



Environnement
Canada

Environment
Canada

Service de la
protection de
l'environnement

Environmental
Protection
Service

Utilisation des systèmes micro-ondes pour la détection des nappes d'hydrocarbures en milieu de glaces flottantes: Phases II et III

Rég. Québec Biblio. Env. Canada Library



38 502 909

TD
182
R46
3-EC-80-3

Analyse économique et technique

Report SPE 3-EC-80-3

Commission générale du contrôle des incidences environnementales

Septembre 1980

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

Les rapports d'analyse économique et technique concernent les revues de l'état des connaissances, les relèves de bibliothèques, les inventaires industriels ainsi que leurs recommandations connexes dans les cas où ne comportant pas de travail expérimental. Ces analyses sont entreprises, soit par un organisme extérieur, soit par le personnel 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 méthodes d'analyse, politique et planification, développement technologique, surveillance, guides de formation, rapports et exposés à l'enquête publique, 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, Environnement Canada, Ottawa, Ontario, K1A 1C8, Canada.

Ministre des Approvisionnements
et Services Canada 1980
No. de cat. EN 46-3/80-3
ISBN 0-662-50930-7

UTILISATION DES SYSTÈMES MICRO-ONDES POUR LA DÉTECTION DES NAPPES
D'HYDROCARBURES EN MILIEU DE GLACES FLOTTANTES PHASES II ET III

par

C-CORE
Centre for Cold Ocean Resources Engineering
Université Memorial de Terre-Neuve
St. Jean (T.-N.)



pour la

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

EPS 3-EC-80-3
Septembre 1980

AVIS AU LECTEUR

Ce rapport a été examiné par la Direction générale du contrôle des incidences environnementales, Service de la protection de l'environnement, qui a autorisé sa publication. Cette autorisation n'implique pas nécessairement que le contenu du rapport correspond aux points de vue et aux politiques du Service de la protection de l'environnement. Les marques de commerce qui y figurent ne sont pas nécessairement sanctionnées par le Service de la protection de l'environnement en ce qui concerne leur utilisation.

RÉSUMÉ

Deux régimes de glaces flottantes, l'un correspondant à des ondes réfléchies par la glace et l'autre par un iceberg, servent de cadre à l'analyse de la détectabilité des hydrocarbures en milieu de glaces flottantes par des systèmes micro-ondes. Les résultats des analyses manuelle et numérique des images de ces zones, captées dans 4 voies par radar à ouverture synthétique (SAR), sont présentés et examinés en fonction de leur pertinence dans la détection des hydrocarbures en milieu de glaces flottantes par ce type de radar. Les opérations numériques comportent l'élaboration d'histogrammes, l'établissement de statistiques et de rapports parasites-bruit et la reproduction d'images dans la gamme de gris. Les données numériques présentées ont été obtenues par digitalisation sur 8 bits de la racine carrée des valeurs du signal vidéo.

Les résultats indiquent que les données originales peuvent être reproduites plus fidèlement par les données numériques élevées au carré. La quantification en densités égales se révèle une meilleure méthode que la quantification en intervalles égaux pour la reproduction d'images dans la gamme de gris. Il semble aussi que la détection des hydrocarbures en milieu de glaces flottantes peut être améliorée et que les risques de fausses alertes peuvent être diminués par des réglages de gain appropriés au stade de la collecte des données. Ainsi, les échos provenant des zones d'eau libre pourront se trouver au milieu de la gamme dynamique du système. Les données numériques obtenues peuvent être améliorées par des méthodes simples et reproduites à l'aide d'enregistreurs graphiques peu coûteux.

AVANT-PROPOS

Le présent rapport expose les résultats d'une étude sur la détection de nappes d'hydrocarbures en milieu de glaces flottantes à l'aide de systèmes micro-ondes. Cette étude a été effectuée par le C-CORE et le contenu scientifique a été vérifié par R.A. O'Neil, du Centre canadien de télédétection (CCT). Le présent rapport a été financé par le CCT en vertu du contrat OSQ77-00154, dans le cadre du Programme sur les déversements d'hydrocarbures en milieu marin arctique (AMOP) subventionné par la Division de la recherche et du développement, Direction des interventions d'urgence, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada.

TABLES DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	i
AVANT-PROPOS	ii
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES TABLEAUX	vii
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	viii
1 INTRODUCTION	1
2 DONNÉES RECUEILLIES	3
2.1 État des glaces dans la mer du Labrador	3
2.2 Données SAR	3
2.3 Interprétation générale des glaces par radar	4
2.4 Considérations théoriques	9
3 RÉSULTATS	14
3.1 Région 1 - AMOP 18	14
3.2 Région 2 - Iceberg 1	18
3.2.1 Opérations numériques	18
3.2.2 Imagerie des niveaux de gris	20
3.2.3 Histogrammes	20
3.2.4 Statistiques sur les échos radar	32
3.2.5 Transformation des données numériques en images par niveaux de gris	38
3.2.6 Rapports signal-bruit	56
4 ANALYSE DES RÉSULTATS	60
BIBLIOGRAPHIE	63

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
1	IMAGES SAR, RÉGION AMOP 6, SURVOLS 8, 9, 10 et 11 BANDE X EN HV, 25 FÉVRIER 1977	5
2	IMAGES SAR, RÉGION AMOP 6, SURVOLS 8, 9, 10 et 11 BANDE X EN HH, 25 FÉVRIER 1977	6
3	IMAGES SAR, RÉGION AMOP 6, SURVOLS 8, 9, 10 et 11 BANDE L EN HV, 25 FÉVRIER 1977	7
4	IMAGES SAR, RÉGION AMOP 6, SURVOLS 8, 9, 10 et 11 BANDE L EN HH, 25 FÉVRIER 1977	8
5	IMAGES SAR, RÉGION AMOP 16, SURVOL 1, BANDE X EN HV ET EN HH, BANDE L EN HV ET EN HH, 24 FÉVRIER 1977	10
6	IMAGES SAR, RÉGION AMOP 16, SURVOL 2, BANDE X EN HV ET EN HH, BANDE L EN HV ET EN HH, 24 FÉVRIER 1977	11
7	IMAGES SAR, RÉGION AMOP 19, SURVOL 7, BANDE X EN HV ET EN HH, BANDE L EN HV ET EN HH, 25 FÉVRIER 1977	12
8	IMAGES SAR, RÉGION AMOP 18, SURVOL 7, BANDE X EN HV ET EN HH, BANDE L EN HV ET EN HH, 25 FÉVRIER 1977	15
9	IMAGES SAR, ICEBERG 1, SURVOL 3, BANDE X EN HV ET EN HH, BANDE L EN HV ET EN HH, 13 MARS 1977	16
10	EMPLACEMENT DES ZONES TRAITÉES POUR PRODUIRE LES HISTOGRAMMES	22
11	HISTOGRAMME DE LA ZONE D'OMBRE	23
12	HISTOGRAMME DE LA ZONE DE L'ICEBERG	24
13	HISTOGRAMME DES TROIS TYPES DE GLACES (BANDE X, POLARISATION HV)	25
14	HISTOGRAMME DES TROIS TYPES DE GLACES (BANDE X, POLARISATION HH)	26
15	HISTOGRAMME DES TROIS TYPES DE GLACES (BANDE L, POLARISATION HV)	27
16	HISTOGRAMME DES TROIS TYPES DE GLACES (BANDE L, POLARISATION HH)	28
17	HISTOGRAMME DE LA 1 ^{ère} ZONE D'EAU LIBRE	29

	Page	
18	HISTOGRAMME DE LA 2 ^e ZONE D'EAU LIBRE	30
19	HISTOGRAMME DE LA 3 ^e ZONE D'EAU LIBRE	31
20	VOIE 1 - DISTRIBUTION LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES RÉELLES)	40
21	VOIE 2 - DISTRIBUTION LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES RÉELLES)	41
22	VOIE 3 - DISTRIBUTION LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES RÉELLES)	42
23	VOIE 4 - DISTRIBUTION LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES RÉELLES)	43
24	VOIE 1 - DISTRIBUTION LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES AU CARRÉ)	44
25	VOIE 2 - DISTRIBUTION LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES AU CARRÉ)	45
26	VOIE 3 - DISTRIBUTION LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES AU CARRÉ)	46
27	VOIE 4 - DISTRIBUTION LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES AU CARRÉ)	47
28	VOIE 1 - DISTRIBUTION NON LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES RÉELLES)	48
29	VOIE 2 - DISTRIBUTION NON LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES RÉELLES)	49
30	VOIE 3 - DISTRIBUTION NON LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES RÉELLES)	50
31	VOIE 4 - DISTRIBUTION NON LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES RÉELLES)	51
32	VOIE 1 - DISTRIBUTION NON LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES AU CARRÉ)	52
33	VOIE 2 - DISTRIBUTION NON LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES AU CARRÉ)	53
34	VOIE 3 - DISTRIBUTION NON LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES AU CARRÉ)	54

35	VOIE 4 - DISTRIBUTION NON LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES AU CARRÉ)	55
36	ZONES D'OMBRE ENREGISTRÉES DANS LES QUATRE VOIES	57
37	PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE DE LA ZONE DE L'ICEBERG	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
I	STATISTIQUES DES DONNÉES AU CARRÉ	34
II	STATISTIQUES DES DONNÉES RÉELLES	36
III	RAPPORT PARASITES-BRUIT (dB)	58
IV	RAPPORT ICEBERG-PARASITES (dB)	58
V	RAPPORT PARASITES-BRUIT (dB) DANS LES RÉGIONS DENSES	59
VI	RAPPORT ICEBERG-PARASITES (dB) DANS LES RÉGIONS DENSES	59

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les résultats de l'analyse d'une quantité limitée de données radar numériques ne permettent pas de déterminer la supériorité d'une voie par rapport à l'autre pour la détection des hydrocarbures en milieu glaciaire. Le rapport signal-bruit montre que les voies de la bande X assurent un meilleur contraste entre les différentes zones. En général, il semble que le contraste soit meilleur en polarisation croisée qu'en polarisation parallèle.

Les données radar numériques relatives aux régions traitées n'ont servi qu'à établir des statistiques simples. Les paramètres relatifs à la texture du milieu fourniront probablement des renseignements supplémentaires. Il faut trouver des moyens d'augmenter le contraste entre les régions potentiellement polluées et les régions non polluées. Ainsi, la quantification en densités égales et l'utilisation d'enregistreurs graphiques simples et peu coûteux pour la reproduction des niveaux de gris permettent d'accentuer le contraste des niveaux et de la texture. L'utilité des images SAR ne peut être évaluée que par l'analyse des données SAR relatives à une nappe d'hydrocarbures réelle en milieu glaciaire. La possibilité de détecter les hydrocarbures sera probablement augmentée si l'on effectue les réglages de gain appropriés et si l'on traite les données obtenues de la manière suggérée.

1 INTRODUCTION

Une étude a été entreprise pour le compte du Centre canadien de télédétection (CCT), dans le cadre du Programme sur les déversements d'hydrocarbures en milieu marin arctique (AMOP) régi par le Service de la protection de l'environnement (SPE), afin de déterminer le potentiel et les limites des systèmes micro-ondes pour la détection active et passive des nappes d'hydrocarbures en milieu glacial. La première des trois phases de cette étude portait sur l'évaluation et l'analyse des propriétés connues de réflexion et de diffusion des micro-ondes de la glace de mer, des hydrocarbures sur l'eau et de la surface de l'océan. Les données accessibles sur les propriétés électriques des hydrocarbures et leur comportement en milieu glacial ont également été étudiées. En outre, une bibliographie commentée de textes choisis a été réalisée à partir de la documentation pertinente. Les résultats de cette étude, présentés dans le rapport de la phase I (C-CORE, 1978), indiquent que les données recueillies ne permettent qu'une analyse qualitative de l'efficacité potentielle des techniques actives et passives pour la détection et la surveillance des nappes d'hydrocarbures en milieu glacial. Il semble que la présence de pétrole ne peut être déterminée que grâce à certains indices subtils, par exemple les changements de texture et de teinte comme ceux qui sont produits par la fonte accélérée de la glace polluée. Puisqu'on s'attendait, le cas échéant, à ce que ces variations de texture et de teinte dans les images (produites tant par radar que par radiomètre) en raison de la présence d'hydrocarbures soient faibles, on a jugé opportun de commencer à faire l'analyse des différentes signatures en milieu glacial. De telles recherches devraient fournir des moyens de traiter et d'améliorer les données radar, d'amplifier et de mesurer le contraste entre les régions polluées et les régions non polluées et ainsi, de réduire le risque de fausses alarmes. À cette fin, on a décidé d'étudier les images de la glace de mer produites par un radar à ouverture synthétique (SAR) à 4 voies (Worsfold et al, 1977). Après analyse de ce grand nombre d'images, on a recommandé l'examen ultérieur d'environ trente régions dans la phase II de l'étude.

Ces régions ont été choisies en fonction des critères suivants: la qualité des images sur les quatre voies, la variabilité de l'état et du type de glace de mer et la pertinence de ces régions par rapport au projet AMOP, déduite d'après l'étude des types de conditions probables dans la région où un déversement accidentel d'hydrocarbures s'est produit. La détectabilité d'un déversement de pétrole est fonction, entre autres, de la concentration, du type et de l'état des glaces (Parashar et al, 1978a). Les régions

envahies par les glaces et les zones d'eaux libres qui ont une teinte presque noire sur l'image radar (faible signal de retour) peuvent être prises pour une nappe de pétrole.

Enfin, en raison de échéances et des contraintes financières, deux régions ont été étudiées à la phase III. Dans l'une d'elles se trouvait un iceberg entouré de divers types de glace mince et les données radar étaient disponibles sous forme numérique sur bande utilisable sur des ordinateurs différents. L'autre région, sur laquelle on ne disposait d'aucune donnée numérique, était couverte de glace ondulée et comptait peut-être quelques zones d'eaux libres. Le présent rapport porte sur les analyses manuelle et numérique de ces deux ensembles de données et traite des résultats obtenus. Il contient également une brève section sur l'état des glaces au large de la côte est du Labrador et de Terre-Neuve et des images produites au cours du projet SAR '77.

2 DONNÉES RECUEILLIES

2.1 État des glaces dans la mer du Labrador

L'état des glaces au large de la côte est du Labrador et de Terre-Neuve est très dynamique et varie d'année en année. Les principaux facteurs qui influent sur l'état des glaces sont la température de l'air, le vent, l'état de la mer et les courants. Les rares données qui ont été recueillies sur cette région ont été compilées par le C-CORE pendant la préparation d'un déversement accidentel simulé de pétrole dans la mer du Labrador, dans le cadre du programme AMOP (LeDrew et Gustajtis, 1978). La glace observée au large de la côte du Labrador est formée de banquise côtière et de mer par endroits, de glace provenant du bassin arctique et d'icebergs. La banquise côtière ne survit pas à la fonte estivale et les glaces de deuxième année et multiannuelles qui se trouvent dans la région semblent y dériver à partir de l'Arctique.

Les données disponibles fondées sur les mesures effectuées sur place au cours du projet SAR '77 (Windsor et LeDrew, 1978) indiquent que la formation de la glace dans la mer du Labrador se produit selon un cycle ininterrompu et complet d'émiettement et de reconstitution. Par conséquent, les conditions dominantes sont les suivantes: vastes bancs de glaçons ressoudés séparés par un réseau de chenaux; groupes de glaçons libres détachés des grands banc de glace sous l'action des vagues ou solide couverture de glace produite par la compression latérale des glaçons. Ces glaçons, bien arrondis et d'un diamètre variant entre 2 m et 9 m, ont des rebords élevés. La banquise dans la mer du Labrador a généralement une épaisseur d'environ 2 m, mais elle possède des crêtes plus élevées.

2.2 Données SAR

Les données SAR dont il est question ici ont été captées par un système de l'Environmental Research Institute of Michigan (ERIM) fonctionnant simultanément dans les bandes X (longueur d'onde de 3 cm) et L (longueur d'onde de 25 cm) et pouvant émettre en polarisation horizontale ou verticale et recevoir en polarisation parallèle ou croisée. Les régions traitées et le type de données cueillies au cours du projet SAR '77 amorcé en février et en mars 1977 sont présentées dans le document Field Data Report No. 1 (Larson et al, 1977).

Les images obtenues ont été traitées avec une résolution spatiale de 3 m x 3 m (bande X) et de 6 m x 6 m (bande L). Elles sont présentées ici en mode de distance réelle

et correspondent à une bande de visée de 5200 m environ. Les enregistrements ont été effectués à une altitude de 3000 m environ et l'angle de dépression de l'antenne était de 30°. Les signaux enregistrés ont été traduits en images photographiques par l'ERIM à l'aide de son corrélateur optique. Cet institut a également réalisé la digitalisation des données radar sur bandes magnétiques avec son système de traitement des images hybrides (Rawson et al, 1978, décrivent les régions traitées et les méthodes employées). Avant la digitalisation des données sur 8 bits, on extrayait la racine carrée des valeurs d'intensité afin d'en pouvoir traiter une gamme dynamique plus large. L'échantillonnage était exécuté de manière à obtenir des pixels (éléments d'image) de 1,5 m x 1,5 m. Les valeurs digitalisées, variant chacune entre 0 et 255, ont été enregistrées sur des bandes magnétiques 9 pistes de 800 bits par pouce (bpi).

2.3 Interprétation générale des glaces par radar

Les images captées par radar à ouverture synthétique à 4 voies dans le cadre du projet SAR '77 (figures 1 à 4) représentent la zone de transition située au large de Hopedale, Labrador. Le trajectoire de vol et l'angle d'orientation de l'antenne sont indiqués par des flèches. Cette région, nommée région AMOP 6 à la phase II de l'étude, est représentée par les images non chevauchantes des survols 8, 9, 10 et 11 survenus le 25 février 1977 (l'angle de dépression de l'antenne était de 30°). Cette partie de la région traitée couvre une zone de cisaillement contenant la lisière de glaces en son centre. Une banquise dynamique s'étend vers le large à l'est de cette lisière, tandis qu'à l'ouest de celle-ci on observe de la glace de mer en transition parsemée de nombreuses crêtes d'une hauteur variant autour de 2 m. Il existe aussi des lignes de cisaillement et de discontinuité dans cette région. Des stries, détectables par radar, pourraient correspondre à une ancienne lisière de glaces. La couverture glacielle située au large par rapport à la lisière semble être composée entièrement de glace nouvelle puis d'une section de glace relativement plus vieille, définie plus clairement dans les images de la bande L que dans celles de la bande X. Les zones qui apparaissent plus foncées sur les images de la bande X sont habituellement appelées "zones d'eau libre". Toutefois, en examinant les images des mêmes zones de la bande L, on peut déceler une certaine teinte et une certaine texture à ces endroits, ce qui laisse prévoir la présence d'une très mince couche de glace invisible sur les images de l'autre bande. Les images de la bande X assurent cependant une meilleure définition des caractéristiques de la zone de cisaillement en direction de la côte, à partir de la lisière de glaces.

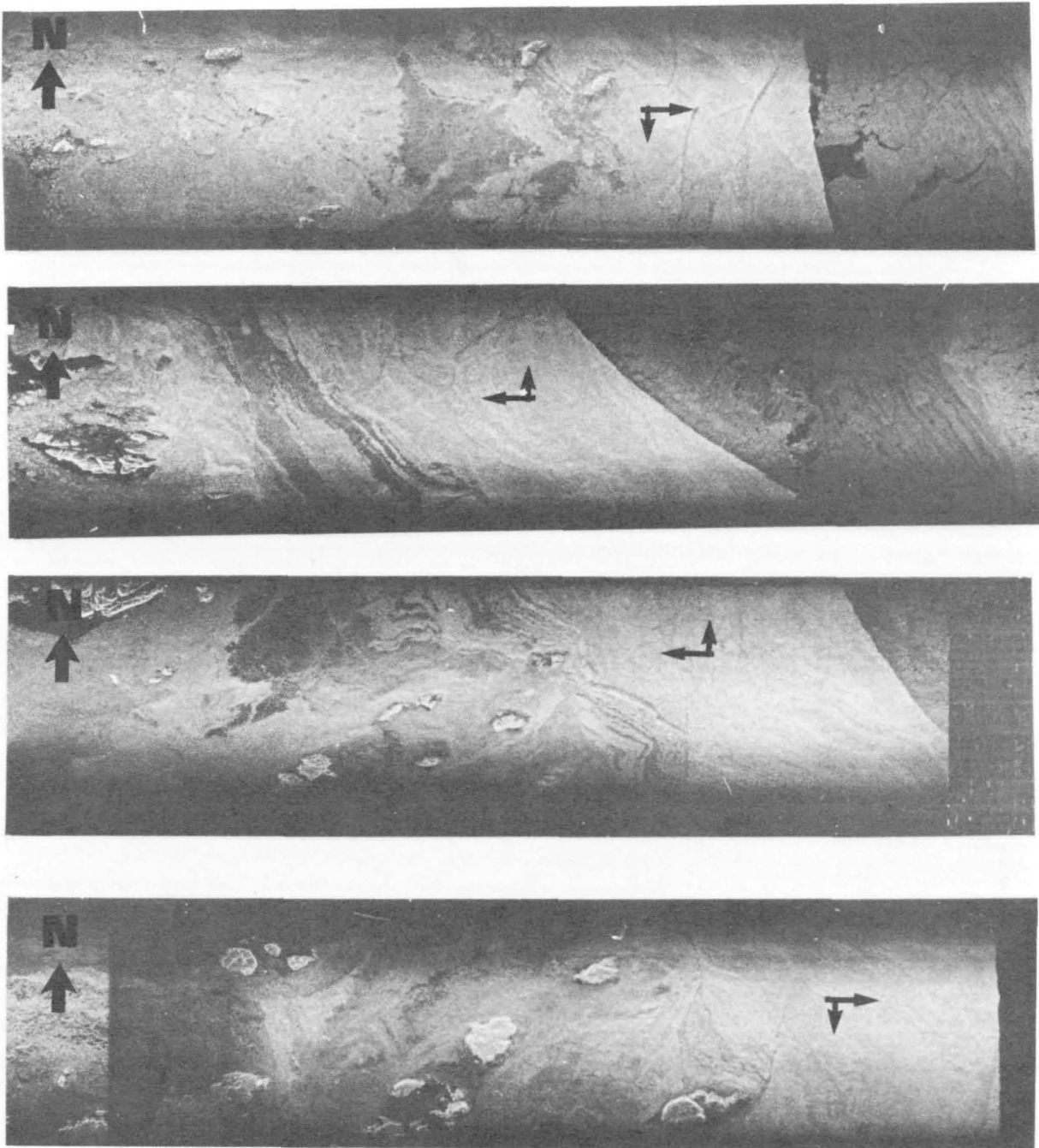


FIGURE 1 IMAGES SAR, RÉGION AMOP 6, SURVOLS 8, 9, 10 et 11, BANDE X EN HV, 25 FÉVRIER 1977 (POSITION: 55°30'N, 59°35'O PRÈS DE HOPEDALE, LABRADOR)

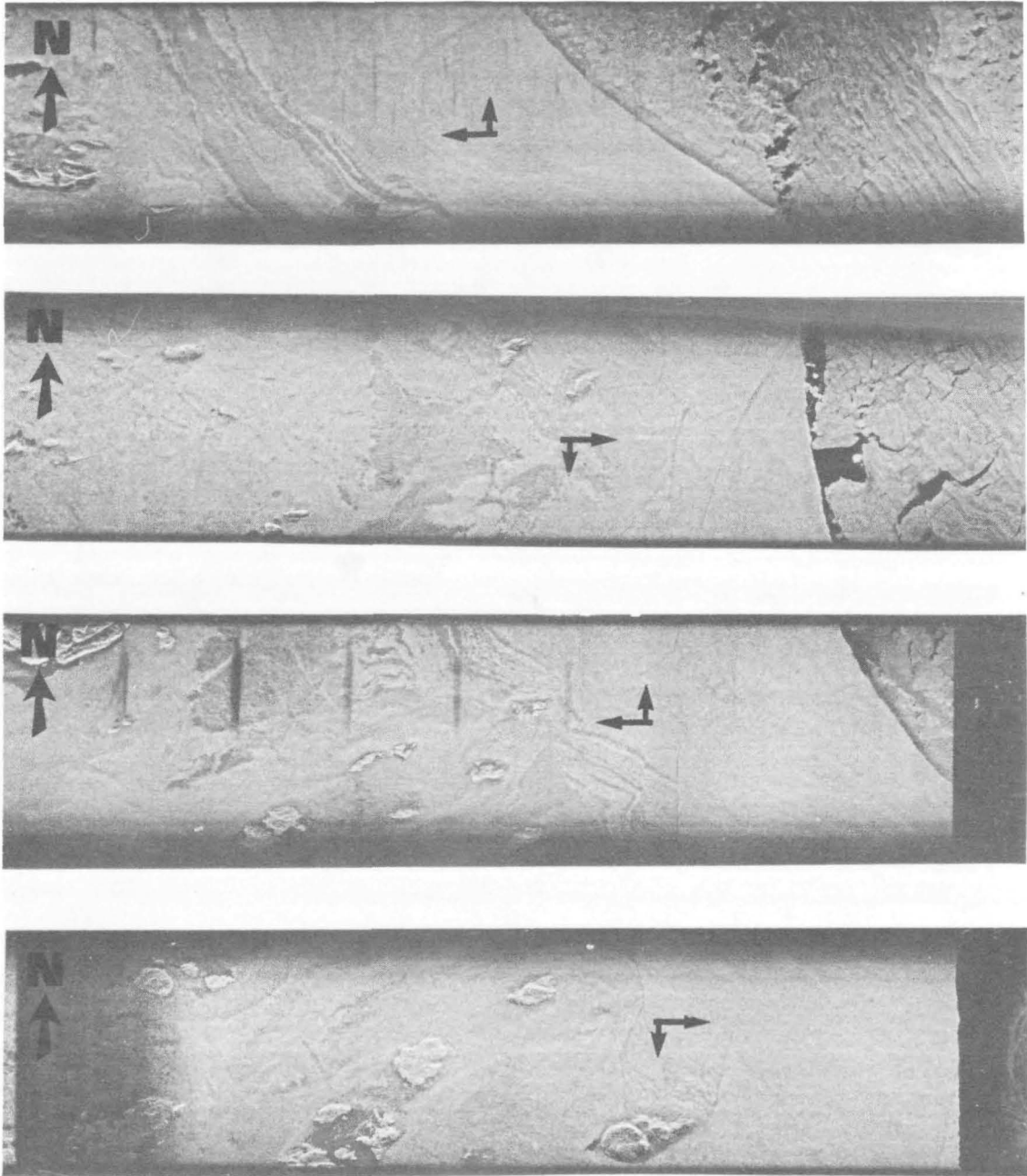


FIGURE 2 IMAGES SAR, RÉGION AMOP 6, SURVOLS 8, 9, 10 et 11, BANDE X EN HH, 25 FÉVRIER 1977 (POSITION: 55°30'N, 59°35'O PRÈS DE HOPEDALE, LABRADOR)

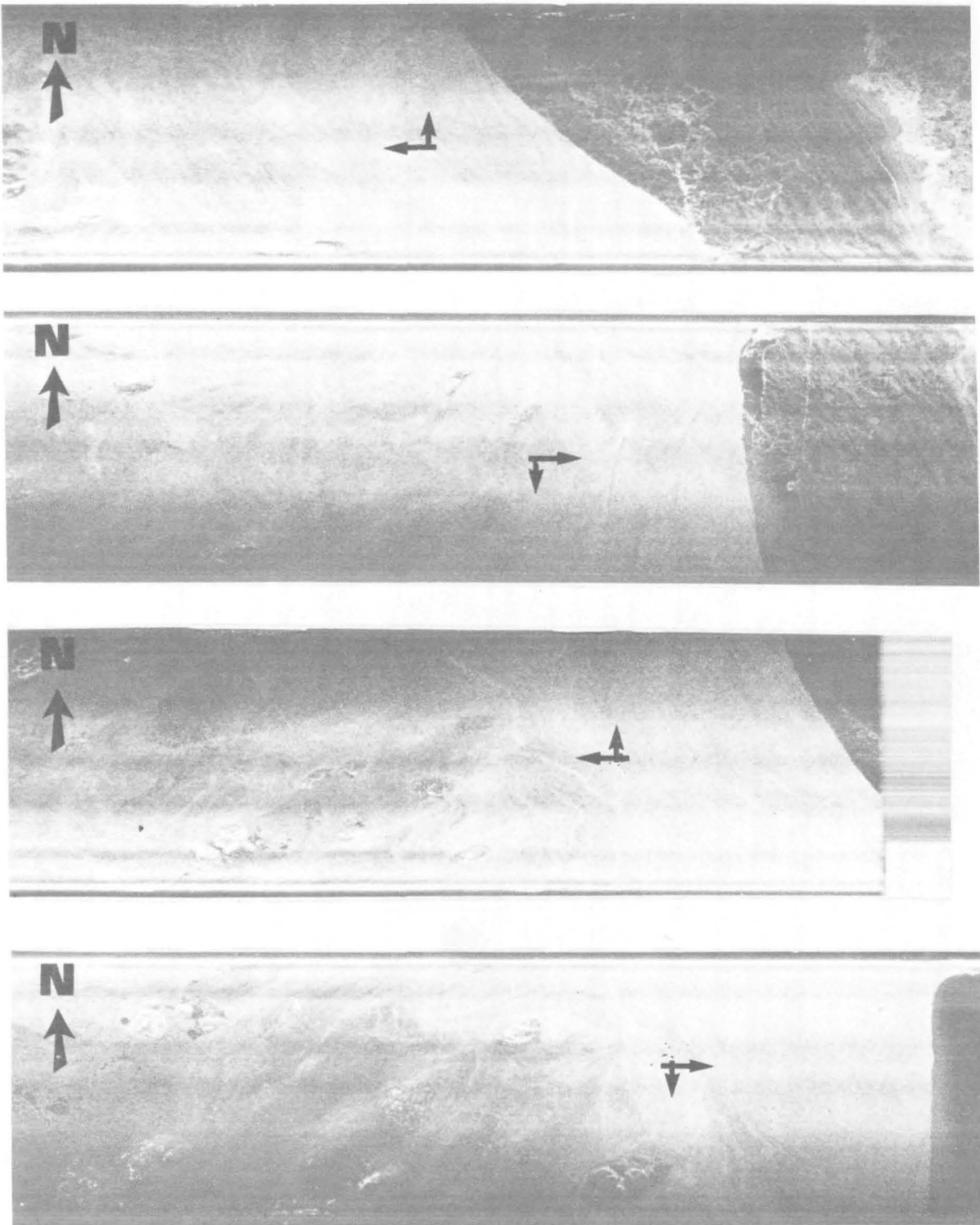


FIGURE 3

IMAGES SAR, RÉGION AMOP 6, SURVOLS 8, 9, 10 et 11, BANDE L EN HV, 25 FÉVRIER 1977 (POSITION: 55°30'N, 59°35'O PRÈS DE HOPEDALE, LABRADOR)

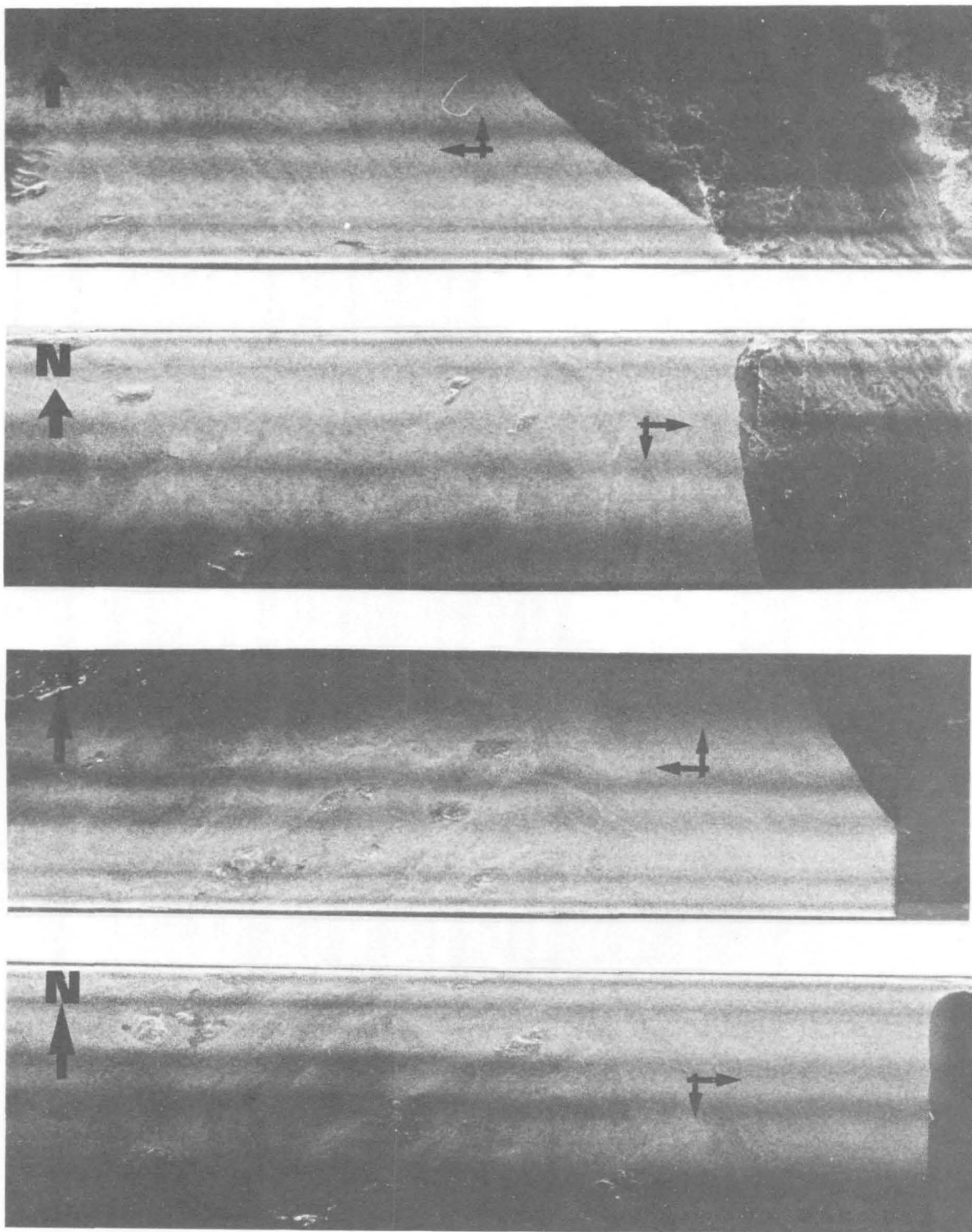


FIGURE 4 IMAGES SAR, RÉGION AMOP 6, SURVOLS 8, 9, 10 et 11, BANDE L EN HH, 25 FÉVRIER 1977 (POSITION: 55°30'N, 59°35'O PRÈS DE HOPEDALE, LABRADOR)

En général, il semble que le contraste relatif entre les caractéristiques soit plus prononcé en polarisation HV qu'en polarisation HH. Parashar et al (1978b) traitent de l'influence possible de la diffusion globale sur le contraste relatif entre la nouvelle et la vieille glace et sa relation avec la porosité. Les images de la banquise côtière ont tendance à être plus précises en bande X qu'en bande L. Il est évident qu'il est possible de recueillir plus de données sur 4 voies que sur une seule. Toutefois, on ignore encore les facteurs qui influent sur la différence dans la qualité des signaux d'une voie à l'autre.

Les figures 5 et 6 montrent des résultats similaires à ceux qui sont présentés ci-dessus; ceux-ci proviennent de l'interprétation des images de la région appelée AMOP 16. Les survols 1 et 2 reproduits dans les figures 5 et 6 respectivement représentent des orientations inverses et les zones photographiées se chevauchent légèrement. La région traitée par le survol 1 se trouve au nord-est de l'île Holton et comprend la zone de cisaillement. Le contraste entre les images de la bande X et celles de la bande L est particulièrement remarquable: les premières fournissent plus de détails de la banquise côtière et les autres montrent les crêtes avec plus de précision. Divers types de glaces ont été détectés dans la région AMOP 19, au cours du survol 7 (figure 7). La similitude est frappante entre les échos enregistrés dans les voies des bandes X et L. Les bancs de glace en disques petits ou grands, sont bien définis. En général, le contraste entre les divers types de glace semble être plus marqué en polarisation HV qu'en polarisation HH.

2.4 Considérations théoriques

Le phénomène de la diffusion des signaux radar par la glace de mer nécessite encore des recherches. Certains paramètres propres à ce milieu comme le volume de saumure, la température, la rugosité de la surface et la porosité ont été déterminés, mais on manque de données sur l'interaction de ces paramètres qui produit les variations observées dans la diffusion des signaux radar. La profondeur de pénétration d'une couche de glace de mer ayant une salinité d'environ 2‰ correspond à une longueur d'onde à -10°C , selon les calculs, et est inversement proportionnelle à la fréquence, la température et la salinité. Même si aucune vérification au sol n'a été faite en ce qui touche les glaces représentées dans les figures 1 à 4, on a observé une salinité d'environ 6‰ dans une banquise côtière voisine d'une épaisseur de 40 cm, ainsi qu'une température atmosphérique d'environ -12°C . La diffusion des signaux radar devrait être influencée par les caractéristiques d'une couche superficielle de quelques centimètres dans la bande X et d'environ 20 cm dans la bande L. Une surface est considérée comme rugueuse lorsqu'on enregistre des variations de hauteur dépassant quelques millimètres en bande X et

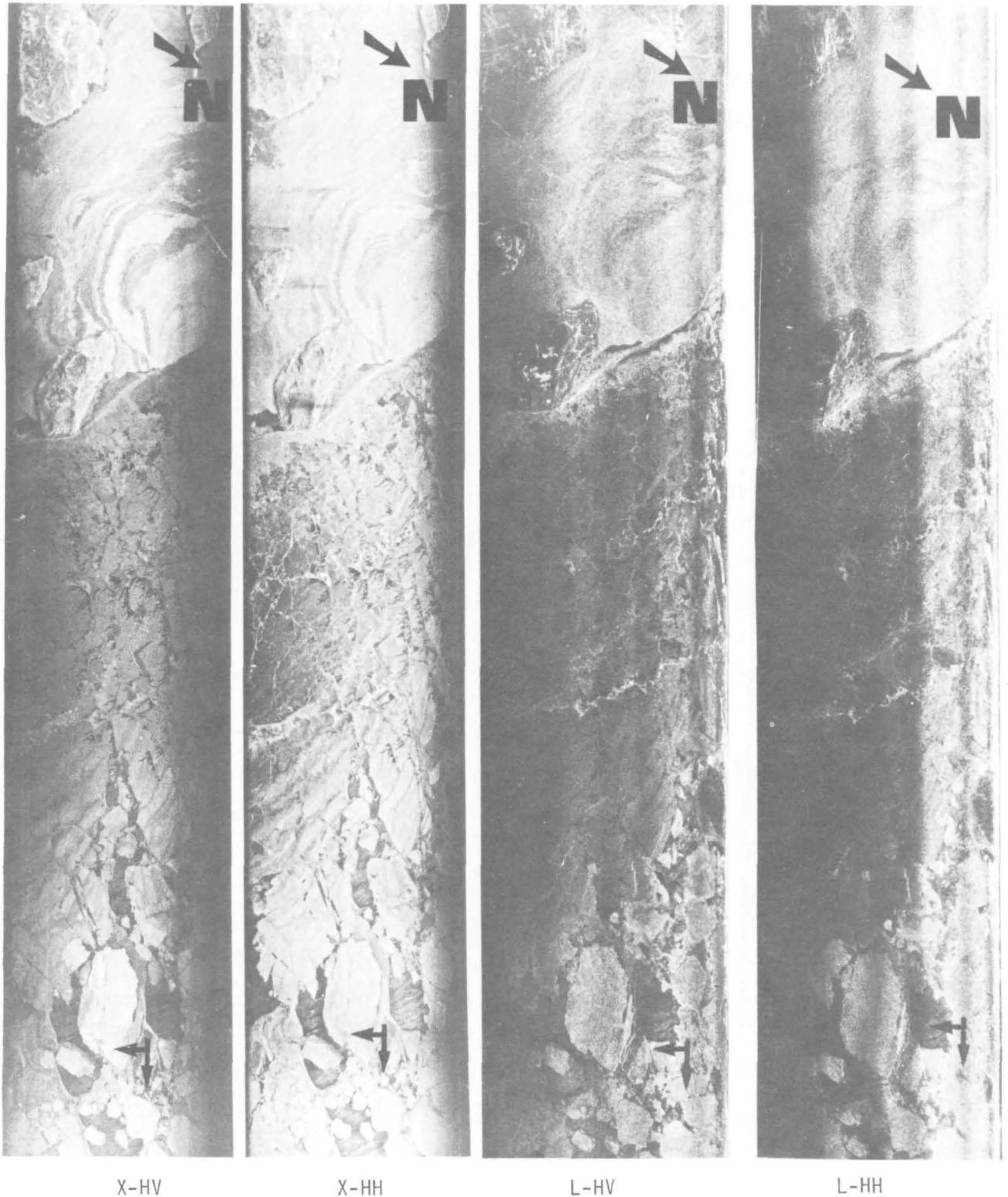
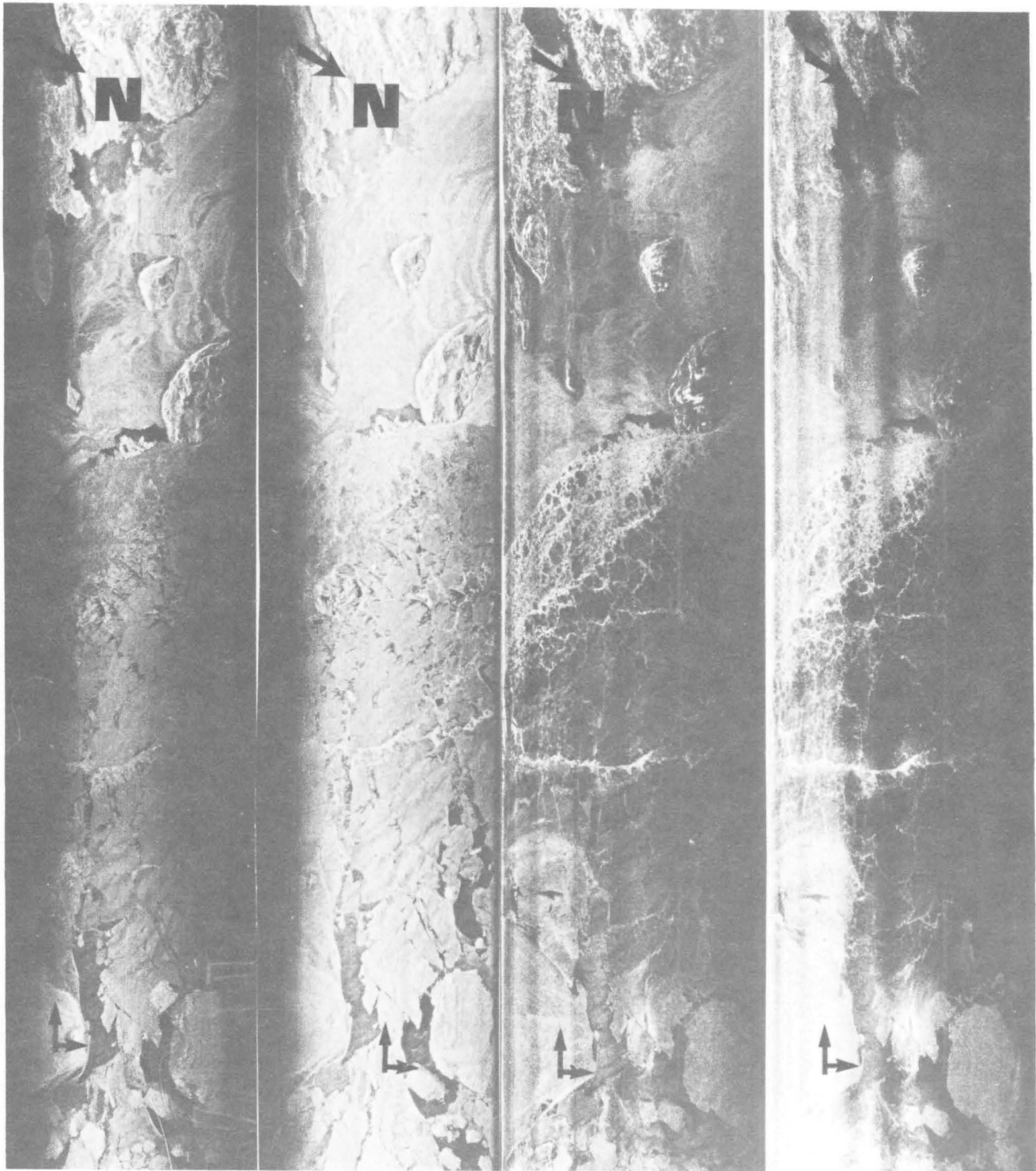


FIGURE 5

IMAGES SAR, RÉGION AMOP 16, SURVOL 1, BANDE X EN HV ET EN HH, BANDE L EN HV ET EN HH, 24 FÉVRIER 1977
 (POSITION: 54°37,5'N, 57°17'O AU NORD-EST DE L'ÎLE HOLTON, LABRADOR)



X-HV

X-HH

L-HV

L-HH

FIGURE 6

IMAGES SAR, RÉGION AMOP 16, SURVOL 2, BANDE X EN HV ET EN HH, BANDE L EN HV ET EN HH, 24 FÉVRIER 1977
(POSITION: 54°37,5'N, 57°17'O AU NORD-EST DE L'ÎLE HOLTON, LABRADOR)

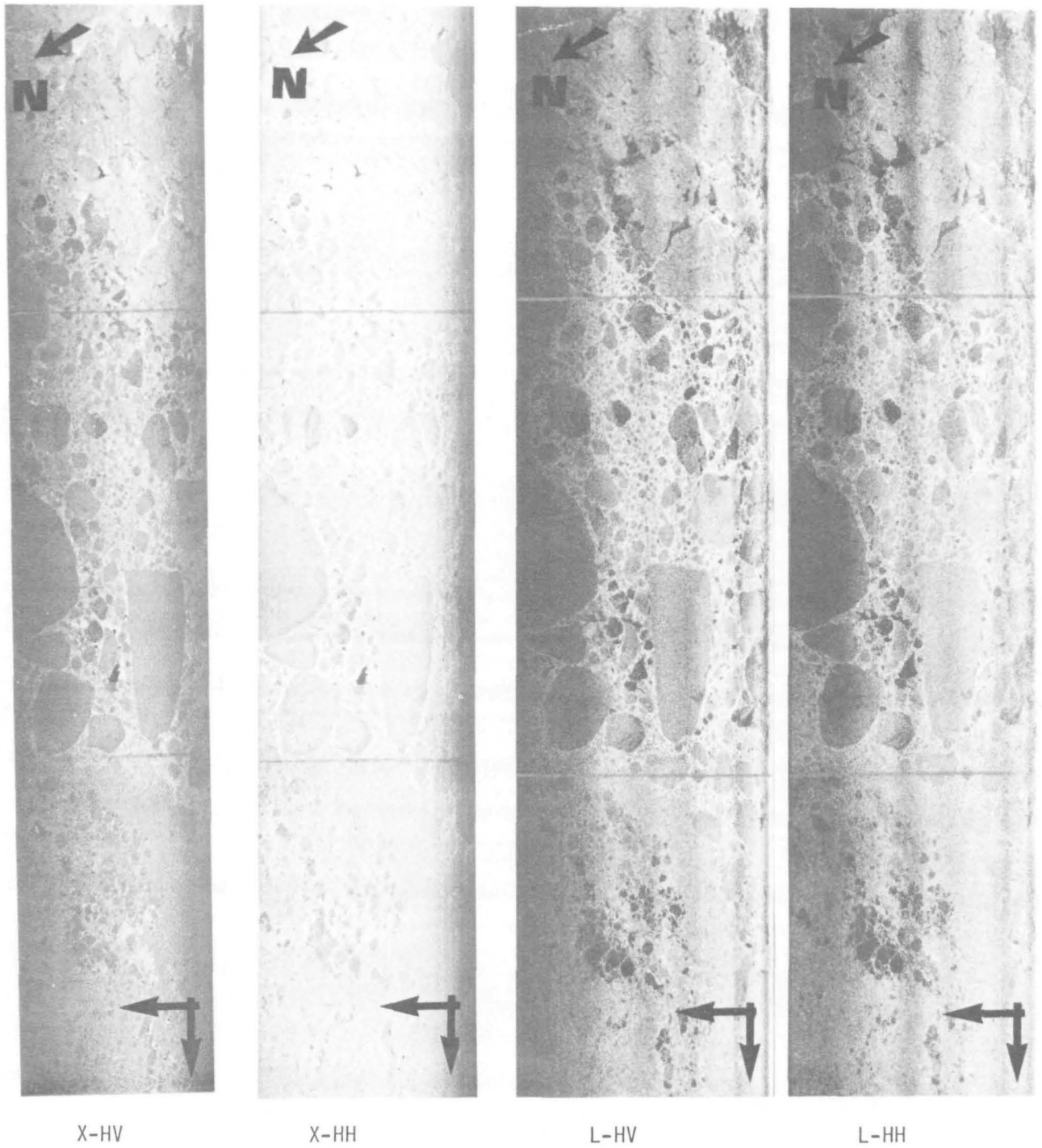


FIGURE 7

IMAGES SAR, RÉGION AMOP 19, SURVOL 7, BANDE X EN HV ET EN HH, BANDE L EN HV ET EN HH, 25 FÉVRIER 1977 (POSITION: 54°35'N, 55°30'O)

quelques centimètres en bande L. Une surface qui semble rugueuse en bande X peut paraître lisse en bande L. Outre les variations verticales de la surface glacée, la dimension de l'échelle horizontale correspondante est également importante.

La valeur réelle de la constante diélectrique complexe de la glace pure est de 3,2 environ. La valeur correspondante de la glace de mer est directement proportionnelle à la salinité et peut être égale ou supérieure à 6. Celle-ci diminue en fonction directe de la température et semble indépendante de la fréquence dans la gamme qui nous intéresse.

La valeur calculée du coefficient de diffusion radar σ^0 , à 13,3 GHz en polarisation HH, présentée par Parashar (1974) indique qu'une diminution de la salinité de surface d'environ 3‰ correspond à une diminution de la valeur σ^0 inférieure à 1 dB lorsque l'angle d'incidence est de 20 à 60 degrés. Une augmentation de 100 % de la rugosité de la surface correspond à une augmentation de 6 dB de la valeur de σ^0 . Il semble par conséquent que la diffusion radar soit plus influencée par la rugosité que par les variations de salinité et de température. En raison de l'absence de données et de modèle de diffusion associé, il est difficile de calculer la valeur des paramètres responsables des variations observées de la diffusion radar dans une voie et entre les diverses voies.

3 RÉSULTATS

Les images radar des deux régions étudiées à la phase III sont montrées dans les figures 8 et 9. La première figure présente la propagation des ondes dans la glace de la région AMOP 18, sur laquelle on ne dispose d'aucune donnée numérique. La figure 9 montre la région appelée Iceberg I; un rectangle indique la zone pour laquelle on dispose de données numériques.

3.1 Région 1 - AMOP 18

Ce qui caractérise le plus la figure 8, c'est l'absence d'onde réfléchie dans les parties sombres des images. Ces secteurs relativement sombres pourraient correspondre à des zones d'eau libre ou à de la glace nouvelle très mince. La présence d'une certaine configuration d'ondes dans ces zones est plus visible sur les images de la bande L que sur celles de la bande X et, de même, davantage en polarisation HV qu'en polarisation HH.

On ignore comment les ondes sont détectées par radar à ouverture synthétique. La détectabilité de ces ondes est généralement attribuée à la présence de vagues capillaires dans l'océan dont la luminance sur l'image finale est déterminée par la houle, l'inclinaison, la dynamique capillaire ainsi que les modulations Doppler et de focalisation. Les quatre modèles théoriques proposés par Elachi et Brown (1977) pour expliquer la méthode permettant d'observer la houle d'océan par radar à ouverture synthétique sont basés respectivement sur la modulation en fonction de l'angle d'inclinaison, la modulation de rugosité, la vitesse orbitale et les effets paramétriques. Shuchman et al (1977) ont étudié les rapports entre les effets dynamiques du mouvement des vagues et la détection radar à partir du calcul de la célérité (vitesse de phase) de la houle. Aucune explication ne s'est révélée entièrement satisfaisante et il est possible de trouver des exemples pour appuyer ou réfuter l'un ou plusieurs des modèles susmentionnés.

Raney et Lowry (1978) ont tenté de démontrer par l'examen plus approfondi de ces modèles que, dans le cas des vagues sans crêtes (non cycloïdales, comme la houle longue modulée par des vagues capillaires), le modèle approprié est basé sur le mouvement orbital des vagues capillaires en tenant compte explicitement de la composante verticale du mouvement de la vague gravitationnelle sous-jacente. En ce qui touche les vagues déferlantes ou crêtées, le modèle le plus approprié est basé sur la célérité du champ de vagues gravitationnelles. Ces modèles ont été élaborés à partir des observations de la houle dans l'océan. La diffusion radar à partir de l'eau est causée en grande partie par la

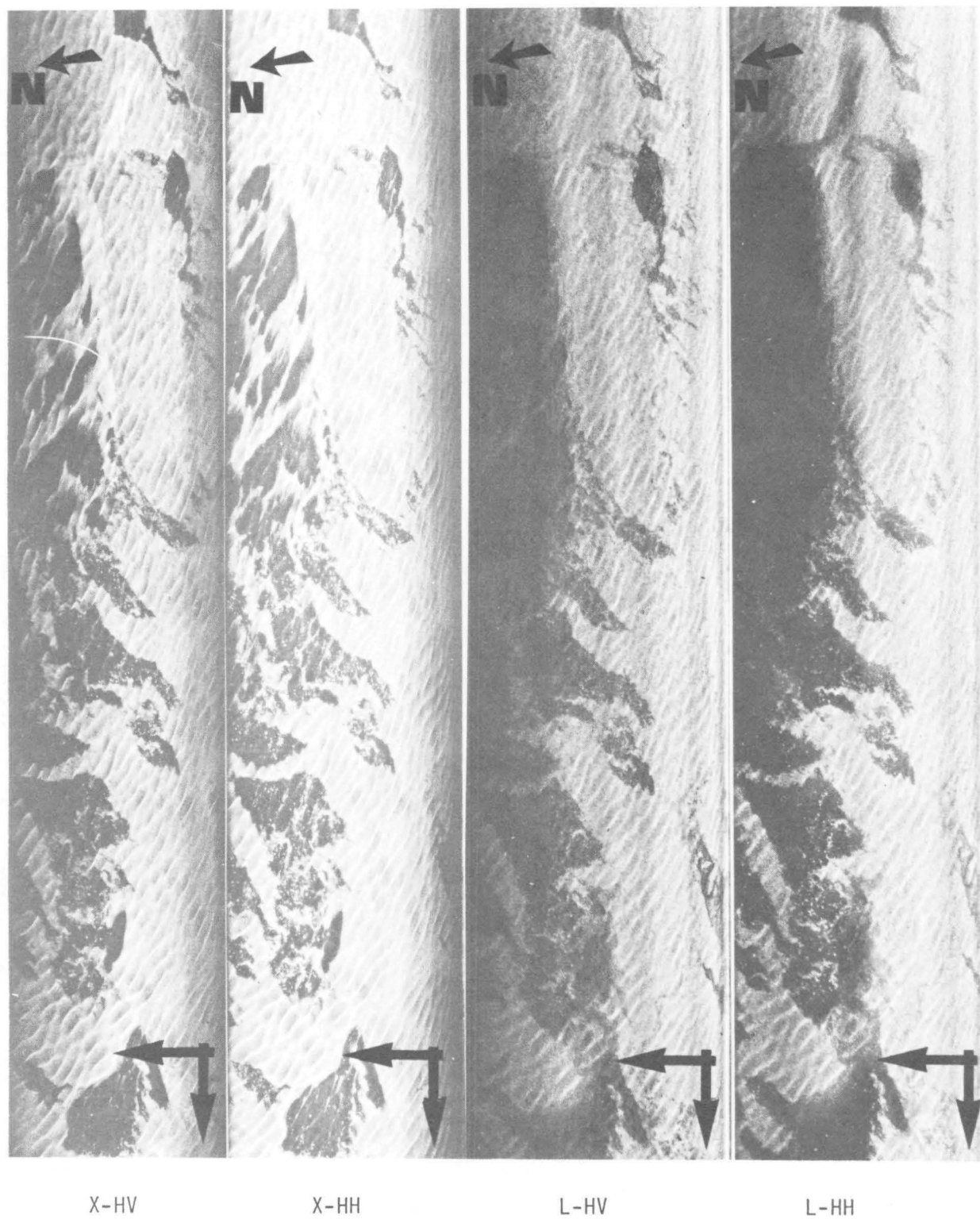
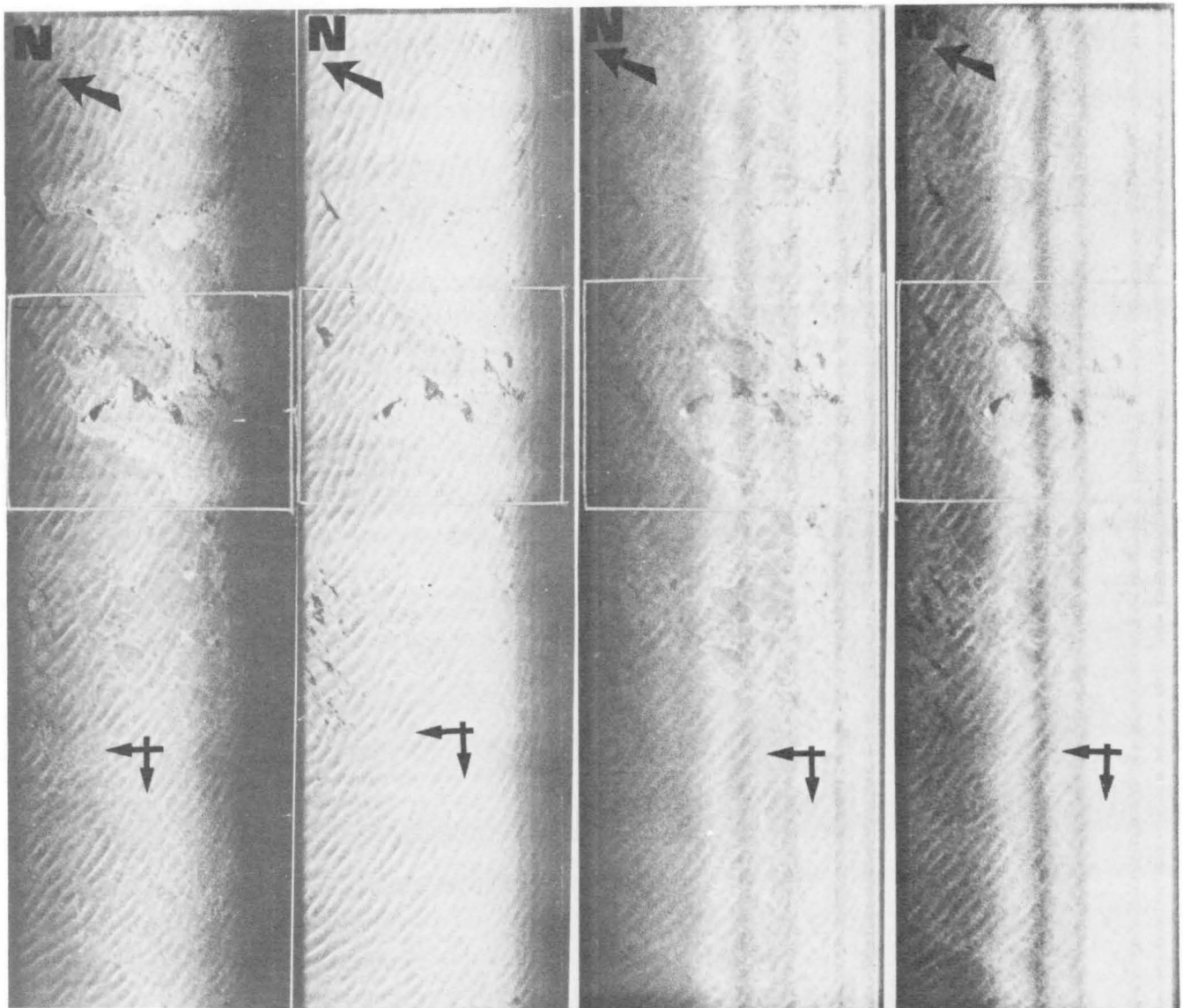


FIGURE 8 IMAGES SAR, RÉGION AMOP 18, SURVOL 7, BANDE X EN HV ET EN HH, BANDE L EN HV ET EN HH, 25 FÉVRIER 1977 (POSITION: 55°N, 57°O)



X-HV

X-HH

L-HV

L-HH

FIGURE 9 IMAGES SAR, ICEBERG 1, SURVOL 3, BANDE X EN HV ET EN HH, BANDE L EN HV ET EN HH, 13 MARS 1977 (POSITION DE L'ICEBERG: 55°37'N, 58°16'O)

Nota: Les rectangles indiquent les zones où les données ont été digitalisées.

rugosité produite des vagues capillaires qui donne des effets de Bragg et qui est par conséquent un phénomène de surface.

En ce qui concerne la glace, il n'est pas question de vagues capillaires. La diffusion radar à partir de ce milieu est influencée non seulement par la rugosité de la surface, mais aussi par l'état de la face inférieure de la couche glacée, surtout aux grandes longueurs d'onde. On sait que la réflectance capillaire est fonction de la position de la cellule de résolution sur la vague gravitationnelle. Même si la rugosité de la surface est le premier facteur qui influe sur le pouvoir de diffusion de la glace, il est difficile de voir comment le mouvement de la houle à travers la glace peut faire varier cette même rugosité et par le fait même modifier la réflectance basée sur la position de la cellule sur la vague gravitationnelle. Comme l'ont conclu Dawe et Parashar (1978), la variation d'intensité produite par la seule modulation par inclinaison d'onde est d'environ 2 dB, valeur trop peu élevée pour avoir produit les variations observées dans les images radar. Comme le soutiennent Raney et Lowry (1978), il est certain que dans un milieu glacial à surface ondulée, le mouvement dominant est vertical plutôt qu'horizontal. Ainsi, leur modèle, qui est basé sur la modulation de la hauteur de la vague, semble plus approprié à l'étude des ondulations dans la glace. Toutefois, ce modèle ne permet pas d'expliquer la disparition des ondes dans les secteurs sombres des images.

Une vague dont la vitesse de propagation est influencée surtout par la gravité est appelée vague gravitationnelle; les vagues d'une longueur dépassant 5 cm appartiennent à cette catégorie. Les vagues capillaires, ou rides, ont une longueur inférieure à 3 cm et leur vitesse de propagation est surtout fonction de la résistance de la surface du liquide dans lequel elles se propagent. En eau libre, les vagues capillaires sont produites par le vent. Bates (1978) et Bates et Shapiro (1978) décrivent les types de vagues gravitationnelles qui peuvent se propager dans la glace et traitent de l'atténuation de celles-ci. À partir d'études théoriques, ces auteurs affirment qu'à la même fréquence, les vagues gravitationnelles ne peuvent avoir une plus grande célérité dans un milieu glacial qu'en eau libre. La plus haute fréquence qui peut être atteinte est la fréquence de résonance du système, à laquelle l'onde a la même célérité dans la glace que dans l'eau. La célérité de l'onde dans la glace est fonction des propriétés flexionnelles de ce milieu.

Compte tenu de ce qui précède, la disparition des ondes en eau libre pourrait être due à la défocalisation puisque leur célérité est plus élevée dans l'eau que dans la glace. Comme le soutiennent Shuchman et al (1977), une cible qui se déplace à 12 m/s dans la même direction que la ligne de vol produit des variations d'une longueur focale de

0,579 mm (en bande L) et de 1,264 mm (en bande X). Pour une résolution de 3 m, la profondeur focale de l'appareil ERIM est de $\pm 0,0502$ mm en bande L et de $\pm 0,7804$ mm en bande X. Par conséquent, la variation de la longueur focale en bande X n'est pas détectable puisqu'elle ne dépasse pas la profondeur focale. Dans le cas des enregistrements en bande L, il faut rectifier la mise au point. En conclusion, à célérité égale, la défocalisation en raison des composantes dynamiques des ondes est plus prononcée en bande L qu'en bande X. En ce qui concerne les images présentées ici, si la disparition des ondes est due à la défocalisation causée par des différences de célérité, celle-ci est plus apparente en bande X qu'en bande L.

Il existe une explication encore plus simple, soit que même après la modulation par l'action de la houle, l'énergie rétrodiffusée par l'eau libre est inférieure au niveau de bruit. Les résultats déjà obtenus indiquent que l'écart entre l'intensité des signaux radar réfléchis par l'eau libre et par la glace est plus grand en bande X qu'en bande L. Pour qu'une vague soit visible sur l'image radar, sa longueur doit être au moins 4 fois plus grande que la dimension de la cellule de résolution. Pour une résolution de 3 m x 3 m, la longueur de la vague capillaire est inférieure à la dimension de la cellule de résolution. Ainsi, si l'on considère la dimension de cette cellule et la célérité, la structure de la vague capillaire ne peut être discernée. Il est peut-être possible de capter les modulations émises à partir de la houle composée de vagues capillaires chevauchantes en eau libre si les données portent sur une cible se déplaçant à une vitesse supérieure à celle qui est présentée ici.

3.2 Région 2 - Iceberg 1

La figure 37 présente une photographie aérienne correspondant à l'image radar de la région de glace représentée à la figure 9. Après comparaison des deux documents, il en ressort que les ondulations dans la glace, invisibles sur la photo, peuvent être repérées sur l'image radar. La photographie montre un iceberg entouré de glaçons reconstitués entièrement en certains endroits et partiellement en d'autres. Les données numériques recueillies à partir de cette image radar ont servi à établir des rapports signal-bruit et un simple procédé d'amplification a été employé pour obtenir une reproduction en niveaux de gris de cette même image.

3.2.1 Opérations numériques. Les images radar captées sur quatre voies qui sont présentées à la figure 9 ont été digitalisées au ERIM; ces images se composent de 2306 x 1630 pixels dans chaque voie, ce qui équivaut à des pixels de 1,5 m x 1,5 m. Il est

impossible de faire la comparaison des pixels d'une voie à l'autre étant donné que les données numériques recueillies dans chaque voie ne sont pas enregistrées. Les comparaisons d'une voie à l'autre sont également impossibles car les données radar originales n'ont pas été étalonnées en raison de différences dans la puissance émise, les réglages de gain et les diagrammes de rayonnement de l'antenne. On a extrait la racine carrée du signal vidéo avant la digitalisation sur 8 bits de la valeur d'intensité et les données obtenues ont été normalisées en fonction du niveau de puissance laser.

Pour établir la relation entre le niveau de gris digitalisé de la valeur d'intensité originale et celui provenant de la digitalisation de la racine carrée de cette même valeur, il faut tenir compte de ce qui suit:

Si I est la valeur d'intensité originale pour laquelle le niveau de gris digitalisé doit se situer entre 0 et 255 et si I_m est la valeur d'intensité associée à la valeur digitalisée maximale de 255, cela signifie que la gamme d'intensité de 0 à I_m se divise en 256 niveaux égaux. Par conséquent, le niveau de gris digitalisé I_d correspondant à la valeur d'intensité I est égal à

$$I_d = 255 \frac{I}{I_m} \quad (1)$$

Ensuite, si la racine carrée de l'intensité I était extraite avant la digitalisation, le niveau de gris correspondant I_{ds} serait

$$I_{ds} = 255 \sqrt{\frac{I}{I_{ms}}} \quad (2)$$

où I_{ms} est la valeur maximale de l'intensité associée au niveau 255. L'équation 2 peut s'écrire comme suit:

$$I_{ds}^2 = (255)^2 \frac{I}{I_{ms}} \quad (3)$$

En éliminant I dans les équations (1) et (3), on obtient:

$$I_d = \frac{I_{ds}^2}{255} \frac{I_m}{I_m} \quad (4)$$

On peut supposer que $I_m = I_{ms}$, car l'extraction de la racine carrée avait pour objet de permettre le traitement de valeurs d'intensité plus élevées. Cela signifie que I_m ou I_{ms} correspond à la valeur maximale d'intensité pouvant être traitée par le système de digitalisation. Par conséquent:

$$I_d = I_{ds}^2 \frac{I_m}{255} \quad (5)$$

Cette relation indique qu'il est préférable de prendre le carré des niveaux de gris digitalisés (qui correspondent à la racine carrée des valeurs d'intensité) car cela permet de reproduire plus fidèlement les données d'intensité originales. Le facteur $I_m/255$, étant une constante, ne modifiera pas l'évaluation relative des données obtenues, mais il pourrait se produire des résultats erronés si ces données n'étaient pas mises au carré.

3.2.2 Imagerie des niveaux de gris. Les moyens informatiques utilisés pour obtenir l'imagerie des niveaux de gris à partir des données numériques consistaient en un mini-ordinateur HP 2100S doté d'une mémoire centrale à 34K, une unité de disques 7900A (disque système et disque utilisateur), deux dérouleurs de bandes magnétiques HP 7970E à 1600 bpi, une imprimante par ligne HP 9866A, un clavier vidéo Tektronix 4010-1 et un enregistreur graphique ANAC 911.

Les images en niveaux de gris présentées ici ont été produites par l'enregistreur ANAC sur papier électrosensible. Cet appareil reproduit 16 niveaux de gris: de 0 à 15, soit du blanc au noir respectivement.

3.2.3 Histogrammes. La première étape dans l'analyse des données numériques a été l'élaboration d'histogrammes des valeurs de la gamme de gris pour des zones choisies de l'image radar, indiquées approximativement dans la figure 10. La plus vaste de ces zones mesurait environ 150 m x 225 m (100 x 150 pixels). En général, on a pris soin d'utiliser un plus grand nombre de pixels en fonction de l'azimut qu'en fonction de la distance afin d'éviter de calculer les moyennes en fonction de la distance. L'aspect le plus difficile de ce travail était la localisation précise des mêmes zones dans les images prises dans les quatre voies et le repérage des coordonnées correspondantes sur la bande magnétique. L'image indiquée à la figure 10 (prise dans la bande X et en polarisation HV) sert de référence. Les zones choisies ont été marquées sur cette image et on a noté leur position correspondante sur l'image numérique, ce qui a nécessité la reproduction répétée de l'image dans la gamme de gris pour ces zones. Étant donné que les données numériques recueillies dans chaque voie sont stockées dans un fichier distinct et que les fichiers correspondants ne sont pas enregistrés, le repérage de la même zone dans les images de chaque voie et l'établissement des coordonnées en pixels correspondants a nécessité la reproduction répétée de ces images. On a pris grand soin d'établir les histogrammes relatifs à chaque voie à partir des mêmes zones de l'image (voir les figures 11 à 19). La fréquence indiquée sur les histogrammes est normalisée par rapport à une population de 1000. Les niveaux de gris disponibles sur bande magnétique ont été mis au carré et

correspondent à des valeurs de la gamme de gris sur les graphiques. Les points correspondent aux valeurs réelles recueillies; ils sont reliés par une ligne uniforme pour mettre en évidence la forme de la courbe.

Vu sa hauteur, l'iceberg produit une zone d'ombre, tel qu'indiqué à la figure 10. Les histogrammes correspondant à cette zone, observée dans les quatre voies, sont présentés à la figure 11. Le sommet de la courbe de distribution est à zéro en ce qui touche les images prises dans la bande X en polarisation HV. Le deuxième sommet se trouve à environ 35. Pour les images prises en bande X, il ne semble pas exister de différence appréciable entre la courbe HH et la courbe HV. Très différentes de celles de la bande X, les deux courbes correspondantes en bande L se ressemblent beaucoup, comptent plus de valeurs de la gamme de gris que celles de la bande X et ont une forme relativement plus aplatie et allongée. Le sommet de la courbe pour la gamme de gris enregistrée dans les voies de la bande L se trouve à environ 200.

La figure 12 montre les histogrammes correspondant aux images de la région de l'iceberg enregistrées dans les 4 voies. Les courbes des deux voies de la bande X sont de nouveau similaires, mais celles des deux voies de la bande L diffèrent légèrement. Les courbes de la bande X ont un sommet plus étroit que celles de l'autre bande.

Les histogrammes relatifs aux secteurs de banquise correspondant aux images captées dans les deux bandes (en polarisation HV et HH) sont représentés respectivement dans les figures 13, 14, 15 et 16. Les histogrammes du type de glace n° 3 ont été réalisés en combinant ceux des cinq zones indiquées à la figure 10. Les glaces des trois types ont une forme similaire dans les images des deux voies de la bande X, mais il existe une différence entre les images de chaque bande: les glaces qui apparaissent dans les images des deux voies de la bande L ont une forme légèrement différente.

Les quatre histogrammes correspondant à la première zone noire apparaissent à la figure 17, ceux de la deuxième à la figure 18 et ceux de la troisième à la figure 19. Dans l'histogramme de la deuxième zone noire, les courbes X-HV et L-HH sont presque identiques. Dans ceux de la première et de la troisième, les deux courbes de la bande X et celles de la bande L sont différentes. En ce qui concerne l'histogramme de la troisième zone, le sommet des deux courbes correspondant aux deux voies de la bande X est situé à l'ordonnée zéro.

La comparaison des histogrammes présentés ci-dessus révèle que la courbe de distribution correspondant aux deux voies de la bande X demeure similaire d'une région à l'autre. Les courbes ont un sommet étroit et la plupart des valeurs se trouvent près de ce

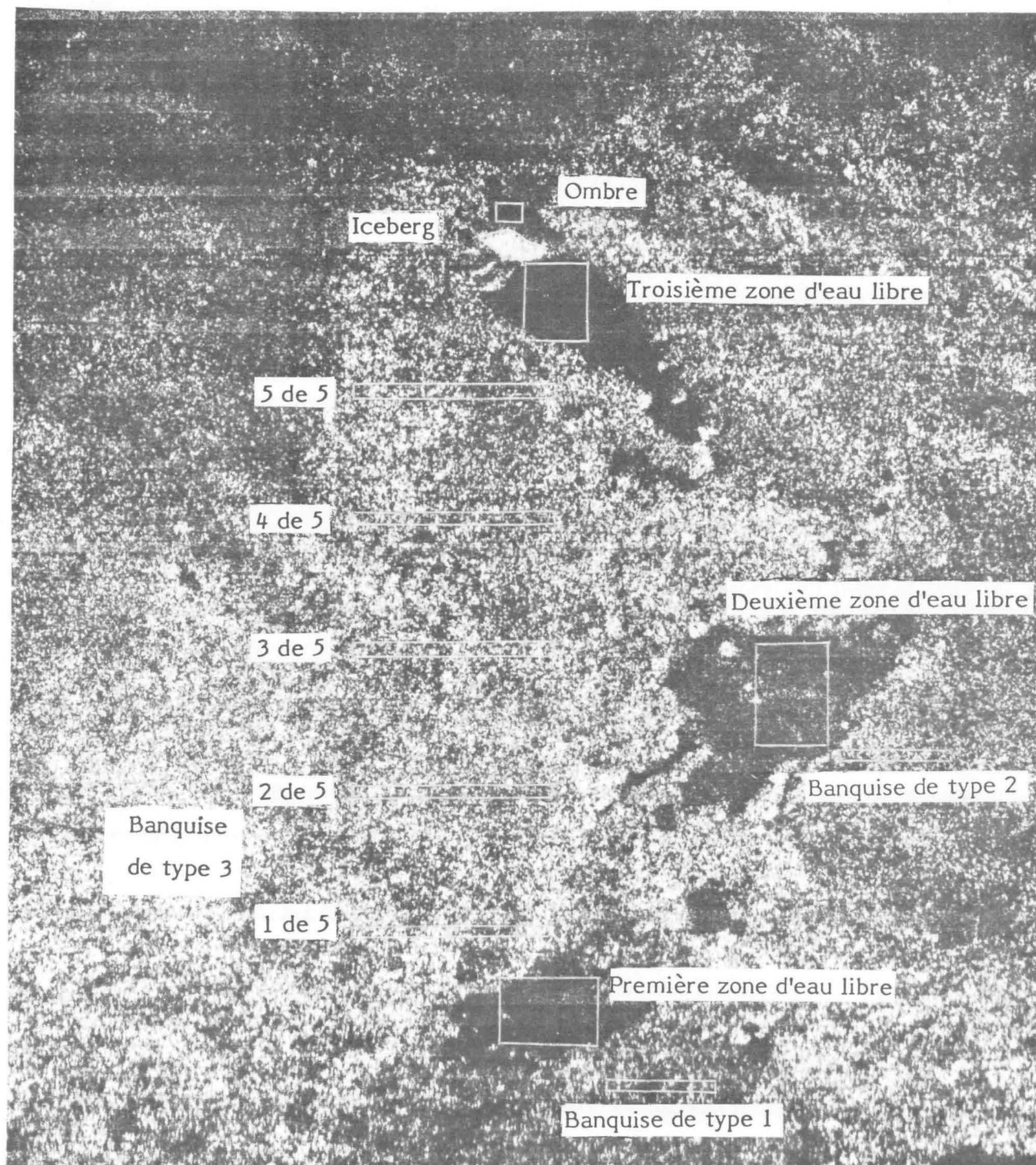


FIGURE 10 EMLACEMENT DES ZONES TRAITÉES POUR PRODUIRE LES HISTOGRAMMES

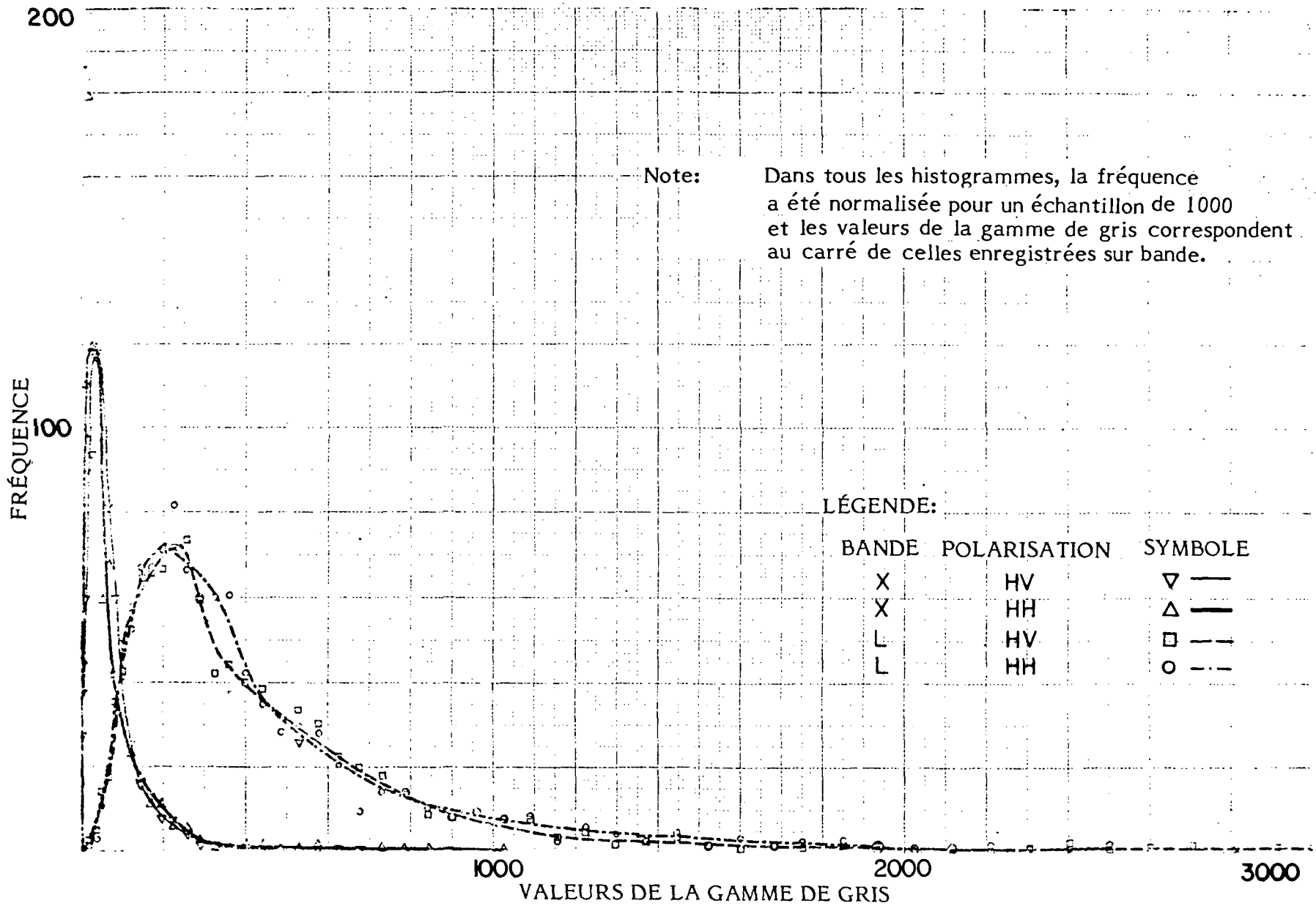


FIGURE 11 HISTOGRAMME DE LA ZONE D'OMBRE

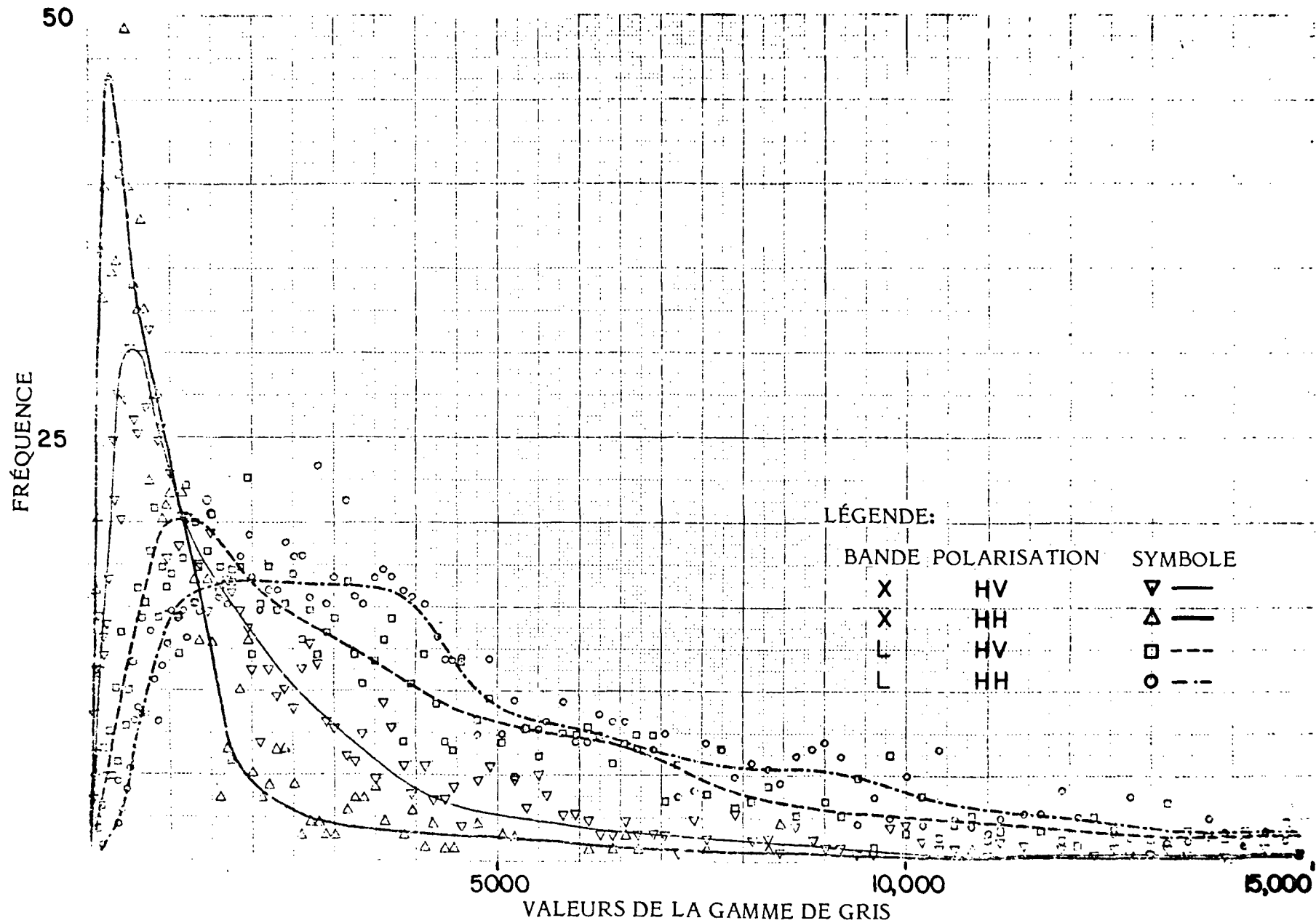


FIGURE 12 HISTOGRAMME DE LA ZONE DE L'ICEBERG

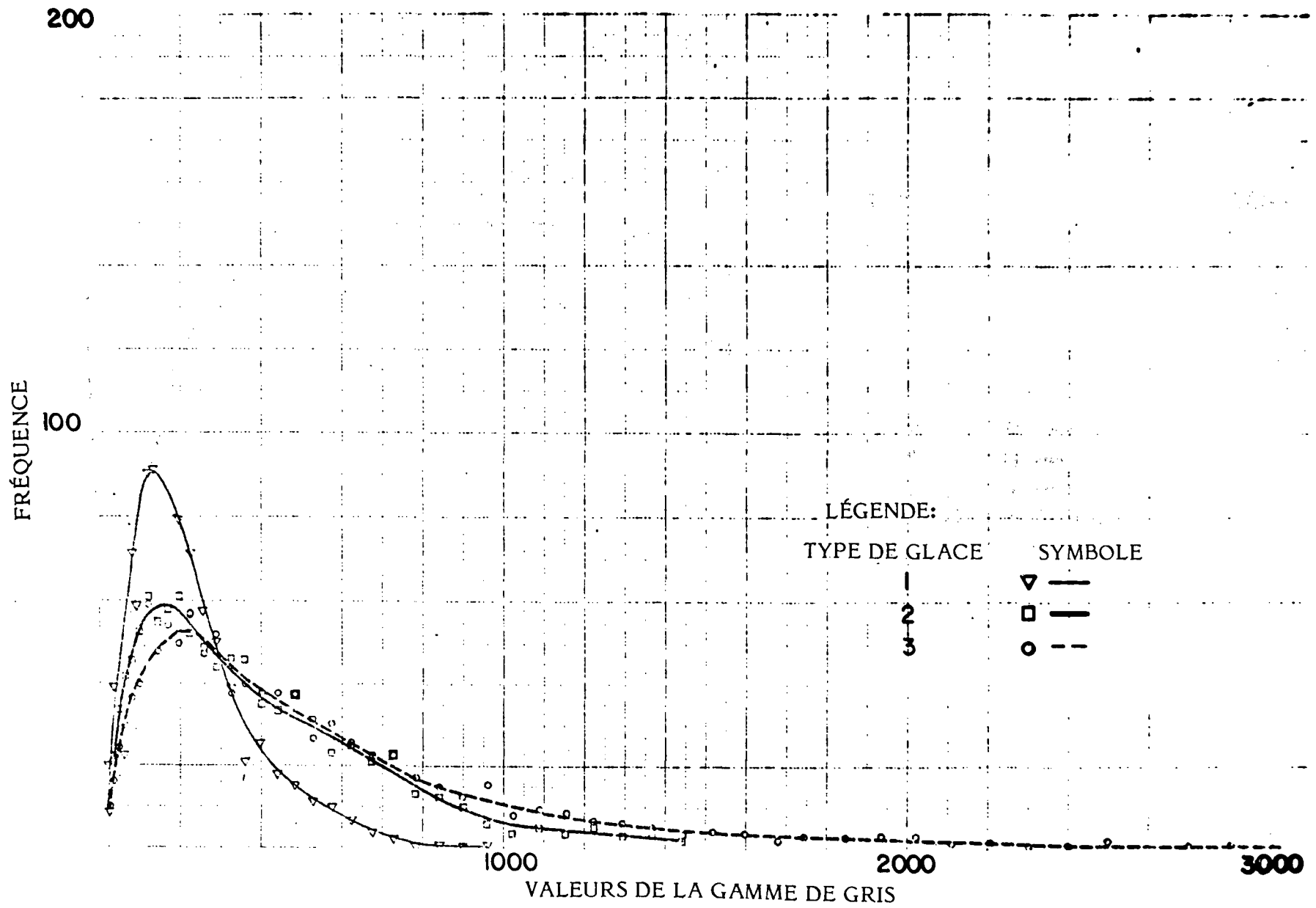


FIGURE 13 HISTOGRAMME DES TROIS TYPES DE GLACES (BANDE X, POLARISATION HV)

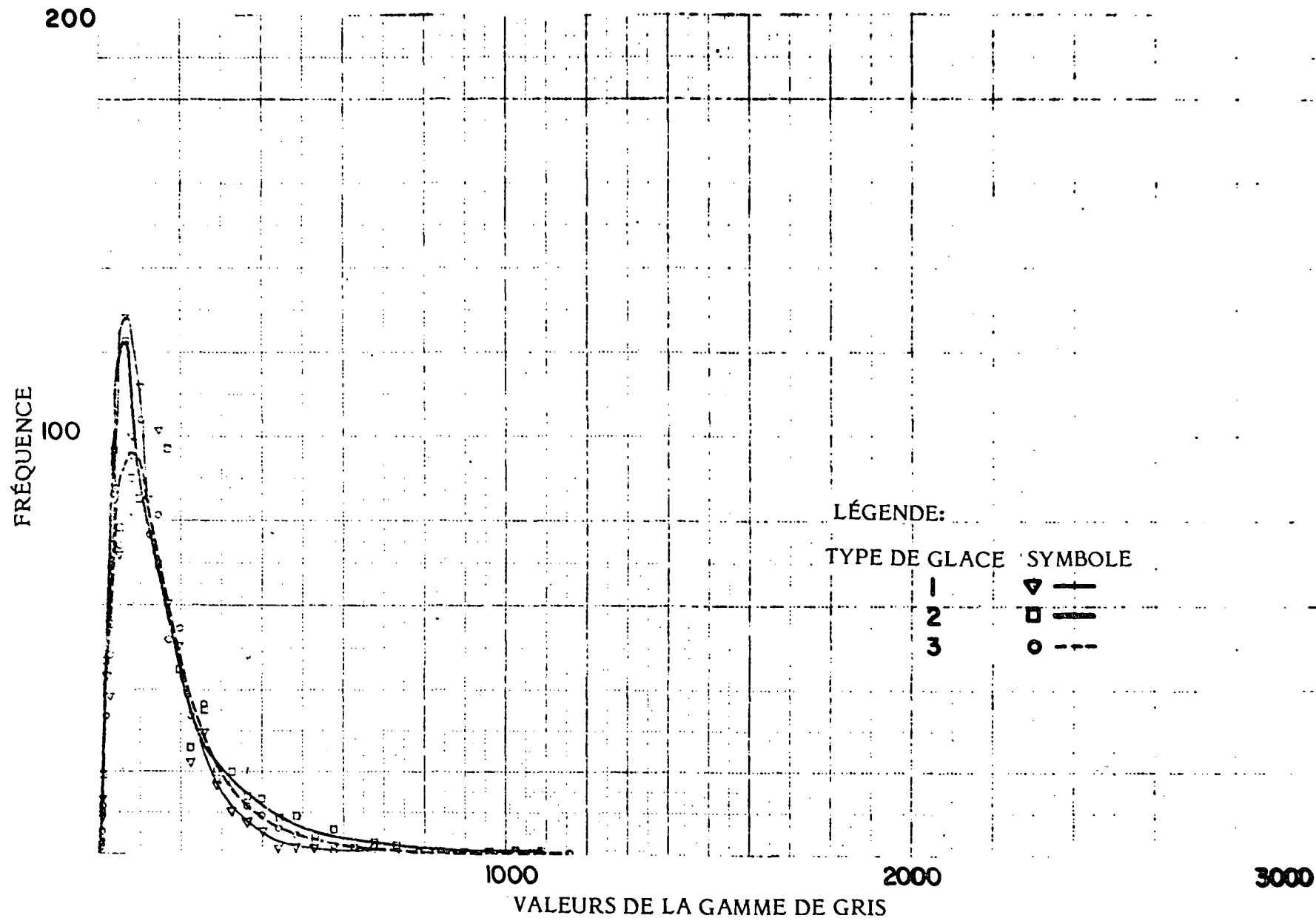


FIGURE 14 HISTOGRAMME DES TROIS TYPES DE GLACES (BANDE X, POLARISATION HH)

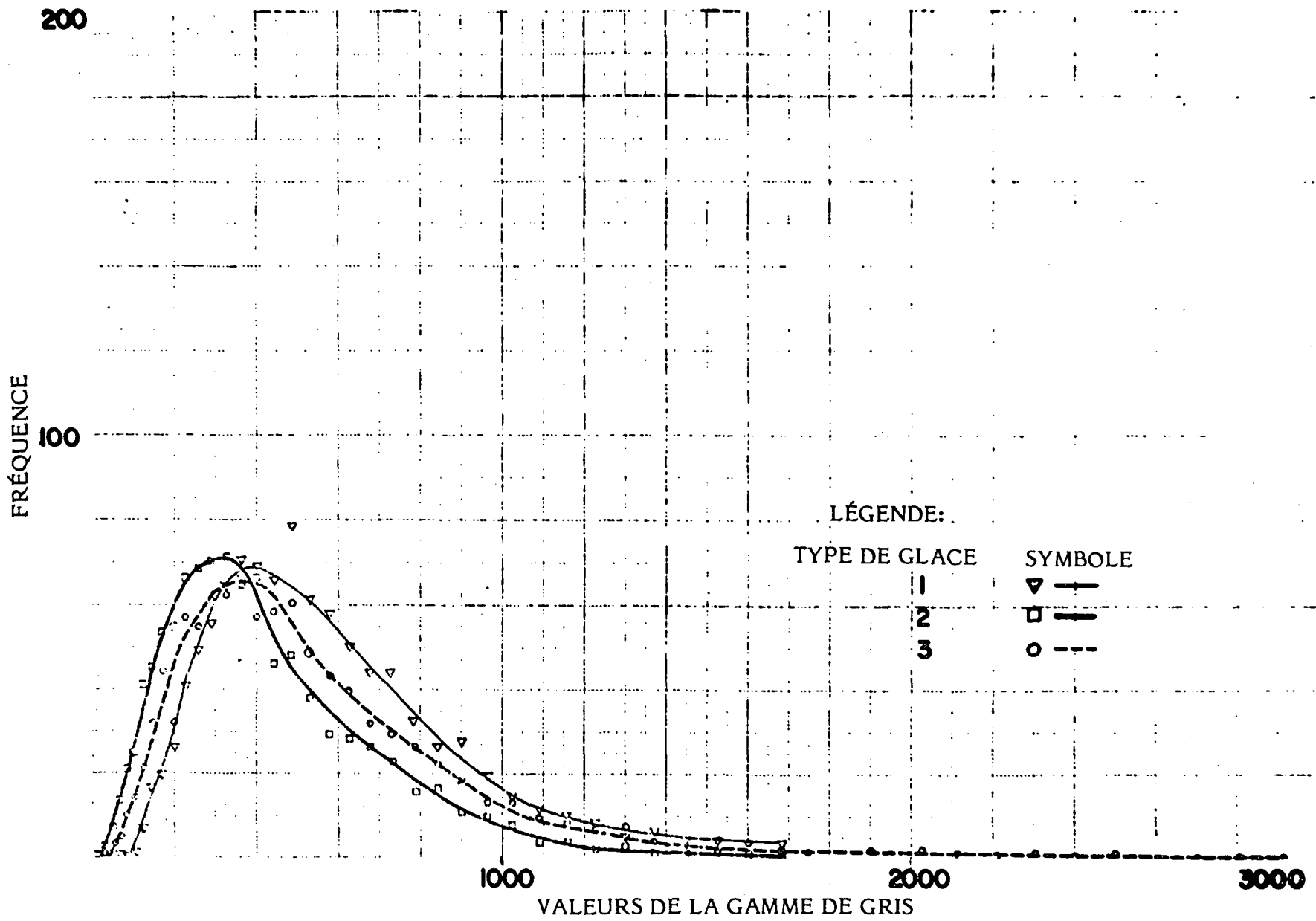


FIGURE 15 HISTOGRAMME DES TROIS TYPES DE GLACES (BANDE L, POLARISATION HV)

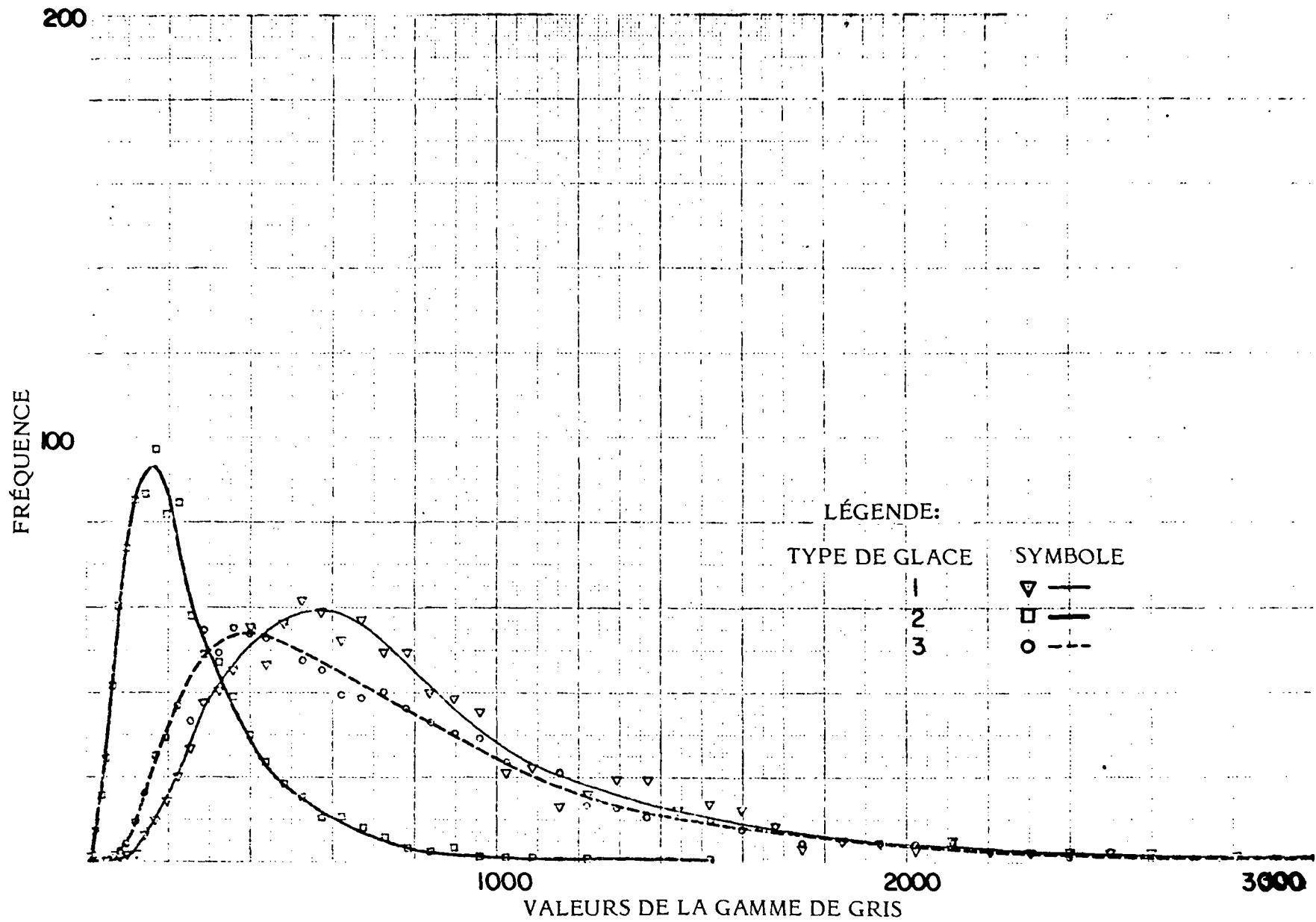


FIGURE 16

HISTOGRAMME DES TROIS TYPES DE GLACES (BANDE L, POLARISATION HH)

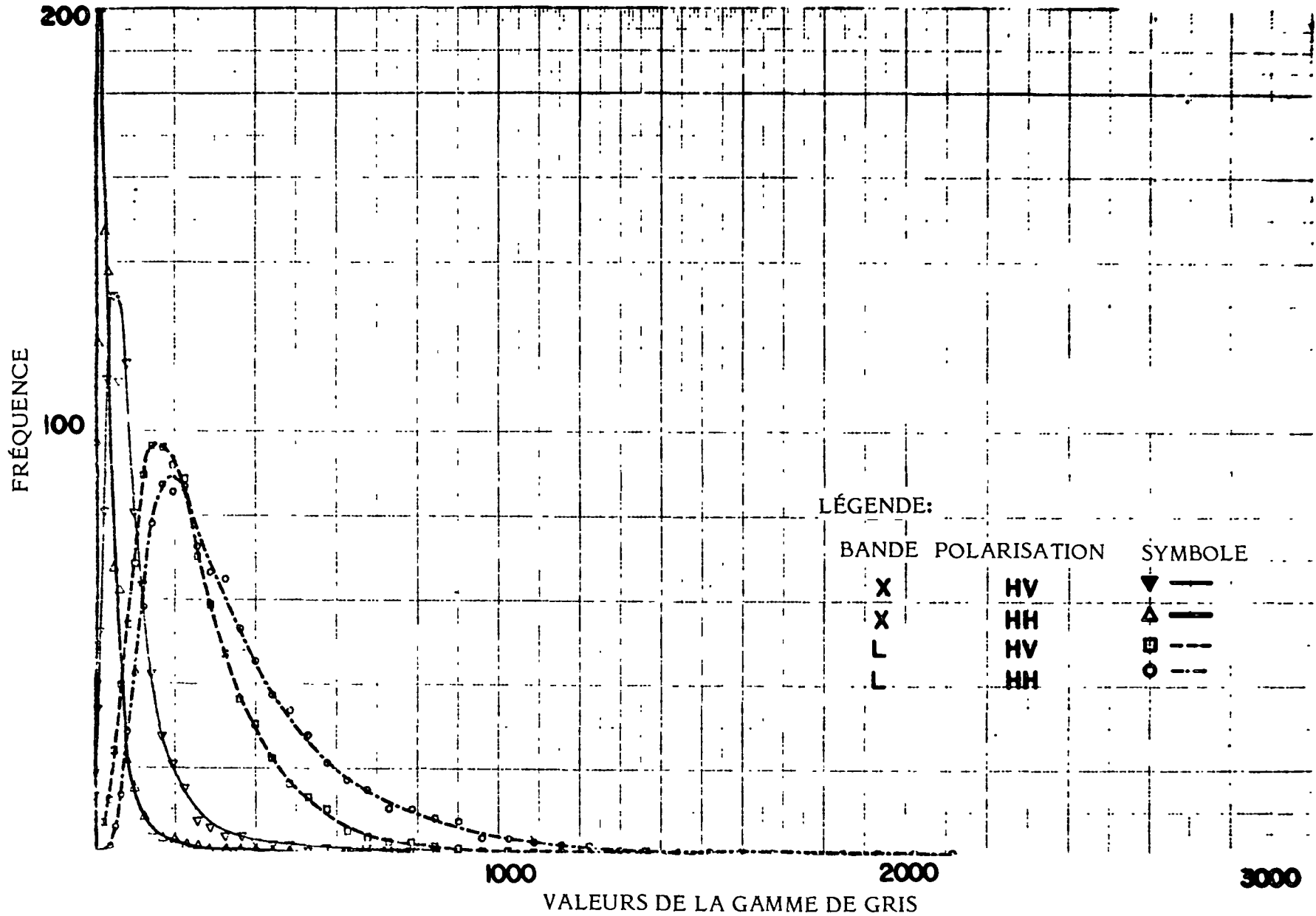


FIGURE 17 HISTOGRAMME DE LA 1^{ère} ZONE D'EAU LIBRE

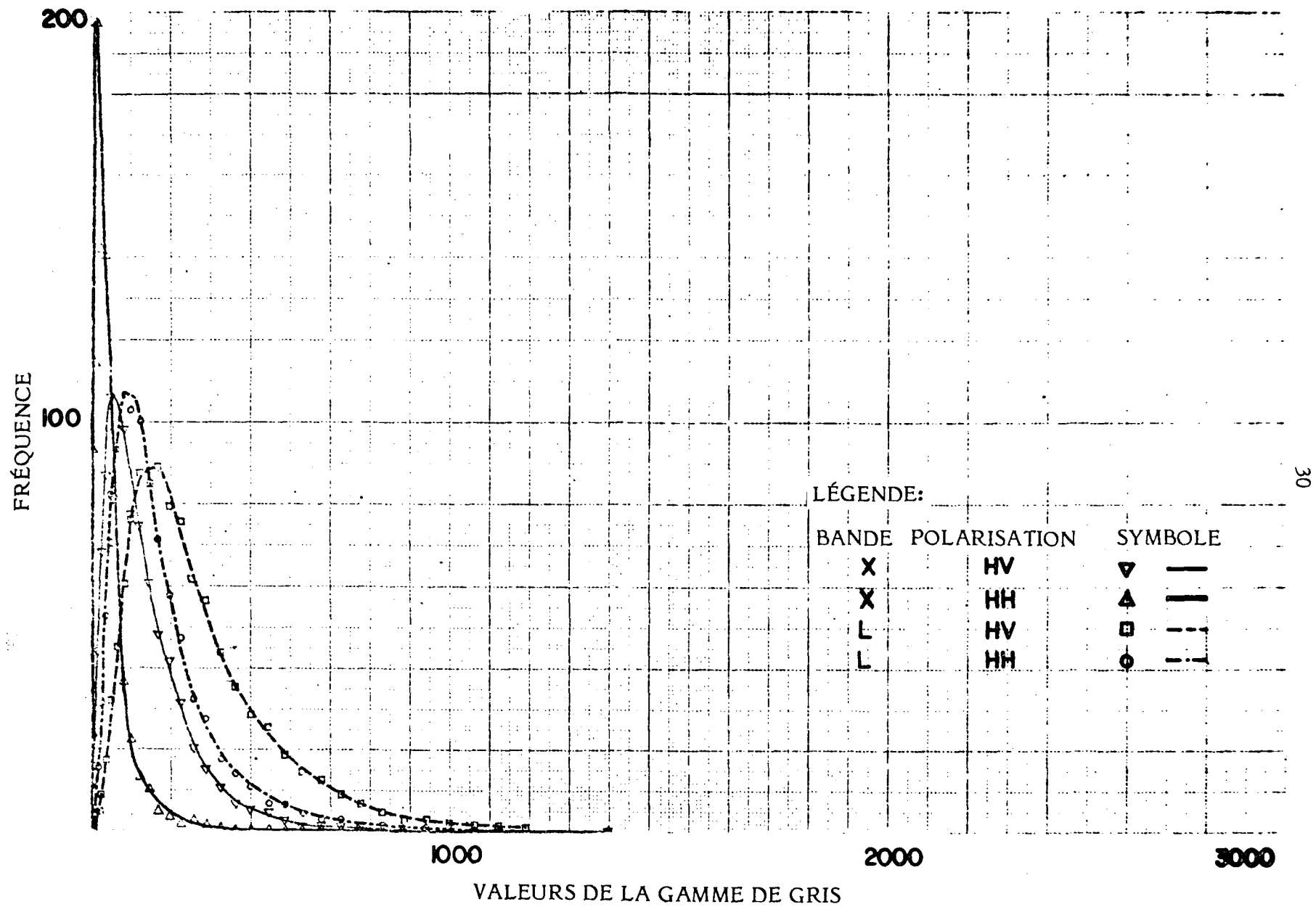


FIGURE 18 HISTOGRAMME DE LA 2^e ZONE D'EAU LIBRE

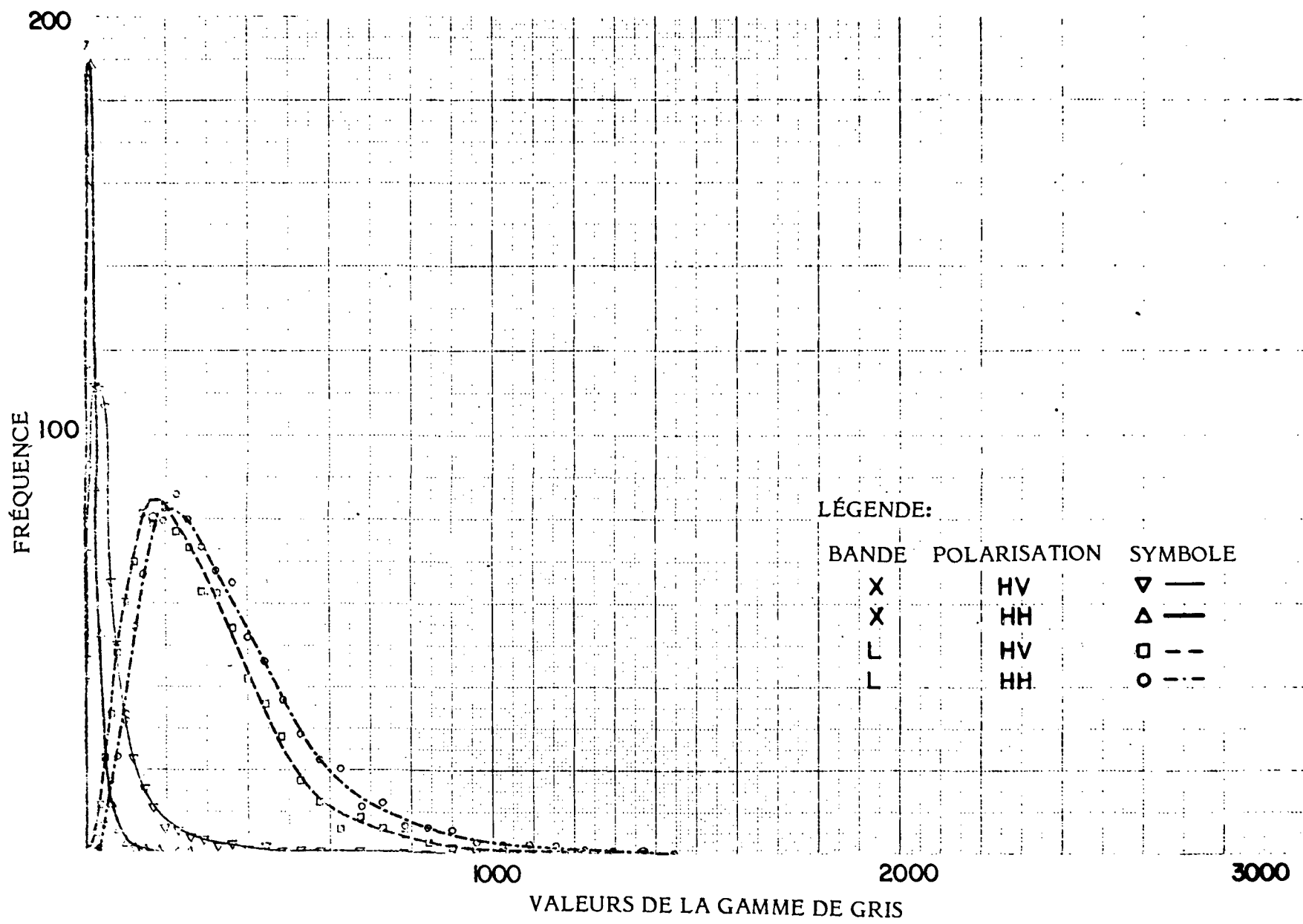


FIGURE 19 HISTOGRAMME DE LA 3^e ZONE D'EAU LIBRE

niveau. En revanche, la forme des courbes relatives aux deux voies de la bande L diffère de région en région; les sommets sont plus aplatis et les valeurs de gris couvrent une gamme plus étendue.

3.2.4 Statistiques sur les échos radar. Les images radar sont tachetées à cause de la scintillation due à l'affaiblissement des signaux causé à son tour par l'interférence de phase. Chaque cellule de résolution peut être considérée comme un ensemble de diffuseurs indépendants. La somme vectorielle des champs produits par ces différents diffuseurs dépend de leur distance relative et conséquemment de l'angle d'orientation de l'antenne. Le bruit ou le signal radar peut être considéré comme la somme du sinus et du cosinus dont les amplitudes sont indépendantes et calculées statistiquement par distribution normale. Comme le soutient Moore (1976), l'usage de ce type de distribution laisse supposer que chaque pixel compte un grand nombre de diffuseurs indépendants et qu'aucun diffuseur n'émet un fort signal par rapport à la puissance totale des signaux émis par tous les autres diffuseurs dans le complexe. Dans le cas de pixels et de cibles très vastes, il s'agit d'une hypothèse plausible fondée sur l'expérimentation. Plus un pixel rapetisse, plus la probabilité de prépondérance d'un diffuseur augmente. Cette hypothèse semble se vérifier pour une résolution de l'ordre de 3 m. L'enveloppe tension de ce type de signal est distribuée selon la loi de Rayleigh et, après détection en quadrature, sa puissance est distribuée exponentiellement. Chaque impulsion constitue un échantillon à partir de cette distribution. En distribution exponentielle, l'écart-type et la moyenne sont égaux. Cela signifie que des échantillons indépendants peuvent être distribués autour de la moyenne, ce qui donne cette image tachetée, sur laquelle les signaux d'une puissance très élevée et très faible par rapport à la moyenne produisent respectivement des taches brillantes et sombres.

Ce phénomène peut être atténué en faisant la moyenne de plusieurs échantillons de cette distribution exponentielle. La moyenne de N échantillons produit une distribution X^2 à $2N$ degrés de liberté. La distribution exponentielle est une distribution de X^2 à deux degrés de liberté. L'écart-type pour une moyenne de N échantillons est

$$\sigma_N = \frac{U_N}{\sqrt{N}} \quad (5)$$

où U_N est la moyenne de l'échantillon et N le nombre d'échantillons indépendants. Ceux-ci peuvent être combinés soit le long de la trajectoire de vol, soit le long de l'axe d'orientation. Le nombre d'échantillons indépendants le long de la trajectoire de vol est obtenue comme suit:

$$N = \frac{\text{résolution en azimut}}{D/2} \quad (6)$$

où D est le diamètre de l'antenne. Un seul échantillon indépendant est obtenu lorsqu'on utilise un radar à ouverture synthétique entièrement focalisée et que le pouvoir séparateur en azimut est de $D/2$.

Les histogrammes reflètent en général une distribution de X^2 ; certains semblent refléter une distribution de Rayleigh probablement en raison du petit nombre d'échantillons indépendants.

Des statistiques ont été établies pour les valeurs des niveaux de gris, réelles et mises au carré, relevées dans les zones marquées à la figure 10. La somme des carrés et le carré de la somme ont été calculés, étant donné qu'ils constituent des valeurs différentes. Les tableaux I et II fournissent les statistiques concernant respectivement les données réelles et au carré. Les données élevées au carré correspondent au carré des valeurs des niveaux de gris et les données réelles à celles enregistrées sur bande. Ces tableaux donnent la moyenne, l'erreur-type, le mode, l'écart-type, les valeurs minimales et maximales et la population. L'erreur-type est généralement définie comme l'erreur-type de la moyenne et équivaut à peu près à l'écart-type divisé par la racine carrée de la population; en un sens, c'est un écart-type normalisé. Le mode correspond à la valeur du niveau de gris où se trouve le sommet dans l'histogramme.

Le tableau I indique que la moyenne pour les cinq zones de la banquise de type 3 ne correspond pas à l'angle comme elle le devrait. Cela est dû au diagramme de rayonnement de l'antenne. La moyenne la plus élevée se trouve dans la région de l'iceberg puis dans les zones de la banquise, en eau libre et enfin dans la zone d'ombre. Le signal réfléchi est plus faible à partir des zones d'eau libre que de la zone d'ombre dans les deux voies de la bande L. La moyenne est du même ordre que l'écart-type, mais dans le cas de l'iceberg et de la zone d'ombre, l'écart-type est parfois plus élevé que la moyenne. Le rapport de ces deux variables produit environ un échantillon indépendant d'après l'équation 5. L'hypothèse exprimée par cette équation ne tient probablement pas dans le cas de l'iceberg et de la zone d'ombre. Ces deux zones mises à part, c'est pour les divers types de banquise que l'erreur-type est la plus élevée. Cela représente probablement une variance, outre l'affaiblissement des signaux à cause des variations de l'état des glaces. Il est bon de noter le mode identique produit par tous les types de banquise observés dans la

TABLEAU I

STATISTIQUES DES DONNÉES AU CARRÉ

Classification	Moyenne	Erreur-type de la moyenne	Mode	Écart-type	Minimum	Maximum	Population
Voie 1 (bande X, polarisation VH)							
Zone d'ombre	44,322	1,268	784	56,333	0	676	1963
Iceberg	1882,096	56,462	0	2864,038	16	33856	2573
1 ^{ère} zone d'eau libre	74,644	0,570	49	69,124	0	841	14734
2 ^e zone d'eau libre	100,600	0,810	49	99,496	0	1600	15100
3 ^e zone d'eau libre	41,694	0,594	0	63,750	0	961	11493
Banquise - Type 1	187,792	2,696	144	136,456	1	961	2560
Type 2	317,134	5,500	196	278,242	0	2916	2560
Type 3 - 1 de 5	999,330	6,612	225	458,114	0	4225	4800
2 de 5	321,276	5,472	121	309,522	0	3969	3200
3 de 5	456,492	7,298	225	505,588	0	6561	4800
4 de 5	341,294	5,122	196	354,900	0	4356	4800
5 de 5	317,348	4,296	169	297,596	0	3721	4800
Voie 2 (bande X, polarisation HH)							
Zone d'ombre	42,836	1,214	16	68,998	0	1024	3235
Iceberg	816,404	26,102	441	983,928	25	10816	1421
1 ^{ère} zone d'eau libre	29,610	0,376	16	40,042	0	694	11300
2 ^e zone d'eau libre	37,032	0,596	16	73,326	0	2809	15100
3 ^e zone d'eau libre	12,168	0,180	16	15,738	0	256	7695
Banquise - Type 1	109,512	1,610	64	81,414	0	676	2560
Type 2	124,976	2,480	64	125,526	0	1089	2560
Type 3 - 1 de 5	109,540	0,914	64	70,738	4	784	6000
2 de 5	124,310	1,402	64	108,658	0	1156	6000
3 de 5	145,054	1,670	64	132,562	0	1444	6300
4 de 5	120,370	1,398	64	108,338	0	1296	6000
5 de 5	98,420	1,200	64	92,932	0	900	6000

TABLEAU I

STATISTIQUES DES DONNÉES AU CARRÉ (suite)

Classification	Moyenne	Erreur-type de la moyenne	Mode	Écart-type	Minimum	Maximum	Population
Voie 3 (bande L, polarisation HV)							
Zone d'ombre	363,002	7,026	256	350,714	9	3249	2492
Iceberg	3721,508	105,608	1936	5066,998	14	63504	2302
1 ^{ère} zone d'eau libre	216,308	1,323	144	140,962	0	1369	11300
2 ^e zone d'eau libre	222,938	1,382	169	169,760	0	1849	15100
3 ^e zone d'eau libre	244,848	2,118	196	157,728	0	1369	5545
Banquise - Type 1	529,040	5,620	484	284,398	64	1764	2560
Type 2	373,958	4,806	324	243,186	4	1681	2560
Type 3							
1 de 5	545,698	5,726	361	396,848	16	2704	4800
2 de 5	479,724	4,936	361	342,096	16	3364	4800
3 de 5	540,410	5,980	361	414,368	9	4761	4800
4 de 5	542,094	5,626	324	389,790	4	4096	4800
5 de 5	404,742	4,170	361	288,844	16	2601	4800
Voie 4 (bande L, polarisation HH)							
Zone d'ombre	363,180	5,660	225	327,428	9	3136	3346
Iceberg	4225,562	87,638	2809	4331,708	121	42026	2443
1 ^{ère} zone d'eau libre	304,400	1,974	169	209,806	9	2116	11300
2 ^e zone d'eau libre	141,032	0,982	81	120,582	0	1764	15100
3 ^e zone d'eau libre	306,184	2,574	225	191,626	4	1444	5545
Banquise - Type 1	721,482	8,766	529	443,486	49	3136	2560
Type 2	227,322	3,302	169	167,056	0	1521	2560
Type 3 -							
1 de 5	787,130	8,984	484	622,452	49	5041	4800
2 de 5	655,610	6,736	484	466,748	25	3844	4800
3 de 5	479,850	5,732	225	391,144	16	4096	4800
4 de 5	660,650	6,476	529	448,702	64	4356	4800
5 de 5	603,320	5,876	289	407,090	36	3025	4800

TABLEAU II

STATISTIQUES DES DONNÉES RÉELLES

Classification	Moyenne	Erreur-type de la moyenne	Mode	Écart-type	Minimum	Maximum	Population
Voie 1 (bande X, polarisation HV)							
Zone d'ombre	5,390	0,088	0	3,908	0	26	1963
Iceberg	36,975	0,447	28	22,697	4	104	2573
1 ^{ère} zone d'eau libre	7,804	0,031	7	3,707	0	29	14734
2 ^e zone d'eau libre	8,957	0,037	7	4,514	0	40	15100
3 ^e zone d'eau libre	5,061	0,037	0	4,010	0	31	11495
Banquise - Type 1	17,859	0,094	12	4,739	1	31	2560
Type 2	16,284	0,143	14	7,210	0	54	2560
Type 3 -							
1 de 5	20,585	0,126	15	8,696	0	65	4800
2 de 5	18,607	0,136	11	9,395	0	87	4800
3 de 5	19,114	0,138	15	9,548	0	81	4800
4 de 5	16,710	0,114	14	7,879	0	66	4800
5 de 5	16,285	0,104	13	7,223	0	61	4800
Voie 2 (bande X, polarisation HH)							
Zone d'ombre	5,412	0,065	4	3,681	0	32	3235
Iceberg	25,631	0,350	21	13,021	5	104	1381
1 ^{ère} zone d'eau libre	4,715	0,026	4	2,717	0	28	11300
2 ^e zone d'eau libre	5,214	0,026	4	3,138	0	53	15100
3 ^e zone d'eau libre	2,812	0,024	4	2,064	0	16	7695
Banquise - Type 1	9,783	0,073	8	3,717	0	26	2560
Type 2	10,077	0,096	8	4,841	0	33	2560
Type 3 -							
1 de 5	10,016	0,039	8	3,038	2	28	6000
2 de 5	10,294	0,055	8	4,284	0	34	6000
3 de 5	19,231	0,114	15	9,026	0	61	6300
4 de 5	10,109	0,055	8	4,263	0	36	6000
5 de 5	7,841	0,060	7	4,636	0	29	6000

TABLEAU II

STATISTIQUES DES DONNÉES RÉELLES (suite)

Classification	Moyenne	Erreur-type de la moyenne	Mode	Écart-type	Minimum	Maximum	Population
Voie 3 (bande L, polarisation HV)							
Zone d'ombre	17,577	0,147	16	7,354	3	57	2492
Iceberg	53,310	0,618	44	29,664	7	252	2302
1 ^{ère} zone d'eau libre	14,022	0,042	12	4,444	0	37	11300
2 ^e zone d'eau libre	14,040	0,041	13	5,082	0	43	15100
3 ^e zone d'eau libre	14,881	0,065	14	4,838	0	37	5545
Banquise - Type 1	22,234	0,116	22	5,862	8	42	2560
Type 2	18,393	0,118	18	5,974	2	41	2560
Type 3 -	22,027	0,112	19	7,779	4	52	4800
1 de 5	20,766	0,101	19	6,965	4	58	4800
2 de 5	21,882	0,113	19	7,849	3	69	4800
3 de 5	22,048	0,108	18	7,482	2	64	4800
4 de 5	19,040	0,094	19	6,498	4	51	4800
5 de 5							
Voie 4 (bande L, polarisation HH)							
Zone d'ombre	17,702	0,122	15	7,058	3	56	3346
Iceberg	59,140	0,546	53	26,987	11	205	2443
1 ^{ère} zone d'eau libre	16,600	0,051	13	5,369	3	46	11300
2 ^e zone d'eau libre	11,058	0,035	9	4,331	0	42	15100
3 ^e zone d'eau libre	16,748	0,068	15	5,069	2	38	5545
Banquise - Type 1	25,755	0,151	23	7,626	7	56	2560
Type 2	14,221	0,099	13	5,009	0	39	2560
Type 3 -	26,292	0,141	22	9,792	7	71	4800
1 de 5	24,245	0,119	22	8,233	5	62	4800
2 de 5	20,457	0,113	15	7,835	4	64	4800
3 de 5	24,483	0,113	23	7,827	8	66	4800
4 de 5	23,365	0,109	17	7,578	6	55	4800
5 de 5							

voie 2 (bande X, polarisation HH), ce qui contribue à expliquer l'incapacité de produire un contraste entre les divers types de glace dans cette bande en polarisation horizontale.

3.2.5 Transformation des données numériques en images par niveaux de gris. Les images en niveaux de gris ont été réalisées à l'aide de l'enregistreur graphique ANAC, à partir des données numériques stockées sur bande magnétique. Cet enregistreur peut reproduire seize niveaux de gris; par conséquent, les 256 niveaux de gris accessibles sur bande dans la gamme de 0 à 255 devraient être réduits à seize niveaux dans la gamme de 0 à 15. Le niveau 0 correspondait au blanc et le niveau 15 au noir sur l'enregistreur, mais c'était l'opposé sur la bande, soit 255 pour le blanc et 0 pour le noir. Ainsi, les données réelles ont dû être inversées afin d'obtenir le rendu approprié.

Il existe deux méthodes permettant de réduire les 256 niveaux à 16. La première s'appelle la quantification en intervalles égaux: la gamme de 0 à 255 est divisée en 16 intervalles égaux. Par cette méthode, les données de l'intervalle 0 à 15 sur la bande correspondent au niveau de gris 15, celles de l'intervalle 16 à 31 au niveau 14 et ainsi de suite. L'autre méthode s'appelle la quantification en densités égales. Elle consiste à produire des histogrammes à partir des données originales puis, selon la forme de la courbe de distribution, à diviser toute la gamme en 16 intervalles différents, mais contenant le même nombre de points.

On a essayé ces deux méthodes pour le traitement des données réelles et au carré. Bien qu'un algorithme aurait pu être utilisé pour appliquer la deuxième méthode, on a choisi plutôt de diviser subjectivement la courbe de distribution en 16 intervalles inégaux puis, après avoir obtenu l'image en niveaux de gris, de corriger les intervalles afin de l'améliorer.

Les figures 20 à 23 représentent les quatre images réalisées par la quantification en intervalles égaux (données réelles). Le document réel avait une dimension de 2306 x 1630 pixels, tel qu'il est indiqué sur l'identificateur du fichier au-dessous de l'image, qu'il a fallu réduire à une dimension de 2048 x 1630 pixels pour pouvoir la reproduire ici. Selon les histogrammes de tous les secteurs, la valeur maximale était inférieure au niveau 255. Les histogrammes combinés des secteurs de banquise ont tenu lieu de référence, car aucun histogramme combiné des données totales enregistrées dans une voie n'a été fait. Les tranches de 10 % supérieure et inférieure de la population correspondent aux niveaux 0 et 15 respectivement. Les autres niveaux ont été divisés en 14 intervalles égaux. La première ligne de l'identificateur de l'image indique les niveaux de gris attribués et la deuxième indique les intervalles correspondants des valeurs

originales. Par exemple, à la figure 20 (image de la bande X en polarisation HV), l'intervalle 0 à 12 correspond au niveau 15, 13 à 23 au niveau 14, 24 à 35 au niveau 13, 36 à 46 au niveau 12, 47 à 58 au niveau 11, 59 à 69 au niveau 10 et ainsi de suite jusqu'à l'intervalle 173 à 255 qui correspond au niveau 0. La même démarche a été adoptée pour les données recueillies dans les trois autres voies. Toutefois, la qualité des images obtenues par cette méthode est médiocre.

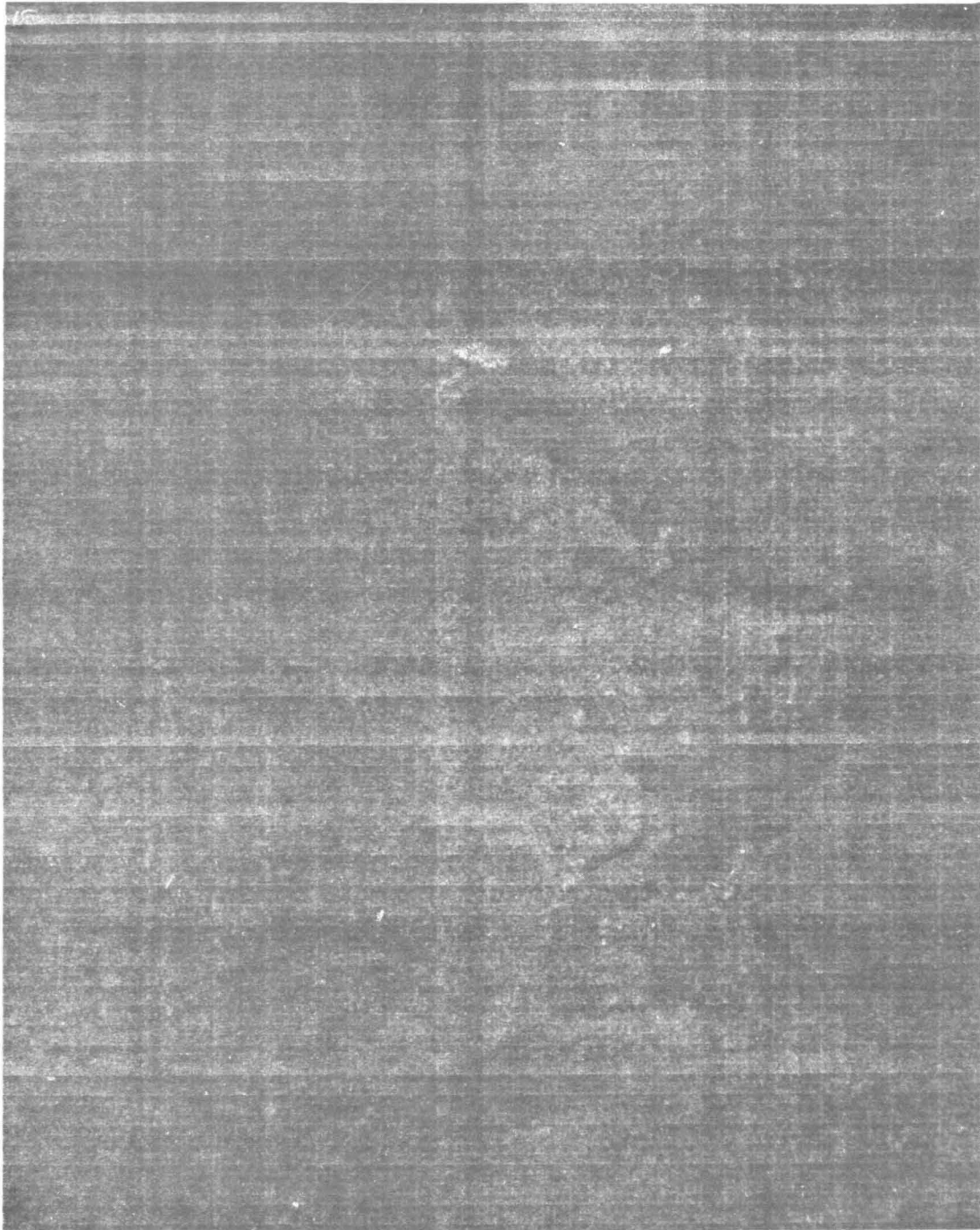
La même méthode a été employée pour produire des images à partir des données au carré par quantification en intervalles égaux et les résultats des 4 voies sont présentés aux figures 24 à 27. Les images sont de meilleure qualité, mais les principales zones, à l'exception des icebergs, ne peuvent encore être distinguées.

L'étape suivante consistait à produire des images par quantification en densités égales (intervalles inégaux). Seules les meilleures images sont présentées ici: celles des 4 voies, obtenues à partir des données réelles sont montrées aux figures 28 à 31. À la figure 28, comme l'indique l'identificateur au bas de l'image, l'intervalle 0 à 9 correspond au niveau 15, 10 à 11 au niveau 14, 12 à 13 au niveau 13 et ainsi de suite jusqu'à l'intervalle 28 à 255 qui correspond au niveau 0. La qualité des documents produits ici est bien supérieure à celle des images précédentes. Elle est comparable et parfois même supérieure à la qualité d'images photographiques.

Les figures 32 à 35 montrent les images des 4 voies, obtenues à partir des données au carré et par quantification en intervalles inégaux. La qualité de ces images se compare à celle des images réalisées à partir des données réelles et certains traits sont plus prononcés que d'autres. Toutefois, en quantification en intervalles inégaux, il ne devrait pas exister une grande différence entre les données réelles et les données au carré. Il n'en existe qu'en quantification en intervalles égaux.

Comme ces deux formes de quantification ne sont basées que sur les histogrammes combinés des zones de banquise, celles-ci seront plus prononcées que les autres, surtout dans les images produites par quantification en intervalles inégaux. Il est difficile d'évaluer la qualité de l'image que l'on obtiendrait en considérant l'histogramme combiné de l'image entière par la méthode de quantification en intervalles inégaux.

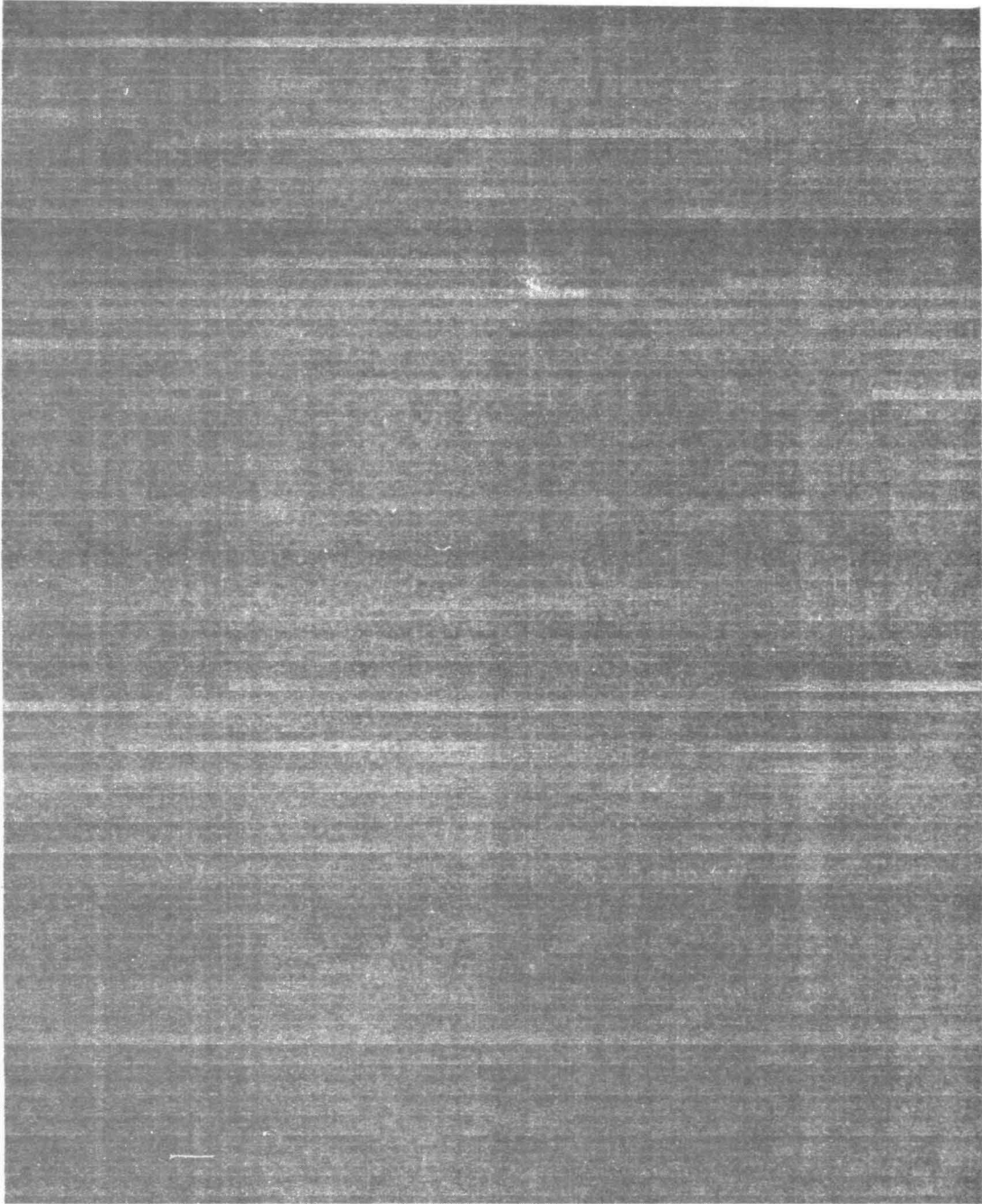
L'examen de l'histogramme réalisé révèle clairement que la plupart des points de données ou valeurs d'intensité pour chaque secteur se trouvent dans une étroite bande. Cela est particulièrement vrai pour les données de la bande X car la courbe de distribution correspondante produit un sommet étroit par rapport à celle des données de la bande L. Il s'agit de subdiviser cette étroite bande de valeurs et de lui attribuer les niveaux de gris



151413121110 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
12 23 35 46 58 69 81 92104115127138150161173255
1 1 2048 1 1530 1
IPL 428 FILE 2 FLIGHT 3-13-77 PASS 3 X-BAND HV ICEBERG 2306X1630 1.5M/PIX SORT 1

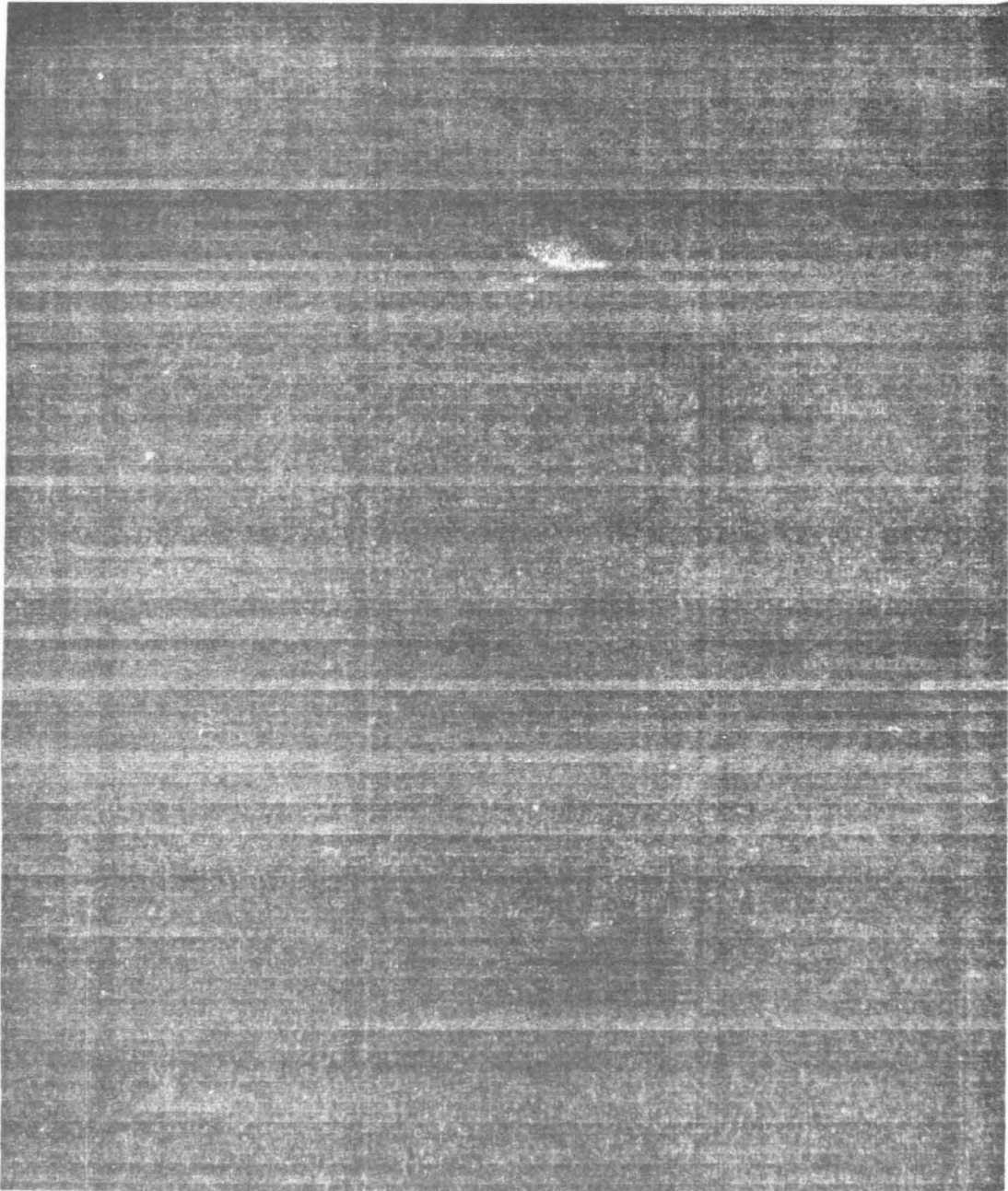
FIGURE 20

VOIE 1 - DISTRIBUTION LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS
(DONNÉES RÉELLES)



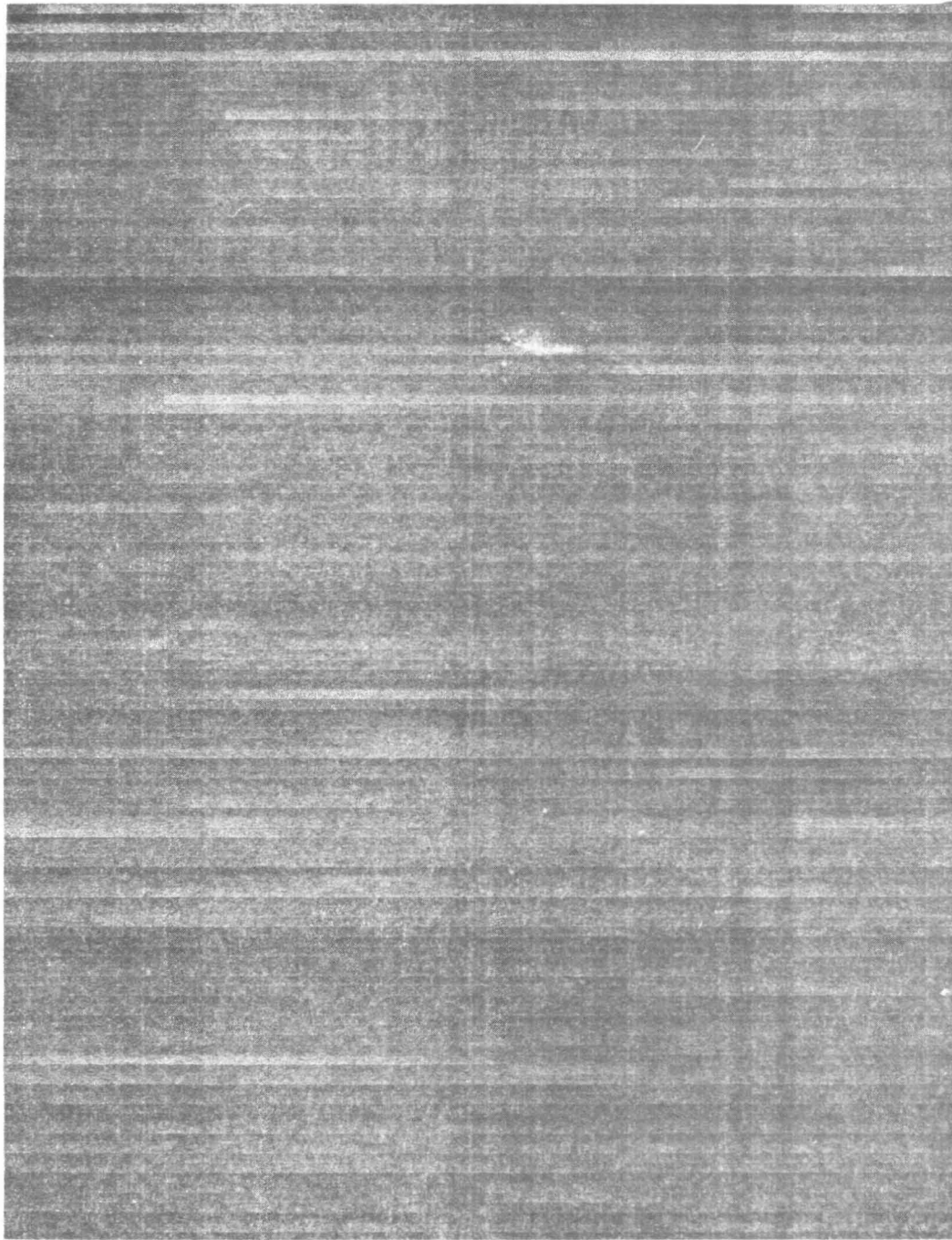
151413121110 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
7 13 20 26 33 39 46 52 59 65 72 78 85 91 98255
2 1 2048 1 1630 1
IPL 428 FILE 3 FLIGHT 3-13-77 PASS 3 X-BAND HH ICEBERG 2306X1630 1.5M/PIX SQRT 1

FIGURE 21 VOIE 2 - DISTRIBUTION LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS
(DONNÉES RÉELLES)



151413121110 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
15 31 47 63 79 95111127143159175191207223239255
3 1 2048 1 1530 1
IPL 414 FILE 1 FLIGHT 3-13-77 PASS 3 L-BAND HV ICEBERG 2306X1630 1.5M/PIX SQRT 9

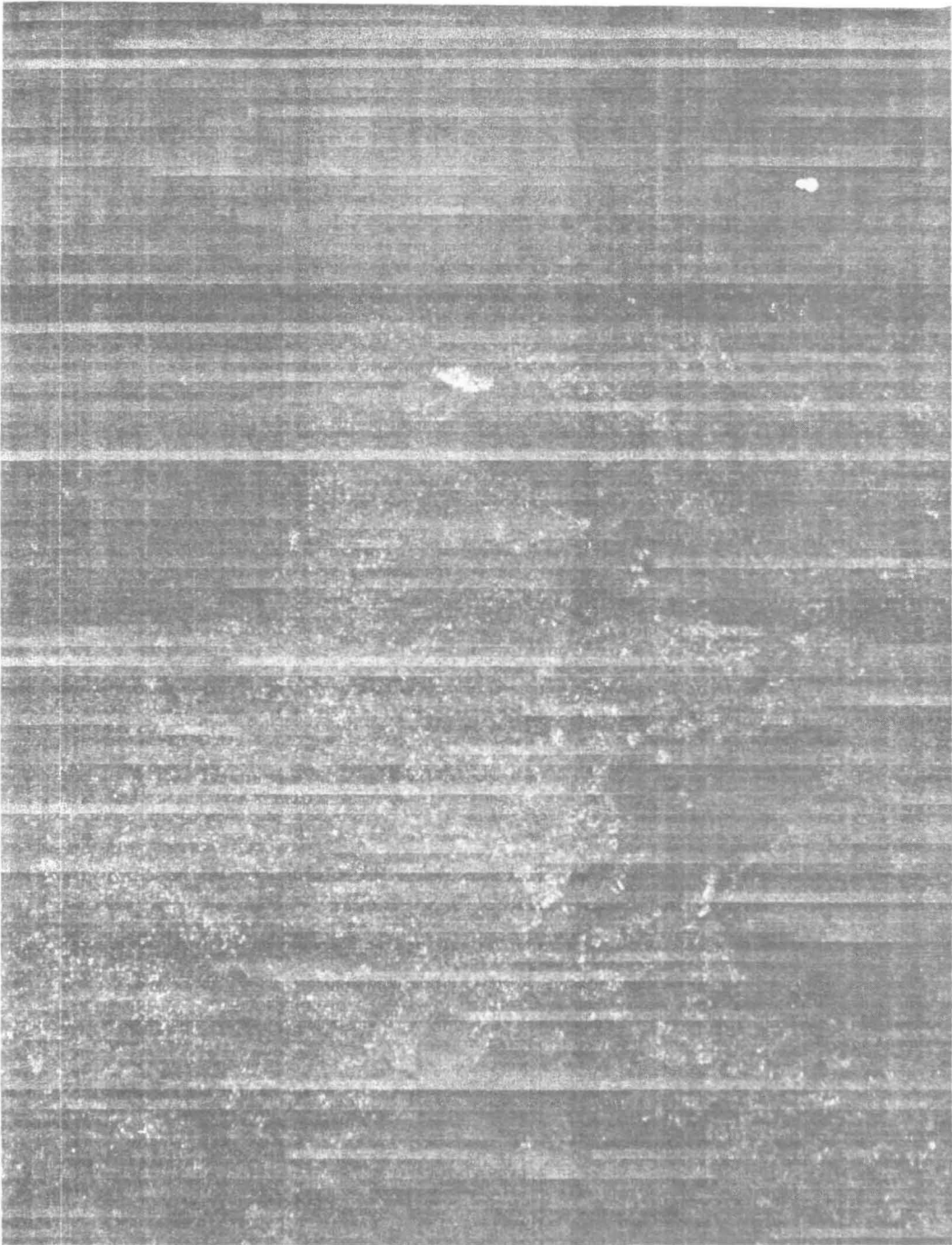
FIGURE 22 VOIE 3 - DISTRIBUTION LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS
(DONNÉES RÉELLES)



15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
 12 25 38 51 64 77 90 103 116 129 142 155 168 181 194 255
 4 1 2048 1 1530 1
 IPL 414 FILE 2 FLIGHT 3-13-77 PASS 3 L-BAND HH ICEBERG 2306X1630 1.5M/PIX SQRT 9

FIGURE 23

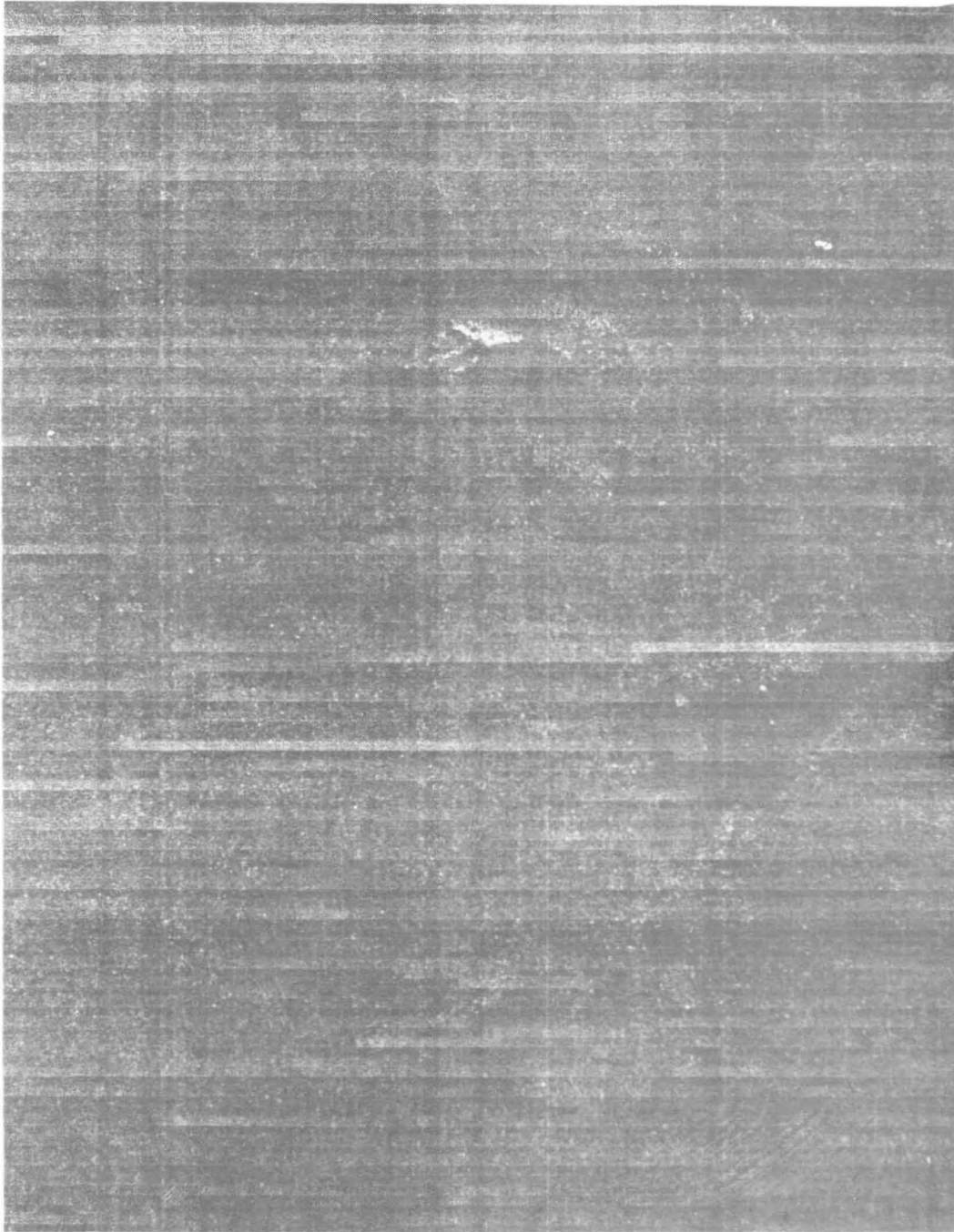
VOIE 4 - DISTRIBUTION LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS
 (DONNÉES RÉELLES)



151413121110 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
15 22 27 32 35 39 42 45 48 53 55 58 60 62255
IPL 428 FILE 2 FLIGHT 3-13-77 PASS 3 X-BAND HV ICEBERG 2306X1630 1.5M/PIX SQRT 1

FIGURE 24

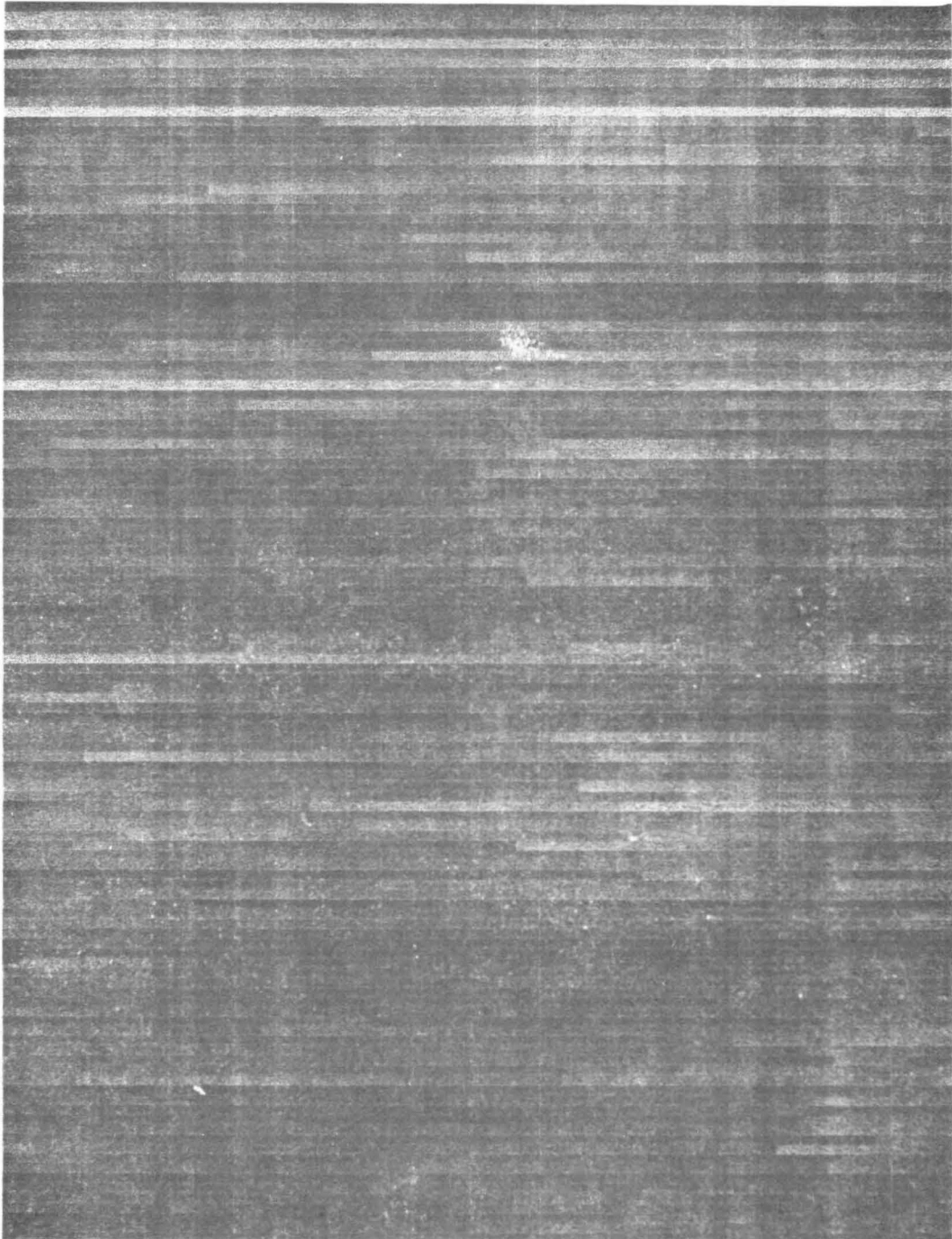
VOIE 1 - DISTRIBUTION LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS
(DONNÉES AU CARRÉ)



151413121110 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
12 16 19 22 24 26 28 30 32 33 35 36 38 39 41255
2 1 2048 1 1530 1
IPL 428 FILE 3 FLIGHT 3-13-77 PASS 3 X-BAND HH ICEBERG 2306X1630 1.5M/PIX SQRT 1

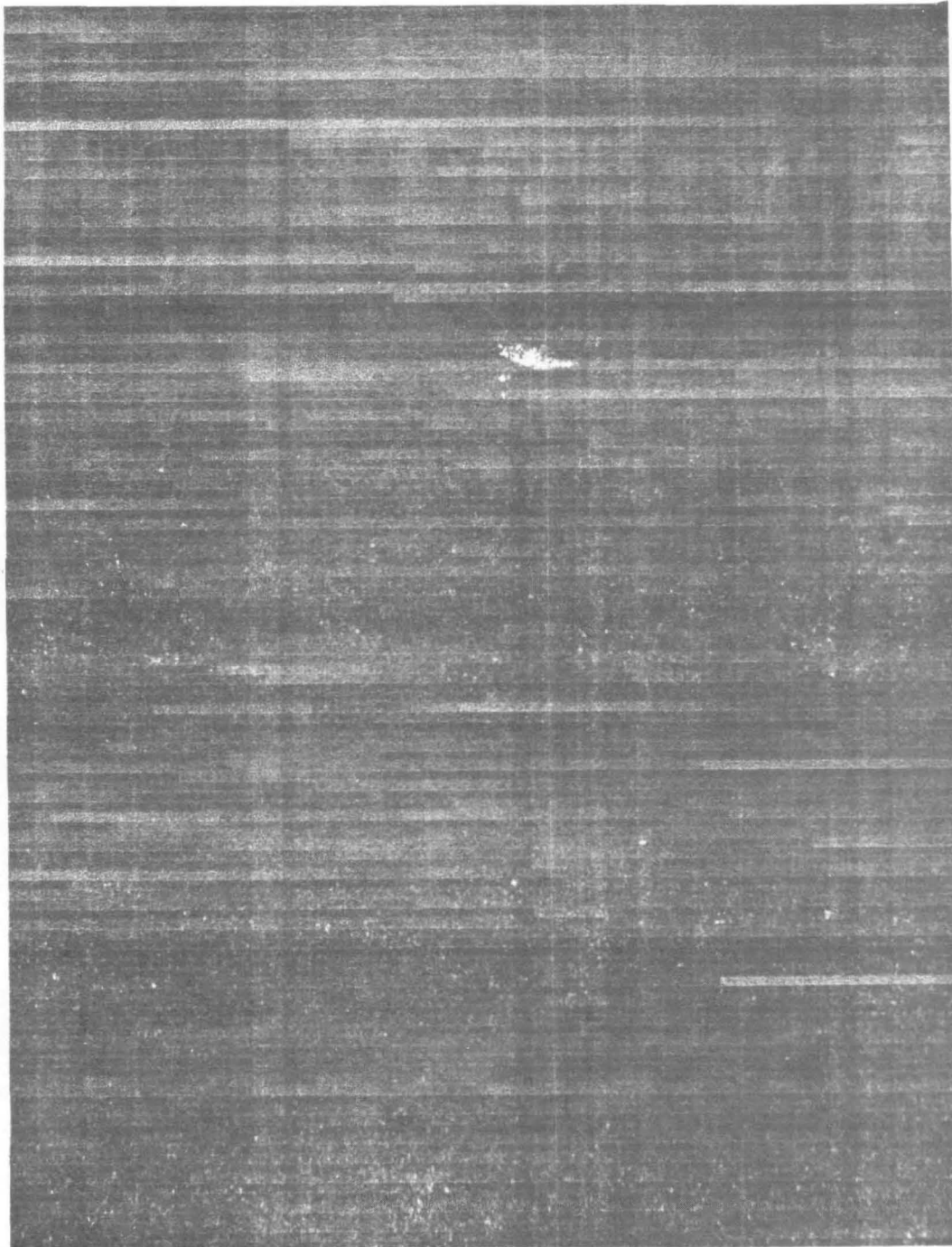
FIGURE 25

VOIE 2 - DISTRIBUTION LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS
(DONNÉES AU CARRÉ)



151413121110 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
23 36 42 47 52 57 61 64 68 71 75 78 81 84 86255
3 1 2048 1 1530 1
IPL 414 FILE 1 FLIGHT 3-13-77 PASS 3 L-BAND HV ICEBERG 2306X1630 1.5M/PIX SQRT 9

FIGURE 26 VOIE 3 - DISTRIBUTION LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS
(DONNÉES AU CARRÉ)



151413121110 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
30 38 44 50 55 60 64 68 72 75 79 82 88 91255
4 1 2048 1 1530 1
IPL 414 FILE 2 FLIGHT 3-13-77 PASS 3 L-BAND HH ICEBERG 2306X1630 1.5M/PIX SQRT 9

FIGURE 27 VOIE 4 - DISTRIBUTION LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS
(DONNÉES AU CARRÉ)



151413121110 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
 9 11 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 24 26 28255
 1 1 2048 1 1530 1
 IPL 428 FILE 2 FLIGHT 3-13-77 PASS 3 X-BAND HV ICEBERG 2306X1630 1.5MPIX SQRT 1

FIGURE 28

VOIE 1 - DISTRIBUTION NON LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS
 (DONNÉES RÉELLES)



151413121110 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 255
 2 1 2048 1 1530 1
 IPL 428 FILE 3 FLIGHT 3-13-77 PASS 3 X-BAND HH ICEBERG 2306X1630 1.5M/PIX SORT

FIGURE 29 VOIE 2 - DISTRIBUTION NON LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES RÉELLES)



151413121110 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
13 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 28 30255
3 1 2048 1 1530 1
IPL 414 FILE 1 FLIGHT 3-13-77 PASS 3 L-BAND HV ICEBERG 2306X1630 1.5M/PIX SQRT 9

FIGURE 30 VOIE 3 - DISTRIBUTION NON LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS
(DONNÉES RÉELLES)



151413121110 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
15 17 19 21 23 24 25 26 27 28 29 30 31 33 35255
4 1 2048 1 1530 1
IPL 414 FILE 2 FLIGHT 3-13-77 PASS 3 L-BAND HH ICEBERG 2306X1630 1.5M/PIX SQRT 9

FIGURE 31 VOIE 4 - DISTRIBUTION NON LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS
(DONNÉES RÉELLES)



15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
 9 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 24 26 28
 1 1 2048 1 1530 1
 IPL 428 FILE 2 FLIGHT 3-13-77 PASS 3 X-BAND HV ICEBERG 2306X1630 1.5M/PIX SQRT 1

FIGURE 32

VOIE 1 - DISTRIBUTION NON LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS
 (DONNÉES AU CARRÉ)



15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	19	255	
2	1	2048		1	1530		1									

IPL 428 FILE 3 FLIGHT 3-13-77 PASS X-BAND HH ICEBERG 2306X1630 1.5M/PIX SQRT 1

FIGURE 33 VOIE 2 - DISTRIBUTION NON LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES AU CARRÉ)



15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
 13 15 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 30 255
 3 1 2048 1 1530 1
 IPL 414 FILE 1 FLIGHT 3-13-77 PASS L-BAND HV ICEBERG 2306X1630 1.5M/PIX SQRT 9

FIGURE 34

VOIE 3 - DISTRIBUTION NON LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS
 (DONNÉES AU CARRÉ)



15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
 15 17 19 20 21 22 23 24 25 26 28 30 31 33 35 255
 4 1 2048 1 1530 1
 IPL 414 FILE 2 FLIGHT 3-13-77 PASS 3 L-BAND HH ICEBERG 2306X1630 1.5M/PIX SQRT 9

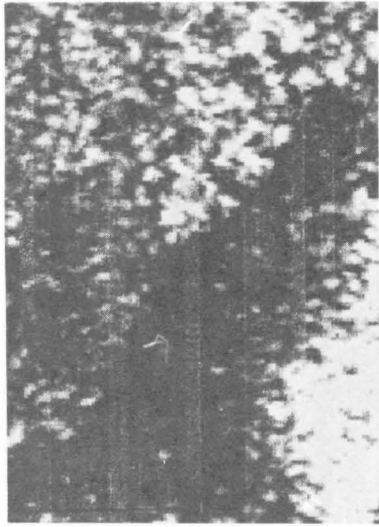
FIGURE 35 VOIE 4 - DISTRIBUTION NON LINÉAIRE DANS LA GAMME DE GRIS (DONNÉES AU CARRÉ)

appropriés par quantification en densités égales afin d'augmenter le contraste entre les divers éléments topographiques.

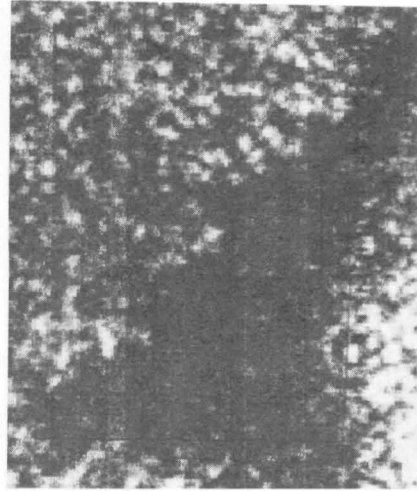
3.2.6 Rapports signal-bruit. Les rapports signal-bruit ou parasites-bruit ont été établis en calculant la moyenne des valeurs de différentes zones présentées dans le tableau I. Le niveau de bruit correspondait à la valeur moyenne obtenue pour la zone d'ombre. Le rapport parasites-bruit (en dB) des diverses zones est indiqué dans le tableau III tandis que le rapport iceberg-parasites figure dans le tableau IV. Il convient de souligner que ces valeurs ne sont pas normalisées, ni par rapport aux variations angulaires ni en fonction des effets du diagramme de rayonnement de l'antenne. Toutefois, elles donnent une certaine mesure du contraste quantitatif entre diverses zones.

Pour les voies de la bande X, le rapport est en général plus élevé que pour celles de la bande L; la différence entre les deux peut atteindre 6 dB dans le cas de l'iceberg. Les rapports des zones de banquise (type 3) ont été établis à partir de la moyenne des valeurs relatives aux cinq zones indiquées à la figure 10. Le rapport parasites-bruit est négatif dans certaines "zones d'eau libre" et de -5,466 dB pour les valeurs obtenues en bande X et en polarisation HH. Le rapport de contraste minimal observable à l'oeil nu a été établi à 1,5 dB (Larson et al, 1978). Ce rapport peut être défini comme le rapport des signaux parasites-bruit au bruit seul. Par conséquent, le rapport parasites-bruit minimal détectable est de -3,9 dB, ce qui signifie qu'il est possible de détecter un niveau de signaux parasites inférieur au niveau de bruit.

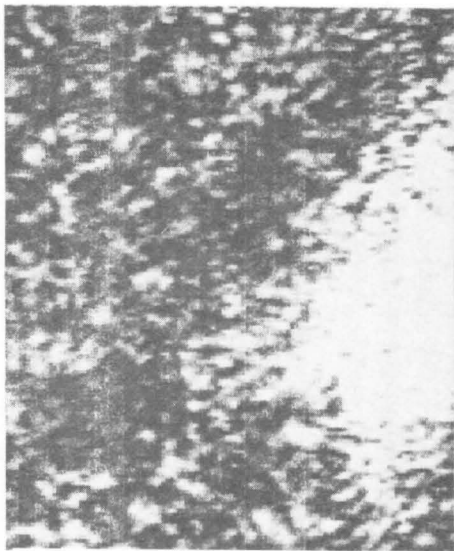
Les valeurs apparaissant aux tableaux III et IV peuvent atteindre 5 dB de moins que celles présentées par Larson et al (1978) à partir des mêmes données. Cette différence peut être attribuée aux difficultés rencontrées dans la détection et la détermination précise de la zone d'ombre et de l'iceberg sur l'image radar et sur la bande magnétique correspondante. La nature du problème est illustrée par l'image dans la gamme de gris de la zone d'ombre représentée à une échelle agrandie à la figure 36. Chaque pixel est reproduit 5 fois pour donner une image agrandie de la zone d'ombre et de l'iceberg. Il ressort clairement de l'examen de ces images qu'il est difficile d'établir la limite entre l'iceberg et la zone d'ombre avec grande précision, surtout dans le cas des signaux captés en bande L. Le calcul d'une moyenne à partir d'autres zones engendrera des valeurs d'intensité moyenne différentes pour la zone d'ombre et l'iceberg, faussant ainsi les résultats. En calculant la moyenne des valeurs correspondant à la zone d'ombre et à l'iceberg, on a pris soin de ne pas tenir compte des points situés aux limites. Les valeurs obtenues ont servi à établir les tableaux III et IV. Toutefois, si l'on élimine un plus



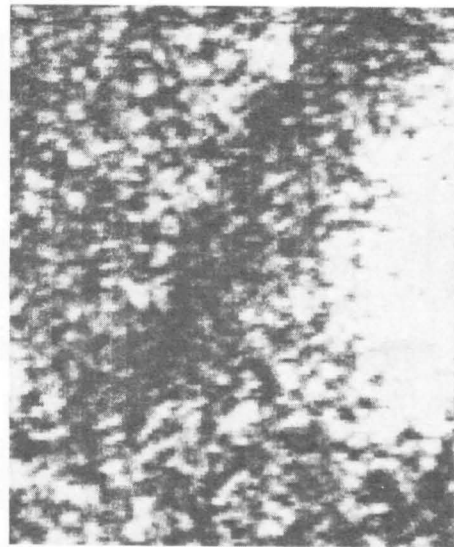
X-HV



X-HH



L-HV



L-HH

FIGURE 36 ZONES D'OMBRE ENREGISTRÉES DANS LES QUATRE VOIES

grand nombre de points aux limites, la moyenne porte sur des zones denses et des valeurs différentes sont obtenues (tableaux V et VI). Ainsi, les tableaux III et IV et les tableaux V et VI représentent probablement les extrêmes les moins acceptables et les plus valables respectivement. L'iceberg entraîne une augmentation du rapport parasites-bruit pouvant atteindre 9 dB dans les deux cas.

TABLEAU III RAPPORT PARASITES-BRUIT (dB)

Type de glace	Voie 1 Bande X-HV	Voie 2 Bande X-HH	Voie 3 Bande L-HV	Voie 4 Bande L-HH
Iceberg	16,28	12,801	10,108	10,658
1 ^{ère} zone d'eau libre	2,264	-0,016	-0,022	-0,767
2 ^e zone d'eau libre	3,560	-0,632	-2,117	-4,108
3 ^e zone d'eau libre	-0,265	-5,466	-1,710	-0,741
Banquise - Type 1	6,271	4,077	1,636	2,981
- Type 2	8,546	4,650	0,129	-2,035
- Type 3 (Moy.)	9,413	4,457	1,413	2,456

TABLEAU IV RAPPORT ICEBERG-PARASITES (dB)

Type de glace	Voie 1 Bande X-HV	Voie 2 Bande X-HH	Voie 3 Bande L-HV	Voie 4 Bande L-HH
1 ^{ère} zone d'eau libre	14,016	14,405	12,356	11,424
2 ^e zone d'eau libre	12,72	13,433	12,225	14,766
3 ^e zone d'eau libre	16,546	18,267	11,818	11,399
Banquise - Type 1	10,01	8,724	8,472	7,677
- Type 2	7,734	8,151	9,979	12,692
- Type 3 (Moy,)	6,868	1,354	8,696	8,215

* Les données de la zone d'ombre ont servi à représenter le bruit.

TABLEAU V RAPPORT PARASITES-BRUIT (dB) DANS LES RÉGIONS DENSES

Type de glace	Voie 1 Bande X-HV	Voie 2 Bande X-HH	Voie 3 Bande L-HV	Voie 4 Bande L-HH
Iceberg	21,352	18,351	15,516	16,600
1 ^{ère} zone d'eau libre	3,696	-0,854	1,336	3,331
2 ^e zone d'eau libre	4,992	0,118	1,467	-0,010
3 ^e zone d'eau libre	1,166	-4,716	1,874	3,356
Banquise - Type 1	7,702	7,702	5,220	7,079
- Type 2	9,978	9,978	3,714	2,063
- Type 3 (Moy.)	10,844	10,844	4,997	6,540

TABLEAU VI RAPPORT ICEBERG-PARASITES (dB) DANS LES RÉGIONS DENSES

Type de glace	Voie 1 Bande X-HV	Voie 2 Bande X-HH	Voie 3 Bande L-HV	Voie 4 Bande L-HH
1 ^{ère} zone d'eau libre	17,656	19,205	14,180	13,269
2 ^e zone d'eau libre	16,360	18,233	14,049	16,610
3 ^e zone d'eau libre	20,186	23,067	13,642	13,244
Banquise - Type 1	13,650	13,524	10,296	9,521
- Type 2	11,374	12,951	11,802	14,537
- Type 3 (Moy.)	10,508	13,144	10,519	10,060



FIGURE 37 PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE DE LA ZONE DE L'ICEBERG

4 ANALYSE DES RÉSULTATS

Les résultats présentés ci-dessus sont analysés ici en fonction de leur pertinence et de leur utilisation possible pour la détection des nappes d'hydrocarbures en milieu glacial par radar à ouverture synthétique et en vue également de réduire le risque de fausses alertes. À partir des renseignements très limités que nous possédons, il semble que l'état des glaces varie grandement dans la mer du Labrador en raison des conditions atmosphériques dominantes et du puissant courant du Labrador en direction sud. Par conséquent, de vastes bancs de glace se forment continuellement, se sectionnent en petits glaçons de 2 m à 9 m de diamètre puis se reforment. LeDrew et Gustajtis (1978) tentent de prévoir le comportement des nappes d'hydrocarbures répandues dans de telles conditions à la suite de l'éruption d'un puits. Les données SAR disponibles démontrant que les images résultant de l'utilisation combinée des bandes L et X sont plus révélatrices que celles prises dans une seule voie. L'intensité des signaux réfléchis par chaque zone envahie par les glaces est confinée à une étroite bande, et la courbe de distribution est plus étroite en bande X qu'en bande L. Comme l'indiquent d'autres chercheurs, la gamme dynamique des signaux radar réfléchis par la glace est d'environ 30 dB à 35 dB, mais seulement une partie de cette gamme, environ 24 dB, peut être captée sur film photographique. Il est donc souhaitable de digitaliser les niveaux de gris accessibles à partir du plan image du processeur de manière à retenir la plus grande partie possible de la gamme dynamique pour la phase ultérieure de l'imagerie des données numériques.

L'examen des données SAR disponibles et des recherches déjà faites révèle qu'en général les signaux réfléchis par l'eau libre et la glace nouvelle sont confinés à la partie inférieure de la gamme dynamique tandis que ceux qui sont réfléchis par la glace plus vieille et plus épaisse se trouvent dans la partie supérieure. Comme l'indique le rapport parasites-bruit, les échos provenant des "zones d'eau libre" ou des couches de glace minces - où il est probable qu'une nappe d'hydrocarbure soit d'abord détectée - peuvent être au-dessous du niveau de bruit. La présence d'hydrocarbures à la surface de l'eau, dans les chenaux, etc., amortira l'effet des ondes capillaires produites par les vents dominants, entraînant ainsi un contraste entre les régions polluées et les régions non polluées. L'intensité de ce contraste et sa détectabilité sont fonction, entre autres choses, de la vitesse des vents dominants, la température, ainsi que l'étendue et l'orientation de la région. Les régions non polluées constituent des surfaces plus réfléchissantes que les régions polluées. Ainsi, lorsque le signal réfléchi par la région non

polluée est difficile à distinguer, l'écho provenant de la région polluée le sera encore davantage. Il semble que pour augmenter la détectabilité des nappes d'hydrocarbures dans les chenaux d'eau libre ou dans les zones où la couche de glace est mince, des réglages de gain devraient être effectués de manière que les échos apparaissent au milieu de la gamme dynamique. Il en résultera sans doute une saturation des signaux réfléchis par les couches de glace plus épaisses, mais la détectabilité du pétrole en sera augmentée et le risque de fausses alertes sera conséquemment diminué.

Les résultats obtenus indiquent que les histogrammes des données radar numériques fournissent des renseignements appréciables qui peuvent être mis à profit pour accentuer les principaux traits de la région traitée. Un simple enregistreur graphique peu coûteux peut servir à produire des images en niveaux de gris. La gamme des intensités désirée peut être obtenue plus efficacement par quantification en densités égales que par quantification en intervalles égaux. La partie inférieure de la gamme dynamique peut être favorisée au détriment de la partie supérieure et vice versa. Il est donc possible, à partir de l'image originale, de réaliser différentes images en niveaux de gris correspondant à différentes parties de la gamme dynamique accessible.

Si la houle est visible dans l'image, le traitement devrait être effectué de manière à détecter les ondes dans les "zones d'eau libre", s'il y en a. À la lumière des données limitées dont nous disposons, il apparaît que lorsque le traitement est effectué pour détecter les ondes dans la glace, les ondes correspondantes dans les zones d'eau libre disparaissent, probablement parce que la célérité de ces ondes varie d'un milieu à l'autre.

BIBLIOGRAPHIE

1. Bates, H.F., "Long Period Gravity Waves in Ice Covered Sea: Small Losses". Journal of Geophysical Research, Vol. 80, 22 pp., 1978.
2. Bates, H.F. et L.H. Shapiro. "Long Period Gravity Waves in Ice Covered Sea: No Losses". Journal of Geophysical Research, Vol. 80), 31 pp., 1978.
3. C-CORE. "Investigation of the Use of Microwave Systems - Detecting and Monitoring Oil Slicks over Ice and Ice Infested Waters", C-CORE Publication No. 78-18, St. Jean, Terre-Neuve, 1978.
4. Dawe, B.R. et S.K. Parashar, "SAR Imaging of Waves on Ice", C-CORE Publication No. 78-8, St. Jean, Terre-Neuve, 14 pp., juillet 1978.
5. Elachi, C. et W.E. Brown, Jr., "Models of Radar Imagery of the Ocean Surface Waves", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-25, No. 1, pp. 84-94, janv. 1977.
6. Larson, R., C. Liskow, R. Rawson, R. Shuchman, et R. Smith, "Areas Imaged During Project SAR '77 Using the ERIM Four Channel Radar". Project SAR '77 Field Data Report E1, 59 pp., C-CORE Publication No. 77-30, juin 1977.
7. LeDrew, B.R. et K.A. Gustajtis, editors, "An Oil Spill Scenario for the Labrador Sea," C-CORE Publication No. 78-2, St. Jean, Terre-Neuve, 796 pp., mars 1978.
8. Moore, R.K., "SLAR Image Interpretability - Trade-Offs Between Picture Element Dimensions and Non-coherent Averaging", University of Kansas, Center for Research, Inc., Remote Sensing Laboratory, RSL Technical Report 287-2, 44 pp., janvier 1976.
9. Parashar, S.K., "Investigation of Radar Discrimination of Sea Ice", (Ph.D Dissertation), University of Kansas, Center for Research Inc., CRES Technical Report 185-13, 1974.
10. Parashar, S.K., B.R. Dawe, et R.D. Worsfold, "Investigation of the Use of Microwave Systems - Detecting and Monitoring Oil Slicks Over Ice and Ice-Infested Waters", C-CORE Publication No. 78-18, St. Jean, Terre-Neuve, 1978.
11. Parashar, S.K., B.R. Dawe, et R.D. Worsfold, "Detection and Monitoring of Oil Pollution in the Ice Environment through Microwave Techniques", C-CORE Publication No. 78-12, St. Jean, Terre-Neuve, 19 pp., août 1978. Proceedings 5th Canadian Symposium on Remote Sensing, Victoria, C.-B., octobre 1978a.
12. Parashar, S.K., C. Roche, D. Strong, et R.D. Worsfold, "Preliminary Investigation of Sea Ice SAR Data Recorded Over Hopedale, Labrador, During Project SAR '77", C-CORE Publication No. 78-14, St. Jean, Terre Neuve, 16 pp., oct. 1977. Proceedings 5th Canadian Symposium on Remote Sensing, Victoria, C.-B., octobre 1978b.

13. Raney, R.K. et R.T. Lowry, "Ocean Wave Imagery and Wave Spectra Distortions by Synthetic Aperture Radar", Proc. Twelfth International Symp. on Remote Sensing of Environment, Manila, Philippines, 20-26 avril 1978.
14. Rawson, R., A. Liskow, A. Kloster, et R. Hamilton, "Final Report, Digitizing of SAR '77 Images Data", Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 68 pp., oct. 1978.
15. Shuchman, R.A., R.F. Rawson, et E.S. Kasischke, "Analysis of Synthetic Aperture Radar Ocean Wave Data Collected to Marineland and Georges Bank", Final Report to NOAA on Contract 04-6-158-44078, avril 1977.
16. Winsor, W.D. et B.R. LeDrew, "Ice Feature Characterization - Labrador Offshore", Field Data Report E14, C-CORE Publication No. 78-4, St. Jean, Terre Neuve, 58 pp., mai 1978.
17. Worsfold, R.D., D. Strong, et W. Wedler, "Project SAR '77", Fourth International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions, 26-30 sept. 1977, Université Memorial de Terre-Neuve, St. Jean, Terre Neuve, 1977.