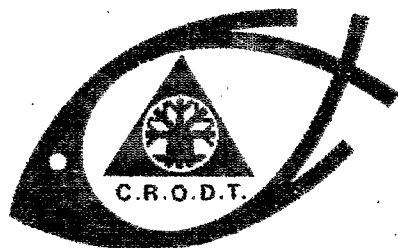


REDRESSEMENTS NOAA AVHRR



CENTRE DE RECHERCHES OCÉANOGRAPHIQUES DE DAKAR - TIANOYE

* INSTITUT SÉNÉGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES *

ISSN 0850-1602

J.C. BERGES

J. CITEAU

H. DEMARCO

22 AVR. 1992

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 35.23.1 ex 1

Cote : B

DOCUMENT
SCIENTIFIQUE

NUMÉRO 110

J U I N 1 9 8 8

REDRESSEMENTS NOAA AVHRR

par

J.C. BERGES (1), J. CITEAU et H. DEMARCQ (2)

RESUME

Ce texte décrit les algorithmes utilisés par le logiciel de redressement NOAA développé au laboratoire de télédétection du Centre de Recherche Océanographique de Dakar Thiaroye (CRODT), et opérationnel depuis Septembre 1986. Il insiste sur les problèmes d'implantation de ce type de programme sur un petit ordinateur et indique les performances obtenues.

ABSTRACT

This text describes algorithms used in the spatial registration software developed by the remote sensing laboratory of the Centre de Recherche Océanographique de Dakar Thiaroye (CRODT). These programs are operational since September 1986. We emphasize on implementation techniques of this kind of program on a small computer and we give indications about performances reached.

(1) Assistant technique en poste au CRODT (Centre de Recherche Océanographique de Dakar Thiaroye - BP 2241 - Dakar)

(2) Océanographes ORSTOM en service au CRODT

INTRODUCTION

Les images produites par les satellites d'études de l'environnement sont très déformées, et leur utilisation exige l'emploi de logiciels de rectification géométrique différants notablement de ceux utilisés pour les satellites d'observations terrestres. L'intérêt du capteur NOAA/AVHRR, tant en applications océanographiques de restitution de températures de surface, qu'en suivi de l'hivernage par la production d'un index de végétation, nous a amené à entreprendre un effort de programmation sur les logiciels de redressements NOAA. Depuis Septembre 1986 une chaîne de prétraitement complète est opérationnelle au Centre de Recherche Océanographique de Dakar Thiaroye. Les algorithmes mis en oeuvre dans cette chaîne sont également applicables aux localisations d'images provenant de systèmes similaires par l'orbite et le type de capteurs comme Nimbus/CZCS ou MOS/VTIR.

1 CARACTERISTIQUES DES SATELLITES ET RAPPELS D'ORBITOGRAPHIE

Les satellites de la série TIROS N sont des satellites météorologiques à orbite polaire gérés par la NOAA, aussi sont ils désignés en NOAAx. Le premier a été lancé en 1978, et actuellement les satellites NOAA9 et NOAA10 sont opérationnels. Ils emportent principalement un imageur AVHRR fonctionnant dans cinq canaux, un sondeur vertical destiné à restituer les profils d'atmosphères et le système de localisation Argos. Leurs missions sont complémentaires de celles des géostationnaires, la moins grande répétitivité étant compensée par une résolution spatiale plus fine, une plus grande précision radiométrique et la possibilité d'observer les pôles.

Ces satellites sont héliosynchrones et conçus pour fournir une image quotidienne complète de la planète, à la fois en orbite diurne et en orbite nocturne. Leurs trajectoires sont quasi circulaires à une altitude de 870 km de manière à réduire les perturbations liées à l'atmosphère.

Si le champ d'attraction terrestre était uniforme le plan d'orbite serait ne serait en rotation par rapport repère terrestre, que du fait de la rotation de la terre sur elle même. Le mouvement de la terre autour du soleil amènerait un décalage, de période annuelle, de l'heure locale de passage du satellite au noeud ascendant (l'intersection de la trace au sol du satellite dans un passage Sud Nord avec l'équateur est désignée par le terme de noeud ascendant). Mais l'hétérogénéité du potentiel, lié à l'aplatissement aux poles du globe, produit une rotation du plan d'orbite autour de l'axe des poles, appelée précession, et une rotation du périégée dans le plan d'orbite.

La vitesse de précession s'exprime par

$$\frac{d\Omega}{dt} = -\frac{3}{2} R^2 J \sqrt{\mu} (R+h)^{-\frac{7}{2}} \cos(i)$$

où:

R est le rayon terrestre

h l'altitude du satellite

J et μ sont des caractéristiques du champ de gravitation

(resp second harmonique zonal et constante de gravitation)

i est l'angle d'inclinaison du plan d'orbite sur l'équateur

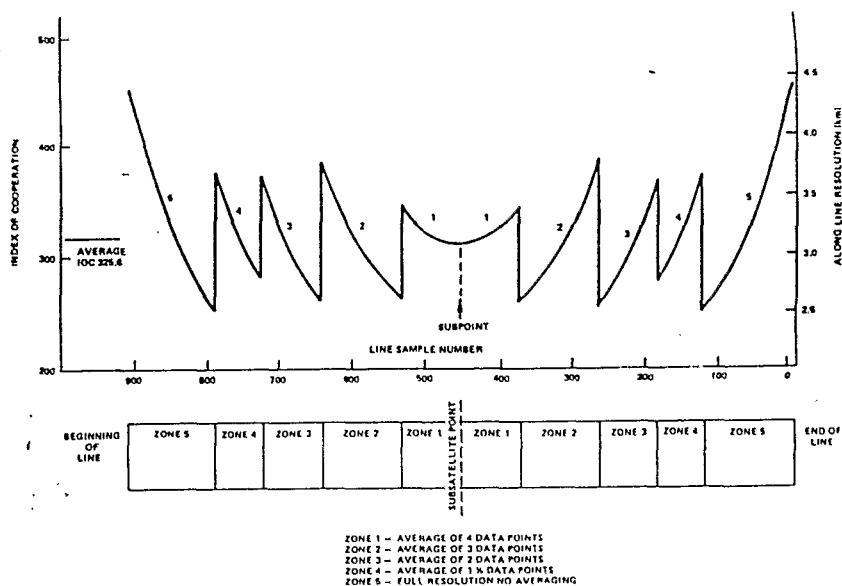
Sur NOAA, comme sur la plupart des satellites d'observation, l'inclinaison est calculée de telle sorte que le mouvement de précession qu'elle provoque compense le mouvement annuel de la terre autour du soleil. De la sorte le passage au noeud ascendant se fera toujours à la même heure locale. Les deux satellites opérationnels simultanément permettent donc une couverture globale de la terre toutes les six heures.

La période nodale du satellite (102 minutes), imposée par son altitude, amène un décalage entre les positions de deux noeuds ascendants successifs de 25° de longitude. Afin que les images correspondants à deux orbites successives se recouvrent à l'équateur, l'angle de balayage du radiomètre AVHRR doit être particulièrement large (110°). Aussi la taille d'un pixel va varier suivant sa position sur l'image, de 1.1 Km au nadir à 4.5 Km en bord d'image. Ceci se traduira par une anamorphose d'autant plus accentuée que la zone considérée est proche du bord de l'image.

Les produits de ce type d'imageur possèdent un aspect plus déroutant que ceux d'un géostationnaire où la projection du satellite est proche d'une projection stéréographique équatoriale. Par ailleurs les caractéristiques orbitales créent un décalage quotidien de 2.7° du noeud ascendant, et à un jour d'intervalle un même zone subira un décalage équivalent dans la projection du satellite. Aussi les études multitemporelles exigent que les images soient ramenées à un référentiel unique par un programme de redressement.

Dans la mesure où un des intérêts de NOAA est de permettre la production d'images de synthèse sur plusieurs jours, afin de minimiser les effets atmosphériques, la qualité des localisations influera directement sur la finesse de l'image finale. Une correction géométrique insuffisamment précise dégrade la résolution spatiale des synthèses et peut amener des difficultés de calibration (Prince, 1986). Aussi le programme de redressement constitue la partie la plus délicate d'une chaîne de prétraitement NOAA, qui comporte également un programme de décompactage et un programme de calibration des canaux thermiques.

Il faut signaler un système primitif de correction est réalisé à bord du satellite pour les images transmises en APT (mode de transmission à faible débit ne nécessitant qu'un équipement de réception léger). La ligne APT est obtenue en moyennant la ligne AVHRR sur un nombre de pixel variant suivant leur position, de quatre au centre à un à l'extrémité. De la sorte la surface prise en compte par un pixel APT est à peu près constante.



(Extrait de Schwalb, 1978)

Mais si ce procédé permet d'améliorer avec un minimum de calcul l'aspect de l'image, il ne permet pas de mise en relation avec des données exogènes ni même la superposition de deux orbites NOAA.

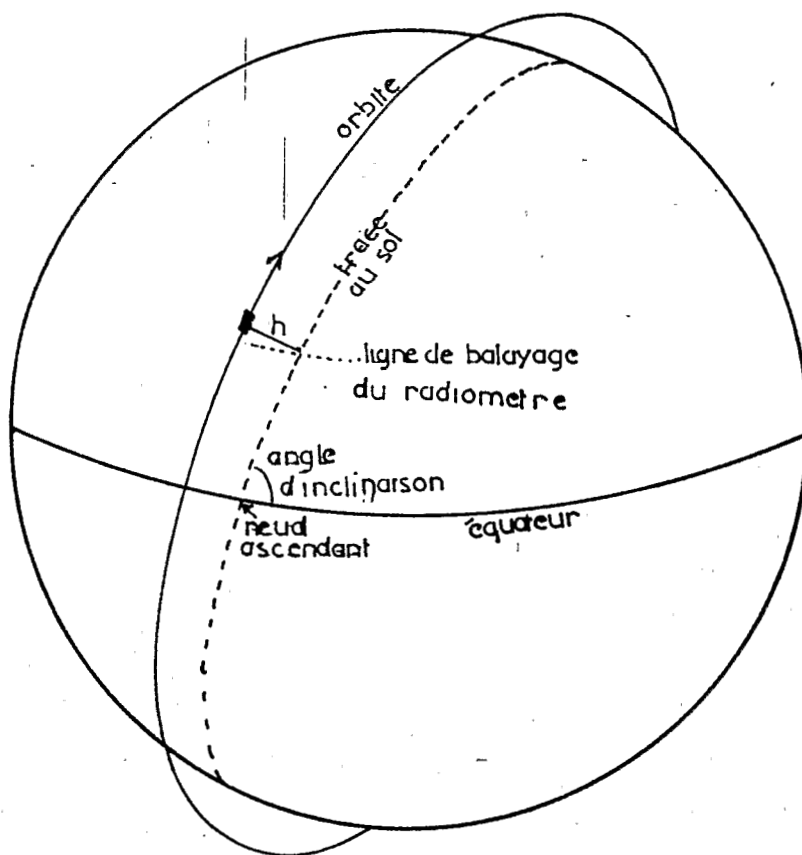
2 ALGORITHMES DE REDRESSEMENT

Un redressement peut être vu comme la composition de deux transformations; une opération de passage de la projection du satellite aux coordonnées géographiques, et une transformation de ces coordonnées en points de l'image finale suivant une projection géographique donnée (Mercator, Lambert, Stéréopolaire). Les équations de ces projections géographiques sont connues aussi, par la suite nous ne nous intéresserons qu'à la première transformation.

Par ailleurs il ne nous paraît pas toujours justifié d'intégrer des projections cartographiques autres que la projection triviale (ou projection équatoriale équidistante directe) si l'on n'effectue pas de superposition à un produit cartographique préexistant. Dans cette projection méridiens et

parallèles étant représentés équidistants, les coordonnées en latitude et longitude d'un point de l'image s'obtiennent par un changement d'échelle. Toutes les chaînes de traitement se simplifient sensiblement, et les systèmes de repérages et d'archivages sont beaucoup moins complexes. De plus ce type de projection diffère peu de la projection Mercator dans les zones équatoriales.

Une procédure générale de redressement consiste à calculer pour tous les points de l'image brute leurs coordonnées dans le repère terrestre. Chaque pixel sera localisé en fonction de l'heure de la mesure et des paramètres orbitaux décrivant l'orbite et la position du satellite (quatre paramètres en orbite circulaire et six en orbite elliptique). Le problème du ré-échantillonnage se posera de manière encore plus aiguë que pour les satellites d'observations terrestres. En effet il n'y a, a priori, aucune contrainte liée à la résolution du satellite sur la taille de la maille de l'image redressée. Selon que cette maille est plus grossière ou plus fine que la résolution initiale, il y a dégradation ou redondance de l'information. Pour des satellites comme NOAA où la taille du pixel, pour une zone donnée, dépend de l'orbite, il ne sera pas possible de maintenir sur l'image redressée la taille initiale du pixel.



La localisation revient à composer les trois mouvements suivants:

- Le mouvement de rotation du plan d'orbite dans le référentiel terrestre. Ce mouvement est la composition de la précession et de la rotation quotidienne de la terre sur elle même.
- Le déplacement du satellite sur son orbite elliptique.
- Le balayage du radiomètre qui vise successivement tous les points d'une ligne. On fait usuellement l'hypothèse simplificatrice d'un balayage instantané, les lignes d'acquisition sont alors considérées comme perpendiculaires au déplacement du satellite. L'erreur ainsi introduite sera de l'ordre d'une centaine de mètres sur le radiomètre AVHRR.

La navigation se ramène alors à la résolution d'une série d'équations trigonométriques, particulièrement simples pour une orbite circulaire. On trouvera un exposé sur les méthodes de calcul chez Brunel et Marsouin, ou Duck et King.

Si ces paramètres orbitaux étaient parfaitement connus il serait donc possible de localiser exactement un pixel. Malheureusement un certain nombre de forces perturbatrices s'exercent sur le satellite.

L'altitude n'est pas suffisante pour que les phénomènes aérodynamiques puissent être totalement négligés. Il existe une formule d'approximation exprimant la vitesse de variation d'altitude liée aux frottements atmosphériques.

$$\frac{dh}{dt} = -55\sqrt{R+h} \frac{CA}{m} \rho$$

(Extrait de Manual of remote sensing 1983)

où CA/m caractérise la géométrie du satellite
A est la surface frontale
C est un coefficient aérodynamique
m est la masse du satellite

ρ est la densité atmosphérique, usuellement exprimée par une loi de la forme $\rho = \kappa e^{-kh}$

En utilisant cette formule on obtient une décroissance de 0.3 m/jour pour les satellites NOAA. Cette variation est du même ordre que celle déduite des messages orbitaux qui indiquent une décroissance moyenne de 0.6 m/jour pendant l'été 1986.

D'autres phénomènes parasites interviennent. Ainsi il est apparu d'une analyse sur les dérivations d'orbite TIROS et Nimbus

que l'attraction solaire amenait une vibration du plan d'orbite et donc une modification de l'inclinaison (Duck 1975).

Enfin, bien que la plate forme soit dotée d'un système de stabilisation trois axes, des variations d'attitude peuvent perturber les visées. La NOAA indique que ces variations seront en général inférieures à 0.12° , ce qui correspond à un décalage de un ou deux pixels.

Sous l'effet de ces forces perturbatrices le satellite va décrire une courbe gauche qui pourra toujours être approximée, pour une portion de trajectoire donnée, par une ellipse. La connaissance des paramètres osculateurs, définissant cette orbite elliptique instantanée, est donc indispensable pour naviguer les images NOAA.

Des messages TBUS, contenant ces informations, sont régulièrement diffusés sur le réseau telex. Mais si la précision de ces informations est suffisante pour piloter l'antenne de réception lors de l'acquisition, elle ne permet pas une navigation fine et entraînerait des erreurs importantes de localisation. La méthode mise au point au Centre de Météorologie Spatiale de Lannion (CMS) par P Brunel et A Marsouin consiste à utiliser les messages de localisation ARGOS, réputés de meilleure qualité que les messages TBUS, et à appliquer un modèle d'extrapolation d'orbite pour déterminer les paramètres osculateurs de la période d'acquisition. Cette méthode fournirait une erreur moyenne de 5 Km.

Pour notre part nous disposons dans les en tête des bandes HRPT (mode de transmission ou l'intégralité de l'information collectée est reçue par la station) fournies par Maspalomas des paramètres orbitaux de la NOAA. Sans même discuter la qualité de ces paramètres, la précision avec laquelle ils étaient exprimés ne nous permettait pas une localisation avec le degré de finesse que nous souhaitions. Aussi avons nous mis en oeuvre une méthode d'approximation de paramètre inspirée d'un algorithme développé au Centre Scientifique IBM France (Diem Ho et Adel Asem). Cette méthode consiste à fixer un certain nombre d'amers puis à modifier les paramètres osculateurs à chaque étape d'une procédure itérative. La procédure s'arrêtera lorsque les latitudes et longitudes des amers calculées par le modèle orbital et leur coordonnées géographiques réelles seront suffisamment proches.

L'implantation de cette procédure suppose que l'on choisisse le nombre d'amers à repérer et les paramètres orbitaux à modifier. Le choix de ces paramètres orbitaux n'est, bien sur, pas indifférent, l'approximation devra porter sur des paramètres susceptibles d'une évolution relativement rapide et d'un impact sensible sur le positionnement du satellite.

La procédure, développée au CRODT, fonctionne de la manière suivante:

Nous sélectionnons un amer, de préférence proche de la trace du satellite, puis nous établissons par approximations successives l'heure au noeud ascendant. Outre une meilleure définition la sélection d'un amer en zone centrale permet d'atténuer l'effet d'une erreur de l'altitude. Si la convergence n'est pas atteinte rapidement une erreur grossière sur la longitude du noeud ascendant est à suspecter.

Il est ensuite possible d'améliorer les localisations en approximant l'altitude du satellite à partir d'un deuxième amer. Dans la mesure où les portions d'orbite sur lesquelles nous sommes amenés à travailler ne représentent qu'une faible partie d'une orbite totale (quelques minutes pour une période nodale de 102 minutes) et que l'excentricité des orbites NOAA reste faible, il sera tout à fait légitimé d'approximer cette portion d'orbite elliptique par une orbite circulaire. Aussi la correction apportée à l'altitude du satellite nous permettra non seulement d'éliminer les erreurs liées à une inexactitude sur ce paramètre, mais également d'utiliser un modèle d'orbite ne faisant pas intervenir les paramètres d'excentricité et d'argument du périégée.

Il serait aussi envisageable de faire porter cette deuxième approximation sur la longitude du noeud ascendant, ce qui revient à utiliser le premier amer pour un décalage vertical et le second pour un décalage horizontal.

Cet algorithme de redressement diffère notablement des algorithmes de redressement sur amers usuellement employés. D'une part le nombre de points d'appui est notablement moins important, deux au plus alors que, compte tenu des déformations NOAA, un modèle n'intégrant pas les calculs orbitaux en nécessiterait une dizaine. D'autre part les amers ne figurent pas nécessairement sur l'image à redresser, ce qui est un avantage notable pour travailler sur un domaine marin. Il s'agit de points remarquables situés en un quelconque endroit de l'image brute, ils seront donc beaucoup plus faciles à repérer. Enfin les calculs seront plus rapides.

Un autre type de procédure utilise les recalages automatiques d'image. Ce procédé allie le caractère systématique des navigations purement orbitales à la précision des méthodes sur points d'appui, au prix de logiciels plus complexes et surtout d'un besoin en puissance de calcul beaucoup plus important. Ainsi, dans le cadre de la lutte antiacridienne, l'EROS data center diffuse un produit d'index de végétation qui serait élaboré en utilisant une procédé de recherche automatique d'amers.

3 MISE EN OEUVRE

L'algorithme de redressement le plus simple calculerait point par point de l'image résultante les coordonnées en ligne et colonne des pixels. Mais le temps de calcul qu'impliquerait cette

procédure directe risquerait de la rendre inapplicable. En effet chacun des points de l'image produite va nécessiter un calcul complexe faisant intervenir des fonctions intrinsèques. Il est bien sur possible d'optimiser le calcul de ces fonctions. Elles sont, en général, déterminées par des convergences de série et il est facile de procéder par un système de scrutation de table et d'interpolation. Le gain de rapidité compense amplement l'encombrement mémoire supplémentaire, faible en regard de la capacité des calculateurs actuels. Signalons qu'avec ce type d'algorithme les fonctions trigonométriques n'occupent que 5 Ko pour une précision de l'ordre de 10^{-4} .

Mais cette optimisation ne sera pas toujours nécessaire à réaliser. En effet, les calculs orbitaux ne seront effectués que pour les noeuds d'une grille de localisation, la fonction de redressement sera ensuite calculée par interpolation. Ce procédé apporte évidemment un gain important en temps machine.

De nombreux travaux ont été effectués sur les procédures d'interpolation dans le cadre des redressements LANDSAT. Bernstein dans sa contribution au manuel de télédétection fournit un aperçu bibliographique sur ce sujet. Plusieurs méthodes sont couramment utilisées plus proche voisin, interpolation bilinéaire, convolution cubique. Il s'agit de préserver au mieux les discontinuités et en particulier les structures linéaires en passant de l'image brute à l'image redressée. Dans cette optique la convolution cubique, qui calcule une valeur à partir d'une matrice de 4x4 points, est présentée comme optimale. Toutefois le cadre dans lequel nous nous situons, est sensiblement différent. Tout d'abord l'interpolation ne se fera pas directement entre valeurs des comptes numériques mais sur un champ calculé possédant des propriétés de monotonie. De plus les valeurs de la maille initiale étant déterminées par calcul, il est possible, si la précision de l'approximation est insuffisante, de sélectionner une maille plus fine. Aussi afin d'optimiser les temps de calcul nous avons utilisé une méthode d'interpolation surfacique.

La forme de la grille dépendra étroitement du type d'application. Lorsqu'il s'agit d'un produit complémentaire aux données brutes et fourni par la station de réception, la grille est constituée par les coordonnées géographiques d'un certain nombre de points de l'image brute. Ainsi le CMS les indique pour une ligne d'acquisition sur 32, et pour un pixel sur 32 à l'intérieur d'une ligne. Par contre lorsque les calculs de trajectoire sont destinés à redresser une zone géographique donnée, il sera à la fois plus simple algorithmiquement et plus rapide de déterminer avec un pas constant en latitude et en longitude les numéros de ligne et de colonne des pixels correspondants. Le pas dépendra de l'étendue de la zone géographique choisie et non, bien sur, de la taille de l'image. En général la charge liée au calcul de la grille sera faible devant les autres étapes, il convient donc de dimensionner largement la grille. Mais dans tous les cas, il n'y a pas d'avantage à calculer plus de 8 points de grille par degré.

La grille déterminée le redressement se ramènera à une interpolation bidimensionnelle. Bien qu'elle soit conceptuellement simple cette partie est d'une implémentation délicate, et justifiera des efforts d'optimisation, le volume d'opérations de cette dernière étape étant très supérieur à ceux des étapes précédentes.

Un premier procédé consiste à calculer préalablement une matrice de déformation formée par les coefficients pour tous les points compris entre quatre noeuds. Ce procédé exige que la dimension de la grille soit un diviseur entier de la dimension redressée. Le nombre d'opérations élémentaires impliquées par chaque itération peut ainsi être considérablement réduit.

Mais la principale difficulté provient de la gestion de la mémoire, à cause de la taille importante des images (surtout de l'image brute) qui interdit de les faire résider en mémoire. On pourrait envisager de les stocker sous forme de fichiers à accès direct. Mais comme tous les points d'une ligne de l'image redressée ne correspondront pas à une seule ligne de l'image brute, le volume d'entrée sortie qu'impliquerait un redressement rendrait cette opération irréalisable. Sur un ordinateur à mémoire virtuelle on peut déclarer l'image brute comme un tableau, le gestionnaire de pagination se chargeant de réaliser les transferts effectifs entre disque et mémoire. Sur d'autres machines il incombera au programmeur de développer l'équivalent d'un gestionnaire de mémoire paginée pour traiter l'image brute.

Dans la mesure où, pour chaque point de l'image redressée, il n'est réalisé qu'une seule opération de lecture de l'image brute, la réalisation par logiciel d'un gestionnaire de ce type n'a pas d'effet négatif sur les performances. Bien au contraire il est même intéressant à réaliser sur une machine paginée, le programmeur étant plus capable d'exploiter les propriétés de l'image brute qu'un gestionnaire câblé à usage général.

L'algorithme de pagination, mis au point au CRODT, est très simple. Le gestionnaire s'alloue toute la mémoire disponible et charge le maximum de lignes AVHRR à partir de la première ligne figurant dans la grille. Le chargement d'une ligne s'effectue en ne retenant que les pixels dont les numéros de colonnes sont compris entre les numéros extrêmes de la grille, et en échantillonnant si la résolution de l'image redressée est notablement inférieure à celle de l'image brute. Le programme constitue ensuite l'image redressée ligne par ligne. Lorsqu'une ligne qui ne réside pas en mémoire est demandée, le gestionnaire de pagination remplace la ligne la plus anciennement chargée par cette ligne. Formellement tout se passe comme si l'image redressée était un fichier et l'image brute contenue dans un tableau en mémoire.

Bien que rudimentaire ce gestionnaire nous a paru tout à fait satisfaisant la plupart des lignes n'étant transférées qu'une seule fois du disque vers la mémoire. Dans quelques rares cas un phénomène de dégradation des performances analogue à celui

des défauts de pages intempestifs s'est produit. Nous avons alors redressé l'image par parties. Il serait possible d'automatiser ce procédé par un gestionnaire plus élaboré qui parcourrait l'image finale différemment suivant la mémoire disponible.

Lors du redressement d'un canal visible ou proche infrarouge, il est intéressant de calculer pour chaque point de la grille, non seulement ses coordonnées dans l'image brute, mais aussi le coefficient de correction d'angle zénithal. La quantité d'énergie réfléchie dépend de l'albédo et de la position du soleil par rapport au point visé. Pour rendre comparables différentes images il importe de corriger l'effet lié à l'heure locale et à la saison. Cette correction se réalise simplement en divisant la mesure satellitaire par le cosinus de l'angle zénithal solaire. Une fois encore il ne sera pas nécessaire d'effectuer ce calcul trigonométrique pour chaque point de l'image redressée, la valeur du coefficient étant déterminée par interpolation.

Bien que plus simples, les algorithmes de redressement METEOSAT sont mis en oeuvre de manière analogue. La partie de constitution de la grille est notablement plus rapide puisque, par définition, les paramètres de navigation sont fixes. D'autre part les images ne proviennent pas directement de l'imageur du satellite, mais sont traitées par le centre de réception de Darmstad et corrigées des dérivations d'orbite, puis réémises vers le satellite. Par contre les difficultés de réalisation informatiques sont identiques, et les modules de pagination peuvent être communs.

4 PERFORMANCES

Nous avons testés ces logiciels en n'utilisant qu'un seul amer afin de nous situer dans la situation la plus défavorable. Les résultats apparaissent déjà comme très satisfaisants pour nos applications. En effectuant des redressements sur une zone de 6 degrés centrée sur le Sénégal pour des images de 512 lignes et colonnes, l'erreur de localisation est, au maximum, de deux points sur l'image produite, ce qui ramené à la résolution AVHRR correspond à une erreur de l'ordre du pixel. Seules les orbites où notre zone est périphérique présentent des écarts supérieurs, dus pour partie à l'accroissement de la taille des pixels (approximativement de 4.5Km par 2 Km en bord d'orbite), mais à cause des phénomènes atmosphériques ces orbites sont souvent écartées des synthèses multitemporelles.

A titre d'illustration, le tableau suivant donnent les coordonnées de deux points remarquables sur l'image redressée pour différentes orbites.

Orbite	Katchi	Banjuls
8791	373 74	**
9074	*	115 388
9102	**	120 386
9130	371 74	120 386
9144	372 74	121 386
9158	**	121 386
9172	373 73	121 387
9313	372 74	121 386
9327	371 71	120 386
9356	***	118 387
9412	372 74	121 388
9596	373 75	121 388

* hors de l'orbite

** couvert nuageux

*** vent de sable

La superposition d'un index de végétation en synthèse multitemporelle à un fond de carte de cote et de frontières peut également fournir un indicateur de la précision des localisations. On observe par endroit un décalage qui pourrait être éliminé en prenant un deuxième amer ou, dans ce cas précis qui comporte plusieurs points aisément identifiables en déterminant une translation rotation.

Ce logiciel est implanté sur un ordinateur 16 bits MINI6/43 et inclue les primitives de navigation fournies par l'équipe SATMOS (CMS). Les limitations du compilateur nous ont contraint à avoir recours à l'assembleur pour les fonctions de base. Les temps de calcul dépendent essentiellement de la taille de l'image redressée. Une image 512x512 demande actuellement 5 minutes pour l'ensemble du redressement. Compte tenu de l'évolution du matériel il est tout à fait envisageable de porter ce programme sur micro ordinateur, à condition d'adapter le gestionnaire de pagination, qui dépend étroitement du système d'exploitation, et de programmer soigneusement afin d'éviter une dégradation des temps de réponse.

BIBLIOGRAPHIE

BERGES (J.C.), CITEAU (J.) et DEMARCQ (H.), 1987.- Chaîne de traitement thermique METEOSAT. Archive CRODT 154, 26p.

BERNSTEIN (R.), 1983.- Image geometry and correction. Manual of remote sensing, Vol I, p 873-922.

BRUNEL (P.) et MARSOUIN (A.), 1985.- Positionnement géographique des images NOAA/AVHRR. Cahier Satmos 2.

DUCK (K.) et KING (J.), 1983.- Orbital mechanics for remote sensing. Manual of remote sensing, Vol I, p 699-717.

DUCLOU (P.), 1981.- L'attitude des satellites d'observation de la terre. Document de travail CNES.

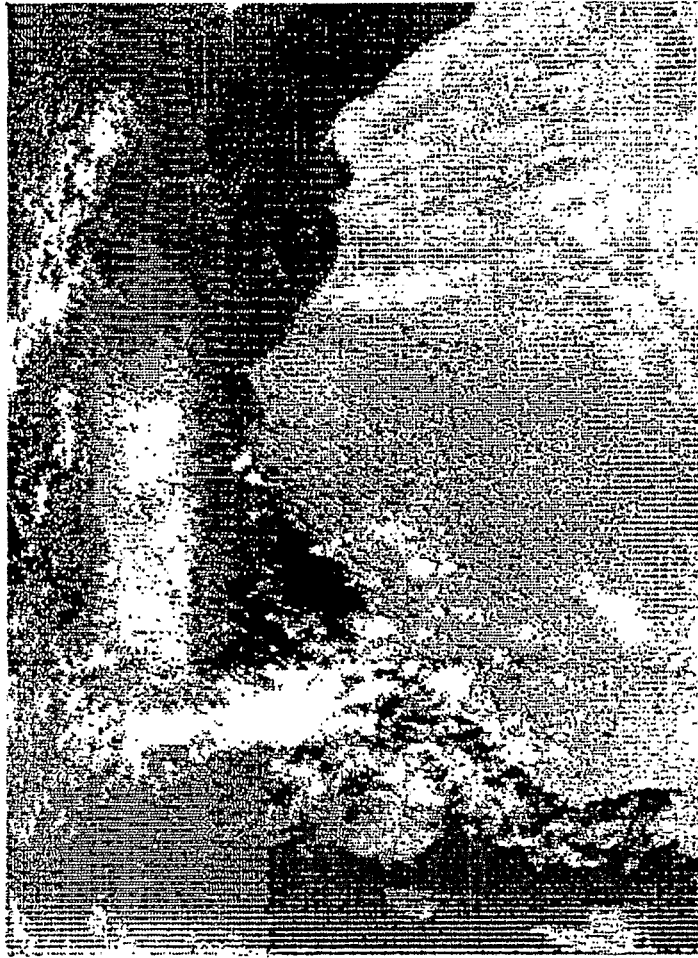
HO (D.) et ASEM (A.), 1986.- NOAA AVHRR image referencing. International journal of remote sensing.

HO (D.) et ASEM (A.), 1985.- Navigation of METEOSAT visible and infrared images. ESA 5eme congrés des utilisateurs scientifiques.

LEGENDRE (P.), 1985.- Les orbites utilisées pour les missions d'observation. Document de travail CNES.

PRINCE (S.D.), 1986.- Calibration of NVDI derived from the NOAA AVHRR radiometer. Document de travail.

SCHWALB (A.), 1978.- The TIROS N/NOAA A-G satellite serie. NOAA technical memorandum NESS 95.



Ces trois images brutes
d'un canal NOAA montrent
le décalage vers l'Ouest
d'une zone dans la
projection du satellite,
ainsi que d'importantes
déformations en bord
d'image.



L'image redressée (ici une synthèse sur plusieurs jours) a été superposée à un fond de carte. L'importance des distorsions géométriques pour une procédure à un point de référence apparait clairement. Une translation-rotation suffirait à perfectionner la superposition.