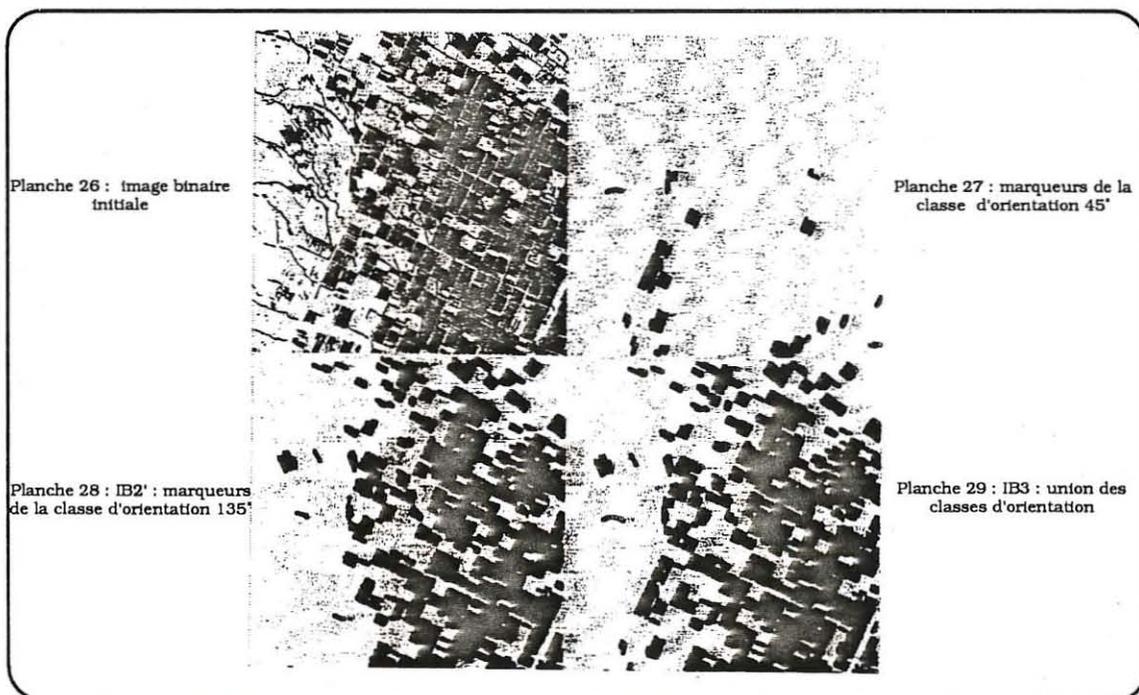


**AIDE A L'ESTIMATION DES STOCKS D'HUITRES EN  
ELEVAGE PAR TELEDETECTION BASSE ALTITUDE :  
ETUDE DE FAISABILITE**

Hélène de PONTUAL



# INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER

Adresse :  
 IFREMER  
 BP 133  
  
 17390 LA TREMBLADE

DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES

DEPARTEMENT RESSOURCES AQUACOLES

STATION/LABORATOIRE LA TREMBLADE

AUTEURS (S) : Hélène de PONTUAL		CODE : DRV-89.038-RA/ LA TREMBLADE
TITRE : AIDE A L'ESTIMATION DES STOCKS D'HUITRES EN ELEVAGE PAR TELEDETECTION BASSE ALTITUDE : ETUDE DE FAISABILITE		date : Novembre 1989 tirage nombre : 30
CONTRAT (intitulé)  N° _____	INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER STATION DE SETE 1, Rue Jean Vilar - 34200 SETE ☎ 16 (67) 74.77.67	DIFFUSION libre <input type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> confidentielle <input type="checkbox"/>
<p><b>RESUME</b></p> <p>L'estimation des biomasses d'huîtres en élevage exige la mise en oeuvre d'un processus d'échantillonnage sur photographies aériennes. Par le biais de techniques d'analyse d'images numériques (morphologie mathématique en particulier), on propose ici une méthode de traitement automatique de clichés aériens numérisés. Les algorithmes développés sont décrits et évalués. Sur les photographies au 1/2000ème, le linéaire de tables occupées est extrait avec une excellente précision. La détection des parcs exploités en surélévation sur des clichés au 1/15 000ème est elle-même très satisfaisante. Les résultats obtenus permettent donc de suggérer la poursuite des développements. La mise en oeuvre de ce type de traitement exige l'acquisition de données numériques. Ce problème est en conséquence abordé. Les potentialités de la vidéo aéroportée sont en particulier évaluées. Les tests réalisés sont suffisamment concluants pour proposer le développement d'une centrale d'acquisition performante à partir d'une instrumentation adaptée.</p> <p><b>ABSTRACT</b></p> <p>Existing methods to assess the biomass of reared oyster's stocks are all based on aerial photographs and field data. In this study we propose an automatic processing of the digitized aerial photographs making use of advanced vision tools such as mathematical morphology. The implemented algorithms are described. They give enough convincing results to suggest further developments. However, this method requires the use of digital images. To this respect, a part of this paper deals with data acquisition problems. We particularly study the feasibility of using airborne video recording system. Such device should give a quite accurate information, easier to process than the classical aerial photographs.</p>		
mots clés : Huître, estimation des stocks, photographie aérienne, vidéo aéroportée, analyse d'images numériques		
key words : Oysters, stock assessment, aerial photographs, airborne videography, digital image processing		



Handwritten text at the top of the page, possibly a header or title, which is mostly illegible due to fading.

Handwritten text in the middle of the page, appearing to be a list or a set of notes, also mostly illegible.

AVANT PROPOS

Cette étude n'aurait pu être réalisée sans le concours matériel de divers laboratoires et organismes: CMM/Ecole des Mines de Paris<sup>1</sup>, Ifremer/DIN/GCI<sup>2</sup>, Ifremer/SDIT/EQE<sup>3</sup>, STU<sup>4</sup>. Qu'ils en soient ici remerciés.

Elle n'aurait pu non plus aboutir sans le concours actif de ses commanditaires. En nous faisant profiter d'une indispensable expérience, M. Héral<sup>5</sup>, A. Bodoy<sup>6</sup>, et leurs collaborateurs y ont largement contribué.

---

<sup>1</sup> CMM: Centre de Morphologie Mathématique. Fontainebleau.

<sup>2</sup> DIN/GCI: Direction de l'Informatique, servive Graphique, Cartographie, Image. Brest.

<sup>3</sup> SDIT/EQE: Sous Direction de l'Ingénierie et de la Technologie, département Etudes, Qualification, Essais. Brest.

<sup>4</sup> STU: Service Technique de l'Urbanisme. Paris.

<sup>5</sup> Laboratoire Ecosystème Conchylicole, Ifremer/La Tremblade.

<sup>6</sup> Laboratoire régional, Ifremer/La Tremblade.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY  
PHYSICAL CHEMISTRY  
LABORATORY OF CHEMICAL PHYSICS  
5301 S. DICKINSON DRIVE  
CHICAGO, ILLINOIS 60637

## SOMMAIRE

I. PRESENTATION DE L'ETUDE.	1
A. La gestion des stocks conchylicoles: une nécessité.	3
B. Estimation des stocks d'huitres <u>Crassostrea gigas</u> .	5
1. Moyens et méthodes en cours.	5
2. Objectifs de l'étude.	5
a. Protocole d'échantillonnage sur photographies aériennes.	5
b. Remarques.	6
c. Du poids du papier à l'ordinateur.	7
d. Implications techniques de l'automatisation de l'interprétation et de la mesure.	8
II. ANALYSE DE LA STRATE D'ELEVAGE EN SURELEVATION.	11
A. Photointerprétation automatique: étude de faisabilité.	13
1. Méthodologie.	13
a. Outils matériels et logiciels.	13
b. Validation des algorithmes.	13
c. Principes de base de la morphologie mathématique.	14
2. Proposition de traitement.	15
a. Connaissance des images et définition de sous-buts.	15
i. Aperçu sur les structures d'élevage en surélévation.	15
ii. Les différents objets de l'image.	16
iii. Organisation spatiale.	17
iv. Définition de sous buts.	17
b. Organigramme commenté de l'algorithme de traitement.	20
c. Remarques.	23
3. Résultats.	23
4. Discussion.	24
5. Conclusion.	28
B. Acquisition de données numériques.	43
1. Les techniques possibles.	43
2. Essai d'acquisition d'images vidéo en vol.	45
a. Préparation de la mission.	45
i. Le matériel.	45
ii. Calcul des paramètres de vol.	47
iii. Choix d'un site test.	48

b. Réalisation.	49
i. Paramètres de vol.	49
ii. Vérité terrain.	49
c. Résultats.	51
i. Images vidéo numérisées.	51
ii. Géométrie.	51
iii. Extraction des thèmes d'intérêt: approche quantitative.	54
iv. Automatisation de l'analyse d'une image vidéo couleur: éléments de réponse.	57
3. Chaîne d'acquisition vidéo embarquée : cahier des charges.	71
a. L'utilisation de la vidéo en télédétection: les systèmes actuels.	71
b. Les solutions techniques possibles.	72
4. Conclusion.	74
III. ESTIMATION DES SURFACES DES STRATES A PLAT ET EN SURELEVATION.	77
A .Estimation des surfaces des strates d'élévation en surélévation.	81
1. Méthodologie.	81
2. Proposition de traitement.	81
a. Connaissance des images et définition de sous buts.	81
i. Caractérisation géométrique.	81
ii. Caractérisation radiométrique.	82
iii. Relations d'organisation spatiale.	82
b. Algorithme de traitement commenté.	83
c. Résultats.	86
d. Discussion et conclusions.	86
B. Estimation des surfaces des strates d'élévation à plat.	101
1. Morphologie.	101
2. Radiométrie.	101
3. Texture.	102
C. Acquisition de données numériques: technologie de substitution.	105
1. Satellites d'observation de la terre.	105
2. Systèmes aéroportés.	107
IV. PERSPECTIVES ET CONCLUSIONS.	109
V. BIBLIOGRAPHIE.	115
VI. ANNEXE.	121

LISTE DES FIGURES, PLANCHES  
ET TABLEAUX.

figure 1 :	Traitement automatique des images à 0.20m : démarche générale.	18
figure 2 :	Traitement automatique des images à 0.20m : algorithme développé.	19
tableau 1 :	Evaluation des performances de l'algorithme élaboré.	24
figure 3 :	Effet de l'orientation des rangs de culture sur la réflectance d'un couvert végétal (modifiée d'après Guyot 1988).	27
planche 1 :	IG2: Image 2783A rehaussée.	31
planche 2 :	IB1: extraction des tables occupées et inoccupées.	33
planche 3 :	Ib1: extraction des tables à poches retournées, structures mixtes et tables inoccupées.	33
planche 4 :	IB3: squelette de séparation de l'ensemble des tables.	33
planche 5 :	IB2: masque des allées et chenaux.	33
planche 6 :	IB4: résultat de la séparation des tables accollées.	35
planche 7 :	Ib2: marqueurs des configurations en U.	35
planche 8 :	Ib3: reconstruction des structures présentant des configurations en U après élimination des marqueurs isolés.	35
planche 9 :	Ib4: élimination des structures présentant un bord continu (ombre portée des poches retournées).	35
planche 10:	IB5: différence logique entre les images IB4 et Ib4.	37

planche 11:	IB6: image binaire finale servant à l'extraction du pseudosquelette des tables occupées.	37
planche 12:	SQ1: pseudosquelette des tables occupées.	37
planche 13:	SQF: image finale du pseudosquelette des tables occupées après rétablissement de connexités.	37
planche 14:	Image 2783A: résultat du traitement (superposition des images binaires initiale et finale ,IB1 et SQF respectivement).	39
planche 15:	Image 2783C: résultat du traitement	39
planche 16:	Image 2783B: résultat du traitement	39
planche 17:	Image 2783D: résultat du traitement	39
planche 18:	Image 2770A: résultat du traitement	41
planche 19:	Image 2770B: résultat du traitement	41
planche 20:	Image 2770C: résultat du traitement	41
planche 21:	Image 2770D: résultat du traitement	41
figure 4 :	Images vidéo aériennes: matériels d'acquisition.	44
figure 5 :	Calcul de l'altitude en fonction de la couverture au sol souhaitée.	47
tableau 2 :	Calcul des paramètres de vol.	48
figure 6 :	Relevé cadastral du site ostréicole de la Pointe du Bile.	50
figure 7 :	Calcul de l'angle $\gamma$ sur les images vidéo numérisées.	52
tableau 3 :	Calcul de la taille des pixels (système Intergraph).	53
tableau 4 :	Taille des pixels et angles $\gamma$ (système Comtal).	53
tableau 5 :	Extrait du relevé d'occupation du site ostréicole de la Pointe du Bile.	55
tableau 6 :	Profils d'occupation des rangées de tables ostréicoles: comparaison vérité terrain/ extraction sur image vidéo.	56

figure 8 :	Signatures spectrales des objets significatifs de l'image IV5.	59
figure 9 :	Caractérisations des objets significatifs de l'image IV5 par les indices $I_{p1}$ et $I_{p2}$ .	61
tableau 7 :	Mise en correspondance des caractéristiques spectrales de l'instrument HRV du satellite SPOT et d'une caméra TV couleur	62
tableau 8 :	Réflectances et indice pigmentaire associé de différents thèmes dans les canaux de SPOT (d'après Ben Moussa et al. 1989) et de thèmes similaires dans les canaux "correspondants" d'une caméra vidéo couleur.	62
planche 22:	Images vidéo numérisées.	65
planche 23:	Image vidéo numérisée IV5 et graphique d'interprétation.	67
planche 24:	Classification de l'image IV5 égalisée	69
figure 10 :	Traitement automatique des images à 1.50m : algorithme développé.	84
planche 25:	IG2 : image 2471A rehaussée.	89
planche 26:	IB1: image binaire initiale.	91
planche 27:	IB2: marqueurs de la classe d'orientation 45°.	91
planche 28:	IB2': marqueurs de la classe d'orientation 135°.	91
planche 29:	IB3: union des classes d'orientation.	91
planche 30:	IB4: masque de l'étranger concédé.	93
planche 31:	IB5: marqueurs des parcs exploités.	93
planche 32:	IB6: intersection des images IB1 et IB5.	93
planche 33:	IBF: extraction des parcs exploités: image binaire finale.	93
planche 34:	Résultat du traitement de l'image 2471A: superposition des images IB1 (en jaune) et IBF (en bleu).	95
planche 35:	Image 2471B: original réhaussé.	97

planche 36:	Résultat du traitement de l'image 2471B.	97
planche 37:	Image 2471C: original réhaussé.	97
planche 38:	Résultat du traitement de l'image 2471C.	97
planche 39:	Image 2471D: original réhaussé.	99
planche 40:	Résultat du traitement de l'image 2471D.	99

I. PRESENTATION DE L'ETUDE.



## A. LA GESTION DES STOCKS CONCHYLICOLES: UNE NECESSITE.

Première activité d'exploitation des ressources vivantes du milieu marin en France, la conchyliculture, avec une production en 1988 de 140.000 tonnes pour un chiffre d'affaire à la production de 1350 MF (Héral, com. pers.), représente près de 10.000 emplois permanents répartis dans 4000 à 6000 entreprises (Dumont, 1986). Elle joue par conséquent un rôle économique et social de première importance dans les quelques grands bassins où elle s'exerce et se concentre.

La production de cette activité s'appuie sur l'exploitation de ressources naturelles limitées à divers titres:

- ressource physique constitué par la part du domaine public maritime (DPM) concédé à l'élevage,
- ressource biologique correspondant aux potentiels trophiques des milieux exploités.

L'analyse de l'évolution temporelle des productions conchyloles démontre clairement que l'exploitation d'un bassin semi-fermé reposant sur la seule initiative privée sans mesures de gestion collectives tend à conduire à une surexploitation de la productivité des écosystèmes concernés (Héral et al. 1985). Au niveau biologique, ce processus engendre un allongement des cycles de production, une diminution des taux de survie et un affaiblissement physiologique des cheptels en élevage. Il s'en suit, au niveau économique, une augmentation des coûts de production et un risque de perte des stocks constitués d'animaux fragilisés .

Ce type de constatation met en lumière la nécessité d'une gestion rationnelle de l'utilisation des capacités trophiques des bassins d'accueil s'appuyant sur la mise en place d'aménagements susceptibles de conduire à l'optimisation de la production. Les modes d'allocation du DPM concerné (superficiés concédées, type et mode de culture, modalités d'exploitation, etc...) constituent l'outil privilégié de telles actions.

La gestion de la production conchylicole d'un bassin donné peut s'envisager en fonction des niveaux de connaissance de ses mécanismes de fonctionnement:

- une gestion a priori requiert pour passage obligé l'établissement de modèles analytiques des relations mollusques (cultivés et compétiteurs) milieu permettant la mise au point de modèles prédictifs de production. Cette approche est la seule qui permette de proposer des mesures d'aménagement spatial efficaces. Exigeant dans sa phase conceptuelle la mobilisation d'un effort de recherche important, elle est actuellement retenue dans le seul bassin de Marennes-Oléron responsable de près de 40% de la production ostréicole nationale et présentant des signes évidents d'altération des rendements.

- à un moindre niveau de sophistication, on peut envisager la gestion a posteriori d'un bassin dans son ensemble. Cette approche se fonde sur l'établissement de modèles globaux mettant en relation la production annuelle totale du bassin donné et les biomasses en élevage, le potentiel

trophique de ce bassin étant considéré comme constant et unique facteur limitant, abstraction faite de tout autre facteur susceptible d'influer sur la productivité du site. De tels modèles sont en cours d'élaboration dans les principaux bassins ostréicoles français. Performances de croissance et taux de survie des populations cultivées, biomasse totale en élevage, production annuelle de mollusques commercialisables sont autant de variables nécessaires à leur construction. L'enquête auprès des professionnels, le plus souvent ressentie comme une inquisition fiscale, ne peut permettre l'obtention de données fiables en ce qui concerne notamment les stocks en élevage et la production annuelle. Ceci explique qu'aient été mises au point des méthodes d'estimation directe de ces données, méthodes au demeurant perfectibles dans leur souplesse de mise en oeuvre et la précision qu'elle permettent d'escompter.

## B. ESTIMATION DES STOCKS D'HUITRES CRASSOSTREA GIGAS

### 1. Moyens et méthodes en cours

Les stratégies d'échantillonnage retenues dans les bassins ostréicoles français sont bien évidemment fonction des types et modes de culture observés dans les zones étudiées. Ne seront évoquées dans ce rapport que les méthodes arrêtées pour les cultures pratiquées sur les estrans découvrants du littoral français (Atlantique et Manche). Ces dernières font largement appel au processus de stratification selon divers critères (géographiques, types de culture - à plat ou en surélévation -, classes d'âge, etc..). L'estimation des stocks est aujourd'hui classiquement réalisée en couplant deux plans d'échantillonnage distincts sinon indépendants (les unités primaires leur sont communes):

- la taille de chacune des strates (hors classes d'âge) est estimée par exploitation de photographies aériennes,

- l'estimation des densités d'élevage (biomasse / unité d'échantillonnage) fait elle, nécessairement, l'objet d'un échantillonnage sur le terrain.

Le détail des protocoles retenus dans chacun des bassins est rapporté dans Bacher (1984) et Bodoy et al. (1987) pour Marennes-Oléron, Baud et Hommebon (1987) pour la baie de Bourgneuf et Maurer et al. (1987) pour le bassin d'Arcachon.

La mise en oeuvre d'un échantillonnage sur photographies aériennes pour l'estimation de la taille des strates a eu pour conséquence une augmentation considérable de la précision des estimations par rapport aux résultats obtenus en calculant les surfaces à partir du cadastre des Affaires Maritimes. Cette opération représente cependant un coût non négligeable ( acquisition, temps de photointerprétation ) pour une précision au demeurant mal évaluée (mauvaise reproductibilité des mesures manuelles, erreurs d'échelle,...). L'exploitation des photographies constitue par ailleurs un travail fastidieux et peu motivant. C'est dans ce contexte que s'inscrit l'étude présentée qui s'est attachée à rechercher une méthodologie de substitution s'appuyant sur l'acquisition de données numériques permettant l'automatisation de tout ou partie du travail de photointerprétation et de mesure.

### 2. Objectifs de l'étude.

#### *a. Protocole d'échantillonnage sur photographies aériennes.*

Les objectifs de l'étude ont été définis en analysant les contraintes respectives de chacune des étapes de l'échantillonnage sur photographies aériennes du bassin de Marennes-Oléron dont le protocole est le plus complexe de ceux mis en place actuellement. Deux types d'information sont

recherchés qui diffèrent notamment du point de vue de l'échelle minimale permettant leur obtention:

- l'estimation des surfaces exploitées dans chacune des strates définies est obtenue par l'analyse de la couverture photographique exhaustive du bassin au 1/10.000 ème. La méthode utilisée consiste à appliquer sur chacune des photos une trame transparente de points matérialisant des carrés de 5mm de coté (soit 50 m au sol). On délimite l'enveloppe des surfaces exploitées, enveloppe à l'intérieur de laquelle sont alors dénombrés les points de la trame répondant aux critères d'exploitation. Sont ainsi exclus du décompte les espaces non cultivés, les parcs totalement ou partiellement inexploités et les allées règlementaires. Cette opération est reconduite à trois reprises en modifiant l'angle d'application de la trame ce qui permet de mesurer la précision des estimations obtenues.

- concernant les strates d'élevage en surélévation, les estimations de densité sont exprimées en kg par mètre de table. Les estimations de biomasse exigent en conséquence que l'on dispose d'un coefficient de conversion permettant de transformer les surfaces exploitées estimées à partir des photographies à petite échelle en longueurs exploitées. Ce taux de conversion est estimé par un échantillonnage sur photographies aériennes à l'échelle de 1/1000 ème. Sur chaque photo on mesure manuellement la longueur de tables occupées. On évalue la surface exploitée correspondante en la découpant et en la pesant par rapport au poids d'une surface étalon. Le rapport longueur occupée/surface exploitée correspond au coefficient de conversion recherché. La différenciation par type d'élevage (élevage en poches, collecteurs de un an, collecteurs de deux ans) n'est pas réalisée en raison de l'enchevêtrement des cultures parfois même au sein d'une même rangée qui rend impossible l'évaluation des surfaces correspondantes. Cette différenciation fait donc l'objet d'un effort d'échantillonnage sur le terrain particulier.

#### *b. Remarques .*

Les estimations résultant du protocole précédent sont assorties de mesures de précision qui de l'avis même des opérateurs ont une valeur plus théorique que réelle pour différentes raisons:

- concernant l'exploitation des photographies à petite échelle, le travail de photointerprétation à l'évidence essentiel est rendu difficile du fait de la non existence d'une grille d'interprétation des thèmes existants: les critères d'exploitation des zones d'élevage à plat sont en particulier mal définis. Cette seule constatation justifierait la réalisation d'une vérité terrain concomitante à une campagne d'acquisition aérienne.

- s'agissant de l'estimation des taux de conversion pour les strates d'élevage en surélévation, il apparaît essentiel de définir une grille de concordance des critères aux deux échelles de travail ( 1/10.000 ème et 1/1000 ème ) pour l'affectation des surfaces à l'état d'exploitation ou de non exploitation

Ces deux opérations permettraient de limiter les erreurs de mesures dues à l'expérimentateur dans le protocole défini. La perspective de l'automatisation de tout ou partie de l'analyse les rendent indispensables.

La différenciation par type d'élevage (poches ou collecteurs) n'est plus réalisée sur les photographies aériennes à grande échelle du fait de l'introduction d'un nouveau critère de stratification pour l'élevage sur collecteurs. La différenciation des collecteurs de 1 an et de 2 ans n'est effectivement pas réalisable sur les clichés au 1/1000 ème. Les travaux de Baud et Hommebon (1987) montrent cependant clairement que la précision des pourcentages par types d'élevage obtenue par échantillonnage sur photographie aérienne est meilleure que celle obtenue par échantillonnage terrain (précisions respectives de 8% et 13% ). Pour autant que les photographies au 1/1000 ème correspondent effectivement aux unités primaires échantillonnées sur le terrain et que les dates d'acquisition de ces deux types de données coïncident il serait avantageux de réintroduire dans l'échantillonnage photographique l'estimation des taux d'occupation par type d'élevage (toutes classes d'âge confondues) en focalisant l'effort d'échantillonnage terrain sur les seules strates collecteurs de un an, collecteurs de 2 ans pour lesquelles les précisions des estimations demeurent médiocres (19% et 20% respectivement pour la baie de Bourgneuf d'après Baud et Hommebon (1987), 17% et 34% respectivement pour le bassin de Marennes-Oléron d'après Bodoy et al. (1987).

### *c. Du poids du papier à l'ordinateur.*

Dans une image numérique, la surface d'un objet correctement segmenté i.e. extrait de son environnement est le paramètre le plus simple à calculer qui soit (c'est un nombre de pixels que multiplie la surface d'un pixel). Le calcul reste très simple si le contour de l'objet à été digitalisé (l'information est un vecteur, non plus une image). Si le support de l'information est un support optique et non plus numérique la mesure de ce type de paramètre devient très compliquée. On a vu dans le protocole d'échantillonnage détaillé ci-dessus, que l'acquisition de ce type de données oblige à recourir à des artifices plus ou moins satisfaisants : poids du papier (surface d'un objet), échantillonnage systématique par trame de points (surface totale d'un ensemble d'objets).

Par ailleurs, si le temps passé à la photointerprétation en général ( reconnaissance des structures) reste acceptable celui passé à la mesure manuelle des longueurs de tables occupées sur les clichés à grande échelle est quand à lui considérable Les erreurs de mesure, en partie imputables

aux erreurs d'échelle (variations de l'altitude de l'avion), sont par ailleurs non quantifiées.

Ces constats démontrent la nécessité de se libérer au maximum de l'intervention humaine par le recours aux techniques d'analyse de données numériques. Leur introduction peut s'envisager à divers niveaux en relation directe avec la complexité du travail à effectuer:

- Dans le cas où l'automatisation de l'interprétation et de la mesure est recherchée, le recours aux techniques d'analyse d'images est incontournable.

- Dans l'hypothèse où l'on puisse se satisfaire d'un outil d'aide à la mesure, un ordinateur équipé d'une table à digitaliser et d'outils logiciels de graphisme adéquats peut s'avérer suffisant. Quelles que soient les améliorations que puisse apporter ce type de solution, la charge de travail reste pour l'opérateur quasi identique (interprétation, digitalisation) et il est naturel que sa demande porte sur la première de ces alternatives.

#### *d. Implications techniques de l'automatisation de l'interprétation et de la mesure*

Ce type de solution implique, nous l'avons dit, le recours aux techniques d'analyse d'images numériques et par conséquent la résolution de deux problèmes de nature différente:

- l'acquisition de données numériques aux résolutions spatiales adéquates. Une étude préliminaire (Gachelin, 1986) a permis d'établir que la résolution (taille du pixel ou point élémentaire de l'image) souhaitable pour l'extraction du linéaire de tables occupées (photographies au 1/2000 ème) est de 0.20 m. Du fait des caractéristiques des structures à étudier, le traitement des clichés au 1/10.000 ème est envisageable pour des résolutions de 1 à 2 m. L'information recherchée à cette dernière échelle exigera par ailleurs la construction de mosaïques d'images (couverture exhaustive des zones d'élevage) et par conséquent la possibilité d'une acquisition en continu et d'un positionnement géographique synchronisé. Ces considérations peuvent justifier l'utilisation de technologies d'acquisition différentes dans l'un et l'autre cas.

- le traitement des données qui soulève des problèmes de nature algorithmique : extraction thématique ( ex: surface exploitée / inexploitée, tables occupées / inoccupées, poches / collecteurs, etc... ) précédant les étapes de mesure.

Compte tenu de la demande des utilisateurs, les priorités suivantes ont été établies :

- 1- faisabilité de l'extraction automatique du linéaire de tables occupées. (support: photographies aériennes au 1/2000 ème numérisées)

- 2- technologie d'acquisition d'images numériques en remplacement des clichés au 1/1000 ème.

3- faisabilité de l'extraction automatique des surfaces exploitées.  
(support: photographies aériennes au 1/10.000 ème numérisées)

4- technologie d'acquisition d'images numériques en remplacement des photographies au 1/15.000 ème.

5- reconnaissance automatique du type d'occupation des tables ostréicoles (poches ou collecteurs) et mesure des linéaires correspondants.



II. ANALYSE DE LA STRATE D'ELEVAGE EN SURELEVATION.



## A. PHOTOINTERPRETATION AUTOMATIQUE: ETUDE DE FAISABILITE

### 1. Méthodologie

#### a. Outils matériels et logiciels

La mise au point d'algorithmes de traitement automatique s'est essentiellement focalisée sur l'évaluation du linéaire de tables occupées. Les images traitées proviennent de photographies aériennes réalisées par le Service Technique de l'Urbanisme numérisées par la société TIGRE pour les premières (cliché n° 2783, campagne aérienne 1983) et par l'ETCA<sup>1</sup> pour les suivantes (cliché n° 2770, campagne aérienne 1984). Le pas de numérisation retenu est de 100 $\mu$  ce qui, s'agissant de photographies au 1/2000 ème, se traduit par une résolution du pixel au sol de 0.2 m.

Les algorithmes de traitement ont été développés en premier lieu sur l'un des systèmes de traitement d'images du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau (PDP 11 et carte Matrox) puis implantés sur un matériel IFREMER ( Microvax II et système Comtal Vision 1/20 de DIN/GCI ). Les séquences de traitement ont été élaborées à l'aide d' outils logiciels (Morpholog sur PDP, Visilog<sup>2</sup> sur Microvax) disposant des opérateurs classiques de morphologie mathématique. Ces logiciels doivent être considérés comme des "boîtes à outils" permettant la mise au point d'une séquence de traitement adaptée à une problématique donnée. L'amélioration de la performance des algorithmes a par ailleurs nécessité le développement "d'outils de base" spécifiques (ex: rehaussement de contraste, fonction distance orientée, reconstruction orientée, algorithmes rapides d'ouverture /fermeture orientées, etc...). Ces programmes<sup>3</sup> dont la liste est proposée en annexe ont été écrits en langage C et intégrés à l'environnement Visilog.

#### b. Validation des algorithmes

Le but recherché est la mise au point d'une séquence de traitement qui aboutisse au résultat le plus précis possible tant au niveau statistique que géométrique et permette ainsi d'évaluer la faisabilité de l'automatisation de l'analyse.

Pour chacune des images, le résultat du traitement se présentera sous la forme d'un linéaire de tables identifiées comme étant occupées.

L'estimation de la précision du traitement est réalisée par comparaison avec un linéaire de référence mesuré manuellement. Pour ce faire, les images numériques sont transférées sur le système Intergraph (système dédié

<sup>1</sup> Etablissement technique central de l'armement.

<sup>2</sup> Visilog est une marque déposée de NOESIS S.A.R.L.

<sup>3</sup> Les listing peuvent être fournis sur simple demande.

à la cartographie) sur lequel on réalise la mesure interactive de chacune des rangées de tables.

*c. Principes de base de la morphologie mathématique.*

Dans l'univers sonore, une polyphonie peut être appréhendée par le concept de linéarité. La compréhension de l'univers visuel, composé d'objets généralement opaques, doit elle faire appel à la notion d'inclusion qui traduit sur le plan logique cette loi fondamentale selon laquelle tout objet vu cache ceux qui sont placés derrière lui (Serra 1984). Cette constatation est à la base des théories élaborées par Matheron puis développées par Serra, théories connues sous le nom de morphologie mathématique et qui ont considérablement ouvert le champ des possibilités de traitement en imagerie numérique. D'abord développées dans le cadre ensembliste (cadre théorique propre à exprimer l'inclusion) et donc restreintes à l'imagerie binaire ces théories ont ensuite été étendues au cadre fonctionnel permettant leur application à l'imagerie numérique. Elles constituent ainsi à la fois des outils puissants de prétraitement des images (filtres morphologiques) et des outils de segmentation dont l'étape ultime aboutit à l'extraction des objets signifiants de l'image.

Les domaines d'application de ce type d'approche sont extrêmement variés: génie biologique et médical, robotique, métallographie, pétrochimie... Son intérêt dans le traitement de données de télédétection a par ailleurs été démontré par divers travaux (Benhamou 1984,1987; Destival 1986,1987; Flouzat et al. 1984; Guichou 1984; Merghoub 1985).

Par souci de concision nous ne reviendrons pas sur les aspects théoriques de la méthode. Le lecteur intéressé par ce sujet pourra se reporter aux publications faisant référence dans le domaine (Coster et Chermant 1985; Serra 1982,1986,1987,1988; Sternberg 1986).

Nous nous limiterons à l'exposé succinct des quelques règles proposées par Préteux (1986) permettant l'élaboration "organisée" d'algorithmes de traitements morphologiques dans un problème complexe.

De façon générale, les primitives d'opérateurs élémentaires (érosion, dilatation, ...) et d'ordre supérieur (ouverture, fermeture, squelette, ..) sont mises en oeuvre dans un système cohérent d'analyse de l'image qui décompose une scène dans son ensemble en plusieurs sous-structures individualisables. Plus concrètement, un algorithme de traitement sera composé d'étapes successives autonomes sinon indépendantes et où l'idempotence est recherchée. La constitution de ces étapes procède de la définition de sous-but, définition orientée par une connaissance a priori des images du point de vue du problème à résoudre. Certains de ces sous-but se retrouvent dans la plupart des problèmes posés comme par exemple l'élimination ou l'atténuation du bruit, le rehaussement de contraste, l'extraction de masques, la localisation et l'élimination d'artefacts etc...D'autres sont plus spécifiques aux images étudiées. Chaque sous-but est abordé par le choix d'un ensemble de propriétés qu'il faut exprimer en

termes mathématiques voire morphologiques pour ensuite les traduire sous forme de primitives existantes ou à élaborer. Le processus de choix des primitives traduisant les propriétés retenues est souvent complexe, une primitive pouvant avoir plusieurs effets, un effet pouvant être obtenu à partir de plusieurs primitives. On procède le plus souvent par allers et retours entre l'image et la morphologie mathématique selon le schéma suivant (Bloch et Préteux 1987):

propriétés --> primitives --> hypothèses à vérifier --> nouvelles propriétés.

Toute transformation morphologique présentant un caractère simplificateur de l'image (les opérateurs morphologiques étant irréversibles), l'enchaînement des primitives sera défini sur la base de règles liées à leur commutabilité ou non et au type d'information perdu à chaque niveau de traitement. Sous-but par sous-but un premier algorithme est élaboré et testé sur l'ensemble de la collection d'images de référence. Si la segmentation est satisfaisante le problème est résolu. Dans le cas contraire il faut déterminer les causes de l'échec: mauvais ajustement des paramètres des primitives retenues (on procède alors à un réajustement), sélection inadéquate des propriétés dans l'un ou l'autre des sous-buts (il faut alors modifier ces propriétés ou en intégrer de nouvelles et reprendre l'algorithme jusqu'à sa phase finale).

## 2. Proposition de traitement

Etant donné la complexité de l'algorithme élaboré, il ne peut être question d'en faire l'exposé pas à pas, opérateur par opérateur<sup>1</sup>. Une vision de synthèse de la démarche retenue est proposée dans les paragraphes suivants. Selon les principes évoqués ci-dessus, on s'est appuyé sur la définition, à partir des images disponibles, d'un ensemble de propriétés permettant de caractériser au mieux les objets signifiants de l'image.

### *a. Connaissance des images et définition de sous-buts.*

#### *i. Aperçu sur les structures d'élevage en surélévation.*

L'élevage en surélévation est réalisé sur des tables le plus souvent métalliques de 3m de longueur sur 0.5m de hauteur qui disposées bout à bout forment des rangées de tables. Sur ces structures, l'exploitant juxtapose des poches ostréicoles de dimension standard (1m x 0.5m). Ces poches sont régulièrement retournées pour éviter la prolifération d'algues et dédoublées quand leur charge devient trop importante. Elles sont donc l'objet de nombreuses manipulations.

On notera que si l'utilisation des poches ostréicoles décrites précédemment se généralise, on rencontre encore des structures d'élevage différentes tel le casier en bois ou en plastique de dimensions variables.

---

<sup>1</sup> Les listing des fichiers script élaborés peuvent être fournis sur simple demande.

De plus, l'usage de la table ostréicole n'est pas réservé à l'élevage en poches: elle est largement utilisée dans les phases de captage et de demi-élevage. Elle peut être alors chargée de divers types de collecteurs (pieux d'ardoise, tubes en plastique de factures diverses, broches de coquilles d'huitres ou de coquilles St Jacques). Etant donné la multiplicité de ces types de structure, l'étude en l'état actuel ne couvre pas la reconnaissance automatique du type d'occupation des tables.

*ii. Les différents objets de l'image.*

A la résolution étudiée (0.20 m), une image 512x512 couvre en superficie 1.0486 hectare. Deux thèmes principaux y sont rencontrés:

- ♦ estran sablo-vaseux (très réfléchissant),
- ♦ tables ostréicoles à texture et radiométrie variable que l'on peut classer grossièrement en quatre groupes:
  - tables inoccupées,
  - tables occupées à poches non retournées,
  - tables occupées à poches retournées,
  - structures mixtes (poches retournées et non retournées).

L'émergence de ces classes est liée à l'observation de différentes propriétés:

- L'ossature des tables est le plus souvent constituée de barres métalliques parallèles reposant sur des pieds également métalliques, éléments sur lesquels une fixation algale peut être observée à des degrés divers. Il en résulte une texture des tables inoccupées relativement caractéristique: elles apparaissent comme des structures en U (ombre portée des pieds) d'épaisseur variable, fonction de la fixation algale.

- Les tables occupées ont des textures variables selon que les poches ostréicoles ont été travaillées (retournées) ou non à l'époque précédant immédiatement la date d'acquisition des photos aériennes. Les tables occupées par des poches non retournées couvertes de végétation apparaissent comme des structures linéaires, continues et présentent des caractéristiques radiométriques homogènes. Les tables dont les poches ont été retournées présentent les mêmes caractéristiques de continuité mais leurs caractéristiques radiométriques sont proches de celles de l'estran vaseux. L'ombre portée des poches sur le sol est par contre très visible et continue et constitue par conséquent un critère d'identification acceptable. Dans certains cas on peut observer des textures mixtes correspondant à des tables dont les poches ont été irrégulièrement retournées. Ces textures sont caractérisées par des variations importantes de la radiométrie à des fréquences spatiales élevées. L'ombre portée des poches sur l'estran est cependant toujours perceptible.

### *iii. Organisation spatiale.*

Outre les caractéristiques morphologiques et radiométriques, les relations d'organisation spatiale constituent une autre famille de critères permettant l'interprétation. A ce titre on a relevé plusieurs propriétés caractéristiques des images étudiées:

♦ Le plus souvent, à la résolution employée, les rangées de tables sont correctement séparées. On rencontre cependant des cas de figure où ces rangées sont accolées: l'algorithme doit pouvoir reconnaître ces occurrences de façon à extraire le linéaire correspondant au nombre de rangées fusionnées (3 au maximum sur les images numériques disponibles et les photos aériennes analysées).

♦ Concernant les zones d'élevage bien structurées, l'orientation des tables pour une image donnée (couverture spatiale correspondant à un hectare environ) est constante. Dans les zones moins bien structurées on peut se trouver en présence de deux voire trois directions principales d'alignement des tables.

♦ La réglementation en vigueur (à Marennes-Oléron tout du moins) prévoit que la surface concédée en surélévation peut être occupée pour 1/3 ou 1/4 selon qu'il s'agit respectivement d'élevage (en poches) ou de demi-élevage (sur collecteurs). Les parcs en surélévation présentent en conséquence une surface inoccupée conséquente agencée en allées d'accès aux rangées de tables. Certaines de ces allées présentent une orientation perpendiculaire à celle des rangées de tables. ( On notera qu'à cette échelle de travail il est impossible de déterminer si ce type d'allée fait partie intégrante ou non de la concession). Cette propriété exige que soit construit un masque des allées et chenaux naturels de l'image préalablement à toute opération de rétablissement de connexité du pseudosquelette des rangées de tables.

♦ Les tables inoccupées ne présentent pas en première approche une distribution spatiale aléatoire: elles se rencontrent généralement aux extrémités des rangées mixtes ( occupées / inoccupées ) ou constituent des rangées entières de tables inoccupées.

### *iv. Définition de sous buts.*

L'ensemble des propriétés mentionnées dans les paragraphes précédents permet de formaliser la démarche à retenir pour l'élaboration d'un algorithme de traitement (fig. 1). La mesure du linéaire de tables occupées dans l'image exige que soient résolus deux problèmes :

- 1 - La séparation des tables fusionnées.
- 2 - L'extraction des structures inoccupées.

Ce sont les deux grands sous-buts de l'analyse eux-mêmes décomposés en un certain nombre d'étapes construites à partir d'une connaissance a priori des thèmes à étudier et de la connaissance additionnelle acquise par l'étude des propriétés des images intermédiaires du traitement.

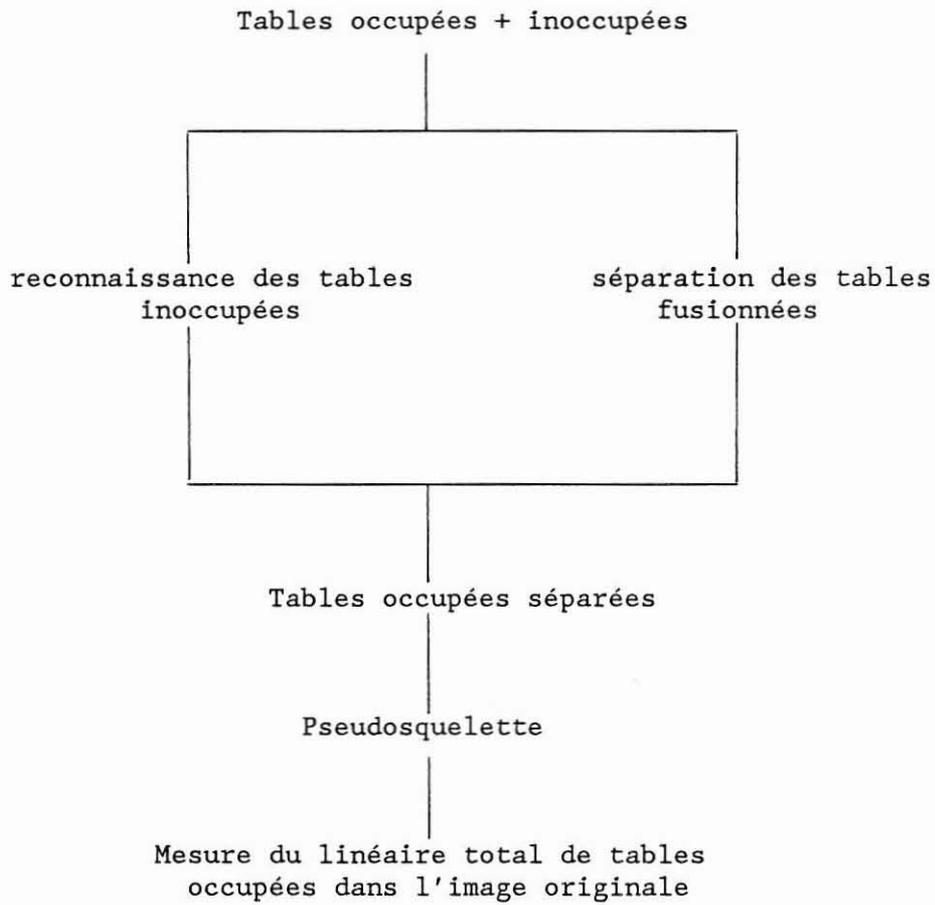


Fig. 1 : traitement automatique des images à 0.20 m : démarche générale.

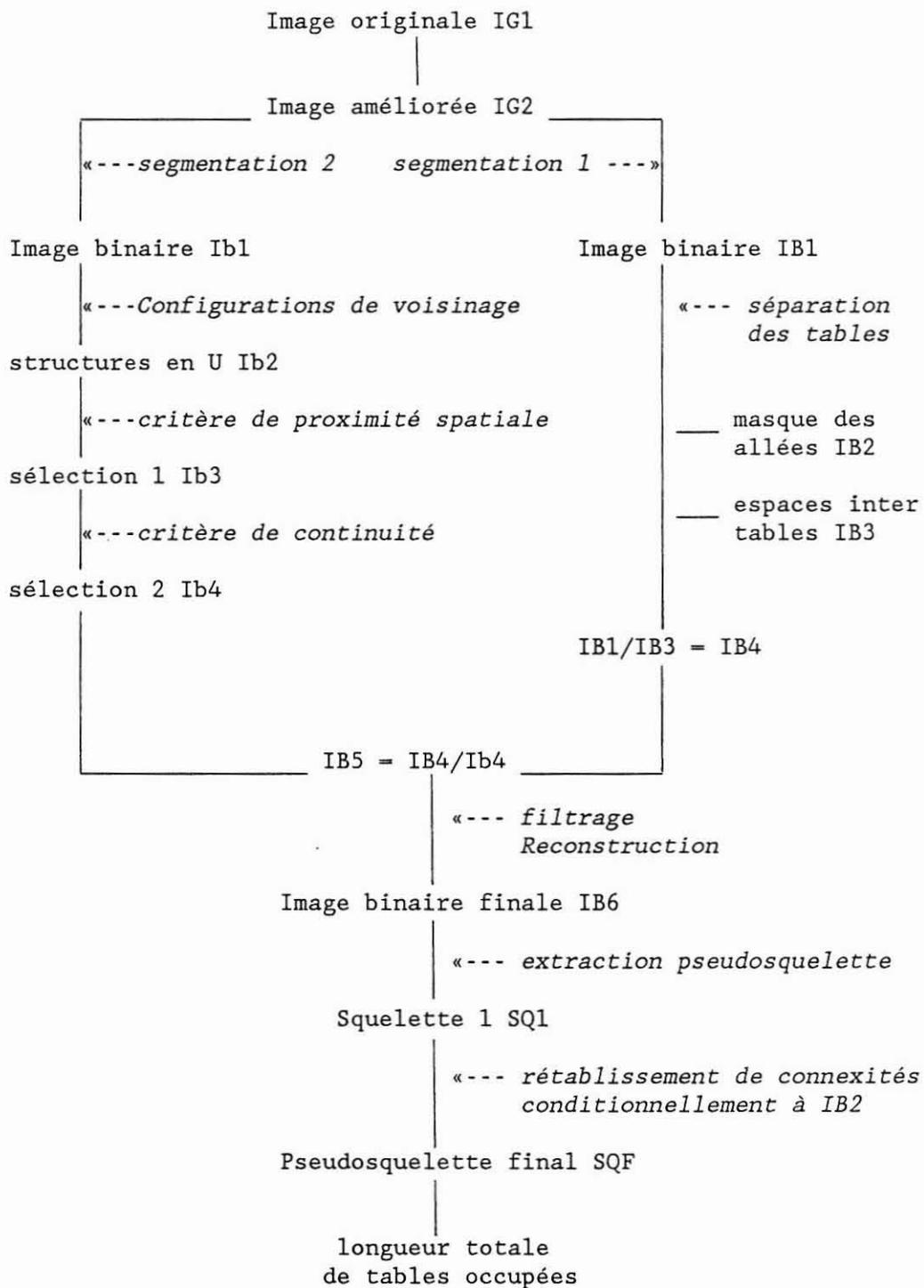


Fig. 2 : traitement automatique des images à 0.20m : algorithme développé.

### *b. Organigramme commenté de l'algorithme de traitement*

La figure 2 à mettre en parallèle avec la précédente schématise les grandes étapes de l'algorithme élaboré. L'explication des procédures est proposée conjointement à la présentation d'un exemple de traitement (image 2783A).

#### AMELIORATION DE L'IMAGE ORIGINALE.

Les images utilisées dans cette étude sont issues de la numérisation de plans film photographiques et sont donc des négatifs. Gachelin (1986) suggère, pour un meilleur confort d'utilisation, l'inversion de ces images avant traitement. Sur un positif, une table ostréicole apparaît comme un objet sombre sur un fond clair (estran). En général, les objets d'intérêt soumis à des opérateurs de morphologie binaire sont des objets blanc (1) sur fond noir (0). Pour cette raison et du fait de l'absence de dualité des transformations en trame carrée, l'ensemble du traitement sera réalisé sur des images non inversées correspondant à des négatifs.

L'observation des images brutes (ou originales) fait apparaître pour certaines d'entre elles une faible dynamique (l'histogramme est concentré dans les hauts niveaux de gris) et un contraste parfois peu marqué entre les différents thèmes à extraire. Un prétraitement de l'image est en conséquence indispensable. La procédure suivante a été retenue:

- étalement linéaire de la dynamique de l'image originale (normalisation de l'histogramme) et,
- application d'un algorithme de rehaussement de contraste proposé par Préteux (1987) faisant basculer la valeur d'un pixel à la plus proche des deux valeurs correspondantes de l'érodée et de la dilatée de la fonction originale (routine contraste).

#### SEGMENTATION.

Les primitives segmentation 1 et segmentation 2 ont pour but la transformation de l'image améliorée IG2 (planche 1) en deux images binaires qui portent une information différente. L'image IB1 (planche 2) réalise l'extraction de l'ensemble des tables occupées et inoccupées alors que l'image Ib1 (planche 3) correspond à l'extraction des tables occupées à poches retournées, des structures mixtes et des tables inoccupées. Les opérations réalisées par ces deux primitives sont identiques et correspondent à une sorte de Top Hat automatique : on soustrait à une image son ouvert par un élément structurant donné et on soumet l'image résultante à une procédure de seuillage automatique. L'histogramme est toujours bimodal et cette procédure permet de s'affranchir des variations de radiométrie inter-images: c'est le choix de l'élément structurant qui détermine le résultat de la primitive.

#### SEPARATION DES TABLES FUSIONNEES.

Cette procédure sert à détecter dans l'image IB1 les rangées de tables fusionnées et à rompre les connexités inter rangées qui pourraient

perturber les procédures de reconstruction d'objets à partir de marqueurs largement utilisées dans la suite de l'algorithme. Elle aboutit donc à la construction d'un squelette de séparation de l'ensemble des tables. (image IB3, planche 4). La détection des tables fusionnées est étroitement liée à la géométrie de ces structures: à la résolution de 0.20 m une table occupe en largeur 5 pixels en moyenne. Une routine calculant des fonctions distance orientées (horizontale et verticale) a été élaborée et utilisée pour la détection (donc la séparation) des tables fusionnées.

Le squelette de séparation est obtenu par des opérations de filtrage et d'amincissement sur l'image issue de la différence logique entre l'image complémentaire du masque des allées et chenaux (IB2, planche 5) et l'image binaire IB1 soumise à la procédure de détection des tables fusionnées.

La différence logique entre l'image IB1 et l'image IB3 donne l'image IB4 (planche 6) où les rangées de tables accolées ont été séparées.

#### CONFIGURATIONS DE VOISINAGE.

C'est à partir de l'image Ib1 que seront extraites les tables inoccupées. Elles présentent une texture très hétérogène (fonction de l'importance de la fixation algale). On remarque cependant une configuration générale en U dont la base et les jambages ont des dimensions (longueur, épaisseur) variables. Pour détecter ces configurations on procède de la manière suivante:

- ♦ extraction des points de l'image répondant à la configuration 1
- ♦ conservation de ceux de ces derniers auxquels correspondent des points de configuration 2 distants de 1 à 4 pixels en X:

1 0 x	x 0 1	1 : objet
x 1 1.....1 1 x		0 : fond
x x x	x x x	x : indifférent
configuration 1	configuration 2	

Cette opération permet l'extraction de marqueurs (image Ib2, planche 7) d'objets ou partie d'objet en forme de U de taille variable.

#### CRITERE DE PROXIMITE SPATIALE.

Une rangée de tables inoccupées ou partiellement inoccupées est typiquement caractérisée par la juxtaposition (verticale dans l'exemple traité) de plusieurs configurations en U. Cette propriété peut se traduire en terme de distance verticale entre marqueurs. C'est un premier critère de sélection qui permet d'éliminer les marqueurs de configurations en U isolées.

L'image Ib3 (planche 8) est obtenue par la reconstruction de l'image Ib1 à partir des marqueurs conservés. A ce stade du traitement un certain nombre de tables occupées (structures mixtes essentiellement) sont extraites en même temps que la quasi totalité des structures inoccupées. L'application de critères d'identification supplémentaires est donc nécessaire.

#### CRITERE DE CONTINUITÉ

Les tables occupées sont caractérisées par un bord gauche continu ( ombre portée des poches retournées). Cette propriété est à la base d'un deuxième critère de sélection : l'application d'un détecteur de bord suivi d'une sélection sur la taille du bord permet d'éliminer de l'image Ib3 la plupart des tables occupées ( image Ib4, planche 9).

#### TABLES OCCUPEES

La différence logique entre l'image IB4 et l'image Ib4 donne l'image IB5 (planche 10) . L'image binaire finale (IB6, planche 11) servant à l'extraction du pseudosquelette des tables occupées est obtenue par une procédure de filtrage sur l'image IB5 dont le résultat sert de marqueur pour la reconstruction des structures occupées de l'image IB4.

#### EXTRACTION DU PSEUDOSQUELETTE DES TABLES OCCUPEES

On applique sur l'image IB6 un détecteur de bord à gauche. Le résultat (image SQ1, planche 12) est un pseudosquelette des tables occupées.

#### RETABLISSEMENT DE CONNEXITE

La procédure d'extraction des tables inoccupées ayant entraîné l'apparition de quelques discontinuités dans les rangées de tables occupées à structure mixte, l'image SQ1 doit elle même être traitée avant la procédure de mesure. Cet ultime étape de traitement consiste en un rétablissement de connexité conditionnel à la conjonction de plusieurs critères: les ruptures de connexité doivent être situées à l'intérieur d'une rangée de tables (i.e. non connexes aux bords de l'image ni aux allées ou chenaux ) et d'une taille maximale donnée. La procédure fonctionne de la manière suivante :

- ♦ on extrait les points terminaux du squelette SQ1 préalablement dilaté verticalement en deux groupes : points terminaux "haut" et point terminaux "bas". Tous les points touchant les bords de l'image sont exclus. De même, tous les points terminaux n'appartenant pas à l'image IB2 sont éliminés (on évite ainsi le rétablissement de connexités parasites entre rangées de tables séparées par une allée dont l'orientation est perpendiculaire à celle des tables).

- ♦ on dilate les points terminaux "bas" à 270° (dilatation de taille donnée). L'ensemble des points terminaux "hauts" sert de marqueur à la reconstruction orientée ( à 90°) de ce dilaté.

Cette procédure permet de "boucher les trous" d'une taille inférieure ou égale à une taille maximale donnée et situés à l'intérieur d'une rangée de tables occupées. L'image résultante est ensuite soumise à une analyse individuelle de la longueur des pseudosquelettes (élimination des dédoublements résultant du rétablissement de connexité, artefacts). L'image SQF (planche 13) est le résultat de l'ensemble de ce traitement.

#### MESURE DE LA LONGUEUR

L'image SQF est constituée de pseudosquelettes d'épaisseur 1. Une mesure de la longueur totale de tables occupées peut donc être obtenue en

multipliant le nombre de pixels de l'image par la taille du pixel. Du fait de l'obliquité de certaines rangées de tables et du caractère discret d'une image numérique, cette méthode donne une mesure approchée (très proche cependant de la mesure exacte) . Une mesure exacte de cette quantité pourrait être obtenue par l'extraction des coordonnées des points terminaux de chacun des pseudosquelettes (routine à programmer).

*c. Remarques.*

Les différentes étapes présentées ont été liées ce qui rend la séquence de traitement d'une image entièrement automatique (entrée de l'image brute ou originale - sortie du linéaire de tables occupées) . Le temps de traitement sur microvax II est relativement long malgré l'écriture d'algorithmes rapides : ce problème sera discuté plus loin.

**3. Résultats.**

L'algorithme décrit a été mis au point sur 4 images numériques du cliché 2783 (campagne aérienne 1983) et testé sur ces mêmes images. Pour évaluer l'adéquation des propriétés retenues il a été appliqué en aveugle (sans aucune modification) aux 4 images numériques du cliché 2770 (campagne aérienne 1984).

Les planches 14 à 21 permettent d'apprécier visuellement la validité de l'algorithme ( précision géométrique). Sur ces images, on a superposé à l'image originale (en gris), l'image binaire initiale IB1 (en jaune) et l'image binaire finale SQF correspondante i.e les pseudosquelettes de tables occupées extrait automatiquement (en bleu). L'évaluation quantitative des performances de l'algorithme fait l'objet du tableau 1 .

Image	Extraction manuelle du linéaire (en m)	Extraction automatique du linéaire (en m)	Précision (en %)
2783A	3367,01	3275,40	-2,72
2783B	3562,36	3499,80	-1,76
2783C	3620,35	3568,20	-1,44
2783D	3212,63	3250,40	1,18
sous-total	13762,35	13593,80	-1,22
2770A	3240,33	3296,00	1,72
2770B	2941,34	2991,80	1,72
2770C	3296,07	3287,20	-,27
2770D	3213,05	3187,40	-,80
sous-total	12690,79	12762,40	,56
Total	26453,14	26356,20	-,37

Tab. 1 : Evaluation des performances  
de l'algorithme élaboré.

#### 4. Discussion

Au vu des résultats présentés dans le tableau 1 on peut conclure en première approche à la bonne performance de l'algorithme élaboré: la précision<sup>1</sup> de la méthode calculée sur l'ensemble des images traitées est en effet excellente (- 0,37%). Bien que le calcul n'ait pas été effectué, la précision obtenue doit être du même ordre de grandeur que la précision de la mesure manuelle (variations de pointage).

Calculée sur la collection d'images test (cliché 2770) n'ayant pas servi à la conception du traitement, la précision reste tout à fait satisfaisante (0,56%). L'analyse objective des performances de l'algorithme ne doit pas cependant s'en tenir à l'évaluation d'une précision statistique bien que ce critère d'évaluation soit fondamental et intéresse au premier chef le demandeur. Une bonne précision statistique doit être le fruit d'une précision géométrique satisfaisante sans laquelle on ne saurait prouver que

<sup>1</sup> Bien qu'il soit abusif (on admet que la mesure manuelle est exacte), ce terme sera conservé par commodité.

le problème de segmentation posé est effectivement résolu et conclure à l'efficacité de la méthode proposée.

L'analyse des planches 14 à 21 est à ce titre intéressante. Les images de la "collection de référence", (planche 14 à 17) sont traitées avec une bonne précision géométrique. La sous-évaluation statistique dans les images 2783A et 2783C est due en majeure partie à une erreur algorithmique identifiée et liée au comportement des opérateurs sur les bords de l'image. On notera ici que la mesure manuelle du linéaire se rapporte à l'ensemble des structures présentes dans l'image y compris celles qui intersectent ses bords gauche et droit. En fait, il semblerait préférable d'un point de vue statistique de ne prendre en compte que les structures intersectant un seul de ces bords choisis arbitrairement.

La sous-évaluation du linéaire observée dans l'image 2783B résulte du très faible contraste radiométrique entre l'estran d'une part et certaines rangées de tables à poches retournées d'autre part qui ne sont pas récupérées dans leur intégrité à l'étape de segmentation. Cette observation soulève le problème fondamental de la qualité des images originales : les quatre images brutes de ce groupe, numérisées par la société TIGRE, sont caractérisées par une très faible dynamique : elles sont très claires (concentration de l'histogramme dans les hauts niveaux de gris) et un œil non averti n'y reconnaît pas grand chose. Quelque soit l'origine de ce phénomène (il s'agit dans ce cas précis d'un problème de numérisation, le plan film étant correctement contrasté) il n'est pas sans conséquences sur le traitement : aussi sophistiquées soient-elles, les techniques d'amélioration de l'image ne suffisent pas à compenser la perte originale de l'information. La qualité des images originales de la collection d'images test numérisées par l'ETCA est beaucoup plus satisfaisante : les processus de rehaussement de contraste auxquels elles ont été soumises n'étaient ici pas nécessaires mais ont été conservés (application de l'algorithme sans tenir compte des propriétés propres des images testées). Concernant les résultats de ce même groupe l'excellente précision statistique obtenue ne reflète pas toujours une précision géométrique satisfaisante notamment sur l'image 2770C (planche 20). Ce test permet ainsi d'identifier des problèmes de différentes natures : intrinsèque i.e. liés aux caractéristiques des structures étudiées ou extrinsèque i.e. dépendants de facteurs externes.

Plusieurs facteurs externes sont susceptibles d'affecter la réponse des structures étudiées. Etant données les propriétés retenues dans l'élaboration du traitement, on comprend que les facteurs intervenant sur la position des ombres portées dans l'image soient particulièrement importants. Les données correspondant à des visées verticales ou quasi verticales, les facteurs à prendre en compte sont donc principalement :

- ♦ la hauteur du soleil : la proportion des ombres portées évolue pour une même visée en fonction de la saison et de l'heure de la journée (il faut donc standardiser les conditions d'acquisition).

♦ l'orientation des rangs de culture par rapport au soleil: comme le montre schématiquement la figure 3, l'orientation des rangées de tables par rapport au soleil en affecte la réflectance modifiée et l'importance et la position des surfaces d'estran ombrées dans les inter-rangs.

L'algorithme a été élaboré en tenant compte de la réponse des structures d'élevage pour une direction d'éclairement donnée située dans le quadrant supérieur droit (ombre portée à gauche des rangs, pieds des tables vides en U). Sur les images du cliché 2770 la direction de l'éclairement est située dans le quadrant supérieur gauche ce qui a pour effet un déplacement des ombres portées sur la droite des structures. Ces images ont donc été transformées en leurs symétriques par rapport à la verticale avant traitement.

De manière générale, il s'en suit que l'automatisation effective du traitement ne peut se concevoir sans une étape préalable de réorientation des images qui permette un traitement dans des conditions plus ou moins standard d'éclairement. On peut envisager d'asservir la séquence de transformations géométriques à mettre en oeuvre aux conditions initiales de la prise de vue : cap du vecteur et heure d'acquisition (calcul de l'azimut du soleil) ces deux paramètres permettant de connaître la direction initiale de l'éclairement dans une image donnée.

La réorientation de l'image en fonction de l'éclairement devra en outre se faire en alignant l'axe des rangées de tables selon la verticale de l'image (cela en facilite grandement le traitement). Ceci suppose qu'il faudra tester les effets de la variation de l'angle d'incidence de l'éclairement (dans un cadran donné) sur la réponse des structures et éventuellement adapter les paramètres du traitement (choix des éléments structurants notamment) à ce facteur de variation.

Les problèmes rencontrés dans le traitement des images du cliché 2770 sont aussi de nature intrinsèque c'est à dire liés aux propriétés des structures rencontrées dans ces images. On note en particulier la présence d'amas d'algues importants dans certains inter-rangs, la présence de barges ostréicoles dans les allées, la présence de tables chargées de casiers et non de poches (dimensions différentes), éléments qui perturbent plus ou moins le processus d'identification des structures tel qu'il a été conçu. On est ainsi amené à reprendre certaines des étapes du traitement précédemment décrit : réajustement des paramètres de segmentation, détection plus précise des allées et chenaux dans l'image en particulier. Un certain nombre de modifications sont ainsi en cours de réalisation qui devraient améliorer les performances de l'algorithme.

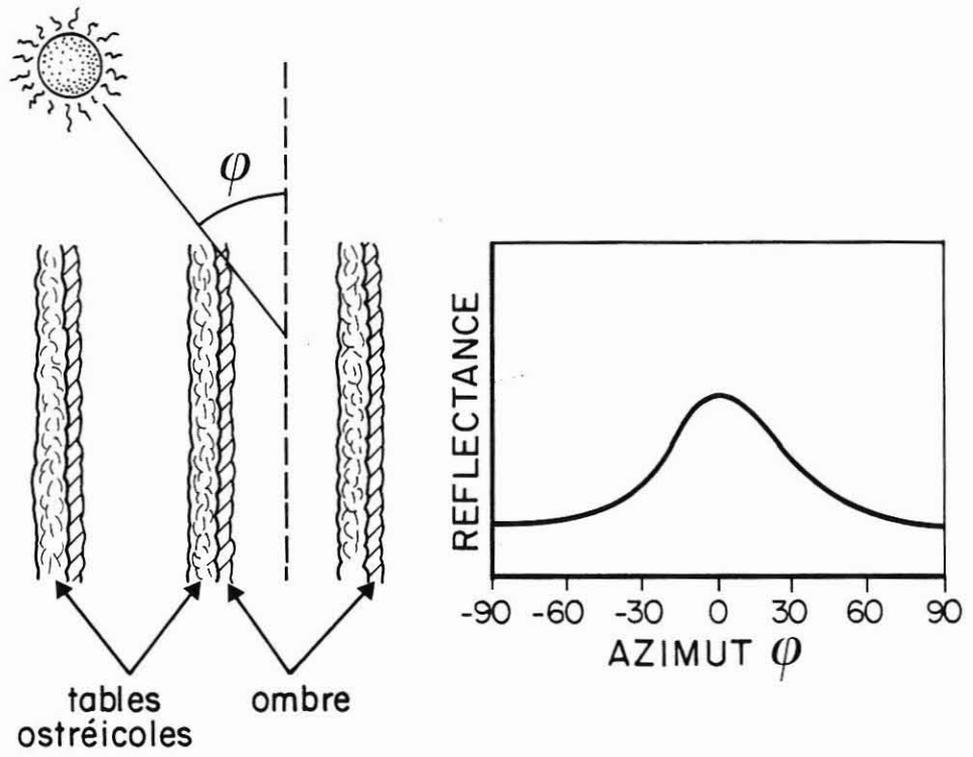


Fig.3 - Effet de l'orientation des rangs de culture sur la réflectance d'un couvert végétal.  
(modifiée d'après GUYOT 1989)

## 5. Conclusion.

Les résultats obtenus sur les images de parcs en surélévation à la résolution de 0.20 m permettent de conclure à la faisabilité de l'extraction automatique du linéaire de tables occupées. Le produit élaboré doit cependant être amélioré (opération en cours) pour aboutir à une excellente précision géométrique sur les images disponibles puis testé sur une collection d'images plus importante. Mis au point sur des images de parcs bien structurés et entretenus, il devrait pouvoir être opérationnel à court terme pour le traitement automatique de quelque 60% au moins des clichés étudiés à cette échelle (Bodoy, com. pers.). Les 40% restant correspondent à l'étude de zones moins bien structurées et/ou mal entretenues dont le traitement automatique exigera un développement particulier. Dans l'immédiat on peut envisager pour le traitement de ces mêmes clichés l'application d'un traitement semi-automatique : tracé interactif d'un masque des tables occupées et traitement automatique de l'image masquée. Enfin, en l'état actuel, le produit élaboré ne reconnaît pas le type d'occupation des tables: les développements à venir devront intégrer ce problème.



planche 1 :

IG2: Image 2783A rehaussée.

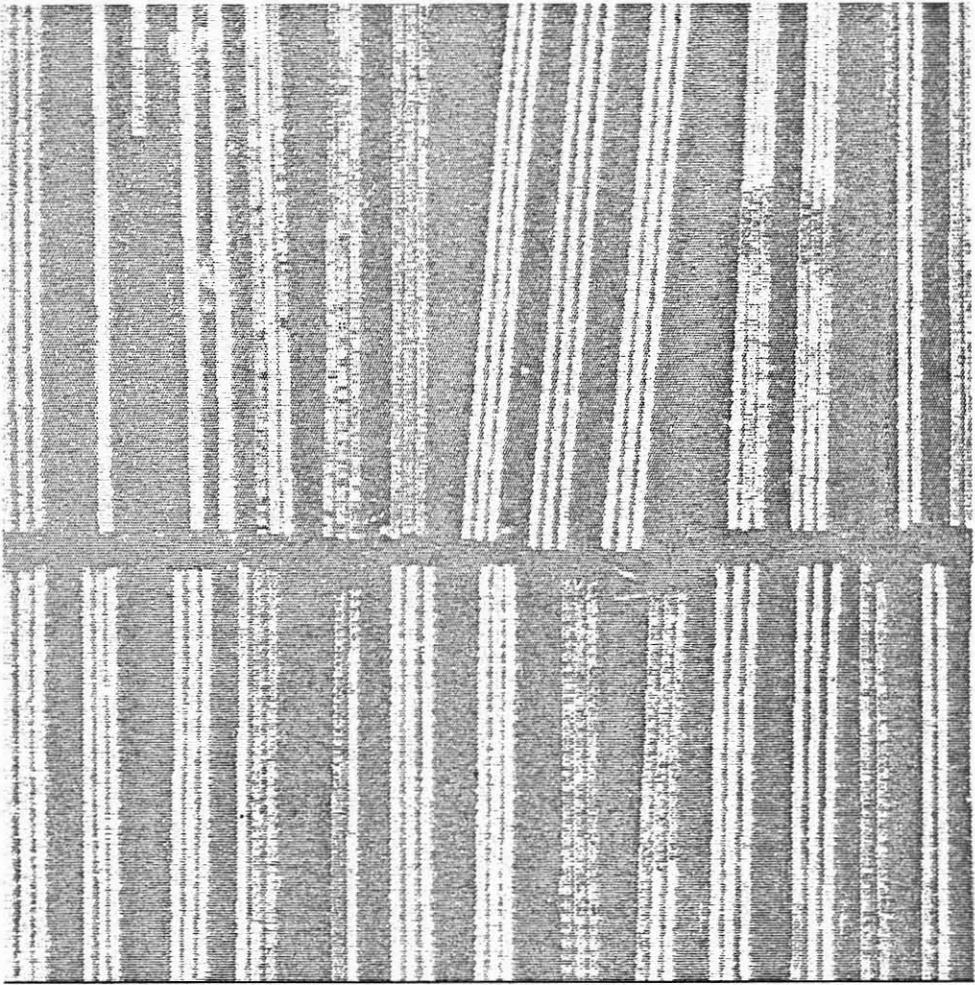


planche 2 :

IB1: extraction des tables  
occupées et inoccupées.

planche 3 :

Ib1: extraction des tables à  
poches retournées, structures  
mixtes et tables inoccupées.

planche 4 :

IB3: squelette de séparation de  
l'ensemble des tables.

planche 5 :

IB2: masque des allées et  
chenaux.

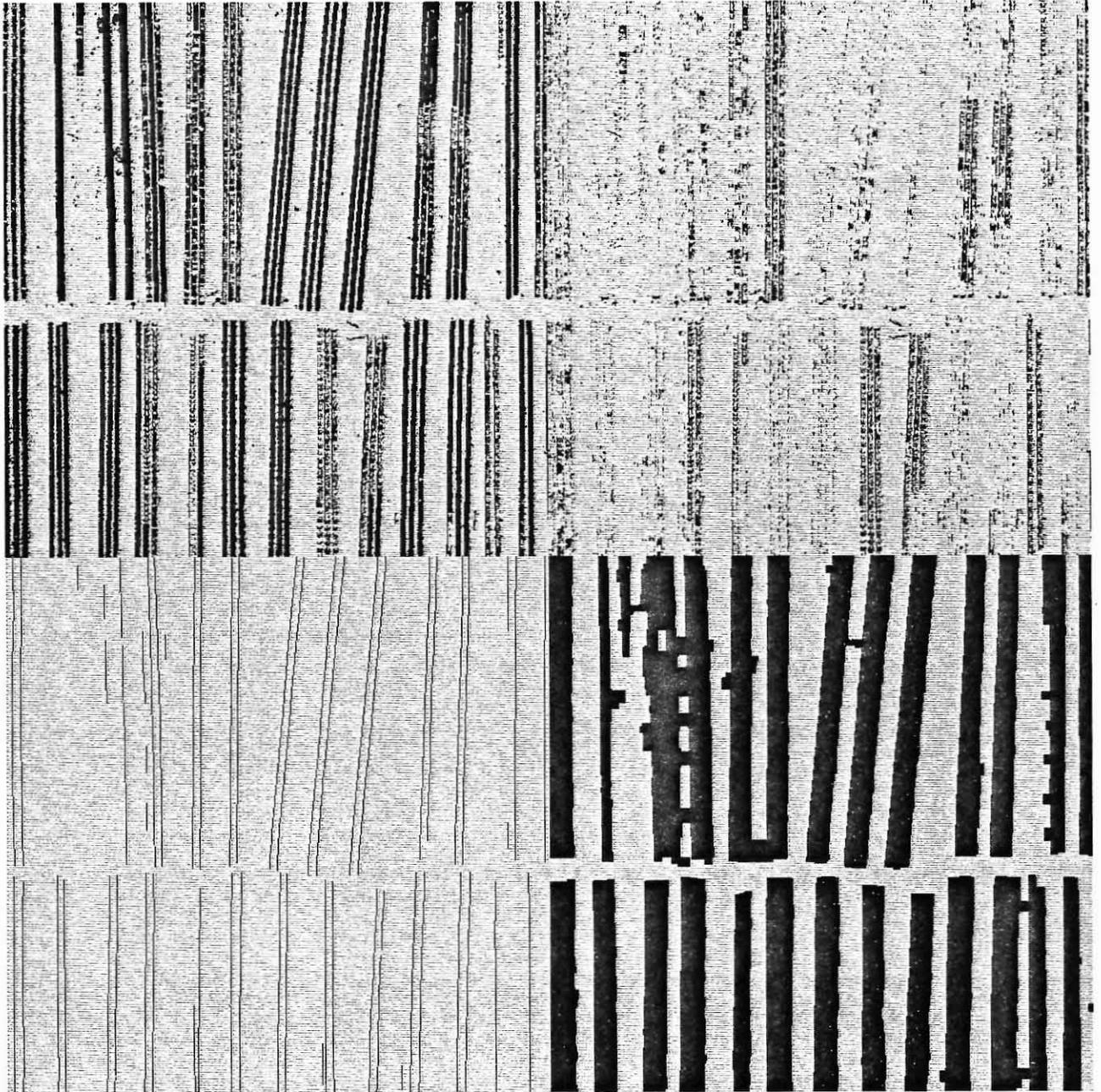


planche 6 :

IB4: résultat de la séparation  
des tables accolées.

planche 7 :

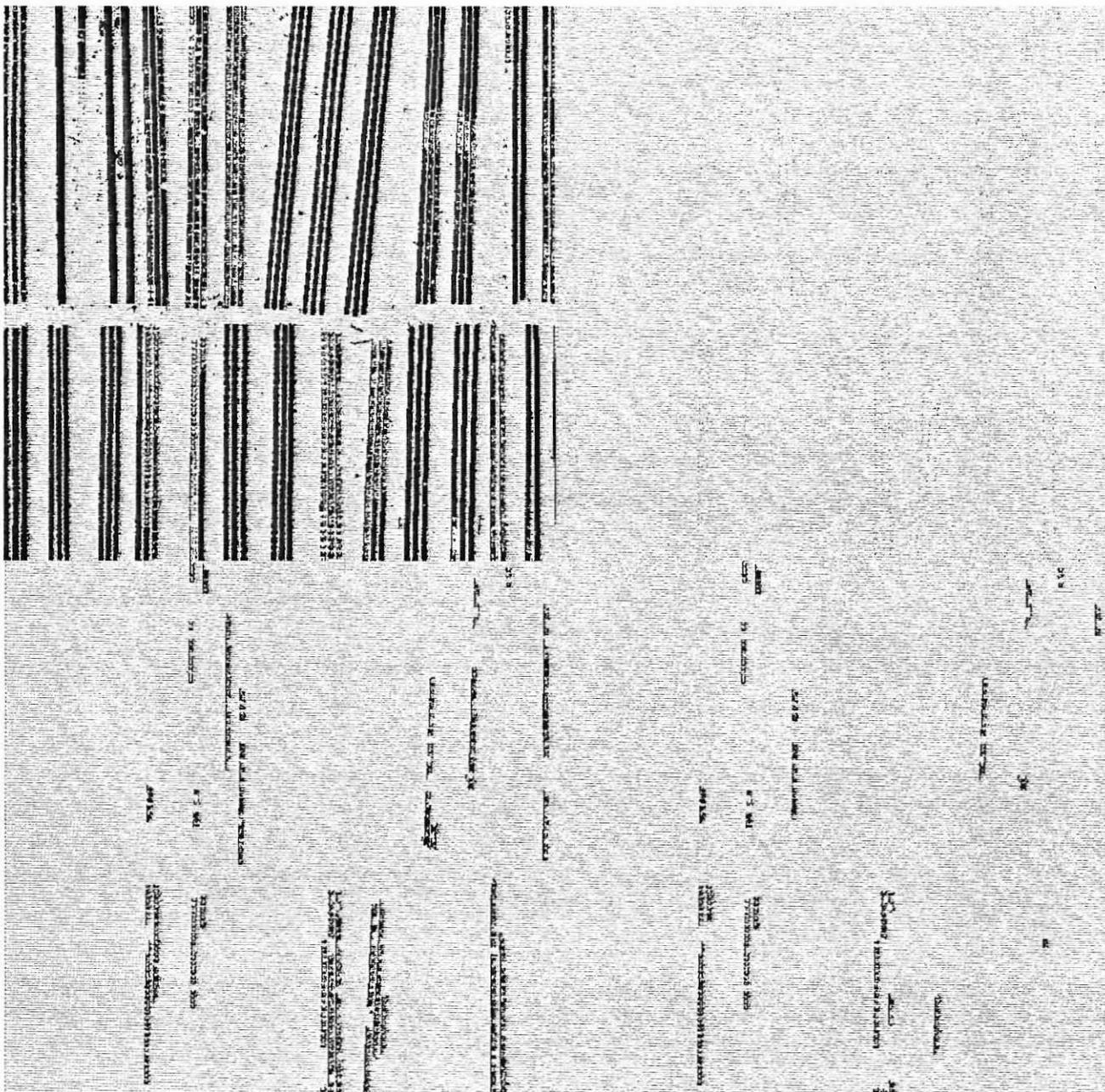
Ib2: marqueurs des  
configurations en U.

planche 8 :

Ib3: reconstruction des  
structures présentant des  
configurations en U après  
élimination des marqueurs isolés.

planche 9 :

Ib4: élimination des structures  
présentant un bord continu (ombre  
portée des poches retournées).



2019  
100  
1000

planche 10:

IB5: différence logique entre  
les images IB4 et Ib4.

planche 11:

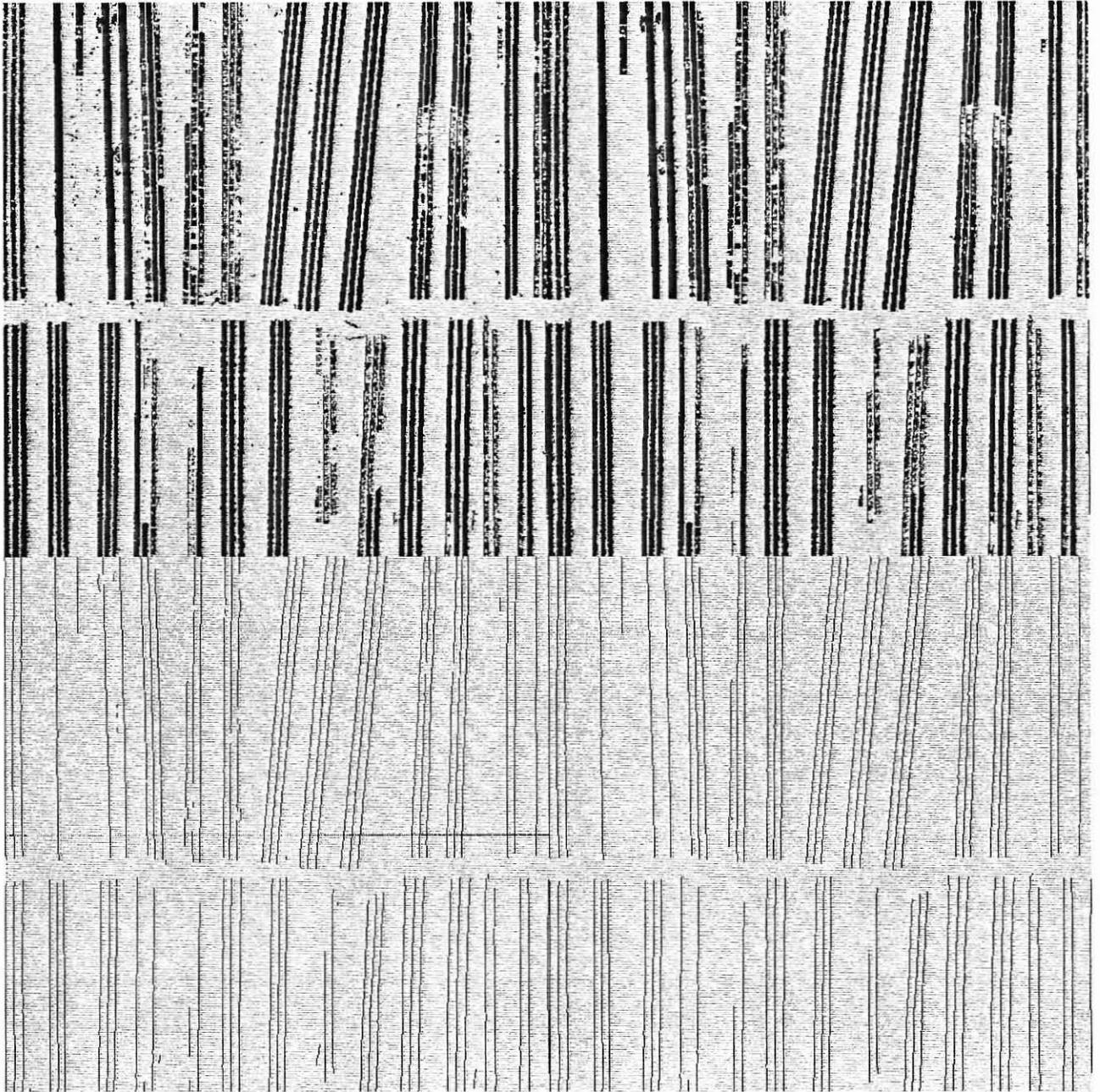
IB6: image binaire finale  
servant à l'extraction du  
pseudosquelette des tables  
occupées.

planche 12:

SQ1: pseudosquelette des tables  
occupées.

planche 13:

SQF: image finale du  
pseudosquelette des tables  
occupées après rétablissement de  
connexités.



RECEIVED  
MAY 10 1962  
U.S. DEPARTMENT OF  
COMMERCE  
WASHINGTON, D.C.

planche 14:

Image 2783A: résultat du traitement (image originale rehaussée et superposition des images binaires initiale et finale).

planche 15:

Image 2783C: résultat du traitement

planche 16:

Image 2783B: résultat du traitement

planche 17:

Image 2783D: résultat du traitement

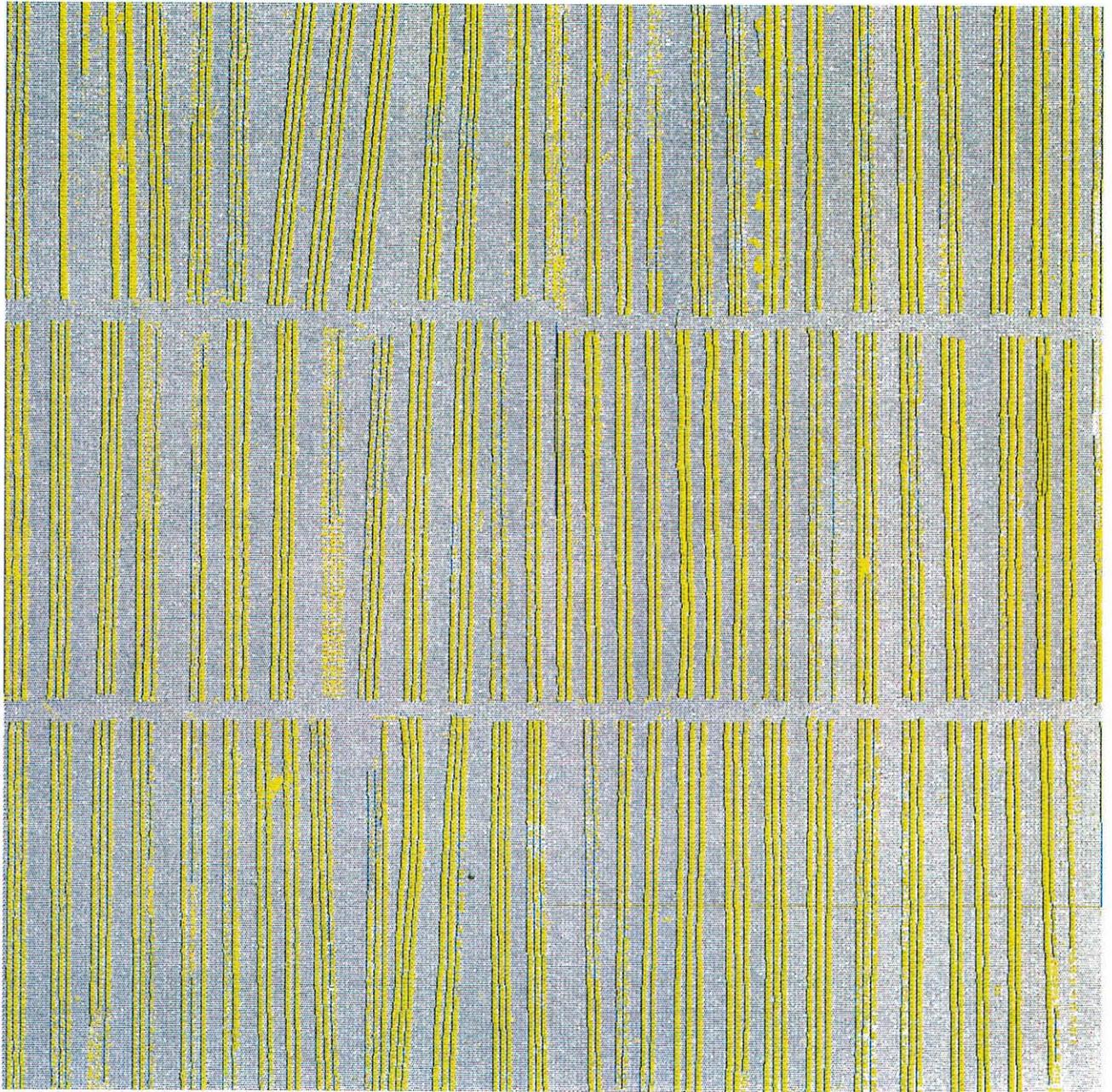


planche 18:

Image 2770A: résultat du  
traitement

planche 19:

Image 2770B: résultat du  
traitement

planche 20:

Image 2770C: résultat du  
traitement

planche 21:

Image 2770D: résultat du  
traitement





## B. ACQUISITION DE DONNEES NUMERIQUES

### 1. Les techniques possibles.

Dans l'état actuel de l'art, seul un capteur de télédétection aéroporté est susceptible de procurer des données numériques à la résolution spatiale exigée (0.2 m). La résolution actuellement fournie par les scanners multispectraux (MSS) étant elle-même insuffisante, deux types de techniques peuvent être envisagés : photographie ou vidéo.

#### PHOTOGRAPHIE.

La photographie aérienne est largement utilisée dans les problèmes de télédétection à très haute résolution. La numérisation des clichés, préalable indispensable à toute opération de photointerprétation automatique est une technique aujourd'hui bien maîtrisée quoiqu'encore très coûteuse.

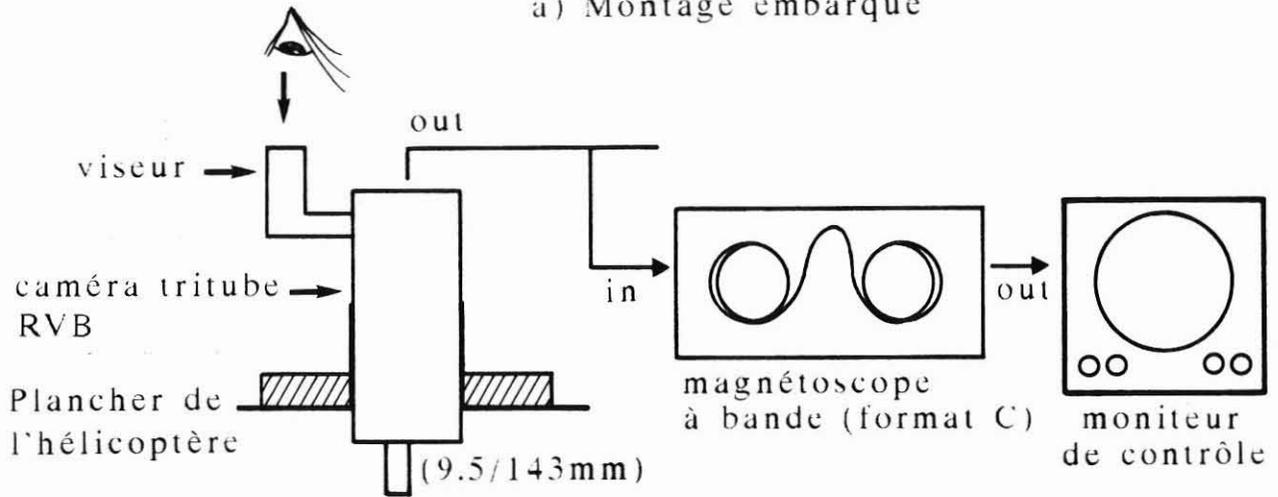
L'utilité des photographies panchromatiques i.e couvrant l'intégralité du spectre visible (les objets très réfléchissants apparaissent blancs, les objets non réfléchissant sont noirs) a été démontrée dans le chapitre précédent. D'autres techniques mériteraient d'être testées qui pourraient faciliter l'interprétation par une meilleure mise en évidence du couvert algal sur les tables ostréicoles. Il s'agit d'une part de l'infra-rouge couleur, synthèse de la couleur naturelle de l'objet et de sa réponse au proche infra-rouge , d'autre part de photographies multispectrales (plusieurs bandes étroites dans le visible et le proche infra-rouge) qui ,au même titre que les MSS, permettent d'identifier un objet par les informations spectrales simultanées qu'il donne dans chaque bande.

#### TECHNIQUES VIDEO.

Les applications de techniques vidéo aux problèmes de télédétection se sont considérablement accrues ces dernières années avec en particulier le développement et la commercialisation de systèmes embarquables. Les principaux avantages que présente cette technique par rapport à la photographie sont les suivants:

- La disponibilité immédiate des images,
- La visualisation sur un moniteur de l'image en temps réel qui permet l'ajustement interactif des paramètres de prise de vue,
- Le support magnétique des données vidéo qui permet leur transformation en données numériques par le jeu de cartes électroniques spécialisées,
- Enfin le prix du support magnétique dont le coût est très inférieur à celui d'un film et de son traitement et qui est éventuellement réutilisable.

a) Montage embarqué



b) Numérisation des images en studio.

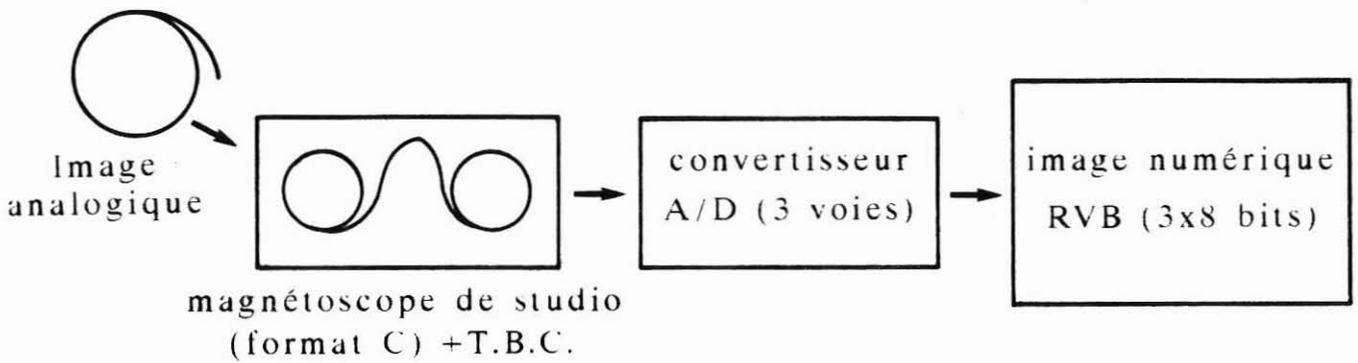


Fig.4 - Images vidéo aériennes. Matériels d'acquisition.

La vidéo possède aussi ses propres limitations avec en particulier à couverture égale en surface une résolution moindre que celle de la photographie. Si les progrès technologiques en cours tendent à estomper ces différences de potentialité, il n'en reste pas moins vrai que le champ d'application de ce moyen reste limité aux études où l'interprétation à petite échelle est recherchée et, dans le cas inverse, là où la réduction spatiale de l'espace étudié n'est pas un handicap.

L'analyse de la strate d'élevage ostréicole en surélévation à une résolution au sol de 0.2m par échantillonnage relevé de ce dernier cas de figure. En conséquence, une étude de faisabilité limitée à été réalisée que nous nous proposons de détailler ci-après. Effectuée avec la technologie alors disponible et non nécessairement adaptée, son ambition se limite à dégager un certain nombre d'enseignements utiles à la définition d'une chaîne d'acquisition performante.

## 2. Essai d'acquisition d'images vidéo en vol

### *a. Préparation de la mission.*

#### *i. Le matériel*

##### VECTEUR.

La vitesse de décrochage d'un avion léger étant supérieure à la vitesse maximale autorisée pour l'acquisition des images à la résolution de 0.2m (Cf. § 2.a.ii), le choix du vecteur s'est porté sur un hélicoptère du type Alouette II dans le plancher duquel une trappe permet l'installation d'un matériel de prise de vue à la verticale.

##### EQUIPEMENT DE PRISE DE VUE.

La figure 4.a schématise le montage réalisé et embarqué pour l'acquisition des images. On notera que pour chacun des composants, diverses technologies peuvent être envisagées. Ce point sera développé ultérieurement. S'agissant d'une simple étude de faisabilité, le choix de l'équipement a été effectué en fonction des possibilités internes à l'Ifremer permettant sa réalisation dans des conditions techniques acceptables sinon optimales.

Le capteur est une caméra de reportage tritube (couleur) de type Sony DXC-M3APK équipée d'un objectif à focale variable (Canon VCL-915BY), d'une unité de télécommande d'objectif (mise au point et focale), d'un viseur monochrome et d'un adaptateur de batteries. Les tubes capteurs d'images (RGB) sont des tubes saticon de 2/3 pouce; à une distance de 1 m la plage couverte par une focale de 9,5 mm est de 647 x 862 mm (spécification du constructeur) ce qui correspond au balayage d'une surface "active" de 6.15 x 8.2 mm (ces dimensions étant approximatives puisqu'elles ne correspondent pas à une entité physique mais sont définies par le système de balayage électronique). Le signal vidéo répond aux normes CCIR (625 lignes entrelacées, fréquence verticale 50 Hz, 25 images/seconde). Le système de

codage couleur est le standard PAL. La résolution horizontale ( nombre maximal de lignes verticales noires et blanches que l'on puisse discerner sur une distance égale à la hauteur de l'image ) est de 650 lignes TV (au centre) soit 768 points /ligne. Le nombre de lignes actives ou lignes d'image est de 576 (le format vidéo correspond au rapport 4H:3V ). La caméra est fixée sur le plancher de l'hélicoptère par un châssis spécialement usiné équipé de plaques de mousse dense servant à amortir les vibrations du vecteur.

#### ENREGISTREMENT.

L'enregistrement des images vidéo est effectué sur un magnétoscope de reportage 1 pouce (format C) Ampex-Nagra VPR-5 disposant d'une autonomie d'enregistrement de 20 mn par bande et alimenté par des batteries rechargeables. Parmi les spécifications techniques de cet appareil on retiendra une bande passante vidéo de 6,5 Mhz (version PAL/SECAM 625 lignes, 50 HZ) qui correspond à une définition horizontale de 480 lignes TV ( d'après Ennes 1979 ) soit 640 points/ ligne . Un retour de l'image enregistrée est effectué sur un moniteur de contrôle.

#### NUMERISATION.

Les images enregistrées sont rejouées sur un magnétoscope de studio 1 pouce équipé d'un correcteur de base de temps (TBC) et d'un dispositif autorisant l'arrêt sur image. Les scènes trichromes (RGB) les plus pertinentes sont alors numérisées avec un codeur analogique/digital au standard vidéo (576 lignes, 768 points par lignes) assurant l'obtention d'un pixel carré dont la taille est définie par les paramètres de prise de vue (distance, focale). Ce traitement a été réalisé en sous-traitance par la société CINAPS, les matériels, magnétoscopes et codeurs disponibles à l'Ifremer étant totalement inadéquats.

#### RESOLUTION DU SYSTEME.

Le convertisseur analogique/numérique utilisé permet l'échantillonnage de l'image analogique couleur en une image numérique trichrome (RVB) où chaque canal est codé sur 8 bits (i.e 256 niveaux de gris). Sa bande passante (échantillonnage à 15 Mhz) assure la conservation de la géométrie des objets. En conséquence, aucune distorsion géométrique ou perte de résolution n'est a priori imputable à l'utilisation de ce matériel.

La résolution spatiale à proprement parler ne doit pas être assimilée à la taille du pixel obtenue. L'analyse des spécifications techniques des appareils utilisés fait en effet apparaître que la résolution horizontale de la caméra (768 points/lignes) n'est pas conservée par le magnétoscope (640 points/ligne). Par ailleurs, selon Inoué (1988) la mise série de deux appareils vidéo (caméra «-» magnétoscope par ex.) de même bande passante entraîne une perte de résolution horizontale de 40% par rapport aux potentialités individuelles de chaque circuit. Enfin, bien que la caméra vidéo utilisée autorise en studio la récupération séparée de chacune des composantes RVB (conservation de la résolution de l'image dans chacune des composantes), le passage obligé par un support de stockage unique type

magnétoscope implique le codage des trois signaux RVB en un seul signal composite . Ce codage (somme des signaux de luminance et de chrominance) autorise la transmission d'une image TV couleur avec une bande passante équivalente à celle requise pour une image TV monochrome. Cet avantage se paie bien évidemment par un inconvénient majeur à savoir une diminution importante de la résolution spatiale : la résolution couleur pixel-à-pixel est perdue.

De même la résolution verticale de l'image ne doit pas être assimilée à la taille verticale du pixel bien que ces deux grandeurs soient intuitivement proportionnelles. En pratique, le nombre de lignes actives d'une image pondéré par le facteur de Kell ( $K=0.7$ ) permet de calculer la résolution verticale de l'image (Inoué op. cit.). En d'autres termes, une image de N lignes de hauteur h présentera une couverture verticale de  $N \times h$  m à la résolution verticale de  $h/K$  (soit  $0.2/0.7 = 0.28$  m dans cette étude).

En résumé, la résolution spatiale du système utilisé bien que difficilement quantifiable (elle pourrait être mesurée empiriquement) est très inférieure à celle idéale correspondant à la taille du pixel.

*ii. Calcul des paramètres de vol*

Le but de la mission ayant été défini, acquérir des images de parcs ostréicoles en surélévation à une résolution approximative de 0.2m, les paramètres de vol altitude et vitesse maximale peuvent être calculés en fonction des caractéristiques de la chaîne d'acquisition utilisée.

ALTITUDE.

La figure 5 indique le mode de calcul de l'altitude (H) connaissant la couverture au sol attendue ( $W \times L$ ), la focale de prise de vue (f) et les dimensions du tube vidéo ( $w \times l$ ).

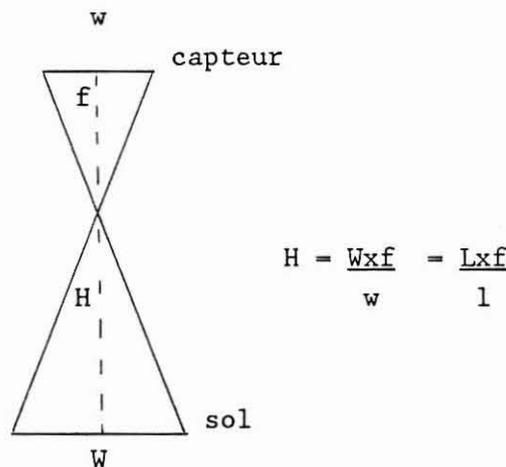


Fig. 5 : calcul de l'altitude en fonction de la couverture au sol souhaitée.

VITESSE.

A moins que le temps d'intégration ne soit programmable, le temps d'acquisition d'une image vidéo (2 trames entrelacées) est de 1/25 s (normes CCIR). Pour éviter toute distorsion de l'image due à la vitesse du vecteur on part du principe qu'en 1/25 s l'image ne doit pas bouger de plus d'une ligne de balayage (Meisner 1986). La taille (P) du pixel étant définie, la distance au sol (D) parcourue pendant une ligne de balayage est de:

$$D = P \times 576 / 625$$

Connaissant D (en m) la vitesse maximale autorisée (en mph) est donnée par:

$$V = D / (1/25) \times 3600 \times 0.624 \cdot 10^{-3}$$

Les paramètres de vol ont été calculés en utilisant ces formules standard (tab. 2).

Couverture au sol (m)		taille du pixel (m)	altitude (ft)		vitesse (mph)
Longueur (L)	Largeur (W)		focale (mm) 9,5	20	
230,40	307,20	,40	1168	-	20,70
115,12	153,60	,20	584	1229	10,40
57,60	76,80	,10	-	615	5,20

Tab. 2 : Calcul des paramètres de vol.  
(unités utilisées par les instruments de navigation.)

*iii. Choix d'un site test.*

Les critères dégagés pour le choix d'un site test ont été les suivants:  
- proximité à l'aérodrome de Vannes Meucon accueillant la seule société bretonne en mesure de fournir la prestation demandée,

- présence de concessions d'élevage en surélévation,
- bonne structuration,
- accessibilité à des coefficients de 90 environ,
- facilité de repérage sur le terrain.

Les sites possibles ont été reconnus avec l'aide de la station de La Trinité. Le choix s'est porté sur celui de la Pointe du Bile . Il est constitué d'une soixantaine de concessions ostréicoles couvrant une superficie de 20 hectares environ. Trente trois de ces concessions situées en bordure du Passage pour l'accès à l'île du Bile (fig. 6) sont de création récente et particulièrement bien structurées. On note en outre la présence de concessions mytilicoles fortement exploitées (bouchots) au Nord-Ouest et Sud-Est de la zone ostréicole.

#### *b. Réalisation.*

##### *i. Paramètres de vol.*

L'acquisition des images vidéo en vol a été réalisée le 20/8/86. Préalablement au survol du site, quatre cibles A, B, C et D (fig. 6) ont été disposées sur le terrain . Les mesures des distances AB, BC, CD et DB et les relèvements (compas de relèvement) des cibles A et D à partir de la cible B ont été effectués de façon à pouvoir apprécier les éventuelles distorsions géométriques des images acquises.

L'altitude demandée est de 580 pieds. Les vibrations de l'hélicoptère étant trop importantes à la vitesse de 10 mph, la vitesse demandée est de 20 mph.

##### *ii. Vérité terrain.*

Un relevé de l'occupation des concessions 1 à 33 (fig. 6) a été effectué le lendemain du survol aérien selon le canevas suivant: Pour chaque concession:

- nombre de rangées de tables et orientations respectives (par rapport au passage pour l'accès à l'île du Bile, le plan cadastral étant orienté).
- présence de tables inoccupées.

Les concessions 1, 2 et 3 ont fait l'objet d'un relevé plus précis: mesure au double décimètre des profils des rangées (vide, occupées, inoccupées). Certaines des rangées ayant fait l'objet de mouvements de poches entre l'acquisition des images et la vérité terrain n'ont pas été mesurées.

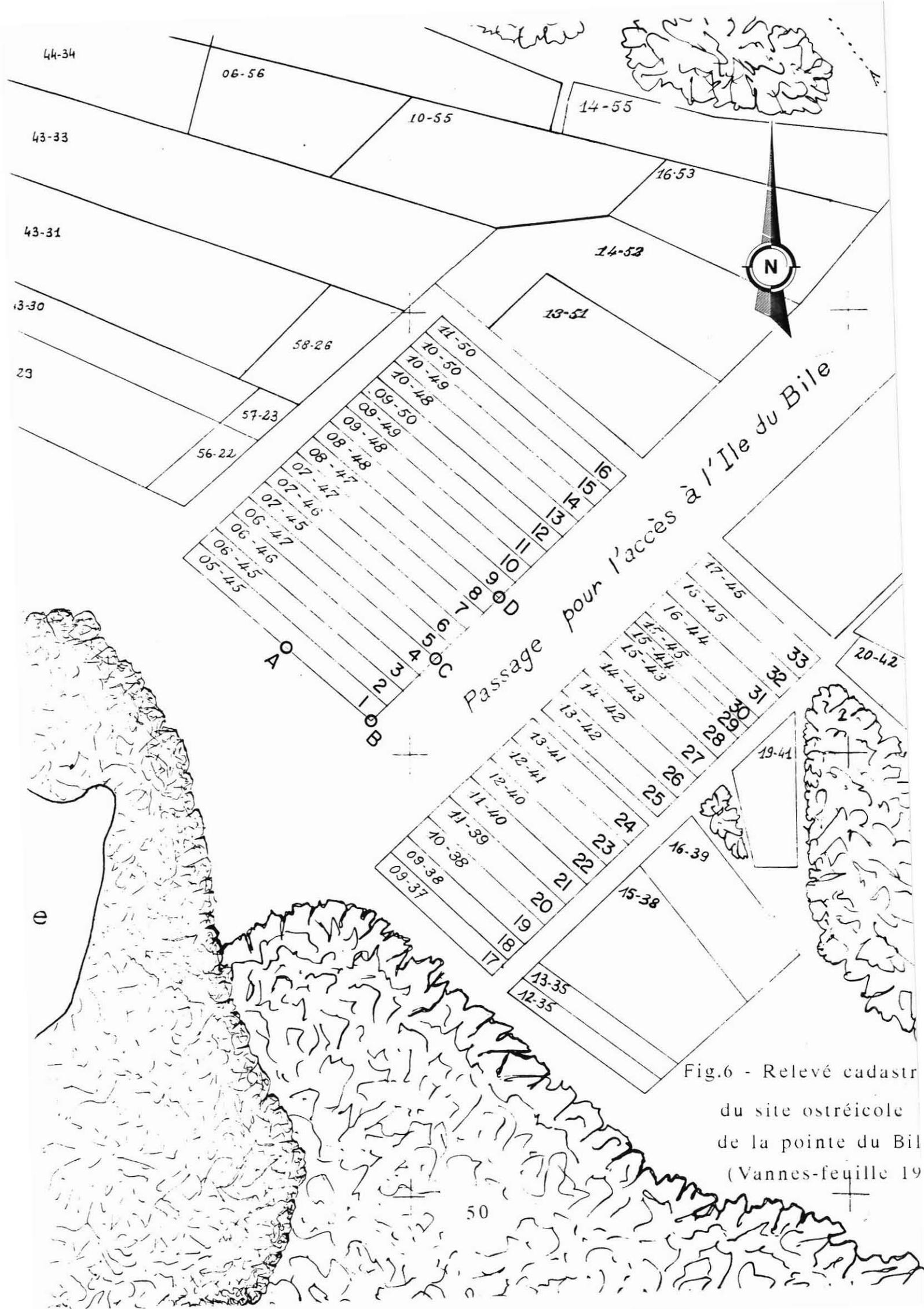


Fig.6 - Relevé cadastral  
 du site ostréicole  
 de la pointe du Bille  
 (Vannes-feuille 19)

### c. Résultats.

#### i. Images vidéo numérisées

Six images vidéo (IV1 à IV6) ont été numérisées qui permettent une appréciation correcte des performances du système d'acquisition utilisé. Quatre de ces images sont restituées sur la planche 22 qui montrent la faisabilité du traitement visuel de ces images au niveau qualitatif: les principaux thèmes d'intérêt sont identifiables: parcs ostréicoles en exploitation, parcs abandonnés, lignes de bouchots etc... On notera sur l'image IV5 la présence entre les tables ostréicoles d'algues brunes en épave (absentes lors de la première visite du site) les poches ostréicoles étant elles-mêmes couvertes d'algues vertes sauf si elles ont fait l'objet de manipulations récentes; elles présentent alors une radiométrie proche de celle de l'estran sableux. Ce type d'images devant être utilisé à des fins d'évaluation quantitative on s'est attaché à étudier le degré de conservation de la géométrie au sol d'une part, la faisabilité de l'extraction d'un linéaire de tables occupées d'autre part.

#### ii. Géométrie

Trois des six images numérisées correspondent au survol (trois passages successifs) de la zone balisée au sol. Les cibles A, B, C et D sont parfaitement identifiables sur les images numériques. Deux types de traitement sont donc effectués.

♦ Le transfert des images sur le système Intergraph permet la mesure des distances (Z) AB, BC, CD et BD en pixels. On assigne pour ce faire une taille de référence du pixel arbitraire mais commune à l'ensemble des images. A noter que cette procédure n'est directement réalisable que si l'image a été correctement échantillonnée (conservation du format vidéo). Connaissant les distances correspondantes au sol on est en mesure de calculer la taille réelle (P) des pixels dans chacune des images (tab. 3).

♦ Sur le système Comtal on extrait pour chaque image les coordonnées en X et en Y des cibles A, B et D.

Ces données permettent de calculer (tab. 4) les distances (Z) AB et BD selon la formule

$$Z = \sqrt{\delta X^2 + \delta Y^2},$$

et les angles  $\alpha$  et  $\beta$  permettant de calculer l'angle  $\gamma$  (fig. 7) selon les formules:

$$\alpha = \arctan \frac{\delta Y(AB)}{\delta X(AB)}$$

$$\beta = \arctan \frac{\delta Y(BD)}{\delta X(BD)}$$

$$\gamma = \alpha + (180 - \beta)$$

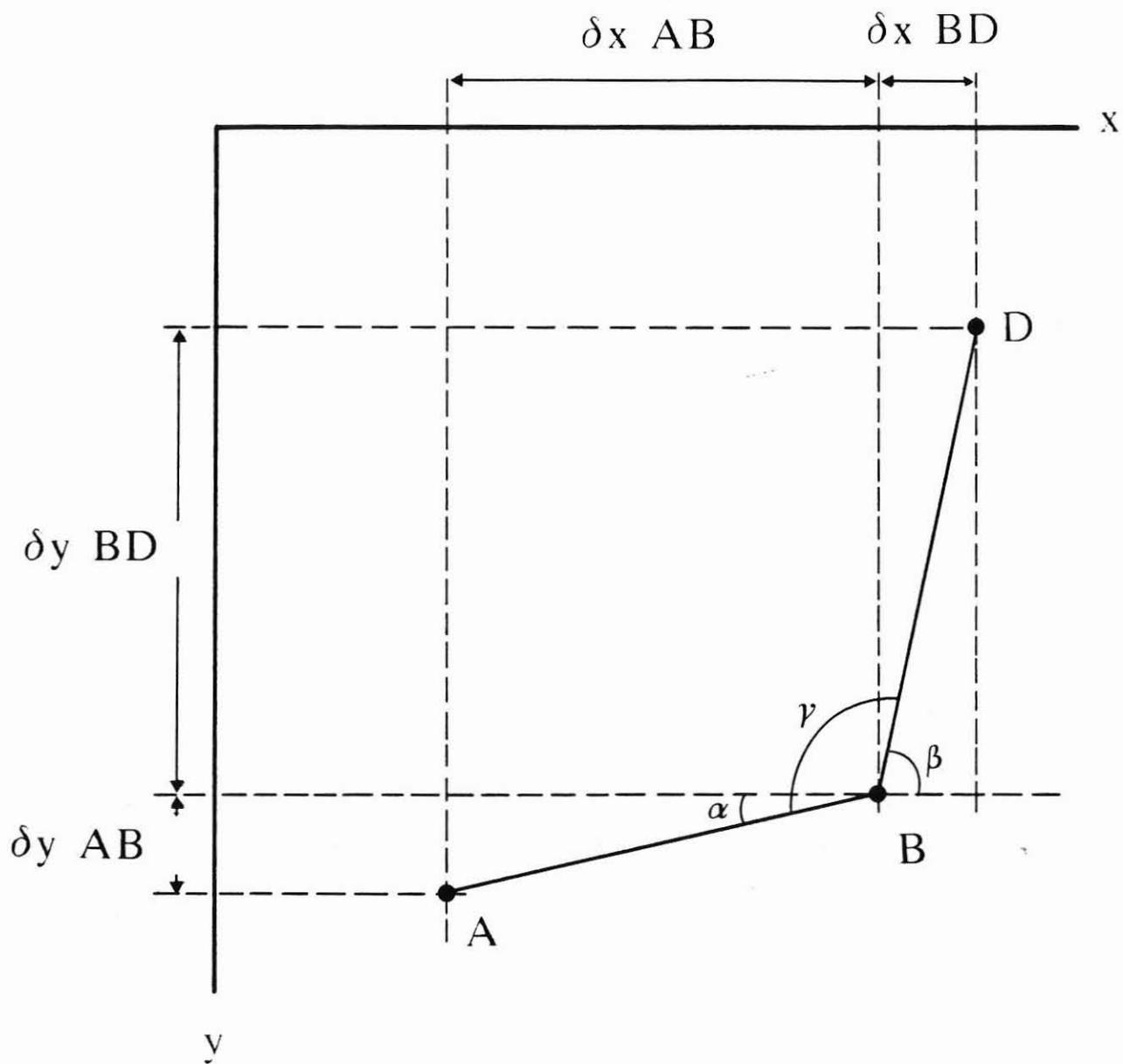


Fig.7 - Calcul de l'angle  $\gamma$  sur les images vidéo numérisées.

L'ensemble de ces résultats permet d'évaluer la conservation de la géométrie au sol en liaison avec les variations de l'attitude du vecteur.

		Segments	AB	BC	CD	BD		
		Distance au sol (m)	51	31	29	60		
Image								P
IV1	Z	226,60	136,89	129,96	266,29	,225		
	P (m)	,225	,226	,223	,225			
IV2	Z	245,64	148,93	141,80	291,43	,207		
	P (m)	,208	,208	,205	,206			
IV5	Z	252,73	153,53	143,22	297,80	,202		
	P (m)	,202	,202	,202	,201			

Tab. 3 : Calcul de la taille des pixels (système Intergraph)

		Segments	AB		BD		
		Distance au sol (m)	51		60		
Image				$\alpha$		$\beta$	$\gamma$
IV1	$\delta X$	224			5	88,93	100,20
	$\delta Y$	36			267		
	Z	226,87	9,13		267,04		
	P (m)	,225			,225		
IV2	$\delta X$	245			27	84,72	100,87
	$\delta Y$	24			292		
	Z	246,17	5,59		293,24		
	P (m)	,207			,205		
IV5	$\delta X$	252			19	86,35	99,54
	$\delta Y$	26			298		
	Z	253,34	5,89		298,60		
	P (m)	,201			,201		

Tab. 4 : Tailles des pixels et angles  $\gamma$  (système Comtal)

L'analyse de ces résultats appelle plusieurs remarques:

♦ Les légères variations observées entre les résultats des deux traitements peuvent être imputées au pointage des cibles réalisé manuellement.

♦ Pour chacune des images, les valeurs de P obtenues ne présentent pas de différences significatives entre les segments mesurés. Si l'on considère (de façon quelque peu abusive) que, du fait de leur orientation, les segments AB et BD permettent de calculer la taille des pixels respectivement en X et en Y, on en déduit que les distorsions géométriques dues aux variations de l'attitude du vecteur sont faibles. Cette déduction est confirmée par l'homogénéité inter images (aux variations de pointage

près) des valeurs de l'angle  $\gamma$  (tab. 4). L'écart moyen de ces valeurs à la mesure réalisé sur le terrain ( $98^\circ$ ) est lui-même faible ( $2^\circ 12'$ ) compte tenu de la précision de l'instrument de mesure (compas de relèvement).

♦ La taille des pixels est par contre variable d'une image à l'autre. Ces variations sont en relation directe avec les variations de l'altitude de l'hélicoptère. En effet la relation permettant le calcul de l'altitude (§ 2.a.ii.) peut aussi s'écrire :

$$H = P \times n \text{ cte , puisque } W = P \times n \text{ où } P \text{ est la taille du pixel} \\ \text{et } n \text{ le nombre de pixels.}$$

Par rapport à la taille du pixel attendue (0.20 m), les variations observées (calculées à partir de P) sont de 12.5%, 3.5% et 1% pour les images IV1, IV2 et IV5 respectivement. Les valeurs obtenues pour les images IV2 et IV5 sinon IV1 ne peuvent être imputées à des erreurs de pilotage, le pilote s'efforçant de maintenir son altitude autour d'une altitude moyenne (altitude demandée). La précision de l'affichage de l'altimètre servant à la navigation est par ailleurs un élément limitant.

On notera l'importance de ce problème : une variation de 5% de la taille du pixel par rapport à la taille attendue entraîne une erreur initiale de 5% sur l'estimation ultérieure du linéaire de tables occupées. La suppression de ce type d'erreur exigerait que les images soient recalibrées (enregistrement synchronisé de l'altitude instantanée).

On notera enfin que l'ensemble de ces problèmes (variations d'échelle et distorsions géométriques dues aux variations de l'attitude du vecteur) ne sont pas propres au système utilisé. Généralement ignorés dans les calculs ultérieurs de précision des estimations, ils se retrouvent cependant dans l'utilisation des photographies aériennes «ν général<sup>1</sup> pour lesquelles il n'existe pas au demeurant de solutions techniques appropriées (Perrier comm. pers.).

### *iii. Extraction des thèmes d'intérêt: approche quantitative.*

La "lisibilité" de l'image vidéo est étudiée à deux niveaux de photointerprétation différents.

Un premier niveau concerne la reconnaissance de l'occupation des concessions (nombre de rangées de tables et orientation). Sur le graphique d'interprétation de l'image IV5 (planche 23) ont été retracés:

- ♦ le positionnement des cibles A, B, C et D,
- ♦ les frontières des concessions 1 à 8 (les concessions 7 et 8 étant fusionnées),
- ♦ les tables occupées dans chacune des concessions.

Le relevé terrain d'occupation de ces mêmes concessions est donné par le tableau 5. La comparaison des deux sources de données (terrain/image) montre une bonne correspondance des informations.

---

<sup>1</sup> Des contrôles, réalisés sur un axe de vol, ont montré des variations non linéaires de l'altitude de l'avion allant jusqu'à 5% (Bodoy com. pers.).

Une étude plus fine de la faisabilité de l'utilisation de l'image à des fins quantitatives est réalisée par la comparaison des profils d'occupation (données terrain/ extraction image) des rangées de tables ostréicoles. La taille du pixel de l'image IV5 ayant été déterminée (tab. 3), le graphique des tables occupées, dessiné de façon interactive sur la Comtal, est transféré sur l'Intergraph où les profils d'occupation sont mesurés rangée par rangée. Le tableau 6 propose la comparaison de ces données.

Position cibles	Concession n°	Nb. rangées //	Nb. rangées †
»	1	néant	5 (2+3)
	2	néant	5 (2+3)
	3	néant	5 (2+3)
»	4	néant	4 (2+2)
	5	néant	4,5 (2+1/2+2)
»	6	20	5 (2+3)
	7 )	33	2
	8	33	2

† : orientation perpendiculaire ) au Passage pour  
 // : Orientation parallèle ) l'accès à l'Ile du Bile

Tab. 5 : Extrait du relevé d'occupation  
 du site ostréicole de la Pointe du Bile.

» Concession n°1 «										
Rangée									TOTAL	δ%
1	<u>9,6</u>	13,3	<u>19,6</u>	2,4	<u>30,3</u>	3,4	<u>21,1</u>		<u>80,6</u>	
	<u>6,3</u>	16,0	<u>19,6</u>	2,2	<u>31,4</u>	2,7	<u>20,9</u>		<u>78,2</u>	-2,9
2	<u>19,6</u>	2,4	<u>28,3</u>	(2,5)	3,4	(3,4)	<u>17,7</u>		<u>65,6</u>	
	<u>18,5</u>	2,7	<u>28,3</u>		12,4		<u>14,8</u>		<u>61,6</u>	-6,1
3	<u>23,1</u>			2,8	(5,0)	<u>25,3</u>	3,4	<u>21,1</u>	<u>69,5</u>	
	<u>3,3</u>	1,0	<u>17,7</u>	7,6		<u>26,1</u>	4,2	<u>20,7</u>	<u>67,9</u>	-5,3
4	<u>21,1</u>	1,9	<u>33,0</u>	1,6	<u>21,1</u>				<u>75,2</u>	
	<u>21,2</u>	1,6	<u>33,4</u>	2,2	<u>21,0</u>				<u>75,6</u>	,6
5	<u>24,1</u>	(1,5)	<u>26,2</u>	,8	<u>46,0</u>				<u>96,3</u>	
	<u>52,0</u>			1,4	<u>46,1</u>				<u>98,1</u>	1,9
TOTAL									<u>387,2</u>	
									<u>381,4</u>	-1,5

» Concession n°2 «										
Rangée									TOTAL	δ%
1	<u>9,1</u>	2,7	<u>2,5</u>	(3,8)	<u>33,5</u>	(3,5)	<u>34,5</u>		<u>79,6</u>	
	<u>8,5</u>	13,7			<u>29,0</u>	3,4	<u>35,9</u>		<u>73,4</u>	-7,84
2	<u>43,4</u>	,6	<u>9,4</u>	(1,8)	<u>13,6</u>				<u>66,4</u>	
	<u>69,2</u>								<u>69,2</u>	4,2
3	<u>5,7</u>	(0,7)	<u>6,0</u>	(0,7)	<u>8,8</u>	1,2	<u>7,2</u>		<u>27,7</u>	
	<u>31,3</u>								<u>31,3</u>	13,0
4	) mesures non effectuées : mouvements de poches.									
5	) mesures non effectuées : mouvements de poches.									
TOTAL									<u>173,7</u>	
									<u>173,9</u>	,1

» Concession n°3 «										
Rangée									TOTAL	δ%
1	(15,9)	<u>75,7</u>	(10,0)						<u>75,7</u>	
		<u>78,3</u>							<u>78,3</u>	3,5
2	<u>33,8</u>	(1,2)	<u>24,2</u>	(9,4)					?	
	<u>25,3</u>	4,1	<u>59,6</u>						<u>84,9</u>	N/A
3	) mesures non effectuées : mouvements de poches.									
4	) mesures non effectuées : mouvements de poches.									
5	) mesures non effectuées : mouvements de poches.									

Tab. 6 : Profils d'occupation des rangées de tables ostréicoles comparaison vérité terrain/ extraction sur image vidéo. (Les mesures sont données en mètres.)  
1,0 : tables occupées ligne sup. : vérité terrain  
(1,0) : tables vides ligne inf. : image vidéo  
1,0 : absence de tables \* : erreur de mesure terrain

La précision de l'évaluation du linéaire de tables occupées à partir de l'image numérique est inférieure à 2% en valeur absolue pour les deux concessions sur lesquelles elle a pu être calculée. On notera que l'image révèle avec certitude une erreur de mesure (ou transcription de la mesure) terrain concernant la deuxième rangée de la concession n°3 sur laquelle en conséquence un calcul de précision n'a pu être effectué.

Calculée sur l'ensemble de la concession, la précision de l'évaluation est en fait un écart moyen des méthodes de mesure: les erreurs de mesure sur l'image (surévaluation, sous-évaluation) se compensent plus ou moins d'une rangée à l'autre. Les valeurs de δ% calculées sur chacune des rangées

reflètent quand à elles beaucoup mieux la précision géométrique de l'évaluation qui apparaît nettement moins satisfaisante.

En fait, si l'extraction interactive du linéaire de tables occupées est réalisable, elle reste quelque peu difficile, l'interprétation fine de l'image se heurtant à des problèmes de nature et d'origine différentes : contours des objets mal définis, faible contraste radiométrique entre certains objets.

Le léger flou observé dans l'image peut être imputé à des causes multiples :

- ♦ la vitesse du vecteur qui induit un décalage entre les deux trames de l'image, décalage très faible puisque l'on peut calculer que la distance parcourue au sol pendant l'acquisition d'une image est de 0.366 m pour les paramètres retenus (altitude 580 pieds, vitesse 20 mph).

- ♦ une mauvaise convergence des tubes de la caméra (i.e une mauvaise superposition des centres des trois tubes). Ceci est particulièrement vrai pour le tube bleu. La suppression de la composante bleue dans l'image numérique entraîne une diminution importante du flou au niveau des objets dont la réponse se situe principalement dans les composantes rouges et vertes. On notera que le cadrage des tubes image est connu pour être affecté par des vibrations d'origine mécanique.

- ♦ en dernier lieu et surtout, la résolution du système d'acquisition qui s'avère très insuffisante (Cf § 2.a.i.).

#### *iv. Automatisation de l'analyse d'une image vidéo couleur: éléments de réponse*

A l'inverse des images étudiées précédemment (parcs ostréicoles du Bassin de Marennes-Oléron), la couleur est ici un élément déterminant pour l'interprétation de l'image : la présence d'algues brunes en épave rend très difficile l'identification sur une image panchromatique des tables ostréicoles occupées, elles-mêmes couvertes d'algues vertes (intégrées sur l'ensemble du spectre visible les radiométries de ces deux thèmes sont très proches). Dans le cas d'une interprétation interactive de l'image, l'oeil de l'opérateur travaille de manière globale en intégrant à la fois les caractéristiques spectrales (couleur) des objets qu'il identifie et leurs distribution spatiale (forme) ce qui explique en particulier que des objets dont les signatures spectrales sont proches peuvent être identifiés.

Dans l'état actuel de l'art, les opérateurs de morphologie mathématique sont inopérants pour le traitement simultané des canaux d'une image multispectrale. Il faut donc réduire l'information à une image de synthèse monocanal. Se pose alors le problème de l'interprétation des images vidéo sur la base d'une approche radiométrique et en particulier les questions suivantes:

(a) Qu'apportent les trois canaux RVB dans la détermination de critères de classification ?

(b) Quelles relations établir entre ce type de mesures et celles obtenus à l'aide de capteurs classiquement utilisés (radiomètre de terrain, données satellitaires) ?

Ces premiers essais d'acquisition de données vidéo n'ayant pas été programmés en vue de traiter précisément ce type de problème, les éléments de réponse proposés ci-après ont une valeur essentiellement exploratoire.

L'analyse de la réponse des principaux thèmes de l'image dans les trois canaux RVB est résumée dans la figure 8.

Dans la mesure où l'intensité de l'éclairement solaire incident est prise en compte préalablement à l'acquisition des données par un réglage de la caméra (balance du blanc) la réponse d'un objet dans un canal donné (i.e. pour une plage de longueurs d'onde donnée) peut être traduite en terme de réflectance spectrale en transformant la donnée numérique brute en pourcentage de saturation. Le terme de réflectance est en fait ici impropre puisque cette grandeur adimensionnelle est définie comme étant le quotient de l'existance réfléchie d'une surface plane par son éclairement, pour une longueur d'onde donnée. Ceci explique que les données obtenues ne puissent être comparées directement en valeurs absolues à celles issues de capteurs permettant d'obtenir des données de réflectance à proprement parler. La comparaison de variations relatives devient par contre possible.

Les objets retenus dans cette analyse sont :

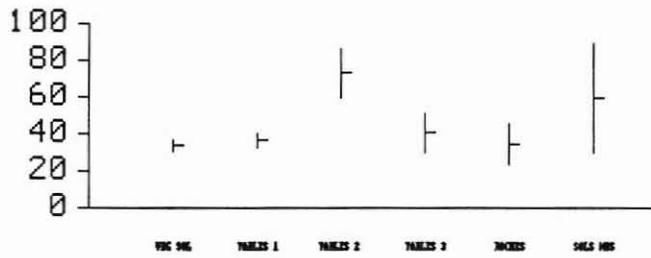
- ♦ la végétation au sol (algues brunes en épave),
  - ♦ les tables ostréicoles qui présentent trois types de réponse différents :
- poches couvertes d'algues vertes (tables 1),
  - poches en cours de manipulation, très réfléchissantes (tables 2),
  - poches récemment manipulées (tables 3),
- ♦ les roches et
  - ♦ les sols nus (sables plus ou moins humides, plus ou moins vaseux).

L'analyse des profils radiométriques de ces objets (fig. 8) amène quelques remarques intéressantes:

- Quoique très hétérogènes, les sols nus sont en moyenne très réfléchissants et peuvent être extraits de l'image par un simple seuillage sur les trois canaux. On peut expliquer l'hétérogénéité des réponses observées par le fait que la teneur en eau d'un sol affecte sa réponse dans le visible selon le schéma suivant (Guyot 1988): la réflectance dans le visible est d'autant plus faible que le sol est plus humide (l'indice de réfraction de l'interface air-sédiment est plus élevé que celui de l'interface eau-sédiment) et la variation de réflectance pour une longueur d'onde donnée d'autant plus importante que l'on se déplace dans le spectre vers des longueurs d'onde plus élevées (du bleu vers le rouge). Par ailleurs, selon Guillaumont et al. (1988), la réflectance d'un sédiment sablo-vaseux peut être largement affectée par la présence de microphytobenthos (pics d'absorbance dans le bleu et le rouge).

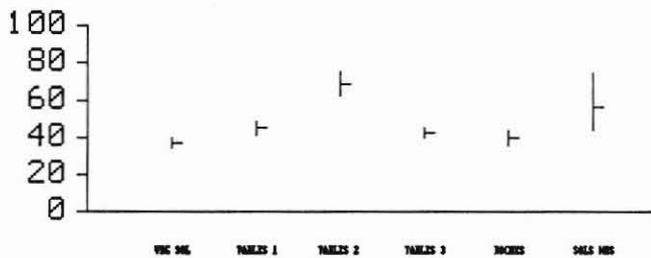
- Le thème tables 2 présente une signature spectrale très proche de celle des sols nus. L'explication doit être recherchée dans l'étude des propriétés optiques du test des huîtres et des poches ostréicoles.

REFLECTANCE EN %



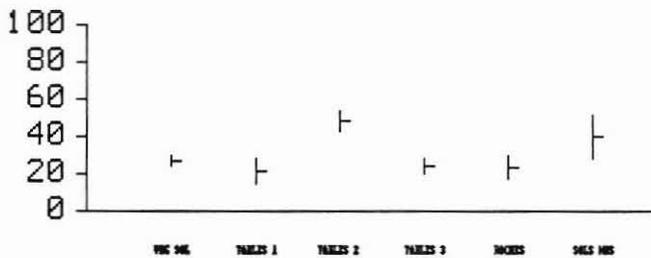
(A) : CANAL ROUGE

REFLECTANCE EN %



(B) : CANAL VERT

REFLECTANCE EN %



(C) : CANAL BLEU

Fig. 8 : Signatures spectrales des objets significatifs de l'image IV5. Mesures caractrisées par la moyenne  $\mu$  l'cart-type calculés sur une centaine de pixels par classe.

- Concernant la végétation macrophyte, des variations de réflectance sont détectables en particulier dans les canaux vert et bleu où la réponse des deux thèmes végétation au sol et tables 1 est inversée . Ce résultat suggère de rechercher des critères de classification basés sur l'analyse des rapports  $Ip1 = \text{vert}/\text{rouge}$  et  $Ip2 = \text{vert}/\text{bleu}$ . La figure 9 montre en particulier que l'indice  $Ip2$  devrait permettre une bonne séparation de ces deux thèmes.

La comparaison de ces résultats à ceux obtenus par Ben Moussa et al. (1989) en télédétection satellitaire est proposée dans le tableau 8 , la mise en correspondance des canaux des capteurs apparaissant dans le tableau 7 . Non précisées par le constructeur<sup>1</sup>, les caractéristiques spectrales de la caméra n'ont pas été portées. On notera tout l'intérêt qu'il y aurait à l'avenir à connaître ce type de paramètre. Les résultats du tableau 8 permettent d'observer que si les réflectances ne sont pas comparables en valeur absolue - nous nous en sommes déjà expliqués-, les variations relatives observées entre groupes d'espèces (algues brunes/algues vertes) évoluent dans le même sens pour les deux types de capteur. Les valeurs de l' indice pigmentaire  $Ip1$  sont par ailleurs particulièrement cohérentes entre les deux groupes de résultats. Cet indice qui caractérise l'importance relative des pigments accessoires (autres que la chlorophylle a) permet selon Ben Moussa (op. cit.) la discrimination de secteurs à dominance d'algues vertes dans les problèmes de cartographie des végétaux marins. Selon nos propres observations l'indice pigmentaire  $Ip2$  non accessible par des données SPOT (le capteur HRV ne disposant pas de fenêtre spectrale dans le bleu) serait potentiellement plus discriminant. Ce résultat mériterait d'être confirmé par de nouvelles acquisitions et expliqué par la mise en relation avec les équipements pigmentaires respectifs des espèces ou groupes d'espèces concernés.

Concernant les réponses des substrats, la réflectance des sols dans les canaux XS1 et XS2 de SPOT est très supérieure à celle des végétaux. Ce phénomène très largement observé par ailleurs (Guyot 1988) se retrouve sur les images vidéo notamment pour les sols nus (sables). Les roches présentent pour leur part des caractéristiques radiométriques qui suggèrent l'existence de pixels mixtes (algues et substrat rocheux).

Une classification supervisée de l'image IV5 égalisée (rehaussement de contraste) a été tentée. La planche 24 présente le résultat de cette classification en 4 classes (issues du regroupement de certaines des classes étudiées précédemment):

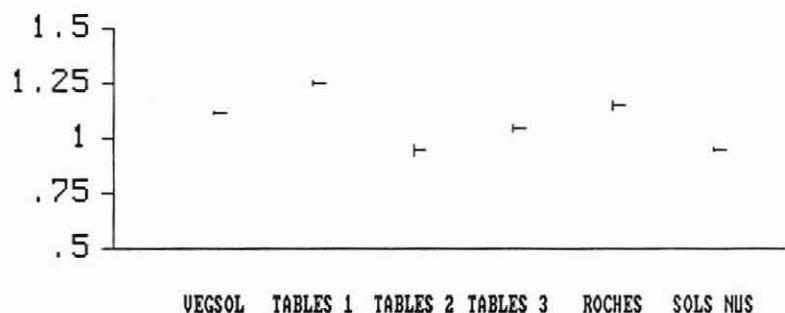
- tables 1 ou tables marquées par des algues vertes (en rouge),
- tables 3 (en vert),
- roches et végétation au sol (en bleu),
- sols nus (en jaune).

Les pixels hors classes apparaissent en blanc.

---

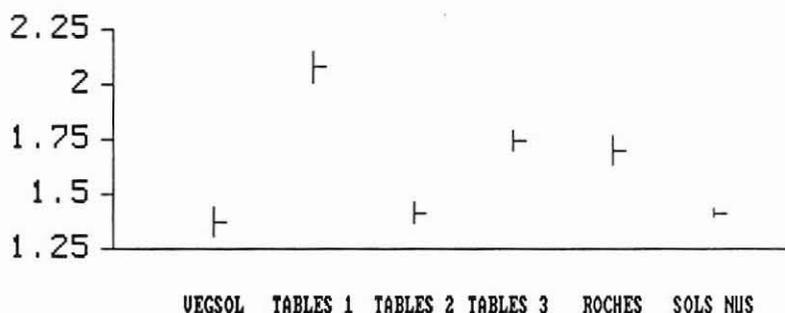
<sup>1</sup> on sait seulement que le séparateur spectral est un prisme.

RAPPORT DES LUMINANCES



(A) : CANAL VERT/CANAL ROUGE

RAPPORT DES LUMINANCES



(B) : CANAL VERT/CANAL BLEU

Fig. 9 : Caractrisations des objets significatifs de l'image IV5 par les indices  $I_{p1}$  (A) et  $I_{p2}$  (B). Estimations des variables quotient et intervalles de confiance associs.

Bien qu'une méthode de classification plus performante soit à rechercher (dans laquelle notamment pourrait intervenir l'utilisation des indices pigmentaires pour une meilleure caractérisation des tables occupées), ce résultat indique que la réduction d'une image vidéo couleur à une image monocanal de synthèse ne devrait pas poser de problème particulier.

CANAL	SPOT	Caméra TV
	Longueur d'onde (nm)	CANAL
-	-	Bleu
XS1	500-600	Vert
XS2	610-690	Rouge
XS3	780-880	-

Tab. 7 : mise en correspondances des canaux de l'instrument Haute Résolution Visible (HRV) du satellite SPOT et d'une caméra TV couleur.

	Réflectances		indice	capteur
	XS1	XS2	Ip1	
Fucus serratus	0.033	0.033	1.010	SPOT
Laminaria saccharina	0.035	0.034	1.017	"
Laminaria digitata	0.033	0.032	1.019	"
L. digitata (à fleur d'eau)	0.014	0.013	1.096	"
algues brunes	0.372	0.337	1.117	TV
Ulva sp.	0.052	0.042	1.217	SPOT
Cladophora sp.	0.059	0.042	1.398	"
Enteromorpha sp.	0.043	0.030	1.407	"
algues vertes	0.454	0.363	1.249	TV
galets	0.227	0.247		SPOT
granite	0.306	0.338		"
sable fin sec	0.297	0.319		"
roches	0.399	0.347		TV
sols nus	0.565	0.594		"

Tab. 8 : Réflectances et indice pigmentaire associé de différents thèmes dans les canaux de SPOT (d'après Ben Moussa et al. 1989) et de thèmes similaires dans les canaux "correspondants" d'une caméra vidéo couleur.



planche 22:

Images vidéo numérisées.



planche 23:

Image vidéo numérisée IV5 et  
graphique d'interprétation.

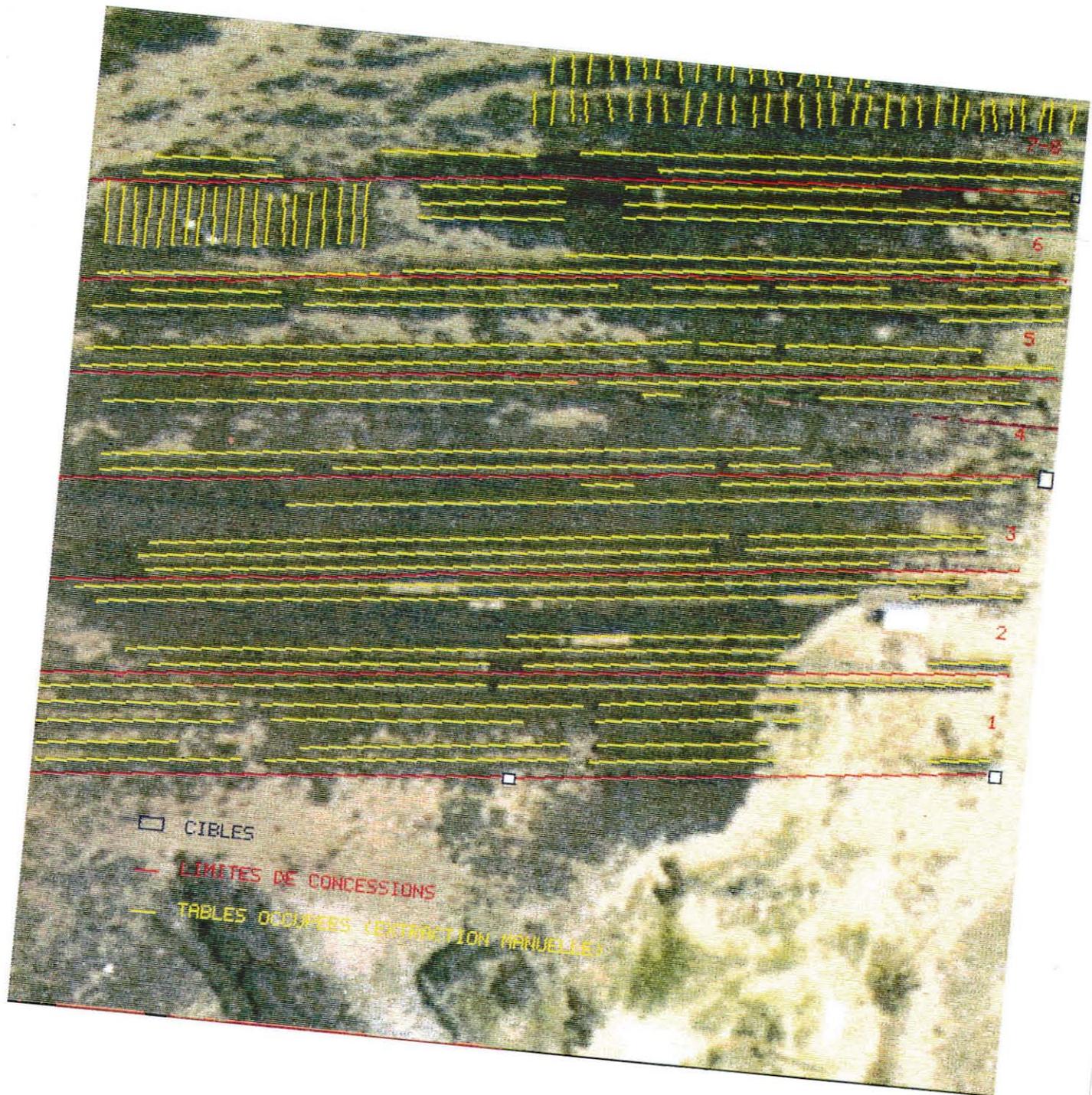
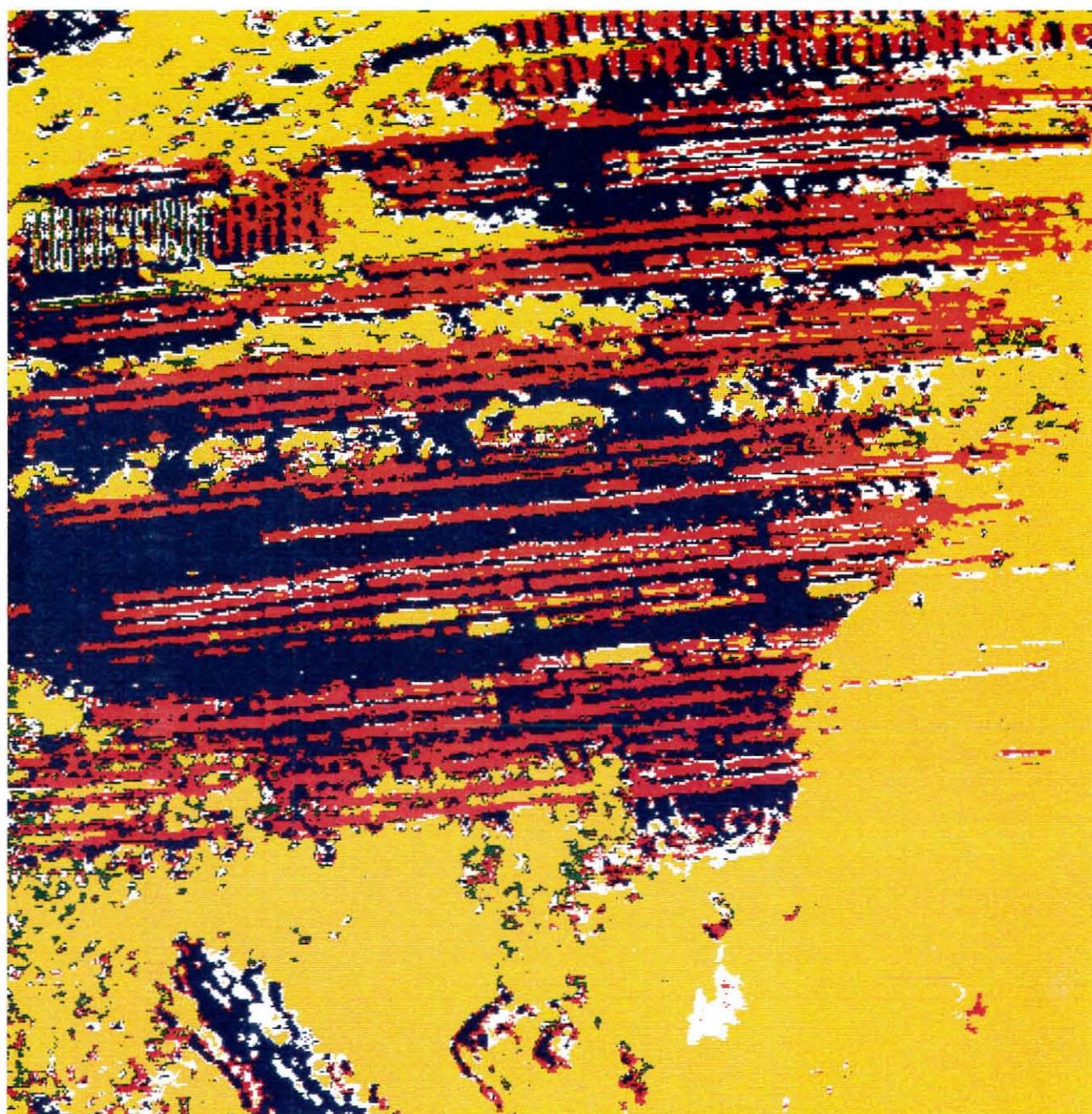


planche 24:

Classification de l'image IV5  
égalisée





### 3. Chaîne d'acquisition vidéo embarquée : cahier des charges.

"The current trend of electronic imaging (is) taking over some photographic applications, and bringing about new ways of information collection and dissemination..."

Nixon in Anonyme(1986).

Les résultats des premiers essais d'acquisition en vol ne peuvent aboutir à la conclusion que la méthodologie proposée est opérationnelle. Ils sont suffisamment probants cependant pour proposer la programmation de nouveaux tests sur la base d'une technologie plus adaptée, les résultats obtenus permettant en particulier de définir les contraintes spécifiques aux objectifs fixés.

Les tests conduits n'ont rien d'une "première" en la matière. La vidéo aéroportée est largement utilisée outre-atlantique pour des applications de plus en plus variées et pointues au fur et à mesure des progrès technologiques réalisés (capteurs, numériseurs etc...).

#### *a. L'utilisation de la vidéo en télédétection: les systèmes actuels.*

Depuis plusieurs années, nombre d'études ont exploré les possibilités d'utilisation de la vidéo en télédétection. Un comité sur l'application des techniques vidéo a ainsi été créé en 1984 au sein de l'ASP ( American Society of Photogrammetry, Division of Remote Sensing Applications ), organe dont les activités couvrent à la fois le domaine de l'instrumentation et celui des applications. Il suffit de consulter les "Vidéo Technology Newsletter" régulièrement publiées par ce comité pour se persuader que la vidéo aérienne est un domaine en pleine expansion. La bibliographie existante fait apparaître que cette technologie trouve des applications privilégiées dans les problèmes de gestion et d'aménagement en agriculture: divers systèmes ont été mis au point pour l'inventaire et le suivi des cultures et zones forestières en particulier. On notera que les potentialités de la vidéo aéroportée sont suffisamment importantes pour que des sociétés privées (Rocky Mountain Mapping Inc. , aux USA par exemple) en aient fait leur outil de travail (Lent in Anonyme 1984). Les matériels utilisés dans les applications ayant fait l'objet de publications scientifiques sont des systèmes vidéo noir et blanc, couleur ou infra-rouge couleur dont la sensibilité s'étend du visible au proche infra-rouge (0.4 - 1.1 $\mu$ ) (Gausman et al. 1983; Vleck and King 1983; Nixon et al. 1985; Meisner and Lindstrom 1985; Everitt and Nixon 1985 a,b; Everitt et al. 1987a). Un système d'acquisition dans le moyen infra-rouge (1.45-2.0  $\mu$ ) a par ailleurs été développé (Everitt et al. 1986, 1987b). La plupart de ces systèmes sont des systèmes multibandes réalisés à partir de plusieurs caméras vidéo (2 à 4). Chaque caméra dont le type de tube est sélectionné en fonction de la sensibilité recherchée est équipée d'un filtre pour une plage de longueur donnée et reliée à un magnétoscope pour l'enregistrement (analogique) des

images, la digitalisation des données étant différée. Frost (1985) a développé et commercialisé un système vidéo multispectral conçu à partir d'une seule caméra CCD : six filtres (au choix de l'utilisateur- bandes Landsat MSS en standard) sont disposés sur une plaque tournante dont la rotation est asservie au balayage vidéo. Une image multispectrale est obtenue en 1/10 s (i.e. 1 trame monochrome en 1/60 s). Ce système, très séduisant dans son principe, ne semble pas adapté à notre application : compte tenu de la résolution souhaitée, ses principales limitations sont en effet liées au temps d'acquisition de l'image multispectrale et à la résolution de l'ensemble caméra-magnétoscope utilisé (256 H x 240 V). La technologie disponible a cependant très rapidement évolué: si au début des années 80 les capteurs CCD matriciels avaient une résolution limitée, les caméras aujourd'hui sur le marché présentent d'excellentes performances. Les retombées de cette avancée technologique dans le domaine de la télédétection ont été soulignées par Nixon dès 1986:

"... The limitation currently experienced in using video for remote sensing, such as low resolution, will diminish as a result of improvement now underway. For example, video tubes are now offered with 1400 or more lines of resolution. Solid state sensors with 512x512 and 1024x1024 pixels are in the market; and higher resolution are coming , such as Tektronic's 2048x2048. Better ways are evolving for recording vidéo images. The digitalisation at the camera is a welcome prospect. Miniaturization of camera will simplify their mounting in/on aircraft. Design of small gyroscopically stabilized camera mounts can be aided by very small solid-state camera heads (presently available) wich are smaller than the lenses themselves..."

#### *b. Les solutions techniques possibles.*

Deux problèmes ont été principalement identifiés dans les tests réalisés:

- ♦ la résolution du "package" d'acquisition définitivement trop faible,
- ♦ les variations des paramètres de vol (altitude notamment).

Il n'existe pas à notre connaissance de système d'acquisition "clés en main" dont les spécifications techniques satisfassent aux exigences requises. Il semble par contre qu'une chaîne d'acquisition performante puisse être définie et mise en oeuvre à partir de solutions (composants) technologiques existantes.

L'instrumentation de la chaîne d'acquisition des données doit répondre aux contraintes suivantes :

1° Acquisition d'images numériques haute résolution 512x512 (mini) à pixels carrés de:

- 8 bits de profondeur : images monochromes suffisantes dans la plupart des applications à la résolution de 0.20m (Cf traitement des

photographies aériennes au 1/2000 ème des parcs en surélévation à Marennes-Oléron).

- nx8 bits de profondeur (vidéo couleur ou vidéo multispectrale): pour le traitement de cas de figure plus compliqués (type Pointe du Bile) et l'application éventuelle de ce type de technologie en remplacement de la photo aérienne à petite échelle.

♦ choix d'un capteur et asservissement des commandes. La technologie CCD (pour "Charge coupled device") sera retenue préférentiellement (grande sensibilité, couverture spectrale du visible au proche infra-rouge, excellente précision géométrique la rétine étant constituée de photoéléments indépendants, temps d'intégration programmable, compacité, etc...).

♦ choix d'un système de stockage de données numériques (pas de perte de résolution liée à l'emploi d'un magnétoscope)

- interface + ordinateur embarquable si l'on peut récupérer un signal digital en sortie du capteur.

- numériseur d'images si le signal délivré par le capteur est un signal analogique.

2° Asservissement du capteur aux variations d'attitude du vecteur (centrale inertielle).

3° Enregistrement synchronisé des paramètres de vol (altitude, cap et heure d'acquisition éventuellement).

4° Système de positionnement géographique et enregistrement pour couverture exhaustive (=> mosaïque d'images), cette action n'étant pas prioritaire mais devant être retenue dans l'hypothèse où l'on veuille substituer la vidéo à la photographie aérienne au 1/10.000 ème (Cf. chapitre III).

Sur la base de ce cahier des charges, une étude technique doit être réalisée (analyse des matériels existants sur le marché, choix de solutions adaptées, assemblage et tests). Il est indispensable d'envisager le problème sous l'angle de la fourniture au meilleur rapport qualité/prix d'un produit fini directement disponible : image numérique de bonne qualité (géométrique et radiométrique) et entête-paramètres correspondante.

Il n'est pas de notre ressort de proposer des solutions techniques: ce sujet doit être discuté avec des professionnels de l'image électronique et des systèmes embarquables. Pour information cependant nous citerons quelques exemples (parmi d'autres) de produits dont l'utilisation pourrait être envisagée:

♦ caméra CCD PULNIX TM-760 (coût < 20KF, actuellement testée à l'ENSTB)

- pixels carrés/haute résolution

- 11µm x 11µm /756 (H) x 581 (V)

- obturateur électronique (temps d'intégration 1/60 à 1/10000 s)
- tête débrochable
- ...
- ♦ caméra CCD VIDEK Megaplus (100 KF environ)
  - pixels carrés/haute résolution
  - $6.8\mu\text{m} \times 6.8\mu\text{m}/1320 \text{ (H)} \times 1035 \text{ (V)}$
  - sortie digitale (8 bits) et horloge pixel
  - obturateur électronique.
  - ...
- ♦ processeur image Trydin (calculateur hôte SUN série 3 ou 4) de la société Info'rop (prix selon configuration)
  - interface numérique synchrone : caméra CCD matrice ou barrette à sortie numérique et horloge pixel.
  - numérisation temps réel (25 images ou 50 trames /s): monochrome (8 bits) ou couleur (3 voies de 8 bits en parallèle) pour tous type de caméra à tube ou CCD à sortie analogique CCIR. Echantillonnage à 15 Mhz ( $\Rightarrow 768 \text{ (H)} \times 576 \text{ (V)}$  d'où conservation de la géométrie de l'objet). Acquisition monocoup.
  - mémoire image  $4096 \times 4096$  pixels (en standard) , profondeur 8 à 32 bits/pixels.
  - ...

Ce matériel est déjà utilisé en télédétection et notamment pour l'acquisition aéroportée d'images infra-rouge (applications militaires). Il devrait être possible de concevoir un système d'acquisition multispectral (1 à 3 caméras CCD + filtres adéquats et interchangeables) autour de ce type de processeur.

#### 4. Conclusion.

Plusieurs enseignements peuvent être dégagés des résultats des essais d'acquisition d'images en vol:

1° La résolution du système utilisé est trop faible pour permettre une analyse quantitative précise des images acquises. Ce problème est du en particulier à l'utilisation d'un magnétoscope comme support de stockage d'une image couleur.

2° La présence d'un couvert algal important entre les structures d'élevage justifie l'utilisation de la couleur: l'identification de ces structures aurait été particulièrement difficile sur une image panchromatique. On peut supposer que ce phénomène se retrouvera de façon générale dans l'étude de zones d'élevage situées en baies ouvertes. Il semble donc important que la conception d'une centrale d'acquisition intègre ce problème : l'outil devra pouvoir acquérir des images monochromes ou multispectrales selon les caractéristiques du site étudié.

3° Les déformations géométriques dues aux variations d'attitude du vecteur sont trop faibles pour avoir pu être mises en évidence par les moyens d'analyse disponibles. Quoiqu'il en soit la compacité des capteurs

actuels (rétines CCD à tête débrochable) permet d'envisager d'asservir l'acquisition des images à la verticale sans réelle difficulté technique.

4° L'altitude instantanée du vecteur doit par contre être enregistrée ; ignorées, les variations de ce paramètre seraient susceptibles d'entraîner des erreurs de mesure non négligeables.

L'ensemble des résultats obtenus permet de façon générale de conclure aux fortes potentialités de ce type de technologie. Compte tenu des progrès technologiques récemment réalisés dans ce domaine, il semble que la conception et la réalisation à un coût raisonnable d'une centrale d'acquisition performante et opérationnelle soit envisageable à court terme. Il est par contre indispensable que cette opération soit prise en charge par un personnel maîtrisant parfaitement les concepts et techniques sous-jacents. Nombre d'études (environnement littoral notamment) sont confrontées aux problèmes technologiques ici évoqués. De ce fait, les enjeux d'une telle réalisation dépassent largement le cadre de cette simple application et devraient être suffisamment importants pour faire l'objet d'un projet sur le principe d'un partenariat.



III. ESTIMATION DES SURFACES DES STRATES A PLAT ET  
EN SURELEVATION.



Au moment de la définition des priorités dans l'étude actuelle, le problème de l'automatisation de l'estimation des surfaces cultivées à plat et en surélevé était apparu comme secondaire par rapport au traitement des photographies aériennes à grande échelle . Il semblait établi que la stratégie de traitement manuel retenue (couverture aérienne exhaustive du bassin, échantillonnage systématique à l'aide d'une grille de points calquée sur les photographies) aboutissait à des résultats (précision de 3% selon Bacher 1984, inférieure à 2% selon Bodoy et al. 1987) satisfaisants pour un coût d'exploitation réduit. Des variations de biomasse inexplicables d'une année à l'autre ont récemment conduit les opérateurs à vérifier la validité de la méthode employée. Les résultats des tests réalisés conduisent à la remise en cause de ce type de traitement basé sur des critères d'analyse trop subjectifs pour permettre la reproductibilité des résultats. Ainsi, concernant l'estimation des surfaces exploitées en surélévation, l'exploitation d'une même photographie par le même photointerprète à un an d'intervalle conduit à une différence de 25% entre les deux estimations obtenues (Bodoy , comm. pers.). Les doutes que génèrent inévitablement ce type de résultats, conduisent à en analyser les origines pour en tirer les enseignements utiles.

Entre les 2 % de précision annoncés et les 25% de variation entre deux estimations réalisées à un an d'intervalle que s'est-il passé ? On observera tout d'abord que ces deux grandeurs ne se réfèrent pas au même objet: la première est liée à la procédure d'échantillonnage elle-même, tandis que la seconde pourrait être assimilée à une précision méthodologique. L'explication d'une moindre performance à ce niveau doit être recherchée dans l'analyse de la démarche retenue en photointerprétation: préalablement au traitement d'un cliché, l'opérateur se définit une batterie de critères d'analyse basés sur une connaissance a priori des thèmes qu'il étudie . Pendant l'analyse elle-même, celui-ci module le plus souvent l'application de ces critères en fonction du contexte qu'il rencontre . On peut penser que pendant le traitement d'un cliché (plusieurs échantillonnages systématiques successifs) la perception de ce contexte (variations de textures, relations d'organisation spatiale, critères de taille etc...) est stable : l'opérateur est capable de reproduire ses décisions . L'expérience montre ici que la même opération réitérée à un intervalle de temps beaucoup plus espacé donne des résultats différents: la perception du contexte n'a pu être mémorisée dans son intégrité et la mémorisation des seuls critères d'analyse ne peut suffire à la reproduction des décisions<sup>1</sup>. On conçoit alors que la reproductibilité des résultats dépende étroitement de la rigueur de la démarche analytique qui aboutit à la détermination de critères de décision. Ainsi, dire que l'estimation des surfaces exploitées se réduit au dénombrement de points correspondants à des surfaces exploitées ne permet en aucune manière le

---

<sup>1</sup> Compte tenu de la complexité des scènes étudiées, un réétalonnage de la technique d'analyse (qui assurerait la fidélité de la mesure sinon sa justesse) par reprise d'un cliché de référence ne peut être raisonnablement envisagé.

traitement objectif d'un cliché. Préciser que l'on exclut du décompte les espaces non cultivés , les portions de parcs inexploitées ,les allées règlementaires etc... n'améliore guère le problème. Un traitement devient objectif quand chacun des objets signifiants à été caractérisé par des critères eux mêmes objectifs : critères de taille, de forme , de texture, de relation avec les objets environnants,... S'agissant d'une analyse quantitative, ces critères doivent être formalisés de façon précise pour que les résultats soient effectivement reproductibles sur un même cliché et présentent une bonne cohérence spatio-temporelle. Cette démarche est d'autant plus importante que ces mêmes critères interviennent pour les strates d'élevage en surélévation à deux échelles d'analyse complémentaires; elle seule permet d'assurer la cohérence de l'ensemble du processus d'estimation des stocks. Il est bien évident cependant que plus on formalise les règles de décision plus le processus de photointerprétation manuelle devient complexe et difficile à mettre en oeuvre. La formalisation des relations forme-objet et forme-voisinage à la base de la photointerprétation analytique laisse entrevoir nous l'avons vu une possibilité d'automatisation. Se pose alors de nouveau la question de savoir si une technique de visualisation par ordinateur constitue pour ce problème un élément essentiel de progrès.

Les données numériques disponibles (photos aériennes au 1/15000 ème numérisées) nous ont permis d'engager un premier processus d'évaluation concernant le problème de l'estimation des surfaces exploitées en surélévation : on s'est attaché à étudier la faisabilité de l'extraction des parcs exploités dans un paysage complexe. Les résultats de ce travail font l'objet du § III.A. Le problème de l'estimation des surfaces exploitées à plat n'a quant à lui pas été traité pour la simple raison de l'indisponibilité de données adéquates. Cette question sera abordée dans le § III.B.

Le § III.C. enfin traitera des techniques d'acquisition de données numériques dont la mise en oeuvre peut être envisagée à cette échelle de traitement.

## A. ESTIMATION DES SURFACES DES STRATES D'ELEVAGE EN SURELEVATION.

### 1. Méthodologie

Les images utilisées ici sont issues de la numérisation par la société TIGRE du cliché n°2471 (campagne STU 1983) . L'échelle est de 1/15.000 ème , le pas de numérisation retenu 100  $\mu$  ce qui se traduit par une résolution du pixel de 1.50 m.

Les outils matériels et logiciels sont les mêmes que ceux utilisés pour le traitement des clichés à grande échelle<sup>1</sup>.

### 2. Proposition de traitement

#### a. Connaissance des images et définition de sous buts.

A la résolution de 1.50 m, une image 512x512 couvre une superficie de 58 hectares environ. Le paysage correspondant à ce type d'image est donc totalement différent de celui étudié précédemment: les parcs ostréicoles apparaissent dans leur environnement qui peut être plus ou moins complexe (espace immergé, estran, chenaux, limites de parcs etc...). La but de la segmentation est bien ici d'extraire les parcs ostréicoles exploités de cet environnement. Cette étape effectuée, la mesure des surfaces correspondantes devient possible. L'automatisation étant recherchée, on s'efforcera de ne pas recourir -solution préconisée par Pujol (1985)- à la construction interactive de masques divers (chenaux, estran non concédé etc..), toutes opérations qui faciliteraient grandement l'étape de segmentation mais se paieraient par un coût d'analyse non négligeable. Cette exigence implique une bonne caractérisation des thèmes à extraire.

#### i. Caractérisation géométrique.

On sait que la luminance d'un pixel correspond à l'intensité moyenne de l'image optique mesurée sur l'intervalle d'échantillonnage (ici 1.50 m) . Par conséquent, des objets de taille inférieure à la résolution de l'image numérique n'y seront pas représentés correctement. Un objet de taille N sera en fait correctement représenté si le pas d'échantillonnage est inférieur ou égal à N/2 ( fréquence de Nyquist). On a vu précédemment que la largeur des tables ostréicoles était d'environ 1m ce qui à la résolution étudiée ici devrait poser des problèmes de représentation . En fait, et ce phénomène apparait très bien sur les images à 0.20 m, la fréquence spatiale des tables répond rarement au schéma des deux tiers le plus simple (1 m de table, 2 m d'estran): les rangées de tables sont généralement accolées (espace inter-rangs de moins d'1.50 m) par deux ou trois. Cette organisation spatiale ( probablement liée à des commodités d'exploitation sur le terrain) explique que les parcs d'élevage en surélévation soient

---

<sup>1</sup> Les listing des fichiers script élaborés peuvent être fournis sur simple demande.

aisément identifiables sur les images numériques étudiées: ils sont caractérisés par des éléments linéaires correspondants à des rangées de tables fusionnées. Ces éléments sont de longueur variable (supérieure à une longueur donnée) correspondant au nombre de tables accolées dans une même rangée et d'épaisseur elle-même variable (inférieure à une épaisseur donnée) correspondant au nombre de rangées "fusionnées" et leurs espaces inter-rangs respectifs.

La représentation d'une rangée de tables isolée (espace inter-rang supérieur à 3 m) est étroitement dépendante de sa position dans l'espace de discrétisation de l'image. Si l'on admet en effet que la réponse radiométrique d'un pixel est une fonction linéaire des réponses des différents objets entrant dans le champ de ce pixel, on calcule que la contribution d'une portion de table à la réponse d'un pixel va pouvoir varier de plus de 66% à près de 0% selon que ce pixel englobe tout ou partie de l'élément de table considéré. On notera que ces pixels hétérogènes se retrouvent de la même façon au niveau de rangées accolées. Cette seule considération explique qu'il faille s'intéresser à des variations de radiométrie plutôt qu'à des niveaux radiométriques donnés.

#### *ii. Caractérisation radiométrique .*

Les radiométries des thèmes d'intérêt répondent grossièrement aux règles déjà évoquées:

♦ Les structures d'élevage en surélévation chargées de végétation (donc peu réfléchissantes) sont caractérisées par des réponses dans les niveaux élevés de l'histogramme des niveaux de gris (les images traitées sont des plans film négatifs).

♦ La réponse des sols nus, fonction de leurs degré d'humidité est variable mais située dans les faibles niveaux de l'histogramme.

♦ Les chenaux et zones immergées présentent une radiométrie généralement intermédiaire, parfois peu différente de celles des surfaces exploitées. On notera que la numérisation de ces images a été effectuée en même temps et par la même société que la numérisation du cliché 2770 au 1/2000 ème: on a déjà mentionné la médiocre qualité de ce travail qui se traduit par une mauvaise dynamique générale des images.

#### *iii. Relations d'organisation spatiale.*

Leur définition est d'une importance capitale dans l'élaboration d'un algorithme de traitement. Parmi les relations existantes ont été retenues:

♦ Un parc exploité est constitué de plusieurs segments linéaires orientés parallèlement et à une fréquence spatiale élevée.

♦ Un parc exploité est proche d'un autre parc exploité.

♦ Les structures d'élevage ont une orientation préférentielle (optimisation de l'occupation des sols en fonction de critères d'exploitations et de critères physiques, courant dominant par exemple). Sur les clichés étudiés, on note l'existence de deux orientations principales l'une à l'autre perpendiculaires.

♦ Les parcs non exploités (ou exploités à plat) peuvent être marqués par des segments linéaires isolés (limites de parcs).

♦ Le sédiment ne présente pas de caractéristiques homogènes: il peut être couvert de taches d'algues (taches claires sans organisation particulière), il peut former aussi des ripple marks (structures linéaires d'épaisseur variable à fréquence spatiale relativement constante pour une zone donnée); enfin il est parcouru par des réseaux de drainage denses de type dendritique avec en certains endroits une organisation des tributaires en réseaux sub-parallèles (d'après la terminologie empruntée à Bariou 1978). Au niveau morphologique, la confusion de ces types de structure (ripple marks, réseaux sub-parallèles) avec celle présentée par les parcs d'élevage en surélévation est dans certaines conditions possible .

D'autres propriétés de relation ont été identifiées qui pourraient être utilisées dans des développements ultérieurs. Elles concernent essentiellement les structures organisées en réseaux:

♦ de type dendritique : un chenal se jette dans un autre chenal. Sinon il se jette dans la mer .Sinon il traverse l'image .

♦ de type rectangulaire: une allée réglementaire (non concédée) présente des caractéristiques de continuité différentes de celles des allées intraparcs et des caractéristiques de relation avec les autres allées règlementaires, les chenaux , l'estran non concédé ou l'espace immergé.

#### *b. Algorithme de traitement commenté.*

La figure 10 schématise les grandes étapes de l'algorithme élaboré. Le détail des procédures est proposé conjointement à la présentation d'un exemple de traitement (Image 2471 A).

##### AMELIORATION DE L'IMAGE ORIGINALE .

La procédure suivante a été retenue:

- Etalement linéaire de la dynamique de l'image originale (normalisation de l'histogramme) pour rehausser les contrastes (planche 25).

- Moyenne locale qui permet un lissage doux de l'image: son effet résulte notamment en l'atténuation des signaux correspondants aux ripple marks de faible amplitude et fréquence spatiale élevée et aux parties de réseaux de drainage organisées en réseaux sub-parallèles.

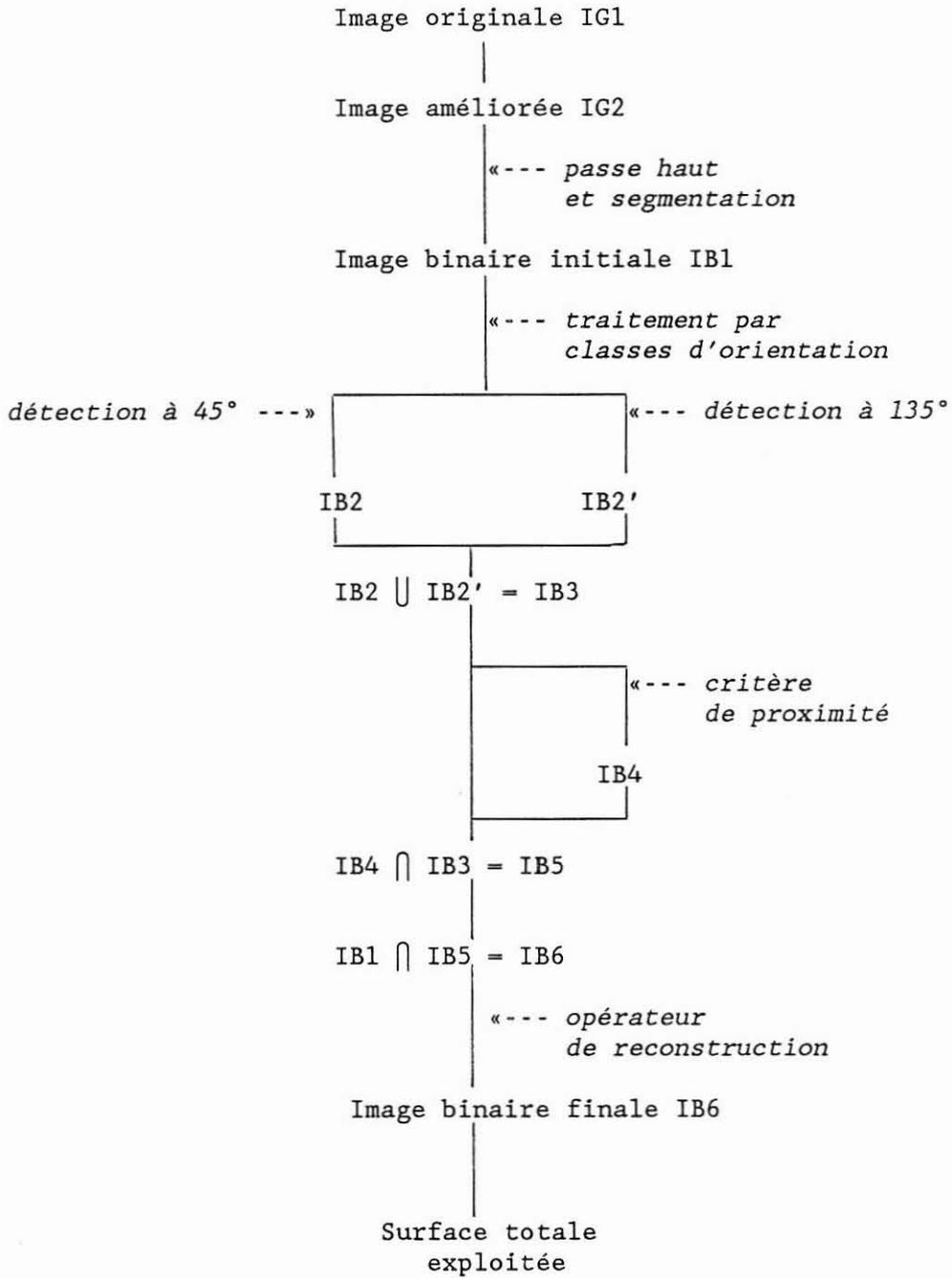


Fig. 10 : traitement automatique des images à 1.50m : algorithme développé.

#### REHAUSSEMENT DES FRONTIERES

Pour les raisons évoquées précédemment (§ III.A.2.a) il faut s'intéresser dans ce type d'image plus à des variations (gradients) de niveaux de gris présentant une certaine continuité qu'à des plages de niveaux données (un seuillage sur l'image à cette étape du traitement produit une segmentation inadéquate). On applique donc un filtre linéaire passe-haut (fenêtre 3x3 en 8-connexité). Ce type de filtre (insensible à l'orientation) produit des valeurs élevées aux points où les niveaux de gris changent rapidement.

#### SEGMENTATION.

L'image résultante présente un histogramme grossièrement trimodal: les modes extrêmes correspondent aux forts gradients de gris dans l'image originale, le mode intermédiaire correspond aux zones de radiométrie homogène dans cette même image. Parmi les procédures testées pour la transformation de cette image en image binaire, la suivante a été retenue qui aboutit à une segmentation satisfaisante: deux méthodes de seuillage automatique de l'image à 3 niveaux sont appliquées en parallèle. Les deux images résultantes sont ensuite combinées ce qui donne une image à 5 niveaux sur laquelle on applique une méthode de seuillage par hystérésis (IB1, planche 26), méthode qui permet un seuillage avec rétablissement de connexité (par propagation géodésique).

#### EXTRACTION DES PARCS EXPLOITES.

Cette procédure réalise un traitement de l'image par classes d'orientation. Deux classes sont ici traitées  $-45^\circ$  et  $135^\circ$  (choisies en fonction des caractéristiques des images disponibles) mais rien ne s'oppose au rajout de classes d'orientation nouvelle ( $0^\circ$  et  $90^\circ$  par exemple) puisque la même procédure de traitement (aux choix des éléments structurants près) est appliquée pour chaque classe d'orientation en parallèle sur l'image binaire initiale.

La procédure de traitement pour une classe d'orientation donnée est la suivante:

La différence logique entre l'image binaire et son fermé de taille 2 à  $45^\circ$  permet d'extraire les parcs appartenant à la classe d'orientation  $135^\circ$ . Cette image est en effet caractérisée par des segments linéaires orientés à  $135^\circ$  qui correspondent aux espaces inter-rangs des structures d'élevage présentant cette même orientation. L'élimination du "bruit" est réalisée par l'application de deux opérations de filtrage successives: filtrage sur la taille des objets (analyse individuelle) et sur la proximité spatiale entre objets (les objets répondant aux premier critère mais isolés ne seront pas retenus). On obtient pour chaque classe d'orientation une image marquant les parcs correspondants (IB2 et IB2', planches 27 et 28).

L'image résultant de l'union des images de chacune des classes d'orientation (IB3, planche 29) correspond à l'ensemble des parcs exploités et des structures de l'estran non concédé ayant satisfait aux critères de sélection. Pour supprimer ces dernières un critère de proximité spatiale

entre parcs exploités est utilisé : dilatation de l'image IB3, analyse individuelle des objets du dilaté et sélection (critère de surface). On obtient l'image IB4 (planche 30) qui correspond à la réalisation d'un masque de l'estran concédé. L'intersection des images IB3 et IB4 (IB5, planche 31) marque l'ensemble des parcs exploités. On retrouve sur l'image IB6 (planche 32) ,intersection des images IB5 et IB1 la quasi totalité des tables (fusionnées ou non) des parcs en exploitation. La dernière procédure consiste à récupérer les portions de tables ou groupes de tables qui ont été perdues en cours de traitement. Pour ce faire on prend l'intersection (IB7) du dilaté de l'image IB6 et de l'image binaire initiale. L'image finale (IBF, planche 33) est obtenue par reconstruction de l'image IB7 à partir des marqueurs de l'image IB6.

#### SURFACE TOTALE EXPLOITEE.

A ce stade du traitement la segmentation est correctement réalisée. Les opérateurs à mettre en oeuvre pour le calcul des surfaces exploitées sont dès lors sous l'étroite dépendance des critères d'analyse des données à 0.20 m. Il faut ici définir des critères de correspondance entre les deux échelles de traitement: quelles allées conservent-on, lorsqu'un parc est partiellement inexploité à quelles conditions limites le considère-t-on comme totalement exploité etc... Il n'existe pas de solution immédiate à ces problèmes du fait que sur les images à 0.20m , l'information concernant la géométrie du parcellaire est plus ou moins perdue. La mise au point de cette grille de correspondance (en cours) doit alors faire l'objet d'une réflexion particulière.

#### *c. Résultats.*

L'algorithme d'extraction des surfaces exploitées en surélévation a été mis au point sur l'image A du cliché 2471 (campagne aérienne 1983) et testé sur les 4 images numériques provenant de ce cliché . Les planches 35 à 40 permettent l'appréciation visuelle de ses performances. Pour chacune des images 2471B, 2471C, 2471D sont proposées l'image originale rehaussée et un image de synthèse ou apparaît en jaune l'image binaire initiale à laquelle on a superposé en bleu l'image binaire finale.

Une validation quantitative exige au préalable qu'aient été définies les procédures de mesure des surfaces exploitées. Les surfaces de référence pourront alors être déterminées en traçant de façon interactive un graphique selon les critères d'analyse choisis.

#### *d. Discussion et conclusions.*

L'observation de la planche 34 (image ayant servi à la mise au point du traitement) montre que l'algorithme aboutit à l'extraction de la quasi totalité des structures correspondant à des tables en exploitation et que tous les objets extraits sont des tables ou groupes de tables ostréicoles.

Les résultats obtenus sur les images tests (planche 36, 38 et 40) confirment la validité de la démarche retenue mais suggèrent l'optimisation (en cours) de certains paramètres du traitement : sur les planches 36 et 38 en particulier certains parcs exploités ne sont pas retrouvés sur l'image binaire finale. On notera cependant que sur l'ensemble de ces images les résultats permettent d'escompter une bonne précision de la méthode qui devra être testée sur de nouvelles données. On notera par ailleurs que ce traitement a été réalisé sur des images numériques obtenues à partir de cliché au 1/15.000 ème. A cette échelle, nombre des structures à identifier sont en limite de résolution sur la photographie elle-même: selon Bakis (1978), pour être identifié sur une photo au 1/15.000 ème , un objet devra avoir une taille supérieure à 1.50 m (ceci explique que les estimations manuelles soient aujourd'hui réalisées sur des clichés au 1/10.000 ème). Ce phénomène n'est sans doute pas sans incidence sur la qualité des images numériques (dont la dynamique est par ailleurs très médiocre) et donc sur la performance du traitement.

planche 25:

IG2 : image 2471A rehaussée.

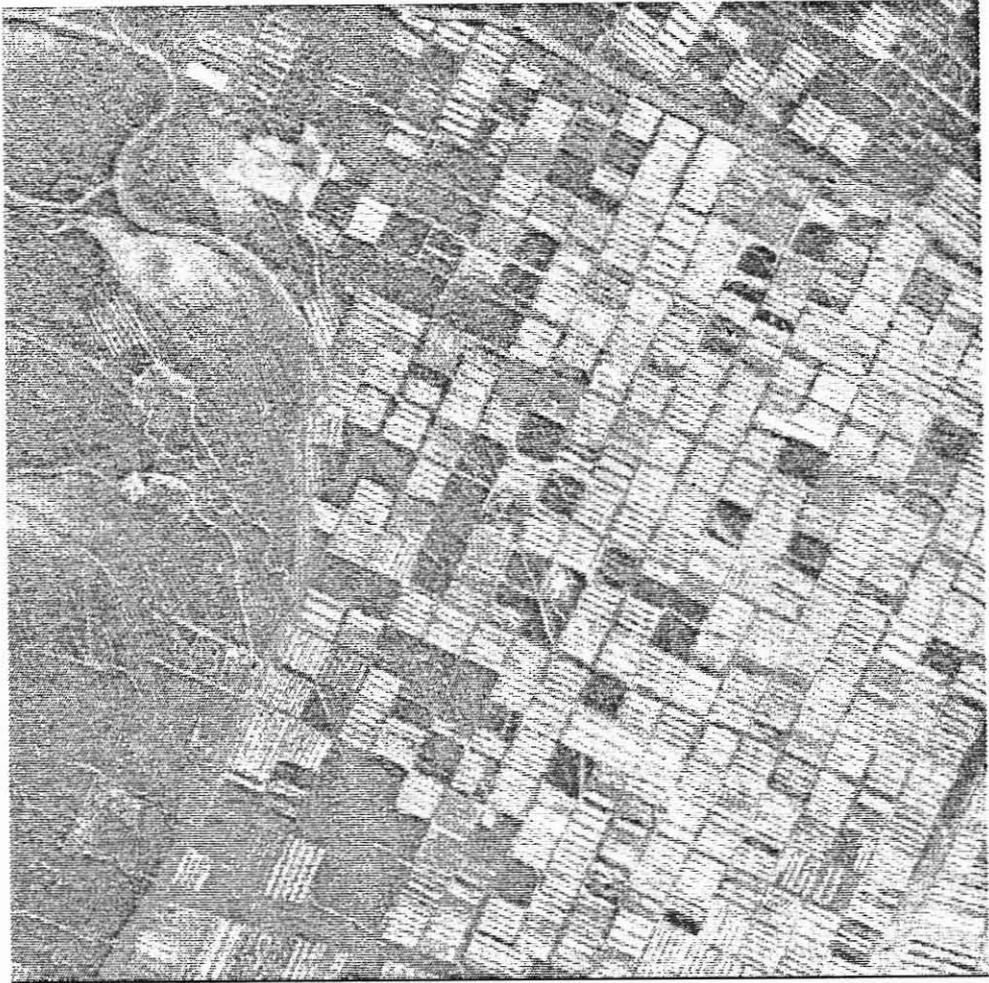


planche 26:

IB1: image binaire initiale.

planche 27:

IB2: marqueurs de la classe  
d'orientation  $45^\circ$ .

planche 28:

IB2': marqueurs de la classe  
d'orientation  $135^\circ$ .

planche 29:

IB3: union des classes  
d'orientation.

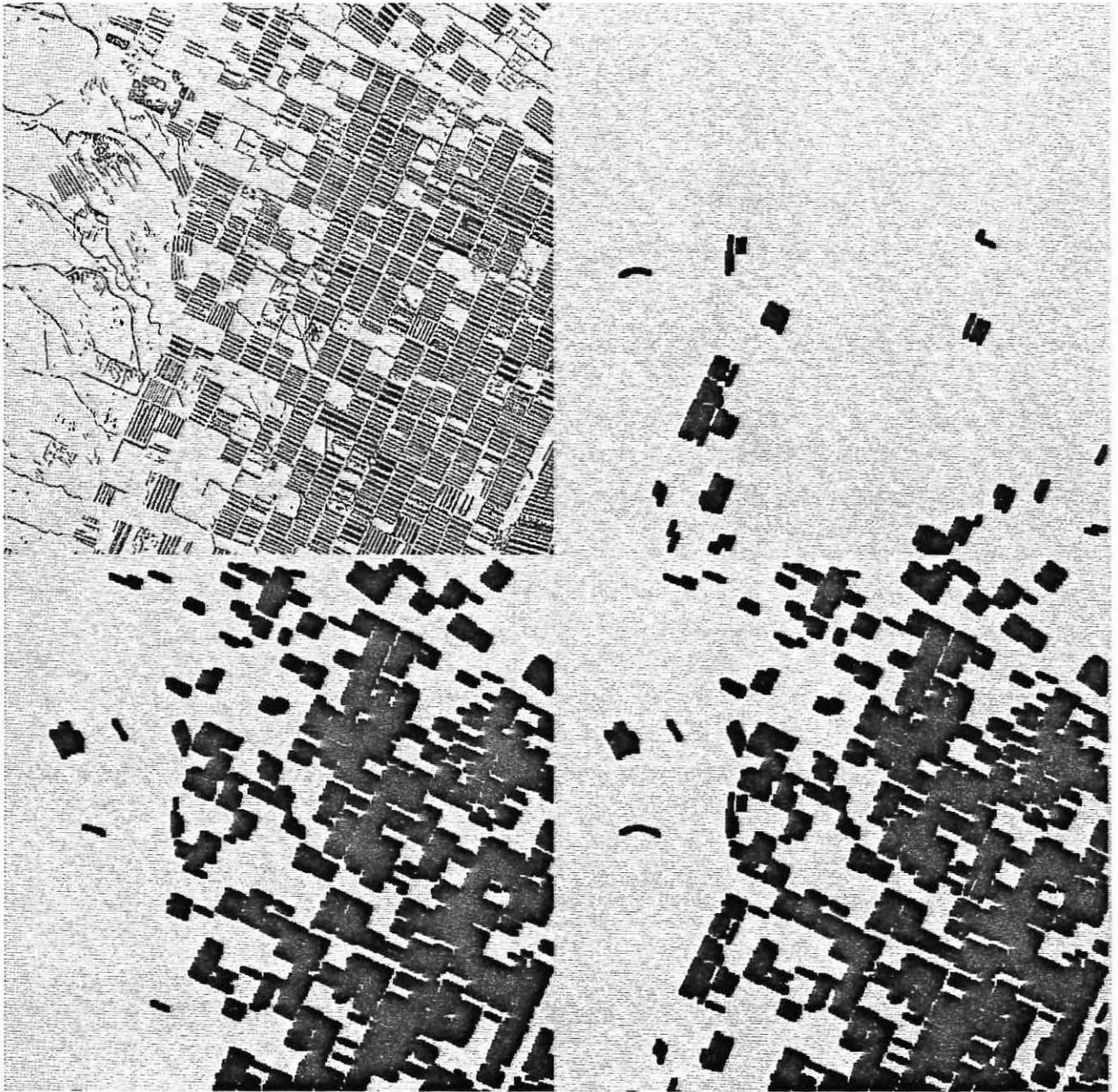


planche 30:

IB4: masque de l'estran concédé.

planche 31:

IB5: marqueurs des parcs  
exploités.

planche 32:

IB6: intersection des images IB1  
et IB5.

planche 33:

IBF: extraction des parcs  
exploités: image binaire finale.

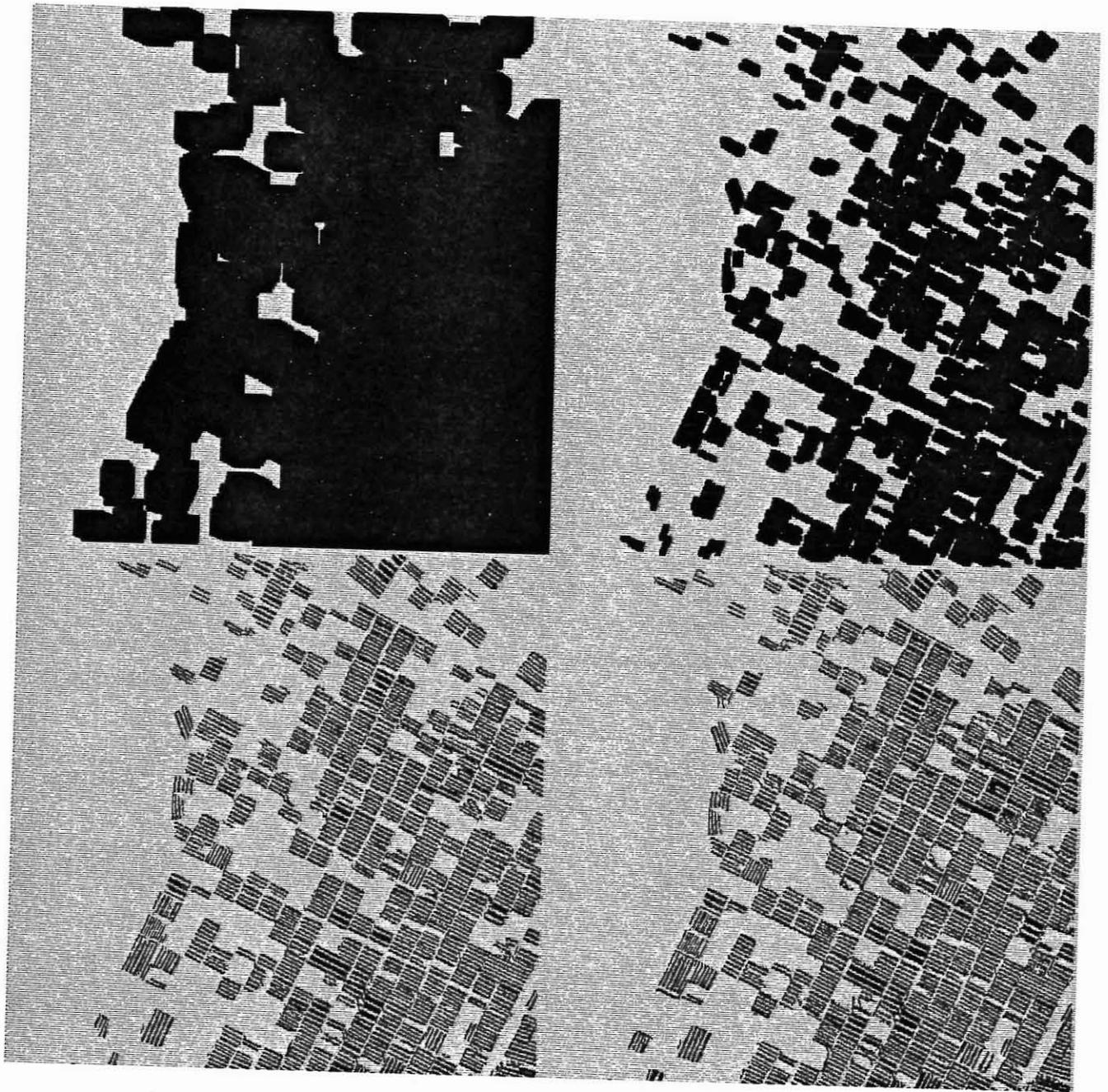


planche 34:

Résultat du traitement de l'image  
2471A: superposition des images IB1  
(en jaune) et IBF (en bleu).

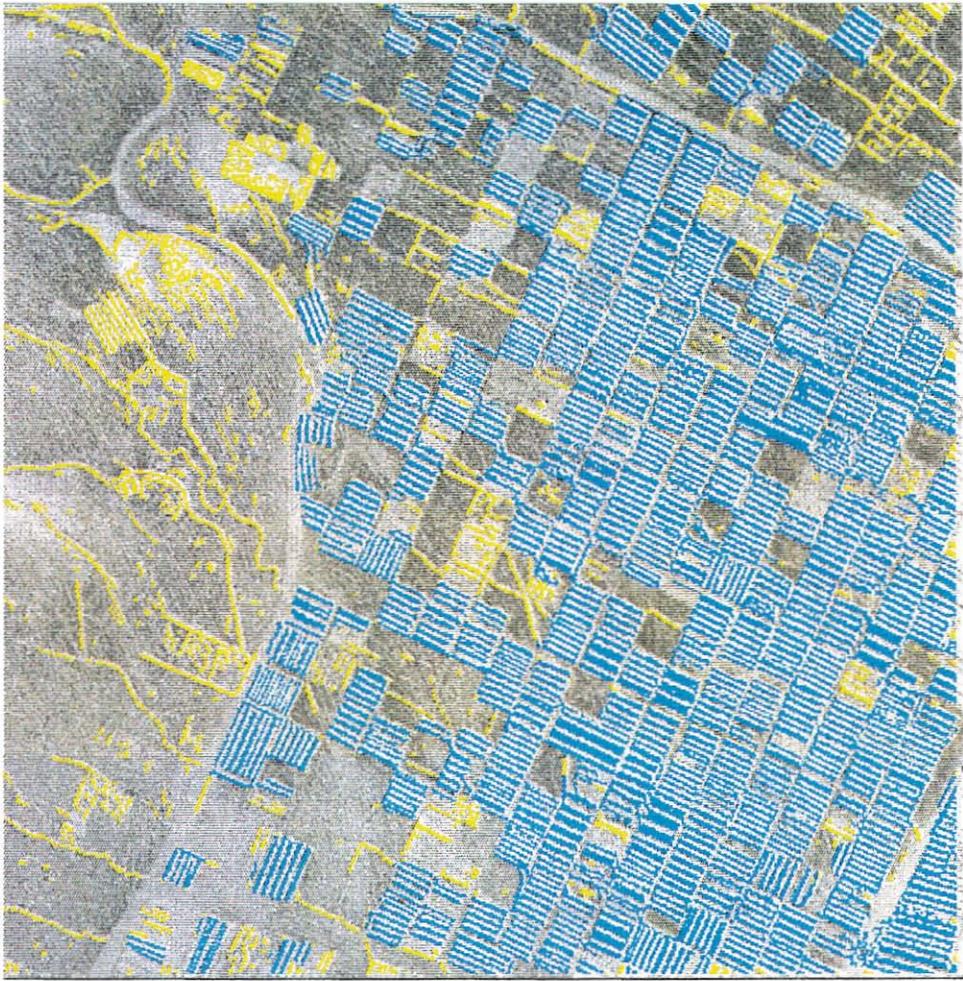


planche 35:

Image 2471B: original rehaussé.

planche 36:

Résultat du traitement de  
l'image 2471B.

planche 37:

Image 2471C: original rehaussé.

planche 38:

Résultat du traitement de  
l'image 2471C.

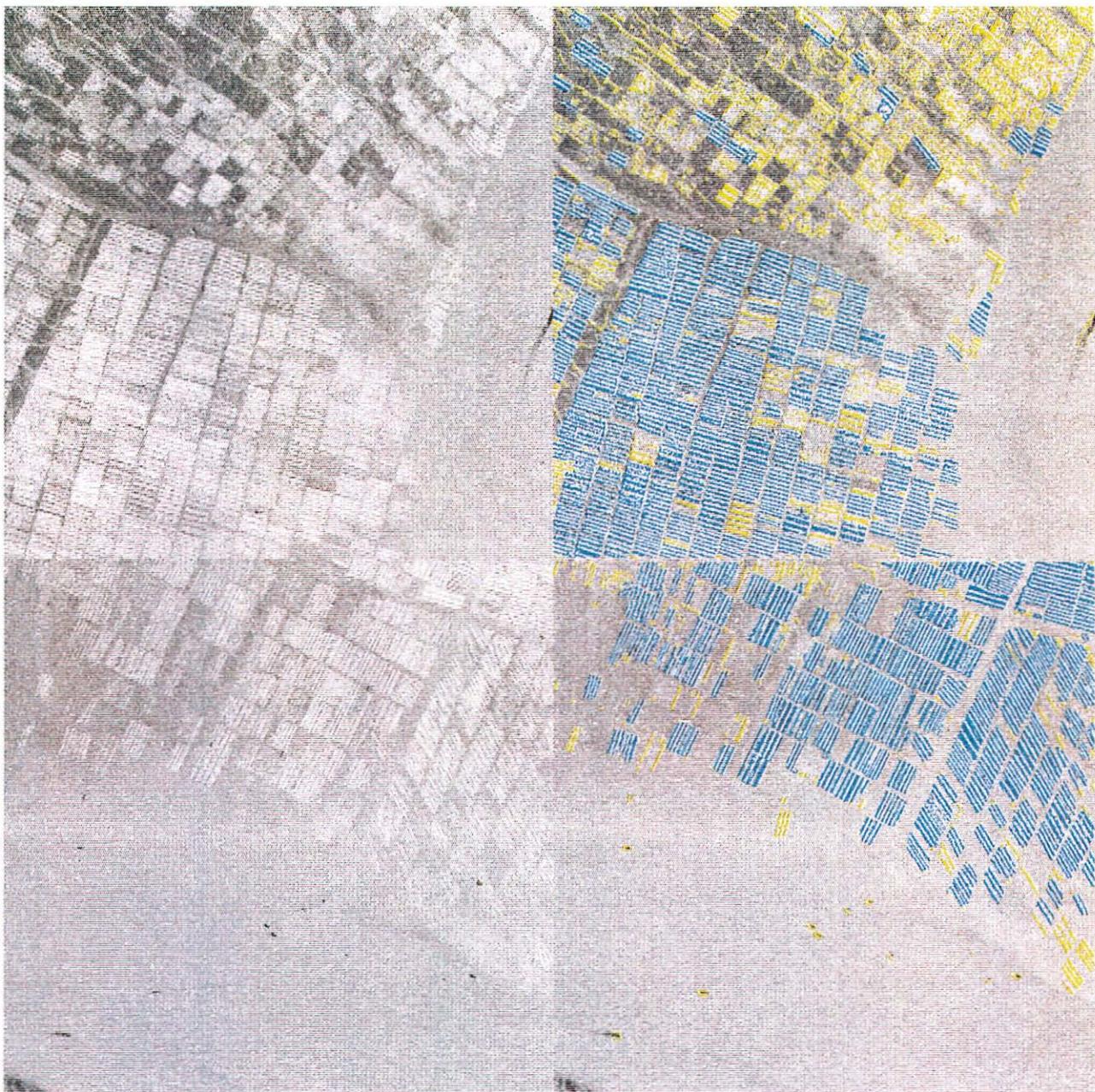
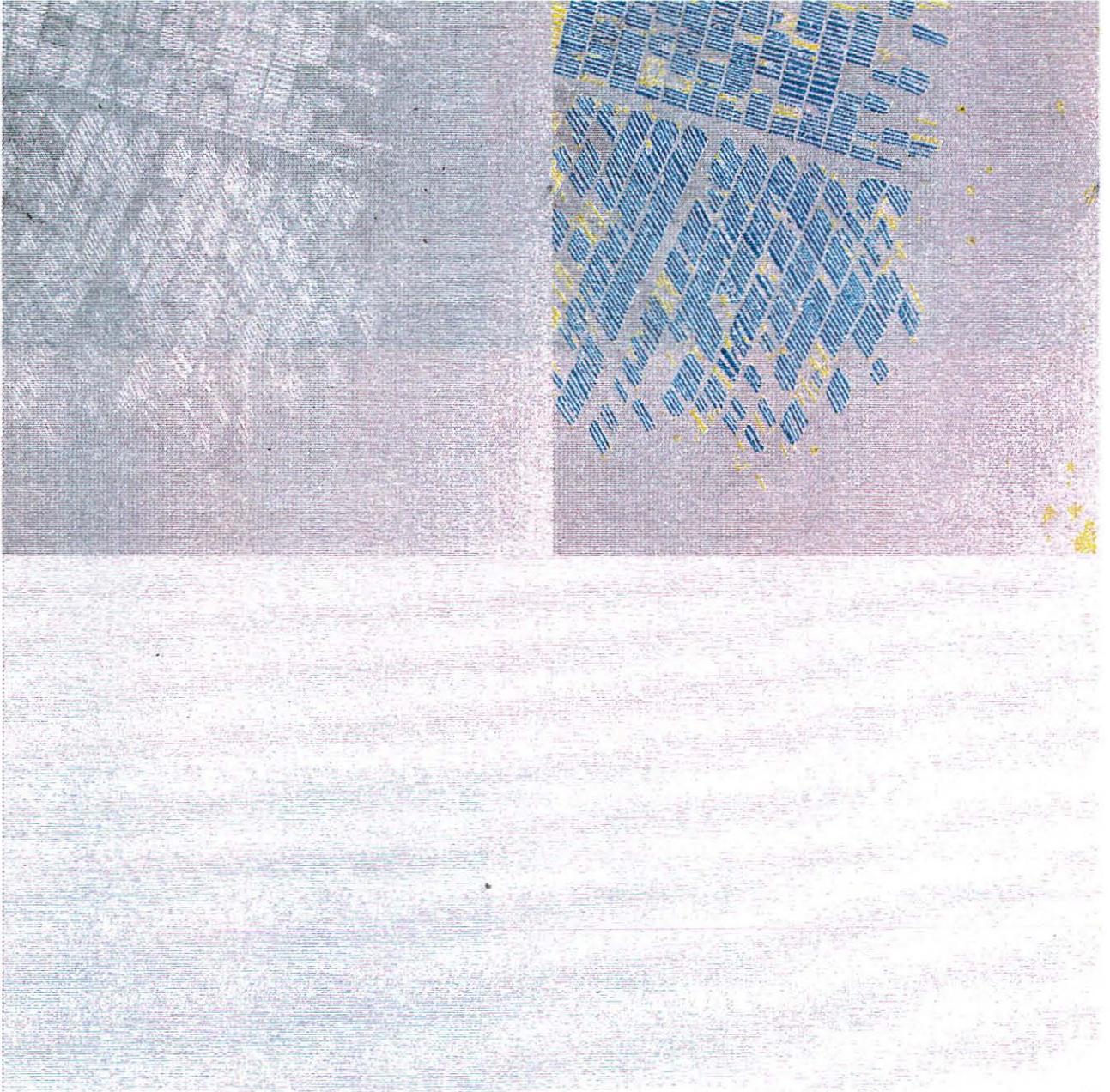


planche 39:

Image 2471D: original rehaussé.

planche 40:

Résultat du traitement de  
l'image 2471D.





## B. ESTIMATION DES SURFACES DES STRATES D'ELEVAGE A PLAT

Il ne nous a pas paru opportun d'aborder le traitement de ce problème à partir des données numériques disponibles. Les critères de photointerprétation manuelle utilisés sur les clichés aériens à petite échelle sont en effet trop flous pour pouvoir être transposés directement à un algorithme de photointerprétation automatique.

Quels sont les problèmes rencontrés ?

### 1. Morphologie.

En premier lieu on notera que l'analyse morphologique des structures est ici d'un maigre secours. L'étude des relations forme-objet permet d'entrevoir la possibilité de l'extraction automatique de l'estran concédé à l'élevage à plat : le parcellaire est le plus souvent bien visible et régulier. Cette possibilité devrait pouvoir permettre la construction automatique d'un masque du DPM concédé à l'élevage et la réduction de l'analyse à la portion d'image concernée. Elle ne résout cependant en rien le problème fondamental posé à savoir l'extraction des parcs ou portions de parcs exploités. L'état d'exploitation ne peut être étudié sur la base de critères morphologiques. Les critères à mettre en oeuvre reposent sur une étude radiométrique et texturale fine des thèmes à extraire.

### 2. Radiométrie.

La complexité réside en ce que les critères de photointerprétation manuelle utilisés varient selon la position géographique de la zone étudiée. Cette variation trouve son origine dans le fait que, dans certains secteurs du Bassin de Marennes-Oléron les cultures sont marquées par la présence d'algues qui constituent alors un bon traceur de l'état d'exploitation, alors que d'autres secteurs en sont entièrement dépourvus. Cette difficulté pourrait être tournée en proposant d'asservir le traitement aux caractéristiques de la zone géographique étudiée (utilisation d'une base de connaissance). Mais le problème est en fait déporté sur la difficulté à extraire des caractéristiques radiométriques fortement discriminantes entre culture et estran nu dans l'une et l'autre de ces deux classes (présence ou non de couverture algale).

Pour la première, la présence de végétation entraîne théoriquement une réponse spectrale caractéristique (Cf § II.B.2.iv.) très différente de celle des sols nus : mesurée sur le visible (cliché panchromatique) la réflectance de la végétation est faible par rapport à celle des sols et les parcs exploités apparaîtraient donc plus sombres que les parcs inexploités (sur un positif). A l'examen des clichés et images numériques on ne constate cependant pas une réponse bimodale nette qui traduirait sans

ambiguïté ces propriétés. Deux raisons peuvent être avancées pour expliquer ce phénomène:

♦ pour une zone donnée, la densité du couvert algal est fonction de divers facteurs naturels et humains (intervention des exploitants sur leurs parcs en particulier).

♦ les sols nus ne présentent pas une réponse homogène : nous avons déjà souligné l'importance de facteurs tels l'humidité ou la présence éventuelle de microphytobenthos dans les sédiments vaseux qui modifie fondamentalement leur signature spectrale.

Pour la seconde, l'interprétation radiométrique est encore plus difficile. Selon les résultats de mesures radiométriques de terrain effectuées à l'aide du radiomètre MATRA (3 canaux dans le visible et un canal dans le proche infra-rouge, respectivement 500-600, 600-700, 700-800 et 800-1100 nm), la plage spectrale la plus discriminante entre parcs à plat exploités non recouverts d'algues et estran vaseux se situe dans le proche infra-rouge avec une légère variation dans la bande 600-700 nm (Populus et Deslou-Paoli 1985). Bien que ces résultats soient fragmentaires selon les auteurs eux-mêmes, on voit mal comment ces deux thèmes pourraient être discriminés sur une image panchromatique.

### 3. Texture.

Il semble important de revenir ici sur la définition de ce concept bien que les chapitres précédents y aient largement fait appel. Ethymologiquement, la texture est la disposition des fils (d'une chose tissée). Par analogie c'est l'arrangement, la disposition des éléments d'une matière. Caractériser une texture nécessite donc une double connaissance la première relative aux éléments qui la compose, la seconde à leur arrangement.

F. Préteux (1987) fait remarquer que les multiples traductions de ce concept, plus ou moins mathématiques, rencontrées en analyse d'image prouvent la grande variété des aspects à caractériser et leur complexité, en même temps que leur variabilité. La formulation adoptée par cet auteur est celle de Gagalowicz (1983) qui définit une texture comme "une structure spatiale constituée par l'organisation de primitives (motifs de base) ayant chacune un aspect aléatoire".

La photointerprétation manuelle des clichés au 1/10.000 ème pour l'estimation des surfaces exploitées à plat fait appel à l'utilisation de critères qui ressortent du domaine de la texture : "une zone d'estran concédée présentant un aspect plus ou moins granuleux est un parc exploité". Cette formulation est un exemple typique de ce que nous appelons "critère flou", suffisant (peut-être ?) en photointerprétation manuelle selon l'exactitude et la stabilité de l'image que s'en fait le photointerprète mais intraduisible en termes mathématiques. Automatiser l'analyse sur la base de ce type de critères exige que l'on formalise le concept d' "aspect granuleux" (recherche de motifs de base) et que l'on rende compte de la variabilité de la distribution de ces motifs

qu'expriment les termes "plus ou moins". Il n'est d'ailleurs pas démontré qu'il faille travailler à la caractérisation de la texture des parcs exploités : la caractérisation de leur complémentaire (parcs inexploités) est peut-être plus accessible. Des méthodes existent qui pourraient permettre d'aborder ce problème . Certaines relèvent de l'analyse d'image à proprement parler: modèles de fonctions booléennes, corrélogrammes largement développées par Jeulin et Jeulin (1981), Serra (1982;1988) et Préteux (1987). D'autres, non spécifiques i.e. indépendantes de l'application considérée, appartiennent au domaine des statistiques : matrice de co-occurrences et paramètres de texture extraits de l'information contenue dans les histogrammes bi-dimensionnels de l'image (Haralick 1979, Davis et al. 1981). Le choix et la mise en oeuvre de l'une ou l'autre de ces méthodes doit être envisagé ce qui exigera la disponibilité d'outils logiciels adaptés.

Quoiqu'il en soit, l'analyse des difficultés rencontrées permet de proposer deux types d'action complémentaires à réaliser avant toute tentative d'automatisation de l'estimation des surfaces exploitées à plat, actions dont les résultats permettront de se prononcer sur le type de données à acquérir et le moyen de traiter ces données:

♦ Développer une étude radiométrique de terrain la plus fine possible (différents types de sédiments, algues, huîtres à plat etc...) et/ou dépouiller les données déjà acquises (mesures effectuées par L'E.N.S. de Montrouge à l'aide du radiomètre CIMEL). Cette étude doit intégrer des mesures de réflectance sur l'intégralité du spectre visible permettant de préciser les conditions et limites d'utilisation de données panchromatiques.

♦ Organiser une vérité terrain concomitante à l'acquisition de données aériennes qui puisse fournir une base fiable d'interprétation des données. La connaissance a priori du paysage étudié permettra seule de dégager des critères objectifs (radiométriques et texturaux) d'analyse. Car enfin, si un processus de reconnaissance de forme fonctionne de la caractérisation vers l'identification ,la mise au point de ce processus a bien évidemment nécessité le parcours inverse. Les données numériques actuellement disponibles sont inutilisables du fait de cette absence de connaissance a priori, connaissance qui seule permettrait de lever les (nombreuses) ambiguïtés rencontrées au simple niveau de l'analyse visuelle des données.



## C. ACQUISITION DE DONNEES NUMERIQUES: TECHNOLOGIE DE SUBSTITUTION.

### 1. Satellites d'observation de la terre.

#### SPOT

S'agissant de l'acquisition de données numériques à petite échelle, la tentation était grande de vouloir substituer un capteur embarqué sur un satellite à la photographie aérienne. Une simulation SPOT a été programmée en 1984 (données du scanner Daedalus prétraitées par le GDTA) dans le but d'évaluer l'apport de cette nouvelle technologie dans la résolution du problème posé. Cette étude a été réalisée conjointement par le département DERO/AT et la Station DRV de La Tremblade et a fait l'objet de publications (Populus et Deslous-Paoli 1985, Deslous-Paoli et al 1985) qui aboutissent aux conclusions suivantes :

♦ La résolution de SPOT (10 m sur le canal panchromatiques, 20 m sur les autres canaux) devrait pouvoir donner des résultats (par analyse radiométrique et recours à l'utilisation du couvert algal comme traceur) dans les secteurs de monoculture c'est à dire soit à plat soit en surélévation.

♦ Pour les secteurs hétérogènes où coexistent les deux pratiques culturelles l'analyse radiométrique est insuffisante et les auteurs préconisent le recours aux méthodes d'analyse de texture.

La lecture attentive de ce document conduit cependant à tempérer quelque peu l'optimisme de ces conclusions et ce pour différentes raisons. La méthodologie retenue est purement empirique et sa mise au point à partir de l'analyse d'une unique simulation permet de douter de sa robustesse. Par ailleurs, la seule tentative de validation réalisée apparaît contestable au regard de la méthodologie utilisée (seuillage assisté par photointerprétation; on notera plus généralement que le recours à cette technique est impropre dans ce contexte d'étude).

En fait il semble que la caractérisation des activités ostréicoles à partir d'un traceur végétal (la stabilité temporelle du phénomène restant par ailleurs à démontrer) ne puisse se faire simplement et la technique proposée risque de ne rendre compte des surfaces cultivées que très approximativement. Il est maintenant admis que la signature spectrale d'un couvert végétal homogène sur une image satellitaire dépend d'un grand nombre de facteurs physiques exogènes ou endogènes dont en particulier (Goel 1988):

- 1) le flux solaire incident (effets de l'atmosphère).
- 2) les propriétés optiques de la végétation.
- 3) l'architecture du couvert dans lequel interviennent:
  - ♦ la distribution spatiale (zones couvertes/non couvertes)
  - ♦ les caractéristiques du couvert (densité , orientation,...)
- 4) les propriétés optiques du sol.

Concernant l'utilisation d'un traceur algal pour la caractérisation des zones d'élevage en surélévation le problème est singulièrement compliqué: à la résolution disponible, il n'y a pas de pixels "purs" et la géométrie du couvert est, par nature, excessivement variable (distribution spatiale des tables, orientation, densité liée en particulier à la manipulation des poches ostréicoles,...). On voit mal en conséquence comment un simple seuillage sur un indice de végétation pourrait rendre compte, à un bon niveau de fiabilité, de l'état d'occupation d'un pixel.

Concernant la caractérisation des zones d'élevage à plat ce type de critère semble plus adapté en première approche ( la résolution est proche de la demi-dimension moyenne des entités le plus souvent homogènes que constituent les parcs). La variabilité de la densité du couvert (liée entre autres phénomènes à l'activité des exploitants sur leur parcs) risque cependant d'engendrer un certain nombre de difficultés.

S'agissant enfin de l'extraction des surfaces exploitées à plat en zone dépourvue de couverture algale, le manque de cohérence entre les résultats de l'analyse des données satellitaires et ceux de l'analyse des mesures radiométriques de terrain d'une part, l'absence de validation de la méthode d'autre part suggèrent la programmation de nouveaux tests.

A notre sens, il est en conséquence trop prématuré de conclure à l'intérêt des données SPOT dans la résolution du problème posé. De nouveaux tests (acquisition, recherche méthodologique) doivent être éventuellement envisagés. Il est essentiel qu'ils puissent s'appuyer sur une analyse radiométrique de terrain voire aéroportée la plus fine possible. Il est tout aussi essentiel qu'une méthode de validation des résultats obtenus soit prévue.

#### SATELLITES : SYSTEMES FUTURS

On peut s'attendre dans un proche avenir à une amélioration des systèmes existants tant au niveau de la résolution spectrale qu'à celui de la résolution spatiale :

- ♦ SPOT 4 et 5 seront équipés de deux nouvelles bandes dans le bleu et le moyen infra-rouge mais conserveront la résolution spatiale de SPOT 1.

- ♦ Le lancement de systèmes spectro-imageurs dont les systèmes américains MODIS (Moderate Resolution Imaging spectrometer) et HIRIS (High Resolution Imaging Spectrometer) est prévu pour le milieu des années 90. Ces systèmes permettront l'association à chaque pixel d'un spectre continu décomposé en 100 à 200 bandes étroites. Motivations, principes et performances des spectromètres imageurs aéroportés tels l'AIS (Airborne Imaging Spectrometer) et AVIRIS (Airborne Visible/Infra-red Imaging Spectrometer) sont exposés par Vane et Goetz (1988).

- ♦ Le satellite MOMS-02 (RFA) sera doté de 4 bandes spectrales dans le visible et le proche infra-rouge et aura une très haute résolution spatiale : 16 m pour les données multispectrales 5 m en panchromatique (Guyot 1988).

## 2. Systèmes aéroportés

Dans l'application considérée, le facteur limitant à l'utilisation des données satellitaires actuellement disponibles est la trop faible résolution spatiale. Il faut donc faire appel à une instrumentation aéroportée. Les technologies disponibles ou en développement sont extrêmement nombreuses. Elles ont pour la plupart été conçues dans un but de simulation d'images acquises depuis une orbite satellitaire. Dans la mesure où leurs disponibilités et leurs performances sont compatibles avec les applications aéroportées traditionnelles, elles peuvent être utilisées pour des missions de recherche ou de routine.

Dans le domaine du visible et du proche infra-rouge, l'instrumentation disponible la plus adaptée est le scanner multispectral. Une campagne d'acquisition de données mettant en oeuvre le scanner aéroporté à barrettes du CNES (opéré par le GDTA) doit à ce titre être programmée. C'est probablement la technologie à tester en priorité d'une part parce qu'elle est réellement susceptible de produire l'information recherchée d'autre part parce qu'elle pourrait apporter des enseignements permettant de mieux appréhender l'utilisation éventuelle de données satellitaires.

Sous réserve de la mise au point d'une chaîne d'acquisition performante, l'apport de la vidéo numérique monochrome et multibande doit être testé. Le format de l'image étant petit par rapport à la dimension des zones nécessitant une couverture exhaustive, les contraintes techniques seront accrues : cadence de stockage, positionnement spatial (indispensables à la réalisation de mosaïques d'images).

A. Wadsworth a suggéré (La Tremblade, Août 1988) que soit testé l'apport de capteurs actifs travaillant dans le domaine des hyperfréquences et notamment le VARAN S (radar aéroporté à synthèse d'ouverture en bande X) développé par le CNES. Des essais d'acquisition de ce type de données ont été réalisés sur les étangs du Languedoc. Les installations conchylicoles de l'étang de Thau apparaissent très nettement sur les images radar de cette zone. Selon Wadsworth (1986), "on met en évidence la présence d'une table, le type de support des cultures sur cette table, ainsi que, semble-t-il, le degré d'activité de celle-ci".

De façon plus générale, la donnée de télédétection très haute résolution (intermédiaire entre une information trop ponctuelle et fragmentaire acquise au sol et une information lissée que procure le satellite) est aujourd'hui ressentie comme un besoin en soi et non plus comme une plateforme de tests pour la télédétection spatiale. Ce phénomène a pour conséquence le développement de projets autonomes parmi lesquels on peut citer le projet SEASTARS (System for Airborne Remote Sensing of the Sea) regroupant dans le cadre Eureka/Euromar des partenaires allemands, italiens et hollandais - en cours de réalisation - et le projet italien "Coast Low Altitude Remote Sensing"- (projet Euromar à l'étude, très proche du projet SEASTARS par sa philosophie mais présentant des contraintes techniques spécifiques). Ces études devraient aboutir à la réalisation de plate-formes

de télédétection aéroportée multi-capteurs (actifs et passifs ) très performantes et dédiées à des applications très variées . Il semble donc indispensable d'en suivre l'évolution sinon d'y participer.

IV. PERSPECTIVES ET CONCLUSIONS.



Au terme de cette étude, il apparaît essentiel de dresser un bilan des résultats acquis et de formuler des propositions d'action susceptibles d'aboutir à la mise au point d'une méthodologie effectivement opérationnelle.

#### AUTOMATISATION DE L'ANALYSE DE DONNEES NUMERIQUES.

Les efforts ont porté dans ce domaine principalement sur la mise au point d'une séquence d'opérateurs permettant d'extraire d'une image à la résolution de 0.20 m le linéaire de tables occupées (priorité 1). Le produit élaboré n'a pas la prétention d'être un produit fini (ce n'est d'ailleurs pas l'objet d'une étude de faisabilité que d'aboutir à un tel résultat). Un certain nombre de problèmes ont été identifiés et discutés dans ce rapport qui montrent la nécessité d'en poursuivre le développement. Il a permis cependant le traitement entièrement automatique images numériques disponibles avec une précision très satisfaisante (-0.37%). L'optimisation de la démarche retenue devrait aboutir à court terme à la fourniture d'un algorithme de traitement permettant d'abaisser considérablement la charge de travail de photointerprétation manuelle. L'analyse de zones d'élevage non structurées et/ou mal entretenues exigerait un effort de développement particulier. Dans l'immédiat un compromis peut être proposé sous la forme d'un traitement semi-automatique des images qui leur correspondent.

Le volet "automatisation de l'analyse des données à petite échelle" (problème d'estimations des surfaces totales cultivées dans chacune des strates à plat et en surélévation - priorité n°3) a fait l'objet d'un premier processus d'évaluation: on s'est attaché à démontrer la faisabilité de l'extraction des parcs exploités dans un paysage complexe. Les résultats obtenus sont à ce titre encourageants. Une grille de correspondance des critères d'analyse entre les deux échelles de traitement doit cependant être mise au point pour une évaluation correcte de la méthode (opération en cours). Concernant l'analyse des zones d'élevage à plat, nous nous sommes largement expliquée sur les raisons qui nous ont conduit à en différer l'étude (méconnaissance des comportements radiométriques et texturaux des structures à extraire en particulier).

#### ACQUISITION DE DONNEES NUMERIQUES.

Pour être opérationnelle la méthodologie doit s'appuyer sur l'acquisition à un coût raisonnable de données numériques de bonne qualité (géométrique, radiométrique). Si l'on utilise la photo aérienne comme support d'information, au coût de la campagne aérienne elle même se rajoute celui des films, de leur développement et de leur numérisation (non compté l'investissement en matériel photographique de qualité). Par ailleurs, les corrections géométriques sont impossibles à réaliser et risquent d'entraîner des erreurs de mesure non négligeables. On notera que ce problème (bien qu'il soit occulté) se pose de la même manière concernant la méthodologie actuellement employée. En remplacement de la photographie à grande échelle la vidéo aéroportée doit être envisagée. Un seul essai

d'acquisition en vol a été réalisé avec les "moyens du bord" dont les résultats sont suffisamment probants pour envisager la programmation de nouveaux tests sur la base d'une technologie plus adaptée. Les progrès récemment réalisés dans ce domaine (rétines CCD à très haute résolution, numériseurs performants ou caméra à sortie numérique etc...) permettent de penser qu'il n'y a plus d'obstacles techniques à la réalisation d'un système d'acquisition embarqué performant. Les applications potentielles d'un tel outil sont telles que son développement devrait susciter un très large intérêt.

En remplacement de la photographie à petite échelle, les outils actuellement disponible (scanner à barrette, radar éventuellement) peuvent être testés à titre expérimental tout du moins. Les moyens logistiques nécessaires à leur mise en oeuvre sont tels qu'il semble peu réaliste pour des raisons essentielles de coût d'envisager leur utilisation en routine. De ce fait, l'utilisation de la vidéo aéroportée doit être là encore envisagée. Les contraintes techniques seront dans ce cas plus sévères que précédemment (acquisition en continu, coordonnées géographiques des images acquises, données multibandes).

En l'état actuel d'avancement des travaux, le choix doit être fait de poursuivre ou non ce programme. Des algorithmes opérationnels pourront en résulter d'autant plus rapidement que les concepteurs se réserveront (au moins temporairement) la possibilité d'introduire un niveau d'interactivité pour la résolution des problèmes les plus difficiles. Les priorités doivent être cependant être redéfinies. La mise au point d'une nouvelle méthodologie d'analyse reposant sur l'acquisition de données numériques, le développement d'un système d'acquisition embarqué passe en priorité n°1. Le développement des algorithmes de traitement des images devra se poursuivre sur la base des données acquises par ce système. La démarche retenue pour le traitement des photographies aériennes numérisées devrait en première approche être facilement transférable à cet autre support de l'information que constitue la vidéo numérique à condition que soient respectées les contraintes de résolution du système d'acquisition. Ce point doit être cependant vérifié avant la poursuite des développements envisagés. La mise au point d'une méthode d'analyse des zones d'élevage à plat suppose enfin la programmation préalable de campagnes de terrain (campagne radiométrique, inventaire d'occupation au sol concomitant à une acquisition aérienne.)

Il serait dommage enfin de clore ce rapport sans mentionner les retombées indirectes de ce type d'étude. Issus de théories encore en cours de développement, les opérateurs de morphologie mathématique constituent des outils à la fois simples et puissants de traitement des images numériques encore peu utilisés à l'Ifremer tout au moins. L'acquisition de compétences dans ce domaine ne s'effectue pas au bénéfice d'un unique objet. Une étude très limitée a permis de démontrer la faisabilité du comptage et de la mesure automatique de larves de bivalves

(individualisation des larves disposées de façon aléatoire et souvent connexes.). Un critère de qualité (mort/vivant) a par ailleurs été dégagé. Ces résultats sont encore très préliminaires mais compte tenu de la demande exprimée, ils montrent tout l'intérêt qu'il y aurait à poursuivre ce type d'étude. Dans un domaine très différent, la mise en oeuvre d'opérateurs de morphologie mathématique très simples a permis la comparaison d'images issues de modèles numériques (Klein et Hua, sous presse). Il ne s'agit pas là de recenser les applications possibles de ce type de méthodologie, elles sont multiples, mais bien d'en évoquer les potentialités.

Par ailleurs les développements de cette étude concernant l'acquisition de données de télédétection basse altitude devrait susciter un large intérêt au sein et à l'extérieur de l'Ifremer (l'argumentaire développé à ce sujet par M. Brussieux en 84 est toujours d'actualité). Les tests réalisés sur la base d'une instrumentation peu adaptée semblent suffisamment probants pour justifier un projet de développement d'une centrale d'acquisition performante sur la base d'un partenariat.



V. BIBLIOGRAPHIE .



- Anonyme, 1984. Video technology newsletter. Editor: P.R. Nixon, USDA-ARS, P.O. Box 267, Weslaco, TX 78596, USA, Issue n°3.
- Anonyme, 1986. Video technology newsletter. Editor: P.R. Nixon, USDA-ARS, P.O. Box 267, Weslaco, TX 78596, USA, Issue n°6.
- Bacher C., 1984. Echantillonnage du stock d'huitres du bassin de Marennes-Oléron. IFREMER/La Tremblade, rapport interne, octobre 1984, 38 p.
- Bakis H., 1978. La photographie aérienne et spatiale. Presses Universitaires de France. Coll. Que sais-je ?, 1700, 126 p.
- Bariou R., 1978. Manuel de télédétection. Edition Sodipe S.A., Paris, 349 p.
- Baud J.P. et Hommebon P., 1987. Estimation des stocks d'huitres creuses en élevage dans la baie de Bourgneuf en octobre 1985. IFREMER, rapport interne DRV 87-002/RA/Bouin, 28 p.
- Ben Moussa H., Viollier M. et Belsher T., 1989. Télédétection des algues macrophytes de l'Archipel de Molène (France). Radiométrie de terrain et application aux données du satellite SPOT. Int. J. Remote Sensing, 10(1), 53-69.
- Benhamou M., 1984. Extraction et squelettisation d'un réseau hydrographique. Note interne N 924, C.M.M. Ecole des Mines de Paris, Octobre 1984, 28 p.
- Benhamou M., 1987. Description et simulation de réseaux de drainage par analyse d'images. Thèse de Docteur Ingénieur, Ecole des Mines de Paris, 211 p.
- Bloch I. et Preteux F., 1987. Démarche générale pour la résolution de problèmes de segmentation en morphologie mathématique. MARI 87, Paris La Villette, 18-22 mai 1987, Vol. 2, 357-361.
- Bodoy A., Bacher C. et Geairon P., 1987. Estimation des stocks d'huitres cultivées dans le bassin de Marennes-Oléron en 1986. IFREMER, rapport interne, DRV-87.005-RA/Trem, 22 p.
- Coster M. et Chermant J.L., 1985. Précis d'analyse d'images. Editions du CNRS, Paris, 521 p.
- Davis L.S., Clearmann M. and Aggarwal J.K., 1981. An empirical evaluation of generalized co-occurrence matrices. IEEE, PAMI 1, 251-259.
- Deslous-Paoli J.M., Populus J., L'Herroux M. et Brussieux M., 1985. Estimation des stocks conchylicoles par télédétection: résultats et perspectives. Actes du quatrième colloque franco-japonais d'océanographie, Marseille 16-21 Septembre 85, fascicule 7, 39-54.

- Destival I., 1986. Mathematical morphology applied to remote sensing. Acta astronautica, Vol. 13, No 6/7, 371-385.
- Destival I., 1987. Recherche automatique des réseaux linéaires sur les images SPOT. Bul. S.F.P.T. , n° 105 (1987-1).
- Dumont P., 1986. Analyse de l'ostréiculture (marché, production, utilisation du littoral). INRA. Economie et sociologie rurales, 371 p, ann. 115 p.
- Everitt J.H. and Nixon P.R., 1985a. Video imagery: a new remote sensing tool for range management. J. Range Manage., 38, 421-424.
- Everitt J.H. and Nixon P.R., 1985b. False color video imagery: a potential remote sensing tool for range management. Photogrammetric engineering and remote sensing, 51(6), 675-679.
- Everitt J.H., Escobar D.E. and Nixon P.R., 1987a. Near-real-time video systems for rangeland assesment. Remote sensing of environment, 23, 291-311.
- Everitt J.H., Escobar D.E., Alaniz M.A. and Davis M.R., 1987b. Using airborne middle-infrared (1.45-2.0  $\mu\text{m}$ ) video imagery for distinguishing plant species and soil conditions. Remote sensing of environment, 22, 423-428.
- Everitt J.H., Escobar D.E., Blazquez C.H., Hussey M.A. and Nixon P.R., 1986. Evaluation of the mid-infrared (1.45-2.0  $\mu\text{m}$ ) with a black-and-white infrared video camera. Photogrammetric engineering and remote sensing, 52, 1655-1660.
- Flouzat G., Serra J. and Merghoub Y., 1984. Aide automatique à la compréhension des images en télédétection: modélisation des caractères morphologiques de la texture. 1er colloque image, Biarritz, Mai 1984.
- Frost P.A., 1985. A multispectral video imaging and analysis system. Xybion Electronic Systems, 240 Cedar Knolls Road, Cedar Knolls, NJ 07927, unpublished report.
- Gachelin J.P., 1986. Extraction de paramètres thématiques par morphologie mathématique sur images numériques à haute résolution. Essai de caractérisation et de mesure des cultures d'huitres en surélevé à Marennes-Oléron. Mémoire de DESS de Télédétection, Université Paris 6, 51 p.
- Gagalowicz A., 1983. Vers un modèle de texture. Thèse de doctorat d'état, Université de Paris VI.

- Gausman H.W., Escobar D.E. and Bowen R.L., 1983. A video system to demonstrate interactions of near-infrared radiation with: plant leaves. *Remote sensing of environment*, 13, 363-366.
- Goel N.S., 1988. A perspective on vegetation canopy reflectance models. *Proceedings of the 4th International Colloquium on Spectral Signatures of objects in Remote Sensing, Aussois (France), 18-22 January 1988 (ESA SP-287, April 1988)*, 77-85.
- Guichou Ch., 1984. *Analyse d'images de télédétection: traitement séquentiel d'informations texturales et contextuelles. Thèse de 3ème cycle, Université Paul Sabatier, Toulouse, 142 p.*
- Guillaumont B., Gentien P. et Viollier M., 1988. Mesures radiométriques haute résolution du microphytobenthos intertidal. *Proceedings of the 4th International Colloquium on Spectral Signatures of objects in Remote Sensing, Aussois (France), 18-22 January 1988 (ESA SP-287, April 1988)*, 333-336.
- Guyot G., 1988. *Signatures spectrales des surfaces naturelles. Paradigme, coll. Télédétection satellitaire, 150 p.*
- Haralick R.M., 1979. Statistical and structural approaches to texture. *Proc. IEEE* 67, 786-804.
- Héral M. et Deslou-Paoli J.M., 1985. Analyse historique de la production conchylicole du Bassin de Marennes-Oléron (France). *Actes du quatrième colloque franco-japonais d'océanographie, Marseille 16-21 Septembre 85, fascicule 7, 55-65.*
- Inoué S., 1986. *Video microscopy. Plenum Press, New York, 584 p.*
- Jeulin D. and Jeulin P., 1981. Synthesis of rough surfaces by random morphological functions. *Stereol. Jugosl., Vol 3, suppl 1, 239-246.*
- Maurer D., Borel M. et Dreno J.P., 1987. Estimation de la biomasse d'huitres *Crassostrea gigas* en élevage dans le bassin d'Arcachon été 1985. IFREMER, rapport interne, DRV-87.017- RA/Arcachon, 31 p.
- Meisner D.E., 1986. Fundamentals of airborne video remote sensing. *Remote sensing of environment*, 19, 63-79.
- Meisner D.E. and Lindstrom O.M., 1985. Design and operation of a color infrared aerial video system. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 51, 555-560.
- Merghoub Y., 1985. Reconnaissance et analyse de formes sur des images de télédétection. Modélisation par la morphologie mathématique. Thèse de 3ème cycle, Université Paul Sabatier, Toulouse, 167 p.

- Nixon P.R., Escobar D.E. and Menges R.M., 1985. A multiband video system for quick assessment of vegetal condition and discrimination of plant species. *Remote sensing of environment*, 17, 203-208.
- Populus J. et Deslou-Paoli J.M., 1985. Essai d'estimation des surfaces exploitées en conchyliculture par télédétection haute résolution (simulation SPOT): problèmes rencontrés. IFREMER, rapport interne, mars 1985, 23 p.
- Preteux F., 1986. Extraction de primitives et morphologie mathématique. Semaine internationale de l'image électronique, 2ème colloque image, Nice, Avril 1986, Vol 2, 719-725 .
- Préteux F., 1987. Description et interprétation des images par la morphologie mathématique. Application à l'imagerie médicale. Thèse d'Etat, Université Paris 6, 327 p.
- Pujol J.L., 1985. Essai de reconnaissance automatique de types d'occupation d'un bassin ostréicole sur images numériques haute résolution. Mémoire de DEA Méthodes physiques en télédétection, Université Paris 6, 77 p.
- Serra J., 1982. *Image analysis and mathematical morphology*. Academic Press, London, 610 p.
- Serra J., 1984. Structures syntaxiques en morphologie mathématique. 1er colloque image, Biarritz, Mai 1984, 10 p.
- Serra J., 1986. Introduction to mathematical morphology. *Computer vision, graphics, and image processing*, 35, 283-305.
- Serra J., 1987. Morphological optics. *Journal of microscopy*, Vol 145, Pt 1, 1-22.
- Serra J., 1988. *Advances in mathematical morphology*. Academic Press, London.
- Sternberg S.R., 1986. Grayscale morphology. *Computer vision, graphics, and image processing*, 35, 333-355.
- Vane G. and Goetz A.F.H., 1988. Terrestrial imaging spectroscopy. *Remote sensing of environment*, 24, 1-29.
- Vleck J. and King D., 1983. Videography: some remote sensing applications. Proc. 49th Annual Meeting Am. Soc. Photogrammetry, 63-69.
- Wadsworth A., 1986. Radar imageur VARAN-S: acquisition sur les étangs du Languedoc. GDTA VARAN PECHES, rapport interne, décembre 1986, 18p.

VI. ANNEXE .



LISTE DES ROUTINES DEVELOPPEES DANS L'ENVIRONNEMENT VISILOG (LANGAGE C).

USNGBSPECIFY :

itérations sur la fonction ngbspecify.

ODISTANCE <sup>1</sup>:

fonction distance orientée (verticale ou horizontale).

FSTLERODE :

érosion rapide verticale ou horizontale.

FSTDILATE :

dilatation rapide verticale ou horizontale.

FSTLOPEN :

ouverture rapide verticale ou horizontale.

FSTLCLOSE :

fermeture rapide verticale ou horizontale.

ORECONSTRUCT :

reconstruction orientée (verticale ou horizontale).

CONTRAST :

algorithme de rehaussement de contraste.

USTHIN :

pseudosquelette d'épaisseur 1.

ODILATE :

dilatation rapide orientée ( 0-90-180-270°)

OERODE :

érosion rapide orientée ( 0-90-180-270°)

OOPEN :

ouverture rapide orientée ( 0-90-180-270°)

OCLOSE :

fermeture rapide orientée ( 0-90-180-270°)

ONGBSPECIFY :

érosion ou dilataion rapide orientée (verticale ou horizontale)

---

<sup>1</sup> les fonctions dont le nom est souligné sont réservées au traitement d'images binaires.

DBORD

détecteur de bord (à gauche ou à droite).

BACKMEAN :

création d'une image intensité moyenne d'une image de référence.

Toutes ces fonctions ont été intégrées à l'interpréteur de commandes de Visilog.