

TRAITEMENT DE DONNEES METEOROLOGIQUES SATELLITAIRES ET CONVENTIONNELLES POUR LA CONNAISSANCE DE L'ENVIRONNEMENT.

(Dominique DAGORNE)

RESUME - L'utilisation de données satellitaires pour des programmes de recherche en environnement est maintenant une approche courante. Cependant la mise en oeuvre des techniques de télédétection suppose la disponibilité d'un environnement logiciel (et matériel), sans que l'utilisateur ne se transforme en *informaticien*, à chacun son métier !

Pour cela, nous avons développé une chaîne de traitement de télédétection *météorologique*, à partir des données des satellites existants, données utilisées conjointement avec d'autres plus conventionnelles.

Les spécifications de développement du système logiciel ont été :

- la mise à disposition d'un outil général de traitement de télédétection pour des programmes de recherche mis en oeuvre par de non spécialistes ;
- son application à partir des données conventionnelles et satellitaires météorologiques avec les modules permettant la mise au point de diverses corrections ;
- des fonctionnalités informatiques basées sur une approche *qualité logiciel* (utilisation, maintenabilité et portabilité).

Il est important de distinguer la donnée proprement dite, sous forme image ou non, d'origine satellitaire ou non, des représentations possibles. Ces dernières entités peuvent être présentées sous forme d'image (*raster*) ou de graphique (*vecteur*). Il en ressort que le *traitement d'images* n'est qu'une des composantes du logiciel, parmi plusieurs autres possibles dont les fonctionnalités graphiques (en mode GKS) et la manipulation de données spatialisées définies en latitude et longitude. Ces dernières données peuvent se présenter sous forme de *champ ordonné* (climatologie, résultat de modèle, etc.), de points discrets (relevé(s) aux stations) ou de segments (cartographie).

Le logiciel prend en compte la plupart des sources possibles de données satellitaires météorologiques défilants ou géostationnaires, avec les éléments indispensables permettant les corrections radiométriques (calibrages, effets des angles de visée) et géométriques (localisation).

La disponibilité d'outils de *transparence géométrique* permet la superposition et la restitution cartographique de données multisources satellitaires ou non, à diverses résolutions spatiales ou temporelles, et ceci sous forme quelconque.

Les divers modules de traitements, les structures de données et les interfaces de représentation (image ou graphique) sont utilisables sous n'importe quel environnement informatique (aux périphériques près de visualisation et d'impression).

Les outils décrits trouvent un emploi dans un logiciel général d'application en télédétection, dans divers développements avec l'utilisation de bibliothèques de gestion de données et de représentations, ou dans des programmes dédiés à des applications routinières comme c'est le cas dans les recherches menées à Lannion en océanographie et en climatologie (estimation des pluies par satellites).

1. INTRODUCTION

Les communautés scientifique et opérationnelle des sciences de l'environnement (météorologistes, climatologues, océanographes, hydrologues, etc.), doivent faire face à de nouvelles sources d'information, ainsi qu'à de nouvelles technologies, tant pour l'acquisition que pour la manipulation ou la restitution des données. Ceci réclame de plus en plus de compétences techniques, indispensables pour la mise en oeuvre de moyens et de méthodes de traitements grâce à des environnements logiciels et matériels, sans pour cela que le thématicien du domaine concerné ne se transforme en spécialiste du traitement de l'information. A chacun son métier !

Les outils logiciels que nous présentons ont été conçus dans le cadre du support technique à une équipe de recherche pluridisciplinaire utilisant des données de télédétection satellitaires d'environnement (ou météorologiques, par opposition aux données d'observation de la terre), en conjonction avec des données plus classiques, c'est à dire des relevés conventionnels aux stations, des résultats de climatologie, des données de cartographie, etc..

La méthodologie globale mise au point est utilisée en développement, et de façon opérationnelle, dans plusieurs domaines applicatifs. Ce sont des méthodes générales, qui présentent l'intérêt d'avoir une expression informatique sous la forme d'un logiciel répondant à des spécifications préalables (utilisation, définition des données, réalisation). Ce logiciel est réutilisable indépendamment du domaine d'application, vu la généralité des concepts utilisés, et, à un degré moindre, il est également indépendant de l'environnement matériel disponible.

2. SPECIFICATIONS DE REALISATION

Les tendances actuelles des sciences de l'environnement peuvent se résumer en :

- une augmentation des volumes de données à traiter par suite de la mise en service de nouveaux capteurs de télédétection (actifs, passifs) à partir de

Los Angeles, California, 16 October 1964. Received by the publisher 17 November 1964.

Il y a quatre fonctions de bases à satisfaire :

- ACQUISITION. Les données doivent être introduites dans le système et décodées ;

- BASE DE DONNEES. Les données doivent être organisées et stockées, prêtes à être restituées ;

- TRAITEMENT. Les données doivent être *traitées* (analysées, manipulées, croisées, synthétisées, etc.) ;

- RESTITUTION. Afin d'être exploitées, les données mises en forme et les résultats des traitements doivent être visualisés et imprimés, et ceci sous forme d'images et de graphiques.

S'il est envisageable de disposer d'une configuration matérielle pour chacune des fonctions précédentes, un simple micro-ordinateur PC-compatible peut en réaliser l'ensemble, à une petite échelle

Le succès des extensions futures, via le passage aux stations de travail et aux environnements spécialisés par l'interconnexion de plusieurs matériels en réseau, est alors lié à la standardisation du logiciel applicatif développé et à la *transparence* des données.

3. DONNEES ET REPRESENTATIONS

3.1. Nature des données

3.1.1. Image

La donnée élémentaire d'une image est la valeur du pixel, celui-ci étant défini par sa position (ligne - colonne), et éventuellement son canal si la mesure est effectuée à travers plusieurs fréquences spectrales.

Les premières données manipulées ont été des images *brutes* issues des capteurs satellitaires météorologiques (radiomètres à balayage), avec la valeur du pixel en Compte Numérique (CN), codée sur plusieurs bits (de 6 à 10). Cette valeur est issue du système de numérisation de la mesure dans le domaine spectral du capteur (essentiellement visible et infra-rouge dans notre cas).

Après *traitements radiométriques* (algorithmes géophysiques, corrections diverses), la valeur du pixel image peut avoir une signification quantitative bien différente de sa valeur initiale, d'où la nécessité de prévoir la mesure de celui-ci, soit directement dans l'image (en valeur physique), soit à travers une table de correspondance CN/valeur. Il est également possible d'avoir des données sous forme d'images *synthétiques*, issues de traitements plus ou moins sophistiqués de reconstitution de pixels, à partir de capteurs non imageurs ou de données externes (*sondeurs atmosphériques* pour les capteurs passifs, radars - imageur ou non - pour les capteurs actifs micro-ondes, grille de *valeurs*, etc.).

Les corrections géométriques (rectification d'images) produisent également des pixels artificiels issus des modèles de reconstitution de l'image *brute* (satellitaire ou non).

3.1.2. Paramètres géométriques de l'image

Toutes les données images sont géoréférencées, c'est à dire qu'à chacun des pixels, il est possible d'associer un point de la surface du globe défini en latitude et longitude. Ceci est réalisé en certains points d'une grille de l'image (matrice de localisation), par les modèles de navigation de l'imagerie satellitaire (modèle d'orbitographie et de capteur), ou des modèles de projection pour les images *rectifiées* géométriquement suivant une référence cartographique. Des méthodes d'interpolations permettent de connaître la localisation de tous les points d'une image, et inversement de positionner dans l'image tout repérage géographique.

De même, il est possible de calculer en ces points de localisation, diverses

3.2. Modes de représentation

Nous ne nous intéresserons qu'aux représentations à deux dimensions des données précédentes, l'altitude (nuages, relief) n'étant pas un facteur prépondérant pour la restitution de nos travaux. Ces représentations sont effectuées suivant les techniques infographiques, avec deux types d'approches liés à la technologie disponible, avec une forte dépendance du matériel.

3.2.1. Mode Image ou raster

L'image est la représentation la plus élaborée d'un phénomène. La valeur du pixel de la donnée image, est affectée d'une représentation liée au périphérique de restitution, pixel défini également en ligne et colonne sur celui-ci.

En mode *fausses couleurs*, sur un écran vidéo, les composantes (additives) rouge, vert et bleu, affectées globalement à un canal, permettent d'attribuer une couleur (combinaison des trois couleurs de base), ou teinte de gris (composantes égales), à chaque compte numérique (ou plage de CN, si le nombre de représentations disponibles du périphérique est inférieur au nombre de CN de la donnée). Des modes plus élaborés de représentation d'images peuvent être mis en oeuvre sur écran monochrome (tramage), et pour des images multicanales avec l'affectation d'un canal par couleur de base (composition colorée, vraies couleurs).

Si les méthodes de traitements *colorimétriques* des images permettent d'avoir des représentations très réalistes et des mises en évidence de phénomènes, le tout accompagné d'une mise en page (légende, texte, etc.) afin d'en faciliter l'exploitation, il est important de se souvenir de la subjectivité de cette représentation, subjectivité liée au manque de sensibilité du récepteur oeil et à la fascination facile par de *belles images*, d'un public non averti.

Il en va de même pour les représentations sur papier en copie de fichier (*softcopy*) de l'imagerie où l'on affecte une combinaison de couleur de base

3.2.2. Mode graphique ou vecteur

On cherche à représenter une donnée par des moyens graphiques issus de la technologie des traceurs. Ce mode est en évolution constante au niveau matériel par l'introduction de la couleur, de l'interactivité et des techniques de rasterisation rendu possible par les progrès (et les coûts) de la technologie (cas des consoles graphiques, des cartes additionnelles sur PC et de certains traceurs).

L'accès à un périphérique s'effectue par des couches de logiciels spécialisés. Ces couches peuvent être disponibles avec les fonctions de base graphiques (interface virtuel) au sein de normes garantissant l'indépendance du matériel (norme GKS dans le domaine 2D).

De plus, il est possible d'accéder dans des bibliothèques spécialisées à des fonctions de hauts niveaux, permettant des représentations de données. Pour les champs ordonnés, l'utilisation de fonctionnalités de contourage, de vecteur flux, ou de représentation à trois dimensions (bloc diagramme) est quasi immédiate avec certains progiciels, qu'il est alors nécessaire d'interfacer avec les structures de données existantes.

L'utilisation d'une norme graphique, si elle permet de rationaliser les développements lourds par l'indépendance matérielle et logicielle, doit cependant être abordée avec précaution, puisqu'il peut exister des solutions ponctuelles, donc moins portables pour les programmes et données, pour bon nombre de problèmes (interface carte PC par exemple, logiciels boîte noire, etc.).

3.2.3. Evolution probable

Il est toujours possible de représenter un graphique sous forme image, en codant le pixel (position, profondeur) de façon adéquate sur le périphérique concerné. L'apparition récente d'écran mémoire (bit-map) tend à réunir, au niveau du matériel au moins, les deux voies distinctes de représentations infographiques. Au niveau du logiciel, et en l'absence de norme unificatrice, la mise en oeuvre de programmes de visualisation d'images est toujours liée à l'environnement existant, malgré des efforts de rationalisation en ce sens (visualisation d'image en mode GKS, interface image standard, normalisation matérielle, etc.).

3.3. Système de traitement

Compte tenu des définitions précédentes, le système logiciel développé pour nos besoins est schématisé sur la figure 2, qui met en évidence les différents liens entre données et représentations, ainsi que les différents traitements possibles.

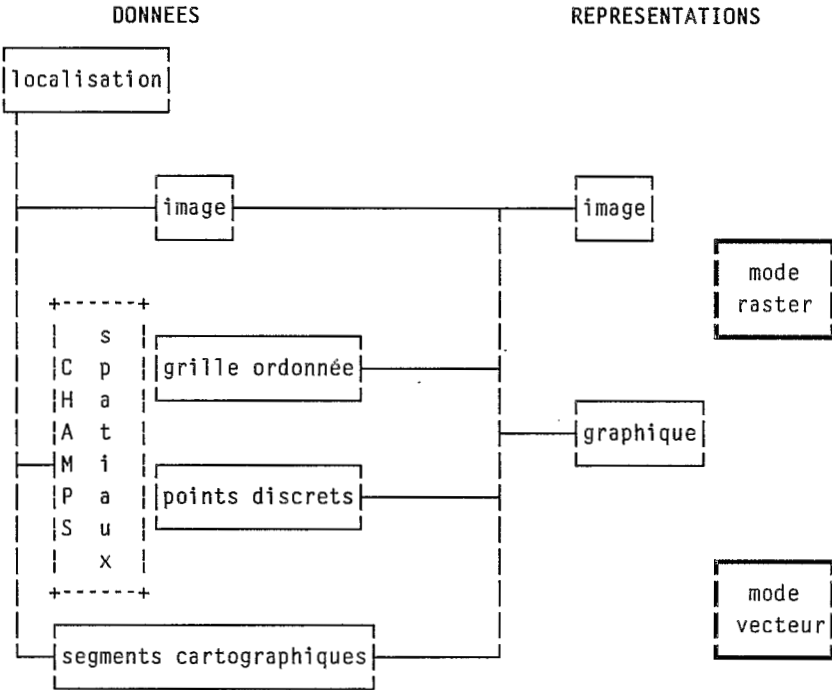


Figure 2 : Données et représentations en télédétection

4. SYSTEME LOGICIEL

Nous décrivons ici la réalisation du logiciel TRISKEL développé au sein de notre laboratoire sur un environnement matériel standard (calculateur scientifique UNIX). On trouvera en annexe une description plus détaillée des diverses fonctionnalités techniques disponibles.

4.1. Structure interne de données

Ce sous-système concerne la définition des formats internes des données, avec les modules élémentaires d'entrées / sorties, ainsi que des fonctions de niveaux supérieurs pour la gestion, l'accès et le stockage. Ces structures correspondent globalement à la nature des données définies précédemment.

Chaque type, dans un fichier unique, est identifié par un en-tête suivi des paramètres de la donnée (type, label, taille, etc.). Les diverses données peuvent ainsi être créées, examinées, éventuellement modifiées par un simple appel. Pendant toutes ces opérations, un contrôle d'erreur approprié est réalisé. L'accès aux données brutes par divers utilitaires (éditeur, *dump*, etc.) est également possible, ainsi que la redéfinition de modules d'interface suivant d'autres principes que ceux développés (optimisation possible, autre langage, etc.).

Les images, de dimensions quelconques en lignes, colonnes et canaux, sont stockées en binaire, un pixel étant codé sur 1 ou 2 octets suivant sa dynamique. L'accès peut être global sur un canal, ou ligne à ligne pour la majorité des traitements. On a ainsi stocké (et traité) une image de 60 Mo issue d'une acquisition AVHRR (NOAA) de 5 000 lignes, 2 048 pixels, 3 canaux (sur 5), un pixel étant codé en température sur deux octets.

Les données cartographiques peuvent avoir deux structures suivant leur taille. Pour des bases de données importantes (> 1 Mo), le stockage est réalisé sur deux fichiers, avec le descriptif des segments et les données proprement dites (en binaire). Pour des données de taille moindre, l'accès est de type formaté avec les outils d'extraction depuis le mode précédent.

Les autres données (localisation, champ discret ou ordonné, *Look-Up Table*, etc.), sont accessibles directement en mode formaté.

4.2. Décodage et mise en forme

En l'absence d'un réseau spécialisé pour l'acquisition de données satellitaires (station d'acquisition et de prétraitement), ces données sont obtenues sur support magnétique. Les multiples sources à traiter doivent alors être décodées, pour être converties dans les structures de données internes du logiciel d'application. Elles comportent généralement, en plus de la donnée image (brute ou prétraîtée à des niveaux variables), diverses informations indispensables pour la suite des traitements géophysiques ou géométriques envisagés (géolocation, angles de visée, etc.). Si certains prétraitements ne sont pas inclus dans la fourniture, il peut être intéressant d'y procéder dès ce stade, au moyen de divers modèles externes (localisation, calibrage radiométrique, etc.).

Les données conventionnelles sont saisies manuellement, ou lues sur support magnétique. Elles peuvent être également accessibles sur certains environnements de stockage spécialisés, comme le Système Mondial de Transmission d'informations météorologiques (Météorologie Nationale, Paris), à partir d'un calculateur équipé de moyens de communication, puis transformées en respectant leur format interne.

4.3. Traitements

Ceux ci peuvent être très variés, et correspondent essentiellement à des outils méthodologiques de base. Nous ne traiterons pas des développements spécifiques thématiques écrits pour les besoins de nos programmes de recherche.

4.3.1. Traitement d'imagerie

Ce module assure des manipulations de données image, avec les opérations de transfert général sur support magnétique (restitution, archivage), de traitement classique (arithmétique, dynamique, convolution, statistique, etc.), ainsi que divers autres plus spécifiques développés pour nos applications (analyse d'images multitemporelles, etc.)..

4.3.2. Traitement de champs

Il consiste en manipulations des données de ce type et en génération d'images à partir de champs ordonnés. Un module élémentaire de reconstitution de grille à partir de données discrètes est également disponible, et il est prévu à terme d'y inclure des méthodes évoluées de géostatistique.

4.3.3. Traitements géométriques

Ce module assure la parfaite transparence géométrique de diverses sources. Il concerne les étapes de superposition d'informations spatialisées (cartographie, champs) avec l'image, ainsi que la restitution cartographique de ces résultats (rectification). La maîtrise de ces étapes permet à terme l'utilisation de méthodes *multisource - multitemporelles*, à partir des données disponibles, celles-ci pouvant être quelconques, et à des pas de résolution spatiales, spectrales et temporelles très différents.

Ces traitements intègrent plusieurs modèles : projection cartographique, localisation d'images satellitaire (orbitographie, capteur, etc.), déformation, ré-échantillonnage image.

4.3.4. Accès à d'autres logiciels

Nous avons développé des passerelles de reformatage de données entre notre logiciel et certains autres, aux fonctionnalités complémentaires. A ce sujet, un effort d'*homogénéisation* des données (voire des méthodes) devrait intervenir pour éviter une certaine dispersion technique, au sein d'une même communauté aux finalités proches.

4.4. Sous système image et graphique

Compte tenu de l'environnement matériel disponible, l'aspect restitution d'image a été développé autour de matériels spécifiques (donc non portables), avec des couches d'accès logiciels adaptées. Sont concernés la copie de fichier image sur une imprimante couleur, et les échanges bidirectionnels avec un environnement spécialisé (performant, fermé et coûteux) de traitement et de visuali-

4.5. Interface utilisateur

Ce système intègre les sous-systèmes précédents, et éventuellement les manipulations *thématiques* concernées par assemblage au sein d'un programme utilisateur adapté à l'environnement.

La figure 3 illustre les possibilités matérielles des stations de travail actuelles, en *traitement* source-destination depuis et vers divers *périphériques* communs (disque dur, mémoire), ou spécifiques en entrées/sorties (systèmes d'acquisition de données, visualisation écran, restitution papier).

L'exemple trivial est le chargement d'une donnée image disque sur l'écran de visualisation, mais on peut en imaginer d'autres avec l'utilisation simultanée de plusieurs *fenêtres*, chacune ayant une fonction différente.

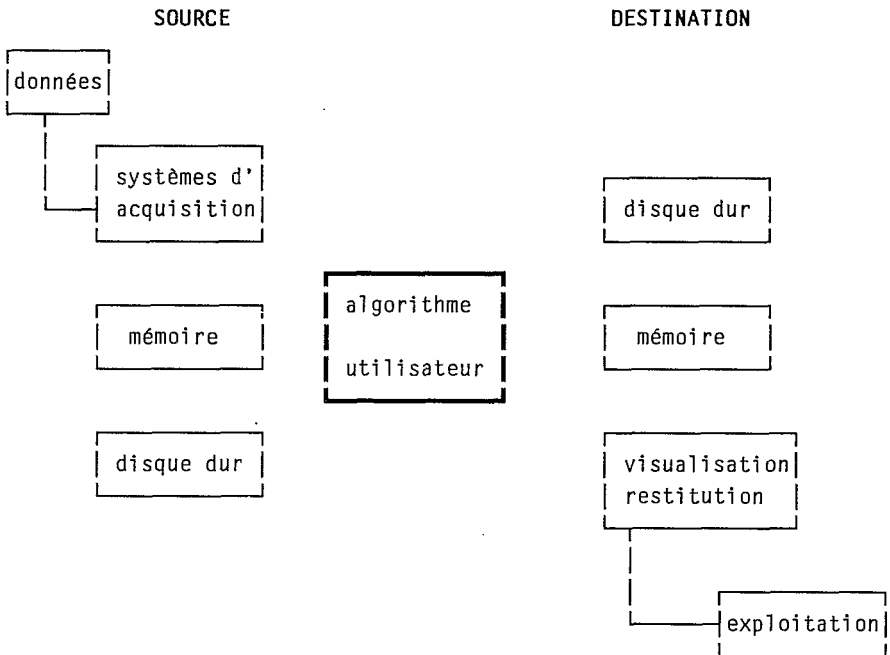


Figure 3 : Environnement utilisateur

Les différents *traitements* ont été conçus comme des entités indépendantes, entités susceptibles de produire un logiciel applicatif général (libre service), ou plus dédié vers un type d'exploitation particulier (recherche - développement, opérationnel), par l'appel des bibliothèques d'utilitaires existantes (gestion, traitement standard, restitution, etc.) et de développements spécifiques.

5. CONCLUSIONS

Le développement du logiciel TRISKEL est une illustration des possibilités pratiques de mise en oeuvre d'une *station de travail*, pour les études d'environnement intégrant diverses données provenant de multiples sources : télé-détection (dont satellitaires), conventionnelles ou base de données. La démarche suivie est de construire des sous-systèmes indépendants, interfacés avec des structures de données puis de réaliser un interface utilisateur à l'aide d'un système d'exploitation puissant et portable. Les divers produits disponibles l'ont été indépendamment des matériels, en mettant l'accent sur les aspects logiciels : structures de données, mode de représentation, analyse et écriture de programmes de *qualité*, utilisation de normes, etc.

C'est un exemple de développement utilisable par une large communauté d'utilisateurs scientifiques, voire opérationnels, en éliminant les duplications coûteuses de certains investissements humains. Les concepts de base en font un système dynamique, qui peut être facilement implanté et modifié pour diverses utilisations. Ce système peut également évoluer vers le haut avec des technologies de pointe, ou être adapté aux nouveaux, toujours plus puissants et peu coûteux matériels *personnel*.

Le défi d'aujourd'hui est de générer du logiciel applicatif à des coûts de développement acceptables. Les logiciels modulaires, extensibles, maintenables, réutilisables, en un mot *standards*, doivent devenir une réalité. La clé du succès de la communauté scientifique faisant appel à l'informatique est le LOGICEL, et la clé de la réussite du logiciel est la STANDARDISATION.

ANNEXE

DESCRIPTIF TECHNIQUE DU LOGICIEL TRISKEL

Développé à l'Antenne ORSTOM de Lannion - Centre de Météorologie Spatiale.

Auteur : DAGORNE D.

Ecrit sur ordinateur scientifique (UNIX) en FORTRAN77 et C, il est utilisé localement avec une console de traitement d'images PERICOLOR 1500 (MSII), et une imprimante couleur à impact COLORPLOT.

DONNEES

- Image de taille quelconque, éventuellement multispectrale, pixel codé sur 1 ou 2 octets. Chaque image peut être géoréférencée par une donnée de localisation ;
- Champs spatiaux ordonné (grille) ou discret (points) ;
- segments cartographiques.

FONCTIONNALITES

- *Gestion des données*
interface vers les structures de données (stockage, accès, etc.).
- *Traitements d'images (disque)*
transfert support magnétique, format *normalisé* (archivage, restitution) ou quelconque ;
transfert disque : extraction canal ou zone ;
opérations classiques : dynamique, arithmétique, logique, statistique, géométrique, locale (filtrage par convolution, par élément structurant, etc.) ;
opérations avancées (appliquées à nos données) : analyse suite d'images, *reconnaitances de forme*, etc.
- *Restitution images*
interface de visualisation et d'impression (adaptée aux matériels) ;
développements en cours et prévus suivant disponibilité matériel pour station de travail (X-window, .), micro (carte EGA, ..) ;
traitement *interactif* de données géoréférencées sur console image (cartographie, localisation image, etc.).
- *Traitements géométriques*
élaboration de localisation brutes (satellitaires), ou rectifiées (cartographique) ;
modèle de localisation directe et inverse ;

modèle de déformation entre images brute et rectifiée, par points d'amers ou entre localisations ;

modèle de réchantillonnage image (rectification), possibilité de mosaïque.

- *Cartographie*

base de données segments (trait de côte, frontière politique, hydrographie) de couverture mondiale à diverses résolutions (origine NCAR ou WDBII/CIA) ;

donnée d'un MNT mondial (résolution $1/6^{\text{ème}}$ de degrés) ;

modèles de projections cartographiques classiques (stéréopolaire, Mercator, Lambert, etc.) ;

génération d'image et de graphique.

- *Localisation et angles satellitaires*

imagerie géostationnaire (Météosat, GOES, etc.) ;

imagerie AVHRR. (radiomètre à balayage des satellites défilants NOAA).