



Environnement
Canada

Environment
Canada

Service de la
protection de
l'environnement

Environmental
Protection
Service



Modèles de déplacement des hydrocarbures s'échappant d'une éruption en eau profonde dans la région du détroit de Lancaster

SPÉCIMEN

TD
182
R46
4-EC-82-2F

Rég. Québec Biblio. Env. Canada Library



38 501 837

Projet de développement technologique
Rapport SPE 4-EC-82-2F

Commission générale du contrôle des incidences environnementales
1982

SÉRIE DE RAPPORTS DU SERVICE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Les rapports sur le développement technologique décrivent l'outillage et les procédés techniques, ainsi que les résultats des études portant sur les laboratoires, les installations d'essai, les démonstrations, ou l'évaluation des équipements. Ces rapports constituent une source centrale de renseignements sur les activités et la mise en valeur du Service de la protection de l'environnement.

Les autres catégories de la série de rapports du S.P.E. comprennent les groupes suivants: règlements, codes et accords; politique et planification; analyse économique et technique; surveillance; guides de formation; rapports et exposés à l'enquête publique; et impacts environnementaux.

Les demandes relatives aux rapports du Service de la protection de l'environnement doivent être adressées au Service de la protection de l'environnement, ministère de l'Environnement, Ottawa, Ontario, Canada K1A 1C8.

**MODÈLES DE DÉPLACEMENT DES HYDROCARBURES S'ÉCHAPPANT D'UNE
ÉRUPTION EN EAU PROFONDE DANS LA RÉGION DU DÉTROIT DE
LANCASTER**

par

John R. Marko
Arctic Sciences Ltd.
Sidney (Colombie-Britannique)

pour le compte de la

Direction des interventions d'urgence
Direction générale du contrôle de l'impact sur l'environnement
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada

SPE 4-EC-82-2F

RÉSUMÉ

Des méthodes permettant de simuler les mouvements de surface des hydrocarbures s'échappant d'éruptions en eau profonde dans la mer ont été mises au point. Au cours des recherches, l'accent a été mis sur la prise en considération réaliste de l'étalement horizontal des hydrocarbures attribuables à la turbulence et aux courants non inclus dans la grille de 5 milles marins utilisée pour les courants résiduels. Les valeurs attribuées au courant dans cette grille ont été établies à partir de données récentes obtenues à l'aide de courantomètres fixes et de bouées dérivantes. Des simulations ont été effectuées pour quatre éruptions hypothétiques, dans quatre endroits différents du détroit de Lancaster et du secteur adjacent de la baie Baffin. Des scénarios distincts ont été élaborés pour chaque site en tenant compte de vents constants provenant des quatre points cardinaux, ainsi que des vents enregistrés en conditions réelles. Dans la plupart des cas, les rivages ont été considérablement contaminés, sauf en présence de vents d'ouest, qui, en général, tendent à pousser les hydrocarbures vers les zones plus libres de la région de la baie Baffin. Certaines incertitudes portant sur l'ampleur exacte de la diffusion horizontale ont été étudiées grâce à la comparaison de scénarios élaborés pour différentes valeurs d'un paramètre de diffusivité de base.

ABSTRACT

Procedures were developed to simulate sea surface movements of oil released from deep-water oil blowouts. Emphasis was laid upon making realistic allowances for the horizontal spreading of oil by turbulence and current-features not included in the 5 nautical mile grid of residual currents utilized. The current values in this grid were established through the use of recent data from moored current-meters and drift-buoys. Simulations were carried out for four hypothetical blowout locations in Lancaster Sound and in the immediately adjoining sector of Baffin Bay. Separate scenarios were calculated at each site for steady winds from each of the four basic directions and for actual recorded wind sequences. Considerable contamination of shorelines occurred in most cases, except under westerly winds which generally tended to sweep oil out into the more open Baffin bay region. Uncertainties regarding the appropriate magnitude of horizontal diffusion were explored through comparisons of scenarios computed for different values of a basic diffusivity parameter.

AVANT-PROPOS

Cette étude a été effectuée par J. Marko de Arctic Sciences Ltd., sous la surveillance de A. Milne (anciennement de Sciences océaniques et aquatiques, OAS, Victoria), qui agissait à titre de responsable scientifique. Ce rapport a été subventionné par le Programme sur les déversements d'hydrocarbures en milieu marin arctique (AMOP), Peter Blackall agissant à titre de coordonnateur de projet, et parrainé par la Division de la recherche et du développement, Direction des interventions d'urgence, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada.

REMERCIEMENTS

L'auteur désire remercier sincèrement M. C.F. Foster de Arctic Sciences Ltd. pour sa contribution à la programmation et au passage du modèle, ainsi que M. D. Topham (Frozen Sea Research Group), et MM. B.B. Maini et P.R. Bishnoi (Chemical Engineering Dept., University of Calgary) dont les conseils lui ont permis de mieux comprendre les recherches actuelles en matière d'éruption.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RESUMÉ	i
ABSTRACT	ii
AVANT-PROPOS	iii
REMERCIEMENTS	iv
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	viii
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	ix
1 INTRODUCTION	1
2 PARAMÈTRES D'ÉRUPTION ET COMPORTEMENT DES HYDROCARBURES SOUS L'EAU (PANACHE)	5
3 LES HYDROCARBURES À L'INTERFACE AIR-EAU	9
4 MODÈLE DE LA TRAJECTOIRE D'UNE NAPPE D'HYDROCARBURES	16
5 RESULTATS	25
5.1 Généralités	25
5.2 Résultats de la simulation et analyse	26
5.2.1 Site n° 1	27
5.2.2 Site n° 2	28
5.2.3 Site n° 3	33
5.2.4 Site n° 4	33
5.3 Simulations supplémentaires	34
5.4 Trajectoires des hydrocarbures dans la glace	35
REFERENCES	88
ANNEXE A LISTES DU PROGRAMME INFORMATIQUE	91
ANNEXE B CHAMPS DE VENT VARIANT EN FONCTION DU TEMPS	119

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
1	CARTE DU SECTEUR EST DU DETROIT DE PARRY ET DES EAUX ADJACENTES	2
2	EMPLACEMENT DES QUATRE SITES D'ÉRUPTION HYPOTHÉTIQUE ANALYSÉS DANS LA PRÉSENTE ÉTUDE	3
3a)	DISTRIBUTION EN POURCENTAGE DU DIAMÈTRE DES GOUTTELLETES D'HYDROCARBURES (TUYAU DE 2,2 cm DE DIAMÈTRE) (DÉBIT DU GAS = 1,9 m/s) (Topham, 1975)	4
b)	TEMPS DE MONTEE DES GOUTTELETTES D'HYDROCARBURES EN FONCTION DE LEUR DIAMÈTRE (Milne et Smiley, 1978)	4
4	VUE LATÉRALE DU PANACHE D'HYDROCARBURES EN RÉGIME PERMANENT LIBÉRÉ PAR L'ÉRUPTION D'UN PUIS SITUÉ PAR 770 m DE FOND, À RAISON DE 6 000 barils/jr	8
5	ILLUSTRATION DU MÉCANISME SELON LEQUEL DES CHANGEMENTS DANS LES CARACTÉRISTIQUES DE LA MARÉE ET DU VENT SEPARENT LES HYDROCARBURES DE LA ZONE IMMÉDIATEMENT ADJACENTE À UNE ÉRUPTION EN EAU PEU PROFONDE (Murray, 1972)	11
6	DONNÉES EXPERIMENTALES SUR L'ÉTALEMENT EN SURFACE DES HYDROCARBURES, DES MÉLANGES D'HYDROCARBURES-EAU ET DES BOUÉES DE POURSUITE EN FONCTION DU TEMPS	12
7	CONFIGURATIONS D'UNE DES NAPPES D'HYDROCARBURES DÉVERSÉE PAR LE TORREY CANYON (Smith, 1970)	14
8	CONFIGURATION SIMULÉE D'UN DÉVERSEMENT D'HYDROCARBURES	17
9	VITESSE MOYENNE DE DERIVATION DES BOUÉES, CALCULÉE À PARTIR DES DONNÉES OBTENUES À L'AIDE DE VINGT-CINQ BOUÉES MUNIES D'ANCRÉS FLOTTANTES ET SURVEILLÉES PAR LE SYSTÈME RAMS DU SATELLITE NIMBUS. CES BOUÉES ONT ÉTÉ LANCÉES AU COURS DES ÉTÉS 1977 ET 1978 (GRILLE DE 5 MILLES MARINS)	19
10	COURANTS MOYENS À UNE PROFONDEUR ALLANT DE 35 À 50 m, OBTENUS À L'AIDE DE COURANTOMÈTRES FIXES (DÉTROIT DE LANCASTER, ÉTÉS 1977 ET 1978) (Fissel et Wilton, 1978; Fissel, Lemon et Wilton, 1979)	20

Figure		Page
11	GRILLE DES COURANTS RESIDUELS UTILISEE DANS TOUS LES PASSAGES DE LA SIMULATION	21
12	VERSION EXPLICATIVE DE LA CARTE "CARREE" DU LITTORAL UTILISEE DANS TOUTES LES SIMULATIONS	37
13	SCÉNARIOS DE DÉRIVATION DES HYDROCARBURES DANS LA RÉGION DU SITE D'ÉRUPTION N° 1, AVEC DES VENTS DU NORD, D'EST, D'OUËST ET DU SUD NON FONCTION DU TEMPS	38
14	SCÉNARIOS DE DÉRIVATION DES HYDROCARBURES DANS LA RÉGION DU SITE D'ÉRUPTION N° 2, AVEC DES VENTS DU NORD, D'EST, D'OUËST ET DU SUD NON FONCTION DU TEMPS	50
15	SCÉNARIOS DE DÉRIVATION DES HYDROCARBURES DANS LA RÉGION DU SITE D'ÉRUPTION N° 3, AVEC DES VENTS DU NORD, D'EST, D'OUËST ET DU SUD NON FONCTION DU TEMPS	60
16	SCÉNARIOS DE DÉRIVATION DES HYDROCARBURES DANS LA RÉGION DU SITE D'ÉRUPTION N° 4, AVEC DES VENTS DU NORD, D'EST, D'OUËST ET DU SUD NON FONCTION DU TEMPS	72
17	CONFIGURATIONS DU 3 ^e JOUR, ERUPTION AU SITE N° 4 AVEC DES VENTS OUEST DE L'ANNEXE B, EN FONCTION DE	85
	a) $D = 2 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$	
	b) $D = 2 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$	
18	CONFIGURATIONS DU 4 ^e JOUR, ERUPTION AU SITE N° 2 AVEC DES VENTS NORD DE L'ANNEXE B, EN FONCTION DE	86
	a) $D = 2 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$	
	b) $D = 2 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$	
19	VECTEURS MOYENS DE LA VITESSE DE DEPLACEMENT DE LA GLACE DE SEPTEMBRE À MAI DANS HUIT SECTEURS DE L'EST DU DETROIT DE PARRY	87

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
1	DONNEES SUR LES EMBLACEMENTS DES ERUPTIONS	1
2	TAUX HYPOTHETIQUES DE PERTES D'HYDROCARBURES SURVENANT AU COURS DES SIMULATIONS	24
3	DISTRIBUTION EN POURCENTAGE DE LA VITESSE ET DE LA DIRECTION DES VENTS DANS LE CARRÉ II DE L'ARCTIQUE CANADIEN	26
4	ACCUMULATION D'HYDROCARBURES SUR LES RIVAGES (EN BARILS), DEVERSEMENTS DU SITE N° 1	29
5	ACCUMULATION D'HYDROCARBURES SUR LES RIVAGES (EN BARILS), DEVERSEMENTS DU SITE N° 2	30
6	ACCUMULATION D'HYDROCARBURES SUR LES RIVAGES (EN BARILS), DEVERSEMENTS DU SITE N° 3	31
7	ACCUMULATION D'HYDROCARBURES SUR LES RIVAGES (EN BARILS), DEVERSEMENTS DU SITE N° 4	32

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

D'après les données existantes sur les mélanges hydrocarbures et gaz et leur comportement en mer profonde, il semble que les hydrocarbures libérés lors de l'éruption d'un puits situé sur le fond marin se dispersent sur une vaste superficie, dépassant probablement 10 km^2 , avant même d'atteindre la surface de la mer. Les effets d'entraînement et la formation d'une couronne de vagues, qui tendent parfois à circonscrire les hydrocarbures lors d'éruptions en eau peu profonde, sont négligeables aux profondeurs considérées; même la formation d'une nappe dans la zone immédiatement adjacente au puits ne peut être présumée avec certitude.

Des simulations du déplacement des hydrocarbures en surface ou dans la zone près de la surface ont été effectuées. Ces simulations tiennent compte des dernières connaissances sur les courants de l'est du détroit de Parry et font appel à une représentation de l'étalement qui tient compte des connaissances actuelles sur la turbulence de surface réelle et horizontale. L'amplitude prévue pour ce dernier phénomène, exprimée en fonction d'un paramètre de diffusivité apparente, est déterminante pour la largeur des trajectoires calculées, sauf dans les régions dont les gradients de courants sont forts.

D'après les scénarios de déplacement d'hydrocarbures élaborés pour les quatre emplacements d'éruption choisis, la pollution des rives serait de légère à grave, particulièrement dans le voisinage des caps, comme le cap Hay et le cap Sherard. Des quatre configurations éoliennes de base, seuls les vents d'ouest ont une tendance générale à pousser les hydrocarbures à l'extérieur du détroit de Lancaster vers les eaux plus libres de la baie Baffin. Bien que les importantes lacunes dans les données sur les courants de surface atténuent quelque peu l'exactitude des simulations, il semble que les vents du sud puissent déplacer les hydrocarbures du côté sud au côté nord du détroit de Parry, à contre-courant du schéma d'écoulement qui prévaut à l'est de l'axe cap Warrender-péninsule Borden.

Les vents du nord et les vents d'est sont généralement ceux qui entraînent la plus sévère pollution des rives dans le détroit de Lancaster. Cela est attribuable à leur tendance à détourner les hydrocarbures du fort courant d'est présent le long de la limite sud du détroit de Parry.

D'autres travaux seront nécessaires pour l'élaboration de futurs modèles de déplacement des hydrocarbures. Parmi les plus importants, mentionnons les suivants:

- 1) Il faudra procéder à la mesure des courants près de la surface à l'aide de bouées dérivantes dans les secteurs encore très peu étudiés du centre et de l'ouest du détroit de Lancaster.
- 2) Il faudra aussi procéder à la compilation continue des données chronologiques provenant des courantomètres près de la surface afin de permettre l'incorporation des dépendances temporelles dans les grilles de courants résiduels des futurs modèles. Une variation relevée dans une période approximative de deux semaines dans l'est du détroit de Lancaster (Fissel et Wilton, 1978) pourrait avoir une influence importante sur les périodes de simulation d'une semaine ou plus nécessaires à l'évaluation de l'impact.
- 3) Il faudrait également effectuer des études supplémentaires sur l'étalement à grande échelle des nappes de surface et qui, éventuellement, pourraient faire appel à une surveillance serrée des déversements accidentels réels ou, peut-être, à l'enregistrement des modèles de déplacement de groupes de bouées de poursuite des déversements d'hydrocarbures. Les hausses apparentes de diffusivité attribuables aux vents, aux courants rapides et à la proximité du littoral ou de zones d'eaux peu profondes devraient aussi être évaluées.
- 4) D'autres travaux sur le rapport entre le facteur d'évaluation du vent (présumé fixe à 3,5% dans notre modèle) et l'histoire des vents doivent aussi être entrepris. Le fait que ce facteur peut varier entre 1 et 7% selon la durée du vent (Aubin et Murty, communication personnelle) doit être examiné plus en détail. Il serait bon que la composante éolienne du déplacement puisse être étudiée à l'aide de bouées de poursuite de déversements parallèlement avec les données locales sur les vents et les profils de courants.
- 5) Il faudrait enfin établir une procédure qui permettrait de bien combiner les données sur le vent et sur les configurations de rivage afin de mettre au point une représentation condensée et facilement interprétable de la distribution géographique de la menace de pollution.

1 INTRODUCTION

Comme des travaux d'exploration vont peut-être être entrepris en vue de trouver des hydrocarbures et du gaz dans les régions au large du secteur est du détroit de Parry (voir figure 1), toute une masse de données océanographiques et de laboratoire portant sur l'évolution des hydrocarbures déversés dans cette région a été recueillie. L'étude dont il est question ici constitue une tentative d'incorporer cette information dans un modèle décrivant les mouvements des hydrocarbures s'échappant d'éruptions de puits en eau profonde. Les éruptions hypothétiques sont censées se produire en quatre endroits précis du détroit de Parry. Ces emplacements sont illustrés à la figure 2, dans la grille de 5 milles marins utilisée pour le modèle. Les renseignements sur la profondeur des eaux et les détenteurs de concessions de la région sont donnés au tableau 1 en fonction de chaque site.

TABLEAU 1 DÉTAILS SUR LES EMPLACEMENTS DES ÉRUPTIONS HYPOTHÉTIQUES

Site n°	Coordonnées	Profondeur des eaux	Détenteurs de concessions
1	74°7,5'W 89°33'W	280 m	Magnorth Ltd.
2	73°57,5'N 84°42'W	458 m	Ray Petroleum Ltd.
3	74°12,5'N 81°22'W	770 m	Norlands Petroleum Ltd.
4	74°37,5'N 78°32'W	549 m	Petro-Canada Ltd.

C'est aux chapitres 2 et 3 que la question est abordée: les données existantes y sont recensées et reliées aux caractéristiques de transport sous-marin (panache) et superficiel des hydrocarbures libérés. Au chapitre 4, un modèle compatible avec ces données est présenté, puis appliqué à chaque site d'éruption hypothétique en fonction d'une vaste gamme de conditions éoliennes, réelles et artificielles. Les résultats de ces simulations sont présentés et analysés au chapitre 5, compte tenu du fait que les eaux sont généralement libres de glace en été. Les complications résultant de la présence du manteau glaciaire typique de l'automne et de l'hiver sont ensuite prises en considération, puis des comparaisons sont établies entre la distribution des hydrocarbures au cours de ces deux saisons et celle qui prévaut en été. Enfin, nous concluons et faisons des recommandations en vue de l'élaboration d'autres modèles.

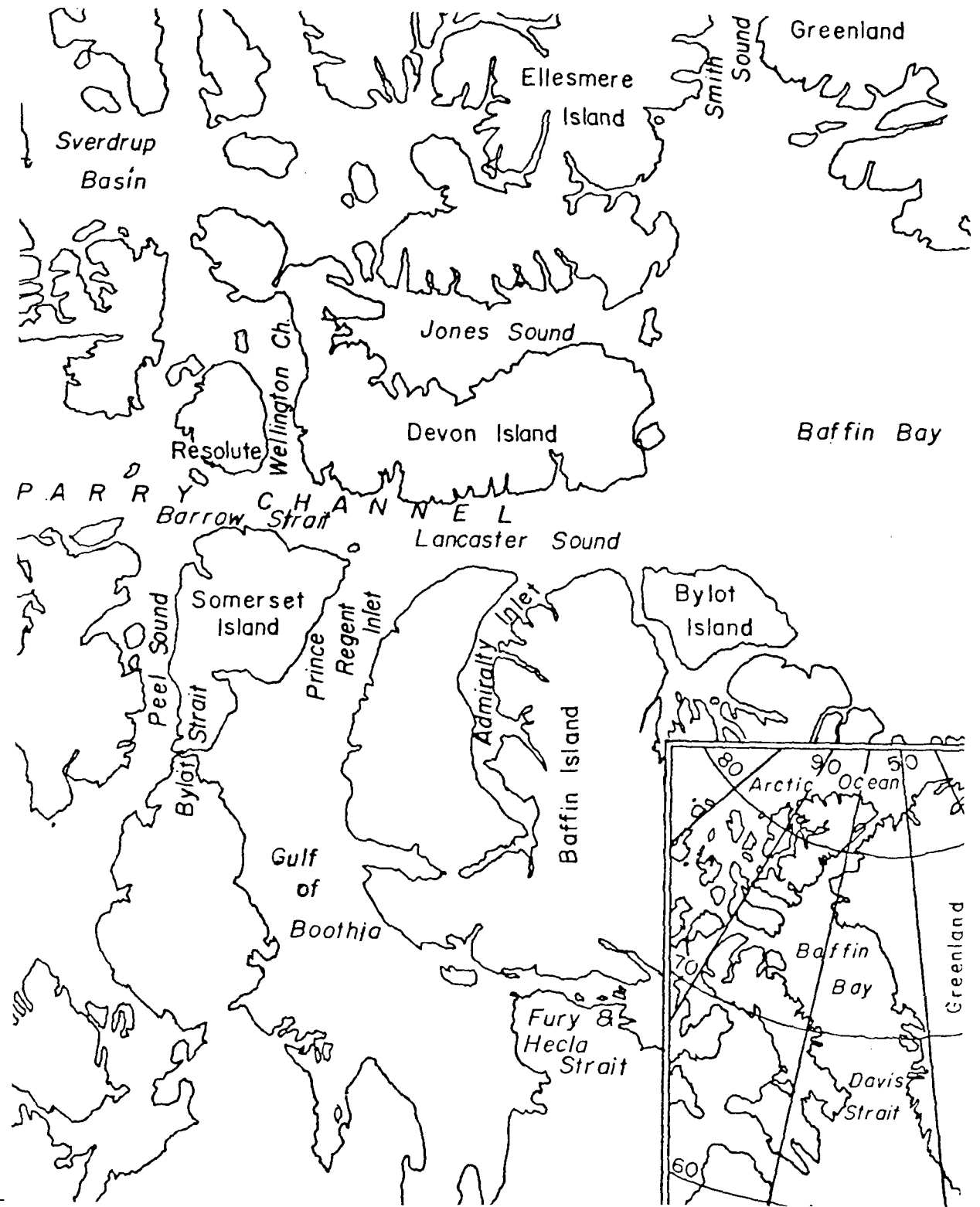


FIGURE 1 CARTE DU SECTEUR EST DU DÉTROIT DE PARRY ET DES EAUX ADJACENTES. La carte en cartouche indique l'emplacement du détroit de Parry par rapport à la baie Baffin et à l'océan Arctique.

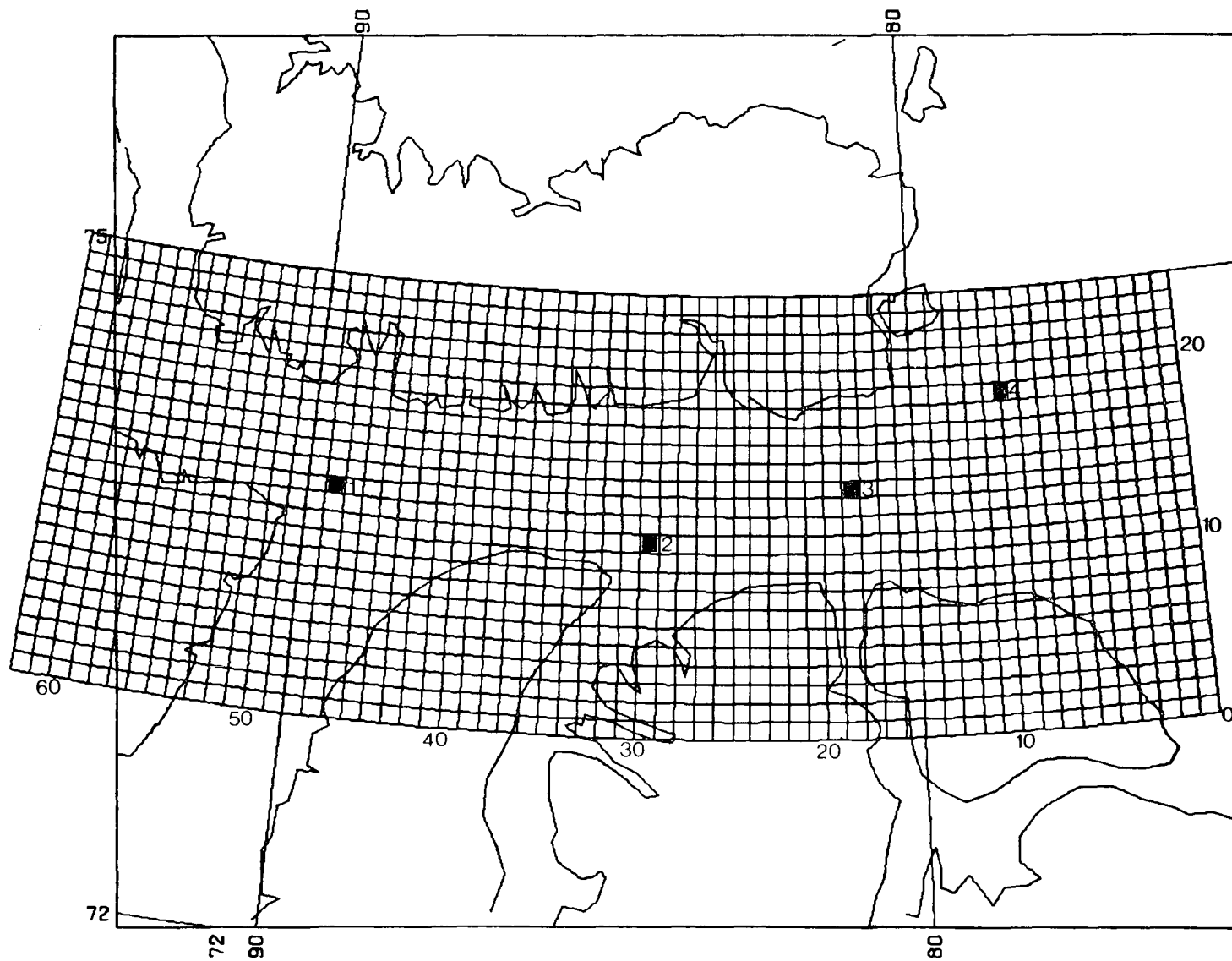


FIGURE 2

EMPLACEMENT DES QUATRE SITES D'ÉRUPTION HYPOTHÉTIQUE ANALYSÉS DANS LA PRÉSENTE ÉTUDE. La grille de 5 milles marins utilisée pour les simulations apparaît en surimpression et commence dans le coin inférieur droit. Dans le texte, le carreau situé dans la colonne n_1 et la rangée n_2 est indiqué par les symboles (n_1, n_2) .

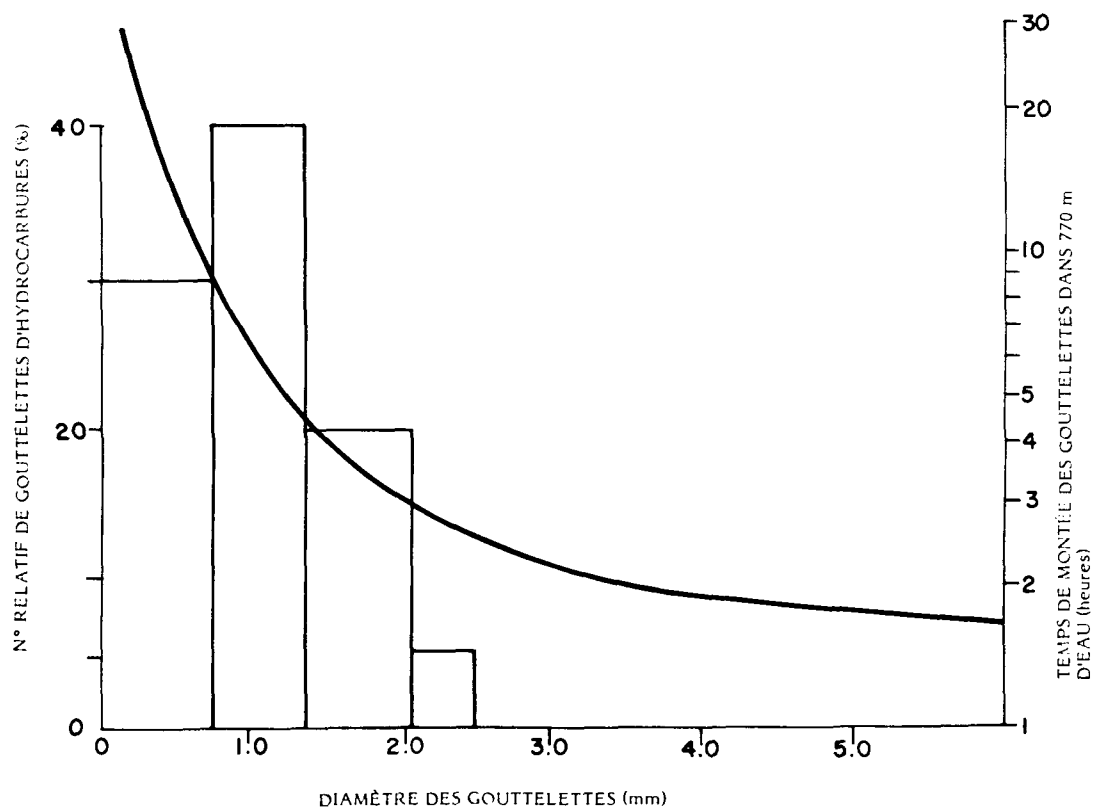


FIGURE 3 a) DISTRIBUTION EN POURCENTAGE DU DIAMÈTRE DES GOUTTELETTES D'HYDROCARBURES (TUYAU DE 2,2 cm DE DIAMÈTRE) (DÉBIT DE GAZ = 1,9 m/s) (Topham, 1975)

b) TEMPS DE MONTÉE DES GOUTTELETTES D'HYDROCARBURES EN FONCTION DE LEUR DIAMÈTRE (Milne et Smiley, 1978)

2 PARAMÈTRES D'ÉRUPTION ET COMPORTEMENT DES HYDROCARBURES SOUS L'EAU (PANACHE)

Nous nous sommes servis, dans notre étude, des principaux paramètres définis par Milne et Smiley (1977) pour une éruption dans l'est du détroit de Parry, dans leur évaluation des risques éventuels de pollution du détroit de Lancaster. Milne et Smiley ont évalué les débits quotidiens d'hydrocarbures et de gaz respectivement à 950 m^3 (6 000 barils) et $2\,850 \text{ m}^3$, en supposant que la saturation du gaz dans les hydrocarbures survienne à une profondeur de 3 000 m. Ce mélange hydrocarbures-gaz est censé s'échapper d'un tube de sortie de 15 cm de diamètre situé au fond de la mer, et s'écouler en "piston" par masses successives de gaz et d'hydrocarbures. Dans un tel cas, les débits de sortie correspondants du gaz et des hydrocarbures sont respectivement de 1,9 m/s et 0,6m/s (Milne et Smiley ont utilisé une valeur combinée de 0,62 m/s).

Les mesures effectuées en laboratoire par Topham (1975) sur des débits semblables de gaz et d'hydrocarbures ont révélé que ce type d'écoulement entraînait une fine dispersion des gouttelettes d'hydrocarbures. La distribution détaillée du diamètre des gouttelettes semble fortement fonction du débit de sortie, du tube et du type d'hydrocarbures. La distribution en pourcentage de cent diamètres de gouttelettes choisis au hasard est illustrée à la figure 3, pour un mélange pétrole/gaz Norman-Wells s'échappant dans la mer à partir d'un tube de 2,2 cm de diamètre. Dans ce cas, le débit du gaz au tube de sortie est de 1,9 m/s, ce qui correspond au cas hypothétique de Milne et Smiley.

Toutefois, l'application directe de cette distribution (figure 3) au cas réel n'est pas entièrement justifiée à la lumière des résultats complémentaires obtenus par Topham; il semble en effet que, même à des débits plus lents et avec des tubes de diamètre supérieur (7,7 cm), la dispersion des hydrocarbures soit plus fine, c.-à-d. que toutes les gouttelettes observées aient un diamètre inférieur à 0,5 mm.

La détermination de la nature précise de la distribution granulométrique des gouttelettes à proximité du tube de sortie de la tête du puits est très importante pour l'établissement des caractéristiques subséquentes du panache d'hydrocarbures ascendants. La grosseur d'une gouttelette dépend de la vitesse à laquelle celle-ci s'élève dans la colonne d'eau, poussée par sa propre force ascensionnelle. Les temps de montée calculés pour des eaux de 770 m de profondeur (soit la profondeur de notre site le plus profond, le site n° 3) sont donnés à la figure 3 en fonction de la gamme appropriée de tailles des gouttelettes.

La dispersion des temps de montée des gouttelettes permet une dispersion similaire de la dérivation de chacune d'elles sous l'action des courants horizontaux dans la colonne d'eau. Les dimensions linéaires de la "tache" d'hydrocarbures ascendants qui en découlent peuvent être obtenues de façon approximative en multipliant certaines vitesses moyennes de courants et la différence dans les temps de montée des gouttelettes les plus grosses et des gouttelettes les plus petites. Dans le cas de la distribution de la figure 3, cette différence entre les temps de montée est d'environ huit heures. Une réduction plus prononcée de la taille des gouttelettes jusqu'à moins de 0,5 mm, telle que révélée par les résultats obtenus par Topham avec des tubes à gros diamètre, pourrait porter cet écart à 20 ou 30 heures et donc tripler ou quadrupler les dimensions linéaires de la nappe.

Quoiqu'il en soit, en l'absence d'autres données sur la taille des gouttelettes, nous avons posé comme valable la distribution établie par Topham (figure 3) pour toutes les autres considérations sur le panache des hydrocarbures ascendants. Les limites du panache ont été calculées en fonction de valeurs types pour les vitesses des courants dans les portions supérieure, moyenne et inférieure de la colonne d'eau. Ces vitesses sont indiquées à la figure 4, de même que le contour calculé pour le panache. Ce dernier correspond en fait aux trajectoires des gouttelettes les plus petites et les plus grosses. Les indications de concentrations ponctuelles d'hydrocarbures font ressortir la rapidité de la dilution de la masse d'hydrocarbures à mesure qu'elle s'élève dans la colonne. La longueur de la tache elle-même est d'environ 5 km, 85% des hydrocarbures étant concentrés à une distance de moins de 1 kilomètre du bord de la tâche. Si tous les hydrocarbures atteignent la surface des eaux et y demeurent, l'épaisseur de la nappe sera d'environ 0,16 mm.

En supposant un allongement géométrique (le rapport des dimensions transversale et longitudinale) de 0,2, ces résultats indiquent que la masse des hydrocarbures ascendants couvre en tout temps donné une surface d'environ 5 km² avant même de commencer à être dispersée sous l'action des vents et des courants de surface. Cette importante tache initiale avait été négligée dans un modèle antérieur (Imperial, 1978), dans lequel l'entraînement des gouttelettes dans le courant vertical créé par la masse des bulles de gaz s'élevant rapidement était posé comme indépendant de leur taille. Cette représentation ne tenait donc pas compte de la séparation graduelle par diffusion des colonnes d'hydrocarbures et de gaz ni, ce qui est plus grave, de la formation accélérée des hydrates gazeux dans les eaux dont la profondeur dépasse 400 m. Ce dernier phénomène, selon les données obtenues par Maini et Bishnoi (1979), stoppe l'écoulement de gaz à un

certain point de la portion inférieure de la colonne d'eau pour le remplacer par un nuage très étalé de fragments d'hydrates (densité à $15,5^{\circ}\text{C} = 0,94$) en ascension lente. De plus, le gaz qui s'échappe de la solution des gouttelettes d'hydrocarbures est immédiatement transformé en hydrate, formant autour de chaque gouttelette une dense pellicule externe. Ce phénomène accroît encore le temps de montée des gouttelettes et donc les dimensions linéaires de la tache.

Les complications attribuables soit à la finesse de la première dispersion des gouttelettes, soit à la formation d'hydrates solides ne seront pas analysées plus en détail ici. Les données expérimentales pour chaque cas sont encore trop fragmentaires pour que nous puissions tenir compte de ces effets dans une représentation quantitative du panache. Quoiqu'il en soit, soulignons que le point de départ de l'étalement des hydrocarbures près de la surface ou à la surface même représente, selon toutes probabilités, une sous-évaluation de la superficie initiale réelle. Néanmoins, l'évaluation prudente des dimensions de la tache (5 km^2) dépasse encore de beaucoup le régime dans lequel les mécanismes d'étalement dominés par la tension superficielle et la viscosité, tels que décrits par Fay (1971) et Blokker (1964), trouvent une quelconque application.

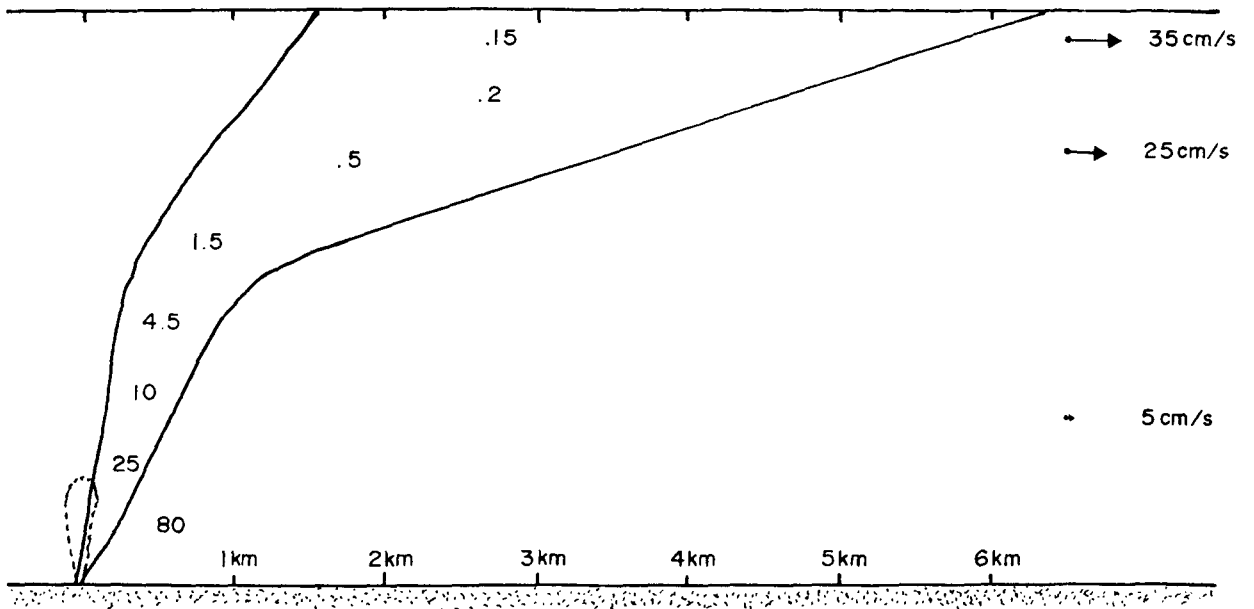


FIGURE 4

VUE LATÉRALE DU PANACHE D'HYDROCARBURES EN RÉGIME PERMANENT LIBÉRÉ PAR L'ÉRUPTION D'UN PUIIS SITUÉ PAR 770 m DE FOND À RAISON DE 6 000 BARILS/JOUR. Les données sur la distribution granulométrique et le temps de montée des gouttelettes de la figure 2 ont été utilisées pour ce diagramme; les vitesses de courant indiquées ont été présumées applicables pour les couches de 0 à 121 m, 121 à 378 m et 378 à 770 m. Le gaz naturel libéré avec les hydrocarbures est censé se transformer totalement en particules solides d'hydrate gazeux à un point donné de la colonne d'eau, ce qui est indiqué par la "poche" en ligne pointillée au-dessus de la tête du puits.

3 LES HYDROCARBURES À L'INTERFACE AIR-EAU

L'étude sans doute la plus complète à ce jour sur la distribution des hydrocarbures s'échappant de l'éruption d'un puits a été effectuée par Murray *et al* (1970) à l'occasion d'une éruption réelle survenue dans le Golfe du Mexique. Bien que la profondeur des eaux (environ 50 pi) et les températures élevées de cette région nous empêchent de transposer directement les résultats de cette étude aux cas qui nous intéressent, les observations détaillées faites par Murray et ses confrères donnent un aperçu valable des caractéristiques éventuelles des mouvements de surface des hydrocarbures s'échappant d'un puits en eau profonde.

Ainsi, les chercheurs ont relevé que la nappe située au-dessus de la tête du puits se place dans un angle variant entre 10° et 40° , à droite du vent de surface, apparemment sous l'influence de la composante de marée dominante du courant de surface local. La forme générale de la nappe est illustrée dans la partie A de la figure 5. Ses bords tendent à avoir une épaisseur d'une fraction de micron, tandis qu'à l'intérieur, de grandes superficies d'hydrocarbures concentrés plus épais ont pu être observées. Murray (1972) a montré en détail que la portion de la nappe encore attachée à la zone adjacente à la tête du puits voit sa forme passer d'un comportement linéaire, ($y \propto x$), à un comportement parabolique, ($y \propto x^{1/2}$), avant de se détériorer en un régime "biseauté" plus complexe en s'éloignant de l'emplacement du puits. Il a également été démontré que ces formes correspondent à celles d'un étalement soumis aux mécanismes de diffusion de Fick (Murray, 1972). Selon la théorie de Fick, la différence entre le mouvement des hydrocarbures de surface et celui de la couche supérieure des eaux est minime. L'analyse des données sur la forme et les dimensions des nappes effectuée par Murray correspond à un coefficient de diffusion apparente D, variant entre $1,5 \times 10^5$ et $2,0 \times 10^5$ cm²/s. Les chercheurs ont également relevé une apparente augmentation temporaire de ces quantités associée à la forte turbulence provoquée par des vents violents.

L'étude de la diffusivité à partir d'une source linéaire a révélé que la superficie de la portion visible de la nappe d'hydrocarbures "A" est fonction des facteurs suivants:

$$A \propto \frac{Q^3}{DU^2} \quad (1)$$

où: Q = débit des hydrocarbures;
 D = coefficient de diffusion; et
 U = vitesse du courant de surface.

Des superficies variant entre 10 et 20 km² ont été observées, mais les données étaient insuffisantes pour permettre de vérifier l'équation (1).

L'un des principaux apports de l'étude de Murray a été de découvrir un mécanisme par lequel les hydrocarbures sont visiblement étalés dans des zones séparées du site de l'éruption. Ce processus, illustré à la figure 5, nécessite la formation d'un point faible dans la nappe entre les hydrocarbures nouvellement libérés et les hydrocarbures libérés depuis un certain temps. L'apparition d'un tel point faible dépend de changements dans la direction des vents ou des courants dominants, changements qui peuvent entraîner la rupture de la nappe en plusieurs nappes distinctes. Ces nappes se déplacent ensuite librement avec la couche de surface des eaux jusqu'à ce qu'elle soient dissipées par évaporation et dispersion ou qu'elles atteignent les rives.

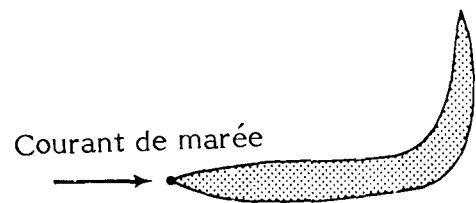
Une bonne partie des données disponibles sur la superficie des nappes en fonction du temps est présentée à la figure 6. Les superficies incluses dans cette figure correspondent à de petits déversements contrôlés d'hydrocarbures et de mélanges hydrocarbures-eau; aux gros dégagements accidentels d'hydrocarbures causés par le naufrage du Torrey Canyon et les fuites du Santa Barbara; et à un pseudo-déversement d'hydrocarbures au cours duquel la zone de déversement, circonscrite par trois bouées de poursuite indépendantes, a été surveillée (Fissel, Lemon et Wilton, 1979). Sans tenir compte des données sur la mélange hydrocarbures-eau, mal caractérisées et contradictoires, il est quand même possible d'obtenir une représentation passable du rapport entre le temps et la superficie à l'aide d'une simple équation de puissance:

$$A = 1,6t^{1,52} \quad (2)$$

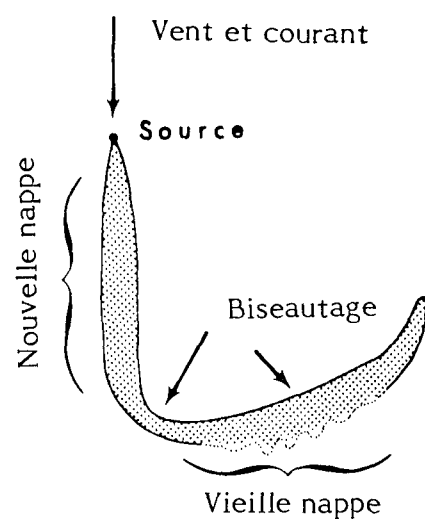
A = superficies en mètres carrés
 t = temps en secondes

Ce rapport est plus fort que la dépendance temporelle linéaire prévue dans le cas d'une diffusion simple de Fick. Les déviations à la loi de Fick semblent être générales et non pas seulement reliées aux propriétés de la nappe; en effet des résultats semblables ont été obtenus dans les expériences de diffusion avec un traceur au colorant effectuées par Okubo (1971).

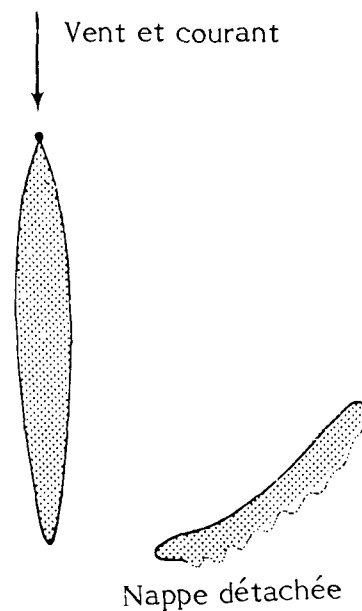
NAPPE D'ADVECTION DE MARÉE
Vents faibles ou mer calme



PHASE DE TRANSITION



NAPPE DE COURANT CONTINU
(DIFFUSION ET ADVECTION)



11

FIGURE 5

ILLUSTRATION DU MÉCANISME SELON LEQUEL DES CHANGEMENTS DANS LES CARACTÉRISTIQUES DE LA MARÉE ET DU VENT SÉPARENT LES HYDROCARBURES DE LA ZONE IMMÉDIATEMENT ADJACENTE À UNE ÉRUPTION EN EAU PEU PROFONDE (de Murray (1972)).

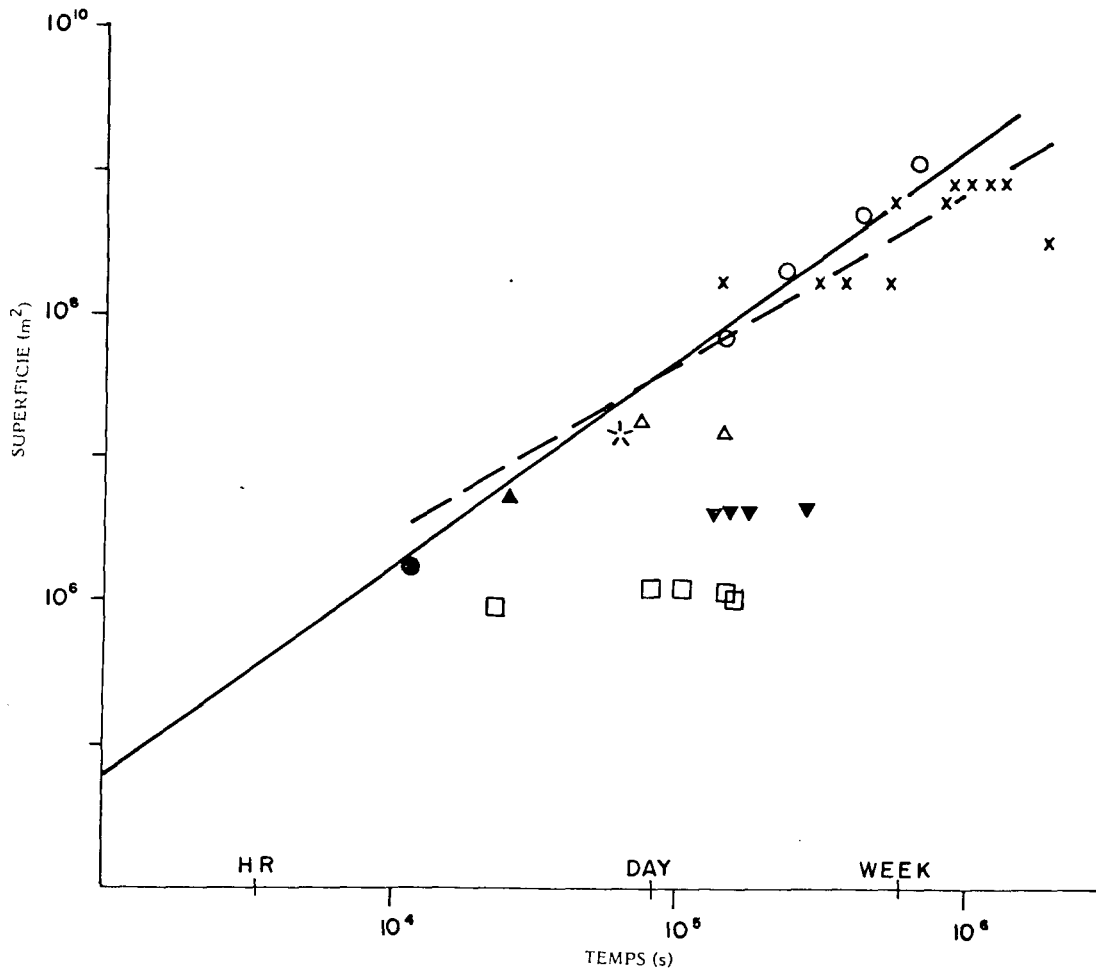


FIGURE 6

DONNÉES EXPÉRIMENTALES SUR L'ÉTALEMENT EN SURFACE DES HYDROCARBURES, DES MÉLANGES HYDROCARBURES-EAU ET DES BOUÉES DE POURSUITE EN FONCTION DU TEMPS.

(x) 2×10^4 tonnes; (▲) 80 barils de pétrole; (●) 30 barils de pétrole; (○) fuite du Santa Barbara; (▼) 110 barils d'hydrocarbures-eau; (Δ) 90 barils d'hydrocarbures-eau; (□) 25 barils d'hydrocarbures-eau; (✱) bouées de poursuite. La ligne continue démontre l'hypothèse utilisée pour dériver l'équation (2). La ligne en pointillé est un ajustement linéaire, $A \propto t$, aux données conformément à la théorie de la diffusion simple de Fick.

Quoiqu'il en soit, l'équation (2) est insatisfaisante en elle-même parce qu'elle ne tient compte d'aucune dépendance du rapport superficie de la nappe/temps vis-à-vis du volume d'hydrocarbures. D'après Smith (1970) et Jeffreys (1973), il semble amplement prouvé qu'après une période initiale d'expansion rapide, la superficie de la nappe se stabilise, du moins temporairement, à une valeur plus ou moins liée au volume d'hydrocarbures déversés. Contrairement à la superficie d'une tache d'eau superficielle donnée, qui s'étend indéfiniment par diffusion, la superficie d'une nappe d'hydrocarbures est déterminée par un mélange complexe de processus selon lequel les hydrocarbures non seulement sont diffusés en quantités non visibles, mais aussi passent alternativement de la portion épaisse à la portion mince de la nappe.

À notre connaissance, la meilleure description du comportement à long terme d'une nappe provient de l'étude du déversement du Torrey Canyon (1970) effectuée par Smith. Bien que le volume des hydrocarbures de la nappe choisie soit indéterminé (les points qui apparaissent à la figure 6 sont dits équivalents à 2×10^4 tonnes, mais l'incertitude des données tant sur le volume d'hydrocarbures déversés que sur leur répartition relative entre plusieurs nappes ne donnent à ce chiffre qu'une valeur d'approximation), les relevés qui ont été faits presque quotidiennement des dimensions et de la forme de la nappe (figure 7) permettent de déterminer un grand nombre des caractéristiques des masses d'hydrocarbures dérivant librement. Smith a relevé que la position quotidienne de la nappe pouvait être prévue très précisément en supposant que les hydrocarbures se déplacent parallèlement à la direction du vent moyen de surface quotidien, et à une vitesse égale à 3,4% de celle du vent. La nappe a eu d'abord tendance à s'allonger en direction de ce déplacement; puis, après une première période d'expansion (la nappe a été étudiée pour la première fois quelque 48 heures après le premier rejet d'hydrocarbures), ses dimensions sont demeurées relativement inchangées à 150 km^2 jusqu'au 25 mars (figure 7), date à laquelle une expansion soudaine jusqu'à 450 km^2 a pu être observée. Ce dernier phénomène a été suivi par une autre période de stabilité relative.

Soulignons que cette seconde période d'expansion a coïncidé avec le moment où la nappe se trouvait à proximité d'une importante étendue de terre. Comme, au cours de cette période, le bilan des vents a été faible, il est fort possible que cette expansion soit attribuable à une augmentation effective du taux de diffusion horizontale associée aux régimes plus complexes des courants de surface dans les zones littorales. Les courants de marée anormaux, les courants sagittaux et autres courants locaux, bien qu'ils

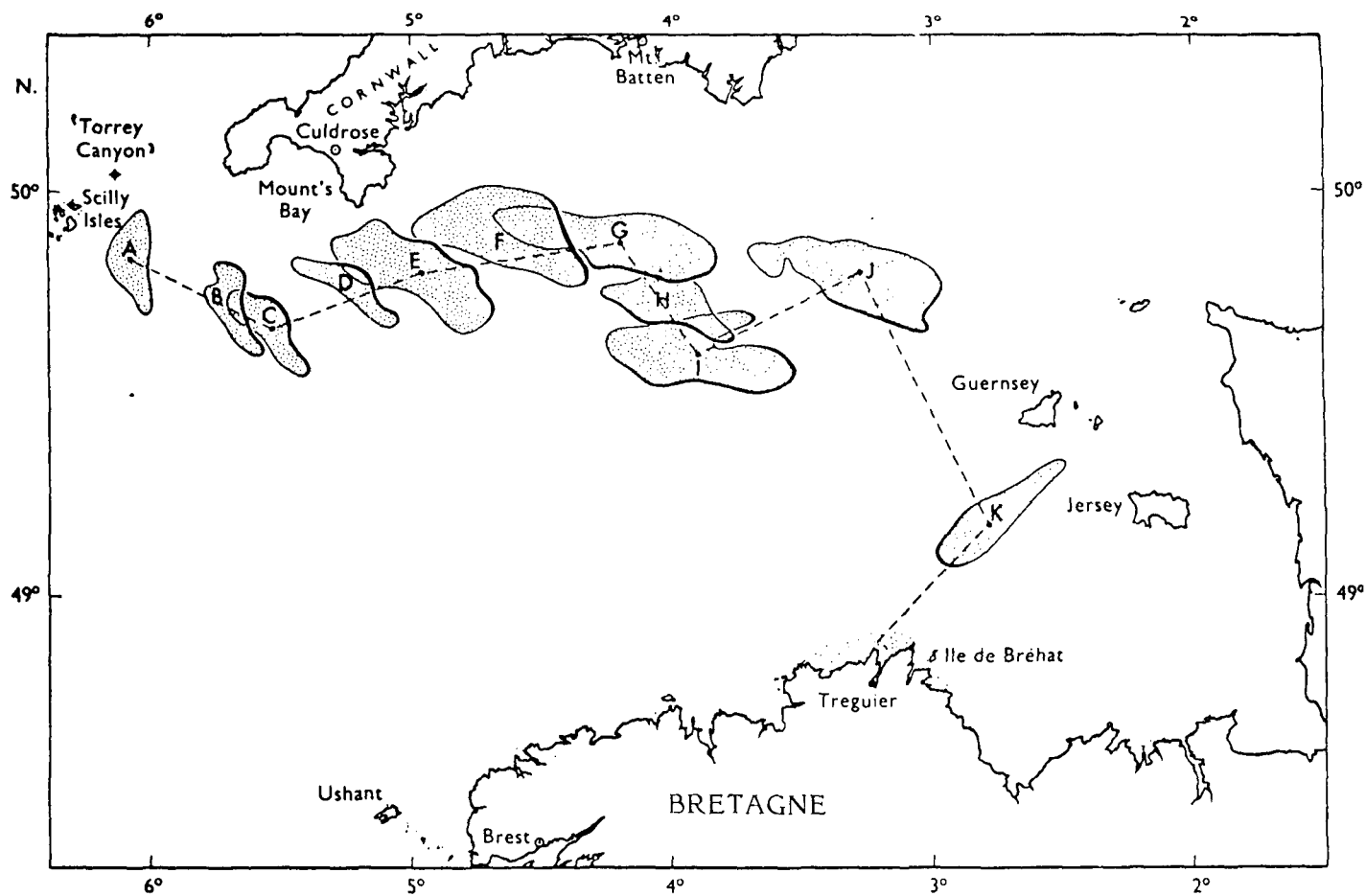


FIGURE 7

CONFIGURATIONS D'UNE DES NAPPES D'HYDROCARBURES DÉVERSÉS PAR LE TORREY CANYON. A, 20 mars, 07.00 h; B, 22 mars entre 06.00 et 08.00 h; C, 23 mars, entre 06.00 et 07.00 h; D, 25 mars, entre 06.00 et 07.00 h; E, 26 mars, 13.00 h; F, 27 mars, entre 06.00 et 09.00 h; G, 28 mars, entre 05.45 et 11.00 h; H, 30 mars, entre 06.00 et 11.30 h; I, 1^{er} avril, 09.00 h; J, 4 avril, entre 08.45 et 11.50 h; K, 8 avril, autour de midi (tiré de Smith (1970)).

ne soient pas vraiment dus au hasard, ni nécessairement de nature turbulente, contribuent à l'expansion des nappes d'hydrocarbures à la dérive, mais il est difficile de distinguer leurs effets propres de ceux de l'augmentation locale du coefficient de diffusion. Ce phénomène a été prévu par Ahlstrom (1975) lors de l'élaboration d'une simulation générale de déversement où il était suggéré que les complications introduites par les structures du rivage augmentaient d'un ordre de grandeur le coefficient de diffusion.

Enfin, toute considération sur la distribution des hydrocarbures déversés doit tenir compte de la perte de leurs composantes hydrosolubles et volatiles ainsi que de leur dispersion en faibles concentrations loin des zones observées de contamination.

Compte tenu de la fine dispersion initiale des hydrocarbures en gouttelettes et de l'ascension lente qui s'ensuit, il semble raisonnable de prévoir qu'environ 5% des constituants hydrosolubles d'un pétrole de type Norman Wells (Milne et Smiley, 1977) seront entièrement solubilisés avant d'atteindre la surface des eaux.

Les taux d'évaporation sont moins bien connus et dépendent beaucoup de la nature de la masse d'hydrocarbures en surface (c.-à-d. du pourcentage des pellicules minces ou épaisses, de mousse ou de boules de goudron) et des paramètres externes connexes comme la vitesse des vents. Selon Kreider (1971), la plupart des composés de carbone volatils, jusqu'à C_{12} , s'évaporent au cours des premières 24 heures d'exposition en surface. L'évaporation des composés plus lourds, jusqu'à C_{25} , se poursuit ensuite pour une courte période. La perte totale du volume d'hydrocarbures pendant les deux premiers jours suivant la formation d'une nappe semble pouvoir être évaluée à environ 45 %.

Les méthodes d'évaluation des taux de pertes attribuables au processus de dispersion sont encore très incertaines. Le fait que la séparation horizontale ou verticale d'une masse de gouttelettes d'hydrocarbures par rapport au corps de la nappe ne rende peut-être pas compte à elle seule de la dissipation pose certains problèmes. Au contraire, en effet, en présence d'une réduction tardive dans le régime des vagues, les hydrocarbures peuvent monter de nouveau à la surface soit pour rejoindre la nappe d'où ils sont issus, soit pour former une masse indépendante. La dissipation réelle met en jeu à la fois les processus naturels de biodégradation, de sédimentation et d'oxydation, et le processus de diffusion graduelle en faibles concentrations des particules d'hydrocarbures. Notre évaluation du taux de perte probable attribuable à la dispersion se situe plutôt au bas de l'échelle des taux donnés par Blaikely et al (1977), échelle établie d'après des essais et observations plutôt brefs, effectués sur le terrain, en mer du Nord.

4 MODÈLE DE LA TRAJECTOIRE D'UNE NAPPE D'HYDROCARBURES

Notre méthode de modélisation des mouvements des hydrocarbures à la surface des eaux ou près de cette surface dans le détroit de Lancaster et le détroit de Barrow suit en gros la démarche adoptée par Ahlstrom (1975) pour sa simulation. Comme nous possédions des données détaillées sur les courants de surface dans les zones choisies, nous avons effectué nos calculs sur la grille de 5 milles marins illustrée à la figure 2.

Le débit quotidien continu de 950 m^3 ou 6 000 barils de l'éruption hypothétique est représenté par une série de petits déversements distincts de petits "lots" d'hydrocarbures survenant à des intervalles uniformes dans le temps. Chaque lot contenait 750 barils d'hydrocarbures; les intervalles utilisés étaient de 3 heures. Ces valeurs ont été choisies pour deux raisons: 1) pour simuler la vitesse à laquelle des nappes d'hydrocarbures dérivant librement se détachent de la zone immédiate de l'éruption, à cause de modification dans les marées et les vents; et 2) pour assurer, dans chaque lot, un volume d'hydrocarbures suffisant pour compenser la composante "interne" d'expansion de la nappe supposée dans le modèle décrit ci-dessous.

Dans ce modèle, chaque lot forme une nappe distincte, et aucun compte n'est tenu de ses chevauchements ou de ses interactions avec les nappes adjacentes. Deux composantes de mouvement sont analysées pour chaque lot: 1) l'advection ou le déplacement net du centre de gravité et 2) l'expansion de la superficie. L'importance de cette dernière composante interne a été déterminée approximativement en supposant l'application de l'équation (2), compte tenu d'une avance temporelle égale en gros à 6 heures pour compenser la superficie initiale supposée de 5 km^2 d'un lot d'hydrocarbures fraîchement déversés. Une limite maximale de 200 km^2 a également été fixée pour la superficie de chaque nappe, étant donné la stabilisation apparente des masses d'hydrocarbures beaucoup plus grosses aux alentours d'une telle valeur limite. Dans le cas qui nous occupe, cela s'est traduit par la cessation de l'étalement interne de la nappe quelque 45 heures après le déversement du lot d'hydrocarbures.

Pour simplifier, chaque lot est représenté par un rectangle dont le rapport largeur-hauteur constant est égal à 0,2 et dont les côtés les plus longs sont en parallèle par rapport au déplacement net de la période précédente de 24 heures. Les configurations instantanées de cinq lots déversés sont illustrées à la figure 8.

Les déplacement du centre de gravité de chaque lot dans l'intervalle séparant les temps t_n et $t_{n+1} = t_n + \Delta t$ est censé être donné par l'équation:

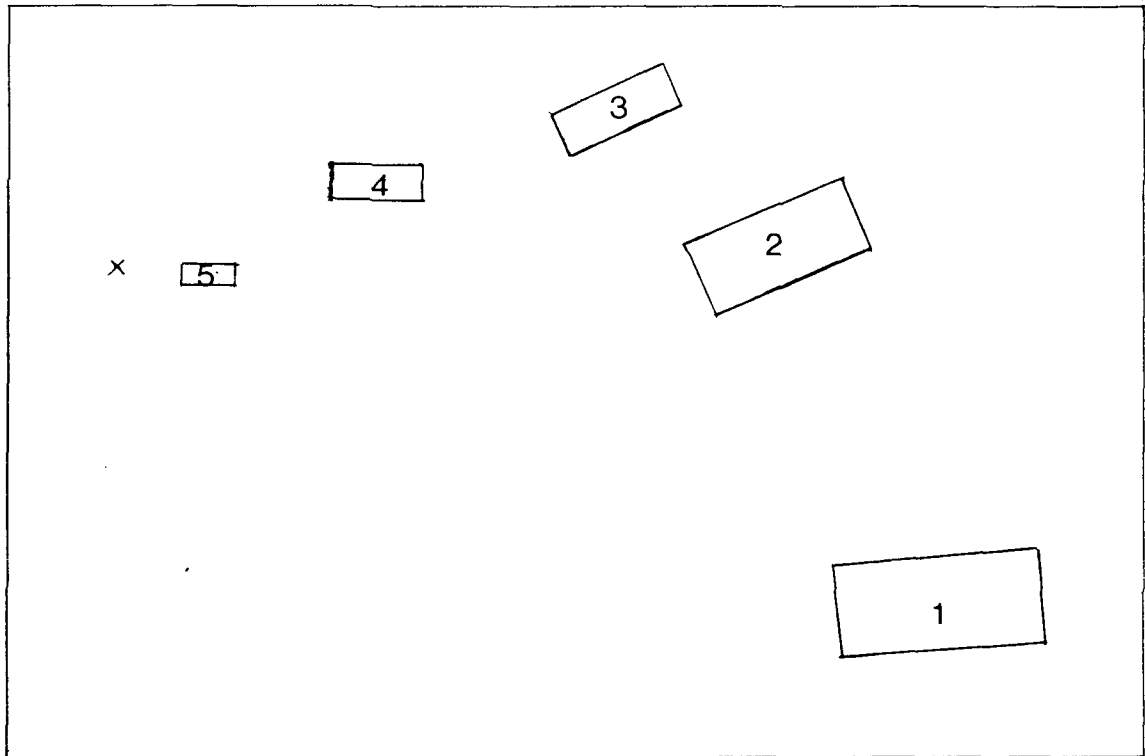


FIGURE 8

CONFIGURATION SIMULÉE D'UN DÉVERSEMENT D'HYDRO-CARBURES. Le débit continu d'hydrocarbures s'élevant du fond de la mer (x) est divisé en lots, qui sont déversés à intervalles fixes. Pour fins de simplification, chaque lot est supposé prendre la forme d'un rectangle, dont la superficie augmente avec le temps et dont les côtés les plus longs sont orientés de façon à être parallèles au déplacement net pendant la période antérieure de 1 journée.

$$d_n, n + 1 = (v_r + v_w) \Delta t + d_d$$

où v_r et v_w représentent respectivement les courants résiduels près de la surface et les courants poussés par le vent. Le déplacement du lot par des mouvements diffus ou pseudo-aléatoires de la surface de la mer est donné par d_d . Tel que défini ici, les courants résiduels équivalent au courant moyen dans le temps moins la composante directement reliée à la poussée des vents de surface. Ils englobent l'apport dans le déplacement de la distribution de la masse de l'eau, de la pente de la mer, des rejets des rivières, etc. qui sont, en eux-mêmes, très difficiles à quantifier. Les effets des marées ne sont pas pris en compte dans cette formule, puisqu'ils n'ont pas influé sur le déplacement net moyen dans le temps de la nappe de surface.

Les données sur les courants résiduels utilisées pour notre simulation d'une éruption survenant en été dans une mer libre de glace proviennent principalement de l'observation des trajectoires de 25 bouées dérivantes surveillées grâce au système RAMS du satellite Nimbus; ces bouées se trouvaient dans les zones qui nous intéressent dans le cadre des programmes des opérations sur le terrain exécutés en 1977 et 1978 par l'Institut des sciences océaniques, Patricia Bay, Norlands Petroleum Ltd. et Pétro-Canada Ltée (Fissel et Marko, 1978, et Fissel, Lemon et Wilton, 1978). Ces bouées étaient pourvues d'ancres centrées à environ 7 m de profondeur, de façon à optimiser le couplage avec les composantes sous-marines, non éoliennes des courants (courants résiduels). Les données de positionnement obtenues ont été ajustées et filtrées, puis ont servi à calculer les trajectoires et les vitesses de dérivation mises en moyenne à l'aide d'un vecteur pour chaque carreau de notre grille. La série de vitesses de dérivation locales ainsi obtenue se trouve à la figure 9. Les données sont fortement concentrées dans le secteur est du détroit de Lancaster et de l'inlet Prince-Regent.

Les données recueillies à l'aide des courantomètres fixes (figure 10) et celles provenant de l'étude des trajets de chaque bouée (en tenant compte des composantes éoliennes du déplacement) ont été utilisées pour compléter la figure 9 et élaborer la grille de courants résiduels présentée à la figure 11.

Cette grille diffère d'une version antérieure (FENCO, 1978) sur plusieurs points, dont le plus important est peut-être la vitesse élevée des courants indiquée pour la région cap Sherard-cap Warrender au nord-est du détroit de Lancaster.



FIGURE 9

VITESSE MOYENNE DE DÉRIVATION DES BOUÉES CALCULÉE À PARTIR DES DONNÉES OBTENUES À L'AIDE DE VINGT-CINQ BOUÉES MUNIES D'ANCRÉS FLOTTANTES ET SURVEILLÉES PAR LE SYSTÈME RAMS DU SATELLITE NIMBUS. CES BOUÉES ONT ÉTÉ LANCÉES AU COURS DES ÉTÉS 1977 ET 1978, (GRILLE DE 5 MILLES MARINS).

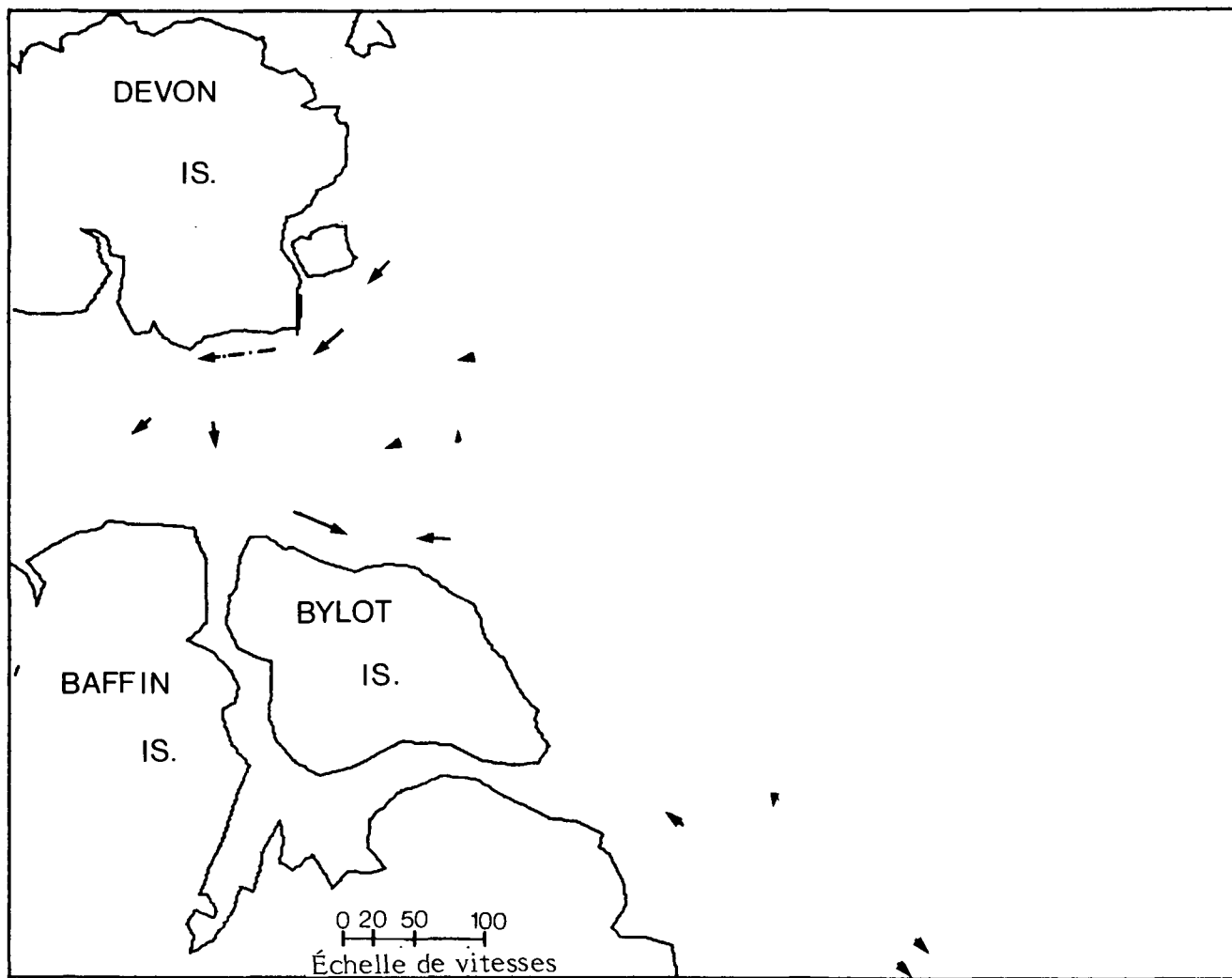


FIGURE 10 COURANTS MOYENS À UNE PROFONDEUR DE 35 À 50 m, OBTENUS À L'AIDE DE COURANTOMÈTRES FIXES. (DÉTROIT DE LANCASTER, ÉTÉS 1977 ET 1978) (Fissel et Wilton, 1978 et Fissel, Lemon et Wilton, 1979)

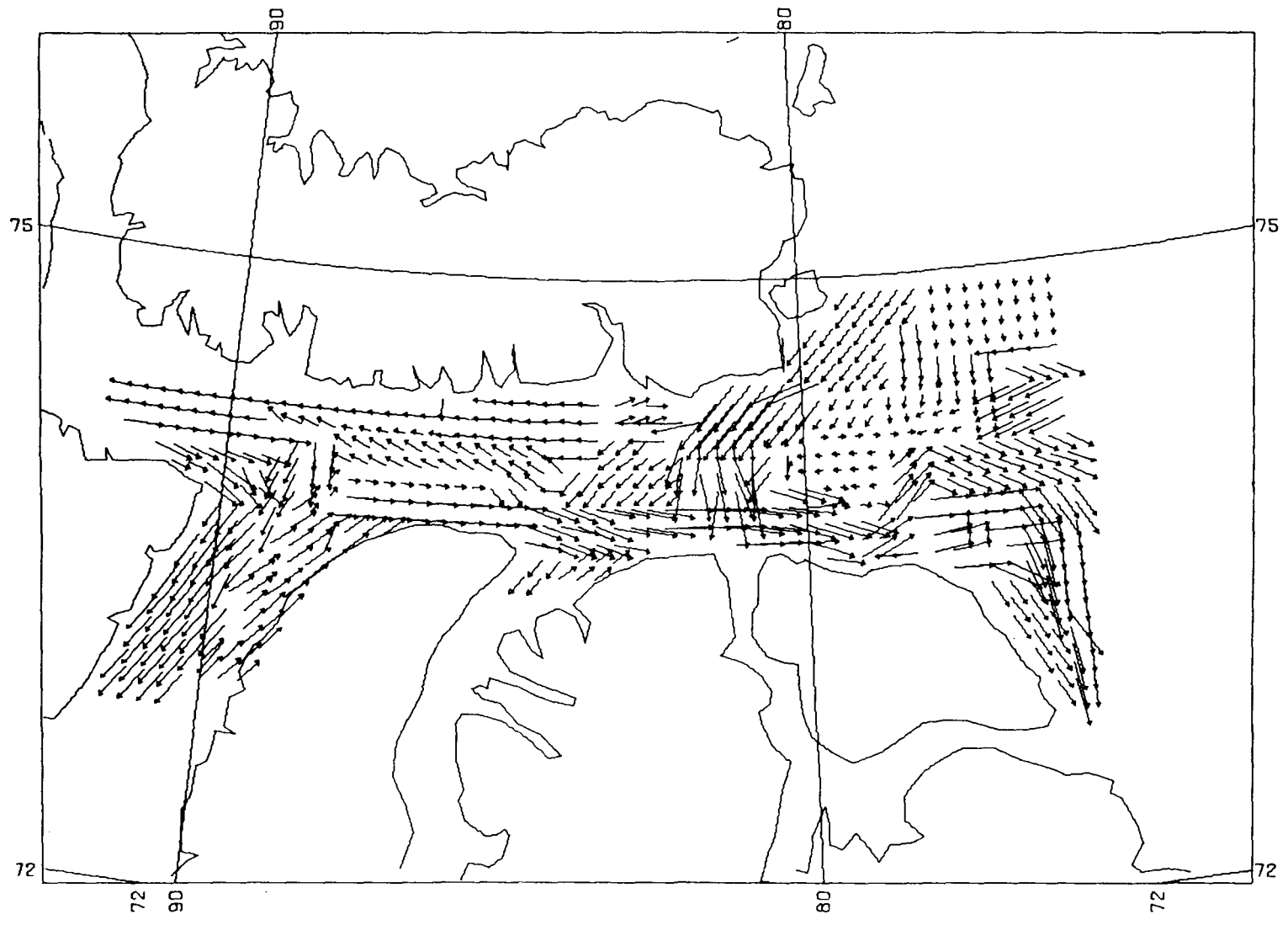


FIGURE 11 GRILLE DES COURANTS RÉSIDUELS UTILISÉE DANS TOUS LES PASSAGES DE LA SIMULATION

Un très fort courant du sud a été observé au nord de l'anse Navy Board, de même qu'une importante zone de mouvements complexes relativement lents, à l'extrémité orientale du détroit de Lancaster; cette zone est limitée respectivement au nord et au sud par les courants littoraux du sud-est de l'île Devon et par ceux du nord de l'île Bylot. La présence apparente d'une petite structure de type turbulent (échelle de 10 km) au nord-est de cap Hay et au nord et à l'est de cap Fanshawe a été prise en compte par l'inclusion d'une structure circulante située au même endroit dans notre représentation de grille grossière.

Soulignons que la faible densité des données sur la dérive des bouées dans les secteurs situés en gros à l'ouest du 81,5°W de longitude (à l'exclusion bien sûr, de la zone de l'inlet Prince-Regent) limite le champ d'application de la représentation de la figure 11 à la portion centrale du détroit de Lancaster. Il semble (Fissel et Marko, 1978, Marko, 1978) y avoir de grandes (échelle de 50 km) structures de type turbulent dans cette région. Toutefois, en l'absence de plus amples informations sur la permanence et la localisation de ces phénomènes, les vecteurs de courant de la figure 11 n'ont été conçus que pour représenter un courant général plutôt faible en direction ouest, que l'on croit être une caractéristique du secteur nord du détroit de Lancaster à l'ouest du havre Dundas. Les courants à mi-chenal indiqués pour cette zone constituent une configuration d'écoulement particulière qui pourrait favoriser un échange nord-sud des masses d'eau.

Devant l'influence dominante apparente des courants résiduels dans la plupart des zones, la controverse au sujet de la meilleure représentation de la composante éolienne du déplacement de la nappe n'a pas été davantage prise en considération. Les variations du coefficient de couplage en fonction de la vitesse du vent ont été omises et l'approche de Smith (1970) a été légèrement modifiée, en ce que nous avons supposé que les hydrocarbures se déplacent directement dans le sens du vent à une vitesse égale à 3,5% de sa vitesse.

Le traitement du rôle de la diffusion dans le déplacement du centre de gravité de chaque lot s'est fait conformément aux procédures normales utilisées dans les simulations précédentes (Ahlstrom, 1975, Sahota et al, 1978), c'est-à-dire que l'ampleur et la direction du déplacement ont été déterminées à partir de nombres aléatoires "R" produits par un sous-programme, telle que $0 < R < 1$, conformément aux équations:

$$d_d = 2\sqrt{3} R\sqrt{D\Delta t} \quad (3)$$

$$\theta = 2\pi R \quad (4)$$

où D est la diffusion turbulente horizontale et Δt l'intervalle temporel séparant les positions successives de chaque lot.

Les déplacements par diffusion ont été calculés pour les valeurs de D comprises entre 2×10^5 et 2×10^6 cm^2/s . La plus faible de ces valeurs correspond à peu près à la valeur établie par Murray (1972) dans son étude sur la dimension et la forme d'une nappe à proximité de l'emplacement d'une éruption.

Notre tendance à tenir compte de valeurs de D supérieures à celle choisie par Murray peut se justifier sur plusieurs plans, notamment devant la nécessité d'une consistance méthodologique entre les mesures de Murray et les résultats généraux obtenus par Okubo (1971). Ce dernier a en effet souligné que la diffusion apparente, dans le cas de rejets provenant d'une source unique, augmentait conformément à de fortes relations d'équation de puissance, en fonction à la fois du temps de diffusion et de l'échelle spatiale (proportionnelle à la taille des turbulences responsables des mouvements diffus observés). La différence entre les échelles de l'étalement interne et des déplacements par diffusion du centre de gravité devrait normalement donner dans le dernier cas une diffusion supérieure à 2×10^5 cm^2/s . Il est impossible à ce stade d'appliquer directement les conclusions d'Okubo pour déduire la valeur appropriée de l'augmentation de la diffusion à cause de leur variabilité selon les conditions initiales (Buckley et Humphrey, 1979) et, par suite des différences fondamentales entre le coefficient de diffusion d'un seul rejet instantané et celui d'une source déversant des hydrocarbures de façon quasi-continue.

De plus, comme nous l'avons suggéré plus haut, la présence de vents et de courants de surface, ainsi que de courants littoraux importants peut éventuellement provoquer une augmentation réelle ou apparente de la turbulence horizontale, se manifestant à l'intérieur de la gamme d'amplitudes fixée pour le paramètre de diffusion.

Le taux hypothétiques de perte d'hydrocarbures survenant, pour chaque lot, au cours d'un intervalle de trois heures sont présentés au tableau 2.

La méthode de simulation tient également compte, pour chaque lot, des pertes par contamination des rivages. Cela est réalisé en supposant, pour chaque intervalle des pertes fragmentaires du contenu de chaque lot égales à la portion de la superficie du lot qui chevauche une superficie de terre. Sur cette base, les accumulations d'hydrocarbures sur les rivages sont emmagasinées pour chaque carreau littoral de notre grille.

Le plan général de simulation présenté ci-dessus a été programmé pour être exécuté dans l'ordinateur Sperry Rand 1106 de l'Institut des sciences océaniques, Patricia Bay. Les codes de programme sont donnés à l'annexe A.

TABLEAU 2 TAUX HYPOTHÉTIQUES DE PERTE D'HYDROCARBURES
UTILISÉS DANS LES SIMULATIONS

Dissolution	37,5 barils (5%) de perte avant le t = 0 et le début des mouvements de surface				
Évaporation	1 ^{er} jour	37,5 barils/intervalle			
	2 ^e jour	4,25 barils/intervalle			
	3 ^e jour etc.	nil			
Dipersion	1 ^{er} jour	vitesse du vent	<	7 m/s	7,5 barils/intervalle
	1 ^{er} jour	vitesse du vent	>	7 m/s	10,5 barils/intervalle
	2 ^e jour	vitesse du vent	<	7 m/s	7 barils/intervalle
	2 ^e jour	vitesse du vent	>	7 m/s	10 barils/intervalle
	3 ^e jour	vitesse du vent	<	7 m/s	6 barils/intervalle
	3 ^e jour	vitesse du vent	>	7 m/s	9 barils/intervalle
	4 ^e jour	vitesse du vent	<	7 m/s	5 barils/intervalle
	4 ^e jour	vitesse du vent	>	7 m/s	7 barils/intervalle
	5 ^e jour	vitesse du vent	<	7 m/s	4 barils/intervalle
	5 ^e jour	vitesse du vent	>	7 m/s	6 barils/intervalle

5 RÉSULTATS

5.1 Généralités

Une des principales difficultés que pose l'utilisation d'un modèle de simulation de la trajectoire d'un déversement d'hydrocarbures vient du choix de conditions environnementales (ici, le vent) "représentatives". Ce problème est particulièrement complexe et épineux lorsque des zones littorales critiques se trouvent situées à quelques heures de dérivation de la source du déversement ou d'une portion quelconque de la trajectoire moyenne des hydrocarbures. Dans un tel cas, l'évaluation des dangers pour l'environnement devrait, en théorie, tenir compte même de configurations de vents de très faible probabilité, mais dont l'orientation pourrait, en un temps très court, entraîner une grave contamination des rivages.

Il n'existe, à l'heure actuelle, aucune méthode générale qui permette d'en arriver à une représentation condensée de la distribution relative des risques, à part l'accumulation ponctuelle, plutôt fastidieuse, de statistiques sur la contamination hypothétique des rivages prévue dans l'application de champs de vent synoptiques réels ou simulés.

Aux fins du présent rapport, nous avons limité les simulations à des configurations éoliennes dont la probabilité varie de modérée à forte, et a une dépendance temporelle faible ou inexistante. Nous croyons que ces données permettront au lecteur de faire ses propres évaluations des mouvements des hydrocarbures à partir d'autres configurations éoliennes, plus précises et plus complexes. Notre méthode a consisté à effectuer une simulation distincte de l'écoulement des hydrocarbures pour chaque emplacement, en tenant compte des paramètres suivants:

- a) vents légers (10 noeuds) et modérés (20 noeuds), non fonction du temps et provenant des quatres points cardinaux. La probabilité de chaque configuration éolienne peut être calculée à partir des données du tableau 3, où figurent les statistiques sur les vents pour les années 1903 à 1973 dans une zone de 2° de latitude sur 10° de longitude, centrée sur le milieu du détroit de Lancaster. Ces données sont tirées directement des tableaux synoptiques d'observations météorologiques pour l'Arctique canadien. La distribution indiquée pour la force et la direction du vent semble grossièrement coïncider avec les mesures prises à terre, près du niveau de la mer en

TABLEAU 3 DISTRIBUTION EN POURCENTAGE DE LA VITESSE ET DE LA DIRECTION DES VENTS DANS LE CARRÉ II DE L'ARCTIQUE CANADIEN

Direction	Vitesse du vent (noeuds)				
	<1	1-10	11-21	22-33	>34
Calme	6,9				
N		5,0	4,7	0,8	0,2
NE		4,5	5,6	2,1	0,6
E		6,1	6,7	4,8	0,7
SE		4,5	1,9	1,1	0,1
S		3,7	0,9	0,3	-
SW		3,9	3,4	0,7	-
W		8,9	8,4	1,9	0,1
NW		3,7	5,2	1,1	0,1

1977, près de Cape Charles Yorke (FENCO, 1978). Dans ce dernier cas, une seule valeur moyenne ($D = 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$) a été utilisée pour le coefficient de diffusion.

- b) des champs de vents variant dans le temps, dérivés des données anémométriques de Cape Charles Yorke pour 1977 et de calculs géostrophiques faisant appel aux cartes de pression en surface ajustées quatre fois par jour, du Service de l'environnement atmosphérique, pour deux périodes en septembre 1978. Les champs de vents choisis, dont le diagramme figure à l'annexe B, correspondent principalement aux configurations prédominantes nord, est et ouest.

Les simulations de déplacement de la nappe ainsi obtenues diffèrent de celles effectuées en fonction de (a) ci-dessus, car elles tiennent compte d'une variation réaliste de la vitesse et de la direction des vents, ainsi que des inexactitudes possibles des données sur la diffusion en incluant des calculs tant pour les limites inférieures ($D = 2 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$) que supérieures ($D = 2 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$) de la gamme prévue pour le paramètre diffusion.

5.2 Résultats de la simulation et analyse

À cause de limitations spatiales, il a fallu restreindre l'analyse principalement aux résultats obtenus en régime de vent permanent et pour une diffusion moyenne, tels

que décrits au cas (a). Les données ont été choisies parmi les distributions d'hydrocarbures calculées pour des intervalles d'une journée, dans la période de sept jours suivant chaque éruption. Pour un emplacement donné, les configurations quotidiennes ont été choisies de façon à illustrer les étapes importantes dans le déplacement des hydrocarbures, telles que la première dérivation, la première contamination d'une rive donnée et les changements de direction du front de la nappe. On trouvera, à la figure 12, une carte de la région dont les contours littoraux ont été "carrés", afin d'aider le lecteur à interpréter les simulations de chaque site présentées dans les figures 13 à 16. Dans ces dernières figures, les configurations sont décrites en fonction du lieu de l'éruption, de la direction et de la vitesse du vent (noeuds), ainsi que du temps (jours). Ainsi, le premier diagramme de la figure 13, portant l'indication 1 N10-1, correspond au site d'éruption n°1, soumis à un vent du nord de 10 noeuds, une journée après le premier rejet d'hydrocarbures. Un tableau des volumes quotidiens d'hydrocarbures et des emplacements où les rivages ont été atteints suit chaque ensemble de simulations (tableaux 4 à 7).

Les résultats obtenus en ce qui a trait à l'impact des hydrocarbures sont résumés dans leurs grandes lignes dans les paragraphes qui suivent. Les conclusions générales sur l'importance relative du vent et de la diffusion horizontale font l'objet de la section 5.3, où il est brièvement question de la simulation effectuée avec des vents changeant avec le temps, tels que décrits dans le cas (b).

5.2.1 Site n° 1. Pendant les périodes de simulations de sept jours par vent du nord, l'accumulation d'hydrocarbures le long des côtes occidentales de la péninsule Borden a été modérée. Une augmentation de la vitesse du vent de 10 à 20 noeuds a accéléré d'un jour l'arrivée des hydrocarbures, qui est ainsi passée du quatrième au troisième jour. Soulignons que, bien que les configurations figurées graphiquement n'indiquent pas d'impact sur la côte orientale de l'île Somerset, une telle contamination a certainement eu lieu après que les hydrocarbures ont traversé la limite méridionale de notre zone de modélisation: en témoignent les bouées dérivantes qui ont échoué dans cette région (Fissel et Marko, 1978). Les vents de 20 noeuds ont augmenté le débit tant au-delà des limites de la grille de modélisation que dans la moitié orientale de l'inlet. Cela a eu pour effet d'engendrer un écoulement d'hydrocarbures plus étroit et moins concentré, au large des zones occidentales.

Les vents d'est ont entraîné une grave pollution du nord-est de l'île Somerset. Une augmentation de la force du vent a déplacé la zone d'impact en direction nord le long

de la ligne côtière et, abrégant le temps séparant le moment du rejet des hydrocarbures et celui de l'impact sur la côte, a permis à un plus gros volume d'hydrocarbures peu altérés d'atteindre les zones littorales.

Les vents d'ouest ont déplacé la pollution vers les extrémités nord et nord-ouest de la presqu'île Brodeur. L'accélération de la vitesse du vent à 20 noeuds a semblé réduire l'impact des hydrocarbures en augmentant leur concentration dans le fort courant d'est présent le long du côté sud du détroit de Lancaster. Nous avons observé que dans ce cas, il fallait quatre jours aux hydrocarbures pour dériver jusqu'à une position située au nord de la péninsule Borden.

Dans le cas, relativement peu probable, de vents du sud, nous avons noté que la configuration de l'étalement des hydrocarbures était fortement tributaire de la vitesse du vent. Ainsi, pour des vents de 10 noeuds, nous avons observé la disparition presque totale des mouvements attribuables au vent et aux courants résiduels, phénomène qui a entraîné une grosse accumulation d'hydrocarbures dans la zone située immédiatement au sud du lieu de l'éruption. Une fuite lente en direction sud-ouest a atteint le coin nord-est de l'île Somerset, pour y laisser des quantités modérées d'hydrocarbures à peu près une semaine après l'éruption. Par ailleurs, en présence de vents du sud de 20 noeuds, la côte de l'île Devon, près de la baie Maxwell, est touchée environ deux jours après l'éruption. Soulignons, toutefois, que cette simulation particulière est douteuse, à cause de la très faible base de données dont nous disposons pour établir la grille de courants résiduels du nord-ouest du détroit de Lancaster.

Un des aspects rassurants des simulations a été de faire ressortir l'absence apparente d'impact sur les côtes de l'île Prince-Léopold, attribuable au fort courant d'est de cette région (cette île n'apparaît pas sur la carte de la figure 2 et de la figure 13, mais ses coordonnées sont données à la figure 1).

5.2.2 Site n° 2. Soulignons, pour le cas du site n° 2, que la profondeur d'eau y est considérablement moindre que celle de 400 m associée à la formation prononcée d'hydrate gazeux dans les expériences en laboratoire. Par conséquent, il est toujours possible que l'étalement initial de la colonne d'hydrocarbures en ascension soit moins important. Toutefois, compte tenu de l'évaluation prudente de la superficie initiale de la tache (5 km^2) du schéma de modélisation, nous n'avons pas prévu de correctif spécial pour tenir compte du peu de profondeur de l'eau à aucun des emplacements d'éruption.

TABLEAU 4 ACCUMULATION D'HYDROCARBURES SUR LES RIVAGES (EN BARILS), DÉVERSEMENTS DU SITE n° 1. Le temps est donné en jours, l'étalement en surface des hydrocarbures et les emplacements contaminés sur les rivages étant donnés selon la grille de la figure 2.

Site n° 1	Accumulation quotidienne (barils)					
	2 ^e jour	3 ^e jour	4 ^e jour	5 ^e jour	6 ^e jour	7 ^e jour
Ouest de la presqu'île Brodeur (44,6-7) Vent du nord, 10 noeuds			70	520	860	1264
Ouest de la presqu'île Brodeur (43,7-8)(44,6-7) (45,5)(46,1) Vent du nord, 20 noeuds		339	614	755	958	962
Est de l'île Somerset (50,9-10)(51,8) (52,6-7) Vent d'est, 10 noeuds		850	2 685	4 653	6 283	8 771
Est de l'île Somerset (50,9-10)(51,8) (52,6-7) Nord de l'île Somerset (50,12) Vent d'est, 20 noeuds	253	2 008	4 353	5 739	8 133	9 899
Ouest de la presqu'île Brodeur (38,10-11)(39-40,10) Est de la presqu'île Brodeur (35-36,11) Vent d'ouest, 10 noeuds			630	1 455	2 308	3 587
Ouest de la presqu'île Brodeur (38,10-11)(39-40,10) Est de la presqu'île Brodeur (35-36,11) Vent d'ouest, 20 noeuds		269	530	1 221	1 842	2 222
Est de l'île Somerset (50,9-11)(51,8) Vent du sud, 10 noeuds		27	67	74	81	136
Est de l'île Somerset (50,9-11)(51,8) Vent du sud, 10 noeuds				136	460	1 088
Ouest de l'île Devon (45-46,26) (47,19-21) Vent du sud, 20 noeuds	372	2 452	4 016	6 138	9 024	10 368

TABLEAU 5 ACCUMULATION D'HYDROCARBURES SUR LES RIVAGES (EN BARILS), DÉVERSEMENTS DU SITE n° 2. Le temps est donné en jours, l'étalement en surface des hydrocarbures et les emplacements contaminés sur les rivages étant donnés selon la grille de la figure 2.

Site n° 2	Accumulation quotidienne (barils)						
	1 ^{er} jour	2 ^e jour	3 ^e jour	4 ^e jour	5 ^e jour	6 ^e jour	7 ^e jour
Ouest de la péninsule Borden (26,8-9)(27,8) Vent du nord, 10 noeuds		1 345	4 068	6 366	9 004	11 522	13 764
Ouest de la péninsule Borden (26,8-9)(27,8) Vent du nord 20 noeuds	68	2 467	4 913	7 591	10 227	12 822	15 566
Est de la péninsule (25-26,9) Vent d'est 10 noeuds		153	1 534	2 945	4 975	6 732	8 422
Est de la péninsule (25-26,9)(28,8)			8	24	130	141	168
Est de la presqu'île Bordeur (32,9)(33,8) Vent d'est, 20 noeuds			568	1 029	2 009	3 101	4 153
Milieu de l'île Devon (32-34,19) Vent du sud, 20 noeuds			1 730	3 408	4 966	6 493	8 297

Le site n° 2, à cause de la configuration des vents du nord s'est classé deuxième pour le taux le plus élevé de pollution des rivages dans toutes les simulations que nous avons effectuées. Les vents de 10 noeuds, comme ceux de 20 noeuds, ont poussé les hydrocarbures vers le sud-est, directement sur la pointe nord-ouest de la péninsule Borden. Les plus gros volumes d'hydrocarbures ont atteint cette zone environ un jour et demi après l'éruption.

TABLEAU 6 ACCUMULATION D'HYDROCARBURES SUR LES RIVAGES (EN BARILS), DÉVERSEMENTS DU SITE n° 3.
Le temps est donné en jours, l'étalement en surface des hydrocarbures et les emplacements contaminés sur les rivages étant donnés selon la grille de la figure 2.

Site n° 3	Accumulation quotidienne (barils)						
	1 ^{er} jour	2 ^e jour	3 ^e jour	4 ^e jour	5 ^e jour	6 ^e jour	7 ^e jour
Cap Hay (15-16,9) Vent du nord, 10 noeuds		1 438	3 972	6 614	9 462	11 756	14 513
Cap Hay (15-16,9) Île Bylot, sauf cap Hay (17,9) Vent du nord, 20 noeuds	22,6	1 751	4 014	6 602	9 002	11 455	14 000
Cap Hay (13-14,8)(15-16,9) Vent d'est, 10 noeuds		665	1 318	1 705	2 038	2 670	3 018
Cap Hay (13-14,8)(15-16,9) Vent d'est, 10 noeuds			578	1 125	2 462	3 741	5 063
Cap Hay (13-14,8)(15-16,9) Île Bylot, sauf cap Hay (17,9) Vent d'est, 20 noeuds				136	531	754	1 162
Est de l'île Devon (17-18,19) Vent du sud, 20 noeuds			3,9	3,9	4,6	44	82
					1,8	7	14,7

Les vents d'est de dix noeuds ont entraîné la contamination d'à peu près le même secteur de la péninsule Borden, les hydrocarbures mettant environ un jour de plus pour atteindre les rivages. Les vents d'est de vingt noeuds, par contre, ont provoqué un changement majeur dans la distribution des hydrocarbures, contaminant la presqu'île Brodeur et entraînant presque inévitablement la pénétration d'hydrocarbures dans l'écosystème de l'inlet de l'Amirauté.

Les vents d'ouest légers ont amené une accumulation modérée d'hydrocarbures le long de la côte septentrionale de la péninsule Borden et, après 4 jours, dans la région du cap Hay, à la pointe nord-est de l'île Bylot. La majeure partie du courant d'hydrocarbures a fini, dans ce cas, par se détacher de la ligne côtière de l'île Bylot pour pénétrer dans la baie Baffin. Une augmentation des vents d'ouest à 20 noeuds a, comme dans le cas du site n° 1, eu tendance à balayer les hydrocarbures hors du détroit de Lancaster, épargnant ainsi la majeure partie des zones terrestres (une petite quantité d'hydrocarbures a atteint le cap Hay).

TABLEAU 7 ACCUMULATION D'HYDROCARBURES SUR LES RIVAGES (EN BARILS), DÉVERSEMENTS DU SITE n° 4.
Le temps est donné en jours, l'étalement en surface des hydrocarbures et les emplacements contaminés sur les rivages étant donnés selon la grille de la figure 2.

Site n° 4	Accumulation quotidienne (barils)					
	2 ^e jour	3 ^e jour	4 ^e jour	5 ^e jour	6 ^e jour	7 ^e jour
Est de l'île Devon (17,19) Île Bylot (15-16,9)(13-14,8) Vent d'est, 10 noeuds		206	356	689	689	703
Est de l'île Devon (17,19) Vent d'est, 20 noeuds	709	2 240	3 538	5 574	7 281	8 419
Est de l'île Devon (17,19-22) Vent du sud, 10 noeuds				899	1 938	2 940
Île Philpots (14,23-24) Vent du sud, 20 noeuds	61	1 751	3 296	5 010	6 514	8 541

Encore ici, les vents du sud ont poussé les hydrocarbures jusqu'à la côte de l'île Devon. Avec des vents légers, il a fallu près de 7 jours aux hydrocarbures pour accomplir le trajet, tandis qu'il ne leur en a fallu que 2 avec des vents de 20 noeuds. Toutefois, la

pauvreté des données sur le courant du côté nord du détroit de Lancaster diminue encore une fois considérablement la valeur des configurations de contamination ainsi prédites.

5.2.3 Site n° 3. Dans le cas du site n° 3, les vents du nord ont poussé les hydrocarbures directement sur le littoral du nord-est de l'île Bylot et notamment dans la région du cap Hay, en l'espace de un ou, au plus, deux jours. Si l'on se fie à la simulation, aucune quantité importante d'hydrocarbures ne s'est échappée par le courant est pour pénétrer dans la baie Baffin.

Les vents légers de 10 noeuds ont donné des taux de pollution plutôt modérés dans la même région du cap Hay, une petite quantité d'hydrocarbures seulement (voir la configuration du 6^e jour) se déplaçant vers l'est et le nord-est et atteignant le courant de la baie Baffin. Les vents d'est de 20 noeuds ont provoqué l'accumulation de grosses concentrations d'hydrocarbures au large, au nord de l'inlet Navy-Board, avant de contaminer légèrement la région du cap Hay environ 5 jours après l'éruption.

Comme d'habitude, les vents d'ouest ont protégé le littoral et maintenu les hydrocarbures bien au large, dans une trajectoire presque directe vers la baie Baffin.

Sous l'influence de vents du sud, les déversements simulés ont pris la forme de tourbillons tournant dans le sens opposé des aiguilles d'une montre et ont presque atteint le littoral sud-est de l'île Devon. Des taux de contamination mesurables n'ont été observés qu'avec des vents de 20 noeuds.

5.2.4 Site n° 4. Avec des vents du nord de 10 noeuds, la majeure partie des hydrocarbures s'est déplacée vers le sud, puis vers l'est-sud-est jusque dans la baie Baffin, en longeant la côte est de l'île Bylot, de 10 à 15 milles marins au large. Toutefois, quelques parcelles d'hydrocarbures ont continué directement vers le sud et se sont approchées du littoral de l'île Bylot, à l'est du cap Hay, en 7 jours. Avec des vents du nord de 20 noeuds, la trajectoire des hydrocarbures passait très près de la côte est de l'île Bylot, sans toutefois y toucher.

Les vents d'est ont poussé les hydrocarbures jusque dans l'est du détroit de Lancaster où ils ont suivi en gros le même trajet que les hydrocarbures du site n° 3. En chemin, toutefois, les hydrocarbures ont échoué près du cap Sherard au coin sud-est de l'île Devon. La contamination a été particulièrement rapide (après 2 jours) et intense (8 400 barils au 7^e jour) sous l'influence de vents de 20 noeuds.

Les vents d'ouest, tant légers que forts, ont déplacé les hydrocarbures directement vers l'est, loin des terres.

Les vents du sud de 10 noeuds n'ont poussé les hydrocarbures que lentement (5 jours) jusque sur le littoral de l'île Devon, au sud de l'île Philpots, mais les quantités en jeu étaient importantes. Une augmentation de la vitesse des vents à 20 noeuds a entraîné une contamination plus rapide et aussi importante de cette dernière île.

5.3 Simulations supplémentaires.

Comme nous l'avons déjà mentionné, des simulations ont également été effectuées pour les champs de vents variant dans le temps et dans l'espace, illustrés dans le graphique de l'annexe B. Ces champs ont été calculés à partir de données météorologiques réelles, afin d'obtenir une image approximative des conditions de surface typiques de la période été-automne. Les changements de direction en fonction du temps, pour chacun des trois champs de vents de base (nord, est, ouest) ont été relativement peu importants; c'est surtout la vitesse qui varie en fonction du temps.

Des simulations ont été effectuées pour chacune des valeurs extrêmes de diffusion, $D = 2 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$ et $D = 2 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$, afin de permettre des évaluations ultérieures de l'amplitude reliée au terme "diffusion horizontale" de l'équation (2).

En gros, ces simulations ont reproduit les trajectoires des simulations faites avec les vents correspondants non fonction du temps de la section 5.2. Toutefois, les vents variants ont entraîné une plus vaste dispersion en surface des hydrocarbures, particulièrement dans les régions affichant d'importants gradients spatiaux dans le champ des courants résiduels.

L'inclusion indifférenciée des données provenant de ces simulations serait inutile et redondante. C'est pourquoi le traitement de ces résultats s'est limité à quelques comparaisons de configurations de déplacements simulés d'hydrocarbures qui illustrent l'importance des paramètres "temps" et "diffusion".

Considérons ici les configurations des figures 17a et b, qui correspondent respectivement aux distributions de diffusion maximale et minimale des hydrocarbures s'échappant du site n° 4 au cinquième jour sous l'influence d'un vent d'ouest variable. La superficie de la nappe, même en conditions de diffusion faible ($D = 2 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$), excédait celle calculée auparavant (voir figure 16) pour un vent stable de 10 noeuds à un taux de diffusion de $D = 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$. Cela est attribuable au champ complexe de courants résiduels à proximité du site d'éruption qui, avec des conditions éoliennes changeantes, provoque la dispersion des différentes nappes. Quoiqu'il en soit, une diffusion décuplée (figure 17b) a des répercussions visibles qui se traduisent en une distribution plus étendue et plus uniforme des hydrocarbures.

Le rôle de la diffusion dans la détermination de l'ampleur de la pollution du littoral est illustré dans les deux configurations représentées dans les figures 18a et b. Ces figures sont respectivement associées aux trajets de faible et de forte diffusion, quatre jours après une éruption au site n° 2. À la lumière de la forte relation entre la diffusion présumée et la longueur prévue de côte atteinte, la détermination de la valeur appropriée de la première pourrait éventuellement se baser sur les emplacements où les bouées de détection des hydrocarbures échouent, plutôt que sur les hydrocarbures eux-mêmes.

5.4 Trajectoires des hydrocarbures dans la glace

La restriction des simulations à des eaux libres de glace peut, en fait, être élargie afin de permettre l'inclusion de situations où de la glace à la dérive se trouve dans les eaux à des concentrations globales faibles (moins de 3/10) et en densité comparable aux dimensions de notre grille de modélisation de 25 milles marins carrés, ou moindre.

Par ailleurs, la croissance de la glace de rive le long du littoral ou dans de larges portions de plans d'eau importants comme l'inlet Prince-Régent, le détroit de Barrow et le détroit de Lancaster modifie considérablement les données du transport des hydrocarbures dans ces secteurs. Dans ce cas, il apparaît avec évidence (Milne et Smiley, 1977; Sahota *et al.*, 1978) que les hydrocarbures tendent à s'accumuler en dessous de la glace et à s'y incorporer graduellement. Il en résulte une identité de fait entre les mouvements à grande échelle des hydrocarbures et ceux de la banquise qui les contient.

La modélisation des déplacements des hydrocarbures dans les eaux du détroit de Lancaster et de l'inlet Prince-Régent, où les concentrations de glace sont importantes, est rendue plus complexe encore par la représentativité douteuse des mouvements "moyens" de la glace dans ces régions. Comme nous l'avons déjà souligné ailleurs (Marko, 1978), le principal événement à survenir en surface en hiver dans l'est du détroit de Parry, est la formation d'une limite stable coupant, en gros, le détroit selon un axe nord-sud, et séparant la glace de rive, à l'ouest, de la glace dérivant spasmodiquement à l'est. Cette limite peut se situer quelque part entre l'ouest du détroit de Barrow (près de l'île Griffith) et l'extrémité est du détroit de Lancaster (près du cap Warrender). Cette variation annuelle de l'emplacement de la limite des glaces entraîne des changements considérables dans la vitesse moyenne de déplacement des glaces en hiver et au printemps dans les régions les plus exposées à des éruptions.

Les vitesses moyennes de déplacement des glaces, entre l'automne et le printemps, enregistrées pendant 4 ans par satellite (Marko, 1978), sont représentées à la

figure 19 pour les principales zones de l'est du détroit de Parry. Ces vitesses ne sont pas de vrais indicateurs du mouvement moyen, car elles ont été enregistrées spécialement pendant les périodes de déplacement visible; elles ne reflètent donc pas exactement la proportion considérable de temps pendant lequel les glaces sont en grande partie statiques. Comme nous l'avons mentionné plus haut, les mouvements de la glace sont spasmodiques par nature et sont amorcés, du moins en partie, par les mouvements antérieurs ou contemporains; ces mouvements s'écartent beaucoup de la grille de courants résiduels calculée en fonction d'un manteau glacial faible ou négligeable. Le mouvement est limité à l'axe est-ouest longeant le détroit de Parry et il n'y a aucune trace d'un déplacement net vers l'ouest nulle part dans le détroit de Lancaster. La structure des courants et la turbulence à grande échelle qui ressortent avec évidence des données estivales sur les eaux superficielles ne sont plus visibles en présence d'un manteau glacial concentré. En l'absence de mesures supplémentaires des courants sous la glace, il est impossible de déterminer si la présence de la glace modifie l'écoulement du courant résiduel hivernal ou si elle ne fait que l'atténuer.

Quoiqu'il en soit, il est possible d'élaborer un modèle beaucoup plus simple des mouvements des hydrocarbures sous une glace épaisse. Ce modèle correspondrait à une dérivation presque uniforme dans l'espace (des modifications peuvent être apportées pour tenir compte de la baisse observée dans la vitesse moyenne de dérivation en allant du sud au nord) en direction est, tant dans le secteur situé à l'est de la limite de la glace de rive traversant le détroit, que dans la zone située à l'extérieur de la glace de rive. Les modèles traditionnels du mouvement de la glace de mer (p. ex. celui de Neralla *et al* (1977)), mettant en rapport la vitesse de déplacement de la glace et la vitesse du vent à l'aide d'un simple facteur d'échelle et d'une rotation, ne sont pas susceptibles d'être directement applicables aux conditions nécessaires d'un confinement fort et à la probabilité de seuils associées au déplacement en présence d'un manteau glacial en regel continu.

Le lien nécessaire entre les mouvements de la glace et du vent peut être établi seulement sur la base d'une comparaison des déplacements réels de la glace et des valeurs établies pour les vents de surface locaux. Les données sur la glace en dérive sont maintenant facilement disponibles à partir de satellite ou de stations de dérivation surveillées par satellite. Malheureusement, les sources correspondantes de données sur les vents de surface locaux ne sont pas couramment accessibles. Par conséquent, aucune modélisation quantitative de la dérivation des hydrocarbures en présence d'un épais manteau glacial n'a été tentée dans la présente étude.

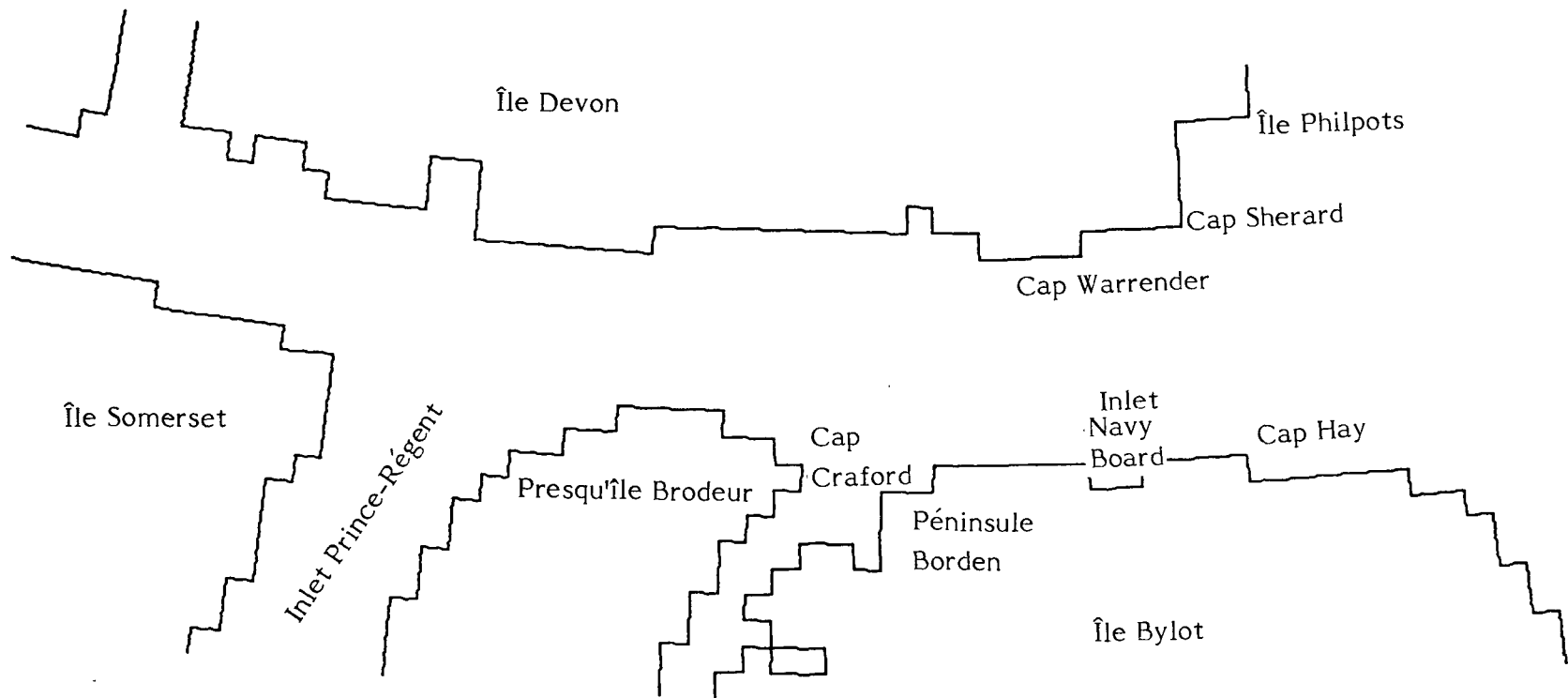
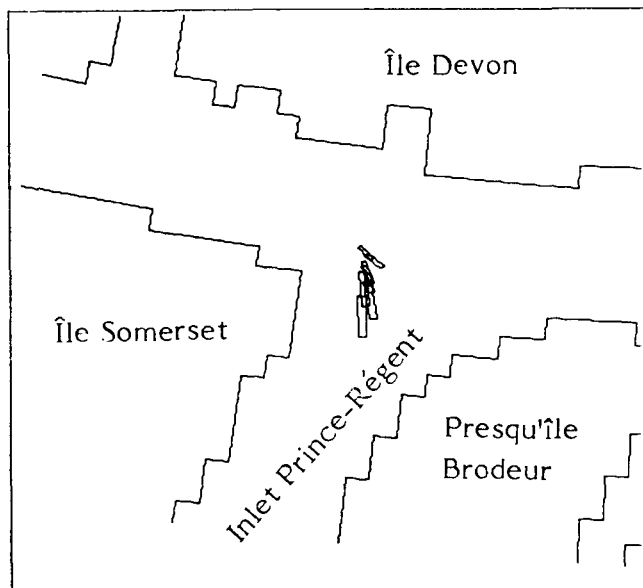


FIGURE 12 VERSION EXPLICATIVE DE LA CARTE "CARRÉE" DU LITTORAL UTILISÉE DANS TOUTES LES SIMULATIONS

- 13 a) 1 N 10-1 - Site n° 1; éruption par vent du nord de 10 noeuds;
tel qu'observé un jour après le rejet d'hydrocarbures



- 13 b) 1 N 10-3 - Site n° 1; éruption par vent du nord de 10 noeuds;
tel qu'observé trois jours après le premier rejet d'hydrocarbures

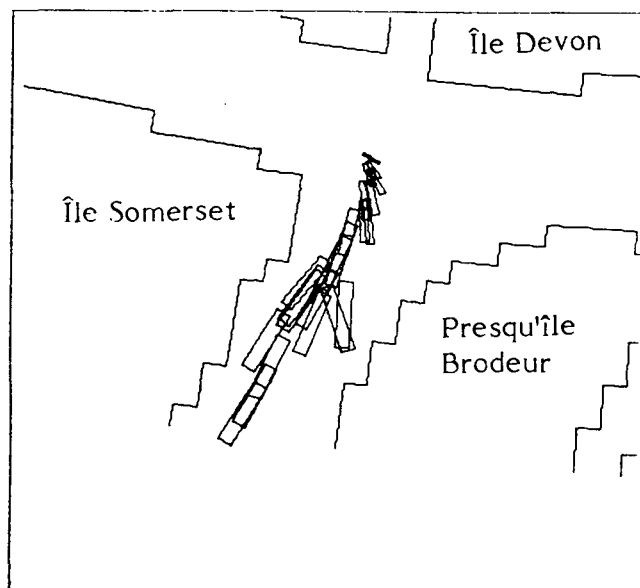
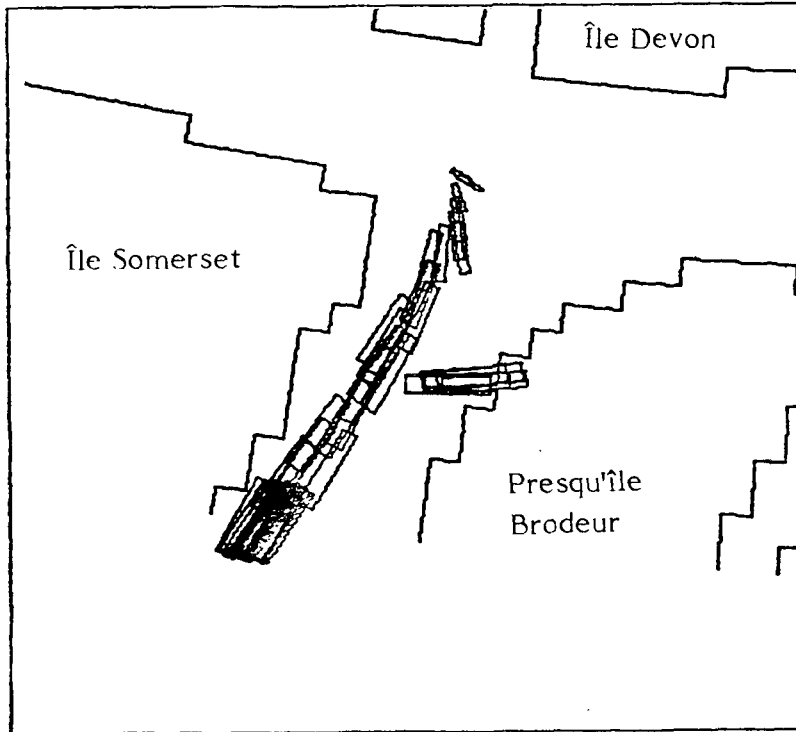
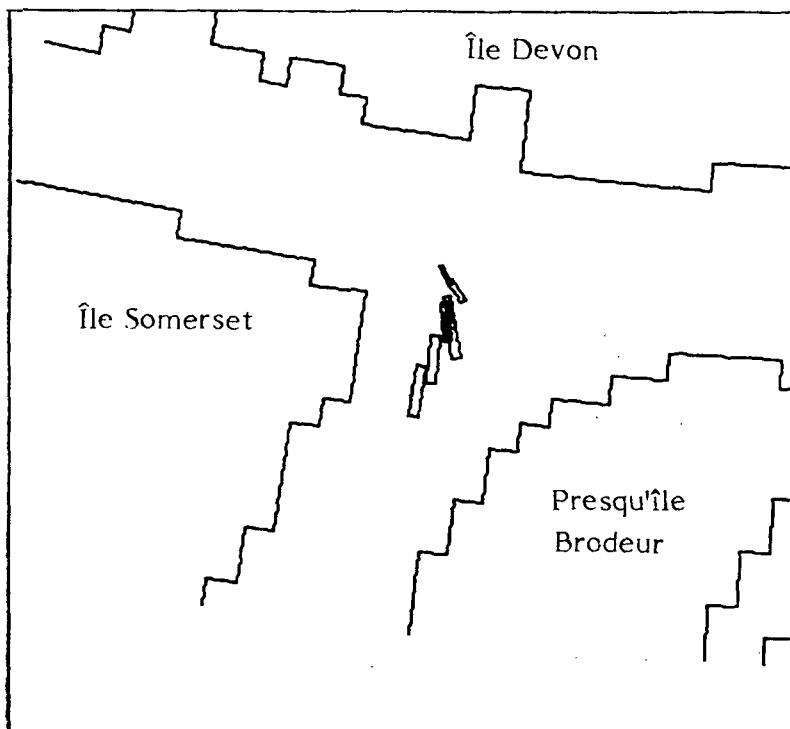


FIGURE 13 SCENARIOS DE LA DÉRIVATION DES HYDROCARBURES DANS LA RÉGION DU SITE D'ÉRUPTION n° 1, AVEC DES VENTS DU NORD, D'EST, D'OUEST ET DU SUD NON FONCTION DU TEMPS

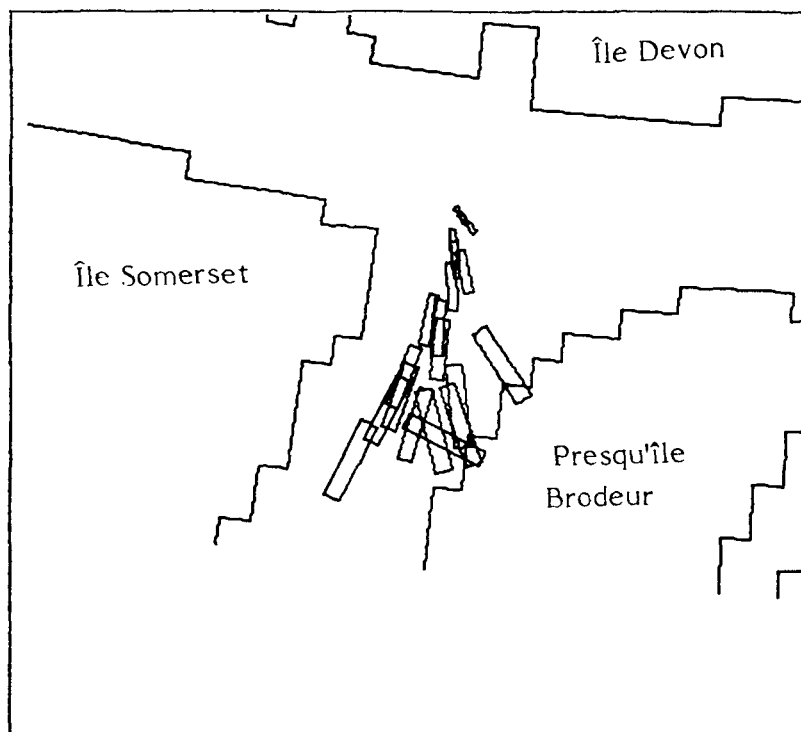
- 13c) 1 N 10-7 - Site n° 1; éruption par vent du nord de 10 noeuds;
tel qu'observé sept jours après le premier rejet d'hydrocarbures



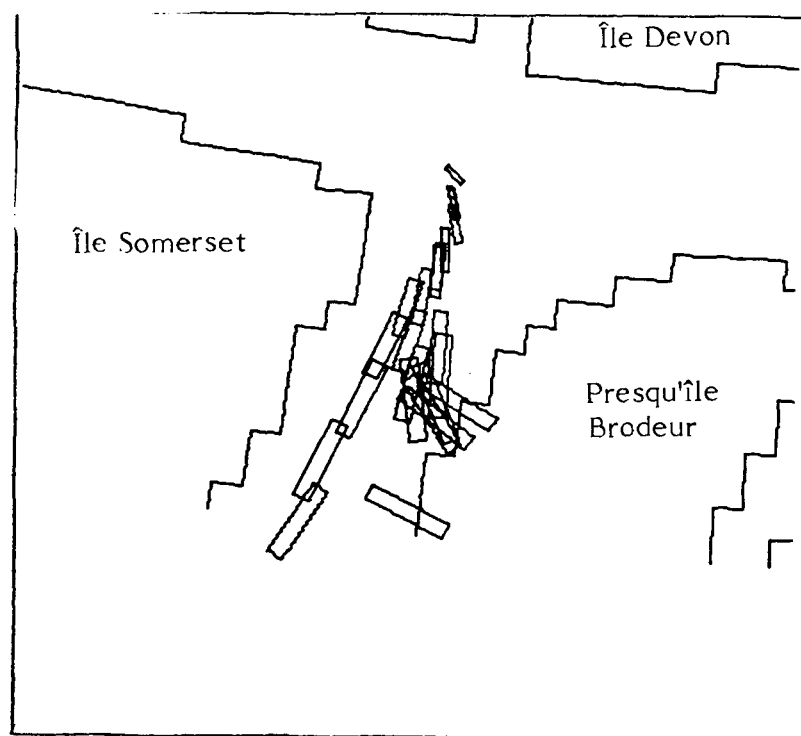
- 13 d) 1 N 20-1 - Site n° 1; éruption par vent du nord de 20 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures



- 13 e) 1 N 20-3 - Site n° 1; éruption par vent du nord de 20 noeuds;
tel qu'observé trois jours après le premier rejet d'hydrocarbures

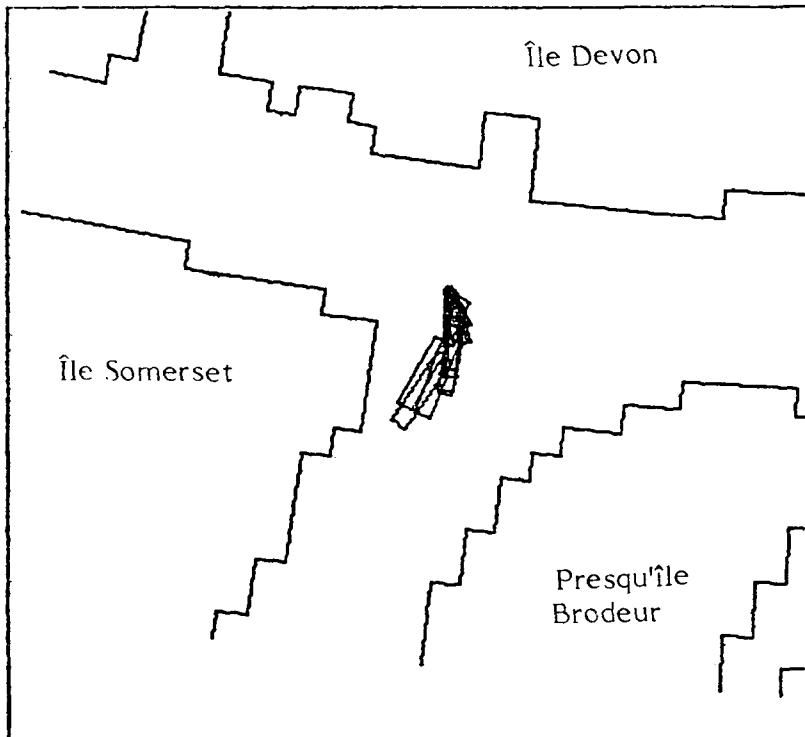


- 13 f) 1 N 20-5 - Site n° 1; éruption par vent du nord de 20 noeuds;
tel qu'observé cinq jours après le premier rejet d'hydrocarbures



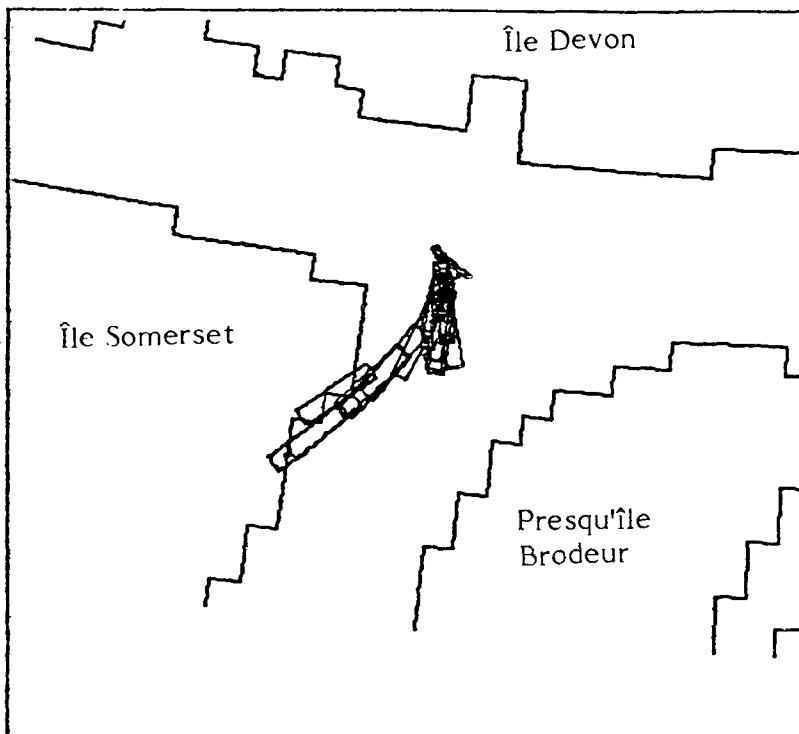
13 g)

1 E 10-2 - Site n° 1; éruption par vent d'est de 10 noeuds;
tel qu'observé deux jours après le premier rejet d'hydrocarbures



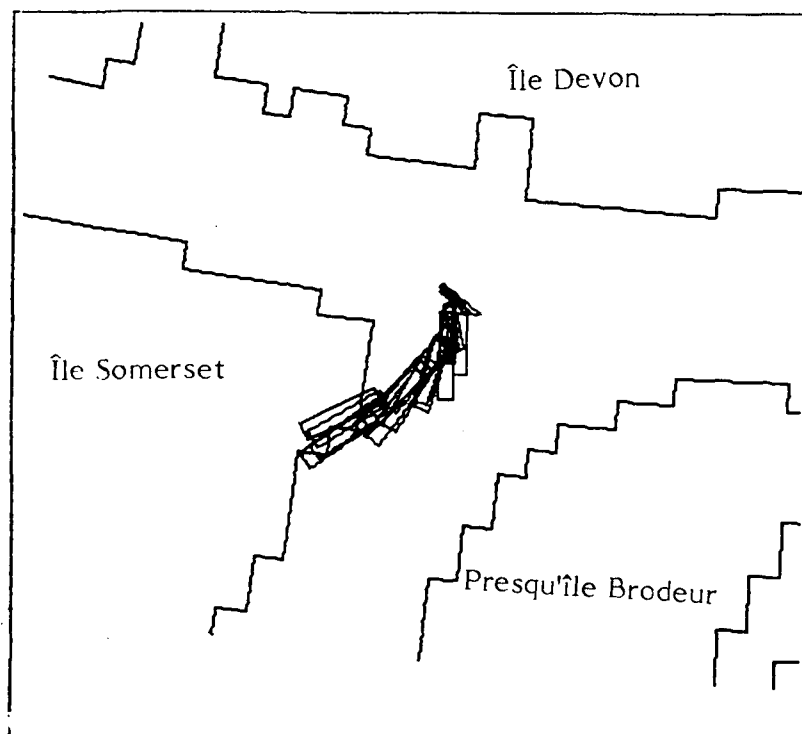
13 h)

1 E 10-3 - Site n° 1; éruption par vent d'est de 10 noeuds;
tel qu'observé trois jours après le premier rejet d'hydrocarbures



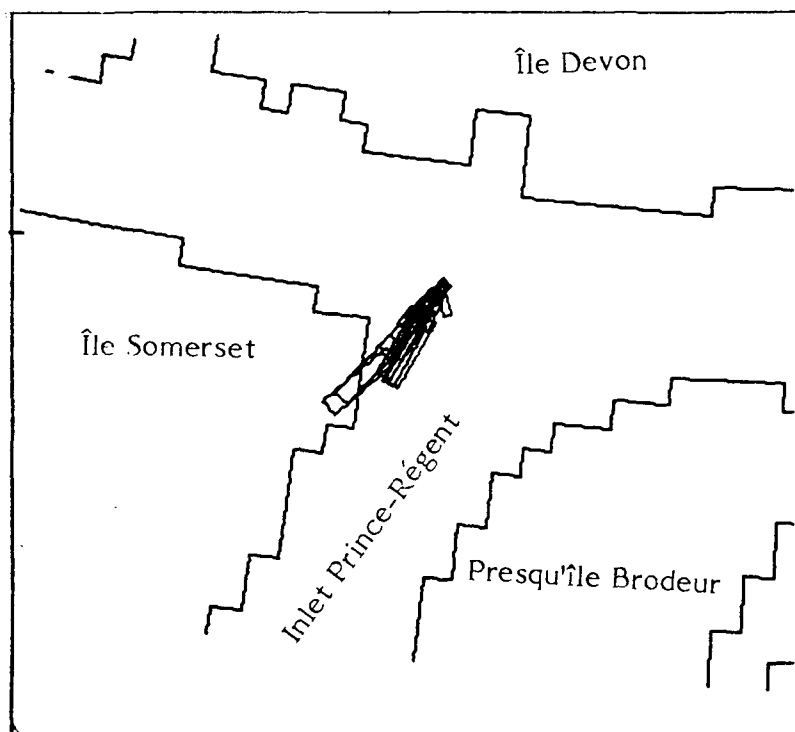
13 i)

1 E 10-7 - Site n° 1; éruption par vent d'est de 10 noeuds;
tel qu'observé sept jours après le premier rejet d'hydrocarbures

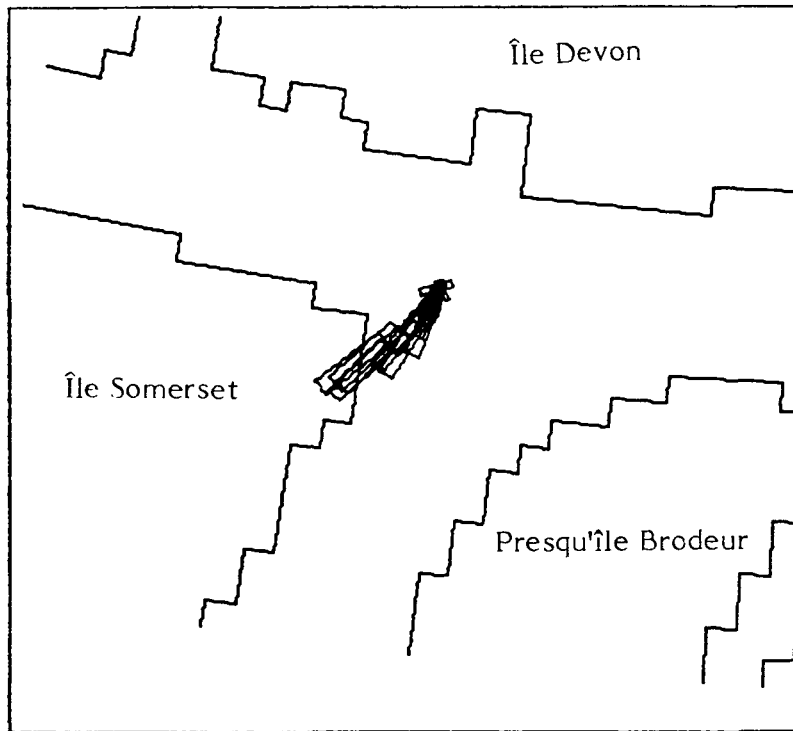


13 j)

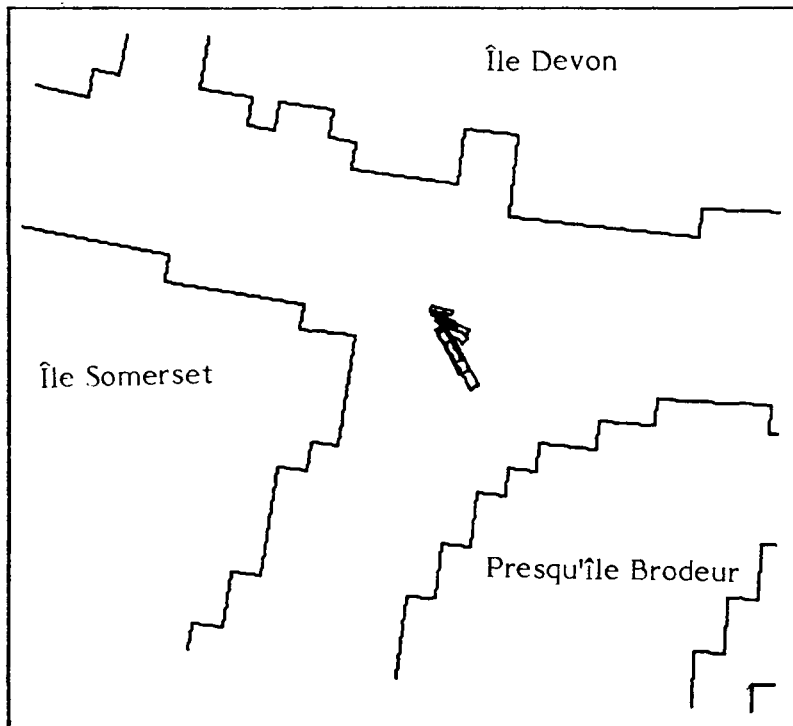
1 E 20-2 - Site n° 1; éruption par vent d'est de 20 noeuds;
tel qu'observé deux jours après le premier rejet d'hydrocarbures



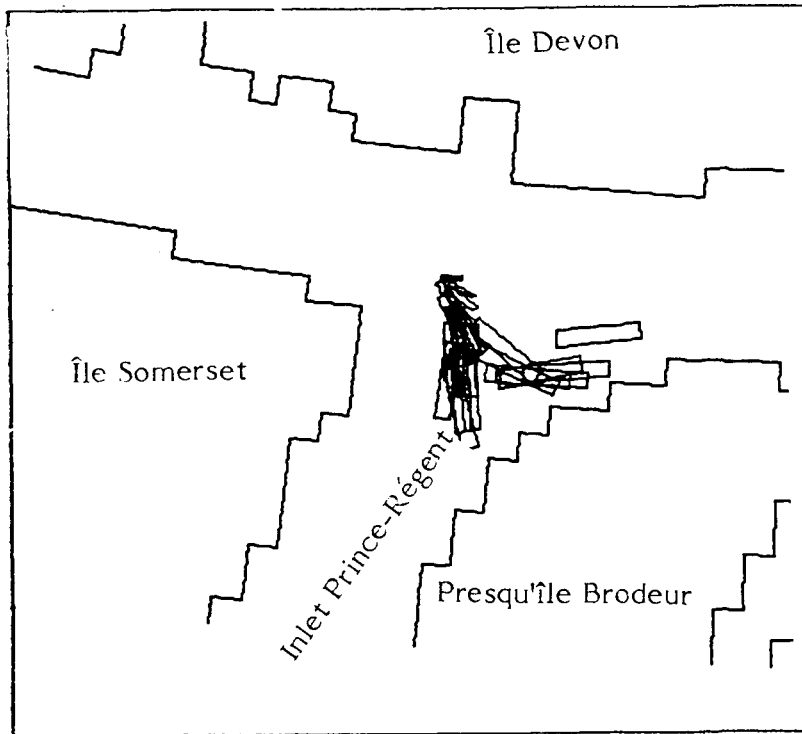
- 13 k) 1 E 20-4 - Site n° 1; éruption par vent d'est de 20 noeuds;
tel qu'observé quatre jours après le premier rejet d'hydrocarbures



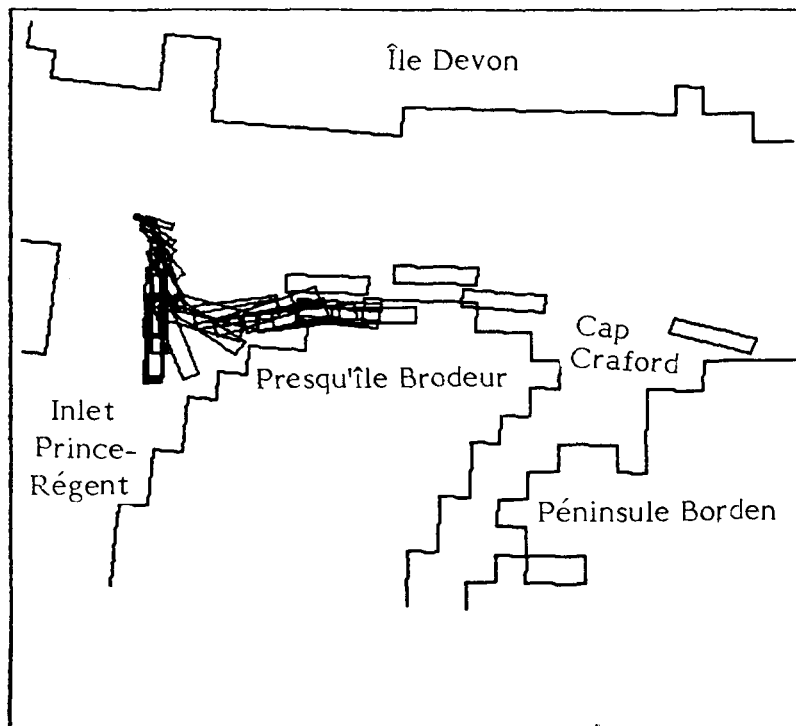
- 13 l) 1 W 10-1 - Site n° 1; éruption par vent d'ouest de 10 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures



- 13 m) 1 W 10-3 - Site n° 1; éruption par vent d'ouest de 10 noeuds;
tel qu'observé trois jours après le premier rejet d'hydrocarbures

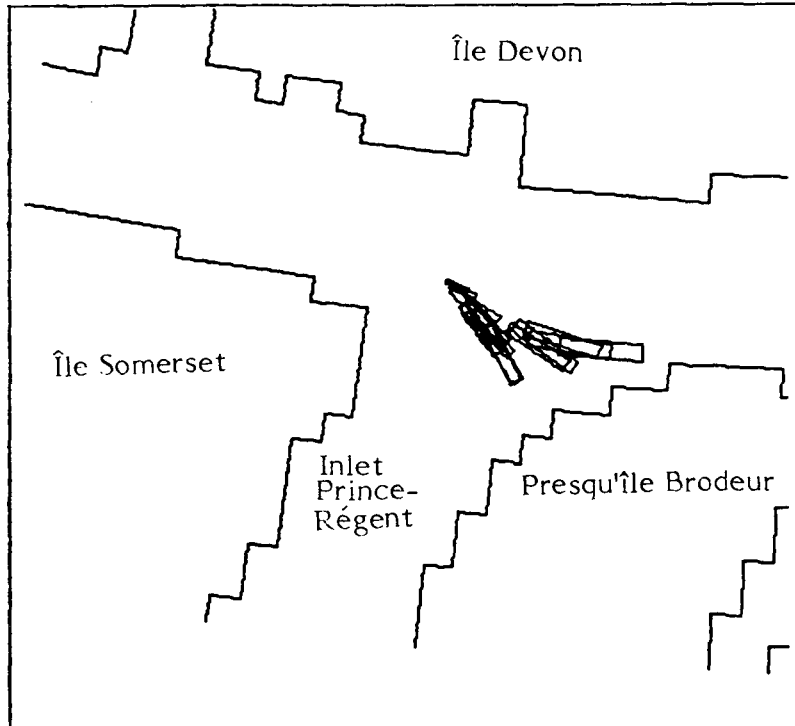


- 13 n) 1 W 10-6 - Site n° 1; éruption par vent d'ouest de 10 noeuds;
tel qu'observé six jours après le premier rejet d'hydrocarbures



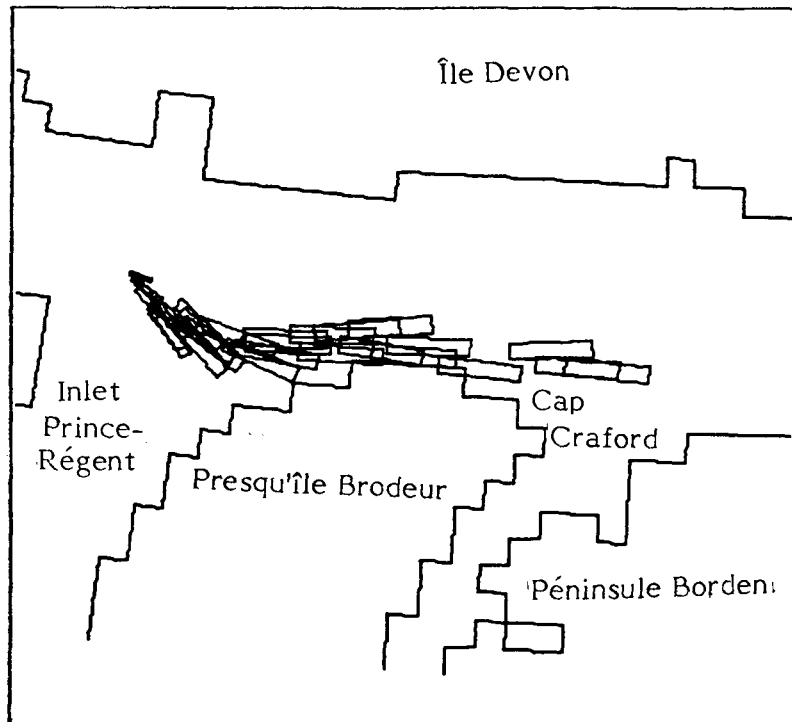
13 o)

1 W 20-2 - Site n° 1; éruption par vent d'ouest de 20 noeuds;
tel qu'observé deux jours après le premier rejet d'hydrocarbures



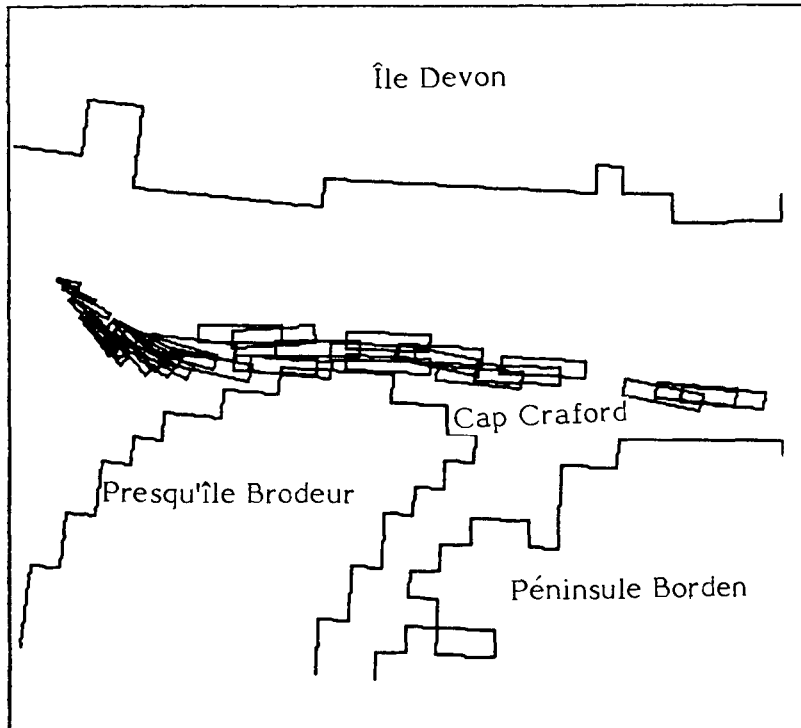
13 p)

1 W 20-4 - Site n° 1; éruption par vent d'ouest de 20 noeuds;
tel qu'observé quatre jours après le premier rejet d'hydrocarbures



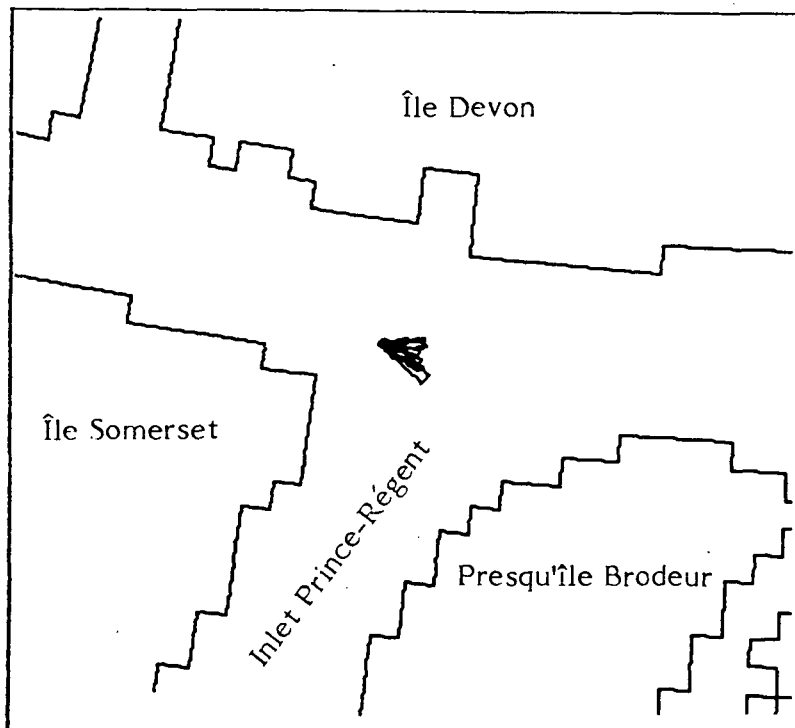
13 q)

1 W 20-5 - Site n° 1; éruption par vent d'ouest de 20 noeuds;
tel qu'observé cinq jours après le premier rejet d'hydrocarbures



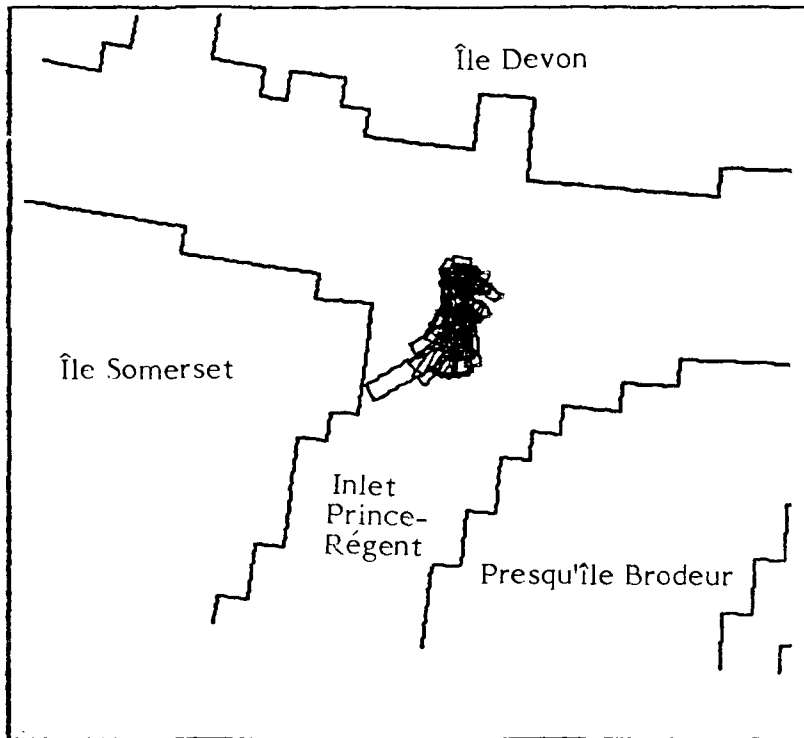
13 r)

1 S 10-1 - Site n° 1; éruption par vent du sud de 10 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures



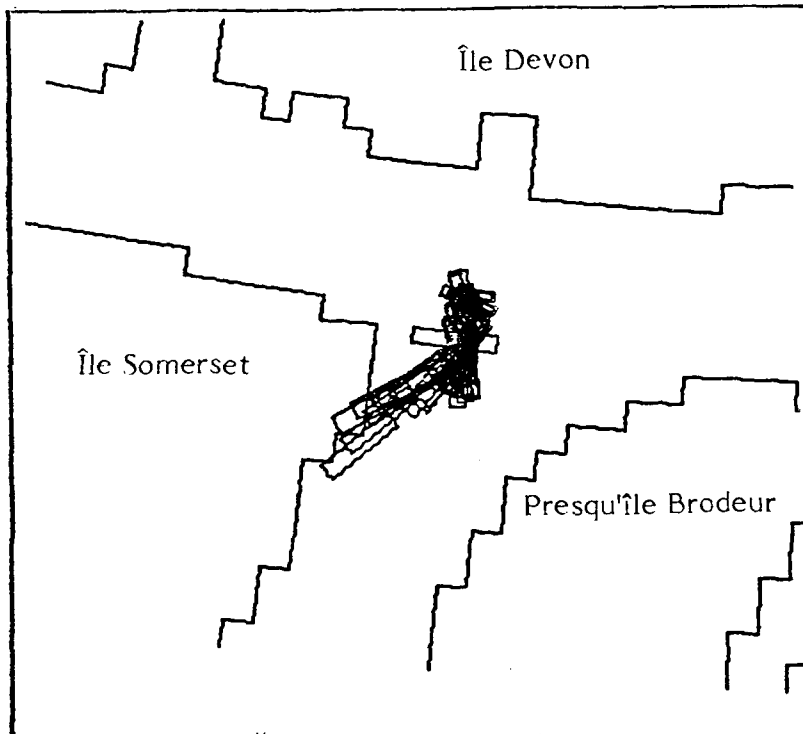
13 s)

1 S 10-4 - Site n° 1; éruption par vent du sud de 10 noeuds;
tel qu'observé quatre jours après le premier rejet d'hydrocarbures

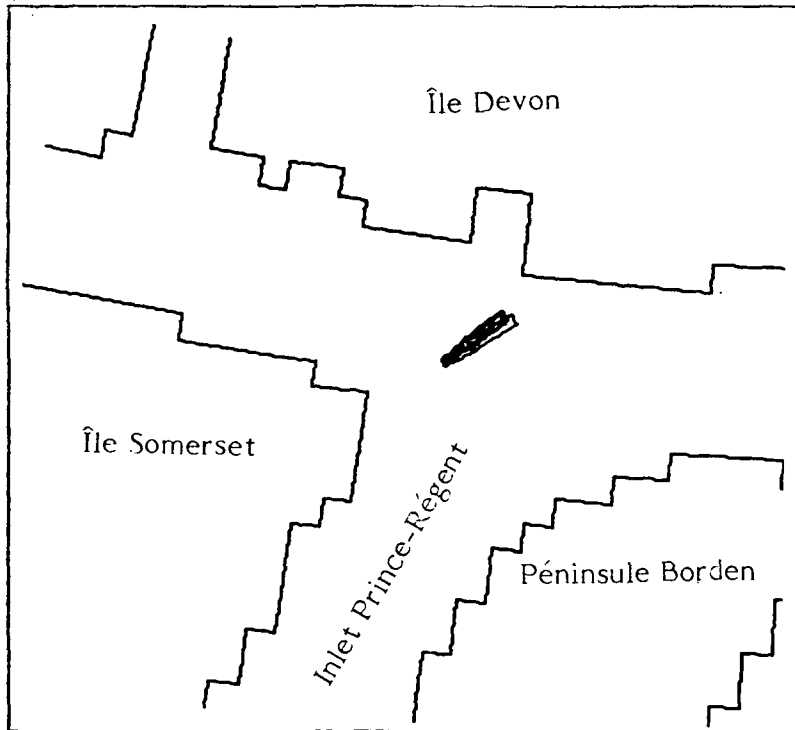


13 t)

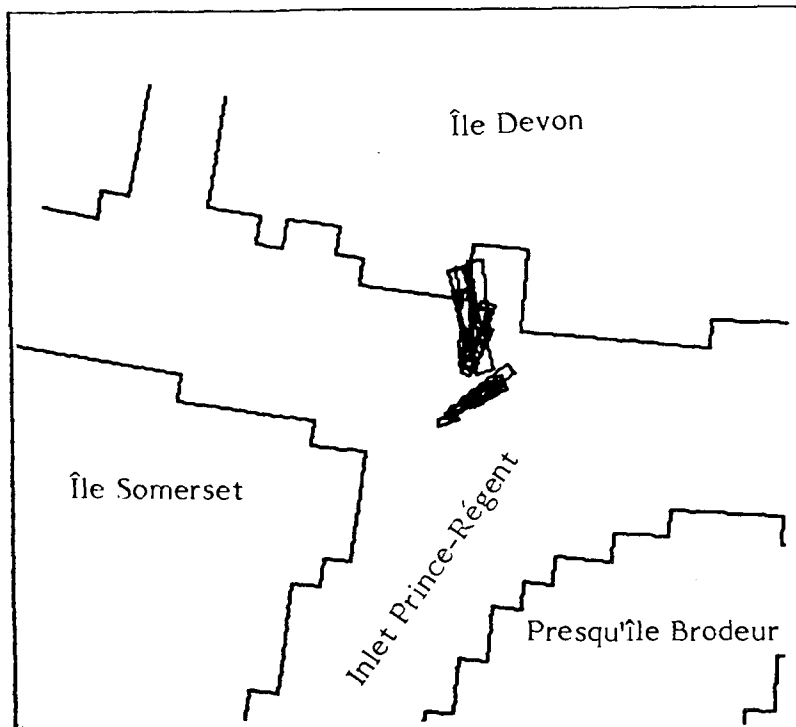
1 S 10-6 - Site n° 1; éruption par vent du sud de 10 noeuds;
tel qu'observé six jours après le premier rejet d'hydrocarbures



- 13 u) 1 S 20-1 - Site n° 1; éruption par vent du sud de 20 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures

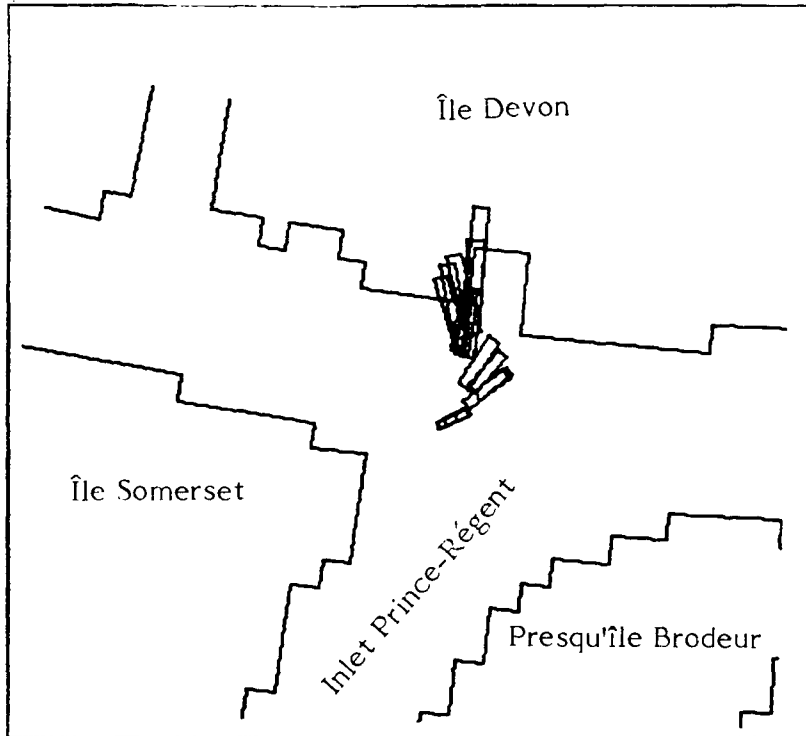


- 13 v) 1 S 20-2 - Site n° 1; éruption par vent du sud de 20 noeuds;
tel qu'observé deux jours après le premier rejet d'hydrocarbures

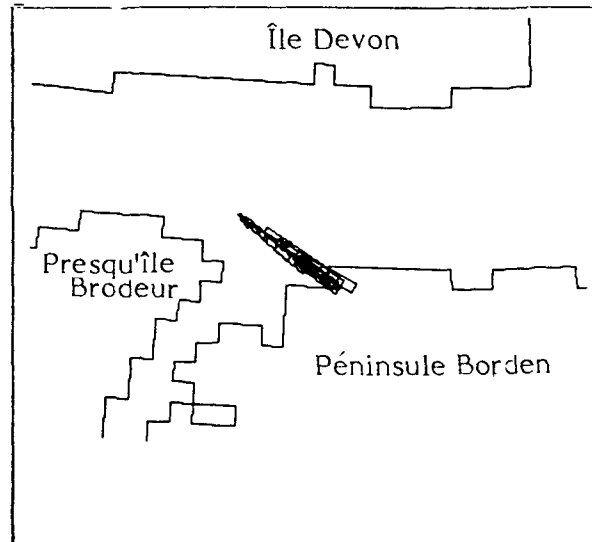


13 w)

1 S 20-7 - Site n° 1; éruption par vent du sud de 20 noeuds;
tel qu'observé sept jours après le premier rejet d'hydrocarbures



- 14 a) 2 N 10-1 - Site n° 2; éruption par vent du nord de 10 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures



- 14 b) 2 N 10-2 - Site n° 2; éruption par vent du nord de 10 noeuds;
tel qu'observé deux jours après le premier rejet d'hydrocarbures

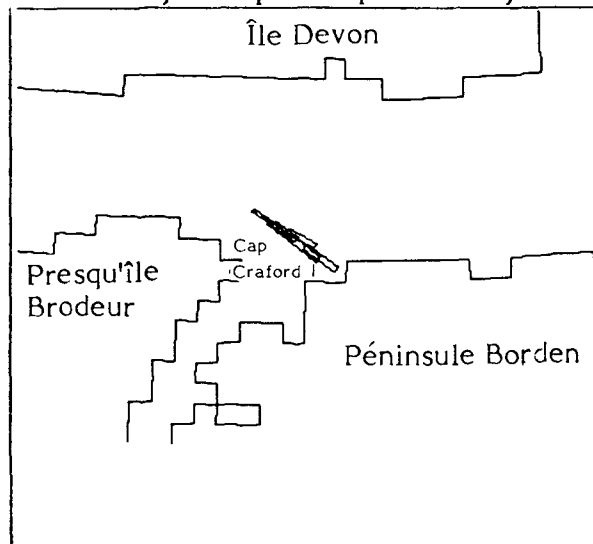
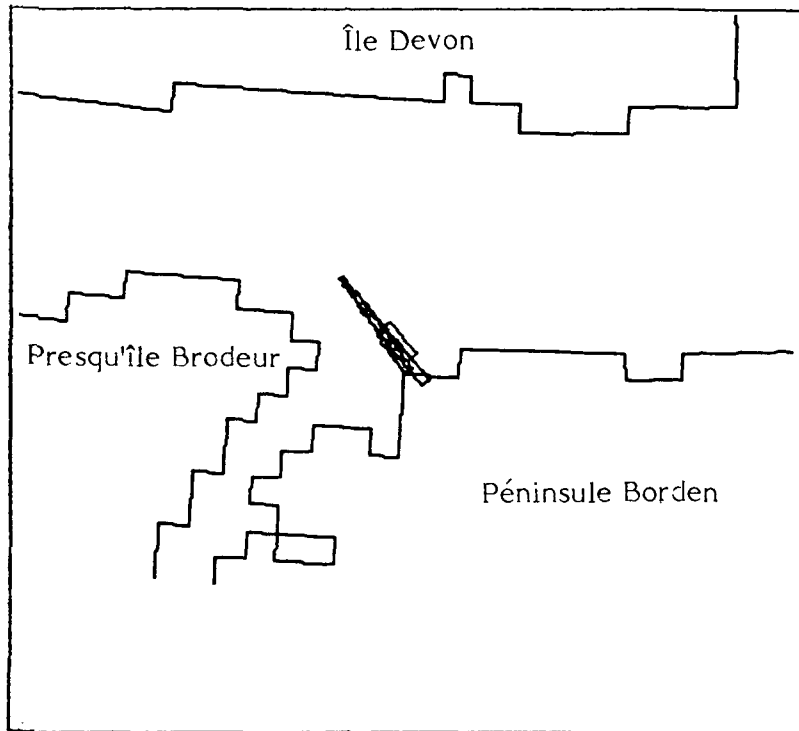


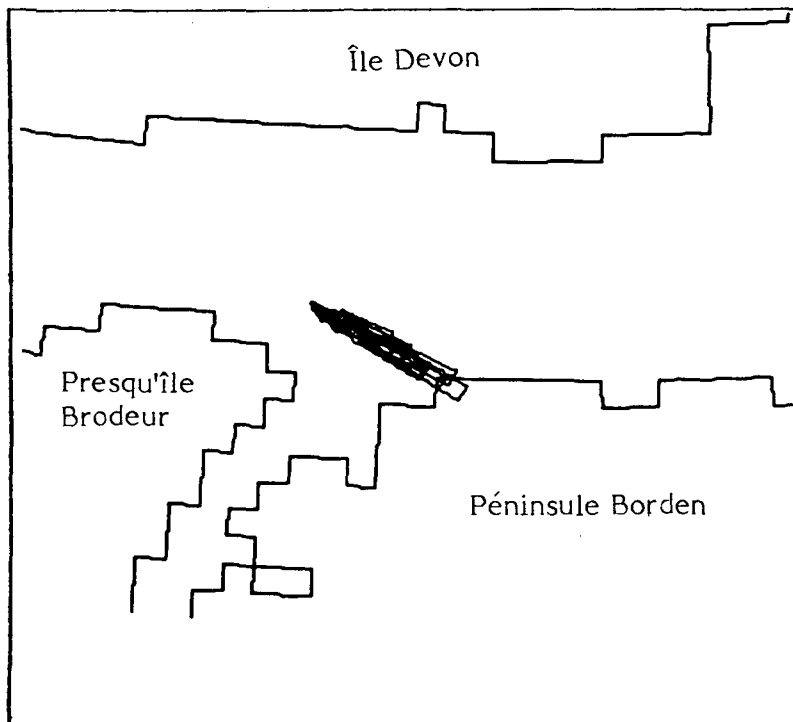
FIGURE 14

SCENARIOS DE LA DÉRIVATION DES HYDROCARBURES DANS LE
SECTEUR DU SITE D'ÉRUPTION n° 2 AVEC DES VENTS DU NORD,
D'EST, D'OUEST ET DU SUD NON FONCTION DU TEMPS

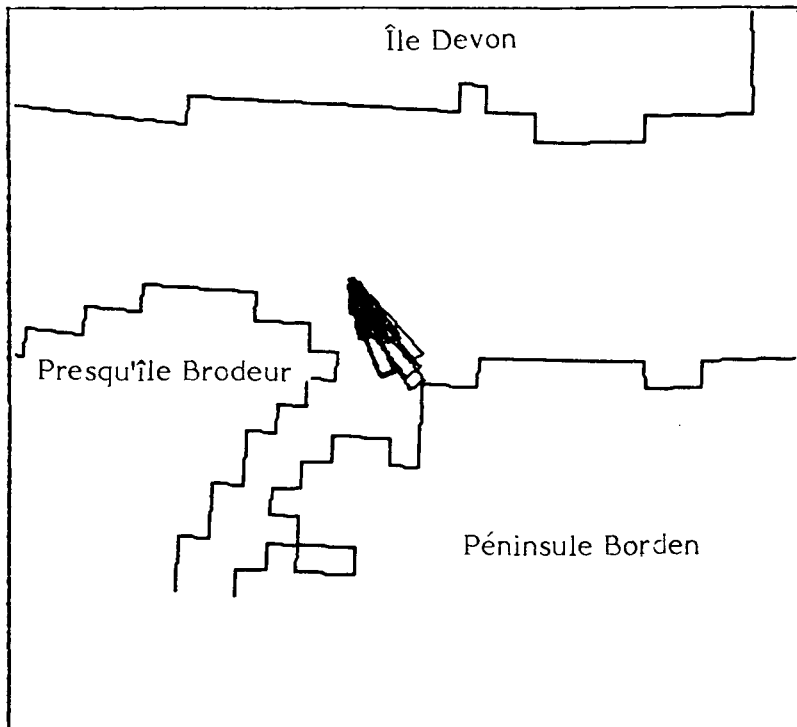
- 14 c) 2 N 20-1 - Site n° 2; éruption par vent du nord de 20 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures



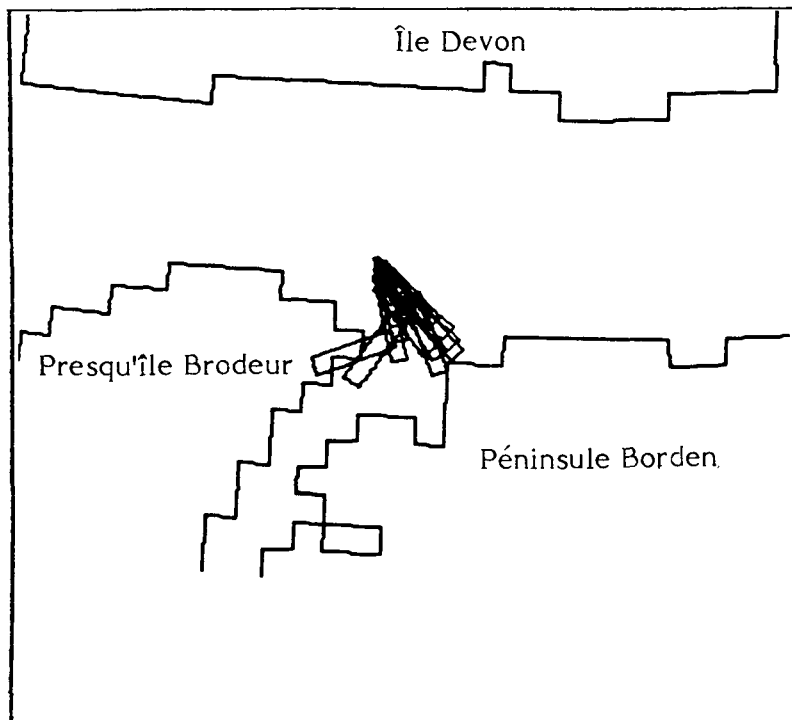
- 14 d) 2 E 10-2 - Site n° 2; éruption par vent d'est de 10 noeuds;
tel qu'observé deux jours après le premier rejet d'hydrocarbures



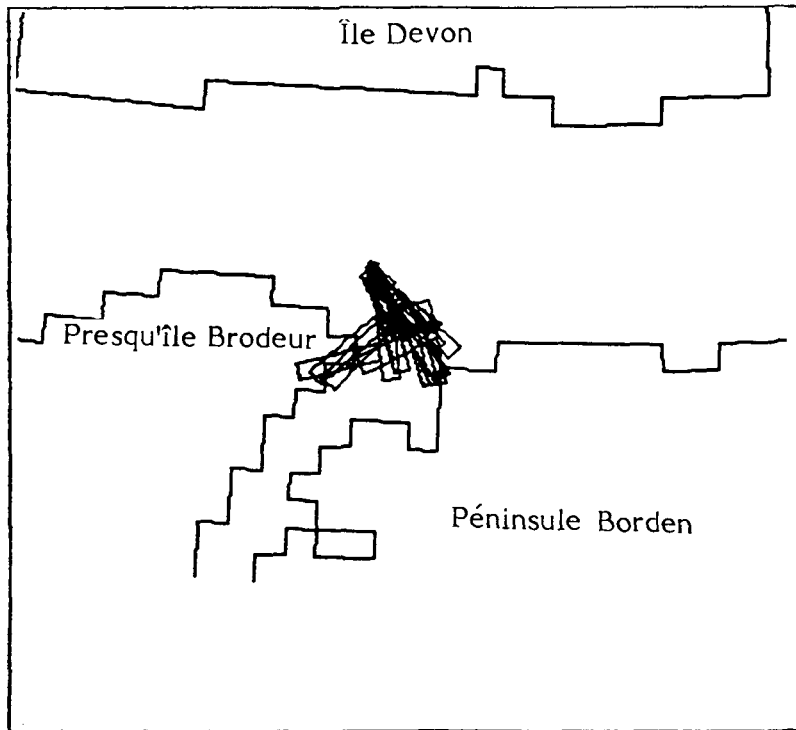
- 14 e) 2 E 20-2 - Site n° 2; éruption par vent d'est de 20 noeuds;
tel qu'observé deux jours après le premier rejet d'hydrocarbures



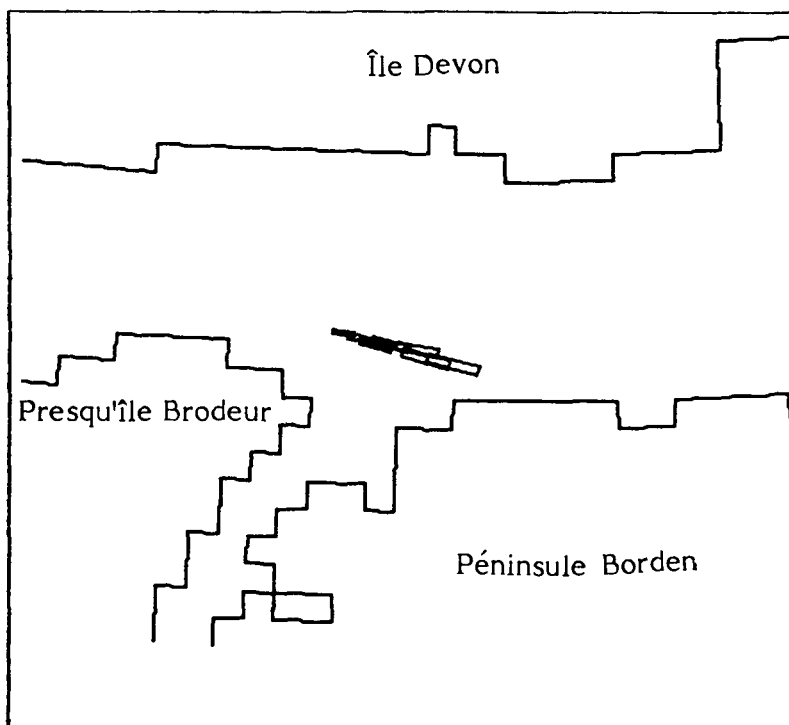
- 14 f) 2 E 20-3 - Site n° 2; éruption par vent d'est de 20 noeuds;
tel qu'observé trois jours après le premier rejet d'hydrocarbures



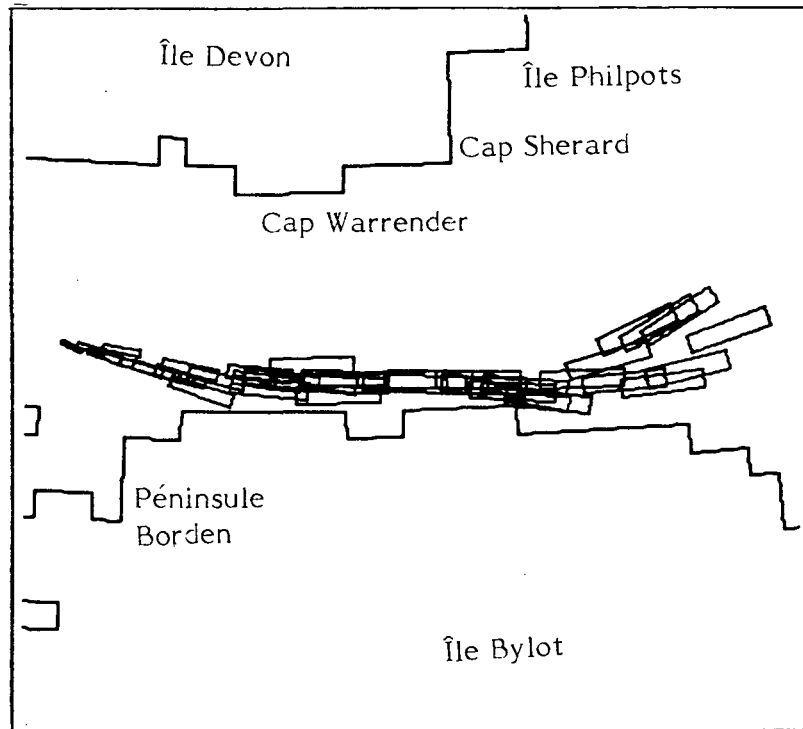
- 14 g) 2 E 20-7 - Site n° 2; éruption par vent d'est de 20 noeuds;
tel qu'observé sept jours après le premier rejet d'hydrocarbures



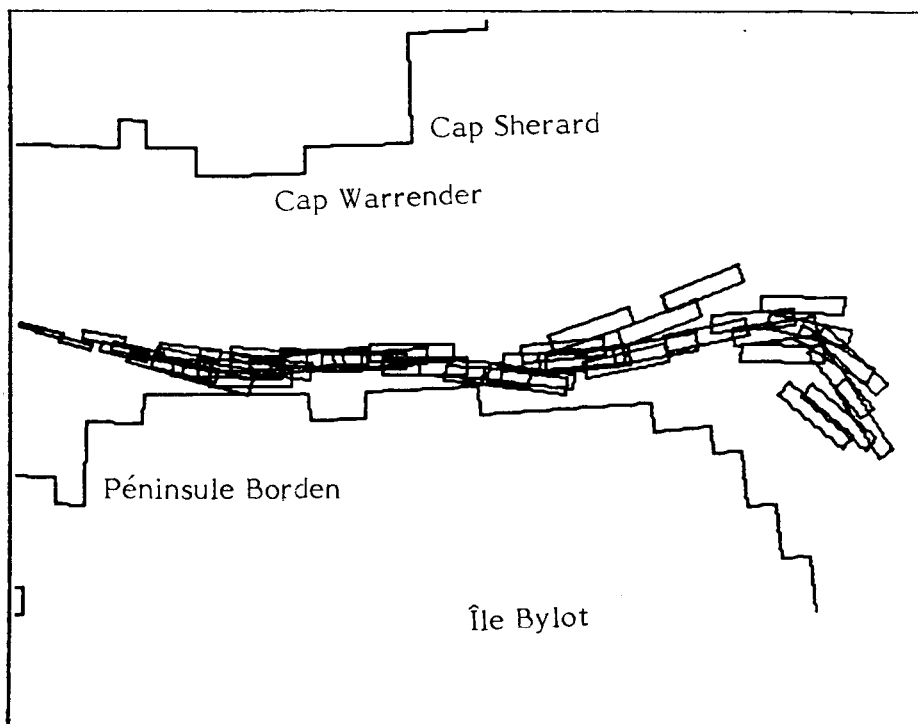
- 14 h) 2 W 10-1 - Site n° 2; éruption par vent d'ouest de 10 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures



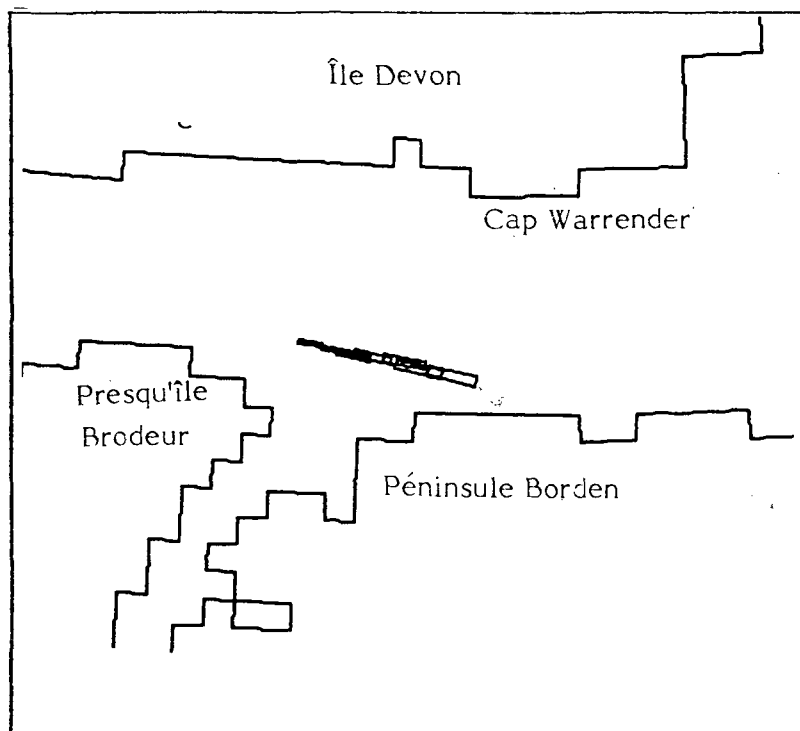
- 14 i) 2 W 10-5 - Site n° 2; éruption par vent d'ouest de 10 noeuds;
tel qu'observé cinq jours après le premier rejet d'hydrocarbures



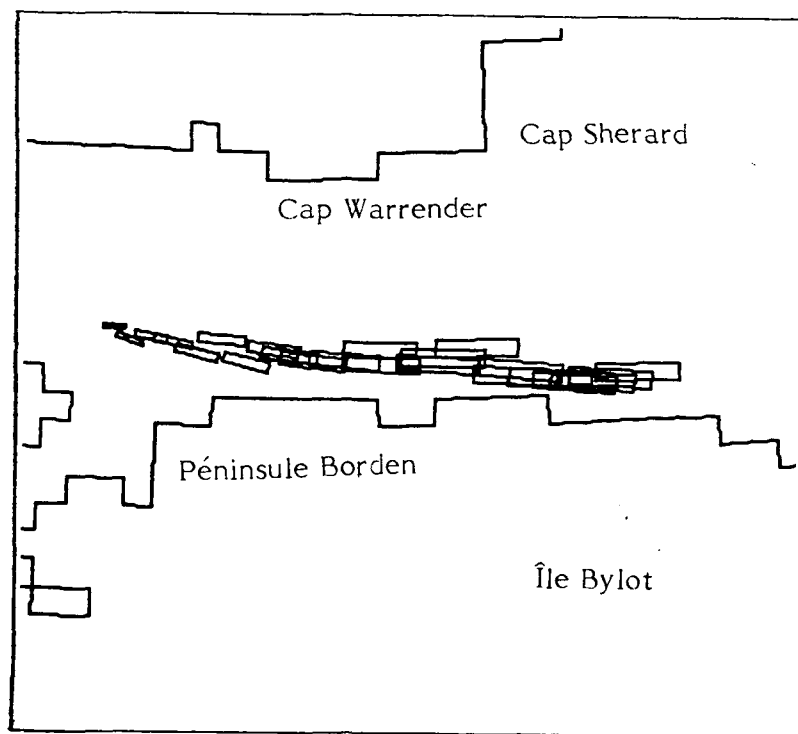
- 14 j) 2 W 10-7 - Site n° 2; éruption par vent d'ouest de 10 noeuds;
tel qu'observé sept jours après le premier rejet d'hydrocarbures



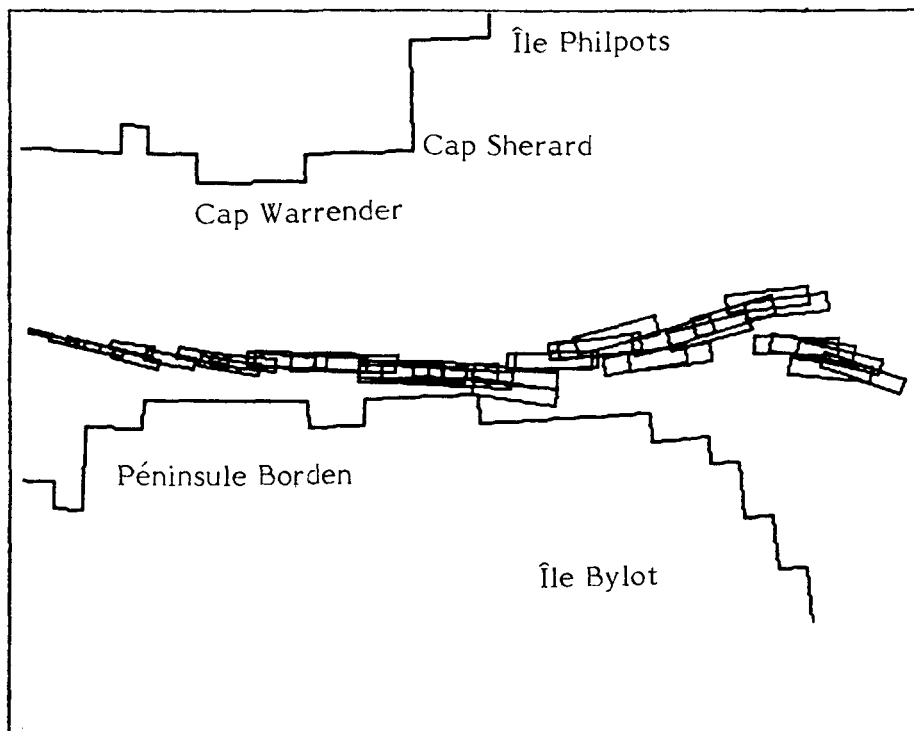
- 14 k) 2 W 20-1 - Site n° 2; éruption par vent d'ouest de 20 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures



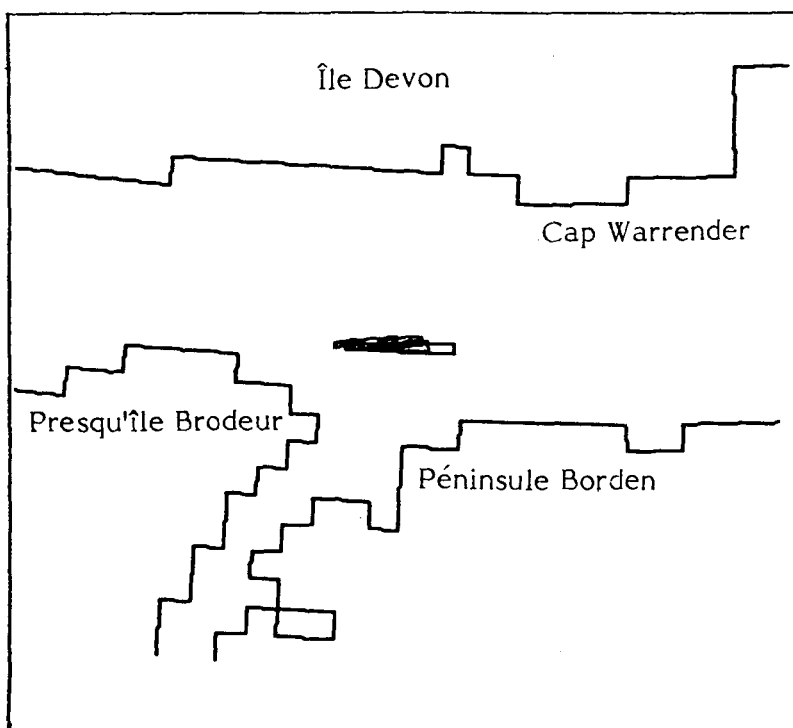
- 14 l) 2 W 20-3 - Site n° 2; éruption par vent d'ouest de 20 noeuds;
tel qu'observé trois jours après le premier rejet d'hydrocarbures



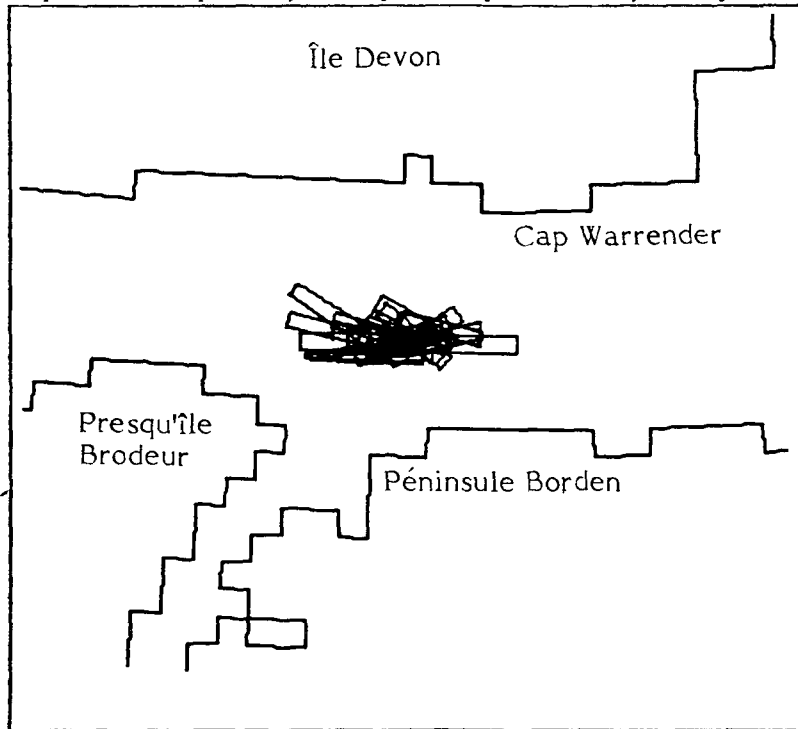
- 14 m) 2 W 20-5 - Site n° 2; éruption par vent d'ouest de 20 noeuds;
tel qu'observé cinq jours après le premier rejet d'hydrocarbures



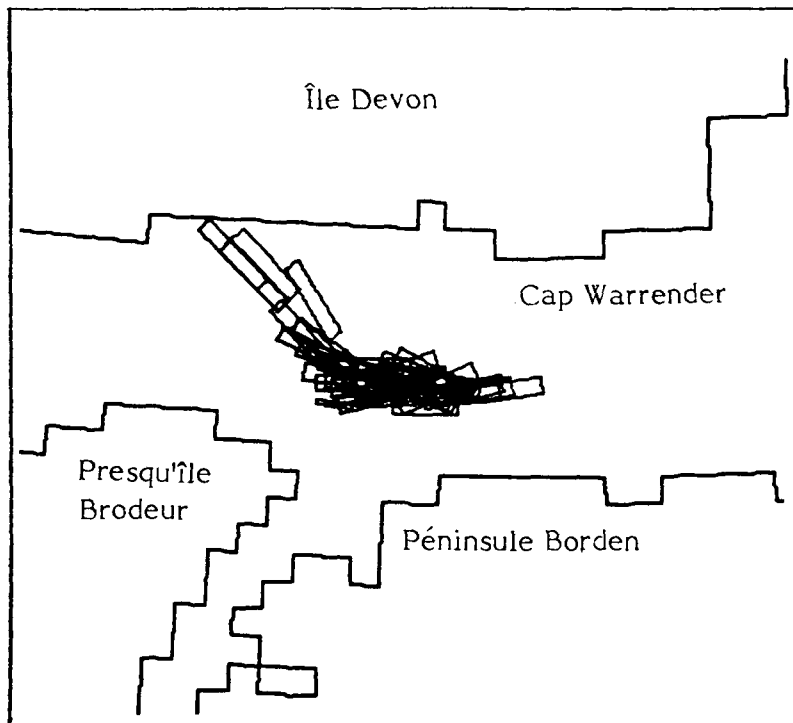
- 14 n) 2 S 10-1 - Site n° 2; éruption par vent du sud de 10 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures



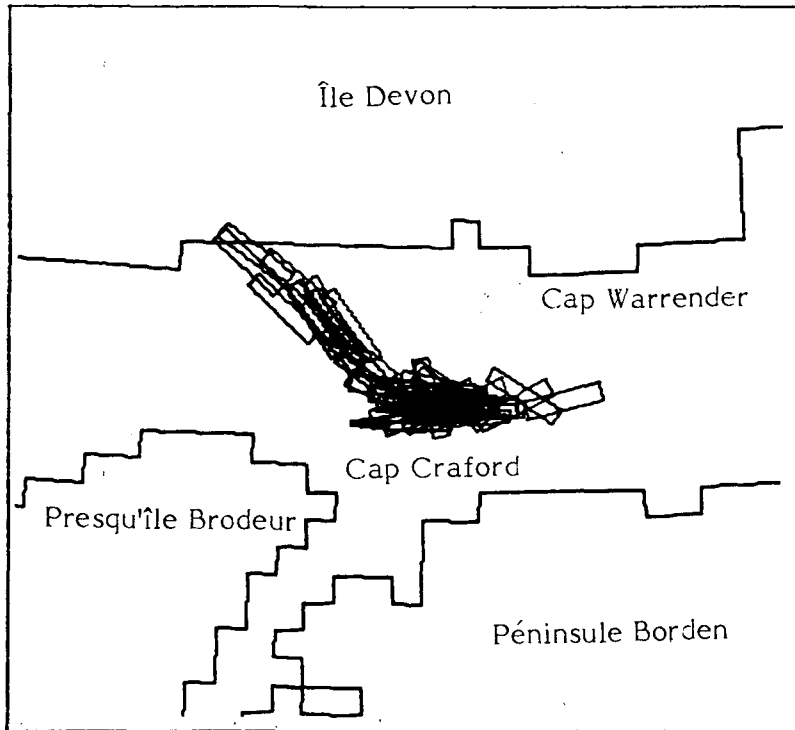
- 14 o) 2 S 10-4 - Site n° 2; éruption par vent du sud de 10 noeuds;
tel qu'observé quatre jours après le premier rejet d'hydrocarbures



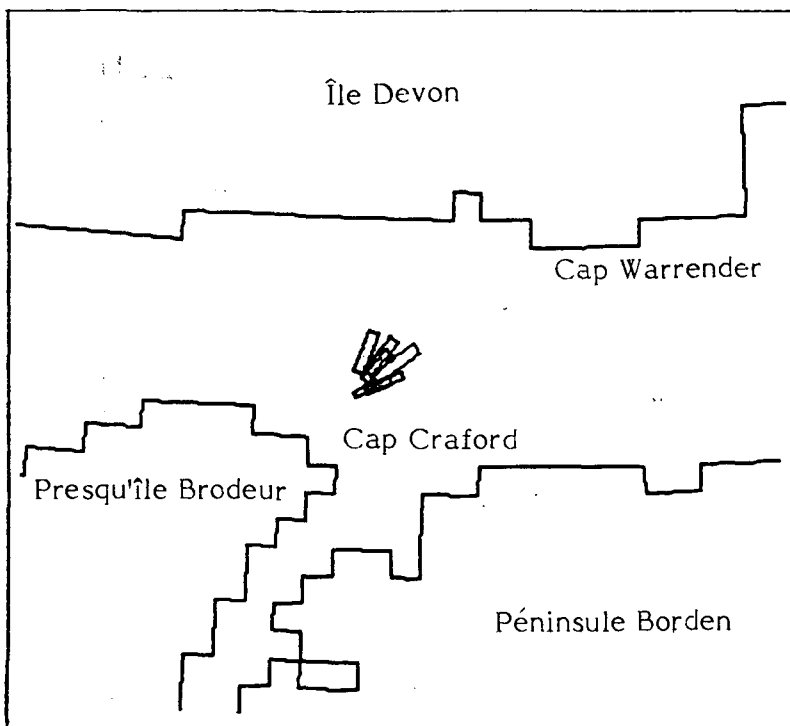
- 14 p) 2 S 10-6 - Site n° 2; éruption par vent du sud de 10 noeuds;
tel qu'observé six jours après le premier rejet d'hydrocarbures



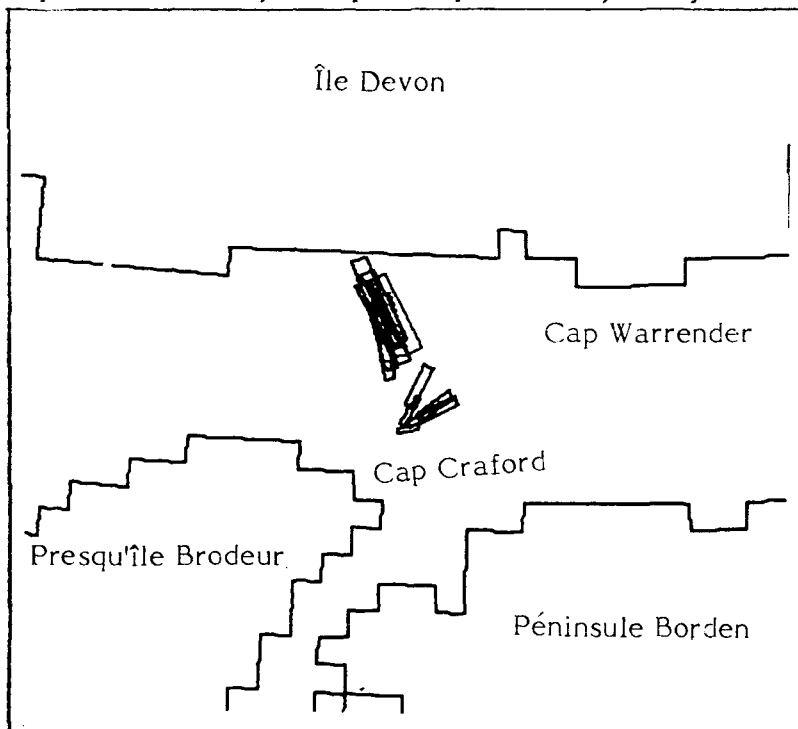
- 14 q) 2 S 10-7 - Site n° 2; éruption par vent du sud de 10 noeuds;
tel qu'observé sept jours après le premier rejet d'hydrocarbures



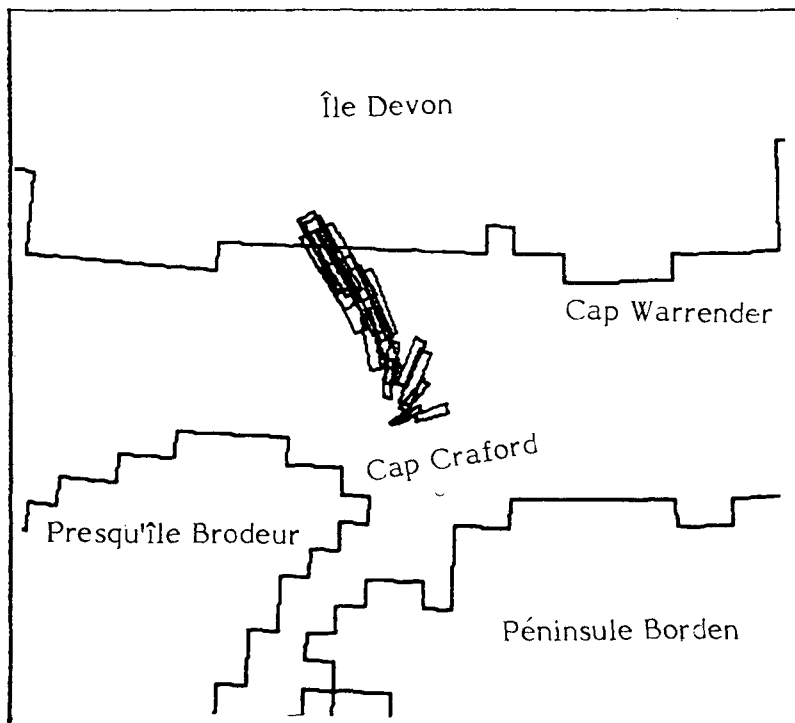
- 14 r) 2 S 20-1 - Site n° 2; éruption par vent du sud de 20 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures



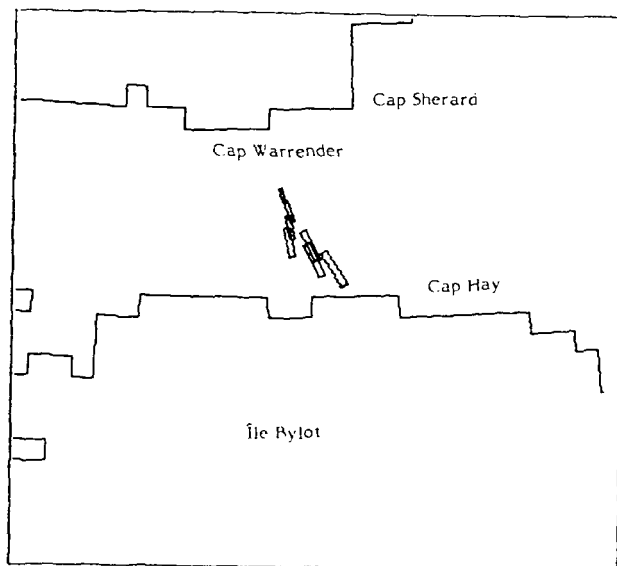
- 14 s) 2 S 20-2 - Site n° 2; éruption par vent du sud de 20 noeuds;
tel qu'observé deux jours après le premier rejet d'hydrocarbures



- 14 t) 2 S 20-3 - Site n° 2; éruption par vent du sud de 20 noeuds;
tel qu'observé trois jours après le premier rejet d'hydrocarbures



- 15a) 3 N 10-1 - Site n° 3; éruption par vent du nord de 10 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures



- 15 b) 3 N 10-2 - Site n° 3; éruption par vent du nord de 10 noeuds;
tel qu'observé deux jours après le premier rejet d'hydrocarbures

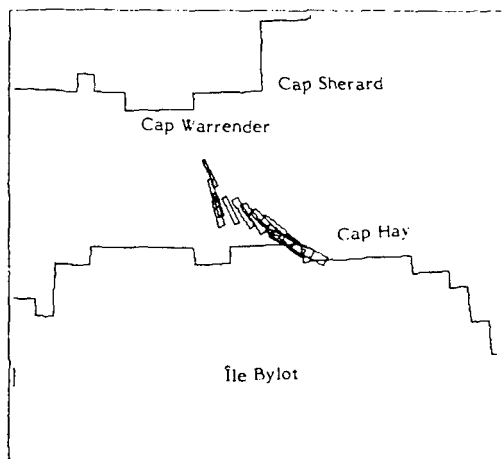
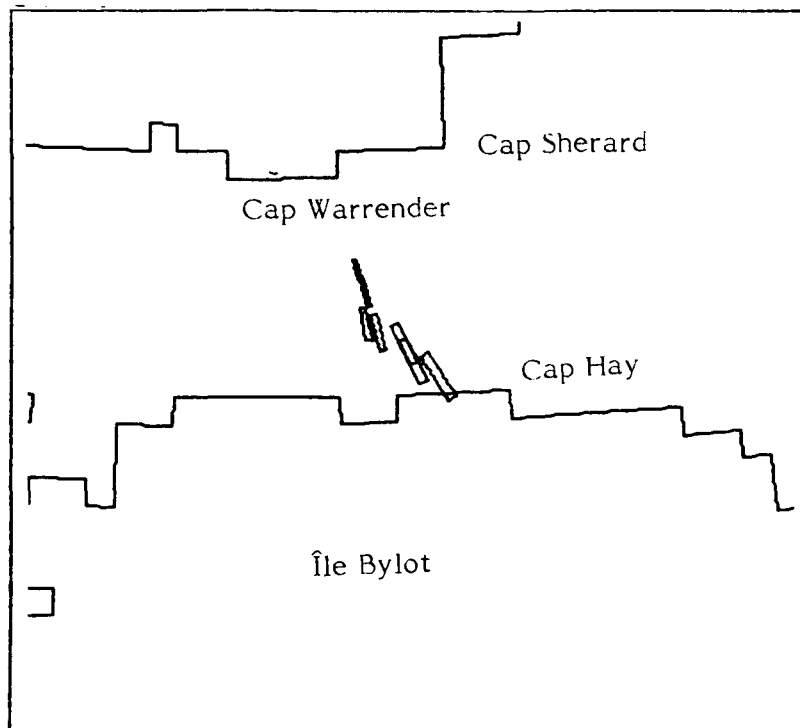


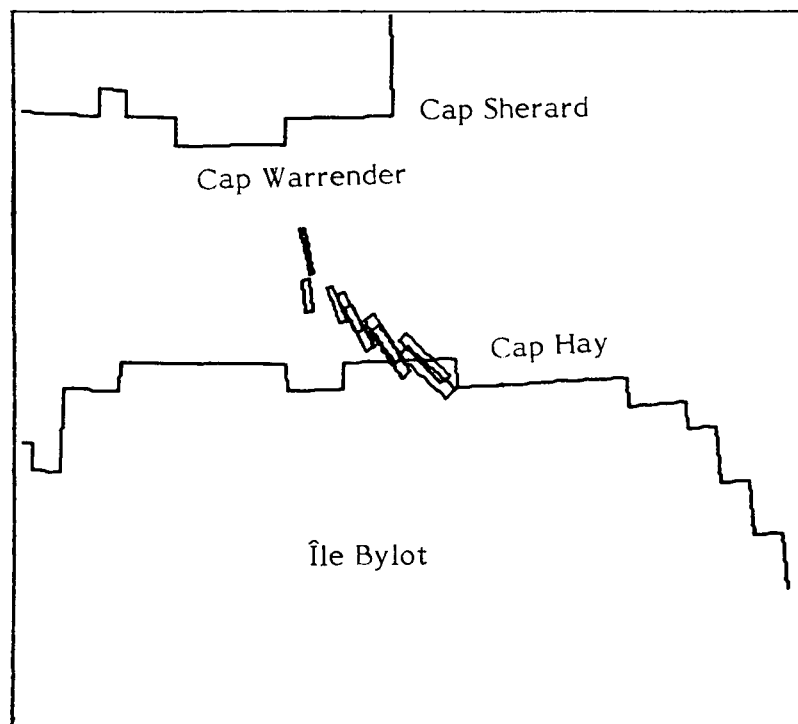
FIGURE 15

SCÉNARIOS DE DERIVATION DES HYDROCARBURES DANS LA
RÉGION DU SITE D'ÉRUPTION N° 3, AVEC DES VENTS DU NORD,
D'EST D'OUEST ET DU SUD NON FONCTION DU TEMPS

- 15 c) 3 N 20-1 - Site n° 3; éruption par vent du nord de 20 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures

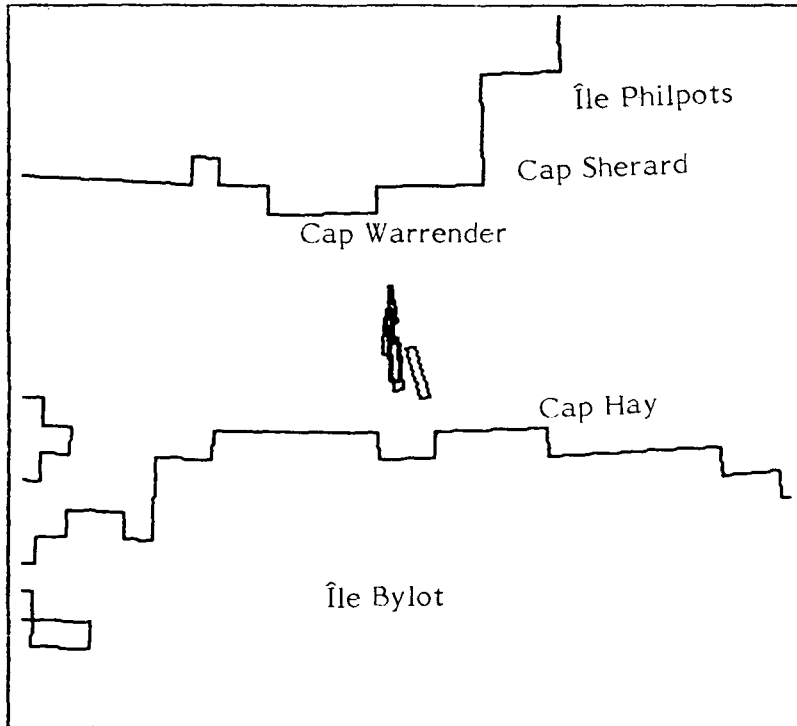


- 15 d) 3 N 20-3 - Site n° 3; éruption par vent du nord de 20 noeuds;
tel qu'observé trois jours après le premier rejet d'hydrocarbures



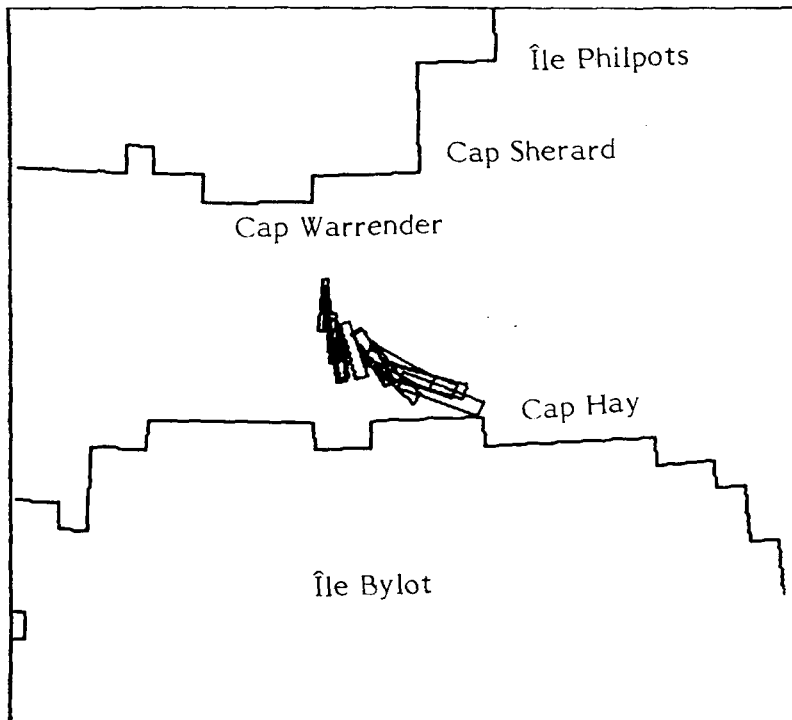
15 e)

3 E 10-1 - Site n° 3; éruption par vent d'est de 10 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures



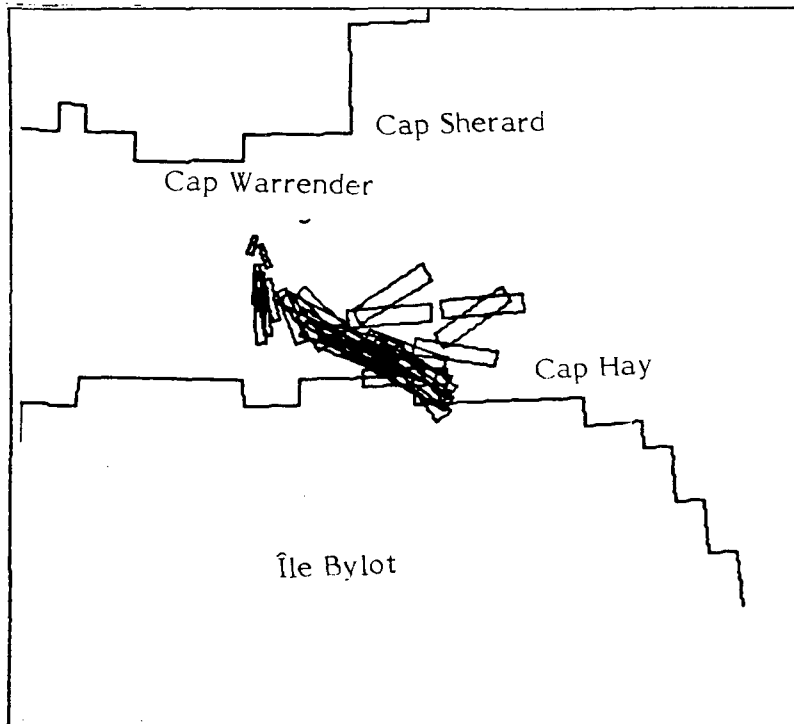
15 f)

3 E 10-2 - Site n° 3; éruption par vent d'est de 10 noeuds;
tel qu'observé deux jours après le premier rejet d'hydrocarbures



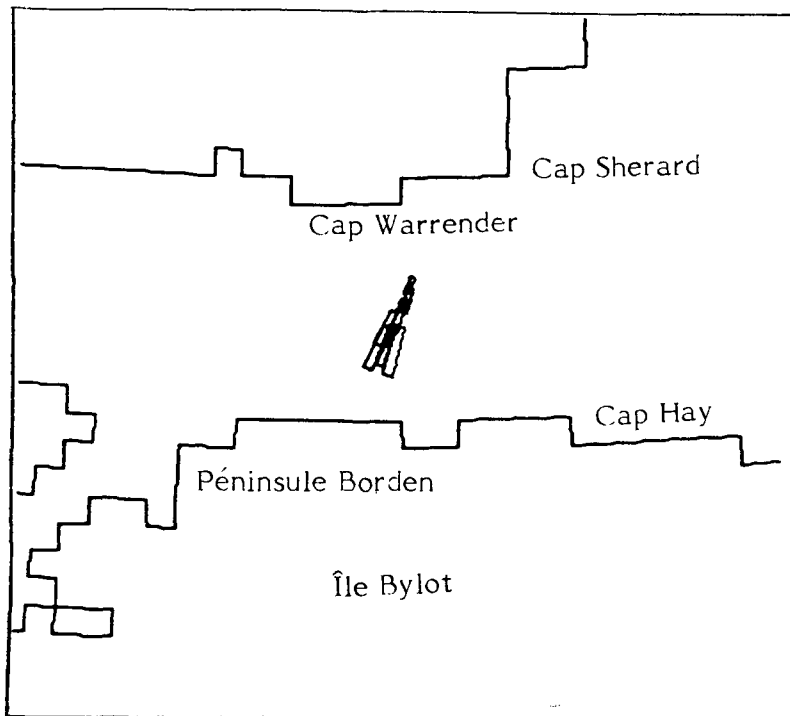
15 g)

3 E 10-6 - Site n° 3; éruption par vent d'est de 10 noeuds;
tel qu'observé six jours après le premier rejet d'hydrocarbures

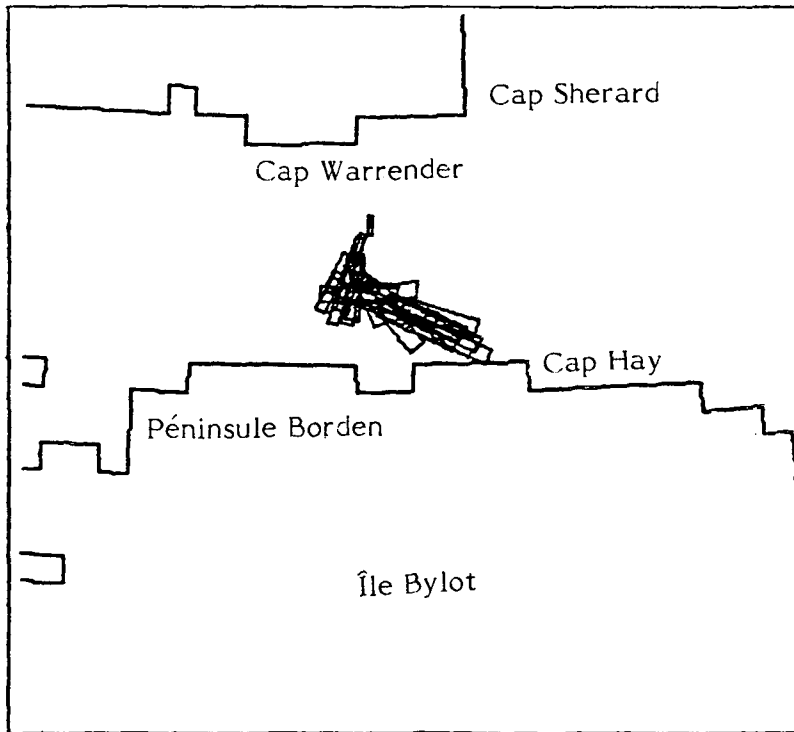


15 h)

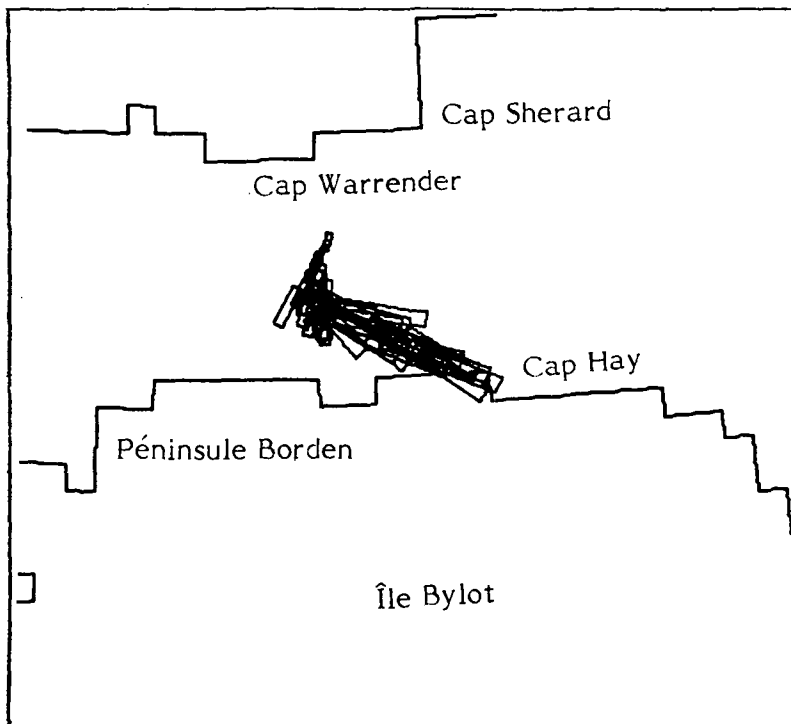
3 E 20-1 - Site n° 3; éruption par vent d'est de 20 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures;



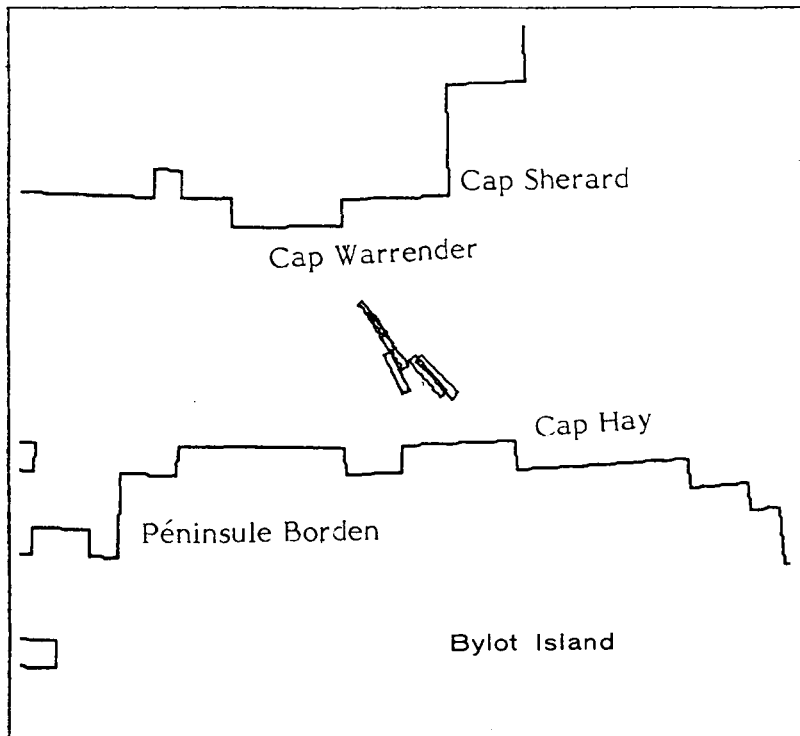
- 15 i) 3 E 20-3 - Site n° 3; éruption par vent d'est de 20 noeuds;
tel qu'observé trois jours après le premier rejet d'hydrocarbures;



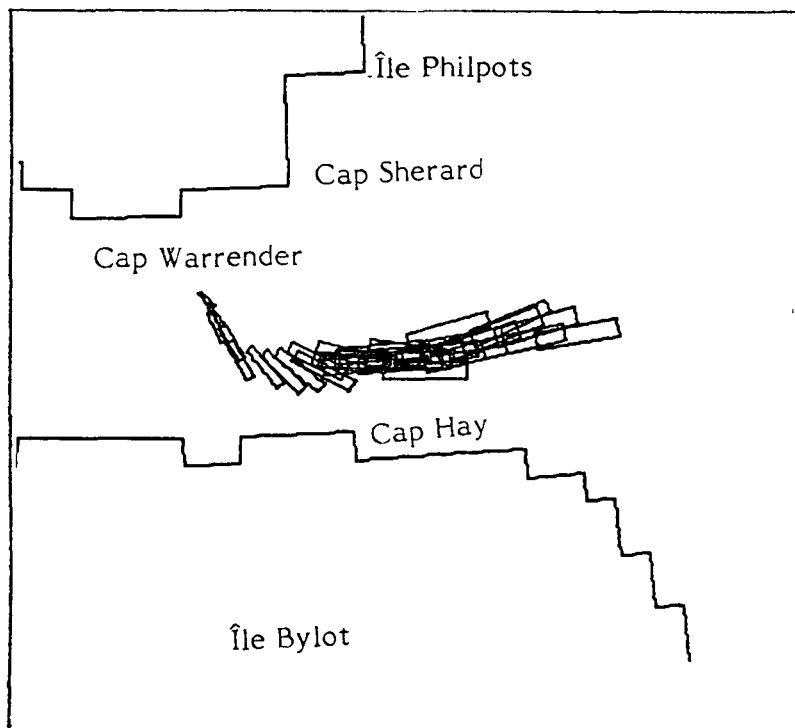
- 15 j) 3 E 20-4 - Site n° 3; éruption par vent d'est de 20 noeuds;
tel qu'observé quatre jours après le premier rejet d'hydrocarbures;



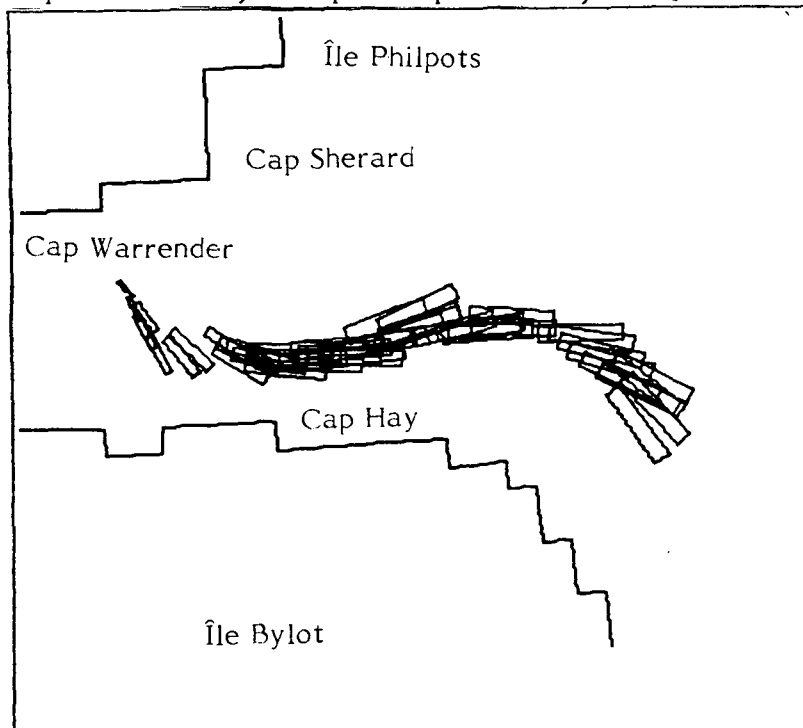
- 15 k) 3 W 10-1 - Site n° 3; éruption par vent d'ouest de 10 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures



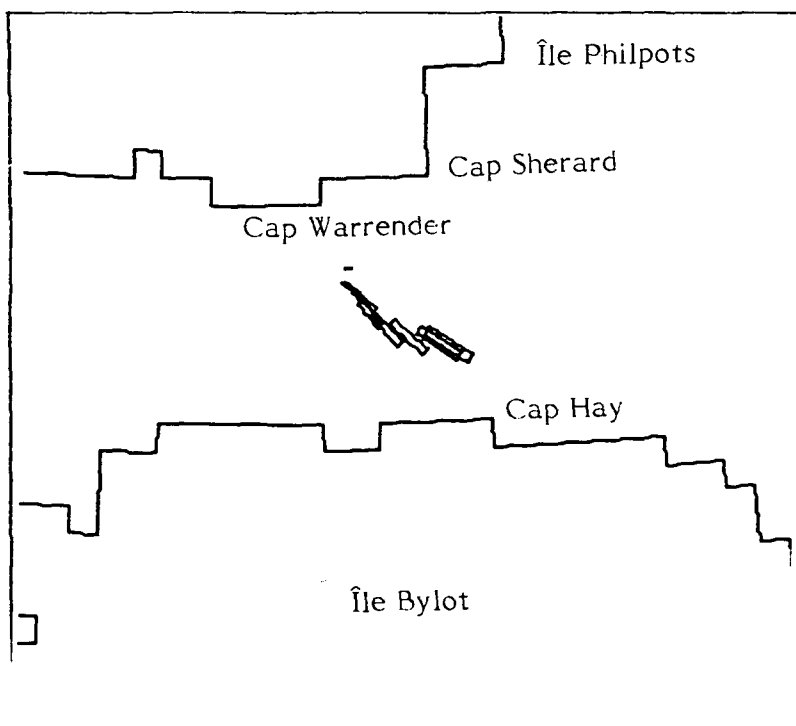
- 15 l) 3 W 10-4 - Site n° 3; éruption par vent d'ouest de 10 noeuds;
tel qu'observé quatre jours après le premier rejet d'hydrocarbures



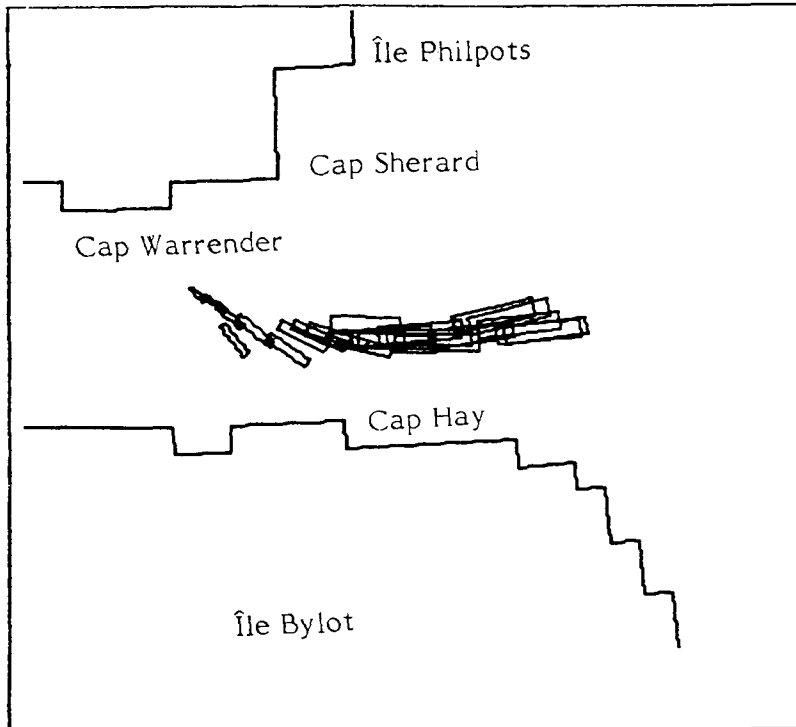
- 15 m) 3 W 10-6 - Site n° 3; éruption par vent d'ouest de 20 noeuds;
tel qu'observé six jours après le premier rejet d'hydrocarbures



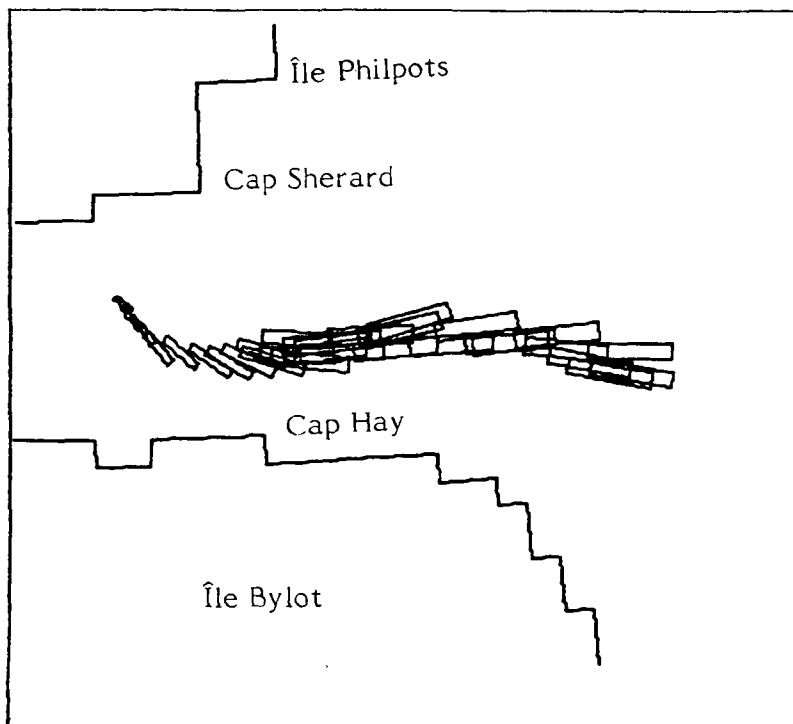
- 15 n) 3 W 20-1 - Site n° 3; éruption par vent d'ouest de 20 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures



- 15 o) 3 W 20-3 - Site n° 3; éruption par vent d'ouest de 20 noeuds;
tel qu'observé trois jours après le premier rejet d'hydrocarbures

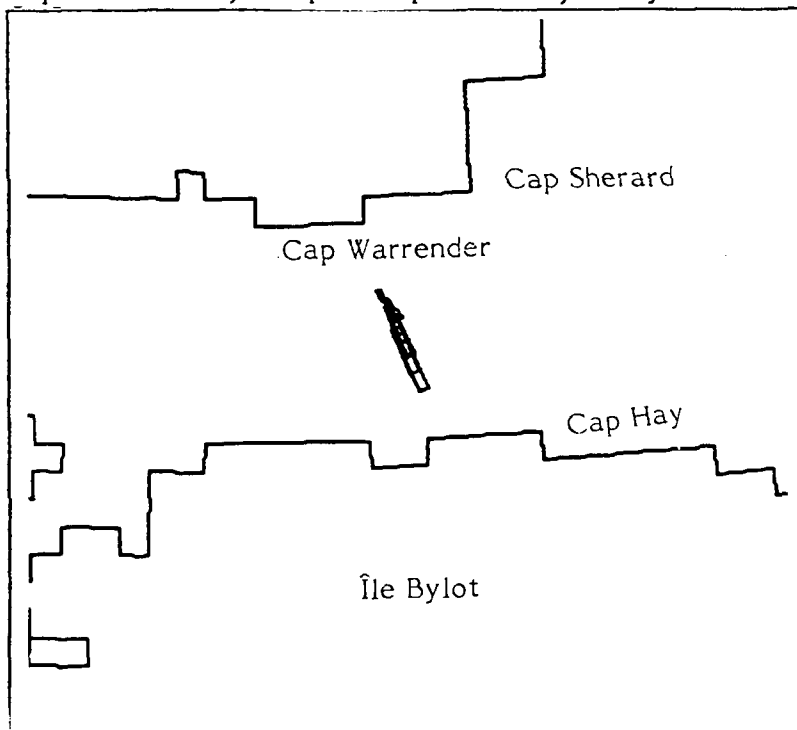


- 15 p) 2 W 20-4 - Site n° 3; éruption par vent d'ouest de 20 noeuds;
tel qu'observé quatre jours après le premier rejet d'hydrocarbures



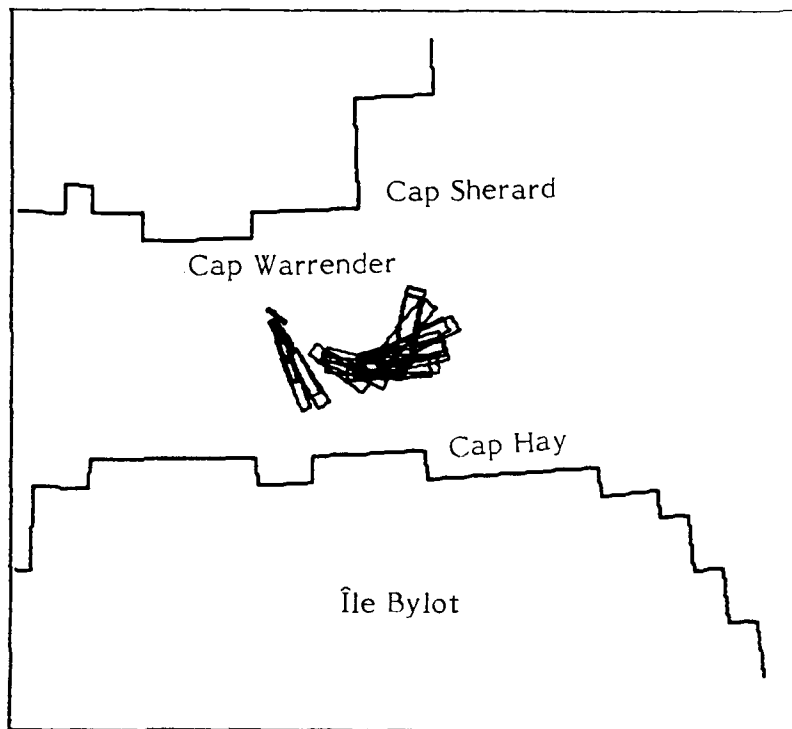
15 q)

3 S 10-1 - Site n° 3; éruption par vent du sud de 10 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures



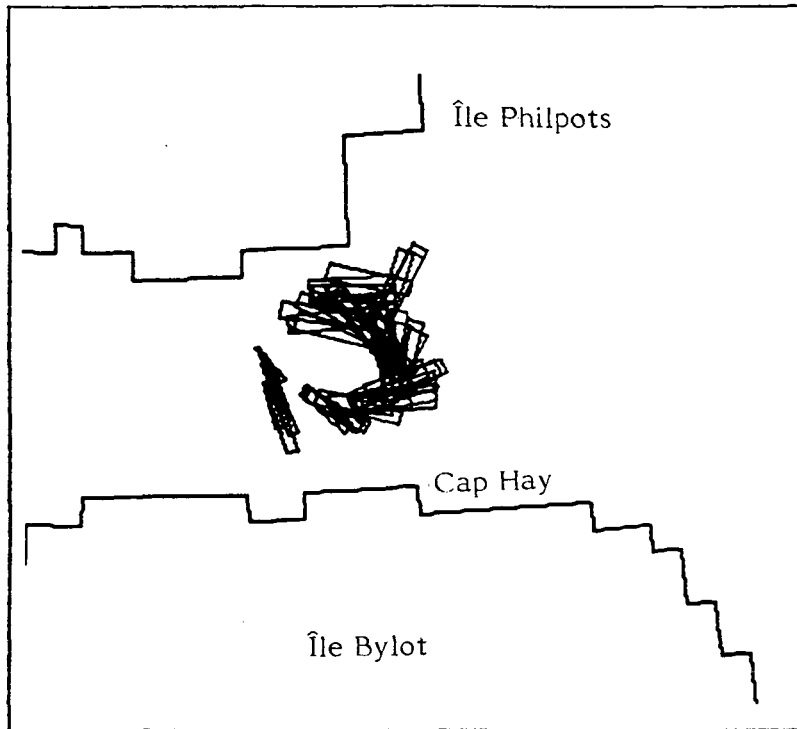
15 r)

3 S 10-3 - Site n° 3; éruption par vent du sud de 10 noeuds;
tel qu'observé trois jours après le premier rejet d'hydrocarbures



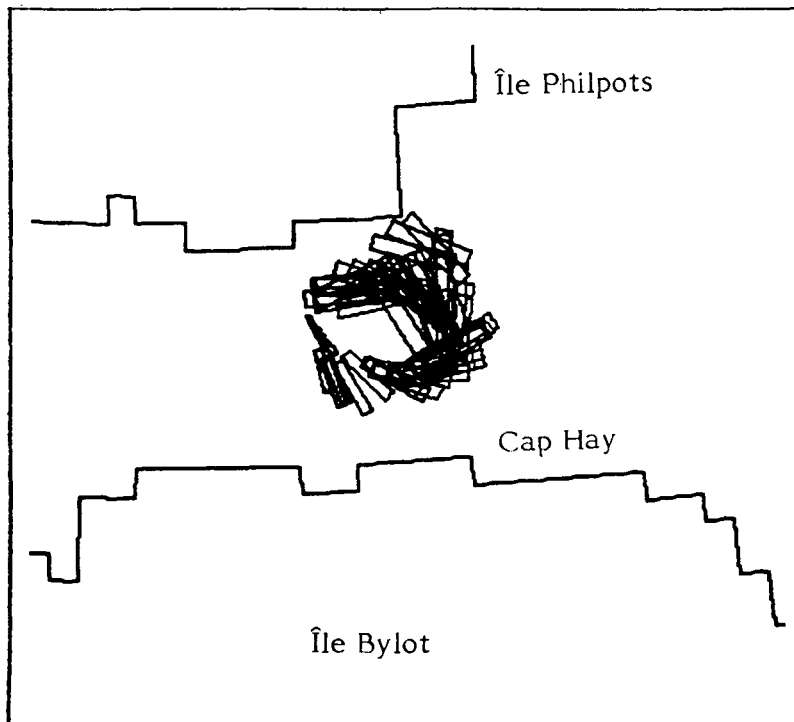
15 s)

3 S 10-6 - Site n° 3; éruption par vent du sud de 10 noeuds;
tel qu'observé six jours après le premier rejet d'hydrocarbures

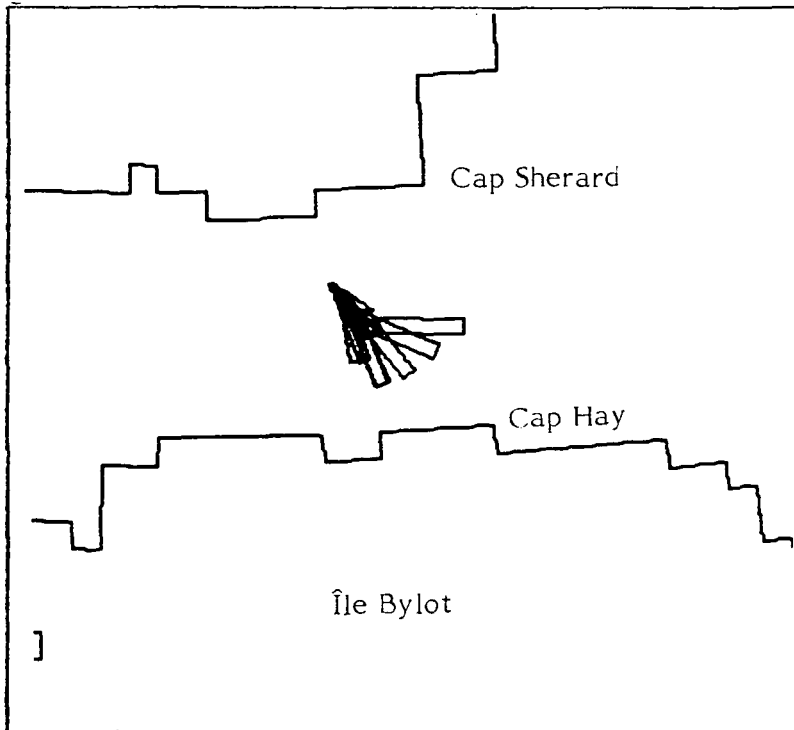


15 t)

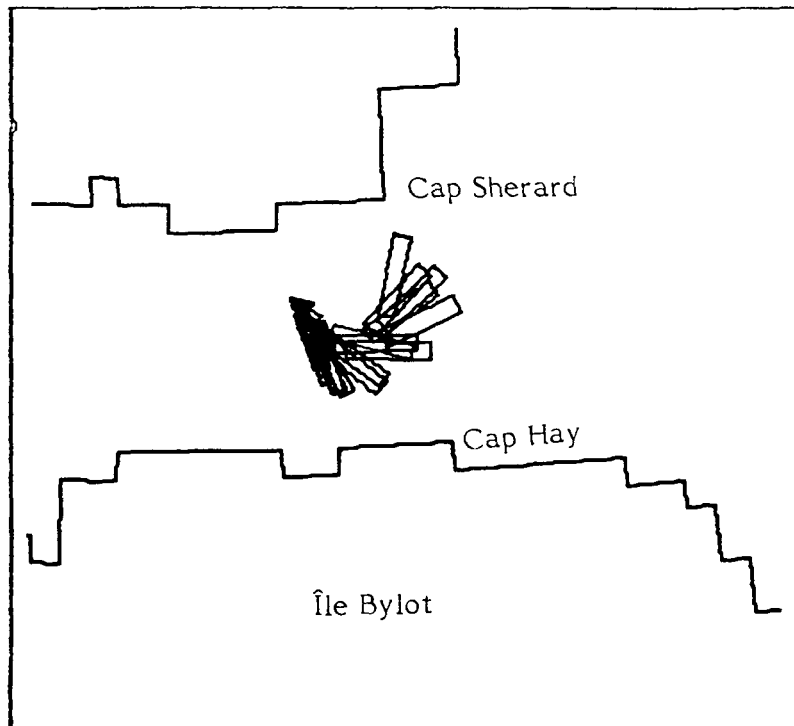
3 S 10-7 - Site n° 3; éruption par vent du sud de 10 noeuds;
tel qu'observé sept jours après le premier rejet d'hydrocarbures



- 15 u) 3 S 20-2 - Site n° 3; éruption par vent du sud de 20 noeuds;
tel qu'observé deux jours après le premier rejet d'hydrocarbures

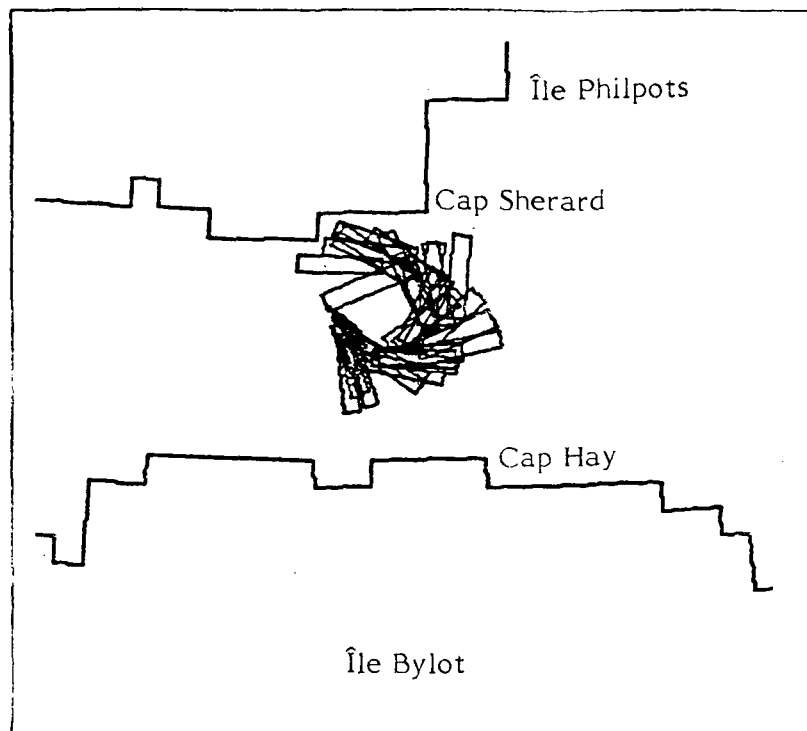


- 15 v) 3 S 20-3 - Site n° 3; éruption par vent du sud de 20 noeuds;
tel qu'observé trois jours après le premier rejet d'hydrocarbures

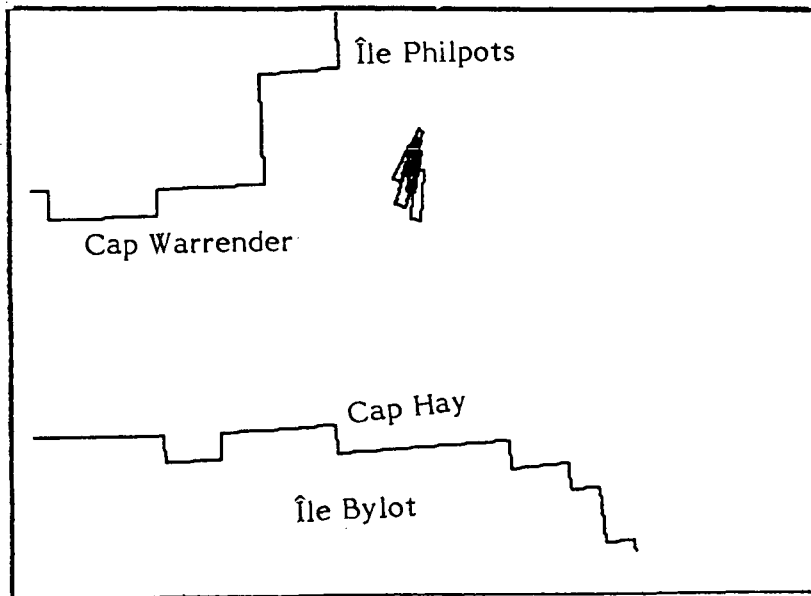


15 w)

3 S 20-5 - Site n° 3; éruption par vent du sud de 20 noeuds;
tel qu'observé cinq jours après le premier rejet d'hydrocarbures



- 16 a) 4 N 10-1 - Site n° 4; éruption par vent du nord de 10 noeuds;
tel qu'observé un jour après le premier rejet d'hydrocarbures



- 16 b) 4 N 10-3 - Site n° 4; éruption par vent du nord de 10 noeuds;
tel qu'observé trois jours après le premier rejet d'hydrocarbures

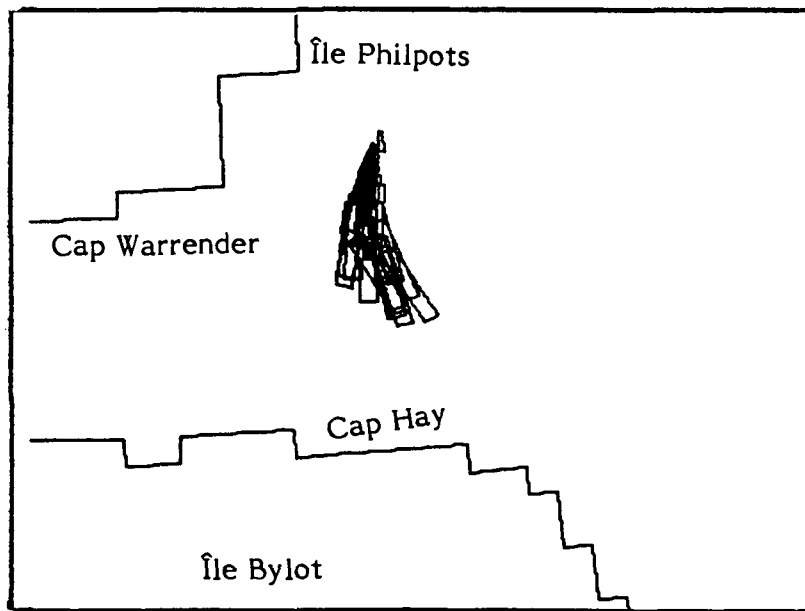
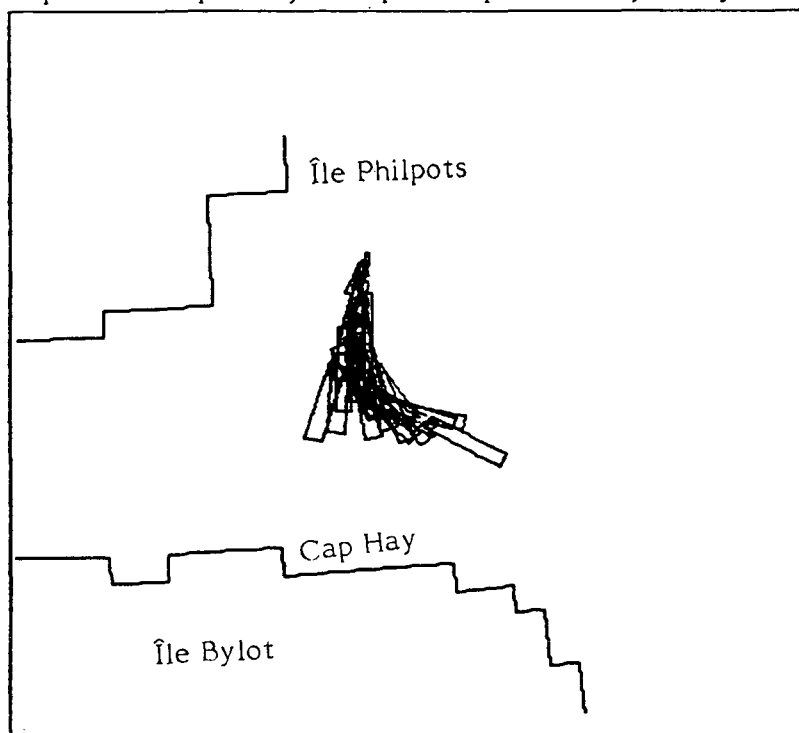
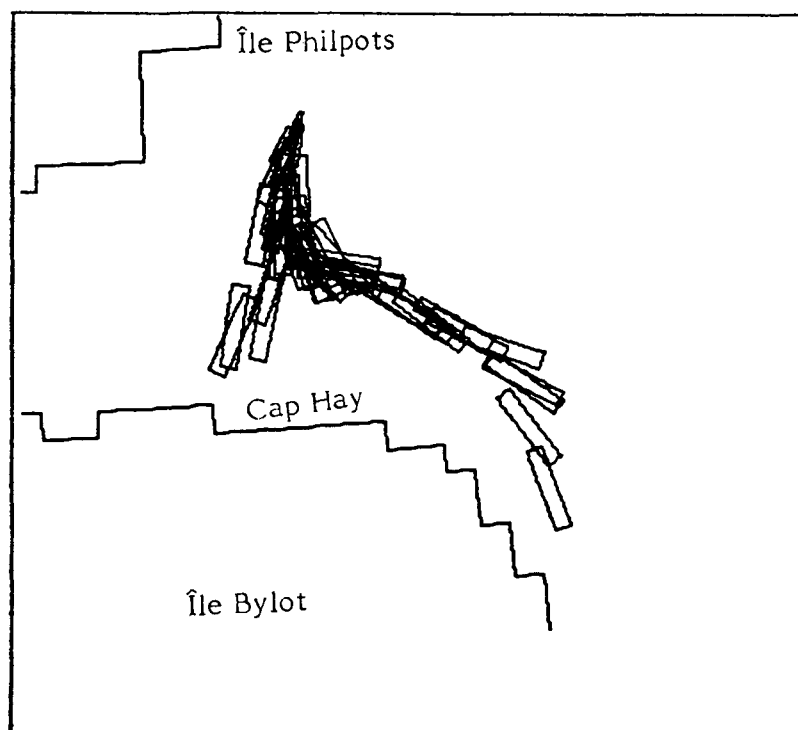


FIGURE 16 SCÉNARIOS DE DERIVATION DES HYDROCARBURES DANS LA RÉGION DU SITE D'ÉRUPTION N° 4, AVEC DES VENTS DU NORD, D'EST, D'OUEST ET DU SUD NON FONCTION DU TEMPS

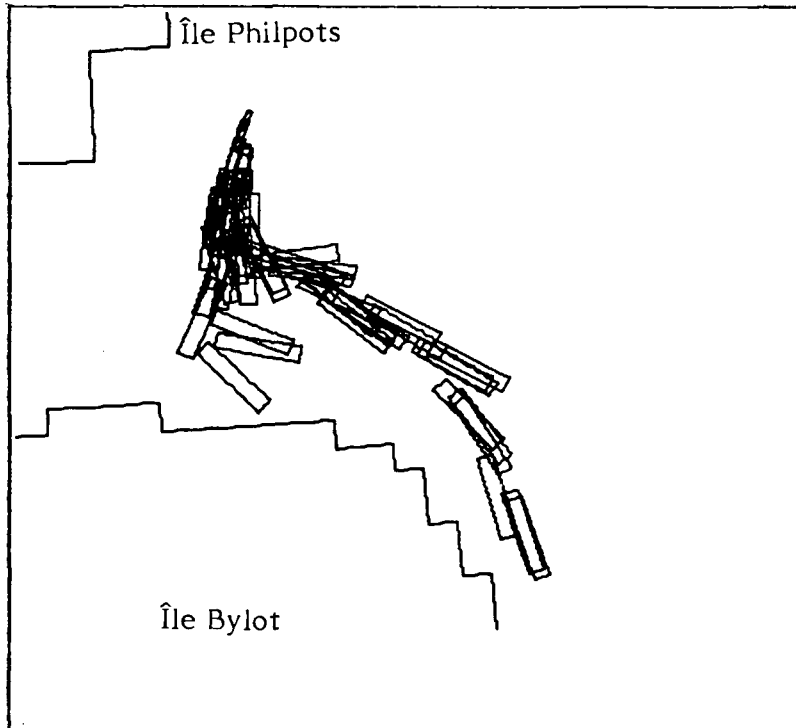
- 16 c) 4 N 10-4 - Site n° 4; éruption par vent du nord de 10 noeuds;
tel qu'observé quatre jours après le premier rejet d'hydrocarbures



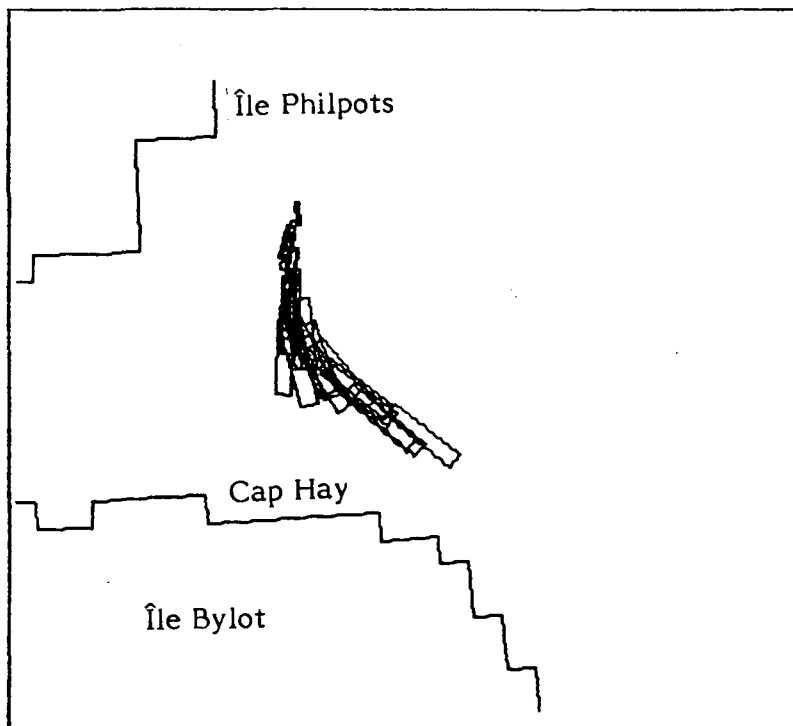
- 16 d) 4 N 10-6 - Site n° 4; éruption par vent du nord de 10 noeuds;
tel qu'observé six jours après le premier rejet d'hydrocarbures



- 16 e) 4 N 10-7 - Site n° 4; éruption par vent du nord de 10 noeuds;
tel qu'observé sept jours après le premier rejet d'hydrocarbures

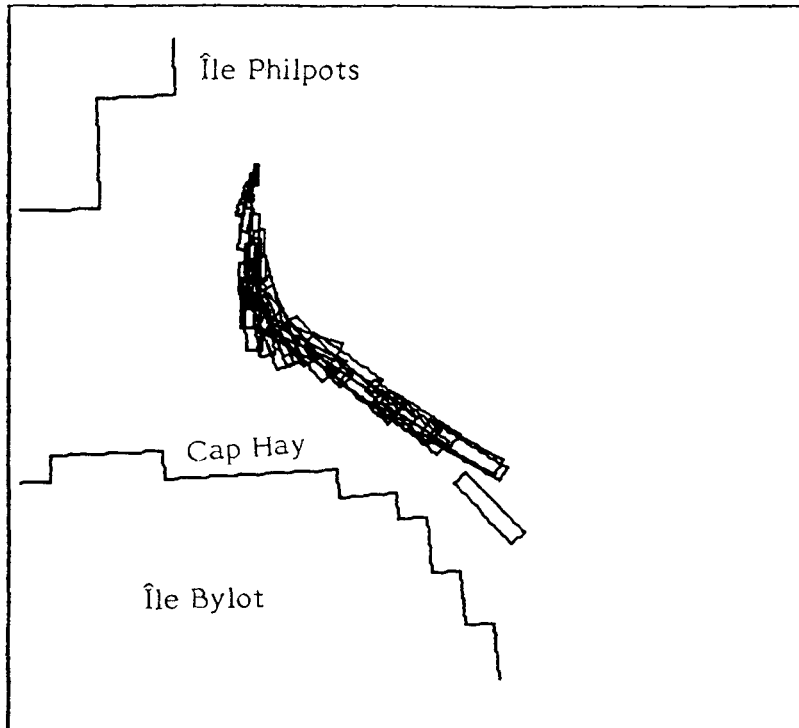


- 16 f) 4 N 20-3 - Site n° 4; éruption par vent du nord de 20 noeuds;
tel qu'observé trois jours après le premier rejet d'hydrocarbures



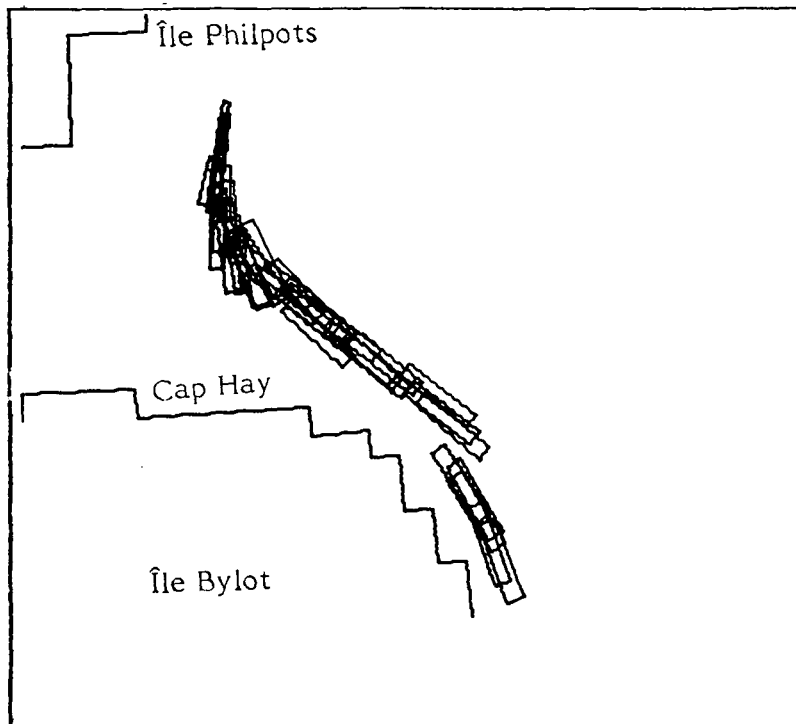
16 g)

4 N 20-4 - Site n° 4; éruption par vent du nord de 20 noeuds;
tel qu'observé quatre jours après le premier rejet d'hydrocarbures

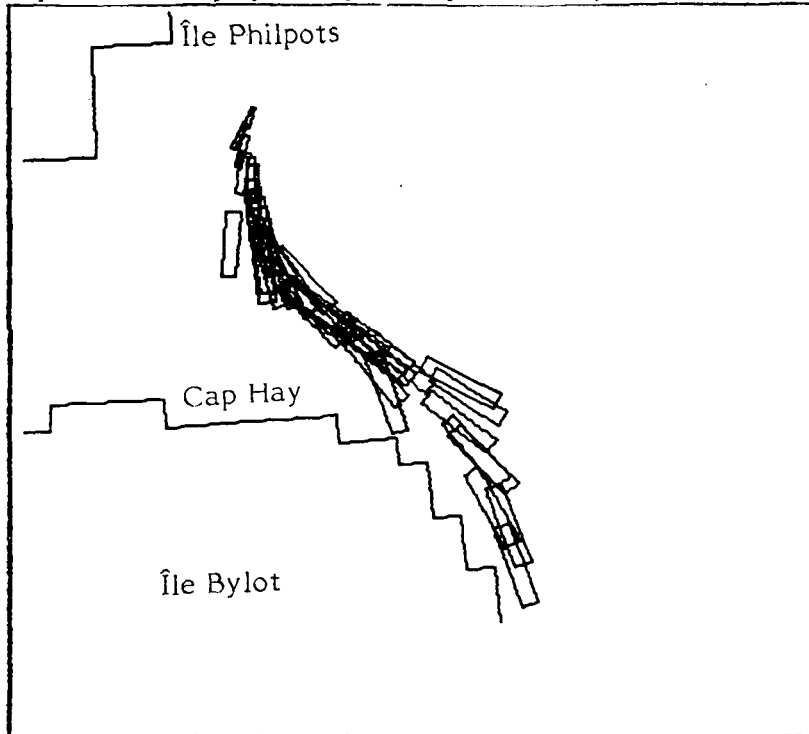


16 h)

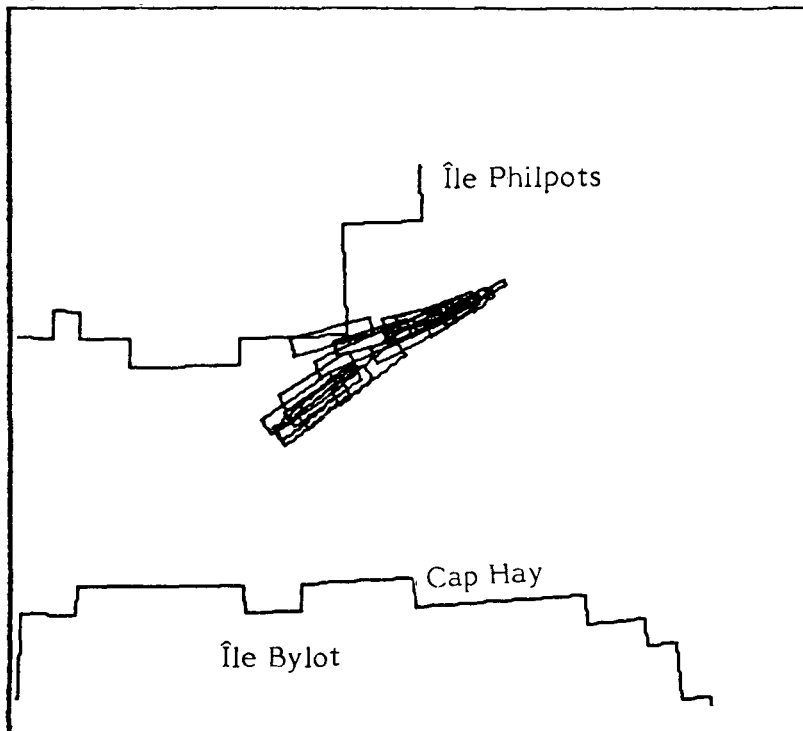
4 N 20-5 - Site n° 4; éruption par vent du nord de 20 noeuds;
tel qu'observé cinq jours après le premier rejet d'hydrocarbures



- 16 i) 4 N 20-7 - Site n° 4; éruption par vent du nord de 20 noeuds;
tel qu'observé sept jours après le premier rejet d'hydrocarbures

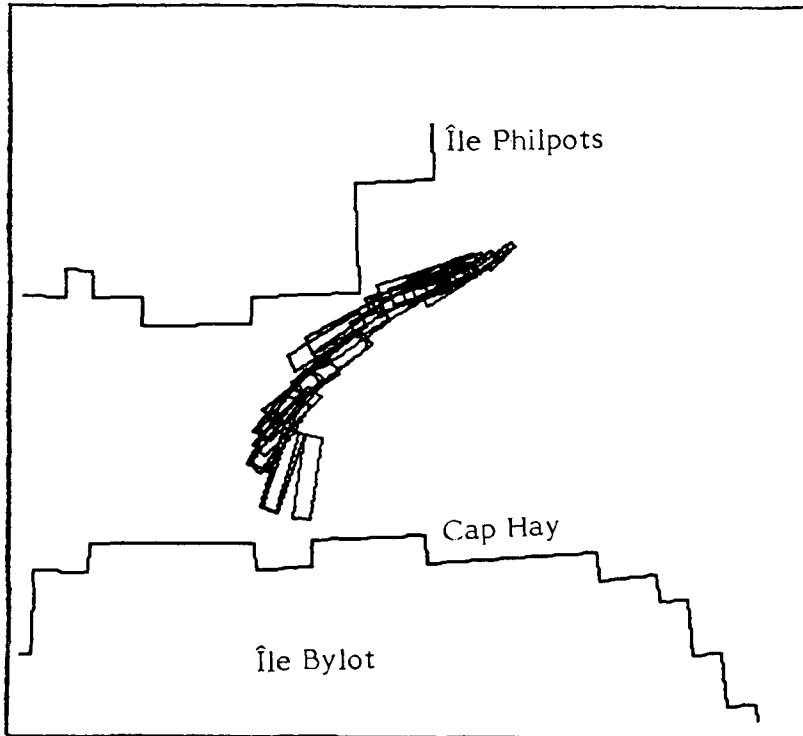


- 16 j) 4 E 10-3 - Site n° 4; éruption par vent d'est de 10 noeuds;
tel qu'observé trois jours après le premier rejet d'hydrocarbures



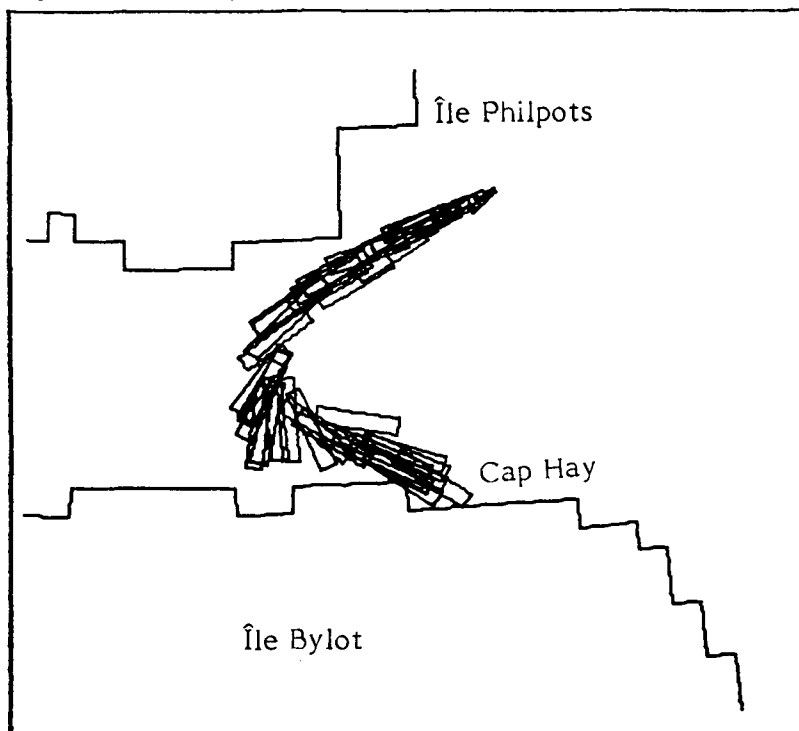
16 k)

4 E 10-4 - Site n° 4; éruption par vent d'est de 10 noeuds;
tel qu'observé quatre jours après le premier rejet d'hydrocarbures

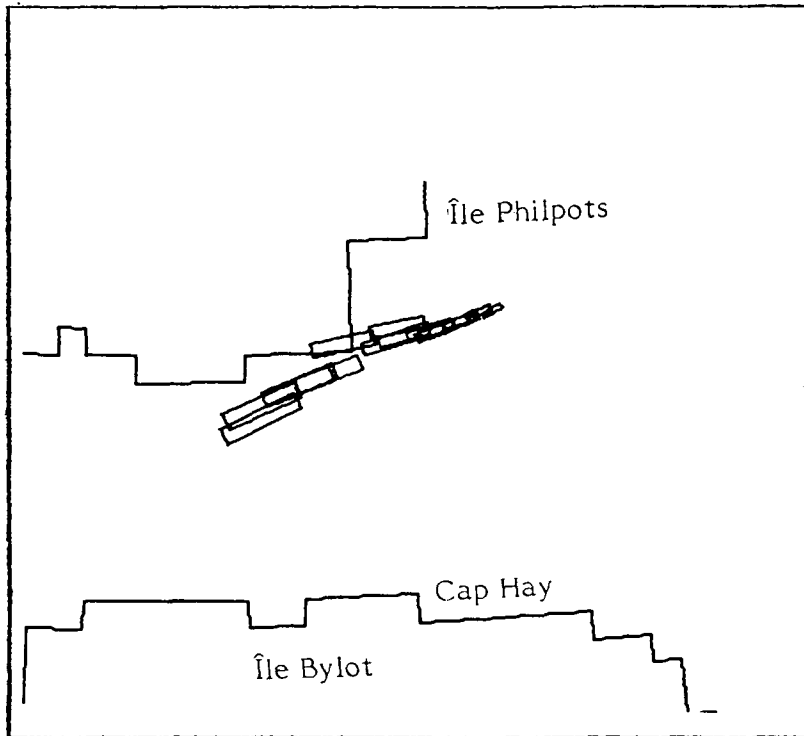


1)

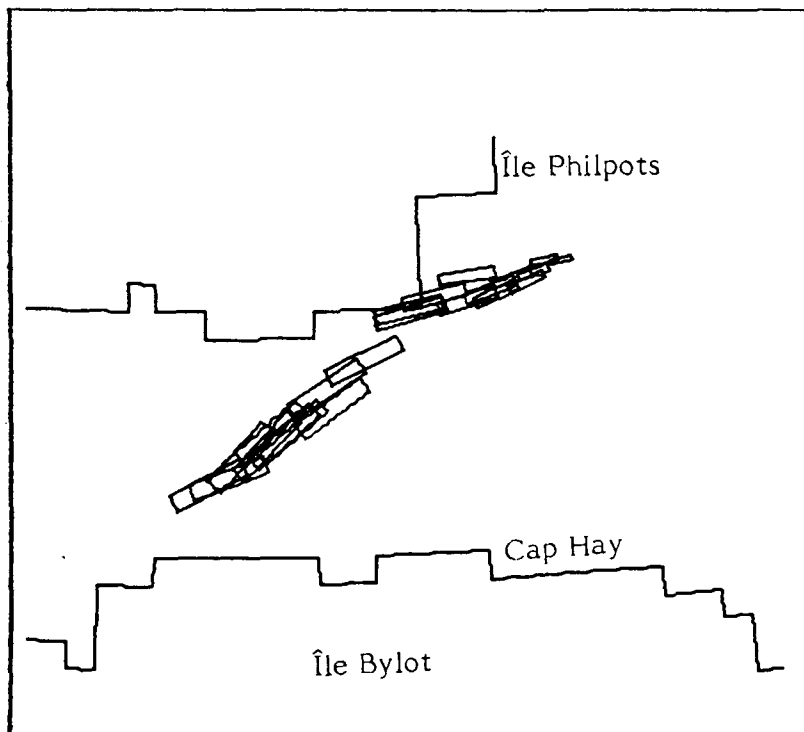
4 E 10-6 - Site n° 4; éruption par vent d'est de 10 noeuds;
tel qu'observé six jours après le premier rejet d'hydrocarbures



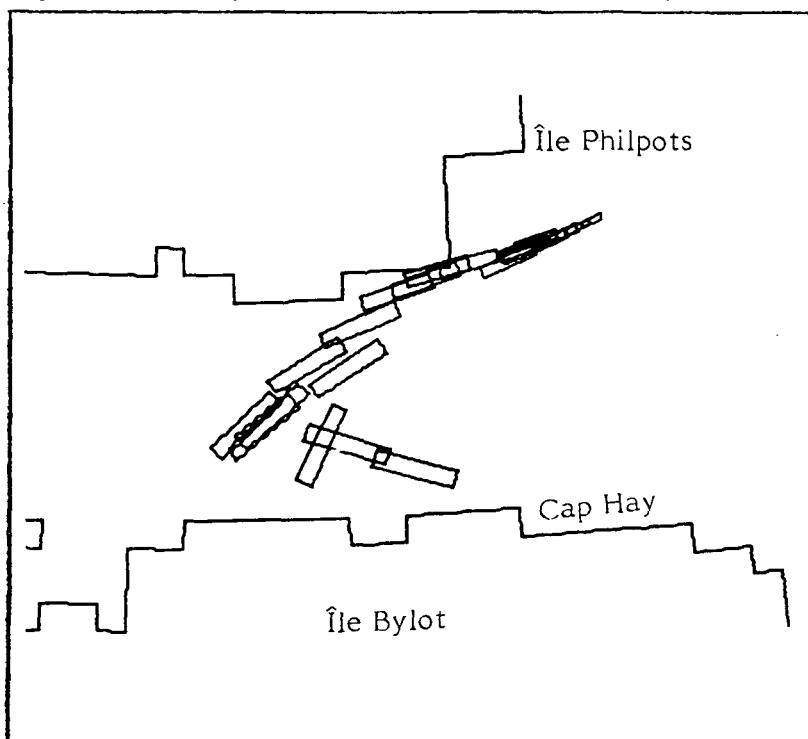
- 16 m) 4 E 20-2 - Site n° 4; éruption par vent d'est de 20 noeuds;
tel qu'observé deux jours après le premier rejet d'hydrocarbures



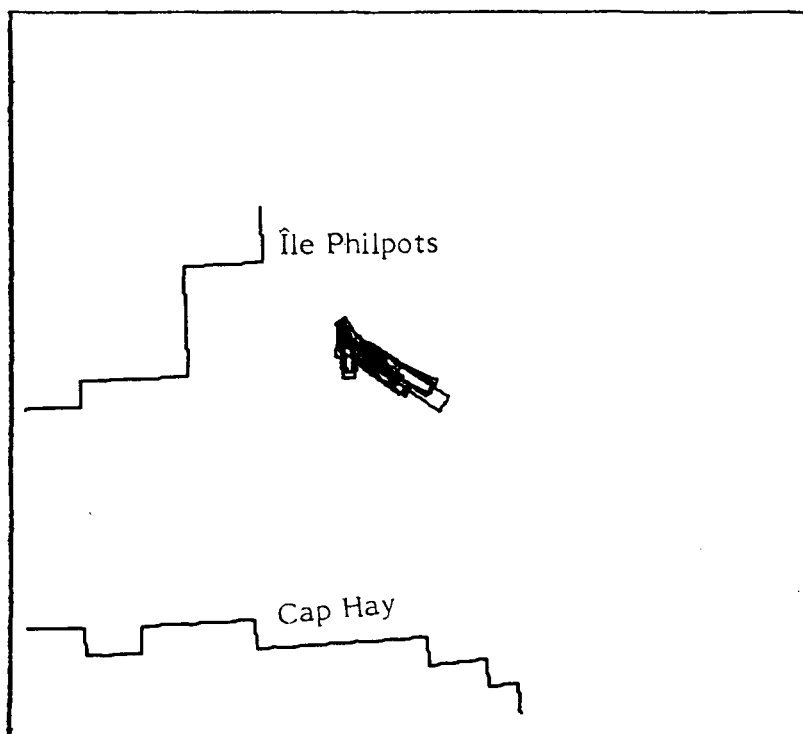
- 16 n) 4 E 20-4 - Site n° 4; éruption par vent d'est de 20 noeuds;
tel qu'observé quatre jours après le premier rejet d'hydrocarbures



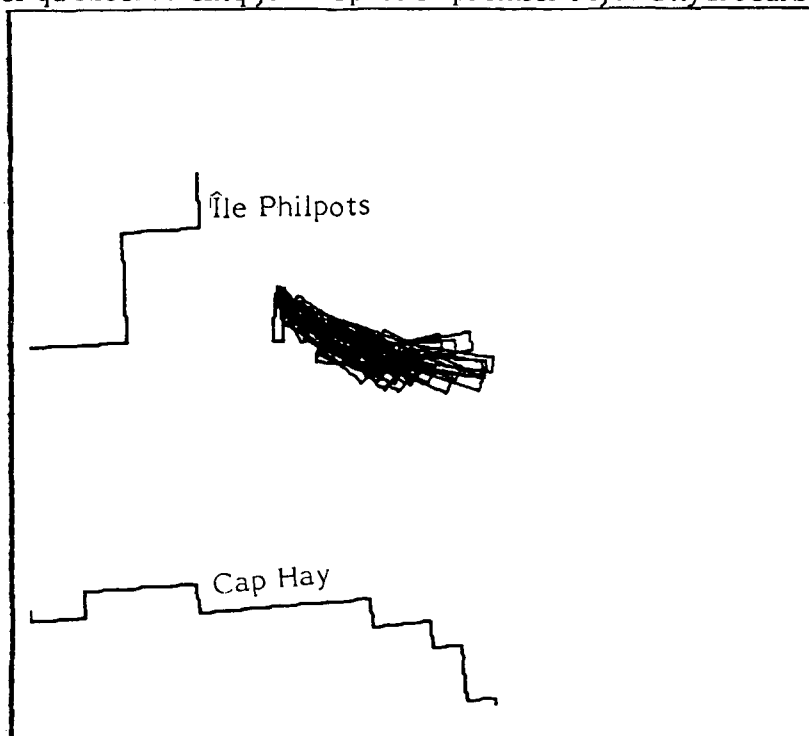
- 16 o) 4 E 20-6 - Site n° 4; éruption par vent d'est de 20 noeuds;
tel qu'observé six jours après le premier rejet d'hydrocarbures



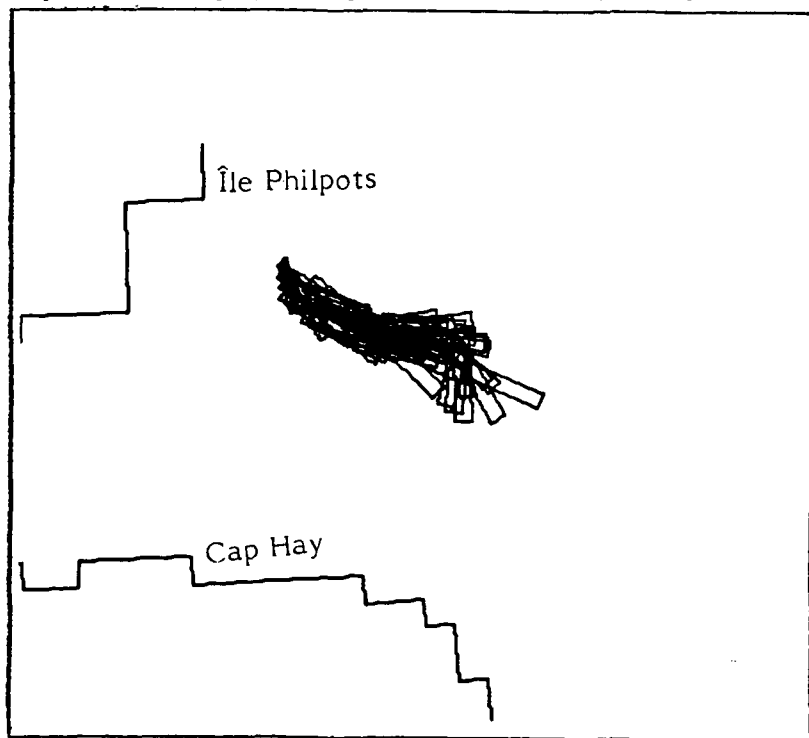
- 16 p) 4 W 10-2 - Site n° 4; éruption par vent d'ouest de 10 noeuds;
tel qu'observé deux jours après le premier rejet d'hydrocarbures



- 16 q) 4 W 10-5 - Site n° 4; éruption par vent d'ouest de 10 noeuds;
tel qu'observé cinq jours après le premier rejet d'hydrocarbures

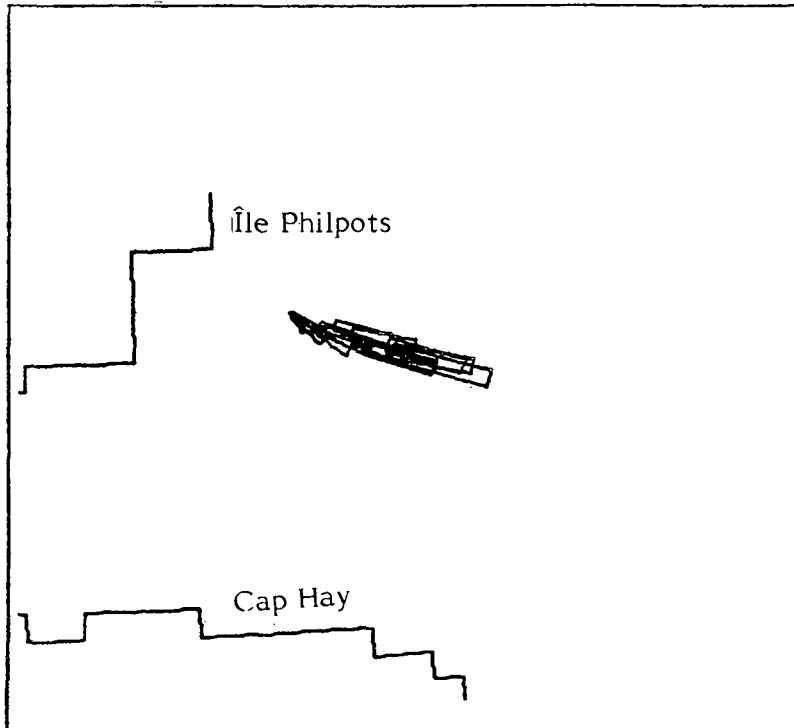


- 16 r) 4 W 10-7 - Site n° 4; éruption par vent d'ouest de 10 noeuds;
tel qu'observé sept jours après le premier rejet d'hydrocarbures



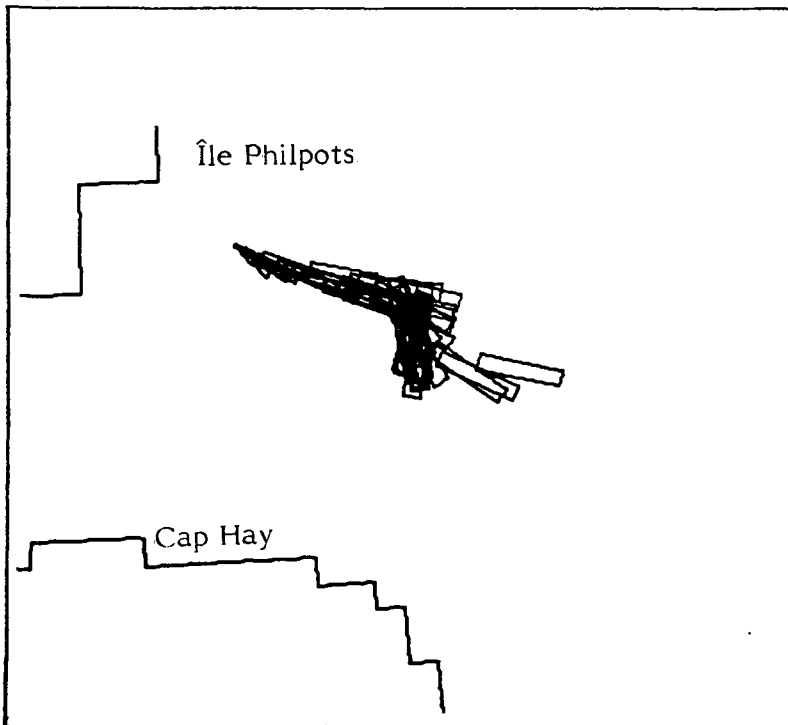
16 s)

4 W 20-2 - Site n° 4; éruption par vent d'ouest de 20 noeuds;
tel qu'observé deux jours après le premier rejet d'hydrocarbures

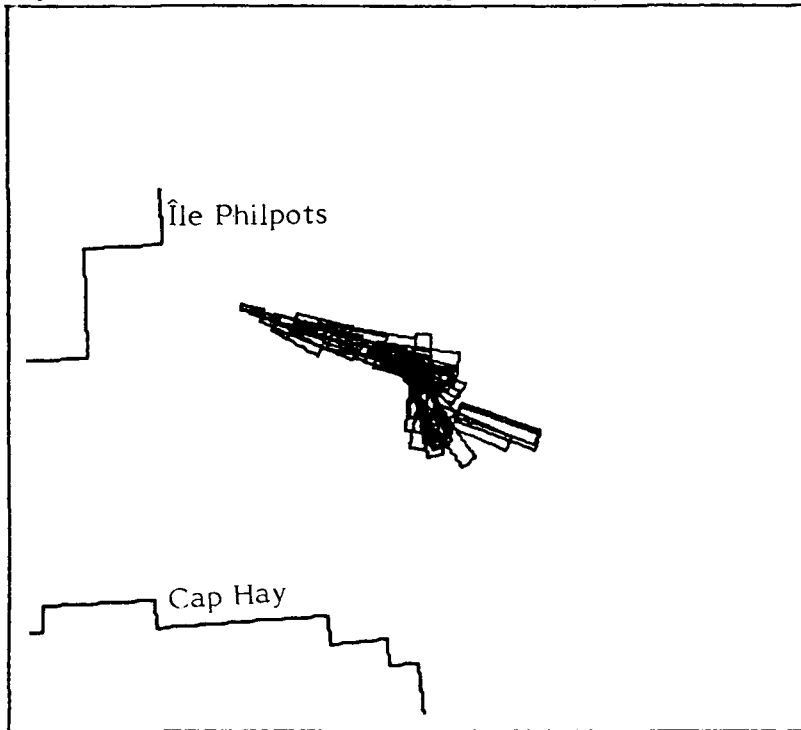


16 t)

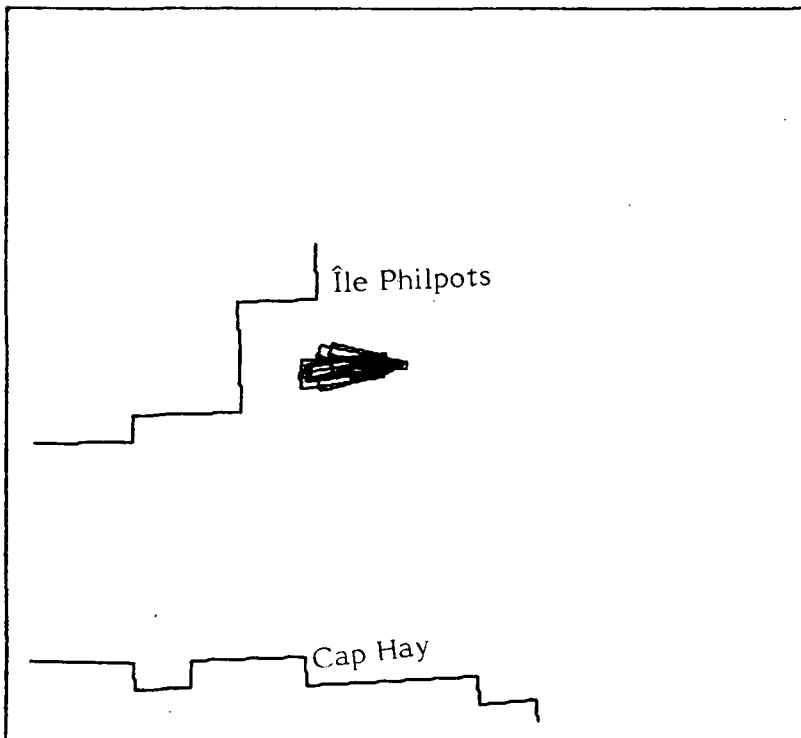
4 W 20-5 - Site n° 4; éruption par vent d'ouest de 20 noeuds;
tel qu'observé cinq jours après le premier rejet d'hydrocarbures



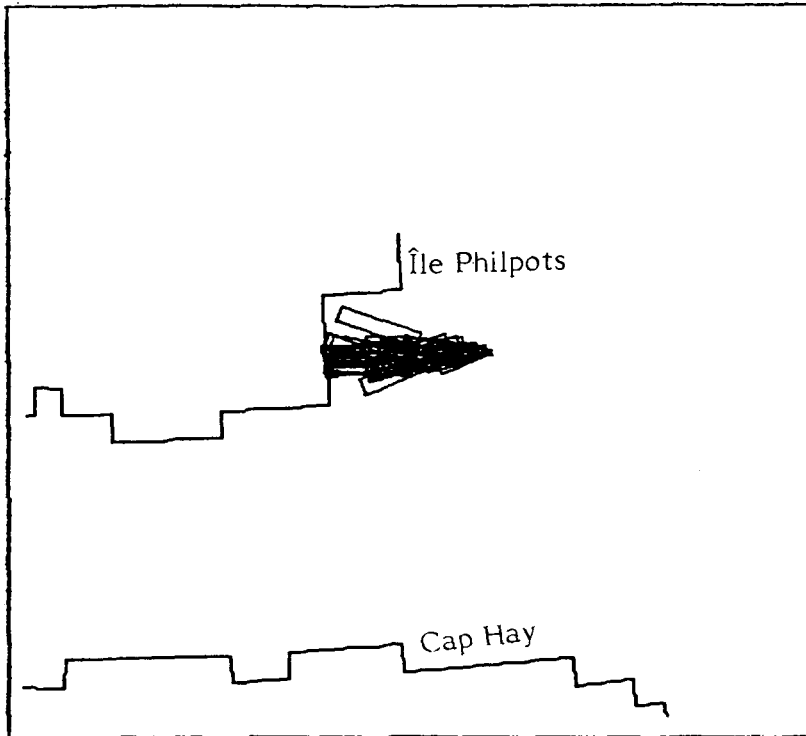
- 16 u) 4 W 20-7 - Site n° 4; éruption par vent d'ouest de 20 noeuds;
tel qu'observé sept jours après le premier rejet d'hydrocarbures



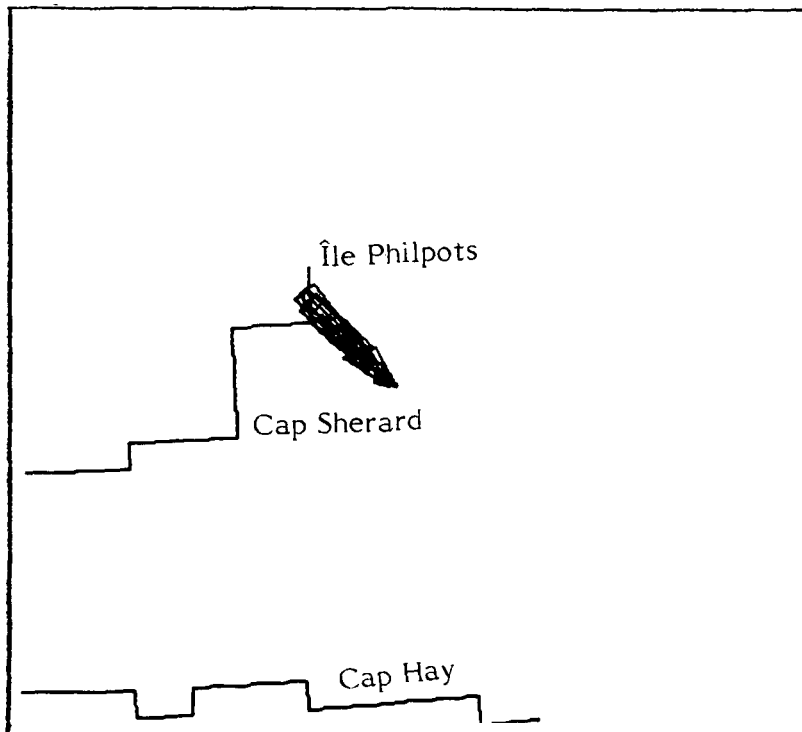
- 16 v) 4 S 10-2 - Site n° 4; éruption par vent du sud de 10 noeuds;
tel qu'observé deux jours après le premier rejet d'hydrocarbures



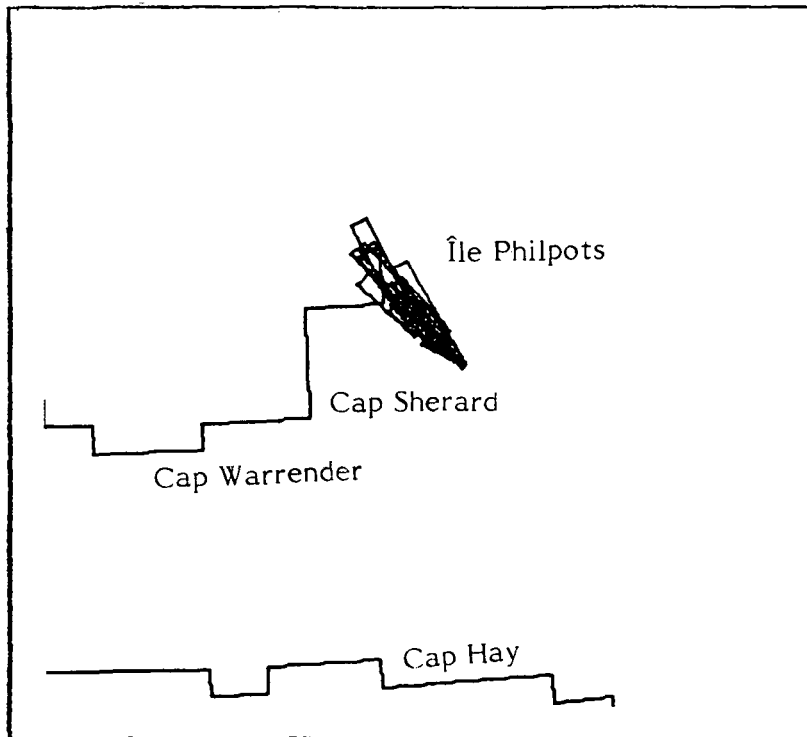
- 16 w) 4 S 10-4 - Site n° 4; éruption par vent du sud de 10 noeuds;
tel qu'observé quatre jours après le premier rejet d'hydrocarbures



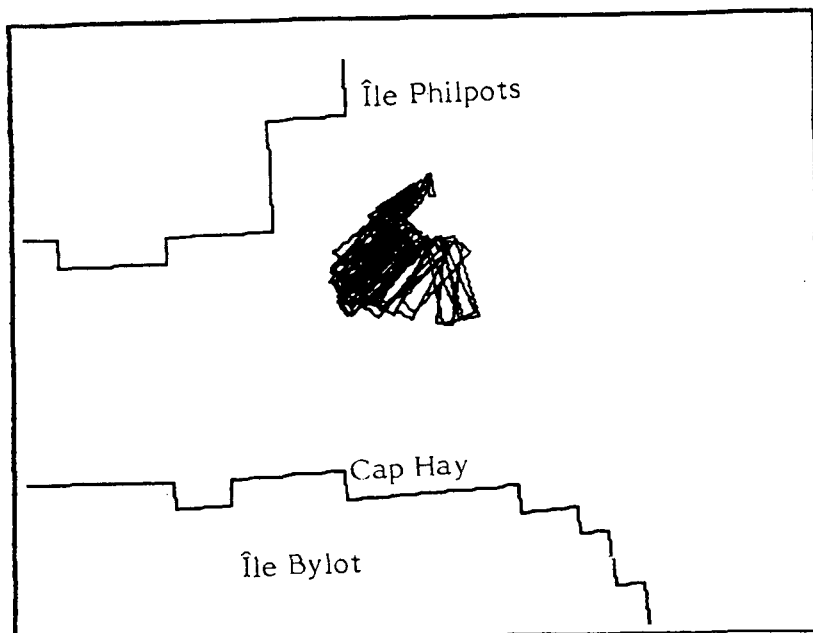
- 16 x) 4 S 20-2 - Site n° 4; éruption par vent du sud de 20 noeuds;
tel qu'observé deux jours après le premier rejet d'hydrocarbures



- 16 y) 4 S 20-3 - Site n° 4; éruption par vent du sud de 20 noeuds;
tel qu'observé trois jours après le premier rejet d'hydrocarbures



17 a)



17 b)

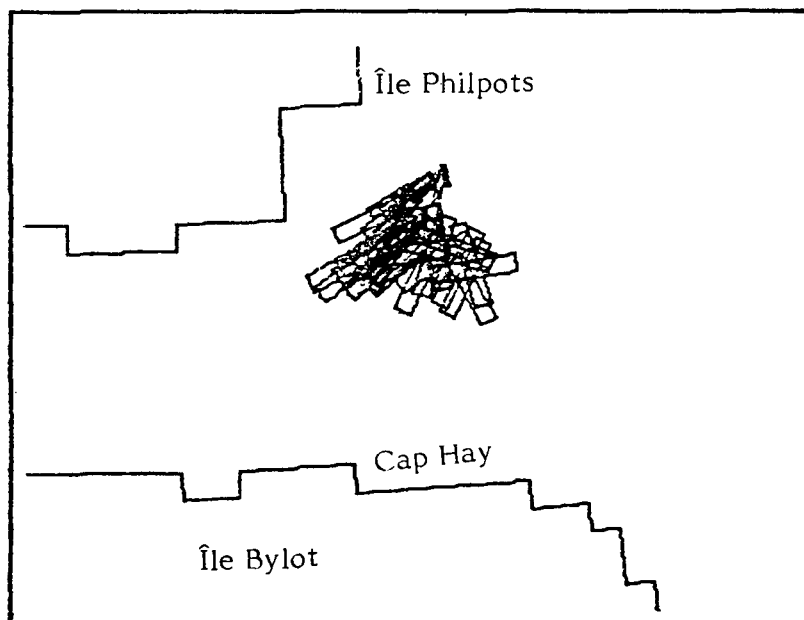
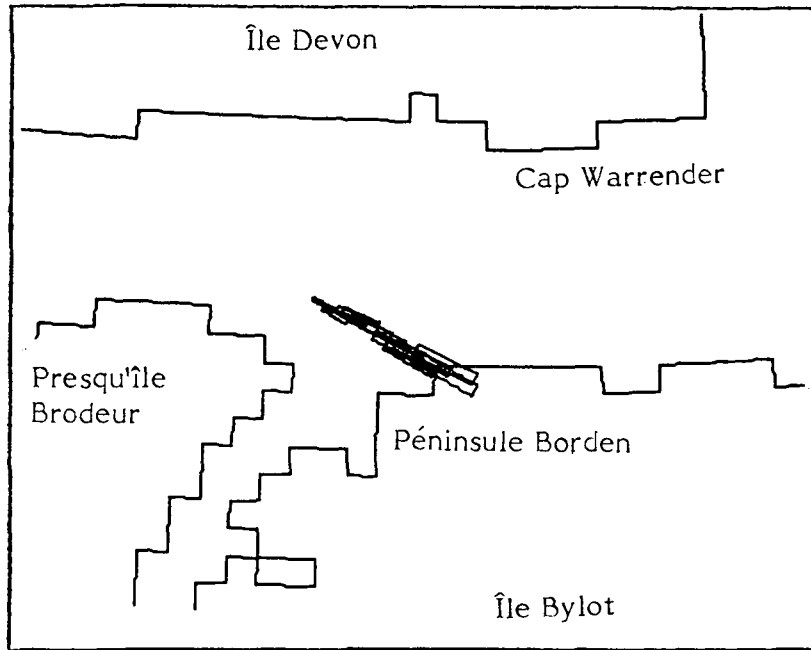


FIGURE 17a, b: CONFIGURATIONS DU 3^e JOUR, ÉRUPTION AU SITE N° 4 AVEC DES VENTS DU NORD DE L'ANNEXE B, EN FONCTION DE

(a) $D = 2 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$

(b) $D = 2 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$

18 a)



18 b)

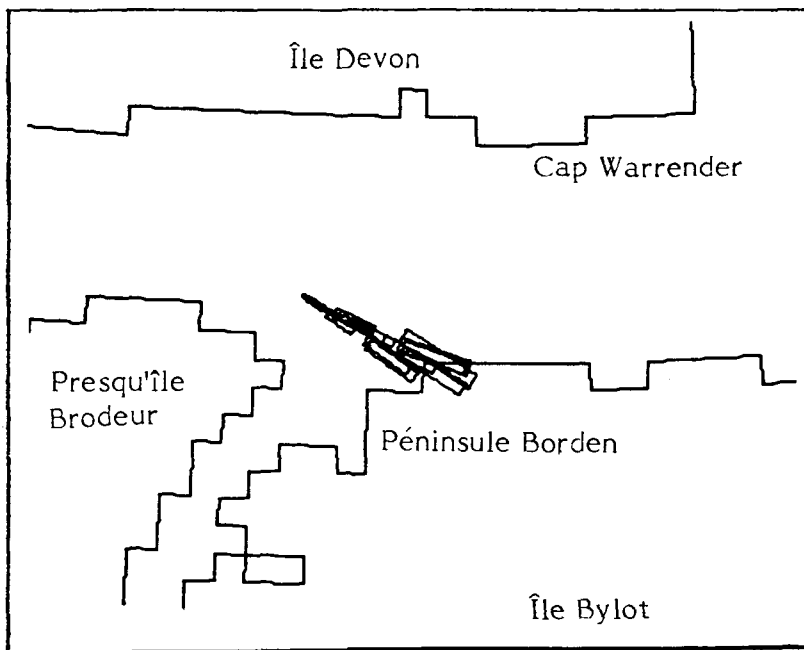


FIGURE 18a, b: CONFIGURATIONS DU 4^e JOUR, ÉRUPTION AU SITE N° 2 AVEC DES VENTS DU NORD DE L'ANNEXE B, EN FONCTION DE

(a) $D = 2 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$

(b) $D = 2 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$

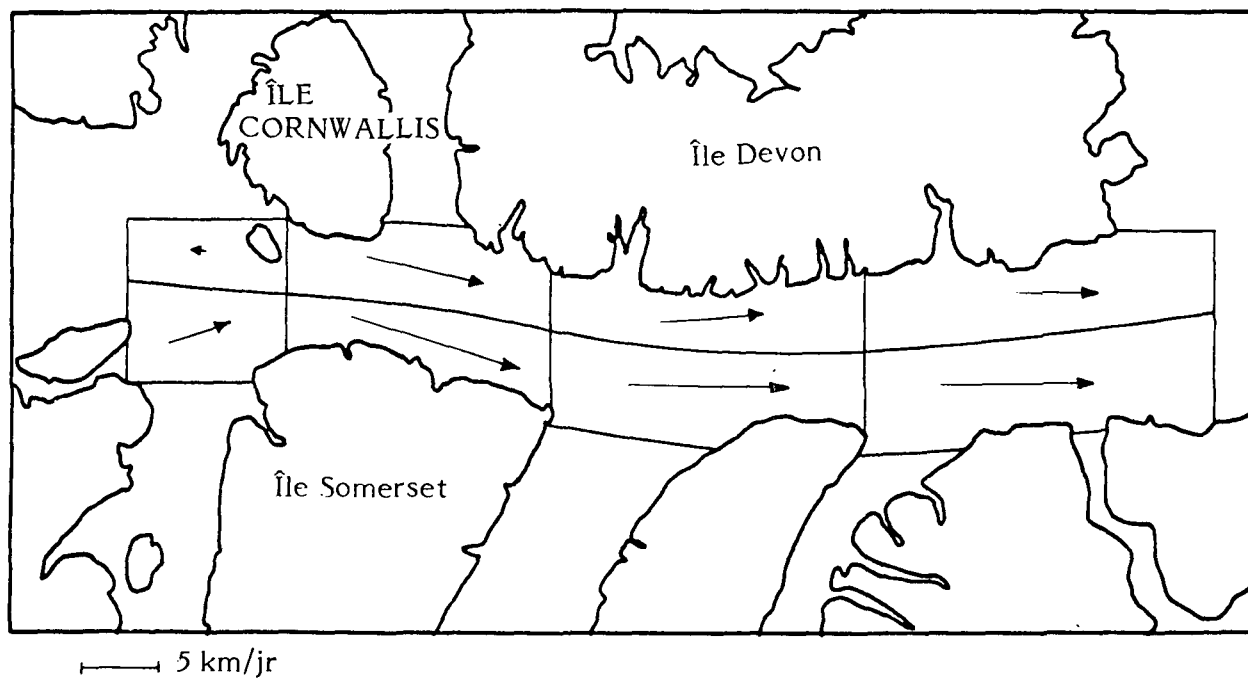


FIGURE 19: VECTEURS MOYENS DE LA VITESSE DE DÉPLACEMENT DE LA GLACE DE SEPTEMBRE À MAI DANS HUIT SECTEURS DE L'EST DU DÉTROIT DE PARRY

RÉFÉRENCES

- Ahlstrom, S.W. A Mathematical Model for Predicting the Transport of Oil Slick. Battelle Pacific Northwest Laboratories, Richland, Washington, (1975).
- Bishnoi, P.R. et B.B. Maini. Laboratory Study of Behaviour of Oil and Gas Particles in Salt Water relating to Deep Oil-Well Blowouts. AMOP Technical Seminar, Edmonton (Alberta) (1979).
- Blaikely D.R., E.F.L. Dietzel, A.W. Glass et P.J. Kleek. SLIKTRAK - A Computer Simulation of Offshore Oil Spills Cleanup Effects and Associated Costs Proc. of Oil Spill Conference. New Orleans, La., (1977).
- Blokker, D.C. Spreading and Evaporation of Petroleum Products on Water. Proc. of 4th Int. Harbour Conf. Antwerp, Belgique, (1964).
- Buckley, J. et B. Humphrey. Fate of Dispersed Oil in the Environment, Part II: A Boomed Oil Spill. AMOP Technical Seminar, Edmonton (Alberta) (1979).
- Fay, J.A. Physical Processes in the Spread of Oil on a Water Surface, Proceedings of Joint Conference on Prevention and Control of Oil Spills. Washington, D.D., (1971). 544 p.
- FENCO. An Oilspill Motion Model for Eastern Lancaster Sound. FENCO Consultants Ltd., Calgary, (1978). 57 p.
- Fissel, D.B., D.D. Lemon et G.R. Wilton. A Preliminary Report on Physical Oceanographic and Iceberg Movement Studies in North-Western Baffin Bay, présenté à Pétro-Canada Ltée, (1978).
- Fissel, D.B. et J.R. Marko. A Surface Current Study on Eastern Parry Channel, N.W.T., Summer 1977. Institut des sciences de la mer, Patricia Bay, (1978). 66 p.
- Fissel, D.B. et G.R. Wilton. Sub-Surface Current Measurements in Eastern Lancaster Sound, N.W.T. - summer, 1977. Institut des sciences de la mer, Patricia Bay, (1978). 72 p.
- Hill, S.H., D.B. Fissel et H. Serson. A Study of Wind and Atmospheric Pressure in Eastern Parry Channel, N.W.T. - Summer, 1977. (1978).
- Imperial Oil Ltée. Environmental Impact Statement for Exploratory Drilling, Davis Strait Region. (1978).
- Jeffrey, P.G. Large-Scale Experiments on the Spreading of Oil at Sea and Its Disappearance by Natural Factors, Proc. of Joint Conf. on Prevention and Control of Oil Spills. (1973). p. 469-474.
- Kreider, R.E. Identification of Oil Leaks and Spills, Proceedings of Joint Conference on Prevention and Control of Oil Spills. Washington, D.C. (1971).

- MacKay, D. et P.J. Leinonen. Mathematical Model of the Behaviour of Oil Spills on Water with Natural and Chemical Dispersion. Pêches et Environnement Canada, (1977). 84 p.
- Marko, J.R. A Satellite Imagery Study of Eastern Parry Channel. Institut des sciences de la mer, Patricia Bay, (1978). 134 p.
- Milne, A.R. et B.D. Smiley. Offshore Drilling in Lancaster Sound. Institut des sciences de la mer, Patricia Bay, (1978). 95 p.
- Murray, S.P., W.C. Smith et D.J. Sonu. Oceanographic Observations and Theoretical Analysis of Oil Slicks during the Chevron Spill, March 1970. Technical Report N° 87, Coastal Studies Institute, Louisiana State University, Baton Rouge, La., (1970). 106 p.
- Murray, S.P. Turbulent Diffusion of Oil in the Ocean. Limnology and Oceanography, XVII. (1972). p. 651-660.
- Neralla, V.R., W.S. Liu, S. Venkatesh et M.B. Danard. Techniques for Predicting Sea Ice. A Symposium on Sea Ice Processes and Models, Seattle, Washington, (1977). p. 87-97.
- Okubo, A. Oceanic Diffusion Diagrams, Deep Sea Research 18. (1971). p. 789-802.
- Sahota, H.S., Y.T. Tam, A.S. Rizkalla et M.B. Danard. Prediction of the Motion of Oil Spills in Northern Canadian Waters, rédigé pour le Service de l'environnement atmosphérique, Downsview (Ontario) (1978).
- Smith, J.E. Torrey Canyon Pollution and Marine Life. Cambridge University Press. (1970).
- Topham, D.R. Hydrodynamics of an Oilwell Blowout, Institut des sciences de la mer, Patricia Bay, (1975). 52 p.

ANNEXE A

LISTES DU PROGRAMME INFORMATIQUE

ANNEXE A

DESCRIPTION DU PROGRAMME DE SIMULATION

Le simulateur de déversement OILSIM a été conçu comme un ensemble de programmes d'utilité générale visant à évaluer les niveaux probables de pollution dans les endroits se trouvant à proximité d'un déversement éventuel d'hydrocarbures. Il est conçu pour suivre chaque parcelle d'hydrocarbures à chaque phase du programme jusqu'à ce que:

- a) une parcelle sorte de la zone étudiée
- b) le volume d'hydrocarbures dans une parcelle donnée soit réduit à zéro par dissémination ou par contact avec le rivage.

Dans chaque cas, la parcelle est rayée de la liste des masses d'hydrocarbures actives suivies.

La direction et la vitesse associées à la composante diffusion du mouvement ont été exprimées de la façon suivante:

$$V = \text{RAN}(R) * \text{SQRT}(3) * \text{SQRT}(C*t)$$

$$D = \text{RAN}(R) * 360$$

où $\text{RAN}(R) =$ un nombre aléatoire $0, < \text{RAN}(R) < 1$

$$C = \text{coefficient de diffusion (=D dans le texte)}$$

$$t = \text{durée des étapes en secondes}$$

L'étalement de chaque parcelle est rendu par:

$$\text{AREA} = 1,6 (a + 20\,000)^{1,52} \text{ en mètres}$$

où $a =$ l'âge de la parcelle en secondes

AREA s'est vue attribuer une valeur maximale de $154,675 \text{ km}^2$

Les pertes attribuables au contact avec les rivages (plages) sont calculées de la façon suivante:

$$L = \text{OIL} * (\text{ac-pac}) / (\text{AREA pac})$$

où $L =$ perte d'hydrocarbures

$$\text{OIL} = \text{volume d'hydrocarbures de la parcelle}$$

$$\text{ac} = \text{superficie de plage touchée}$$

$$\text{pac} = \text{zone antérieure de plage touchée}$$

$\text{ac} > \text{pac}$, sinon $L = 0$,

Les pertes de chaque parcelle sont calculées pour chaque étape. Les diagrammes de superficie et le nombre total de contacts avec les plages sont mis en tableau à intervalles quotidiens (8 étapes).

Les programmes utilisés dans le modèle sont les suivants:

MAIN	-	Programme principal, mémorise toutes les données nécessaires à un passage
LAND	-	définit les pixels d'eau, de rivage et de continent sur la grille
CURS	-	met à jour la grille de courant
WIND	-	met à jour la grille du vent
DATE	-	calcule le nombre de périodes de référence auxquelles une date et une heure ont été attribuées
BEACH	-	calcule les contacts avec la plage, met sur diagramme les zones de déversement et fait état des contacts avec la plage
CLEAN	-	élimine les parcelles dont la teneur en hydrocarbures a atteint zéro
PIXELS	-	convertie en coordonnées de la grille les latitudes et longitudes en radians
DTOR	-	convertit en radians les latitudes et longitudes en DDD.MMHH
RTOD	-	inverse l'effet de la fonction "DTOR"
RAN	-	produit un nombre aléatoire compris entre $0 < x < 1$
OSPI, OSPZ, OSPROJ	-	programmes de projection stéréographique oblique
PLOTS, PLOT, SYMBOL, NUMBER	-	sous-programmes de traçage Calcomp.

Le modèle fait appel à plusieurs fichiers de données.

Ceux-ci sont définis et décrits en détail:

- UNIT N°. 2 - fichier de définition des courants (le format varie selon le programme Cours)
- REC N°. 1 - Format (13) - contient les n^{os} des fichiers suivants
- REC N°. 2-N - Format (515, G15,7) début et fin X, début et fin Y, direction et vitesse (cm/s)
Le courant défini par sa direction et sa vitesse est assigné au rectangle défini par le début et la fin de X et Y.
- UNIT N°. 3 - fichier de définition du vent (format varie selon le programme des vents)
- REC. N°. 1 - Format (12) - nombre de rectangles (NR)
- REC N°. 2 - NR + 1 - Format (415) - début et fin X, début et fin Y
- REC N°. NR + 2 - Format (12) - nombre d'ensembles de données (NS)
- AREC N°. NR + 3 - N - Format (15, G15,7) direction et vitesses des ensembles de données NS selon les rectangles NR

Remarque: La direction est la direction d'où vient le vent.

- UNIT N°. 4 - fichier de définition de pixel

REC Format (2014) 5 ensembles de données par carte

Format d'ensemble de données (IY, 15X, IEX, IV)

- IY - ligne Y pixel
- ISX - début X
- IEX - fin X

- IV - Valeur donnée à tous les pixels sur les lignes IY, ISX, par IEX tel que:
- IV = 0 - pixel contient de l'eau seulement
- = 1 - pixel contient terre et eau
- = 2 - pixel contient terre seulement
- = 3 - si quelque chose que ce soit se trouve dans ce pixel ne pas en tenir compte
- UNIT N°. 7 - fichier de définition plage et rivage
- UNIT N°. 1 - Format (15) nombre de définitions de plage

Définitions de plages:

- REC TYPE A - Format (15, 5X, A40) nombre de pixels sur la plage (NP) et nom de la plage
- REC TYPE B - Format (1615) paires NP de paires de nombres pixels X, Y
- REC N°. 2 - Format (15) nombre de définitions de rivages

Définitions de rivages:

REC format (15, 2G15.7) IPEN, RY, RX

où:

- IPEN = variable de contrôle du crayon du sous-programme de traçage Calcomp
- RY = latitude en radian
- RX = longitude en radian

Les définitions du rivage permettent à l'utilisateur de déterminer le rivage à tracer en même temps que petites formations terrestres non incluses.

- UNIT N°. 5 - fichier commande d'exécution
- REC N°. 1 - Format (A20) titre à imprimer sur les diagrammes
- REC N°. 2 - Format (G15) nombre de périodes de référence, durée des périodes en heures, heure, jour, mois et année de la période N° 1
- REC N°. 3 - Format (15) nombre de parcelles à rejeter (NP)

- (NP) RECS - Format (2F10,4, 15, F10,2) latitude, longitude, période et nombre de barils à rejeter
- REC. N°. 5 - Format (F5,1, 15) pourcentage de vent à utiliser et ajustement pour le générateur de nombres aléatoires $0 < \text{ajustement} < 100$
- REC N°. 6 - Format (G20,10) coefficient de diffusion

Passage

```

1      C
2      C      PROGRAM --- SIM
3      C
4      C      PURPOSE --- LANCASTER SOUND OIL SPILL MODEL
5      C
6      C      METHODOGY --- J. R. MARKO PHD.
7      C
8      C      PROGRAMMING --- C. R. FOSTER CCP (SYSTEMS)
9      C
10     C      BY --- ARCTIC SCIENCES LTD
11     C
12     C      SOURCE CODE --- FORTRAN 4
13     C
14     C      SOURCE COMPUTER --- UNIVAC 1106
15     C
16     REAL RLAT(100),RLON(100),FLOW(100),SAM(100),CE(24,62),CN(24,62)
17     REAL WE(24,62),WN(24,62),EVAP(5),W1(5),W2(5),AREA(100)
18     REAL A1(100),A2(100),A3(100),SE(100),SN(100)
19     C
20     C      A1,A2,A3 HAVE NO MEANING IN THE MAIN PROGRAM,
21     C      THEY ONLY HAVE MEANING IN SUBROUTINE BEACH AND USE THE
22     C      MAIN PROGRAM AS A VEHICLE SO THAT CLEAN CAN KEEP TRACK
23     C      OF THEM.
24     C
25     CHARACTER*20 TITLE
26     INTEGER IB(100),ST(24,62),AGE(100)
27     DATA EVAP /37.5,4.5,4.,3.5,3./
28     DATA W1/7.5,7.,6.,5.,4./
29     DATA W2/10.5,10.,9.,7.,6./
30     ROOT3 = SQRT(3.)
31     IPR = 1
32     IPL = 1
33     C
34     C      READ THE TITLE CARD.
35     C
36     READ (5,8999)TITLE
37     8999  FORMAT (A20)
38     C
39     C      READ THE TIME DEFINITION CARD.

```



```

40      C
41      READ (5,9000)IFRAM,ISPAN,IH,ID,IM,IYR
42      9000  FORMAT(6I5)
43      C
44      C   READ IN THE NUMBER OF PARCELS.
45      C
46      READ (5,9000)NSP
47      C
48      C   READ IN THE PARCELS.
49      C
50      DO 1 I=1,NSP
51      READ (5,9001)WLAT,WLON,IB(I),FLOW(I)
52      9001  FORMAT(2F10.4,15,F10.2)
53      RLAT(I) = DTOR(WLAT)
54      RLON(I) = DTOR(WLON)
55      1 CONTINUE
56      C
57      C   READ IN % OF WIND & NUMBER OF LOOPS FOR THE RANDOMM NUMBER GENERATOR.
58      C
59      READ (5,9003)PW,IPRN
60      9003  FORMAT(F5.1,I5)
61      C
62      C   READ IN THE DIFUSSION COEFFICIENT.
63      C
64      READ (5,9002)DIFUS
65      9002  FORMAT(G20.10)
66      PW = PW/100.
67      R = -1.
68      TIMULT = FLOAT(ISPAN)*3600.
69      INTERV = 24/ISPAN
70      C
71      C   INIALISE THE RANDOMM NUMBER GENERATOR.
72      C
73      DO 2 I=1,IPRN
74      2 X = RAN(R) * RAN(R)
75      C
76      C   READ IN THE LAND DEFINITION FILE.
77      C
78      CALL LAND (ST)

```

```

79      NSPL = 0
80      DO 30 I=1,IFRAM
81      C
82      C      CALCULATE CURRENT TIME FRAME TIME AND DATE.
83      C
84      CALL DATE (IH1, ID1, IM1, IY1, I, ISPAN, IH, ID, IM, IYR)
85      C
86      C      UPDATE THE CURRENT GRID.
87      C
88      CALL CURS (CE, CN, I)
89      C
90      C      UPDATE THE WIND GRID.
91      C
92      CALL WIND (WE, WN, I)
93      IF (NSPL.EQ.0)GO TO 15
94      C
95      C      FOR EACH PARCEL COMPUTE NEW POSITION.
96      C
97      DO 5 J=1,NSPL
98      CALL PIXELS (RLAT(J),RLON(J),IX,IY)
99      CME = (CE(IY,IX) + PW*WE(IY,IX))*TIMULT
100     CMN = (CN(IY,IX) + PW*WN(IY,IX))*TIMULT
101     C
102     C      COMPUTE AND ADD IN THE RANDOMM COMPONENT.
103     C
104     D1 = RAN(R)*ROOT3*SQRT (DIFUS*TIMULT)
105     D2 = RAN(R)*6.2831852
106     CER = CME + SIN(D2)*D1
107     CNR = CMN+ COS(D2)*D1
108     ITC = 0
109     908 SE (J) = CER
110     SN (J) = CNR
111     DY = RLAT(J) + CNR/636239471.
112     DX = RLON(J) - CER/(COS(DY)*636239471.)
113     CALL PIXELS (DY,DX,IXT,IYT)
114     C
115     C      CHECK TO SEE IF PARCEL IS ON THE GRID
116     C
117     IF (IXT.LT.1.OR.IXT.GT.62)GO TO 31

```

```

118      IF (IYT.LT.1.OR.IYT.GT.24)GO TO 31
119      IF (ST(IYT,IXT).GE.-1)GO TO 4
120      IF (ITC.EQ.25)GO TO 909
121      ITC = ITC + 1
122      CER = CER * .9
123      CNR = CNR * .9
124      GO TO 908
125      4 RLAT(J) = DY
126      RLOX(J) = DX
127      C
128      C      COMPUTE THE INCREASE OF OIL TO EACH PARCEL, AND
129      C      COMPUTE THE LOSSES DUE TO EVAPORATION AND WIND.
130      C
131      909 AGE(J) = AGE(J) + ISPAN
132      IDAY = 1+ AGE(J)/24
133      IF (IDAY.GT.5)IDAY=5
134      SAM(J) = SAM(J) - EVAP(IDAY)
135      IF (SQRT(WE(IY,IX)**2 + WN(IY,IX)**2).GT.700.)GO TO 3
136      SAM(J) = SAM(J) - W1(IDAY)
137      GO TO 5
138      C
139      C      IF PARCEL OFF GRID ZERO OIL.
140      C
141      31 SAM(J) =0.
142      GO TO 5
143      3 SAM(J) = SAM(J) - W2(IDAY)
144      5 CONTINUE
145      15 IF (NSPL.EQ.NSP)GO TO 20
146      IF (I.LT.IB(NSPL+1))GO TO 20
147      NSPL = NSPL + 1
148      SAM (NSPL) = FLOW(NSPL)
149      20 IF (IPR.NE.1)GO TO 22
150      C
151      C      PRINT THE FRAME TITLE.
152      C
153      IF (I/8*8.NE.I)GO TO 22
154      WRITE (6,9600)I,IH1,ID1,IM1,IY1,NSPL
155      9600 FORMAT('1',//,30X,' TIME FRAME #',I3,//,10X,' TIME:',
156      & I3,':00 GMT,',I4,'-',I2,'-',I2,//,10X,

```

```

157      & 'THERE ARE',I3,' ACTIVE ELEMENTS.',//)
158      C
159      C COMPUTE THE AREA OF THE PARCELS.
160      C
161      22 DO 25 J = 1,NSPL
162          SAM(J) = AMAX1(SAM(J),0.)
163          AR = 1.6*(AGE(J)*3600.+20000.)*1.52
164          AREA(J) = AMIN1(AR,154675295.)
165      25 CONTINUE
166      C
167      C PLOT THE SPILLS AND CHECK FOR CONTACT WITH THE BEACH.
168      C
169          CALL BEACH (I,NSPL,A1,A2,A3,RLAT,RLON,SE,SN,AREA,SAM,ST,IPR,IPL,
170          & TITLE)
171      C
172      C CLEAN UP ANY PARCELS THAT CONTAIN NO OIL.
173      C
174          CALL CLEAN(RLAT,RLON,FLOW,SAM,AREA,SE,SN,
175          & A1,A2,A3,IB,AGE,NSPL,NSP)
176      30 CONTINUE
177          IF (IPL.EQ.1)CALL PLOTND
178          STOP
179          END

```

```

1      SUBROUTINE LAND (S)
2      C
3      C      PROGRAM --- OILSIM
4      C
5      C      MODULE --- LAND
6      C
7      C      PURPOSE --- TO DEFINE THE PIXELS THAT ARE ON THE
8      C                      SHORE AS WELL AS INLAND.
9      C
10     C      PROGRAMMER --- C. R. FOSTER
11     C
12     C      SOURCE CODE --- FORTRAN 4
13     C
14     C      SOURCE COMPUTER --- UNIVAC 1106
15     C
16     C*****
17     C      DATA DEFINITIONS
18     C*****
19     C      INTEGER C(5,4), S(24,62)
20     C*****
21     C      END OF DATA DEFINITIONS
22     C*****
23     C
24     C      THE STATUS VALUES ARE:
25     C
26     C          0 --- WATER
27     C          1 --- BEACH AREA
28     C          2 --- LAND (NO WATER CONTACT)
29     C          3 --- IGNORE
30     C
31     C          DO 5 I=1,24
32     C          DO 5 J=1,62
33     C          5 S(I,J)=0
34     C          10 READ(4,9000,END=25)((C(I,J),J=1,4),I=1,5)
35     C          9000 FORMAT(20I4)
36     C          DO 20 I=1,5
37     C          IF (C(I,1).LT.0)GO TO 10
38     C          IF (C(I,1).EQ.999)GO TO 25
39     C          IF (C(I,1).GT.24)GO TO 20

```

```
40         I0 = C(I,1)
41         I1 = C(I,2)
42         I2 = C(I,3)
43         IV = C(I,4)
44         DO 15 J=I1,I2
45     15     S(I0,J) = IV
46     20 CONTINUE
47     GO TO 10
48     25 RETURN
49     END
```

```

1      SUBROUTINE CURS (E,N,IO)
2      C
3      C      MODULE --- CURS / SIM
4      C
5      C      PURPOSE --- TO READ IN AND MAINTAIN THE CURRENT GRID
6      C
7      C      PROGRAMMING --- C. R. FOSTER CCP (SYSTEMS)
8      C
9      C      THIS VERSION READS ONLY 1 CURRENT GRID.
10     C
11     REAL E(24,62), N(24,62)
12     IF (IO.NE.1)RETURN
13     READ (2,9000)NG
14     9000  FORMAT(I3)
15     DO 10 I=1,NG
16     READ (2,9001)ISX,IEX,ISY,IEY,ID,V
17     9001  FORMAT(5I5,6I5.7)
18     A = FLOAT(ID)/57.29577951
19     CE = V*SIN(A)
20     CN = V*COS(A)
21     DO 2 J=ISX,IEX
22     DO 2 K=ISY,IEY
23         E(K,J) = CE
24     2     N(K,J) = CN
25     10 CONTINUE
26     RETURN
27     END

```

```

1      SUBROUTINE WIND (E,N,IO)
2      C
3      C      MODULE --- WIND / SIM
4      C
5      C      PURPOSE --- TO READ IN AND MAINTAIN THE WIND GRID
6      C
7      C      PROGRAMMER --- C. R. FOSTER CCP (SYSTEMS)
8      C
9      REAL E(24,62), N(24,62)
10     INTEGER G(10,4)
11     C
12     C      IF NOT THE FIRST TIME THROUGH THEN SKIP TO UPDATE.
13     C
14     C      IF (IO.GT.1)GO TO 10
15     C
16     C      READ IN THE NUMBER OF GRID PATTERNS.
17     C
18     READ (3,9000)NG
19     9000  FORMAT(12)
20     C
21     C      READ IN THE GRID PATTERNS.
22     C
23     DO 1 I=1,NG
24     1 READ (3,9001)(G(I,J),J=1,4)
25     9001  FORMAT(4I5)
26     IA = 0
27     C
28     C      READ IN THE NUMBER OF GRIDS IN THIS FILE.
29     C
30     READ (3,9000)IDT
31     2 IF (IA.GE.IDT)RETURN
32     IA =IA + 1
33     C
34     C      READ IN A NEW GRID.
35     C
36     DO 5 I=1,NG
37     READ (3,9002)ID,V
38     9002  FORMAT(I5,G15.7)
39     A=FLOAT(MOD(ID+180,360))/57.29577951

```



```

40      V = V *51.4096
41      CE = V*SIN(A)
42      CN = V*COS(A)
43      ISX = G(I,1)
44      IEX = G(I,2)
45      ISY = G(I,3)
46      IEY = G(I,4)
47      DO 3 J=ISX,IEX
48      DO 3 K = ISY,IEY
49      E (K,J) = CE
50      3 N (K,J) = CN
51      5 CONTINUE
52      C
53      C      CHECK TO SEE IF AN UPDATE IS REQUIRED (EVERY 4 FRAMES).
54      C
55      RETURN
56      10 IF (MOD(I0,4).EQ.0)GO TO 2
57      RETURN
58      END

```

```

1      C
2      C      MODULE --- DATE
3      C
4      C      PURPOSE --- COMPUTES THE DATE GIVEN STARTING TIME,
5      C                      LENGTH OF INTERVAL & # OF INTERVALS SINCE START.
6      C
7      C      PROGRAMMER --- C. R. FOSTER
8      C                      ARCTIC SCIENCES LTD,
9      C                      SIDNAY, B.C.
10     C
11     C      SOURCE CODE --- FORTRAN 4
12     C
13     C      SOURCE COMPUTER --- UNIVAC 1106, IOS, PAT BAY.
14     C
15     C      SUBROUTINE DATE (IH, ID, IM, IY, I, ISPAN, IH1, ID1, IM1, IY1)
16     C      INTEGER DAYS(12)
17     C      DATA DAYS /31,28,31,30,31,30,30,31,30,31,30,31/
18     C      ID = ID1
19     C      IM = IM1
20     C      IY = IY1
21     C      IH = (I-1)*ISPAN
22     C      1 IF (IH.LT.24)GO TO 2
23     C      IH = IH - 24
24     C      ID = ID + 1
25     C      GO TO 1
26     C      2 IF (ID.LE.DAYS(IM))RETURN
27     C      ID = ID - DAYS(IM)
28     C      IM = IM + 1
29     C      IF (IM.LE.12)GO TO 2
30     C      IM = 1
31     C      IY = IY + 1
32     C      DAYS(2) = 28
33     C      IF (IY/4*4.EQ.IY)DAYS(2)=29
34     C      GO TO 2
35     C      END

```

```

1      FUNCTION DTOR (X)
2      C
3      C      SUB MODULE --- DTOR
4      C
5      C      PURPOSE --- TO CONVERT DEGREES AS DDD.MMFFFFFFF TO RADIANS
6      C
7      C      PROGRAMMER --- C. R. FOSTER
8      C
9      C      SOURCE CODE --- FORTRAN 4
10     C
11     C      SOURCE COMPUTER --- UNIVAC 1106
12     C
13     DTOR = (FLOAT(IFIX(X)) + AMOD(X,1.)/.6) / 57.29577951
14     RETURN
15     END

```

```

1      FUNCTION RTOD (X)
2      C
3      C      SUB MODULE --- RTOD
4      C
5      C      PURPOSE --- TO CONVERT RADIANS TO DEGRESS AS DDD.MMFFF
6      C      INVERSES EFFECT OF DTOR.
7      C
8      C      PROGRAMMER --- C. R. FOSTER
9      C
10     C      SOURCE CODE --- FORTRAN 4
11     C
12     C      SOURCE COMPUTER --- UNIVAC 1106
13     C
14     X1 = X * 57.29577951
15     RTOD = FLOAT(IFIX(X1)) + AMOD(X1,1.)*.6
16     IF (AMOD(RTOD,1.).GE.0.5999)RTOD = RTOD + 0.4
17     RETURN
18     END

```

```

1      C
2      C      MODULE --- PIX
3      C
4      C      PURPOSE --- CONVERTS PIXELS NUMBERS INTO RADIAN LATS & LONS.
5      C
6      C      PROGRAMMER --- C. R. FOSTER CCP
7      C                      ARCTIC SCIENCES LTD,
8      C                      SIDNEY, B.C.
9      C
10     C      SOURCE CODE --- FORTRAN 4
11     C
12     C      SOURCE COMPUTER --- UNIVAC 1106, IOS, PAT BAY.
13     C
14     C      SUBROUTINE PIX (IY,IX,LAT,LON)
15     C      REAL LAT,LON
16     C      LON = 1.3195736+FLOAT(IX-1)*.0052883
17     C      LAT = 1.2748175+FLOAT(IY-1)*.0014544
18     C      RETURN
19     C      END

```

```

1      C
2      C      MODULE --- PIXELS
3      C
4      C      PURPOSE --- CONVERTS LATS & LONS IN RADIAN INTO PIXEL NUMBERS.
5      C
6      C      PROGRAMMER --- C. R. FOSTER CCP
7      C                      ARCTIC SCIENCES LTD
8      C                      SIDNEY, B.C.
9      C
10     C      SOURCE CODE --- FORTRAN 4
11     C
12     C      SOURCE COMPUTER --- UNIVAC 1106, IOS, PAT BAY.
13     C
14     C      SUBROUTINE PIXELS (LAT,LON,IX,IY)
15     C      REAL LAT,LON
16     C      IX = 1+(LON-1.3169293)/.0052883
17     C      IY = 1+(LAT-1.2740902)/.0014544
18     C      RETURN
19     C      END

```

```

1      C
2      C      MODULE --- CLEAN
3      C
4      C      PURPOSE --- ELIMINATES PARCELS THAT HAVE NO OIL LEFT.
5      C
6      C      PROGRAMMER --- C. R. FOSTER CCP
7      C                      ARCTIC SCIENCES LTD,
8      C                      SIDNEY, B.C.
9      C
10     C      SOURCE CODE --- FORTRAN 4
11     C
12     C      SOURCE COMPUTER --- UNIVAC 1106, IOS, PAT BAY.
13     C
14     C      SUBROUTINE CLEAN (RLT,RLN,F,SM,AR,SE,SN,A1,A2,A3,
15     &      IB,AG,NS,NSP)
16     REAL RLT(100),RLN(100),F(100),SM(100),AR(100)
17     REAL A1(100), A2(100), A3(100), SE(100),SN(100)
18     INTEGER IB(100), AG(100), ID(100)
19     N = 0
20     NN=0
21     DO 5 I=1,NSP
22     IF (I.GT.NS)GO TO 3
23     IF (SM(I).LT.0.1)GO TO 5
24     NN=NN+1
25     3 N=N+1
26     ID(N)=I
27     5 CONTINUE
28     IF (N.EQ.0)RETURN
29     DO 10 I=1,N
30     IDP = ID(I)
31     RLT(I) = RLT(IDP)
32     RLN(I) = RLN(IDP)
33     F(I) = F(IDP)
34     SM(I) = SM(IDP)
35     AR(I) = AR(IDP)
36     SE(I) = SE(IDP)
37     SN(I) = SN(IDP)
38     IB(I) = IB(IDP)

```

```

39      AG(I) = AG(IDP)
40      A1(I) = A1(IDP)
41      A2(I) = A2(IDP)
42      A3(I) = A3(IDP)
43 10 CONTINUE
44      NS = NN
45      NSP = N
46      RETURN
47      END

```

```

1      FUNCTION RAN(X)
2      C
3      C      ROUTINE NAME --- RAN
4      C
5      C      PURPOSE --- INTERFACE ROUTINE FOR RANDOM NUMBER GENERATION
6      C      SINCE THERE IS NO RAN ROUTINE ON THE UNIVAC
7      C      THIS ROUTINE INTERFACES CALLS TO RAN WITH
8      C      CALLS TO GGUBF IN THE IMSL LIBRARY.
9      C
10     C      RAN MUST BE INITIALISED BY A CALL WITH X < 0.0
11     C
12     C      PROGRAMMER --- C. R. FOSTER CCP
13     C
14     C      SOURCE CODE --- FORTRAN
15     C
16     C      SOURCE COMPUTER --- UNIVAC 1106
17     C
18     IF (X.LT.0.)GO TO 10
19     5 RAN = GGUBF(ISEED)
20     RETURN
21 10 ISEED = 172635421.
22     X = 0.0
23     GO TO 5
24     END

```

```

1      SUBROUTINE BEACH (IFR,NS,SME,SMN,ASL,RLT,RLN,SE,SN,AREA,SAM,
2      &      ST,IPR,IPLI,TITLE)
3      C
4      C      MODULE --- BEACH
5      C
6      C      PURPOSE --- KEEPS TRACK OF OIL ON BEACHES
7      C
8      C      PROGRAMMER --- C. R. FOSTER CCP
9      C
10     C      DATE --- 19 FEB 79
11     C
12     REAL RLT(100),RLN(100),SE(100),SN(100),AREA(100),SAM(100)
13     REAL BAM(24,62), ASL(100), HAM(10), SME(100), SMN(100)
14     INTEGER ST(24,62)
15     INTEGER NPTS(15),ICH(10,2),IX(15,30),IY(15,30)
16     REAL XR(120),YR(120), R(4),X(4),Y(4)
17     INTEGER IPENS (120)
18     CHARACTER*20 TITLE
19     CHARACTER*40 ID(15)
20     DATA R/.19739556,2.944197094,3.338988213,6.085789747/
21     IF (IFR.GT.1)GO TO 80
22     DO 5 I=1,100
23         SME(I) =0.
24     5   SMN(I) =0.
25     C
26     C      INITIALIZE & SETUP      (PART 1)
27     C
28     C 1) READ BEACH DEFINITION CARDS
29     C
30     READ(7,9000)NBEACH
31     9000  FORMAT(16I5)
32     DO 10 I=1,NBEACH
33         READ(7,9001)NP,ID(I)
34     9001  FORMAT(I5,5X,A40)
35         NPTS(I) = NP
36         READ (7,9000)(IX(I,J),IY(I,J),J=1,NP)
37     10  CONTINUE
38     C
39     C 2) SET BEACH OIL COUNTER MATRIX TO 0.0

```

```

40      C
41      DO 20 I=1,24
42      DO 20 J=1,62
43      20 BAM(I,J)=0.
44      C
45      C      SET AREA LOST COUNTER STORAGE TO 0.
46      C
47      DO 25 I=1,100
48      25 ASL(I) = 0.0
49      C
50      C 3) SET UP FOR PLOTTING IF NEEDED.
51      C
52      IF (IPL.NE.1)CALL PLOTS('SML','BLK','BLK','INK')
53      C
54      C 4) PRIME THE STEREO-GRAPHIC PROJECTION ROUTINES.
55      C
56      CALL OSP1 (.035,.035,.05,.05)
57      CALL OSP2 (1.2944,1.4439,XINCH,7.)
58      C
59      C CHECK PHASE (PART 2)
60      C
61      80 DO 90 I=1,NS
62      SME(I)=SME(I) + SE(I)
63      SMN(I)=SMN(I) + SN(I)
64      90 CONTINUE
65      100 IPL = IPLI
66      C
67      C PLOT OUTLINE IF CALLED FOR.
68      C
69      IF (IFR/8*8.NE.IFR)IPL=0
70      IF (IPL.NE.1)GO TO 105
71      IF (IFR.NE.8)CALL FRAME
72      CALL PLOT (6.,4.,-3)
73      CALL SYMBOL (-4.,-3.8,.21,'DAY # ',0.,6)
74      CALL NUMBER (999.,999.,.21,FLOAT(IFR/8),0.,-1)
75      CALL SYMBOL (-4.,-4.1,.21,TITLE,0.,20)
76      CALL PLOT (-5.5,-3.5,3)
77      CALL PLOT (5.,-3.5,2)
78      CALL PLOT (5.,3.5,2)

```



```

79          CALL PLOT (-5.5,3.5,2)
80          CALL PLOT (-5.5,-3.5,2)
81      C
82      C      PLOT THE RECTANGLES THAT REPRESENT EACH PARCEL OF OIL.
83      C
84      105 DO 180 I=1,NS
85          IF (SAM(I).LT.0.1)GO TO 179
86          IF (ABS(SME(I)).LT.0.1 .AND. ABS(SMN(I)).LT.0.1)GO TO 179
87          D=SQRT (SME(I)**2+SMN(I)**2)
88          ANG=ACOS(SME(I)/D)
89          IF (SMN(I).LT.0.0)ANG = 6.283155307-ANG
90          WM = SQRT(AREA(I)/5.)
91          SM = WM*5.
92          DP = SQRT (SM*SM+WM*WM)/2.
93          DO 110 J=1,4
94              AR = AMOD(ANG+R(J),6.283155307)
95              X1 = DP*COS(AR)
96              Y1 = DP*SIN(AR)
97              Y(J) = RLT(I) + Y1/6362394.71
98              X(J) = RLN(I) - X1/(COS(Y(J))*6362364.71)
99              IF (IPL.NE.1)GO TO 110
100             CALL OSPROJ (Y(J),X(J),X1,Y1)
101             IP = 3
102             IF (J.NE.1)IP=2
103             CALL PLOT (X1,Y1,IP)
104             IF (J.NE.4)GO TO 110
105             CALL OSPROJ(Y(1),X(1),X1,Y1)
106             CALL PLOT (X1,Y1,2)
107         110 CONTINUE
108     C
109     C      CHECK FOR BEACH CONTACT
110     C
111     C
112     C      COMPUTE THE AREA OF SHORE OVERLAP.
113     C
114         ARMIC = AREA(I)/100.
115         DO 115 K=1,10
116     115 HAM(K) = 0.0
117         NH = 0

```

```

118         SL = 0.
119         Y23 = Y(2)-Y(3)
120         X23 = X(2)-X(3)
121         Y14 = Y(1)-Y(4)
122         X14 = X(1)-X(4)
123         DO 175 J=1,10
124             FJM = FLOAT(J-1)/10.
125             XA = X(3) + FJM*X23
126             YA = Y(3) + FJM*Y23
127             XB = X(4) + FJM*X14
128             YB = Y(4) + FJM*Y14
129             DO 170 K= 1,10
130                 FKM = FLOAT(K-1)/10.
131                 XP = XA + (XB-XA)*FKM
132                 YP = YA + (YB-YA)*FKM
133                 CALL PIXELS (YP,XP,ICX,ICY)
134                 IF (ST(ICY,ICX).EQ.-1)GO TO 171
135         170     CONTINUE
136                 GO TO 175
137     C
138     C     STORE THE OVERLAP NUMBERS
139     C
140         171 ARP = FLOAT(11-K)*ARMIC
141             SL = SL + ARP
142             NH = NH + 1
143             HAM(NH) = ARP
144             ICH(NH,1) = ICY
145             ICH(NH,2) = ICX
146         175 CONTINUE
147     C
148     C     ACCOUNT FOR SHORE OVERLAP OF PREVIOUS AREAS LOST.
149     C
150             IF (NH.EQ.0)GO TO 179
151             IF (SL.LE.ASL(I))GOTO 179
152             OILOST = 0.
153             DO 176 K = 1, NH
154                 ICY = ICH(K,1)
155                 ICX = ICH(K,2)
156                 AM = HAM (K)

```

```

157         OILOSS = AM*SAM(I)/(AREA(I)-ASL(I))
158         BAM(ICY,ICX) = BAM(ICY,ICX) + OILOSS
159     176 OILOST = OILOST + OILOSS
160         SAM(I) = SAM(I) - OILOST
161         ASL(I) = SL
162     179 IF (IFR/8*8.NE.IFR)GO TO 180
163         SME(I) = 0.
164         SMN(I) = 0.
165     180 CONTINUE
166         IF (IFR/8*8.NE.IFR)RETURN
167         IF (IPR.GE.1)WRITE (6,9070)
168     9070 FORMAT(' ')
169     C
170     C   PLOT THE SHORE LINE
171     C
172         IF (IFR.NE.8)GO TO 187
173         READ (7,9000)NLINE
174         DO 185 I=1,NLINE
175         READ (7,9020)IPENS(I),RBLAT,RBLON
176     9020 FORMAT(I5,2G15.7)
177         CALL OSPROJ (RBLAT,RBLON,XR(I),YR(I))
178     185 CONTINUE
179     187 DO 190 I=1,NLINE
180     190 CALL PLOT (XR(I),YR(I),IPENS(I))
181     C
182     C   PRINT BEACH TOTALS
183     C
184         DO 195 I=1,NBEACH
185         BT = 0.
186         NP = NPTS(I)
187         DO 193 J=1,NP
188         AM = BAM(IY(I,J),IX(I,J))
189         IF (AM.LT.0.1)GO TO 193
190         WRITE (6,9060)IX(I,J),IY(I,J),AM
191     9060 FORMAT(' PIXEL (' ,I2,',',I2,',') CONTAINS',F9.1,' BARRELS.')
```

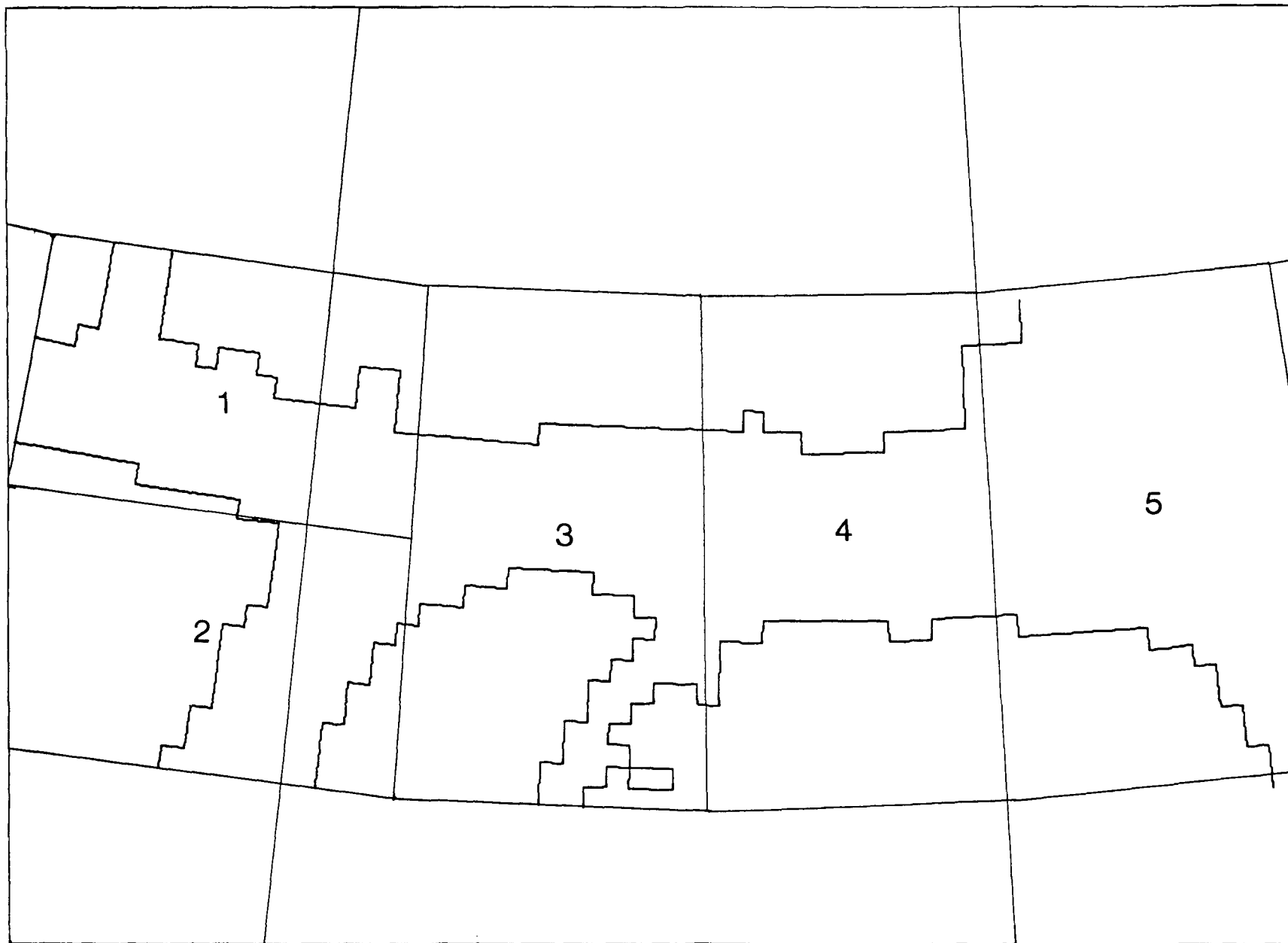
196
197
198

195 CONTINUE
RETURN
END

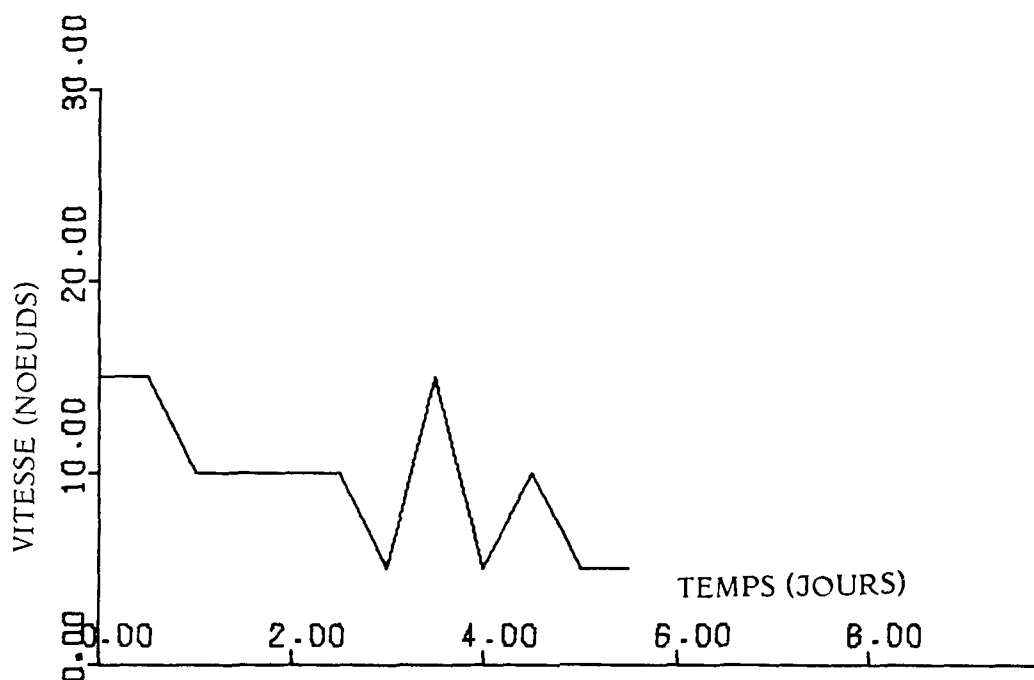
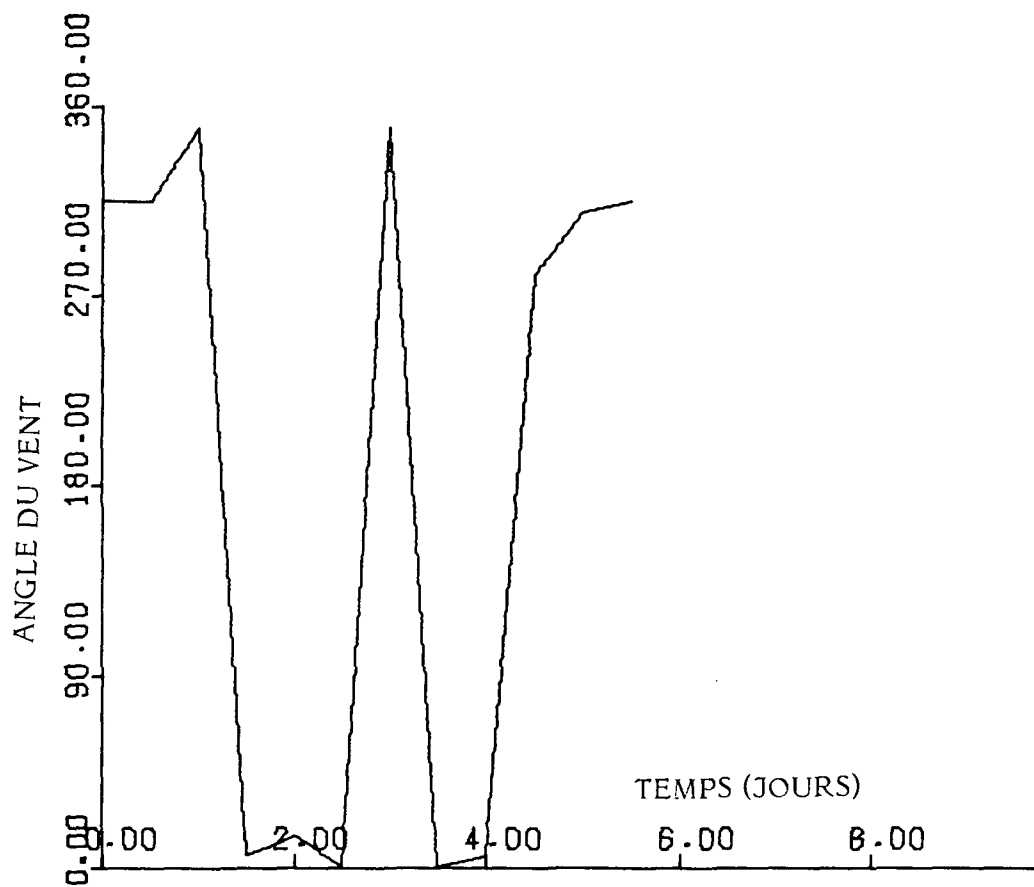
◇

ANNEXE B

CHAMPS DE VENT VARIANT EN FONCTION DU TEMPS

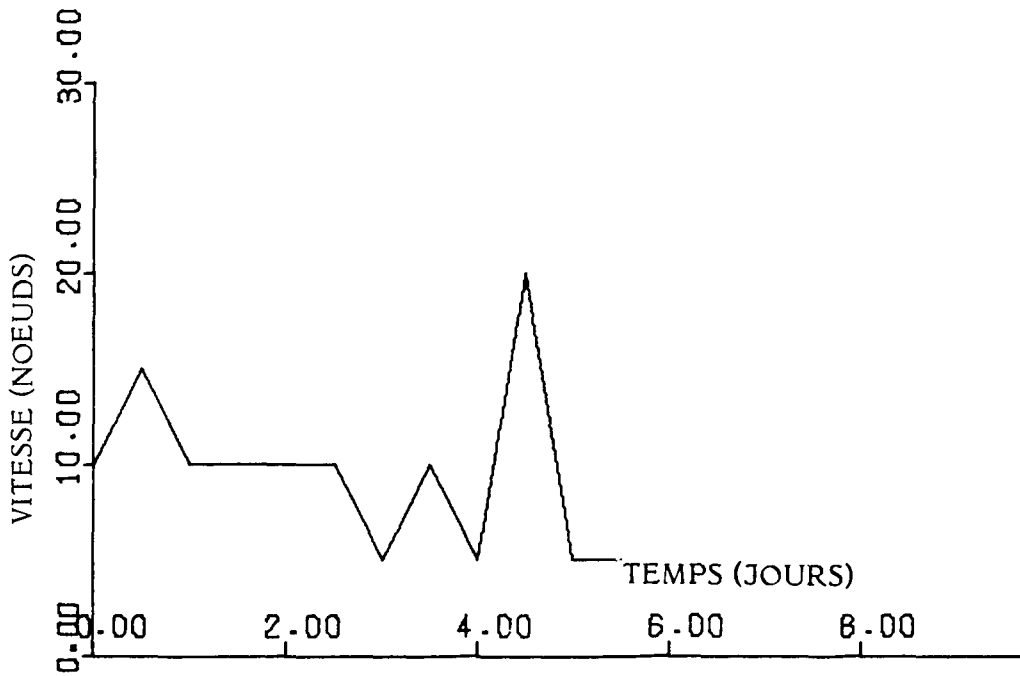
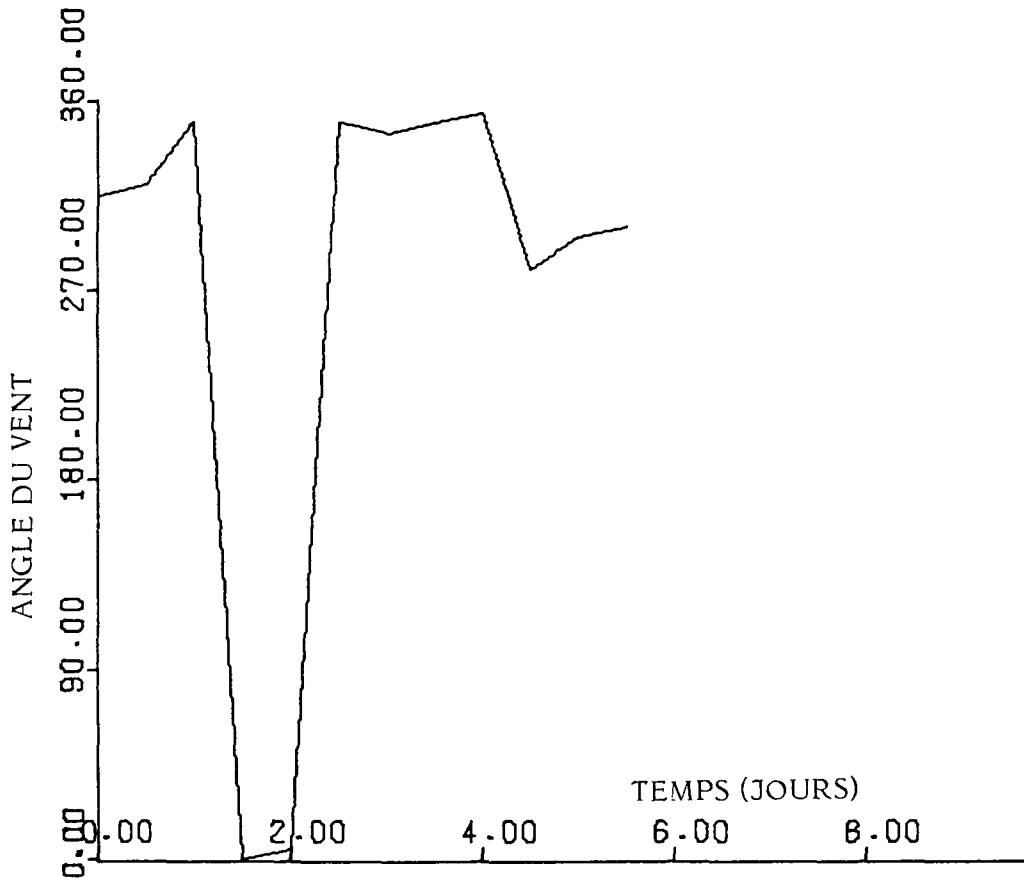


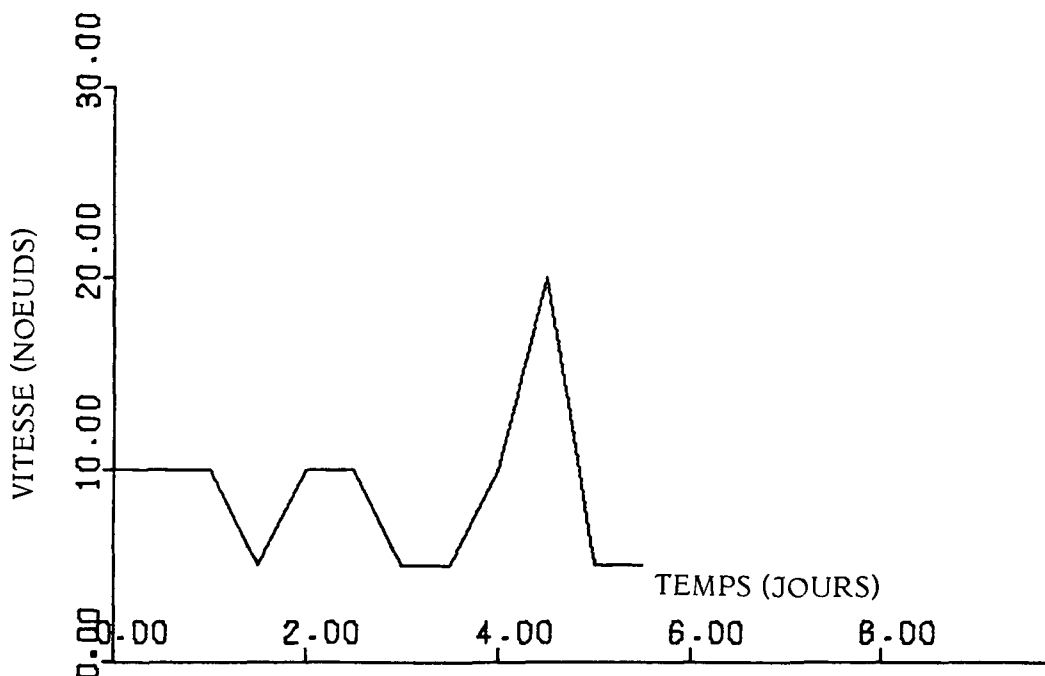
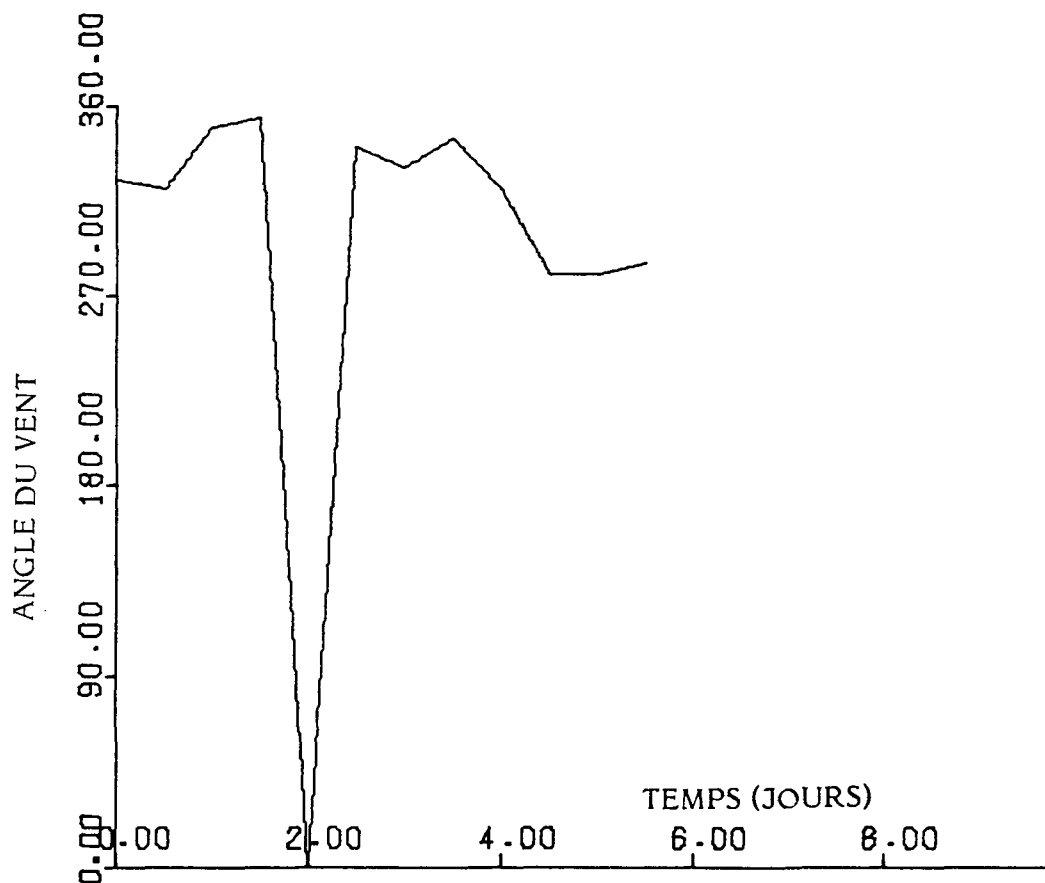
PLAN D'ENSEMBLE POUR LES CHAMPS DE VENTS CLASSÉS DANS L'ANNEXE



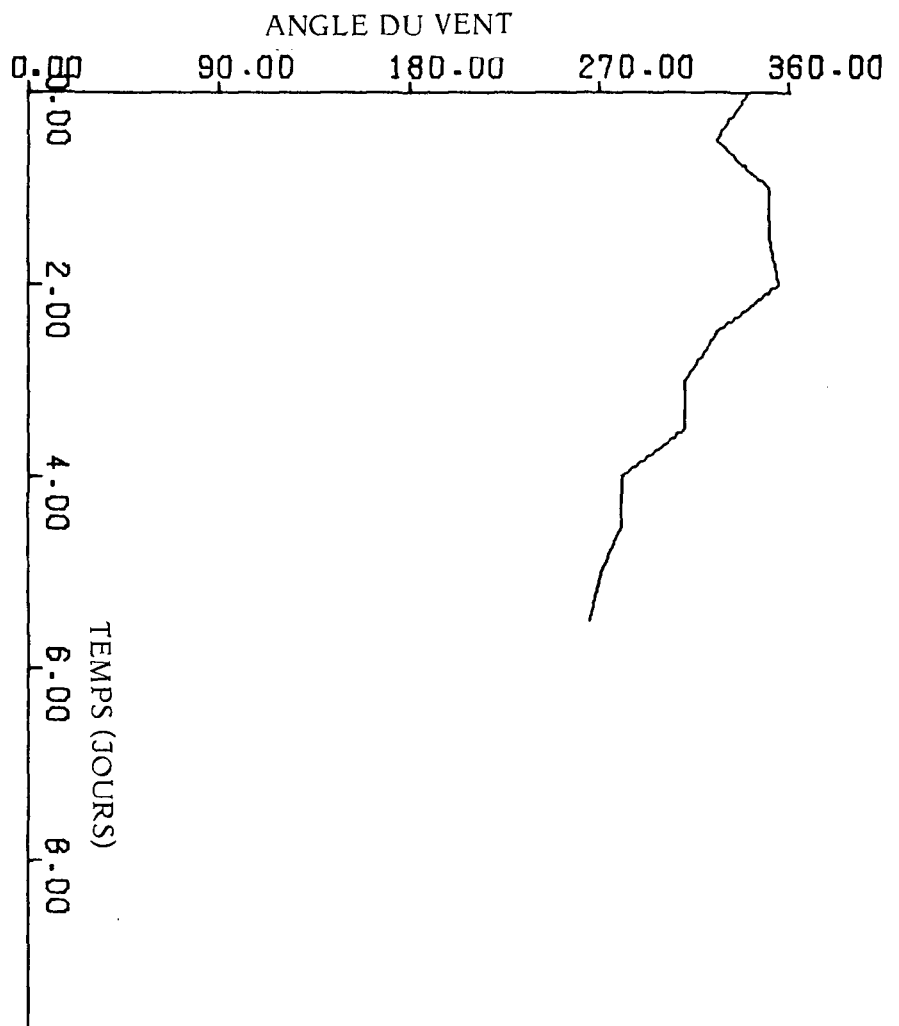
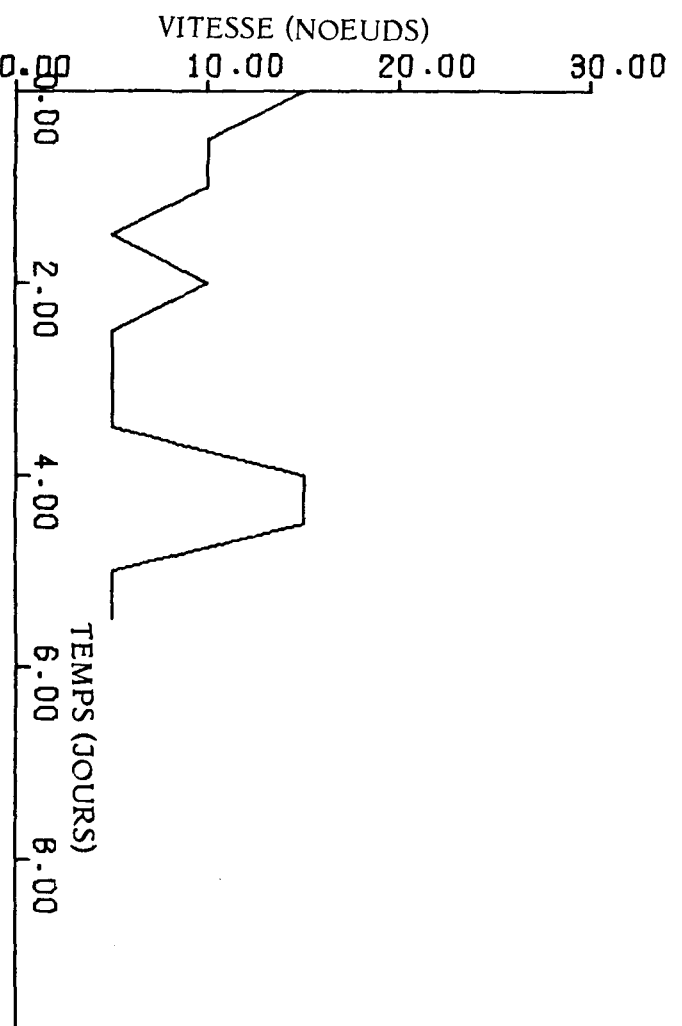
SECTEUR N° 1

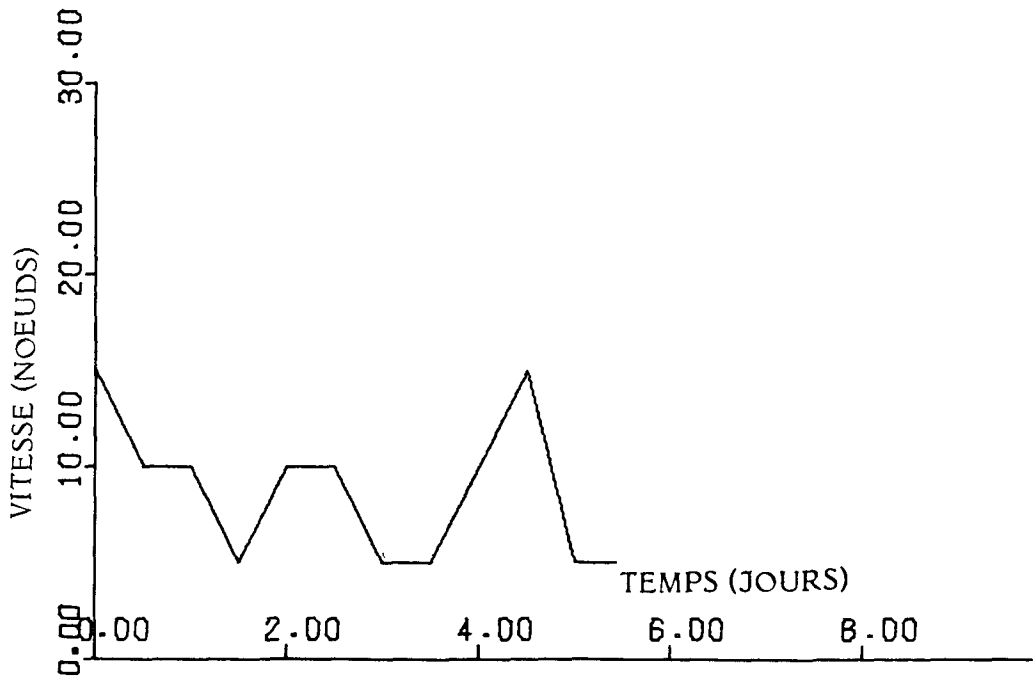
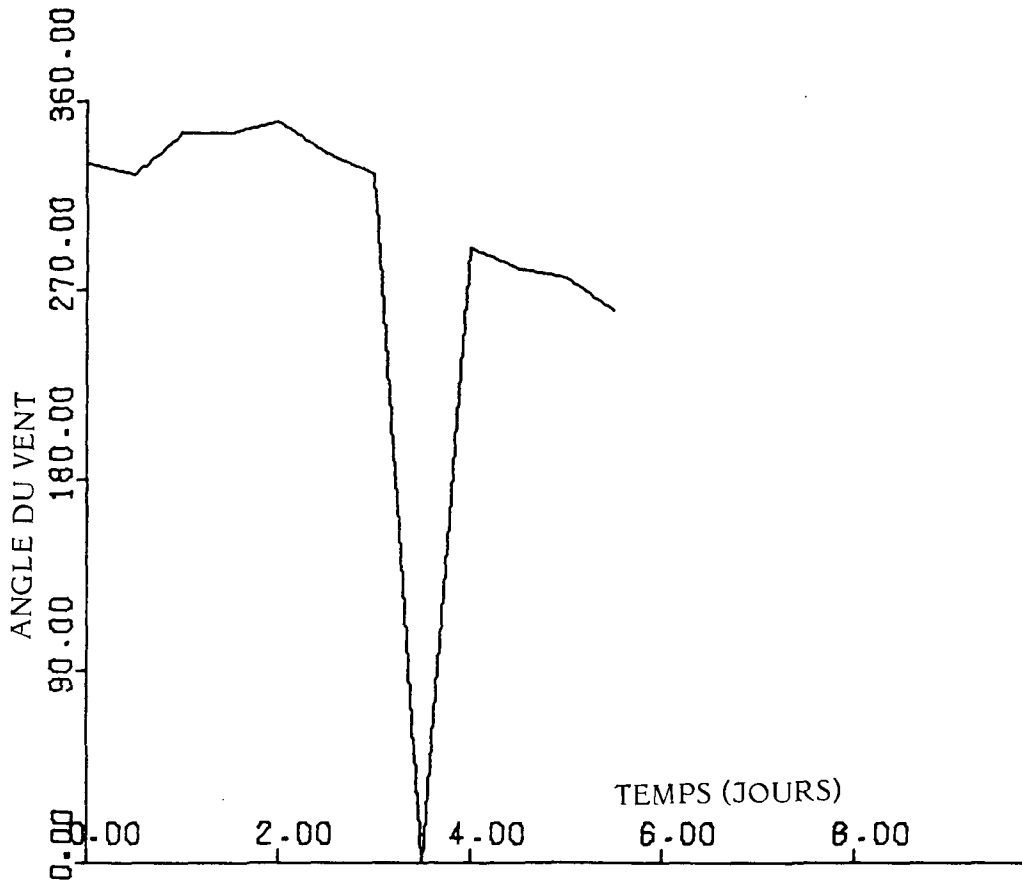
CHAMP DE VENT DU NORD VARIANT EN FONCTION DU TEMPS DANS CINQ SECTEURS DE L'EST DU DÉTROIT DE PARRY

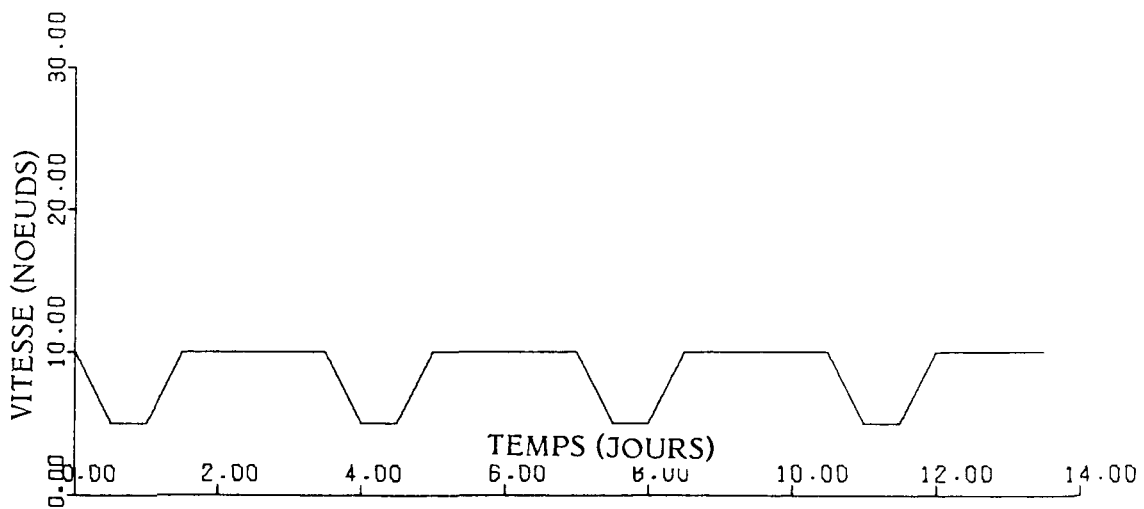
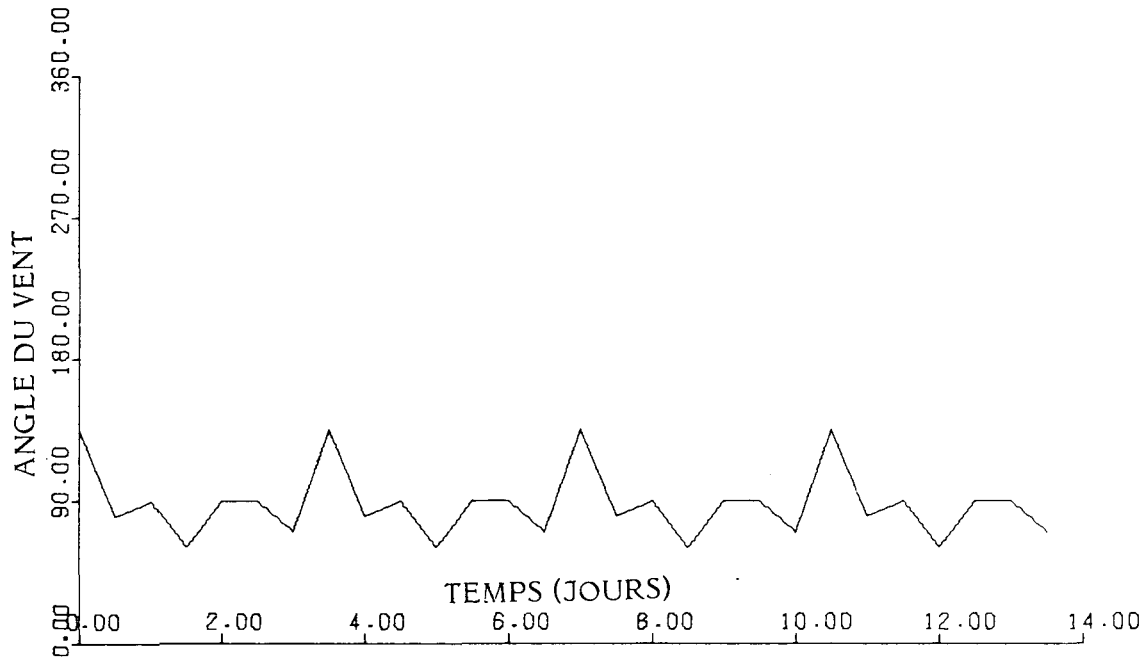




SECTEUR N° 4

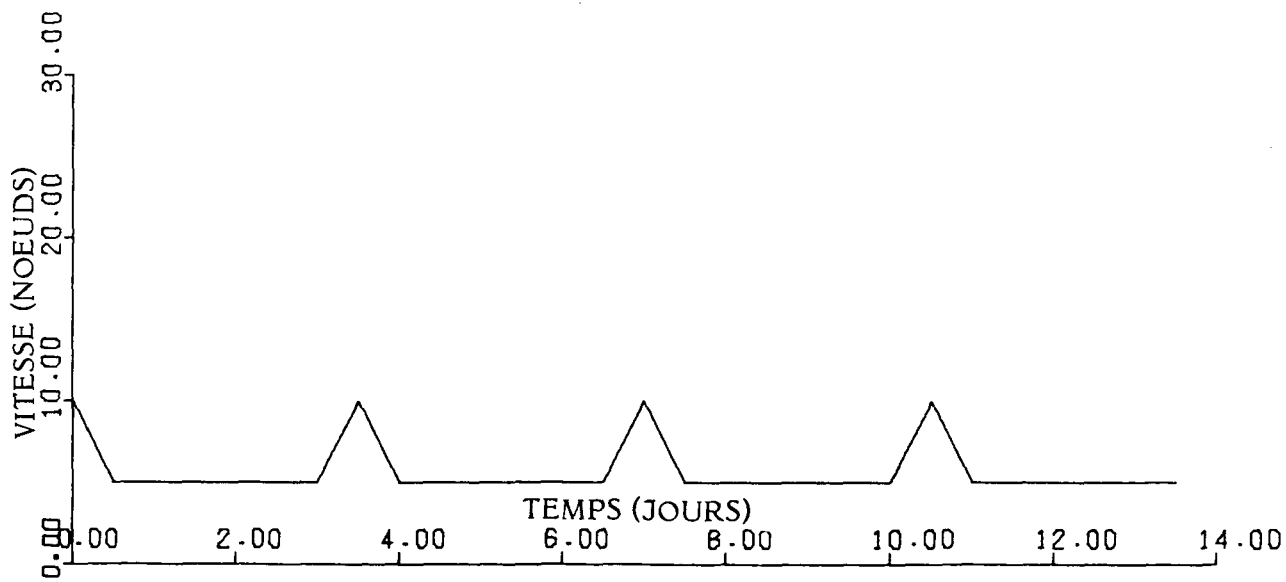
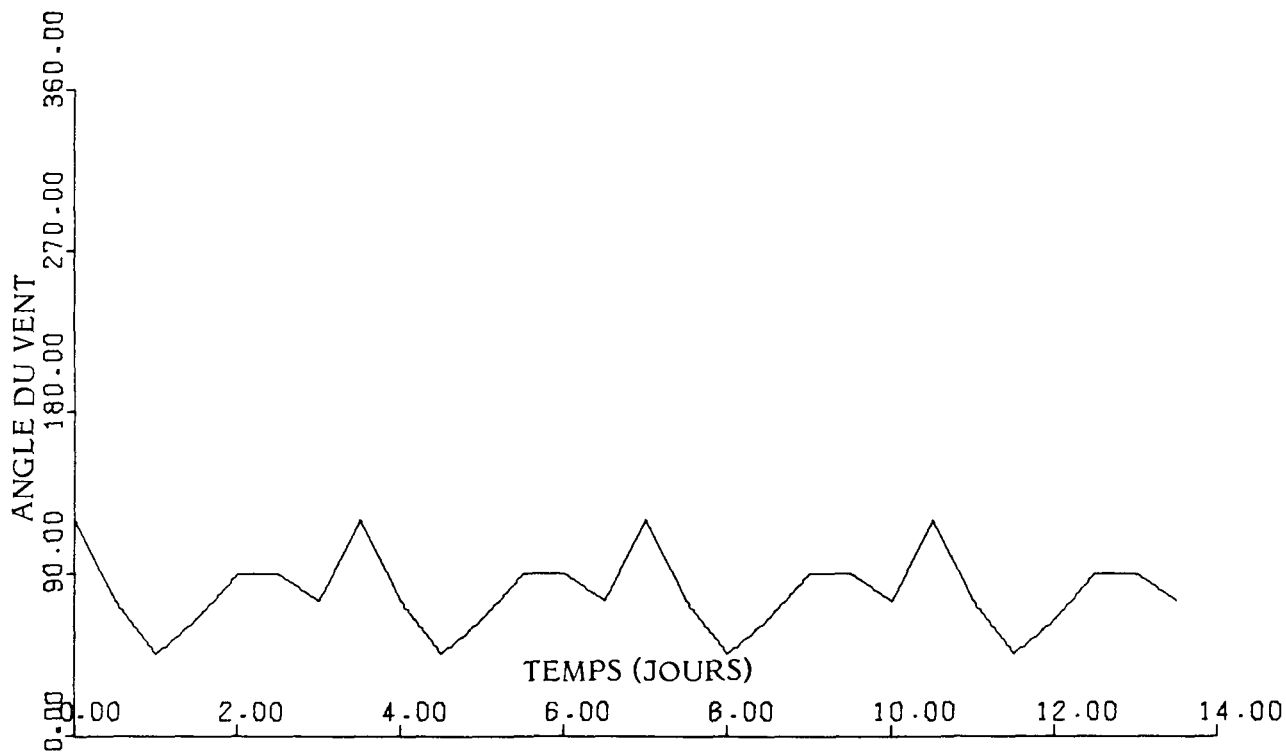




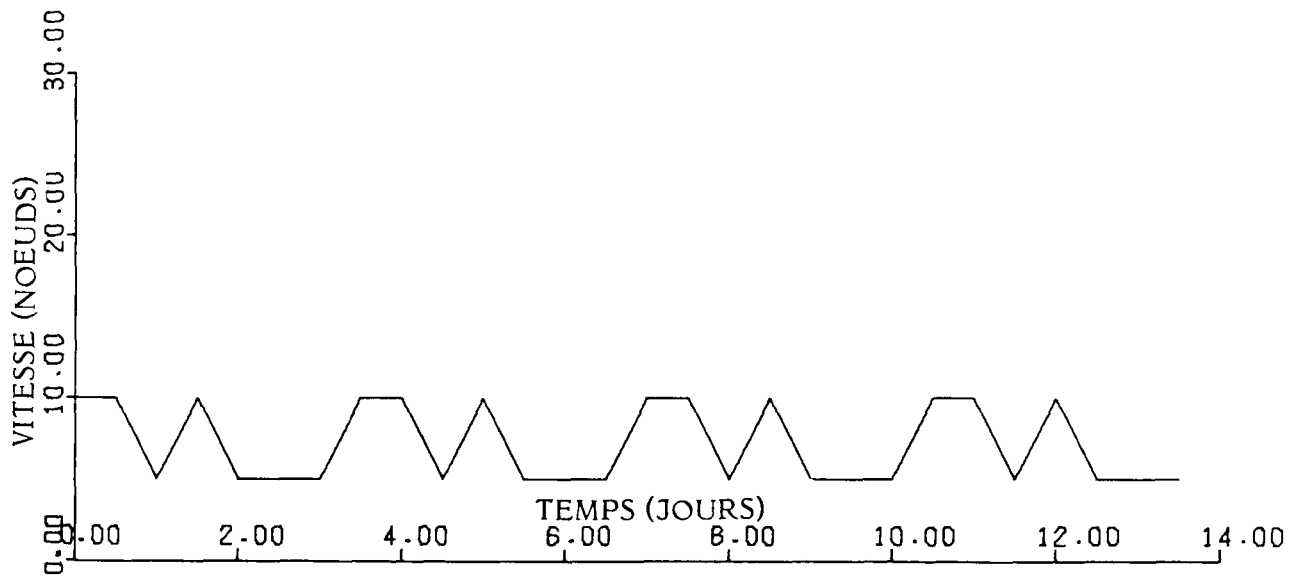
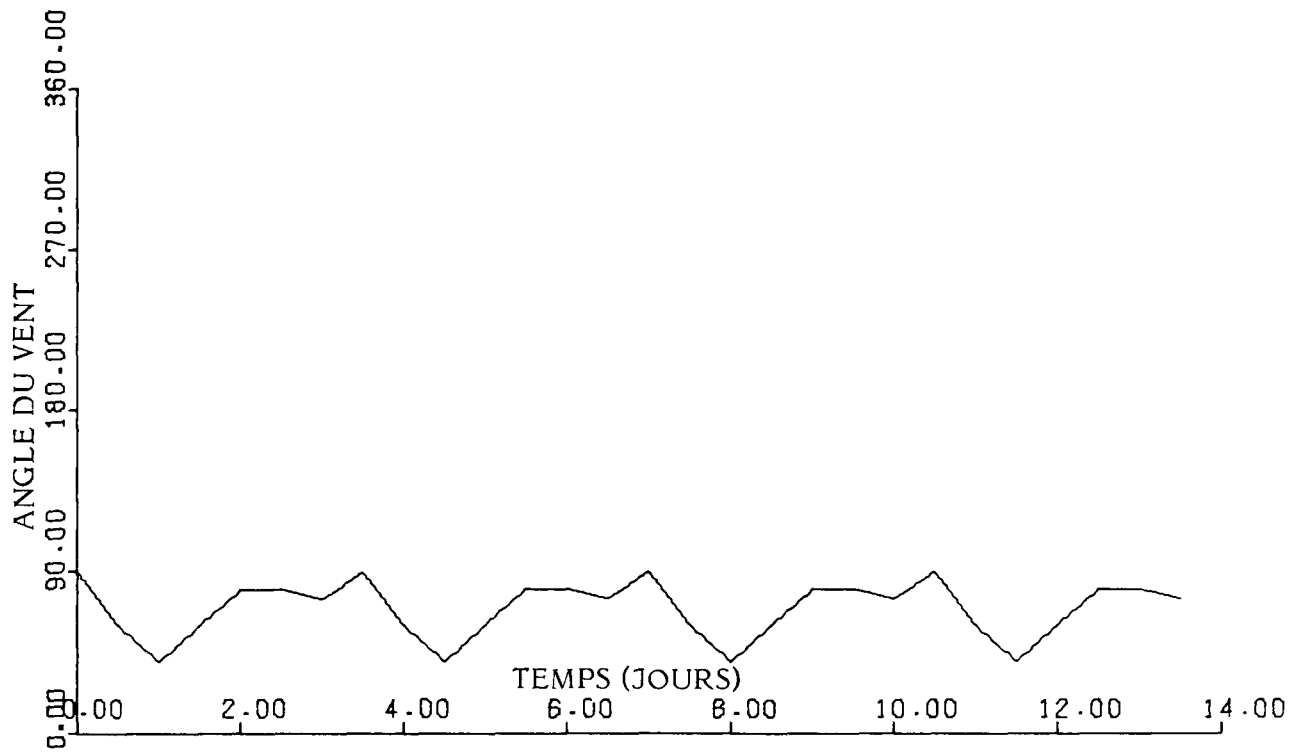


SECTEUR N° 1

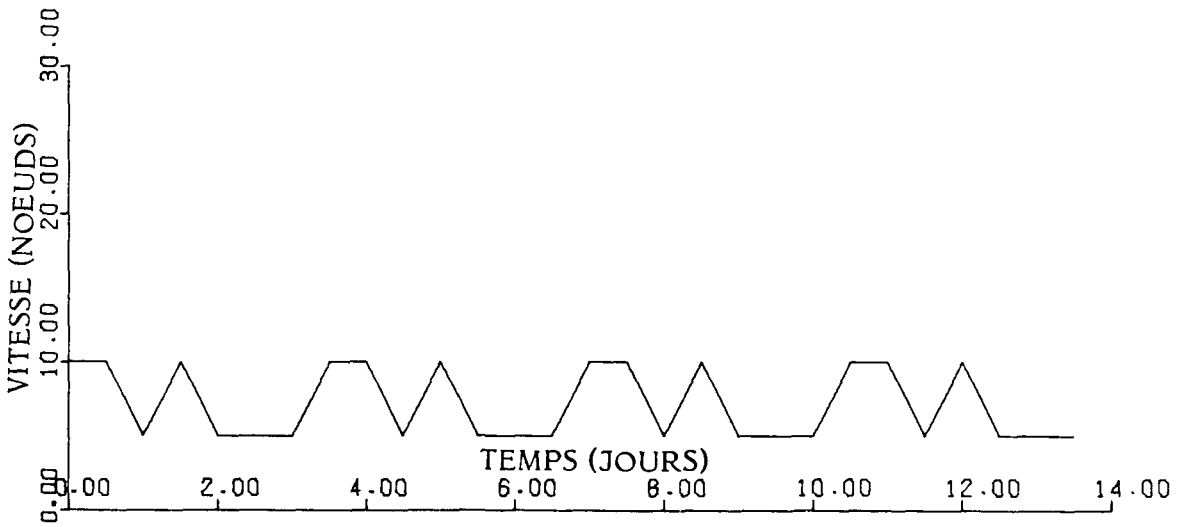
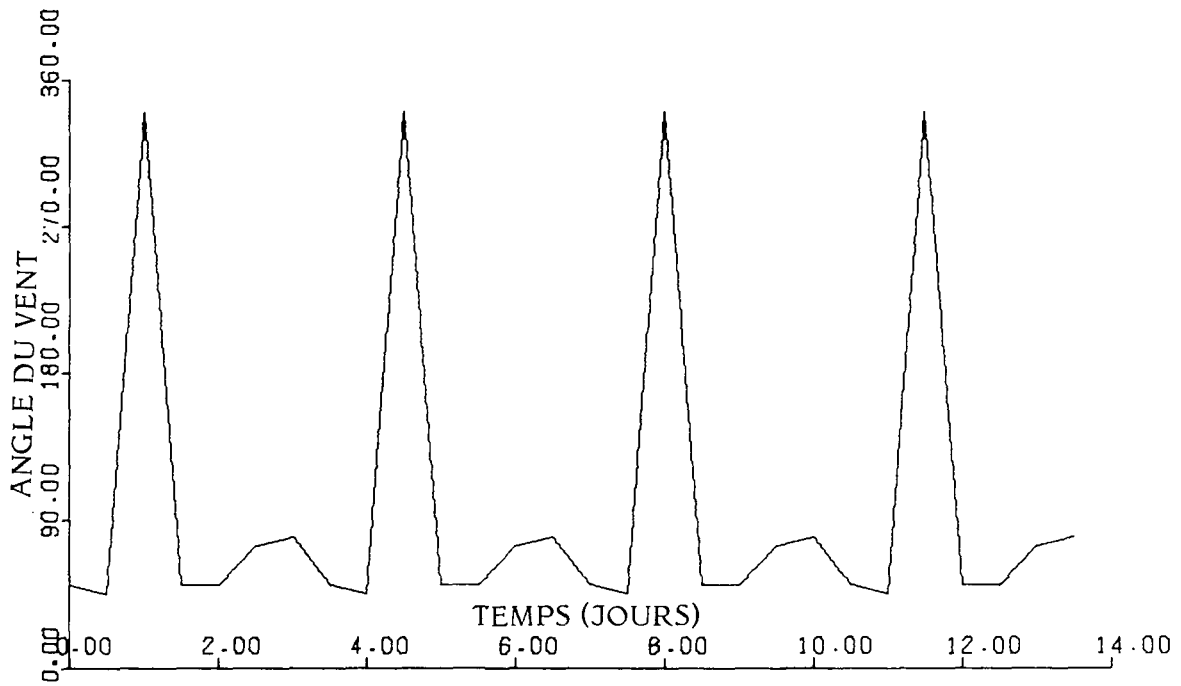
CHAMP DE VENT DU NORD VARIANT EN FONCTION DU TEMPS DANS CINQ
SECTEURS DE L'EST DU DÉTROIT DE PARRY



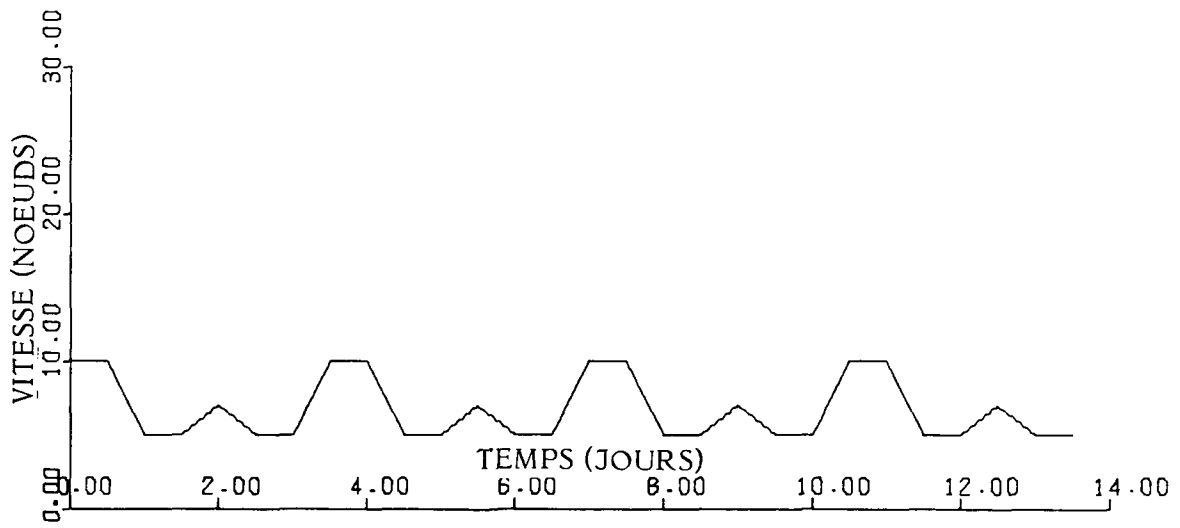
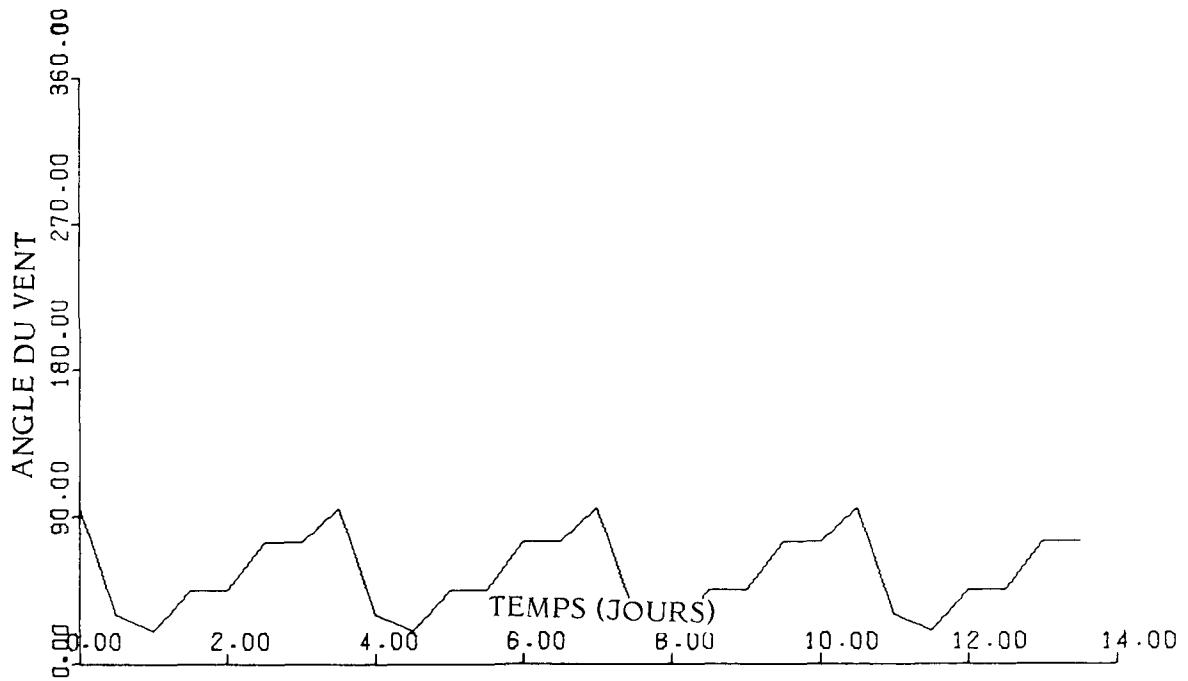
SECTEUR N° 2



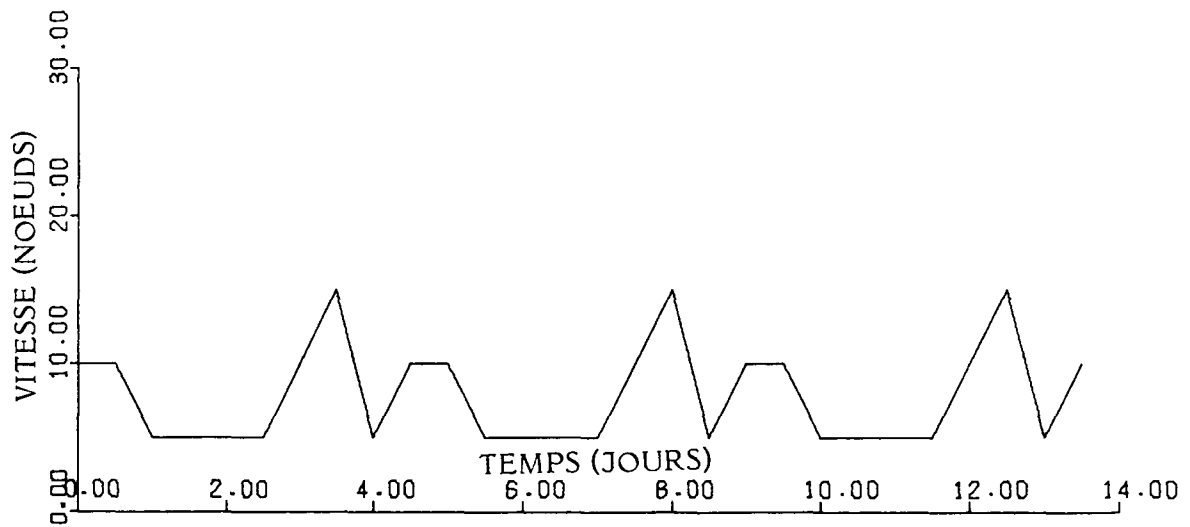
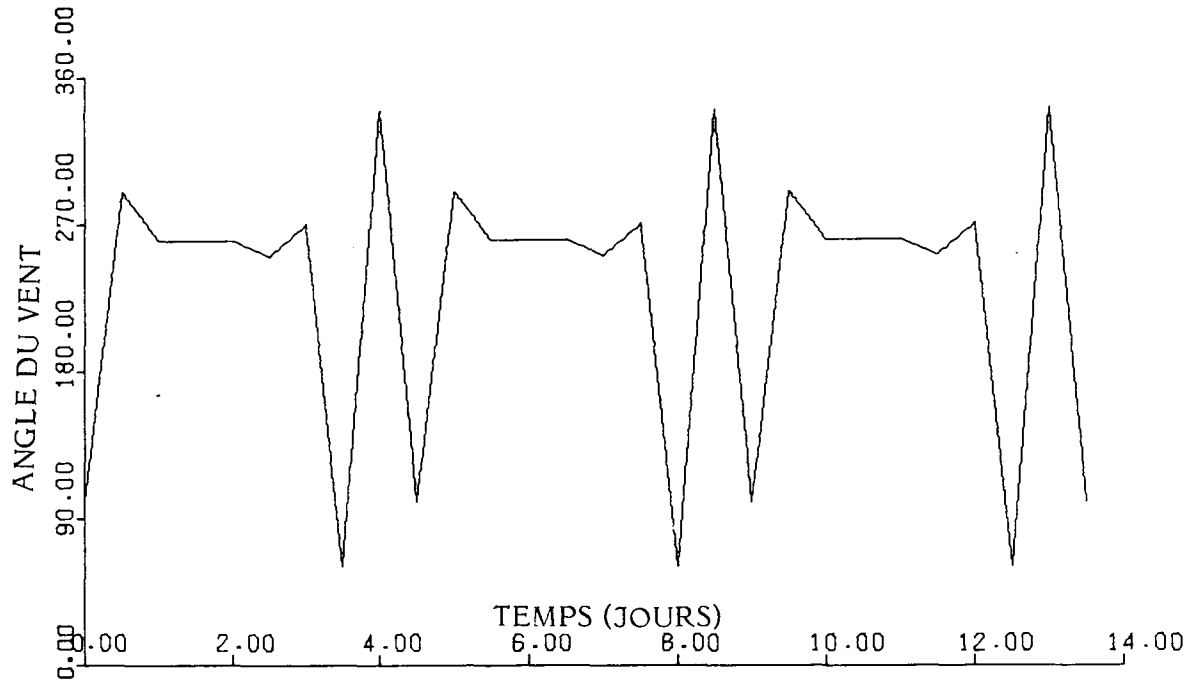
SECTEUR N° 3



SECTEUR N° 4

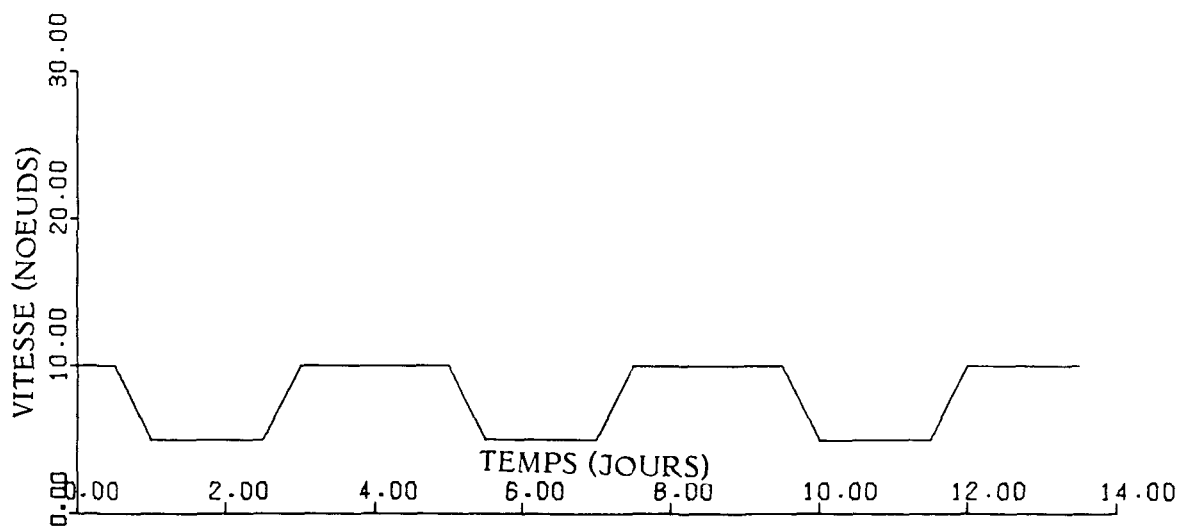
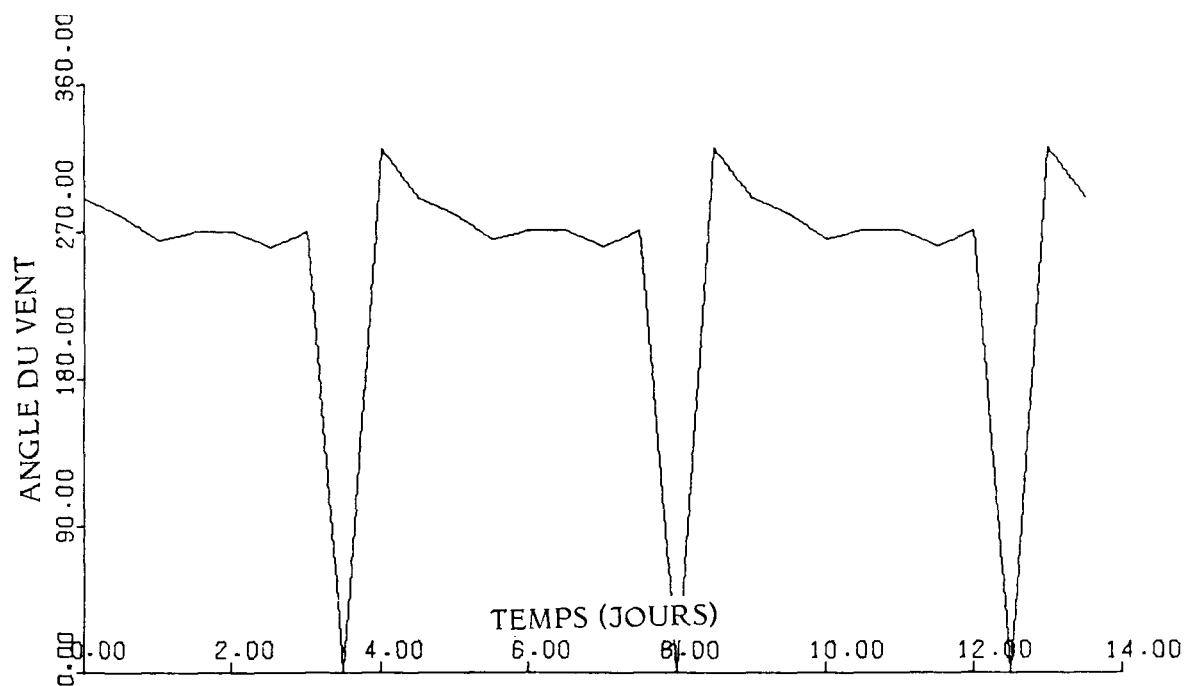


SECTEUR N° 5

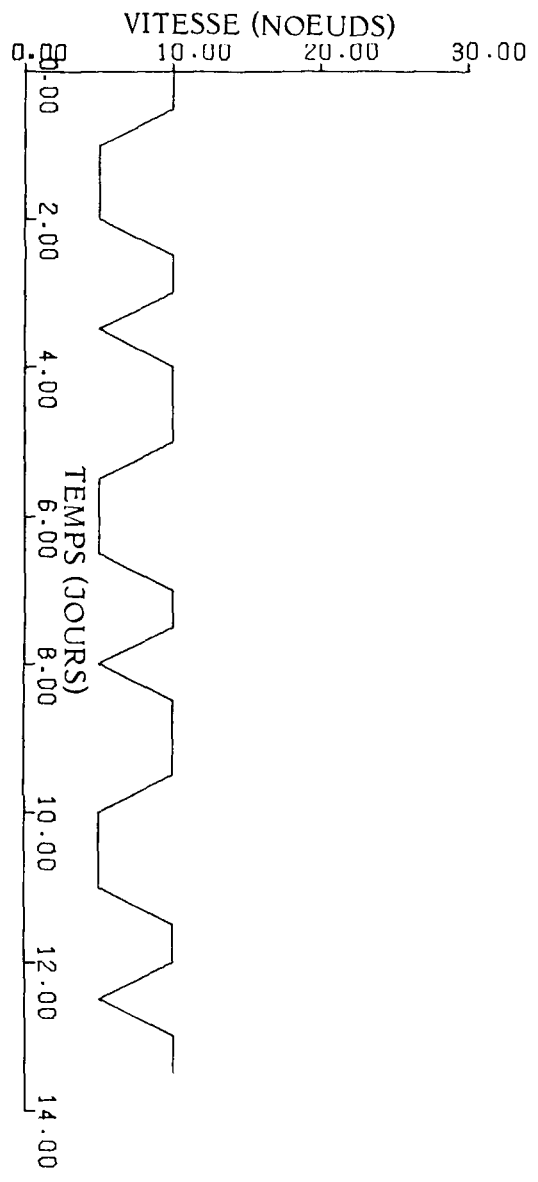
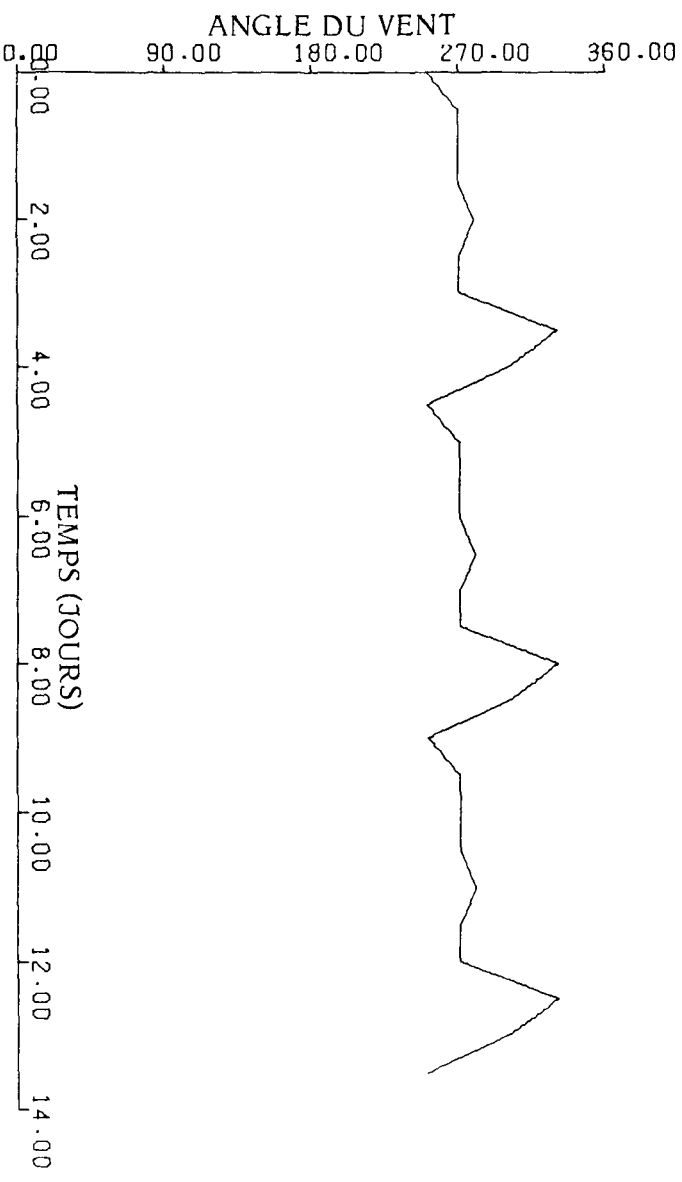


SECTEUR N° 1

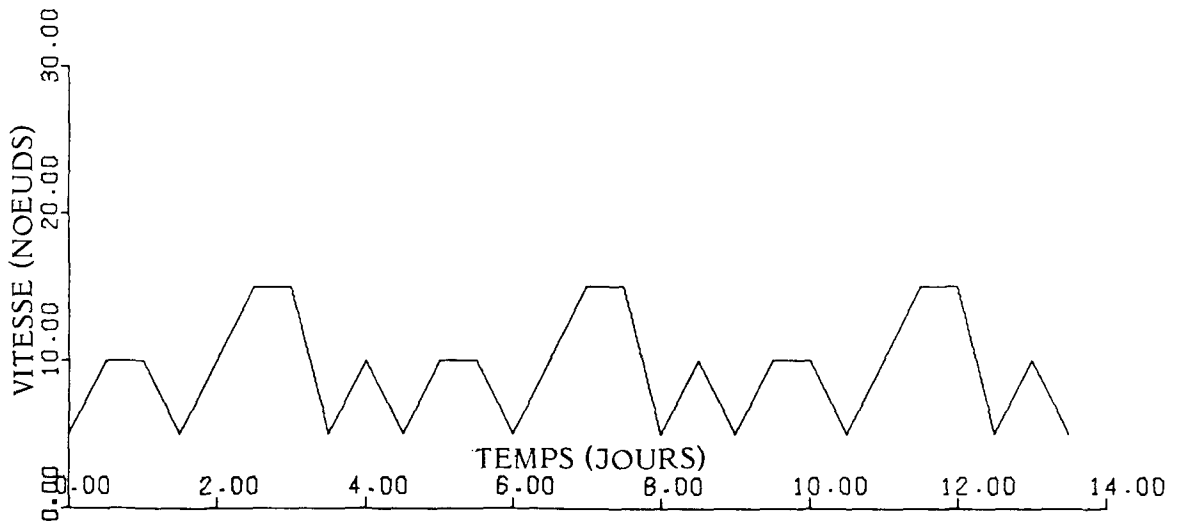
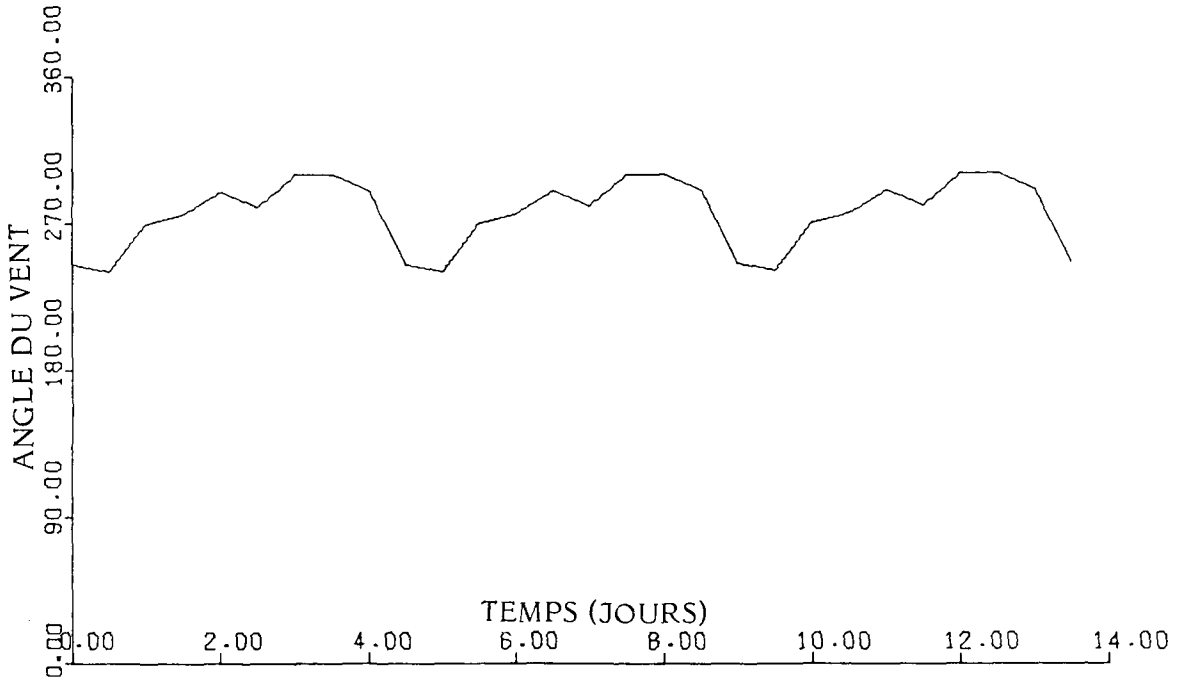
CHAMP DE VENT D'OUEST VARIANT EN FONCTION DU TEMPS DANS CINQ
SECTEURS DE L'EST DU DETROIT DE PARRY



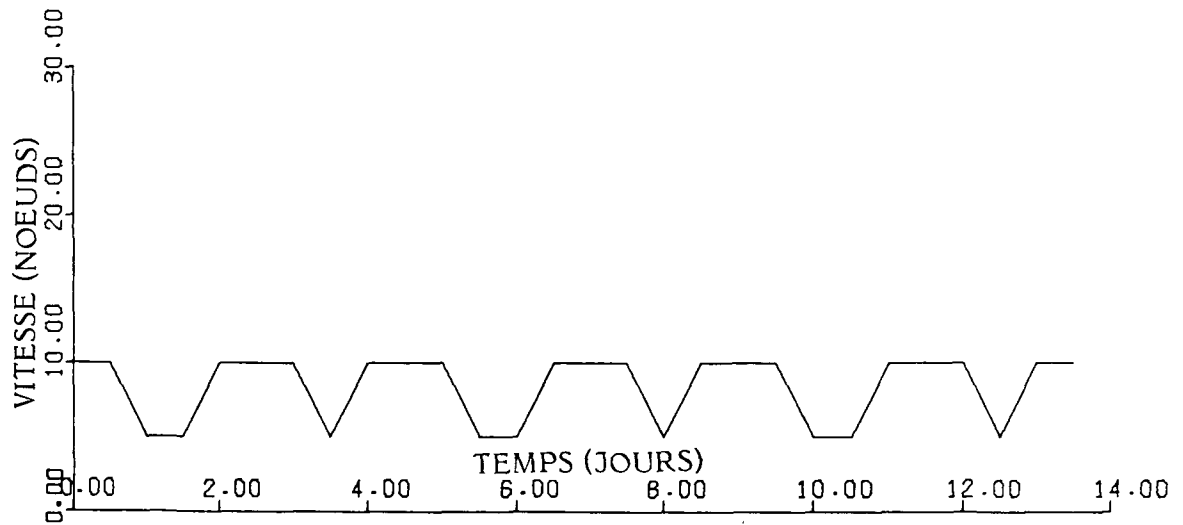
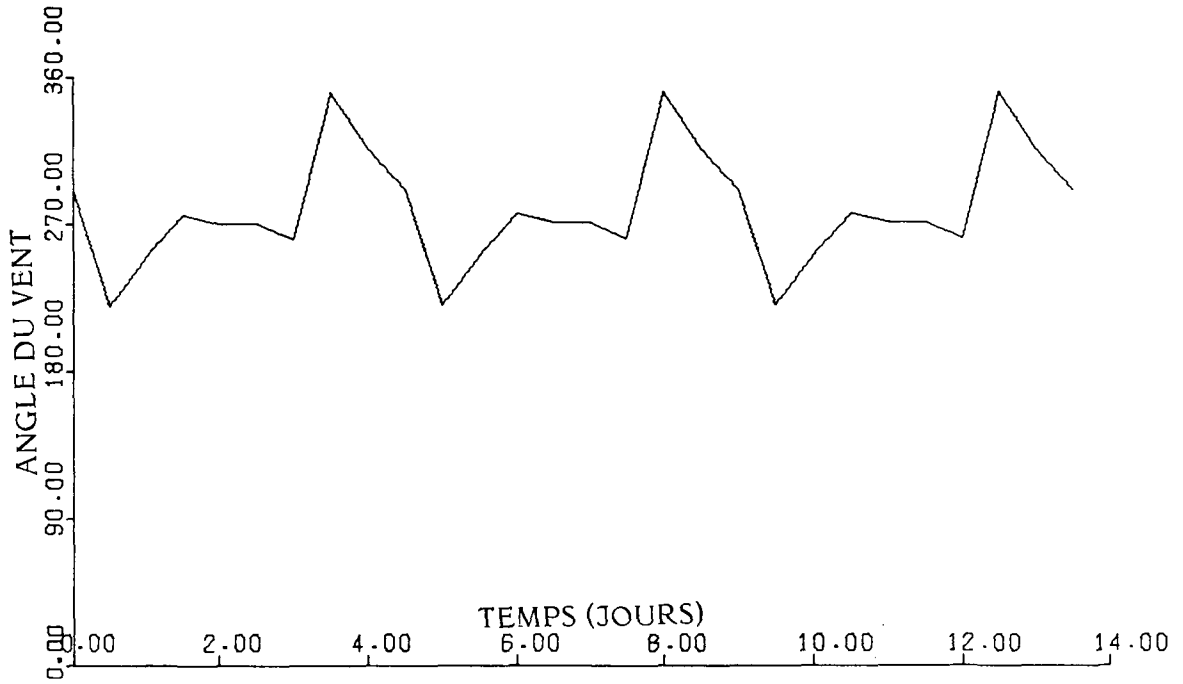
SECTEUR N° 2



SECTEUR N° 3



SECTEUR N° 4



SECTEUR N° 5