



SCET AGRI  
27, rue Louis VICAT  
75015 PARIS  
Tél. (1) 638.34.76

11768  
bd  
pa

LA TELEDETECTION SPATIALE

---

NOTE D'INFORMATION  
SUR LES MOYENS ET SERVICES  
OFFERTS PAR BDPA/SCET-Agr1

---

DIFFUSION INTERNE

Juillet 1984

## TABLE DES MATIERES

<b>1 - <u>LE CONTEXTE</u></b> .....	<b>1</b>
1.1 - La télédétection .....	1
1.2 - L'effort BDPA/SCET-Agri .....	1
<b>2 - <u>LES NOUVEAUX SATELLITES</u></b> .....	<b>3</b>
2.1 - Une couverture systématique .....	3
2.2 - Un large champ de vision .....	3
2.3 - La répétitivité des images .....	4
2.4 - Les possibilités de vision en relief .....	5
2.5 - Les stations de réception .....	6
<b>3 - <u>L'IMAGE SATELLITE</u></b> .....	<b>7</b>
3.1 - Principes généraux .....	7
3.2 - Les caractéristiques des capteurs .....	7
3.2.1 - Résolution géométrique	
3.2.2 - Sensibilité	
3.3 - L'image obtenue .....	9
3.4 - Les prétraitements et les produits standard	
3.4.1 - Les centres de fabrication des images	
3.4.2 - Les produits "photo"	
3.4.3 - Les bandes magnétiques (CCT)	
3.4.4 - Le coût des images brutes	
3.4.5 - La distribution des images	
3.5 - L'analyse et l'interprétation des images-satellite .	13
3.5.1 - Comparaison photo aérienne/image satellite	
3.5.2 - Les traitements numériques	
<b>4 - <u>LES MOYENS DU GROUPE B.D.P.A./SCET-Agri</u></b> .....	<b>15</b>
4.1 - Le matériel acquis par SCET-Agri/B.D.P.A. ....	15
4.1.1 - Le détail du matériel TRIDYN	
4.1.2 - Le Logiciel - Les Programmes	
4.2 - Formation interne .....	18
4.3 - Les services offerts .....	18
4.3.1 - Un outil indispensable à l'approche géographique	
4.3.2 - Les domaines d'application	
4.3.3 - Les niveaux d'intervention et les produits	
4.3.4 - Modalités de mise en oeuvre	
4.3.5 - Les coûts	
<b><u>ANNEXE</u></b> .....	<b>26</b>
Références en matière de Télédétection spatiale	
Recherche-Développement et Projets en cours	

## 1 - LE CONTEXTE

### 1.1 - La télédétection

C'est l'ensemble des moyens permettant de saisir

- à distance
- des informations sur la surface terrestre.

Jusque vers 1970 la Télédétection était limitée à la photographie aérienne utilisée pour faire des cartes topographiques ou thématiques.

Depuis une quinzaine d'années des progrès sont venus donner un essor sans précédent à ce domaine :

- Le développement de l'électronique substitue aux capteurs photo-chimiques des capteurs électroniques : détecteurs de lumière, thermographies (sensibles à la chaleur), radars.
- Les satellites sont utilisés en pré-opérationnel et permettent une souplesse et un coût d'utilisation très positifs.

### 1.2 - L'effort BDPA/SCET-Agri

Le BDPA a réalisé un effort important dans le domaine de la télédétection spatiale, en particulier par :

- le recours, pour les besoins du Bureau d'étude, à l'imagerie des premiers satellites LANDSAT;
- la participation au groupement français le plus puissant dans ce domaine : depuis 1979, le BDPA participe au GDTA (Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale) qui comprend, en outre, le CNES, l'IFP, l'IGN et le BRGM;
- le développement de relations diverses (organismes internationaux et nationaux dans divers pays, CEMAGREF);
- la participation à l'exploitation des images simulées du futur satellite français SPOT.

De cet effort, il ressort les enseignements suivants :

- Les satellites de télédétection de la première génération (LANDSAT 1, 2, 3 dits aussi "LANDSAT MSS") ne peuvent répondre que de façon limitée au besoin d'un bureau d'étude :

En effet, leur résolution au sol, c'est-à-dire le détail le plus fin qu'ils peuvent théoriquement observer est d'environ 80 x 80 m. On doit alors se cantonner à l'analyse de grands systèmes géographiques sans pouvoir approcher les objets usuels (et la parcelle, en particulier).

- L'imagerie thermique et le radar n'ont pas d'usage vraiment opérationnel pour la décennie 1980-1990.

Par contre, les nouveaux satellites (LANDSAT TM<sup>(\*)</sup> et SPOT) permettront d'approcher nos objets de travail grâce à leur haute résolution (30 m à 10 m). Ils pourront, non seulement remplacer partiellement les couvertures photographiques dont nous avons besoin, mais aussi apporter une autre information qui doit décupler nos possibilités d'intervention.

L'objet de cette note est de présenter ce nouvel outil, les investissements réalisés au sein du Groupe BDPA/SCET-Agri et les nouvelles perspectives ouvertes.

\*

\* \*

---

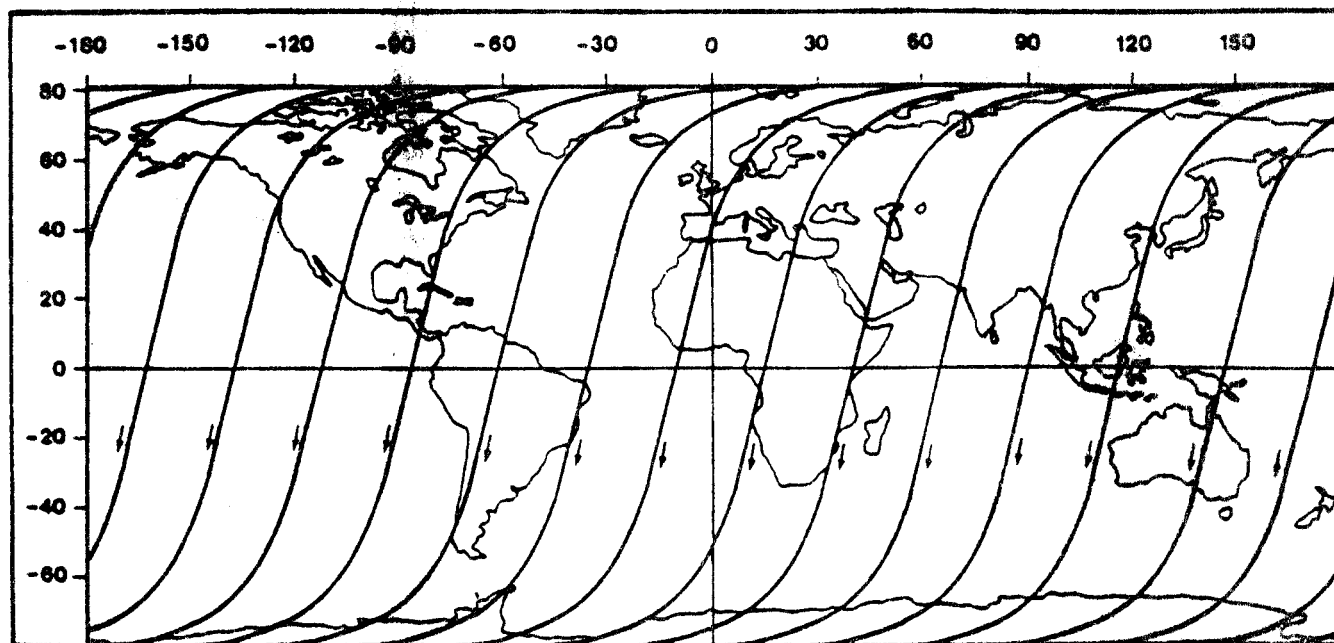
(\*) TM = "Thematic Mapper"

## 2 - LES NOUVEAUX SATELLITES

Ces satellites ont des avantages décisifs :

### 2.1 - Une couverture systématique

Ces satellites tournent "gratuitement" autour de la terre. Ils décrivent plusieurs orbites chaque jour : par exemple, SPOT décrit 14 orbites descendantes (effectuées de jour) constituant le réseau journalier.



Traces descendantes de jour du premier satellite SPOT sur une journée (24 h)

Chaque jour, ce réseau d'orbites se décale lentement, si bien qu'au bout de 18 à 26 jours, selon les satellites, l'ensemble du globe (pôles exceptés) est couvert; le satellite recommence alors un nouveau cycle.

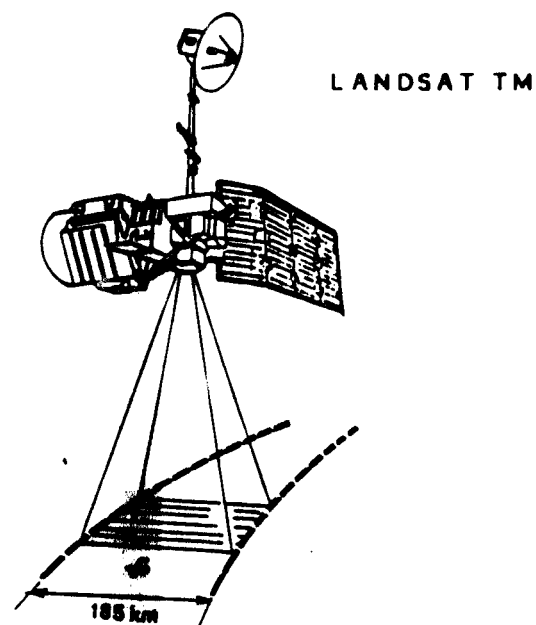
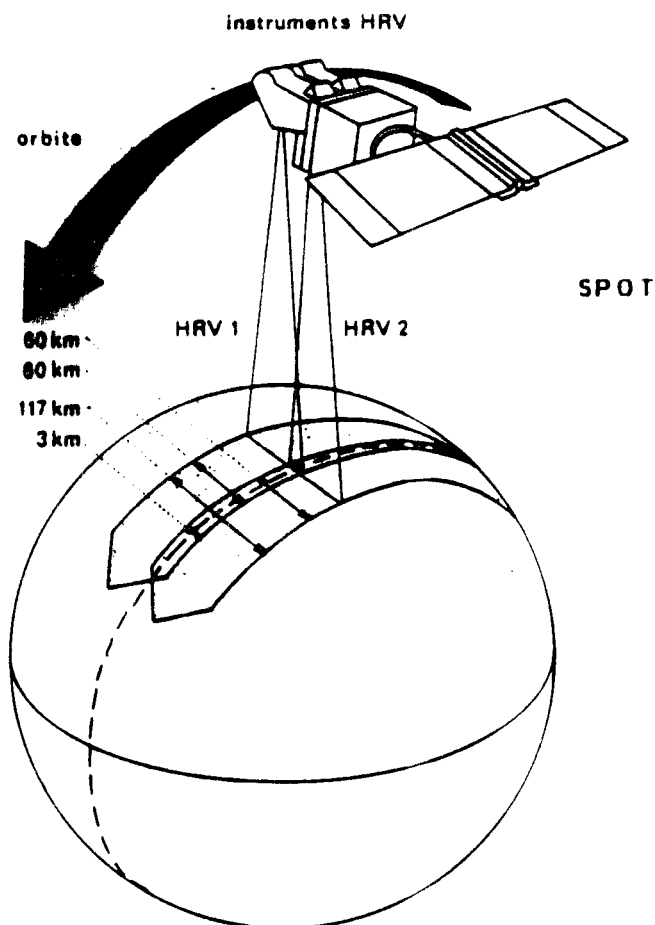
Les paramètres de l'orbite sont calculés de façon à ce que le satellite passe toujours à la même heure solaire au-dessus d'un point donné (cette heure varie de 10 h à 11 h en fonction de la latitude).

### 2.2 - Un large champ de vision

La surface au sol couverte est importante :

- 185 x 185 km (soit 36.000 km<sup>2</sup>) pour le satellite LANDSAT TM; pour couvrir une telle surface, il faudrait environ 225 photos aériennes au 1/50.000.

- Le satellite SPOT couvre sous chaque instrument un champ de 60 km de large. L'altitude élevée du satellite (700-900 km) permet, malgré la largeur du champ couvert, de conserver un angle de vision étroit ( $< 10^\circ$ ) garantissant une très bonne qualité géométrique aux images.



### 2.3 - La répétitivité des images

Celle-ci est, au minimum, celle du cycle du satellite (18 ou 26 jours).

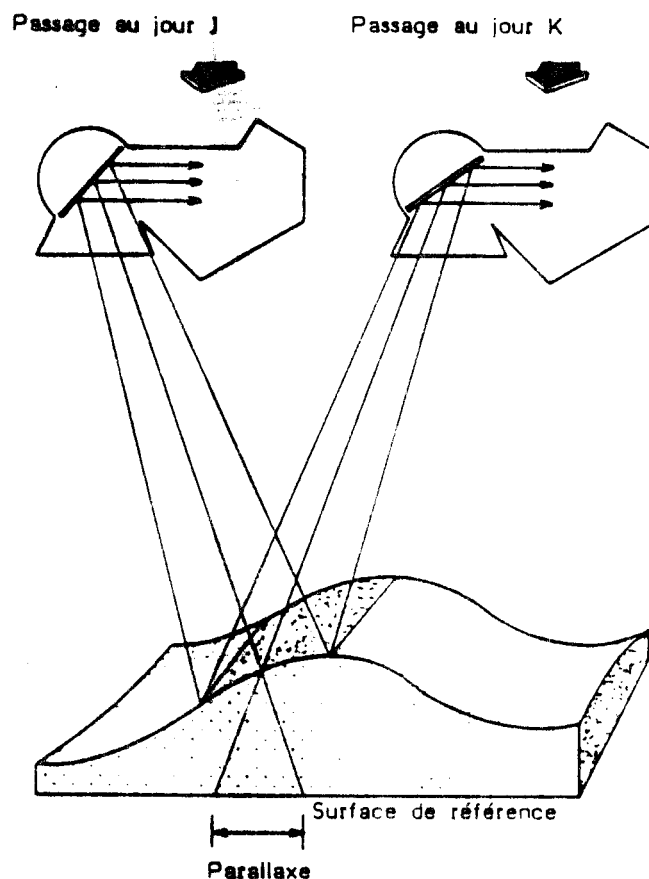
Avec SPOT, l'accessibilité et la répétitivité sont plus élevées du fait de la possibilité de dépointer les instruments de  $\pm 27^\circ$  par rapport à la verticale.

Toutefois, le dépointage pose des problèmes techniques et de planning d'utilisation du satellite : une programmation et des délais seront nécessaires et variables selon les zones (1 semaine à 1 mois).

#### 2.4 - Les possibilités de vision en relief

Les possibilités de stéréoscopie, très inférieures à celle de la photographie aérienne, restent réalisables avec SPOT et découlent des possibilités de dépointage :

Les simulations ont montré que les reliefs ne seront perçus qu'au-dessus de 5 m de dénivelé et pour des pentes de 5 à 8 %.



Les visées latérales permettent en outre d'obtenir des couples d'images stéréoscopiques d'une même scène prises sous des angles différents lors de révolutions orbitales successives du satellite.

On voit sur les figures ci-contre que deux observations peuvent être obtenues de part et d'autre de la verticale à une journée d'intervalle. Le rapport entre la base d'observation (distance entre les deux positions du satellite) et la hauteur (altitude du satellite) est alors voisin de 0,75 à l'équateur et de 0,50 à une latitude de 45 degrés. Plus le rapport B/H est élevé mieux le relief est perçu.

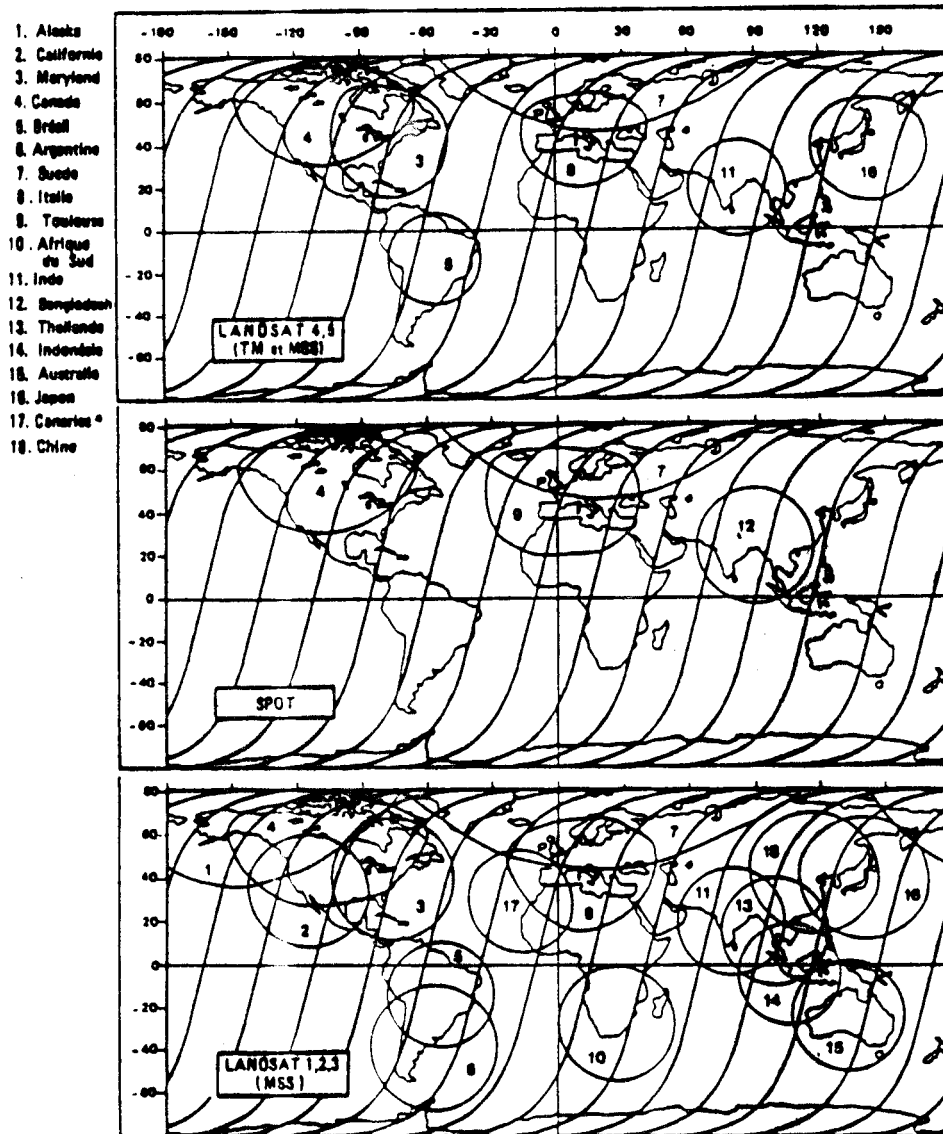
Les applications possibles sont celles de la photogrammétrie et de la photointerprétation qui font appel à la perception du relief (morphogéologie, études hydrographiques, etc..).

## 2.5 - Les stations de réception

Les satellites n'émettent en direct leurs signaux que lorsqu'ils sont en vue d'une station de réception (\*). La couverture d'une station est un secteur d'environ 2.600 km de rayon.

Voici la carte des stations existantes ou en cours de construction pour les trois satellites : TM, SPOT, MSS :

ETAT AU 1 JUILLET 1984



\* (Agence Spatiale Européenne)

En dehors de ces zones, il faut recourir à un enregistreur de bord; celui-ci a une capacité de mémoire limitée. C'est le cas pour l'Afrique de l'Ouest, où l'absence actuelle de station limitera le nombre d'images disponibles, en attendant une éventuelle mise en service de la réception TM aux Canaries et l'hypothétique construction de la station de Ouagadougou.

(\*) En général, ces stations assureront, en plus de la réception, la fabrication et la distribution des images (voir § 3.4).



### 3 - L'IMAGE SATELLITE

#### 3.1 - Principes généraux

Les capteurs portés par les satellites sont des capteurs électroniques analysant la surface du globe par balayage (physique ou électronique). L'image obtenue est une série de points ordonnés formant une matrice. Chaque point, recalibré géométriquement (ou "pixel" (\*)), est caractérisé par des valeurs numériques indiquant sa réponse (brillance) dans différentes couleurs (longueurs d'onde).

L'image est donc numérique et son analyse peut être faite très rigoureusement par des traitements mathématiques sur ordinateur.

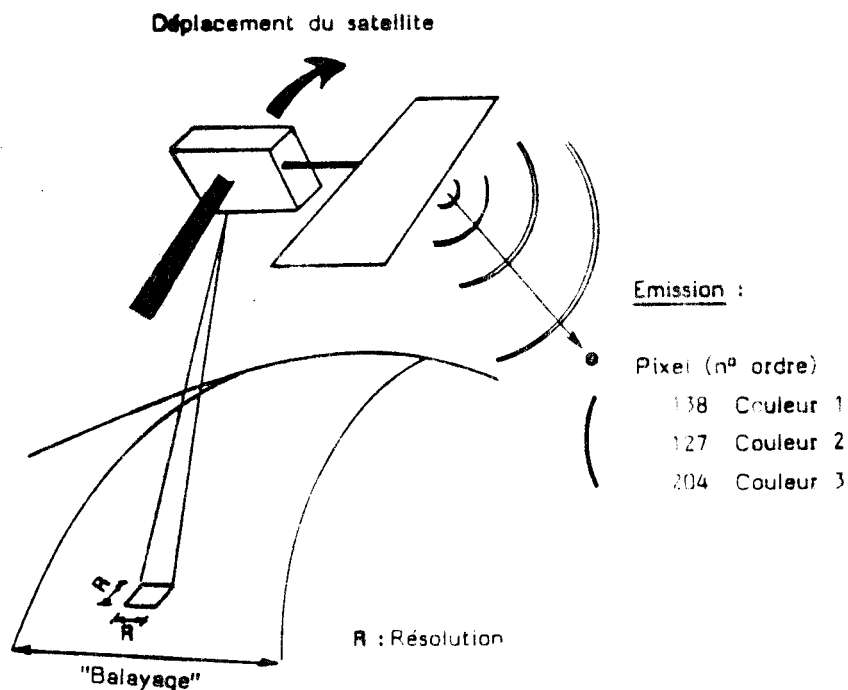
Ce principe est très différent de la photographie qui traduit de façon analogique, sur un support photochimique et d'une manière plus aléatoire, la lumière reçue.

#### 3.2 - Les caractéristiques des capteurs

##### 3.2.1 - Résolution géométrique

Les nouveaux capteurs permettent une résolution compatible avec les objets que l'on analyse dans les projets de développement rural (parcellaire, par exemple).

Cette résolution correspond à la dimension de l'échantillon de surface au sol qui sera capté par l'instrument pour constituer un pixel.



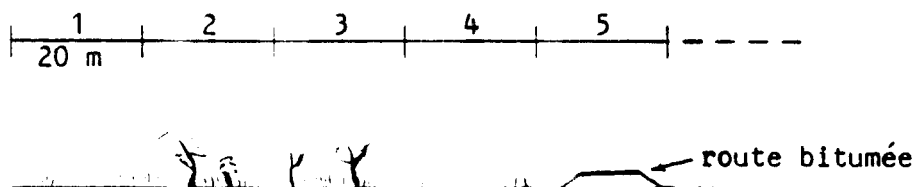
(\*) de l'Anglais "Picture Element"

Pratiquement, l'on exprime la résolution par une distance au sol correspondant à **R**. Cette valeur est de :

- 30 m pour LANDSAT TM (au lieu de 60 à 80 m pour les LANDSAT MSS)
- 20 m et même 10 m (en une couleur) pour SPOT.

C'est-à-dire qu'à l'intérieur d'une surface de **R m X R m**, une seule valeur sera captée et correspondra à la moyenne des luminosités des objets inclus dans cette surface.

Par contre, des objets de taille inférieure à la résolution pourront être perçus si leur contraste est suffisamment élevé par rapport à l'environnement : ils modifient alors assez la valeur moyenne du pixel pour être reconnus.



Dans le schéma ci-dessus, chaque pixel est "composite", mais les informations sur les 5 points enregistrés sont suffisantes pour déterminer les objets présents :

Le point 1	donnera une réponse (*)	typique des herbes sèches,
" " 2	" " "	atténuée " "
" " 3	" " "	typique de végétation verte
" " 4	" " "	" de sol à nu
" " 5	" " "	" d'infrastructure.

A titre de comparaison, la résolution d'une photographie aérienne résulte à la fois de l'altitude, de l'échelle, du format et du grain de l'émulsion : une photographie aérienne couleur au 1/50.000 présente une résolution de l'ordre de 0,50 m.

### 3.2.2 - Sensibilité

Les capteurs sont calibrés pour n'être sensibles qu'à certaines couleurs précises et bien limitées, choisies en fonction de la réponse spécifique des objets :

Le proche infra-rouge, par exemple, est fondamental pour fournir des informations sur l'eau et la végétation.

- SPOT est sensible à deux couleurs du visible (vert et rouge) ainsi que le proche infra-rouge lumineux.

(\*) ou l'ensemble des valeurs numériques de la brillance pour chaque longueur d'onde (ou canal).

- LANDSAT TM ajoute une bande lumineuse bleue (utile pour l'océanographie mais parfois aussi pour la végétation). D'autre part, il possède deux canaux thermiques (à plus faible résolution : 120 m).

(L'imagerie thermique est très difficile à exploiter systématiquement; elle peut, par contre, révéler des phénomènes significatifs.)

Dans chaque couleur (ou canal), les nouveaux instruments peuvent discriminer 255 niveaux de luminosité, transmis sous forme de données numériques.

A titre de comparaison, une photographie classique ne donne qu'une trentaine de grisés.

Cette sensibilité et précision radiométrique compense dans une certaine mesure la moins bonne résolution de l'imagerie satellite.

### 3.3 - L'image obtenue

Ces nouveaux capteurs, compte tenu des caractéristiques radiométriques et géométriques, permettront l'obtention d'images beaucoup plus précises et riches en information que celles des satellites de la première génération.

Les expériences menées sur les simulations SPOT, tant en France qu'en Afrique ou en Asie montrent :

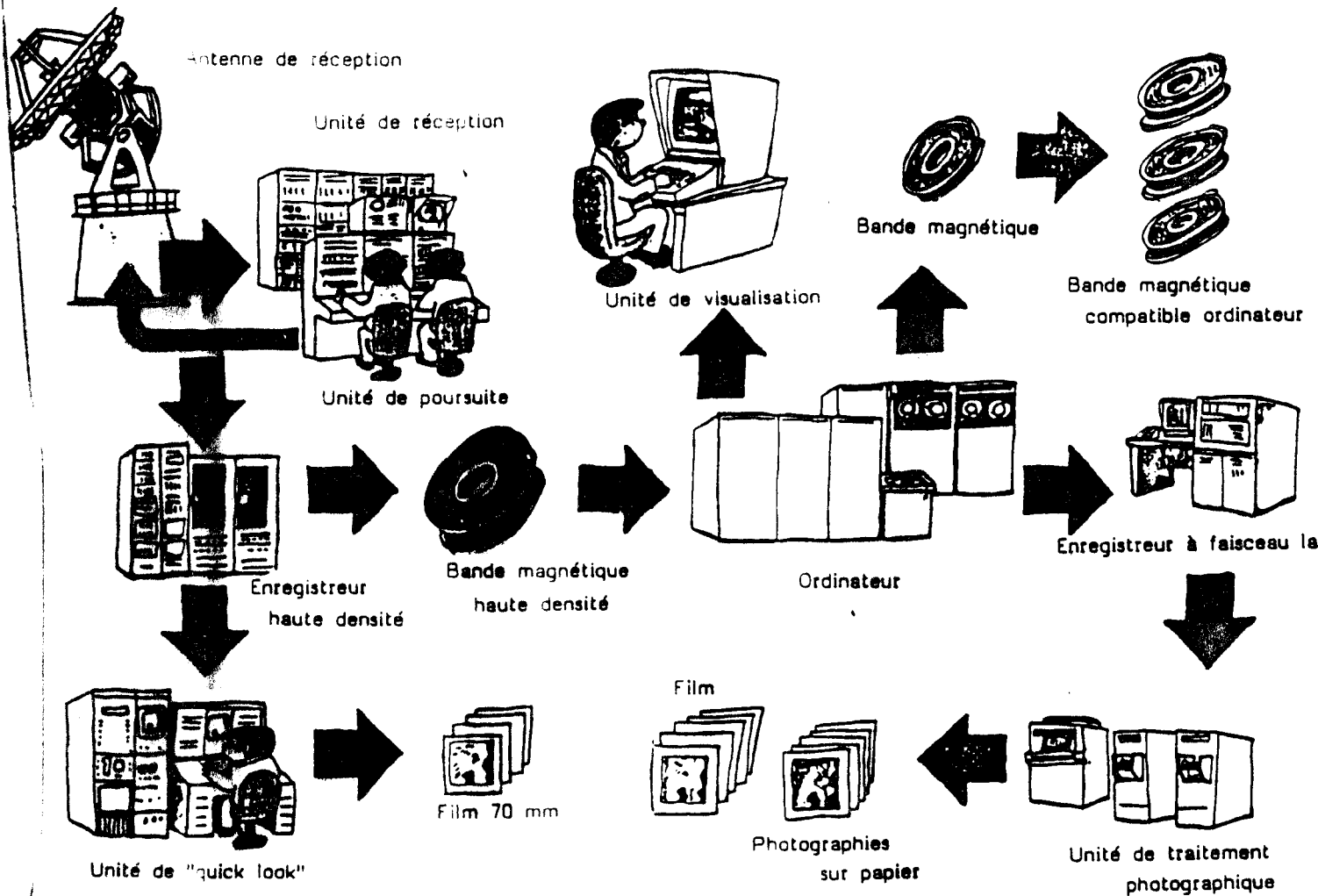
- que le parcellaire 40 m x 40 m s'individualise;
- que les zones de parcelles homogènes plus petites se distinguent de l'environnement (surfaces emblavées en vivrier en Afrique, par exemple);
- que les structures de forêts différentes apparaissent lorsque la couronne des arbres dépasse 8-10 m;
- que les arbres isolés sur une savane herbeuse sont visibles ainsi que le réseau hydrographique;
- qu'apparaissent bien les pistes, fossés d'assainissement, habitats isolés, villages.

### 3.4 - Les prétraitements et les produits standard

#### 3.4.1 - Les centres de fabrication des images

Autour des stations de réception gravitent des centres de "fabrication" des images à partir des données numériques émises par le satellite.

Le schéma suivant présente les opérations de traitement et les différents produits fabriqués et distribués par ces centres.



Les traitements numériques effectués par ordinateur dans ces centres permettent :

- de rectifier les images sur le plan géométrique et radiométrique (filtrage, égalisation, dynamique,...);
- d'optimiser la dynamique de l'enregistrement par rapport à celle d'un film, pour recréer une image "photographique" bien contrastée;
- d'ordonner les informations sur des bandes compatibles avec les ordinateurs (bandes CCT).

### 3.4.2 - Les produits "photo"

Ce sont des images réelles recréées à partir des enregistrements numériques (impression d'un film par un laser modulé par les données). Il existe deux types de produits :

- Le film 70 mm est, en général, plutôt un "quick look" qu'un document opérationnel : de qualité très médiocre - mais peu cher et rapidement disponible - il permet de localiser les nuages et de vérifier si l'on a une chance d'observer ce que l'on désire; on pourra alors commander des documents de travail à travers un système de fichier plus ou moins informatisé. Délais d'obtention des quick look : 1 semaine à 15 jours.
- Les films et photos papier, dont le but est une interprétation "manuelle" (comme une photographie aérienne), peuvent être obtenus à des échelles variant du 1/50.000 au 1/500.000. Des compositions colorées peuvent être réalisées à partir de trois canaux, et leur interprétation est très proche de celle d'une photographie infra-rouge couleur. Ces documents permettent de travailler sans trop de difficultés pour une personne initiée et ayant des objectifs limités (grands inventaires d'éléments contrastés, réseaux, anomalies  $> 1 \text{ km}^2$ , suivi de zonages géographiques).

### 3.4.3 - Les bandes magnétiques (CCT)

Elles permettent d'utiliser toute l'information perçue par le capteur par des traitements numériques (mathématiques) fins et adaptés, nécessitant un ordinateur et des logiciels spécialisés. Ces traitements constituent une interprétation assistée par ordinateur, voire dans certains cas automatique (cf. § 3.5).

### 3.4.4 - Le coût des images brutes

Pour les produits SPOT, commercialisés par la Société SPOT-Image, le coût des différents produits (photos et bandes) est directement lié à l'importance des traitements de correction et, principalement, à la perfection géométrique requise; ceci suivant quatre niveaux (en simplifiant) :

(Voir Tableau page suivante)

- 1 A : Pas de correction.
- 1 B : Corrections radiométriques et quelques rectifications géométriques.
- 2 : Corrections géométriques sur une référence cartographique (précision 40 m).
- S : Superposabilité sur une autre image (précision 20 m).
- Le produit de base étant le niveau 1 B

Coût prévisible d'une scène SPOT (60 x 60 km)

	1 A	1 B	2	S
Quick look (film 70 mm)	100 F	-	-	-
Film Noir et Blanc (1 canal (1/100.000))	500 F	700 F	-	-
Composition colorée (3 canaux (1/200.000))	2.000 F	2.500 F	20.000 F	non encore chiffré
Bande C C T	-	8.500 F	14.000 F	

**3.4.5 - La distribution des images**

Pour les données LANDSAT TM (Thematic Mapper) qui sont reçues en Amérique du Nord, la distribution des documents se fait par l'Administration U.S. Le G.D.T.A. peut alors servir d'intermédiaire pour faciliter les commandes.

L'Agence Spatiale Européenne distribue les images TM reçues en Europe (et acquises sur l'Europe et l'Afrique du Nord), avec une capacité supplémentaire sur l'Afrique de l'Ouest, mais limitée actuellement aux images MSS (station Las Palomas, Canaries). Son correspondant officiel pour la France est le G.D.T.A.

Quant aux données SPOT, elles seront commercialisées par la société privée française "SPOT-Image".

### 3.5 - L'analyse et l'interprétation des images-satellite

#### 3.5.1 - Comparaison photo aérienne/image satellite

La photo-interprétation est une technique d'analyse analogique mettant en oeuvre simultanément :

- les facultés physiques de l'examineur (observation par l'oeil de la photographie) : discernement des objets, distinction des grisés, des textures, ...  
Les performances obtenues varient avec l'individu mais dépendent fortement des caractéristiques de la prise de vue, de la qualité de l'émulsion, de l'épreuve-papier, etc...
- ses facultés psychiques : la perception du relief est un processus à la fois physique et psychique (traduction mentale, appréciation des perspectives, des pentes, des modelés, ...)
- son expérience acquise : connaissance du terrain, analyse des composantes du paysage, de leur causalité, interprétation d'un système et des inter-relations qui le composent, etc...

Les images-satellite, du fait de leur nature numérique (voir § 3.2), peuvent être analysées par des traitements mathématiques variés. Ces traitements vont porter, pour chaque "pixel", sur les valeurs radiométriques mais aussi analyser les valeurs d'un pixel par rapport à ceux qui l'entourent.

Une image SPOT (60 x 60 km) se compose de 9 millions de pixels de 20 x 20 m pour lesquels 3 données sont enregistrées. Aussi le traitement de cette "banque de données" relève-t-il de l'informatique et de calculs spécialisés.

Ainsi les techniques d'utilisation de l'imagerie satellite sont-elles multiples :

- interprétation analogique d'une simple composition colorée (se rapprochant d'une photo infra-rouge couleur),
- interprétation assistée par ordinateur, combinant traitements et interprétations de façon itérative;
- interprétation "automatique" dans certains cas (interprétation de données simples ou approche statistique).

A l'aspect cartographique (répartition spatiale des objets), les traitements informatiques ajoutent l'analyse statistique immédiate (quantification des objets) qui devient alors une des données de l'interprétation.

Toute analyse de télédétection (aérienne ou spatiale) nécessite une bonne connaissance du terrain sur quelques sites d'extension limitée, impliquant une phase de reconnaissance et d'enquête au sol.

Enfin, en télédétection spatiale, l'informatique n'est qu'un outil très performant, multipliant les capacités de son utilisateur, et l'expérience acquise de l'interpréteur reste fondamentalement le facteur valorisant de l'interprétation.

### 3.5.2 - Les traitements numériques

Ils sont nombreux et complexes. Aux traitements statistiques traditionnels s'ajoutent des traitements d'image et des programmes informatiques développés depuis moins de 10 ans.

Sans entrer dans le détail, quels sont les types d'opérations effectuées ?

- des opérations de pré-traitement : corrections géométriques, radiométriques, modification de la dynamique des canaux (compression/expansion), correction de dérive, ..., opérations assez lourdes basées sur des calculs statistiques;
- de simples opérations arithmétiques : l'addition, la soustraction de certains canaux est significative de certains phénomènes (calculs d'indice simple);
- des opérations de seuillage : l'analyse statistique des indices permet de définir des classes significatives;
- des opérations de pondération ou de lissage dans lesquelles chaque point est comparé avec, par exemple, les huit points qui l'entourent, etc...
- des opérations plus complexes de recherche d'alignements, de textures spécifiques, etc... (pour la plupart en phase de développement).

L'intérêt de ces divers traitements est de pouvoir être réalisés en temps réel et, donc, de façon interactive avec le thématicien interpréteur, pour les ajuster aux variations du terrain.

\*

\* \*



#### 4 - LES MOYENS DU GROUPE B.D.P.A./SCET-Agri

Jusqu'à présent, la médiocrité des données MSS et le coût des matériels informatique nous ont cantonnés dans la "photointerprétation" d'images améliorées.

L'amélioration des images ainsi que certains traitements numériques avaient été sous-traités sur des matériels externes (IGN, IFP, CNES, BRGM, CNEXO), en nous permettant ainsi d'évaluer ces équipements (partie matériel, partie logiciel, partie système d'exploitation).

L'attente de l'arrivée d'un nouveau satellite, ayant été retenue comme la politique que nous étions contraints de mener, nous a tout de même permis d'évaluer l'apport de ces satellites grâce au programme de simulation SPOT. Nous savons bien maintenant ce que nous pouvons - et ne pouvons pas - attendre de ces nouveaux instruments.

Le terme critique (LANDSAT 5 TM opérationnel à la mi-84 et SPOT 1 au premier trimestre 85) se situe en 1984, où nous devons décider :

- d'acquérir un matériel et
- la formation/information du personnel,

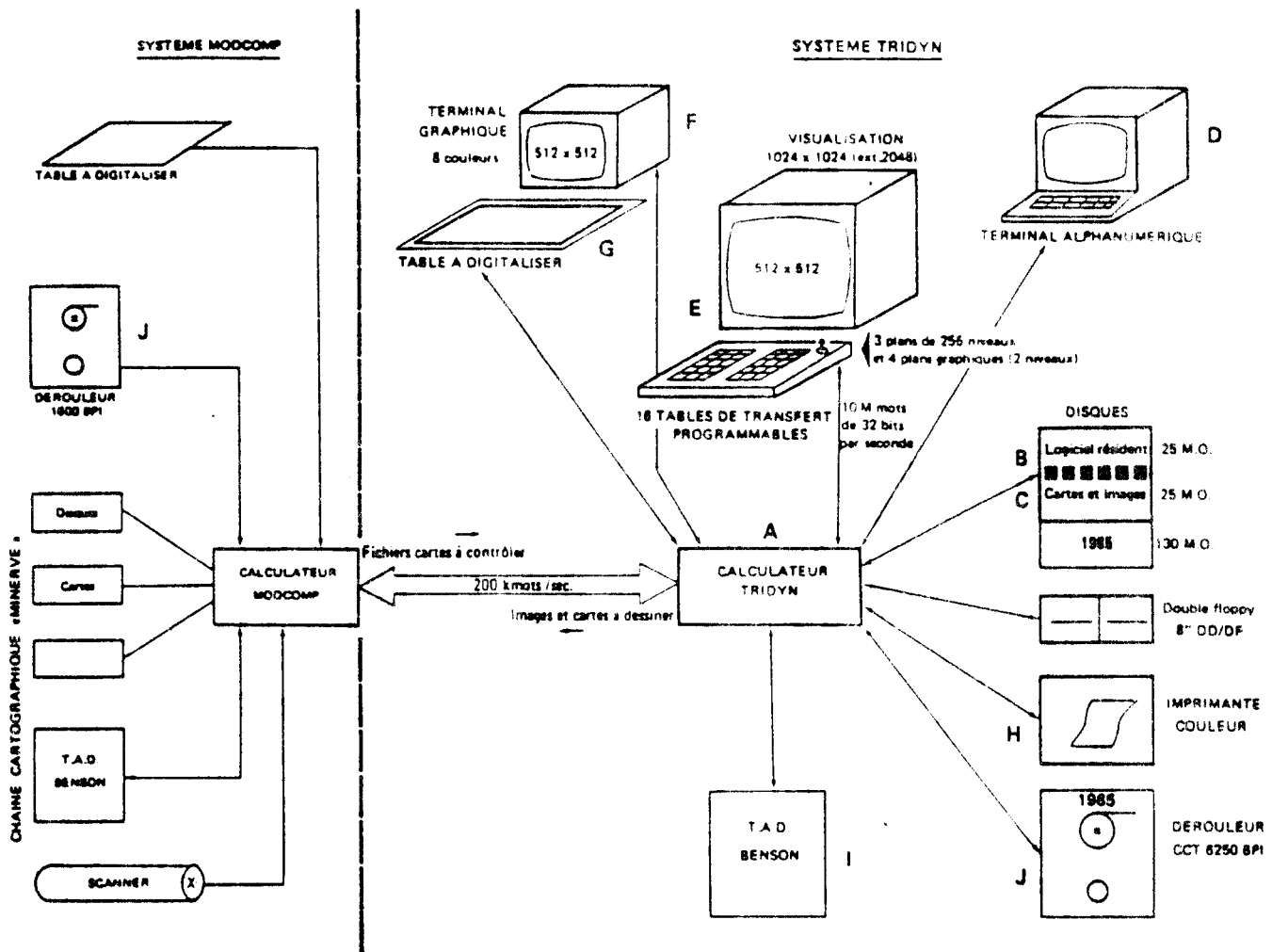
pour acquérir en 1985 un potentiel d'action important, d'autant plus que la concurrence n'est pas négligeable : ORSTOM, mais aussi IRAT, CEMAGREF, SATEC-SODETEG et étranger. Entre les membres du G.D.T.A., une bonne concertation permet d'optimiser la concurrence de facto.

##### 4.1 - Le matériel acquis par SCET-Agri/B.D.P.A.

Le traitement d'images requiert des matériels spécifiques et des logiciels appropriés. C'est de l'informatique spécialisée.

Le croquis de la page suivante présente le matériel TRIDYN<sup>(R)</sup> (acquis auprès de SYSCOM S.A., Toulouse) et son insertion dans l'ensemble des moyens informatiques du Groupe BDPA/SCET-Agri.

A gauche, on a représenté les matériels de la chaîne cartographique MINERVE de SCET-Agri. Une liaison est prévue avec le système de traitement d'image. En effet, on peut réaliser les synthèses cartographiques avec des simulations de résultats, de façon inter-active sur le système TRIDYN; les paramètres et les choix retenus sont alors renvoyés sur le calculateur MODCOMP pour la phase préparatoire de l'édition.



#### 4.1.1 - Le détail du matériel TRIDYN est le suivant :

- Un calculateur central (A) autonome optimisé constitue le centre de calcul et de gestion; il fonctionne très rapidement, ce qui est indispensable en téledétection où l'on travaille sur des images constituées de millions de points.

- Le système de gestion (B) (VERSADOS) permet de faire fonctionner tout le système et d'en modifier les configurations; il réside dans un disque dur.

Sur ce disque se trouve aussi :

- le logiciel de traitement d'image, IMAGO.
- les données, c'est-à-dire, le plus souvent, l'image :

1 image SPOT = 29 MégaOctets (MO) (29 millions de mots de 8 chiffres binaires permettant 255 combinaisons).

Pour le moment, on se contentera des 49 MO restant sur la double unité de disques. Mais, très vite, il faudra agrandir cette capacité d'accès très rapide qu'est le disque par (C) un disque supplémentaire de 130 MO.

- Un terminal alphanumérique classique (D) permet de suivre le déroulement des opérations et de donner les instructions.
- La console de visualisation (E), très spécifique, permet de travailler EN TEMPS REEL sur une image de 1024 x 1024 points avec 16 millions de couleurs (ou de valeurs) et 3 graphiques Noir et Blanc superposables. Les paramètres d'affectation des valeurs aux couleurs peuvent être programmés sur des tables de transfert, et ce indépendamment du calculateur et du logiciel, cela permet notamment de paramétrer au plus près du résultat voulu un traitement réalisé par le calculateur puis stocké sur la visualisation.  
L'écran couleur affiche 512 x 512 points; un manche à balai permet de se déplacer dans la mémoire 1024 x 1024 instantanément et de réaliser des zooms.
- Un écran 8 couleurs (F) permet d'avoir sous les yeux un traitement intermédiaire, une image de référence, etc...
- Une tablette à digitaliser (G) permet de saisir des points de repère pour calages ou saisies de paramètres statistiques.
- Une petite imprimante à jet d'encre (H) permet, sur un petit format (21 x 29,7), de figurer 255 couleurs,...
- La table Benson (I) permettra des formats plus grands (80 cm x X) avec une dizaine de couleurs.
- Les images de satellite sont généralement transportées sous forme de bandes (CCT). Ces bandes seront lues par le dérouleur MODCOMP existant (J) puis par un dérouleur à haute densité (J).
- Si, comme cela est probable, nous devons échanger des images avec des petits centres de traitement associés (en particulier mini-systèmes sur le terrain), nous utiliserons la disquette, très facile à transporter et dont le lecteur est peu coûteux (K).

#### 4.1.2 - Le Logiciel - Les Programmes

Le logiciel de traitement d'images "IMAGO" est tout aussi important que le matériel à proprement parler.

Sans entrer dans le détail, il faut retenir que ce logiciel, créé par le CNEXO, a été expérimenté par nos soins. Il est d'un emploi très aisé (transparence des instructions) et sa conception modulaire le rend facile à mettre en oeuvre. Il comporte une centaine de fonctions incluses dans les modules suivants :

- opération de transferts disque
- " " bandes magnétiques
- " arithmétiques
- " statistiques
- " géométriques
- " logiques

- éditions sur les sorties
- opérations locales (de voisinage)
- opérations ponctuelles
- traitements vidéo
- package graphique
- transformés de Fourier.

Ce logiciel représente aujourd'hui le meilleur de la technique de traitement d'image, en performance comme en souplesse d'utilisation. Les accords CNEXO-SYSCOM et SYSCOM/BDPA-SCET-Agri permettront de suivre régulièrement les améliorations éventuelles.

En conclusion, retenons qu'au mois de Novembre 1984, notre Groupe disposera d'un ensemble cohérent de traitement d'images, adapté aux données de satellite et de niveau égal à celui des meilleures équipes françaises actuelles.

#### 4.2 - Formation interne

Il est prévu de former, pour la fin 84, cinq personnes qui devront être en mesure de maîtriser l'utilisation complète du système.

D'autre part, sera effectuée une initiation des utilisateurs (photo-interprètes, agronomes, pédologues, cartographes) à la télédétection avec un entraînement complémentaire sur le système de traitement, afin que les personnes concernées puissent partiellement le mettre en oeuvre pour leurs besoins.

#### 4.3 - Les services offerts

##### 4.3.1 - Un outil indispensable à l'approche géographique

La télédétection est une technique permettant d'obtenir rapidement et à coût limité une information ou une analyse spatiale, cartographique ou statistique sur des surfaces vastes ou particulièrement enclavées.

Elle est donc un outil indispensable chaque fois que se pose le problème :

- de la connaissance initiale d'une zone d'action, du choix d'une zone de projet, d'un bassin versant, d'un périmètre villageois ou industriel;
- de l'obtention de supports cartographiques actualisés;
- du suivi d'un projet au sens large.

L'absence de photographies aériennes récentes dans de nombreux pays a été un frein à l'utilisation de la télédétection depuis

une dizaine d'années. et de nombreuses études ou projets ont dû se passer d'une analyse géographique (\*).

Nous pensons que les images satellite de la deuxième génération vont, enfin, combler en partie cette lacune, tout en proposant des services spécifiques qu'il était impossible d'atteindre avec la photographie aérienne :

- étude multi-temporelle (plusieurs scènes au cours d'une même campagne agricole).
- statistiques,
- suivi pluriannuel.

La télédétection ne remplace en aucun cas les études de terrain, mais elle seule permet, en prenant un recul suffisant par rapport au sol, une analyse globale, une première approche des paysages, des systèmes et des inter-relations.

Cette vision spatiale valorise les études de terrain :

- extension de telle donnée, tel phénomène,
- choix de zones d'enquêtes,
- représentativité de parcelles suivies,
- contexte de tel périmètre,
- ....

A chaque fois qu'il sera question d'inventaire, on aura le réflexe de penser à la télédétection spatiale : la vue d'ensemble fournie par les images facilite les recensements (occupation du sol, végétation, habitat, réseaux), en permettant pratiquement :

- de stratifier un milieu en zones homogènes,
- d'orienter les observations au sol et, donc, de diminuer leur poids, tout en améliorant leur efficacité.

La télédétection spatiale peut également fournir les supports indispensables :

- à la localisation des observations, et donc
- à la transmission de l'information et, dans une certaine mesure, à la pérennité du projet (\*\*).

---

(\*) Dans de nombreux projets, la connaissance acquise sur le terrain se limite à un certain nombre de données stationnelles, donc ponctuelles (parcelles suivies) ou bien à une vision "linéaire" du terrain (connaissance limitée à certains itinéraires).

(\*\*) Les premières simulations d'images SPOT montrent qu'en zone soudano-sahélienne les pistes principales, les villages, les bois, les marigots sont identifiables.

Enfin, toute approche nécessitant une analyse d'évolution dans le temps et l'espace d'une donnée deviendra beaucoup plus facile et fiable :

- extension des cultures,
- boisements/déboisements,
- feux de brousse,
- crues, inondations,
- désertification,
- etc...

#### 4.3.2 - Les domaines d'application

Les domaines d'application de la télédétection spatiale sont multiples comme ceux de la photographie aérienne. Il faut retenir, par rapport à la photographie aérienne :

- certaines limitations
  - dues à la résolution
  - liées à une stéréoscopie moins fine ou absente
- mais des atouts importants :
  - la présence d'une information infra-rouge
  - la répétitivité des images et leur actualité.

Il n'est possible que d'énumérer ici les principales applications:

##### Milieu naturel

Géologie :

- analyse des formes et structures,
- recherche minière,
- recherche des zones de micro-failles (pour forage et alimentation en eau potable)
- géomorphologie, etc...

Les sols :

- étude des sols et, en particulier, sols squelettiques, cuirassés, sols inondables, sols salés, sols humides, ...
- alluvionnement, érosion
- évolution des zones humides, inondées, etc...
- évolution des dunes, désertification.

Les eaux :

- réseaux hydrographiques
- bassins versants
- inondations
- lagunes côtières, marées, etc...

La végétation naturelle, les forêts :

- éco-systèmes
- tapis végétal
- parcs naturels, réserves
- évolution des zones menacées
- incendies de forêt, feux de brousse
- les mangroves, leur évolution
- les potentiels forestiers
- évolution des boisements, des savanes arborées
- désertification, ressources en bois de feu.

## Milieu agricole

Cultures villageoises :

- stratification du paysage, systèmes de culture, agro-éco-systèmes, ...
- extension des cultures/déboisements
- suivi des cultures "itinérantes", des jachères, ...
- inventaire des cultures, étude pluri-temporelle des rotations; par ex.: riziculture : riz pluvial, riz inondé, nombre de cultures et assolements annuels,...
- évolution du parcellaire
- localisation des petits périmètres irrigués, drainés,...
- arboriculture
- statistiques agricoles.

Périmètres industriels :

- parcellaire et réseaux
- suivi des cultures, de l'irrigation
- estimation de dégâts ou dommages : cyclones, inondation, attaque parasitaire
- données statistiques,...

Elevage :

- inventaire, typologie des pâturages
- dynamique annuelle, des pâturages
- localisation des points d'eau
- étude de sites pour pisciculture et aquaculture, etc...

## Milieu humain

Villageois :

- localisation des villages
- réseaux de pistes, infrastructures
- évolution des implantations, etc...

Urbain :

- état et évolution du tissu urbain
- zones périphériques, maraîchage, production de bois de feu, etc...

Cette liste non exhaustive montre simplement que tout peut, a priori, être envisagé et que de nombreux problèmes peuvent trouver une réponse, au moins partielle, dans l'utilisation de la Télédétection.

### 4.3.3 - Les niveaux d'intervention et les produits

#### Echelle d'étude

L'expérience montre que l'apport de la télédétection peut se justifier à partir de petits périmètres (1000-2000 ha) jusqu'aux études régionales ou à la planification nationale.

Les échelles des documents produits peuvent alors varier du 1/50.000 (exceptionnellement 1/25.000 ayant valeur de schéma) au 1/1.000.000.

#### Les produits

Ils comprennent des études et des services jusqu'à la mise au point de matériel et de logiciel adaptés à des besoins spécifiques (accord liant le BDPA et la SYSCOM), en particulier en matière de statistiques agricoles (développements futurs).

#### • Documents de type photo améliorée à usage du client

- Fourniture d'une image sur une zone donnée, support descriptif ou décoratif (couverture de rapport, etc...).
- Fourniture d'un pré-traitement adapté à un objectif, à des conditions naturelles et climatiques particulières. (Le client interprétera l'image lui-même avec ou sans appui du groupe BDPA/SCET-Agri.)

#### • Réalisation de cartes ou d'images interprétées, avec ou sans données complémentaires (enquête de terrain ou photo-aériennes)

- Fond de plan (  $\geq 1/50.000$ ) avec pistes, hydrologie, villages principaux, boisements, etc...
- Cartes thématiques adaptées à des soucis et des objectifs précis, combinant souvent des enquêtes de terrain avec l'interprétation; elles peuvent être réalisées à partir d'1 image, de 2-3 images (plusieurs dates dans l'année).
- Analyse statistique découlant des cartes précédentes, etc...

#### • Etudes de suivi pluriannuel réalisées en France

- Cartes d'évolution (cultures, désertification, inondation, urbanisme, etc...).
- Statistiques agricoles, forestières, etc...



Etudes de suivi pluriannuel réalisées en coopération avec un bureau, un organisme national

- Stages de formation d'ingénieurs à la télédétection.
- Appui technique : de la programmation du satellite à la définition de configuration de systèmes de traitement.
- Réalisation d'une étude, suivi de mise en place de matériel et d'appui technique, etc...

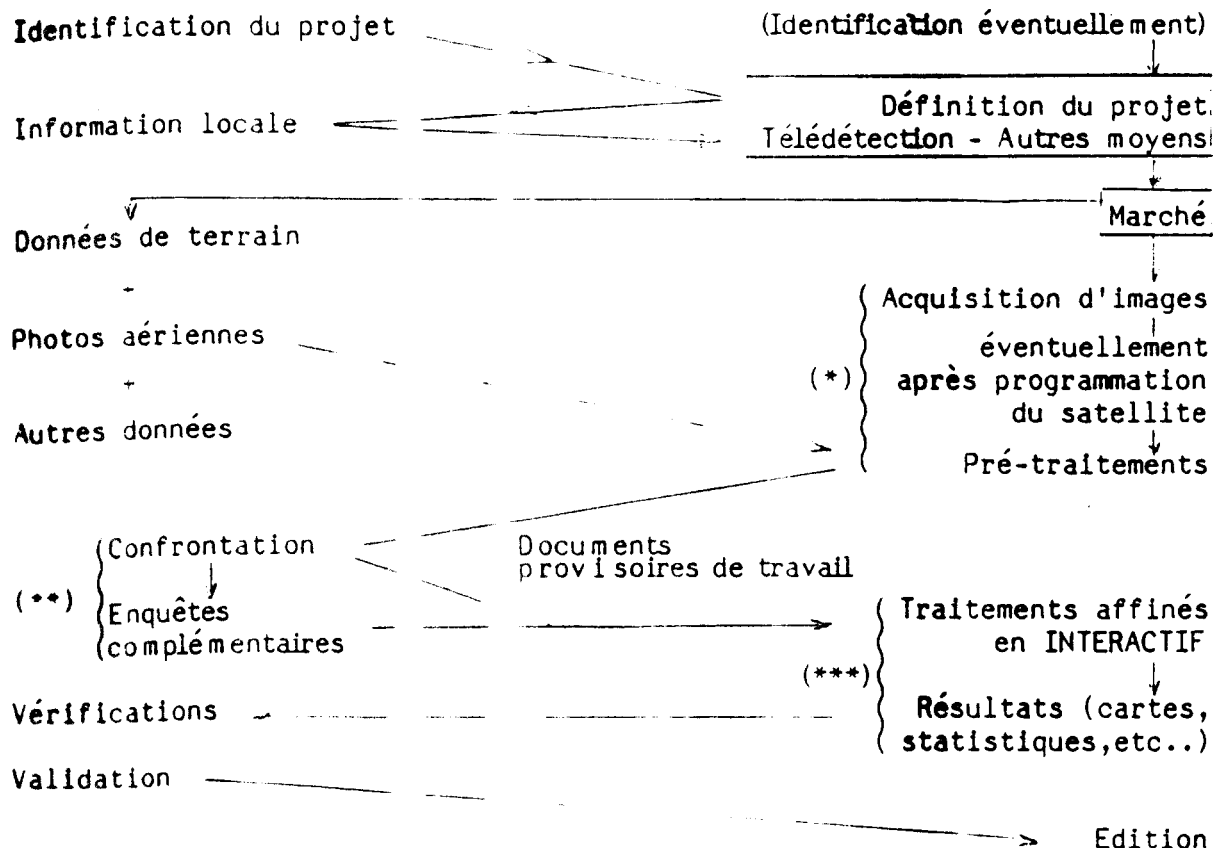
#### 4.3.4 - Modalités de mise en oeuvre

Il est clair que, pour répondre à chaque besoin, on doit proposer des modalités spécifiques adaptées à chaque cas, en fonction des différents niveaux d'intervention ou produits définis précédemment.

Toutes les formules peuvent être envisagées; une opération complète est plus pédagogique : elle est détaillée dans le schéma ci-dessous.

#### SUR PLACE

#### EN FRANCE



Il peut être décisif, dans ce type d'opération, d'inclure de la formation, et c'est l'une des vocations du BDPA. Dans l'exemple précédent, pourraient être superposées :

- une "formation de base" pendant la phase (\*)
- une période de "terrain" (phase \*\*)
- une phase de "traitement" en (\*\*\*).

Un des utilisateurs pourrait suivre une formation complémentaire de un an en France (au GDTA) et assurer le suivi de l'opération ainsi que le transfert du savoir-faire.

Certains marchés peuvent n'être, d'ailleurs, que de la formation. Un marché en ce sens est en cours de négociation en Afrique de l'Est.

Bien sûr, il est possible de proposer les services du groupe BDPA/SCET-Agri pour une phase isolée de projet.

Enfin, il faut savoir que nous avons signé des accords avec SYSCOM S.A. pour nous permettre de disposer facilement d'une version légère, mobile du système, qui reste compatible avec notre système principal. On échange des données formatées sur disquette et les traitements interactifs (phase \*) peuvent être faits in situ, ce qui est plus satisfaisant (techniquement et politiquement); toutefois, il faut disposer d'interlocuteurs et de structures de projets locaux déjà avancés et efficaces.

#### 4.3.5 - Les coûts

Pour être retenues, nos propositions doivent être, à tous niveaux, personnalisées et adaptées; de même, ce qui pourra nous démarquer de la concurrence est de proposer une approche intégrée et des traitements d'image réalisés par des thématiciens connaissant le terrain et non par des informaticiens (pour qui le "modèle" ou l'image est souvent plus important que la réalité!).

Ainsi, il ne peut être question de fournir ici un "catalogue" de prix. Toutefois, en se référant à l'organigramme-type proposé en 4.3.4 et aux éléments suivants, on pourra se fixer des ordres de grandeur et estimer des niveaux de prix :

- Une image brute TM ou SPOT coûte de l'ordre de 2,50 FF/km<sup>2</sup>, mais plusieurs images peuvent être nécessaires.
- Le pré-traitement de l'image pour fourniture de documents de reconnaissance et d'images en couleurs coûte de 15 à 20.000 FF pour une scène de 60 x 60 km (soit de 4,5 à 5,5 FF/km<sup>2</sup>).

- Un traitement interactif sur TRIDYN pour "sortir" une dizaine de classes d'occupation du sol sur un document provisoire (impression papier) pourrait coûter 20-25.000 FF pour la même surface (soit 5,5 à 7 FF/km<sup>2</sup>).
- Une sortie de meilleure qualité (photographie laser couleur VIZIR) de l'un des résultats peut coûter 5.000 FF pour une scène 60 x 60 km au 1/100.000.
- Il faut rajouter à ces coûts les temps de contrôle terrain (de l'ordre de 15 jours pour une scène de 3.600 km<sup>2</sup> en paysage ouvert), les photos aériennes, cartes, édition des rapports et documents.

Cet exemple reste indicatif : il n'inclut pas des approches thématiques élaborées; il ne s'agit ici que de fixer les charges de la partie strictement télédétection.

---

## ANNEXE

### REFERENCES EN MATIERE DE TELEDETECTION SPATIALE

- 1 - Mise en valeur des terres, des eaux et aménagement, du milieu naturel - Applications aux études de géomorphologie, pédologie, hydrologie et hydrogéologie, préalables aux aménagements de génie rural

COTE D'IVOIRE - Inventaire par photo-interprétation et cartographie au 1/50.000 des bas-fonds rizicultivables dans la région Nord-Ouest (3,6 millions d'ha). (Financement FAC)

- Diagnostic physiographique sur la région du Nord-Est en vue de la planification régionale :
  - Cartographie biophysique de reconnaissance au 1/200.000 à partir de l'imagerie LANDSAT et des photographies aériennes (2,5 millions d'ha).
  - Analyse et cartographie au 1/50.000 de deux bassins versants témoins : détermination des contraintes pour les aménagements agro-sylvo-pastoraux (300.000 ha). (Financement Ministère de l'Agriculture et BETPA)

MALI - Etude par télédétection spatiale du comportement des crues dans le Delta Intérieur du Niger. En collaboration avec la Direction de l'Hydraulique du Mali et l'ORSTOM. (Financement FAC)

TCHAD - Etude par télédétection spatiale du marnage de la rive sud du Lac Tchad (1 million d'ha). (Financement CFDT)

- 2 - Agriculture - Applications à l'étude des potentialités agronomiques des terres, à l'inventaire et à la surveillance des cultures.

Depuis 1980, le BDPA participe au programme de recherche-développement du GDTA (\*) préparant l'exploitation du futur satellite français de télédétection SPOT, à partir de simulations d'images sur des sites-tests :

- Etude de l'occupation des sols de la région de Porto-Vecchio (Corse du Sud).
- Inventaire et suivi des cultures dans le Lauragais (Haute-Garonne).
- Analyse du milieu naturel et de l'espace rural dans la région de Fara Poura (Haute-Volta).

---

(\*) Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale : GIE regroupant CNES, IGN, BDPA, BRGM, IFP.

**3 - Ressources forestières et pastorales - Applications à l'étude, à la mise en valeur et à la gestion des ressources forestières et pastorales.**

ALGERIE - A partir des images LANDSAT, inventaire et classification des boisements de l'Algérie du Nord : cartographie au 1/500.000 de la biomasse sur 50 millions d'ha. (Financement Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire - CCCE)

LIBYE - Etude des pâturages de la région de Mizda (400.000 ha) : interprétation des photographies aériennes IRC et des images LANDSAT.

**4 - Aménagement du territoire - Analyse et cartographie de l'occupation des sols et études préalables à la planification territoriale et à l'aménagement de l'espace.**

BASSIN du MEKONG : Thaïlande - Viet Nam - Kampuchéa - Laos

- Cartographie thématique de reconnaissance du Bassin inférieur du Mékong à partir de l'imagerie LANDSAT.

--A l'échelle du 1/1.000.000 :

Sur les 600.000 km<sup>2</sup> du Bassin inférieur : occupation des sols, pédogéomorphologie, aptitudes culturelles;

Géomorphologie du delta du Mékong (Viet Nam, Kampuchéa) et étude comparative avec les delta du Fleuve Rouge (Viet Nam), du Chao Phraya et de la Plaine Centrale (Thaïlande). (200.000 km<sup>2</sup>)

--A l'échelle du 1/500.000 :

Géomorphologie du Plateau de Korat (200.000 km<sup>2</sup>) (Thaïlande, Laos). Financement français. Pour le Comité du Mékong - Nations Unies.

COTE D'IVOIRE - Etude méthodologique en vue de l'utilisation des données LANDSAT pour les inventaires de l'utilisation des terres : appui technique à la cellule de télédétection de la DDR pour un test sur la région de Biankouma.

**5 - Environnement et Etudes d'impact**

FRANCE - Etude de reconnaissance des espaces naturels de la Corse et évaluation du patrimoine écologique à partir de l'imagerie LANDSAT et des données existantes. Production d'une carte de synthèse au 1/100.000 destinée à servir de base aux études d'aménagement (littoral, montagne) et à la gestion du patrimoine naturel.