

APPLICATION DES THERMOGRAPHIES
DE MOYENNE ALTITUDE ET DES IMAGES DE
SATELLITES ERTS 1, NOAA 2 ET SEYFAR A LA
TELEDETECTION DE L'HYDRODYNAMIQUE DE LA
SURFACE DANS LE GOLFE DU LION.

PAR L. LOUBERSAC.

Ce travail a été conçu et réalisé dans le cadre d'une formation auprès du CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS.

Je tiens à remercier tout particulièrement :

M. J.C. MOURLON, mon maître de stage qui, en organisant ma formation, m'a permis de m'initier à la télédétection.

M. le professeur M. GUY de l'Institut Français du Pétrole, qui par ses cours et ses conseils a su m'introduire à la photointerprétation.

M. le professeur J. AVIAS, qui m'a accueilli dans ses laboratoires de Montpellier.

M. C. ARMANGAU, maître assistant à la faculté de Montpellier, qui m'a associé à son groupe de travail sur la télédétection.

M. R. BURKHALTER, membre du laboratoire de Montpellier pour ses conseils et l'aide qu'il m'a apportés dans l'interprétation des thermographies.

M. BRACONNE et Melle LALLEMAND de l'I.F.P., pour la partie analyse numérique.

Ms. DUCLERC, PICHOT, TOURNIER, SAUVAGNARGUES de l'I.S.T.P.M. de Sète pour tous les renseignements qu'ils m'ont fournis sur l'hydrologie du golfe du Lion.

M. le professeur LE FLOCH de l'Université de Bretagne Occidentale (Brest) pour ses cours d'océanographie physique.

Ms. MARIE et VALET du B.E.I.C.I.P. (La Celle St Cloud) pour le tirage sur planche de mes listings.

Mme M.L. LOUBERSAC qui a su réaliser ce rapport du point de vue technique.

I N T R O D U C T I O N

Considérons un homme et une fourmi. Afin de faciliter l'image, imaginons cette fourmi comme pouvant communiquer avec l'homme et réciproquement.

Imaginons maintenant l'homme et la fourmi, se promenant sur un magnifique tapis "Chiraz". L'homme s'émerveille de la beauté des dessins de l'oeuvre, alors que la fourmi à son échelle, n'en distingue qu'un canevas formé de tâches colorées sans formes apparentes. L'homme voyant la fourmi inquiète et comprenant son désarroi lui propose de se jucher sur son épaule afin de percevoir l'ensemble de ce qui s'étale à ses pieds. Or la fourmi ne s'émerveille point.

Au travers de cette image assez simpliste nous voulons exprimer ce qu'est la télédétection et les problèmes qu'elle soulève.

La fourmi ne s'émerveille pas :

- d'une part pour une question de champs de vision,
- d'autre part en raison de son mode de perception des couleurs et des formes vraisemblablement très différent de celui de l'homme.
- enfin, et cela rejoint le problème que nous venons de soulever, la fourmi reste insensible à l'art Perse, concept totalement étranger à son imagination.

L'homme a su concevoir le véhicule qui lui permettrait de "voir d'en haut", puis l'appareillage qui compléterait ou renforcerait son oeil dans certaines longueurs d'onde qui lui étaient interdites, il en a obtenu des documents et cherche à les interpréter de façon objective.

Dans l'étude qui suit, nous serons la "fourmi savante" :

Dans une première partie nous discuterons de l'objectivité de cette nouvelle science qu'est la télédétection et nous étudierons la technologie qui s'y rapporte.

Dans une seconde partie nous traiterons des vecteurs, c'est à dire des véhicules mis à notre disposition.

Dans une troisième partie nous analyserons des techniques d'amélioration des documents obtenus.

Enfin dans la dernière partie nous interpréterons ces documents, tout en comparant nos conclusions à ce qui est connu afin de mettre un point supplémentaire au canevas qu'est la terre que nous connaissons si bien et si peu.

PREMIERE PARTIE
RADIOMETRIE

Si les réponses spectrales de l'eau dans les différentes longueurs d'onde, que ce soit pour ERTS, SKYLAB ou les thermographies, permettent de distinguer des zones, elles ne permettent pas à l'heure actuelle d'en donner une explication absolue de l'origine. Ceci pour plusieurs raisons :

D'une part, les enregistrements, qu'ils soient électromagnétiques (radar, scanner) ou simplement de type photo-chimique (panchromatique, couleur, infrarouge, fausse couleur) ne présentent qu'une information "déformée" valable seulement en fonction des conditions du lieu et du moment de l'enregistrement.

Comme il est impossible de répéter l'opération exactement dans les mêmes conditions, il est impossible de définir des critères parfaits d'interprétation et ceci d'autant plus que l'on ne connaît pas actuellement les paramètres exacts d'un enregistrement ni au niveau du capteur, ni au niveau du milieu traversé, ni enfin et surtout au niveau de l'objet.

De plus, la reconnaissance d'un objet pose la bonne lecture de la structure et la texture de son image, ce qui sous-entend l'objectivité de l'interprète. Or celle-ci est très relative, en effet l'exploitation des images aériennes ou spatiales suppose une interprétation des composantes de l'image d'après le but et les connaissances antérieures de l'interprète, qui par sa formation s'attend à rencontrer certaines formes d'objets ou de phénomènes.

Cette démarche peut se comparer à celle du lecteur d'un texte écrit dans une langue familière ; il reconnaît des formes dont le sens est clair et la compréhension immédiate. L'exploitation des signes de l'écriture se fait par une méthode "globale". Cependant, si le texte devient difficile, qualité de l'écriture, langue peu familière ou sujet traité peu connu, l'analyse du texte ne se fait plus globalement mais mot à mot, voire même lettre à lettre.

L'étude et l'interprétation d'une photo aérienne pourra donc être conduite comme dans l'analyse d'un texte par un discernement préliminaire des caractères puis par l'étude de l'organisation de ces derniers. La mécanique de l'analyse sera donc basée sur les trois postulats intuitifs de base suivants :

- (1)- l'on est capable d'isoler des formes en les distinguant par un moyen quelconque,
- (2)- chacune des formes se répète et est reconnaissable ce qui implique une définition globale de chaque classe d'élément,
- (3)- les classes d'éléments vont pouvoir être organisées;

L'on est ainsi amené à trois définitions importantes :

- a) les éléments texturaux : taches discernables entre elles et regroupables par classes selon leur couleur, dimensions, ...
 - b) les "structures" : toute propriété caractéristique de l'organisation des classes d'éléments texturaux ou de l'ensemble des positions où ils se trouvent, c'est à dire rendant compte des relations des taches entre elles ou des relations de l'ensemble des taches avec d'autres classes d'éléments texturaux...
 - c) la "texture" : ensemble des éléments texturaux.
- Par abus de langage on confond parfois élément textural et texture, la "texture" devient alors l'ensemble des textures.

I. Éléments de photométrie. (toutes les figures de cette partie sont extraites de la thèse de F. Lavenex Cf. bibliographie).

I.1 Flux énergétique total.

C'est la quantité totale d'énergie rayonnée par la source, par unité de temps, dans tout l'espace environnant. Elle s'exprime en watts ou en calories/secondes.

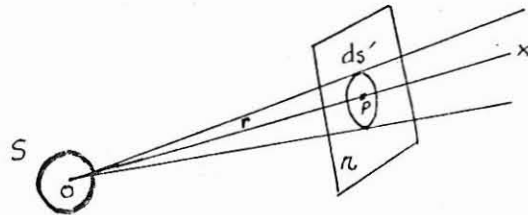
I.2 Intensité énergétique dans une direction.

Soit le cône de révolution de sommet O, d'axe Ox. A une distance r variable du point O (r grand/aux dimensions de la source S) passe un plan π quelconque. Soit α l'angle formé par la normale à ce plan et la direction Ox.

$$\text{Posons } d\Omega = \frac{ds' \cos \alpha}{r^2}$$

Pour un cône donné, le flux énergétique $d\Phi$ traversant la surface ds' est indépendant du plan π choisi, la limite vers laquelle tend $d\Phi/d\Omega$ quand $d\Omega$ tend vers zero est par définition l'intensité énergétique I de la source S dans la direction Ox.

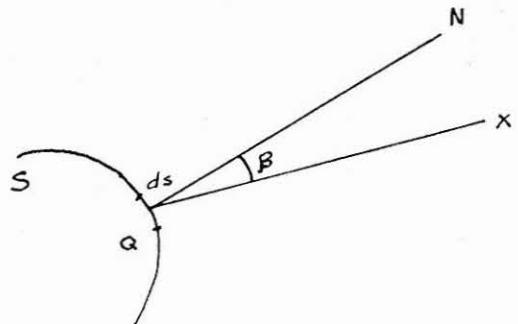
$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} = \frac{dr^2}{ds' \cos \alpha}$$



I.3 Brillance énergétique dans une direction donnée.

Une source de surface ds et d'intensité énergétique I est caractérisée par sa brillance énergétique B dans une direction donnée.

$$B = \frac{dI}{ds \cos \beta}$$



I.4 Définition du corps noir.

Un corps noir est un corps qui, en équilibre thermique avec le milieu ambiant, absorbe toute l'énergie qu'il reçoit et la rerayonne intégralement.

Tout corps dont la température est différente du zéro absolu et recevant un rayonnement, peut:

- Absorber une partie de l'énergie (α = facteur d'absorption).
- Réfléchir une partie de l'énergie (β = facteur de réflexion).
- Être traversé par une partie de l'énergie (γ = facteur de transmission).

Dans le cas d'un corps quelconque : $\alpha + \beta + \gamma = 1$
 Dans le cas d'un corps noir : $\alpha = 1 ; \beta = \gamma = 0$

I.5 Première loi de KIRCHHOFF.

la brillance énergétique spectrale B du corps noir est

pend seulement de la température absolue du corps noir.

I.6 Deuxième loi de KIRCHOFF.

La brillance énergétique spectrale B_λ d'un corps quelconque est, pour une direction donnée :

$$B_\lambda = B_\lambda^{CN} \alpha_\lambda$$

B^{CN} = Brillance énergétique du corps noir dans les mêmes conditions.

α_λ = Facteur d'absorption du corps ($\alpha < 1$, pour le corps noir $\alpha = 1$).

Notons qu'à une température donnée, un corps est le plus absorbant à la longueur d'onde à laquelle il est le plus émissif.

I.7 Loi de STEFAN-BOLTZMANN.

La radiance énergétique R^{CN} du corps noir est liée à sa température absolue par la relation :

$$R^{CN} = T^4 \sigma$$

T = température absolue.

σ = constante de BOLTZMANN.

Pour les corps quelconques, la loi de STEFAN-BOLTZMANN se formule ainsi :

$$R = \epsilon_t \sigma T^4$$

ϵ_t = facteur d'émission intégré à toutes longueurs d'onde du spectre.

I.8 Emissivité

ϵ = fonction de la température et de la nature du corps

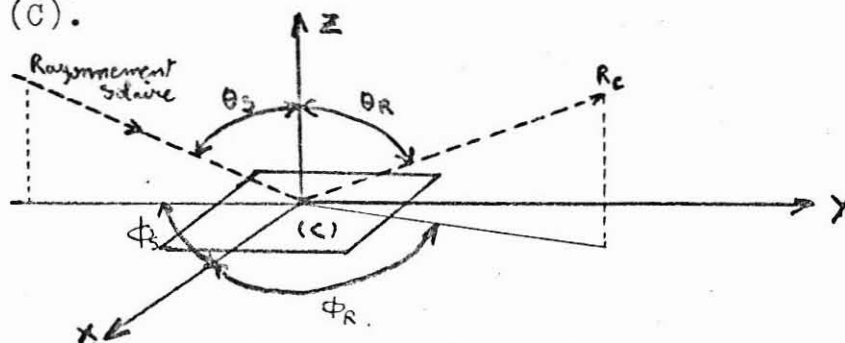
$\epsilon = \frac{\text{Puissance émise par le corps par unité de surface}}{\text{Puissance émise par le corps noir par unité de surface}}$

I.9 Réflectivité

$\rho = \frac{\text{Puissance réfléchie par unité de surface}}{\text{Puissance incidente}}$

ρ dépend de la constitution chimique et physique du matériau.

Soit un corps (C) et son rayonnement dans une direction déterminée, ce rayonnement est facteur de l'émissivité et de la réflectance de (C).



$$R_c = \rho(\lambda, \theta_s, \phi_s, \theta_R, \phi_R) H(\lambda, \theta_s, \phi_s) + E(\lambda, \theta_R) W(\lambda)$$

R_c = Radiance spectrale.

ρ = Reflectivité.

H = Irradiance solaire (\sim corps noir à $6000 \text{ }^\circ\text{K}$ environ).

E = Emissivité.

W = Energie émise par le corps noir à la température de C.

La propagation de ce rayonnement est perturbée à la traversée de l'air et de l'atmosphère, l'ionosphère.

I.10 Contrastes et perturbations.

Soit ϕ_A la luminance d'un objet A.

Soit ϕ_B la luminance d'un objet B.

Soit C_0 = contraste entre ces deux objets :

$$C_0 = \frac{\phi_A}{\phi_B}$$

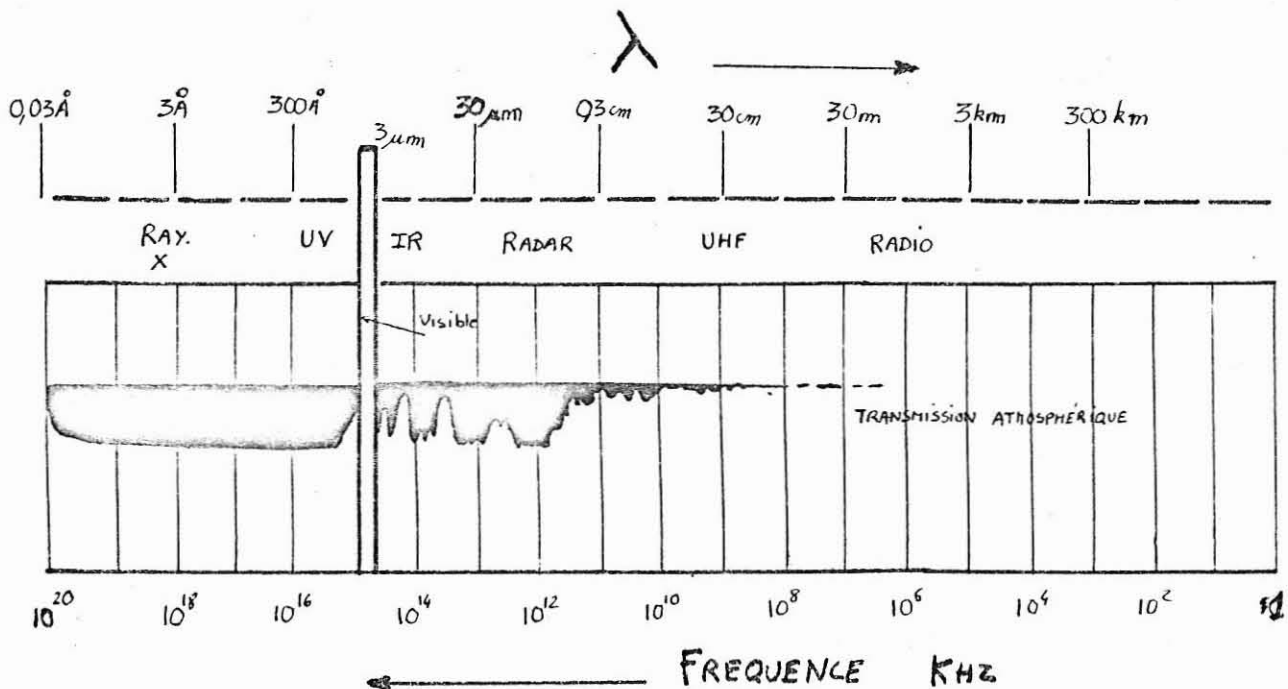
Si on intercale une couche atmosphérique on aura diminution du contraste du à l'absorption (ϕ_A devient $\phi_A e^{-kx}$) et à la présence d'une certaine luminance de l'atmosphère ϕ_a . Le contraste devient :

$$C = \frac{\phi_A e^{-kx} + \phi_a}{\phi_B e^{-kx} + \phi_a} < C_0.$$

II. Généralités sur la Radionétrie.

2.1 Le spectre électromagnétique.

Ce tableau donne une représentation du spectre électromagnétique pour les longueurs d'ondes comprises entre $0,3 \text{ } \text{Å}$ et 300 km .



Le domaine du "visible" ne constitue qu'une partie infime du spectre. Il se situe entre les radiations ultra-violettes et les radiations infrarouges.

La courbe médiane, schématise la transparence atmosphérique aux longueurs d'ondes. Il apparaît que la transmission est nulle au-dessous de $0,38\mu$. Elle est au maximum dans le domaine du visible. Au-dessous de $0,7\mu$, dans le domaine des infrarouges, existent trois zones pour lesquelles la transparence atmosphérique est correcte, puis elle redevient nulle jusqu'à $0,3$ cm. Au-delà, dans le domaine des ondes radio, elle est à nouveau parfaite.

La télédétection nécessitant une bonne transmission atmosphérique, cela explique qu'elle soit particulièrement développée dans le domaine de l'infrarouge.

Il convient de rappeler très brièvement les lois qui régissent le rayonnement infrarouge.

2.2 Absorption et émission atmosphérique.

Dans le vide, tout rayonnement électromagnétique se propage en ligne droite et sans affaiblissement. La traversée de l'atmosphère, même sur de courtes distances, perturbe ce rayonnement.

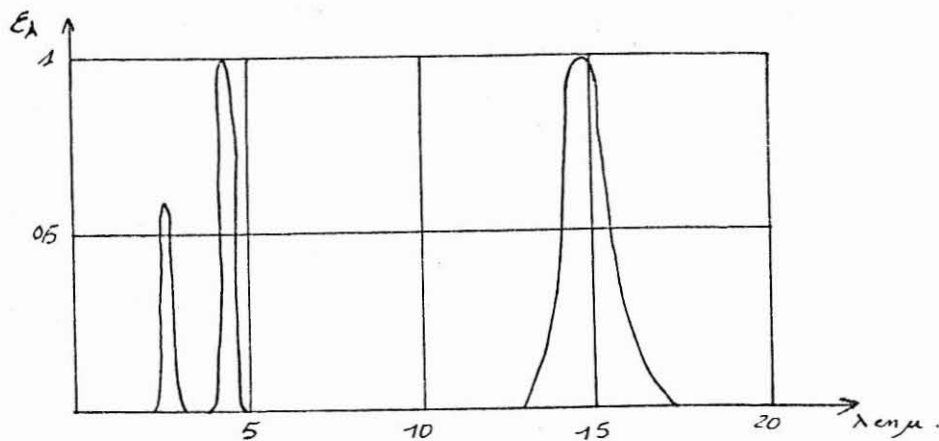
L'énergie peut être absorbée, diffractée ou réfractée. D'autre part, les constituants atmosphériques sont eux-même source de rayonnement ou d'absorption.

2.2.1 Absorption atmosphérique.

Parmi les constituants atmosphériques, les éléments les plus absorbants dans le domaine de l'infrarouge sont : la vapeur d'eau, le gaz carbonique et l'ozone.

Le gaz carbonique

Sa concentration dans l'atmosphère est à peu près constante, quel que soit l'altitude et la température. Elle est de $0,03\%$ en volume. Les bandes d'absorption du CO_2 sont situées aux alentours de $2,7$ et $4,3\mu$



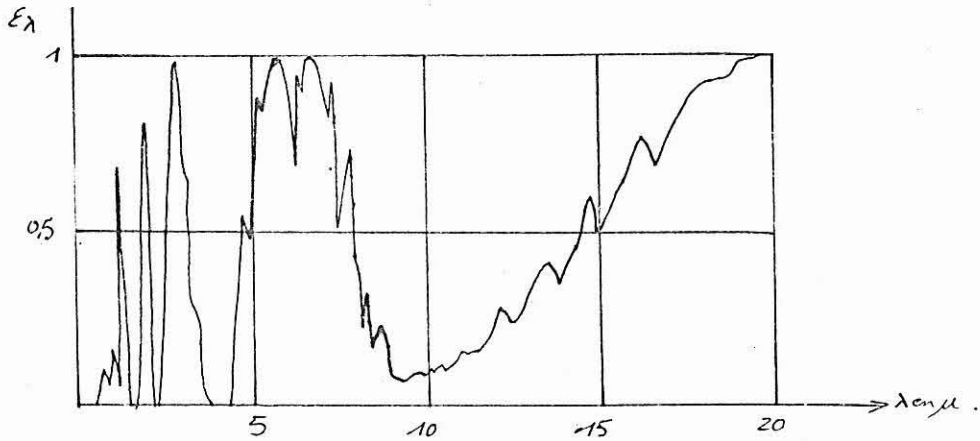
La vapeur d'eau

La concentration en vapeur d'eau varie beaucoup en fonction de l'altitude, de la température et de l'humidité à un moment donné.

La valeur réelle de l'absorption due à la vapeur d'eau est donc relativement difficile à connaître. Les principales bandes d'absorption sont situées aux alentours de 1,5 à 1,7 μ ; 2,5 à 2,7 μ ; 5,2 à 7 μ et au-delà de 14 μ .

La vapeur d'eau joue un rôle important dans la transmission atmosphérique. Elle peut se former par endroits de véritables condensations d'eau qui modifient la propagation. Ce phénomène est particulièrement gênant pour l'observation des plans d'eau, car au-dessus, la concentration en vapeur d'eau est à peu près uniforme.

Par contre, il faut tenir compte sur les zones avec relief, le fond des vallées étant entièrement caché par la vapeur d'eau.



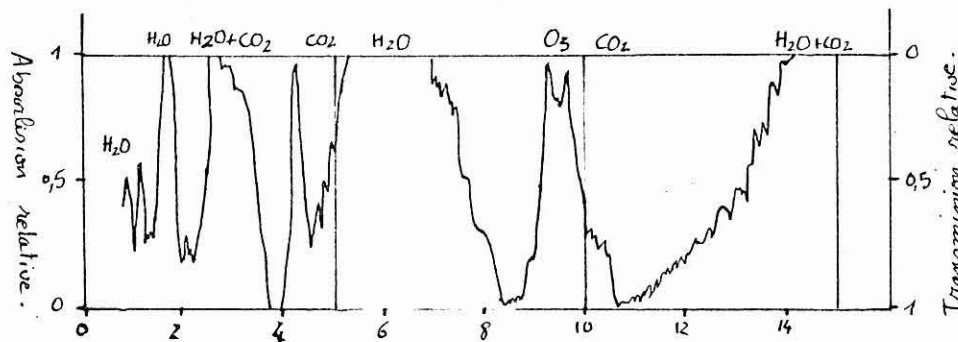
L'ozone

L'influence de l'ozone est nette pour des altitudes dépassant 10.000 m. Nos altitudes de vol étant inférieures à 4.000 m, ce facteur est négligeable.

Éléments mineurs

Certains éléments peuvent, parfois, être présents et modifier l'absorption atmosphérique. Il s'agit par exemple du méthane (CH_4) absorbant vers 3,5 et 7,7 μ et de l'oxyde de carbone (CO) absorbant vers 4,7 μ .

Toutefois, l'influence de ces gaz n'est qu'exceptionnelle.



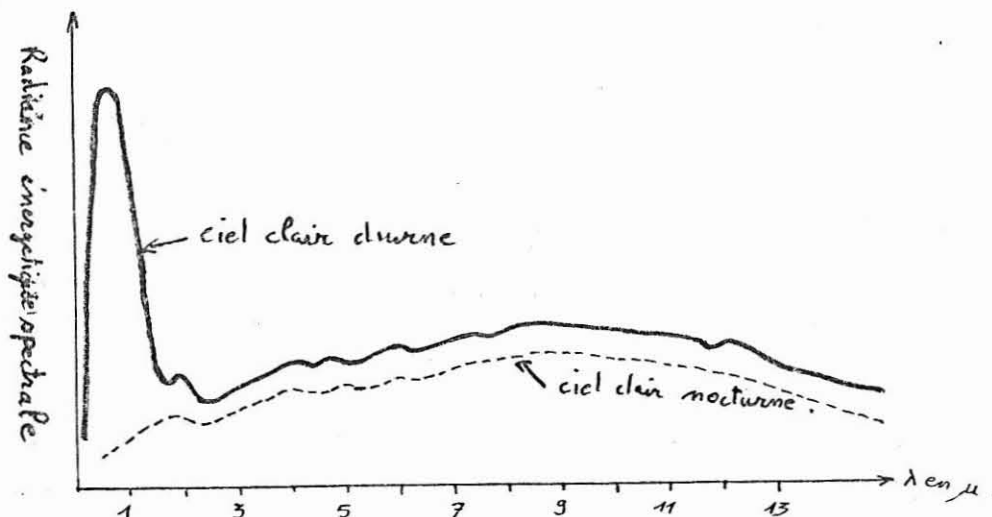
courbe typique d'absorption atmosphérique verticale.

2.2.2 Émission atmosphérique.

D'après la loi de STEFAN-BOLTZMANN, à une température

donnée, la longueur d'onde pour laquelle l'absorption est la plus grande est aussi celle pour laquelle l'émission est maximum. Cependant, sur un trajet verticale, la température et la composition atmosphérique varient. A l'émission, il faut ajouter les phénomènes de réflexion sur les nuages qui rendent complexes la connaissance de l'émission atmosphérique.

Nous donnons à titre d'exemple, une courbe synthétique représentant les courbes d'émission verticale dans le cas d'un ciel clair de jour et de nuit.



Ces deux courbes sont semblables, l'émission pour un ciel nocturne étant inférieure de 20 à 30 % à celle d'un ciel diurne. La seule différence importante est située dans la région du proche infrarouge au-dessous de 2μ . Il est possible d'éliminer cette partie du spectre au moyen de filtres, et de faire des enregistrements de jour et de nuit. Toutefois, il est délicat de travailler dans le jour, l'émission naturelle entre 3μ et 5μ n'étant pas suffisante pour rendre totalement négligeable d'autres facteurs, par exemple la réflexion.

Cet inconvénient disparaît presque totalement pour les infrarouges lointains (à partir de 10μ).

2.3 Les Fenêtres atmosphériques pour l'infrarouge.

L'ensemble de ces deux phénomènes d'absorption et d'émission permet de distinguer dans le spectre du rayonnement infrarouge deux catégories de bandes de radiations :

-Celles dont les longueurs d'onde correspondent à des zones d'absorption des constituants atmosphériques. A ce moment là, les radiations émises à la surface du sol sont absorbées pendant leur trajet vertical et ne sont pas décelables en altitude.

-Celles dont les longueurs d'onde ne sont pas absorbées par l'atmosphère. Ces bandes sont appelées "fenêtres atmosphériques".

Dans leur limite, il est possible de capter en altitude les radiations émises au sol.

Les appareils de télédétection sont équipés de cellules choisies en fonction de ces "fenêtre".

Dans la zone du spectre de 1 à 12μ , ces dernières sont au nombre de 6 principales :

	Longueur d'onde
1ère fenêtre	1 - 1,07 μ
2ème "	1,18 - 1,23 μ
3ème "	1,58 - 1,70 μ
4ème "	2,18 - 2,3 μ
5ème "	3,5 - 4 μ
6ème "	9 - 11 μ

Les fenêtres les plus utilisées sont :

3 - 5 μ dans l'infrarouge moyen (surtout de nuit)
10 - 12 μ " " lointain (de jour et de nuit)

L'atmosphère laisse passer dans certaines conditions les radiations infrarouges et certains appareils sont susceptibles de les capter.

Parmi eux, se trouvent les appareils photographiques, mais les films couramment utilisés ne sont plus sensibles au-delà de 0,9 μ .

Pour les longueurs d'onde, les détecteurs utilisant les propriétés photoélectriques de certains corps, sont placés devant un dispositif balayant régulièrement la surface.

DEUXIEME PARTIE
VECTEURS

En télédétection, hors mis l'appareillage, les vecteurs permettant la collecte des données sont de trois sortes :

- Les satellites placés sur une orbite en haute altitude,
- Les ballons (ne concernant pas notre étude),
- Les avions pouvant travailler en haute et moyenne altitude (de 100 à 12 000 m).

Nous ne nous intéresserons qu'à la première et la troisième classe et nous en caractériserons la technologie propre ainsi que l'appareillage de télédétection.

I. LES SATELLITES AMERICAINS.

1.1 ERTS (les figures relatives à ce satellite proviennent de Data Users Handbook, Nasa ERTS).

La NASA avait inscrit des expériences de "Ressources Terrestres" dans les programmes de certains vols habités : Gemini et Apollo. Les résultats très encourageants obtenus l'ont amené à présenter un projet de recherche et de surveillance des ressources terrestres par satellite qui a été approuvé en 1969.

Deux satellites, baptisés Earth Ressources Technology Satellites (ERTS A et B), sont inscrits à ce programme. Le lancement du premier a été effectué en mars 1972, l'autre était prévu pour l'année suivante mais pour des raisons budgétaires ERTS B est resté au sol.

1.1.1 Objectifs :

Les objectifs sont les suivants :

- . En agriculture : distribution et rendement
maladie et usure des terres.
- . En sylviculture : dénombrement et répartition
des forêts - surveillance
(incendies, maladies).
- . En géologie : recherche de gisements pétroliers
et de richesses minérales - pré-
visions des éruptions volcaniques,
tremblements de terre, glissements
de terrain.
- . En hydrologie : dénombrement - pollution - sur-
veillance des crues.
- . En océanographie : voies maritimes - pêches -
géographie côtière - biolo-
gie marine.
- . En géographie : voies de pénétration et d'échange-
navigation - urbanisme.
- . Environnement : qualification de l'air et de
l'eau - surveillance et détec-
tion des pollutions.

1.1.2 Définition de l'orbite :

Le satellite doit être dans les meilleures conditions pour recueillir des données de l'hémisphère ensoleillée. Il sera donc mis sur une orbite rétrograde puisqu'une telle orbite précessionne dans le sens du moyen mouvement du soleil autour de la terre et de la même quantité angulaire (1 degré par jour). Ainsi le moyen mouvement est compensé et la disposition relative du satellite et du soleil rest sinon immuable du moins ne se modifie que très lentement. L'orbite rétrograde devra également être circulaire pour permettre une meilleure conservation des échelles de prise de vue;

L'orbite d'ERTS est une orbite héliosynchrone c'est à dire qu'elle garde toujours la même position par rapport au soleil.

La terre fait $\Omega = 0,9856^\circ$ par jour autour du soleil.

Il faudra donc que ω du satellite soit de $0,9856^\circ$ par jour en orbite rétrograde afin de garder la même position autour du soleil.

$$\text{Or } \Omega = 9,97 \cos i \left(\frac{R_0}{a} \right)^{7/2}$$

Avec : i = angle du plan normal orbite.

R_0 = rayon de la terre

a = 1/2 grand axe

$$\omega = 0,9856 = - 9,97 \cos i \left(\frac{R_0}{a} \right)^{7/2}$$

Afin d'avoir une couverture correcte du sol il faut une liaison entre i et a .

Δ : décalage au bout d'un orbite.

Ψ : vitesse de rotation de la terre : $360,986^\circ$ par jour.

Ω : vitesse de rotation au noeud : $- 0,9856^\circ$ par jour.

$$\Delta = (\Psi - \Omega) T$$

$$\text{donc } \Delta = 360T = 360/n_0$$

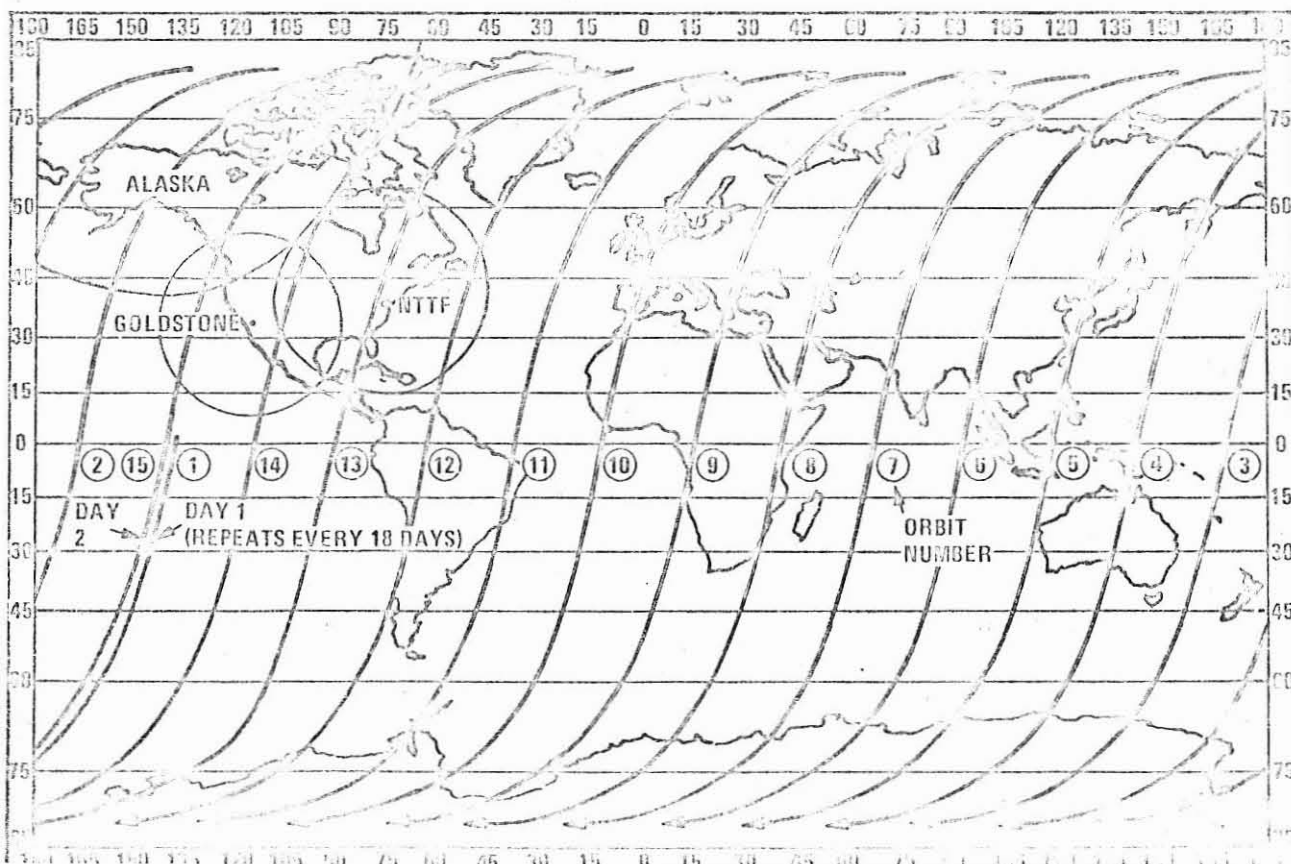


Figure 2.1 :
Type de revolutions d'un satellite en 24 h.

si $n_0 = p$ (nombre entier) on passera au même endroit à la même heure.

si $n_0 = p - \epsilon$ il y aura décalage.

soit $x =$ décalage entre orbite 1 du jour 1 et orbite 2 du jour 2, au bout de p orbites on aura le décalage :

$$x = p\Delta - 360$$

soit $x = \frac{360 p}{p - \epsilon} - 360 = \frac{360}{p/[\epsilon - 1]}$ soit q jours.

si $x = \frac{\Delta}{q}$ au bout de q jours on aura décalé de Δ (décalage au bout d'une orbite), donc l'orbite 1 du q ème jour sera égale à l'orbite 2 du jour 1. On aura $q = 1/\epsilon =$ durée du cycle de couverture.

Il suffira donc de se donner le nombre de km désirés sur la photo et de choisir x afin que chaque cliché fasse la continuité des autres. Pour ERTS la distance séparant 2 photos est de 168 km et tous les 18 jours on repasse sur le même point à la même heure. C'est à dire qu'il survole la surface entière de la terre en 18 jours, (251 révolutions). Les autres caractéristiques d'orbites sont :

$T = 103'16''$ pour une révolution autour de la terre soit 14 orbites par jour.

$i = 99,088^\circ$

altitude $a = 492$ nautics mile soit 930 km.

orbite circulaire afin de conserver les échelles de prise de vue.

1.1.3 Le satellite ERTS A - description physique

Le satellite ERTS A utilise la structure des satellites météorologiques du type NIMBUS et se présente comme un ensemble de trois éléments :

- la partie inférieure en forme d'anneau dans laquelle se trouvent les caméras, les senseurs et l'électronique de réception et d'émission.
- la partie supérieure en forme d'hexagone dans laquelle sont groupés les organes de stabilisation et de contrôle d'attitude et les panneaux solaires.
- une armature de poutrelles métalliques assurant la liaison entre la partie inférieure et la partie supérieure.

Le satellite a les dimensions suivantes :

Dimensions hors tout (panneaux solaires déployés) : 2,90 m

Diamètre de la partie inférieure : 1,50 m

Hauteur de la partie inférieure : 40 cm

Poids : 570 kg.

La partie "utile" du satellite étant la partie inférieure il faut que celle-ci soit orientée vers la terre. Le satellite est également soumis à des perturbations qui le contraignent à des mouvements désordonnés. Il est nécessaire de contrôler son attitude et de le stabiliser par un système de stabilisation actif, selon trois axes qui sont :

- X, l'axe de roulis, perpendiculaire à l'axe de lacet, est parallèle au plan de l'orbite dans le sens du déplacement sur l'orbite.
- Y, l'axe de tangage, perpendiculaire à l'axe de lacet

...

et à l'axe de roulis, est parallèle à la direction du rayonnement solaire.

- Z, l'axe de lacet est dirigé vers le centre de la terre.

Le système de stabilisation et de contrôle d'attitude comprend :

- a) 2 senseurs d'horizon à balayage circulaire
- b) 1 senseur solaire grossier
- c) 1 gyroscope
- d) des tuyères à gaz
- e) 3 volants inertiels actionnés par moteur et calés chacun sur un des 3 axes définis plus haut.

Ce système devrait permettre de connaître et maintenir l'attitude du satellite

- à 0,7 degré en tangage et roulis
- à 0,8 degré en lacet.

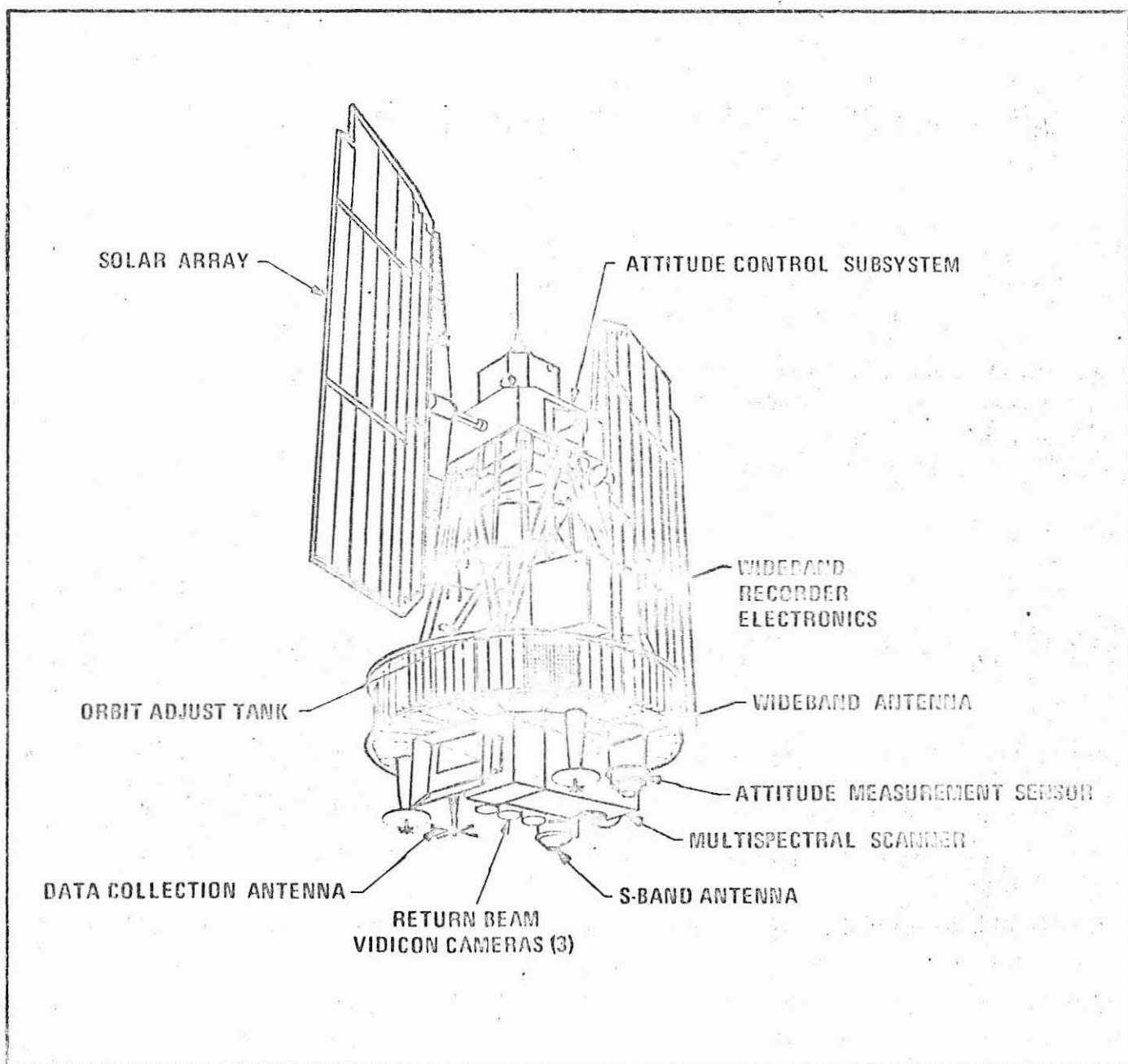


Figure 2.2: Aspect externe de ERTS.A

1.1.4 Les senseurs "ressources terrestres"

L'équipement senseurs "ressources terrestres" d'ERTS.A se compose de :

- de 3 caméras "Return Beam Vidicon" (RBV)
- d'un système à balayage multispectral (4 bandes) "Multispectral Scanning System" (MSS)

dont les caractéristiques sont les suivantes :

	R B V			M S S			
	Caméra 1	Caméra 2	Caméra 3	Bande 1	Bande 2	Bande 3	Bande 4
Bande du spectre (μm)	0,475 0,575	0,580 0,680	0,690 0,830	0,5 0,6	0,6 0,7	0,7 0,8	0,8 1,1
Résolution (m)	45	45	56	79	79	79	79
Dimension terre restre des données (Km)	185 x 185	185 x 185	185 x 185	185	185	185	185

1.1.4.1 Caméras "RBV"

N'intéressent pas notre étude.

1.1.4.2 Système à balayage multispectral "MSS"

Le MSS est composé de 24 détecteurs disposés au point focal d'un télescope soit 6 détecteurs pour chacune des 4 bandes spectrales considérées.

L'image est réfléchiée dans le télescope par un miroir oscillant qui balaye la surface terrestre sur une bande de 185 km de long normale à la trace sous satellite; cf. figure 23.

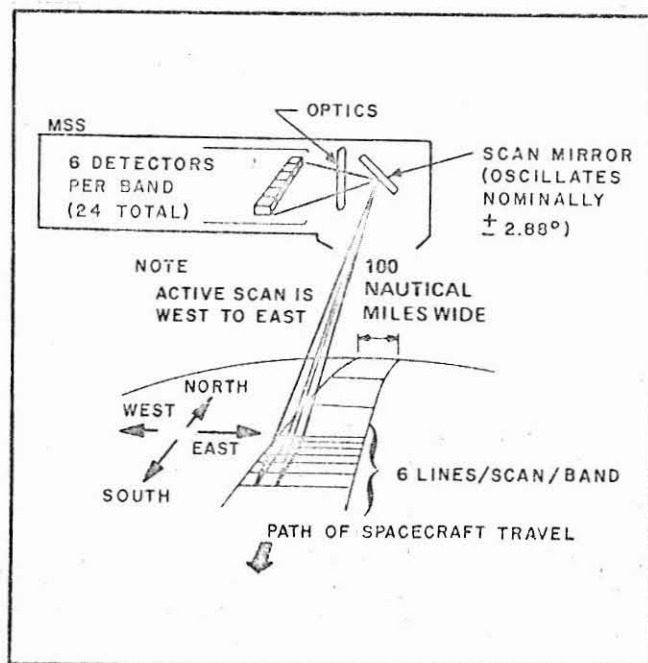


Figure 23 : Représentation schématique du fonctionnement du MSS. ...

Chaque détecteur est sensibilisé par l'énergie optique rayonnée pendant 14 microsecondes par une surface terrestre de 79 x 79 mètres. L'information recueillie est codée en mots de 6 bits ce qui conduit à un volume d'information de $2,5 \cdot 10^6$ bits par seconde.

Le miroir de balayage est actionné mécaniquement à 13,62 Hz à partir d'un compteur alimenté par le générateur de bits. Son mouvement n'est cependant pas synchronisé précisément sur l'étalon de temps. Deux pulses générés par une optique de contrôle de la position angulaire du miroir fournissent l'indication de début et de fin de balayage de la zone de 185 km de longueur.

Le mouvement de balayage du miroir est précis mais la stabilité de la position mécanique n'autorise pas l'usage d'un format rigoureux pour la transmission des données.

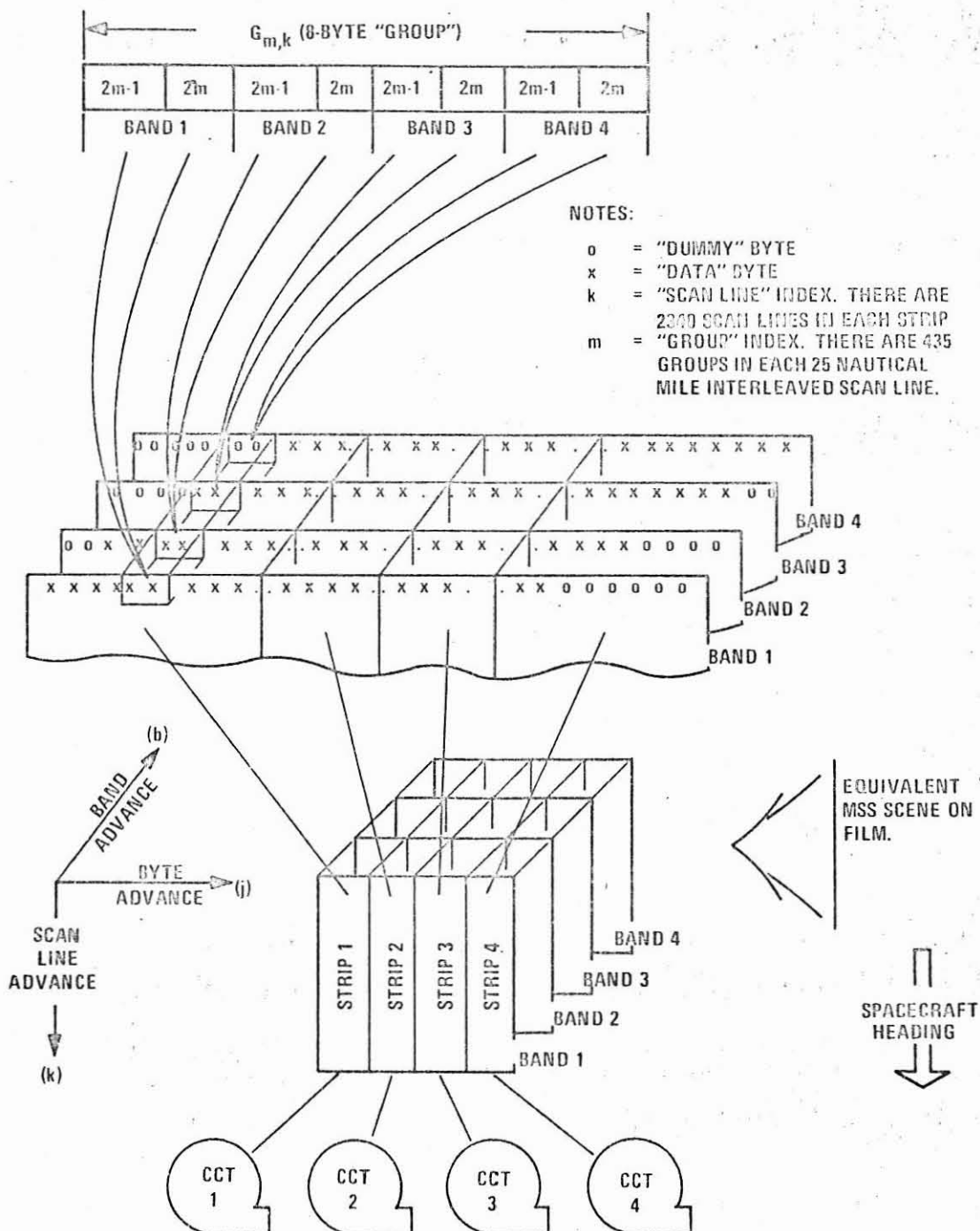


Figure 2.4: Système d'écriture sur bande magnétique des données dans chaque canal

Celui-ci commence par un préambule (000111) fournissant à la fois la synchronisation de bit et de mot transmis pendant 13 millisecondes. Quand le premier pulse généré par l'optique de contrôle (qui indique que le balayage commence) est reçu, le préambule suivant est transmis intégralement puis son complément (111000).

Les données sont transmises par format de 25 mots, le premier mot est un mot de synchronisation, les 24 autres sont les données des 24 détecteurs.

Après environ 3.300 formats le deuxième pulse généré par l'optique de contrôle (qui indique la fin du balayage) déclenche la transmission de 100 mots de niveau de référence noir suivi de 100 mots de référence blanc.

Ce code est utilisé pour permettre lors du traitement des données qu'une image soit faite même si un nombre de formats différents a été transmis pour une même surface de zones balayées; cette différence étant due à une variation de vitesse de balayage du miroir.

Tout comme les caméras RBV les données MSS peuvent être soit transmises en temps réel par le système de transmission à large bande lorsque le satellite est en vue d'une station au sol, soit stockées sur bandes magnétiques (cf. figure 2.4) par deux enregistreurs vidéo embarqués.

1.1.5 Enregistreurs vidéo

Deux enregistreurs vidéo sont embarqués pour le stockage des données RBV et MSS lorsque le satellite n'est pas en vue de stations au sol.

Ces enregistreurs sont à balayage transversal. Leur capacité d'enregistrement est de 30 minutes de données à large bande. Outre les données vidéo, deux autres pistes contiennent, l'une des informations préenregistrées sur la longueur de déroulement de la bande magnétique permettant ainsi une programmation efficace de l'utilisation de l'enregistreur, l'autre les données vidéo assurant une redondance des informations sur l'attitude et le temps.

L'enregistreur est optimisé pour stocker les données RBV. A cet effet 4 têtes vidéo ayant un fonctionnement de 800 microsecondes chacune (durée d'une ligne d'information RBV) sont disposées sur une roue. Les caméras sont en phase avec l'enregistreur de telle sorte qu'il y ait commutation d'une tête à l'autre durant l'intervalle de synchronisation évitant ainsi l'introduction d'un signal transitoire dans les données.

Les données MSS à 15 mégabits/seconde sont enregistrées comme une sous-porteuse modulée en fréquence avec un signal cohérent à 1,5 Mhz ajouté à la sous-porteuse pour fournir une information de temps au système de décision de bits. Les données MSS sont continues et l'erreur en temps résultant du passage d'une tête vidéo à une autre peut être supérieure à 50 nanosecondes (temps très proche de la durée d'un bit).

Afin d'obtenir à la sortie des données uniformes, le système comprend un extracteur de temps avec amplificateur intermédiaire de telle sorte que les données peuvent être synchronisées en temps par un contrôle en tension d'un oscillateur à crystal. La stabilité de taux de bit à la sortie est de 1.10^{-4} . Le taux d'erreur de bit est de 1.10^{-5} en l'absence de défaut majeur de l'enregistreur.

1.1.6 Système de collecte des données

Environ un millier de plateformes équipées de senseurs recueillent les conditions d'environnement local (courant, épaisseur de la couche neigeuse, humidité au sol) et les transmettent au satellite lorsque celui-ci est en visibilité simultanée plateforme-station de télécommande et de télémétrie.

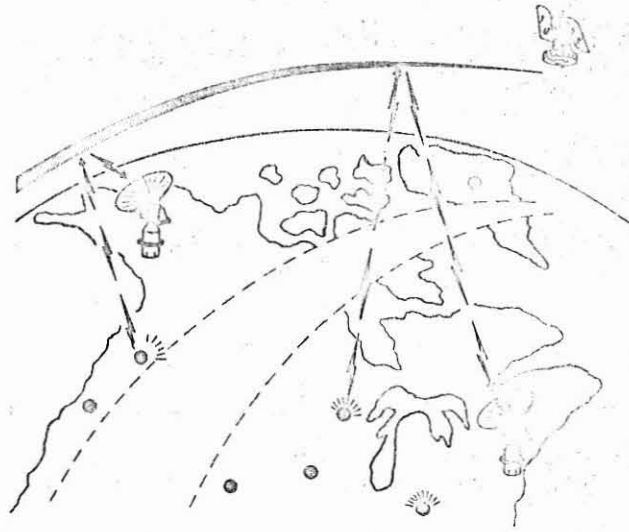


Figure 2.5 : Système de collecte des données.

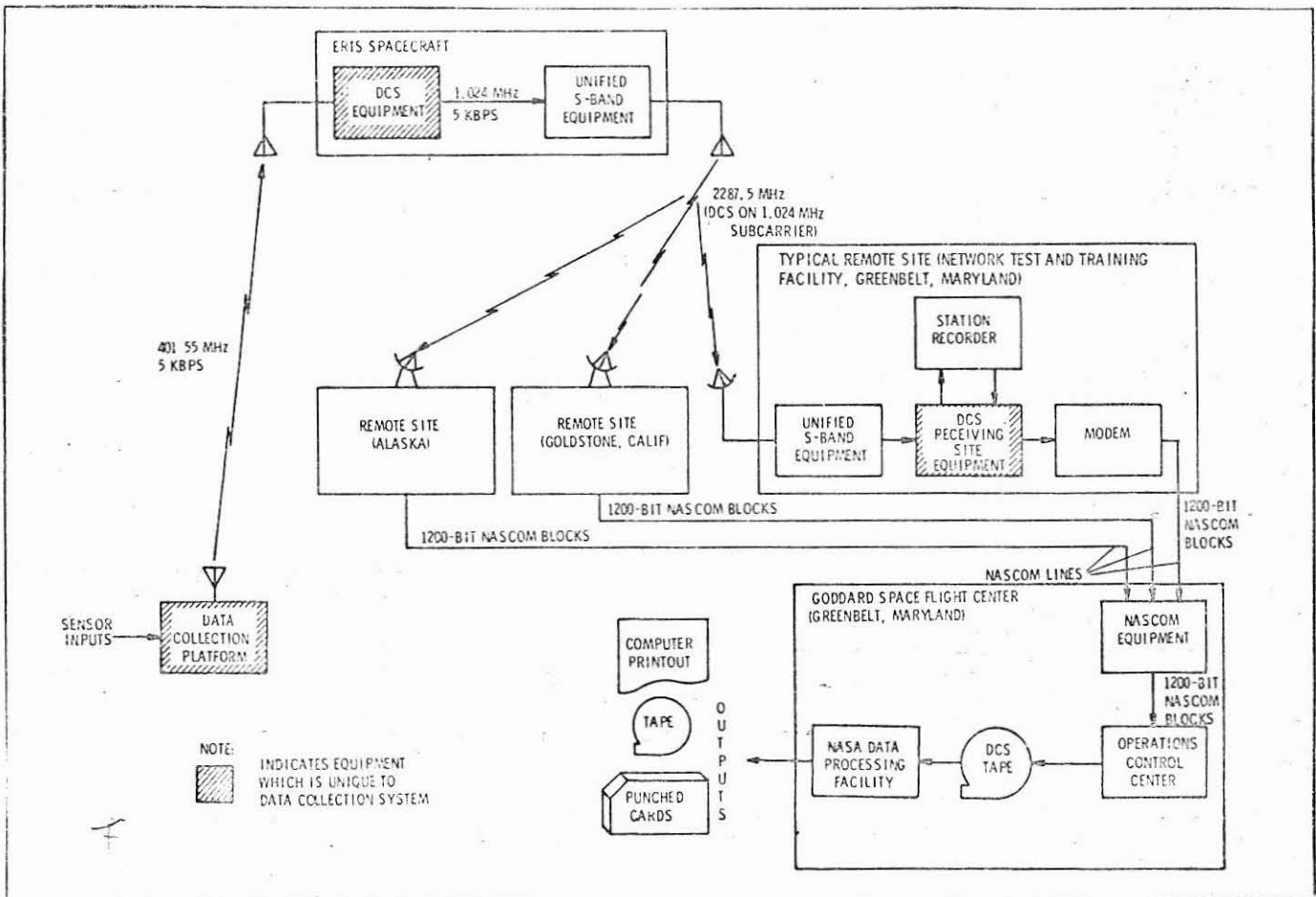


Figure 2.6 : Diagramme du système de collecte des données ...

Le système se compose de 3 parties :

- Les plateformes qui recueillent et transmettent leurs données au satellite.
- Le récepteur adapté du satellite et un convertisseur transformant les données reçues en une sous-porteuse de la bande S pour la retransmission à la station au sol.
- Un équipement de réception et de demodulation au sol, permettant la mise en format des données pour leur transmission au centre de contrôle ERTS.

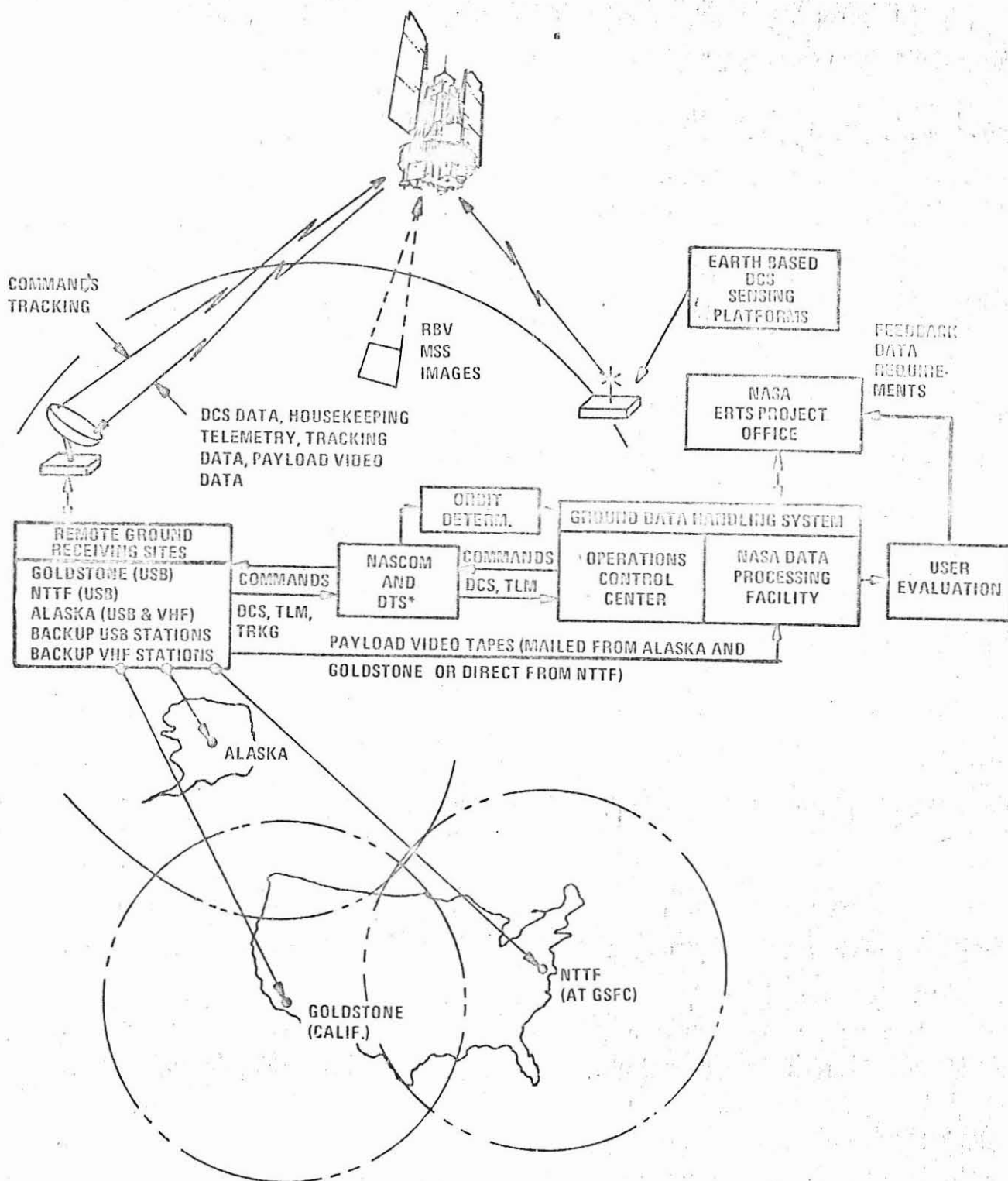


Figure 2.7 : Schéma des systèmes de télécommande et de transmission.

Les plateformes transmettent toutes les 3 minutes un flot de données de 38 millisecondes composé de 64 bits d'information, 27 bits de synchronisation et d'identification de la plateforme, et 4 bits de fin de transmission.

1.1.7 Les stations au sol

Les équipements de télémétrie, télécommande et localisation ont été développés pour être compatibles avec les équipements des stations sol du Manned Space Flight Network (MSFN) et Space Tracking and Data Acquisition (STADAN). Trois stations situées à Fairbanks (Alaska) Goldstone (Californie) et Greenbelt (Maryland) ont reçu les équipements nécessaires à la réception des informations RBV, MSS et plateformes de données.

Les informations analogiques RBV sont démodulées et enregistrées directement par un enregistreur vidéo à large bande.

Un synchronisateur de bit est alimenté par les données MSS pour fournir des informations digitales. Ces données alimentent un démultiplexeur qui les sépare en 25 canaux PCM correspondant aux 24 senseurs et à la synchronisation.

Le taux de bit de chaque sortie est de 600 kilobits. Les données résultantes ainsi que les informations de temps, sont enregistrées par un enregistreur magnétique à 28 canaux à 10.000 bits par pouce.

Les bandes enregistrées RBV et MSS sont envoyées au centre de traitement dans les divers formats et distribution aux différents expérimentateurs et utilisateurs.

1.2 SKYLAB (figures provenant de SKYLAB Program, Erep Investigators' Information Book NASA).

Le programme SKYLAB fut établi, équipé et maintenu en orbite de mai 1973 à janvier 1974.

Il comporta 4 laboratoires spatiaux : SL1, 2, 3, 4 équipés de trois hommes et lancés respectivement les 14 et 15 mai et les 8 août et 9 novembre 1973. (cf. figure 2.8)

1.2.1 Objectifs :

Ils comportent :

- . des expériences médicales
- . des expériences d'astronomie solaire
- . des expériences techniques
- . des études de "ressources terrestres" dans le visible, l'infrarouge et les hyperfréquences.

1.2.2 Définition de l'orbite :

A une altitude de 234 miles nautiques, soit environ 450km, l'orbite, d'une inclinaison de 51°, pour les 4 missions a été choisi de sorte que le laboratoire spatial survole le même point toutes les 71 révolutions (soit aproximativement tous les 5 jours), chaque passage se faisant environ deux heures plus tôt, en heure locale, que le passage précédent. (cf. figure 2.9)

1.2.3 Description physique du satellite habité SKYLAB

Lancé par une fusée de type Saturne V (cf figure 2.10), ...

le laboratoire spatial se présente selon la figure 2.4;

Parameters	Mission			
	SL-1	SL-2	SL-3	SL-4
Launch, date	May 14, 1973	May 15, 1973	Aug. 8, 1973	Nov. 9, 1973
Launch, calendar day . . .	134	135	220	313
Launch time, G.m.t., hr:min:sec	17:30:00	16:59:36	06:42:36	16:54:18
Apogee/perigee, n. mi. (after orbit trim maneuver)	234.6/232.9	234.6/232.9	235.7/231.4	236.7/230.8
Mission duration, days	---	28	56	56
Experiment, allotted days	---	21	46	46
Storage period, days . . .	---	---	57	37
Splashdown, date	---	June 12, 1973	Oct. 3, 1973	Jan. 4, 1974
Splashdown, calendar day	---	163	276	4

Figure :2.8: Paramètre^s des 4 missions de SKYLAB.

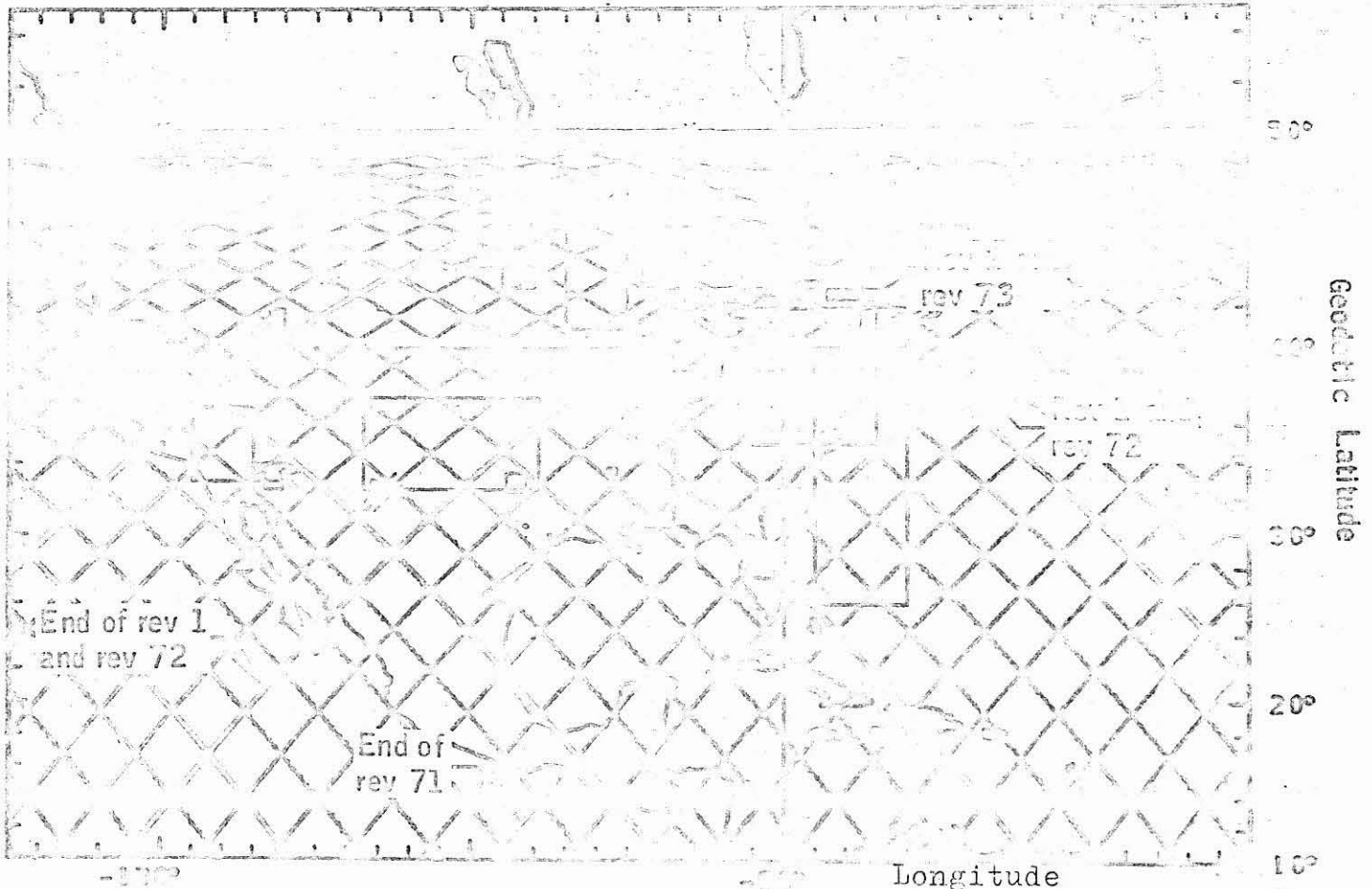


Figure :2.9: Type de passage pour 5 jours consécutifs

Ce laboratoire comporte :

- un atelier orbital (orbital workshop)
- un sas (airlock module)
- un adaptateur multiple d'entrée (multiple docking adapter)
- le support d'un télescope Apollo (Apollo telescope mount)
- un module de commande et de service (command and service module)

Figure 2.10: Configuration du lanceur Saturne V.

1.2.4 Les senseurs (cf. Figure 2.12)

1.2.4.1 La caméra multispectrale S190A

Les caractéristiques en sont données figures 2.13 et 2.14

Design bandwidth, μm	Film	Expected dynamic resolution, ft
0.5 to 0.6	PAN-X BW (SO-022)	99 30
.6 to .7	PAN-X BW (SO-022)	91 30
.7 to .8	IR BW (EK-2424)	223 74
.8 to .9	IR BW (EK-2424)	223 74
.5 to .88	IR color (EK-2443)	187 62
.4 to .7	HI-RES color (SO-056)	78 26

Figure 2.13: Résolution selon film et longueur d'onde.

...



Figure 2.11 : Configuration du laboratoire spatial SKYLAB.

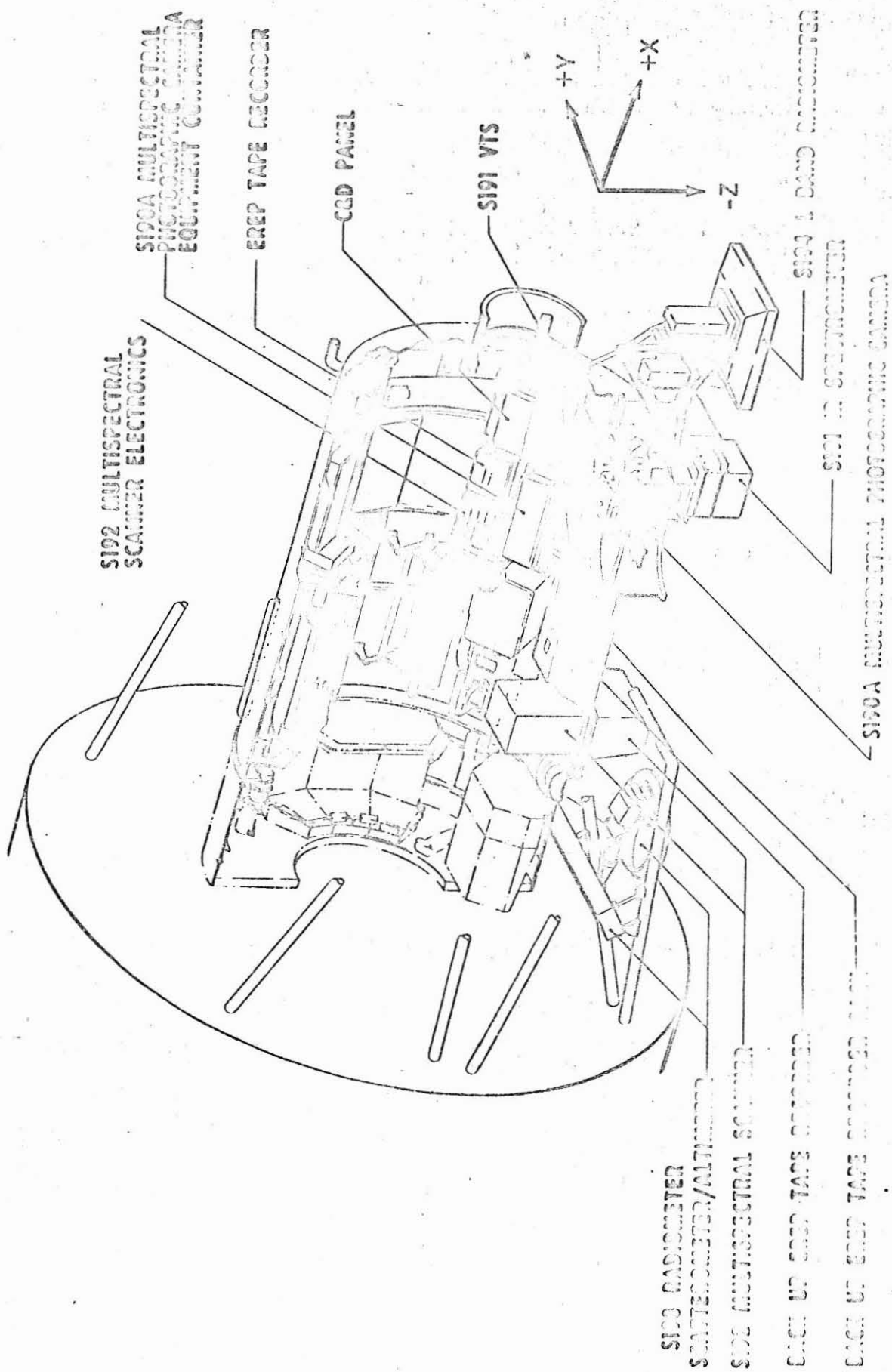


Figure 2.12: Installation des télésenseurs à bord de SKYLAB. ...

Cette caméra fournit des images radiométriquement et métriquement précises des variations de radiance du sol.

Station no.	Design bandwidth, μm	Film, 4-mil base	Filter
1	0.7 to 0.8	IR aerographic B&W, type EK 2424	CC
2	.8 to .9	IR aerographic B&W, type EK 2424	DD
3	.5 to .88	Aerochrome IR color, type EK 2443	EE
4	.4 to .7	Aerial color (high-resolution), type SO-356	FF
5	.6 to .7	PAN-X aerial B&W, type SO-022	BB
6	.5 to .6	PAN-X aerial B&W, type SO-022	AA

Figure 2.14: Combinaison film-filtre selon la longueur d'onde.

1.2.4.2 La caméra S190B

Les caractéristiques en sont données figures 2.15 et 2.16

Type	Description	Wavelength, μm	Filter
SO-242	Aerial color, high-resolution	0.4 to 0.7	None
EK 3414	High-definition aerial B&W	.5 to .7	W-12
EK 3443	Aerochrome IR, color	.5 to .88	W-12

Figure 2.15: Combinaison film-filtre selon la longueur d'onde.

Elle a pour but d'obtenir des photographies à haute résolution.

Wavelength, μm	Film	Resolution, line pairs/mm	Resolution, ft
0.4 to 0.7	SO-242	100	50 46
.5 to .7	EK 3414	114	50 46
.5 to .88	EK 3443	31	99 33

Figure 2.16: Résolution selon film et longueur d'onde.

1.2.4.3 Le spectromètre infrarouge S191

Les caractéristiques en sont données figure 2.17

Filterwheel segment, μm	Resolution, μm	Wavelength accuracy, μm
0.39 to 0.73	0.0115 ± 0.0015	0.0013
.68 to 1.4	$.0185 \pm .0040$.0032
1.34 to 2.51	$(1.5 \pm 0.2)\% \times \lambda$.0025
5.82 to 11.4	$(1.9 \pm .2)\% \times \lambda$.012
8.30 to 15.99	$(1.9 \pm .2)\% \times \lambda$.015

Figure 2.17: Résolution et précision selon la longueur d'onde.

1.2.4.4 Le scanner multispectral S192

Les caractéristiques en sont données figure 2.48

Band no.	Bandwidth, μm	Atmospheric transmission, percent	Noise equivalent reflectivity, percent (a)
1	0.41 to 0.46	45	1.2
2	.46 to .51	45	.9
3	.52 to .56	55	.8
4	.56 to .61	55	1.1
5	.62 to .67	60	1.9
6	.68 to .76	65	1.5
7	.78 to .88	70	1.4
8	.98 to 1.08	80	1.2
9	1.09 to 1.19	50	.9
10	1.20 to 1.30	80	2.0
11	1.55 to 1.75	70	1.6
12	2.10 to 2.35	70	2.0
13	10.2 to 12.5	90	^b 1.25° K

Figure 2.48: Pourcentage de transmission atmosphérique et de "bruit" selon la longueur d'onde.

1.2.4.5 Le radiomètre à hyperfréquence, l'altimètre et le rétrodiffusiomètre (scatterometer) S193

1.2.4.6 Le radiomètre en bande L S194

1.3 NOAA.2

Ce satellite fait partie de la nouvelle génération des satellites météorologiques américains, l'ancienne génération comprenant TIROS, NIMBUS, ESSA, ITOS.

NOAA.2, lancé le 15 octobre 1972, se déplace sur une orbite à 1 450 km d'altitude.

Ce satellite, équipé en particulier de 2 VHRR (very high resolution radiometer) travaillant dans le visible (0,5-0,7 μ) et l'infrarouge moyen (10-12 μ) fournit une couverture du globe entier par jour, à la fois de nuit et de jour, et permet une résolution au sol de 8 km environ.

Pour l'Europe NOAA.2 est en liaison directe avec l'observatoire de Bochum (Allemagne de l'Ouest).

II. LES AVIONS TRAVAILLANT EN HAUTE ET MOYENNE ALTITUDE.

Le type de ces avions varie du :

...

particuliers.

- petit "Piper Club"
- "DC 4"
- voir même au "Vautour"

L'équipement général de télédétection se compose :

- de systèmes photographiques (surtout caméras "Hasselblad" équipés d'émulsions conventionnelles actuelles
 - . panchromatique
 - . couleurs
 - . infrarouge etc.
- de ce que nous appellerons des "senseurs" (les seuls nous intéressant pour les thermographies, en particulier les détecteurs infrarouge à balayage).

Il existe deux sortes de "senseurs":

- les "senseurs" actifs qui envoient des radiations puis les captent après réflexion sur le sujet étudié (par exemple le R.A.D.A.R.).
- les "senseurs" passifs qui utilisent uniquement les radiations émises naturellement par la source.

à scanner

Les détecteurs infrarouges à balayage sont uniquement des senseurs passifs. Parmi ceux-ci, nous distinguerons deux types d'appareils :

- les détecteurs à balayage simple. L'image est obtenue par un déplacement du détecteur, accompagné d'un balayage perpendiculaire à ce déplacement, effectué au moyen d'un miroir tournant.
- les détecteurs à double balayage (type télévision). Ce double balayage dans deux directions perpendiculaires, permet d'obtenir une image sans déplacement du détecteur.

Dans le cadre de ce travail, les seuls appareils utilisés sont ceux du premier genre.

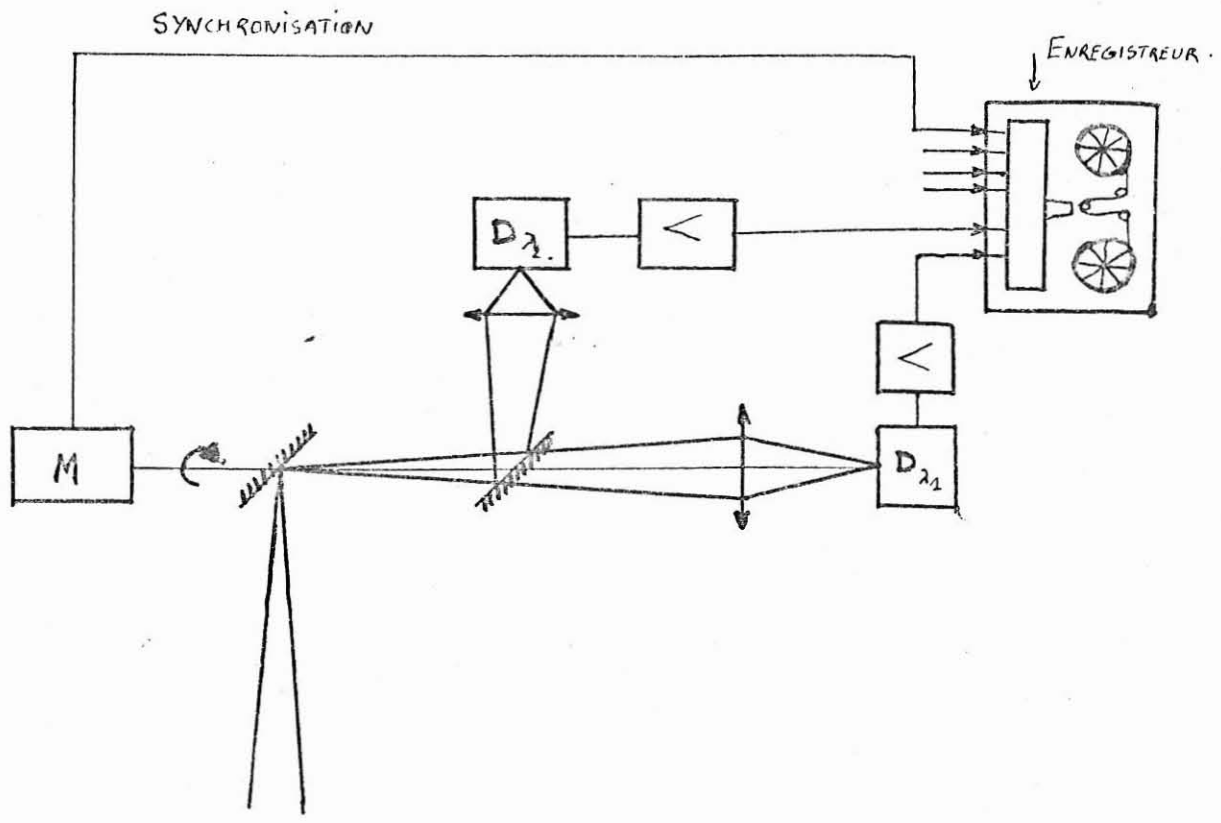
2.1 Principe du scanner cyclope.

Il s'agit d'un senseur passif, sensible aux radiations émises entre 3 et 5 à la surface du sol. Cf. la figure page suivante, schématisant les principaux éléments de ce scanner.

Un miroir incliné à 45° sur son axe de rotationⁿ capte le rayonnement émis par une "bande de sol", perpendiculaire à son axe de rotation; les radiations étant renvoyées parallèlement à cet

...

axe. Puis, le rayonnement est focalisé et dirigé vers une cellule formée d'un cristal d'antimoniure d'Indium refroidi à 77° K par de l'azote liquide. Un système de filtres optiques permet d'isoler les longueurs d'ondes utiles (de 3 à 5μ).



La cellule et l'électronique associées transforment l'énergie électromagnétique reçue en un signal électrique proportionnel à l'intensité du rayonnement incident. Après avoir été amplifié, ce signal est enregistré sur une bande magnétique et constitue le signal vidéo.

À chaque début et fin de ligne, un dispositif de synchronisation placé sur l'axe de rotation du miroir fournit des impulsions, qui sont enregistrées sur la même bande magnétique.

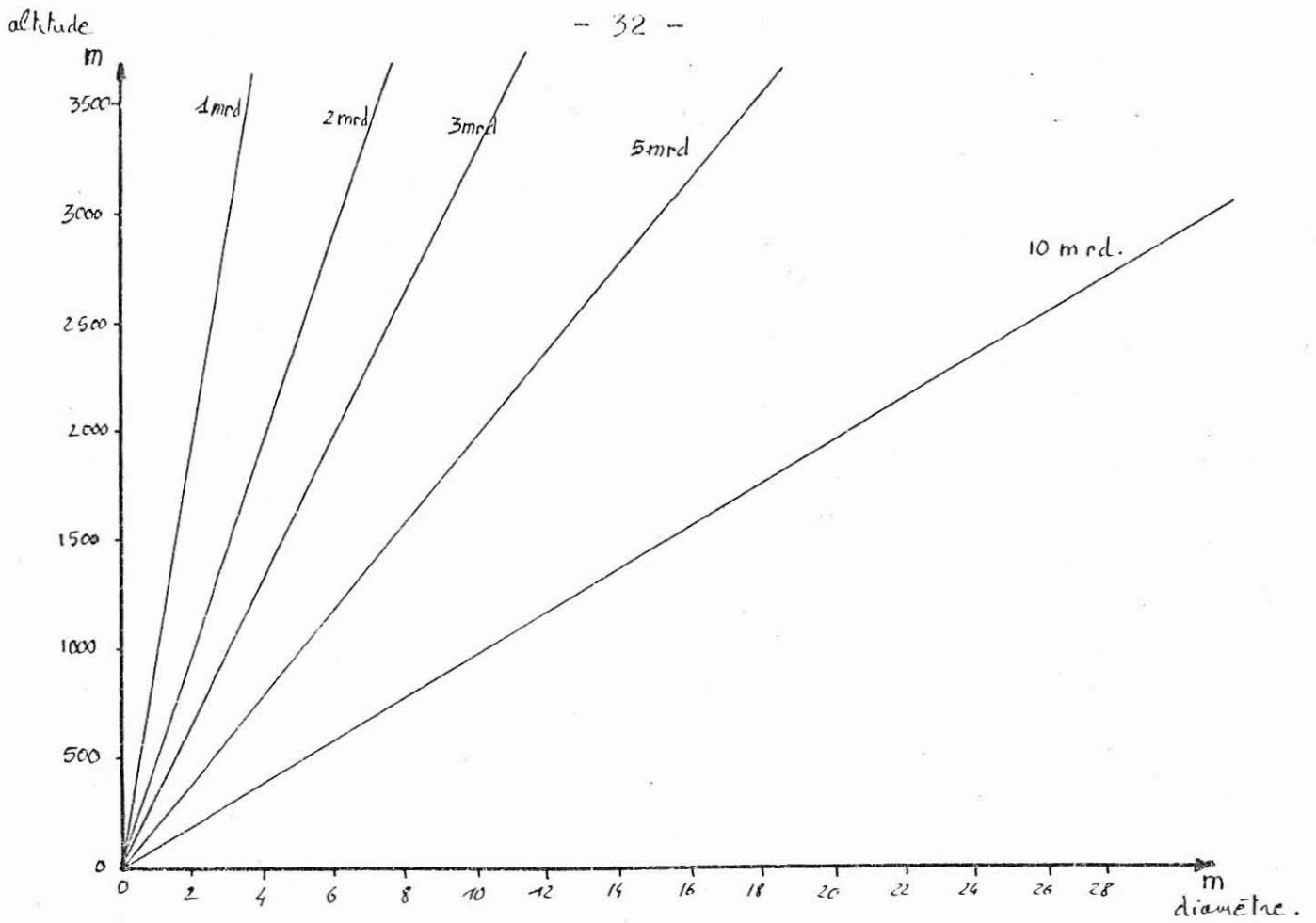
Ainsi, à chaque tour de miroir, sont enregistrés :

- Le signal vidéo qui représente les variations de brillance de la zone balayée.
- Les signaux de synchronisation, qui permettent une bonne restitution de l'image.

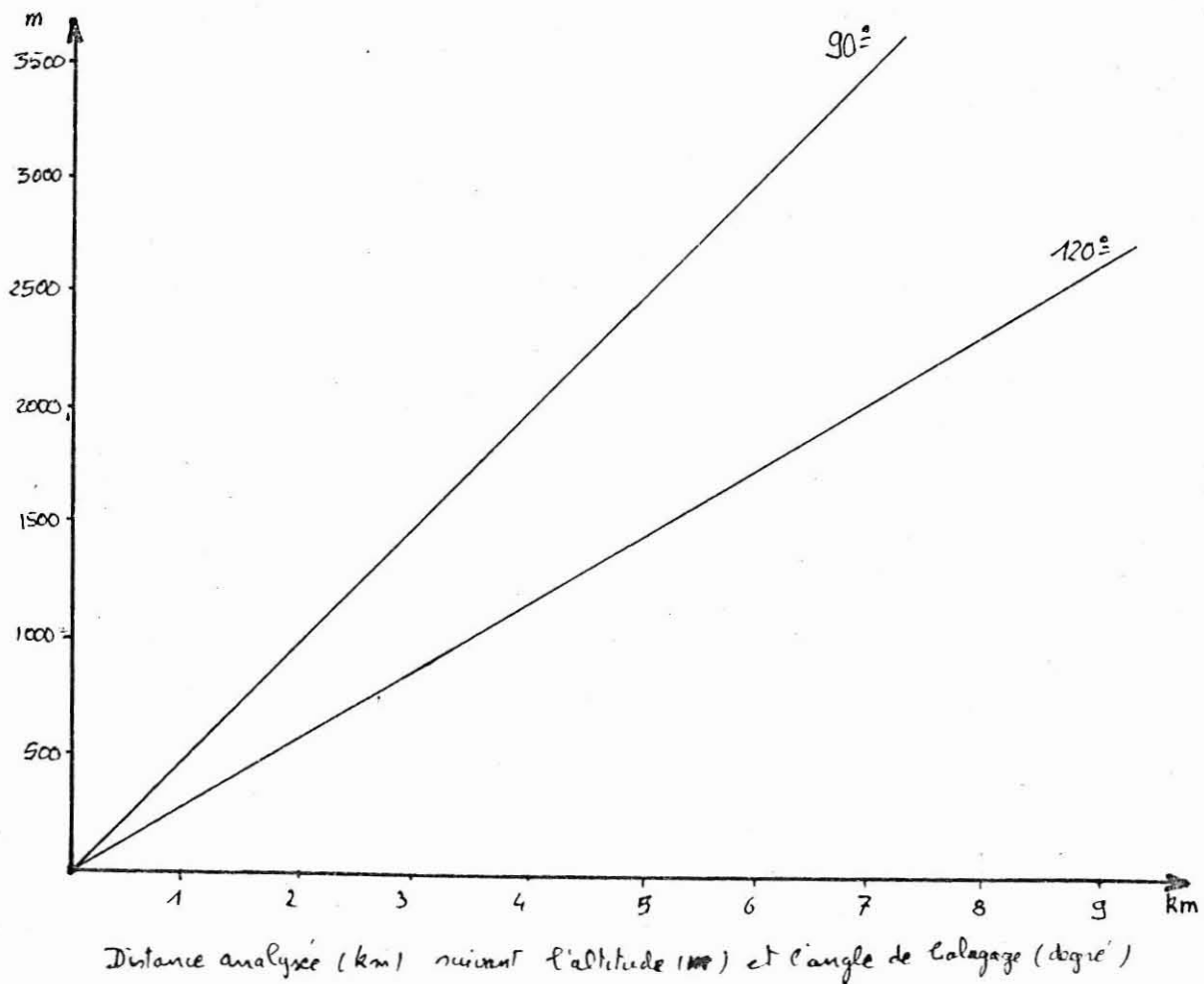
Selon les appareils, plusieurs paramètres peuvent varier : l'angle instantané d'analyse (résolution optique), la vitesse de rotation du miroir (lignage) et l'angle de balayage (champ de l'appareil) ; pour un appareil cyclone donné, l'angle instantané d'analyse est fixe (2,5 ou 5 mrd), la vitesse de rotation aussi (70 ou 160 tours/seconde) ; par contre, l'angle de balayage peut être choisi par l'utilisateur. Les angles les plus fréquents sont 90 ou 120

Suivant l'appareil employé et l'attitude de l'avion, la largeur de la tache au sol analysée par un tour de miroir est variable. La figure en page suivante est un abaque donnant le diamètre de la tache au sol à la verticale de l'appareil suivant l'altitude et l'angle instantané d'analyse.

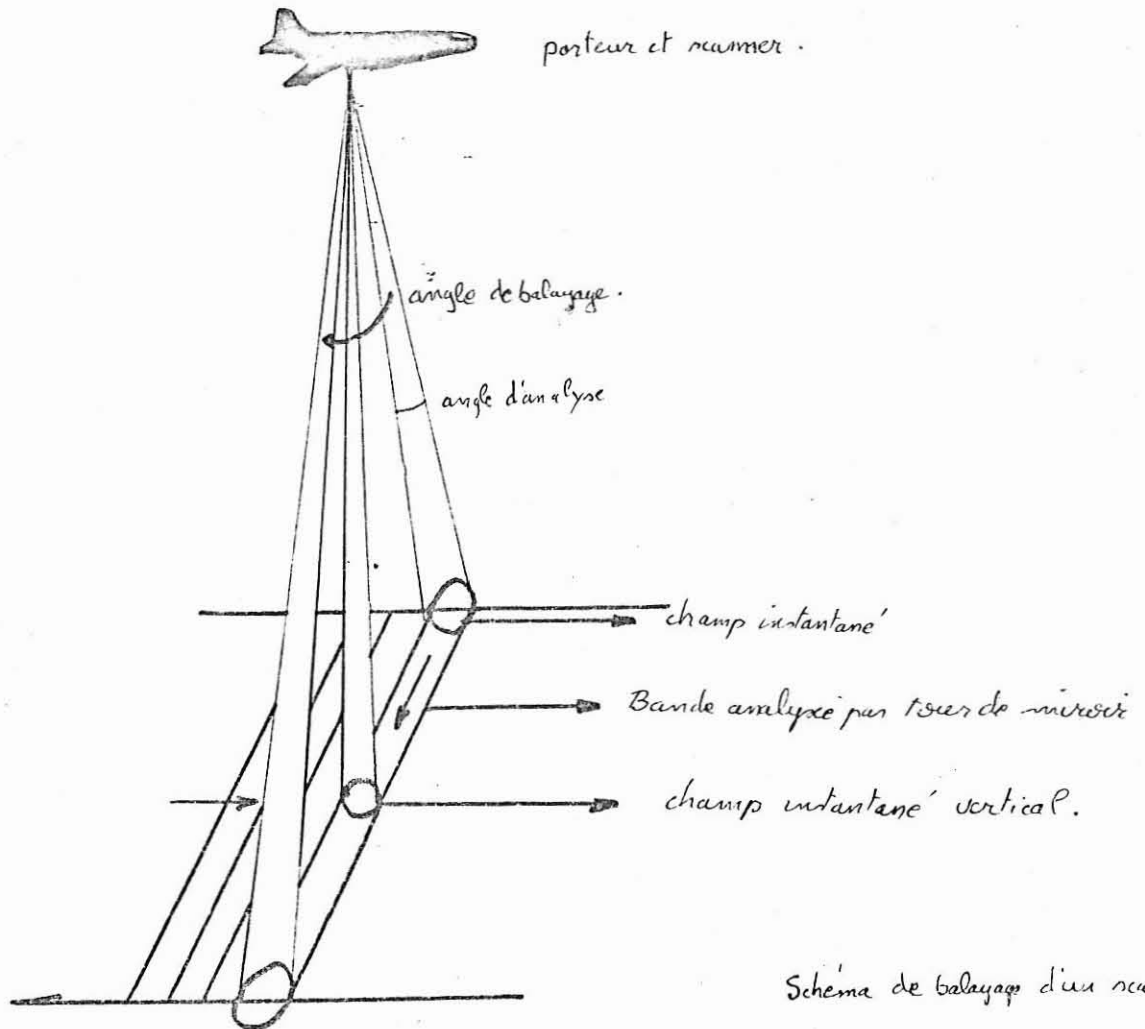
...



La longueur de la bande balayée à chaque tour de miroir est fonction de l'angle de balayage et de l'altitude de l'avion.



Simultanément à la rotation du miroir, l'avion avance et analyse à chaque tour du miroir une bande de terrain décalée par rapport à la précédente.



A très faible altitude, la largeur de terrain analysée à chaque tour de miroir étant faible par rapport à la vitesse de l'avion, cela crée un soulignage. C'est-à-dire qu'entre les bandes analysées, peuvent exister des zones non étudiées.

Par contre, à très haute altitude, il existe un sur-lignage ; chaque sujet étant "vu" plusieurs fois par le miroir. Il s'agit du cas le plus fréquent, le soulignage étant relativement rare.

Le cyclope est équipé d'un compensateur automatique de gain. Cela signifie que l'amplification du signal varie afin qu'il reste dans les limites assurant un bon contraste entre les différents sujets.

2.2 Le Super-Cyclone.

Son principe de fonctionnement est le même que celui du Cyclope. Sa cellule détectrice est différente Hg-Cd-Te et travaille dans une bande spectrale de 8 à 12 μ . Son angle d'analyse de un millirad permet une excellente résolution optique.

Il peut en outre fonctionner avec ou sans contrôle automatique de gain. Sans CAG, l'appareil fonctionne "en mesure" et donne alors au début du document une échelle de teinte correspondant chacune à un niveau absolu de brillance et constituant une référence étalonnée du document enregistré.

Le Super-Cyclone de plus possède un système de visualisation incorporé à l'appareillage qui superpose l'enregistrement sur bande magnétique et per et l'obtention directe d'un film photographique impressionné

2.3 autres types de détecteurs infrarouges à balayage.

La suppression du compensateur automatique de gain dans un appareillage, n'est utile que si la dynamique du signal capté évolue dans une bande étroite (sujet homogène ou amplification faible).

C'est le cas du radiomètre à balayage entre 10,5 et 12,5 du scanner cyclope. Il est équipé d'un détecteur Hg Cd Te photovoltaïque, refroidi à 77° K par de l'azote liquide.

Le signal est calibré par rapport à une source à température connue, ce qui permet d'obtenir des informations comparables.

Son défaut est surtout sa faible résolution au sol, due à un angle d'analyse de 10 mrd.

L'enregistrement est effectué sur un enregistreur digital, qui permet une exploitation directe sur ordinateur. A partir des bandes magnétiques, il est aussi possible d'obtenir des visualisations photographiques.

Cet appareil donne des informations sur l'énergie émise par le sujet, aussi bien le jour que la nuit.

A titre indicatif, le tableau ci-dessous récapitule les caractéristiques de ces divers appareils, dont celles des scanners utilisés au cours de nos expériences.

	- Bande spectrale	- Détecteur	Vitesse de rotation du miroir t/s	Angle de balayage (degrés)	Angle d'analyse (mrd)	Résolution thermique (degrés)
Cyclope 20 B4	3-5	Insb	70	120	2,5	0,25
Cyclope 60 A5	3-5	Insb	160	90	5	0,25
Cyclope (Maquette B)	8-12	Hg Cd Te	40	60	2,5	0,25
I.M.D.	10,5-12,5	Hg Cd Te (photovoltaïque)	1	90	10	0,1
Super Cyclope	8-12	Hg Cd Te (photovoltaïque)	4 x 100	90 ou 120	1,5	0,1

Cyclope 160 A5 : équipé d'un correcteur de roulis $\pm 15^\circ$

2.4 Définition des "photographies" scanner.

Le balayage est réglé par les signaux de synchronisation enregistrés lors de la prise de vue. Chacune d'elle étant faite à une vitesse v (m/s) et à une altitude h (mètres), le rapport v définit la vitesse de défilement du film photographique afin d'avoir une restitution correcte.

Mais une photographie scanner :

. n'est pas prise de façon instantanée ; un enregistrement peut durer durant plusieurs minutes de vol.

. ne correspond pas au rayonnement visible, la plupart des enregistrements ont été effectués de nuit.

On comprend donc qu'un tel document puisse permettre d'obtenir une image tout à fait différente de celle formée sur la rétine humaine ou celle enregistrée par la surface sensible contenue dans un appareil photographique classique.

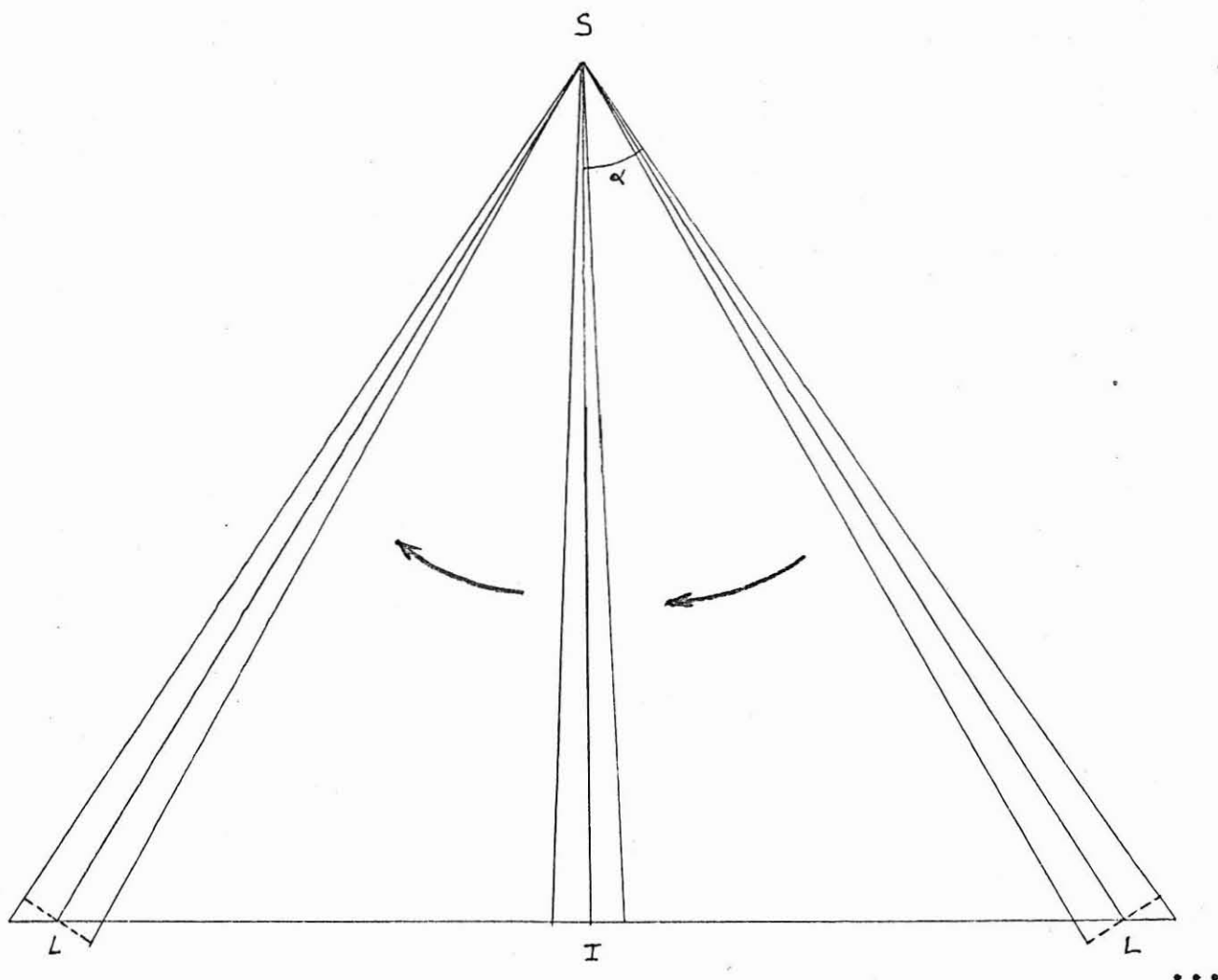
Le domaine d'application de ces techniques est : géologie, agriculture hydrologie, pollution, etc. Chaque roche possède une émissivité propre, sa teneur en eau influe sur cette émissivité, de même pour chaque espèce végétale. Dans le domaine plus particulier de l'hydrologie et de la pollution, les applications sont immédiates.

En effet, l'eau douce et l'eau de mer possèdent une émissivité élevée, mais différente. Pour une même température, leur aspect "infrarouge" sera dissemblable, l'eau de mer plus émissive paraîtra plus "chaude". Deux eaux de même qualité, mais de température différente, seront aussi très distinctes. Une restriction s'impose tout de même. L'émission infrarouge ainsi enregistrée ne représente qu'une information de surface ; on estime la pénétration de cette détection sur les surfaces aquatiques à 0,2 mm.

2.5 Déformation des images obtenues.

2.5.1 Défauts liés à la prise de vue.

La figure ci-dessous représente le champ de balayage d'un scanner vue de face.



A la verticale de l'avion, le diamètre de la tache au sol est l. Sur les bords du champ de balayage, la tache est une ellipse dont le grand axe a une valeur :

$$L = \frac{l}{\cos 2\alpha} \quad (\alpha = \text{demi angle de balayage}).$$

Cette déformation est liée à l'angle de balayage et est difficile à corriger sur les enregistrements photographiques. Sur les numérisations, une correction est possible.

Une mauvaise connaissance du $\frac{V}{h}$ entraîne aussi une fausse échelle de restitution. Ce défaut peut être corrigé sur les enregistrements du cyclope par des traitements que nous ne détailleront pas faute de les avoir employés.

Nous avons déjà mentionné l'existence du compensateur automatique de gain, qui, modifiant l'amplification du signal, déforme la visualisation finale de la zone étudiée.

Les mouvements parasites du porteur (roulis, tangage...) provoquent des distortions caractéristiques sur les enregistrements. Ces défauts ne peuvent être corrigés. Seule, une navigation correcte permet de les prévenir.

2.5.2 Influence de l'appareillage.

Les scanners infrarouges cyclope et supercyclope ne sont pas calibrés et ne donnent qu'une indication relative de la température de brillance "brightness temperature".

Deux dispositifs agissent automatiquement sur le signal émis en sortie de préamplificateur :

- le compensateur de valeur moyenne (C.V.M.)
- le contrôleur automatique de gain (C.A.G.) avant

l'amplification et l'enregistrement.

Ces deux réglages adaptent la réponse de l'appareillage à l'énergie de rayonnement reçu.

Le C.V.M. détermine en fonction des lignes de balayage précédentes et par rapport aux températures de brillance lues par la cellule détectrice, une valeur moyenne (représentée par une tension nulle) correspondant au gris moyen de la restitution photographique.

Le C.A.G. module l'amplification du signal en fonction des écarts thermiques rencontrés.

Le fonctionnement et le résultat de ces deux réglages peuvent se résumer simplement :

La figure ci-dessous schématise la visualisation sur oscilloscope d'une ligne de balayage.

La ligne en trait plein représente la variation du signal de sortie en fonction des "températures" analysées.

L'axe en traits pointillés représente la valeur moyenne déterminée par le C.V.M.

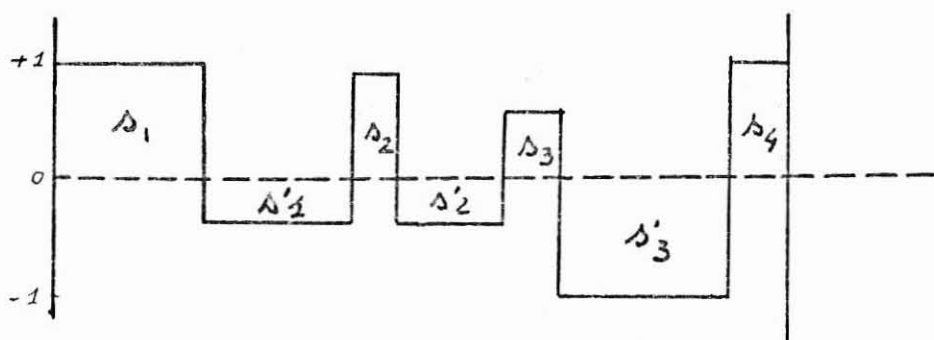


Figure extraite de Influence de l'appareillage sur l'aspect des images thermographiques des zones côtières par R. Burkhalter

...

Soit S_1 la surface enveloppée par la courbe de variation du signal au dessus de la valeur moyenne :

$$S_1 = s_1 + s_2 + s_3 + s_4$$

Soit S_2 la surface enveloppée au dessous de la valeur moyenne

$$S_1 = s'_1 + s'_2 + s'_3$$

Le C.V.L. agit sur le niveau moyen 0 pour que l'on ait :

$$S_1 = S_2$$

Le C.A.G. définira l'amplification pour que $S_1 + S_2 = \text{constante}$.

TROISIEME PARTIE
TRAITEMENTS NUMERIQUES

Comme nous l'avons vu page les bandes magnétiques ERTS sont le support de traitements numériques qui permettent d'obtenir des cartes sur listing.

Le principe de ces traitements est basé sur l'analyse des différences de hauteur des signaux de l'enregistrement électromagnétique transcrit et sur la traduction de ces hauteurs de signaux en caractères codés sur des feuilles de listing.

Une telle opération s'est déroulée en trois phases :

- les deux premières consistent en un reclassement des points de l'image selon leur longueur d'onde et en une ouverture de fichiers longueur d'onde par longueur d'onde
- la troisième, comportant plusieurs séquences, permet d'obtenir sur imprimantes des cartes d'isodensité et une cartographie automatique des contours des zones isodenses.

Parce qu'il n'y avait pas d'autres bandes magnétiques disponibles sur la zone étudiée, les traitements numériques se sont limités aux données du 26 janvier 1973. Pour les photographies prises à cette date, 4 bandes magnétiques étaient disponibles, correspondant aux 4 zones verticales définies planche 1. Il s'agit de gauche à droite des bandes EXT 517, EXT 518, EXT 519, EXT 397. Seules les trois dernières s'appliquant aux domaines marins auront été traitées.

I. LES DEUX PREMIERES PHASES.

1.1 Première phase : lecture, premier classement, écriture sur bande tampon.

Nous avons vu, page figure le mode d'enregistrement des données sur les bandes magnétiques ERTS.

Nous pouvons les résumer selon le schéma suivant :



Or chacun des 800 mots est transcrit de la manière suivante :

	I	I+1	I	I+1
Ligne n	λ_4	λ_4	λ_5	λ_5
Ligne n+1	λ_6	λ_6	λ_7	λ_7

1 mot = 4 échantillons
 donc 810 mots = 3240 points par ligne
 de plus pour une bande il existe 2342
 lignes de balayage : soient 3240 x 2342
 points par bande.

La première phase supprime les 25 mots étiquettes et procède au classement suivant :

	I	I	I+1	I+1
Ligne n	λ_4	λ_5	λ_4	λ_5
Ligne n+1	λ_6	λ_7	λ_6	λ_7

Le résultat est ensuite inscrit sur une bande tampon.

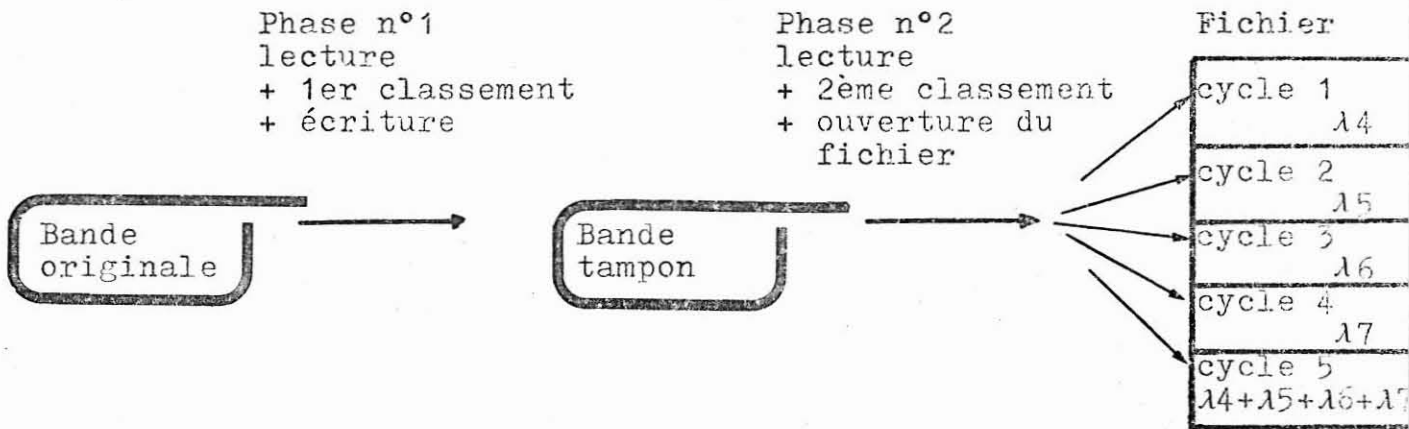
1.2 Deuxième phase : lecture, deuxième classement, ouverture d'un fichier.

Dans cette phase, on lit la bande tampon et on effectue le classement suivant :

	I	I	I	I	I+1	I+1	I+1	I+1
Ligne n	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7

Puis on ouvre un fichier, dont les 5 cycles seront remplis par les points de l'image dans les longueurs d'onde respectives : $\lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_4+\lambda_5+\lambda_6+\lambda_7$.

Soit schématiquement pour les deux phases :



II. LA TROISIEME PHASE.

2.1 Recherche des niveaux digitaux dans le domaine marin.

Considérant les tirages noir et blanc (cf. planches 23 et 24 par de la zone étudiée, on était assuré, dans l'analyse numérique, de trouver des différences de niveau pour le Lambda 4, celles-ci étaient moins évidentes en Lambda 5, encore moins en Lambda 6 et inintéressantes en Lambda 7 étant donnée l'absorption par l'eau des radiations infrarouges.

Une fois les diverses longueurs d'onde classées en fichiers, afin de connaître les niveaux digitaux correspondant au domaine marin, seul qui nous intéresse, des tests ont été effectués donnant le niveau maximum et le niveau minimum rencontrés dans le domaine aqueux.

...

L'échelle de gris totale, susceptible d'être livrée par l'appareillage, s'étend des niveaux digitaux 1 pour le noir à 256 pour le blanc.

Les tests ont montrés :

8 niveaux en Lambda 4	de 15 à 22 inclus
7 niveaux en Lambda 5	de 6 à 12 inclus
6 niveaux en Lambda 6	de 3 à 8 inclus

Le principe étant simple, il suffisait à chaque niveau d'associer un caractère d'impression sur imprimante pour obtenir une carte.

Ce genre de carte est ce que l'on obtient planche 2. On en remarquera la qualité médiocre, points disparates, et le zonage horizontal périodique.

Des traitements d'amélioration d'image sont donc nécessaires.

2.2 Traitements d'amélioration d'image.

2.2.1 Traitement n°1 : recalage de la 6ème ligne de balayage

Nous avons vu sur la planche 2 que le 6ème scanner, tout en donnant sur sa ligne des niveaux relatifs proportionnels, ne cale pas bien ceux-ci par rapport aux lignes précédentes.

Plusieurs procédés pouvaient être employés :

- suppression de la 6ème ligne; or étant donnés les traitements suivants cette ligne était nécessaire.
- recalage de la 6ème ligne en fonction de la moyenne trouvée sur tous les points des lignes précédentes et des lignes suivantes.

Ce dernier procédé a été pris et simplifié.

Le but recherché étant double, recalage de la 6ème ligne et homogénéisation des valeurs, on a choisi un calcul de moyenne basé sur le principe suivant :

	I-1	I	I+1
Ligne j-2	x	x	x
Ligne j-1	x	x	x
Ligne j		x	
Ligne j+1	x	x	x
Ligne j+2	x	x	x

A la valeur du point de coordonnées (I,j) on substitue une valeur égale à la moyenne de sa propre valeur ajoutée de la moyenne des douze points sur les deux lignes précédentes et les deux lignes suivantes.

Si $j = 6n$, la 6ème ligne de balayage sera recalée dans sa totalité en faisant varier I. Pour $j = 6n+1$ le point de coordonnées $(6n+1, I)$ verra sa valeur transformée ou non selon le poids des informations précédentes et suivantes, de sorte qu'il s'homogénéisera ou non selon le cas avec le milieu qui l'entoure.

Les résultats de ce traitement sont présentés planche 3, on notera une réelle amélioration par rapport à la planche 2.

2.2.2 Traitement n°2

La cartographie bien que considérablement améliorée semblait encore insuffisamment adaptée à l'interprétation. Afin d'éliminer les points isolés et d'effectuer un meilleur regroupement des zones, une nouvelle homogénéisation va s'effectuer et celle - ci sur un voisinage tel que :

	I-1	I	I+1
j-1	x	x	x
jx	x	x	x
j+1	x	x	x

le point de coordonnées (I,j) soit moyenné en fonction des 8 points qui l'entourent.

Les résultats obtenus sont présentés planche 4 .

L'amélioration est suffisante pour l'obtention de cartes générales en vue de l'interprétation. (cf. planches 13, 14 et 15)

Toute fois, dans le travail d'informatique, il semblait intéressant d'établir une cartographie automatique de contours des zones homogènes. Pour cela, une nouvelle régularisation s'imposait, les zones n'étant pas suffisamment homogènes pour ce travail.

2.2.3 Traitement n°3 : sous-programme "regul"

Ce traitement est une régularisation qui par passages successifs permet d'éliminer complètement les points isolés, de regrouper les zones homogènes et partant d'en régulariser les contours.

La régularisation consiste donc à modifier la valeur d'une texture, s'il existe dans son voisinage une texture "voisine" dont le poids est suffisamment grand, c'est à dire dépassant un certain seuil α ; on réitère l'opération jusqu'à ce qu'aucune modification ne soit possible (cas d'une régularisation convergente).

Les paramètres caractéristiques du sous-programme "regul" sont les suivants :

- . NT = nombre de textures (niveaux de gris) = 8 pour Lambda 4
- . ISEUIL = = 6
- . IDEM = type de voisinage = 0

Suivant les valeurs de IDEM, respectivement 0,1,2, nous travaillerons sur les types de voisinage :

IDEM = 0. voisinage d'ordre deux (voisinage en carré)

x	x	x
x	*	x
x	x	x

9 valeurs pour IPOI

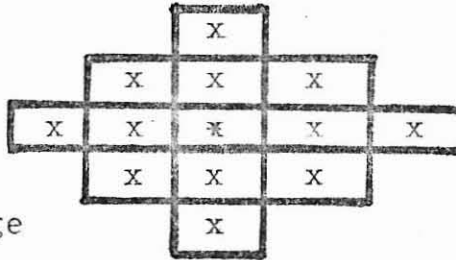
IDEM = 1 voisinage d'ordre un (voisinage en losange)

	x	
x	*	x
	x	

5 valeurs pour IPOI

...

IDEM = 2 voisinage
d'ordre 3
(voisinage en losange



13 valeurs pour IPOI

Etant donné qu'on appelle poids d'un élément, dans un voisinage d'ordre n, l'inverse de l'ordre du voisinage de plus petit ordre contenant l'élément.

Exemple :

1/4	1/4	1/3	1/4	1/4
1/4	1/2	1	1/2	1/4
1/3	1	e	1	1/3
1/4	1/2	1	1/2	1/4
1/4	1/4	1/3	1/4	1/4

Le poids (IPOI) d'une texture se définira selon l'ordre du voisinage comme dans l'exemple ci-dessous.

ex. n = 2

2	3	4
2	1	5
2	2	6

Textures

Textures	1	2	3	4	5	6	7
IPOI(1)	0	2	1	0	1	0	0
IPOI (2)	0	6	2	1	2	1	0

Notant que considérer des voisinages en losange, avec ce type de poids, "privéliegé" les directions horizontales et verticales tandis que des voisinages en carré "privéliegient" les directions diagonales (directions non privilégiées lors des 2 premiers traitements), nous avons choisi 0 comme valeur pour IDEM, c'est à dire le voisinage en carré d'ordre deux.

On notera également, au regard de l'impression des nombres de passages dans "régul", que la régularisation converge au 8° passage dans le cas le plus défavorable. Cf. figure

Les résultats de cette régularisation (cf. planches 5 et 16) peuvent se comparer avec le résultat intermédiaire précédent. Cf. planches 4 et 15

Les planches 2, 3, 4 et 5 montrent sur une même zone les améliorations apportées par les traitements. Toute fois, certaines considérations sont à faire.

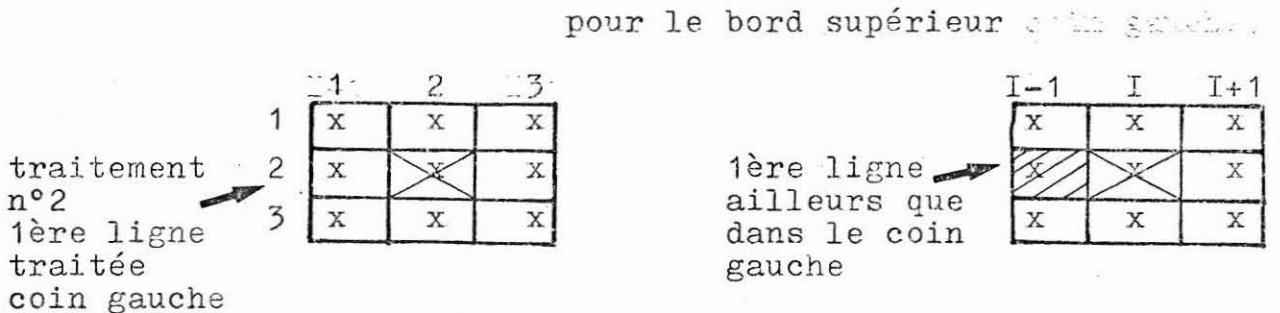
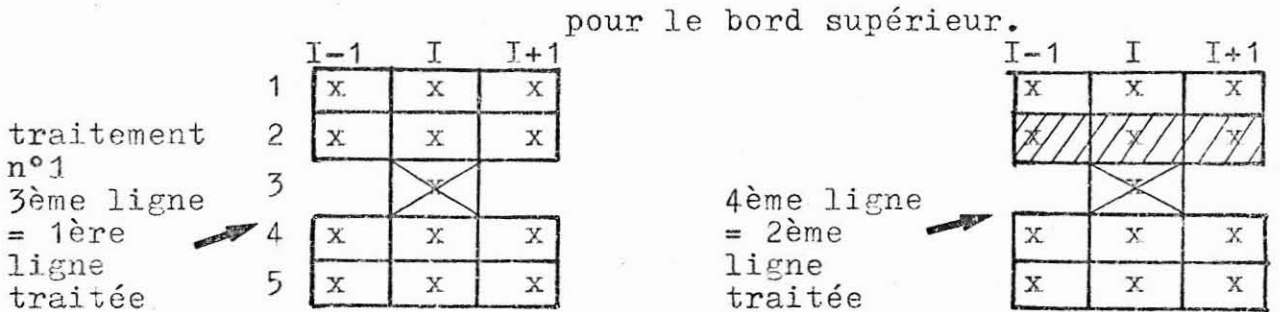
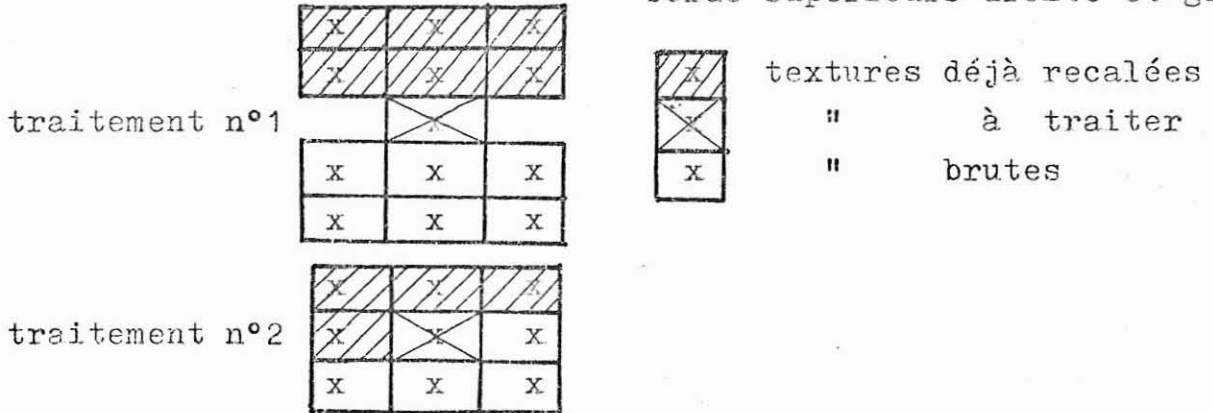
2.2.4 Discussion sur ces divers traitements

Les traitements n°1 et n°2 semblent rehausser les niveau c'est à dire, font apparaître des textures d'un point inférieures dans l'échelle numérique, et réduisent les zones de textures supérieures. Ce phénomène est particulièrement frappant en * planche 4 ou des 0 (niveau 18) ont remplacé des / (niveau 19) et en * planche 4 ou les* (niveau 20) ont régressé par rapport aux / (niveau 19).

Si le principe semble faire apparaître des "niveaux rehaussés", le système est criticable dans le fait que pour chaque voisinage (traitements n°1 ou n°2), la valeur du point sera traitée en fonction des points de la (traitement n°2) ou des 2 (traitement n°1) lignes précédentes déjà recalées et en fonction des

points de la (traitement n°2) ou des deux (traitement n°1) lignes suivantes non encore traitées; (sauf la première, partiellement la seconde et les bords latéraux pour le traitement n°1, et sauf la première ligne et les bords latéraux pour le traitement n°2).

Schématiquement : pour un voisinage autre que sur les bords supérieurs droite et gauche.



Cet inconvénient n'existe pas dans le sous-programme "Régul" qui au fur et à mesure inscrit les points traités dans un tableau autre que le tableau de travail.

Toutefois, bien que les traitements n°1 et n°2 transforment quelque peu la physionomie de l'image, nous n'avons pas cru bon de les reconsidérer puisque les opérations par voisinage, homogènes sur toute l'image (sauf les bords), paraissent faire ressortir, tout en améliorant les contrastes, des textures que nous pourrions qualifier d'intermédiaires. La transformation de la physionomie n'est donc que très relative.

Le programme CNEOXO tel qu'il est présenté ainsi que ses sous-programmes (Cf. planches 6, 7, 8, 9, 10, 11 et 12) peut être critiqué dans le sens où il n'est applicable que pour un cas donné. Nous voulons dire par là, que les valeurs θ , des niveaux de gris (de 15 à 22 en λ_4) ne représentent que le cas précis de la réponse spectrale de l'eau du golfe du Lion le 26/1/1973. Selon l'éclairage par exemple cette échelle de réponse peut être décalée vers des valeurs supérieures ou inférieures. Or, comme nous l'avons vu précédemment (phase 3) la recherche du minimum et du maximum dans l'eau se fait séparément du programme principal. Toutefois, il est aisé de réinjecter directement ces deux valeurs (minimum

et maximum) dans le programme principal, d'en connaître l'écart, par conséquent le nombre de niveaux et de tester directement ces niveaux pour obtenir une carte isodense.

Faisant donc appel à un sous-programme "X" nous procéderons de la manière suivante :

soit :

MX : le maximum rencontré
MN : le minimum "
NC : l'écart
IK = MX+MN+1
IIK = MN-1

La partie du programme principal "choix des 8 niveaux de gris en λ4" sera à remplacer par (en langage FORTRAN) :

```
IF (IT(I,J).GT.MX) IT(I-2,J-2)=1
DØ 55 K=MN,MX
IF (IT(I,J).LE.IK-K) IT(I-2,J-2)=K-IIK
```

Il suffira de remplacer la valeur des ordres "DIMENSION" ayant rapport au nombre de niveaux découverts par NC.

2.3 Cartographie automatique des contours.

Le traitement n°3, grâce à une bonne régularisation des zones, permet dès lors de mettre en jeu une cartographie automatique des contours.

Plusieurs procédés peuvent être appliqués :

- . cartographie basée sur un calcul de dérivées.
- . " " " " " " " pente analogue au premier .

Ces types de traitement nécessitent des balayages horizontaux, verticaux et diagonaux, ce qui est un inconvénient.

Nous avons préféré un procédé qui, tout en permettant le tracé des contours sur imprimantes classiques s'adapterait, sans grande modification, à l'obtention de ce tracé sur traceur automatique de courbes.

Son principe est basé sur la reconnaissance de composantes connexes.

2.3.1 Définitions fondamentales

Soit $e \in \hat{E}$ ensemble des éléments
" $t \in T$ " " textures

posons :

$V_2^t(e)$ voisinage d'ordre 2 de l'élément e pour la texture t

$V_2^2(e) = V_2^t(V_2^t(e))$ voisinage du voisinage

$V_2^n(e) = V_2^t(V_2^{n-1}(e))$ avec $n \geq 3$

On appelle composante connexe associée à un élément e, l'ensemble :

$\hat{V}_2(e) = \{e\} \cup V_2^t(e) \cup V_2^2(e) \cup \dots$

On appellera composantes connexes associées à un ensemble

les composantes connexes associées aux éléments de l'ensemble.

Un ensemble A, $A \subseteq E$ sera dit connexe s'il n'a qu'une composante connexe associée. C'est à dire :

$$\forall a, a \in A \text{ on a : } \hat{V}_2(a) = A$$

Considérons la famille des NT ensembles définis tels que :

$$\left(\left\{ e \in E \mid (te = t) \right\} \right)_{t \in T}.$$

A chacun est associé nt composantes connexes numérotées de 1 à nt. On désigne par IC la matrice des composantes connexes. Cette matrice a NI colonnes et NJ ligne et l'élément IC (I,J) est le numéro de la composante connexe à laquelle appartient IT (I,J). La manière de numérotter les composantes connexes importe peu, le but étant de les distinguer.

exemple : NT = 3

$$IT = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 2 \\ \hline 2 & 3 & 3 \\ \hline 1 & 3 & 2 \\ \hline \end{array}$$

$$IC = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 2 & 1 & 1 \\ \hline 2 & 1 & 3 \\ \hline \end{array}$$

nombre de comp. connexes associées à la texture n°1 = 2
 nombre de comp. connexes associées à la texture n°2 = 3
 nombre de comp. connexes associées à la texture n°3 = 1

le numérotage des composantes ayant été effectué ligne par ligne et de gauche à droite.

En conséquence :

- . E peut être découpé par partition en composantes connexes de différentes textures.
- . On définit une structure sur E qui isole des formes. Ces formes vont se répéter (sauf si l'une des textures est répartie de manière connexe, cas très improbable pour NI et NJ assez grands, ce que l'on trouvera dans notre étude.
- . Ces formes sont organisées, en effet un voisinage d'ordre 2 d'une composante connexe C d'une texture t ne contient pas d'élément de texture t autre que ceux qui appartiennent à la composante.

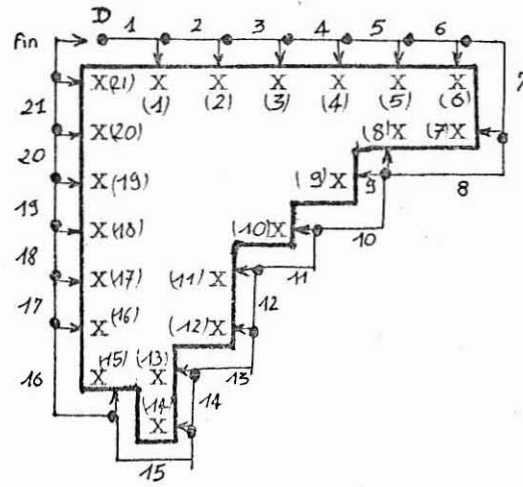
Nous vérifions bien les 3 axiomes des textures et nous pouvons considérer les composantes connexes comme des textures.

2.3.2 Principes opératoires

Le numérotage des composantes dans la matrice IC permet la cartographie des contours.

Le balayage sera un "balayage tournant" sur un voisinage tel que, partant d'un point de composante C on tombe sur le point de composante C' ≠ C le plus proche et ceci vers la droite, en repartant chaque fois le dos au point trouvé de sorte à délimiter la frontière entre la zone de composante C et celle de composante C'.

exemple :



Une telle cartographie donne les résultats exposés
planche 17

2.4 Etablissement d'une équidensité colorée.

Si l'on attribue des couleurs conventionnelles aux zones ainsi délimitées, pour un niveau de gris donné, on obtient une équidensité colorée du type de celle présentée planche 18.

Ce procédé, par un contraste basé sur les différences de couleur, permet de mieux visualiser les phénomènes.

QUATRIEME PARTIE
INTERPRETATION

Les supports de l'interprétation furent de trois sortes :

1) "photographies" (plus exactement restitutions photographiques des données scanner).

a) ERTS

- 22 septembre 1972 (Cf. planche 19)
la couverture nuageuse trop intense ne permet aucune interprétation.
- 9 octobre 1972 (Cf. planches 20 et 21)
d'assez bonne qualité, malgré une légère brume marine.
- 20 décembre 1972 (Cf. planche 22)
comme pour le 22 septembre inapte à l'interprétation.
- 26 janvier 1973 (Cf. planches 23 et 24)
de loin la plus intéressante des données ERTS.
- 12 février 1973 (Cf. planche 25)
de qualité médiocre.
- 21 mars 1973 (Cf. planches 26 et 27)
de bonne qualité malgré quelques nuages.
- 17 mai 1973 (Cf. planche 28)
de bonne qualité.

b) SKYLAB

- 21 septembre 1973 (Cf. planche 29)
de très bonne qualité malgré quelques nuages.

2) thermographies.

- missions des 24 et 25 juin 1973 (Cf. planches 30, 31, 32 et 33)

3) "photographies infrarouges" du satellite NOAA 2.
(Cf. planche 34)

4) cartographie automatique (limitée à l'image ERTS du 26 janvier 1973. (Cf. planches 13 à 18)

Nous avons discuté dans la 1ère partie de cet exposé, de l'analyse en photointerprétation et du problème de son objectivité. Dans le cas particulier de notre étude, une certaine objectivité a été respectée dans le sens où l'interprétation et l'exploitation des images n'étaient conduites ou dirigées par aucune attente de notre part à rencontrer des phénomènes connus. Le but premier

de l'étude n'était-il pas de savoir si effectivement on pouvait discerner, par des procédés analytiques donc objectifs, des "formes" sans tenter de savoir ce qu'elles représentent ?

Des textures ayant été établies, des structures pouvaient être recherchées et de là une interprétation pouvait être tentée.

L'interprétation eut pour source : une énigmatique "bande claire" le long du littoral détectée sur certaines "photographies" ERTS, en particulier celles du 26 janvier 1973 et du 21 mars de la même année. Certains procédés, en particulier des procédés analytiques, ont été mis en jeu pour mieux la cartographier. Par recouplement, il s'est avéré que ce phénomène existait lorsque de forts vents de Nord-Ouest avaient soufflé pendant les jours précédant la prise de vue. On notera dès maintenant que les thermographies du 24 et du 25 juin 1973 ainsi que les "photographies" SKYLAB du 21 septembre 1973 prises dans les mêmes conditions météorologiques (vents de N-O) sont venues confirmer la liaison du phénomène avec les conditions de circulation atmosphérique.

L'interprétation pouvait se diriger dans toutes les voies, il était donc nécessaire de la canaliser vers certaines recherches. Cette canalisation fut basée sur les connaissances expérimentales suivantes concernant les divers canaux ERTS :

- le canal 4 (500 à 600 nm)

Ce canal travaille dans les bandes du vert et du jaune, il apporte une information extrêmement précieuse qu'aucune émulsion graphique ne donne (la plupart étant coupées à 550 nm).

La transparence des eaux s'y trouve portée au maximum et de ce fait la nature des fonds marins est visible beaucoup plus profondément que sur les émulsions photographiques en couleur. De ce fait, aussi, les transports des sédiments sont davantage identifiables. Il faut ajouter, de plus, que les brumes légères et les brouillards qui suivent souvent les courants ou le déplacement des masses d'eau en surface se trouvent enregistrés.

- le canal 5 (600 à 700 nm)

Ce canal travaillant surtout dans l'orange et le rouge fournit une information à peu près semblable à l'émulsion panchromatique traditionnelle.

Les aspects de surface de la mer s'y trouvent interprétables ainsi que le détail de l'estran et de la terre ferme. En particulier il est possible de séparer les zones marécageuses.

- le canal 6 (700 à 800 nm)

Ce canal travaille surtout dans le rouge et l'infrarouge très proche mais le domaine purement marin lui est pratiquement interdit du fait d'une absorption presque totale par l'eau.

- le canal 7 (800 à 1100 nm)

Ce canal apporte un message correspondant au proche infrarouge et de ce fait peut être comparé à l'émulsion I.R. traditionnelle. Son seul intérêt pour le

milieu marin n'est que de donner la limite exacte de la marée au moment de l'enregistrement.

La démarche interprétative a donc été la suivante :

- étude systématique, pour les missions les plus intéressantes, des conditions météorologiques, en particulier, force et vitesse des vents 3, 6 et 9 jours avant la prise de vue.
- étude courantologique théorique basée sur la théorie d'Eckman.
- étude courantologique littorale basée sur les renseignements donnés par les missions thermographiques des 24 et 25 juin 1973. (Dans ce paragraphe seules figureront les conclusions, le mode d'interprétation étant développé, pour le cas particulier de l'étang de Leucate, en annexe
- étude courantologique de surface basée sur l'interprétation des données ERTS du 26 janvier 1973.
- comparaison des résultats obtenus avec les connaissances acquises de la courantologie de surface dans le golfe du Lion.
- comparaison des résultats avec une enquête faite auprès d'organismes traitants d'océanographie physique dans le golfe du Lion, en particulier l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes de Sète.
- conclusions.

I. ETUDE SYSTEMATIQUE DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES.

Toutes les conditions météorologiques, nébulosité, température, pluviosité, couverture nuageuse, hygrométrie, pression atmosphérique, vents, etc... sont nécessaires à des coefficients variables pour une telle étude. Sachant que le canal 4 permettait de visualiser les transports de sédiments, nous nous sommes limités au départ à une étude courantologique. Sachant de plus que les vents de N-O semblaient avoir une action essentielle et sachant également qu'une des grandes causes des courants est due aux vents, nous en avons étudié les directions et les forces.

Les données sur la circulation atmosphérique furent disponibles pour 4 stations :

- Marseille et Perpignan, par l'intermédiaire des "Bulletins Quotidiens d'Etudes de la Météorologie Nationale", donnant vitesse et direction des vents à 6h et 18h TU.

- Sète et Fréjorgues (aéroport de Montpellier) où vitesse et direction des vents sont données à 6h, 12h et 18h TU.

Pour chacune des stations et pour chacune des prises de vue (en particulier : 26 janvier 1973, 24-25 juin 1973 et 21 septembre 1973), des roses des vents ont été établies pour les périodes allant :

- du 1er au 3ème jour avant la prise de vue
- du 4ème au 6ème " " " " " "
- du 7ème au 9ème " " " " " "
- du 1er au 9ème " " " " " "

Cf. tableaux ci-dessous.

26 janvier 1973 Vitesse en m/s précédée de la direction.

	PERPIGNAN		MARSEILLE		
	6h TU	18h TU	6h TU	18h TU	
17	S 5	SE 2,5	ESE 7,5	ESE 10	
18	NO 5	NO 2,5	E 2,5	O 2,5	
19	ONO 5	NO 2,5	ONO 7,5	O 2,5	N = nord
20	O 1	ESE 2,5	OSO 1	O 1	E = est
21	ONO 5	E 2,5	ESE 1	SE 1	O = ouest
22	O 15	ONO 18	N 10	NNO 12,5	S = sud
23	NO 15	NO 10	N 7,5	N 10	
24	NO 10	NO 10	N 1	NNO 2,5	
25	ENE 5	ENE 2,5	SSE 1	N 1	
26	O 2,5	-----	ESE 1	-----	

26 janvier 1973 Vitesse en m/s précédée de la direction en dizaine de degré.

	FREJORGUES			SETE		
	6h TU	12h TU	18h TU	6h TU	12h TU	18h TU
17	12 6	08 11	06 4	14 11	12 7	12 12
18	36 4	30 4	28 3	36 6	32 6	30 7
19	28 1	16 2	20 1	32 11	24 4	18 2
20	02 2	18 1	22 1	02 5	22 2	32 3
21	02 4	28 3	26 2	36 5	26 6	34 2
22	32 3	32 8	32 3	30 7	32 14	32 15
23	30 1	36 8	28 3	30 12	30 10	30 11
24	28 2	02 3	00 0	30 13	08 1	00 0
25	34 2	02 4	02 2	36 2	36 5	22 4
26	32 1	----	----	34 3	----	----

24-25 juin 1973

Vitesse en nds précédée de la direction.
Par manque de données les roses des vents ne pourront être établies à cette date que pour la période allant du 1er au 3ème jour avant la prise de vue.

1nd = 1 noeud \approx 0,5 m/s

	PERPIGNAN		MARSEILLE	
	6h TU	18h TU	6h TU	18h TU
21	N 15	NO 10	NO 15	NO 20
22	NNO 12	NO 20	N 10	NO 20
23	NO 10	NO 20	NO 10	NO 20
24	NNE 10	NO 20	NO 20	NNO 25
25	SO 10	SE 5	NE 10	O 10

24-25 juin 1973

Vitesse en m/s précédée de la direction en dizaine de degré.

	FREJORGUES			SETE		
	6h TU	12h TU	18h TU	6h TU	12h TU	18h TU
21	26 4	14 5	32 6	28 9	30 8	30 10
22	34 2	28 2	28 4	30 9	26 8	26 9
23	28 5	32 8	30 8	30 8	30 12	30 11

21 septembre 1973

Vitesse en m/s précédée de la direction.

	PERPIGNAN		MARSEILLE	
	6h TU	18h TU	6h TU	18h TU
12	00 0	NE 1	E 2,5	SSE 5
13	SO 2,5	ONO 1	E 5	S 5
14	N 1	E 2,5	E 1	SE 5
15	SE 5	E 2,5	E 2,5	SSE 5
16	NO 1	00 0	S 2,5	SO 2,5
17	00 0	O 10	SEE 2,5	NNO 17,5
18	NNO 7,5	NO 6	NNO 10	NO 10
19	O 5	00 0	N 7,5	S00 5
20	S 2,5	E 2,5	E 5	SE 7,5
21	00 0	NNO 5	NO 7,5	NO 5

21 septembre 1973

Vitesse en m/s précédée de la direction en dizaine de degré.

(Cf. tableau page suivante).

	FREJORGUES			SETE		
	6h TU	12h TU	18h TU	6h TU	12h TU	18h TU
12	36 2	14 3	16 1	02 7	08 4	16 5
13	02 3	08 2	16 2	34 6	08 5	14 3
14	14 2	14 3	16 2	10 4	12 4	12 5
15	02 2	14 3	16 2	10 6	10 5	10 3
16	04 2	14 2	22 3	04 5	12 3	22 4
17	04 3	14 2	22 4	06 4	12 3	26 13
18	30 7	30 7	30 4	28 12	30 14	30 11
19	02 1	16 2	22 4	30 7	24 6	20 6
20	02 4	14 5	14 6	04 7	12 7	14 10
21	26 4	----	----	26 7	----	----

Pour l'établissement des roses des vents les forces pour chaque période sont définies de la manière suivante :

soit $X f_h$ force du vent dans une direction X donnée et à une heure h donnée.

pour les trois premières périodes (1er - 3ème, 4ème - 6ème, 7ème - 9ème jour).

$m = \sum f_h$ sur la période pour Fréjorgues et Sète précédé de X = direction (3 mesures par jour).

$m = (\sum f_h) \cdot 3/2$ sur la période pour Marseille et Perpignan précédé de X = direction (2 mesures par jour).

pour la 4ème période (1er - 9ème jour).

$M = \sum m$ pour les 3 périodes dans une direction donnée.

Nous n'avons retenu pour m et M que les vents les plus dominants. Les résultats sont exposés (planches 35 à 42)

II. ETUDE COURANTOLOGIQUE THEORIQUE BASEE SUR LA THEORIE D'ECKMAN.

Les causes des courants sont diverses :

- marées
- variations de densité
- vents

mais ce sont ces derniers qui en sont la cause principale

attention courants
de surface & 1/2 Dérive

en surface et tout particulièrement pour des mers sans grands courants permanents comme la Méditerranée. A ce propos, l'un des tout premiers océanographes français, J. Rouch, notait dans son Traité d'Océanographie Physique : "loin des détroits où règnent parfois des courants de marée (détroit de Messine) ou des courants de densité (détroit de Gibraltar) on peut dire que tous les courants observés en Méditerranée sont dus aux vents, ou, plus exactement, que le vent modifie immédiatement et fait disparaître les courants dus à d'autres causes.

Plusieurs formules empiriques reliant la vitesse du vent à la vitesse du courant induit ont été établies et plus ou moins vérifiées selon les régions.

Des mathématiciens, tels que l'Allemand Zöppritz, à la fin du siècle dernier, ont tenté d'établir une théorie mathématique de la production des courants sous l'action des vents. Zöppritz s'est particulièrement attaqué au problème de la transmission en profondeur de la vitesse d'un courant de surface. Cependant le véritable problème ne fut soulevé que lorsque Nansen, lors de la longue dérive du "Fram" dans l'Océan Arctique, constata que la dérive des glaces ne se faisait pas dans la direction du vent qui la provoquait mais entre 20 et 40° à droite de cette direction. On pensa donc à l'influence de la rotation de la terre et le problème fut soumis au mathématicien suédois V.W. Eckman.

2.1 Théorie d'Eckman.

La théorie mathématique d'Eckman tient compte de la force de Coriolis et dans une certaine mesure, de la viscosité et de la turbulence.

2.1.1 Force de Coriolis

Considérons dans l'hémisphère Nord un point P à la surface de la terre, de latitude φ et un plan AT passant par P et tangent en ce point à la surface. Ce point tourne avec la terre autour de son axe et sa rotation est composée de : K_n et K_t .

si $\omega = 7,29 \cdot 10^{-5}$ /s (vitesse angulaire de la terre) on aura :

$$K_n = \omega \sin \varphi$$

$$K_t = \omega \cos \varphi$$

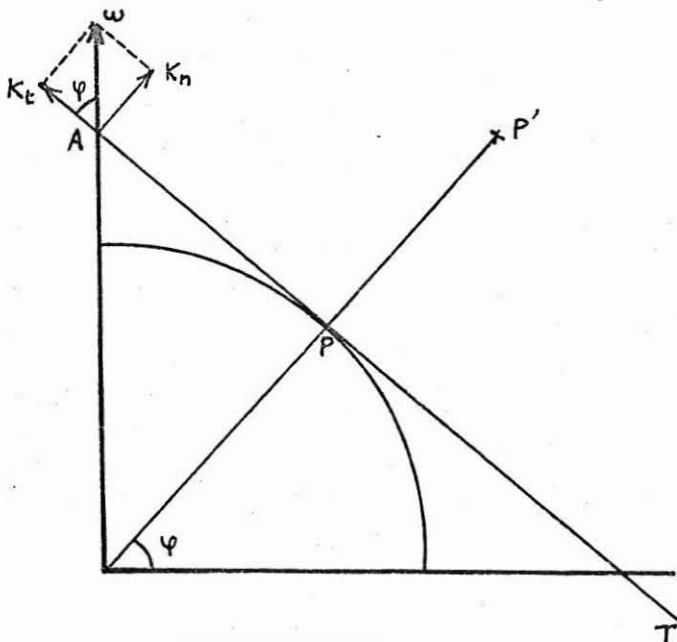


Figure 4.1
(extraite de
"Ocean currents"
par Newmann
Vol. IV).

...

Plaçons nous en P' et regardons AT de dessus. Au temps t, un observateur au point B observe le mouvement d'un corps de P vers B, de vitesse constante c. Pendant l'intervalle Δt , le corps se sera déplacé de $c \Delta t$ et arrive au point B. Toutefois l'observateur s'est déplacé en B' pendant le même intervalle puisque son système de coordonnées est lié à la rotation de la terre. Du point de vue de l'observateur, le corps en déplacement a effectué une déflexion par rapport à sa direction d'origine. Cette déflexion est :

$$c\Delta t.\omega\sin\varphi \quad \text{pendant l'intervalle } \Delta t$$

Dans le système, la déflexion est le résultat de la rotation terrestre; dans l'hémisphère Nord par exemple cette déviation sera vers la droite et vers la gauche dans l'hémisphère Sud.

Soit K la force faisant s'accélérer et se mouvoir le corps. La distance parcourue pendant l'intervalle Δt est :

$$1/2(K/m)(\Delta t)^2 \quad \text{avec } m = \text{masse du corps.}$$

$$\text{donc } 1/2(K/m)(\Delta t)^2 = c\Delta t.\omega\sin\varphi$$

$$\text{d'où } K = 2\omega\sin\varphi cm$$

2.1.2 Spirale d'Eckman (Cf. figure 4.3)

Considérant l'eau comme composée de couches horizontales d'épaisseur infinitésimale Eckman établit que si la couche supérieure est animée d'un mouvement celui-ci se transmettra de couche à couche, avec toutefois une diminution de vitesse avec la profondeur due à la friction des molécules.

Considérant la force de Coriolis agissant perpendiculairement au mouvement de chaque couche à chaque profondeur on montrera que le courant horizontal changera de direction au fur et à mesure que la profondeur augmentera.

Posant de plus la friction égale à :

$$A.(d^2\vec{U}/dz^2)$$

ou A = viscosité verticale du courant

\vec{U} = vecteur de vitesse horizontale

z = coordonnée verticale

Eckman déduit que dans un océan ouvert de profondeur infinie, un courant est généré par l'action d'un vent à sa surface s'il n'y a pas de gradient de pression dans l'eau. Dans ce cas la seule force de Coriolis contrebalancera la force de frottement.

En effet, soient 3 vecteurs courant Oa_1 , Oa_2 , Oa_3 projetés sur un plan tel que Oa_3 soit au dessus de Oa_2 et Oa_2 au dessus de Oa_1 . Un observateur dérivant avec le courant Oa_2 notera un mouvement résultant de l'eau dirigé dans la direction a_2a_3 au dessus de lui et a_2a_1 au dessous.

Il est raisonnable de supposer que la force de friction entre deux couches agit dans la direction de la différence de vitesse entre les couches, ce qui est indiqué par les flèches a_2b_3 et a_2b_1 . Si aucune autre force que le frottement agit dans l'eau, la seule force au niveau Oa_2 contrebalançant la résultante a_2a_4 de la force de frottement est la force de Coriolis (FC) a_2a_5 . Cf. figure 4.2

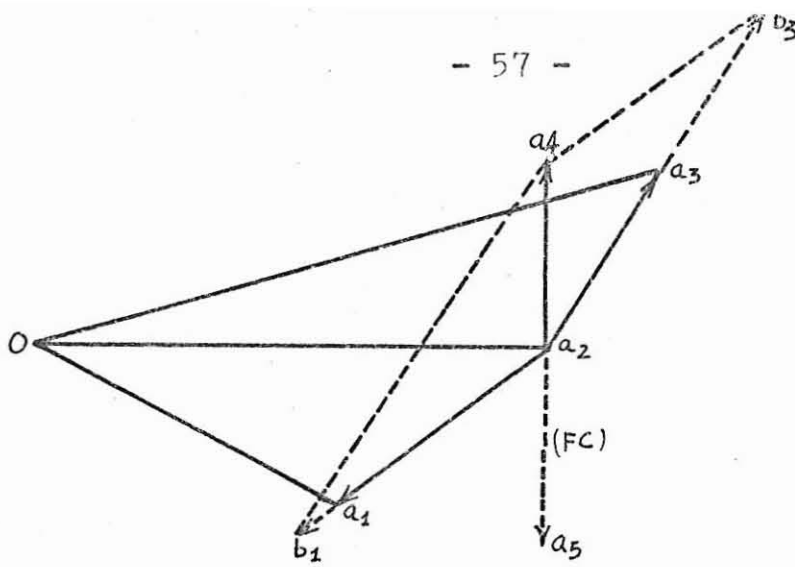


Figure 4.2
(extraite de "Ocean Currents" par Newmann Vol. IV).

Si u et v sont les composantes horizontales de la vitesse du courant créé par le vent dans la direction de v , les distributions verticales de u et v sont exprimées par :

$$\begin{cases} u = V_0 \cdot e^{(-\pi Z/D)} \cos(45^\circ - \pi Z/D) \\ v = V_0 \cdot e^{(-\pi Z/D)} \sin(45^\circ - \pi Z/D) \end{cases}$$

où Z est considéré positif dans le sens de la surface ($Z=0$) vers le fond

V_0 = vitesse du courant à la surface

$D = \pi\sqrt{2A/f}$

f = coefficient de Coriolis

D ayant la dimension d'une longueur est appelé profondeur de frottement.

La figure ci-dessous représente le vecteur courant à des profondeurs variant de $0,1D$ en $0,1D$ à partir de la surface.

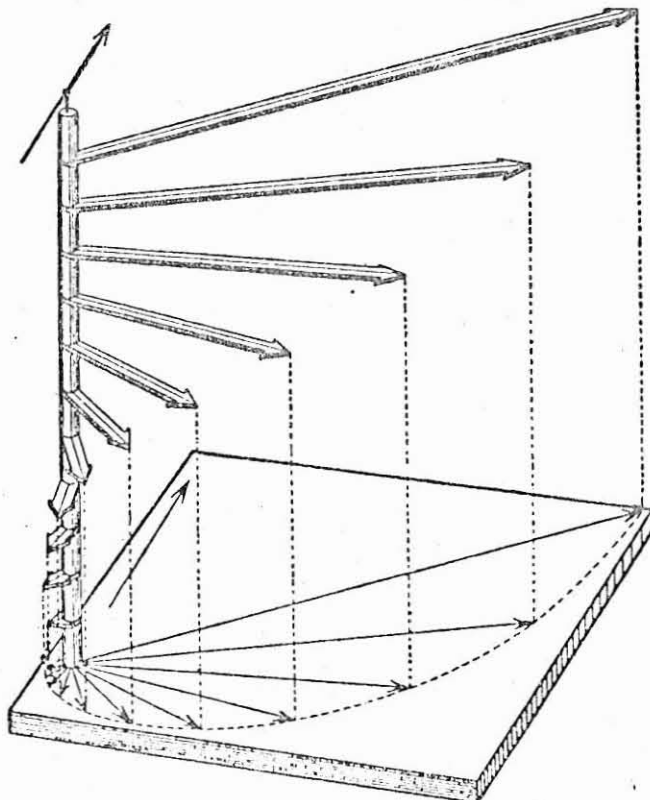


Figure 4.3

Spirale d'Eckman.
(extrait de The Encyclopedia of Oceanography par Rhodes.W. Fairbridge).

Des formules précédemment établies nous déduisons :

$$\text{- en surface } Z = 0 \text{ donc } \begin{cases} u = V_0 \cdot \cos 45^\circ \\ v = V_0 \cdot \sin 45^\circ \end{cases}$$

donc le courant de surface ($V_0^2 = u^2 + v^2$) est dirigé dans une direction faisant un angle de 45° avec la direction du vent (45° à droite dans l'hémisphère Nord et 45° à gauche dans l'hémisphère Sud comme nous l'avons vu précédemment).

- A la profondeur $Z = D$ nous obtenons :

$$\begin{cases} u_D = V_0 \cdot e^{-\pi} \cos(45^\circ - \pi) \\ v_D = V_0 \cdot e^{-\pi} \sin(45^\circ - \pi) \end{cases}$$

ce qui indique qu'à la profondeur D le vecteur courant a diminué de $\exp(-\pi)$ fois en intensité par rapport au vecteur courant de surface (soit $V_0/23$) et que sa direction est exactement l'opposé de celle du vecteur courant de surface.

Enfin Eckman a établi que la vitesse du courant V_0 est liée à celle du vent W par la formule approchée :

$$V_0 = 0,013W / \sin \phi$$

(formule non valable à l'équateur où $\phi = 0$ donc $V_0 = \infty$)

2.1.3 Conséquences de la théorie d'Eckman

Les résultats sont multiples, le plus intéressant pour notre étude étant que le courant induit sera dévié de 45° environ sur la droite de la direction du vent. Par conséquent si le courant induit est dirigé vers le large le transport des molécules en surface va entraîner un phénomène de remontée d'eaux le long du littoral ("upwelling"). Cf. figure ci-dessous.

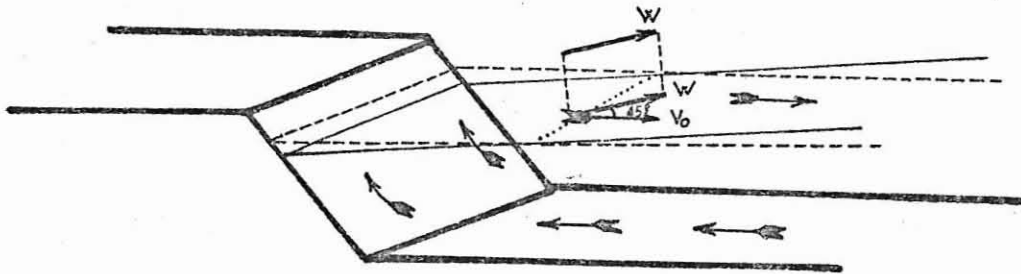


Figure 4.4
Processus de création d'un "upwelling"
→→ courants

Si au contraire le courant induit est dirigé vers la côte il y aura un phénomène d'enfoncée d'eaux due à un déficit au large et à une accumulation proche du littoral.

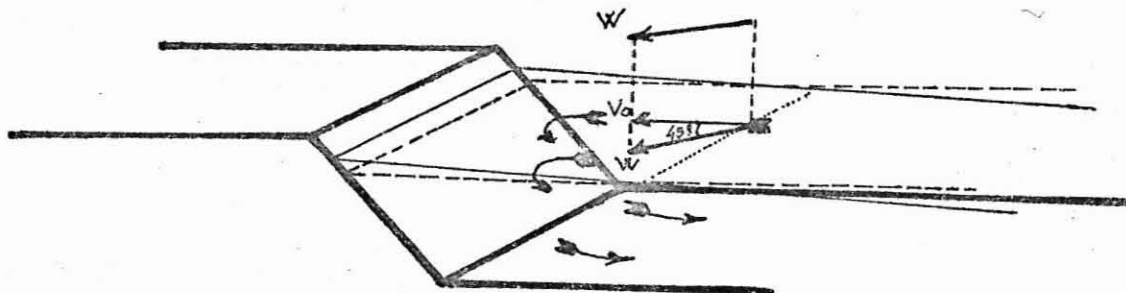


Figure 4.5
Processus de création d'un enfoncée d'eau

2.2 Première approche de la courantologie dans le Golfe du Lion à partir des données météorologiques pour les deux périodes (26/11/1973, 21/9/1973).

En fonction de la théorie exposée et des données sur la circulation atmosphérique que nous possédons pour ces deux survols, il paraissait intéressant de construire un premier modèle de l'hydrodynamique du golfe.

La démarche a été la suivante :

en des points situés en mer, proches des 4 stations (Marseille, Fréjorgues, Sète, Perpignan) nous avons reporté les vecteurs "vents" définis § I de la partie 4, en direction et en intensité (échelle : 1cm = 5 unités de force) et nous avons construit les vecteurs "courants" déviés de 45° à droite de la direction des vents.

nous obtenons une carte (Cf. planche 43) où n'ont été reportés que les vecteurs "vents dominants" sur une période de 9 jours. Si l'on tient compte des modes pour les autres périodes (de 3 en 3 jours), par extrapolation on peut concevoir un schéma montrant :

un courant général orienté N-E, S-O du aux vents, renforçant le courant général N-E, S-O, en cet endroit, né du retour des eaux entrées en Méditerranée par le détroit de Gibraltar et tournant vers le N puis le N-O le long des côtes italiennes, enfin vers le S le long des côtes d'Espagne.

La carte (Cf. planche 43) montre également des contre-courants le long du littoral. Il est en effet tout à fait intuitif de considérer que ce courant allant directement d'un point saillant à un autre point saillant induise, chaque fois qu'entre lui-même et la côte se trouve une baie, un contre-courant suivant le rivage en sens inverse. Ce contre-courant expliquant d'autant plus la formation des cordons littoraux qui ferment les étangs du Languedoc.

Enfin, considérant la direction des vecteurs V_0 , nous pouvons délimiter une zone probable "d'upwelling" (zone en grisé) selon la théorie explicitée § II de la partie 4.

On notera les imprécisions de cette analyse théorique et les restrictions à faire :

- d'une part, le courant n'est certainement pas dévié strictement de 45°.

- d'autre part, les données sur les vents ne sont valables qu'en des points terrestres (Marseille, Fréjorgues, Sète, Perpignan) proches du littoral. Nous avons dû, pour une meilleure compréhension, translater ces points en mer, or, il est bien connu, des pêcheurs en particulier, que d'assez grandes différences de directions et d'intensité peuvent exister au même instant entre le vent soufflant en un point sur la terre et le vent soufflant en un point sur la mer ; même si ces 2 points sont très rapprochés.

III. ETUDE DE COURANTOLOGIE LITTORALE BASEE SUR L'INTERPRETATION DES THERMOGRAPHIES DES 24 ET 25 JUIN 1973.

Comme nous l'avons vu en annexe 2, nous savons que les ther-

mographies permettent par des mesures de différences de température d'appréhender les mouvements d'eaux. Par une démarche analogue à celle de l'"étude hydrologique et hydrodynamique de l'étang de Leucate" nous avons pu établir une carte courantologique du littoral Languedoc-Roussillon pour la période des 24 et 25 juin 1973.
(Cf. thermographies planches 30 à 33)
(Cf. carte interprétative planche 44)

IV. ETUDE DE LA COURANTOLOGIE DE SURFACE BASEE SUR LES DONNEES ERTS DU 26/1/1973.

A partir des planches 13, 14, 15, 16, 17, 18 et par une démarche analogue à celle de l'interprétation des thermographies, il est possible d'établir une carte représentant les courants probables déduits de la configuration des différentes zones de densité. Une telle carte est présentée planche 45 .

V. COMPARAISON DES DIVERS RESULTATS AVEC LES CONNAISSANCES ACQUISES SUR LA COURANTOLOGIE LITTORALE DE SURFACE DANS LE GOLFE DU LION.

Le CERBOM, Centre d'Etude et de Recherche de Biologie et d'Océanographie Médicale à Nice, a établi dans son Inventaire National des Pollutions Bactériennes des Eaux Littorales des cartes de l'hydrodynamique de surface pour le littoral Languedoc-Roussillon selon les vents dominants, en particulier pour les vents d'Ouest et d'Est (Cf. planches 46 et 47)

On notera en comparant la planche 46 avec les planches 43, 44, 45 , résultats des interprétations, une assez bonne corrélation avec l'étude des thermographies des 24 et 25 juin 1973 et celle des données ERTS du 26 janvier 1973 (ces études étant faites dans des cas particuliers) ainsi qu'une certaine exactitude en ce qui concerne les courants de retour dans les baies appréhendés par la théorie seule.

VI. RESULTATS DE L'ENQUETE FAITE AUPRES D'ORGANISMES TRAITANTS D'OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE DANS LE GOLFE DU LION, (ISTPM SETE).

L'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes a établi l'un de ses laboratoires à Sète. Une enquête auprès de cet organisme nous a permis de vérifier certaines propositions faites et de les compléter.

6.1. Saisons hydrologique du Golfe du Lion d'après M. Tournier. (Cf. figures 4.6, 4.7).

"L'Ichthys", navire océanographique a effectué depuis une dizaine d'années des campagnes hydrologiques systématiques dans le Golfe du Lion, (Cf. Bibliographie). Les résultats de ces campagnes permettent d'avancer que le régime des fleuves et des rivières se jettant dans le Golfe du Lion influent de manière prépondérante sur son hydrologie et les caractères physiques de ses eaux. Ainsi on peut distinguer 4 saisons hydrologiques selon le débit des cours

d'eaux et surtout celui du Rhône.

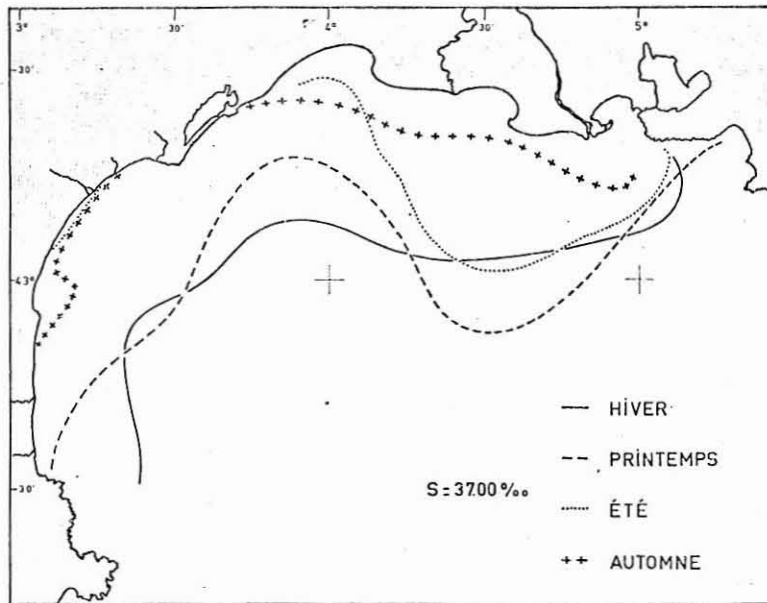


Figure 4.6 Situation moyenne de l'isohaline de 37.00 en surface aux 4 saisons d'après les données de 1966 et 1967. (extraite de Hydrologie saisonnière du Golfe du Lion par H. Tournier).

6.1.1. L'hiver hydrologique.

Il s'étend de la fin novembre à la première quinzaine de mars. Il se caractérise par un fort débit des fleuves et un minimum thermique des eaux diluées. Lors de cette période l'eau diluée d'influence fluviale occupe une large bande parallèle au littoral, diminuant le long des côtes du Roussillon, ces eaux se maintenant en sub-surface jusqu'à une profondeur de 20 à 50m.

6.1.2. Le printemps hydrologique.

Il s'étend de la première quinzaine de mars au 15 juin. Il se distingue de la saison précédente par un lent réchauffement des eaux et un second maximum du débit rhodanien. Bien que le débit du Rhône soit plus faible, l'extension de ses eaux diluées le long du littoral jusqu'au Roussillon est au moins aussi importante qu'en hiver. En effet ces eaux réchauffées voient leur densité diminuée et de ce fait elles ne s'enfoncent plus aussi facilement qu'en hiver en glissant vers le Sud-Ouest.

6.1.3. L'été hydrologique.

Il s'étend du 15 juin à septembre - octobre, il est caractérisé par un maximum thermique des eaux diluées correspondant au débit minimum des fleuves. Lors de cette période le lobe rhodanien n'a qu'une extension limitée devant la Camargue et n'apparaît qu'à peine dans le secteur languedocien. Cette eau diluée et très chaude a tendance à s'étaler vers le Sud et à se mélanger plus ou moins aux eaux environnantes.

6.1.4. L'automne hydrologique.

Il ne dure guère plus d'un mois et correspond à un brusque refroidissement des eaux diluées alors que le débit des fleuves est encore faible. C'est pour quoi l'eau diluée ne présente qu'une faible extension devant le delta et immédiatement à l'Ouest de celui-ci.

On remarquera que le schéma hydrologique proposé, bien qu'assez stable, subit des modifications sensibles sous l'influence des vents dominants, créant selon les explications précédentes, des "upwellings" (remontées d'eaux) ou du "cascading" (enfouées d'eaux). Les écoulements de ces eaux suivent assez exactement les "Rechs", c'est à dire les canyons qui découpent la bordure du plateau continental. (Cf. figure 4.7).

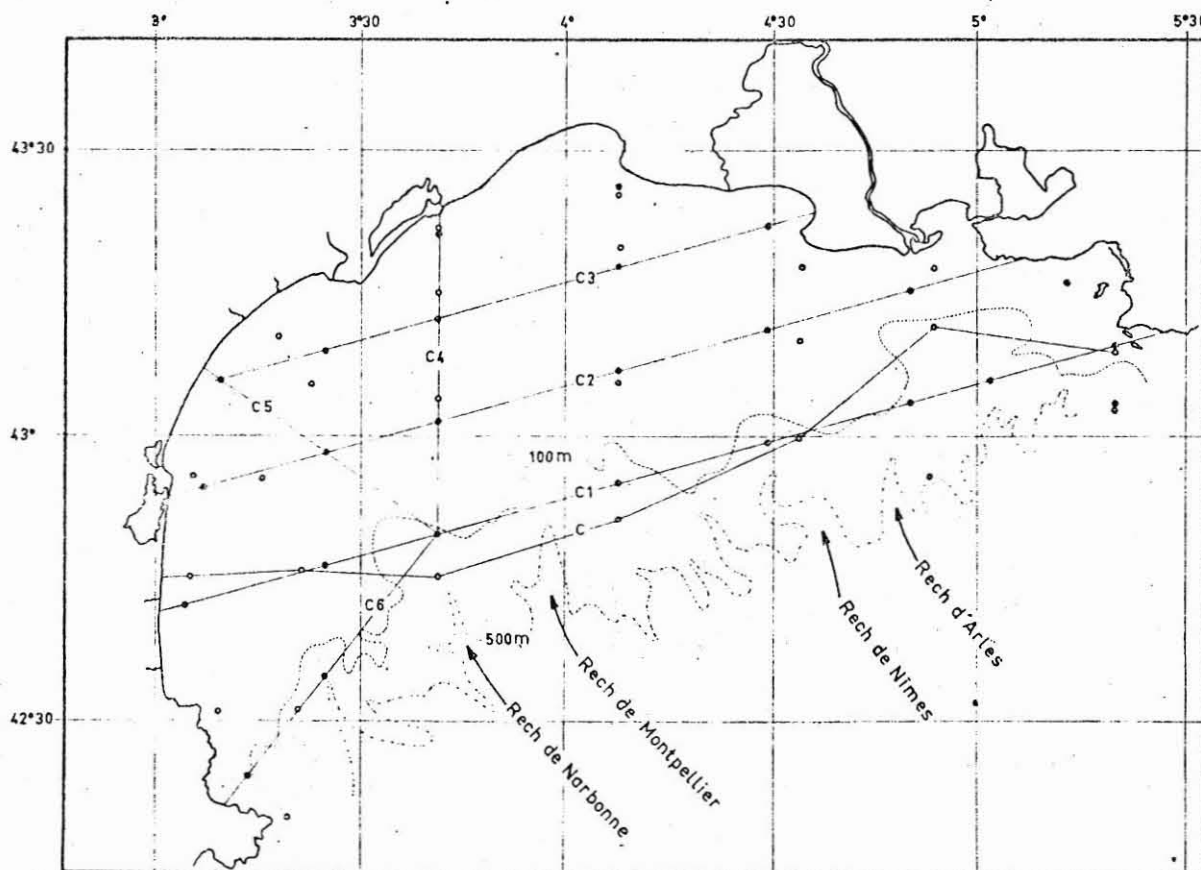


Figure 4.7 : l'isobathe - 500m montrant les Rechs découpant le talus continental du golfe.

6.2. La campagne hydrologique de "l'ICHTHYS" du 17 au 21 septembre 1973 d'après M. Duclerc (Cf. planches 48, 49, 50, 51).

Cette campagne est extrêmement intéressante pour notre étude :

- d'une part car elle va montrer l'influence des vents et la transition entre 2 saisons précédemment définies;
- d'autre part car la date du 21 septembre 1973 correspond à la prise de vue de SKYLAB (planche 29).

Du début d'août au 15 septembre 1973 le Golfe du Lion a vu des conditions météorologiques exceptionnelles. (Forte insolation, absence quasi totale de vents de Nord-Ouest) donc un très fort réchauffement en surface, jusqu'à 27° face à Sète, l'épaisseur de la couche d'eau étant de 30m au début de septembre. Puis s'établit un régime perturbé de Nord-Ouest avec des coups de vents de 40 noeuds (Cf. tableau page et tableau page).

Les planches 48, 49, 50 et 51 montrent les isothermes respectivement en surface, à moins de 20m. Il est très intéressant de noter l'arrivée des eaux froides de fond, suivant les "Rechs" de direction Sud-Est, Nord-Ouest, et par conséquent le début de l'établissement d'un "upwelling" le 21 septembre.

VII. CONCLUSIONS.

D'après les "photographies" de satellite et d'après les traitements numériques effectués sur ces données, nous avons su distinguer selon les niveaux de gris des eaux de qualité différentes. Bien que l'on sache que la bande 4 d'ERTS permet mieux de visualiser les transports de sédiments que les autres bandes, il est impossible à l'heure actuelle d'affirmer que ce ne sont que les transports de sédiments et seul qui sont visualisés. Il est évident que dans la réponse spectrale des eaux, dans cette bande, se mêlent plusieurs paramètres tels que végétation, turbidité, température, salinité, etc.

Nous avons vu au long de cette étude l'influence des conditions météorologiques et particulièrement celle des vents, ainsi que l'influence des régimes des cours d'eaux se jettant dans le golfe.

L'énigmatique "bande claire" décelée sur les "photographies" ERTS et SKYLAB et les planches 13, 14, 15 correspond trop à l'extension des eaux diluées d'origine fluviale définies précédemment pour qu'on ne la rapproche pas de ce phénomène et ceci pour plusieurs raisons :

- 1) d'une part cette bande claire part du Rhône pour s'étaler vers l'Ouest et le Sud-Ouest le long des côtes
- 2) ces eaux de forte température et de salinité inférieure à 37.00 sont chargés de sédiments en suspension, phénomène que l'on sait reconnaître en bande 4 d'ERTS
- 3) les vents de Nord-Ouest dominants (coincidunt particulièrement avec les prises de vue du 26/1/1973 et du 21/9/1973) sont à l'origine d'un phénomène d'"upwelling". Ce phénomène nous semble tout particulièrement important pour notre étude. En effet les remontées d'eaux froides le long des "Rechs", mécanisme dont nous avons expliqué l'origine d'après la théorie et d'après l'expérience pour la période du 17 au 21 septembre 1973, sont des agents importants de modification de l'hydrologie du golfe voire même de transition saisonnière de cette hydrologie (Période du 17 au 21 septembre passage de l'été à l'automne hydrologique). De plus ces eaux froides de densité faible exercent un mouvement ascendant le long du littoral

qui très certainement remélange les sédiments en suspension des eaux diluées. Enfin, le contact des eaux froides ascendantes du fond et des eaux diluées chaudes de surface est toujours une zone de fort développement pour le phytoplancton et le zooplancton ce qui explique que les eaux "d'upwelling" soient si poissonneuses, (on notera d'ailleurs que le phytoplancton de pigment chlorophyllien a une réponse spectrale dans le vert ce qui correspond à la bande 4 d'ERTS.)

- 4) cette bande claire montre des denticules. nous avons vu d'après la planche 45 qu'ils correspondent à l'hydrodynamique générale du golfe en particulier pour les données du 26/1/1973 :
- a) le lobe rhodanien en A planche 15
 - b) les contre-courants côtiers, tout particulièrement celui du golfe de Beauduc (Cf. B planche 18 équidensité - ce contre-courant tourbillonnaire étant malheureusement bien connu par le fait qu'en son centre se retrouvent régulièrement les corps des noyés des plages des Stes Maries de la Mer - Ce contre-courant explique également la formation d'un dépôt sédimentaire au moment où le courant de retour rencontre le courant principal dirigé vers l'Ouest, ce phénomène est peut être celui qui apparaît sur la planche 15. Sur cette même planche, et par comparaison, on peut noter en D un phénomène analogue de dépôt sédimentaire en anses là où se jettait un bras du grand Rhône appelé "vieux Rhône.
 - c) la largeur de cette bande claire allant en diminuant vers le Sud et se réduisant considérablement le long des côtes du Roussillon (planche 13F) ce qui correspond encore exactement à l'extension des eaux diluées en hiver comme nous l'avons vu d'après l'étude de H. Tournier.
 - d) le "lobe d'Agde" E planches 13, 14 et 29 dirigé vers l'Est et correspondant exactement à une importante limite écologique au centre du Languedoc. Il en effet bien connu des pêcheurs que par temps calme à Sète (léger vent de Nord-Ouest) il est fréquent de rencontrer la tempête à partir du cap d'Agde en allant vers le Sud.

- 5) la physionomie de cette "bande" détectée sur les "photographies" de satellite est en étroite liaison avec la dynamique que l'on peut tirer de l'interprétation des thermographies, celle-ci correspondant assez exactement au schéma général connu de l'hydrodynamique du golfe.

D'autre part, l'interprétation de données telles que celles du satellite NOAA 2, précisera et complétera vraisemblablement les résultats que nous cherchons à établir. (Cf. planche 34 A panache foncé au niveau du Rhône). Malheureusement ces documents de qualité médiocre demanderaient une amélioration par traitement numérique, ce qui n'a pu être tenté faute de temps.

Enfin, parmi la masse énorme de renseignements obtenus après les traitements numériques et ceci uniquement pour l'eau, nous noterons en G planche 14 que les zones foncées décelées dans l'étang de Mau-guio correspondent assez précisément à l'extension des herbiers dans cet étang. Ce phénomène n'apparaît pas dans l'étang de Thau (H planche 13) vraisemblablement à cause de sa profondeur plus grande, ni dans l'étang de Leucate (I planche 13) qui connaît une turbidité assez intense.

C O N C L U S I O N

Cette étude a été limitée à l'interprétation de peu de documents :

- données ERTS du 26/1/1973
- données SKYLAB du 21/9/1973
- thermographies des 24 et 25/6/1973

D'autre part elle s'est limitée à l'analyse d'une seule bande spectrale (bande 4 ERTS, canal 10 SKYLAB).

D'autres documents et des combinaisons spectrales entre les bandes 4,5,6 et 7 d'ERTS auraient été très bénéfiques pour l'établissement des résultats. Toutefois nous pouvons avancer :

- que nous avons pu délimiter l'extension des eaux diluées d'origine fluviale dans le Golfe du Lion.
- qu'il est possible d'appréhender les remontées d'eaux et d'en donner la position ce qui peut être extrêmement intéressant pour la pêche industrielle (recherche des bancs de poisson, localisation des aires de ponte).

Nous ne prétendons pas donner à ces résultats un caractère absolu et définitif, l'analyse systématique d'autres documents dans diverses longueurs d'onde et de nombreuses études et comparaisons directes "in situ" seront nécessaires pour vérifier le bien fondé de nos propositions. Cependant, même si nous ne connaissons pas bien son mode de réponse, nous avons à notre disposition un "oeuil nouveau" pour regarder le globe.

BIBLIOGRAPHIE

PARTIE n° 1

- Centre National d'Etudes Spatiales. - 1971 -
La télédétection des ressources naturelles. Journées d'études-conférences, Paris 26-27 octobre 1971.
- Centre National d'Etudes Spatiales. - 1973 -
La télédétection des ressources terrestres au C.N.E.S. La recherche spatiale 1ère et 2ème partie. Fascicules n° 4 et 5 vol. XII.
- Manual of color aerial photography.
American society of photogrammetry.
- GUY M.
Traitement des images et méthodes d'exploitation. Géoforum 3/1970.

BIBLIOGRAPHIE

PARTIE n° 2

LAVENU F. - 1972 -

La télédétection des radiations infrarouges appliquée à l'étude hydrologique des étangs côtiers et plus particulièrement à celle des étangs de THAU (Languedoc). Thèse de Docteur en spécialité de géologie appliquée Académie de Montpellier.

BURKHALTER R. - 1973 -

Influence de l'appareillage sur l'aspect des images thermographiques de zones côtières (non publié).

KAMINSKI H.

Geoforschung Erkundung aus der Umlaufbahn. Bild der Wissenschaft.

EREP Investigators' Information Book NASA. - 1973 -

SKYLAB Program. Lyndon B. JOHNSON Space Center Houston Texas

DATA USERS HANDBOOK.

NASA EARTH RESSOURCES TECHNOLOGIE SATELLITE. Documents de la Generale Electric Goddard Space Flight Center.

BIBLIOGRAPHIE

PARTIE n° 3

BRACONNE - 1974 -

Structures topologiques et cartographie thématique automatique des images aériennes. IFP.

VIGNES J., LA PORTE M., HALLOPEAU B.- 1972 -

Théorie et pratique de la programmation Fortran. Publications de l'Institut Français du Pétrole.

INSTITUT FRANCAISE DU PETROLE - 1973 -

Notice de l'ordinateur CDC 7 600 dans le cadre de la scolarité à l'ENSPM.

BIBLIOGRAPHIE

PARTIE n° 4

- MAIRS R.L., CLARK D.K. - 1973 -
Remote sensing of estuarine circulation dynamics. Photogrammetric engineering vol. XXXIX n° 9.
- NICHOLS M., KELLY M. - 1972 -
The sensing and analysis of coastal waters (sequential photographs). Extrait du 8ème symposium international sur la télédétection. Ann Arbor Michigan, tome 1.
- BORGESE D. - 1972 -
Isothermal mapping of temperature pattern from thermal discharges in Italian coastal waters. Extrait du 8ème symposium international sur la télédétection. Ann Arbor Michigan, tome 2.
- Photogrammetric Engineering.
Remote sensing of estuarine circulation dynamics. Vol. XXXIX, fascicule n° 9.
- GOLDMAN C.R., RICHARDS R.C., PAERL H.W., WRIGLEY R.C., OBERBECK V.R., QUAIDE W.L. - 1974 -
Limnological studies and remote sensing of the Upper Truckee River Sediment plume in Lake Tahoe California Nevada. Remote sensing of environment: 3, 49 - 67.
- DEFANT.
Océanographie physique pages 538 à 543.
- NEWMANN.
Ocean currents. Elsevier oceanography series, volume 4.
- RHODE W. FAIRBRIDGE.
The encyclopedia of oceanography.
- CAZABAT C. - 1974 -
Les équidensités colorées, application au milieu littoral. Ofet, stage Sertel IFP, mars 1974.
- ROUCH J. - 1948 -
Traité d'océanographie physique, vol. 3, Payot.
- Inventaire National de la Pollution Bactérienne des Eaux Littorales,
- 1968 -
Tome 4 CERBOM.
- MIZOULE R.
Etude de la circulation littorale dans la baie de Collioure.
- TOURNIER H. - 1967 -
Hydrologie saisonnière du Golfe du Lion. (Travaux de "l'ichthys"; 1966 - 1967).
- ALLAIN - 1960 -
Topographie dynamique et courants généraux dans le bassin occidental de la Méditerranée. Revue des travaux de l'ISTEP 24 (2), 121 - 145.