

14ème CONGRES DE LA SOCIETE INTERNATIONALE DE PHOTOGRAMMETRIE
HAMBourg 1980

N° de la COMMISSION : II

N° du GROUPE DE TRAVAIL : IV

Genre d'EXPOSE : Communication du C.N.E.S.

NOM DES AUTEURS : J.C. CAZAUX, B. CABRIERES

SOMMAIRE : "CONCEPTION ET DEVELOPPEMENT DU CENTRE DE RECTIFICATION DES IMAGES SPATIALES LANDSAT D et SPOT"

Avec comme objectif le lancement des satellites de nouvelle génération SPOT et LANDSAT D, le Centre National d'Etudes Spatiales et l'Institut Géographique National, ont entrepris la réalisation d'un Centre de Rectification des Images Spatiales (CRIS). Sont décrits, l'architecture générale, les méthodes de traitement ainsi que les matériels retenus. Nous insistons sur les traitements associés à la spécificité du satellite SPOT (visée oblique et observation stéréoscopique). Les résultats des études de simulation seront présentés (parallèlement à une exposition technique).

I. INTRODUCTION

Le Segment Sol du programme SPOT constitue le lien entre le satellite, l'opérateur (CNES) et la communauté des utilisateurs. Il peut être subdivisé en trois sous-ensembles distincts :

- Le Centre de Mission qui est responsable de l'organisation du Programme SPOT en phase opérationnelle et en particulier de la planification relative à l'acquisition des images et aux traitements des données en accord avec les demandes utilisateurs.

- Le Segment Sol de Contrôle qui réalise toutes les fonctions de gestion, de surveillance et de télécommande du satellite.

- Le Segment Sol Image qui reçoit les télémessures associées à la charge utile, archive et documente ces données, assure les prétraitements des images à des niveaux standards. Ce segment sol image comprend :

- . une station de réception des images spatiales (SRIS) près de TOULOUSE qui réalise l'acquisition, la décommutation et l'enregistrement des données brutes ;

- . un centre de rectification des images spatiales (CRIS) qui assure archivage, prétraitement et réalisation des produits standards destinés aux utilisateurs.

L'ensemble du Segment Sol Image est compatible avec les deux satellites SPOT et LANDSAT D, puisque la compatibilité existe au niveau de la réception en bande X. La station pourra acquérir la télémessure dans un "cercle" de visibilité de l'ordre de 2600 km de rayon. Les passages continentaux de jour seront normalement exploités en mode direct, alors que les passages de nuit et au-dessus de l'Atlantique seront utilisés pour lire les enregistreurs de bord du satellite SPOT. (Fig. 1). Ces séquences conduisent à l'acquisition de 740 images SPOT de 60 x 60 km.

II. INTERFACE DU SEGMENT SOL IMAGE AVEC L'ENSEMBLE DU SYSTEME SPOT (Fig.2)

De manière à caractériser le problème devant être résolu au niveau de la conception du Segment Sol Image, nous décrivons dans la Figure 2 les liaisons fonctionnelles qu'il est nécessaire d'assurer.

I.1. Au niveau externe

Le Segment Sol Image reçoit :

- du satellite le flot de télémesure (2 x 25 Mbits/s) à chaque passage en visibilité. Le nombre de passages est de l'ordre de 5 à 6 ; leur durée moyenne de 8 à 10 minutes.

Ce flot de télémesure comprend les données auxiliaires (angle miroir, datation, mode transmission, mode de fonctionnement...) et les données images associées à la prise de vue. Périodiquement, des séquences de calibration radiométriques sont programmées de manière à déterminer les coefficients permettant les corrections radiométriques (voir exposé de Monsieur BEGNI - III). Le Segment Sol Image fournit : les produits standards qui, sur instruction du Centre de Mission, sont fournis directement au Service Utilisateur. Ces produits sont sous forme de films ou de bandes magnétiques et correspondent à différents niveaux de prétraitements : (nous décrirons plus loin des différents niveaux). Sont de plus quotidiennement distribuées au Centre Mission pour validation des prises de vues et, au Service Utilisateur pour informations sur les données existantes, un catalogue décrivant l'ensemble des images reçues et traitées.

I.2. Au niveau interne

Le Segment Sol Image est en relation avec :

- le Centre de Contrôle SPOT dont il reçoit les paramètres d'orbite et l'état de fonctionnement du satellite. Les paramètres d'orbite sont utilisés :
 . à la SRIS, pour le pointage des aériens en vue de l'acquisition satellite. (orbite prédite),
 . au CRIS, pour le découpage en scène, avec la datation et pour les corrections géométriques.

Les paramètres sont reçus journalièrement avec une précision de l'ordre de 1600 m le long de la trace et 300 m sur les deux autres axes.

- le Centre de Mission qui indique au CRIS le plan journalier de prise de vue et les priorités dans les prétraitements à effectuer. En retour, il reçoit du CRIS, dès réception des données un ensemble d'images correspondant à la prise de vue du jour, assorties de coefficients de qualités sur chaque image.

- les stations de réception à l'étranger avec lequel un échange de catalogues des données est organisé de manière à disposer pour les utilisateurs et le Centre Mission des caractéristiques et de la disponibilité de l'ensemble des images reçues par le Système SPOT.

III. LES PRODUITS STANDARDS ELABORES AU CENTRE DE RECTIFICATION DES IMAGES SPATIALES (CRIS)

Les données SPOT ou LANDSAT D, reçues et enregistrées à la SRIS sont transmises au CRIS qui doit assurer leur transformation en produits standards (produits catalogues) destinés au Service Utilisateur.

On distinguera toutefois l'archive qui n'est pas un produit normalement délivré aux utilisateurs, mais qui sert de moyen de stockage des données reçues et les produits à destination des utilisateurs. Le segment sol image peut fournir 3 types de produits se différenciant par leur niveau de traitement et de qualité.

Les spécifications de qualité des produits en fonction de leurs niveaux ont été exposées par Monsieur BEGNI.(Commission III).

3.1.L'archive

- Sous forme numérique, il s'agit de bandes magnétiques HDDT, comportant l'ensemble des scènes archivées, issues de la SRIS et des fichiers associés contenant les données auxiliaires décommutées, les données de calibration et les caractéristiques permettant l'annotation des données une fois découpées en scènes de 60 km x (60 à 85) km, selon l'angle de visée de SPOT.

Ces fichiers comprennent toutes les informations variables nécessaires à l'exécution des prétraitements ultérieurs et l'identification des scènes :

- identification du satellite SPOT ou LANDSAT
- numéro du cycle, numéro de l'orbite
- identification de la scène et de l'instrument de prise de vue
- date de la prise de vue (temps TU)
- angle de visée de l'instrument par rapport à la verticale locale
etc...

Bien que n'étant pas normalement destinée à des utilisateurs, l'archive pourra être éditée sur les supports standards prévus en sortie du CRIS.

- Sous forme photographique, il s'agit de documents découpés en zones de 60 km x (60 à 85) km pour SPOT selon l'angle de visée et de 180 km x 180 km pour LANDSAT D.

Une image reproduite sur film sera représentative d'un seul canal spectral de chaque instrument, sous-échantillonné et ayant subi les corrections suivantes :

- adaptation de dynamique
- correction de la rotation de la terre
- correction par plage de l'effet panoramique

Le sous-échantillonnage est de :

- HRV 1 et 2 = 1 point sur 3 et 1 ligne sur 3 dans le mode XS
= 1 point sur 6 et 1 ligne sur 6 dans le mode P
 - LANDSAT D = 1 point sur 6 pour les bandes du Thematic Mapper
- Chaque image comportera les annotations suivantes :

- identification du satellite,
- type d'instrument,
- mode de fonctionnement,
- date et heure de prise de vue (temps TU),
- numéro du cycle, numéro de l'orbite,
- numéro de la bande spectrale représentée,
- angle de visée par rapport à la verticale locale,
- identification de la scène, dans une grille de référence,
- coordonnées du centre de la scène,
- échelle moyenne,
- orientation,
- indicateur de qualité relatif aux pertes de synchronisation.

Le film support est un film 70 mm. Ce produit est destiné à la constitution de catalogue d'archives photographiques situés au service des utilisateurs et est utilisé comme moyen de contrôle par le Centre Mission (Fig. 2).

La Figure 3 représente une simulation d'un tel film pour une scène SPOT.

3.2. Produits de niveau 1

Les scènes doivent avoir subi à ce niveau un certain nombre de corrections qui sont monodimensionnelles ; ce sont :

- NIVEAU 1-A - C'est le niveau le plus brut, pour l'utilisateur. Aucune correction géométrique n'est appliquée sur les données qui sont normalement distribuées que sous forme de bandes magnétiques compatibles ordinateur (CCT). La réponse de chaque détecteur est normalisée : gain et "offset". Les coefficients de calibration radiométrique utilisés pour cette normalisation, et des informations sur la géométrie de prise de vue (position du satellite, temps, direction de visée, ...) sont fournis avec les données images calibrées permettant à l'utilisateur d'effectuer des traitements complémentaires.

- NIVEAU 1-B -

Corrections géométriques :

- rotation de la terre et courbure de la terre,
- les scènes seront ré-échantillonnées suivant la ligne au pas correspondant au pas d'échantillonnage de l'instrument de prise de vue en visée nadir,
- l'angle de débatement de l'instrument,
- mouvement du centre de masse du satellite le long de l'orbite, variation d'altitude conduisant à un ré-échantillonnage entre ligne image.

Les corrections géométriques seront effectuées par rapport aux modes de projection Space Oblique Mercator.

Corrections radiométriques :

- déconvolution de filé,
- correction des effets de fonction de transfert de modulation ligne,
- égalisation relative entre bande spectrale,
- sortie sur 8 bits linéaire, avec étalement des histogrammes.

Les délais de réalisation de ces produits sont de 48 heures après réception des données. Les corrections appliquées permettent d'atteindre les précisions de :

- 1500 m en localisation cartographique,
- moins de 1 % de distorsion d'échelle.

Les images de niveau I-B permettent l'observation stéréoscopique.

3.3. Produits de niveau 2

Les scènes produites à ce niveau devront être superposables, soit à une carte, soit à une autre scène de référence SPOT. Ces produits permettent : la superposabilité à une carte en visée quasi nadir. Ce produit nécessite l'introduction de points d'appui repérés du sol par leurs coordonnées géographiques (x,y).

Les produits de niveau 2 sont corrigés radiométriquement de la même manière que les produits de niveau 1. Le mode de projection sera choisi par l'utilisateur parmi les suivants :

- Space Oblique Mercator,
- Lambert,
- Universal Transverse Mercator,
- Stéréographique polaire.

Les corrections appliquées permettent d'atteindre les précisions de :

- 50 m en localisation cartographique
- moins de 1 % de distorsion d'échelle.

3.4. Produits de niveau 3

Ces produits sont typiquement des produits SPOT. Ils correspondront à des prises de vues toutes visées et l'objectif est d'obtenir la superposabilité à une carte avec redressement de type orthophotoplan.

Ce produit nécessite l'introduction de points d'appui repérés au sol par leurs coordonnées géographiques (x,y,z) et d'un modèle de terrain, afin d'éliminer les déplacements dus au relief de la scène visée.

Les produits de niveau 3 sont corrigés radiométriquement de la même manière que les produits de niveaux 1 et 2. Pour les produits de niveaux 2 et 3, il est permis d'espérer (suivant les performances de stabilisation du satellite) avec les méthodes de prétraitement retenues :

- localisation meilleure que 10 à 20 cm,
- superposition multitemporelle de l'ordre du pixel.

3.5. Support des produits

Pour tous les niveaux de produits, des supports standards avec ceux employés pour Landsat D seront utilisés ; soit des films 241 mm (échelle des images SPOT 1/400.000è) et des bandes magnétiques compatibles calculateur, format NASA, type "Band Interleaved format" (BIL), densité 6250 BPI.

IV. LE CENTRE DE RECTIFICATION DES IMAGES SPATIALES ET SES SOUS-SYSTEMES

Le CRIS, devant réaliser les produits décrits précédemment est situé à TOULOUSE ; il a pour rôle, à partir des bandes magnétiques issues de la SRIS de :

- décommuter les données brutes,
- visualiser les données utiles,
- archiver sous forme photographique et magnétique l'ensemble de ces données,
- corriger radiométriquement et géométriquement en différentes étapes donnant lieu aux différents niveaux de produits, les défauts associés à la prise de vue, aux mouvements relatifs satellite-terre, etc...
- transformer les données ainsi corrigées en produits disséminables sur différents supports magnétiques et photographiques.

Le CRIS comprend 3 sous-systèmes qui constitueront des "ateliers" séparés fonctionnellement qui peuvent sur un plan architecture informatique être regroupés :

- un sous-système archivage,
- un sous-système de prétraitement,
- un sous-système de transformation des supports.

4.1. Le sous-système archivage (Fig. 3)

Son rôle est :

- la réception des données issues du SRIS,
- la lecture de ces données et la réalisation :
 - . du décodage et décompression
 - . d'un contrôle visuel
 - . d'un ensemble d'images photographiques format 70 mm spatialement sous-échantillonnées, de l'ensemble des scènes acquises par le SRIS
- l'extraction des données auxiliaires présentes dans la TMCU et nécessaires au prétraitement
- l'insertion des données d'orbite reçues du Centre de Contrôle

- la constitution de l'archive comprenant :
 - . l'ensemble des images 70 mm développées et classées
 - . l'ensemble des bandes magnétiques haute densité constituant le support principal d'archivage, associé à des bandes CCT comprenant les données auxiliaires et celles nécessaires au prétraitement
- la gestion de l'archive en terme de rangement, de conservation, de comptabilité, d'approvisionnement et d'accès sur demandes nécessaires au fonctionnement des sous-systèmes prétraitement et transformation de support.

4.2.1. Prétraitement de niveau 1

Il porte en moyenne sur 50 scènes SPOT par jour. L'entrée des données est constituée par les bandes archives du sous-système d'archivage. La sortie du prétraitement de niveau 1 est constituée par une bande magnétique qui peut être transformée sur un support standard.

Le sous-système utilise plusieurs types d'informations pour réaliser la fonction de prétraitement de niveau 1 :

- ordre quotidien des scènes à traiter, issu du Centre de Mission,
- données d'orbites présentes sur la bande archive CCT. Le traitement s'effectue à partir des éléments de prédiction d'orbite,
- données d'étalonnage qui sont sur la CCT associée à la bande archive haute densité,
- données images brutes présentes sur la bande archive haute densité.

Les données, une fois prétraitées, sont, lorsque la bande de sortie est remplie en fonction des priorités, aiguillées vers le sous-système transformation de support en vue de la dissémination au service utilisateur.

La Figure 4 illustre l'organisation de ce sous-système.

Un modèle "détection-correction d'erreurs" en amont de tout prétraitement a pour fonction de détecter les "erreurs images" associées à la perte de synchronisation, aux anomalies liées à la perte totale de gain d'un détecteur, aux taux d'erreur de bits ayant une incidence sur l'image dans le mode transmission DPCM. La correction dans le cas de "détecteurs OFF" consiste à effectuer une interpolation colonne par rapport aux deux colonnes encadrant la ou les colonnes défectueuses.

Un module de ré-échantillonnage ligne consiste à calculer sur des pas élémentaires correspondant au pas d'échantillonnage de l'instrument la radiométrie par interpolation. Ce ré-échantillonnage tient compte des effets liés à la rotation de la terre, à la géométrie des instruments à l'orbite et pour SPOT à l'angle de visée.

Enfin, une option de fonctionnement consiste à n'exécuter que les modules des programmes correspondant à la calibration radiométrique. La sortie de ce prétraitement partiel, donnant le niveau 1-B s'effectue sur le même support et le même format que le prétraitement standard de manière à pouvoir réaliser via le sous-système de transformation des supports des produits sur bandes magnétiques exclusivement corrigés radiométriquement.

4.2.2. Prétraitement de niveaux 2 et 3

Il porte en moyenne sur 10 à 20 scènes SPOT par jour. L'entrée des données est constituée par les bandes archives du sous-système d'archivage.

La sortie du prétraitement de niveaux 2 et 3 est constituée par une bande magnétique qui est aiguillée vers le sous-système de transformation de support.

Le sous-système utilise plusieurs types d'informations pour réaliser la fonction de prétraitement de niveau 2 ou 3 :

- ordre quotidien des scènes à traiter issu du Centre de Mission,
 - données d'orbites et d'attitude présentes sur la bande archive CCT.
- Le traitement s'effectue à partir des éléments de prédiction d'orbite :
- données d'étalonnage radiométriques,
 - points d'appuis constitués d'images photographiques ou de cartes,
 - modèles numériques de terrain pour le niveau 3.

Le schéma de la Figure 5 indique à titre d'exemple l'organisation du prétraitement de niveaux 2 et 3. Les modules "détecteurs et correcteurs d'erreurs" et "déconvolution X et Y, calibration" sont identiques à ceux du paragraphe précédent, (identité des corrections radiométriques).

Le délai de réalisation de ces produits est fixé à 8 jours après réception des données et des documents nécessaires à l'obtention des points d'appuis et des modèles numériques de terrain.

En ce qui concerne la saisie des points d'appuis et les modèles numériques de terrain, caractéristiques des prétraitements de niveaux 2 et 3, on utilise deux techniques :

a) Pointés visuels des points d'appuis sur écran - La localisation précise des points d'appuis est réalisée sur des consoles numériques, à partir desquelles l'opérateur, en interactif, identifie le point d'appui sur l'image brute et mesure sa localisation par référence à une carte, ou une banque de points d'appuis de référence dont les premiers éléments seront constitués avant le lancement de SPOT (à partir d'image RBV, Landsat D, et photographie aérienne). Cette banque de points d'appuis de référence sera complétée durant toute la durée d'exploitation du satellite SPOT.

Le choix des points d'appuis par comparaison à la carte et/ou par référence à la banque portera sur 6 à 8 points par scène SPOT.

b) Sous-images numériques de références - Une des voies consiste à utiliser les techniques de corrélations numériques pour identifier automatiquement les points d'appuis (en X et Y). Pour cela, est constituée une banque de données de sous-images (32 x 32 ou 64 x 64 points). Ces images contiennent une information de structure ou des zones géographiques parfaitement localisées (surface entourant des points d'appuis). Après correction géométrique, égalisation radiométrique, dérivation et seuillage, ces images sont numériquement disposées sur l'image brute à traiter et une identification de surface optimale de corrélation est recherchée : la position du point d'appui est située au centre de la fenêtre image dans le cas de corrélation maximum. Une initialisation avec paramètres d'attitude est réalisée.

Pour le niveau 3, il est nécessaire d'utiliser les modèles numériques de terrain (MNT). Les données de ces MNT sont les altitudes des points d'un réseau maillé de pas 100 m dans un quadrillage de la projection cartographique utilisée (LAMBERT II étendu pour la FRANCE).

La précision de ces MNT devra être de 4 m.

4.3. Le sous-système de transformation des supports

Son rôle est de transformer les images enregistrées sous forme numériques dans un format interne au CRIS, en produits demandés par les utilisateurs.

Les bandes magnétiques utilisées proviennent :

- soit du système de prétraitement à n'importe lequel des différents niveaux (1, 2 ou 3) ;
- soit éventuellement de l'archive.

Les produits transformés peuvent être :

- des bandes magnétiques CCT, 6250 BPI
- des films photographiques à l'échelle 1/400.000è, par restitution à partir des produits numériques.

V. CONCLUSION

La phase C, ou phase de réalisation du Segment Sol Image de SPOT a débuté les premiers mois de 1980. Le CNES a confié la maîtrise d'oeuvre de cette réalisation à la Société Européenne de Propulsion (SEP) avec comme objectif la date de lancement de LANDSAT D.

Parallèlement, le CNES et l'IGN poursuivent un vaste programme de simulation d'images avec un double but :

- Validation des méthodes de correction des images et confirmation des performances affichées ;
- Préparation des futurs utilisateurs du programme SPOT.

Dans le cadre du présent Congrès, des présentations de ces simulations, correspondant à tous les produits standards évoqués, seront présentées, avec un effort particulier sur la stéréoscopie et la restitution altimétrique.

REFERENCES

- (1) Caractéristiques principales du satellite national d'observation de la terre : Projet SPOT - CNES, Octobre 1977.
- (2) "Terrain modeling and geometric corrections using the Spot satellite"
A. BAUDOIN - D. KIRSNER (IGN) - J.C. CAZAUX (CNES) - Congrès ERIM, Ann Arbor, Avril 1979.
- (3) "SPOT - First French remote sensing satellite mission - geometrical performance"
B. CABRIERES (IGN) - J.C. CAZAUX et G. WEILL (CNES) - Congrès ERIM - Ann Arbor, Avril 1979.
- (4) "Segment Sol Image SPOT" -
B. CABRIERES (IGN) - J.C. CAZAUX (CNES) - M. MERAMEDJIAN (SEP) - Cartographie Spatiale - Colloque GDTA, Juin 1979.

- (5) SPOT Programme - Spécification and Simulations of standard SPOT Data Products -
B. CABRIERES (IGN) - J.C. CAZAUX et G. WEILL (CNES) - Congrès ERIM, Costa Rica, 23 - 30 Avril 1980.
- (6) Spécifications - Notes techniques - Projet SPOT - CNES.

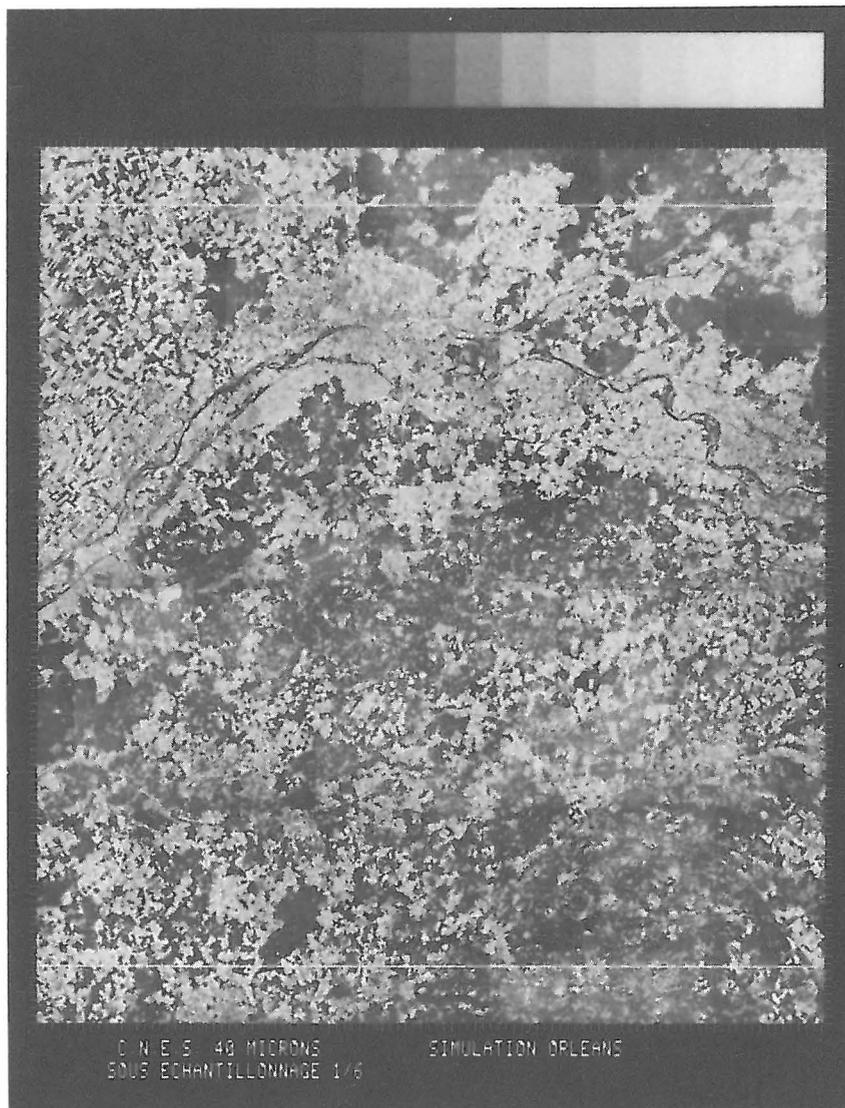


FIGURE 3

ORBITES DESCENDANTES SUR L'EUROPE

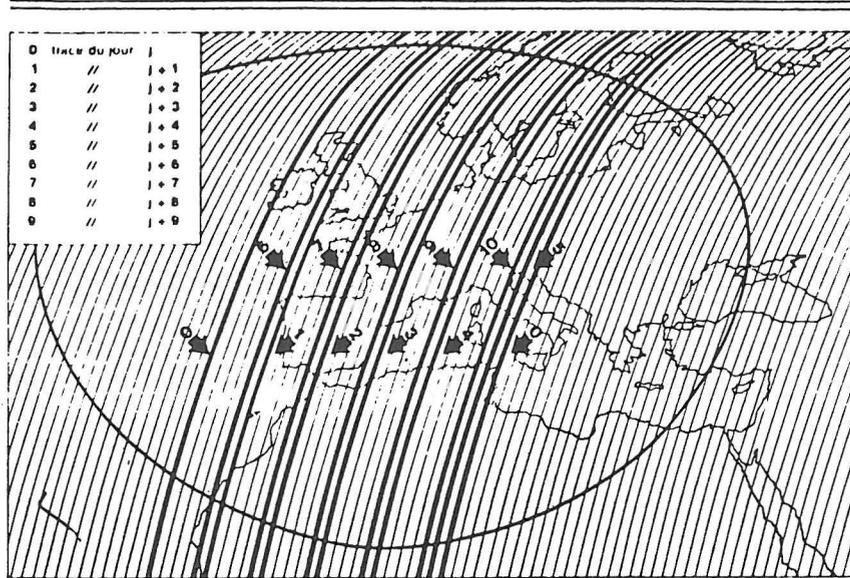


FIGURE 1

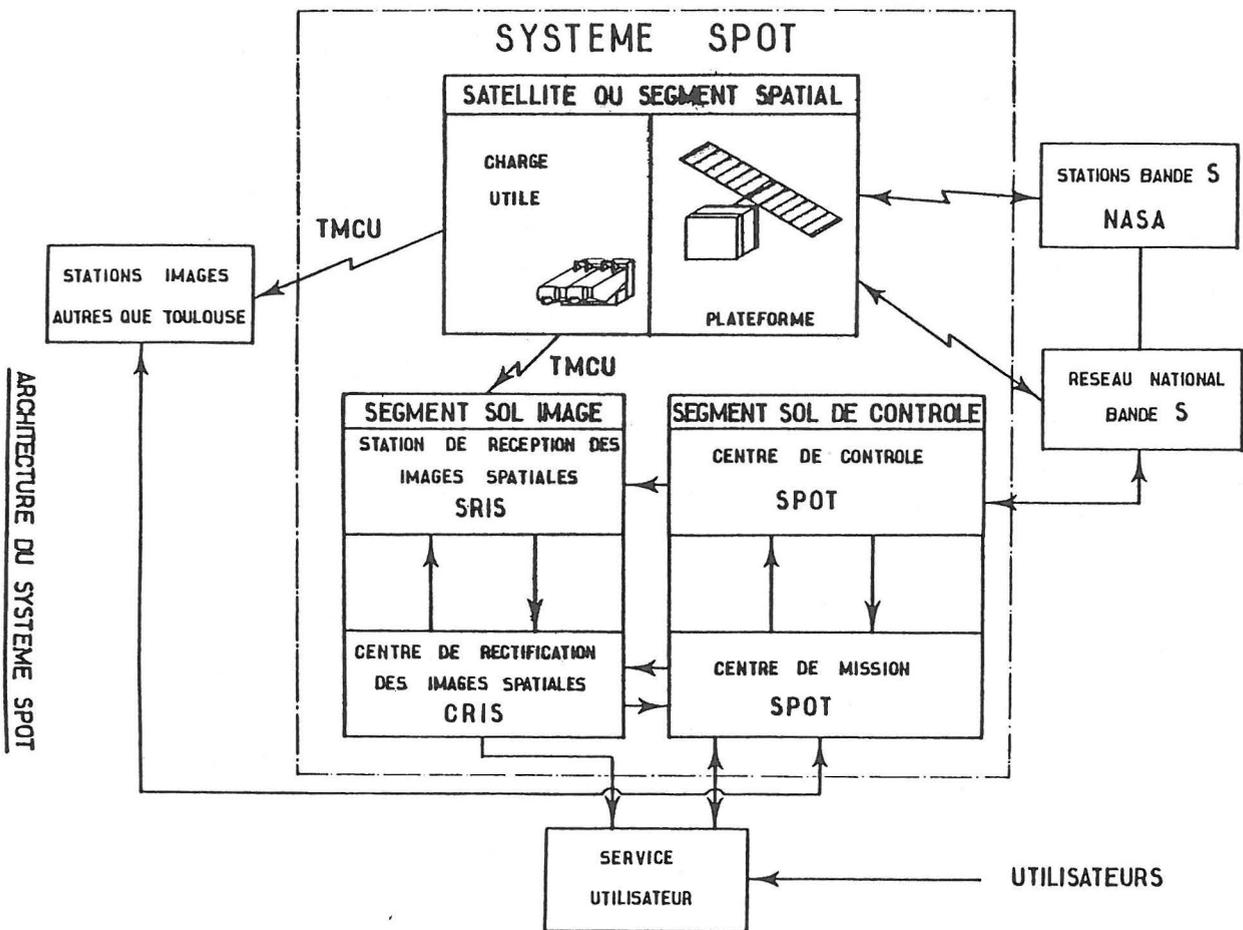


FIGURE 2

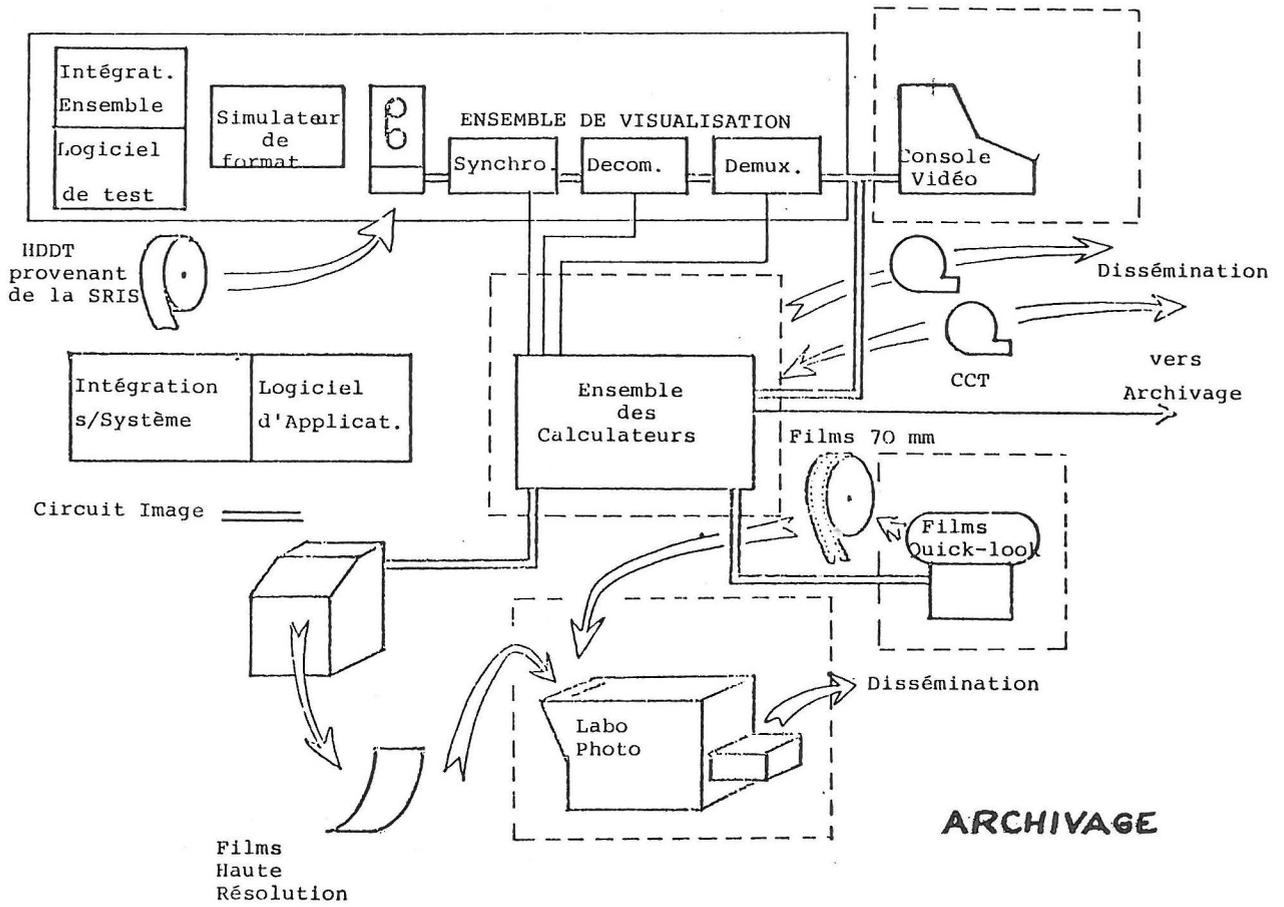


FIGURE 4

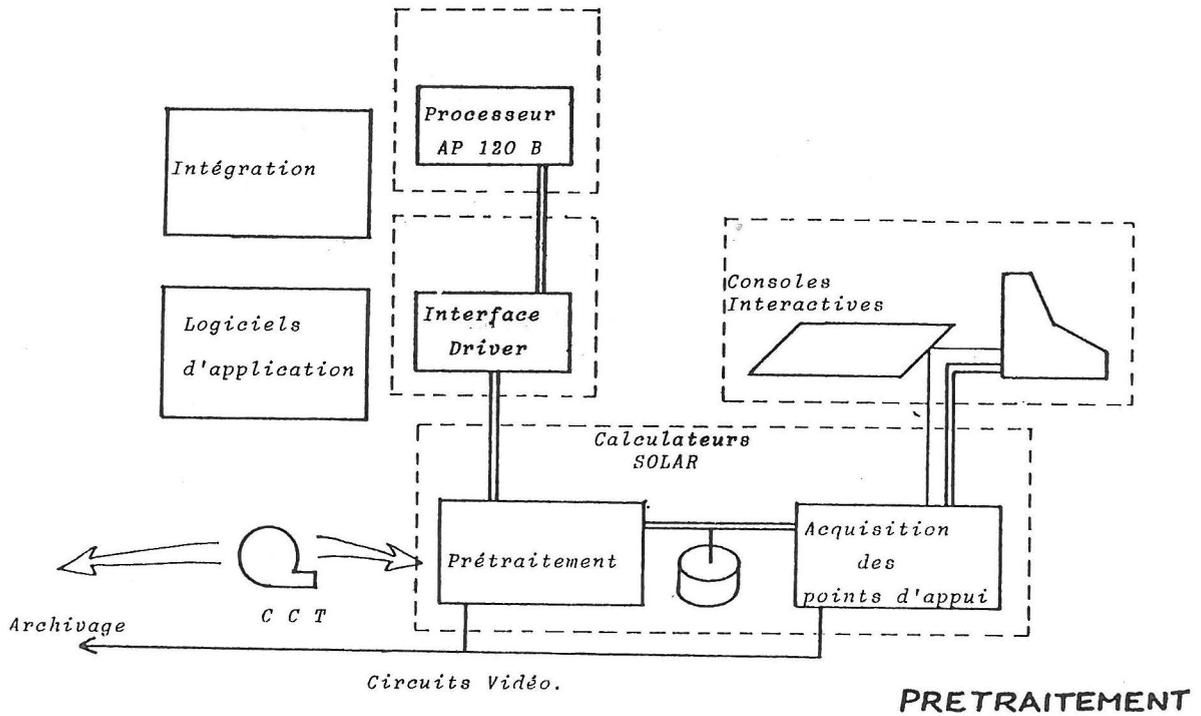


FIGURE 5