

INTERNATIONAL WORKSHOP ON POSIDONIA OCEANICA BEDS

Edited by

CHARLES-FRANÇOIS BOUDOURESQUE
ALAIN JEUDY DE GRISSAC
& JANNICK OLIVIER,

*International Workshop Posidonia oceanica Beds, Boudouresque C.F.,
Jeu de Grissac A. & Olivier J. edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1984, 1 : 49-55*

OPTIMISATION DE LA TECHNIQUE DE LA PHOTOGRAPHIE AERIENNE
POUR LA CARTOGRAPHIE DES HERBIERS DE POSIDONIES

Jean-Robert LEFEVRE*, **Claudine VALERIO**** & **Alexandre MEINESZ*****

* *Direction Départementale de l'Équipement des Alpes-Maritimes, C.I.P.A.L.M. - C.A.D., B.P. 3 -
06028 NICE CEDEX - FRANCE*

** *Centre d'Études Techniques de l'Équipement, Service Physique et Traitement de l'Information -
13762 LES MILLES - FRANCE*

*** *Université de Nice, Laboratoire de Biologie et d'Écologie Marines, Parc Valrose - 06034 NICE CEDEX - FRANCE*



Published by G.I.S. POSIDONIE / Marseille / France / 1984

*International Workshop Posidonia oceanica Beds, Boudouresque C.F.,
Jeudy de Grissac A. & Olivier J. edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1984, 1 : 49-55*

OPTIMISATION DE LA TECHNIQUE DE LA PHOTOGRAPHIE AERIENNE POUR LA CARTOGRAPHIE DES HERBIERS DE POSIDONIES

Jean-Robert LEFEVRE*, Claudine VALERIO** & Alexandre MEINESZ***

* Direction Départementale de l'Équipement des Alpes-Maritimes, C.I.P.A.L.M. - C.A.D., B.P. 3 -
06028 NICE CEDEX - FRANCE

** Centre d'Études Techniques de l'Équipement, Service Physique et Traitement de l'Information -
13762 LES MILLES - FRANCE

*** Université de Nice, Laboratoire de Biologie et d'Écologie Marines, Parc Valrose - 06034 NICE CEDEX - FRANCE

RESUME

La cartographie des biocénoses marines est devenue un outil indispensable pour les administrations chargées de l'aménagement et de la gestion du proche littoral. Ces cartes sont également des documents de recherche pour l'étude de la structure, de la dynamique et de la production des divers peuplements benthiques du plateau continental.

La synthèse des techniques utilisées à ce jour et appliquées à la cartographie des phanérogames marines de Méditerranée a été réalisée par MEINESZ *et al.* (1982). Parmi les techniques citées, la photographie aérienne a été utilisée pour cartographier les parties supérieures des herbiers. Cependant, cette technique n'a jamais été employée au maximum de ses possibilités.

Cette étude a pour objet l'examen des divers procédés ayant pour but d'améliorer la qualité des documents photographiques ; ils pourront alors être traités numériquement et permettre ainsi une cartographie rapide et précise.

ABSTRACT

Mapping of marine "Biocenoses" has become an indispensable tool for developing and managing the coastal area.

These maps represent research documents for study of structure, dynamics and productivity of the various benthic continental shelf populations.

Synthesis of all techniques used at present, applied to map Mediterranean marine phanerogames has been published by MEINESZ *et al.* (1982).

Among the techniques cited, aerial photography has been used to map superior parts of sea-grass beds.

However, such a technique has never been used to its utmost possibilities.

The present study has for object the investigation of various processes aiming at improving photographic documents quality, which then will be numerally treated, thus enabling a rapid and precise mapping.

1- INTRODUCTION

La photographie aérienne a déjà été utilisée à plusieurs reprises pour localiser les contours de la limite supérieure des herbiers de Posidonies. Cependant, dans la plupart des cas, les documents utilisés n'étaient pas réalisés dans l'objectif de cartographier les biocénoses marines (documents photographiques de l'Institut Géographique

National). L'application de techniques simples permet pourtant d'améliorer notablement la qualité des images et de discerner plus profondément les contours de l'herbier. Dans cette étude, nous analyserons successivement les différentes conditions qui permettent une optimisation de la technique de la photographie aérienne

appliquée à la cartographie des herbiers.

2- CHOIX DU VECTEUR

Parmi les vecteurs déjà utilisés pour la photographie aérienne (hélicoptères, ballons captifs, avions), nous avons choisi les avions monomoteurs à aile haute. Ces petits avions permettent un survol de la zone à des vitesses et à des altitudes faibles, l'aile haute permet une bonne visibilité latérale, utile lors de l'approche de l'objectif. Enfin, la trappe ventrale est indispensable pour la prise de vue verticale ; cette trappe sera équipée d'un support pour appareils photographiques dont la verticalité peut être vérifiée au moyen de niveaux à bulles. Le système idéal consiste en un jeu de cardans qui assure, quelle que soit la position de l'avion, une position parfaite des appareils. Les sociétés de photographies aériennes disposent de ces types de support.

3 - CHOIX DE L'EHELLE DU NEGATIF.

Divers paramètres fixent à l'avance cette échelle : surface du secteur à cartographier, structure des herbiers, précision souhaitée qui est définie par l'objectif de la cartographie (étude d'impact ou étude fondamentale). Une ou plusieurs plongées de reconnaissance sont ainsi souvent indispensables pour le choix de cette échelle. Un négatif de bonne qualité peut être agrandi jusqu'à 10 fois (en moyenne 5 fois), l'échelle d'un agrandissement photographique pourra donc être jusqu'à 10 fois celle du négatif. Ainsi, dans des conditions moyennes de prise de vues, on admet généralement les résolutions au sol mentionnées dans le tableau I. On considère que la résolution au sol minimum pour l'oeil correspond à un objet circulaire dont l'image sur le négatif correspond à un cercle de diamètre 0,3 mm.

1. Echelle du négatif.	2. Résolution au sol (taille minimum d'un objet discernable : diamètre).	3. Trois exemples de facteurs d'agrandissement.	4. Echelle de la photographie agrandie.	5. Taille minimum de l'objet discernable sur la photo agrandie.
1/20.000e	6 m	x 2	1/10.000e	0,6 mm
		x 4	1/5.000e	1,2 mm
		x 10	1/2.000e	3 mm
1/10.000e	3 m	x 2	1/5.000e	0,6 mm
		x 5	1/2.000e	1,5 mm
		x 10	1/1.000e	3 mm
1/5.000e	1,5 m	x 2,5	1/2.000e	0,75 mm
		x 5	1/1.000e	1,5 mm
		x 10	1/500e	3 mm
1/2.000e	0,6 m	x 2	1/1.000e	0,6 mm
		x 4	1/500e	1,2 mm
		x 10	1/200e	3 mm
1/1.000e	0,3 m	x 2	1/500e	0,6 mm
		x 5	1/200e	1,5 mm
		x 10	1/100e	3 mm

Tableau 1 : Pour quatre échelles différentes du négatif (colonne 1), on donne: le diamètre minimum d'un objet décelable (colonne 2), trois exemples d'agrandissements (colonne 3), les échelles des photographies ainsi agrandies (colonne 4) et la taille de l'objet correspondant (colonne 5).

L'examen du tableau I nous montre que le choix de l'échelle de la cartographie, la taille minimum des herbiers que l'on désire cartographier et notamment, les contraintes de dessins (ou de sortie automatique), influencent directement le choix de l'échelle du négatif.

focale de l'objectif (F), l'altitude de vol (H) et le champ couvert au sol (CC). La formule classique définissant l'échelle nous montre que ces paramètres interfèrent étroitement.

$$1/E = DN/CC = F/H$$

4- CHOIX DU CAPTEUR (BOITIER-OBJECTIF) ET DE L'ALTITUDE DE SURVOL.

Une fois fixée, l'échelle du négatif (1/E), quatre paramètres conditionnent les différents choix : la dimension utile du négatif (DN), la distance

Le tableau II permet d'orienter ces choix. Ce tableau appelle les remarques suivantes :

- Nous avons choisi cinq types de boîtiers utilisés en photographie aérienne en fonction de leur format (23 x 23 cm ; 6 x 6 cm ; etc..). La surface réellement utilisée (surface utile) des négatifs est parfois légèrement inférieure

Capteur: Surface du négatif et surface utile	Distance focale objectif	Angle de champ (2)	Altitude de vol et champ couvert				
			Echelle du négatif (voir tableau I)				
			1/1000e	1/2500e	1/3000e	1/10.000e	1/20.000e
24x36mm	35mm	30°	35m 22x34m	87m 65x85m	175m 110x170m	350m 220x240m	700m 440x680m
	50mm	22°	50m 22x34m	125m 65x85m	250m 110x170m	500m 220x340m	1.000m 440x680m
	90mm	15°	55m 22x34m	137m 65x85m	275m 110x170m	350m 220x340m	1.100m 440x680m
6x6 cm	40mm	44°	40m 55x55m	100m 137x137m	200m 275x275m	400m 330x550m	800m 1100x1100m
	80mm	26°	80m 55x55m	200m 137x137m	400m 275x275m	800m 550x550m	1.600m 1100x1100m
	100mm	22°	100m 55x55m	250m 137x137m	500m 275x275m	1.000m 550x550m	2.000m 1100x1100m
10x12,5cm	135mm	30°	135m 96x120m	340m 240x300m	675m 480x600m	1.350m 960x1200m	2.700m 1320x1400m
	180mm	23°	180m 96x120m	450m 240x300m	900m 480x600m	1.800m 960x1200m	3.600m 1320x1400m
9,6x12 cm							
19x19 cm	210mm	31°	210m 180x180m	525m 450x450m	1.050m 360x900m	2.100m 1300x1400m	4.200m 3600x4000m
18x19 cm							
24x24 cm	152mm	17°	152m 228x228m	380m 570x570m	760m 1140x1140m	1.520m 2280x2280m	3.040m 5560x5560m
	210mm	37°	210m 228x228m	525m 570x570m	1.050m 1140x1140m	2.100m 2280x2280m	4.200m 5560x5560m
	300mm	28°	300m 228x228m	750m 570x570m	1.500m 1140x1140m	3.000m 2280x2280m	6.000m 5560x5560m
	610mm	15°	610m 228x228m	1525m 570x570m	3.050m 1140x1140m	6.100m 2280x2280m	12.200m 5560x5560m



angle de champ supérieur à 30°



altitude de vol trop faible ou trop élevée.

Nous avons hachuré sur ce tableau les conditions qui ne nous semblaient pas favorables: altitude de vol trop basse (régulation aérienne), champ couvert au sol trop faible (à cartographier en plongée), angle de champ trop ouvert, altitude de vol trop élevée (supérieure à 2.000m) induisant un voile sur le négatif dans ces régions souvent brumeuses.

Il subsiste alors une série de possibilités : altitude de vol, champ couvert, échelle du négatif, boîtier, objectifs, qui permettent de travailler dans des conditions correctes.

Tableau 2 : Paramètres de la prise de vues.

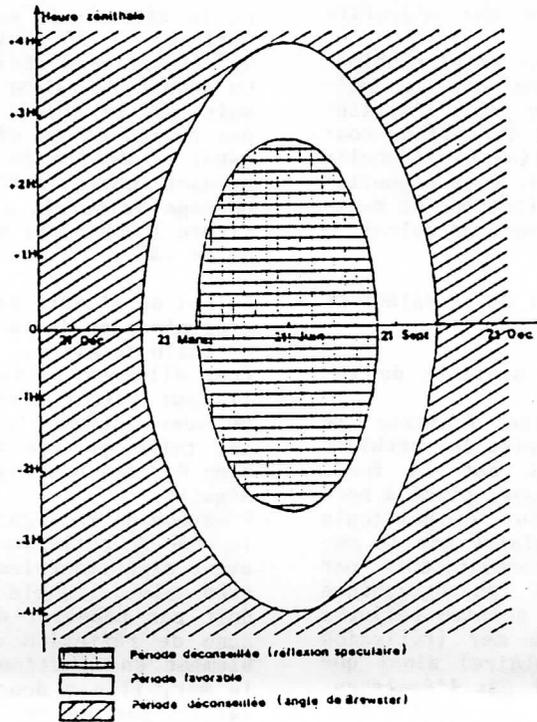


Figure 1 : Définition des heures de prises de vues favorables et déconseillées au cours de la journée (par rapport à l'heure zénithale) en fonction de la période de l'année.

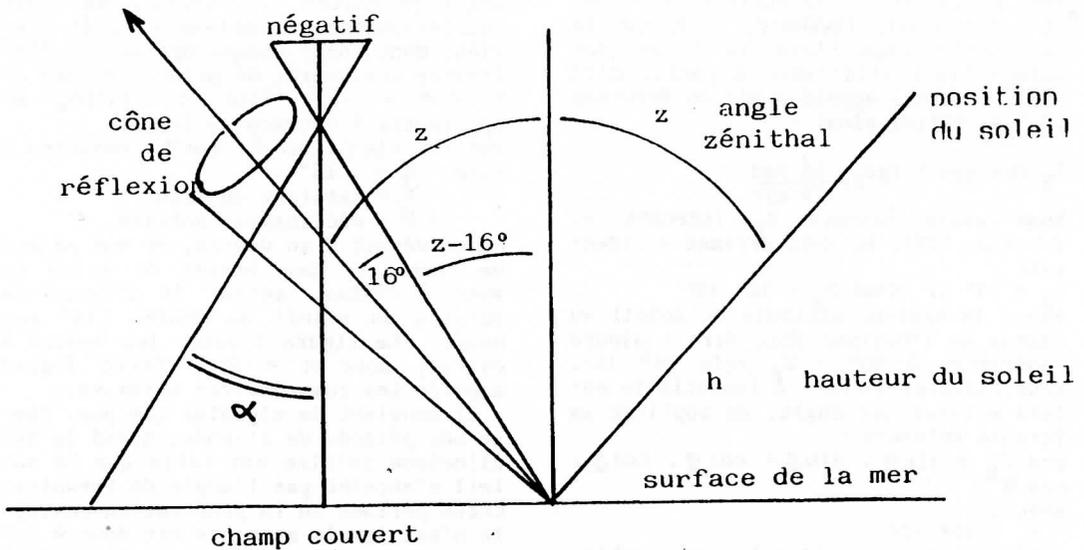


Figure 2 : Elimination de la réflexion spéculaire.

(22,8 x 22,8 cm ; 5,5 x 5,5 cm ; etc.).

- Pour chacun de ces boîtiers, nous envisageons l'utilisation des objectifs les plus courants.

- Pour chaque ensemble boîtier-objectif, nous donnons, d'une part, le demi-angle de champ, d'autre part, l'altitude de vol en mètres et la surface couverte au sol, en fonction de l'échelle choisie pour le négatif. Nous rappellerons en figure 3 la définition du demi-angle de champ et son mode de calcul.

5- CALCUL DE L'HEURE ET DE LA SAISON DE PRISE DE VUES.

Calcul de la hauteur minimale du soleil.

Le rayonnement solaire traverse le dioptre air-eau et éclaire les herbiers et leur environnement sur le fond. L'appareil photographique, placé à bord de l'avion, reforme sur la pellicule l'image de ce fond éclairé par le soleil. Outre le rayonnement émis par l'herbier, l'appareil photographique reçoit le rayonnement solaire réfléchi sur la surface de la mer (réflexion spéculaire ou halo solaire) ainsi que le rayonnement diffusé par l'épaisseur de la couche d'eau. En calculant l'heure et la saison de la prise de vues, on peut diminuer notablement les phénomènes de réflexion et ainsi on améliore la pénétration des rayons lumineux. Lorsque le soleil est bas sur l'horizon, la plupart des rayons lumineux sont réfléchis par la surface de l'eau. Il a été établi (IVANOFF, 1972) que la pénétration dans l'eau des rayons solaires était efficiente à partir d'un angle zénithal appelé angle de Brewster (Z_B) et défini ainsi :

$$Z_B \text{ tel que : } \operatorname{tg} Z_B = \frac{\operatorname{IR}_{\text{mer}}}{\operatorname{IR}_{\text{air}}}$$

Nous avons calculé Z_B (LEFEVRE et VALERIO, 1981) en Méditerranée occidentale :

$$Z_B = 53^\circ 27' \text{ d'où } H_B = 36^\circ 33'$$

Ainsi la hauteur minimale du soleil au dessus de l'horizon doit être toujours supérieure à $90^\circ - Z_B$ soit $36^\circ 33'$. Pour calculer l'heure à laquelle le soleil atteint cet angle, on applique la formule suivante :

$$\cos Z_B = \sin \psi \cdot \sin \delta + \cos \psi \cdot \cos \delta \cdot \cos H$$

avec :

$$- Z_B = 53^\circ 27'$$

- ψ = latitude du lieu à cartographier (en Méditerranée Française environ

43°).

- δ = déclinaison solaire qui dépend de la date de la prise de vues ; elle varie de -23° (solstice d'hiver) à $+23^\circ$ (solstice d'été).

On déduit la valeur de H en degrés. On sait que le soleil se déplace de 15° par heure, on en déduit les heures de début et de fin de prises de vues, en prenant comme référence, l'heure du passage du soleil au zénith ($H=0^\circ$). La figure 1 donne ces valeurs à la latitude de 43° .

Calcul de l'heure de prise de vues pour l'élimination de la réflexion spéculaire (halo solaire).

Pour éliminer la réflexion spéculaire, il faut éviter d'effectuer les prises de vues lorsque la hauteur du soleil est telle qu'elle provoque une réflexion directe des rayons solaires sur le négatif.

L'examen de la figure 2 nous montre que le cône de réflexion solaire, dont nous avons expérimentalement estimé, par mer très calme, l'angle au centre à 16° , ne doit pas pénétrer dans le capteur. Ce cône de réflexion augmente considérablement en fonction de l'agitation de la mer, il est donc conseillé de travailler par une mer parfaitement calme. Pour éviter le halo solaire, il faut donc que $Z > \alpha + 16^\circ$.

(α demi angle de champ) d'où Z dépendant de la hauteur du soleil H ($Z = 90^\circ - H$), est donc directement lié à l'heure de la prise de vues. Or α (demi angle de champ) est fonction du choix boîtier-objectif (tableau II). Il convient donc, pour chaque opération, d'éliminer les heures de prises de vues où $Z < \alpha + 16^\circ$. Pour ce faire, on appliquera à nouveau la formule :

$$\cos Z = \sin \psi \cdot \sin \delta + \cos \psi \cdot \cos \delta \cdot \cos H$$

avec - $Z = \alpha + 16^\circ$

- ψ = latitude du lieu

- δ = déclinaison solaire.

On en déduit H en degrés, ce qui permet de connaître les heures de prise de vues à éviter, autour de l'heure de passage du soleil au zénith (15° par heure). La figure 1 donne les heures à éviter, pour $\alpha = 22^\circ$. Cette figure appelle les commentaires suivants :

- il convient de signaler que pour toute une période de l'année, quand la déclinaison solaire est telle que le soleil n'atteint pas l'angle de Brewster. Cette période où la pénétration maximale n'est jamais atteinte est donc à exclure pour la prise de vues. Plus l'angle de champ sera étroit, plus le temps

de travail dont on disposera sera long ; par exemple, en moyenne le temps de travail avec un angle de champ de 22° est le double du temps de travail avec un angle de champ de 30° . En principe, on aurait donc intérêt à choisir un angle de champ le plus faible possible, mais ce choix n'est pas sans inconvénients. En effet, pour une échelle du négatif donnée, diminuer l'angle de champ revient à augmenter la distance focale, ce qui entraîne une absorption de lumière plus grande par l'objectif, ainsi qu'une altitude de vol plus élevée. Dans tous les cas, le choix de l'angle de champ (tableau II) sera donc un compromis entre les différents paramètres déjà cités auxquels s'ajoutera, maintenant, le temps de travail nécessaire pour mener à bien la prise de vues.

6- CHOIX DES FILTRES

Le choix des filtres sera effectué en fonction de trois objectifs :

- éliminer les diffusions parasites,
- augmenter le contraste entre les herbiers et leur environnement,
- pénétrer le plus profondément dans la masse d'eau.

Les molécules atmosphériques diffusent le plus vers les courtes longueurs d'ondes. Il convient donc de les éliminer en utilisant dans tous les cas un filtre à ultra-violet.

Si le filtrage (largeur spectrale du filtre) correspond exactement à la couleur de l'herbier, on augmente fortement le contraste de celui-ci par rapport à son environnement. Il s'en suit que l'on peut réduire l'échelle de prise de vues, donc augmenter le champ couvert et surtout détecter les herbiers de Posidonies à des profondeurs plus grandes. On peut donc choisir un filtre du même vert que celui des herbiers, (entre 0 et -10 m); autour de 530 nm. Néanmoins, la longueur d'onde d'émission des herbiers varie en fonction de la profondeur. Il sera donc nécessaire pour chaque cas de tester plusieurs filtres de fenêtres plus ou moins étroites. L'état de l'herbier épiphyté ou non et la saison peuvent aussi influencer la réponse spectrale. De la même manière, si l'herbier de Posidonies est situé sur un environnement très contrasté, par exemple du sable, on pourra tester une série de filtres jaunes. Enfin, pour pénétrer le plus profondément dans la masse d'eau,

on pourra utiliser un filtre dit pénétrant, dont la fenêtre est centrée sur le bleu entre 450 et 500 nm. Dans tous les cas, il sera donc nécessaire d'utiliser une série de filtres. Pour de meilleurs résultats, il convient d'effectuer des mesures spectrophotométriques de la zone à cartographier, elles permettront de mieux choisir les filtres nécessaires.

7- CHOIX DES PELLICULES

Pour les petites profondeurs, jusqu'à -10 m, les pellicules couleurs sont recommandées avec filtre ultra-violet. En effet, les trois couches sensibles de ces émulsions filtrent la lumière dans trois domaines spectraux (VALERIO, 1973). Ces domaines, par leur longueur d'onde et leur centrage, sont bien adaptés aux petits fonds. Pour se rapprocher au plus de la limite inférieure de l'herbier, il est nécessaire de filtrer la lumière comme nous l'avons vu précédemment. Pour ce faire, les films noir et blanc présentent l'avantage d'une sensibilité pratiquement constante dans le domaine spectral qui nous intéresse, ce qui n'est pas le cas des pellicules couleurs. De plus, ces pellicules sont quantitativement très bien reproductibles, c'est-à-dire qu'un même éclairage donnera toujours la même densité optique pour les mêmes données de développement. Cette qualité est importante pour les traitements numériques. Enfin, il existe des films noir et blanc, très rapides, qualité primordiale lorsqu'on utilise des angles de champ étroits et des filtres qui absorbent beaucoup de lumière, et que l'on veut déceler un objet déjà très peu lumineux comme un herbier sous une couche absorbante d'eau de mer. Par exemple, en 6 x 6 cm, deux films sont utilisables, il s'agit du TRI x KODAK et du HP5 ILFORD.

Les films infra-rouges noir et blanc ou couleurs, sont déconseillés, puisque la sensibilité des films est étendue sur des longueurs d'ondes qui ne pénètrent pas dans l'eau.

8- CONTRAINTES TECHNIQUES DE LA PRISE DE VUES.

Une fois fixés les différents paramètres qui interviennent dans la prise de vue : choix de l'échelle du négatif, choix du boîtier, de l'objectif (donc

de l'angle de champ), champ couvert au sol, période de l'opération, créneau horaire de la prise de vues, pellicules à utiliser, filtres à expérimenter, il est alors nécessaire de préparer le déroulement de la prise de vues, et d'autre part, d'attendre les conditions les meilleurs pour opérer.

Il s'agit tout d'abord de mettre en attente un avion qui sera à même de décoller dès que les conditions météorologiques le permettront. Compte tenu du nombre souvent important de filtres à tester, et du fait que nous conseillons d'utiliser en parallèle des pellicules noir et blanc avec filtres et des pellicules couleur, il sera utile d'utiliser un dispositif permettant de placer jusqu'à 4 appareils en batterie (24 x 36 ou 6 x 6 cm). Ce système utilisé permet d'économiser considérablement le temps de travail déjà restreint.

Lors de chaque passage, on pourra utiliser un intervallo-mètre qui déclenchera automatiquement les prises de vues. Cet intervallo-mètre sera réglé de manière à obtenir un recouvrement à 60 % entre deux photographies consécutives, de manière à pouvoir obtenir une restitution cartographique correcte. Pour régler l'intervallo-mètre, on tiendra compte du champ couvert et de la vitesse de l'avion. Ainsi, pour obtenir un recouvrement de 60 % entre deux photographies si la vitesse de l'avion est de 4m/s et si le champ couvert au sol est de 1 000 m, on réglera l'intervallo-mètre afin de déclencher une série de prises de vues toutes les 10 secondes. Bien entendu, des conditions météorologiques idéales sont absolument nécessaires, la turbidité de l'eau doit être également très faible. Ces conditions se rencontrent à une période définie de l'année, qu'il convient de déterminer en fonction de la zone d'étude.

9- CONCLUSION

Les différents paramètres qui interviennent dans une prise de vues d'herbiers à Posidonies sont étroitement liés entre eux. Le choix de l'opérateur, pour chacun d'entre eux, sera un compromis qui tiendra compte des objectifs de la cartographie à réaliser. Disposant d'un négatif noir et blanc de bonne qualité, on pourra utiliser les

différents logiciels qui existent pour effectuer les corrections géométriques, l'élimination des parasites, l'élimination de la variation centre bord, la correction de l'absorption de la lumière en fonction de la profondeur, la linéarisation du facteur de contraste. Ces différents traitements, en cours de définition doivent permettre de réaliser une cartographie des herbiers en profondeur, alors même que les différences de contraste ne sont plus visibles à l'oeil nu. On peut ainsi espérer réaliser rapidement la carte des limites supérieures de l'herbier de Posidonies. Cependant, il conviendra toujours de réaliser des plongées d'identification, qui restent absolument nécessaires pour l'interprétation des prises de vues.

REMERCIEMENTS

Cette étude a fait l'objet d'une convention entre la Direction Départementale de l'Équipement des Alpes-Maritimes et la Mission Interministérielle pour la Protection et l'Aménagement de l'Espace Naturel Méditerranéen.

BIBLIOGRAPHIE

IVANOFF A., 1972. Propriétés physiques et chimiques des eaux de mer. Vuibert édit.

LEFEVRE J.R., VALERIO C., 1981. Etude expérimentale de cartographie des herbiers marins par télédétection photographique. Rapport Mission Interministérielle pour l'Aménagement et la Protection de l'Espace Naturel Méditerranéen. Rapport ronéotypé : 1-60.

MEINESZ A., CUVELIER M., LAURENT R., 1981. Méthodes récentes de cartographie et de surveillance des herbiers de phanérogames marines. Vie et milieu, Fr., 31 (1) : 27-34.

VALERIO C., 1973. Les moyens aériens de détection et les traitements des enregistrements. C.I.F.P. Marseille - Aix en Provence. Rapport Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement : 1-17.