrer des données issues d'autres capteurs voire d'autres satellites (par ex. RBV, MSS, LANDSAT, NOAA ...).

La synthèse colorée peut être obtenue par d'autres procédés que la synthèse additive. Le procédé IHS (Intensity - Hue - Saturation) permet de restituer une image couleur en combinant les paramètres intensité du signal, teinte (échelle du violet au rouge) saturation (pureté de la teinte). De la même manière, à chacun de ces trois paramètres est affecté une donnée (bande spectrale, ratio ...).

b) Les calculs numériques par différentes combinaisons de canaux sont utilisés pour faciliter les classifications thématiques. C'est le cas de l'index de végétation (cf.3.1.2.2), ou de l'analyse en composantes principales.

Il peut être intéressant d'obtenir un traitement sur lequel les aberrations causées par les nuages soient éliminées. C'est le cas de l'index de végétation normalisé réalisé sur les images du radiomètre AVHRR du satellite NOAA. Il s'agit du calcul de l'index de végétation pixel par pixel, pour chaque image prise au cours d'une semaine. Un test est ensuite réalisé, retenant comme valeur définitive l'index de végétation maximum obtenu pendant la semaine, éliminant ainsi les pixels où sont présents des nuages.

3.3. Techniques d'interprétation en télédétection

3.3.1. Interprétation des photographies.

3.3.1.1. Analyse visuelle

Les photographies aériennes noir et blanc (panchromatique ou infra-rouge) donnent un rendu des valeurs de luminance par des tons de gris différents. Seule l'émulsion couleur naturelle permet d'interpréter directement le paysage, alors que l'émulsion infra-rouge couleur n'est pas une représentation voisine de la réalité - glissement spectral.

Hormis l'intensité des tons de gris ou la teinte, l'interprétation visuelle d'une photographie se base sur la notion de texture et de structure définies en 3.1.2.2 e). L'organisation des objets entre eux, objets ayant eux-mêmes une texture propre doit être analysée pour la compréhension de la scène.

L'utilisation de grilles de sondage permet d'analyser un paysage selon des thèmes choisis statistiquement, sans tenir compte de la disposition spectrale des objets.

3.3.1.2. Analyse densitométrique

Nous avons vu qu'une photographie pourrait être décomposée en plages de niveaux de gris par mesure densitométrique. Ce procédé permet de réaliser des équidensités colorées. Ce qui permet d'analyser les zones de l'image ayant des réponses énergétiques équivalentes et donc qui peuvent faire partie d'un même thème.

3.3.1.3. Analyse du relief

C'est un aspect fondamental de la compréhension d'un paysage ; trois niveaux d'analyse peuvent être envisagés, suivant la précision requise.

a) L'observation simple permet de caractériser les formes du terrain, la valeur relative des pentes et donc permet de réaliser une esquisse géomorphologique, de délimiter un bassin versant et de tracer un réseau hydrographique.

b) Localement et à l'intérieur d'un couple stéréoscopique, il est possible d'évaluer des différences d'altitude par le biais de la différence de parallaxe de deux objets peu éloignés situés à des altitudes différentes.

Selon l'angle de prise de vue, les objets ne sont pas disposés de la même manière sur le film (Fig.I.27).

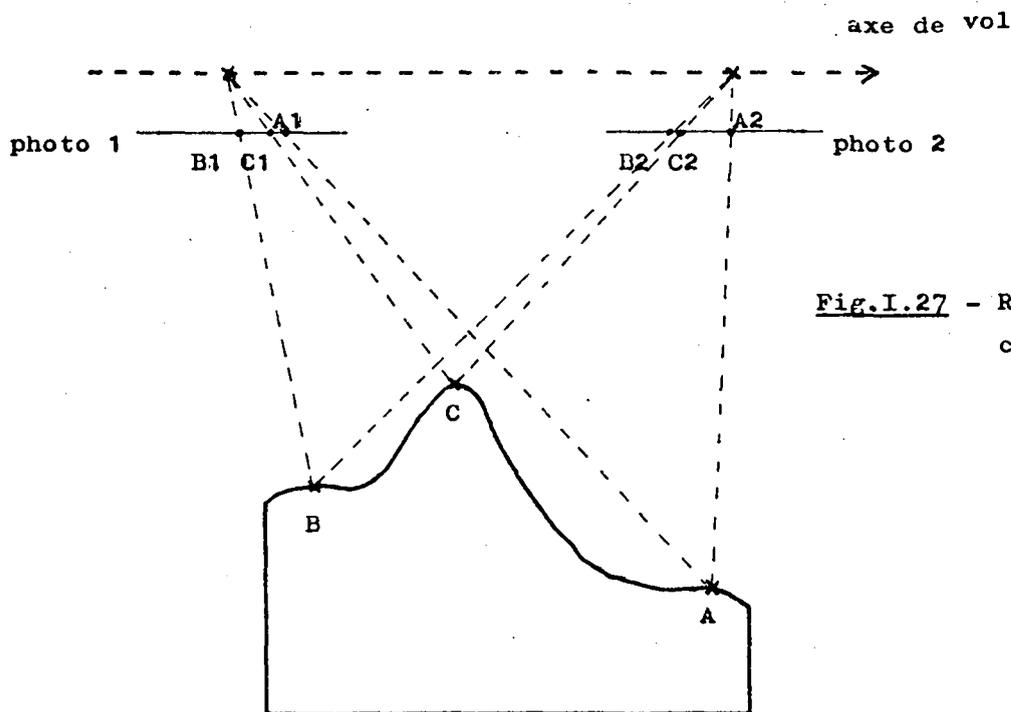


Fig.I.27 - Relief et différence de parallaxe.

Le couple stéréoscopique mis en place, la distance séparant deux points homogènes (sur chacune des photographies) est inversement proportionnelle à leur altitude ; ainsi :

$$C1C2 < B1B2 < A1A2$$

c) Enfin la photogrammétrie permet, en équipant les photographies aériennes de points connus en x, y et z, de réaliser une restitution de terrain. Ce n'est seulement dans ce cas que l'on peut s'appuyer sur les photographies aériennes pour faire des mesures de bonne précision. Il est évident que la mise en oeuvre de cette technique, si elle apporte de bons résultats sur le plan de la précision, reste d'un coût élevé.

3.3.2. Interprétation des images spatiales

a) Interprétation visuelle

L'interprétation visuelle d'images repose le plus souvent sur un examen d'un agrandissement du film standard obtenu. Cet agrandissement présente cependant une échelle limite, au-delà de laquelle le document est peu lisible. Ainsi, des MSS au 1/1.000.000 peuvent être tirés au 1/200.000e, les films TM au 1/1.000.000 peuvent l'être au 1/100.000e et l'échelle de 1/50.000e peut être atteinte avec les films standards SPOT au 1/400.000e.

On peut disposer pour cette interprétation d'images monocanal (noir et blanc) ou de compositions colorées multi-canaux.

Notons que les compositions colorées peuvent être générées indépendamment par traitement informatique et restitution couleur, ou par traitement photographique.

Suivant l'origine de l'image, les prétraitements appliqués aux produits standards peuvent être plus ou moins poussés ; dans le cas de SPOT, les traitements standards sont proposés (Niveau 1A, 1B, 2 et S) selon la vocation de l'utilisateur de l'image, et le niveau de précision radiométrique et géométrique recherché.

b) Images traitées

Ces images ont subi un traitement utilisateur du type de ceux décrits en 3.1.2.2. Le traitement numérique appliqué permet de cerner les thèmes de recherche désirés.

c) Perception du relief

Celle-ci est impossible dans le cas général, hormis sur les zones de chevauchement d'images, où l'on peut disposer d'un couple stéréoscopique très restreint.

Néanmoins, le lancement du satellite SPOT devrait permettre cette perception du relief ; au moyen de visées obliques il sera possible de constituer un couple stéréo d'une région de la surface terrestre.

CHAPITRE II
APPLICATIONS DE LA TELEDETECTION
DANS LE DOMAINE DE L'EAU

L'identification, l'étude ou le suivi d'un "Projet Hydraulique" (au sens large) s'inscrivent dans une démarche générale "Scientifique", schématisée de la façon suivante :

- * Détermination des objectifs (1)
- * Choix d'une démarche méthodologique (2)
- * Détermination des données à recueillir (3)
- * Choix des moyens à mettre en oeuvre pour le recueil des données (4)
- * Recueil des données (5)
- * Traitement - analyse des données (6)
- * Intégration - synthèse des données (7)
- * Mise en forme - présentation des résultats (8)
- * Dédutions - propositions (9)

Toutes ces étapes sont nécessaires et conditionnent la réussite de l'opération projetée, même si l'importance relative de chacune d'entre-elles peut sensiblement varier en fonction du "Projet" concerné.

L'utilisation de la télédétection doit être intégrée dans ce schéma. Cette technique ne constitue généralement pas une fin en soi mais un outil, un moyen, dont l'apport peut être accessoire ou au contraire, fondamental.

Plus particulièrement, elle peut contribuer directement à la réalisation des étapes (4), (5), (6) et (8) et de façon plus implicite à celle des étapes (3) et (7).

Cette 2e partie a précisément pour but de montrer comment la télédétection s'intègre dans ces différentes étapes et d'indiquer quelles sont ses contraintes et ses limites techniques (et parfois financières).

Les applications de la télédétection dans le domaine de l'eau concernent un vaste champ, à des échelles variées, allant d'études intégrées pluridisciplinaires à des études spécifiques spécialisées sur tel ou tel point particulier.

Dans un souci de clarté, les applications sont présentées en fonction des résultats ou données recherchées :

* données de base sur l'environnement, elles-mêmes subdivisées en :

- données de référence cartographiques (fonds topographiques) ;
- données thématiques de base : géologie, géomorphologie, pédologie, biogéographie, agriculture, établissements humains ...
- données sur l'eau : hydrologie et hydrogéologie ;
- données spécifiques aux études hydrauliques : bassins versants, périmètres hydro-agricoles, assainissement urbain, aménagement du littoral, hydraulique souterraine ...

* données évolutives sur l'environnement, subdivisées en :

- données évolutives à court terme, en liaison avec des processus saisonniers d'origine climatique, écologique, agricole, hydrologie ou migratoire ;
- données évolutives à long terme, en liaison avec des processus de dégradation, d'action humaine, de géodynamique (évolution des cours d'eau, du littoral ...).

* données conjoncturelles, en liaison avec des évènements fortuits ou accidentels tels que :

- accidents météorologiques ;
- accidents orogéniques ;
- accidents biologiques ;
- accidents hydrologiques.

1 - DONNÉES DE BASE SUR L'ENVIRONNEMENT

1.1. Données de référence (Fonds topographiques)

1.1.1. Généralités

Les Fonds topographiques constituent la première données de base nécessaire dès lors que se pose un problème de cartographie. Différentes techniques permettent d'obtenir de tels fonds à partir de la télédétection (Chap.I). Il est donc nécessaire de bien préciser l'utilisation de ces fonds dans le cadre du projet. Par exemple :

- * document de travail, utilisé comme fond de référence pour des reports lors des tâches ultérieures (photo-interprétation thématique, études d'aménagement hydrauliques ...)
- * document cartographique utilisé comme fond pour la présentation des résultats (cartes).

Il est également nécessaire de déterminer l'échelle du document, le niveau de précision requis (planimétrie et altimétrie dans le cas des photos-restitutions) et les contraintes pour l'impression des supports cartographiques.

1.1.2. Méthodes d'établissement des fonds topographiques

Différentes méthodes permettent d'obtenir les fonds cartographiques. Celles-ci sont résumées dans le tableau qui suit (Tableau II.1).

Chacune des méthodes proposées a des avantages, mais aussi des contraintes. Il s'agira donc le plus souvent, en l'absence de fond cartographique adéquat, de concilier les contraintes financières et techniques.

Il est également important de souligner que dans certains cas il peut être profitable d'utiliser conjointement plusieurs méthodes. Par exemple, les assemblages photographiques ou les mosaïques établies à partir d'images satellite peuvent être utilisées pour actualiser des fonds issus des cartes topographiques existantes. Lorsqu'une prise de vue spéciale s'impose, il est important de concilier ses caractéristiques avec les résultats recherchés.

Dans le cas d'une étude pour un projet hydraulique il sera également nécessaire de penser au suivi du projet : la couverture aérienne pourra souvent être réutilisée ultérieurement, en particulier pour les aménagements induits par le projet.

Si cela n'est pas indispensable, il est préférable de choisir une échelle moindre car les coûts d'exploitation des clichés dépendent du nombre de photos à traiter, celui-ci augmentant dans le rapport inverse du carré de l'échelle. Dans certains cas une prise de vue complémentaire, au cours de la même mission, à plus haute altitude permettra de disposer d'une couverture à plus petite échelle qui servira à effectuer des assemblages photographiques à moindre coût, et beaucoup plus faciles à assembler.

TABLEAU II.1. - COMPARAISON DES METHODES D'ETABLISSEMENT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES

DONNEES UTILISEES	METHODES/TECHNIQUES	EHELLES COURANTES	AVANTAGES	CONTRAINTES
CARTES TOPOGRAPHIQUES EXISTANTES	Agrandissement ou réduction photographique Optique : variographe, optisque, mappographe ... Mécanique : pentographe	Toutes échelles	Disponibilité immédiate Coût très faible	Nécessité de redessiner un fond pour les coefficients d'agrandissement ou de réduction élevés. Précision et détails insuffisants (cartes agrandies) L'actualisation des cartes est parfois nécessaire.
LEVES TOPOGRAPHIQUES	Techniques topographiques classiques	1:10 000* à 1: 1 000*	Précision Actualisation Qualité cartographique	Méthode lourde et onéreuse pour de grandes surfaces. Coûts moyens à élevés (proportionnels à surface couverte)
PHOTOGRAPHIES AERIENNES (toutes échelles)	Photogrammétrie : levés photogrammétriques expédiés ou de précision	1:50 000* à 1:10 000*	Précision Rapidité Qualité cartographique	Peut nécessiter une prise de vue spéciale selon échelle et disponibilité en photographies récentes Rentabilité faible pour les petites surfaces.
PHOTOGRAPHIES AERIENNES (petites à moyennes) échelles)	Assemblages photographiques: . assemblage simple . mosaïque semi-contrôlée . mosaïque contrôlée.	1:50 000* à 1:10 000*	Rapidité Faible coût	Qualité cartographique médiocre (assemblage simple) à moyenne (mosaïque semi-contrôlée), en particulier pour grandes échelles. Peut nécessiter une prise de vue pour actualisation.
IMAGES SPATIALES	Assemblages photographiques (mosaïques)	1:1000 000* à 1:100 000*	Rapidité et simplicité Assez bonne précision Actualisation Faible à très faible coût	Certains éléments du paysage apparaissent difficilement (pistes, villages) d'où nécessité de compléter les informations.
IMAGES SPATIALES	Traitements informatiques + restitution	1:200 000* à 1:50 000*	Précision Rapidité Actualisation	Limité à images spatiales stéréoscopiques pour restitution altimétrique (SPOT, Caméra Métrique ...)

1.1.3. Aspects financiers

Le coût d'établissement des fonds topographiques dépend de nombreux facteurs :

- * Méthode de levéstopographiques ;
- * Surface de la zone à traiter ;
- * Echelle du document à produire ;
- * Précisions planimétrique et altimétrique ;
- * Edition des cartes.

Les tableaux suivants fournissent un ordre de grandeur des coûts pour différents cas de figure.

TABLEAU II.2a - COUTS D'ETABLISSEMENT DES CARTES A DIFFERENTES ECHELLES PAR PROCEDE PHOTOGRAPHIQUE (Millions FCFA/100 000 km²)

ECHELLE	1:25 000	1:50 000	1:100 000	1:200 000
VOLUME TRAVAUX PHOTOGRAM. %	32 %	40 %	50 %	68 %
COUTS PHOTOGRAM F.CFA/1 000 km ²	1000 M CFA	400 M CFA	160 M CFA	100 M CFA

TABLEAU II.2b - COMPARAISON DES DIFFERENTES METHODES D'ETABLISSEMENT DES CARTES (Coûts, précision, durée)

METHODES DE LEVES	LEVES AU SOL	LEVES PAR TACHOMETRIE	PHOTOGRAMMETRIE AERIENNE	PHOTOGRAMMETRIE SPATIALE
ETABLISSEMENT DES CARTES 1:50 000	40.000 M.CFA 5 m/ 5m 50 ans	20.000 M.CFA 1m/C.5 m 25 ans	400 M.CFA 10m/5m 5 ans	200 M.CFA 10-20m/20m 2 ans
MISE A JOUR DES CARTES 1:50 000	12.000 M.CFA -	6.000 M.CFA -	200 M.CFA 3 ans	60 M.CFA 1-2 ans
ETABLISSEMENT D'ORTHOPHOTO PLANS 1:50 000			120 M.CFA 2 ans	60 M.CFA 1-2 ans

NOTES SUR LES TABLEAUX

Les coûts correspondent à l'établissement de cartes régulières, sur de grandes surfaces (100.000 km²).

Ils sont limités aux opérations de levé, à l'exclusion des travaux de contrôle et de rédaction des cartes.

Dans le Tableau II.2b, les chiffres en mètres (m) correspondent respectivement aux précisions planimétrique/altimétrique.

1.2. Données thématiques de base

1.2.1. Généralités

Les données thématiques de base concernent l'ensemble de l'environnement physique et humain. Parmi ces données, certaines sont utiles au spécialiste de l'eau (hydrologue, hydrogéologue, hydraulicien ...) dans la mesure où elles lui permettent de conduire ses propres travaux. Ce sont en particulier :

- * Les données sur le milieu physique : géologie, géomorphologie, pédologie...
- * Les données sur le milieu végétal : biogéographie, écologie...
- * Les données sur le milieu humain : agriculture, établissements humains, urbanisme, socio-démographie ...
- * Les données climatiques.

Le recueil de ces données repose sur des observations, mesures, enquêtes etc ... qu'il convient d'analyser en vue d'en appréhender les interrelations et d'en déduire l'organisation spatiale. Il en résulte que la carte thématique est bien souvent le produit final essentiel de ces investigations.

La télédétection étant un outil privilégié de l'observation de la terre, les différents spécialistes sont fréquemment amenés à en utiliser les techniques, et ce, à différentes étapes :

- * travaux préliminaires : zonage préliminaire et préparatoire des investigations de terrain,
- * traitements cartographiques : intégration des données de télédétection aux autres données (documentation existante, observations, enquêtes, mesures ...),
- * présentation cartographique : mise au point des cartes définitives.

Les données de télédétection utilisées lors de ces différentes étapes peuvent se présenter sous des formes variées. Le tableau suivant (TABLEAU II.3) fournit un classement schématique des méthodes utilisables en fonction de ces données.

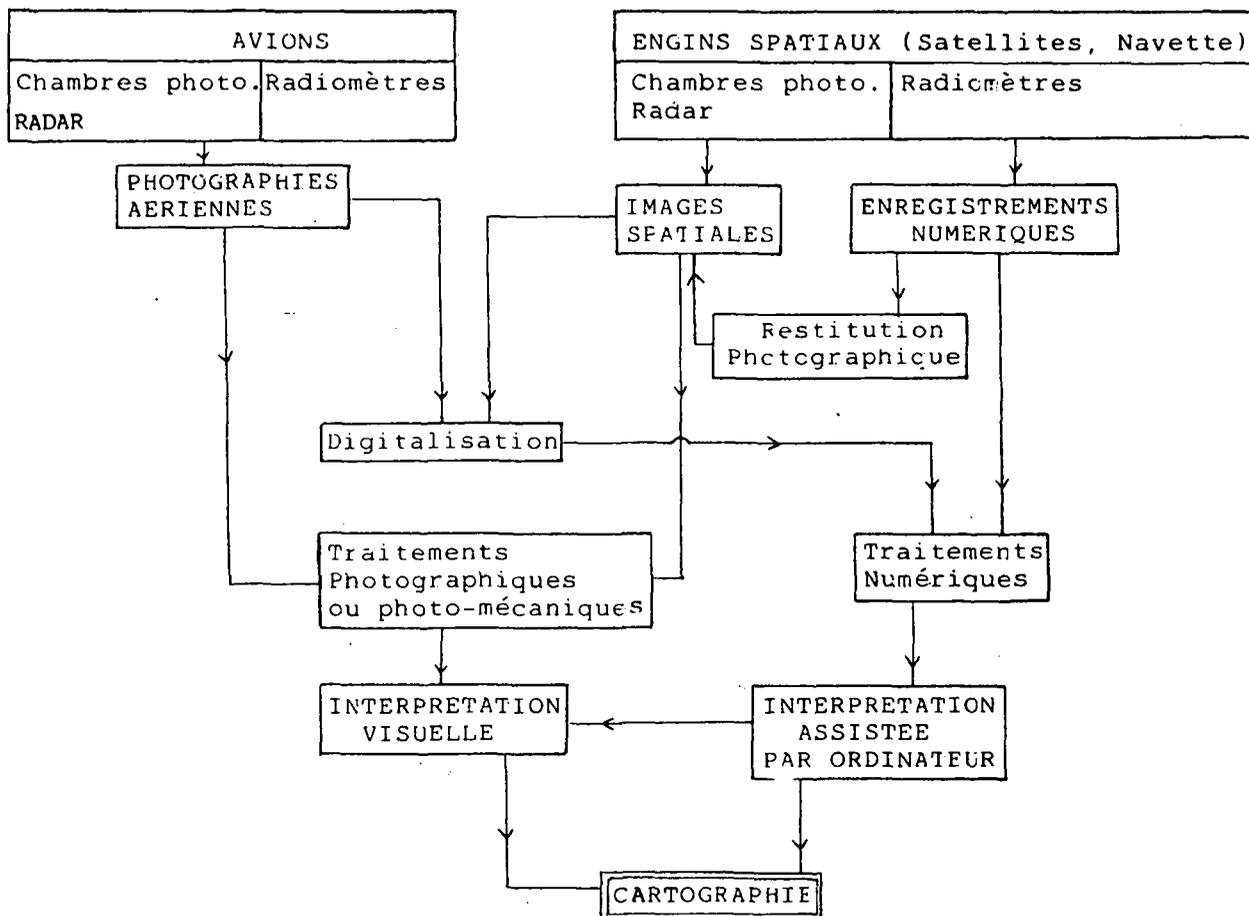
Le Tableau II.3 montre que les données acquises par les différents vecteurs (avions, satellites, navette spatiale ...) se présentent sous forme de produits photographiques (photographies aériennes ou images spatiales) ou numériques (bandes magnétiques, disques souples ...) Au cours des opérations ultérieures, il est possible de passer d'un produit à l'autre par digitalisation de photos ou d'images (Caméra à digitaliser) ou par restitution photographique (restituteur-analyseur).

Il en résulte que, quelques soient les données initiales, celles-ci peuvent être interprétées de façon visuelle (photointerprétation sensu lato) ou à l'aide d'un ordinateur (système de traitement numérique). Il est également possible d'associer les deux méthodes : par exemple, interprétation visuelle d'une image traitée par ordinateur.

Fondamentalement il n'y a donc pas opposition des méthodes d'interprétation entre données aériennes et données spatiales. Les démarches sont parallèles et la différence est surtout liée à des questions d'échelles ou, plus précisément, de résolution spatiale (dimensions minimales du plus petit objet identifiable). Il faut toutefois souligner que les données acquises par des chambres photographiques ou des radars se prêtent plutôt à une interprétation visuelle alors que les données radiométriques (radiomètres multispectraux, radiomètres thermiques ...) peuvent être exploitées de façon optimale au moyen des systèmes informatiques.

Avec le lancement des derniers satellites (LANDSAT Thematic Mapper et SPOT), la frontière entre données aériennes et données spatiales tend encore à se retrécir : la résolution spatiale s'est sensiblement améliorée (10 à 30 mètres) et il est possible de disposer de couples stéréoscopiques permettant la vision du relief (SPOT).

Tableau II.3. - SCHEMA GENERAL DE L'UTILISATION DES DONNEES DE TELEDETECTION



1.2.2. Relations entre échelle des cartes et données de télédétection

Le Tableau qui suit (Tableau II.4) schématise ces relations. Les documents cartographiques ont été classés en trois principales rubriques :

* Cartes thématiques de base : documents scientifiques rigoureux. Ils doivent être calés sur des fonds topographiques précis (précision de 0,1 mm) et les unités cartographiques doivent être établies à partir d'une grille d'analyse de l'ordre de 0,25 cm². Ces cartes sont généralement établies à partir de documents de travail à plus grande échelle et nécessitent un lourd travail de préparation ;

* Cartes thématiques générales : documents d'usage varié, principalement destinés à fournir une information qualitative sur le milieu. Elle ne nécessitent donc pas une précision rigoureuse et les unités cartographiques ont une dimension moyenne de plusieurs cm². Ces cartes peuvent être établies par des méthodes plus légères (généralisation et synthèse de cartes existantes et investigations légères ;

* Cartes thématiques appliquées : cartes spécialisées et orientées sur une application données. Elles peuvent présenter une précision variable selon l'utilisation envisagée. Les unités cartographiques peuvent être généralisées (par ex., carte de reconnaissance) ou détaillées (par ex., carte d'avant-projet).

Comme indiqué dans le tableau, ces différentes cartes peuvent couvrir des champs d'échelle plus ou moins larges.

Les données de télédétection peuvent être adaptées à ces échelles en combinant l'échelle de prise de vue ou d'enregistrement et les possibilités d'agrandissement photographique. Ces possibilités d'agrandissement sont cependant limitées par la résolution spatiale des données de télédétection d'une part, et par la précision requise pour l'interprétation, d'autre part (i.e., dimensions minimales des objets à identifier).

Le choix des données de télédétection et leur mode d'utilisation dépend donc de ces différents paramètres. Il conditionnera ensuite la précision et l'utilisation finale des documents cartographiques produits.

TABLEAU II.4. - RELATIONS ENTRE ECHELLE DES DOCUMENTS CARTOGRAPHIQUES ET DONNEES DE TELEDETECTION

		ECHELLE						
		1:10 000	1:25 000	1:50 000	1:100 000	1:200 000	1:500 000	1:1000 000
TYPES DE DOCUMENTS	UTILISATION							
CARTES THEMATIQUES DE BASE	- Scientifique - Technique - Didactique - etc ..							
CARTES THEMATIQUES GENERALES								
. Cartes de synthèse	- Information générale							
. Inventaires régionaux	- Planification nationale							
. Inventaires sous-régionaux	- Planification régionale							
	- Schémas Directeurs							
CARTES THEMATIQUES APPLIQUEES								
. De reconnaissance	- Pré-factibilité							
. Semi-détaillé	- Factibilité							
	- Evaluation des ressources							
	- Schéma d'aménagement							
. Détaillée	- Avant-Projet sommaire (APS)							
	- Plan d'aménagement							
. Très détaillée	- Avant-Projet détaillé (APD)							
	- Plan d'ouvrages							
PHOTOGRAPHIES								
. Aériennes								
. Spatiales								
IMAGES MULTISPECTRALES								
. Aériennes								
. Spatiales								
- NOAA (AVHRR)								
- LANDSAT (MSS)								
- LANDSAT (TM)								
- SPOT /MOMS-01								
ENREGISTREMENTS								
RADAR								
. Aérien (VARAN, SLAR)								
. Spatial (SAR)								

NOTE SUR LE TABLEAU II.4.

Les plages d'échelles sont indiquées en hachuré ou en aplat noir. Pour les documents thématiques les plages noires indiquent les échelles les plus couramment employées et les plages hachurées, les échelles extrêmes rencontrées.

Pour les données de télédétection, les plages noires indiquent les échelles standard des produits fournis par les distributeurs ; les plages hachurées indiquent les échelles que l'on peut obtenir par traitements photographiques (réduction - agrandissement) ou au moyen de tout autre procédé (optique, informatique, etc ...)

Ces produits englobent les assemblages photographiques obtenus à partir de plusieurs photographies ou images.

1.2.3. Comparaison entre données de télédétection pour l'établissement des cartes thématiques

Le Tableau II.5. permet d'apprécier les avantages respectifs des photographies, des images satellite multispectrales (satellite du type LANDSAT, SPOT, NOAA) et des données spéciales (thermographies et enregistrement radar).

Dans le cas des photographies et des images multispectrales la comparaison porte sur les paramètres suivants :

* Résolution spatiale (Résolution).

Les photographies aériennes permettent d'atteindre des résolutions de l'ordre du décimètre (échelles supérieures à 1:5.000) ce qui est nettement supérieur aux images satellite (10 m au minimum). Les photographies spatiales (Metric Camera, large Format Camera) ont une résolution comparable aux images fournies par les satellites les plus performants (SPOT, LANDSAT TM) ;

* Vision stéréoscopique (Stéréo).

Elle est normalement assurée par les photographies avec des coefficients d'hyperstéréoscopie élevés pour les vues aériennes et faibles pour les vues spatiales.

Certaines images spatiales seulement (SPOT, MOMS 01) permettent d'obtenir une vision stéréoscopique (hyperstéréoscopie variable) : la supériorité de la photographie dans ce domaine n'est donc à prendre en compte qu'en comparaison avec les images satellite standard ;

* Possibilité de choix (Choix).

Il est possible de programmer une prise de vue aérienne spéciale. Ceci permet de disposer de données récentes, à une date donnée. Ceci permet également d'obtenir des données dans les zones tropicales humides à forte couverture nuageuse en effectuant des missions ponctuelles dans les zones dégagées ou par des vols à basse altitude, sous le plafond nuageux. Cette souplesse d'acquisition des données entraîne toutefois des contraintes financières élevées ;

NOTE : Les indications portées entre parenthèse pour chacun des paramètres (Résolution, Stéréo, Choix ...) correspondent aux titres des colonnes (Tableau II.5.)

TABLEAU II.5. - COMPARAISON DES PHOTOGRAPHIES ET DES DONNEES
RADIOMETRIQUES MULTISPECTRALES

CRITERES DE COMPARAISON THEMES A TRAITER	PHOTOGRAPHIES				RADIOMETRES					THERMOGRAPHIE	R A D A R	
	RESOLUTION	STEREO	CHOIX	EMULSION	RADIOMETRIE	SYNOPTIQUE	DATE	REPETITIVITE	NUMERISATION			
GEOLOGIE												
Géologie générale	+	+	-	+	+	+++	++	-	+	+	+	+
Géologie structurale	++	++	-	+	+	++	+	-	+	+	+	++
Géologie minière	++	++	+	-	+	++	+	-	+	+	+	++
Lithologie	++	+	-	++	++	+	+	-	++	+	+	+
Stratigraphie	++	++	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+
Formations superficielles	++	+	+	+	+	-	++	+	++	+	+	+
GEOMORPHOLOGIE												
Géomorpho. régionale	-	++	-	+	++	++	+	+	++	-	-	+
Morpho dynamique	++	++	-	+	++	+	+	+	+	-	-	-
Erosion	+++	++	+	-	+	-	+	++	++	-	-	+
Estimation des pentes	++	+++	-	-	+	-	-	-	+	-	-	++
Morphométrie	++	+++	-	-	+	-	-	-	++S	-	-	-
PEDOLOGIE												
Pédologie régionale	+	++	-	++	++	++	+	-	++	+	+	+
Pédogénèse	++	++	+	++	++	+	+	+	+	+	+	+
Morpho-pédologie	+	+++	-	++	++	+	+	+	+	-	-	+
Aptitudes des sols	+	++	+	+	++	-	++	+	+	+	+	+
Hydromorphie	+	++	++	++	+++	-	++	++	++	++	++	++
BIOGEOGRAPHIE												
Physiographie	+	+	-	++	++	+++	++	++	++	+	+	+
Ecosystèmes	+	+	-	++	++	++	++	++	++	+	+	-
Botanique	+++	++	+	++	++	+	++	+	+	-	-	-
Sylviculture	++	+	+	++	++	+	+	+	+	-	-	-
Biomasse	-	-	++	++	++	++	++	++	++	+	+	-
AGRICULTURE												
Zones cultivées	+	+	+	+	++	+	++	+	++	+	+	-
Agrosystèmes	++	+	+	+	++	+	++	++	+	-	-	-
Types de cultures	++	+	++	++	+++	-	++	+++	++	+	-	-
Etat des cultures	+++	+	+	++	+++	-	++	++	+	++	-	-
ETABLISSEMENTS HUMAINS												
Inventaires généraux	+	+	-	+	+	++	+	-	+	-	-	-
Typologie de l'habitat	++	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-
Zonage urbain	++	+	+	+	++	-	+	-	+	-	-	-
Etudes censitaires	+++	+	++	-	+	-	+	-	-	-	-	-
Aménagement urbain	++	++	+	+	++	-	+	+	+	+	+	-
Architecture	+++	++	++	-	-	-	+	-	-	-	-	+
DIVERS												
Phénomènes atmosphériques	-	-	++	++	++	++	++	++	++	++	++	-
Peux de brousse	+	-	++	+	++	+	++	++	++	+	+	-
Comptage d'animaux	++	+	++	-	+	+	++	++	+	+	+	+

*** Émulsions spéciales (Emulsion)**

Il est possible de disposer d'émulsions spéciales (couleur naturelle, infra-rouge noir et blanc ou couleur) qui permettent, en complément des émulsions standard (panchromatique noir et blanc), de disposer d'informations supplémentaires (cf. Tableau II.6) et d'approcher ainsi les possibilités offertes par les images multispectrales.

Cependant, il est exceptionnel de disposer d'une mission aérienne régulière avec ce type d'émulsion et il est donc le plus souvent nécessaire de programmer une mission spéciale. En outre, les infrastructures disponibles actuellement en Afrique ne permettent pas de réaliser de telles missions et il est donc nécessaire de faire appel à des organismes étrangers, d'où un coût souvent prohibitif ;

*** Information radiométrique (Radiométrie)**

Les images multispectrales acquises par avion ou engin spatial offrent une gamme de canaux étendus (3 à plus de 10 canaux selon les capteurs). Ce type de données permet de fournir des informations spécifiques très utiles à l'interpréteur pour l'identification des objets. Des traitements simples permettent d'obtenir des données synthétiques multispectrales en couleur (compositions colorées, équidensités, index de végétation ...)

*** Vision synoptique (Synoptique)**

Les images spatiales couvrent de larges zones, de 3600 km² (SPOT) à plusieurs millions de km² (NOAA, METEOSAT), contre des superficies sensiblement inférieures au millier de km² dans le cas des photographies aériennes. Ce champ élargi permet d'apprécier la continuité des formations ou encore de comparer directement des zones éloignées et ce, quasiment au même instant.

Il est également utile de rappeler que cette vision synoptique à haute altitude a également l'avantage de présenter une image peu déformée du point de vue géographique ;

*** Choix de la date d'acquisition (Date)**

Les images satellites sont acquises depuis plus de 10 ans (1972 pour LANDSAT 1) avec une fréquence de quelques minutes (30 mn pour METEOSAT) à moins d'un mois (26 jours en configuration normale pour SPOT). Ceci offre une grande latitude dans le choix des dates d'acquisition et autorise les interprétations ou traitements diachroniques (comparaison entre dates différentes) ;

*** Répétitivité des enregistrements (Répétitivité)**

Avantage corollaire du précédent, il permet de disposer de données plus ou moins rapprochées, donc de suivre l'évolution de certains phénomènes. Ceci a en outre l'avantage de permettre de s'affranchir plus ou moins des contraintes dues aux conditions de visibilité (nuages, brume ...) en établissant des images composites multitudes sur une période de référence (par ex., index de Végétation Normalisé obtenu à partir des données NOAA-AVHRR) ;

*** Traitements numériques par Ordinateur (Numérisation).**

Les traitements numériques permettent d'exploiter à fond l'information radiométrique fournie par les capteurs multispectraux. Ils

permettent également d'optimiser l'information, de rectifier les déformations géométriques, etc ..; (cf. Chap.I ; 3.1.2.1). Il s'agit là d'un puissant outil d'aide à l'interprétation et à la cartographie. Cet avantage s'accompagne toutefois de contraintes techniques et financières. Les données numériques coûtent cher, de même que le matériel informatique (ou le coût horaire de traitement). La disponibilité de ces matériels est encore actuellement très limitée en Afrique. Les logiciels de traitement, bien qu'en constant développement, restent encore souvent au stade expérimental.

Le tableau indique également les avantages relatifs des thermographies (Thermo) et des enregistrements radar (Radar) en fonction des différentes utilisations. Dans le cas des enregistrements radar il s'agit d'avantages spécifiques, outre l'avantage général d'enregistreur tout temps offert par ce type de capteur.

NOTE SUR LE TABLEAU II.5.

Les critères portés dans le Tableau sont notés selon 4 niveaux :

- *intérêt nul ou négligeable ;*
- + *faible intérêt ou intérêt limité à certains cas ;*
- ++ *intérêt sensible : ce type de données est bien adapté au thème*
- +++ *intérêt très net : ce type de donnée est d'un apport particulièrement intéressant pour le thème.*

Ce tableau prend en compte les principaux types de capteurs existants (chambres photographiques, radiomètres, radiomètres thermiques ou micro-ondes et radar). Ces capteurs peuvent être embarqués sur tous types de vecteurs (terrestre, aérien, spatial particulier en ce qui concerne la résolution spatiale, la vision synoptique et la répétitivité.

Le Tableau II.6. se propose de comparer les performances des produits offerts par les principaux systèmes d'acquisition de données de télédétection : prise de vue aérienne et imagerie spatiale. La consultation des Tableaux II.5. et II.6. doit permettre à l'utilisateur de faire un choix raisonné des produits à acquérir en fonction des résultats recherchés.

TABLEAU II.6 - INTERPRETATION THEMATIQUE : COMPARAISON DES PHOTOGRAPHIES ET DES IMAGES SATELLITES

PRODUITS DE TELEDETECTION THEMES A TRAITER	PHOTOGRAPHIES				IMAGES SATELLITE						
	P	C	IR	IRC	P	V/J	O/R	R/IR	PIR	CC	IRT
GEOLOGIE											
Géologie régionale	++	+	+	+++	++	+	++	+	+	+++	+
Géologie structurale	++	+	++	+++	++	+	+	++	++	+++	++
Lithologie	+	++	+	++	+	-	+	+	+	++	+
Stratigraphie	+	+	+	++	+	+	+	+	+	++	+
Formations superficielles	++	+	+	+++	++	+	++	++	+	+++	+
Géologie minière	+	+	+	++	+	+	+	+	+	++	++
GÉOMORPHOLOGIE											
Géomorpho-régionale	++	+	++	+++	++	+	++	++	++	+++	-
Morphodynamique	+++	+	++	+++	+	+	+	+	+	+	-
Erosion	++	+	+	++	+	-	+	-	-	++	+
Estimation des pentes	+++	+	-	+	++S	-	+	-	-	+	-
Morphométrie	+++	+	-	+	+S	-	+	-	-	+	-
PÉDOLOGIE											
Pédologie régionale	++	++	++	+++	++	+	++	++	++	+++	++
Pédo-génèse	+	+	+	++	+	+	+	+	+	++	+
Morpho-pédologie	++	+	+	++	+S	-	+	-	-	++	-
Aptitude des sols	+	+	+	++	+	-	+	-	+	++	-
Hydomorphie	+	+	++	+++	+	-	+	-	+	++	++
BIOGEOGRAPHIE											
Physiographie	++	++	+	+++	+	+	++	+	+	+++	+
Ecosystèmes	+	++	+	+++	++	++	+	+	++	+++	+
Botanique	+	+++	+	+++	+	+	-	-	+	++	-
Sylviculture	++	+++	+	+++	+	-	+	-	-	++	++
Biomasse	+	++	+	++	+	-	+	-	+	+	-
AGRICULTURE											
Zones cultivées	++	+	+	+++	++	++	++	+	++	+++	-
Agroécosystèmes	++	+	+	+++	++	++	+	-	++	++	-
Types de cultures	++	++	+	++	+	+	+	-	+	++	-
Etat des cultures	+	+	+	++	+	+	-	-	+	+	++
ETABLISSEMENTS HUMAINS											
Inventaires généraux	++	+	+	++	++	++	++	+	++	++	-
Typologie de l'habitat	+++	++	+	++	+	-	+	-	-	+	-
Zonage urbain	++	+	+	++	++	-	-	-	-	+	-
Etude censitaire	++	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-
Aménagement urbain	++	+	+	++	+	-	+	-	+	++	-
Architecture	++	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIVERS											
Phénomènes atmosphériques	+	-	-	-	++	++	+	-	-	+	+
Feux de brousse	+	+	++	++	+	+	+	+	+++	++	-
Comptage d'animaux	++	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-

S : Images stéréoscopiques de SPOT.

NOTE SUR LE TABLEAU II.6.

Les produits photographiques sont les suivants :

- P : Photographie panchromatique noir et blanc*
- C : Photographie couleur naturelle*
- IR : Infra-rouge noir et blanc*
- IRC : Infra-rouge couleur.*

Les images satellite correspondent aux données suivantes :

- P : enregistrements panchromatiques fournis par le système RBV (LANDSAT 3) ou le canal P de SPOT.*
 - V/J : canal "vert-jaune" (500 à 600 nm)*
 - O/R : canal "orangé-rouge" (600 à 700 nm)*
 - R/IR : canal "rouge-proche infra-rouge" (700 à 800 nm)*
 - PIR : canal "proche infra-rouge" (800 à 1100 nm)*
 - CC : Composition Colorée type IRC (combinaison V/J, O/R et PIR)*
 - IRT : canaux "infra-rouge thermique" (1,5 à 12,5 microns)*
- Les canaux correspondant aux différents satellites sont donnés au Chapitre I (Tableau I.)*

Une notation est attribuée selon 4 niveaux :

- intérêt nul ou négligeable ;*
- + faible intérêt ou intérêt limité à certains cas ;*
- ++ intérêt sensible : ce type de données est bien adapté au thème*
- +++ intérêt très net : ce type de donnée est d'un apport particulièrement intéressant pour le thème.*

1.2.4. Relations entre les données de télédétection et les objets interprétés

L'interprétation thématique repose sur l'identification des objets puis sur l'étude des relations entre ces objets et enfin, sur la répartition des groupes d'objets dans l'espace et/ou dans le temps. Il s'agit donc d'une démarche complexe reposant sur une analyse orientée des données de télédétection (photographies, images, données traitées ...) puis sur une synthèse intégrant aussi bien d'autres types de données que le savoir-faire de l'interpréteur.

L'étape d'analyse des données consiste essentiellement à définir des faciès représentatifs d'objets ou groupe d'objets. Par extension, on parle de photo-faciès, qu'il s'agisse de l'interprétation de photographies, d'images satellite ou du résultat d'un traitement numérique.

La photo-faciès est caractérisée par des aspects de tonalité (niveau de gris), de teinte, de texture (agencement des tonalités ou teintes), de structure (dimensions et formes) et de situation spatiale. Dans un premier temps, il n'est pas nécessairement identifié de façon formelle : l'interprétation préliminaire peut être limitée à l'établissement d'une carte des photo-faciès qui servira de document de base au thématicien pour ses travaux ultérieurs.

TABLEAU II.7. - REponses spectrales de différents types d'objets

TYPE D'OBJETS	ETAT	COULEUR	N & B	I R	IRC /CC	V/J	O/R	PIR	OBSERVATIONS
ROCHES									
Granite	Affleurant	Gris clair	Gris	Gris clair	Jaunâtre	Gris clair	Gris clair	Gris clair	Plus sombre si patine
Basalte	Affleurant	Brun foncé	Gris foncé	Gris foncé	Vert foncé	Gris foncé	Gris foncé	Gris foncé	
Dolérite	Affleurant	Brun	Gris foncé	Gris	Vert foncé	Gris foncé	Gris	Gris foncé	Souvent en filons
Migmatites	Affleurant	Jaunâtre	Gris	Gris	Vert jaunâtre	Gris	Gris	Gris	Parfois lité
Grès	Affleurant	Blanc à rou-geâtre	Blanc à gris foncé	Blanc à gris	Jaune à vert foncé	Gris à gris foncé	Gris	Gris foncé	Plus foncé si riche en fer
Calcaire	Affleurant	Brun jaune	Gris	Gris clair	Cyan à vert	Gris foncé	Gris	Gris à gris clair	
Dépôts cuirassés	Affleurant	Rouge foncé	Gris foncé	Gris très foncé	Cyan foncé	Gris	Gris foncé	Gris foncé	Très sombre si manganèse
Alluvions	Sèche	Jaune clair	Gris olanc	Gris	Jaune clair	Gris blanc	Gris clair	Gris clair	Plus sombre si humide
SOLS									
Sol éolien	Sol nu sec	Blanc à rosâtre	Gris clair à gris	Blanc à gris	Blanc à brun	Gris blanc à gris	Gris clair	Gris blanc à gris foncé	Plus foncé si ferrugineux
Sol ferrugineux tropical	Sol nu sec	Ocre clair	Gris clair	Gris blanc à gris clair	Bleu clair à blanc	Gris blanc	Gris clair	Gris blanc	Plus foncé si humide
Sol ferrugineux remanié	Sol nu sec	Brun à brun foncé	Gris à gris foncé	Gris foncé	Cyan à vert foncé	Gris clair	Gris clair	Gris à gris foncé	Plus foncé si gravillons nombreux
Sol rouge ferrallitique	Sol nu sec	Rouge vif à rouge foncé	Gris clair à gris	Gris à gris foncé	Jaune à vert	Gris	Gris à gris clair	Gris à gris foncé	Plus clair si appauvri
Sol argileux vertique	Sec à humide	Ocre à brun foncé	Gris clair à gris noir	Gris clair à gris foncé	Jaune clair à brun vert	Gris clair à gris foncé	Gris à gris noir	Gris clair à gris foncé	Variations importantes selon humidité
VEGETATION									
Herbacée dense	Active	Vert	Gris à gris clair	Blanc à gris clair	Magenta à gris rouge	Gris	Gris foncé	Gris clair à blanc	Prairies et savane herbeuse
	Sèche	Jaune clair	Gris clair	Gris	Brun rouge à jaune	Gris clair	Gris clair	Gris à gris clair	
Ligneuse dense Plantation perenne	Active	Vert à vert foncé	Gris à gris noir	Gris clair à blanc	Magenta à brun rouge	Gris à gris foncé	Gris à gris très foncé	Gris clair à très clair	Forêt dense Galerie forestière
	Sèche	Vert jaunâtre	Gris à gris clair	Gris à gris clair	Cyan clair à jaune blanc	Gris	Gris à gris foncé	Gris	Savane dense (saison sèche)
Hygrophyle	Active	Vert à vert clair	Gris clair à foncé	Blanc à gris très clair	Rouge à rose	Gris	Gris foncé	Blanc à gris clair	Marais, bourgou-tières ...
CULTURES									
Pluviale	Active	Vert clair à vert	Gris clair à gris	Gris très clair à clair	Rouge à magenta	Gris	Gris à gris foncé	Gris clair à très clair	Pleine saison des pluies
	Maturation	Jaune à brun jaune	Gris à gris clair	Gris à gris très clair	Jaune à blanc	Gris à gris clair	Gris	Gris clair à gris	Réponse variable selon le sol
	Après récolte	Ocre rouge à jaune blanc	Gris à gris blanc	Gris à blanc	Cyan clair à blanc	Gris clair à gris	Gris à gris clair	Blanc à gris	Réponse de sol nu

TABLEAU II.7. - REPONSES SPECTRALES DE DIFFERENTS TYPES D'OBJETS (Suite)

TYPE D'OBJETS	ETAT	COULEUR	N & B	IR	IRC/CC	V/J	O/R	PIR	OBSERVATIONS
CULTURES									
Irriguée	Stade initial (très humide)	Gris verdâtre	Gris à gris clair	Gris foncé à noir	Bleu à cyan clair	Gris à gris très clair	Gris à gris foncé	Gris foncé à noir	Bassin d'irrigation: sol nu saturé
	Active	Vert à vert clair	Gris à gris clair	Blanc à gris très clair	Rouge vif à rose	Gris à gris foncé	Gris foncé à noir	Gris très clair à blanc	Canne à sucre, rizières ...
	Maturation	Jaune	Gris clair	Gris	Orange brun à jaune	Gris à gris clair	Gris	Gris	Souvent hétérogène
Brûlis	Feux récents	Noir à gris très foncé	Noir	Noir	Noir à cyan très foncé	Gris foncé	Gris foncé	Noir	
	Feux anciens	Brun foncé	Gris foncé	Gris foncé à noir	Cyan à vert foncé	Gris foncé	Gris très foncé	Gris noir	Aspects variables selon milieu
INFRASTRUCTURES									
Habitat traditionnel	Zone rurale	Ocre clair à ocre vif	Gris clair	Gris clair à blanc	Bleu clair à blanc	Gris clair	Gris clair	Gris clair à blanc	Réponse de cases et sol nu compact
Constructions	Zone urbaine ou industrielle	Blanc à ocre foncé	Blanc à gris clair	Gris clair	Cyan à vert	Gris clair à blanc	Gris clair	Gris clair à gris	Aspect hétérogène (tacheté)
Piste	Sèche	Blanc à ocre clair	Blanc à gris clair	Blanc à gris clair	Blanc à cyan clair	Blanc à gris clair	Gris clair	Gris clair	Sol nu compact
Route revêtue		Gris à bleu noir	Gris très clair foncé	Gris très foncé à noir	Bleu noir à noir	Gris	Gris	Noir	Teinte variable en panchromatique

Couleur : Couleur naturelle - N&B : panchromatique noir et blanc - IR : infra-rouge noir et blanc - IRC/CC : infra-rouge couleur/composition colorée - V/J : canal vert-jaune - O/R : canal orange-rouge - PIR : canal proche infra-rouge.

Le Tableau II.7. présente les principaux types de réponse spectrale (tonalité et teinte) obtenus pour les objets les plus couramment rencontrés en zone inter-tropicale.

Les traitements numériques ont pour but d'automatiser l'opération de reconnaissance des objets à partir de leur signature spectrale. La rapidité des ordinateurs permet de traiter un nombre très élevé de variables (les valeurs radiométriques des pixels) dans des espaces à n dimensions (3 à 7 canaux pour les images satellite). Certains traitements permettent d'intégrer des données de terrain (parcelles de référence).

Les recherches actuelles s'intéressent à l'analyse des formes (textures et structures) mais il est encore difficile d'obtenir un document élaboré dans le cas d'études thématiques complexes.

Il est plus réaliste de se limiter aux traitements classiques (filtrage, classifications ...) et de compléter le travail par une interprétation visuelle.

Les traitements numériques sont particulièrement intéressants lorsqu'il est nécessaire de traiter de vastes zones ou lorsqu'il s'agit d'effectuer le même type d'opération à intervalle régulier (monitoring). Une fois mis au point sur des zones tests, les traitements permettront alors de réaliser des travaux qui se révéleraient extrêmement fastidieux par des méthodes traditionnelles.

D'une manière générale, l'interprétation, qu'elle soit visuelle ou assistée par un ordinateur, est limitée aussi bien du point de vue qualitatif que du point de vue quantitatif. Qualitativement, l'identification repose sur une image superficielle de l'objet : cette limitation est particulièrement contraignante en géologie et en pédologie où les objets analysés sont en bonne partie souterrains. Quantitativement il existe une limite d'échelle, en fonction de la résolution spatiale (en particulier dans le cas des données spatiales, ou une limite de discrimination des teintes ou des tonalités (en particulier dans le cas de l'interprétation visuelle de documents noir et blanc).

L'art de l'interprétation consiste en bonne partie à aller au-delà de ces limites tout en indiquant quelle est la part d'hypothèse et donc d'imprécision dans les résultats qui sont fournis. Il en résulte que l'interprétation des données de télédétection ne doit pas être isolée de la méthode générale de recueil des données (cf.1.1.1 - Généralités).

Selon les cas, l'utilisation des techniques de télédétection permettra d'alléger plus ou moins les autres investigations.

A titre d'exemple, le gain de temps obtenu par la télédétection dans le cas des prospections pédologiques est le suivant (d'après P.BURINGH), cf. Tableau II.8.

TABLEAU II.8. - GAIN DE TEMPS OBTENU PAR TELEDETECTION DANS LES PROSPECTIONS PEDOLOGIQUES

ECHELLE DE LA CARTE	1:10 000	1:25 000	1:50 000	1:100 000
GAIN DE TEMPS	10 %	25 %	70 %	75 %

1.2.5. Aspects financiers

Le Tableau suivant donne les coûts moyens pour l'acquisition des produits les plus courants.

NOTE SUR LE TABLEAU II.9.

Les coûts N&B (Noir et Blanc) se rapportent aux photographies panchromatiques et infra-rouge noir et blanc ainsi qu'aux images restituées à partir d'un canal unique. La couleur s'applique aux photographies IRC et Couleur Naturelle ainsi qu'aux compositions colorées multispectrales.

La rubrique mission s'applique au coût d'une couverture aérienne ou, dans le cas de LANDSAT, au supplément prévu pour une programmation du satellite (acquisition spéciale).

Le terme CCT correspond aux prix des bandes magnétiques (Compatible Computer Tape), pour le traitement numérique des images.

Le coût de l'interprétation correspond à l'établissement des photo-faciès à partir d'une interprétation visuelle des photographies ou images satellite.

Le coût du traitement correspond à un traitement numérique de type classification supervisée, sur la base d'un prix ordinateur de 1.200 F.CFA la seconde.

Les coûts indiqués sur le Tableau II.9. sont des estimations moyennes. Ils peuvent être sujets à des variations sensibles selon les conditions et ils doivent être considérés avant tout comme repères de comparaison.

TABLEAU II.9. - COUT MOYENS DES DONNEES DE TELEDETECTION

(Millions de Francs CFA pour 100 000 km² au 01.01.85)

PRODUITS	N & B	COULEUR	MISSION	CCT	INTERPRETATION	TRAITEMENT NUMERIQUE
Photos 1:25 000	20	50	200	-	125	-
Photos 1:50 000	5	12	60	-	35	-
Photos 1:100 000	1,5	3	40	-	12,5	-
Photos 1:800 000	0,1	0,25	-	-	0,8	-
LANDSAT MSS	0,24	0,9	0,75	1	1	0,6
LANDSAT TM	0,4	1,3	2,5	5	1,5	5
SPOT	1,2	3,65	-	13,3	3,75	7,5

1.3. Données sur l'eau (Hydrologie, Hydrogéologie)

1.3.1. Hydrologie fluviale (domaine terrestre)

En télédétection, le domaine de l'hydrologie fluviale concerne plus particulièrement la mise en évidence des eaux de surface, la détermination de certaines propriétés physico-chimiques et la caractérisation du régime hydrologique des cours d'eau.

a) Mise en évidence des eaux de surface

Dans le domaine terrestre ou continental, les eaux de surface se répartissent dans les cours d'eau permanents ou temporaires, les lacs, les mares, les dépressions endoréiques (chotts, sekhas en période de crue, dans les zones inondées.

La télédétection permet, dans certaines conditions, de différencier et de cartographier les surfaces occupées par l'eau. Il en résulte des applications pratiques dans les domaines suivants :

- . Suivi des cours d'eau,
- . Inventaire des plans d'eau (lacs, mares, retenues ...),
- . Inventaire des zones inondées,
- . Suivi des plans d'eau et plus particulièrement de "réservoirs-témoins" (suivi hydro-climatique),
- . Etablissement des courbes de calibration des plans d'eau (courbes hauteur-surface-volume) en remplacement des méthodes topo-bathymétriques.

Le Tableau II.10. fournit des indications sur la réponse de l'eau en fonction de ses différents aspects et pour différents types de capteurs.

TABLEAU II.10. - REponses du thème "EAU" EN FONCTION DES DONNEES DE TELEDETECTION

CARACTERISTIQUES DE L'EAU	PANCHRO	COULEUR	IR	IRC/CC	V/J	O/R	R/IR	PIR	IRT	RADAR
Eau claire calme	Gris clair à moyen	Bleu clair	Noir	Noir	Gris clair à gris	Gris	Gris	Noir	Homogène	Noir
Eau claire agitée	Gris	Bleu	Noir	Noir	Gris	Gris	Gris	Noir	Plus foncé	Gris
Eau turbide (boueuse)	Gris clair	Ocre	Noir	Cyan à cyan clair	Gris clair	Gris clair	Gris	Noir	Plus clair	Gris à noir
Eau polluée (micro-organisme, chlorophylle)	Gris clair	Vert	Gris foncé	Bleu	Gris clair	Gris	Gris	Gris foncé	Plus clair	Noir
Eau peu profonde	Gris clair hétérogène	Vert hétérogène	Gris foncé	Cyan plus ou moins foncé	Gris clair	Gris clair	Gris	Gris foncé à noir	Plus clair	Noir
Végétation aquatique flottante	Gris foncé	Vert clair tacheté	Gris clair à blanc	Rose clair	Gris à gris foncé	Gris foncé à noir	Noir	Gris clair à blanc	Plus clair	Gris
Végétation aquatique immergée	Gris foncé	Bleu à cyan	Gris foncé	Rouge foncé hétérogène	Gris	Gris	Gris	Gris foncé	Homogène	Noir

NOTE SUR LE TABLEAU II.10.

Les données de télédétection correspondant aux "produits" les plus courants :

- . Panchro (panchromatique noir et blanc) pour les photographies ou les images de type RBV (LANDSAT) ou à large bande dans le visible (canal P de SPOT)
- . Couleur pour les photographies en couleur naturelle
- . IR pour les photographies infra-rouge noir et blanc
- . IRC/CC pour les photographies infra-rouge couleur ou les compositions colorées multispectrales
- . V/J, O/R, R/IR et PIR pour les restitutions noir et blanc des bandes vert-jaune (500-600 nm), orangé-rouge (600-700 nm), rouge-rouge (700-800 nm) et proche infra-rouge (800-1100 nm)
- . IRT pour les restitutions noir et blanc des canaux infra-rouge thermique
- . RADAR pour les restitutions des images radar.

Les réponses sont données sous forme de tonalité (blanc à noir) ou de teinte. Dans le cas de l'infra-rouge-thermique (IRT) il s'agit d'une appréciation relative par rapport à une tonalité homogène de référence : les eaux plus chaudes sont plus claires et les eaux plus froides sont plus foncées.

Les réponses soulignées correspondent au cas où la donnée est particulièrement intéressante pour traiter le thème correspondant. Par exemple, détection des prairies d'algues (végétation aquatique immergée) au moyen des photographies infra-rouge ou des compositions colorées.

Le radiomètre Thematic Mapper de LANDSAT comprend en outre certains canaux supplémentaires utiles à l'analyse du thème eau. Il s'agit en particulier du canal 1 (bleu) pour l'appréciation de la bathymétrie et des canaux infra-rouge moyen à lointain (bandes 5 à 7) pour l'étude de la pollution et la détermination des variations de température.

Les données infra-rouge couleur ou les compositions colorées permettent de distinguer l'eau sous toutes ses formes. Dans de nombreux cas, les données fournies par les émulsions IR ou le seul canal PIR sont suffisantes. Des difficultés peuvent toutefois subvenir en présence de végétation aquatique flottante ou de berges argileuses gorgées d'eau. Dans un cas le plan d'eau n'est pas détectable (sous-évaluation de la superficie) et dans l'autre il peut être surestimé. Ces contraintes sont contournables par l'analyse des relations avec le milieu environnant et, dans le cas des photographies aériennes, par l'analyse du relief.

En région tropicale, les cours d'eau sont fréquemment bordés par une forêt dense hygrophyle (forêt ripicole ou forêt galerie) qui masque le lit mineur. Il en résulte des contraintes pour la cartographie précise du réseau hydrographique ou pour le suivi hydrologique. Ces investigations sont limitées aux grands cours d'eau (plaines alluviales) ou aux régions Soudano-Sahéliennes à Sahéliennes (par exemple, delta central du fleuve Niger).

Les traitements numériques permettent de distinguer aisément le thème eau, dans les conditions habituelles. Les classifications obtenues à partir d'un histogramme bidimensionnel permettent d'automatiser la cartographie des surfaces occupées par les différents types d'eau (eau claire, eau turbide ...). La figure II.1. donne des exemples de tels histogrammes.

Ces histogrammes montrent que les thèmes eau sont bien discernables. La précision de ce type d'analyse permet également de distinguer plus aisément les thèmes végétation aquatique ou sols très humides. Seuls les brûlis récents peuvent être facilement confondus, dans les cas de feux tardifs dans les bas-fonds.

b) Propriétés physico-chimiques des eaux

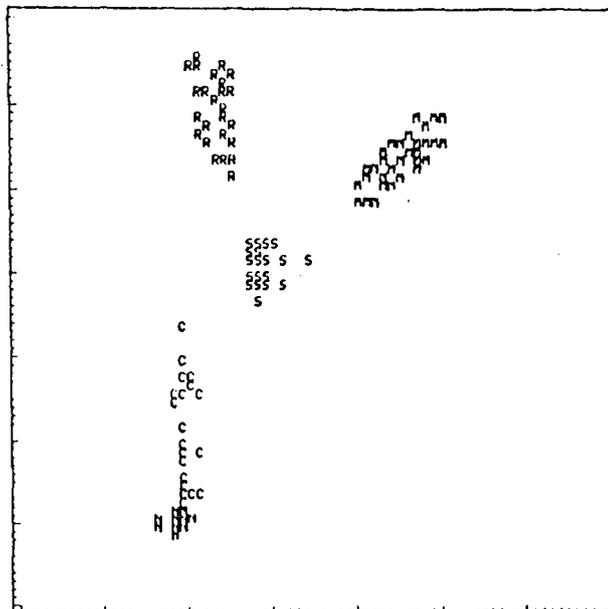
Le Tableau II.10. présenté précédemment fournit déjà certains éléments qualitatifs (eau polluée, eau turbide ...). Les techniques de télédétection permettent en effet d'apprécier, voire de mesurer certaines propriétés :

- . **Température** : elle peut être mesurée de façon relative (variations de température) avec une précision de quelques dixièmes de degré au moyen des enregistrements thermographiques. Les thermographies, présentées sous forme d'équidensités noir et blanc ou colorées permettent de dresser des cartes de température de l'eau lorsque l'on dispose de mesures thermométriques simultanées.
Les principales applications sont la lutte contre la pollution (déversement d'eau polluée ou d'effluents), la détection du dégazage en mer, la pêche (recherche des zones de plancton), la recherche de rejets d'eau douce en mer ...
- . **Turbidité** : les matières solides en suspension sont détectables sur les photographies panchromatiques, couleur ou infra-rouge couleur ainsi que sur les images des canaux visibles (vert, orangé-rouge) ou sur les compositions colorées. De même les eaux chargées en micro-organismes (algues ...) peuvent être distinguées par leur coloration (cf. Tableau II.10).
- . **Salinité** : les photographies infra-rouge, les thermographies et les images radar ont des réponses modifiées par le degré de salinité de l'eau.

c) Caractérisation du régime hydrologique

Le régime hydrologique des cours d'eau et des plans d'eau (mares, lacs, retenues artificielles) est généralement assuré par un réseau de stations limni métriques. Cependant celles-ci ne donnent qu'un relevé ponctuel sur des sites parfois très éloignés et par suite de différents incidents, il peut advenir des hiatus dans les mesures. De plus, les stations sont le plus souvent rattachées à des zones limitées (lits des vallées, dépressions lors de certains événements hydrologiques (crues exceptionnelles en particulier)..

Niveau de radiance dans le proche infra-rouge

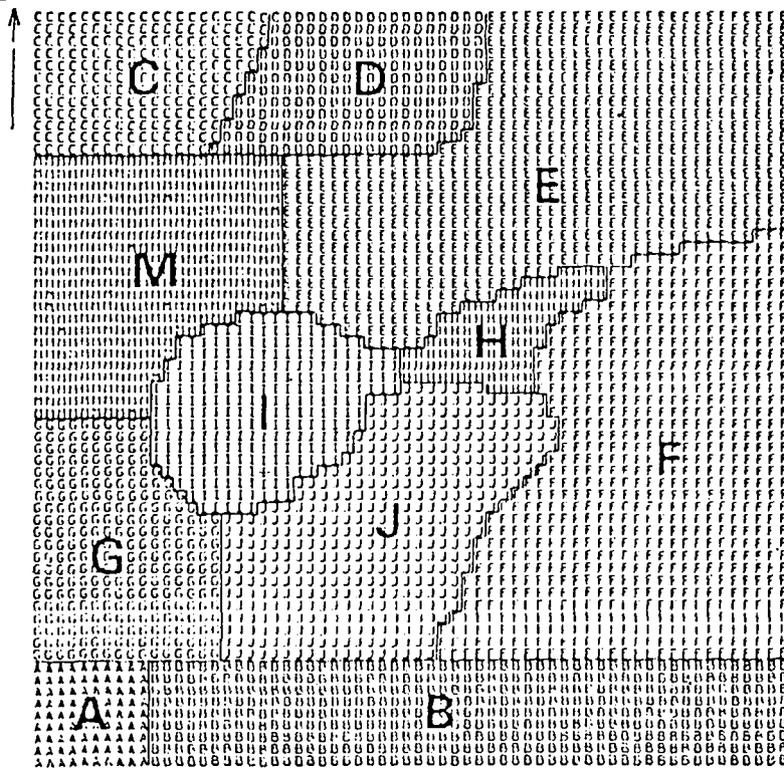


C, N : eau
 S : savanne
 R : riz
 M : cultures sèches

Niveau de radiance dans le rouge

Figure II. 1a Classification selon niveaux de radiance dans le rouge et l'infra-rouge des canaux Landsat (CCR, Mali).

CP₂



A : eau profonde, lacs rivières
 B : eau turbide
 C : forêt semi-dense
 D : forêt ouverte
 E : zones défrichées à couvert arboré dense
 F : riz avec qq arbres et sols nus
 G : riz avec nbreux arbres et sols nus humides
 H : riz avec arbres moyennement denses
 I : riz avec arbres denses
 J : riz avec qq arbres et sols à ressuyage lent

CP₁

Figure II. 1b Répartition des valeurs radiométriques dans le plan des deux premières composantes d'une analyse en composantes principales. (Données Landsat MSS, Thaïlande)

Les données de télédétection permettent de suivre la répartition des surfaces occupées par l'eau au cours du temps. Ce suivi peut se situer à deux niveaux :

- . Suivi détaillé et précis de sites témoins à partir de prises de vues aériennes (missions de prise de vue ou vols basse altitude) ;
- . Suivi synoptique sur de vastes zones à partir de l'imagerie spatiale.

Les opérations de suivi par télédétection permettent de mesurer deux paramètres : la bathymétrie et la superficie des zones occupées par l'eau (cours d'eau, plans d'eau, zones inondées).

La bathymétrie peut être estimée de façon approchée par différents instruments :

* Radiomètres : ils permettent surtout une approche qualitative (détermination de classes de profondeur), en particulier à partir de données panchromatiques ou des enregistrements dans le canal orangé-rouge (700 à 800 nm). Dans ce dernier cas les traitements du type équidensité colorée permettent d'automatiser en bonne partie les opérations.

La Figure II.2. illustre la bonne corrélation obtenue entre la réponse du canal orangé-rouge et l'épaisseur de la lame d'eau dans une rizière du delta central nigérien (d'après travaux du CCR-ISPRA).

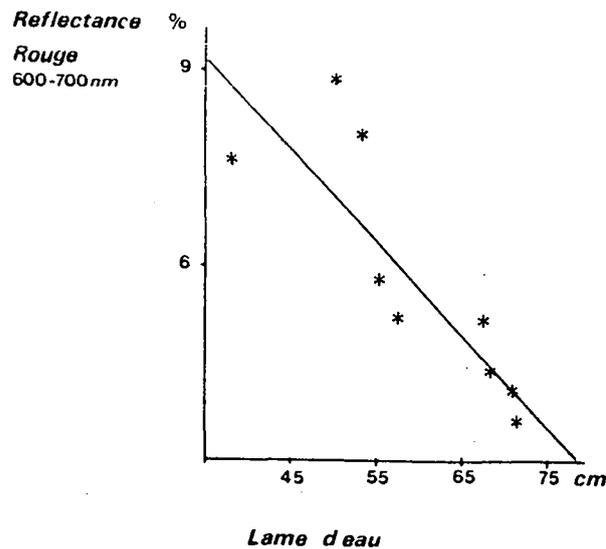


Figure II.2 Réflectance dans le rouge en fonction de l'épaisseur de la lame d'eau. (CCR. Delta Central Nigérien)

* Des mesures plus précises peuvent être obtenues à partir du radar-altimètre (bathymétrie marine par mesure de la longueur d'onde des vagues) ou par laser.

La superficie des zones occupées par l'eau peut être obtenue après cartographie et planimétrage sur différents documents de télédétection (photographies et images spatiales) ou par traitement numérique, celui-ci fournissant directement le nombre de "pixels eau" et donc la superficie concernée.

Les contraintes liées à la modification ou à l'obturation de la réponse spectrale de l'eau ont déjà été mentionnées (cf. 1.3.1.a). Il existe également une limite liée à la précision de la mesure des dimensions des plans d'eau (longueur et surface) en fonction de la résolution spatiale des images satellite. La Figure II.3. montre la courbe de précision théorique liant la précision (pourcentage d'erreurs relatives) et le nombre linéaire de pixels. A titre d'exemple sont également portées les valeurs (longueurs en mètres et surfaces en ha) concernant les images LANDSAT MSS et TM ainsi que SPOT. Pour une précision limite de l'ordre de 10 à 12 % il apparaît que les superficies sont respectivement de l'ordre de 15, 2, et 1 ha pour ces trois types de données satellite.

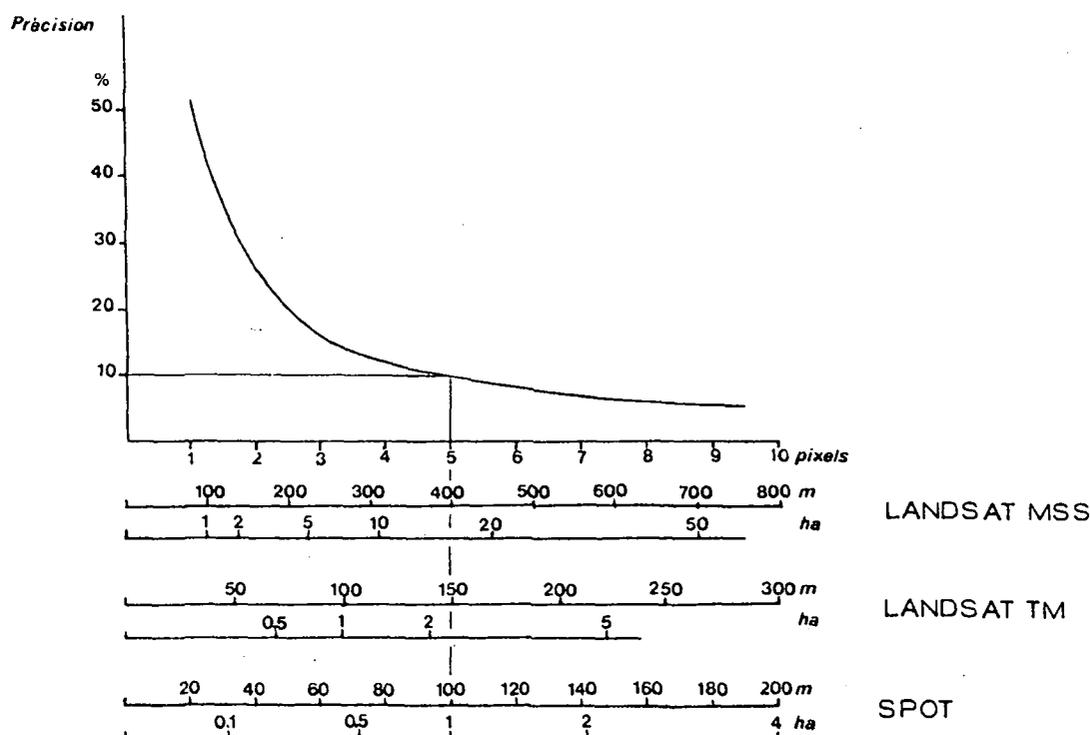


Figure II.3 Précision de la mesure de la superficie des plans d'eau pour les satellites Landsat et Spot.

1.3.2. Hydrologie marine et océanographie

L'hydrologie marine et l'océanographie constituent un vaste champ d'application de la télédétection et, en particulier, de la télédétection spatiale. Certains satellites ont été spécialement conçus pour opérer dans ce domaine : Seasat, Nimbus, TIROS N ...

Les principales applications sont l'aide à la pêche, l'aide à la navigation, la météorologie marine, la détection des ouragans et des icebergs, la courantologie ...

Les principales investigations concernent la mesure de la température de l'eau à partir des radiomètres thermiques (METEOSAT, TIROS N/NOAA), les mesures concernant la houle (amplitude et fréquence) à partir des enregistrements radar (radar à ouverture synthétique, altimètre-radar et scatteromètre) ou la mesure de la teneur en chlorophylle de l'eau de mer à partir des canaux du proche infra-rouge (analyseur de couleurs (CZCS de Nimbus 7)).

Les données peuvent être transmises et reçues par l'intermédiaire des satellites de télécommunication, tels le système ARGOS (localisation et transmission de données météorologiques et hydrologiques via Météosat) ou le Système APT (Automatic Picture Transmission) qui permet d'obtenir par télé-transmission des images traitées à faible résolution (bande visible et bande thermique de TIROS N/NOAA).

Le Centre de Recherche Océanographique de Dakar-Thiof (CRODT) traite régulièrement les images du satellite METEOSAT pour le suivi océanographique des côtes ouest-africaines. La Station de MAS PALOMAS (Canaries) reçoit les données de Nimbus 7.

L'hydrologie côtière utilise la télédétection en vue des études bathymétriques, de la recherche des résurgences d'eau douce en mer ou des rejets d'eaux usées. Les thermographies fournissent une aide précieuse et peuvent être associées à des études géo-structurales (cf. 1.3.3., hydrogéologie).

1.3.3. Hydrogéologie

En hydrogéologie, la télédétection peut être utilisée pour la détermination des régimes hydrogéologiques, la mise en évidence des aquifères superficiels et la recherche des eaux souterraines.

a) Détermination des régimes hydrogéologiques

Les données de télédétection fournissent des informations concernant les paramètres suivants :

- . Formations géologiques : la détermination de la nature du substrat (composition lithologique, porosité ...) permet d'indiquer les possibilités de stockage et de circulation souterraine de l'eau.
- . Formations superficielles : elles induisent la perméabilité du milieu et les possibilités d'infiltration généralisée des eaux de surface (alimentation des aquifères).
- . Structures géologiques : l'analyse géo-structurale fournit des informations sur les possibilités d'infiltration localisée

(eau de surface) ou de circulation profonde (eau souterraine).

En région de socle, l'essentiel de la ressource est lié au réseau de fractures (failles diaclases ...).

Ces différents thèmes peuvent être traités à différentes échelles (hydrogéologie régionale ou locale), à partir de photographies aériennes ou de données spatiales.

Cependant, les données spatiales se prêtent à ce type d'investigation grâce à l'approche synoptique qu'elles autorisent. L'interprétation des photographies aériennes est plutôt réservée à des études ponctuelles sur zones tests, en vue de fournir des données complémentaires ou d'effectuer certaines vérifications.

L'utilisation des données satellite repose sur une interprétation de type thématique en géologie complétée par des investigations spécifiques concernant en particulier :

- . L'analyse du réseau hydrographique : elle fournit des indications utiles sur la nature du substrat et/ou des formations superficielles, sur la perméabilité et par suite sur les potentialités hydrogéologiques des régions concernées. Le Tableau II.11. présente les principaux types de réseaux et leurs caractéristiques hydrogéologiques.
- . L'inventaire des linéaments : il fournit des indications sur la géologie structurale et permet de classer les aires hydrogéologiques en fonction de l'intensité et de la nature de la fracturation.

Ces investigations permettent de dresser des cartes hydrogéologiques régionales qui peuvent être intégrées à des schémas directeurs de développement (estimation des potentialités en hydraulique souterraine) et servir de base pour les recherches ultérieures.

b) Mise en évidence des aquifères superficiels

Les données de télédétection ne permettent pas d'observer directement la présence d'un aquifère. La présence d'eau peu profonde (quelques décimètres à quelques mètres) peut être déterminée au moyen d'observations indirectes dont certaines se prêtent particulièrement à l'utilisation des données de télédétection :

- . Observations hydrologiques : la plupart des nappes sont alimentées par les cours d'eau, en particulier dans les zones d'épandage des crues (plaines alluviales, dépressions, zones de capture ...) Les observations au cours de périodes de hautes-eaux sont donc très importantes.
- . Observations hydrogéologiques : les zones peu propices au stockage profond (formations géologiques compactes) peuvent être au contraire favorables à la présence d'aquifères superficiels (cf. Tableau II.11.).
- . Formations superficielles : l'étude de ces formations est fondamentale. Les formations alluviales, les colluvions, certaines formations autochtones (altérites ...) ou encore les

TABLEAU II.11 TABLEAU RECAPITULATIF DES OBSERVATIONS MORPHOLOGIQUES (Pluie : 1300 mm env.)

FIGURE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE	TYPE	OBSERVATIONS MORPHOLOGIQUES CRITERES D'IMPLANTATION	Epaisseur altération (m)	% échec forages	% échec puits
	1	Réseau arrondi, en "choux-fleur". Plateau cuirassé. Zones inondables. Faible pente du réseau hydrographique. Critères d'implantation : absence d'indices géologiques, zone inondable, filon, linéament dénivellation par rapport au marigot <15 m. Puits traditionnels nombreux.	20-25	16	36
	2	Réseau polygonal, en "nid d'abeille". Interfluves érodés. Affleurements fréquents. Réseau forte pente. Marigots étroits. Forêt galerie. Cas difficile. Critères d'implantation : linéaments sécants larges, noeuds de fractures, replats. Rupture de pente avec changement de végétation. Pas de puits traditionnels.	10-15	64	Puits déconseillés
	3	Réseau orthogonal ou oblique. Interfluves érodés. Forte pente du réseau. Marigots temporaires étroits. Forêt galerie. Inselberg, affleurement. Cas peu favorable. Rechercher : site bas (alt. <5 m) noeud de fractures, filons, petits talwegs.	15-20	33	52
	4	Sur gneiss. Réseau pente faible. Cuirasse. Forêt galerie. Nombreux puits traditionnels. Rechercher : linéaments, replats la présence de granites (pour les puits). Pour les forages rechercher interfluves érodés, replats, linéaments.	15-24	43	42
	5	Zone forestière. On ne perçoit pas le réseau hydro. Zone granitique. Pente faible du réseau. Cuirasse. Nombreux puits. Grande largeur des zones de drainage. Aucun forage.	forte	?	26
	6	Schistes et granites. Zone indéterminée à secteurs variables. Epaisseur altération variable ; pas de puits. Chercher altération épaisse avec cuirasse, zone inondable absence d'éléments géologiques de surface, noeud de fractures	variable	26	pas de puits
	7	Schistes Birrimiens à linéation parallèle. Altération très épaisse. Pente du réseau faible. Grandes zones inondables. Absence d'indices géologiques	>27	7	-
	8	Pas de puits. Pas de difficulté d'implantation des forages.	>60	faible	-
	9	Réseau digité, autour des collines de roches vertes, dans schistes Birrimiens. Chercher : marigot étroit avec forêt galerie. Filons de quartz et fractures	15-35	50	-

D.C.H. - R.C.I. et Burgeap-Renardet 1979 - Projet de développement des régions cotonnières.

formations dunaires sont occupées par différents types d'aquifères (nappes phréatiques, nappes temporaires, nappes discontinues ...) dont les caractéristiques (piezométrie, pérennité, conductivité hydraulique ...) varient sensiblement. Il est donc important de pouvoir identifier leur origine, leur nature et leur extension.

- . Autres observations : la pédologie, la géomorphologie, la nature et la densité du couvert végétal fournissent des indications complémentaires souvent précieuses, en particulier pour l'estimation de la piezométrie des nappes.

Ces différentes observations se rattachent aux techniques déjà abordées dans le paragraphe concernant les données thématiques de base (cf. 1.2.). En outre certaines techniques plus spécifiques peuvent être utilisées dans ce domaine :

- . Thermographies : des recherches ont permis de démontrer qu'il est possible d'établir des corrélations entre mesures piezométriques et valeurs radiométriques dans l'infra-rouge thermique. Ces techniques restent toutefois expérimentales.
- . Enregistrements radar : des résultats intéressants ont été obtenus en région désertique (Niger ...) basés sur le pouvoir de pénétration des ondes radar à travers la couverture sableuse. Ceci a permis de détecter la présence de vallées fossiles non identifiables par d'autres techniques, ces vallées étant des zones favorables à la collecte des eaux.

A l'inverse des investigations en hydrogéologie (eaux profondes), la mise en évidence des aquifères superficiels se prête de préférence à l'utilisation des photographies aériennes. Il est en effet souvent nécessaire de traiter de façon détaillée des régions peu étendues et la contrainte résolution spatiale l'emporte alors sur l'avantage procuré par la vision synoptique. Toutefois la disponibilité des nouveaux types de données spatiales (LANDSAT Thematic Mapper et SPOT) oblige à relativiser ce jugement.

c) Recherche d'eau souterraine (sites de puits et forages)

La recherche d'eau souterraine concerne essentiellement les régions caractérisées par des aquifères discontinus, localisés dans les zones de faiblesse (fractures) : région du socle, karsts ... Les investigations précédentes permettent de mettre en évidence les régions potentiellement productrices soit en eau peu profonde (sites de puits) soit en eau profonde (sites de puits profonds ou de forage). En général ces deux types de ressources ne sont pas compatibles mais certains sites peuvent concilier les deux types d'aquifères : par exemple, nappe alluviale de plaine ou vallée située dans une zone de fracture.

La recherche des sites de puits repose essentiellement sur une étude des formations superficielles et de leur environnement (géomorphologie, pédologie, hydrologie, végétation ...). Une bonne partie de ces investigations peut résulter de l'inter-

prétation des données de télédétection et en particulier des photographies aériennes.

La recherche des sites de forages repose sur une analyse géo-structurale et en particulier, sur la recherche des fractures (failles et diaclases). Parmi ces fractures, seules certaines sont "productrices" : ce sont en particulier les failles de tension qui, sous l'effet des forces orogéniques, ont été ouvertes et comblées par des altérites plus ou moins poreuses. Il est donc important de mettre en évidence les zones fracturées où les forces de tensions sont probables. Ce sont, en particulier :

- . Les failles "régionales" correspondant aux principales directions tectoniques (cf. Tableau II.12.) ;
- . Les régions faillées en étoile ou les régions faillées en maille polygonale (association de plusieurs étoiles) : les tensions maximales (forces de tension de type rétraction) se situent aux centres des étoiles (noeuds de fractures) ;
- . Les failles décrochantes : failles sécantes à angle aigu (environ 60°) ;
- . Les fractures dans les plis à déformations des charnières des anticlinaux.

La figure II.4 schématise ces différents types d'accidents.

Différents types d'investigations permettent de mettre en évidence ces accidents orogéniques : géophysique (résistivité électrique, sismique réfraction, magnétisme). Celles-ci sont lourdes à mettre en oeuvre et difficiles à rentabiliser dans le cas des opérations de petite hydraulique (hydrologie villageoise).

Les techniques de télédétection peuvent être utilisées en vue d'effectuer les analyses géo-structurales préliminaires (étude des zones fracturées) ou pour localiser des sites potentiels.

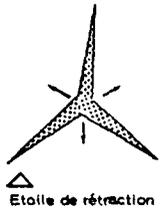
Une démarche pluri-niveaux peut être proposée :

- Etude géo-structurale régionale : inventaire des fractures et analyse statistique des directions (par exemple à partir d'un diagramme de Rose). Cette étude permet de mettre en évidence les directions régionales en fonction de l'importance et de la fréquence des fractures. Elle se prête à l'utilisation des données spatiales (étude synoptique).

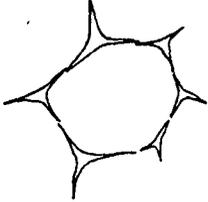
- Etude géo-structurale locale : photointerprétation sur les zones circonscrites précédemment avec mise en évidence des fractures et choix des sites potentiels. Une hiérarchisation des sites peut être proposée sur la base de critères hydrologiques (caractéristiques des fractures) et géographiques (localisation et facilité d'implantation).

Le cas échéant ces sites pourront faire l'objet d'investigations complémentaires (visites de terrain, mesures géophysiques ...).

FAILLES EN ETOILE DE RETRACTION

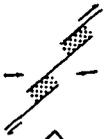


Association d'étoiles de rétraction en alignement

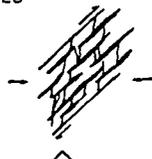


Association de plusieurs étoiles de rétraction en maille polygonale

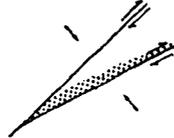
FAILLES DECROCHANTES



Failles décrochantes en relais

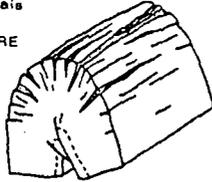


Failles décrochantes et fentes de raccordement en relais



Intersection de deux failles décrochantes

PLIS A DEFORMATION DE CHARNIERE



→ Forces de tension ☒ Zones de déformation ouvertes

Figure II.4 Principaux types de fractures ouvertes.

TABLEAU II.12 PRINCIPALES DIRECTIONS TECTONIQUES EN AFRIQUE DE L'OUEST

Age	Série	Pays	Directions
Infra-Cambrien ou Paléozoïque	Aiou Abd el Malek	Mauritanie	Schistosité : NE - SO et EO
	Akjoujt - Bakel	Sénégal	Plis NE - SE et NO - SE
	Rokell	Guinée	Failles NE - SO
Précambrien sup.	Tarkwaïen	Côte d'Ivoire Haute-Volta Ghana	Plis NE - SO N.NE - S.SO Parfois F.O
	Buém	Togo - Bénin	NE - SO
Précambrien moyen	Pharusien	Mali (Adrar)	N.NE - S.SO
	Birrimien	Côte d'Ivoire Haute-Volta Niger (S)	N.NE - S.SO NE - SO
	Atacorien	Togo - Bénin	N.NE - S.SO NE - SO
Précambrien inf.	Dahomeyen	Togo - Bénin	N.NE - S.SO
	Antébirrimien	Côte d'Ivoire Guinée	NE - SO NS
	Sugarien	Mali (Adrar) Niger (AIR)	N 15°

Les techniques de télédétection reposent essentiellement sur des méthodes visuelles : interprétation des linéaments sur images satellite ou mise en évidence des photo-fractures sur photographies aériennes. Certains traitements préliminaires (filtrages), permettant d'améliorer les contrastes de l'image ou de souligner certaines directions (gradients), peuvent apporter une aide à l'interprétation. De même, il est possible d'obtenir des traitements intégrant plusieurs sources de données : photographies ou images multispectrales associées à des enregistrements aéromagnétiques ou à des enregistrements thermiques (satellites NOAA/AVHRR ou HCMM). Ceci permet d'obtenir une image de synthèse plus riche en informations.

Dans les régions tropicales humides ou équatoriales, les images radar peuvent remplacer photographies et images multispectrales.

1.3.4. Interprétation dans le domaine de l'eau : Tableau récapitulatif

Le Tableau II.13. présente de façon synoptique les possibilités d'utilisation des diverses données de télédétection dans le domaine de l'hydrologie et de l'hydrogéologie.

1.4. Données spécifiques aux études hydrauliques

1.4.1. Etude des bassins versants (B.V.)

Les études des bassins versants peuvent aller d'une simple délimitation à la détermination exhaustive des paramètres du bassin. De même, les échelles cartographiques peuvent varier entre les études régionales (inventaire des grands bassins) aux études locales (études de factibilité ou d'avant-projet sur un petit bassin).

Le Tableau II.14. se propose de récapituler les différents types d'études envisageables (photographies aériennes ou images satellite).

L'utilisation respective des photographies aériennes ou des images satellite dépend de l'échelle considérée. Les premières seront utilisées (couples stéréoscopiques ou assemblages) pour les études de factibilité ou les études d'avant-projet concernant un bassin versant ou quelques bassins versants, sur des surfaces de quelques centaines de km².

Les images satellite se prêtent à des études régionales, sur de vastes bassins (plusieurs milliers de km²). Elles concernent des opérations de planification, l'établissement de schémas directeurs ou encore des études d'avant-projet pour des ouvrages peu importants, sans conséquence au niveau de la sécurité et qui du point de vue économique, ne justifient pas d'études approfondies.

**TABEAU II. 13. UTILISATION SPECIFIQUE DES CANAUX DES SATELLITES
DANS LE DOMAINE DE L'EAU**

THEME A ETUDIER	P	V/J	O/R	R/IR	PIR	IRT	RADAR
HYDROLOGIE CONTINENTALE							
Lacs					X	X	X
Rivières				X	X	X	X
Marécages				X			
Zones inondables				X	X	X	X
Songs humides				X	X	X	
Champs irrigués				X	X	X	X
Rives et berges				X	X		
Turbidité	X	X	X				
Pollution de l'eau	X	X	X			X	
Profondeur	X	X	X				
Eutrophisation des lacs			X				
Tourbillons			X		X	X	
Glace	X	X			X	X	
HYDROLOGIE MARINE/OCEANOGRAPHIE							
Différenciation mer-continent					X	X	
Bathymétrie	X	X	X				
Turbidité	X	X	X				
Courants maritimes				X		X	
Chlorophylle de l'eau de mer				X	X	X	
HYDROGEOLOGIE							
Structures géologiques				X	X	X	
Lithologie			X				
Différenciation alluvion/roches					X	X	X
Roches ignées				X	X		
Linéaments				X	X		X
DIVERSES							
Géomorphologie-Topographie	X		X				
Pédologie			X	X	X		
Humidité des sols			X			X	
Zones brûlées			X		X	X	
Zones arborescentes	X	X	X				
Etat végétatif	X	X	X		X	X	
Zones revêtues (béton ...)			X				X

NOTES : P : Panchromatique - V/J : bande 500-600 nm - O/R : 600-700 nm - R/IR : 700-800 nm
PIR : 800-1100 nm - IRT : Infra-rouge thermique.
Les croix (X) indiquent que la donnée correspondante est particulièrement intéressante pour traiter le thème concerné.

**TABEAU II. 14. - UTILISATION DES DONNEES DE TELEDETECTION DANS L'ETUDE DES
BASSINS VERSANTS**

THEMES A TRAITER	PHOTOGRAPHIES AERENNES	IMAGES SATELLITE
RESEAU HYDROGRAPHIQUE	. Tracé détaillé (1:10 000 à 1:50 000*) petits bassins et sous-bassins	. Tracé sommaire (1:50 000* à 1:500 000*) grands bassins ou études régionale.
DELIMITATION DES BASSINS VERSANTS	. Limites détaillées : ... précises en zone accidentée (stéréoscopie) ... parfois imprécises en zone peu accidentée et/ou sous couvert végétal dense (forêt humide).	. Limites plus ou moins simplifiées, interprétées à partir de l'hydrographie et de la géomorphologie.
ETUDES THEMATIQUES DU BASSIN	. Etude géomorphologique détaillée : formes morpho- logiques, pente, dynamique des formes, signes d'érosion Paramètres du ruissellement : classes de pente, couverture végétale, sols (estimation granulomé- trie et perméabilité).	. Mise en évidence des principales unités (relations géomorphologie- géologie-sols-végétation). . Caractérisation sommaire du ruissellement : classement relatif des bassins.
ETUDES DES PLAINES ET VALLEES	. Lit mineur (zones non occupées par un couvert végétal dense) : délimitation du lit, caractérisa- tion du cours d'eau, état des berges Lit majeur : différenciation des formations (terrasses, levées, chenaux ...) : caractérisation du régime hydrique (d'après végétation, pédologie, hydromorphie ...). . Profils des vallées (longitudinal et transversal) : profil schématisé d'après analyse stéréoscopique, mesure morphométrique (barre à parallaxe + points d'appui), photogrammétrie (profils topographiques).	. Lit mineur : délimitation dans les plaines et vallées princi- pales, caractérisation générale du cours d'eau (rectiligne, méandrique ...). . Lit majeur : principales formations dans les grandes plaines ; caractérisation générale du régime hydrique. . Profils des vallées : apprécia- tion générale (vallée encais- sées, vallées à fond plat ...).
RECHERCHE DES SITES D'AMENAGEMENT HYDRAULIQUE (barrages, retenues collinaires ...)	. Mise en évidence des seuils : seuils rocheux, rupture de pente longitudinale, zones d'épandage . Estimation de la capacité du réservoir : étude morphométrique des photographies à grande échelle avec points d'appui. . Recherche des matériaux de construction : argiles, roches, latérites Mise en évidence des seuils : rétrécissement du lit majeur, analyse géostructurale. . Estimation grossière de la capacité du réservoir : délimi- tation du lit majeur inondable, appuyée sur cartes topographiques existantes. . Recherche des principaux gise- ments ou des sites favorables à la recherche des matériaux de construction.

1.4.2. Etude des périmètres hydro-agricoles

Les études préalables à l'implantation des périmètres agricoles concernent en premier lieu les études de base topographiques et thématiques. L'utilisation de la télédétection dans ce domaine a déjà fait l'objet de développements dans ce chapitre (1.1. et 1.2.).

Des études plus particulières peuvent être envisagées dans ce domaine, en particulier :

- L'inventaire cartographique des zones irrigables ;
- L'appréciation du ressuyage des sols ;
- Les études morphométriques en vue du tracé des réseaux d'irrigation et/ou de drainage.

a) Inventaire cartographique des zones irrigables

Après étude du bassin versant et estimation du volume stockable, l'interprétation des données de télédétection permet de cartographier et d'évaluer la superficie des surfaces irrigables, en aval des ouvrages.

Dans le cas des photographies aériennes, la photo-interprétation permet de classer les terres irrigables en fonction des paramètres édaphiques et topographiques.

Dans le cas des images satellite, les terres irrigables sont assimilées aux lits majeurs des vallées. Il s'agit d'une estimation plus grossière mais celle-ci peut être réalisée très rapidement, ce qui permet de traiter un grand nombre de bassins. Ce type d'étude est donc particulièrement intéressant dans le cas de l'établissement de schéma directeur pour le développement hydro-agricole d'une région.

b) Appréciation du ressuyage des sols

Les données de télédétection peuvent être utilisées pour apprécier le ressuyage des sols et cartographier les terres en fonction de leur aptitude au ressuyage, permettant ainsi de déterminer les besoins en drainage et/ou en assainissement.

L'appréciation du ressuyage des sols peut se faire en estimant leur degré d'humidité après une période pluvieuse. L'humidité des sols peut être interprétée plus ou moins finement sur les photographies et images :

- Photographies noir et blanc : les zones humides apparaissent en sombre. Un meilleur contraste est obtenu avec les émulsions infra-rouge.
- Photographies infra-rouge couleur : les sols nus humides apparaissent en bleu (sols saturés) à verdâtre.
- Images noir et blanc : la meilleure différenciation est obtenue avec les bandes infra-rouge (proche infra-rouge thermique) par suite de la forte absorption du rayonnement.
- Compositions colorées type IRC : les zones humides apparaissent dans des teintes sombres (verdâtre à brun-magenta).
- Image radar : les sols humides apparaissent également plus sombres.

Il existe cependant certaines contraintes dans l'utilisation de ces données :

- Les photographies doivent être acquises à une période optimale (24 à 72 heures après une forte pluie). Ce type d'étude nécessite le plus souvent des missions spéciales (contraintes logistiques et financières). Il est cependant possible de se contenter de survols à basse altitude avec des prises de vues au moyen de chambres photographiques ordinaires (format 6 x 6 ou 24 x 24). On réalise ensuite un calage à l'agrandisseur sur des photographies aériennes classiques.

- Les images satellite ont une résolution trop limitée dans le cas des études sur de petits périmètres. Elles ne permettent que des études de reconnaissance à des échelles du 1:50.000 (SPOT) ou du 1:100.000 (LANDSAT TM). Par ailleurs, en période pluvieuse, il est aléatoire de disposer d'images exploitables par suite de la fréquence des nuages.

c) Etudes morphométriques

Les couples stéréoscopiques (photographies aériennes) permettent de mesurer les dénivelés à partir d'un appareillage simple muni d'une barre de parallaxe (ou micromètre).

Les différentes opérations nécessaires sont les suivantes :

- Détermination des points de calage : au moins 4 points par photographie (6 à 8 points par couple). Ceux-ci peuvent être obtenus à partir de cartes topographiques existantes ou de levés de terrain.

Selon la précision envisagée, les points de calage au sol pourront être acquis par différentes méthodes :

- . relevés altimétriques simples avec altimètre de précision
- . mesures altimétriques avec instrument de précision (théodolite, niveau ...)
- . mesures altimétriques et planimétriques combinées.

- Interprétation altimétrique des couples avec détermination de points cotés secondaires le long de certains axes recoupant les points de calage précédents.

Contrairement aux travaux de photogrammétrie classique, ces points ne sont donc pas répartis de façon uniforme mais orientés selon des toposéquences.

On utilise de préférence des photographies redressées.

- Interprétation morphométrique : filage des courbes de niveaux à partir d'une interpolation entre les points cotés, guidé par l'analyse géomorphologique.

Ce type d'étude permet de dresser des fonds cartographiques en vue de l'implantation des réseaux d'irrigation et/ou de drainage. Son coût est sensiblement moins élevé que les levés topographiques directs ou que les travaux photogramétriques classiques. La maîtrise de cette technique exige toutefois un bon entraînement de la part de l'opérateur.

1.4.3. Etudes d'assainissement urbain

Dans le domaine urbain et particulièrement dans les grandes villes, l'assainissement a pour objet d'assurer la collecte, le traitement et l'évacuation des eaux (eaux pluviales et eaux usées).

La télédétection permet de traiter certains aspects :

- . Interprétation de type morphométrique pour les tracés schématiques (schémas directeurs et avant-projets sommaires), ou pour des études simplifiées lorsque les problèmes d'assainissement ne sont pas très contraignants (réseaux des villes moyennes par ex.) ;
- . Travaux de photogrammétrie pour les schémas détaillés (avant-projets détaillés) ;
- . Etudes spécifiques pour l'implantation des ouvrages, en particulier pour le choix de leur localisation : données topographiques (analyses géomorphologiques) et humaines (données sur les établissements humains et infrastructures) ;
- . Etudes spécifiques en vue des opérations d'épuration des eaux usées : études géomorphologiques et pédologiques pour la détermination du pouvoir épurateur des sols.

Ces différents types d'études reposent sur l'utilisation de clichés photographiques sous forme de couples stéréoscopiques (études thématiques) et d'assemblages photographiques (établissement des cartes et des plans). Il est le plus souvent nécessaire de disposer de photographies récentes (milieu très évolutif) à grande échelle (1:5.000 à 1:20.000).

1.4.4. Etudes sur le littoral

Le littoral est un milieu complexe car conditionné par une double influence maritime et continentale. Certaines formations naturelles caractérisent ce milieu particulier, par exemple :

- . Plages et dunes littorales,
- . Côtes rocheuses (falaises, récifs ...),
- . Formations lagunaires,
- . Tans (ou tannes) et anciennes mangroves,
- . Formations coralliennes (lagons, édifices madréporiques ...).

Plus particulièrement, dans le domaine de l'hydrologie côtière, la télédétection permet l'étude du domaine fluvial littoral : estuaires, deltas, rias, etc ...

Les données de télédétection permettent de différencier plus ou moins bien eaux douces et eaux salées :

- . Les émulsions photographiques (panchromatiques en particulier) à partir des différences de turbidité des eaux ;
- . Les données radiométriques à partir des différences de turbidité (canaux "visibles") ou de température (infra-rouge thermique).

Ainsi la télédétection permet d'effectuer une cartographie plus ou moins détaillée (selon l'échelle des documents) des zones littorales et d'analyser la circulation des eaux (débouché de l'eau douce en mer et remontées d'eau salée).

Les phénomènes d'érosion littorale sont peu prononcés en région tropicale. Par contre certains processus géologiques (par ex. phénomènes de subsidence) ou géo-climatiques (transgression ou régression, sécheresse) peuvent entraîner des modifications dans le dessin des côtes et plus encore des transformations dans les équilibres des milieux biologiques (mangroves en particulier). La télédétection spatiale est un outil privilégié pour le suivi de ces phénomènes et permet d'assurer la protection des régions concernées.

1.4.5. Aménagements en hydraulique souterraine

Les études hydrogéologiques permettent de déterminer les sites potentiels d'exploitation des eaux souterraines (1.3.3.). Selon les cas il pourra être envisagé l'implantation de captages, puits, forages ou barrages souterrains.

les études complémentaires nécessaires portent sur :

- le choix des ouvrages hydrauliques,
- le site d'implantation des ouvrages,
- les aménagements induits par ces ouvrages.

a) Choix des ouvrages hydrauliques

Les études hydrogéologiques préalables permettent de déterminer s'il est possible d'envisager l'implantation d'un ouvrage profond (puits profonds ou forage) ou plus superficiel (puits, puisard, captage, barrage souterrain). Le choix entre ces techniques dépend de critères socio-économiques (estimation des besoins) et techniques. Parmi ces derniers, la télédétection permet d'analyser certaines contraintes du milieu, en fonction des ouvrages envisagés :

- accessibilité du site pour les travaux (implantation et maintenance) et les utilisateurs (usagers, bétail ...),
- environnement du site et en particulier risques de pollution par les eaux de ruissellement ou du fait de la proximité de zones habitées, du passage de bétail ...

Dans certains cas, ces études complémentaires peuvent conduire à des aménagements particuliers (ouvrages de protection), voire à l'abandon du site projeté.

Ces études concernent des périmètres réduits et nécessitent une analyse fine du milieu. Pour ce faire il est préférable de disposer de prises de vues aériennes à grande échelle (1:10.000 à 1:25.000).

b) Site d'implantation des ouvrages

L'interprétation des photographies aériennes permet de dresser un plan du site sur lequel on peut indiquer :

- la localisation de l'ouvrage principal et des aménagements hydrauliques complémentaires (fossés d'évacuation, collecteurs

- pour l'irrigation ou l'abreuvement du bétail ...)
- les accès existants ou à créer
- l'implantation du périmètre de protection.

Selon le type et l'importance de l'ouvrage, ces études peuvent être limitées à un avant-projet sommaire ou nécessiter des investigations plus détaillées (levés topographiques ...) pour les avant-projets détaillés concernant des ouvrages plus complexes.

c) Aménagements induits par les ouvrages

Ceux-ci concernent essentiellement des ouvrages hydro-agricoles, dans le cas de l'implantation de puits, forages ou barrages souterrains pouvant assurer un débit suffisant.

Les études par télédétection concernent alors :

- la localisation des terres irrigables,
- la cartographie des terres irrigables,
- l'établissement des réseaux d'irrigation et de drainage.

Ces différents points ont été traités antérieurement (1.4.2.).

Dans le cas de l'hydraulique pastorale, des études spécifiques peuvent concerner l'aménagement du périmètre d'accès à l'ouvrage, en particulier pour la protection du milieu au voisinage des gros forages.

Dans ce cas, également, le support d'étude est essentiellement la photographie aérienne.

2 - DONNEES EVOLUTIVES SUR L'ENVIRONNEMENT

L'environnement physique et humain est en constante évolution. Celle-ci peut être rapide, en particulier pour les données qui dépendent des processus climatiques saisonniers. D'autres processus interviennent de façon plus lente et généralement plus progressive, en fonction de phénomènes climatiques cycliques (par ex. les périodes de sécheresse), de processus géologiques ou encore de modifications des équilibres à la suite des interventions humaines.

La télédétection permet de suivre certaines de ces évolutions. Il est généralement possible de disposer de couvertures aériennes à des intervalles plus ou moins espacés (tous les 10 à 30 ans selon les régions) et depuis 1972 (lancement de LANDSAT 1), on dispose d'images spatiales répétitives.

Théoriquement, la fréquence d'acquisition de ces images est de :

- 18 jours, soit une vingtaine d'images par an pour la série LANDSAT 1 à 3 (1972 à 1981),
- 16 jours, soit 22 à 23 images par an pour LANDSAT 4 et 5 depuis 1982),
- 26 jours pour SPOT en configuration normale, soit 14 images par an. Avec les possibilités de dépointage des instruments HRV, la fréquence effective est de 3,7 jours (équateur) à moins de 3 jours.

Ces chiffres sont toutefois plus ou moins fictifs selon les lieux ou les époques car l'acquisition des données spatiales est soumise à un certain nombre de contraintes :

- . Le fonctionnement des satellites : ceux-ci ont pu subir des avaries comme dans le cas de LANDSAT 3 (images incomplètes en 1981) ou LANDSAT 4 (pas d'images disponibles sur l'Afrique de 1982 à 1984),
- . Le fonctionnement des détecteurs à bord des satellites avec parfois la production d'images de très mauvaise qualité, donc inexploitable,
- . Les conditions atmosphériques lors du passage du satellite : état de la haute atmosphère, nuages, brume sèche. Ces conditions affectent plus particulièrement certaines zones équatoriales où il est quasiment impossible de disposer d'une image correcte sur l'ensemble de la zone couverte,
- . Les capacités de réception des stations au sol, celles-ci étant contraintes de sélectionner les images compte tenu du volume de données à traiter.
- . Les capacités de stockage des satellites avec des problèmes de taille-mémoire, en particulier pour les données haute résolution (LANDSAT TM),

- . Le problème du coût des acquisitions qui peut entraîner des contraintes financières si la prise en charge doit être intégralement assurée par un projet donné.

Les études multitemporelles ou diachroniques doivent donc tenir compte de ces contraintes. Elles nécessitent un recueil d'informations préliminaires sur la disponibilité des données (photos et images satellite) et leur condition d'acquisition en vue de concilier au mieux les impératifs techniques et financiers. Les organismes spécialisés (Centre de Télédétection, Instituts géographiques ou topographiques ...) peuvent généralement répondre à ces questions et il y a donc tout à fait intérêt à faire appel à eux.

2.1. Evolution rapide saisonnière

Celle-ci est principalement liée aux processus climatiques réguliers et concerne donc :

- . le suivi climatique,
- . le suivi écologique ou monitoring,
- . le suivi agricole,
- . le suivi hydrologique,
- . les processus migratoires saisonniers.

2.1.1. Suivi climatique

Certains satellites sont régulièrement utilisés pour l'étude des phénomènes météorologiques et climatiques :

- . Satellite, Météorologiques géostationnaires (METEOSAT pour l'Afrique) à l'échelle continentale,
- . Satellites à défilement (TIROS N en particulier) à l'échelle d'un pays.

Ces satellites sont conçus pour observer aussi bien la surface de la terre (océans et continents) que les formations nuageuses (par ex. bande "vapeur d'eau" de METEOSAT).

La veille climatique satellitaire consiste plus particulièrement à suivre l'évolution saisonnière du climat sur des périodes de plusieurs jours (périodes décadaires, mensuelles ...) avec :

- . l'analyse des systèmes nuageux (par ex. fréquence d'apparition des amas nuageux convectifs),
- . l'analyse des températures (à partir des enregistrements IR thermique) avec mise en évidence des anomalies thermiques sur les océans et des champs thermiques continentaux.

Ces données sont exploitées en fonction de références : données statistiques sur les années antérieures et données des stations météorologiques. Elles sont donc intégrées à des modèles de façon à permettre d'établir des cartes ou des diagrammes sur la situa-

tion par rapport à une année moyenne de référence. De tels travaux permettent aussi de faire des prévisions, en particulier au niveau de la campagne agricole.

Au stade actuel, de telles prévisions restent à un niveau général (principales tendances sur de vastes régions) et ne sont pas toujours fiables. Cependant des progrès sensibles peuvent être attendus avec l'amélioration constante apportée aux modèles existants.

Des résultats intéressants sont également obtenus pour le suivi agro-climatique et plus particulièrement la détermination de l'évapotranspiration. Les données de télédétection (satellites météorologiques METEOSAT ou TIROS N/NOAA) permettent des mesures relatives du rayonnement net à partir d'un bilan radiatif (estimation de l'albédo) ou de l'inertie thermique des sols. Ces données peuvent être ensuite corrélées avec les mesures d'évapotranspiration (ETP, ETR ...) à partir de points de mesure au sol. Les résultats enregistrés dans ce domaine résultent d'expérimentations et il n'existe pas encore de modèle utilisable en grandeur réelle.

La diffusion de plus en plus large des données de satellites géostationnaires METEOSAT ... devrait permettre de développer les applications non météorologiques car ils se prêtent aux travaux en temps réel grâce à leur grande répétitivité et aux facilités de traitement sur de petits systèmes.

Les données des satellites NOAA sont plus difficiles à acquérir ce qui limite encore leur emploi.

2.1.2. Suivi écologique ou monitoring

Le suivi écologique sur le court terme concerne essentiellement :

- . l'évolution de la végétation naturelle au cours des saisons, en particulier dans les zones pastorales (suivi des ressources pastorales, Système d'Alerte Précoce ou SAP),
- . le suivi et la surveillance des feux de brousse.

Les contraintes financières ne permettent pas d'envisager la réalisation de couvertures aériennes systématiques répétitives. Celles-ci ne peuvent donc concerner que des zones limitées (zones test) sélectionnées pour leur représentativité dans le cadre d'une analyse statistique (analyse statistique par segmentation ou par méthode aréolaire). Le recours à des survols aériens à basse altitude avec des avions légers et des prises de vue au moyen d'appareils photographiques usuels (appareils 24 x 36 mm ou 6 x 6 cm) permet de réaliser ces opérations à un prix avantageux. Le nouveau satellite SPOT, lancé en Février 1986, devrait également permettre ce type de suivi.

L'analyse plus globale de la végétation peut être effectuée au moyen des satellites et plus particulièrement des satellites TIROS N/NOAA qui permettent de traiter de vastes zones (l'image couvre une surface de 2700 x 2700 km).

Les données radiométriques peuvent être traitées sous forme d'indice de végétation, celui-ci étant corrélable avec la valeur de la biomasse.

Les contraintes liées à ces données sont :

- . leur faible résolution spatiale : 11.000 m dans le cas le plus favorable, à 44.000 m pour les données dégradées fournies par certaines stations (Système APT),
- . leur disponibilité : en l'absence de stations locales en Afrique il faut s'adresser à des stations étrangères (Europe, Etats-Unis), ce qui pose de difficiles problèmes de programmation.

Il est également possible d'utiliser des images spatiales à meilleure résolution (LANDSAT MSS, LANDSAT TM, SPOT) mais ceci entraîne des contraintes financières pour l'étude de vastes zones.

Le suivi des feux de brousse est aisé sur image satellite (LANDSAT MSS ...) : les feux récents absorbent fortement toutes les radiations et ils peuvent être individualisés à partir de simples images noir et blanc monospectrales (en particulier dans la bande IR). Il est également aisé de "sortir" automatiquement le thème feux de brousse à partir de traitements numériques (classification supervisée...).

Les contraintes qui existent dans ce domaine concernent :

- . la délimitation des feux plus anciens du fait que la réponse s'estompe progressivement, avec des difficultés sensibles à partir de 2 à 3 semaines,
- . le problème du coût d'acquisition des données pour la surveillance de larges zones ou à fortiori de pays entiers : ceci implique des choix sur certaines zones géographiques et à certaines époques "sensibles" (par ex. surveillance des feux tardifs).

2.1.3. Suivi agricole

Les opérations de suivi agricole concernent :

- . la délimitation des zones cultivées (parcellaire agricole),
- . la différenciation des productions agricoles (prévisions de récoltes).

Ces opérations sont le plus souvent menées par les services des statistiques agricoles, à partir de relevés et d'enquêtes. Cependant, des expériences et des opérations pilotes ont été menées au cours des dernières années, en vue d'intégrer les techniques de télédétection et d'utiliser les données spatiales multitemporelles dans une démarche multidisciplinaire et pluri-niveaux, en particulier à partir de méthodes statistiques.

En Afrique, les techniques de télédétection se sont heurtées à de nombreux problèmes (financiers, techniques, logistiques ...). Les principales difficultés techniques sont :

- . faible résolution spatiale du radiomètre LANDSAT MSS, compte tenu de la dimension moyenne des parcelles en Afrique,

- . difficultés pour différencier certaines cultures du fait de la similitude des cycles culturaux (par ex. mil et sorgho).

Les nouvelles données de télédétection (LANDSAT TM, SPOT ...) devraient permettre de lever en grande partie ces obstacles. Les expériences entreprises à partir de traitements multitemporels reposant sur l'analyse des stades phénologiques à différentes dates (de l'ordre de 3 dates différentes).

Il est cependant difficile d'envisager une généralisation de ces techniques à l'ensemble du milieu agricole car cela poserait des problèmes financiers et logistiques (volume de données à traiter) difficilement supportables. C'est pourquoi l'intégration des données de télédétection (approche pluri-niveaux) semble la plus réaliste.

Dans le domaine de l'eau, cette approche est particulièrement intéressante pour le suivi des cultures irriguées. De plus, il est souvent plus aisé de différencier ce type de culture à partir des données spatiales. Ceci pour plusieurs raisons :

- . les cultures irriguées sont souvent actives alors que la végétation naturelle ou les autres cultures ne le sont pas (cultures de décrues, rizières, cultures de contre saison),
- . les stades phénologiques des cultures suivent un calendrier plus ou moins indépendant de la saison ce qui facilite la discrimination entre espèces et même variétés (par ex. différentes variétés de riz),
- . la position topographique fournit des informations sur les systèmes d'irrigation et par là sur les cultures généralement pratiquées,
- . l'interprétation des réseaux d'irrigation et de drainage fournit également de tels renseignements.

2.1.4. Suivi hydrologique

Ces aspect a déjà été abordé précédemment (cf. 2.1.3).

La télédétection permet de délimiter efficacement les surfaces couvertes par l'eau et donc d'effectuer un suivi sur l'évolution de ces surfaces au cours du temps.

Comme ceci a déjà été indiqué, il est difficile d'envisager que les techniques de télédétection se substituent aux méthodes traditionnelles qui ont fait leurs preuves dans ce domaine et qui profitent également de progrès technologiques (par ex. stations de suivi hydrologiques automatisées).

L'utilisation des techniques de télédétection doit donc être plutôt envisagée dans les cas où le suivi nécessite des informations spatialisées, sous forme cartographique ; ce peut être en particulier le cas pour :

- . le suivi de certains secteurs des grands cours d'eau (surveillance des débordements ...),
- . le suivi de certains "réservoirs témoins" (mares, lacs, retenues) considérés comme représentatifs de la situation hydro-climatique,
- . le suivi des événements hydrologiques exceptionnels (impact

des grandes crues ...).

Les techniques de télédétection utilisables dans ces cas concernent essentiellement les données spatiales. Compte-tenu de la nécessité de disposer le plus rapidement possible de ces données, il est important de mettre en place un système d'acquisition efficace (transmission de la demande et acheminement des données).

Il est certain que des contraintes existent actuellement à ce niveau.

L'implantation de stations de réception et de traitement primaire des données satellites en Afrique est une des solutions préconisées pour pallier à ces difficultés.

2.1.5. Processus migratoires saisonniers

Ces processus concernent essentiellement les déplacements d'animaux domestiques et en particulier le cheptel bovin (migration et transhumance).

Les techniques de télédétection permettent :

- de mettre en évidence les principaux axes de développement à partir de l'interprétation de leurs traces au sol, en particulier dans les zones sèches (zones désertique à Sahélo-Guinéenne),
- de détecter directement les animaux et d'en dresser un inventaire statistique à un moment donné.

Ces investigations sont difficiles, voire irréalisables, à partir des données satellites : les traces d'animaux ne sont visibles que s'il s'agit d'axes de déplacement très importants (par ex. principaux axes de convergence vers les gros forages).

La technique la mieux adaptée est donc celle des vols à basse altitude.

Les axes de déplacement peuvent être localisés et les animaux repérés. Pour cela, le terrain est survolé par bandes successives plus ou moins espacées (méthode statistique par segments) et les animaux sont comptés par un observateur, dans un champ visuel bien déterminé. De tels comptages permettent des estimations avec une précision de l'ordre de 10 %.

Le suivi des processus migratoires peut être assuré à partir de survols à différentes dates. Le choix des dates peut être effectué à partir du suivi écologique (voir précédemment), ce qui permet d'intégrer ces données à un Système d'Alerte Précoce (SAP).

Ce tour d'horizon montre les possibilités mais aussi les limites de l'utilisation de la télédétection pour le suivi des processus à évolution rapide.

Le principal problème est lié à la disponibilité des données, en particulier des données spatiales. Ce problème peut être contraignant dans le cas des programmes de surveillance et d'alerte : il est donc indispensable d'étudier préalablement les moyens à mettre en oeuvre pour assurer l'acheminement régulier des données. Les centres de distribution des données peuvent assurer la distribution sous des formes variées :

- . données prétraitées sous forme de film, tirages papier ou bandes magnétiques (bandes CCT, disques et disquettes),
- . données traitées : compositions colorées type IRC (films ou tirages papier), images en "fausse couleur" sur un thème (par ex. indice de végétation), images synthétiques établies par intégration des données sur une période de plusieurs jours (cas de METEOSAT ou TIROS N/NOAA),
- . données traitées et redressées géométriquement à partir d'un modèle fourni (système de coordonnées et points de calage) : ceci permet des études multitemporelles avec superposition de documents acquis à différentes dates (images composites multitemporelles).

Les systèmes de traitement numérique des images permettent de réaliser ces différentes opérations avec l'avantage d'autoriser un dialogue avec l'ordinateur (systèmes interactifs) et donc d'effectuer des essais. Les images retenues sont ensuite restituées par copie d'écran, par imprimante ou par table traçante. Le traitement des données des satellites météorologiques (METEOSAT, TIROS N ...) peut être effectué rapidement sur de petits systèmes (mini-ordinateurs). Dans le cas des satellites d'observation de la terre (LANDSAT, SPOT ...) il est nécessaire de disposer de gros systèmes pour traiter une image entière, ou de travailler sur des extraits d'images.

2.2. Evolution lente interannuelle

Le suivi des processus à évolution lente peut concerner de nombreuses données sur le milieu physique et humain, en particulier:

- Processus de dégradation du milieu physique ;
- Evolution de l'occupation du sol ;
- Evolution des cours d'eau et des plans d'eau ;
- Suivi des aménagements hydrauliques (aménagement hydro-agricoles en particulier) ;
- Suivi des établissements humains (connaissance des centres urbains en particulier).

2.2.1. Processus de dégradation du milieu physique

Le processus concerne essentiellement :

- . l'érosion des sols,
- . les processus d'aridification en liaison avec les phénomènes climatiques ;
- . les processus de désertification plus spécifiquement liés à l'influence humaine (agriculture, pâturage ...) ;

Ces différents processus sont plus ou moins imbriqués, aussi, certains auteurs ont-ils proposé le terme de "désertification" pour définir l'ensemble des processus de dégradation, quelqu'en soit les causes, celles-ci étant plus ou moins difficiles à déterminer.

Dans tous les cas, il est d'abord nécessaire de mettre en évidence les effets de ces processus, en particulier :

- . évolution de la végétation (taux de couverture),
- . signes d'érosion : érosion en nappe, érosion hydrique localisée et érosion éolienne (zones de déflation et zones d'accumulation),
- . évolution des sols : modifications de l'albédo, dégradation physique et bio-climatique.

L'interprétation des clichés aériens permet d'observer ces effets en comparant des clichés acquis à différentes dates. Cependant, leur utilisation suppose certaines contraintes :

- . il n'est généralement pas possible de choisir les dates et en particulier il n'est pas toujours possible de disposer de documents de référence (date initiale) adéquats, soit qu'il s'agisse de couvertures aériennes très anciennes, soit qu'il n'existe qu'une seule mission, voire aucune,
- . plus encore, il est difficile de disposer de documents comparables au point de vue époque de prise de vue, ce qui limite les appréciations sur l'état de la végétation et peut modifier certains aspects du sol,
- . les clichés couvrent des zones de superficie réduite et il n'est guère envisageable d'effectuer une interprétation systématique sur l'ensemble des régions concernées. La constitution d'assemblages photographiques peut cependant faciliter le travail.

Les images satellite ne présentent pas ce type d'inconvénients et elles permettent donc d'effectuer des études comparatives à des dates données, à des époques choisies et sur de vastes régions (études multitemporelles synoptiques). Les traitements numériques permettent d'obtenir des images de synthèse sur l'évolution des paysages, après calage géométrique. Il s'agit de données générales mais fondamentales car elles permettent d'obtenir une tendance et indiquent les zones sensibles.

Certains thèmes peuvent être spécifiquement mis en évidence :

- . évolution à long terme de la végétation avec une interprétation en fonction des types de milieu (par ex. mise en évidence de la disparition des bourgoutières dans le delta du Niger),
- . accroissement des zones dunaires actives,
- . évolution de l'albédo (fraction de rayonnement réfléchi ou diffusé par le sol).

Ces données permettent d'effectuer un constat mais il est souvent difficile de lier les causes et les effets. L'étude de zones tests au moyen de clichés aériens peut permettre des analyses plus fines, en particulier sur l'appréciation des activités humaines (activités agricoles, pâturage, déboisement ...). Les méthodes de télédétection spatiale et de télédétection aérienne sont donc complémentaires.

2.2.2. Evolution de l'occupation du sol

L'occupation des sols est en constante évolution, en particulier en Afrique où la pression démographique est très forte. Il en résulte :

- . l'accroissement des zones urbanisées,
- . une augmentation constante des terres cultivées,
- . des modifications dans l'utilisation agricole des sols (par ex. diminution des superficies de jachères),
- . une diminution des zones boisées (défrichements agricoles, prélèvements de bois de chauffe ...),
- . une diminution de la couverture végétale (surpâturage ...).

De même que dans le cas précédent (suivi des processus de dégradation) l'interprétation des photographies aériennes permet d'analyser finement ces phénomènes mais elle est limitée par des contraintes de date et d'époque de prise de vue.

L'emploi de grilles de sondage (grilles de sondage aléatoire ou systématique) facilite les travaux d'interprétation sur de vastes zones et permet d'obtenir rapidement des résultats statistiques sur des thèmes sélectionnés. Ceux-ci peuvent être alors présentés sous forme de tableau (tableaux récapitulatifs par zone) ou de cartes de synthèse.

Les images satellites peuvent être traitées de façon similaire (analyse statistique) mais avec un degré de précision nettement inférieur.

Les images de début de saison sèche permettent de différencier assez facilement les zones cultivées, compte tenu de la réponse des parcelles récoltées (bandes 0,6-0,7 microns ou composition colorée).

Cependant, certaines confusions peuvent être faites avec les sols

nus érodés qui ne peuvent alors être différenciés que sur des critères indirects (interprétation en fonction de la texture et de la structure de l'image ou encore de la géomorphologie). Le thème "sol cultivé" se prête assez bien à un classement à partir d'un traitement numérique multispectral ce qui autorise une cartographie automatisée multitemporelle. Les petites imprécisions locales qui subsistent sont alors compensées par la possibilité de traiter rapidement de grandes surfaces et d'obtenir des données chiffrées.

2.2.3. Evolution des cours d'eau et des plans d'eau

Le suivi hydrologique peut concerner les mêmes thèmes que ceux indiqués au paragraphe précédent (cf. 2.1) mais en traitant alors des données plus espacées dans le temps. D'autres thèmes peuvent être plus spécifiquement abordés, en particulier à partir de photographies aériennes acquises à des dates espacées :

- . évolution des cours d'eau : variations du lit mineur, évolution des méandres, phénomènes de capture, processus d'alluvionnement, dégradation des berges ...
- . évolution des plans d'eau : variations des limites,
- . évolution des zones de marnage, phénomènes de sédimentation, modifications des équilibres biologiques (végétation aquatique en particulier).

Dans ces domaines, l'utilisation des images satellite est actuellement limitée (LANDSAT MSS). Il est cependant possible d'utiliser ces données pour le suivi des grands cours d'eau et principaux plans d'eau. Les thèmes traités peuvent concerner, par exemple :

- . évolution des lits mineurs (modifications du tracé des chenaux et défluent),
- . processus d'alluvionnement et de sédimentation : bancs de sables, îlots (cours d'eau et plans d'eau),
- . évolution des zones de marnage,
- . modifications des équilibres biologiques dans les différents milieux (lit mineur et lit majeur, zones inondables, zones de marnage...).

Les données satellite (images ou traitements numériques) permettent en particulier de comparer la situation hydrologique entre des années de référence (année sèche et année humide par exemple) et d'effectuer une cartographie de synthèse sur de vastes zones (grands bassins hydrologiques). La carte obtenue peut être alors complétée par des analyses plus fines, à partir de clichés aériens pour l'étude d'un thème plus spécifique (état des berges par ex.) ou pour des analyses détaillées multithèmes sur certains points précis.

2.2.4. Evolution du littoral

Le milieu littoral est une zone particulièrement sensible, sous la double influence du milieu terrestre et marin.

L'évolution lente concerne en particulier :

- . Les modifications du modelé des côtes : érosion des côtes rocheuses et processus d'ensablement des zones lagunaires ou deltaïques,
- . Les modifications des équilibres écologiques par suite des processus climatiques ou des déséquilibres provoqués par l'homme.

La télédétection se prête bien à l'observation de ce milieu dont l'accès est difficile voire impossible par les moyens ordinaires. Les photographies aériennes peuvent être utilisées pour des études détaillées, en particulier, dans les zones sensibles. Dans les autres cas, les images satellite fournissent des données suffisamment précises que ce soit pour la cartographie du littoral, pour le suivi écologique des milieux littoraux ou pour les études concernant l'évolution bioclimatique du milieu marin côtier.

les différents satellites disponibles permettent des études à des échelles variées. Certains satellites sont plus particulièrement destinés au suivi des zones côtières et parmi ceux-ci, le satellite NIMBUS, muni du radiomètre CZCS : Coastal Zone Color Scanner) comprenant 8 canaux (violet à proche infra-rouge). Ce satellite est capté par la station de Mas Palomas (Canaries) ce qui lui permet d'assurer le suivi des côtes occidentales de l'Afrique, jusque dans le Golfe de Guinée.

2.2.5. Suivi des aménagements hydrauliques

Les photographies aériennes permettent de suivre l'évolution d'aménagements hydrauliques, en particulier :

- . état des aménagements : réseaux d'irrigation ou de drainage, ouvrages (par ex. barrages ...),
- . évolution des réseaux pour les périmètres qui n'ont pas fait l'objet d'étude d'avant-projet ou pour les réseaux parcellaires.

Ces données peuvent être complétées par des études évolutives sur l'agronomie (données sur les cultures), les infrastructures et établissements humains, les données socio-démographiques (études censitaires ...). Elles permettent alors de déterminer l'impact des aménagements sur le milieu naturel et humain (étude d'impact).

Les données spatiales permettent plutôt d'effectuer des études évolutives à partir d'inventaires comparatifs :

- . inventaire des périmètres hydro-agricoles sur une région,
- . inventaire des ouvrages hydrauliques (retenues d'eau, gros barrages ...),
- . inventaire des ouvrages de conservation des eaux et du sol (CES).

Des études d'impacts sont également réalisables, mais à l'échelle régionale, en particulier sur de grands bassins-versants :

- . conséquences sur l'occupation du sol, en particulier au niveau du développement des zones cultivées dans les vallées (cultures irriguées, semi-irriguées, de décrue ...).
- . effets sur le milieu naturel : végétation, zones érodées ...

2.2.6. Suivi des établissements humains

Les techniques de télédétection se prêtent bien à l'étude de l'évolution des établissements et infrastructures humaines. Les photographies aériennes, selon leur échelle, permettent de traiter des thèmes variés (voir Urbanisme et Etablissements Humains en § 1.2) :

- . évolution des zones urbaines à partir des clichés à moyenne ou grande échelle,
- . évolution des zones rurales à partir de clichés à moyenne ou petite échelle.

Ces données peuvent alors être utilisées par les urbanistes-planificateurs ou les socio-démographes en vue de mettre en évidence les tendances évolutives, d'effectuer des prévisions sur le moyen et long terme ou de préparer les visites et enquêtes de terrain.

Les données spatiales permettent surtout la délimitation des contours des zones habitées et donc de réaliser un inventaire sur ces zones. Les données à plus haute résolution (LANDSAT TM, SPOT) permettent de réaliser un zonage à l'intérieur des villes (zonage urbain). Les études multitemporelles peuvent donc porter sur :

- . le suivi de l'accroissement des villes,
- . la mise en évidence des zones de pression humaine en milieu rural.

Ces aspects sont fondamentaux pour les planificateurs qui ont à charge de contrôler les mouvements des populations et de prévoir les besoins pour le futur (études prospectives).

Le suivi des processus à évolution lente est plus ou moins réalisable à partir des photographies aériennes (selon les dates de disponibilité des photos) et généralement possible avec les

images satellite pour des études comparatives remontant jusqu'à l'année 1972 (LANDSAT 1). L'utilisation de ces deux types de documents n'est évidemment pas la même et elle est bien souvent complémentaire (approche pluri-niveaux).

La faible résolution des images satellite exclut nombre d'études détaillées, mais elles compensent ce défaut par la possibilité de vision synoptique, ce qui autorise la réalisation d'inventaires multitemporels.

Les données spatiales existent de plus sous forme numérique ce qui autorise les traitements automatisés avec sortie d'images synthétiques multitemporelles (images composites).

3 - DONNEES CONJONCTURELLES SUR LE MILIEU PHYSIQUE ET HUMAIN

3.1 Prévisions des évènements accidentels

Les prévisions qui peuvent être effectuées par télédétection concernent essentiellement :

- les accidents météorologiques,
- les accidents orogéniques,
- les accidents biologiques,
- les accidents hydrologiques.

3.1.1. Accidents météorologiques

Les tempêtes ou ouragans font l'objet d'une surveillance continue sur une grande partie de la surface du globe. Cette surveillance a principalement pour objet :

- l'aide à la navigation maritime et aérienne,
- la prévision et l'alerte pour les zones côtières (typhons, ouragans ...).

Les données météorologiques des satellites géostationnaires (METEOSAT, GOES ...) sont particulièrement utiles dans ce domaine. Ceux-ci permettent de détecter leur évolution heure par heure (canal IR en particulier).

3.1.2. Accidents orogéniques

Les techniques de télédétection fournissent parfois des données utiles pour les prévisions d'éruptions volcaniques.

La détection des fumeroles volcaniques annonciatrices d'éruption est possible en particulier dans le cas des capteurs opérant dans l'infra-rouge thermique.

Cependant, la résolution des satellites géostationnaires est généralement insuffisante pour cela. Elle ne permet de détecter que les éruptions importantes et ces satellites servent donc surtout à constater plus qu'à prévoir ces catastrophes.

Les satellites à défilement (LANDSAT, TIROS N/NOAA ...) ont une fréquence de passage trop faible, ce qui rend la détection aléatoire. Les prévisions sont donc sujettes au hasard et ne peuvent concerner que des zones à fort risque potentiel.

3.1.3. Accidents biologiques

Les risques d'épidémies ou d'attaque de certains animaux (par ex. attaque d'acridiens) peuvent être plus ou moins déterminés par le suivi écologique et la mise en évidence de zones sensibles (mise en évidence des facteurs de risque). Cependant il est difficile d'envisager un suivi systématique par télédétection dans ce domaine car les problèmes logistiques et financiers constituent des obstacles difficiles à surmonter avec les moyens disponibles en Afrique.

Les techniques de survols aériens à basse altitude, plus faciles à mettre en oeuvre peuvent alors être utilisés pour la surveillance et l'alerte en cas de risque grave pour certaines zones : vols de criquets, pollution par les hydrocarbures sur les zones côtières ...

3.1.4. Accidents hydrologiques

La prévision des crues catastrophiques peut reposer sur un système d'alerte intégrant la collecte d'informations d'origine diverses :

- . données des stations hydrologiques,
- . données météorologiques (stations et satellites météorologiques),
- . données spatiales acquises sur la région.

Ces informations sont alors traitées en fonction de modèles de prévision incluant des bases de données sur les années antérieures.

La prévision des catastrophes naturelles se heurte à de nombreuses difficultés techniques, financières et logistiques.

Les moyens actuellement disponibles sont loin de permettre la mise en place de systèmes sophistiqués. La plupart des systèmes existants (programmes de lutte contre les endémies, services hydrologiques ...) assurent une surveillance avec des moyens conventionnels et la télédétection ne peut être envisagée que comme technique complémentaire, surtout utilisable lorsque le risque a été identifié et qu'il s'agit d'en suivre la progression spatiale.

3.2. Impacts et bilans des accidents

L'étude des conséquences et des effets des accidents est fondamentale et la télédétection peut apporter une aide précieuse dans ce domaine. Elle permet en particulier d'effectuer des travaux de cartographie et donc de mesurer l'ampleur spatiale des catastrophes naturelles.

Certaines catastrophes sont relativement localisées et peuvent affecter une ville ou une petite région. Le bilan des dégâts peut alors nécessiter la programmation d'une mission photographique aérienne :

- . bilan des séismes sur les zones habitées,
- . bilan des raz de marée d'origine sismique ou volcanique,
- . bilan des crues localisées (rupture d'un barrage, d'une digue de protection ...).

D'autres catastrophes sont beaucoup plus généralisées et peuvent nécessiter le recours aux données spatiales. C'est notamment le

cas de certaines crues exceptionnelles dans les grandes plaines alluviales.

Dans les deux cas (études détaillées sur photographies ou études générales sur images spatiales) il est important de distinguer entre impact à court terme et impact à long terme.

L'étude de l'impact à court terme permet de détecter les effets immédiats.

Ainsi, dans le cas des catastrophes hydrologiques (crues exceptionnelles ou accidentelles) il est possible d'effectuer immédiatement certaines déterminations :

- . mesure de l'ampleur spatiale du phénomène (cartographie des zones inondables),
- . localisation des zones sensibles à protéger, en particulier les zones à forte concentration humaine affectées par la crue,
- . localisation des points sensibles à traiter, en particulier au niveau des lits mineurs (consolidation des berges, aménagements de bassin de réception des crues, suppressions de seuils ...).

L'étude de l'impact à moyen terme permet d'effectuer un diagnostic plus général sur les conséquences directes et indirectes :

- . dégâts sur les infrastructures et établissements humains,
- . dégâts sur les cultures,
- . dégâts sur le milieu écologique.

Les études d'impact reposent donc essentiellement sur l'interprétation de données détaillées. Celles-ci peuvent être fournies par des couvertures photographiques aériennes ou par des images spatiales à haute résolution LANDSAT TM, SPOT, mission de la navette spatiale).

CHAPITRE III

EXEMPLES D'UTILISATION DE LA TELEDETECTION DANS LE DOMAINE DE L'EAU EN AFRIQUE

Les parties précédentes ont permis de développer les aspects techniques et méthodologiques de l'utilisation de la télédétection dans le domaine de l'eau. Il s'agit de techniques et de méthodes qui ont pu être employées au cours d'études ou de recherches dans des pays variés à travers le monde.

Il était donc intéressant de faire le point des réalisations propre à l'Afrique. Pour cela, un travail de compulsions a été effectué tant à Ouagadougou qu'en France, en vue de recueillir une documentation sur les études et recherches menées en Afrique. On trouvera donc ci-après une description de projets et programmes dont les interventions ont paru intéressantes et peuvent guider les utilisateurs sur des applications opérationnelles de la télédétection.

Il s'agit tout d'abord de Projets régionaux concernant plusieurs états, ou de projets nationaux spécialisés dans le domaine de la télédétection. D'autres exemples concernent des réalisations ponctuelles mais représentatives de l'utilisation de la télédétection par de nombreux intervenants en Afrique (Bureaux d'Etudes, Instituts de Développement ou de Recherche, Universités)

Il n'est pas possible de détailler chacune de ces interventions : on se reportera utilement aux parties précédentes pour ce qui concerne les aspects méthodologiques et techniques. Les projets les plus représentatifs sont succinctement décrits et pour certains accompagnés d'une fiche descriptive, en fin de chapitre. Le plan de cette partie suit le même classement que celui de la 2^e Partie avec successivement :

* Les études thématiques de base :

- . études multithématiques (principaux projets régionaux),
- . géologie,
- . géomorphologie,
- . pédologie,
- . biogéographie
- . agriculture,
- . établissements humains.

* Les études spécifiques sur l'eau :

- . hydrologie,
- . hydrogéologie,

* Les études d'aménagement hydraulique :

- . hydraulique de surface,
- . hydraulique souterraine.

1 - ETUDES THEMATIQUES DE BASE

1.1. Etudes multithématiques

Elles consistent en une analyse cartographique du milieu physique et/ou humain. En photointerprétation, il s'agit le plus souvent de monographies sur une petite région avec présentation de séries de cartes sur des thèmes variés : géologie, sols, végétation, occupation humaine ...

La télédétection spatiale a permis de développer des études au niveau de vastes régions et bien souvent, de pays entiers. Des projets de coopération ont été ainsi mis en place en vue de mener à bien les travaux de télédétection, cartographie et contrôle de terrain. Parmi ces projets il y a lieu de citer :

- LANDSAT Related Study for Regional Planning of Onchocerciasis Free Area, Bénin, Burkina et Ghana, avec élaboration d'une documentation cartographique de base sur les ressources humaines et naturelles.

Ce projet, réalisé par les Sociétés TAMS et EARTHSAT (USA) a permis l'élaboration de 12 types de cartes à 1:200.000, dont les thèmes Hydrologie/Ressources en Eaux et Potentiels des Ressources en Eau et Pêches.

- Interprétation Pluri-Disciplinaire d'Images LANDSAT , Burkina et Niger, montrant les possibilités des images LANDSAT traitées informatiquement dans le domaine de la cartographie thématique.

Ce projet réalisé par l'Office des Géosciences et Ressources Minérales (RFA) a permis l'établissement de cartes à 1:1.000.000 sur l'ensemble des pays concernés. Parmi les 7 thèmes traités, une carte de synthèse présente les potentialités en eau souterraine.

- Méthode d'Etude des Ressources Naturelles par télédétection, Mali, en vue d'expérimenter les techniques de télédétection spatiale pour la cartographie systématique.

Projet réalisé par la Direction Nationale de la géologie et des Mines du Mali, associé au Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale (France). 4 thèmes traités dont hydrogéologie.

- Projet d'Inventaire des Ressources Terrestres (PIRT), Mali, pour la réalisation de l'inventaire des ressources naturelles au Sud du 17° parallèle.

Projet coordonné par le Ministère du Développement Rural, en association avec la Société TAMS (USA). Les travaux de cartographie reposent sur des techniques de télédétection variées : photointerprétation, survol à basse altitude, traitement numérique d'images LANDSAT ... Parmi les thèmes traités, certains concernent les méthodes de cartographie des plans d'eau (Delta Central).

- Atlas LANCHAD, Tchad, pour la réalisation d'un atlas géographique sur la zone Sahélienne.

Travaux réalisés par l'Ecole Normale Supérieure de Jeunes Filles (France) avec établissement de cartes à différentes échelles (1:50.000 à 1:200.000) sur une dizaine de thèmes, dont l'hydrogéologie et la géologie.

1.2. Etudes thématiques spécialisées

Celles-ci sont nombreuses et il est difficile d'en effectuer un inventaire exhaustif. Il a donc semblé préférable de sélectionner un certain nombre de projets en vue d'illustrer l'utilisation des techniques de télédétection dans les thèmes concernés. Chaque exemple fait l'objet d'une fiche de présentation, accompagnée dans certains cas, de planches illustrées.

1.2.1. Géologie

Les applications de la télédétection concernent aussi bien la géologie générale (cartes géologiques de base) que certaines disciplines particulières comme la géologie minière, la géologie structurale ou l'hydrogéologie.

La Fiche III.1. présente une application de la télédétection spatiale à la cartographie géologique en zone Sahélienne (Burkina, Mali, Niger).

La Fiche III.2. présente une application au cas des études géo-structurales pour la caractérisation des ressources hydrogéologiques.

1.2.2. Géomorphologie

L'analyse géomorphologique des paysages à partir des photographies aériennes est relativement aisée, grâce aux possibilités de vision stéréoscopique et à la bonne résolution de ces types de documents.

Les images satellite ne permettent généralement pas d'appréhender directement le relief (à l'exception des images stéréoscopiques de SPOT). Différentes études et recherches ont toutefois pu être réalisées avec succès, permettant l'établissement de cartes physiographiques (cartes des unités de paysages), en particulier à partir de systèmes de traitement numérique. Ceci permet une mise à jour rapide des cartes sur de vastes régions.

La Fiche III.3. présente une recherche appliquée dans le cadre d'une étude de bassin versant, à partir de données LANDSAT (Burkina, région de la Mare d'Oursi).

La Fiche III.4. présente également une recherche appliquée, celle-ci plus spécifiquement pour l'analyse d'une typologie des réseaux hydrographiques en relation avec les risques d'érosion hydrique.

Les traitements ont été réalisés sur une Simulation SPOT, c'est-à-dire sur une image reconstituée à partir d'enregistrements aéroportés (Burkina, région de Bagré).

1.2.3. Pédologie

Les photographies aériennes sont classiquement utilisées par les Pédologues en vue de l'établissement de différents types de cartes et plus particulièrement, des cartes d'aptitude ou de ressources en sol établies pour les opérations de mise en valeur des terres.

La Fiche III.5. présente le cas de l'établissement d'une carte d'aptitude à la culture de la canne à sucre, pour la mise en place d'un périmètre agro-industriel en Côte d'Ivoire (région de Bouna).

La Fiche III.6. présente une recherche appliquée à la cartographie des terres salées en zone littorale (Sénégal).

1.2.4. Biogéographie

Les études à partir des photographies aériennes concernent essentiellement l'établissement des inventaires pastoraux ou forestiers.

Certains grands Projets ont développé des activités importantes dans ces domaines. Citons en particulier :

- Le Projet PIRT, au Mali, déjà mentionné (cf. Sl.1) ;
- Le Projet Pilote d'Inventaire et de Surveillance Continue des Ecosystèmes Pastoraux Sahéliens, au Sénégal (région du Ferlo) ;
- Le Projet de Surveillance Continue de la Couverture Forestière Tropicale, au Bénin.

En ce qui concerne la télédétection spatiale, de nombreuses études se sont développées récemment dans le domaine du suivi écologique en vue du diagnostic de la sécheresse et/ou de la caractérisation des processus de désertification. Les projets précédemment cités sont également concernés par ce thème. Il y a également lieu de citer :

- Le Projet européen (CEE) - Caractérisation par les Techniques de Télédétection de la Dynamique de la Désertification à la Périphérie du Sahara, (Guinée, Burkina, Mali, Mauritanie, Niger et Sénégal) avec la participation de nombreux instituts de recherche et de développement européens.

La Fiche III.7. présente le cas d'une cartographie des étages floristiques à partir de travaux de photointerprétation (Delta du Niger, Mali).

1.2.5. Agriculture

La cartographie des terres cultivées (carte d'occupation des sols) est couramment effectuée à partir des photographies aériennes. Celle-ci conduit à distinguer les grands types de cultures (cultures vivrières, irriguées, maraîchères, industrielles ...), les jachères (anciennes et récentes) et les formations végétales "naturelles".

Ce type de cartographie peut être réalisé à une date récente, afin de disposer de données actualisées. Il peut également être effectué en comparant les résultats obtenus entre deux époques différentes, en vue d'étudier l'évolution de l'occupation des sols.

De telles études ont été entreprises récemment sur une vaste échelle en vue de dresser le bilan socio-économique du Programme Onchocercose (Bénin, Burkina, Côte d'Ivoire, Ghana, Libéria, Mali, Niger, Togo).

La Fiche III.8. présente une étude cartographique sur l'évolution de l'occupation des sols à partir d'un traitement des images LANDSAT MSS (Burkina).

Dans le domaine de la télédétection spatiale des projets pilotes ont été mis en place pour le suivi des productions agricoles. Citons par exemple le cas du Projet de Suivi des Productions Agricoles par la NOAA (USA) à partir des données du satellite TIROS N-NOAA, sur toute la frange Sahélienne de l'Afrique.

La nouvelle génération des satellites d'observation de la terre (LANDSAT Thematic Mapper et SPOT) ont permis la mise en place de projets de suivi agricole au niveau du parcellaire, ce qui permet d'envisager l'intégration des techniques de télédétection aux opérations de statistiques agricoles (inventaire des cultures et estimation des productions).

La Fiche III.9. présente le Projet Joliba, sur le suivi des productions rizicoles (Guinée et Mali).

1.2.6. Etablissements humains

Les projets télédétection sont plutôt rares dans ce domaine. En urbanisme, il s'agit essentiellement de travaux de photointerprétation à partir de photographies à grande échelle (1:5.000 à 1:20.000).

En milieu rural, la photointerprétation est utilisée de façon fragmentaire pour effectuer des inventaires sur l'habitat, en effectuant généralement une typologie (villages, groupement de cases, cases isolées, campements ...). Cette analyse est parfois confrontée à des données socio-démographiques (enquêtes) en vue de déterminer la répartition de la population (études censitaires).

Les nouvelles données spatiales (SPOT et Thematic Mapper) permettent d'envisager des travaux d'inventaire et de suivi des zones habitées (villes et villages) et des ouvrages (réseau routier, ouvrages hydrauliques ...).

La Fiche III.10. présente une étude méthodologique sur la ville de Niamey (Niger), à partir d'une Simulation SPOT.

2 - ETUDES SPECIFIQUES SUR L'EAU

2.1. Hydrologie

En télédétection aérienne (photointerprétation), les études concernent essentiellement la cartographie des réseaux hydrographiques et des analyses ponctuelles sur les cours d'eau et plans d'eau (délimitation des surfaces en eau et des zones de marnage) parfois complétées par une analyse morphologique ou morphométrique sur les écoulements. Il s'agit donc avant tout d'études préalables à l'implantation d'ouvrages hydrauliques.

La télédétection spatiale permet de réaliser le même type d'investigation, à petite échelle (LANDSAT TM ou SPOT).

En outre, la répétitivité des acquisitions des images satellite a permis de développer des opérations de suivi hydrologique ou d'analyse multitemporelle. Les fiches qui suivent fournissent des exemples ...

Fiche III.11 : Cartographie multitemporelle de plans d'eau en vue de l'estimation de la production piscicole (Burkina), à partir d'images LANDSAT MSS.

Fiche III.12 : Utilisation des Données de Télédétection pour l'Etude des Petits Barrages (Burkina), à partir de l'interprétation multitemporelle d'images LANDSAT MSS.

Fiche III.13 : Détermination des Causes des Anomalies des Crues du Niger (Projet SAPHYR, Mali), à partir de traitements sur images LANDSAT MSS.

Fiche III.14 : Modèle Mathématique du Fleuve Niger (Guinée, Niger, Mali) avec intégration des données LANDSAT MSS à un modèle hydrologique.

Les études spécifiques sur l'état de l'eau (température, salinité, pollution, charge solide ...) sont encore très limitées. Il y a lieu de citer toutefois, en océanographie, les travaux réalisés par le Centre de Recherche Océanographique de Dakar-Thiof (CRODT Sénégal) sur les mesures de température et les ressources en phytoplancton.

2.2. Hydrogéologie

Dans ce domaine, la télédétection est classiquement utilisée pour les inventaires de ressources hydrogéologiques (études régionales en général) et la recherche des sites d'implantation des forages ou de puits.

La photointerprétation est utilisée pour les études géostructurales détaillées, parfois en combinaison avec les prospections géophysiques (reconnaitances des zones d'implantation). Elle permet aussi d'effectuer des études géomorphologiques pour l'utilisation des eaux peu profondes (recherche d'aquifères superficielles).

ciels dans les formations alluviales, par exemple).

Les images satellite sont utilisées pour les études géostructurales régionales soit en vue de l'établissement de documents cartographiques de synthèse hydrogéologique, soit pour des travaux préalables aux études détaillées (photointerprétation, géophysique ...) sur les zones d'implantation de forages.

Au niveau des études hydrogéologiques régionales la Fiche III.2. (cf. 1.2.1) fournit un exemple intéressant. Deux autres fiches montrant d'autres exemples d'application :

Fiche III.15 : Méthodologie et Stratégie de Recherche Hydrogéologique (Mauritanie) avec intégration des techniques de photointerprétation à une étude de synthèse hydrogéologique.

Fiche III.16 : Projet d'Hydrogéologie Régionale dans le Gourma (Niger) avec étude des aquifères superficiels et profonds, à partir d'images LANDSAT MSS.

Les exemples d'utilisation de la photointerprétation sont nombreux. On pourra consulter une publication spéciale du CIEH à ce sujet :

- Atlas de Photointerprétation : Méthode d'Etude et de Recherches de l'Eau Souterraine des Roches Cristallines de l'Afrique de l'Ouest (Volume 3), CIEH, Série Hydrogéologie, Déc. 1981.

Les fiches qui suivent montrent des exemples intégrant également l'utilisation des données spatiales :

Fiche III.17 : Recherche de Sites de Forages (Burkina) avec interprétation mixte d'image LANDSAT MSS et de photographies aériennes à 1:50.000.

Fiche III.18 : Recherche de Sites de Forages pour l'Alimentation Urbaine en Eau Potable (Aribinda, Burkina) avec comparaison des résultats de la télédétection photointerprétation et télédétection spatiale et des techniques géophysiques.

3 - ETUDES D'AMENAGEMENT HYDRAULIQUE

3.1. Hydraulique de surface

Les photographies aériennes sont couramment employées pour l'étude des sites d'implantation d'ouvrages. Il s'agit le plus souvent d'une analyse qualitative en vue de mettre en évidence les contraintes des milieux physiques et humain (études thématiques appliquées).

De telles études permettent soit de dresser des inventaires sur de petites régions, soit d'effectuer des études détaillées au niveau d'un projet d'ouvrage particulier.

Dans ce dernier cas, l'analyse qualitative peut être complétée par des mesures quantitatives, telles l'estimation des pentes, ou même la détermination de points altimétriques à l'aide d'un appareillage simple (barre à parallaxe, stéréomicromètre), permettant l'établissement d'esquisses topographiques.

La Fiche III.19 montre un exemple d'inventaire cartographique pour une opération de petite hydraulique agricole en Côte d'Ivoire.

La Fiche III.20 présente une étude de factibilité pour l'identification et la localisation de barrages au Sénégal, avec utilisation de techniques morphométriques.

Pour les inventaires régionaux, l'interprétation des images satellite permet de traiter rapidement des surfaces étendues tout en fournissant les données thématiques de base nécessaires à l'Aménageur.

La Fiche III.21 fournit un exemple d'utilisation des données LANDSAT MSS pour l'étude des bassins versants.

3.2. Hydraulique souterraine

La photointerprétation est avant tout utilisée pour l'étude des sites d'implantation de forages (environnement physique et humain), en vue d'optimiser leur localisation eu égard à l'utilisation prévue de l'ouvrage.

Ce type d'étude est donc généralement intégré aux études hydrogéologiques sur les sites (cf. 2.2).

Dans les zones montagneuses et semi-montagneuses, il est envisageable d'effectuer des études géomorphologiques spécifiques sur les formations alluviales, en vue de l'implantation de barrages souterrains.

Les données satellites sont peu utilisées dans ce domaine par suite de manque de précision au niveau de la localisation géographique. Il y a lieu de signaler toutefois certaines études d'impact sur les gros ouvrages d'hydraulique pastorale qui ont permis de mettre en évidence les processus de dégradation par surpâturage et piétinement du cheptel.

De telles études permettent de proposer la mise en place de

périmètres de protection ou la mise en place d'ouvrages complémentaires dans les zones de forte transhumance.
Ce type d'investigation a été conduit dans le cadre du Projet Ferlo, déjà cité dans ce chapitre (cf. 1.2.4).

FICHE III.1.

PROJET : Carte géologique de l'Afrique à 1:500.000
(Feuilles Ansongo-Hombori)

REALISATION : CRTO-IGN-GDTA

LOCALISATION : Burkina, Mali, Niger (région du Gourma)

OBJECTIFS : Etablir une carte géologique à partir des données
LANDSAT

METHODE :

- Traitements photographiques des images LANDSAT MSS sous forme de tirages à 1:500.000 sur papier noir et blanc (canaux 5 et 7, bandes rouges et infra-rouge).

- Interprétation sur calque avec identification des thèmes suivants:

- . réseau hydrographique (réseau permanent et temporaire),
- . formations éoliennes (dunes et placages sableux),
- . formations latéritiques (cuirasse, glacis latéritiques et formations rocheuses imprégnées d'oxydes),
- . lithologie (discontinuités et affleurements linéaires),
- . structurologie (schistosité/stratification et fracturation).

- Contrôles de terrain au cours de deux missions

- Cartographie avec :

- . préparation d'une mosaïque à partir des images LANDSAT,
- . report des informations planimétriques, à partir des cartes IGN existantes (1:200.000 et/ou 1:500.000),
- . report de l'interprétation géologique
- . édition (offset couleur).

RESULTATS

- Carte géologique à 1:500.000
- Notice de la carte

REMARQUES : Cette étude a été conduite à titre de démonstration des possibilités de la télédétection pour la cartographie géologique en Afrique et plus particulièrement au Sahel.

Le document produit est original tant dans sa forme (présentation sur fond mosaïque LANDSAT) que dans le traitement géologique effectué. C'est ainsi que les formations superficielles, les accidents géomorphologiques et les aspects géostructuraux ont été soulignés. Ce type de document constitue un outil de base pour les prospections en hydrogéologie et géologie minière.

FICHE III.2.

PROJET : Connaissance Structurale du Bassin Sénégalais

REALISATION : Direction des Etudes Hydrauliques (DAKAR-Sénégal)

OBJECTIFS GENERAUX : Améliorer la connaissance de la configuration des aquifères souterrains du bassin sédimentaire

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : Mettre en évidence les structures géologiques et en particulier la fracturation.

METHODES :

- Interprétation visuelle des images LANDSAT (1:1.000.000 et 1:500.000, noir et blanc et compositions colorées) : établissement de la carte régionale des linéaments.

- Comparaison de la carte des linéaments à la carte des isohypses (toit de l'aquifère) avec analyse géostructurale selon un schéma de tectonique cassante : établissement de la carte de synthèse hydrogéologique.

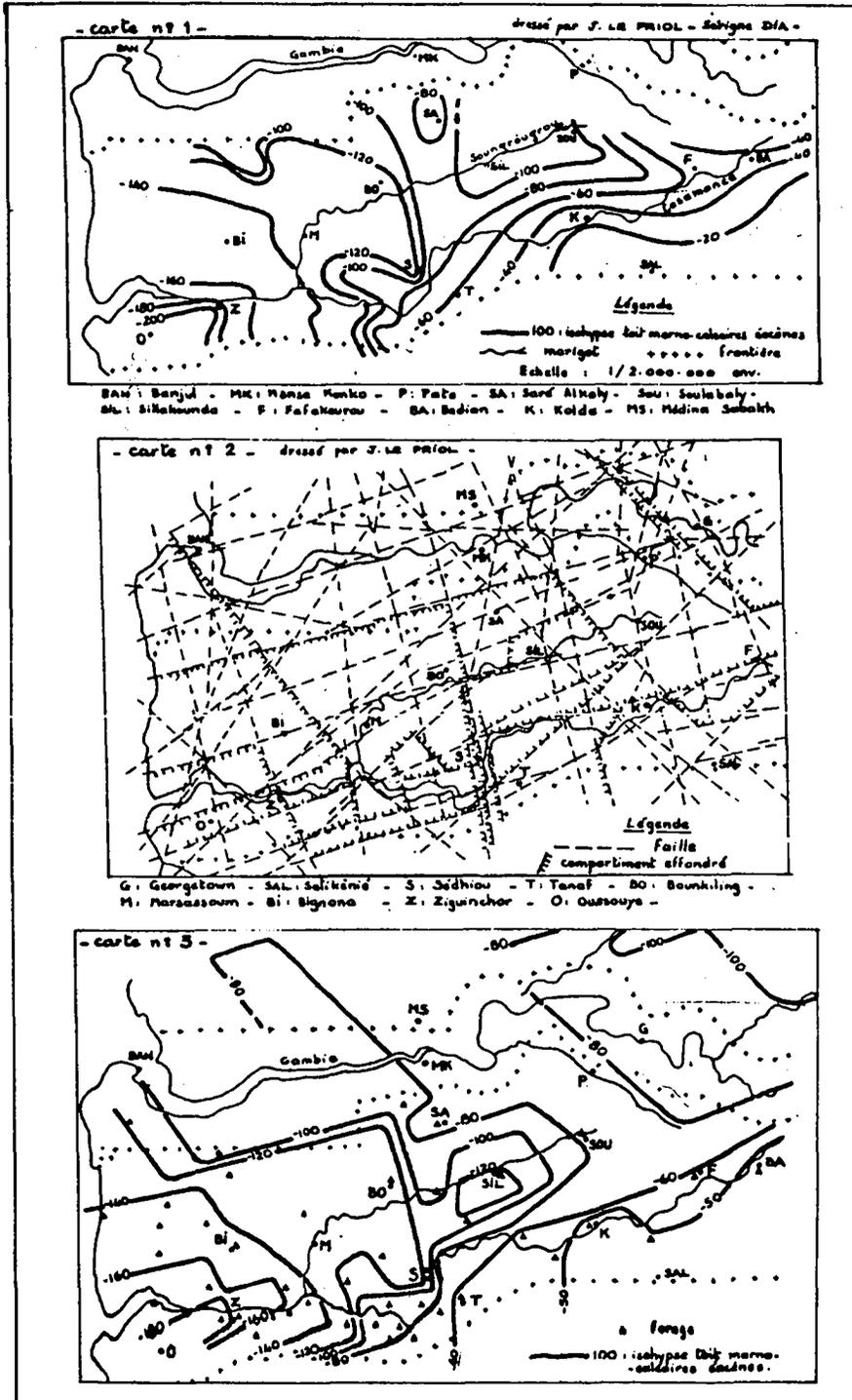
RESULTATS : Série de carte à très petite échelle (env. 1:200.000) sur le bassin Sud Sénégalais :

- Carte initiale des isohypses, d'après les forages ;
- Carte des linéaments, d'après LANDSAT ;
- Carte de synthèse hydrogéologique (isohypses modifiés).

REMARQUES : Cette étude propose une démarche originale pour l'amélioration de la connaissance des aquifères en milieu fissuré. Les images satellite ont permis une interprétation rapide et à peu de frais sur de vastes zones (étude régionale). La mise en évidence des structures n'a pas posé de problème que ce soit en zone de socle ou en région sédimentaire sablo-argileuse (Continental Terminal).

Ceci permet de supposer qu'une telle démarche est applicable à de nombreux pays des régions Sahéliennes à Guinéennes.

- Reconnaissance géostrutturale du Bassin Sénégalais
- Carte 1 : isohypses d'après sondages seuls -
- Carte 2 : photo-fracturation
- d'après LANDSAT MSS - Carte 3 : interprétation carte 1
- en fonction de la carte 2.



FICHE III.3.

PROJET : Etudes Hydrologiques sur la Mare d'Oursi (Burkina)

REALISATION : ORSTOM

DATE : 1984

LOCALISATION : Région d'OURSIS (Sahel Burkinabè)

OBJECTIFS GENERAUX : Améliorer les capacités de reconstitution des facteurs du ruissellement en zone Sahélienne.

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : Etablir la cartographie de base des bassins versants.

METHODES :

- Traitement numérique d'une scène partielle LANDSAT Système Numelec (Périor 1000) :
 - . Composition colorée type IRC ;
 - . Tracé des limites des bassins versants à l'aide du "track ball" sur la composition colorée (système interactif sur écran de visualisation) ;
 - . Traitements statistiques sur les valeurs radiométriques des 4 canaux (corrélation, histogrammes ...) ;
 - . Classification par thèmes selon le système "loterie" (traitements combinés sur 2 canaux) ;
 - . Photo-interprétation (photographies aériennes IRC) : esquisse morpho-structurale.

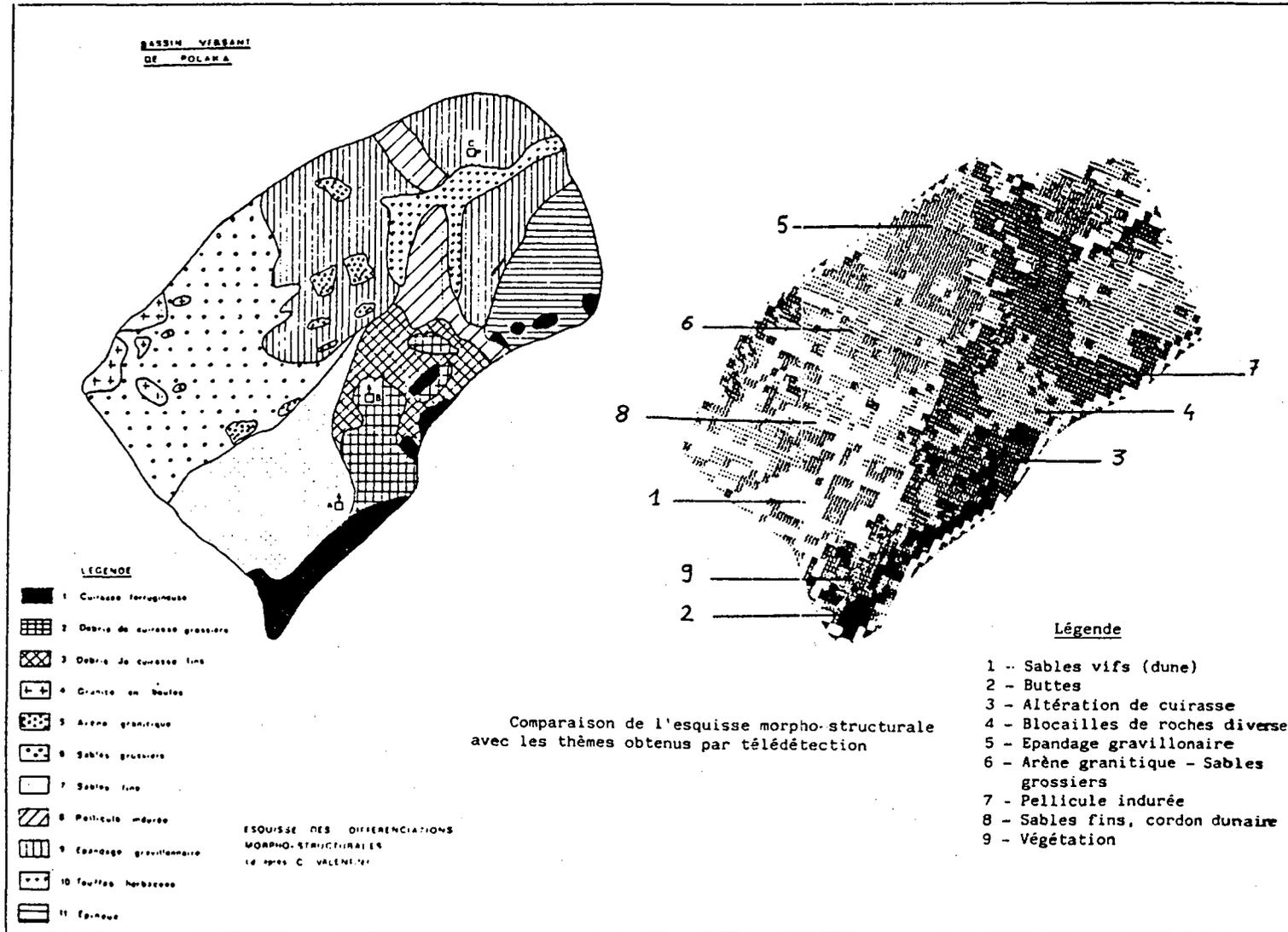
RESULTATS : Pour chacun des bassins versants :

- Cartographie comparative des photographies aériennes (esquisse morpho-structurale) et image satellite LANDSAT (classification type loterie) ;
- Tableaux des résultats comparatifs des superficies obtenues pour chacun des thèmes.

REMARQUES : -

- La composition colorée obtenue sur écran permet de distinguer surtout 3 thèmes : végétation, cuirasses et accumulations sableuses. Les autres thèmes ont des teintes trop nuancées ;
- La délimitation des bassins versants a entraîné une sous-estimation des surfaces obtenues par le procédé "track ball". Ceci devrait pouvoir être amélioré par une manipulation différente de l'appareil.
- La classification a abouti à la différenciation de 9 thèmes sur les 11 thèmes recherchés (d'après l'esquisse morpho-structurale). Des différences notables apparaissent dans l'appréciation de certains thèmes : épandage gravillonnaire, arène granitique et sables grossiers, pellicule indurée et végétation.

Figure III.21.- Comparaison de l'Esquisse Morpho-structurale avec les thèmes obtenus par télédétection spatiale



FICHE III.4.

PROJET : Caractérisation de l'Espace Géographique

REALISATION : Recherche jointe IBM-IRAT (France)

DATE : 1983

LOCALISATION : Région de BAGRE (Burkina Faso, vallée de la Volta Blanche).

OBJECTIFS GENERAUX : Effectuer une cartographie automatisée du réseau hydrographique à partir des données de télédétection spatiale (SPOT). Analyser le paysage en vue de mettre en évidence les zones érodées.

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : idem

METHODES : A partir d'une simulation SPOT (image multispectrale sur 240 km²) et de données sur le milieu (études existantes et mission de terrain) :

- traitements numériques sur IBM 75540-Hacienda, avec :
 - . amélioration de l'image,
 - . calculs statistiques sur les 3 canaux (analyse en composantes principales),
 - . classification supervisée à partir des composantes principales 1 et 2 (CP1 et CP2) avec 12 thèmes,
 - . sortie du thème réseau hydrographique (cf. figure).

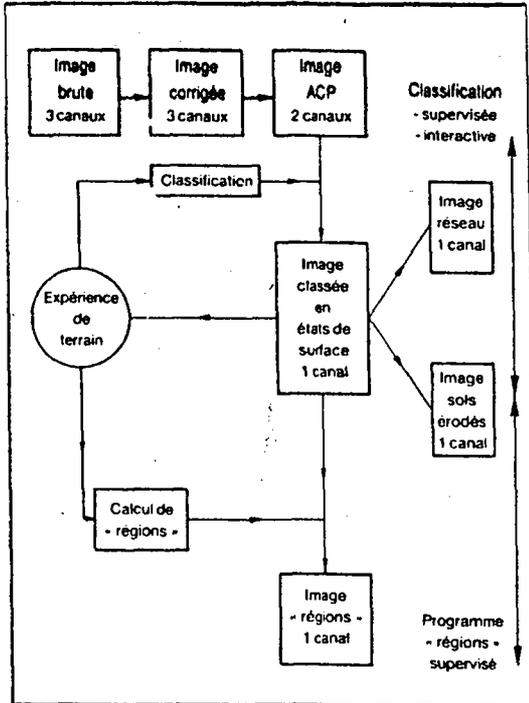
RESULTATS : Cette étude a permis de traiter automatiquement une simulation SPOT en zone de savane Soudanienne, et de cartographier :

- l'image des "régions", c'est-à-dire des unités de paysages caractérisées par une association donnée des classes d'état de surface (i.e. classes obtenues à partir d'une classification supervisée) ;
- les superficies concernées par ces différentes "régions" (simulation des pixels) ;
- le réseau hydrographique : vallées et lits secondaires, axes de drainage amont, avec différenciation selon son état ;
- cartographie des zones érodées.

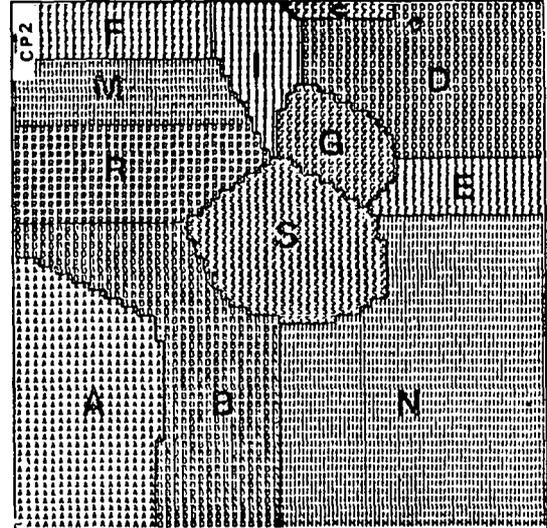
REMARQUES : Il s'agissait d'une étude méthodologique sur les possibilités de classification supervisée pour l'analyse des paysages soudaniens et en particulier pour la mise en évidence de certains traits morphologiques (réseau, érosion ...). Les auteurs affirment que les tracés obtenus sont plus exhaustifs que ceux obtenus par une interprétation visuelle de photographies ou d'images. Ils insistent aussi sur la nécessité d'appuyer les traitements sur une bonne identification des zones tests, pour une définition correcte des classes d'état de surface. D'où l'importance dans la démarche des contrôles de terrain.

Le tracé du réseau est ici conçu selon un point de vue de géomorphologue car plus que sa précision cartographique, c'est sa typologie qui est ici analysée. Ce type d'étude devrait donc surtout répondre à l'attente des aménagistes.

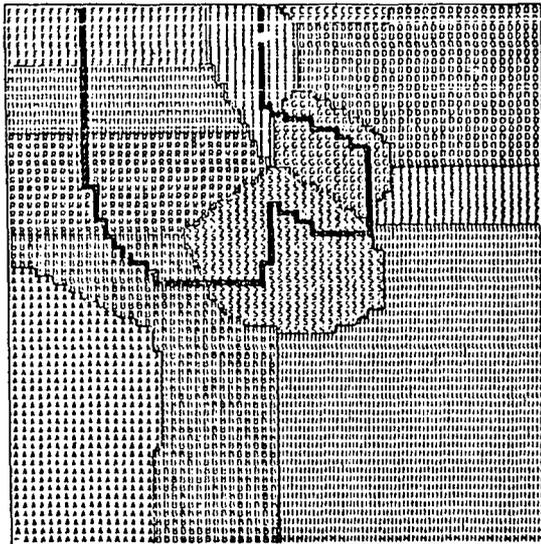
- Resumé des Traitements Numériques



- Partition du plan des radiométries (deux premières composantes principales)



- Définition radiométrique du réseau hydro



A Feux	G Bas-fonds cultivés
B Etards de foux	I Savane herbes hautes
C Colton	M Forêt-galerie claire
D Cultures diverses et jachères	N Sols nus et dégradés
E Classe intermédiaire cultures-sols nus	R Savane herbes rases
F Forêt-galerie dense	S Savanes (arborées et arbustives)

FICHE III.5.

PROJET : Implantation d'un Complexe Agro-Industriel Sucrier.
REALISATION : BNETD (Côte d'Ivoire) pour le Ministère du Plan -
Ministère de l'Agriculture de la Côte d'Ivoire.
DATE : 1975
LOCALISATION : COTE D'IVOIRE Région de BOUNA (Nord) sur 24.000 ha

OBJECTIFS GENERAUX : Déterminer les terres aptes à la culture de la canne à sucre (étude morpho-pédologique de reconnaissance).

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : Préparer les prospections pédologiques et fournir les données complémentaires pour la cartographie.

METHODES : Photo-interprétation morphopédologique (clichés à 1:50.000). La télédétection est intégrée à la démarche générale du pédologue. Celle-ci comprend les étapes suivantes :

- 1) Choix du site : examen des documents existants et des photographies aériennes. Survol en hélicoptère ;
- 2) Photo-interprétation préalable : zonage en fonction du relief, de la morphologie, de la végétation et des grands types de sol ;
- 3) Rapide parcours du terrain pour la préparation de la prospection (implantation des "layons"). ;
- 4) Prospection pédologique avec observations des formes pédologiques et prélèvement des échantillons pour analyse ;
- 5) Détermination des associations de sols (unités cartographiques et de leurs aptitudes ;
- 6) Cartographie : carte morpho-pédologique et carte d'aptitude pour la canne à sucre à partir des données de terrain, avec contrôle des limites des unités sur les clichés aériens ;
- 7) Rédaction du rapport : Notice explicative de la carte, interprétation des résultats d'analyse ...

Les photographies aériennes sont particulièrement utilisées au cours des étapes 1, 2 et 6.

RESULTATS :- Zonage de la région étudiée (document de travail) correspondant à l'étape 2 précédente :
 . carte morpho-pédologique à 1:50.000
 . carte d'aptitude à 1:50.000.

REMARQUES : Cette étude est un exemple caractéristique d'utilisation de la télédétection dans le cas des études préalables à l'implantation de périmètres agricoles. La démarche est sensiblement identique pour les périmètres hydro-agricoles. L'échelle des photos (1:50.000) se prête assez bien à l'analyse morpho-pédologique. Elle constitue cependant une limite inférieure pour ce type d'opération, l'échelle optimale se situant entre 1:30.000 et 1:50.000. Les plus grandes échelles (1:5.000 à 1:20.000) ne sont pas souhaitables dans ce cas car elles fournissent une vision spatiale limitée, ont un coefficient d'hyperstéréoscopie plus limité (le relief est mal perçu dans les zones à faible relief) et sont plus longues à exploiter.

FICHE III.6.

PROJET : Récupération des Terres Salées (tannes) en Zone littorale au Sénégal

REALISATION : A.C. BERENGER (Mémoire de DESS - PARIS VI, CETEL/GDTA TOULOUSE)

DATE : 1984

LOCALISATION : Sine Saloum (Sénégal)

OBJECTIFS GENERAUX : Cartographie des zones littorales en vue de freiner l'extension des terres salées

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : Tester l'utilisation des données spatiale SPOT pour la cartographie des tannes

METHODES :

- Photo-interprétation (photographies aériennes IRC 1:23.000) ;
- Traitements numériques des simulations SPOT : compositions colorées, histogrammes bi-dimensionnels, indice de brillance, indice de végétation

RESULTATS :

- Aspects méthodologiques
- Cartes d'occupation des sols obtenues à partir de la photo-interprétation et des différents traitements numériques
- Graphiques obtenus à partir des traitements numériques (histogrammes).

Les résultats sont le plus souvent présentés à partir de photographies d'écrans (Système Numelec-Péricolor).

REMARQUES :

- La détermination des terres salées n'a pu être qu'approximative compte-tenu des contraintes de dates (images de fin de saison de pluies) : pour ce thème il est préférable de disposer de données de fin de saison sèche, époque où les sels forment une croûte en surface ;
- Les traitements classification automatique, indice de brillance et indice de végétation permettent de différencier tannes vifs et tannes herbeux, les premiers étant particulièrement sensibles au risque de salinisation ;
- En l'absence de contrôle de terrain (ceux-ci étaient prévus ultérieurement) il n'a pu être réalisé une évaluation rigoureuse des méthodes de traitement.

FICHE III.7.

PROJET : Carte des Etages Floristiques dans l'Aire Grégarigène du Delta Central du NIGER

REALISATION : BDPA pour le PNUD

PROJET recherches sur le Criquet Migrateur Africain.

DATE : 1971

LOCALISATION : MALI (Delta Central du Niger)

OBJECTIFS GENERAUX : Mettre en évidence les zones favorables au développement du Criquet Migrateur.

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : Effectuer une cartographie des zones inondables.

METHODES : Photo-interprétation à partir de photographies à 1:50.000 (couverture aérienne spéciale IGN, 1970 :
· aspects planimétriques
· hydrographie
· étages floristiques avec 7 niveaux (cf. coupe).

RESULTATS : Cartographie à 1:50.000 (47 feuilles)

REMARQUES : La photo-interprétation repose sur une analyse morphologique appuyée sur l'identification d'unités édaphologiques. Celle-ci est complétée par un échantillonnage des formations végétales (détermination de secteurs floristiques).

FICHE III.8.

PROJET : Suivi de la Dynamique de l'Occupation des Sols

REALISATION : Centre Régional de Télédétection de Ouagadougou (CRTO)

DATE : 1981

LOCALISATION : BURKINA FASO, région de Gaoua

OBJECTIFS GENERAUX : Mesurer l'impact du Programme Onchocercose sur le milieu agricole et rural.

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : Mettre en évidence l'évolution de l'occupation du sol entre deux dates (1976 et 1979).

METHODES :

- Traitement numérique des images (délignage et amélioration de dynamique) et restitution des films noir et blanc ;
- Traitement photographique avec agrandissement du film du canal 5 (bande rouge) à 1:200.000 ;
- Interprétation visuelle des images avec identification de 4 thèmes :
 - . zones cultivées,
 - . villages,
 - . jachères récentes,
 - . zones de sol nu (érosion).
- Essai de 3 méthodes de cartographie comparative entre les deux dates.
 - . interprétation simultanée au moyen d'une grille de repérage (une grille par image) ;
 - . idem, mais observations sous le stéréoscope en vue de fusionner les deux images ;
 - . interprétation sous stéréoscope en interposant un seul calque, avec synthèse cartographique directe effectuée bande par bande.

Cette dernière méthode fournit les meilleurs résultats.

Elle permet un calage géométrique des images et évite les reports d'un calque sur l'autre, ce qui permet un travail plus rapide.

RESULTATS :

- Traitements cartographiques avec :
 - * Carte à 1:200.000, sur fond IGN à 1:200.000, avec trois unités :
 - . champs cultivés en 1976 et en 1979,
 - . champs cultivés en 1976 uniquement,
 - . champs cultivés en 1979 uniquement.
 - * Cartes des densités d'occupation établie à partir des pourcentages des zones cultivées par blocs échantillons de 4 km² : situation 1976 et situation 1979.
 - * Cartes des courbes d'égale densité par traitement graphique (interprétation des lignes d'iso-valeurs) des cartes précédentes (1976 et 1979) ;
 - * Carte des différences des densités entre 1979 et 1976 ;
 - * Carte des courbes d'égale différence de densité par traitement graphique de la carte précédente.

Ce dernier type de carte constitue un document de synthèse permettant de visualiser aisément les tendances évolutives de l'occupation des sols avec une appréciation quantitative des changements intervenus.

FICHE III.9.

PROJET : Inventaire des Ressources Rizicoles en Afrique de l'Ouest (Projet Joliba)

REALISATION : Centre Commun de Recherche (CCR, Ispra, ITALIE)

DATE : 1985

LOCALISATION : MALI (Région de Ségou, Delta Central du Niger)
GUINEE (Région de Siguiri).

OBJECTIFS GENERAUX : Suivre les productions rizicoles en Afrique

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : Prévoir les productions rizicoles (Objectif agronomique) ;
Prévoir le régime d'inondation des périmètres rizicoles en liaison avec le régime de crue du Fleuve Niger (Objectif hydrologique).

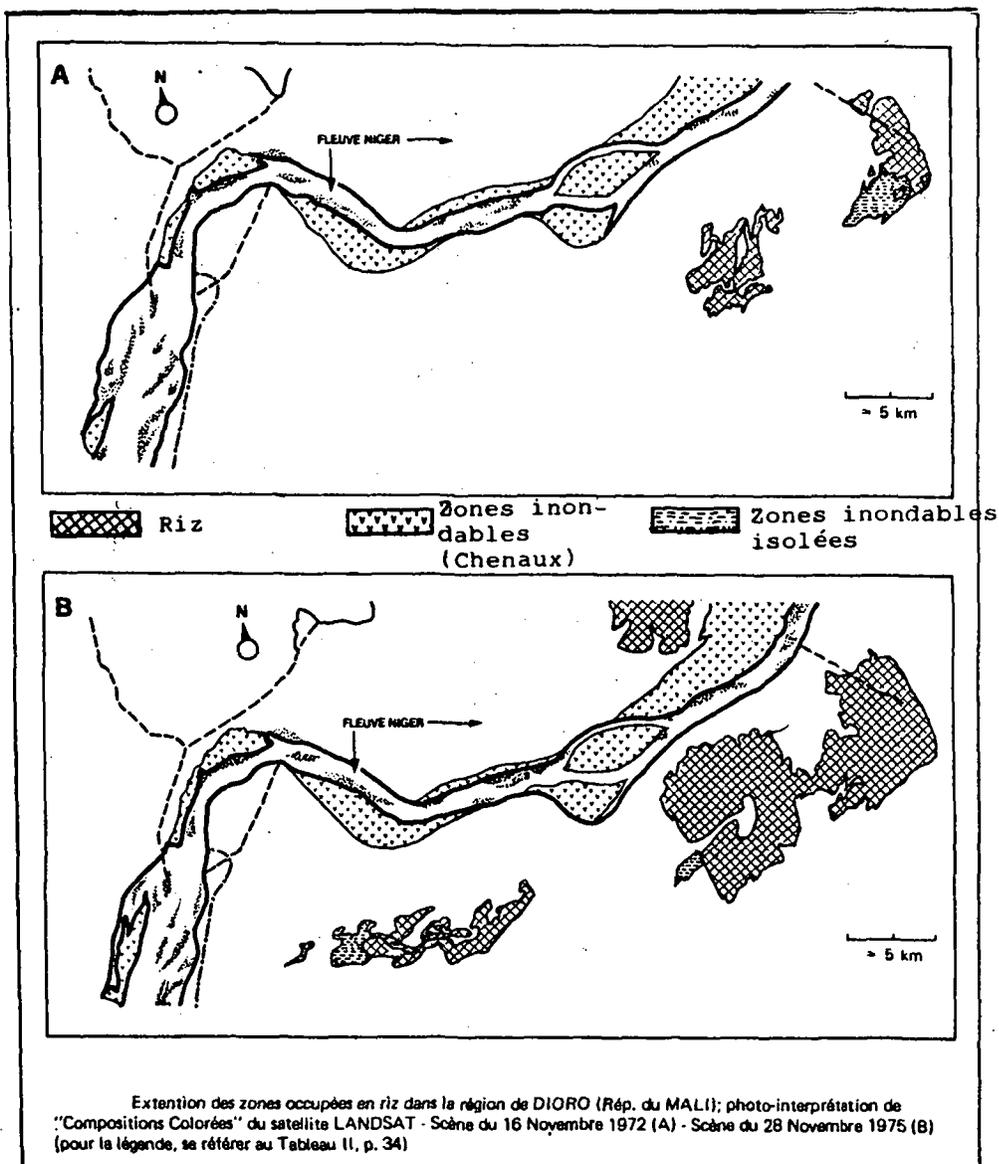
METHODES : Télédétection spatiale (différentes données) :

- images LANDSAT : données MSS et RBV,
- simulation SPOT,
- photographies aériennes.

RESULTATS :

- Inventaire des surfaces rizicoles globales d'après LANDSAT MSS
- Inventaire des surfaces rizicoles récoltables d'après LANDSAT RBV (Caméra panchromatique) avec mise en évidence d'une corrélation étroite entre surfaces inondées au maximum de crue et surfaces récoltables, d'où une possibilité de prévision plus de deux mois avant la récolte ;
- Inventaire de différentes classes rizicoles à l'intérieur des périmètres d'étude d'après SPOT (image simulée) avec discrimination de la végétation non rizicole naturelle (nénuphar, bourgou, riz sauvage), reconnaissance de deux grandes variétés de riz (riz flottant et riz dressé) et mise en évidence d'états de vigueur du riz (normal, "noyé", "brûlé") ;
- Inventaire des rizières en submersion non contrôlée (riziculture paysanale) d'après SPOT (image simulée avec traitement numérique) avec reconnaissance de ces rizières (précision de l'ordre de 90 %) ;
- Prévision du régime d'inondation des périmètres rizicoles avec étude méthodologique préliminaire : la prévision de la crue pourrait être basée sur le suivi du remplissage progressif de "réservoirs hydrologiques" situés dans le lit majeur du fleuve, au niveau du bassin supérieur (Guinée).

- Interprétation diachronique des images LANDSAT



- Intensité des réponses spectrales
(d'après Canaux LANDSAT MSS)

Radiation réfléchié dans les 3 bandes spectrales			
Objet	Vert	Rouge	Proche infrarouge
Eau	m	f	f
Sol clair	F	F	F
Végétation	m	f	F
Latérite (rouge)	f	F	f

(f = faible; m = moyenne; F = forte)

FICHE III.10.

PROJET : Apport de la simulation SPOT aux études urbaines

REALISATION : Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale - Toulouse.

DATE : 1982

LOCALISATION : Niamey (Niger)

OBJECTIFS GENERAUX : Apport de l'imagerie SPOT à la réalisation d'un Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme ; analyse de l'occupation du sol et des potentialités d'urbanisation.

OBJECTIF DE LA TELEDETECTION : Cartographie thématique de l'occupation du sol, et mise en évidence de la voirie urbaine sur l'image.

METHODES :

- Traitements numériques sur le système TRIAS de l'IGN français.
 - . analyses en composantes principales ;
 - . améliorations de contrastes ;
 - . classification supervisée.
- Analyse visuelle (photo-interprétation) de l'image en mode panchromatique et de la composition colorée réalisée avec le mode multispectral.

RESULTATS :

- Carte d'occupation du sol et de l'urbanisation potentielle.
- Mise en évidence de la voirie par le traitement informatique.

REMARQUES :

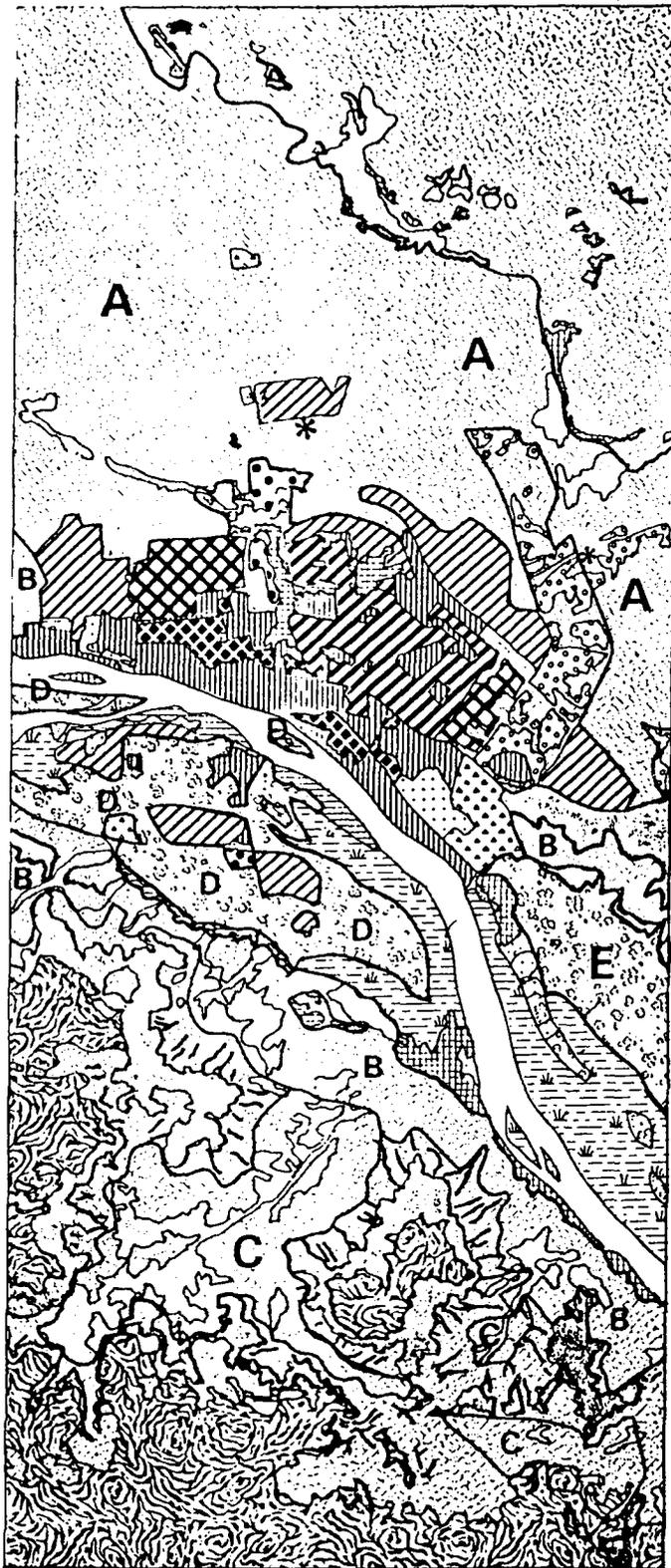
- La résolution de 10 mètres du mode panchromatique est très bien adaptée aux problèmes spécifiquement urbains.
- Le mode multispectral fournit une très bonne résolution thématique pour l'environnement urbain - information différente et complémentaire sur chacun des 3 canaux.
- La finesse de résolution spatiale rend ces images très proches de la photographie aérienne en regard des documents LANDSAT, ce qui explique le traitement "visuel" réalisé conjointement au traitement numérique.

occupation du sol

-  fleuve
-  mangroviaires jardins
-  neems ceinture verte
-  rizières
-  brousse tigrée
-  steppe arborée-arbustive
-  ravine verte
-  carapace
-  sables fins
-  zone humide
-  sables et cultures
-  habitat dur récent
-  habitat dur ancien
-  habitat banco récent
-  habitat banco ancien
-  villages urbains
-  paillottes
-  grands équipements
-  zone industrielle
-  * décharges publiques

urbanisation potentielle

- A** économique habitat
- B** idéale mais coûteuse habitat
- C** coûteuse habitat
- D** sous conditions équipements
- E** agriculture potentielle



CARTE D'OCCUPATION DU SOL ET URBANISATION POTENTIELLE

issue de l'image en mode multispectral définition 20 m x 20 m

FICHE III.11.

PROJET : Estimation de la Production Piscicole

REALISATION : Centre Régional de Télédétection de Ouagadougou (CRTO, Burkina) pour la Direction des Pêches et de la Pisciculture (Burkina).

DATE : 1984

LOCALISATION : BURKINA FASO (Plateau Mossi)

OBJECTIFS GENERAUX : Estimer la production piscicole des plans d'eau (21 sites)

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : Cartographier les plans d'eau à différentes dates.

METHODES : Interprétation des images LANDSAT (canal infra-rouge) avec :

- . préparation de diazo négatif à 1:1.000.000,
- . agrandissement par projection à 1:50.000 (coefficient multiplicateur 20 X),
- . tracé des limites du plan d'eau (interprétation visuelle),
- . répétition des mêmes opérations à différentes dates : hautes eaux, eaux moyennes, basses eaux.

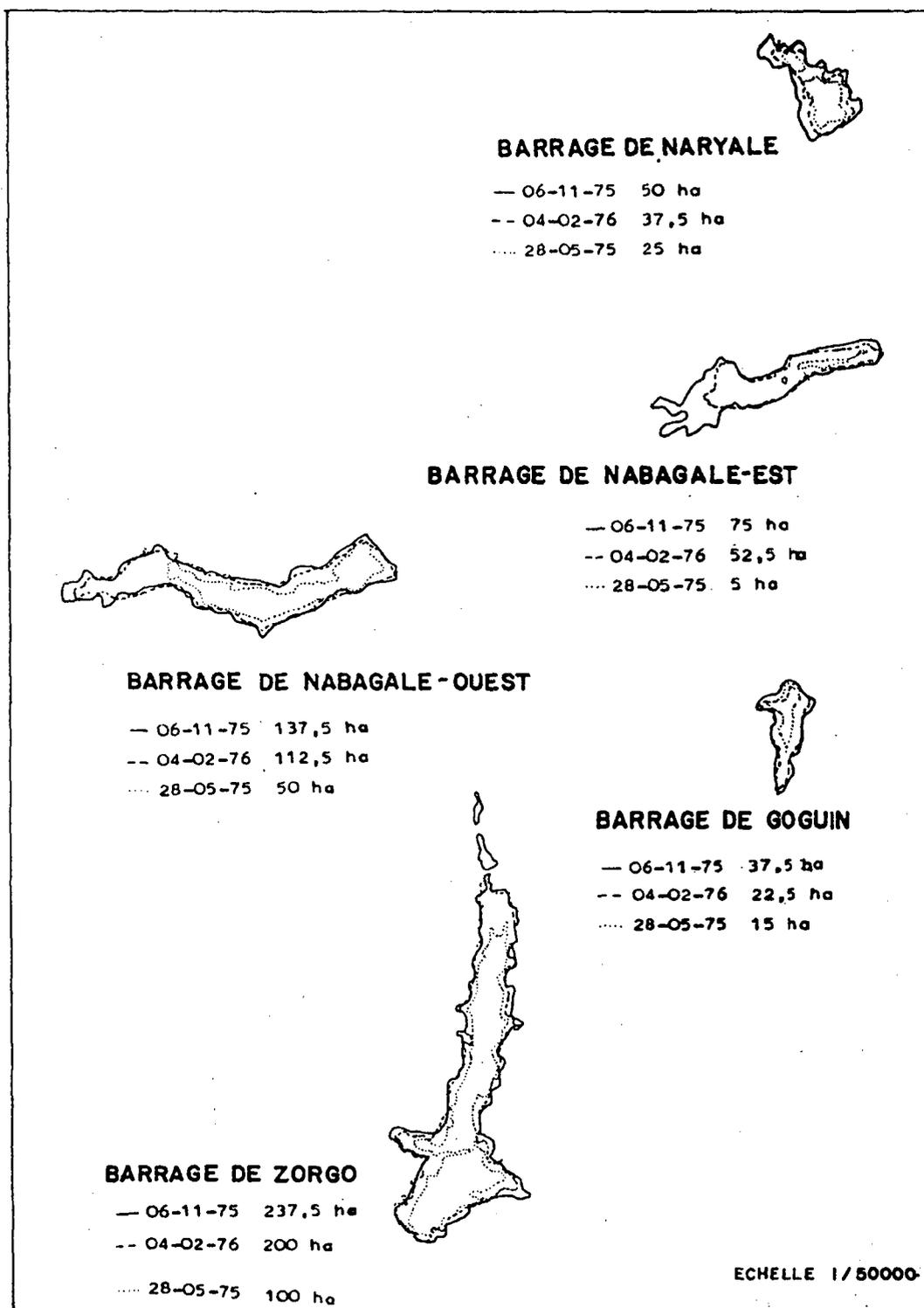
RESULTATS :

- Cartes multidates des plans d'eau à 1:50.000.
- Estimation des superficies.

REMARQUES : La méthode utilisée est simple à mettre en oeuvre, rapide et peu coûteuse. Elle se prête au traitement de nombreux plans d'eau, à condition que ceux-ci soient bien identifiés dans l'espace. Il est également possible d'utiliser une méthode similaire, avec un coefficient d'agrandissement plus réduit (par exemple 5 X, soit à 1:200.000) pour l'établissement de cartes d'inventaire des plans d'eau.

Les images LANDSAT MSS utilisées ont une précision insuffisante pour les petits plans d'eau en deçà d'une quinzaine d'hectare. Certaines limitations peuvent apparaître, en particulier dans le cas de l'existence de végétation aquatique (mares naturelles...).

- Cartographie multitudes des plans d'eau d'après
LANDSAT MSS.



Note : L'échelle 1:50 000 correspond au document original.

FICHE III.12.

PROJET : Etude des Petits Barrages au Burkina (1)

REALISATION : CIEH/CRTO

DATE : 1986

LOCALISATION : Burkina Faso sur une quinzaine de barrages

OBJECTIFS GENERAUX : Préparer un document technique sur les méthodes opérationnelles d'étude des petits barrages.

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : Dégager des méthodes d'utilisation de la télédétection en vue de fournir des données pour l'établissement des courbes de calibration des petits barrages (courbes hauteurs-surface-volume).

METHODES :

- Traitements photographiques des images LANDSAT MSS sur la période 1972-1984 avec montage de dias des négatifs du canal 7 (infra-rouge) à 1:1.000.000 ;
- Projection des dias et agrandissement à 1:50.000 ;
- Interprétation et cartographie des contours des différentes retenues d'eau aux dates disponibles (jusqu'à 21 dates différentes) ;
- Mesure des superficies au planimètre ;
- Etablissement des courbes hauteur-surface par deux types de traitements :
 - . calcul direct à partir des données limnimétriques (hauteur d'eau) disponibles à la même date que les acquisitions satellite ;
 - . calcul indirect en utilisant les données hydrologiques moyennes (courbe de décrue) pour le calcul des hauteurs d'eau aux dates des acquisitions des données satellite.

RESULTATS :

- Tableaux des résultats sur 10 barrages et établissement des courbes de calibration ;
- Sur 3 barrages, les courbes obtenues par télédétection (calcul direct et indirect) ont pu être comparées aux courbes classiques établies par la méthode topographique.

Il apparaît donc possible avec un minimum de données hydrologiques d'établir ces courbes de calibration sans avoir recours à de lourdes investigations de terrain (levés topographiques). Ceci permet également de recalculer à posteriori les hauteurs limnimétriques lorsque les données sont manquantes.

FICHE III.13.

PROJET : Détermination des causes des Anomalies des Crues du Niger. Projet SAPHYR (Satellite Project Hydrology Research)
REALISATION : ORSTOM/BDPA pour le Ministère de la Coopération (France) à la demande de la Commission du Fleuve Niger.
DATE : Juin 1976 (Première année d'études sur les anomalies).

LOCALISATION : Mali - Delta Central du Fleuve Niger.

OBJECTIFS GENERAUX : Déterminer les causes des anomalies de crue du Fleuve Niger.

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION :

Elaborer une visualisation numérique et cartographique utilisable en hydrologie. Etudier l'occupation du sol et en particulier l'évolution du couvert végétal.

METHODES : Interprétation et traitement des Images LANDSAT acquises à différentes dates. Cartographie multitemporelle des surfaces inondées au cours du cycle hydrologique annuel.

Etapas méthodologiques

- . constitution d'une mosaïque à 1:1.000.000
- . agrandissement à 1:200.000
- . traitement en équidensité colorée (appareil DIGICOL de MATRA)
- . découpage en secteurs hydrologiques
- . interprétation multitemporelle (entre 2 dates) sur période de crue et de décrue, à partir du canal 7 (proche IR).

RESULTATS : Cartographie à 1:200.000 sur la base de 3 classes :

- . zones en eau libre : cheneaux et lacs, sans végétation, profondeur de l'eau supérieure à 1 m,
- . zones inondées, profondeur inférieure à 1 m,
- . zones humides, pas d'eau libre, forte humidité.

Etablissement de diagramme hauteur (d'après échelle limnimétrique) et surface inondées (d'après la cartographie LANDSAT). Ceux-ci permettent de mettre en évidence :

- . des secteurs où l'évolution est conforme (surface décroissante avec la décrue),
- . des secteurs où l'évolution est inverse.
Ceci est expliqué par la présence de seuils de contrôle avec propagation de la crue différée,
- . des phénomènes d'hysteresis avec des courbes crues et décrues non parallèles pour les secteurs de superficies supérieures à 400 km².

REMARQUES : Cette étude correspond à une première tentative d'approche du problème.

Des problèmes de disponibilité des images (60 images effectivement utilisées sur plus de 500 images normalement exploitables) ont limité les études multitemporelles.

Des difficultés d'interprétation sont liées à la présence de végétation aquatique.

FICHE III.14.

PROJET : Modèle mathématique du Fleuve Niger.

REALISATION : IGN -SOGREAH - ORSTOM (France) sur financement FAC (France) pour Autorité du Bassin du Niger. Le volet télédétection a été assuré par l'IGN

DATE : 1978-1985

LOCALISATION : Bassin du Fleuve Niger (Guinée, Mali, Niger, Bénin, Nigéria).

OBJECTIFS GENERAUX : Etablir un modèle mathématique permettant de dresser la situation hydrologique à un moment donné.

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : Compléter le modèle dans le Delta Central du Fleuve Niger (tronçon de Mopti à Tombouctou, sur plus de 1.000.000 km²).

METHODES :

Phase 1 : création d'une image de référence par assemblage de 8 scènes LANDSAT calées sur la carte IGN à 1:200.000 ;

Phase 2 : intégration de 300 périmètres hydrologiques homogènes sur l'image de référence ;

Phase 3 : acquisition des images sans nuages au cours du temps (depuis 1978) et traitement par classification supervisée en 5 thèmes ;

Phase 4 : pour chacune des dates disponibles, croisement entre classes précédentes et fichier des périmètres hydrologiques pour détermination des surfaces des 5 thèmes dans chacun des périmètres.

RESULTATS : Le modèle "télédétection" calé sur l'image de référence permet d'obtenir à toute date disponible une cartographie automatisée (classification supervisée en 5 thèmes) et les surfaces correspondant à chacun des thèmes sur les 300 périmètres hydrologiques de référence.

REMARQUES : L'utilisation de la télédétection spatiale a été envisagée pour traiter le Delta Central du Fleuve Niger compte tenu de l'importance de la superficie (vision synoptique des images satellite) et de la nécessité de suivre l'évolution de la crue à différentes dates (étude diachronique).

Les études se sont heurtées à des problèmes de disponibilité des images notamment entre 1981 et 1984 (fin de LANDSAT 3 et défectuosité de LANDSAT 4). Le projet initial a dû être transformé en une étude de faisabilité à partir d'images plus anciennes.

Ces difficultés devraient être levées avec la mise en place de la Station de Mas Palomas, permettant d'obtenir une image correcte toutes les 4 à 6 semaines et, dans l'avenir, avec les satellites SPOT (étude de zones tests) et ERS 1 (images radar sous couvert nuageux).

FICHE III.15.

PROJET : Méthodologie et Stratégie de Recherche Hydrogéologique

REALISATION : PNUD

LOCALISATION : Mauritanie (ensemble du pays)

OBJECTIFS GENERAUX : Synthèse méthodologique sur les études hydrogéologiques préalables à la recherche de l'eau souterraine.

METHODES :

* Photo-interprétation (étude préparatoire). Celle-ci est intégrée dans une démarche générale prévoyant les étapes suivantes :

- 1) Etudes générales au niveau régional pour la détermination des secteurs hydrogéologiques favorables, avec photo-interprétation ;
- 2) Etudes de reconnaissance détaillée au moyen des méthodes sélectionnées ;
- 4) Essais complémentaires sur les forages (essais de pompage, qualité des eaux ...) en particulier dans les zones sédimentaires ;
- 5) Aménagements hydrauliques connexes et programme d'exploitation.

La photo-interprétation concerne essentiellement l'étape 1.

* Carte de reconnaissance des secteurs indiquant les zones favorables du point de vue hydrogéologique (d'après géomorphologie, végétation, réseau hydrographique, surfaces des bassins hydrogéologiques, lithologie et géologie structurale ...)

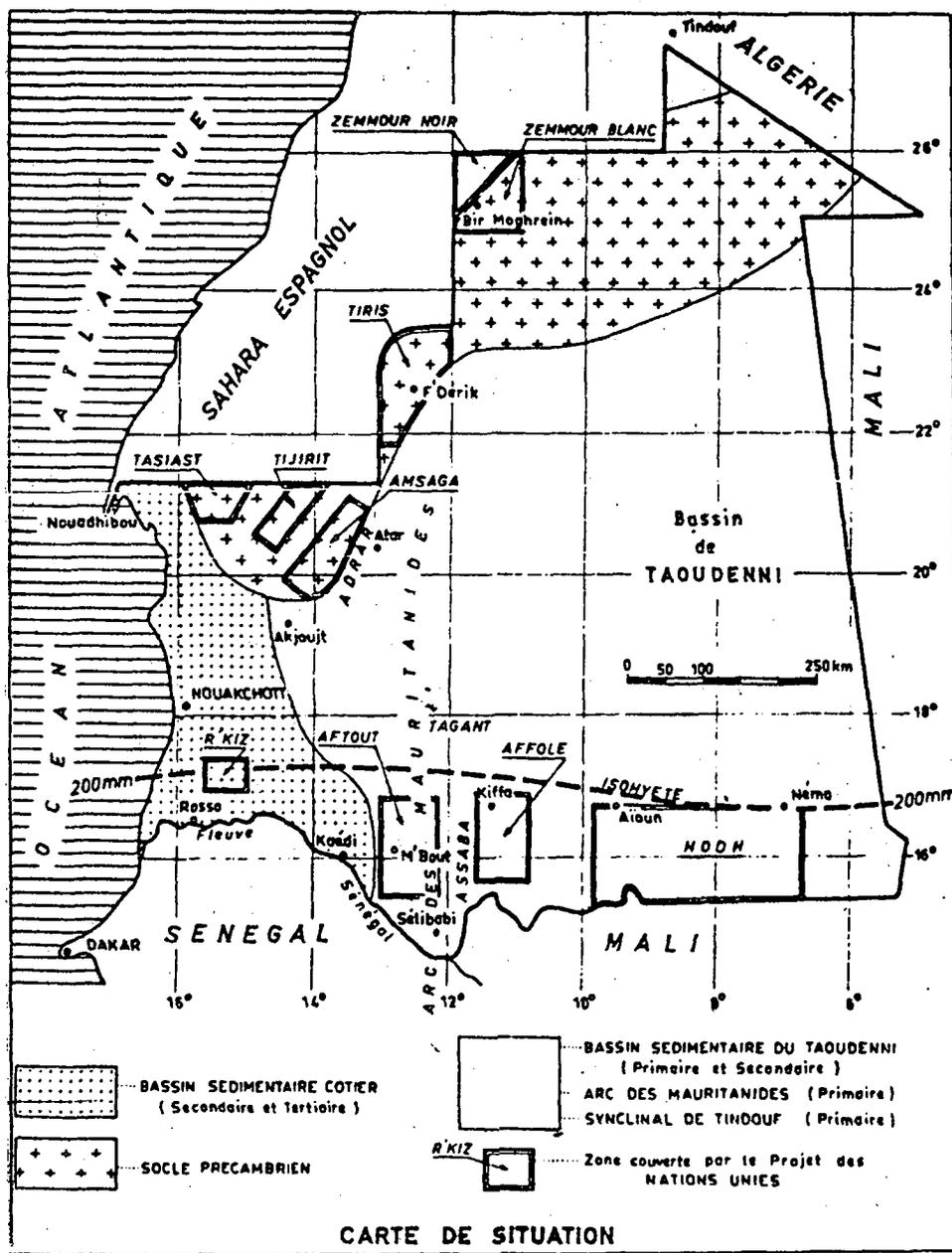
* Informations d'ordre logistique en vue de préparer les étapes ultérieures : données planimétriques (réseaux hydrographique et routier, villages ...), données sur la topographie et les sols.

REMARQUES : Cette méthode est présentée comme étant adaptée à un pays comme la Mauritanie (superficie importante, extension des régions de socle caractérisées par une ressource hydrogéologique peu abondante et localisée). L'étape 1 (étude générale préliminaire) est nécessaire en vue de sélectionner les secteurs à priori plus favorables où des études plus lourdes peuvent se justifier.

Cette première étape repose sur l'interprétation des clichés aériens. Il est probable qu'une part de l'analyse peut être effectuée à partir de données spatiales, ce qui permettrait encore d'améliorer l'efficacité du système (rapidité et coûts) et de traiter des régions non couvertes par les photographies aériennes.

Il n'est pas fait explicitement mention des études de photo-fracturation sur les régions du socle alors que celles-ci se sont révélées intéressantes, au même titre que les méthodes géophysiques. Il est cependant indiqué que les études de reconnaissance sur les secteurs sélectionnés doivent combiner dans la mesure du possible différentes techniques (résistivité, aéromagnétique, sondages ...). La détermination des photo-fractures peut parfaitement être intégrée à cette liste.

- Reconnaissance géostructurale pour la
Recherche Hydrogéologique en Mauritanie.



FICHE III.16.

PROJET : Hydrogéologie Régionale

REALISATION : Federal Institute for Geosciences and National Resources (RFA)

DATE : 1979

LOCALISATION : NIGER (Gourma)

OBJECTIFS GENERAUX : Déterminer les ressources hydrogéologiques (aquifères superficiels et profonds) en relation avec la géologie et les formations superficielles.

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : Déterminer les ressources hydrogéologiques (aquifères superficiels et profonds) en relation avec la géologie et les formations superficielles.

METHODES : Interprétation multitudes des images LANDSAT MSS :
· détermination des capacités de stockage dans les dunes (aquifères superficiels localisés dans les vallées et dépressions sous-dunaires) ;
· étude géostructurale (interprétation linéamentaire) des régions du socle.

RESULTATS : Les sites favorables (aquifères des dunes ou sites hydrogéologiques profonds) ont été localisés sur les cartes topographiques en vue des investigations ultérieures (études géophysiques ou sondages-tests).

REMARQUES : Cette étude montre un exemple d'utilisation des images satellite pour les études hydrogéologiques de base au niveau "schéma directeur national ou régional". Les images LANDSAT MSS sont non seulement utilisées pour des études géostructurales classiques, mais aussi pour la recherche des aquifères localisés sous-dunaires. Ce type de recherche est applicable à de nombreuses régions Sahéliennes.

FICHE III.17.

PROJET : Recherche de site de Forages (Burkina)

REALISATION : Centre Régional de Télédétection de Ouagadougou (CRTO, Burkina) pour IWACO-BV (Burkina)

DATE : 1981

LOCALISATION : Région de Pilimpikou (Centre-Ouest du Burkina)

OBJECTIFS GENERAUX : Améliorer l'alimentation en eau du village de Pilimpikou.

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : Effectuer les études hydrogéologiques de base en vue de déterminer des sites d'implantation de forages.

METHODES :

- Interprétation d'une image LANDSAT (composition colorée à 1:200.000) : morphologie-bassins versants et géologie structurale-fracturation ;
- Photo-interprétation (photographie IGN à 1:50.000) : esquisse hydrogéologique.

Les sites sélectionnés par télédétection ont ensuite fait l'objet de contrôles géophysiques (profils et sondages électriques).

RESULTATS :

- Carte des linéaments LANDSAT à 1:200.000 ;
- Carte morpho-tectonique d'après LANDSAT à 1:50.000 ;
- Carte géostructurale d'après photographies à 1:50.000 ;
- Carte de synthèse à 1:50.000 à partir des données de télédétection (images satellite et photographies aériennes) et des contrôles géophysiques.

REMARQUES : L'image satellite a permis :

- . de mettre en évidence les accidents majeurs (failles régionales ...).

L'interprétation des photographies aériennes a permis :

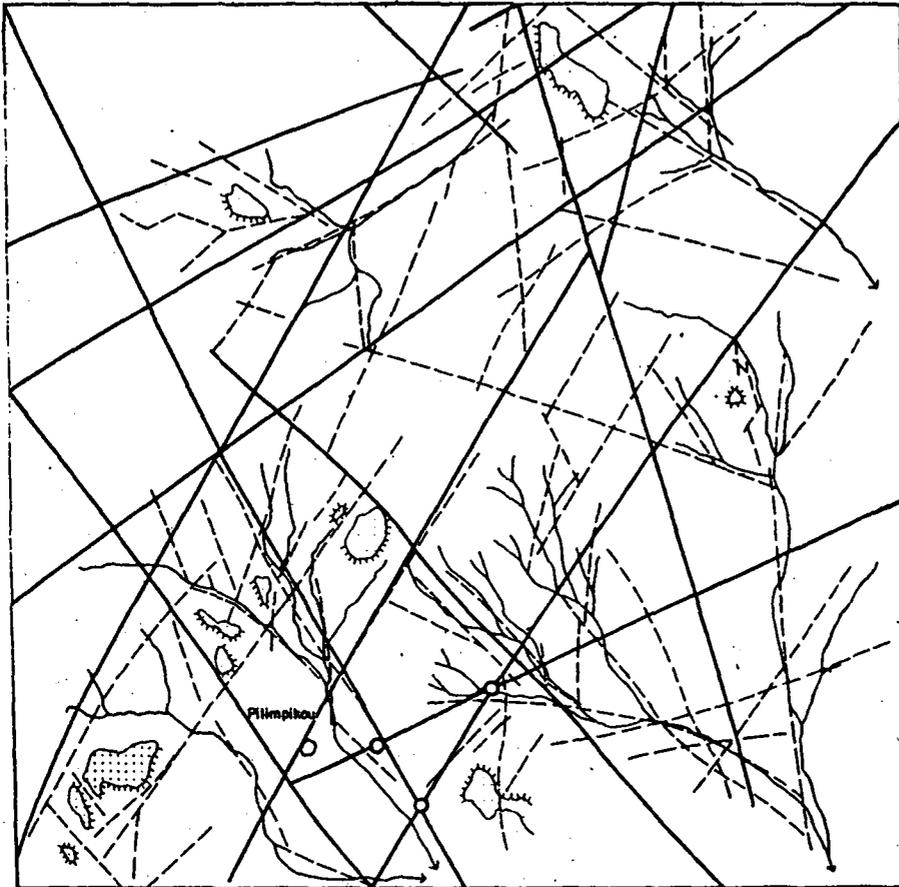
- . de compléter l'étude géostructurale (photo-fractures),
- . de localiser précisément les sites (noeuds de fractures) pour les contrôles de terrain (géo-physique).

Les mesures géo-physiques ont permis :

- . de confirmer l'existence des zones de discontinuité lithologiques et d'estimer la profondeur du bed rock.

Ces différentes méthodes sont complémentaires : les études préalables en télédétection permettent de limiter les investigations géophysiques à certaines zones favorables.

- Synthèse géostructurale établie par interprétation successive des Images LANDSAT et des photographies aériennes.



AOF 1952 010 ND 30 IV n°356 1/50 000*

Cliché IGM



Linéaments : images satellites



Fractures : photo aérienne

o Sites de Forages retenus.

FICHE III.18.

PROJET : Alimentation Urbaine en Eau Potable

REALISATION : BRGM

DATE : 1983

LOCALISATION : Région d'ARIBINDA (Burkina)

OBJECTIFS GENERAUX : Déterminer des sites de forage pour l'alimentation en eau de la ville d'Aribinda.

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : repérer les sites favorables

METHODES :

- Photo-interprétation hydro-géologique (couples stéréoscopiques et assemblage photo) :
 - analyse géostructurale avec recherche des photo-fractures (fractures supérieures à 1 km),
 - observations du réseau hydrographique, de la morphologie et de la végétation,
- Interprétation d'images satellite LANDSAT :
 - interprétation des linéaments morpho-tectoniques, du réseau hydrographique, des traits morphologiques caractéristiques (buttes cuirassées ...) et des contours géologiques visibles ;
 - agrandissement par épiscopes jusqu'à l'échelle 1:50.000 et projection sur le calque de photo-interprétation (calage par repères morphologiques et d'échelle) ;
 - report des linéaments de l'image sur la photo-interprétation ;

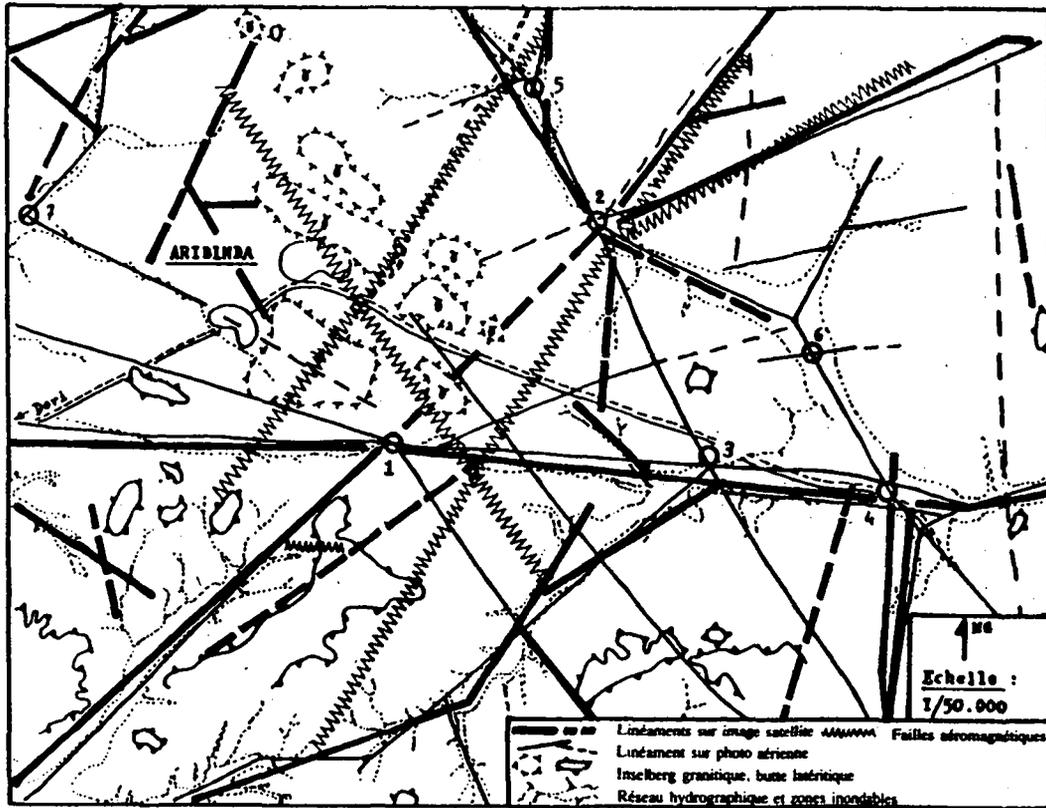
3 sites jalonnent un accident très important correspondant à un linéament LANDSAT de près de 20 km sur la bordure Sud du Massif d'Aribinda.

2 sites apparaissent moins favorables et 1 site ne correspond pas à un linéament majeur décelable sur LANDSAT.

RESULTATS :

- Délimitation de 7 sites à priori favorables, localisés sur des noeuds tectoniques particulièrement importants ;
- Préparation de la campagne de mesures géo-physiques.

- Interprétation hydrologique d'après photographies aériennes et Images LANDSAT MSS.



[C. Armand, H. Legac, mai 1982]

	Profondeur (m)	Géologie	Profondeur des venues d'eau (m)	Débit (m ³ /h)	Niveau statique (m)
• Site 4	79,5	Schiste noir fracturé à filonnets de quartz	54 et 65 à 79 m	8,5	33,48
• Site 1	61,2	Schiste noir fracturé plus ou moins recristallisé et silicifié	45 à 55 m	4	34,60
• Site 3	55,1	Diorite grise pyriteuse massive	sec		
• Site 2	55,1	Granite rose à enclaves basiques	sec		
• Site 6	61,2	Schiste silicifié recristallisé	sec		

- Résultats des Forages.

FICHE III.19.

PROJET : Petite Hydraulique Agricole - 200 barrages (Côte d'Ivoire)

REALISATION : BNEDT

DATE : 1968

LOCALISATION : Côte d'Ivoire (Projet National)

OBJECTIFS GENERAUX : Assurer les besoins hydrauliques en vue d'une diversification des cultures.

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : Déterminer les sites de retenues d'eau et délimiter les terres irrigables situées à l'aval.

METHODES : Photo-interprétation (clichés disponibles, échelles variées,

- Détermination des infrastructures et établissements humains en vue de la sélection de secteurs d'intervention ;
- Délimitation des bassins versants ;
- Surfaçage des bassins versants ;
- Caractérisation des bassins versants : pentes, géomorphologie, occupation des terres, appréciation du coefficient de ruissellement ;
- Sélection et localisation des sites de retenues ;
- Délimitation des superficies irrigables et aménageables en fonction des ressources disponibles.

RESULTATS : Cartographie des bassins versants à 1:50.000 avec :
· sites possibles,
· sites retenus,
· extension des terres irrigables.

REMARQUES : Les terres irrigables correspondent ici aux zones de bas-fonds inondables (lit majeur des vallées) : il est cependant possible que des terres plus hautes puissent être irriguées, en fonction de la topographie (canal de collature situé au-dessus du lit majeur).

Certaines photographies aériennes sont anciennes (voire inexistantes) d'où certaines difficultés et imprécisions (occupation des terres ...).

FICHE III.20.

PROJET : Identification et Localisation de Barrages

REALISATION : Télé Géo Consult (France) pour Sociétés Louis BERGER et Coyne & BELIER (France)

DATE : 1983

LOCALISATION : SENEGAL (Sine Saloum et Casamance)

OBJECTIFS GENERAUX : Inventaire des sites collinaires et étude de factibilité de sites sélectionnés.

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : Inventaire des sites collinaires et étude de factibilité de sites sélectionnés.

METHODES :

- Photo-interprétation générale (photographies à 1:200.000) sur 25.000 km² : contraintes régionales d'aménagement et inventaire des sites collinaires d'intérêt hydro-agricole (150 sites) ;
- Etudes de factibilité sur sites sélectionnés (23 sites) avec :
 - . restitution morphométrique à 1:200.000 (e = 2,5 m) d'après clichés à 1:20.000 ;
 - . photo-interprétation des contraintes sols et relief.

RESULTATS :

- Carte d'inventaire régional à 1:100.000 avec identification-localisation des sites et zonage en fonction de l'aptitude pour l'aménagement hydro-agricole ;
- Cartes des sites sélectionnés à 1:20.000 : topographie et contraintes d'aménagement ;
- Fiches d'identification des 150 sites identifiés ;
- Fiches de projet de préfaisabilité des 23 sites sélectionnés.

REMARQUES : Ce type d'étude correspond à deux niveaux d'intervention : schéma directeur régional et préfaisabilité.

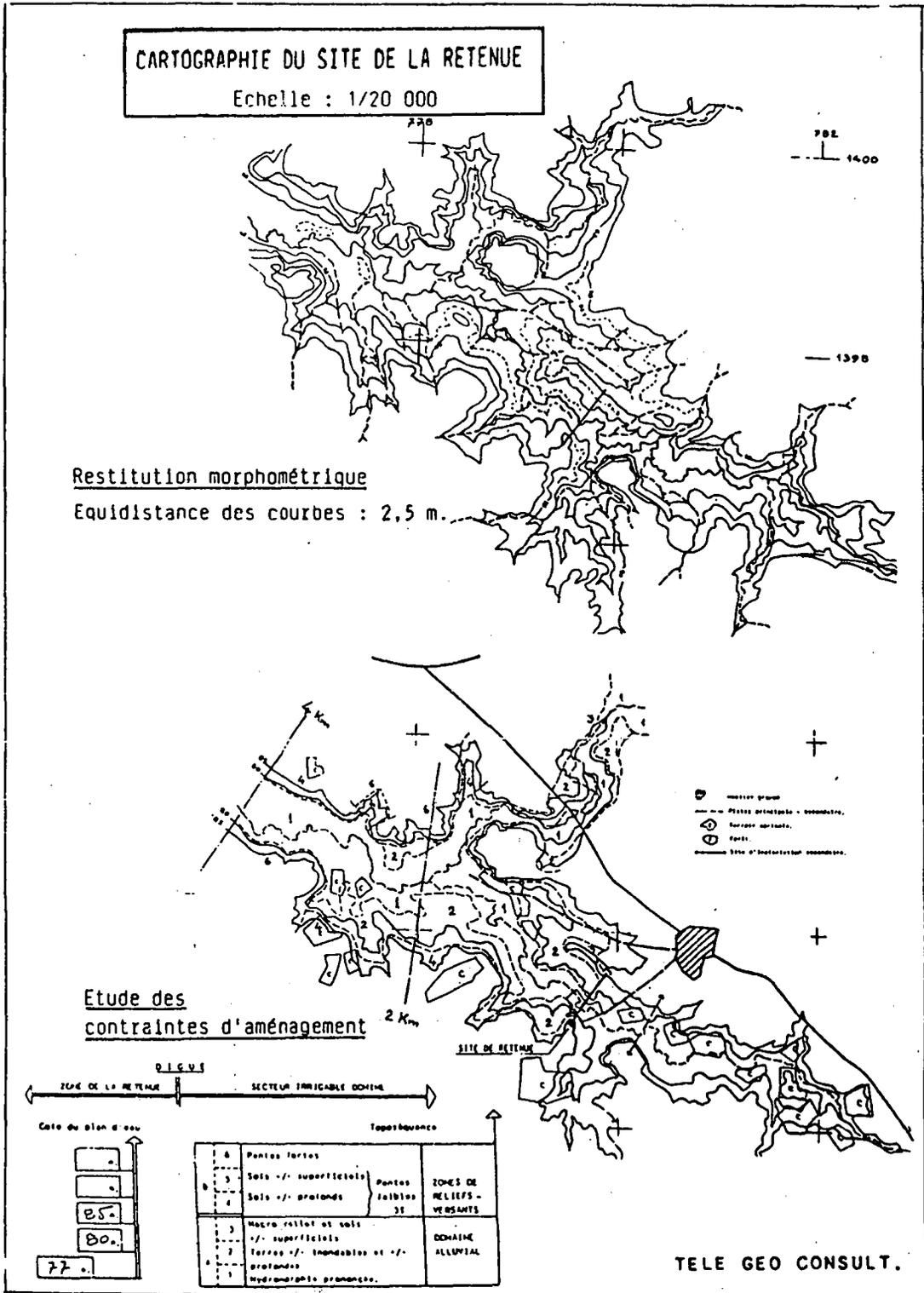
Ces deux étapes auraient aussi bien pu être séparées dans le temps avec une phase de sélection sur des critères également non techniques.

La méthodologie repose essentiellement sur l'exploitation des photographies aériennes à moyenne échelle : pour l'inventaire général (schéma directeur), l'utilisation de clichés à plus petite échelle (1:500.000) est tout aussi envisageable.

Les coûts de ce type d'étude sont réduits avec les estimations suivantes :

- 2 à 3 F.CFA/ha pour la carte d'inventaire ;
- 1 à 2 F CFA/ha pour les fiches d'identification ;
- 300 F CFA/ha pour la carte des sites ;
- 50.000 F CFA/site pour la fiche de projet de préfaisabilité.

- Cartographie de base pour l'implantation de périmètres hydro-agricoles au Sénégal.



FICHE III.21.

PROJET : Etude des Petits Barrages au Burkina (2)
REALISATION : CIEH/CRTO

DATE : 1986

LOCALISATION : Burkina Faso sur une quinzaine de barrages

OBJECTIFS GENERAUX : Préparer un document technique sur les méthodes opérationnelles d'étude des petits barrages.

OBJECTIFS DE LA TELEDETECTION : Proposer des méthodes d'utilisation de la télédétection pour la caractérisation des bassins versants.

METHODES :

- Traitements photographiques des images LANDSAT MSS sous forme de compositions colorées à 1:200.000 ;
- Interprétation visuelle des images avec :
 - . tracé du réseau hydrographique et délimitation des bassins versants (bassins principaux et sous-bassins), avec contrôle sur les cartes topographiques à 1:200.000,
 - . analyse thématique des unités de paysage (géologie, géomorphologie, pédologie et couvert végétal),
 - . analyse géostructurale (linéaments) et calcul d'un indice de fracturation.
- Traitements sur les cartes d'interprétation avec :
 - . mesure de superficies des bassins et sous-bassins (planimètre) ;
 - . mesure de la longueur du réseau hydrographique et calcul de l'indice de drainage (rapport longueur/surface) ;
 - . mesure de l'indice de fracturation (rapport longueur des linéaments/surface) ;
 - . estimation des superficies des unités de paysage à partir d'une grille de sondage systématique ;
 - . calcul des pentes moyennes des unités de paysage à l'aide des points côtés des cartes topographiques ;
 - . calcul de la pente longitudinale moyenne des vallées d'après les points côtés ;
 - . estimation des valeurs des classes de perméabilité et de classes de pente (système de classification ORSTOM pour les petits bassins) ;
 - . calcul des coefficients de ruissellement à partir d'un modèle de calcul issu de la méthode ORSTOM.

RESULTATS :

- Cartes des bassins versants à 1:200.000 ;
 - . unités de paysage (cartes physiographiques),
 - . linéaments.
- Tableaux des résultats :
 - . données brutes : superficie et longueurs,
 - . indices de drainage et de fracturation,
 - . classes de perméabilité et de pente,
 - . coefficient de ruissellement.

La cartographie des bassins versants permet de disposer de données qualitatives (types de paysages) et quantitatives (indices et coefficients) sur des superficies importantes.

La méthode de calcul, basée sur la méthode ORSTOM, se heurte à certaines difficultés liées à l'absence de données topographiques (points cotés en nombre limité) et hydrologiques (pas de données précises sur la classification des unités de paysage selon le système ORSTOM, en particulier en ce qui concerne les valeurs des classes de perméabilité). Des recherches plus poussées apparaissent donc souhaitables dans ce domaine.

CONCLUSION

Les recherches entreprises pour la rédaction des fiches présentées dans les pages précédentes montrent que les techniques de télédétection sont encore relativement peu utilisées dans le domaine de l'eau en Afrique.

Dans la plupart des cas, l'utilisation de la télédétection est limitée à des études thématiques de base (étude de l'environnement, géomorphologie, pédologie ...) où les techniques de photo-interprétation, à partir de clichés aériens, sont utilisés de façon classique. Il est beaucoup plus rare de trouver des études plus spécifiques dans le domaine de l'eau, telles que études sur les bassins versants, études morphométriques pour les périmètres hydro-agricoles ou études géo-structurales pour la recherche de l'eau souterraine.

Les études basées sur l'utilisation des données spatiales (image-rie satellite ...) sont encore plus rares. Elles concernent généralement des projets conçus au départ pour l'utilisation de ces techniques et sont réalisées par des organismes (Bureaux d'Etude, Centres de Recherches ...) qui disposent de spécialistes compétents en ce domaine. Les projets traités sur place par des services techniques nationaux n'utilisent qu'exceptionnellement la télédétection spatiale.

Des efforts importants sont donc encore nécessaires avant que la télédétection et plus particulièrement la télédétection spatiale, entre effectivement dans les moeurs. Ces efforts devraient porter en particulier sur la formation des techniciens (Ingénieurs chargés d'études, techniciens supérieurs ...) l'information des décideurs, l'amélioration de la distribution des données spatiales (images satellite traitées) et la mise en place de structures d'appui (services de télédétection).

Ces efforts devraient permettre de développer certains types d'études opérationnelles adaptées aux conditions et aux moyens généralement disponibles en Afrique. Dans le domaine de l'eau, il s'agit plus particulièrement :

- Des études d'inventaires pour la planification nationale ou régionale :

- * Inventaires hydrologiques : inventaires des plans d'eau, inventaire et cartographie des grands bassins versants,
- * Inventaires hydrogéologiques : inventaire et caractérisation des grands secteurs hydrogéologiques.

- Des études de reconnaissance pour l'établissement de schémas directeurs où la sélection de secteurs "favorables".

* Reconnaissances hydrologiques : études des bassins versants pour l'implantation d'aménagements hydrauliques ou hydro-agricoles.

études diagnostic sur la caractérisation des régimes hydrologiques : crues et zones inondables, coefficient de ruissellement ...

* Reconnaissances hydrogéologiques : études géostratigraphiques en vue de la recherche de secteurs favorables à l'exploitation des eaux souterraines.

- Des études détaillées en vue de la réalisation des projets (études de factibilités et d'avant-projet).

* Etudes détaillées hydrologiques : études morphométriques sur les sites d'ouvrages et les aménagements (périmètres hydro-agricoles, aménagements anti-érosifs ...).

* Etudes semi-détaillées hydrogéologiques : études géostratigraphiques en vue de la recherche de sites favorables pour l'implantation d'ouvrages de forages.

- Des études de suivi des projets et des études d'impact :

* Suivi et impacts hydrologiques : suivi hydrologique des grands cours d'eau, suivi des retenues d'eau (réservoirs témoins, établissement des courbes de calibration ...).

étude des crues anormales : impact sur les cours d'eau (zones de débordement, défluents et zones de capture ...) et cartographie des zones inondables.

Ces différents types d'études peuvent être réalisés à partir de documents photographiques (images satellite, photographies aériennes, enregistrements radar ou thermographique) et reposent alors sur une interprétation visuelle des données, ce qui n'exige pas des moyens matériels très sophistiqués. Les Centres Régionaux de Télédétection (Ouagadougou, Nairobi, Kinshasa, Ile Ife, le Caire) peuvent fournir les données satellites nécessaires dans des délais raisonnables lorsqu'il s'agit de documents archivés. Ils peuvent également assurer le relais pour obtenir les données auprès de Centres étrangers (USA, EUROPE ...). Ces mêmes Centres peuvent enfin apporter un appui, voire assurer une véritable prestation de service pour les travaux d'interprétation nécessaires.

Le développement de nouveaux programmes spatiaux (LANDSAT 5, SPOT (Stations de Réception et de Traitements des Données Spatiales) vont permettre d'améliorer sensiblement les possibilités offertes. Ceci devrait faciliter et accroître l'emploi des techniques de télédétection dans les domaines précédemment signalés et à terme, permettre de nouvelles applications opérationnelles.

L'une des difficultés majeures rencontrées est le manque de données de référence (observations, enquêtes et mesures de terrain). Celles-ci sont indispensables pour mener à bien de nombreuses études en télédétection. En particulier, dans le domaine de l'eau, il est souhaitable que des Banques de Données fiables soient mises en place en vue de développer des modèles semi-quantitatifs ou qualitatifs intégrant les techniques de télédétection (modèles hydrologiques sur les cours d'eau et bassins versants, modèles hydrogéologiques sur l'alimentation des nappes). L'essor récent de l'informatique permet d'envisager des progrès sensibles dans ce domaine. Des modèles simples peuvent être réalisés dès à présent dans de nombreuses régions, en particulier dans le cas des petits projets hydrauliques qui n'exigent pas une précision rigoureuse et ne sont pas soumis à des normes de sécurité très strictes.

Cet ensemble de faits permet de penser que la télédétection deviendra de plus en plus un instrument privilégié pour les études en vue des opérations de développement en Afrique. Il reste que cet essor n'est possible que par la connaissance de ses possibilités réelles (ce n'est pas une technique miracle) et une meilleure intégration des outils de télédétection au sein des services et des projets concernés.

LEXIQUE

A

ABSORPTION SPECTRALE (n.f.)

Abrév. Absorption (n.f.)

Atténuation de tout ou partie du flux d'un rayonnement électromagnétique lors de sa traversée d'un milieu (Ex. : absorption atmosphérique).

ACCENTUATION D'IMAGE (n.f.)

Renforcement de certaines parties de l'image en vue de faire ressortir des caractères particuliers.

Note - Les trois procédés d'"accentuation d'image" couramment employés sont :

. l'accentuation de contours : des limites de densité sont soulignées,

. l'accentuation de contrastes : des plages de densité très voisines sont plus contrastées,

. l'accentuation de couleur : celles-ci étant banalisées ou codées.

ACUITE VISUELLE STEREOSCOPIQUE (n.f.)

Syn. ACUITE VISUELLE BINOCULAIRE (n.f.)

Variation minimale de la différence des parallaxes stéréoscopiques, qui correspond à un décalage en profondeur d'objets perceptibles par un observateur.

Note - l'"acuité visuelle stéréoscopique", contrairement à l'acuité visuelle d'un oeil, ne s'exprime pas en dixièmes.

Dans des conditions similaires de contraste et de luminance visuelle, l'"acuité visuelle stéréoscopique" (6" à 10") est cinq à sept fois meilleure que l'acuité visuelle (12/10 soit 48").

AEROSPATIAL, ALE, AUX (adj.)

Qualifie les techniques et moyens utilisés dans l'atmosphère ou l'espace extra-atmosphérique.

ALBEDO (n.m.)

Fraction du flux d'un rayonnement incident, diffusée ou réfléchies par une surface.

Note - l'"albédo" s'exprime en pourcentage,

. Sauf mention particulière, l'"albédo" s'applique à la seule partie visible du spectre solaire.

ALTITUDE DE VOL (n.f.)

Syn. ALTITUDE ABSOLUE (n.f.)

Distance verticale d'une plate-forme d'observation à la surface du niveau moyen des océans.

AMELIORATION D'IMAGE (n.f.)

Action de rendre plus appropriées la qualité et la fidélité d'une image en vue d'une étude particulière.

Note - . L'"amélioration d'image" peut être obtenue, par exemple, au cours du développement de l'image latente ou au cours du tirage.

. Le résultat de cette action est appelé image améliorée.

ANALOGIQUE (adj.)

1. Se dit de la représentation d'un phénomène physique par un signal dont les variations sont continues.

2. Par extension, se dit des dispositifs (appareil de restitution, calculateur, simulateur, etc.) qui traitent ce type de représentation.

ANALYSE D'IMAGE (n.f.)

Décomposition de l'image en ses éléments constitutifs (pixels) en vue d'un traitement ultérieur.

ANALYSE DIACHRONIQUE (n.f.)

Etude détaillée des différentes suites programmées d'opérations exécutées et d'évènements enregistrés sur la même scène, au cours de missions distinctes de télédétection aérospatiale.

ANALYSE MULTIBANDE (n.f.)

Etude détaillée des données saisies par un ou plusieurs capteurs qui travaillent dans des bandes différentes du spectre électromagnétique.

ANALYSEUR (n.m.)

Matériel ou logiciel (numérique ou analogique) effectuant une analyse de données en vue de déterminer, dans un ensemble de données, un ou plusieurs sous-ensembles caractéristiques.

Note . L'analyseur de texture constitue un exemple de matériel.

. L'analyseur lexical constitue un exemple de logiciel.

ANGLE DE CHAMP DE L'OBJECTIF PHOTOGRAPHIQUE (n.m.)

Abrév. Angle de champ (n.m.)

Angle double de celui formé, dans l'espace objet, par l'axe optique de l'objectif photographique et le rayon correspondant au point extrême de l'image photographique.

Note - Dans la pratique, la valeur de l'"angle de champ" se déduit de la connaissance simultanée du format (b) du cliché et de la distance focale (f) de la chambre ou de la chambre métrique.

ANTENNE (n.f.)

syn. ANTENNE REELLE (n.f.)

Dispositif qui concentre le rayonnement électromagnétique et le transforme en signal électrique, ou qui transforme un signal électrique en un rayonnement électromagnétique qu'il émet.

Note - Dans le domaine du radar, le concept d'antenne synthétique est à l'origine de celui d'antenne réelle.

ANTENNE SYNTHETIQUE (n.f.)

Procédé d'exploitation de signaux radar qui, par traitement du signal capté par une antenne, permet de simuler le signal qui serait reçu par une antenne fictive beaucoup plus longue que l'antenne réelle utilisée.

APPAREIL DE REDRESSEMENT (n.m.)

Appareil qui permet de transformer un cliché aérien à axe non vertical en une image photographique à axe rigoureusement vertical.

APPAREIL DE RESTITUTION (n.m.)

Appareil qui permet de déterminer les coordonnées des points d'intersection de tous les rayons homologues de deux gerbes perspectives, reconstituées à partir de deux clichés d'un couple stéréoscopique.

Note - On distingue deux catégories d'"appareil de restitution" :

. Appareil de restitution analogique : "appareil de restitution" dans lequel la reconstitution des gerbes perspectives s'effectue par un procédé analogique (optique ou mécanique),

. Appareil de restitution analytique : "appareil de restitution" dans lequel la reconstitution des gerbes perspectives s'effectue par un procédé analytique.

L'emploi de l'expression "appareil de restitution numérique", pour désigner "appareil de restitution analytique", est déconseillé.

ASSEMBLAGE PHOTOGRAPHIQUE (n.m.)

Assemblage de photographies aériennes prises au cours d'une même mission, ajustées par découpage suivant des lignes de raccord permettant d'obtenir la continuité optimale des images, notamment pour ce qui concerne les structures et le modelé du terrain qui dépendent des variations d'échelle du cliché et des déformations de l'image due au relief.

Note - L'assemblage ainsi obtenu est collé sur un support rigide. L'emploi du calque mosaïque non-contrôlée pour désigner un "assemblage photographique" est à proscrire.

B

BALAYAGE (n.m.)

Voir Scannage

Balayage effectué par défilement du champ de visée instantané du détecteur, parallèlement à la trace de la plate-forme d'observation.

Note - Le "balayage longitudinal" (ou trame) est réalisé par le déplacement de la plate-forme d'observation sur sa trajectoire de vol.

BANDE D'ABSORPTION (n.f.)

Bande spectrale absorbée sélectivement par un milieu.

BANDE DE CLICHES (n.f.)

Succession de clichés aérien ou spatiaux pris suivant une même direction de vol de la plate-forme d'observation ou une même direction de défilement du satellite d'observation.

Note - Un recouvrement longitudinal sensiblement constant est indispensable de façon à éviter tout hiatus.

. Un bloc de bandes est un ensemble formé de plusieurs "bandes de clichés" correspondant à des lignes de vol pratiquement parallèles, et dont le recouvrement latéral est sensiblement constant.

BANDE SPECTRALE (n.f.)

Syn. CANAL SPECTRAL (n.m.)

Intervalle du spectre des longueurs d'onde (ou des fréquences) du rayonnement électromagnétique.

Note - Selon la position de l'intervalle considéré dans le spectre électromagnétique, on distingue les bandes infra-rouges, les bandes hyperfréquences, les bandes radio, etc ...

On désigne souvent les bandes hyperfréquences par des lettres (S, L, X, K, etc ...).

Intervalle spectral est parfois utilisé pour désigner une "bande spectrale".

BARRE DE PARALLAXE (n.f.)

Appareil de mesure indirecte des parallaxes longitudinales et transversales sur un couple stéréoscopique sous stéréoscope.

BASE A L'ECHELLE DES PHOTOGRAPHIES (n.f.)

Distance mesurée sur l'une des photographies du couple de clichés stéréoscopiques entre le centre de cette photographie et le point homologue du centre de l'autre photographie.

Note - La valeur ainsi obtenue n'est qu'une valeur approchée du fait de la déformation de l'image.

BASE DE PRISES DE VUES STEREOSCOPIQUES (n.f.)

Distance qui sépare, dans l'espace, les points de vue de deux clichés formant un couple de clichés stéréoscopiques.

BILAN RADIATIF (n.m.)

Différence, à une altitude donnée, entre les rayonnement (solaire et tellurique) descendant et ascendant.

Note - Le "bilan radiatif" est constitué par le flux résultant des rayonnements, à travers une surface horizontale.

Le "bilan radiatif" est exprimé en watt par mètre carré (W.m²).

CANAL SPECTRAL (n.m.)
Voir : BANDE SPECTRALE.

CAPTEUR (n.m.)

Instrument qui recueille de l'énergie radiative provenant de la scène visée et délivre un signal électrique correspondant et mesurable.

Note - . Par assimilation, et bien qu'elle ne délivre pas de signal électrique, on considère la chambre photographique comme un "capteur".

. Le terme "capteur" est parfois utilisé à tort pour désigner le détecteur.

. Capteur passif : lorsque le contexte impose qu'une distinction soit faite avec les capteurs actifs, l'adjectif passif est ajouté au terme "capteur".

. Selon le dispositif d'exploration de la scène, on peut distinguer plusieurs types de "capteurs" : le capteur à scannage opto-mécanique, le capteur à exploration électronique, etc ...

. Le "capteur" fonctionnant sur une plate-forme d'observation est encore appelé télécapteur ; il peut comporter soit un téléobjectif, soit un télescope.

CAPTEUR ACTIF (n.m.)

Capteur à barrette de détecteurs muni d'un dispositif de lecture en série, qui effectue l'exploration transversale de la scène selon le mode en peigne.

Note - Le monde en peigne est le dispositif de fonctionnement d'une barrette linéaire de détecteurs à transfert de charge (D.T.C.) qui assure l'exploration transversale de la scène sans scannage, par des procédés électroniques.

CARTE THEMATIQUE (n.f.)

Carte qui, sur un fond repère topographique, hydrographique ou chorographique, représente, qualitativement et/ou quantitativement, des phénomènes et des objets de toute nature localisables dans l'espace.

CHAMBRE PHOTOGRAPHIQUE (n.f.)

Abrév. Chambre (n.f.)

Syn. CHAMBRE DE PRISE DE VUE(S) (n.f.)

Appareil qui permet la prise de vue(s) photographique(s).

CLASSIFICATION AUTOMATIQUE (n.f.)

Classification qui, dans des conditions déterminées, est assurée sans intervention d'un opérateur humain.

CLE DE PHOTOINTERPRETATION (n.f.)

Clé d'interprétation qui se présente généralement sous forme de collections de stéréogrammes commentés donnant l'image photographique d'une catégorie d'objets, voire des différents objets que cette catégorie doit englober.

COMPOSITION COLOREE (n.f.)

Représentation significative obtenue par une ou plusieurs combinaisons de couleurs (Ex. : composition colorée type IRC, équidensité colorée).

CONTRASTE (n.m.)

1. Sur un cliché ou une épreuve photographique, différence entre la densité des parties claires et celle des parties sombres, considérée soit sur des plages voisines de l'image (contraste local), soit sur l'ensemble de l'image (contraste total).
2. Taux d'accroissement de la densité en fonction du logarithme décimal de la lumination.

CONVERTISSEUR ANALOGIQUE-NUMERIQUE (n.m.)

Dispositif qui permet la conversion d'une grandeur analogique en une donnée numérique correspondante.

Note - . Dans le cas de la numérisation d'une bande magnétique analogique, par exemple, le pixel est le résultat de l'intégration, selon un pas d'échantillonnage déterminé, - du signal enregistré sur la bande et représenté par sa valeur numérique.

. Inversement, le dispositif qui permet la conversion d'une donnée numérique en une grandeur analogique proportionnelle, est appelé convertisseur numérique-analogique.

CORPS NOIR (n.m.)

Syn. **RADIATEUR INTEGRAL (n.m.)**

1. Corps matériel fictif qui absorbe intégralement le flux électromagnétique incident, indépendamment des longueurs d'onde et des directions des radiations.
2. Corps matériel fictif qui, à une température donnée, émet le rayonnement électromagnétique maximal.

CORRECTION ATMOSPHERIQUE (n.f.)

Correction à apporter à une mesure à distance du rayonnement électromagnétique émis par une cible, de manière à compenser la perturbation due à l'atmosphère.

Note - Cette perturbation a son origine dans l'absorption, la diffusion ou la réflexion par l'atmosphère du rayonnement électromagnétique émis par la cible, ainsi que dans l'émission propre à l'atmosphère.

COULEUR (n.f.)

Ensemble des caractères propres à un corps éclairé en lumière blanche par référence à un domaine spectral déterminé.

COULEUR COMPLEMENTAIRE (n.f.)

L'une de deux couleurs dont une combinaison appropriée, permet d'obtenir, soit un blanc par synthèse additive, soit un noir par synthèse soustractive.

Note - Comme exemples de "couleurs complémentaires", on peut citer : le jaune (couleur complémentaire du bleu), le cyan (couleur complémentaire du rouge), le magenta (couleur complémentaire du vert).

COULEUR NATURELLE (n.f.)

Couleur qui se trouve dans le milieu naturel, qui appartient au monde vivant, au monde minéral.

COULEUR PRIMAIRE (n.f.)

Syn. COULEUR FONDAMENTALE (n.f.)

L'une des trois couleurs, (bleu, rouge et vert, par exemple) lesquelles, par combinaison en quantités appropriées, permettent de reconstituer l'une quelconque des couleurs du spectre visible.

COULEUR SPECTRALE (n.f.)

Couleur principale, caractérisée par une longueur d'onde déterminée, qui compose la lumière solaire et est obtenue par décomposition de cette dernière à l'aide d'un prisme.

COUPLE DE CLICHES STEREOCOPIQUES (n.m.)

Abrév. Couple stéréoscopique (n.m.)

Ensemble de deux clichés photographiques d'un même objet, pris à partir de deux points de vue différents.

COUVERTURE (n.f.)

Zone couverte au sol par un document photographique, cartographique ou similaire.

COUVERTURE NUAGEUSE SUR L'IMAGE (n.f.)

Portion, exprimée en pourcentage, de la surface de l'image altérée par la présence de nuages.

COUVERTURE PHOTOGRAPHIQUE (n.f.)

Couverture par une photographie aérienne, par un ensemble de photographies prises au cours d'un même vol, par un assemblage photographique ou une mosaïque photographique.

D

DEFORMATION DE L'IMAGE (n.f.)

Modification de la position relative de points représentatifs du terrain sur l'image, due à une cause extérieure au fonctionnement du capteur.

DÉTECTEUR (n.m.)

Composant d'un capteur, sensible au rayonnement électromagnétique qu'il reçoit et qu'il transforme en un signal électrique correspondant.

DIFFRACTION (n.f.)

Phénomène qui se manifeste par la pénétration d'une onde électromagnétique dans la zone d'ombre géométrique produite par un obstacle, et qui est lié à la forme de cet obstacle ainsi qu'à ses dimensions comparées à la longueur d'onde.

DIFFUSION (n.f.)

Dispersion d'un rayonnement électromagnétique dans toutes les directions due aux particules en suspension dans le milieu transparent traversé.

DIFFUSION ATMOSPHERIQUE (n.f.)

Diffusion de la lumière due aux molécules et aux particules en suspension dans l'atmosphère, suivant les lois de Rayleigh et de Mie.

DISTORSION DE L'IMAGE (n.f.)

Modification de la position relative de points représentatifs du terrain sur l'image, due au mode de fonctionnement du capteur.

DONNEES (n.f.)

Fait, notion ou instruction représenté sous une forme conventionnelle convenant à une communication, une interprétation ou un traitement, soit par l'homme, soit par des moyens automatiques.

Note - . En télédétection, les "données" saisies par le capteur sont des données brutes qui, après correction notamment des effets de l'atmosphère, sont appelées données corrigées. Ces dernières, après traitement à l'aide de programmes d'analyse deviennent des données élaborées et constituent les informations que l'utilisateur pourra interpréter.

. Lorsqu'une "donnée" est utilisée pour effectuer des comparaisons, elle est parfois désignée par donnée de référence.

. Le mot s'emploie très souvent au pluriel.

DONNEE(S) DE TERRAIN (n.f.)

Donnée(s) obtenue directement sur le terrain de la scène, utilisable pour le traitement et l'interprétation des données de télédétection.

Note - . Les données provenant de la documentation cartographique et relatives à la scène sont des "données de terrain".

. Faute de pouvoir, en certaines circonstances, effectuer des mesures directement au sol, certains investigateurs utilisent des photographies aériennes prises à basse altitude pour obtenir sur la scène des éléments visuels d'interprétation. Il s'agit en réalité, de données auxiliaires de télédétection qui, en toute rigueur, ne peuvent avoir la valeur de "données de terrain".

E

ECART INTERPUPILLAIRE (n.m.)

Distance qui sépare les centres des deux pupilles des yeux d'une personne, quand le point de fixation est à l'infini.

ECHELLE DU CLICHE (n.f.)

Pour un cliché vertical aérien, rapport de la distance qui sépare les images de deux points du cliché, représentant deux points du terrain situés approximativement à la même altitude, à la distance correspondante mesurée sur le terrain.

Note - L'"échelle du cliché" varie suivant les points considérés, dans la mesure où le terrain n'est pas plan et horizontal ou si l'axe de prise de vue(s) n'est pas rigoureusement vertical. Dans ces cas on définit une échelle moyenne du cliché.

ECHO RADAR (n.m.)

Suite d'oscillations haute fréquence de faible amplitude.

EFFET DE MIROIR (n.m.)

En photographie aérienne, effet d'une réflexion spéculaire (sur un plan d'eau par exemple) qui renvoie le rayonnement solaire sur la chambre de prise de vue(s) provoquant ainsi un point chaud sur l'émulsion.

EMISSION (n.f.)

Production d'un rayonnement électromagnétique par un corps.

Note - L'"émission" est généralement fonction de la température et de l'état de surface du corps considéré.

EMISSIVITE (n.f.)

Propriété caractéristique d'un milieu matériel, mesurée par l'émittance d'un échantillon de ce milieu présentant une surface optiquement polie et une épaisseur suffisante pour être complètement opaque.

EMITTANCE LUMINEUSE (n.f.)

Rapport du flux lumineux émis par unité de surface d'un corps au flux lumineux émis par unité de surface du corps noir porté à la même température.

EMULSION COULEUR NATURELLE (n.f.)

Emulsion couleur qui donne une image photographique représentant aussi fidèlement que possible les couleurs du sujet.

EMULSION FAUSSE COULEUR (n.f.)

Emulsion couleur qui donne une image photographique sur laquelle les couleurs du sujet sont volontairement faussées suivant une loi déterminée.

EMULSION INFRAROUGE (n.f.)

Emulsion noir et blanc dont la sensibilité est étendue au proche infrarouge.

EMULSION INFRAROUGE COULEUR (n.f.)

Emulsion fausse couleur contenant une couche sensible au rayonnement proche infrarouge, et qui donne une image photographique représentant celui-ci par une couleur du spectre visible.

Note - L'expression infrarouge couleur est encore rencontrée sous le sigle I.R.C.

EMULSION NOIR ET BLANC (n.f.)

Emulsion qui utilise une gamme de gris pour représenter les différences de luminance du sujet par des différences de densité. Note - La sensibilité spectrale des émulsions ordinaires est limitée à la partie du spectre s'étendant du proche ultraviolet au vert. Cependant, la sensibilité de certaines émulsions a été progressivement étendue aux grandes longueurs d'onde par incorporation de colorants convenables. Parmi les "émulsions noir et blanc", on distingue :

- l'émulsion orthochromatique,
- l'émulsion panchromatique,
- l'émulsion infrarouge
- l'émulsion hypersensibilisée.

EMULSION PANCHROMATIQUE (n.f.)

Emulsion noir et blanc sensible à la totalité du spectre visible.

EMULSION PHOTOGRAPHIQUE (n.f.)

Abrév. Emulsion (n.f.)

Couche(s) sensible(s) (et superposée s'il en a plusieurs) sur un même support d'émulsion.

EQUIDENSITE (n.f.)

Syn. ISODENSITE (n.f.)

Lignes ou plages d'une image photographique qui présentent des noircissements égaux.

Note - Les "équidensités" peuvent être codées, soit en couleur (équidensités colorées), soit par trame (équidensités à trames).

EQUIDENSITOMETRE (n.m.)

Syn. ISODENSITOMETRE (n.m.)

Appareil qui permet la mesure des équidensités photographiques.

ETALONNAGE (n.m.)

Mesure de constantes spécifiques d'un instrument et comparaison avec une norme ou un étalon.

F

FACTEUR D'AGRANDISSEMENT (n.m.)

Rapport des dimensions d'une image ayant fait l'objet d'un tirage par agrandissement aux dimensions initiales de cette image.

FAUSSE COULEUR (n.f.)

Couleur volontairement modifiée pour donner à l'observateur humain une perception colorée d'une scène, différente de celle qui en aurait naturellement.

Note - "Fausse couleur" est généralement employé pour désigner les émulsions photographiques qui réalisent un déplacement spectral.

Par extension, on désigne aussi par "fausse couleur" toute association de bandes spectrales colorées.

FENETRE ATMOSPHERIQUE (n.f.)

Intervalle spectral dans lequel le rayonnement électromagnétique n'est pratiquement pas absorbé par l'atmosphère.

FILM (n.m.)

Support d'émulsion en matière transparente souple (acétate de cellulose ou matière plastique, par exemple) généralement utilisé pour une émulsion négative.

FILTRAGE (n.m.)

1. En optique, modification apportée à la composition d'un rayonnement électromagnétique (absorption ou réduction sélective de certaines radiations, conservation de certaines directions de propagation, ...).

2. En informatique, sélection de données par un procédé numérique (utilisation d'un ensemble de critères, d'un algorithme, etc

3. En électronique, modification apportée à la composition d'un signal, généralement par sélection des fréquences transmises.

FLUX ENERGETIQUE (n.m.)

Abrév. Flux (n.m.)

Puissance émise, transportée ou reçue, sous forme de rayonnement électromagnétique.

Note - Le "flux énergétique" est exprimé en watt (W).

FLUX LUMINEUX (n.m.)

Flux susceptible de provoquer une sensation lumineuse.

Note - Le "flux lumineux" est exprimé en lumen (lm).

FLUX RADIATIF (n.m.)

Flux de rayonnement électromagnétique.

FOND DE CARTE (n.m.)

Carte reproduite partiellement ou totalement en version achrome, monochrome ou polychrome souvent atténuée, servant de support pour y reporter un ou plusieurs phénomènes localisables déterminés.

Note - Une carte topographique est souvent utilisée comme support d'une carte d'inventaire ou de toute autre carte thématique.

FRÉQUENCE (n.f.)

Nombre de périodes par unité de temps d'un phénomène périodique.

FUSIONNEMENT BINOCULAIRE (n.m.)

Propriété fondamentale de la vision binoculaire, qui, par le processus physiologique d'unification des images aériennes (droite et gauche) dissemblables fournies par la vision d'un même objet, donne une sensation unique de cet objet.

FUSIONNEMENT STEROSCOPIQUE (n.m.)

Réflexe acquis par lequel l'observateur réalise le fusionnement binoculaire des images rétiniennes dissemblables issues du stéréogramme observé à travers un stéréoscope.

G

GAIN (n.m.)

Syn. FACTEUR D'AMPLIFICATION (n.m.)

Rapport de la valeur d'une grandeur ayant fait l'objet d'une amplification à la valeur initiale de cette grandeur.

GAMMA (n.m.)

Désignation du facteur de contraste.

Note - Un gamma supérieur à 1, par exemple, indique que les contrastes apparaissant sur l'image photographique, dans la région de pose correcte, sont supérieurs à ceux présentés par le sujet photographié.

GAMMA DE GRIS (n.m.)

Syn. COIN SENSITOMETRIQUE (n.m.)

Suite de plages de tonalités régulièrement échelonnées entre le noir et le blanc.

GEOMETRIE DE L'IMAGE (n.f.)

Etude des déformations, par rapport à une représentation cartographique, de l'image photographique de la scène.

GRANULARITE (n.f.)

Structure d'une image photographique caractérisée par l'ensemble des écarts, par rapport à la densité moyenne, des densités d'une plage uniforme d'un phototype.

Note - Les écarts de densité sont mesurables au microdensitomètre.

GRANULATION (n.f.)

Impression visuelle donnée par la structure en grains d'une image photographique, qui se traduit par un manque d'homogénéité d'aires de densité uniforme.

H

HAUTEUR DE VOL (n.f.)

Syn. ALTITUDE RELATIVE (n.f.)

Distance verticale d'une plate-forme d'observation au plan horizontal d'altitude moyenne du terrain survolé.

HAUTEUR DU SOLEIL (n.f.)

Position du soleil dans l'espace, déterminée par l'angle que fait la direction du soleil avec le plan horizontal du lieu.

Note - La "hauteur du soleil" est exprimé en degrés, de + 90° à - 90°, par rapport au plan horizontal du lieu.

. La distance zénithale, angle complémentaire de la hauteur du soleil est également utilisée.

HYPERFREQUENCE (n.f.)

Rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde est généralement comprise entre 1 mm et 30 cm (domaine de fréquences, compris entre 1 THz et 300THz).

HYPERSTEREOSCOPIE (n.f.)

Stéreo-scopie exagérée produite par l'observation stéréoscopique d'un couple de clichés stéréoscopiques enregistré avec une base de prise de vues stéréoscopiques supérieure à l'écart interpupillaire moyen d'une personne.

I

IDENTIFICATION (n.f.)

1. Action de reconnaître un objet (ou une cible)
2. Résultat de cette action.

IMAGE (n.f.)

1. Représentation plane obtenue à partir d'un enregistrement structuré de données (images potentielles) saisies par télédétection aérospatiale.

2. L'enregistrement permettant d'obtenir cette représentation.

Note - . Un même enregistrement structuré de données peut permettre l'obtention de différentes "images" effectives.

. L'image photographique doit être considérée comme un enregistrement analogique particulier.

. Pour une meilleure compréhension de certaines notions, il convient de distinguer deux types d'images suivant le procédé utilisé pour les obtenir :

- l'image obtenue par le procédé photographique (cliché ou image photographique),
- l'image obtenue à partir d'un enregistrement structuré de données (image non-photographique).

IMAGE COMPOSITE (n.f.)

Image constituée par juxtaposition ou combinaison de plusieurs phototypes.

IMAGE EN COULEUR COMPOSEE (n.f.)

Image en couleur qui résulte de la combinaison d'images monochromes d'une même scène.

IMAGE NUMERIQUE (n.f.)

Image potentielle dont les éléments sont constitués par des données numériques ou topologiques.

Note - La lecture d'une "image numérique" par un matériel ou par un logiciel appropriés permet l'obtention d'une image effective.

IMAGE NUMERISEE (n.f.)

Image dont les données analogiques ont fait l'objet d'une numérisation.

IMAGE PHOTOGRAPHIQUE (n.f.)

1. Image obtenue par le procédé photographique.
2. Image obtenue, soit par la transformation d'une photographie conservant l'aspect de l'image photographique, soit à partir de données enregistrées restituant le même aspect.

IMAGERIE (n.f.)

Ensemble des images, potentielles ou effectives.

INCLINAISON DE L'ANTENNE (n.f.)

Angle formé par le rayon principal du faisceau radar et la demi-droite, horizontale ou verticale, issue de l'antenne.

Note - Suivant la demi-droite choisie comme référence, l'"inclinaison de l'antenne" correspond à l'angle d'éclairage (demi-droite verticale) ou à l'angle de dépression (demi-droite horizontale).

INCLINAISON DE L'ORBITE (n.f.)

Angle formé par le plan de l'orbite d'un objet spatial, supposée képlérienne, et un plan fondamental qui est, pour les orbites de la Terre, le plan de l'équateur.

INERTIE THERMIQUE (n.f.)

Grandeur inversement proportionnelle à l'amplitude de la variation de la température de surface d'un sol chauffé périodiquement.

INFOGRAPHIE (n.f.)

Ensemble des méthodes et des techniques qui permettent de convertir des données et informations graphiques, et inversement, par des moyens informatiques.

INTENSITE ENERGETIQUE (n.f.)

Flux énergétique émis par une source ponctuelle (ou par un élément de source), par unité d'angle solide et dans une direction donnée.

Note - L'"intensité énergétique" d'une source est exprimée en watt par stéradian (W.sr⁻¹).

INTENSITE LUMINEUSE (n.f.)

Flux lumineux émis par une source ponctuelle (ou par un élément de source), par unité d'angle solide et dans une direction donnée.

Note - L'"intensité lumineuse" d'une source est exprimée en candela.

La candela est l'unité fondamentale du système de grandeur photométriques lumineuses (ou visuelles) bien que toutes ces grandeurs aient été définies à partir du flux lumineux.

INTERVALLE DE PRISE DE VUES (n.m.)

Intervalle de temps, qui sépare la prise de deux clichés successifs d'une même bande de clichés.

ISOLIGNE (n.f.)

Ligne qui joint des points correspondant à une même valeur, déterminée ou estimée, d'un phénomène.

Note - Les isohypses, ou courbes de niveau, les isothermes constituent des exemples d'"isolignes".

Aussi appelée courbe d'isovaleur.

ISOPLETHE (n.f.)

Ligne délimitant des zones de valeurs, et dont le tracé est établi par rapport à des points en nombre limité et relatifs à des valeurs déterminées ou estimées.

Note - Désignée parfois par le terme contour de la langue générale (contour géologique, par exemple), l'"isoplèthe" peut également être spécifiée (isoplèthe de température, par exemple).

ISOTHERMOGRAMME (n.m.)

Thermographie sur laquelle figurent des isoplèthes de température ou des isothermes.

L

LACET (n.m.)

Mouvement d'un corps autour d'un axe perpendiculaire aux axes de roulis et de tangage.

LARGEUR DE BANDE SPECTRALE (n.f.)

Intervalle de fréquence compris entre deux bornes d'une bande spectrale.

LARGEUR DE FAISCEAU RADAR (n.f.)

Largeur au sol de la bande de terrain couverte par l'ouverture du faisceau radar.

LASER (n.m.)

Amplificateur quantique de radiations lumineuses monochromatiques cohérentes, émettant dans le domaine optique du spectre électromagnétique des faisceaux très directifs et de grande puissance.

LEVE PHOTOAERIEN (n.m.)

Syn. LEVE AEROPHOTOGRAMMETRIQUE (n.m.)

1. Ensemble des opérations allant de la prise de vue(s) aériennes d'un terrain à la représentation topographique d'une zone de ce terrain à partir de ces prises de vue(s).

2. Résultat de ces opérations : levé topographique établi par photogrammétrie aérienne.

LIDAR (n.m.)

Dispositif qui, par la mesure du temps de propagation aller et retour d'une radiation lumineuse émise par un laser, permet de déterminer la position et la distance d'une cible par rapport à l'émetteur.

Note - Le principe du "lidar" (détection et localisation par la lumière) est une transposition dans le domaine lumineux du principe du radar dans le domaine radioélectrique.

LIGNAGE (n.m.)

Ensemble des lignes de scannage sur une image non-photographique.

LIGNE DE SCANNAGE (n.f.)

Courbe décrite par la tache élémentaire d'un détecteur au cours du scannage.

Note - Dans le cas d'un scannage transversal, la courbe décrite peut être assimilée à une droite en regard de sa longueur.

LIGNE DE VOL (n.f.)

Trace, au sol ou sur une carte, de la trajectoire de vol suivie par une plate-forme d'observation.

LIGNE RADIALE (n.f.)

Ligne droite du plan d'une photographie aérienne, qui passe par le centre de cette photographie (point d'intersection des lignes de repères du cliché).

Note - Lorsqu'il s'agit d'une photographie verticale, on peut admettre, en première approximation, que ce point d'intersection des lignes de repères du cliché est confondu avec le nadir et avec l'isocentre, et donc que les "lignes radiales" passent par l'un ou l'autre de ces points.

LIMITE DE RESOLUTION RADIOMETRIQUE (n.f.)

Plus petite différence d'intensité entre deux niveaux du signal radiométrique qu'un capteur peut séparer.

LIMITE DE SEPARATION OCULAIRE (n.f.)

Angle minimal sous lequel, en vision fovéale, sont vus distinctement deux points très rapprochés situés sur une ligne parallèle au plan frontal.

Note - . La "limite de séparation oculaire" est exprimée en minutes sexagésimales (') ou en secondes sexagésimales (").

. La "limite de séparation oculaire" varie avec l'âge. Chez l'adolescent, elle oscille entre 40" et 50", puis elle décroît progressivement pour atteindre 60" chez l'adulte jeune, valeur considérée comme normale (soit 10/10 d'acuité visuelle).

. Par analogie, la limite de séparation angulaire d'un instrument d'optique et la "limite de séparation oculaire" sont définies de manière semblable.

. Lorsque la limite de séparation diminue, le pouvoir séparateur de l'oeil augmente.

LOGICIEL (n.m.)

Ensemble des programmes, procédés et règles, et éventuellement de la documentation, relatifs au fonctionnement d'un matériel.

LUMINANCE ENERGETIQUE (n.f.)

En un point d'une surface et dans une direction donnée, rapport de l'intensité énergétique, dans la direction donnée, d'un élément infiniment petit de la surface entourant le point considéré, à l'aire de la projection orthogonale de cet élément sur un plan perpendiculaire à cette direction..

Note - La "luminance énergétique" est exprimée en watt par mètre carré et par stéradian ($W.m^{-2}.sr^{-1}$).

LUMINANCE LUMINEUSE (n.f.)

Syn. LUMINANCE VISUELLE (n.f.)

En un point d'une surface et dans une direction donnée, rapport de l'intensité lumineuse, dans la direction donnée, d'un élément infiniment petit de la surface entourant le point considéré, à l'aire de la projection orthogonale de cet élément sur un plan perpendiculaire à cette direction.

Note - La "luminance visuelle" est exprimée en candéla par mètre carré ($cd.m^{-2}$), unité appelée parfois nit.

. Brillance est un synonyme qui tombe en désuétude, mais reste toujours utilisé en astronomie.

LUMINOSITE (n.f.)

Caractère de la sensation visuelle qui permet une estimation relative de la lumière émise par une surface.

Note - Le degré de "luminosité" dépend principalement de la clarté de l'atmosphère (teneur en aérosols). La caractéristique photométrique qui permet de mesurer la "luminosité" est la luminance visuelle.

M

MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN (n.m.)

Abrév. M.N.T. (n.m.)

Représentation conventionnelle, sous forme numérique, qui décrit la surface topographique avec une précision déterminée.

Note - Les appareils de restitution permettent d'obtenir des "modèles numériques de terrain". L'exploitation d'un M.N.T. par différentes techniques de traitement et de sortie graphique, peut donner, par exemple, des cartes de pentes, des cartes d'ensoleillement, des blocs-diagrammes.

MODEM (n.m.)

Appareil qui adapte les signaux à un procédé de transmission, principalement en assurant la modulation à l'émission et la démodulation à la réception de ces signaux.

MONOCHROME (adj.).

1. Qui est d'une seule couleur.

2. Se dit d'un objet dont les diverses plages présentent des caractéristiques colorimétriques identiques, ne se distinguant que par des luminances différentes.

MOSAÏQUE PHOTOGRAPHIQUE (n. f.)

Assemblage de photographies aériennes (épreuves positives sur papier) prises au cours d'une même mission, amenées à une même échelle approximative par utilisation d'un canevas planimétrique et ajustées par découpage selon des lignes de raccord permettant d'obtenir la continuité optimale des images photographiques.

N

NADIR (n.m.)

Point opposé au zénith.

Note - En photogrammétrie aérienne, on distingue :

. Le nadir du cliché : point d'intersection du plan du cliché avec la verticale passant par le centre de perspective de l'espace-image.

. Le nadir du terrain : point du terrain correspond au "nadir" du cliché ou, pratiquement, point d'intersection avec le terrain de la verticale passant par le point de vue de l'appareil-objet.

NAVETTE SPATIALE (n. f.)

Véhicule spatial récupérable, conçu pour faire un certain nombre de voyages entre la Terre et une orbite terrestre.

Note - La "navette spatiale" Columbia est le premier véhicule spatial qui effectua un aller-retour entre la Terre et une orbite terrestre, en Avril 1981 (S.T.S.-1).

NOEUD (n.m.)

L'un des deux points d'intersection d'une orbite avec le plan fondamental.

Note - Par Convention, l'un des "noeuds" est appelé noeud ascendant, l'autre noeud descendant.

. Pour un satellite artificiel de la Terre, le noeud ascendant est le point où le satellite traverse le plan équatorial du Sud vers le Nord.

NUMERIQUE (adj.)

1. Se dit de la représentation d'un phénomène physique par une grandeur discrète, exprimée à l'aide de nombres.

2. Par extension, se dit des dispositifs (calculateur, simulateur, etc ...)

NUMERISATION (n. f.)

Opération qui consiste à mettre une information graphique sous la forme d'un ensemble de valeurs numériques.

OBJECTIF PHOTOGRAPHIQUE (n.m.)

Abrév. Objectif (n.m.)

Système optique formateur d'images réelles en vue de leur enregistrement sur une émulsion photographique.

Note - En photographie aérienne, on appelle :

- . Objectif à angle normal, un "objectif" dont l'angle de champ est voisin de 70 grades ;
- . Objectif grand-angulaire, un "objectif" dont l'angle de champ est voisin de 100 grades ;
- . Objectif super grand-angulaire, un "objectif" dont l'angle de champ est voisin de 120 grades.

OBSERVATION ANALGLYPHIQUE (n.f.)

Mode de perception du relief en vision binoculaire par l'emploi conjugué d'un stéréoscope et d'un stéréogramme, ensemble qui exige de l'observateur la possibilité de lever volontairement la synergie accommodation-convergence et de maintenir cette dissociation en accord avec le degrés d'accommodation et de convergence requis par le fusionnement binoculaire des images, droite et gauche, du stéréogramme.

ONDE ELECTROMAGNETIQUE (n.f.)

Ensemble des deux champs magnétique et électrique, qui se propagent simultanément, à la vitesse de la lumière, sans nécessiter de milieu matériel.

Note - Les ondes électromagnétiques comprennent, dans l'ordre des longueurs d'onde décroissantes : les ondes hertziennes, les radiations infra-rouges, les radiations visibles, les radiations ultraviolettes, les rayons X et les rayons gamma.

OPACITE ATMOSPHERIQUE (n.f.)

Propriété que possède l'atmosphère de s'opposer, dans une certaine mesure à la propagation du rayonnement lumineux.

Note - L'"opacité atmosphérique" varie en fonction du nombre de particules liquides ou solides en suspension dans l'air et en sens inverse de la visibilité.

ORBITE (n.f.)

Trajectoire que décrit, par rapport à un système de référence spécifié le centre de masse d'un objet spatial soumis aux seules forces naturelles (essentiellement les forces de gravitation et les forces d'inertie).

Note - En télédétection spatiale, certains types d'"orbite" présentent un intérêt particulier :

- . L'orbite équatoriale : "orbite" dont l'inclinaison, par rapport au plan équatorial du corps principal, est nulle.
- . L'orbite héliosynchrone : "orbite" dont la longitude céleste du noeud ascendant dérive dans le sens direct, à raison de 360° par an. Le terme orbite héliosynchrone est synonyme de "orbite à ensoleillement constant".
- . Orbites phasées : les orbites héliosynchrones ayant les mêmes paramètres à l'exception de la longitude du noeud ascendant.

ORIENTATION (n.f.)

Ensemble d'opérations instrumentales qui précèdent la restitution photogrammétrique proprement dite, et qui doivent être effectuées successivement dans un ordre déterminé.

ORTHOPHOTOCARTE (n.f.)

Document obtenu par assemblage d'orthophotographies, sur lequel on ajoute les renseignements (maillage, altimétrie, légende, toponymie, etc ...) lui conférant les caractères d'une carte conventionnelle.

ORTHOPHOTOGRAPHIE (n.f.)

Image photographique obtenue à partir d'un cliché métrique, sur laquelle les déformations de l'image, dues au relief du terrain et à l'inclinaison de l'axe de prise de vue(s), ont été corrigées.

Note - Une "orthophotographie" peut être obtenue soit par redressement différentiel, soit par restitution photographique.

ORTHOPHOTOPLAN (n.m.)

Photoplan obtenu par assemblage d'orthophotographies.

OUVERTURE DE FAISCEAU RADAR (n.m.)

Voir angle d'ouverture de faisceau radar.

P

PARALLAXE BINOCULAIRE (n.f.)

Syn. DIFFERENCE DE PARALLAXES OCULAIRES (n.f.)

Différence entre les parallaxes oculaires formées par deux points quelconques d'un objet regardé par une personne dans une position d'observation déterminée.

Note - La "parallaxe binoculaire" varie en fonction de l'écart interpupillaire.

Par analogie, la "parallaxe binoculaire" est encore appelée parallaxe stéréoscopique.

PARALLAXE LINEAIRE (n.f.)

Segment qui joint les points d'intersection des deux côtés de l'une des deux parallaxes constituant une parallaxe stéréoscopique, avec le cliché qui lui correspond du couple stéréoscopique.

Note - On appelle également "parallaxe linéaire" :

La parallaxe horizontale, ou longitudinale, qui est la différence algébrique des abscisses, mesurées le long de la base à l'échelle des photographies et par rapport à celles des nadirs respectifs, des points homologues d'un couple stéréoscopique.

La parallaxe transversale, ou verticale, qui est la différence algébrique des ordonnées, mesurées perpendiculairement à la base de l'échelle des photographies, des points homologues d'un couple stéréoscopique, parallaxe apparaissant lorsque les rayons homologues ne s'intersectent pas tout à fait.

PARALLAXE OCULAIRE (n.f.)

Angle formé par les axes visuels d'une personne qui fixe un point quelconque d'un objet.

Note - Pour un même cas de figure, la parallaxe oculaire varie d'une personne à une autre en fonction de l'écart interpupillaire.

PARALLAXE STEREOSCOPIQUE (n.f.)

Différence entre les parallaxes formées par deux points quelconques d'un objet photographié de deux points de vue séparés.

Note - La "parallaxe stéréoscopique" varie en fonction de la valeur de la base de prises de vues stéréoscopiques.

POUVOIR SEPARATEUR DE L'OEIL (n.m.)

Syn. ACUITE VISUELLE (n.f.)

Nombre inverse de la valeur de la limite de séparation oculaire, en minutes sexagésimales (') et exprimée, dans la pratique, en dixièmes.

Note - Dans la pratique :

. A une limite de séparation oculaire de 1' correspond à une "acuité visuelle" de 10/10.

. A une limite de séparation oculaire de 5/6' correspond à une "acuité visuelle" de 12/10.

. A une limite de séparation oculaire de 2' correspond une "acuité visuelle" de 5/10.

Etc.

PRETRAITEMENT D'IMAGE (n.f.)

Correction des aberrations géométriques et radiométriques, en mode numérique ou analogique, des données brutes d'une image avant qu'il soit procédé, éventuellement, sur celles-ci, à des traitements particuliers (statistiques, informatiques, optiques, photographies).

PRISE DE VUE AERIENNE (n.f.)

1. Technique qui consiste à prendre des photographies de la surface de la terre, depuis un véhicule aérien.

2. Prise de cliché(s) qui représente(nt) une surface de la terre, depuis un véhicule aérien.

Note - Selon certaines caractéristiques de la prise de vue(s) aérienne(s), on distingue :

. La prise de vue(s) oblique(s) : "prise de vue(s) aérienne(s)" au moyen d'une chambre métrique dont l'axe de prise de vue(s) est écarté, à dessein, de la verticale.

. La prise de vues stéréoscopiques : prise de clichés qui permet l'observation stéréoscopique de la zone couverte.

. La prise de vue à défilement : "prise de vue aérienne" au moyen d'une chambre à défilement.

PRISE DE VUES MULTIDATES (n.f.)

Prise de vues aériennes d'une même zone de terrain, répétée dans le temps, à des dates différentes.

PROCESSEUR (n.m.)

Unité centrale d'un ordinateur affecté à l'exécution des instructions qui se présentent généralement sous la forme d'ensembles finis d'opérations et de commandes élémentaires à effectuer en séquence.

Note - : Lorsque l'ordinateur a plusieurs unités centrales de ce type, on les désigne sous le nom de multiprocesseur.

. Le microprocesseur est un "processeur" miniaturisé à l'échelle du circuit intégré.

PASSIF, VE (adj.)

Qui transmet sans apport propre.

PHOTOCARTE (n.f.)

Syn. CARTE PHOTOGRAPHIQUE (n.f.)

Photoplan qui comporte, en surcharge, un certain nombre de renseignements (signes conventionnels, altimétrie, toponymie, etc...) lui conférant les caractères d'une carte conventionnelle.

PHOTOGRAMMETRIE AERIENNE (n.f.)

Ensemble des techniques qui consistent à prendre des clichés depuis un véhicule aérien et à les exploiter pour déterminer la forme, les dimensions, la position, dans un système de référence lié à la Terre, de la partie photographiée ainsi que des détails visibles sur celle-ci.

PHOTOGRAPHIE AERIENNE n.f.)

1. Technique qui consiste à prendre des photographies depuis un véhicule aérien.

2. Document (cliché, épreuve, contretypé, diapositif) obtenu en appliquant cette technique.

Note - On distingue plusieurs sortes de "photographies aériennes" selon la position de l'axe de prise de vue(s) dans l'espace :

. Photographie verticale ; "photographie aérienne" dont l'axe de prise de vue(s) est très proche de la verticale.

. Photographie oblique ; "photographie aérienne" dont on a donné volontairement à l'axe de prise de vue(s) une inclinaison sensible sur la verticale. Selon que la ligne d'horizon apparaît, on n'apparaît pas, sur le cliché, on distingue la photographie oblique panoramique de la photographie oblique basse.

PHOTO-IDENTIFICATION (n.f.)

Syn. PHOTOLECTURE

Reconnaissance d'objets enregistrés sur une image photographique.

Note - La "photo-identification" se pratique à l'oeil nu et au moyen d'instruments optiques tels que la loupe et le stéréoscope.

PHOTO-INTERPRETATION (n.f.)

Acte qui consiste à examiner des images photographiques dans l'intention d'identifier des objets et d'apprécier leur signification ;

Note - . La "photo-interprétation", appliquée à des disciplines relevant de l'espace géographique, prend le plus souvent, de celles-ci les appellations singulières : photogéologie, photopédologie, photo-archéologie, etc ...

. Les études méthodologiques de la "photo-interprétation" soulignent l'intérêt de la perception globale du paysage, de l'application de méthode des ensembles et des critères logiques, d'environnement, d'antériorité, etc ...

PHOTOPLAN (n.m.)

Assemblage de photographies aériennes redressées à une même échelle sur canevas en X, Y et Z.

PIXEL (n.m.)

Syn. ELEMENT D'IMAGE (n.m.)

Plus petite surface homogène constitutive d'une image enregistrée, définie par les dimensions de la maille d'échantillonnage.

Note - . Dans le cas de la numérisation d'une bande magnétique analogique, par exemple, le "pixel" est le résultat de l'intégration, selon un pas donné, du signal enregistré sur la bande.

. En américain, picture est souvent abrégé en pic ou en pix, d'où la forme abrégée pixel, de picture élément qui, en anglais, est pel.

PLAN DE VOL (n.m.)

Carte du terrain à survoler sur laquelle ont été reportées, avant le vol photographique, les lignes de vol prévues et, éventuellement, la position approximative des points de prises de vues aériennes.

PLATE-FORME (n.f.)

Structure ou support sur lequel peut être installé l'ensemble des capteurs et de leurs annexes.

Note - . D'une manière générale, un satellite d'observation comporte deux parties : la "plate-forme" et la charge utile, spécifique d'une mission.

. La "plate-forme" peut comprendre des équipements de mesure ou de commande, de gestion de bord, etc ...

POINT D'APPUI (n.m.)

Point de coordonnées connues (soit en X, Y, Z, soit en Z seulement), identifiable sur une image photographique et utilisé pour la mise en place d'une bande ou d'un bloc de bandes par triangulation photographique.

POINT DE REPERE (n.m.)

Objet ou endroit précis, matérialisé au sol, qui peut être identifié sur une image..

Note - Les "points de repères" figurent fréquemment dans des recueils de points de coordonnées connues.

POINT IDENTIFIABLE (n.m.)

Point du terrain photographié, matérialisé sans ambiguïté sur l'image photographique par un détail nettement reconnaissable.

POINTS HOMOLOGUES (n.m.)

Images d'un même point du terrain, photographié sur deux clichés à partir de points de vue différents.

POLYCHROME (adj.)

1. Qui est de plusieurs couleurs.

2. Se dit d'un objet dont les diverses plages présentent des caractéristiques colorimétriques différentes.

PROFONDEUR DE PENETRATION (n.f.)

Longueur du trajet que peut parcourir un rayonnement électromagnétique incident avant d'être totalement atténué par le milieu dans lequel il se propage.

Note - Dans le cas des hyperfréquences, la "profondeur de pénétration" est exprimée, en mètre, par l'inverse ($1/e$) du facteur d'atténuation.

PROSPECTION ELECTROMAGNETIQUE AEROSPATIALE (n.f.)

Prospection qui met en oeuvre les méthodes et les matériels de la télédétection électromagnétique.

R

RADAR (n.m.)

Appareil qui émet des impulsions très brèves, ou des ondes entretenues, de haute fréquence et reçoit l'écho de ces impulsions après leur réflexion sur des obstacles.

Note - La durée qui sépare l'émission de l'onde et sa réception permet de mesurer la distance entre l'antenne et la cible. L'intensité de l'écho du terrain est porteuse d'informations sur la nature des obstacles.

. Acronyme de Radio (Détection et télémétrie par radio-électricité).

RADAR A ANTENNE LATÉRALE (n.m.)

Abrév. RADAR LATERAL (n.m.)

Radar dont l'antenne est placée latéralement, à babord et à tribord, ou sur l'un de ces deux côtés seulement, sur une plateforme d'observation.

Note - L'acronyme américain SLAR a pour équivalent français RAAL.

RADAR A BALAYAGE (n.m.)

Radar monté sur une plateforme d'observation dont la direction de vol, conjugue ses effets de couverture du terrain à ceux d'un balayage conique ou linéaire de l'antenne.

Note - En technologie radar, l'exploration d'une zone à l'aide d'un faisceau électromagnétique est appelée balayage. Si le balayage est constitué de droites successives perpendiculaires à la direction de vol, le balayage est dit linéaire. Si le balayage

RAYONNEMENT INFRAROUGE (n.m.)

Partie du rayonnement électromagnétique située entre le rayonnement visible et celui des hyperfréquences.

Note - . Le "rayonnement infrarouge" est situé dans la bande spectrale 0,75-1000 microns et, d'une façon quelque peu arbitraire, on le divise en rayonnement proche infrarouge, en rayonnement infrarouge thermique ou I.R.T. et en rayonnement infrarouge lointain (15-1000 microns).

RAYONNEMENT LUMINEUX (n.m.)

Syn. RAYONNEMENT VISIBLE (n.m.)

Partie du rayonnement électromagnétique sensible à l'oeil humain, situé dans la bande spectrale 0,40-0,75 microns.

RAYONNEMENT NET DU SOL (n.m.)

Différence entre la puissance perdue par rayonnement par l'unité de surface horizontale du sol et la puissance reçue par la même surface en provenance du rayonnement solaire direct, du rayonnement solaire diffusé et du rayonnement atmosphérique descendant.

Note - Le "rayonnement net du sol" est mesuré en Watt par mètre carré ($W.m^{-2}$).

RAYONNEMENT SOLAIRE GLOBAL (n.m.)

Somme du rayonnement solaire direct et du rayonnement solaire diffusé par l'atmosphère, reçue par unité de surface horizontale.

Note - Le "rayonnement solaire global" est mesuré en Watt par mètre carré ($W.m^{-2}$).

RAYONNEMENT TELLURIQUE (n.m.)

Rayonnement infrarouge émis par le sol et l'atmosphère, nuages compris.

RAYONNEMENT TOTAL (n.m.)

Somme du rayonnement solaire global et du rayonnement tellurique, dans une direction donnée.

RAYONNEMENT ULTRAVIOLET (n.m.)

VOIR : RAYONNEMENT LUMINEUX.

REALITE DE TERRAIN (n.m.)

Connaissance de caractéristiques de la scène étudiée, à partir d'observations et de mesures (enregistrées ou non) réalisés in situ.

RECONNAISSANCE DE FORMES (n.m.)

Branche de l'intelligence artificielle qui consiste à extraire d'un ensemble quelconque d'informations un ou plusieurs sous-ensembles possédant une structure particulière.

Note - . L'identification de structures est une phase intégrante de la "reconnaissance de formes".

La "reconnaissance de formes" fait appel à des algorithmes qui mettent en jeu les inter-relations de position des pixels, contrairement aux méthodes de classification qui, elles portent sur le contenu informationnel du pixel.

en ligne se fait autour d'un axe, le balayage est dit circulaire.
. Le radar à écran panoramique est un "radar à balayage" circulaire dont l'image d'écran intègre un indicateur de gisement panoramique.

RADARGRAPHIE (n.f.)

Syn. IMAGE RADAR (n.f.)

1. Technique qui permet la restitution sur une surface sensible des données recueillies par un radar à balayage.
2. Document, l'image radar, obtenu en appliquant cette technique.

RADIATEUR INTEGRAL (n.m.)

Voir : CORPS NOIR.

RADIATION (n.f.)

Energie émise et propagée sous forme d'ondes à travers un milieu matériel ou dans le vide.

Note - On distingue, en particulier, les ondes corpusculaires (rayons X, gamma), les ondes électromagnétiques et les ondes sonores.

RADIOMETRE (n.m.)

Instrument destiné à la mesure de la puissance émise sous forme de rayonnement électromagnétique.

Note - En télédétection électromagnétique, on distingue :

- . Le radiomètre unidirectionnel, qui reçoit le rayonnement dans une seule direction.
- . Le radiomètre à balayage, qui reçoit le rayonnement dans un angle de champ défini par construction du capteur.
- . Le radiomètre à barrette de détecteurs.

RAYONNEMENT ATMOSPHERIQUE (n.m.)

Partie du rayonnement tellurique émise par l'atmosphère, soit vers le haut (rayonnement ascendant), soit vers le sol (rayonnement descendant).

Note - Le "rayonnement atmosphérique" est situé, en quasi-totalité, dans la bande spectrale 0,3 - 80 microns .

RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE (n.m.)

Abrév. REM (n.m.)

Propagation, à la vitesse de la lumière, de l'énergie sous forme d'ondes vectorielles transversales qui interagissent avec la matière (en particulier en se transformant en une autre forme d'énergie) de façon tantôt ondulatoire, tantôt corpusculaire selon la longueur d'onde du rayonnement et le type d'interaction.

Note - Le "REM" est caractérisé par cinq quantités qui dépendent du temps :

- . La direction de propagation ;
- . L'intensité dans chaque bande spectrale ;
- . Les diverses bandes spectrales ;
- . La polarisation ;
- . La phase (pour les mesures de cohérence).

RECOUVREMENT (n.m.)

Partie commune à deux images photographiques d'une scène prise de deux points de vue voisins.

Note - . Le recouvrement latéral, encore appelé recouplement, est le "recouvrement" d'une bande de clichés par bande adjacente, perpendiculairement à la direction de vol ; il est exprimé en pourcentage de la largeur du cliché.

. Le recouvrement longitudinal est le "recouvrement" de deux clichés successifs d'une même bande, parallèlement à la direction de vol ; il est exprimé en pourcentage de la longueur du cliché.

. Le recouvrement stéréoscopique est un recouvrement longitudinal dont le pourcentage dépasse 50 % de manière que tout point du terrain figure, au moins, sur deux clichés successifs.

REDRESSEMENT (n.m.)

Transformation d'un cliché, pris selon un axe plus ou moins proche de la verticale, en une image photographique à axe rigoureusement vertical, corrigée des déformations dues à l'inclinaison de l'axe de prise de vue et mise à une échelle déterminée.

Note - Le "redressement" peut être fait selon trois modes opératoires :

. Le redressement graphique et le redressement optique qui s'appuient, en général, sur un fond graphique et donnent une image graphique ;

. Le redressement photographique, qui redonne une image photographique.

REDRESSEMENT DIFFERENTIEL (n.m.)

Procédé de redressement du cliché d'un terrain non-plan, dans lequel la transformation s'effectue localement et successivement par zones élémentaires en faisant varier l'échelle convenablement de façon que l'image photographique finale soit corrigée à la fois de l'effet d'inclinaison de l'axe de prise de vue et de l'effet des dénivelées du terrain.

Note - Lorsque le "redressement différentiel" s'exécute selon des zones élémentaires assez petites, on aboutit à une orthophotographie.

REEMISSIION (n.f.)

Rayonnement électromagnétique produit par élévation de la température d'un corps à la suite de l'absorption d'un rayonnement électromagnétique incident.

REFLECTANCE (n.f.)

Syn. **FACTEUR DE REFLEXION (n.m.)**

Rapport de l'énergie réfléchi par un milieu matériel à l'énergie incidente.

Note - On distingue trois modes de "réflectance" :

* La réflectance totale, ou facteur de réflexion total, rapport du flux lumineux réfléchi par un milieu matériel (avec ou sans diffusion) au flux total qu'il reçoit.

* La réflectance spéculaire (ou réflectance régulière) ou facteur de réflexion régulière, rapport du flux lumineux réfléchi selon les lois de la réflexion régulière au flux total incident.

* La réflexion diffuse, ou facteur de réflexion diffuse, rapport du flux lumineux diffusé par réflexion dans toutes les directions (à l'exception de celles issues de la réflexion régulière) au flux total incident.

* L'expression pouvoir réfléchissant est parfois utilisée comme synonyme de "réflectance".

REFLECTIVITE (n.f.)

Réflectance totale d'un milieu lorsque l'épaisseur de ce milieu est suffisante pour que la réflectance reste invariable si on augmente cette épaisseur.

Note - L'expression pouvoir de réflexion est parfois utilisée comme synonyme de "réflectivité".

REFLEXION (n.f.)

Renvoi dans le milieu incident d'une partie d'un rayonnement électromagnétique par l'interface qui sépare le milieu considéré d'un autre milieu d'indice de réfraction différent, sans changement de fréquence des radiations qui composent le rayonnement.

Note - On distingue deux modes de "réflexion" :

. La réflexion spéculaire, ou réflexion régulière, pour laquelle la réflexion obéit aux lois optiques établies pour les miroirs.

. La réflexion diffuse pour laquelle il y a diffusion par réflexion, mais sans réflexion régulière à l'échelle macroscopique.

REFRACTION ATMOSPHERIQUE (n.f.)

Changement de la direction de propagation d'une onde électromagnétique déterminé par les variations de la vitesse de propagation dans l'atmosphère, milieu optiquement non-homogène, qui se traduit par une courbure du rayonnement qui traverse celle-ci.

Note - En photographie aérienne, la "réfraction atmosphérique" se traduit par une distorsion de l'image qui est fonction de la hauteur de vol et de l'inclinaison des rayons perspectifs sur la verticale.

RESOLUTION (n.f.)

Terme général employé pour évoquer :

- dans le cas d'un système de mesurage, l'aptitude à séparer deux niveaux d'un signal ;
- dans le cas d'une image, l'aptitude à rendre distincts deux points voisins.

Note - . La "résolution" est spécifiée soit par le pouvoir de résolution ou pouvoir résolvant, soit par la limite de résolution, celle-ci étant l'inverse de celui-là. Par exemple, si la limite de résolution sur une image est de un dixième de millimètre, on dit que le pouvoir résolvant sur celle-ci est de dix traits au millimètre.

. L'expression anglo-américaine "image resolution", lorsqu'elle traduit la limite de résolution sur l'image, exprime la plus petite dimension décelable sur une image, caractéristique du système qui l'a produite.

. L'expression anglo-américaine "ground resolution", lorsqu'elle traduit la limite de résolution au sol, se rapporte à la limite de séparation obtenue sur l'image de deux points-objets voisins de la scène compte tenu de l'échelle, et qui, dans certaines conditions favorables de contraste, peut être inférieure à celle qu'aurait permis d'obtenir la "limite de résolution spatiale" intrinsèque du capteur.

RESTITUTION PHOTOGRAMMETRIQUE (n.f.)

1. Processus d'obtention d'une représentation à trois dimensions d'un objet à partir de clichés pris généralement avec une chambre métrique.
2. La représentation ainsi obtenue.

RETRODIFFUSION (n.m.)

Diffusion vers la source d'une partie d'un rayonnement électromagnétique, lorsque celui-ci traverse un milieu dispersant.

S

SAISIE DE DONNEES (n.f.)

Syn. ACQUISITION DE DONNEES (n.f.)

COLLECTE DE DONNEES (n.f.)

Opération qui consiste à recueillir et, en général, à stocker un ensemble de données avant de leur faire subir divers traitements.

SATELLITE D'OBSERVATION (n.m.)

Objet spatial qui tourne autour d'une planète (la Terre, le plus souvent) destiné à recueillir des informations sur celle-ci, et dont le mouvement est déterminé principalement par le champ de gravité de cette planète.

Note - On distingue plusieurs types de "satellites d'observations" :

. Le satellite géosynchrone est un satellite de la Terre dont la période moyenne de révolution est égale à la période sidérale de rotation de la Terre (soit environ 23 h 56 mn). L'emploi de l'expression orbite géosynchrone, pour signifier orbite d'un satellite géosynchrone, est à proscrire.

. Le satellite géostationnaire est un satellite géosynchrone qui décrit une orbite directe, équatoriale et circulaire. L'emploi de l'expression orbite géostationnaire, pour signifier orbite d'un satellite géostationnaire, est à proscrire.

. Le satellite héliosynchrone est un satellite de la Terre qui décrit une orbite héliosynchrone.

SCANNAGE (n.m.)

Exploration séquentielle (par balayage), ligne par ligne, d'une scène par déplacement du champ de visée instantané du détecteur, en vue d'en obtenir une image.

SCANNER (v.)

Explorer une scène de façon séquentielle (par balayage) afin d'obtenir une image.

Note - "Scanner" peut parfois être employé sous la forme intransitive, dans le sens de mettre en oeuvre un scanner.

SCANNEUR (n.m.)

Capteur pourvu d'un dispositif de balayage qui procède à l'exploration séquentielle d'une scène afin d'obtenir une image.

SCANNEUR MULTIBANDE (n.m.)

Abrév. S.M.B. (n.m.)

Scanneur qui procède à une saisie de données dans plusieurs bandes spectrales simultanément.

SCENE (n.f.)

Surface dont le gabarit résulte des propriétés de champ du capteur (Ex. : scène LANDSAT)

SENSIBILITE DE L'EMULSION (n.f.)

Aptitude d'une émulsion à donner des enregistrements satisfaisants pour des luminations plus ou moins grandes.

SIGNAL (n.m.)

Impulsion émise (signal de sortie ou reçu, signal d'entrée de nature électromagnétique), issue de ou transformée en courant électrique par un capteur actif ou passif.

SITE-TEMOIN (n.m.)

Portion de territoire sur laquelle on dispose de données de terrain.

SOUS-SCENE (n.f.)

Portion de territoire, fraction d'une scène.

SPATIAL, ALE, AUX (adj.)

Qui est situé dans l'espace (rendez-vous spatial, par exemple), utilise des moyens spatiaux (météorologie spatiale, par exemple) ou à trait à l'espace (technologie spatiale, par exemple).

SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE (n.m.)

Distribution des fréquences du REM depuis les rayons gamma jusqu'aux ondes hertziennes.

Note - Le REM existe pour toutes les fréquences.

STEROGRAMME (n.m.)

Couple de clichés stéréoscopiques qui, fixé dans une position d'observation permettant le fusionnement binoculaire à l'aide d'un stéréoscope, donne une impression de relief.

STEREOMICROMETRE (n.m.)

Abrév. Stéréomètre (n.m.)

Syn. BARRE DE PARALLAXE (n.f.)

Appareil de mesure indirecte des parallaxes longitudinales et transversales sur un couple stéréoscopique sous stéréoscope.

Note - Cet appareil est basé sur le principe du pointé stéréoscopique et met en oeuvre une vis micrométrique pour évaluer avec précision le déplacement du repère qui assure le pointé sur deux points homologues.

STEROSCOPE (n.m.)

Instrument qui, au moyen de dispositifs optiques convenables, permet le fusionnement binoculaire de deux images photographiques d'un même objet prises de deux points de vues différents.

STEREOSCOPIE (n.f.)

1. Procédé qui permet d'obtenir la sensation de relief à partir de deux images photographiques d'un objet prises de deux points de vues différents.

2. Cette sensation.

STRUCTURE ET TEXTURE DE L'IMAGE (n.f.)

Aspects d'une image photographique, donnés par la répartition, l'arrangement ou la constitution des éléments qui y sont représentés.

Note - . Différents facteurs concourent aux aspects présentés par une image photographique ; en particulier, le grain, l'échelle, la définition et les conditions d'examen de celle-ci. D'une manière générale, on parlera de structure lorsque la répartition et l'arrangement des éléments sont observables à l'oeil nu, alors que l'on réservera la désignation de texture dans le cas où un instrument grossissant est nécessaire à l'observation de la constitution de chacun des éléments, sans qu'il n'y ait toutefois de discontinuité nette entre ces deux aspects.

. Pour un même ensemble, la signification des relations de structure et texture relève d'études topologiques générales.

SUPERPOSITION D'IMAGES (n.f.)

Procédé qui consiste à faire coïncider géométriquement plusieurs images, représentant la partie commune d'une scène, obtenues soit à des dates distinctes (pour le traitement multidate) ; soit au même instant mais dans des bandes spectrales différentes (pour le traitement multi-bandes).

SYNTHESE DES COULEURS (n.f.)

Technique de restitution des couleurs dans laquelle la sensation colorée est produite par mélange additif ou par effet soustractif de couleurs fondamentales ou de couleurs complémentaires.

SYSTEME DE TRAITEMENT NUMERIQUE D'IMAGES (n.m.)

Système interactif adapté au traitement d'image et à son exploitation.

Note - Les images peuvent provenir de la mémoire d'un ordinateur ou être acquises de façon autonome au moyen d'un codeur incorporé qui réalise la numérisation des images issues d'un capteur.

SYSTEME INTERACTIF (n.m.)

Syn. SYSTEME CONVERSATIONNEL (n.m.)

Dispositif de matériel, de logiciel, ou des deux à la fois, qui permet une intervention de l'utilisateur dans une tâche en cours d'exécution.

T

TABLEAU D'ASSEMBLAGE (n.m.)

Fond de carte sur lequel sont repérées (par les nadirs, les limites) les images d'une mission aérienne ou spatiale à des fins de localisation et de délimitation des images sur le terrain correspondant.

TELEDETECTEUR, TRICE (adj.)

1. Adj. Qualifie l'utilisateur de la télédétection aérospatiale dans le cadre d'une technique ou d'une discipline scientifique.
2. n.m. ou f. Personne spécialisée en télédétection aérospatiale.

TELEDETECTION (n.f.)

Ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci.

Note - . Télédétection électromagnétique : type de "télédétection" qui utilise l'interaction du REM avec la matière.

. A distinguer des techniques aériennes de prospection géophysique (aéromagnétisme, aérogravimétrie, etc ...).

TELEDETECTION AEROSPATIALE (n.f.)

Téledétection dans laquelle la saisie de données est faite à partir d'appareillages embarqués sur un véhicule aérien ou spatial.

Note - . Ce terme, très utilisé, inclut la photographie aérienne.

. Dans l'état actuel de la pratique, la "téledétection aérospatiale" ne fait appel qu'au REM.

. On traduira airborne remote sensing par téledétection aérienne et spaceborne remote sensing par téledétection spatiale.

THERMOGRAPHIE (n.f.)

Syn. IMAGE THERMIQUE (n.f.)

1. Technique qui permet l'enregistrement et la restitution de l'énergie radiative émise par les différents points d'une scène dans l'infrarouge ou les hyperfréquences.

2. Document (l'image thermique) obtenu en appliquant cette technique.

TRACE (n.f.)

Syn. TRAJECTOIRE AU SOL

Projection verticale, au sol ou sur une carte, de la trajectoire réelle du centre de gravité d'un vecteur aérospatial.

TRAITEMENT D'IMAGE (n.m.)

Suite d'opérations, à caractères variables, effectuées sur image ou une sélection d'images (traitements multibande et multidate), qui relèvent de méthodes et techniques de traitement de l'information (par l'optique, la statistique, l'informatique etc..) et destinées à faire apparaître des éléments significatifs, des ensembles interprétables.

Note - Cette suite d'opérations peut concerner, par exemple, l'amélioration d'image, l'analyse d'image numérique, la classification, le codage en couleurs, le filtrage, la superposition d'images, et s'exécute au moyen d'un système interactif.

TRANSMISSION ATMOSPHERIQUE (n.f.)

Propagation du rayonnement électromagnétique à travers l'atmosphère, abstraction faite de l'émission propre de celle-ci.

Note - Cette propagation se traduit par une atténuation, plus ou moins forte diffusion par l'air et les aérosols.

TRANSMISSIVITE (n.f.)

Syn. COEFFICIENT DE TRANSMISSION (n.m.)

Transmittance pour un milieu d'épaisseur égale à l'unité.

TRANSMITTANCE (n.f.)

Syn. FACTEUR DE TRANSMISSION (n.m.)

Rapport du flux transmis par un milieu au flux incident.

Note - La "transmittance" est encore appelée transmittance totale ou facteur total de transmission.

La transmittance atmosphérique est le rapport du flux solaire qui subsiste après la traversée de l'atmosphère terrestre et du flux qui arrive sous l'incidence normale à la partie supérieure de celle-ci.

TRIPLET (n.m.)

Ensemble formé par trois photographies successives d'une prise de vues stéréoscopiques.

Note - L'observation stéréoscopique du terrain couvert par une photographie demande le "triplet" centré sur celle-ci, c'est-à-dire deux clichés stéréoscopiques ayant un cliché commun.

V

VECTEUR AEROSPATIAL (n.m.)

Véhicule, aérien ou spatial, utilisé pour transporter une plateforme et sa charge utile.

VIDICON (n.m.)

Tube de caméra électronique dans lequel l'image reçue est retenue à la surface d'une photocathode, laquelle est analysée par balayage électronique.

Note - Les satellites LANDSAT sont équipés d'un capteur vidicon à retour visible (Return Beam Vidicon ou R.B.V.).

VISION BINOCULAIRE (n.f.)

Activité physiologique réflexe innée, complexe, tributaire de l'accommodation-convergence des deux yeux, qui donne la sensation de relief et le sens de l'espace.

VISUALISATION (n.f.)

1. Procédé qui permet, à partir de données enregistrées, d'obtenir une épreuve ou une image d'écran.

2. Cette épreuve ou cette image d'écran.

Note - Avant d'aborder l'étape du traitement d'image, on effectue souvent une visualisation rapide de tout ou partie de l'enregistrement pour en apprécier divers aspects.

BIBLIOGRAPHIE

AGRICULTURE

BERG (A.),

La télédétection : le Projet Joliba en Afrique de l'Ouest
in : le courrier - n° 84 - Mars-Avril 1984 - P.P. 70-72.

BERG (A.), GREGOIRE (J.M.), HUBAUX (A.),

Prévisions des productions rizicoles par télédétection dans le
Bassin du Niger en amont du Delta Central Nigérien.

Proj. régional F.E.D. N° 4507-033-97-32.

II - Rap. d'Activité du 1/07/1981 au 31/12/82.

CENTRE COMMUN DE RECHERCHE DES COMMUNAUTES EUROPEENNES

ISPRA (Italie),

Prévision des productions rizicoles par télédétection dans le
bassin du Niger en amont du Delta central Nigérien.

Proj. régional F.E.D. N° 4507-033-9732. Rapport d'Activité
au 30.06.81.

DAVY (E.G.), ATTEI (F.) et SALOMON (S.T.),

Une Evaluation des Ressources du climat et de l'Eau pour le
Développement de l'Agriculture dans la zone Soudano-Sahélienne de
l'Afrique de l'Ouest.

Rapport Spécial n° 9 sur l'Environnement - Bull. OMM N° 459
(1977).

FRANQUIN (P.),

Agroclimatologie et agrométéorologie en zone tropicale sèche
d'Afrique.

in : L'agronomie Tropicale 1984, 39-4- P.P. 301-307.

GUIGMA (Sandaogo),

Prévision de productions rizicoles par télédétection dans le
Delta Intérieur du Niger.

Mémoire de DESS-Université P&M. CURIE (PARIS VI).

E.N.S.G. - G.D.T.A. Juin 1983.

LEROUX (Pierre),

Détermination de zones à vocation rizicole au LIBERIA (par photo-
interprétation).

BDPA (Rapport d'Etude), PARIS,

MAI 1964.

MALACAMP (Jean)

Synthèse des rapports du Projet de suivi écologique (Année 1979)

OUAGADOUGOU : C.R.T.O., 1980.

MITCHELL (A.J.B.)

Land resource assessment for irrigation - Workshop on irrigation
Development Planning ACCRA - Avril, 1977.

ÉCOLOGIE

BARDINET (C.), CABOT (J.),
Télédétection de l'Environnement dans la Vallée du Logone par
Landsat.
in L'Espace Géographique n° 3, 1983 (P.P. 223-230).

BARDINET (Claude), MONGET (Jean-Marie).
LANCHARD - Télédétection et géographie appliquée en zone
Sahélienne du Tchad - Paris : E.N.S.J.F., 1980.
Coll. E.N.S.J.F. N° 12.

GAGNON (Hugues),
La photographie aérienne, son interprétation dans les études de
l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire.
Edition HRW Ibée, Montréal (Canada), 1974.

LEROUX (Pierre),
Etude méthodologique pour l'établissement d'une carte de la végé-
tation
BDPA (Rapport d'Etude), Paris Juin 1970.

TRICART (Jean).
Effets de la sécheresse au Mali - Région au Nord du Lac Débo
in Apport de la Télédétection à l'étude des régions arides et
Sub-arides. Rapport de la Journée d'Etudes au CNEAT (Centre Nat.
d'Etudes Agronomiques Tropicales). DEPULP, Strasbourg, Avril
1976.

TRICART (Jean),
Quelques aspects de l'utilisation des images multispectrales du
satellite LANDSAT 1. (Ex. ERTS) dans l'étude écologique de pays
tropicaux (Mali-Colombie-Vénézuéla).
in : Travaux et documents de géographie tropicale :
C.E.G.E.T. N° 25 - Mai 1976. P.P. 87-100.

HYDROLOGIE

BERG (A.), Le Projet Joliba en Afrique de l'Ouest
in le courrier n° 84, Mars-Avril 1984 "A propos des PVD", (PP.70-72).

CARETTE (Joël), CROISILLE (Guy),
Identification et localisation de sites de barrages - Sénégal
in : Télé Géo Consult - ELANCOURT (France) 1983

CARETTE (Joël), CROISILLE (Guy),
Travaux Télé Géo Techniques Appliquées aux études topographiques
d'identification des sols, d'aménagements hydro-agricoles.
Projet aménagement de petits périmètres d'irrigation sur les
rives du fleuve Sénégal.
in Télé Géo Consult - ELANCOURT (France) - 1984.

CRUETTE (J.) DUBEE (G.), LANAGAT (J.P.),
Détermination des causes des anomalies des crues du Niger (Mali)
ORSTOM (Rapport d'études), service hydrologique, Paris, Juillet
1976).

KAMARA (M.S.),
The investigation assessment and development of groundwater
resources in the Provinces of BOUGOURIBA, HOUET, KENEDOUGOU and
PONI - Ouagadougou, C.R.T.O., 1985.
Projet. Hydraulique Villageoise.

LOINTIER (Marc),
Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer :
Section d'Hydrologie - Ouagadougou : Centre ORSTOM, 1981.
Rap. d'élève.

LOINTIER (Marc). LORTIC (R.),
Mare d'Oursi - Traitement numérique de la vue LANDSAT du 4
Février 1976 - Cayenne (Guyanne Française) : ORSTOM, 1984.

NOEL (Jacques),
Cartographie automatique des surfaces en eau libre
in la Houille blanche, numéro spécial 7.8, 1978.

PARNOT (Jacques), DAMASCO (Daniel),
Suivi des variations de surface de quelques retenues d'eau en
Haute-Volta à partir de l'imagerie LANDSAT. - Ouagadougou :
C.R.T.O., 1984.

THOMAS (Gardy C.),
Remote measurement of salinities in an estuarine environment Remote
Sensing of Environment, Vol. 2, N° 4, 1973.

WIESNET (D.R.),
Applications of remote sensing to hydrology in WMO - Genève -
opérationnel hydrology - Report n° 12/1979.

HYDROGEOLOGIE

ALBINET (M.), GASTON (G.), DELAROZIERE-BOUILLIN (Mme O.),
Evaluation et répartition des ressources en eau d'une grande
région par les paramètres hydro-climatiques et hydro-géologiques.
in : Actes du Colloque de Madrid - Projets d'utilisation des
ressources en eau sans données suffisantes - Juin 1973 - Vol. 1.

ANDREINI (Jean-Claude), BOURGUET (Lucien),
Les Barrages Souterrains - Mise en oeuvre au Cap-Vert - Condi-
tions d'Application au Sahel.
in : Hydrogéologie - Géologie de l'Ingénieur, 4. 1984.

ARNAUD (C.) et ALII.
Recherches et solutions retenues pour l'alimentation en eau pota-
ble de la Ville d'Aribinda (Haute-Volta).
in BRGM, Hydrogéologie-Géologie de l'Ingénieur, Etudes n° 3,
1983.

AVIAS (Jacques, V.),
Applications de la télédétection à l'inventaire et à la caracté-
risation des ressources en eaux souterraines.
in : La Houille blanche, Numéro spécial 7-8, 1978.

CALLEDE (J.),
Transmission par satellite des données hydrométriques,
Expériences de l'ORSTOM au Sénégal et esquisse d'une technologie,
in Cahiers de l'ORSTOM, Série Hydrologie, Vol. XVI, N° 1, 1979.

COMITE INTERAFRICAIN D'ETUDES HYDRAULIQUES - OUAGADOUGOU
Bulletin de liaison du C.I.E.H. - N° 60.
Avril 1985.

COMITE INTERAFRICAIN D'ETUDES HYDRAULIQUES - OUAGADOUGOU
Méthode d'étude et de recherches de l'eau souterraine des roches
cristallines de l'Afrique de l'Ouest ; Atlas de photo-interpréta-
tion - Maison - ALFORT : Géohydraulique, 1981.

ENGALENC (Maurice),
Méthode d'étude et de recherche de l'eau souterraine des roches
cristallines de l'Afrique de l'Ouest.
in Bull. BRGM (2ème Série) - Section 3 n° 4 - 1980-81. pp.271-272

KAMARA (M.S.),
Nazinga hydrogeological project and dam site selection -
Ouagadougou : C.R.T.O., 1984 - Project U.S-A.I.D./C.R.D.I.

KRUCK (Wolfgang),
Hydrogeologic interpretations of LANDSAT imagery in arid zones of
South and West Africa.
in Satellite Hydrology-AWRA - Juin 1979.

MAVOHED - DENECH (A.A.),
Recherche des sites hydrogéologiques par l'étude morphologique et
hydrologique d'un grand bassin
Congrès de Montpellier (France) de l'Association Internationale
des Hydrogéologues (A.I.H.)
Mémoire, Tome X.1. Communications - Comité Français de l'A.I.H.,
1974.

PION (Jean-Claude),
Conférence d'hydrogéologie :
Séminaire sur les applications de la télédétection 17/01/80.
Mise à jour - Octobre 1982.

REVILLON (P.Y.),
Notice explicative de la carte d'aptitude des terres à l'irriga-
tion pour l'utilisation des eaux souterraines au Sahel, BDPA
(Rapport d'étude, Paris 1977).

SAHAI (Palder), SOOD (R.K.), SHARMA (S.C.),
Application of LANDSAT imagery in groundwater investigations in a
semi-arid Hard-Rock region of the State of Gujarat (INDIA).
in : Scientific Note - S.A.C. Ahmedabad. - Septembre 1981.

SIMONOT (Marc),
Méthodologie et stratégie de recherches hydrogéologiques en Mau-
ritanie. -
Congrès de Montpellier (France) de l'Association Inter des Hydro-
géologues (A.I.H.) - Mémoires, Tome X.1. Communications - Comité
Français de l'A.I.H., 1974.

TRICART (Jean),
Quelques aspects de l'utilisation des images multispectrales du
satellite LANDSAT-1 (ex. ERTS) dans l'étude écologique de pays
tropicaux (Mali, Colombie, Vénézuéla).
in Travaux et Documents de Géographie Tropicale,
N° 25, Télédétection et Environnement Tropical.
Centre d'Etudes de Géographie Tropicale, CNRS, Bordeaux (France),
Avril 1975. -

METEOROLOGIE

GITEAU (J.), GUILLOT (B.), THE PENIER (R.M.),
La surveillance des grands événements climatiques. - Paris :
ORSTOM, 1983.

Initiations - Doc. Techniques n° 61 - Télédétection 9.

DOMAIN (F.),

Le satellite METEOSAT et l'océanographie : Etude des températures
de la mer au voisinage des côtes de Mauritanie et du Sénégal.-

Paris : ORSTOM, 1979 - Initiations - Doc. Techniques n° 42.
Télédétection 3.

JONES (John, Edwin),

Circulation of evapotranspiration using color-infrared photo-
graphy

in US. C.P.O. - 1977.

ORSTOM - Paris, CENTRE DE METEOROLOGIE SPATIALE. Lannion -
Veille climatique satellitaire.

in : Bull. N° 4 - Novembre 1984.

POUAUET (Jean),

Possibilities for remote detection of water in arid and Sub-arid
lands derived from satellite measurements in the atmospheric
window 3-5-4-2.U.

International Conference on Arid Lands in a changing world -
Tucson, Arizona - June 1969.

PEDOLOGIE - GEOMORPHOLOGIE

AFIFI (Mostapha), TOMIYASU (KIYO),
Image resolution and accuracy of measurements of soil moisture
with microwave sensors in Low earth and geosynchronous orbits
First thematic conference : "Remote sensing of arid and semi-arid
lands - Cairo - 20 Janv. 1982.

BERENGER (Anne Claire),
Reconnaissance des tannes (terres nues salées) au Sine Saloum -
Sénégal - par télédétection.
E.N.S.G. - G.D.T.A. - CETEL 1983-84.

DIOP (E.S.), SALL (M.M.), VERGER (F.),
Cartographie automatique d'un milieu littoral tropical : îles du
Saloum (Sénégal), d'après les données LANDSAT 1 - (Suite et fin).
in revue. Photo-interprétation n°6. Fasc. 5b.
Nov.-Déc. 1978 - PARIS.

DOSSO (M.), KILIAN (J.), SAVARY (G.),
Campagne de simulation des données SPOT : évaluation des sols
dégradés et étude du réseau hydrographique (Bagré, Haute-Volta).
in : L'Agronomie Tropicale 8-4 (1981) - P.P. 254-266.

GIRARD (Michel Claude),
Emploi de la télédétection pour l'étude de l'humidité des sols.
in La Houille Blanche - N° 7/8-1978.

MAINGUET (Monique),
Images satellite et morphologie des zones arides et Sahéliennes
in : Apport de la Télédétection à l'étude des régions arides et
sub-arides
rapport de la Journée d'Etude au CNEAT (Centre Nat. d'Etudes
Agronomiques Tropicale). DEPULP, STRASBOURG, Avril 1976.

MUSY (A.), MEYLAND (P.), MORZIER (C.),
Etude des composantes du bilan hydrique d'un sol par télédétec-
tion
in la Houille Blanche, Numéro spécial 7-8, 1978.

SABATHE (R.),
Etude morphopédologique de reconnaissance sur l'implantation d'un
complexe agro-industriel - préliminaire de Bouna B.N.E.T.D.,
Abidjan (R.C.I.), Août 1975.

VUILLAUME (Y.),
Apport des satellites à l'étude des Propriétés physiques des
sols.
Utilisation dans les domaines de l'Eau et l'Agriculture.
Technical Conference on Use of Data from Meteorological Satel-
lites, Lannion, France (17-21 Sept. 1979).

TELEDETECTION - OUVRAGES GENERAUX

BANNET (Dr. D.), HOFFMAN (Dr. R.), JONS (Dr. H.P.), et coll.
Etude de reconnaissance des ressources en Afrique à l'aide
d'images de satellites (Proj. BMZ N° 7522 105) - Etudes multidis-
ciplinaires sur images satellite en République de Haute-Volta :
Géologie, Hydrogéologie, Pédologie et Utilisation du sol.
Hannover : I.F.S.T.M.S., 1980.

BARIOU (Robert),
Manuel de télédétection : photographies aériennes, images radar,
thermographies, satellites, - Paris : SPDIPE 1978.

COMITE SUR LA TELEDETECTION POUR LE DEVELOPPEMENT. Washington
L'espace et les ressources terrestres : perspectives de la télé-
déttection pour les pays en développement - Washington : National
Academy of Sciences, 1980.

GIRARD (C.M.), GIRARD (M.C.),
Application de la télédétection à l'étude de la biosphère
Paris : Masson, 1975.
Collection : "Services Agronomiques".

C.N.U. Comité des Utilisateurs Pacifiques de l'ESPACE EXTRA-
ATMOSPHERIQUE, New-York.
Coût et avantages actuels et prévus de l'application pratique des
techniques de télédétection.
Rapport du Secrétariat Général - 18 Fév. 1976.

PLAT (C.N.R.) et TROUP (A.J.),
A direct comparison of satellite and Aircraft Infrared (10-12 m)
Remote measurements of surface temperature in Remote Sensing of
Environment, Vol. 2, n°4, 1973.

SCANVIC (Jean-Yves),
Utilisation de la télédétection dans les Sciences de la Terre -
Orléans : B.R.G.M., 1983.