



Publications du
CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS
(C N E X O)



Rapport préparé par le Centre National
pour l'Exploitation des Océans

39 avenue d'Iéna 75 016 Paris



L'OPERATION DE SURVEILLANCE AERIENNE DES REJETS

D'HYDROCARBURES DANS LA ZONE D'OUessant

26 aout - 1^{er} septembre 1974

QUELQUES RESULTATS D'INTERPRETATION . FASCICULE 1 (texte)

Lionel LOUBERSAC Departement Lutte contre la Pollution des Mers

IFREMER-DERO/EL



0EL00181

*" Une poignée de goudron suffit
à abimer une tonne de miel. "*

Proverbe russe

- 2 -

RESUME

Une campagne de détection aérienne de rejets frauduleux d'hydrocarbure en mer comprenant 11 vols a été organisée du 26 Août au 14 Septembre 1974. Le Scanner infra-rouge Supercyclope a permis l'observation de plus de 150 navires, certaines constatations sur l'allure générale d'un sillage en infra-rouge, les anomalies thermiques qui l'accompagnent et le comportement physique des rejets ont pu être faites.

ABSTRACT

An airborne oil spills detection experimentation including eleven flights has been developed from August 26th to September 1st 1974 more than 150 ships have been observed on Supercyclope infrared Scanner imagery. Some notes on infrared broad wake outline, on thermal anomalies which are linked to and on physical behaviour of spills could be made.

A V E R T I S S E M E N T

Le but de l'expérimentation "Ouessant", prendre sur le fait des navires en cours de déversement, était beaucoup plus opérationnel que de recherche pure.

Aussi, la partie "vérité-terrain" est-elle très mince et les principes explicatifs avancés dans l'interprétation des divers documents obtenus doivent-ils être très prudemment considérés puisqu'ils ne constituent que des hypothèses que nous désirerions voir vérifiées.

Si la pollution des mers par le dégazage des pétroliers ne prend pas la forme spectaculaire d'un accident comme celui du TORREY CANYON elle offre cependant les aspects bien désagréables de nappes irisées à la surface des eaux, de serviettes de bain maculées de sable noir, de masses sombres et poisseuses si difficiles à décoller d'une voûte plantaire. 1.000.000 de tonnes, tel est le chiffre retenu, sans évaluations extrêmes, comme quantité minimum d'hydrocarbures déversée en moyenne chaque année à la surface des océans pour le simple nettoyage des citernes de pétroliers. Nous n'incluons pas dans ce chiffre les rejets dûs aux accidents en mer, à l'exploitation pétrolière au large ni à l'activité industrielle portuaire. 1.000.000 de tonnes qui malheureusement ne sont pas réparties à la surface des mers mais éclaboussent des régions particulières. La zone d'OUESSANT en est une. Aussi, parce que la technologie actuelle tend à permettre une détection automatique du navire fraudeur le CNEXO a-t-il organisé du 26 Août au 1er Septembre 1974 une série de missions aéroportées sur le "rail descendant d'OUESSANT".

Une retransmission en temps réel à un P.C. opérationnel situé à terre des informations recueillies sous forme d'images permettait à un chef de mission le guidage de vedettes d'intervention sur les lieux du déversement. Plus de 150 navires ont pu être observés dont un certain nombre en cours de dégazage.

Le développement qui va suivre, après quelques descriptions techniques sur l'expérience réalisée, fait l'analyse et l'interprétation de certains phénomènes décelés sur les documents obtenus et tente de définir des critères de reconnaissance immédiate des rejets frauduleux.

I. PROGRAMME DE L'OPERATION - SYSTEME DE DETECTION

En ce qui concerne l'historique, le planning et la coordination de l'expérience nous renvoyons à la publication antérieure du CNEXO intitulée "Programme de l'opération de surveillance aérienne des rejets d'hydrocarbures dans la zone d'OUESSANT". 26 Août - 13 Septembre 1974 par Jean Claude MOURLON département Lutte contre la Pollution des Mers.

1.1.- Zone d'étude

La zone retenue se situe sur le "rail descendant" en amont et en aval d'OUESSANT. Ce choix a été déterminé par le nombre important de rejets constatés dans cette zone tant par les pilotes de l'aéronavale que par les bâtiments de surveillance côtière.

L'axe des vols (cf. carte C 1) est défini par les points suivants :

A	} Latitude	48° N
	} Longitude	5' 51' W
B	} Latitude	48° 35' N
	} Longitude	5° 22' W
C	} Latitude	49° 10' N
	} Longitude	4° 10' W

Cet axe ABC fut, pour chaque vol survolé dans le sens aller et retour Sur la carte C 1 le périmètre O M B N délimite la zone d'intervention des vedettes.

1.2.- Moyens mis en oeuvre

1.2.1.- Moyen aérien

NORD 2501 du Centre d'Essais en vol de BRETIGNY.

. Equipement : - détecteur infra-rouge Supercyclope de la Société Anonyme de Télécommunications.

- Caméra de verticale (dans le visible)

- Système de transmission en temps réel du signal Infra-rouge.

. Vitesse de patrouille : - de l'ordre de 150 Noeuds

. Altitude de patrouille : - 2000 m si le plafond le permet.
Cette altitude est réduite à 500 plus 100 m en cas de détection.

1.2.2.- Moyen à la mer

Pour les interventions sur zone et en particulier les prélèvements dans le rejet la rotation fut assurée comme suit :

. Les 26 et 27. Août :

- Direction des Douanes

. Vedette DF 3 "PALIN"

- . Base : BREST
- . Longueur : 33 m
- . Vitesse : 28 noeuds (beau temps)
10 noeuds (mer agitée)

. Les 28 et 29 Août :

- Gendarmerie Nationale

- . Vedette G 58 "LES ROCHES DOUVRES"
- . Base : PAIMPOL
- . Longueur : 14 m
- . Vitesse : 21 noeuds
15 noeuds (croisière)

. Les 30, 31 Août et 1er Septembre :

-- Affaires Maritimes

- . Vedette "MATELOT HENRI NOGUES"
- . Base : LORIENT
- . Longueur : 40 m
- . Vitesse : 15 noeuds.

1.3.- Caractéristiques et performances du Scanner Supercyclope

Cet appareil dont le schéma de principe est indiqué Fig. 1 ci-dessous travaille dans la bande infra-rouge thermique 8-12 μ . Il se compose d'un miroir M qui tourne à plusieurs dizaines de tours par seconde et focalise sur un détecteur l'énergie naturelle émise par le corps, il permet d'obtenir de nuit comme de jour des images de bonne qualité des objets qui présentent entre eux certains contrastes thermiques. Sa sensibilité permet de détecter des variations de température bien inférieures au degré centigrade, sa résolution est de l'ordre de 2 à 3 milliradians.

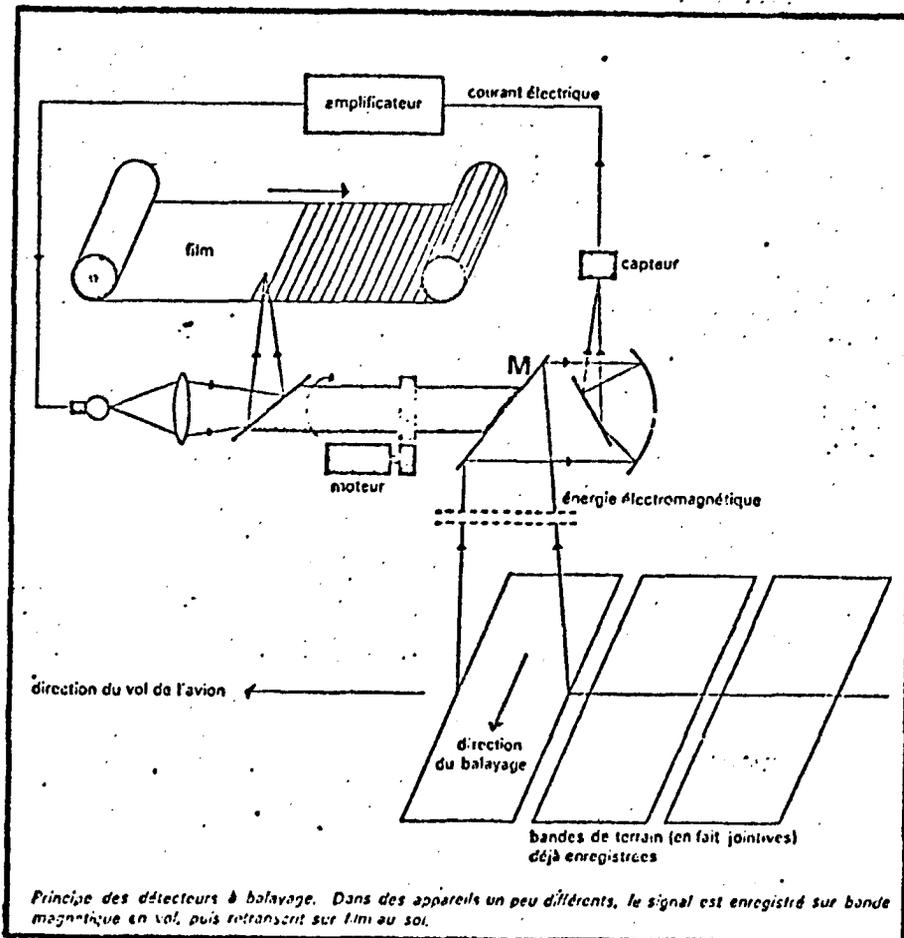


Fig. 1

Schéma de principe du Scanner Supercyclope.

1.4.- Quelques rappels de radiométrie Infra-rouge

Les deux courbes ci-dessous, représentant l'énergie radiée (E) en fonction de la longueur d'onde (λ) d'une part pour le soleil (courbe 1) d'autre part pour la terre (courbe 2), montrent que le soleil, corps noir à environ 6000° K radie son énergie maximum à 0,5 μ alors que la terre, corps noir à 300° K la radie vers 10 μ (conséquence de la loi de Wienn $\lambda T \approx 3000$).

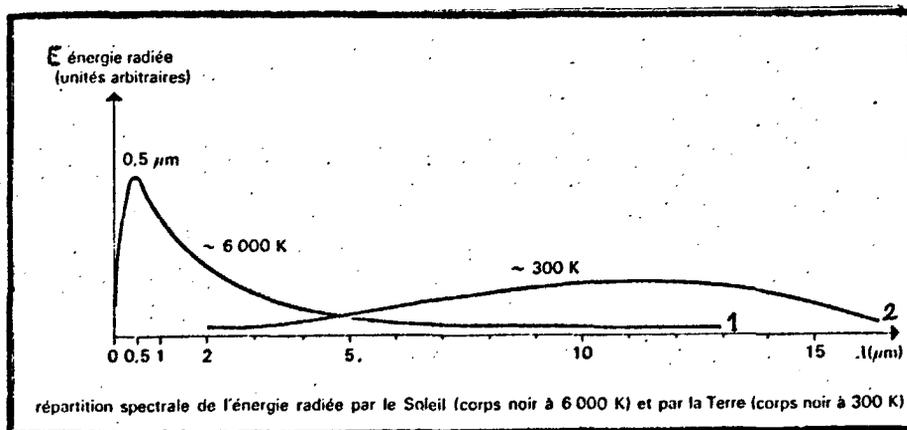


Fig. 2 : Energie radiée en fonction de la longueur d'onde, cas du soleil et de la terre.

On conçoit donc dans la bande 8-12 μ , que le signal délivré par l'appareil est surtout fonction de la température du sol (ou de l'eau) ainsi que du coefficient d'émissivité et qu'il est très peu sensible à l'énergie solaire réfléchie.

Le coefficient d'émissivité est très important. Il caractérise en effet le fait que les objets naturels à la différence des corps noirs ne radient pas la totalité de l'énergie qu'ils reçoivent.

Sachant que le coefficient d'émissivité ϵ se définit comme suit :

$$\epsilon = \frac{R_c}{R_0} < 1 \quad ; \quad \begin{array}{l} R_c = \text{radiance du corps noir à la température } T \\ R_0 = \text{radiance du corps à la même température.} \end{array}$$

Sachant de plus que la puissance de Rayonnement W est d'autant plus importante que la température du corps est élevée

$$W = \epsilon \sigma T^4 \quad (\text{loi de Stephan Boltzmann})$$

l'on mesure en infra-rouge la température de brillance T_B des corps $T_B^4 = \epsilon T^4$ et non la température absolue T de ces corps.

.../...

1.5.- Documents obtenus

Nous avons réunis dans le tableau ci-dessous les documents obtenus selon les vols.

Les documents Supercyclope sont des films noir et blanc de format 70 mm.

Les documents couleur sont des films de format 35 mm.

N° de vol	Date	Documents Supercyclope	Documents couleur	Sillages observés
1	26/8/74	Vols 1 et 2	1 Film	10
2	26/8/74	Sur même Film	Nuit	4
3	27/8/74	1 Film	panne caméra	34
4	27/8/74	Vols 4 et 5	Nuit	13
5	28/8/74	Sur même Film	1 Film	18
6	28/8/74	Vols 6 et 7	Nuit	11
7	29/8/74	Sur même Film	3 Films	9
8	30/8/74	1 Film	2 Films	12
9	31/8/74	Vols 9 et 10	Vols 9 et	17
10	31/8/74	Sur même Film	10 sur même Film	28
11	01/9/74	1 Film	1 Film	10
TOTAL				166

*Ce nombre correspond au nombre total de sillages observés, le sillage d'un navire pouvant l'être plusieurs fois sur un même film.

II. RESULTATS

2.1.- Généralités

2.1.1.- Allure générale d'un rejet en Infra-rouge

Dans la portion de spectre 3 à 14 μ l'eau se comporte presque comme le corps noir, elle émet avec un coefficient d'émissivité supérieur à celui de l'huile (cf. tableau ci-dessous)*

<u>Normal emittance of oil and water for atmospheric window regions</u>			
<u>Material</u>	<u>3 to 4 μ</u>	<u>4,5 to 5,5 μ</u>	<u>8 to 14 μ</u>
100 - octane fuel	0,98	0,979	0,973
Kérosène	0,968	0,968	0,968
Diesel oil	0,968	0,969	0,972
SAE - 30 oil	0,965	0,965	0,970
44,7° API Crude Oil	0,973	0,972	0,973
31,3° " "	0,969	0,970	0,967
19,5° " "	0,969	0,961	0,959
Fish oil	0,969	0,961	0,959
Sea water	0,972	0,980	0,985

De ce fait en supposant l'huile et l'eau à même température ce dernier élément rayonne davantage que le premier qui apparaîtra sombre sur le document photographique.

D'autre part a été mis en évidence un refroidissement superficiel de la nappe d'huile dû au flux d'énergie perdu en surface par rayonnement et transfert de chaleur sensible et latente (1).

S'il existe un mouvement relatif entre la source polluante et l'eau, cas de notre étude, la forme du rejet sera linéaire étroite à la source et s'élargissant vers l'aval.

* Extrait du rapport U S. Coast Guard d'Octobre 71 (Horvath and al 1971)

2.1.2.- Allure générale d'un sillage

2 types de situation sont à différencier.

- a) La stratification thermique verticale de l'eau est faible entre la surface et l'hélice: dans ce cas, le système propulseur et le mouvement propre du navire ne feront remonter qu'une eau de température voisine de celle de surface. Le sillage n'apparaîtra donc que peu ou pas du tout.

Par exemple : Planches PL 1 (haut) et PL 14, phénomène noté \diamond

- b) La stratification thermique verticale est importante, (thermocline proche de la surface) ce qui est souvent le cas de jour et en été particulièrement, alors le système propulseur brasse et fait remonter une eau froide en surface. Il en résulte sur le document I.R. une anomalie thermique de teinte foncée signalant le sillage.

Par exemple : Planches PL 2, PL 7, et PL 14 phénomène noté Δ

On comprend que la deuxième situation soit particulièrement gênante puisque rejet et sillage comme nous venons de le voir vont présenter des structures assez semblables et mêlées l'une à l'autre. De la même manière un certain nombre d'éléments tels que huile de poisson, rejets d'acide, effluents côtiers et masses d'eaux peuvent prendre en détection I.R. une structure analogue à celle d'un rejet d'hydrocarbure (2).

La planche PL 14 illustre les 2 types de situation (a) et (b), le sillage de la vedette apparaissant "froid" (Δ) puis "chaud" (\diamond) selon que la zone traversée voit sa stratification thermique verticale perturbée ou non par la présence d'huile en surface. La planche PL 13 montre que le sillage apparaît "chaud" noté (\otimes) dans la traversée d'une ancienne nappe créant une "croûte froide" superficiellement.

2.1.3.- Remarque

La planche PL 2 montre deux navires navigant au cap 240. Sans nous préoccuper d'une éventuelle pollution on remarquera et particulièrement dans la partie gauche du document que les deux sillages montrent de légères ondulations. Celles-ci ne semblent ni dépendre l'une de l'autre ni ^{être} créés par un même phénomène extérieur au navire tel que vent, dérive de surface voire même mouvement de l'avion. Cette structure toute particulière du sillage laisse penser que ces ondulations de longueur d'onde différente pour les deux navires correspondent à un pilotage automatique du gouvernail. (phénomène noté

PA)

2.2.- Recherche de quelques critères de reconnaissance d'un rejet dans le sillage sur les documents infra-rouge.

Pour cette recherche nous nous sommes appuyés sur des renseignements complémentaires aux données infra-rouge brutes. Il s'agit :

- des renseignements concernant le type de navire donnés par la vedette. Ainsi, nous pouvons séparer les sillages que nous appellerons "négatifs" (paquebot par exemple PL 7) des sillages susceptibles d'être "positifs".
- Des résultats de 3 prélèvements effectués par la vedette (cf. annexe fiches F1, F2 et F3) permettant de classer les cas positifs sûrs.
- Des commentaires des pilotes du Nord-Atlas décrivant l'apparence du sillage "de visu".

Afin de lever l'ambiguïté ou tout au moins de tenter de le faire, pour les cas douteux, nous avons :

- Comparé les documents couleurs et infra-rouges correspondants. (La couleur dans la majeure partie des cas s'est avérée n'apporter que peu de précisions complémentaires intéressantes.)
- Étudié la position de la thermocline en mer d'Iroise aux dates données.
- Comparé les caps afin de savoir si le navire considéré descend ou monte le rail, par conséquent navigue à vide ou à plein, ce dernier indice donnant la position de l'hélice par rapport à la surface et par rapport à la thermocline.

Malheureusement les deux derniers points se sont avérés stériles puisque aucune mesure de température, que ce soit en profondeur ou en surface et dans le sillage ou en dehors, n'a été effectuée par la vedette et que les renseignements obtenus sur la position de la thermocline ne sont que des généralités géographiques et saisonnières inapplicables à la zone précise et aux dates données. Toutefois, de l'examen des documents et renseignements disponibles, nous avons pu exprimer les critères de reconnaissance suivants pour la situation a.

- Structure "Assymétrique" du sillage présentant une limite plus accentuée que l'autre (le rejet s'effectue en général par un bord) (cf. planches PL 1 (bas), PL 5, PL 8, PL 12 critère noté (A))
- Structure "Discontinue" du sillage le rejet ayant été interrompu (cf. planches PL 1 (bas), PL 8 critère noté (D))
- Structure en "festons" concernant le ou les bords du sillage (cf. planches PL 3, PL 4, PL 9, PL 12 critère noté (F))
- Structure en "coups de crayon" d'une ou des frontières d'un sillage (cf. planches PL 1 (bas), PL 16, PL 10 critère noté (C))

Les 4 critères peuvent se recouper, la présence d'un rejet étant d'autant plus certaine que le nombre de recoupements est élevé.

Exemple PL 12 rejet du Petworth critère (A) et (F)

Exemple PL 8 rejet du Vesthav critère (A) et (D) etc...

Dans la situation b, ces critères sont beaucoup plus difficiles à déceler lors de l'interprétation en particulier pour le sillage du Wrangell (cf. planches PL 3 et PL 4). Le sillage prend une allure très analogue à celle du sillage du paquebot (cf. planche PL 1) on pourrait donc à priori classer le Wrangell comme "non pollueur" d'autant que la structure, notée Δ , des sillages des navires avoisinants est de même type, dénotant la présence d'une thermocline peu profonde (cf. planche PL 2). Toutefois une analyse minutieuse des planches PL 3 et PL 4 montre que les bords externes du sillage présentent des "ourlets" plus foncés notés \square , que la zone interne et d'aspect festonné (critère \textcircled{F}). L'indice est mince pourtant le rejet du Wrangell, du brut s'étend sur plus de 3 milles. Nous signalerons toutefois que ce rejet est caractérisé par la présence de détergents émulsionnant les hydrocarbures et formant des mousses légèrement brunâtres et stables sur les bords du sillage (phénomène décelé et noté \square) (cf. annexe Fiche F1).

Dans le cas de la présence de détergents à la surface de l'eau les documents couleur nous ont été utiles. En effet, dans le visible, un sillage "normal" ne persiste que sur 3 à 4 longueurs de navire (persistance liée à la durée de vie de l'écume), par contre on peut s'attendre à ce que l'émulsion huile-eau de mer-détergent reste stable sur une distance beaucoup plus importante. Le document couleur fait malheureusement défaut, panne de caméra, dans le cas du Wrangell cependant, le sillage du Burmah-Peridot montre dans le visible une persistance anormale, ce sillage en infra-rouge prend un aspect marbré et festonné (critère F) cf. planche PL 9.

2.3.- Comportement des rejets

2.3.1.- Sous l'action du vent

Les différents exemples et particulièrement les planches PL 1 (bas) PL 6 et PL 10 montrent que par vent fort les rejets ne s'étirent que dans la direction du vent, la bordure face au vent étant rectiligne. On notera en effet sur les planches précédemment citées la correspondance quasi totale existant entre l'aspect du rejet et la direction du vent V matérialisée par une flèche.

Ces résultats sont en accord avec ce qui est généralement admis (3, 4, 5). Toutefois ce n'était pas le but de l'expérience, aucune mesure de vitesse d'évolution des rejets n'a pu être faite.

Par vent faible au contraire la force du rejet est fort variable et dépend beaucoup plus de la dynamique de surface que de l'action du vent.

Le sillage du Petworth (cf. planche PL 12) sous des conditions de mer calme et de vent faible offre une structure très particulière en "barreaux d'échelle", barreaux notés \star , planche PL 12. De telles structures ont été déjà décelées et décrites aux U.S.A. (4). Une structure analogue bien que plus discrète notée \star semble accompagner le sillage du Burmah Peridot planche PL 9 bis.

Les planches PL 9 et PL 11 montrent qu'il existe une constance suffisamment bonne des écarts entre les barreaux pour avancer les hypothèses suivantes :

- Structure due au train d'ondes transverses accompagnant le déplacement du navire.
- Structure due aux remous du système propulseur

Si la première hypothèse est la bonne alors la moyenne des écarts entre barreaux doit représenter la longueur d'onde des vagues transverses. Nous rappelons que le déplacement d'un navire induit des variations ^{de pression} causant deux systèmes de vagues divergentes (a) et transverses (b) cf. Fig. 3 extraite de Principles of Naval Architecture (6)

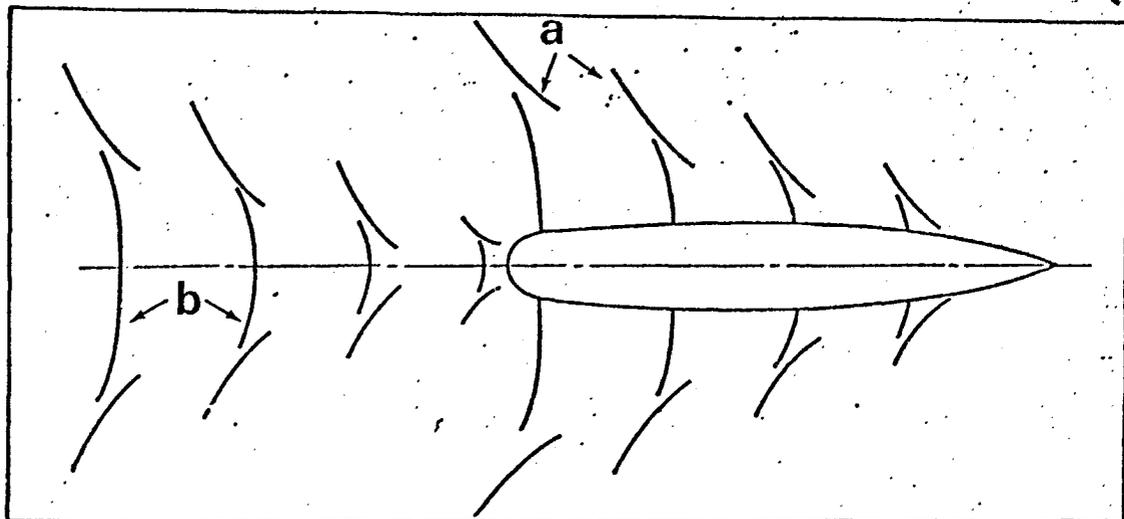


Fig. 3
Schéma des trains d'ondes divergentes et transverses.

La longueur d'onde x des vagues transverses est donnée
1) par $x = 2\pi \frac{v^2}{g}$

Connaissant x on peut tirer la vitesse du navire

2) $v = \sqrt{\frac{g x}{2\pi}} \approx 0,4 \sqrt{g x}$

Or connaissant l'altitude de l'avion il est possible de déterminer l'échelle du document photographique obtenu si la vitesse de déroulement du film est compatible avec celle de l'avion c'est à dire que l'échelle longitudinale de l'image est comparable à l'échelle transversale.

L'angle de balayage étant de 90° , l'altitude étant h alors la longueur d'une ligne de balayage lc sera :

$$lc = 2 h$$

Cette longueur correspond à la largeur de l'image.

Exemple : cas du Petworth planches PL 11 et PL 12

$h = 800 \text{ ft. donc } lc = 1600 \text{ ft. } \approx 500 \text{ m}$

500 m au sol correspondent à 5,7 cm sur l'image
donc $E_c \approx 1/9000^e$

La moyenne \bar{x}_c des écarts entre barreaux mesurés sur l'image cf. PL 11
donne 80 m

De la même manière pour les planches PL 9 et PL 9 bis h étant de
300 ft on obtient une échelle $E_c = 1/3200^e$
Or si on calcule la longueur L_{cn} du navire en fonction des échelles
trouvées on obtient :

$$L_{cn} \text{ (Petworth)} \approx 90 \text{ m}$$

$$L_{cn} \text{ (Burmah Peridot)} \approx 425 \text{ m !!}$$

Le Lloyd's Register of Shipping 1974 nous donne : cf. tableaux
ci-dessous.

78745	PETWORTH	1238	*100A1	TD 9/70	1958-4	Cielands (Successors) Ltd.—	M Tanker	Mchy. aft	Oil 2SA 7Cy. 340 x 570 mm
XWF		452	oil tanker.			Wal	4 Ta		1120bhp
187749	Stephenson Clarke	1230	*LMC			233' 9" 35' 6" 13' 8 1/2"			British Polar Engines Ltd.
Esd Pfd	Shipping Ltd.					215' 0" 35' 0" 14' 0"			db (f) 100fb (db (a) 100fb)
Rdr	London	British		EL o 1 1/2" SQ	P79' F30' 1 dk		Der 1(2)		2 x 90kW 110V d.c.
Tm/v					9BH				
					rf 8"	WB335t			
7352995	BURMAH PERIDOT	75049	100A1			Mitsui S.B. & E. Co. Ltd.—Tmn	M Tanker	Mchy. aft	Oil 2SA 10Cy. 840 x 1800 mm
		52000	oil tanker			887' 6" (incl. BB) 144' 6" 55' 11"			25000bhp B&W
Esd	Airlease International	137788	Class contemplated			853' 0" 144' 4" 73' 6"			Mitsui Zosen
Gc Pfd	Nominees (Fenchurch)								
Rdr RT	Ltd.								
	Denholm Ship Management								
	Ltd.								
	Hamilton	British							

Soit longueur véritable L_{vn} de navire

$$L_{vn} \text{ (Petworth)} = 65,50 \text{ m}$$

$$L_{vn} \text{ (Burmah Peridot)} = 260 \text{ m}$$

On voit donc que les échelles calculées sont fausses surtout pour
le Burmah Peridot, ces erreurs étant dues soit à un mauvais étalonnage
de la vitesse de déroulement du film soit à une indication imprécise
de l'altitude de l'avion. De plus les mouvements éventuels de l'avion
créent des déformations d'image.

Toutefois les dimensions des navires permettent de recalculer les
échelles exactes des documents.

Les planches PL 11 et PL 12 ayant une échelle vraie

$$E_v \approx 1/6500^e$$

Les planches PL 9 et PL 9 bis ayant une échelle vraie

$$E_v \approx 1/1950^e$$

D'où les nouvelles moyennes des écarts entre barreaux \bar{x}_v

$$\bar{x}_v \text{ (Petworth)} \approx 52 \text{ m}$$

$$\bar{x}_v \text{ (Burmah Peridot)} \approx 49 \text{ m}$$

Reprenant (2) $V = \sqrt{\frac{g x}{2 \pi}}$

On obtient V (Petworth) $\simeq 17,5$ noeuds

V (Burmah Peridot) $\simeq 17$ noeuds

Les vitesses ainsi calculées sont quelque peu supérieures aux vitesses admises pour de tels navires 14 à 16 noeuds. (D'après les commentaires de pilotes du Nord-Atlas la vitesse du Burmah Peridot est estimée à 15 noeuds).

Une troisième vérification de la constance des distances entre barreaux peut se faire sur les planches I5 et I6, la moyenne des écarts mesurés sur l'image est en effet de 0,46 cm. L'échelle vraie E_V étant, d'environ le 1/11500ième, les écarts entre barreaux donnent :

$$\bar{x}_V \simeq 53 \text{ m}$$

Cependant, tout en admettant que la structure en barreaux décelée soit liée aux ondes transverses, on remarquera que la concavité du barreau tournée dans le sens d'avancement du navire ne correspond pas du tout à celle de l'onde transverse tournée vers l'arrière.

La structure en barreau fait penser à l'existence d'un "pas de vis", or pour de tels navires, une vitesse supposée de 15 noeuds correspond environ à 120 tours/minute de l'arbre de l'hélice, soit un pas d'environ 4m, 5 m en considérant le glissement à chaque tour.

D'autre part, il ne semble intervenir aucun phénomène d'interférence du mouvement d'eau crée puisque dans les deux cas le système propulseur est unique.

De plus, on pourrait penser qu'une houle de direction plus ou moins voisine de la normale par rapport à l'axe du navire, entrainerait lors du passage de la coque dans une crête, un travail supplémentaire sur l'hélice d'où un glissement important de celle-ci accumulant périodiquement (période liée à la longueur d'onde de la houle), le pétrole de surface en des zones bien délimitées: les barreaux. Les mesures de houles, dans les deux cas à 100 miles Ouest au large d'Ouessant, donnent :

le 29/08/1974 cas du Burmah Peridot

- . Direction 300°
- . Hauteur de flèche 2 m
- . Période 10 s.

le 31/08/1974 cas du Petworth

- . Direction 320°
- . Hauteur de flèche 2 m
- . Période 10 s.

Or, connaissant la période (T) et la profondeur (D), il est possible d'évaluer la longueur d'onde (L) de la houle par la formule :

$$L = \frac{g T^2}{2 \pi} \operatorname{th} \left(\frac{2 \pi D}{L} \right)$$

.../...

Dans les deux cas $T = 10$ s $D = 100$ m
D'ou $L = 150$ m, ce qui n'est pas en accord avec le résultat trouvé, 50 m.

On n'a donc pu relier avec certitude le phénomène périodique décelé sur l'image à une cause déterminée. La raison principale de la structure en barreaux semble être l'influence du système propulseur par ses remous et un glissement périodique. A cette influence se superposent sans doute d'autres phénomènes dynamiques tels que le train d'onde transverse, une houle de période plus courte près d'Ouessant ou l'interférence de deux houles, les divers positionnements du gouvernail sous l'action du pilotage automatique, Remous de Kerman etc...

2.3.2.- Selon le type d'hydrocarbure

Nous ne possédons que trois résultats (cf. Annexe fiches F1, F2, et F3) nous permettant de comparer l'allure du rejet selon son type d'hydrocarbure.

- Du pétrole brut pour le WRANGELL (PL 3 et PL 4) et le PETWORTH (PL 12)
- Du fuel léger pour le Panomeritis (PL 10).

Il est impossible, et ce n'était pas le but de l'expérience, de tirer quelque conclusion sur trois résultats obtenus à des dates et sous des conditions météorologiques différentes

2.3.3.- Evolution avec le temps

Là encore, le but de l'expérience était de surprendre le navire en fraude et non d'étudier l'évolution de son rejet. Toutefois le Petworth a été suivi sur un peu plus de deux heures (PL 12, PL 13, et PL 14)

PL 12	rejet en cours	$t = 0$
PL 13		$t + 1$ h
PL 14		$t + 2$ h

Comme nous l'avons déjà indiqué, la mer étant calme et le vent de force faible, la structure du rejet suit le mouvement des masses d'eau de surface (cf. planche PL 13, $t + 1$ h). On remarque sur cette planche la zone axiale du rejet anciennement rectiligne (PL 12) de teinte sombre contenant la majeure partie du pétrole déversé puis, une zone plus ou moins sale présentant des fronts thermiques marqués (notés PL 13) qui donnent à la surface de la mer un aspect "nuageux". 

A $t + 2$ h (cf. PL 14) la surface de la mer présente sur une grande étendue un aspect très sale et marbré où s'intermélangent des "paquets chauds" et des "paquets froids" et où ne se reconnaît plus du tout la structure d'origine du rejet. Le

sillage de la vedette met bien en évidence les perturbations thermiques créées par l'extension de la nappe d'huile en surface.

2.4.- Essai de détermination de la masse d'hydrocarbures déversée par mille parcouru.

Pour cette tentative nous nous sommes placés dans les cas les plus défavorables.

Nous avons d'une part considéré, d'un point de vue législatif les normes d'application de la convention de 1973, non encore ratifiée, relative aux rejets d'hydrocarbures, interdisant totalement le rejet jusqu'à 50 milles nautiques des côtes et le limitant, au-delà, à moins de 60 litres par mille parcouru. Cette convention stipule également la limitation du rejet total de chaque navire au 1/15000^e de sa cargaison.

Nous avons voulu montrer que, pour certains cas, l'allure du rejet aidant, il serait possible de vérifier sur le document photographique si la limite des 60 litres par mille est effectivement dépassée ou non. L'actuelle dose limite de 100 ppm n'étant absolument pas significative et applicable à cet essai.

On notera au regard de la carte C1 que la première clause n'est pas respectée puisque le rail se situe à moins de 50 milles des côtes en particulier pour la zone d'intervention de la vedette.

Nous venons de voir au cours des paragraphes précédents que la détermination de l'échelle de l'image obtenue peut se faire à partir de l'altitude h de l'avion. Toutefois une mauvaise appréciation de cette altitude et de la vitesse de déroulement du film (rapport v/h) interdit cette détermination.

Nous avons étudié le cas du Petworth (PL 12), dont le rejet est caractéristique, en considérant comme échelle exacte celle donnée par les dimensions réelles du navire soit le 1/6500^e.

Afin d'obtenir le volume déversé par mille parcouru il nous faut connaître largeur et épaisseur du rejet.

Sur un mille de long nous avons pris :

- une largeur de rejet e égale à la largeur moyenne du bord droit du sillage (PL 11)
- une épaisseur égale à 50μ (D'après Hollinger et al ⁽⁷⁾ on ne détecte une huile que lorsque celle-ci a une épaisseur supérieure à 50μ)

En d'autres termes nous assimilons le rejet de surface complexe et d'épaisseur variable à un parallépipède d'1 mille de long, de e mètres de large et de 50μ de hauteur.

La largeur de rejet e lue sur l'image est $e = 10 \text{ m}$ (PL 11)

Bien que considérant surface et épaisseur minima du rejet, le calcul permet d'avancer que le volume V déversé par mille parcouru est strictement supérieur à :

.../...

$10 \times 1852 \times 5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mille}$

soit $V > 925 \text{ l/mille}$

Ce rejet étendu sur 15 nautiques peut être estimé au minimum à 15000 l. soit 15 tonnes de brut (on conçoit que le Petworth de 1230 tonnes de port en lourd ne respecte pas la clause limitant le rejet total à 1/15000^e de la cargaison !)

Si altitude de l'avion et rapport v/h étaient déterminés avec précision il serait possible, par l'image seule, de déterminer directement le volume minimum déversé effectivement par mille parcouru donc de se passer de l'intervention de la vedette. Ceci est d'autant plus intéressant qu'une retransmission en temps réel des images est établie.

Toutefois cet essai de calcul direct du volume déversé se voit limité :

- Par l'allure générale du rejet. (c'est parce que le rejet du Petworth est "franc" (PL 12) qu'il est possible d'en déduire une surface minimale. Le cas est fort différent pour le Wrangell PL 3 et PL 4 qui, nous l'avons vu, largue des détergents et dont le rejet est "altéré" sur l'image par les eaux froides de profondeur.)
- Par la limite des 50 μ qui n'est pas catégorique.

2.5.- Essai d'interprétation des phénomènes thermiques à l'avant et le long de la coque du navire.

En règle générale et tout particulièrement sur les planches PL 1 (haut), PL 3, PL 4, PL 5 et PL 8 on observe les phénomènes suivants cf. Fig. 5

- Eau de teinte claire à l'étrave et sur le 1er tiers du navire Zone (1)
- Eau de teinte foncée, sans transition, sur les 2/3 arrière du navire : zone (2)

La zone (1) semble correspondre assez exactement à la vague déferlante d'étrave et diverge d'un angle voisin de 20°.

La zone (2) longe la coque sur environ une demi longueur de navire de chaque côté.

La présence de la zone (2) pourrait s'expliquer par le fait que la coque agissant comme le soc d'une charrue fait remonter une eau de température inférieure à celle de surface. Or la planche PL 11 (haut) vient contre dire cette hypothèse. En effet si la coque fait remonter une eau froide les hélices devraient elles aussi brasser cette eau et créer un sillage d'une manière analogue à celle exposée précédemment. PL 1 montre une zone (2) bien apparente mais pratiquement pas de sillage il faut donc en conclure que l'origine de cette

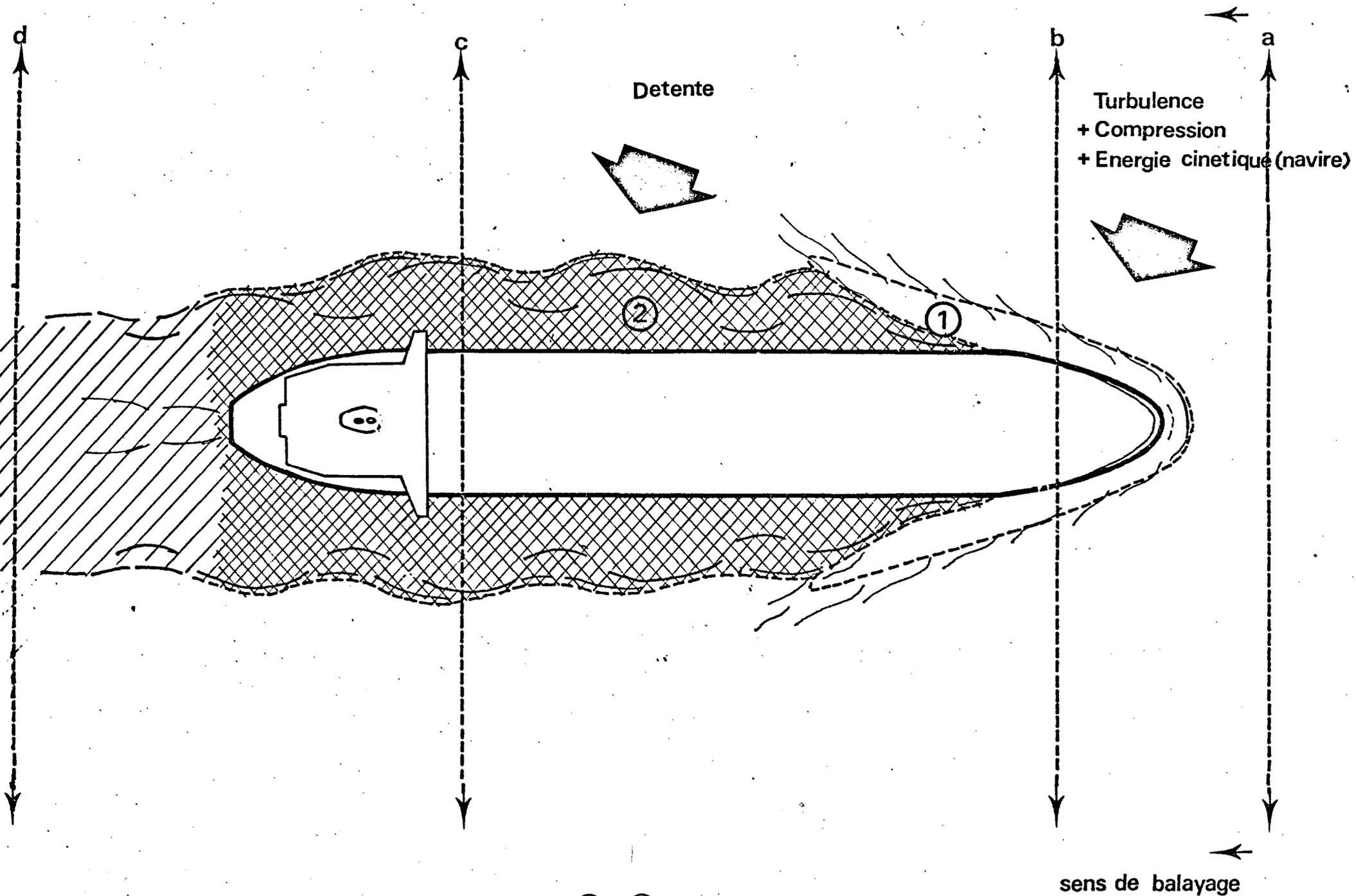


Fig.5 Zones thermiques ① et ②

zone, zone qui se poursuit très légèrement sur 3 à 4 longueurs de navire (◇), est différente.

La zone (1) correspondant à la vague déferlante d'étrave est une zone où se forme l'écume. Le niveau fort de gris indique un phénomène "chaud" par rapport au milieu ambiant. Cet échauffement pourrait être dû à la transformation de l'énergie cinétique du navire en chaleur à l'étrave. Or, cet échauffement est très faible, quelques centièmes de degrés, trop faible pour être détecté par le scanner. Une agitation moléculaire très intense dans la crête de la vague qui se brise est très vraisemblablement la cause principale du phénomène thermique décelé. Un autre phénomène intervenant dans cet échauffement pourrait être la compression de l'air emprisonné et brassé par la vague ; toutefois le flux de chaleur échangé de l'air vers l'eau est vraisemblablement très faible. Il n'en reste pas moins que cet air brassé et comprimé en profondeur, ne remonte et se détend en surface. Quiconque ayant posé le pied sur un navire reconnaîtra le "pschitt" caractéristique du sillage témoignant de cette détente. Par conséquent, la persistance d'un sillage sur 3 à 4 longueurs de navire étant directement liée à la vie de l'écume, nous rapprocherons le phénomène précédemment exposé, à l'existence en infra-rouge de petits ourlets foncés, formés à l'arrière du navire sur une distance équivalente. (Cf. planche PL 1)

Cependant, aux explications avancées, il convient d'ajouter qu'il serait intéressant de savoir expérimentalement si le coefficient d'émissivité d'une écume ne varie fortement ou non selon que celle ci se forme ou retourne à l'état stable. Aucun document ne nous est parvenu à ce sujet.

Remarque:: (cartes C2 - C3 - C4)

Une illustration particulièrement frappante du phénomène d'échauffement d'une crête de vague est donnée en planche PL 17. Cette planche correspond à la détection des premières nappes de pétrole arrivant à la côte après l'accident du Pétrolier MAERKS, au large du Havre le 26/11/1974. Sur le fond "noir" dû à la présence de pétrole, on distingue parfaitement en teinte claire les crêtes de houle déferlant le long du rivage. On remarquera tout particulièrement la réfraction caractéristique de cette houle sur le littoral, ainsi que le phénomène d'accumulation de l'huile sur les hauts fonds (noté *) ; (cas des Roches, d'Ailly pour B, planche 17).

2.6.- Influence de l'appareillage.

La zone (2) (cf. PL 1) paraît particulièrement accentuée en ton gris, fort contraste, le long de la coque, ce contraste étant soudain plus faible à l'arrière dès que les lignes de balayage n'interceptent plus le navire. Ce phénomène ne nous semble pas causé par le simple fait qu'une détente plus intense accompagnerait le début du retour de l'écume à la stabilité, donc règnerait surtout le long de la coque, mais vraisemblablement dû à l'influence de l'appareillage (8).

Le Supercyclope possède en effet un compensateur automatique de valeur moyenne (CAVM) et un contrôleur automatique de gain (CAG).

- Le premier détermine en fonction des lignes de balayage précédentes et par rapport aux températures de brillance lues une valeur moyenne représentée par le gris moyen en restitution photographique.
- Le second module l'amplification du signal en fonction des écarts thermiques rencontrés. Soit Fig. 4

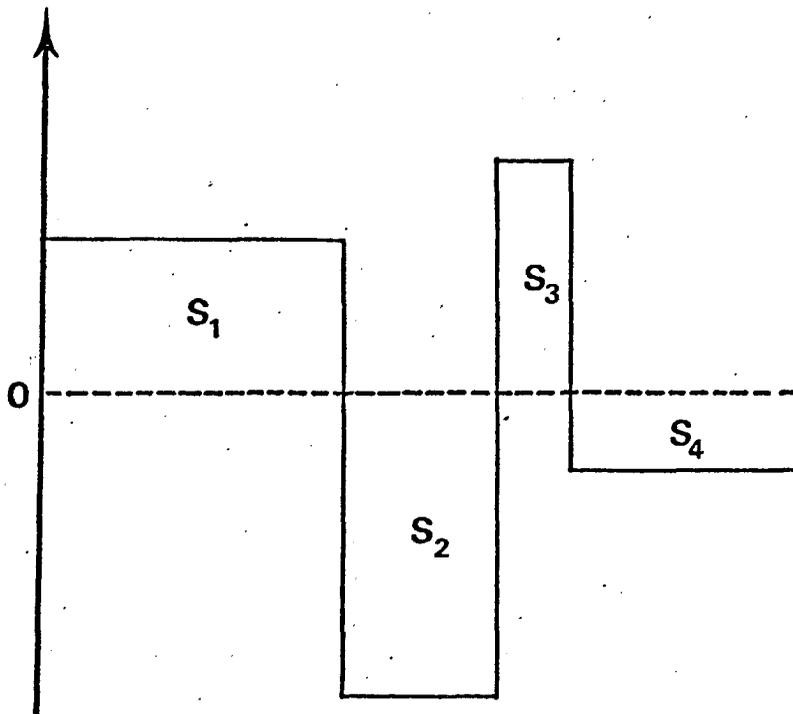


Fig. 4

Schéma d'une ligne de balayage visualisée sur un oscilloscope.

Le CAVM agit de sorte à obtenir l'égalité des surface :

$$S_1 + S_3 = S_2 + S_4$$

Le CAG agit de sorte à ce que :

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = \text{constante}$$

Considérons la planche PL 1, (se reporter fig. 5 et fig. 6)

- a représente une ligne de balayage placée à l'avant du navire, le milieu, la mer, est pratiquement homogène thermiquement. L'information de cette ligne, cf. fig. 6, donne le niveau de gris moyen 1.
- b représente une ligne de balayage qui intercepte le premier tiers avant du navire. D'un milieu homogène la mer, elle travers une cible "chaude", le navire, et de chaque côté la zone (1) puis retombe dans le milieu homogène. Le niveau de gris moyen pour cette ligne est déterminée par l'information obtenue sur les lignes précédentes, niveau 1, en conséquence le CAVM va baisser le niveau de gris de l'eau par rapport à ce qu'il était auparavant de sorte à conserver l'équivalence des surfaces

$$S_2 = S_1 + S_3 \quad (\text{fig. 6})$$

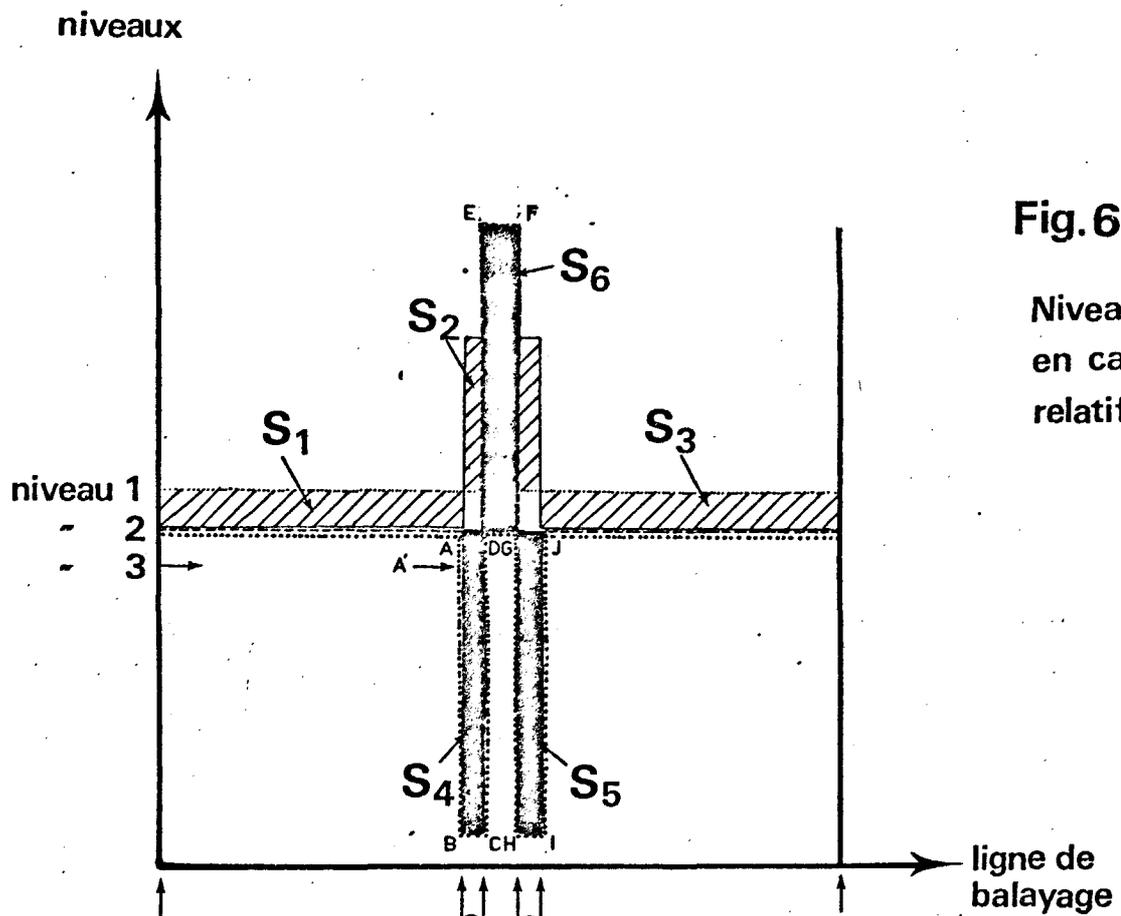


Fig. 6

Niveaux de gris en calage relatif

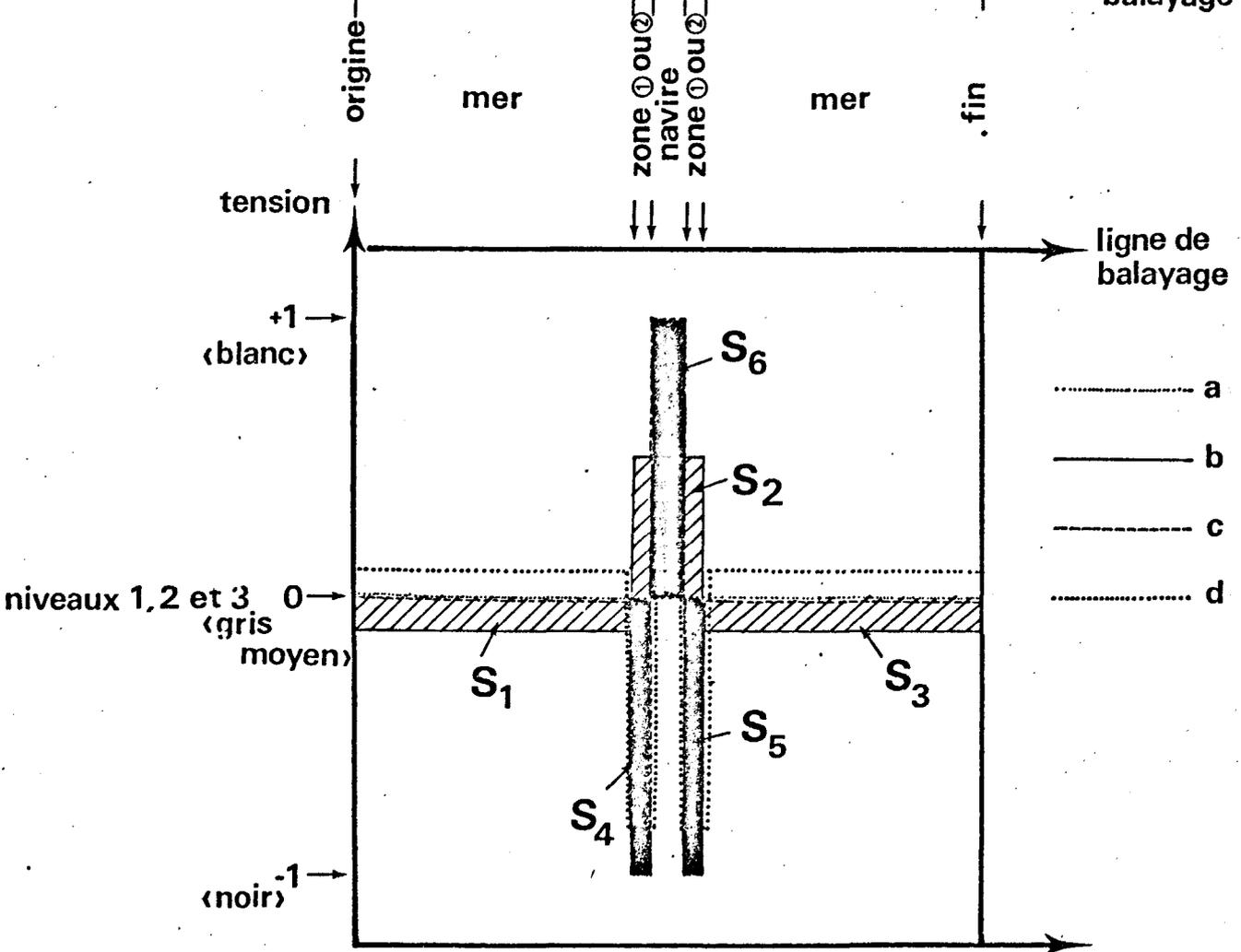


Fig. 7 Niveaux de gris recales

- c représente une ligne de balayage interceptant le tiers arrière du navire, le niveau de gris moyen est donné par le niveau correspondant à l'information des lignes précédentes, niveau 2. Or du milieu homogène de niveau 2 nous interceptons une cible "froide", (ABCD, S_4 sur fig. 6), une cible "chaude", le navire, (DEFG, S_6 sur fig. 6), puis le milieu homogène de niveau 2. D'après le système de compensation évoqué on comprend que les milieux "froids" ABCD et GHIJ sont d'autant plus accentués (ton de gris foncé) qu'ils doivent contre-balancer le pic "chaud" DEFG ($S_6 = S_4 + S_5$ et $S_1 + S_2 + S_3 = S_4 + S_5 + S_6$).

- A l'arrière du navire la ligne de balayage n'intercepte plus qu'une cible froide, le compensateur de valeur moyenne agit de sorte à placer le niveau 3 comme niveau de gris moyen et par conséquent à donner un contraste moins accentué à cette cible "froide" ($A'B < AB$ fig. 6), par contre cette compensation rend à l'eau un niveau de gris légèrement plus clair que ce qu'il était précédemment.

Alors que la fig. 6 exprime l'équivalence des surfaces sans calage des niveaux de gris sur une valeur moyenne commune aux lignes étudiées, la figure 7 exprime à quelque chose près le positionnement réel des contrastes les uns par rapport aux autres. Une tension nulle équivaut au gris moyen, une tension positive au blanc, une tension négative au noir.

On conçoit donc, de par l'action conjuguée du CAG et du CAVM, que les contrastes obtenus sur l'image ne représentent que les écarts relatifs d'une cible par rapport à une autre et non des contrastes thermiques absolus de la scène.

2.7.- Remarque

En règle générale l'infra-rouge ne permet pas de visualiser les trains d'ondes transverses et divergentes accompagnant le déplacement du navire *, sauf à leur naissance, principalement l'onde déferlante d'étrave en ce qui concerne les vagues divergentes. Cependant quelques cas particuliers, dont la planche PL 5, montrent assez nettement du côté gauche du sillage des ondes (notées \odot PL 5) divergeant d'un angle d'environ 20° avec l'axe de marche du navire et laissent deviner le train d'ondes transverses notées \blacktriangle . Ce phénomène pourrait s'expliquer par l'action d'un vent soufflant transversalement.

* Cette affirmation est mise en défaut si la cible balayée est dans la zone de réflexion scapulaire du soleil à la surface de la mer, puisque la réflexion l'emporte sur l'émission, alors que théoriquement le Supercyclope devrait être peu sensible (cf. fig. 2) à ce premier phénomène.

CONCLUSION

Sur 166 sillages observés, la photo-interprétation en classe 37 soit 22,3 % dans la catégorie "Très douteux à positifs sûrs", 23 soit 13,9 % dans la catégorie "douteux" et le reste 106 soit 63,8 % dans la catégorie "négatifs apparents" c'est à dire ne reflétant à priori aucune pollution par hydrocarbures.

Le chiffre de 22,3 % est assez considérable, presque un sillage sur quatre s'avère pollué ; (un sillage sur quatre et non un navire sur quatre puisqu'un même sillage a pu être visualisé plusieurs fois sur un même film). Si au chiffre précédent on adjoint les 13,9 % de la classe "douteux", c'est plus d'un sillage sur trois, 36,2 %, qu'il faudra considérer comme pollué. Toutefois le pourcentage des sillages classés douteux dépend de l'objectivité ou plus exactement de la prudence du photo-interprète.

La détection infra-rouge à balayage s'avère être une fois de plus un outil essentiel dans l'identification des nappes d'hydrocarbures. Elle souffre toutefois de lacunes importantes puisqu'elle ne permet pas de séparer deux phénomènes thermiques de structure semblable mais d'origines différentes (remontées d'eau froides dans le sillage et pollution). Le type d'opération de surveillance se doit d'être renouvelé et si possible renforcé de systèmes complémentaires de détection tel qu'un radiomètre dans le visible de jour, une caméra ultra sensible (3) dans le visible ou un laser de nuit.

Le prélèvement reste néanmoins la pièce essentielle à joindre au dossier ; (une photographie ne constituant pas une preuve) or la principale difficulté rencontrée lors de l'opération fut d'envoyer les vedettes sur les lieux de dégazage et dans des délais courts.

Une nouvelle expérimentation renforcée de systèmes complémentaires évoluerait favorablement si à l'avion on adjoint un hélicoptère. Cet appareil combinant survol dynamique et survol statique permettrait dans le premier cas la détection, dans le second le prélèvement.

Pour ce dernier point sont à résoudre un certain nombre de problèmes
dont :

- . Altitude optimale de survol statique pour le prélèvement
- . Technique de prélèvement
- . Interférence du mouvement d'air brassé par les pales sur la répartition du rejet en surface, ce qui peut être un handicap au prélèvement
- . Conservation à bord des échantillons (pré-analyses)
- . Discrétion.

SOMMAIRE.

Fascicule 1

- Résumé
- Introduction

I. PROGRAMME DE L'OPERATION - SYSTEME DE DETECTION

- 1.1.- Zone d'étude
- 1.2.- Moyens mis en oeuvre
 - 1.2.1.- Moyen aérien
 - 1.2.2.- Moyen à la mer
- 1.3.- Caractéristiques et performances du Scanner Supercyclope.
- 1.4.- Quelques rappels de radiométrie infra-rouge.
- 1.5.- Documents obtenus.

II. RESULTATS

- 2.1.- Généralités
 - 2.1.1.- Allure générale d'un rejet en infra-rouge
 - 2.1.2.- Allure générale d'un sillage
 - 2.1.3.- Remarque
- 2.2.- Recherche de quelques critères de reconnaissance d'un rejet dans le sillage sur le document infra-rouge
- 2.3.- Comportement des rejets
 - 2.3.1.- Sous l'action du vent
 - 2.3.2.- Selon le type d'hydrocarbure

2.3.3.- Evolution avec le temps

2.4.- Essai de détermination de la masse d'hydrocarbures déversée par mille parcouru

2.5.- Essai d'interprétation des phénomènes thermiques à l'avant et le long de la coque du navire.

2.6.- Influence de l'appareillage

2.7.- Remarque

- CONCLUSION

- REFERENCES

Fascicule 2 (Annexes)

- Documents infra-rouge et calques d'interprétation Planches PL 1 à PL17
- Résultats des prélèvements des vedettes Fiches F1 à F3.
- Cartes C1 à C4.

REFERENCES.

- (1) P.Y. DESCHAMPS, F.X. FUSEY, P. LECOMTE, 1973, La détection des nappes d'hydrocarbures en mer dans le domaine de l'infra-rouge. Inter-Océan DUSSELDORF.
- (2) P. HORVATH 1974. Interprétation manual for the airborne remote sensor system. Department of transportation, United State Coast guards. WASHINGTON D.C.
- (3) J.C. MOURLON - Détection de nappes d'hydrocarbures en mer, expérimentation de Mars et Avril 1972 doamine infra-rouge et visible. Publications du CNEXO 1/7/72.
- (4) J.C. AUKLAND, J.D. SOHN, L.E. RASMUSSEN 1971. Multisensor detection and tracking of controlled oil spills. US coast guards report Mai 1971.
- (5) A. FONTANEL, J.C. RIVEREAU. La détection des nappes d'hydrocarbures sur la mer campagne IFP-CNEXO Juin 1973. Publication I.F.P.
- (6) Society of Naval Architects and Marine Engineers. Principle of Naval Architecture. NEW YORK 1967.
- (7) J.C. HOLLINGER, R.A. Mennella 1973. Oil Spills : measurements of their distribution and volumes by multifrequency microwave radiometry. Science July p. 54 , 55.
- (8) R. BURKHALTER 1973 Influence de l'appareillage sur l'aspect des images thermographiques des zones côtières. (non publié)