

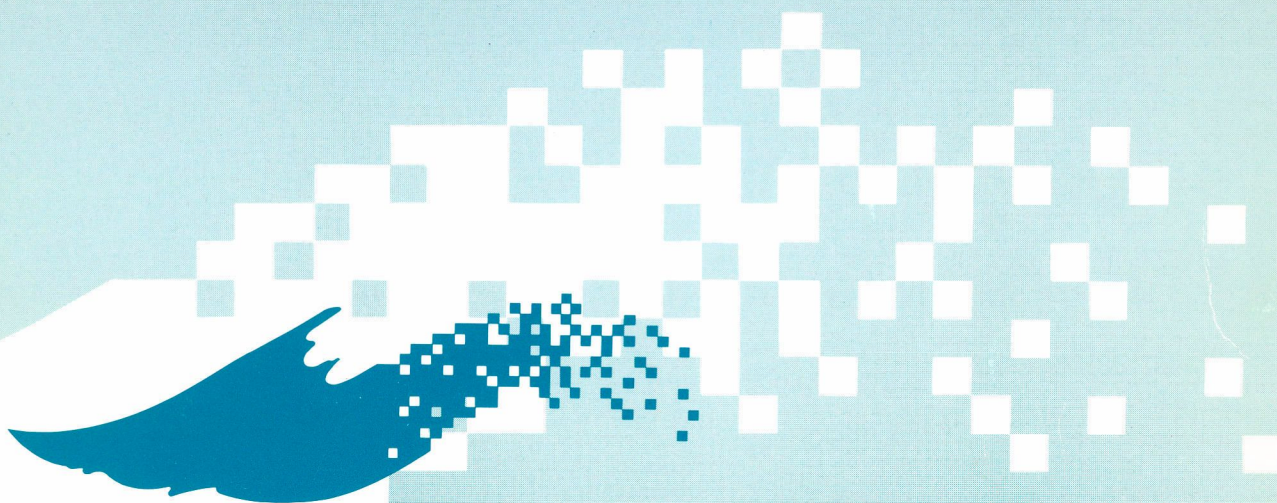
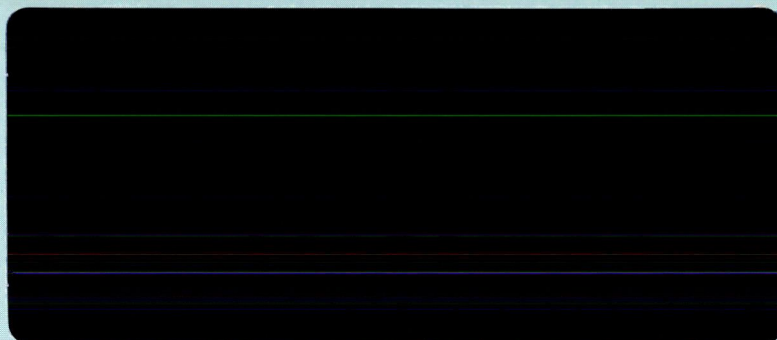


Environnement
Canada

Environment
Canada

Conservation et
Protection

Conservation and
Protection



PLAN D'ACTION SAINT-LAURENT ST. LAWRENCE ACTION PLAN

CENTRE SAINT-LAURENT
ST. LAWRENCE CENTRE

240838

SC40040I
F67c



CSL 836

CARTOGRAPHIE DES MACROPHYTES
par relevés d'échosondage et
estimation de la biomasse

RAPPORT INTERMEDIAIRE

RAPPORT INTERIMAIRE

CARTOGRAPHIE DES MACROPHYTES
PAR RELEVES D'ECHOSONDAGE
ET
ESTIMATION DE LA BIOMASSE,
Lac St-Pierre, 1990..'

par
Guy R. Fortin
Centre Saint-Laurent

novembre 1990

TABLE DES MATIERES

	page
1.1 INTRODUCTION	1
1.1 Cadre de l'étude	1
1.2 Objectifs	2
1.3 Motif du rapport intérimaire	2
2.0 METHODOLOGIE	3
2.1 Positionnement et Navigation	3
2.2 Echosondage	5
3.0 RESULTATS ET DISCUSSION	8
3.1 Restitution du plan de sondage	8
3.2 Distribution des macrophytes	9
3.3 Estimation de la biomase	13
4.0 CONCLUSIONS	18
5.0 RECOMMANDATIONS	20
6.0 REFERENCES	22

1.1 INTRODUCTION

1.1 Cadre de l'étude

La reconnaissance des macrophytes immergés à partir de relevés d'échosondage au Lac Saint-Pierre s'inscrit dans le cadre plus global du Plan d'action Saint-Laurent (PSL) qui vise à protéger, conserver et dépolluer le tronçon québécois du fleuve Saint-Laurent. Cette étude est une initiative de la direction Apports toxiques et Ecosystèmes du Centre Saint-Laurent (Montréal) et elle se greffe plus précisément au bilan massique des contaminants identifiés dans le Lac Saint-Pierre.

Au départ, les sondages acoustiques furent proposés comme une alternative possible à la télédétection pour la reconnaissance des plantes aquatiques submergées. Cela suite à certaines incertitudes soulevées dans la communauté scientifique sur les chances de succès qu'offrait un levé aéroporté, au moyen du capteur MEIS-II, de percer les eaux profondes et parfois troubles du Lac Saint-Pierre.

Par la suite, une première analyse effectuée très tôt dans l'exploitation des résultats d'échosondage démontra que la réalisation d'un réseau de lignes de sondage devrait permettre, tout au moins, d'établir la distribution des herbiers aquatiques submergés.

1.2 Objectifs

L'étude vise essentiellement: (1) à établir la distribution des macrophytes immergés au Lac Saint-Pierre à partir de relevés d'échosondage, et (2) à estimer leur biomasse à partir du levé acoustique et de mesures ponctuelles de biomasse.

1.3 Motif du rapport intérimaire

En plus des mesures de biomasse qui sont nécessaires au bilan massique, la préparation de ce rapport intérimaire a été motivé par une demande croissante de renseignements sur les caractéristiques des macrophytes (distribution, densité, hauteur...), à des fins de développement de modèles numériques et d'évaluation de sites potentiels pour la construction d'îles à partir de dépôts de dragage. Le but de ce rapport est de permettre une certaine diffusion des résultats des sondages acoustiques au Lac Saint-Pierre et d'amorcer une discussion sur les méthodes d'évaluation de la biomasse végétale.

Un rapport final comparant les résultats d'échosondage à ceux de la télédétection sera préparé dès que les résultats finaux du levé aéroporté seront disponibles.

2.0 METHODOLOGIE

La principale activité de terrain consistait en premier lieu à réaliser des relevés d'échosondage le long d'un réseau de transects nord-sud couvrant une grande superficie du Lac Saint-Pierre, et ensuite à poursuivre les sondages acoustiques le long de traverses reliant un certain nombre de sites de prélèvement de plantes aquatiques. L'échantillonnage des herbiers a été effectué par une équipe de l'INRS-eau qui comprenait des plongeurs en scaphandre autonome (St-Cyr, 1990). Les lignes de sondage acoustique et les stations d'échantillonnage ont été positionnées au moyen d'appareils de radio-localisation dont la précision théorique est de l'ordre de $\pm 3\text{m}$.

2.1 Positionnement et Navigation

Un système de positionnement Mini-Ranger MRS-III (International Hydrographic Bureau, 1977) et un ordinateur de navigation Navbox (MacDonald, 1981) ont servi au positionnement et au pilotage du bateau le long des transects d'échosondage. Ces appareils permettent de positionner le bateau sur le quadrillage Universel Transverse Mercator (UTM), ou un quadrillage local selon le cas (ex. SCOPQ), de suivre un transect prédéterminé en affichant, sur un écran témoin à l'usage du pilote, diverses informations utiles à la navigation telles que la distance déviée par rapport à la course proposée, la distance à parcourir pour atteindre la fin du profil, la

vitesse du bateau, et d'imprimer et/ou de garder en mémoire des données de positionnement.

Deux antennes directionnelles ont été installées sur ou à proximité de repères géodésiques (Tableau 1) établis au centre de deux tours de navigation qui sont situées sur la rive nord du Lac St-Pierre. Ces tours sont localisées près de l'embouchure de la Rivière-du-Loup (station Amer Arnold, Figure 1) et près du ruisseau aux Glaises (station Pointe-du-Lac, Figure 1). L'installation des deux seules antennes disponibles à ces endroits a permis de positionner le bateau sur à peu près toute la superficie du lac sans avoir à déplacer les antennes.

TABLEAU 1. COORDONNEES DES STATIONS SUR LESQUELLES ONT ETE INSTALLEES LES ANTENNES FIXES DU MINI-RANGER.

<u>STATION</u>	<u>COORDONNEES</u>	<u>OBSERVATIONS</u>
Amer Arnold	N5120365.4 E660506.2	-antenne fixée à la patte Est sur le premier palier de la tour. -antenne déplacée 2m vers l'Est à partir du repère géodésique #7923035, carte #31I 02-200-0201.
Pointe-du-Lac	N5128725.4 E674852.7	-antenne installée au sommet de la tour à l'aplomb du repère géodésique #7723029, carte #31I 07-200-0102.

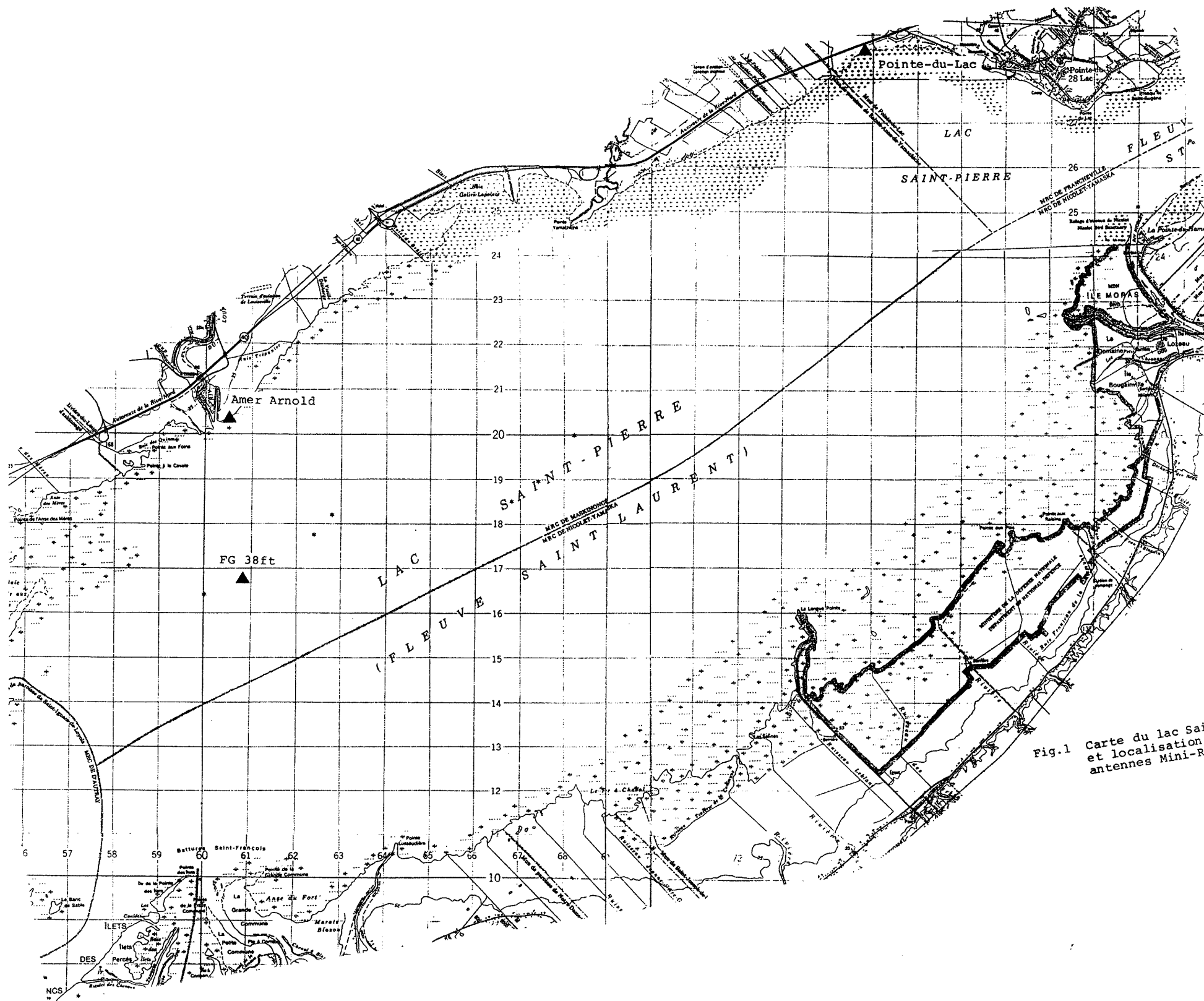


Fig.1 Carte du lac Saint-Pierre et localisation des antennes Mini-Ranger.

Un repère géodésique implanté sur le phare FG 38ft (Figure 1) a servi à la calibration du Mini-Ranger avant les sondages. Par la suite, ce point a été utilisé pour des vérifications quotidiennes du système de positionnement alors que l'antenne montée sur le mât du bateau était immobilisée aussi près que possible du point géodésique que le permettait la hauteur de la vague. Lors de ces fréquentes vérifications, la différence de latitude Nord (Northing) et de longitude Est (Easting) entre les coordonnées calculées par l'ordinateur de navigation et celles du repère géodésique était généralement inférieure à 7m. L'exactitude du positionnement a été vérifiée indirectement lors de sondages le long de deux lignes reliant les emplacements de prélèvement de macrophytes. En effet, le pilote a dû modifier la course du bateau afin d'éviter une petite bouée mouillée sur certains points de prélèvement dont les positions ont été obtenues à l'aide d'un autre système de positionnement, un appareil Mini-Ranger Falcon IV Navigator, qui recevait les signaux émis par le réseau d'antennes de la Garde Côtière Canadienne.

2.2 Echosondage

Le principe de l'écho-sondeur est basé sur l'émission d'une courte impulsion ultrasonore qui se réfléchit sur le fond du lac. L'écho reçu, après amplification, est enregistré en continu par un styler qui défile verticalement sur une bande de

papier, ou échogramme (Le Tirant, 1976). Dans certaines conditions, l'interaction entre le faisceau ultrasonore et les plantes aquatiques immergées produit des échos qui sont enregistrés entre la surface et le fond du lac.

Les relevés d'échosondage ont été réalisés au moyen d'un écho-sondeur de type Raytheon, modèle DE-719, émettant à une fréquence de 208 kHz avec une directivité de 8°. Le sabot du transducteur a été mis en oeuvre à partir d'un support provisoire monté sur le côté tribord du bateau et en l'immergeant légèrement (<30 cm). Une telle mise en oeuvre permet de débarasser le transducteur de la végétation qui s'y accroche fréquemment et de l'émerger rapidement lorsque la situation l'exige (végétation trop dense, vitesse élevée du bateau, eaux peu profondes, etc.).

Une vitesse de défilement du papier de 2 pouces (2.5 cm) par minute s'est avérée un compromis raisonnable entre une trop grande consommation de papier et une résolution horizontale acceptable. L'échelle verticale des échogrammes est de 0-16m (Figure 2), tandis que l'échelle horizontale varie en fonction de la vitesse du bateau (50-75m par 2.5 cm). Sur les échogrammes (Figure 2), on observe de haut en bas les différentes lignes suivantes: une bande noire (1) entre 0 et 0.3-0.4m correspondant à l'émission de l'onde ultrasonore; une série de traces verticales (2) correspondant aux divers échos réfléchis par les

plantes aquatiques; et une deuxième bande sombre (3) et parfois discontinue représentant les échos réfléchis par le fond du lac. Une succession de lignes verticales (4) espacées d'environ 5 cm et numérotées de 1 à 1983 correspondent aux "tops" de positionnement (fix marks) qui apparaissent à la fréquence d'un top par minute. Ces points de positionnement, dont les coordonnées ont été imprimées sur papier au moyen de l'ordinateur de navigation, ont servi à la préparation du plan des lignes de sondages.

Les sondages acoustiques ont été réalisés sur une distance d'environ 245 km entre le 25 août et le 6 septembre 1990 alors que la hauteur de la vague était généralement de faible amplitude, permettant ainsi l'enregistrement d'échogrammes de bonne qualité. Un total de 23 profils acoustiques (lignes No. 2E à 24E) couvrent une distance d'environ 205 km le long des lignes nord-sud du quadrillage UTM dont le maillage est d'un kilomètre. Des sondages ont été réalisés également sur une distance de 40 km le long de deux traverses qui sont orientées dans l'axe du lac (lignes No. 30E et 31E). Ces deux lignes de sondage permettent de caler l'interprétation des échogrammes sur un certain nombre de prélèvements de macrophytes qui ont été effectués par l'INRS-eau à plusieurs endroits dans le Lac St-Pierre.

RAYTHEON CO. MANCHESTER, N.H. U.S.A.

PRINTED IN U.S.A.

CHART 587630-1

DEPTH IN METERS

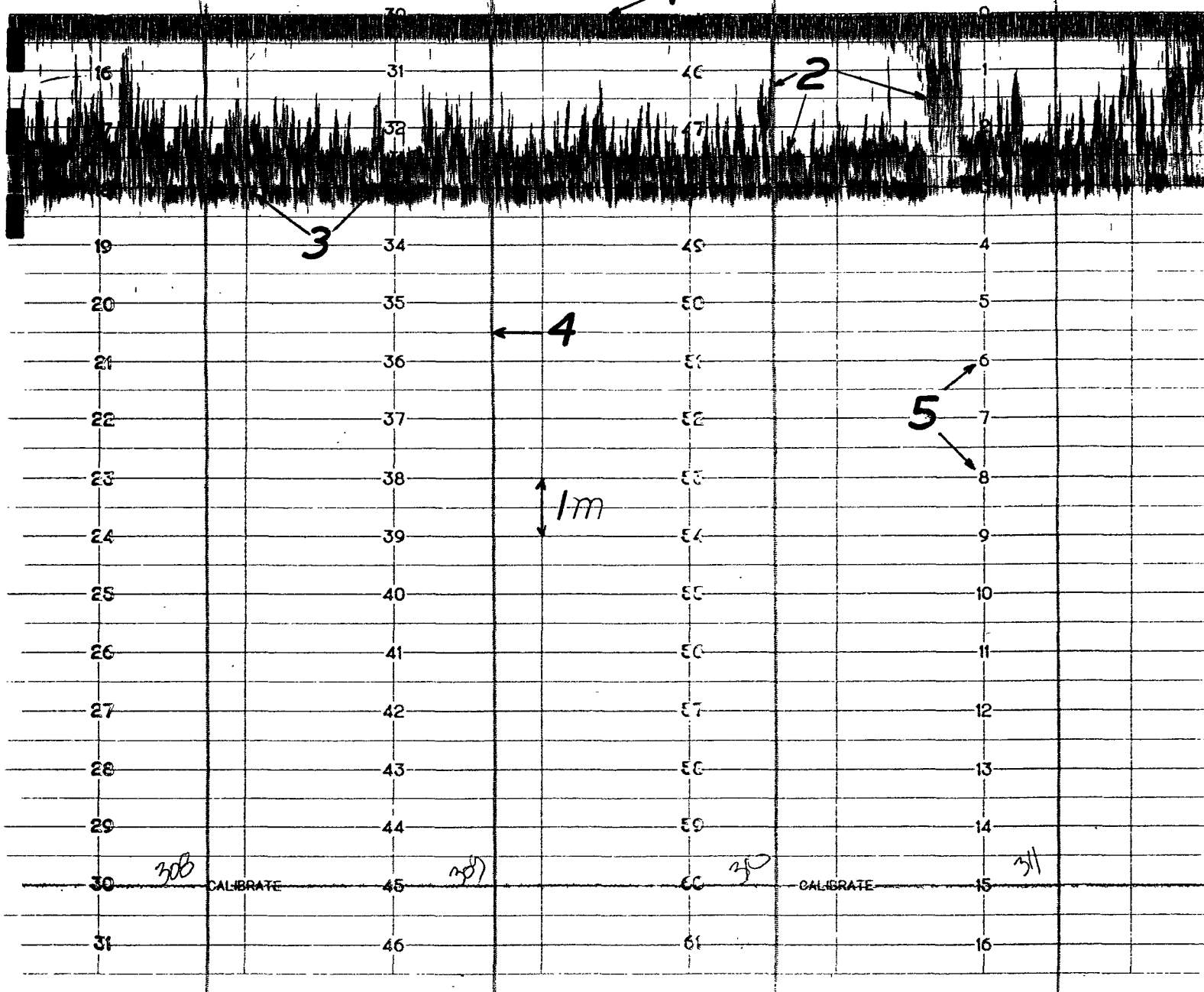


Figure 2 Segment d'un échogramme illustrant la bande d'émission (1) du faisceau ultrasonore (208 kHz), les échos réfléchis par les macrophytes (2), les échos réfléchis par le fond du lac (3), et les "tops" de positionnement (4). L'échelle verticale (5) est de 0 à 16m et l'échelle horizontale est d'environ 1:2650.

3.0 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Restitution du plan de sondage

L'étape préalable à l'analyse des échogrammes consiste à préparer un plan des lignes de sondage à partir des données brutes de navigation. Sur le terrain, l'imprimante de l'ordinateur de navigation était activée manuellement au début et à la fin de chaque ligne, puis se déclenchait automatiquement à chaque minute durant les sondages le long des transects. L'impression permettait d'enregistrer l'information suivante sur une petite bande de papier (Figure 3): le numéro du top de positionnement (1), l'heure (2), les distances entre l'antenne mobile et les deux antennes fixes, Amer Arnold (3) et Pointe-du-Lac (4) respectivement, les six derniers chiffres de la latitude Nord (5) et la longitude Est (6). Un top de positionnement était enregistré sur l'échogramme lorsque l'opérateur appuyait sur le bouton "Fix Mark" de l'écho-sondeur au moment du déclenchement de l'imprimante. De cette façon, 1983 tops furent enregistrés le long des 25 lignes de sondages.

De retour au bureau, la saisie des données de navigation consistait à préparer, à l'aide du logiciel Lotus 123, un fichier contenant l'information sur le numéro et les coordonnées UTM des 1983 tops de positionnement. Lors de la saisie des données, le logiciel graphique de Lotus a été utilisé pour générer à l'écran du micro-ordinateur les lignes de sondages, segment par segment, afin de repérer et de corriger

1771
132300
16177
2748
126091
675637
E03715
0
----- F F F F F F
1770
132200
16064
2787
126025
675541
E04460
0
----- F F F F F F
1769
132100
15944
2837
125950
675441
E05869
0
----- F F F F F F

Figure 3 Portion de la bande de papier de l'imprimante de l'ordinateur de navigation illustrant le numéro du "top" de positionnement (1) numéroté de 1 à 1983, l'heure locale (2), la distance en mètres entre l'antenne mobile et les antennes fixes, Amer Arnold (3) et Pointe-du-Lac (4), la latitude Nord (5) et la longitude Est (6) sur le quadrillage UTM.

les erreurs à l'entrée. Le fichier ainsi validé a servi, à l'aide d'un programme de cartographie et d'une table traçante, à la restitution des transects d'échosondage (voir Carte No.1).

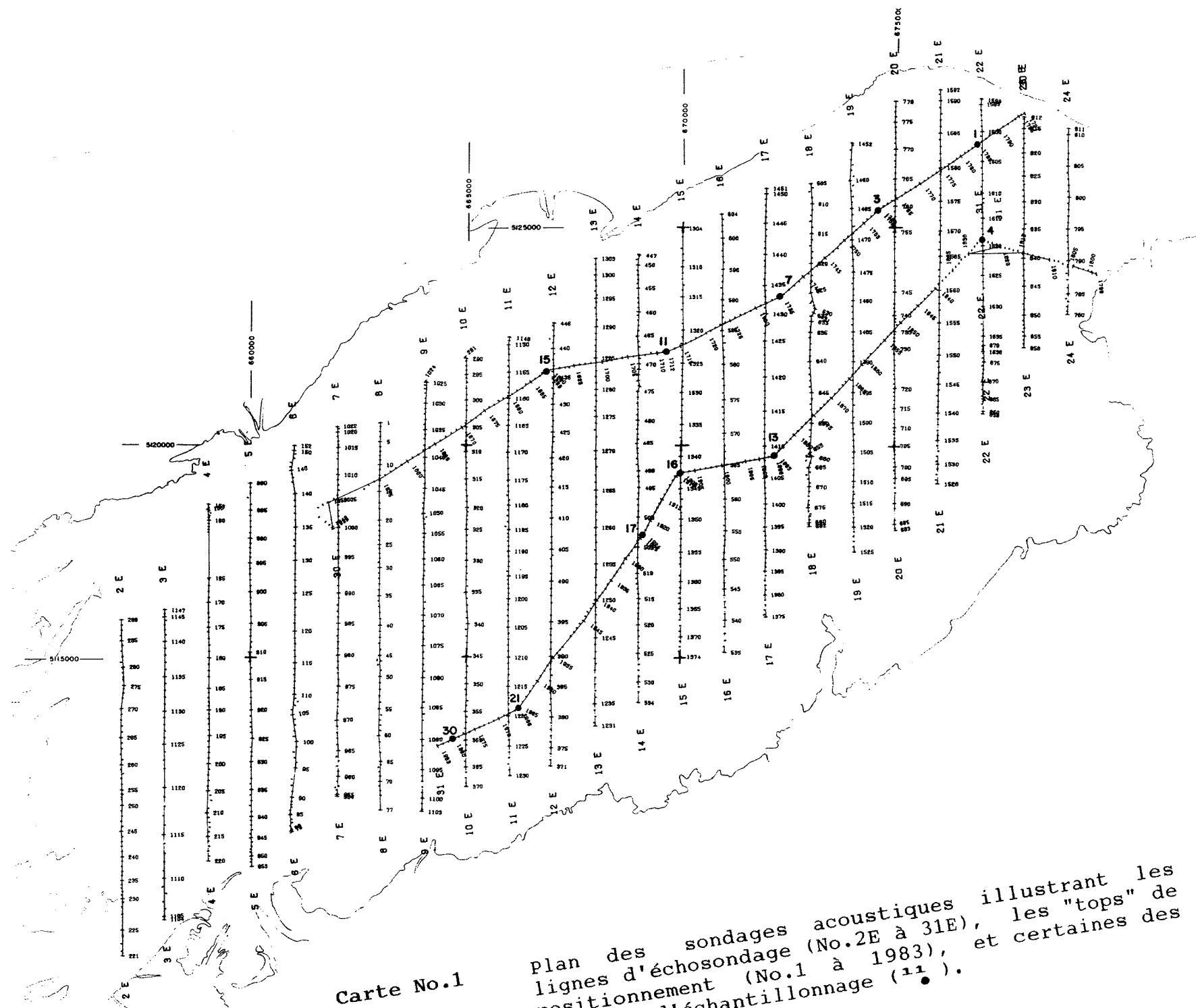
3.2 Distribution des macrophytes

La carte No.2 illustre la distribution des macrophytes immergés établie à partir des relevés d'échosondage. L'étude du caractère des différents échos réfléchis par les plantes aquatiques submergées, ou leur signature acoustique, a permis de subdiviser les macrophytes en trois classes principales. Ces classes acoustiques permettent de déduire des conclusions immédiates sur la forme de croissance des espèces dominantes dans un herbier et également d'approcher la distribution spatiale des classes ainsi définies. Ces classes de forme de croissance ont été définies de la façon suivante:

-Classe 1: Sur les échogrammes, la signature acoustique des espèces de Classe 1 est caractérisée par une succession d'échos discontinus qui sont généralement très rapprochés les uns des autres et qui se produisent très près de la surface du lac. Les échos se superposent¹ fréquemment à la bande d'émission du signal ultrasonore (Figure 4).

-Classe 2: Les échos générés par les espèces de Classe 2

¹En raison de l'émission par le transducteur d'une impulsion ultrasonore d'une durée d'environ 0.2 ms qui impressionne les 30 premiers centimètres du papier électrosensible de l'écho-sondeur, les échos réfléchis à moins de 30 cm sous le transducteur se noient dans la bande d'émission. Par conséquent, une incertitude demeure lors de l'analyse des échogrammes quant à savoir si les plantes aquatiques atteignent ou pas la surface du lac. Dans ces endroits, des observations visuelles pendant les sondages servent à lever l'ambiguïté.



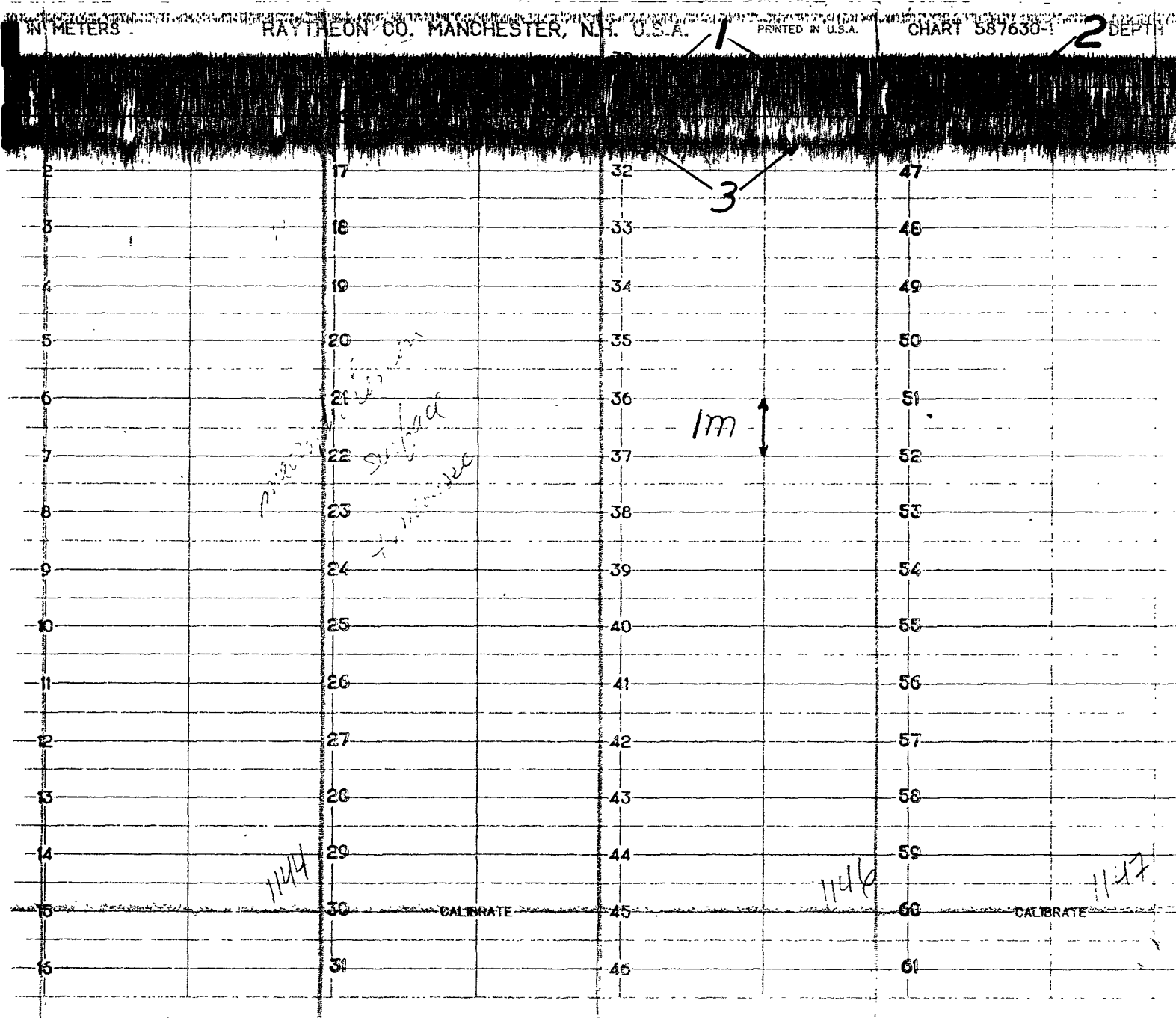


Figure 4 Echogramme illustrant la signature acoustique des espèces de Classe 1 (Densité 4⁺). Couverture végétale très dense dont l'espèce dominante (*P. richardsonii*?) atteint fréquemment la surface du lac. Les nombreux échos réfléchis par les macrophytes (1) se superposent à la bande d'émission (2) sans toutefois masquer complètement les échos en provenance du fond (3).

sont également très discontinus et se produisent entre le fond du lac et la bande d'émission sans jamais atteindre la surface du lac (Figure 5). Les échos sont distribués en plages plus ou moins serrées qui peuvent s'expliquer par une densité différente de la couverture végétale.

- Classe 3: La forme de croissance des espèces de Classe 3 se reconnaît par la persistance latérale des échos qui forment un réflecteur presque rectiligne généralement à moins de 1m au-dessus des échos en provenance du fond du lac (Figure 6).

Les classes acoustiques de forme de croissance ont été définies de façon à refléter celles de Duarte (1987) qui utilise la forme de croissance et la hauteur de l'espèce dominante dans un peuplement pour estimer la biomasse visible des macrophytes immergés. Cet auteur propose également trois catégories de forme de croissance:

- Catégorie 1: Les espèces qui atteignent la surface du lac pour y fleurir.
- Catégorie 2: Les espèces courtes de sous-étages qui n'atteignent pas la surface du lac et dont les fleurs sont flottantes.
- Catégorie 3: Les espèces à fleurs immergées, celles sans fleur et celles qui, quoique capables de produire des fleurs, ne fleurissent jamais en milieu naturel.

A titre indicatif, le Tableau 2 présente, par catégorie, un éventail d'espèces de macrophytes rencontrées communément par Duarte (1987) dans neuf lacs du Québec et au Lac George dans l'état de New York.

PRINTED IN U.S.A.

CHART 587630-1

DEPTH IN METERS

RAYTHEON CO. MANCHESTER, N.H. U.S.A.

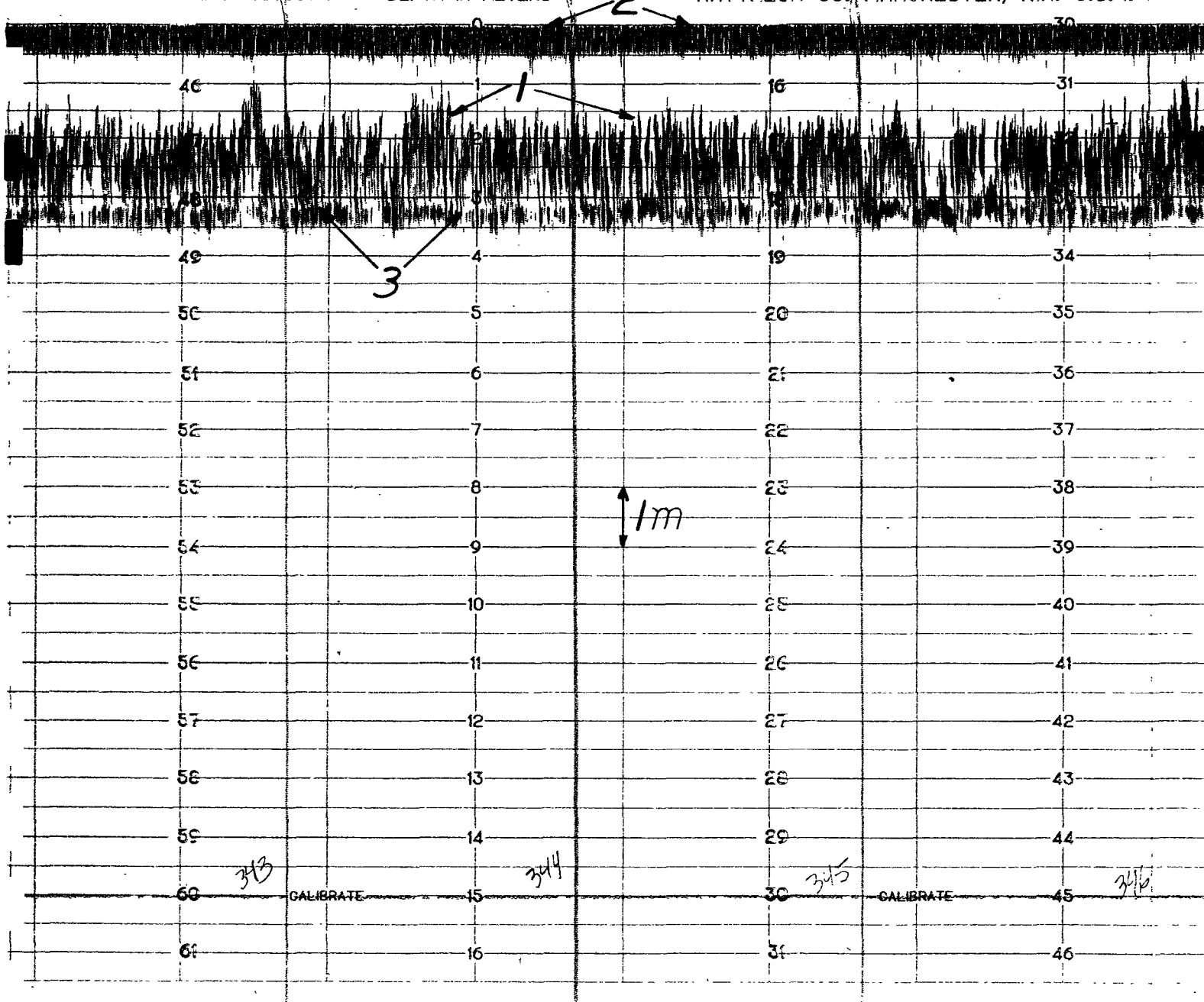


Figure 5 Echogramme illustrant la signature acoustique des espèces de Classe 2 (Densité 3). Les échos (1) réfléchis par les macrophytes de sous-étages (Vallisneria?) sont enregistrés entre la bande d'émission (2) et le fond (3) sans atteindre la surface du lac.

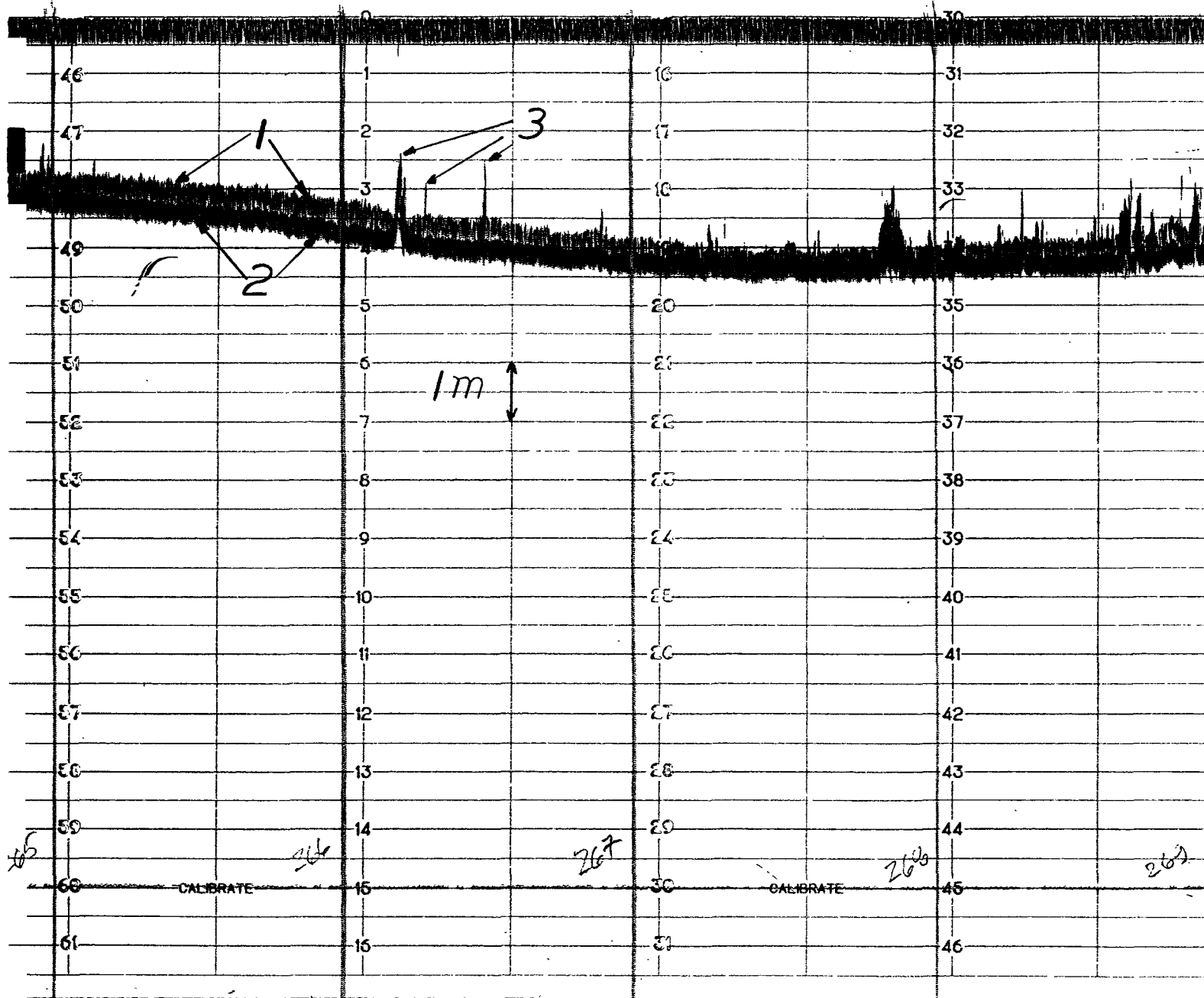


Figure 6 Echogramme illustrant la signature acoustique des espèces de Classe 3 (tapis de macrophytes). Les échos réfléchis par ces espèces (Chara ou Nitella sp.?) forment un réflecteur (1) presque rectiligne au dessus des échos en provenance du fond (2) du lac. Dans cette région, quelques plantes (3) de sous-étages (Vallisneria?) poussent au travers du tapis de Nitella?.

TABEAU 2 ESPECES DE MACROPHYTES COMMUNEMENT RENCONTREES DANS NEUFS LACS DU QUEBEC ET AU LAC GEORGE (N.Y.) ET QUI SONT REGROUPEES SELON LEUR CATEGORIE DE FORME DE CROISSANCE (d'après Duarte, 1987).

<u>CATEGORIE 1</u>	<u>CATEGORIE 2</u>	<u>CATEGORIE 3</u>
Myriophyllum exalbescens	Cabomba caroliniana	Ceratophyllum demersum
M. spicatum	Heteranthera dubia	Chara sp.
Potamogeton amplifolious	Potamogeton robinsii	Elodea canadensis
P. crispus	Sagittaria sp.	Isoetes lacistris
P. gramineous	Utricularia vulgaris	I. macrospora
P. perfoliatus	Vallisneria	Najas flexilis
P. praelongus	americana ¹	Nitella sp. ¹
P. richardsonii ¹		

¹ Espèces dominantes dans le Lac St-Pierre.

Afin de préciser davantage les caractéristiques des peuplements, un indice de densité de l'herbier a été introduit dans la méthode d'interprétation des échogrammes. Dans le but d'uniformiser les résultats, l'échelle de densité qui a servi à la construction de la Carte No.2 s'apparente à celle utilisée par l'INRS-eau lors de l'échantillonnage des macrophytes. Cette échelle est semi-quantitative et est inspirée de celle proposée par Dushenko et al., 1988. L'échelle numérique (de 0 à 4) de densité fournit une estimation de la couverture végétale selon les critères d'interprétation suivant:

- Densité 0: Absence apparente² de végétation sur les échogrammes (Figure 7).
- Densité 1: Végétation peu abondante ou plantes occasionnelles (Figure 8).
- Densité 2: Végétation modérée, les herbiers apparaissent en touffes régulières (Figure 9).
- Densité 3: Végétation dense, grands herbiers bien en-dessous de la surface de l'eau (Figure 5).
- Densité 4: Végétation très dense, de grands herbiers atteignant la surface de l'eau ce qui présente certaines difficultés pour la navigation de plaisance. Les échogrammes permettent de subdiviser cet indice de densité en des degrés 4⁺ et 4⁻ correspondant à une couverture végétale "acoustiquement" continue (Figure 4) ou discontinue (Figure 10) respectivement.

Au Lac St-Pierre (Carte No.2), les zones peuplées de macrophytes contiennent souvent deux classes (Figure 11), et parfois trois classes (Figure 12), de forme de croissance témoignant ainsi de la présence de plusieurs espèces dans un même peuplement. Finalement, l'étude des caractéristiques spatiales des zones peuplées permettrait sans doute, lors d'une analyse très poussée, de mieux comprendre l'influence de la bathymétrie, de l'hydrodynamique, de la qualité des eaux sur la croissance saisonnière des herbiers.

² Des incertitudes subsistent en général en raison de la résolution verticale (-30 cm) de l'écho-sondeur. Des critères indirects d'interprétation, tels que la présence d'un double écho ou encore la netteté de la réflexion en provenance du fond du lac, sont des compléments à la méthode directe d'analyse des échogrammes.

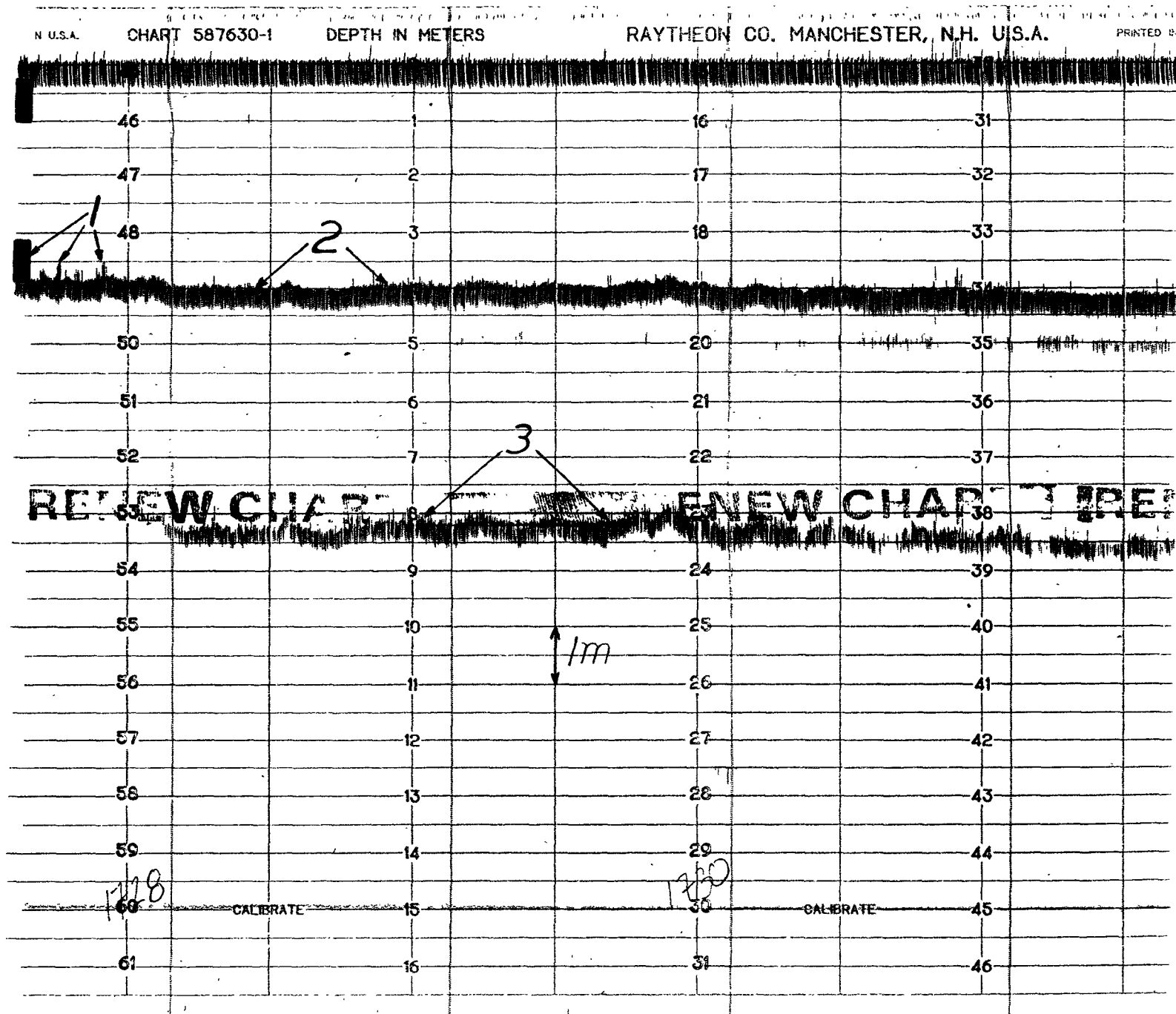


Figure 7 A l'exception de quelques plantes isolées (1), la couverture végétale semble absente (Densité 0) le long de ce segment d'échogramme. La netteté de la réflexion (2) en provenance du fond du lac et la présence d'un double écho (3) supportent cette interprétation.

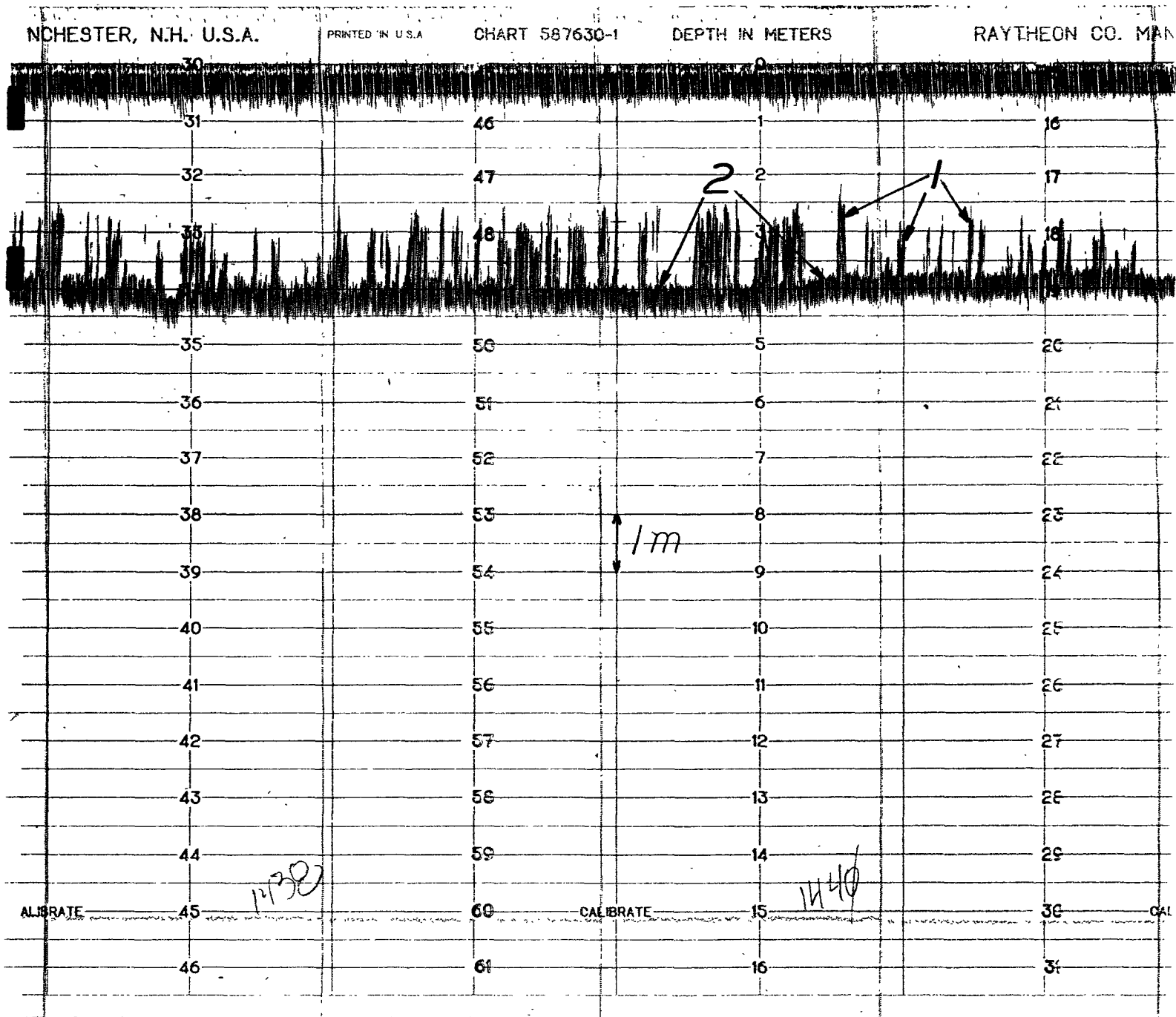


Figure 8 La végétation est peu abondante (Densité 1) alors que seulement quelques plantes (1) de sous-étages (Classe 2, Vallisnéria?) sont enracinées sur le fond du lac (2) le long de ce profil.

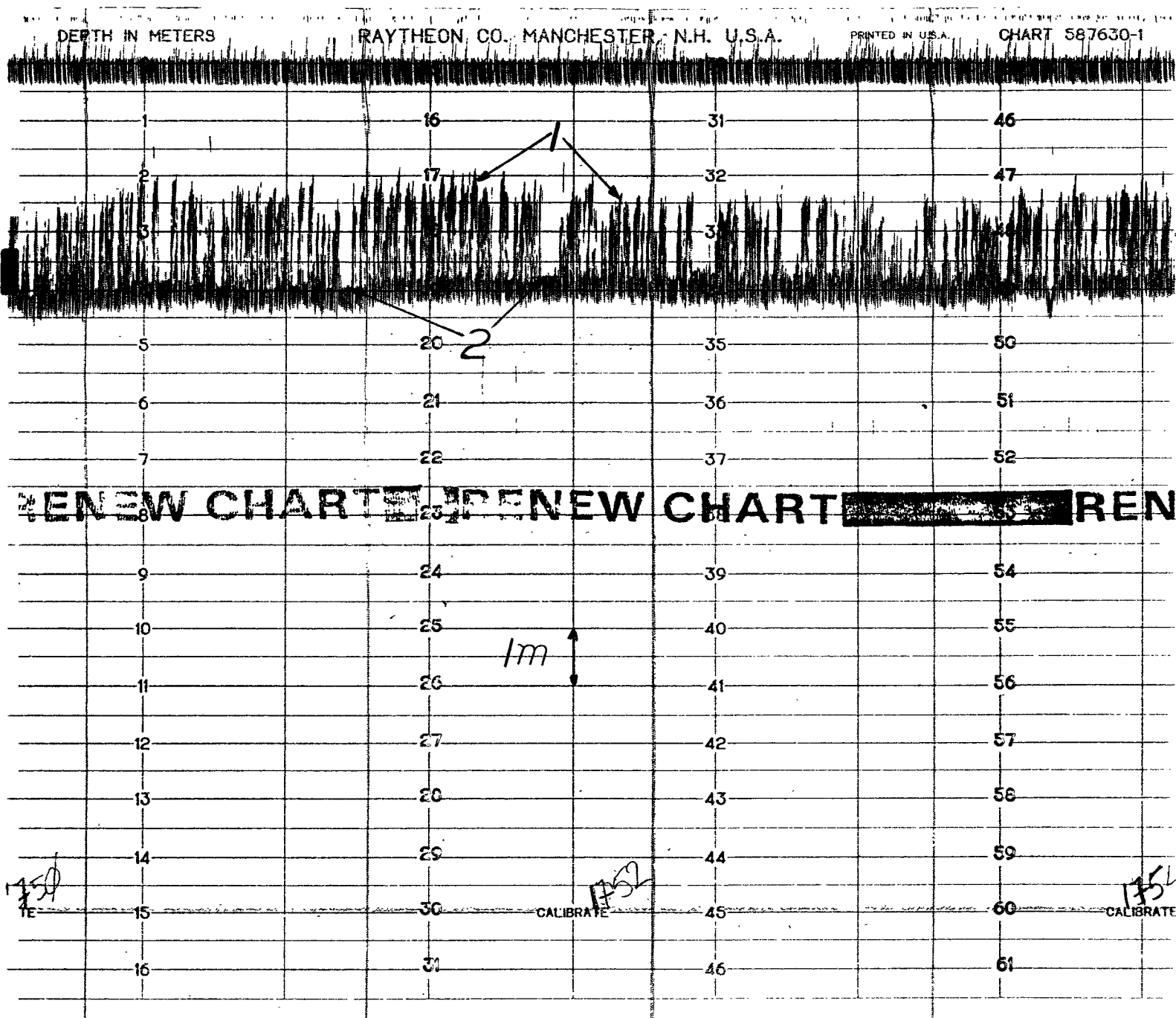


Figure 9 Echogramme obtenu dans une zone de végétation modérée (Densité 2), où les herbiers (Classe 2, Vallisneria?) apparaissent en touffes régulières (1) enracinées sur le fond du lac (2).

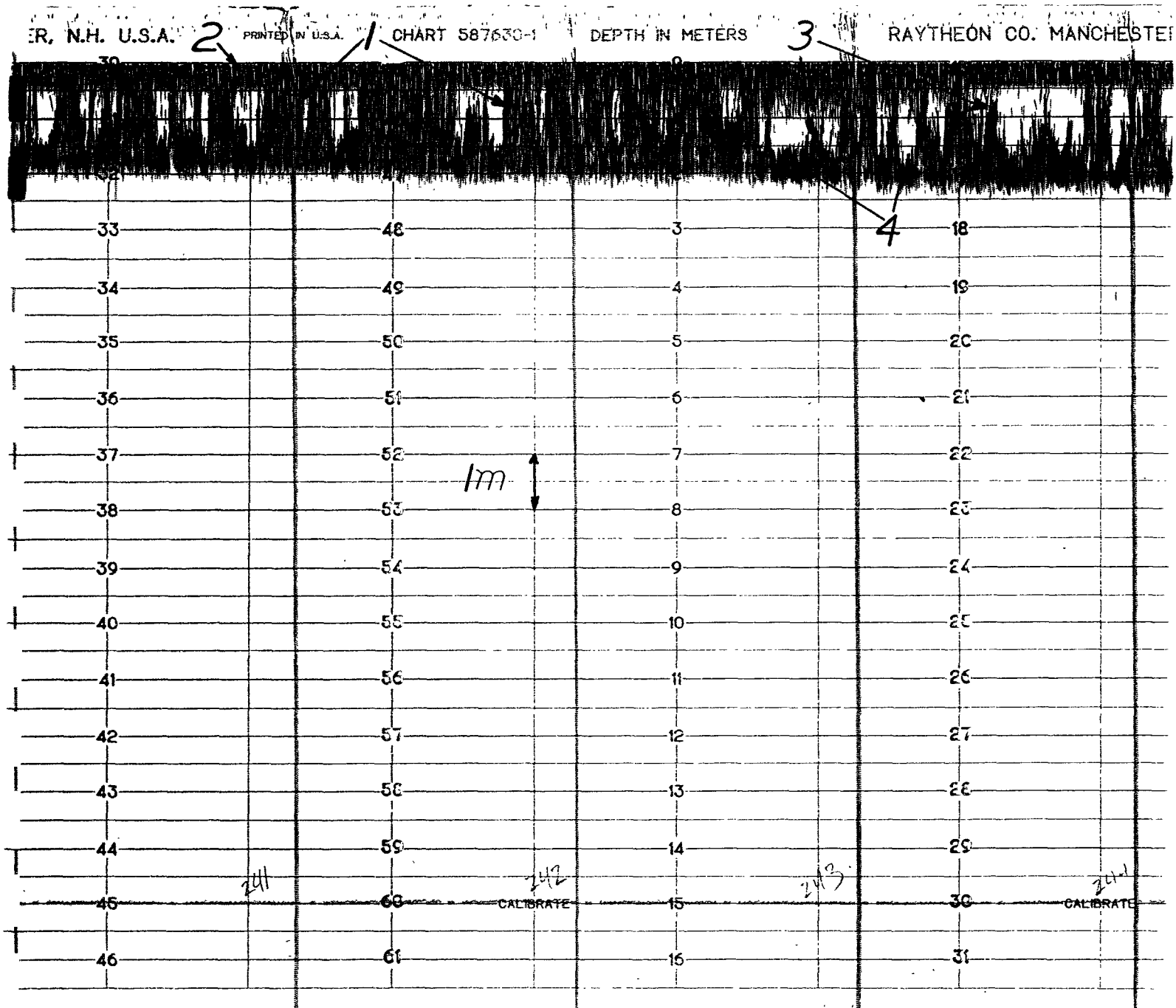


Figure 10 Couverture végétale très dense (Densité 4-) dont l'espèce dominante (*P. richardsonii*?) atteint occasionnellement la surface du lac. Les échos réfléchis près de la surface (1) par l'espèce dominante se superposent par endroits à la bande d'émission (2). Certains des échos (3) entre la bande d'émission (2) et le fond du lac (4) pourraient être réfléchis par une espèce compagne (*Vallisneria*?).

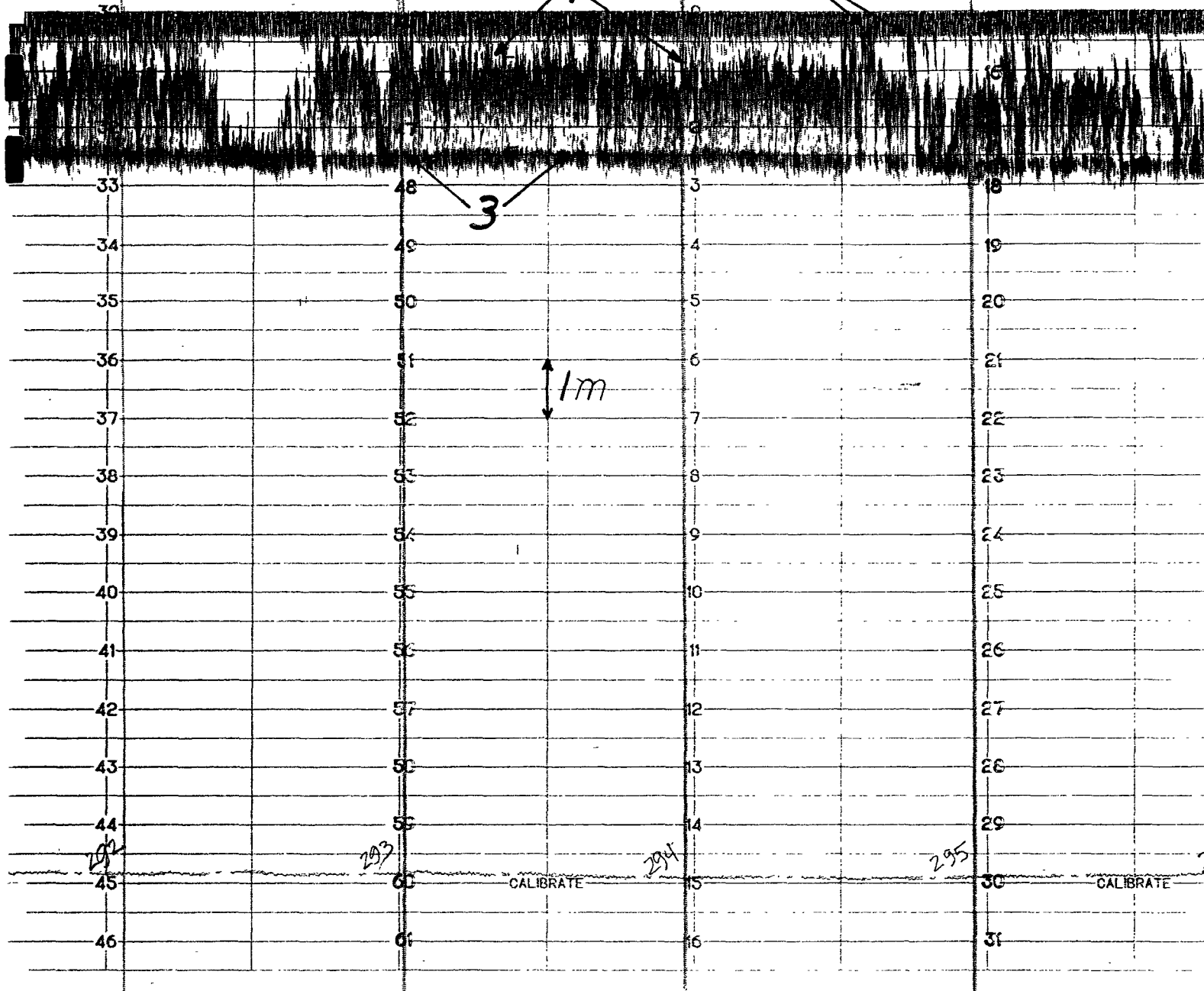


Figure 11 Echogramme illustrant des formes de croissance de Classe 2 (espèce dominante, *Vallisneria*?) et de Classe 1 (espèce compagne, *P. richardsonii*?). La signature acoustique du peuplement (Densité 3) est caractérisée par une succession continue d'échos (1), entre 0.5 et 1.0m sous la surface du lac, et par des plages isolées d'échos (2) qui sont réfléchis très près de la surface. On notera que le fond du lac (3) est visible au travers de l'épaisse couverture végétale.

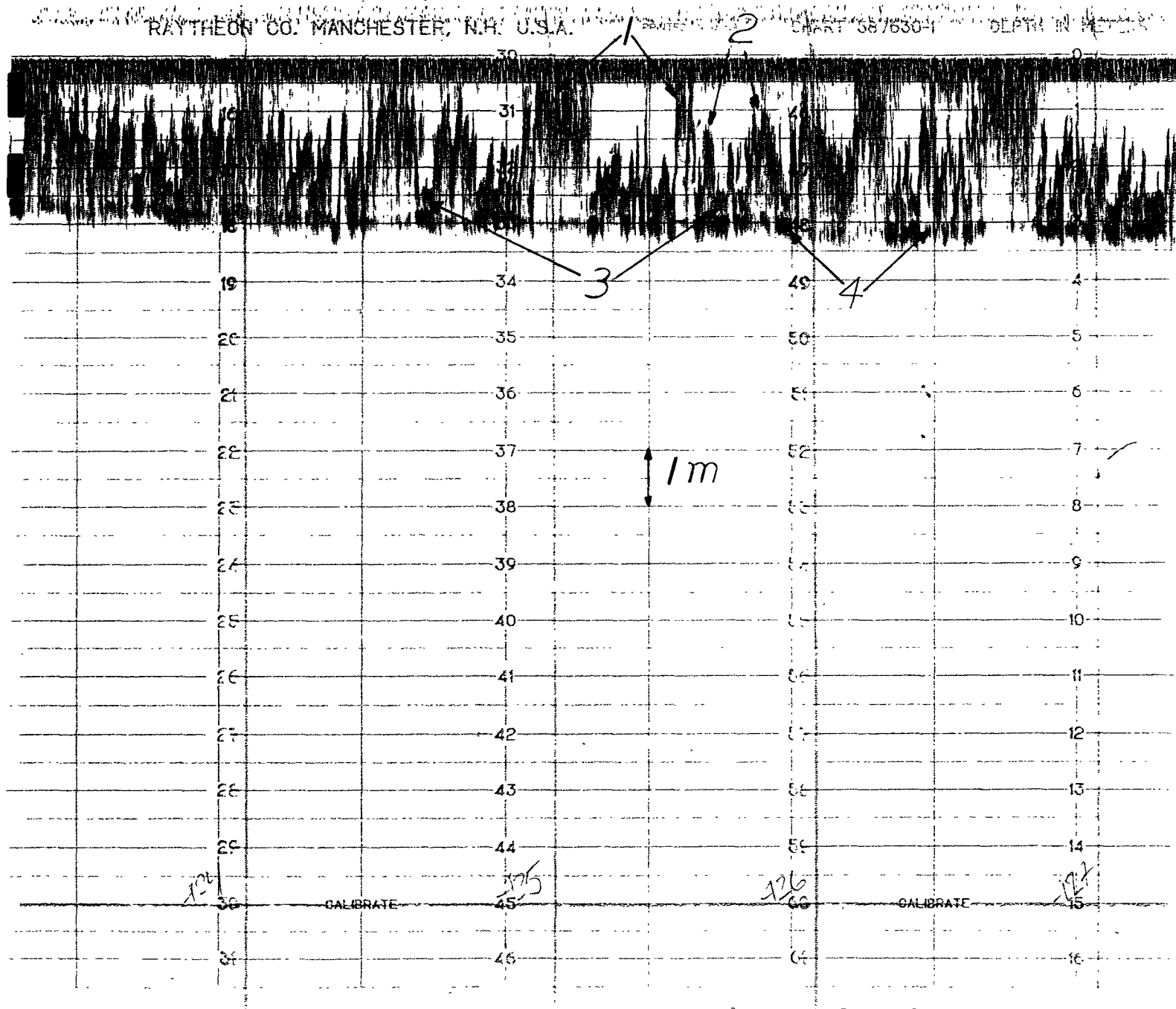


Figure 12 Echogramme illustrant un peuplement mixte (Densité 3) de macrophytes dont les formes de croissance suggèrent trois espèces différentes. Les échos de Classe 1 (1) atteignent la surface du lac (*P. richardsonii*?), ceux de Classe 2 (2) sont réfléchis entre 1 et 2m sous la surface (*Vallisneria*?), tandis que les échos de Classe 3 (3) forment un tapis (*Chara* ou *Nitella*?) d'environ 30-50cm d'épaisseur sur le fond du lac.

3.3 Estimation de la biomasse

L'estimation de la biomasse végétale dans la zone du Lac Saint-Pierre qui a fait l'objet du relevé d'échosondage est basée essentiellement sur deux types d'information: premièrement, des estimations ponctuelles de la biomasse à partir de prélèvements de macrophytes (selon la densité de l'herbier, 4 ou 5 quadrats de 0.1m^2 ou 0.25m^2 dans un périmètre de $7\text{m} \times 7\text{m}$); et deuxièmement, les formes de croissance des espèces dominantes dans un peuplement et la densité de la couverture végétale qui ont été obtenues par échosondage.

Une phase importante consistait à déterminer, à partir d'estimations ponctuelles, une valeur de biomasse type pour chaque classe de forme de croissance dans un peuplement en tenant compte également de l'indice de densité de la couverture végétale. Malheureusement, l'objectif de l'échantillonnage des herbiers ne visait pas l'étalonnage des sondages acoustiques, mais plutôt celui des images obtenues à l'aide du capteur MEIS-II. En outre, le fait que l'échantillonnage a précédé les relevés d'échosondage n'a pas permis de choisir au mieux les points de prélèvement de manière à obtenir une exploitation optimale des résultats du levé acoustique. Finalement, les positions exactes des sites de prélèvement diffèrent considérablement de celles proposées dans le plan initial d'échantillonnage. En effet, le pilotage du bateau jusqu'à environ du point d'échantillonnage s'effectuait visuellement à

partir de points de repères (phares, îles de pierre, morphologie de la berge, etc.). Une fois le bateau ancré dans les environs présumés du site, alors seulement les distances entre la station d'échantillonnage et les balises permanentes de la Garde Côtière Canadienne étaient mesurées précisément à l'aide du système de positionnement. Par la suite, ces distances ont été (par la suite) transformées en coordonnées UTM par la Garde Côtière à Sorel qui ont servi à positionner les stations d'échantillonnage sur le plan de sondage. Comme le démontre la Carte No.2, les stations ne sont pas distribuées aussi uniformément que le prévoyait le plan d'échantillonnage (Figure 13). Ainsi, plusieurs prélèvements ont été effectués dans certains secteurs du lac (ex. Stations No. 21, 26 et 30) au détriment de d'autres zones qui sont relativement "sous-échantillonnées". Il aurait sans doute été préférable d'utiliser les distances affichées de façon continue par le système de positionnement, au lieu de la navigation à vue uniquement, pour positionner adéquatement le bateau afin de respecter dans la mesure du possible le plan d'échantillonnage proposé.

D'une part, certaines stations d'échantillonnage sont peu utiles étant localisées dans des zones où la végétation est inexistante ou presque (Stations No. 4, 6, 7 et 23), et dans des petits herbiers (Stations No. 2, 5 et 9). D'autres stations par leur situation en bordure de grands herbiers (Stations No. 13, 15, 19, 24, 33 et 37) donnent une pauvre représentation des

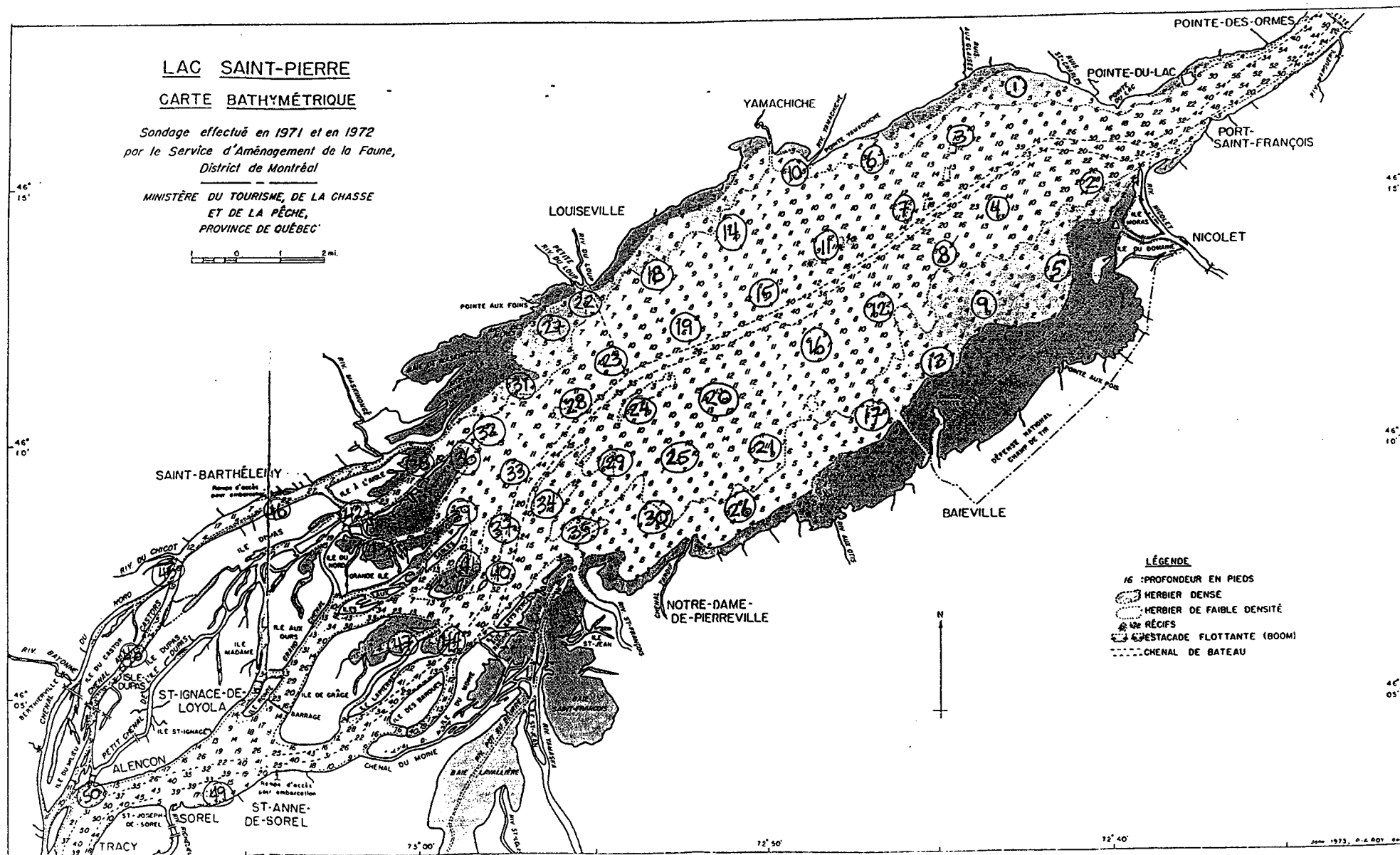


Figure 13

Carte bathymétrique du Lac Saint-Pierre illustrant les emplacements projetés d'estimation de la biomasse végétale selon le plan d'échantillonnage de l'INRS-eau.

caractéristiques moyennes de l'herbier. D'autre part, pour différentes raisons telles que de forts courants empêchant la cueillette des plantes ou encore une erreur trop grande d'estimation de la biomasse par comptage des plantes (dans le cas du *Potamogeton*), la biomasse n'a pas été calculée à plusieurs stations (Stations No. 17, 24, 26, 27, 30, 32, 33, 36 et 37).

Par conséquent, la signature acoustique des classes de forme de croissance et les indices de densité de la couverture végétale ne peuvent être étalonnés par tout au plus treize stations types pour lesquelles une estimation ponctuelle de la biomasse est disponible. En raison de la nature complexe des herbiers, ce nombre de prélèvements est nettement insuffisant et ne permet pas de bien saisir l'effet des variations de la hauteur et de la densité de la couverture végétale sur la biomasse, ni de bien évaluer la contribution relative de chaque espèce à la biomasse. De même que les grandes variations dans les valeurs de biomasse observées entre les quadrats d'une même station soulèvent plusieurs doutes quant à la représentativité des mesures ponctuelles de biomasse. Finalement, la petite superficie des quadrats d'échantillonnage amène de nombreuses interrogations sur le degré avec lequel il est possible de saisir les caractéristiques moyennes d'un peuplement à partir d'observations ponctuelles.

Considérant le peu d'information présentement disponible

et l'importance de la biomasse végétale dans un bilan massique des contaminants, une estimation de la biomasse des macrophytes immergés, même si elle n'est que très approximative, peut fournir certaines indications sur l'ordre de grandeur de la biomasse totale du Lac Saint-Pierre à des fins de comparaison avec d'autres méthodes d'estimation (ex. télédétection). Les treize stations types retenues lors de l'analyse des échogrammes permettent tout au mieux d'approcher la valeur moyenne de biomasse pouvant être associée aux différentes signatures acoustiques. Le Tableau 3 présente des valeurs approximatives de biomasse pour chaque classe de forme de croissance et pour chaque indice de densité. Quoiqu'il est difficile d'évaluer l'exactitude de cet étalonnage, il a cependant le mérite d'avoir une certaine signification relative puisque les valeurs de biomasse diminuent avec l'indice de densité.

Afin d'estimer la biomasse totale (en tonnes métriques poids sec) de la zone du Lac Saint-Pierre qui a fait l'objet des relevés acoustiques, il a été nécessaire de déterminer la superficie des herbiers selon leur classe acoustique et leur indice de densité (Tableau 4). L'analyse des échogrammes a permis de déceler la présence de macrophytes sur environ 65% de la zone d'étude qui couvre une superficie totale 204 km².

La biomasse totale estimée pour la zone d'étude s'établit à près de 19,000 tonnes métriques (Tableau 4). Selon cette

TABEAU 3 VALEURS APPROXIMATIVES DE BIOMASSE VEGETALE (gr.m² poids sec) ASSOCIEES AUX DIFFERENTES CLASSES "ACOUSTIQUES" DE LA FORME DE CROISSANCE DE L'ESPECE DOMINANTE DANS UN HERBIER ET A LA DENSITE DE LA COUVERTURE VEGETALE.

CLASSE	INDICE DE DENSITE	BIOMASSE (gr.m ⁻²)	SIGNATURE ACOUSTIQUE	STATIONS TYPES		
				No.	Biomasse (gr.m ⁻²)	Prof. (m)
1	4 ⁺	200	Figure 4	31	190	1.20
				41	203	1.75
1	4 ⁻	185	Figure 10	40	186	1.80
2	3	115	Figure 5	14	208 ¹	2.70
2	2	80	Figure 9	3	88	2.75
				15	73	3.20
				18	76	2.40
2	1	25	Figure 8	1	27	2.55
				5	18	2.60
				13	20	2.45
				19	36	2.70
3		110	Figure 6	11	-100 ²	3.70
1+2 ³		+105	Figure 11	14	208 ⁴	2.70
				21	107 ⁴	2.77

¹ La station No. 14 est peuplée à -3/4 du site par Vallisneria (Classe 2) et -1/4 par Potamogeton (Classe 1) pour une biomasse totale évaluée à 208 gr.m². La biomasse moyenne de Vallisneria pour 3 quadrats de 0.1 m² est de -115 gr.m⁻² et celle de Potamogeton pour 2 quadrats est de -455 gr.m⁻².

² La station No. 11 est peuplée à -3/4 par Nitella et -1/4 par Vallisneria pour une biomasse totale d'environ 100 gr.m⁻². La biomasse de Nitella a été calculée dans 2 quadrats de 0.1 m² et les valeurs de biomasse sont de 72.4 et 143.8 gr.m⁻².

³ Dans un peuplement mixte (Vallisneria et Potamogeton), une valeur de biomasse de -105 gr.m⁻² pour Potamogeton (espèce compagne de Classe 1) est additionnée à celle de Vallisneria (espèce dominante de Classe 2).

⁴ La contribution à la biomasse totale de Potamogeton (Classe 1) est de -1/4 X -455 gr.m⁻² = -115 gr.m⁻² à la station No. 14 et de -100 gr.m⁻² à la station No. 21.

estimation, les espèces de Classes 1 et 2 contribuent pour environ 90% de la biomasse totale, tandis que les espèces de Classe 3 contribuent pour environ 10% de la biomasse totale. Toutefois, dans certaines parties du lac, la biomasse des espèces de Classe 3 peut être légèrement sous-évaluée. En effet, ces plantes forment sur le fond du lac un tapis relativement mince (<90 cm) dont l'épaisseur à certains endroits peut être inférieure au pouvoir de résolution (~30 cm) de l'écho-sondeur (voir Figure 6, entre les tops No.267 et 268). Dans certains autres secteurs du lac où la couverture végétale de Classes 1 et 2 est dense, il est aussi difficile de reconnaître la signature acoustique des espèces de Classe 3 (voir Figure 12).

TABEAU 4 ESTIMATION DE LA BIOMASSE DES MACROPHYTES IMMERGES
(en tonnes métriques poids sec) POUR LA PARTIE DU
LAC SAINT-PIERRE QUI A FAIT L'OBJET DE SONDAGES
ACOUSTIQUES.

<u>CLASSE ACOUSTIQUES</u>	<u>SUPERFICIE</u> (km ²)	<u>BIOMASSE</u> (t.km ⁻²)	<u>BIOMASSE</u> (t)
<u>Espèces de Classe 1</u> , Densité 4 ⁺	14.5984	200	2,919.68
Densité 4 ⁻	2.1074	185	389.87
Espèces Compagnes ¹	(36.7058)	105	3,854.11
	-----		-----
TOTAL de Classe 1	16.7058		7,163.66
 <u>Espèces de Classe 2</u> , Densité 3	 61.6128	 115	 7,085.47
Densité 2	26.1201	80	2,089.61
Densité 1	25.6533	25	641.33
	-----		-----
TOTAL de Classe 2	113.3862		9,816.41
 <u>Espèces de Classe 3</u>	 1.5583	 110	 171.41
Espèces compagnes ¹	(15.3797)	110	1,691.77
	-----		-----
TOTAL de Classe 3	1.5583		1,863.18
 <u>Zones non-peuplées</u> , Densité 0	 72.7328	 0	 0
	-----		-----
TOTAL non-peuplées	72.7328		0
 Superficie TOTALE des relevés d'échosondage		204.3831 km²	
Biomasse TOTALE de la région étudiée		18,843.25 t	

¹ Contribution de l'espèce compagne à la biomasse dans un peuplement mixte.

4.0 CONCLUSIONS

Les sondages acoustiques au moyen d'un écho-sondeur de précision utilisé habituellement pour des levés bathymétriques, c'est-à-dire des appareils caractérisés par une fréquence nominale élevée (>200 kHz) et une bonne directivité ($<10^\circ$), constituent une technique valable pour la cartographie des macrophytes immergés. Cependant, les relevés d'échosondage sont limités par la longueur ($\sim 30-40$ cm) de la bande d'émission de l'onde ultrasonore et par la profondeur ($\sim 10-30$ cm) d'immersion du transducteur, donc à des profondeurs d'eau supérieures à 40-50 cm.

La réalisation d'un réseau de profils espacés d'un kilomètre et couvrant environ 70% de la superficie totale (~ 300 km²) du Lac Saint-Pierre nécessite moins de dix journées de sondage. Une hauteur excessive de la vague entraîne une diminution de la qualité des échogrammes lors des sondages dans les parties du lac exposées aux forts vents. Cependant, cet effet est atténué par la végétation flottante présente dans les parties peu profondes du lac.

Les relevés d'échosondage ont permis de cartographier la distribution des herbiers aquatiques selon la forme de croissance des espèces dominantes et d'évaluer la densité relative de la couverture végétale. En l'absence d'observations visuelles, les sondages acoustiques ne permettent ni de différencier avec

certitude les espèces de plantes dans un peuplement, ni, a fortiori, de les identifier.

La méthode d'estimation de la biomasse des macrophytes submergés proposée dans la présente étude est une technique originale qui consiste: premièrement, à identifier sur les échogrammes des zones de végétation aquatique présentant des caractères acoustiques qui sont homogènes; et deuxièmement, à associer aux ensembles ainsi définis une valeur moyenne de biomasse à partir de mesures ponctuelles. Le nombre limité de mesures de biomasse à des endroits critiques et la méthode d'échantillonnage par petits quadrats (0.1m^2 et 0.25m^2) compliquent l'estimation de la biomasse totale par échosondage. En effet, il nous semble difficile de saisir à l'intérieur de ces petits quadrats la variabilité des caractéristiques d'un peuplement (ex. variations locales de la densité du peuplement), et à plus forte raison de cerner l'importance relative de chaque espèce dans un peuplement mixtes (ex. contribution relative à la biomasse de *Vallisneria* versus *Potamogeton*). Donc, la valeur de 18,843 tonnes métriques poids sec représente au mieux l'ordre de grandeur de la biomasse totale dans la partie du Lac Saint-Pierre qui a fait l'objet de sondages acoustiques.

5.0 RECOMMANDATIONS

Concernant la méthodologie des relevés acoustiques, il est recommandé que:

- le transducteur de l'écho-sondeur soit installé sur la coque du bateau plutôt qu'à l'extrémité d'un support hors-bord afin d'éviter l'enchevêtrement de plantes aquatiques autour de l'émetteur;
- les moteurs hors-bord soient équipés d'hélices conçues pour la navigation dans les herbiers;
- les tops de positionnement soient transmis à l'écho-sondeur directement par le système de navigation et que ceux-ci soient enregistrés automatiquement sur les échogrammes, ceci afin que l'opérateur puisse se consacrer d'avantage à l'identification des plantes qui poussent près de la surface du lac;
- les données de positionnement soient saisies numériquement à l'aide d'un ordinateur portatif afin d'accélérer la préparation du plan de sondage;
- les résultats et les coûts des sondages acoustiques soient exploités d'une façon optimale en utilisant un écho-sondeur (ex. le Deso 20 de Krupp Atlas, ou un appareil équivalent) qui émet simultanément deux fréquences, dont une de 200-210kHz et une autre de 30-35 kHz, de manière à obtenir en plus des informations sur les macrophytes immergés, une image lithosismique du substrat dans les zones faiblement ou non-peuplées.

Concernant la méthodologie d'échantillonnage des macrophytes par cueillette directe à l'aide de plongeurs en scaphandre autonome, il est recommandé que:

- le choix des emplacements des prélèvements soit basé sur une interprétation préliminaire des échogrammes afin d'assurer une exploitation optimale du nombre déjà très limité d'observations directes;
- les sites d'échantillonnage soient distribués de façon à ce qu'un nombre adéquat de prélèvements soient effectués dans tous les grands herbiers présentant la même signature acoustique (mêmes classes de forme croissance), ceci afin d'établir la continuité spatiale des

peuplements ainsi définis, et également pour évaluer la variabilité spatiale des mesures ponctuelles de biomasse obtenues dans un même peuplement.

Concernant l'estimation de la biomasse des macrophytes immergés à partir de relevés d'échosondage, il est recommandé que:

- les échogrammes servent au calcul de la biomasse totale (poids humide) de la zone d'étude à l'aide de l'équation développée par Duarte (1987) qui utilise la hauteur et la forme de croissance de l'espèce dominante dans un peuplement, en ajoutant cependant les contributions à la biomasse des principales espèces compagnes dans un peuplement mixte, et en introduisant dans l'équation un facteur qui tient compte de l'indice de densité du peuplement;

- la relation de poids humide à poids sec dans les mesures de biomasse soit établie empiriquement (si non disponible dans la littérature scientifique) afin de comparer les valeurs de biomasse obtenues par différentes techniques (cueillette directe, échosondage, télédétection, etc.).

- le traitement des images aéroportées MEIS-II obtenues au-dessus du Lac Saint-Pierre pendant l'été 1990 soit effectué dans le double but d'établir la distribution des macrophytes submergés et de calculer leur biomasse totale, afin de comparer les résultats de télédétection à ceux d'échosondage.

6.0 REFERENCES

- Duarte, C.M.
1987: Use of echosounder tracings to estimate the aboveground biomass of submerged plants in lakes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44: 732-735.
- Dushenko, W.T., Crowder, A.A. et Greig, J.
1988: Shoreline distribution of contaminants and submerged macrophytes in the Bay of Quinte, Ontario. Dans: M.J. Bardecki et N. Patterson, eds. Proc. Conf. Wetlands: inertia or momentum. Toronto, Ontario.
- International Hydrographic Bureau
1977: Mini-Ranger (MRS-III); Precise positioning systems for hydrographic surveying. International Hydrographic Organization, Special Publication No. 39-2-3, 25p.
- Le Tirant, P.
1976: Reconnaissance des sols en mer pour l'implantation des ouvrages pétroliers. Publication de l'Institut Français du Pétrole (IFP), Editions Technip, Paris, 495p.
- MacDonald, G.
1981: The use of microprocessors for track control and data verification on hydrographic surveys in Canada. International Hydrographic Review, LVIII:1:39-53.
- St-Cyr, L.
1990: Evaluation de la biomasse et du contenu en contaminants des plantes aquatiques submergées du lac Saint-Pierre, fleuve Saint-Laurent. Entente Centre Saint-Laurent-INRS-eau, Rapport d'étape, octobre 1990, 78p.

