

Record Number: 1010
Author, Monographic: Fortin, J. P.//Sochanska, W.
Author Role:
Title, Monographic: Étude de la qualité du milieu aquatique du lac Saint-Jean durant l'été
1977 à l'aide de la télédétection
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 1979
Original Publication Date:
Volume Identification:
Extent of Work: ii, 18
Packaging Method: pages
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, Rapport de recherche
Series Volume ID: 101
Location/URL:
ISBN: 2-89146-098-7
Notes: Rapport annuel 1978-1979
Abstract: Rapport rédigé pour les Services de protection de l'environnement du Québec
10.00\$
Call Number: R000101
Keywords: rapport/ ok/ dl

Étude de la qualité du milieu aquatique
du lac Saint-Jean durant l'été 1977 à l'aide
de la télédétection

par
J.P. Fortin et W. Sochanska

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 101
Mai 1979

Rapport rédigé pour les
Services de protection de l'environnement du Québec

INRS-Eau
Université du Québec
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec G1V 4C7

INRS-Eau
Université du Québec
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 101
Mai 1979

Rapport rédigé pour les
Services de protection de l'environnement du Québec

Etude de la qualité du milieu aquatique
du lac Saint-Jean durant l'été 1977 à l'aide
de la télédétection

par
J.P. Fortin et W. Sochanska

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
LISTE DES FIGURES	ii
INTRODUCTION	1
1. PRINCIPE ET INTERET DE LA MESURE	2
2. TRAITEMENT DE L'INFORMATION	3
3. IMAGES TRAITÉES POUR LA CAMPAGNE DE MESURES 1977	6
4. ANALYSE DE LA BANDE 5 DE L'IMAGE DU LAC SAINT-JEAN PRISE LE 31 JUILLET 1977	6
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	14
REFERENCES	17

LISTE DES FIGURES

	<u>Page</u>
1. Valeurs de la radiance relative MSS-5 et la turbidité pour le lac Saint-Jean le 21 juin 1976	5
2. Valeurs de radiance relative MSS-5 et turbidité pour le lac Saint-Jean le 24 août 1976	5
3. Relation entre les solides en suspension et les profondeurs déterminées par le disque Secchi, le 31 juillet 1977	7
4. Relation entre les densités relatives de la bande 5 et les solides en suspension le 31 juillet 1977	9
5. Relation entre les densités relatives de la bande 5 et les profondeurs déterminées par le disque de Secchi le 31 juillet 1977	9
6. Cartographie des solides en suspension le 31 juillet 1977 à partir des seules données aux stations	11
7. Cartographie des solides en suspension le 31 juillet 1977 d'après la bande MSS-5 et les données aux stations	12
8. Cartographie des profondeurs déterminées au disque Secchi le 31 juillet 1977 à partir des seules données des stations	13
9. Cartographie des profondeurs déterminées au disque Secchi le 31 juillet 1977 d'après la bande MSS-5 et les données aux stations	15

INTRODUCTION

Le lac Saint-Jean, de par sa grandeur et son potentiel d'utilisation, est le sujet d'études, depuis de nombreuses années, de plusieurs organismes gouvernementaux, universitaires ou privés. Entre autres, l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-Eau) a entrepris, depuis 1974, différentes études limnologiques dans cette région. Ainsi, en 1976, une étroite collaboration entre les Services de protection de l'environnement du Québec et l'INRS-Eau devait conduire à l'élaboration d'un programme d'étude du milieu aquatique destiné à solutionner les problèmes de qualité des eaux et à assurer la protection de cette ressource.

Parmi les préoccupations des personnes intéressées par ce programme, la détection du changement de la qualité des eaux du lac Saint-Jean était un aspect auquel il fallait attacher une grande importance. A l'intérieur d'une étude portant sur la productivité biologique des eaux du lac Saint-Jean (Jones et al., 1978), l'analyse numérique des données spectrales du satellite LANDSAT devait servir de base à une étude globale de la diffusion des eaux de ses tributaires. Cette étude devait permettre de décrire certains épisodes de la dynamique physique ou biologique de ce système.

A l'intérieur de ce même programme, le présent rapport vise plus spécifiquement l'application de la télédétection à l'étude de certains paramètres physiques et biologiques, plus particulièrement la répartition des solides en suspension et les mesures de turbidité, pour l'été 1977. L'usage de la télédétection versus les mesures au sol facilite de beaucoup la cartographie de la variation spatiale d'un grand phénomène et c'est ce que nous allons tenter de démontrer dans les pages qui suivent.

1. PRINCIPE ET INTERET DE LA MESURE

Toute surface réfléchit un pourcentage plus ou moins important du rayonnement solaire incident. Pour un même corps, le rapport entre le rayonnement solaire réfléchi et le rayonnement solaire incident, appelé ALBEDO, varie en fonction de la longueur d'onde et de l'angle d'incidence du rayonnement. D'autre part, à une longueur d'onde et à un angle d'incidence donnés, l'albédo varie selon la surface. La mesure du rayonnement réfléchi par un corps à une ou plusieurs longueurs d'ondes permet donc d'identifier le corps par sa "signature spectrale".

La partie du rayonnement solaire qui n'est pas réfléchie par la surface réceptrice est absorbée. Toutefois, selon la nature de la surface, le rayonnement peut être complètement absorbé dans le premier millimètre d'épaisseur ou pénétrer à des profondeurs considérables avant d'être complètement absorbé.

Dans le cas de l'eau pure, la pénétration du rayonnement solaire dépend de la longueur d'onde du rayonnement incident. Ainsi, une colonne d'eau de 100 m est requise pour absorber 94% du rayonnement solaire incident à la surface de la colonne, pour des longueurs comprises entre 0,2 et 0,6 μ , tandis qu'il faut seulement 10 cm d'eau pour absorber un pourcentage similaire du rayonnement incident entre 0,9 et 1,2 μ (Sellers, 1969).

La qualité de l'eau (turbidité, couleur, solides en suspension, plancton, ...) peut affecter grandement ces pourcentages de transmission. Ainsi, plus l'eau est turbide, plus la quantité de rayonnement qui peut pénétrer à une profondeur donnée diminue et plus l'albédo augmente. C'est ce phénomène qui est mis à profit en télédétection. Faisant l'hypothèse que des régions d'albédo élevé devraient correspondre à des régions de turbidité élevée, plusieurs auteurs ont étudié les informations fournies par les capteurs multi-spectraux des satellites LANSAT 1 et 2. La bande 7 correspondant à des longueurs d'ondes ($0,8 < \lambda < 1,1 \mu$) qui pénètrent très peu dans l'eau, c'est surtout les informations contenues dans la bande 4 ($0,5 < \lambda < 0,6 \mu$),

la bande 5 ($0,6 < \lambda < 0,7 \mu$) et la bande 6 ($0,7 < \lambda < 0,8$) qui ont été analysées.

Comme seules des données reliées à la turbidité (disque Secchi et solides en suspension) sont disponibles pour la date étudiée plus loin (31 juillet 1977), uniquement les travaux portant sur l'étude de ces paramètres sont rapportés ici. Ainsi, Bukata *et al.* (1974) ont trouvé une corrélation élevée entre la turbidité mesurée dans la partie ouest du lac Ontario et les valeurs de radiance mesurées par la bande 5 de LANDSAT-1, la radiance étant l'énergie, en provenance des corps étudiés, enregistrée par les capteurs d'un satellite. Yost *et al.* (1973) rapportent des résultats similaires, le long des côtes de l'état de New-York. Pour sa part, Abiodun (1975) obtient lui aussi une corrélation élevée entre la bande 5 et les profondeurs déterminées à l'aide du disque Secchi. Notons enfin que si les bandes 4 et 6 peuvent être utilisées pour étudier la variation spatiale des solides en suspension, c'est la bande 5 qui permet de discriminer le plus ces variations (Abiodun, 1976) et que cette bande paraît suffisante à elle seule pour le faire (Rouse et Coleman, 1976).

Compte tenu de la possibilité de relier les variations des valeurs de radiance enregistrées sur la bande 5 à des variations correspondantes de turbidité, de solides en suspension ou de profondeurs du disque Secchi, la cartographie et la surveillance de la variation dans le temps de ces paramètres sur un lac comme le lac Saint-Jean peut être grandement facilitée et améliorée.

2. TRAITEMENT DE L'INFORMATION

Les informations contenues dans les différentes bandes spectrales peuvent être obtenues sous forme digitale (bandes magnétiques) ou photographique. Dans le premier cas, les données sont traitées par ordinateur. Dans le second, on peut faire appel, par exemple, à un synthétiseur multispectral pour analyser conjointement l'information contenue dans plusieurs bandes spectrales ou à un équidensitomètre qui permet d'étudier une seule bande à la fois.

Comme les informations fournies par la bande 5 seule sont suffisantes pour étudier la répartition spatiale des solides en suspension et que l'obtention de ces informations sous forme photographique peut être considérée satisfaisante pour ce type d'étude (Rouse et Coleman, 1976), il n'est pas apparu nécessaire de procéder par ordinateur. Le traitement de l'information contenue sur l'image photographique du lac Saint-Jean prise dans la bande 5, le 31 juillet 1977, a par conséquent été réalisé à l'aide d'un équidensitomètre (model 703, Spatial Data Systems Inc.) au Centre canadien de télédétection à Ottawa.

La validité de ce type de traitement, suggéré dans la littérature, a par ailleurs été vérifiée à l'aide de deux images du lac Saint-Jean prises au cours de la campagne de mesures de l'été 1976.

Pour ce faire, les résultats obtenus en traitant l'image photographique par équidensitomètre, ont été comparés à ceux qui découlaient de l'analyse par ordinateur de la bande magnétique correspondant à la même image, analyse qui a déjà fait l'objet d'une publication (Jones et al., 1977).

Les figures 1 et 2 reprennent les résultats obtenus précédemment pour le 21 juin et le 24 août 1976 (Jones et al., 1977), mais avec l'addition des valeurs obtenues par équidensitomètre. L'observation des figures 1 et 2 permet de conclure que les deux modes de traitement conduisent à des résultats similaires. Par ailleurs, les coefficients de corrélation entre les réflectances et les valeurs de turbidité sont du même ordre de grandeur, quel que soit le traitement choisi.

Ainsi, pour le 24 août 1976, on retrouve le même coefficient de corrélation entre la turbidité et les valeurs résultant des deux types de traitement, soit $r = 0,96$. Dans le cas de la seconde image, celle du 21 juin 1976, le coefficient de corrélation entre la turbidité et les valeurs déterminées par équidensitomètre est légèrement plus élevé que celui entre la turbidité et les valeurs obtenues par ordinateur, 0,64 contre 0,61, sans être significativement différent.

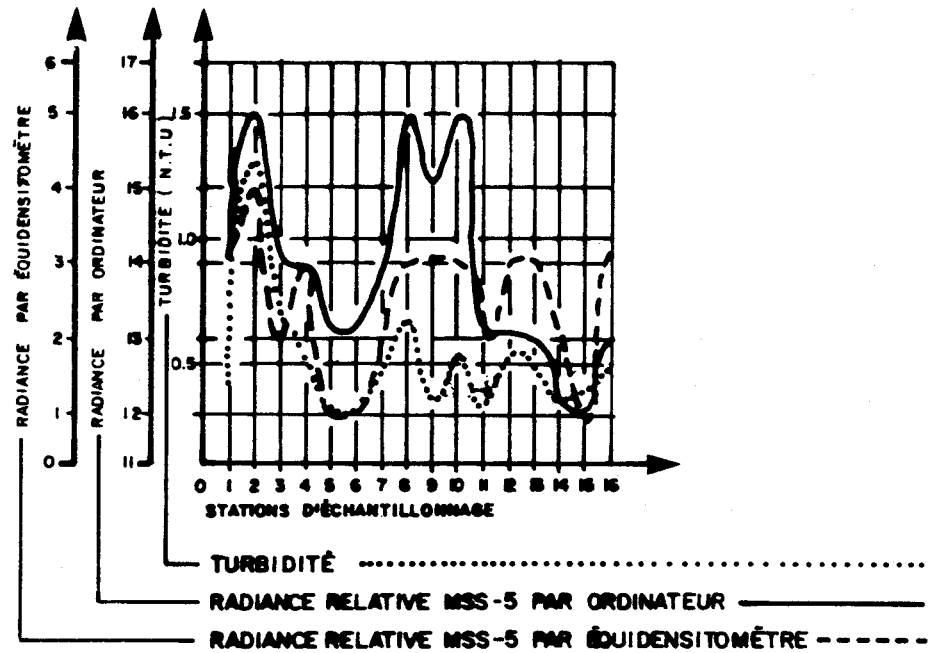


Figure 1 . Valeurs de la radiance relative MSS-5 et la turbidité pour le lac Saint-Jean le 21 juin 1976.

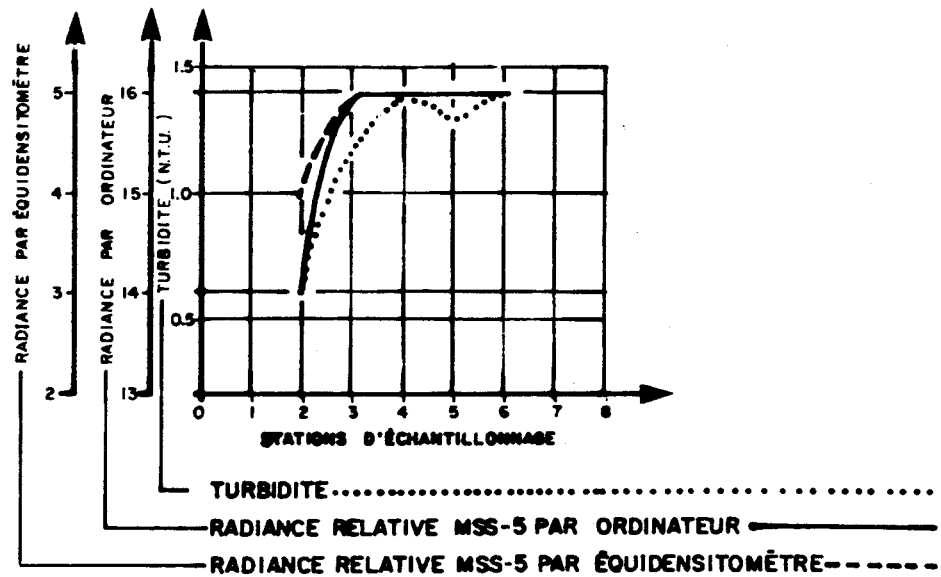


Figure 2 . Valeurs de radiance relative MSS-5 et turbidité pour le lac Saint-Jean le 24 août 1976 .

3. IMAGES TRAITEES POUR LA CAMPAGNE DE MESURES 1977

La campagne de mesures de l'été 1977 sur le lac Saint-Jean comportait l'échantillonnage de plusieurs paramètres de qualité de l'eau à 50 stations réparties sur le lac (figure 6), échantillonnage réalisé simultanément par plusieurs équipes, lors du passage de l'un ou l'autre des satellites LANDSAT-1 ou LANDSAT-2. Elle n'a malheureusement pas été tellement fructueuse en images de qualité. Tout d'abord, quelques passages du satellite LANDSAT-1 ont été perdus par suite d'un manque de synchronisation entre les dates d'échantillonnage et celles de passage du satellite, dû à des informations erronées, corrigées par la suite, sur les jours de passage de LANDSAT-1, après sa remise en opération partielle en 1977. Ce problème a toutefois été mineur vis-à-vis celui de conditions d'enneuagement qui ont empêché de voir le lac à presque tous les passages de l'un ou l'autre des satellites LANDSAT.

Une première sélection a conduit au choix de deux images seulement pour traitement sur équidensitomètre, celle du 31 juillet 1977 (20921-14362) et celle du 23 septembre 1977 (20975-14332), malgré une couverture nuageuse sur la moitié nord du lac. Après analyse de la bande 5 de ces deux images, il est apparu que la prudence demandait de ne pas retenir l'image du 23 septembre, de petits nuages ayant été identifiés en divers points, au-dessus de la partie sud du lac.

Une seule image sera donc discutée, celle correspondant à la bande 5 de l'image du lac Saint-Jean prise le 31 juillet 1977.

4. ANALYSE DE LA BANDE 5 DE L'IMAGE DU LAC SAINT-JEAN PRISE LE 31 JUILLET 1977

Rappelons que les mesures de turbidité, de profondeurs du disque Secchi et de solides en suspension diffèrent tant au niveau de la méthodologie qu'au niveau de la signification physique de la mesure. Ainsi, la figure 3 permet de constater que si effectivement une relation existe entre la pro-

fondeur du disque Secchi et les solides en suspension, cette relation n'est pas parfaite. Ce n'est guère étonnant, puisqu'à ces différences de méthodologie et de signification physique, il faut ajouter les erreurs de mesures. Dans la gamme de valeurs observées le 31 juillet 1977, on estime généralement qu'une erreur de 20 à 25% est facilement possible dans l'estimation de la profondeur du disque Secchi, dès que les vagues dépassent 30 cm. De même, l'erreur faite sur les mesures de solides en suspension est de l'ordre de 1 mg/l.

L'interprétation à donner à la mise en graphique des niveaux de gris observés sur la bande 5 en fonction, respectivement, des solides en suspension (fig. 4) et de la profondeur du disque Secchi (fig. 5) est sujette aux mêmes remarques que précédemment. Par exemple, pour un même niveau de gris sur la bande 5, soit 4, une concentration de 2 mg/l de solides en suspension a été observée à 5 stations et une de 3 mg/l à 5 autres stations. L'erreur possible étant de 1 mg/l, on comprend que la création de deux nuages de 5 points est essentiellement due à la limite de précision des mesures. Compte tenu de ces remarques et après enlèvement des valeurs mesurées aux stations 32, 39 et 44 qui, par suite probablement de leur position très près des rives, ne semblent pas représentatives des valeurs intégrées pour des surfaces beaucoup plus grandes en télédétection, on obtient des coefficients de corrélation de $r = 0,66$ entre la bande 5 et les solides en suspension et de $r = -0,78$ entre la même bande 5 et les profondeurs déterminées au disque Secchi. Il est intéressant de noter ici que la télédétection permet, comme l'indique la figure 4, de détecter des variations de concentration du même ordre de grandeur que la précision atteinte jusqu'à maintenant par les mesures in situ.

L'avantage principal de la télédétection est toutefois de pouvoir cartographier la variation spatiale d'un phénomène beaucoup plus facilement qu'on ne pourrait le faire à partir des seules données prises sur le lac. Pour arriver à une cartographie aussi précise, il faudrait, en effet, un réseau de mesures beaucoup plus dense.

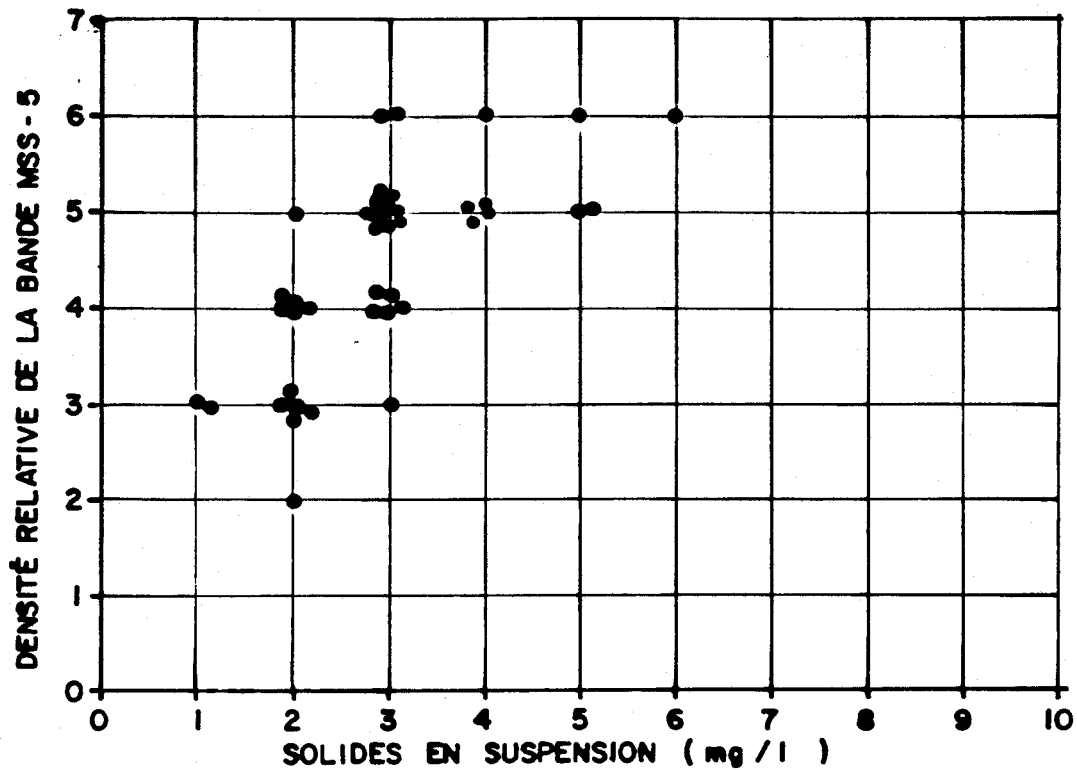


Figure 4 . Relation entre les densités relatives de la bande 5 et les solides en suspension le 31 juillet 1977.

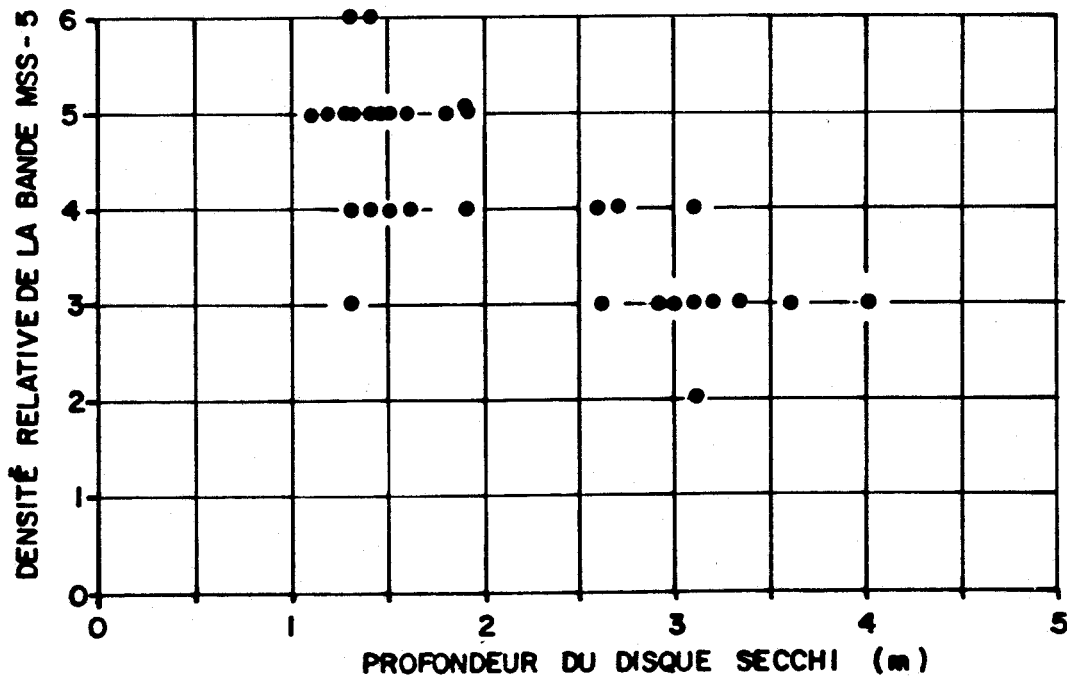


Figure 5 . Relation entre les densités relatives de la bande 5 et les profondeurs déterminées par le disque de Secchi le 31 juillet 1977 .

La figure 6 présente la cartographie des solides en suspension d'après les observations aux stations réparties sur le lac. On constate que les concentrations les plus importantes se retrouvent près des rives et dans la partie nord-ouest du lac, alors que des concentrations égales ou inférieures à 2 mg/l seraient observées sur plus de la moitié du lac, avec des minima de 1 mg/l aux stations 11 et 13. L'absence de stations dans la partie centrale du lac, à part la station 10, empêche de cartographier plus précisément cette partie. On doit donc conclure à des gradients de concentration de solides en suspension près des rives, associés à une zone centrale de concentration à peu près constante, de l'ordre de 2 mg/l.

A partir des mêmes mesures et du traitement de la bande 5 par équidensitomètre, la figure 7 présente une cartographie des solides en suspension beaucoup moins régulière que celle de la figure 6. Les valeurs des isoconcentrations ont été définies d'après les valeurs observées aux stations (fig. 4). On y observe, en particulier, que la station 10 correspond à une concentration minimale de solides en suspension de superficie relativement restreinte, et non à une étendue couvrant plus de la moitié du lac. Si les concentrations les plus élevées continuent à être cartographiées près des rives, on note maintenant une large zone de concentrations égales ou supérieures à 4 mg/l, indiquée par une trame sur la figure 7, qui traverse la moitié sud du lac dans une direction NO-SE, et une autre, plus petite, dans la partie est du lac, près de la rive. Une région de concentrations inférieures ou égales à 1 mg/l, beaucoup plus étendue qu'à la figure 6, est détectée entre les stations 7, 8, 9 et 11, dans la partie NE du lac. De plus, en accord avec la valeur mesurée à la station 3, on retrouve des minima relatifs de 2 mg/l dans la partie ESE. Bien sûr, toutes les valeurs obtenues aux stations ne concordent pas complètement avec la cartographie de la figure 7 mais, compte tenu des erreurs mentionnées précédemment, l'accord est satisfaisant.

Dans le cas des profondeurs mesurées au disque Secchi, une première carte a aussi été tracée à partir des seules mesures prises dans le lac aux différentes stations. La figure 8 présente les résultats obtenus. Comme on

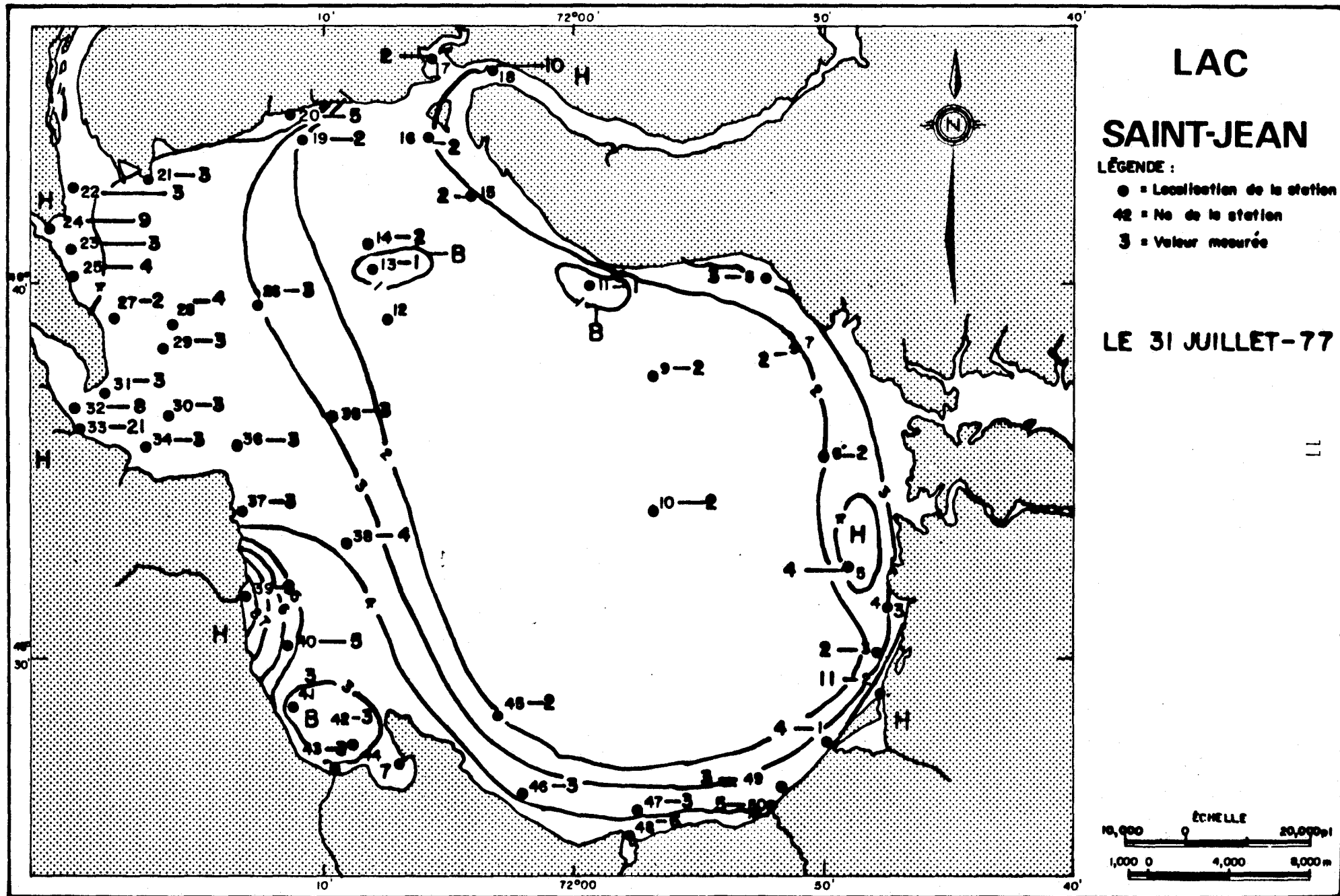


Figure 6. Cartographie des solides en suspension le 31 juillet 1977 à partir des seules données aux stations.

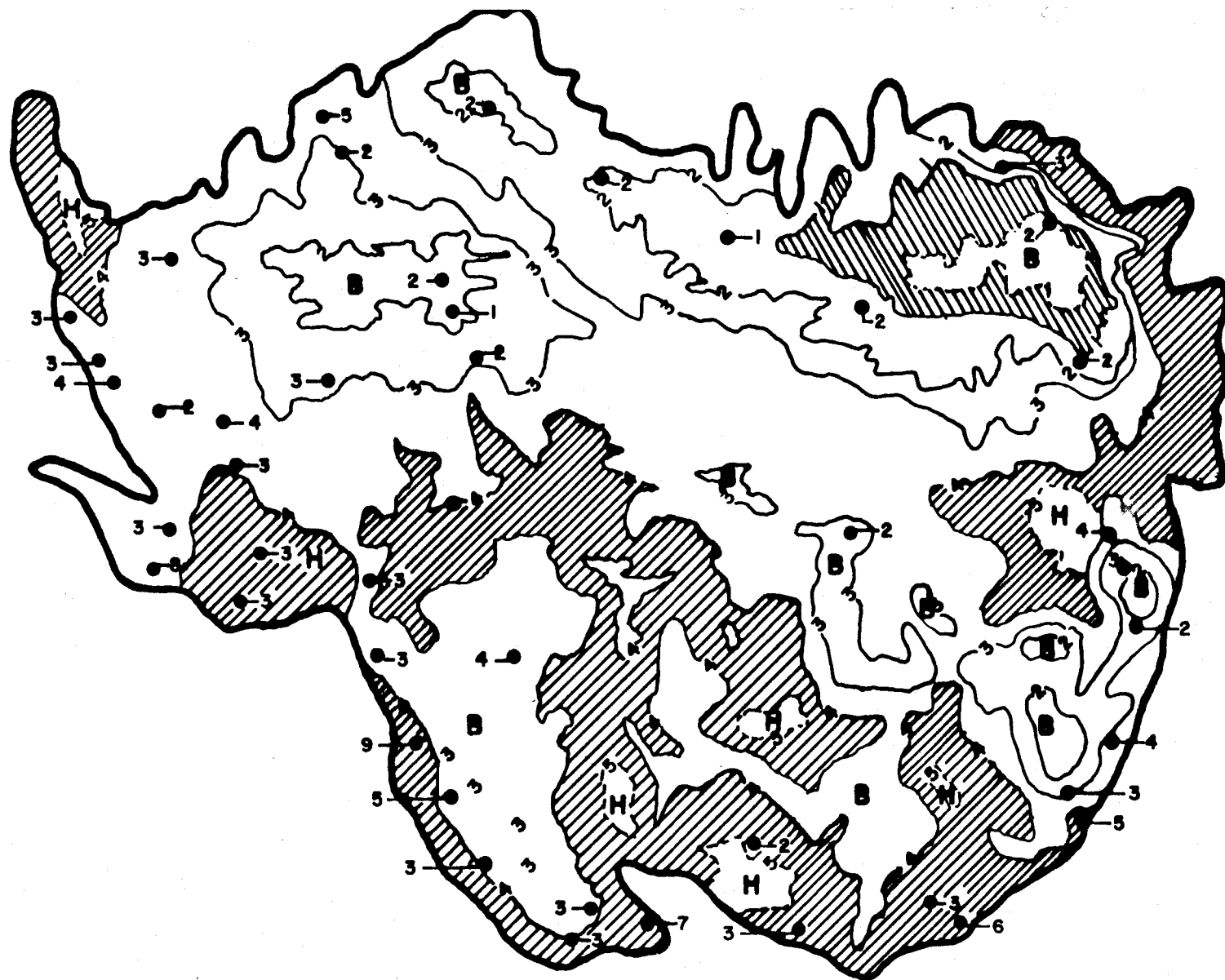


Figure 7 . Cartographie des solides en suspension le 31 juillet 1977 d'après la bande MSS-5 et les données aux stations .

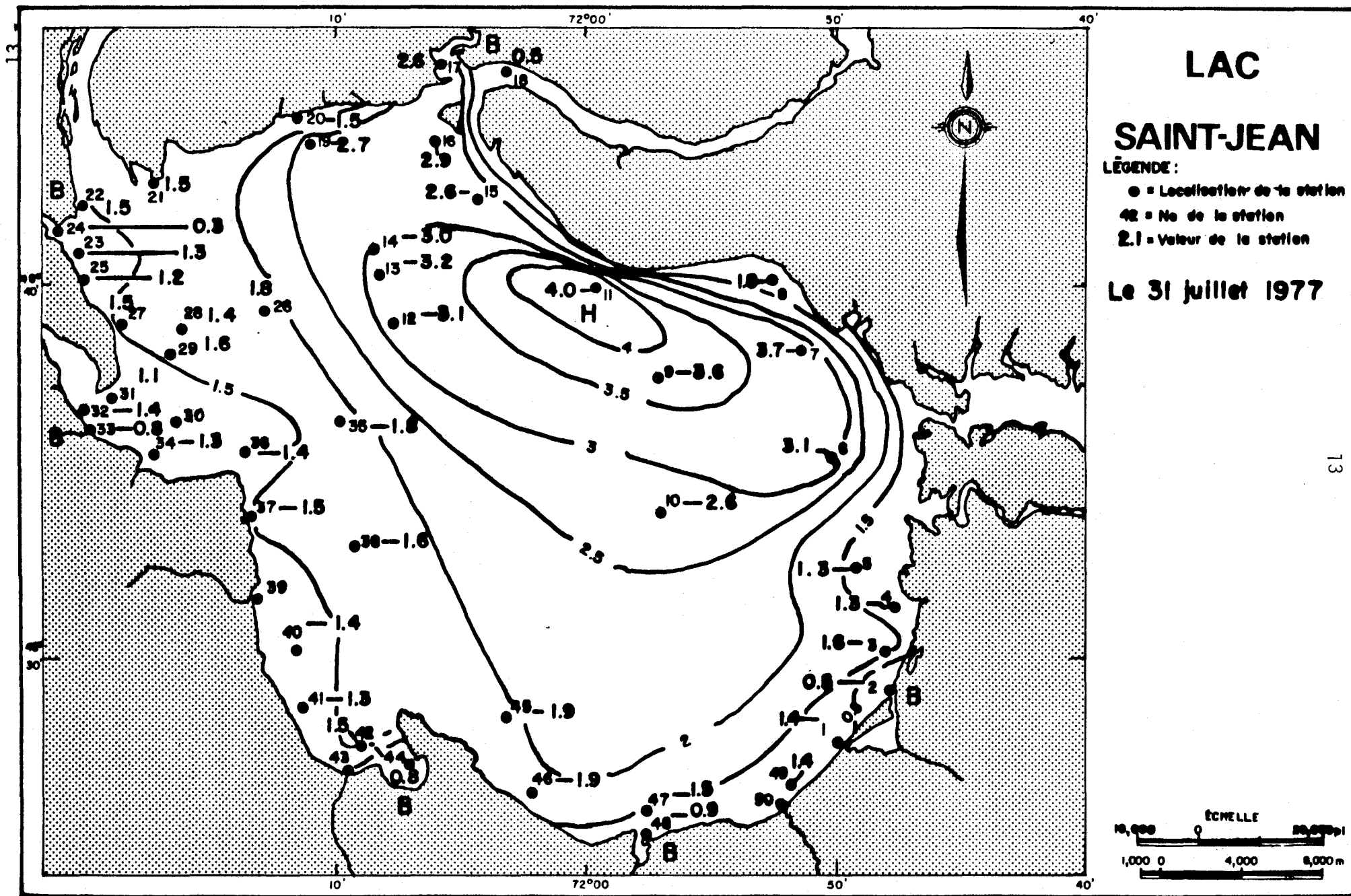


Figure 8 . Cartographie des profondeurs déterminées au disque Secchi le 31 juillet 1977 à partir des seules données des stations .

peut s'y attendre, après l'analyse précédente des solides en suspension, les profondeurs les plus faibles sont observées le long des rives et le maximum de profondeur atteint est de 4 m, à la station 11. Toutefois, alors que la figure 6 présentait une zone centrale de concentration relativement constante, la figure 8 comporte un gradient de profondeurs du Sud au Nord du lac, allant de 0,9 m à la station 48 à 4 m à la station 11. Il est intéressant de noter que les stations 9 et 10, qui ont toutes deux une concentration de solides en suspension de 2 mg/l, présentent des profondeurs relativement différentes du disque Secchi, soit 3,6 et 2,6 m, une différence de 1 m. Il est donc tout à fait normal que la cartographie déterminée à l'aide de la télédétection ne concorde pas parfaitement avec les mesures prises sur le lac. La figure 9 permet d'ailleurs de le constater. Le patron d'isoprofondeurs est le même que celui des solides en suspension, puisque l'information de base est la même, soit la bande MSS-5 de l'image prise par le satellite LANDSAT-2 le 31 juillet 1977. Les valeurs de ces isoprofondeurs ont été déterminées à l'aide de la figure 5. C'est dans le NE du lac que sont observées les profondeurs les plus grandes, soit plus de 3,5 m. Le maximum de 4 m mesuré à la station 11 n'est pas à l'intérieur de la zone de profondeur maximale délimitée par télédétection. On peut supposer que la représentativité spatiale de cette mesure n'est pas suffisamment importante pour être détectée. Quant à la zone caractérisée par des concentrations de solides en suspension égales ou supérieures à 4 mg/l, elle correspond, dans la figure 7, à des profondeurs mesurées au disque Secchi de moins de 1,5 m.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La comparaison de la figure 6 avec la figure 7 et celle de la figure 8 avec la figure 9, indique de façon très nette que l'on ne peut espérer cartographier la variabilité spatiale d'un phénomène sur un lac de la dimension du lac Saint-Jean avec une précision satisfaisante sans avoir recours à un nombre de points assez importants. D'autre part, tant les coûts que les problèmes logistiques associés à de telles mesures effectuées à la fréquence voulue, rendent pratiquement impensable la surveillance régulière de telles étendues d'eau au Québec. Le recours à la télédétection, associé à la prise

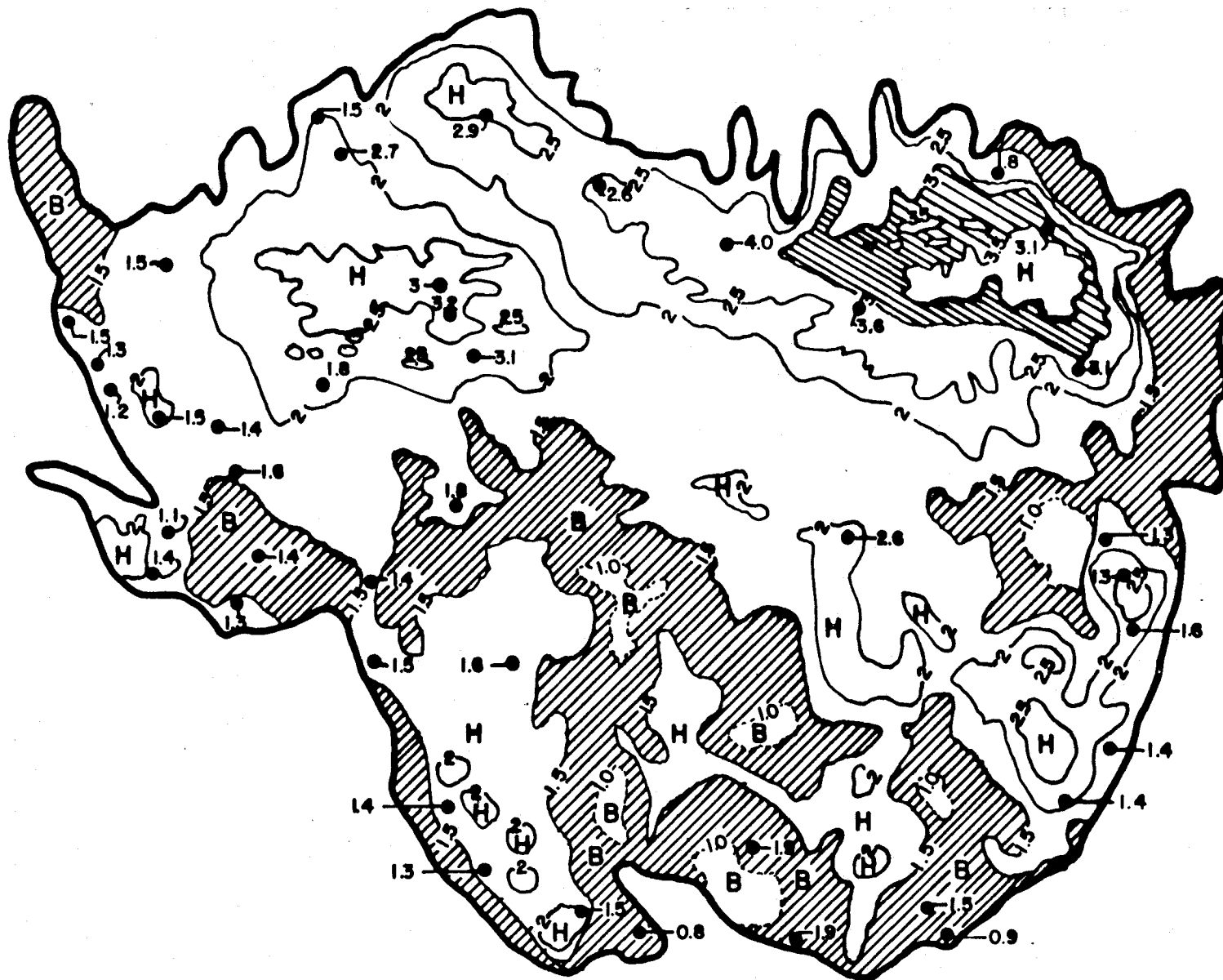


Figure 9 . Cartographie des profondeurs déterminées au disque Secchi le 31 juillet 1977 d'après la bande MSS-5 et les données aux stations .

de mesures de contrôle sur l'étendue d'eau, permettant de caler l'image obtenue par télédétection, semble donc souhaitable. Pour le moment, la fréquence de passage des satellites n'est peut-être pas assez grande pour assurer une couverture régulière d'un lac en particulier, mais pourrait permettre de mieux utiliser le personnel disponible, en concentrant davantage ses efforts aux endroits où la couverture nuageuse a empêché d'avoir des informations depuis un certain temps.

Enfin, il serait intéressant de procéder à l'occasion, et au moins une fois, à la mesure d'un même paramètre (turbidité, chlorophylle, ...) en plusieurs points relativement près l'un de l'autre (10 à 15 points par exemple), de façon à obtenir une meilleure idée de la représentativité spatiale de la mesure. Ce type de renseignement, en plus d'être utile en soi, serait important pour la télédétection. On aurait ainsi une meilleure idée de la confiance à donner à telle ou telle mesure, en se rappelant que la "tache élémentaire au sol" dans le cas des satellites LANDSAT fait environ 80 m de côté.

La télédétection fournissant une information intégrée pour une surface d'une certaine dimension, il y aurait lieu effectivement de vérifier quelle est la représentativité spatiale des mesures prises aux stations.

REFERENCES

ABIODUN, A.A. (1975)

Applications of LANDSAT data in the limnological study of Southern Indian Lake. Report prepared for the Freshwater Institute, Winnipeg, Manitoba.

ABIODUN, A.A. (1976)

Satellite survey of particulate distribution patterns in Lake Kainji. Remote Sensing of Environment, 5: 109-123.

BUKATA, R.P., HARRIS, G.P. and J.E. BURTON. (1974)

The detection of suspended solids and chlorophyll-a, utilizing digital multispectral ERTS-1 data. Second Canadian Symposium on Remote Sensing, Guelph, Ontario, p. 552-564.

JONES, H.G., OUELLET, M., LECLERC, M., CLUIS, D., COUTURE, P., POTVIN, L., et W. SOCHANSKA. (1978)

Productivité biologique des eaux du lac Saint-Jean. INRS-Eau, rapport scientifique no 76, 606 p.

JONES, G., SOCHANSKA, W., FORTIN, J.P. et E.J. LANGHAM. (1977)

Etude de la dynamique des eaux du lac Saint-Jean au Québec à l'aide des satellites LANDSAT-1 et LANDSAT-2. Comptes rendus, 4e Symposium canadien sur la télédétection, Québec, p. 305-312.

ROUSE, L.J. and J.M. COLEMAN. (1976)

Circulation observations in the Louisiana Right Using LANDSAT. Imagery. Remote Sensing of Environment, 5: 55-66.

SELLERS, W.D. (1969).

Physical Climatology. University of Chicago Press. 272 p.

YOST, E., HOLLMAN, R., ALEXANDER, J. and R. NUZZI. (1973)

An interdisciplinary study of the Estuarine and Coastal Oceanography of Block Island Sound and Adjacent New-York Coastal Waters. Proc. 3rd ERTS-1 Symposium I(B), p. 1607-1678, Goddard Space Flight Center, Maryland.