



Gouvernement du Québec
Ministère des Richesses naturelles
Direction générale des eaux
Service des eaux souterraines

ÉTUDE PAR MODÈLE MATHÉMATIQUE

DES NAPPES SOUTERRAINES

DE LA GROSSE ÎLE

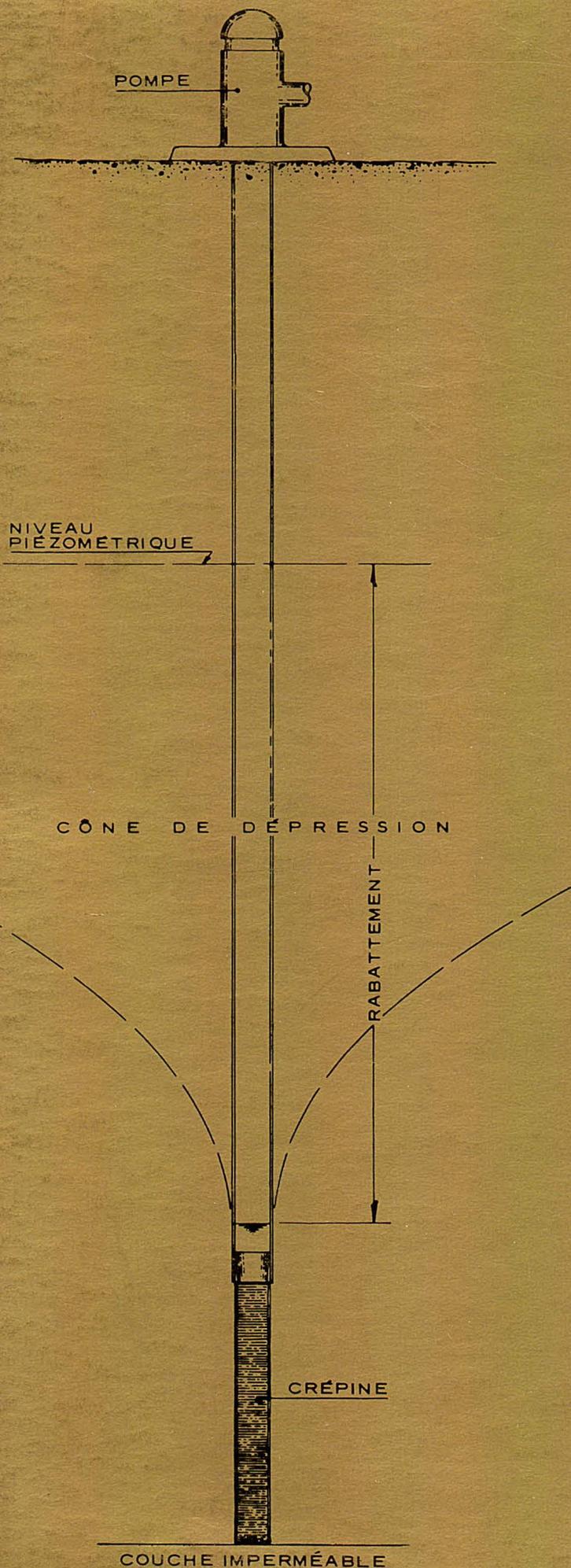
ET

DE L'ÎLE DE LA GRANDE ENTRÉE,

ÎLES-DE-LA-MADELEINE

MARCEL SYLVESTRE

QUÉBEC 1979



SERVICE DES EAUX SOUTERRAINES

ÉTUDE PAR MODÈLE MATHÉMATIQUE

DES NAPPES SOUTERRAINES

DE LA GROSSE ÎLE

ET

DE L'ÎLE DE LA GRANDE ENTRÉE,
ÎLES-DE-LA-MADELEINE

MARCEL SYLVESTRE

QUÉBEC 1979



TABLE DE CONVERSION
UNITES ANGLAISES - SI

Longueur

1 mètre (m) = 39,36 pouces (po.) = 3,28 pieds (pi.)

1 kilomètre (km) = 0,62 mille (mi.)

1 millimètre (mm) = 0,03936 pouce (po.)

Surface

1 mètre carré (m²) = 10,76 pieds carrés (pi²)

1 kilomètre carré (km²) = 0,38 mille carré (mi²)

Volume

1 mètre cube (m³) = 35,27 pieds cubes (pi³) =
220,1 gallons (g.)

1 litre (ℓ) = 0,88 pinte = 0,22 gallon (g.) =
0,035 pied cube (pi³)

Vitesse

1 mètre à la seconde (m/s) = 2,23 milles à l'heure (mi/h)

Débit

1 mètre cube à la seconde (m³/s) = 13 212 gallons à
la minute (g.p.m.)

1 mètre cube à l'heure (m³/h) = 3,67 gallons à la
minute (g.p.m.)

Masse

1 kilogramme (kg) = 2,205 livres (lb.)

1 gramme (g) = 0,035 once (on.)

RESUME

Pour évaluer les disponibilités en eau douce afin de répondre à un besoin potentiel découlant du projet minéralo-portuaire envisagé par la S.O.Q.U.E.M., on a effectué une étude hydrogéologique à la Grosse Ile et l'île de la Grande Entrée aux Iles de la Madeleine. Pour réaliser l'étude, dont l'élément principal consistait à évaluer le danger d'intrusion et de soulèvement de l'interface eau douce-eau salée soumis à divers programmes de mise en valeur des eaux souterraines, on a procédé selon les étapes suivantes: (1) mesure des paramètres hydrauliques sur le terrain; (2) calage d'un modèle en régime permanent et sans contrainte de pompage; (3) vérification du calage en régime transitoire; (4) simulation de divers programmes d'exploitation; (5) choix d'un programme d'exploitation à l'aide de la relation de Ghyben-Herzberg.

Pour la résolution numérique de l'équation de l'écoulement, on a eu recours à la méthode des éléments finis. A cet effet on a choisi les éléments isoparamétriques parce qu'ils facilitent la représentation de frontières irrégulières et des fonctions non linéaires.

On a retenu pour chacune des îles le programme optimal suivant de mise en valeur des eaux souterraines: pour la Grosse Ile (secteur est), celui-ci consiste à

aménager quatre (4) puits distants d'au moins 1 000 pieds (305 m) et exploités simultanément à pas plus de 20 g.p.m. ($5,5 \text{ m}^3/\text{h}$) chacun; pour l'île de la Grande Entrée, chacun des puits devrait débiter pas plus de 15 g.p.m. ($4,1 \text{ m}^3/\text{h}$) et être distancé d'au moins 900 pieds (274 m), pour un débit total combiné n'excédant pas 200 g.p.m. ($54,4 \text{ m}^3/\text{h}$).

ABSTRACT

An hydrogeological study has been undertaken at Grosse Ile and Grande Entrée island, Iles de la Madeleine, because of the potential need in fresh water for the proposed salt mine and port facility. The study, of which the main part is to evaluate the potential danger of salt water intrusion and fresh water-salt water interface upconing under various pumping conditions has been solved using the following steps: (1) field measurements of the various hydraulic parameters; (2) fitting of the steady state model; (3) fitting of the transient model; (4) simulation of various pumping programs; (5) choice of the optimum pumping programs based on Ghyben-Herzberg relation.

Finite-element technique using isoparametric elements has been chosen to solve the equation of ground

water motion in term of the head, because of the ease with which it can represent irregular boundaries and non linear functions.

The following optimum exploitation programs were retained for each island: at Grosse Ile it consists of four (4) wells at least 1 000 feet (305 m) apart one from another and pumped simultaneously at 20 g.p.m. ($5,5 \text{ m}^3/\text{h}$) each; at Grande Entrée, it was found that each well should not be pumped more than 15 g.p.m. ($4,1 \text{ m}^3/\text{h}$) each, and should be separated by a distance of at least 900 feet (274 m); making use of that scheme, the maximum volume of water available on Grande Entrée has been estimated to be of the order of 200 g.p.m. ($54,5 \text{ m}^3/\text{h}$).

TABLE DES MATIERES

RESUME	I
INTRODUCTION	1
Généralités	1
Géographie.	2
Approvisionnement en eau potable.	4
Etudes antérieures.	5
Climat.	5
HYDROGEOLOGIE	6
La Grosse Ile	6
Ile de la Grande Entrée	11
ECOULEMENT DES EAUX SOUTERRAINES EN MILIEU COTIER.	15
Relation de Ghyben-Herzberg	15
Equation.	20
SOLUTION NUMERIQUE	25
Méthode des éléments finis.	25
Le programme.	27
CALAGE DU MODELE	30
La Grosse Ile	30
Ile de la Grande Entrée	39

PROGRAMMES DE MISE EN VALEUR. . . . .	.41
La Grosse Ile. . . . .	.41
L'Ile de la Grande Entrée. . . . .	.53
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS. . . . .	.62
La Grosse Ile. . . . .	.62
Ile de la Grande Entrée. . . . .	.64
REFERENCES. . . . .	.67
APPENDICES	
1 - Forage - Grande Entrée-1973 . . . . .	.70
2 - Méthode des éléments finis . . . . .	.71
3 - Sorties imprimantes. . . . .	.76
4 - Données numériques des épreuves de pompage .	.117

ILLUSTRATIONS

FIGURES

1 Localisation du secteur étudié . . . . .	. 3
2 Géologie de la Grosse Ile. . . . .	. 7
3 Piézométrie de la Grosse Ile . . . . .	. 8
4 Hydrogéologie de la Grosse Ile . . . . .	. 9
5 Coupes géophysiques de la Grosse Ile . . . . .	.10
6 Piézométrie de l'île de la Grande Entrée . . .	.12
7 Hydrogéologie de l'île de la Grande Entrée .	.13

8	Coupes géophysiques de l'île de la Grande Entrée . . . . .	.14
9	Interface eau douce - eau salée . . . . .	.17
10	Relation de GHYBEN-HERZBERG . . . . .	.19
11	Représentation d'un élément isoparamétrique .	.26
12	Organigramme du programme . . . . .	.28
13	Fluctuation des niveaux d'eau, Station de Boisville . . .	.31
14	Courbe rabattement - temps, puits 7-I . . .	.34
15	Courbe rabattement - temps (simulée), puits 7-I . . .	.34
16	Courbe rabattement - temps, puits 4-I . . .	.36
17	Courbe rabattement - temps (simulée), puits 14-I . . .	.36
18	Courbe rabattement - temps (simulée), puits 4-I . . .	.36
19	Courbe rabattement - temps, puits 5-I . . .	.38
20	Courbe rabattement - temps (simulée), puits 16-I . . .	.38
21	Courbe rabattement - temps, puits 11-E . . .	.40
22	Courbe rabattement - temps (simulée), puits 11-E . . .	.40
23	Courbe isopièze simulée - La Grosse Ile . . .	.44
24	Courbe isopièze simulée - La Grosse Ile . . .	.45
25	Courbe isopièze simulée - La Grosse Ile . . .	.46
26	Courbe isopièze simulée - La Grosse Ile . . .	.48
27	Courbe isopièze simulée - La Grosse Ile . . .	.49
28	Courbe isopièze simulée - La Grosse Ile . . .	.50
29	Courbe isopièze simulée - La Grosse Ile . . .	.51

30	Courbe rabatement - temps (simulée)	52
31	Courbe isopièze simulée - Ile de la Grande Entrée	55
32	Courbe isopièze simulée - Ile de la Grande Entrée	57
33	Courbe isopièze simulée - Ile de la Grande Entrée	58
34	Courbe isopièze simulée - Ile de la Grande Entrée	59
35	Courbe isopièze simulée - Ile de la Grande Entrée	60

CARTES

1	Calage du modèle - La grosse Ile	
2	Calage du modèle - Ile de la Grande Entrée	

INTRODUCTION

Généralités

En raison des besoins potentiels en eau douce découlant du projet d'exploitation éventuelle d'une mine de sel par la société SOQUEM et de l'aménagement d'un port de mer, le service des Eaux souterraines du M.R.N. s'est vu confier au cours du printemps 1977 le mandat d'évaluer les disponibilités en eau souterraine, seule eau potable aux Iles de la Madeleine, à la Grosse Ile et à l'île de la Grande Entrée.

Le coût de cette étude, défrayée entièrement par l'Office de Planification et de Développement du Québec (O.P.D.Q.), s'est chiffré à \$86 000,00. La première partie, réalisée sous contrat par les Services Techniques en Eau Souterraine Inc. (S.T.E.S.) au cours de l'automne 1977, a consisté en des travaux de sondages, de pompages et d'analyses dont les données ont été consignées dans un rapport technique que la firme a remis au ministère en janvier 1978. La deuxième partie, objet du présent rapport, a eu comme objectif de déterminer les disponibilités en eau souterraine et de définir les meilleurs programmes de mise en valeur de cette ressource. En raison de la complexité du système hydrogéologique et de la vulnérabilité des nappes, menacées par l'invasion des eaux marines, on a analysé l'écoulement

des eaux souterraines par le biais d'un modèle mathématique. Pour réaliser les travaux d'informatique on a utilisé un ordinateur de type IBM 370/168, propriété de la firme Industriel Services Techniques Inc. (I.S.T.); le coût de ce service s'est élevé à près de \$3 000,00.

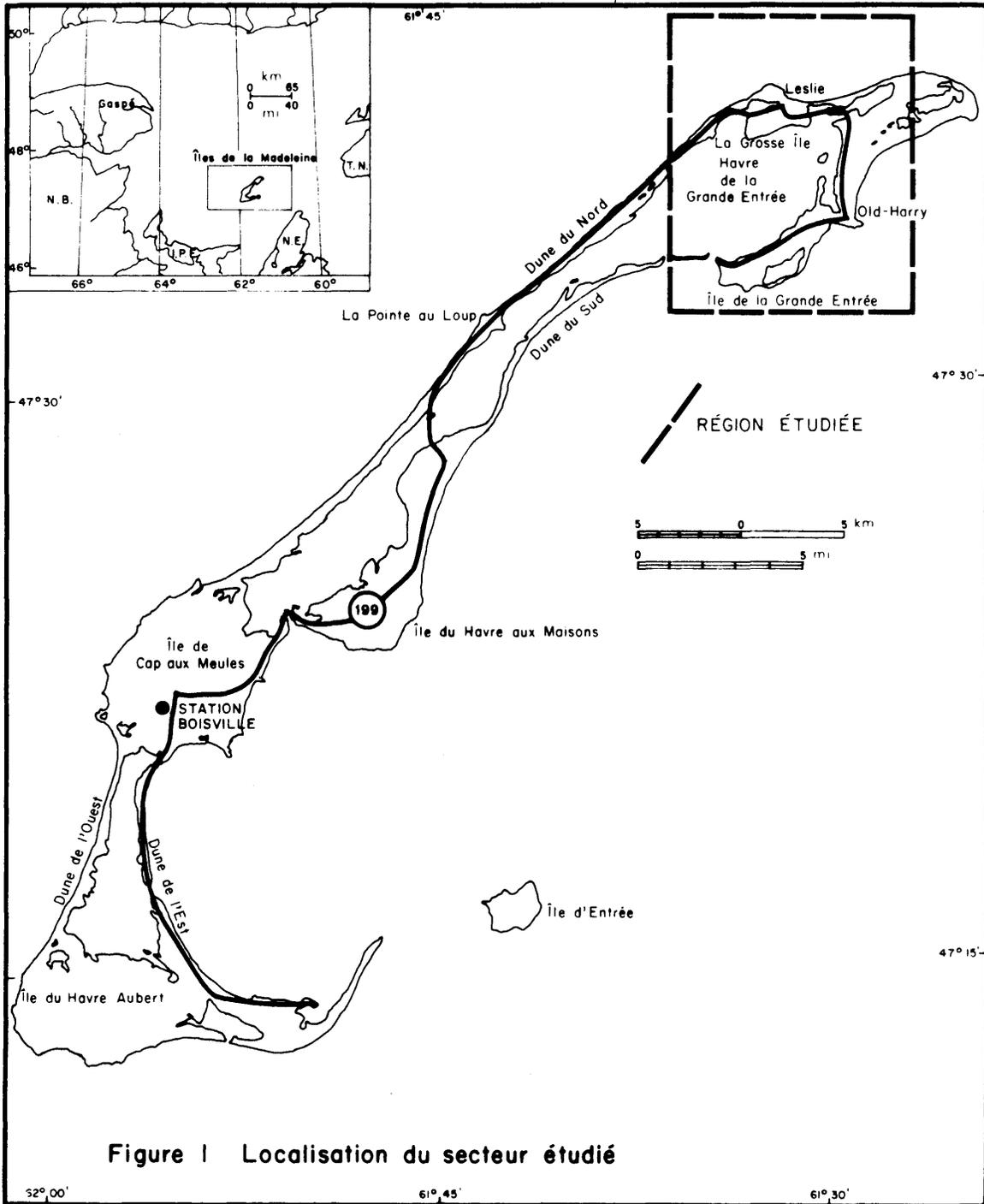
Géographie

Situées à l'extrémité nord-est des Iles de la Madeleine, la Grosse Ile et l'île de la Grande Entrée qui sont reliées entre elles par l'île de l'Est (flèche de sable) au nord-est et au reste des Iles par les dunes du Nord et du Sud, longent de part et d'autre le Havre de la Grande Entrée en direction nord-est-sud-ouest (Fig. 1). Elles sont comprises dans les feuillets topographiques 11N/11 et 11N/12 à l'échelle du 1:50 000.

La superficie de la Grosse Ile est d'environ un mille carré ($2,6 \text{ km}^2$) et celle de l'île de Grande Entrée est de 4 milles carrés ($10,2 \text{ km}^2$). Elles comprennent la municipalité de Grosse-Ile qui occupe l'île du même nom et l'extrémité nord de l'île de la Grande Entrée (Old-Harry), et la municipalité de Grande-Entrée qui occupe le reste de l'île de la Grande Entrée. La population de ces municipalités est respectivement de 500 et 1 000 habitants.

La topographie accentuée de la Grosse Ile,

110/11
110/12



comprenant des buttes dont l'altitude s'élève à plus de 280 pieds (85 mètres) au-dessus du niveau de la mer, contraste nettement avec celle de l'île de la Grande Entrée formée d'une butte allongée s'étendant de l'extrémité sud-ouest à l'extrémité nord-est dont l'élévation maximum n'atteint que 140 pieds (43 mètres) au-dessus du niveau de la mer.

Approvisionnement en eau potable

L'absence de rivières à fort débit ou de lacs de grande capacité font que l'unique source en eau potable est l'eau souterraine. Contrairement à toutes les autres îles de l'archipel desservies par des services d'eau municipaux, chaque famille possède sa propre source d'approvisionnement consistant dans la majorité des cas en des puits tubulaires; à certains endroits on trouve des citernes aménagées à la base de sources jaillissantes. Ont contribué à cette situation, l'absence d'industries à Grosse-Ile et les dangers appréhendés d'intrusion des eaux marines salées. L'implantation de puits dont l'impact n'a pas été évalué préalablement aurait pu entraîner une exploitation irrationnelle et la contamination non désirée d'une partie de l'aquifère. Toutefois, sauf sur la pointe de la Grande Entrée où deux (2) puits desservant une industrie et une usine frigorifique ont

contaminé une partie de l'aquifère de ce secteur (Sylvestre, 1973), l'ensemble de la population est pourvu de sources suffisantes en eau potable rencontrant les normes canadiennes pour l'eau potable (Ministère de la Santé et du Bien-être social, 1974).

Etudes antérieures

Plusieurs études ont porté sur la géologie, la météorologie et l'hydrogéologie des Iles de la Madeleine. Qu'il suffise de mentionner celles de Richardson (1881), Clarke (1910), Alcock (1935), Sanschagrin (1964), Brisebois (1972), Gagnon (1974), Villeneuve (1967), Dessureault et Simard (1970), Géoterrex Ltée (1971,1976), Sylvestre (1974) et Poulin (1977); les travaux de ces auteurs apparaissent à la fin du présent rapport. Les travaux de Poulin en 1977 sont les premiers à avoir couvert en détail les conditions hydrogéologiques qui prévalent à la Grosse Ile et l'île de la Grande Entrée.

Climat

Villeneuve (1967) a qualifié de maritime le climat des Iles de la Madeleine à cause de ses températures moins élevées en été et moins basses en hiver que celles enregistrées sur le continent à même latitude.

Comme il n'existe aucune station météorologique sur l'île de la Grande Entrée ou la Grosse Ile, les

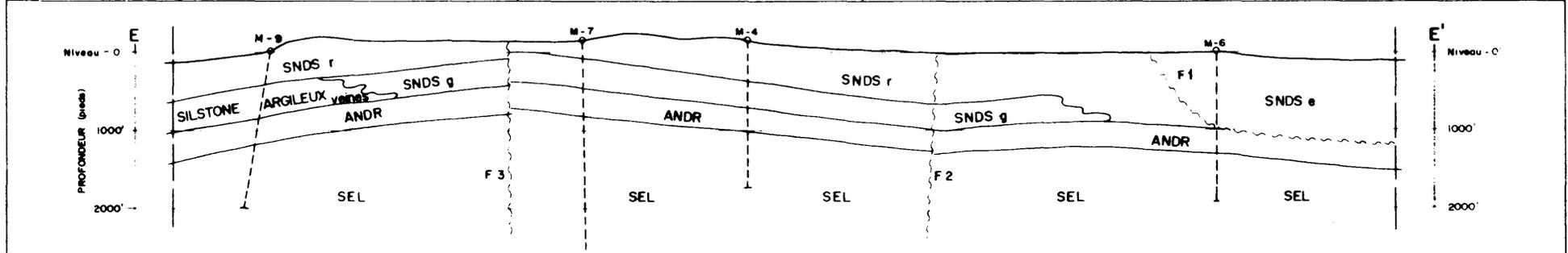
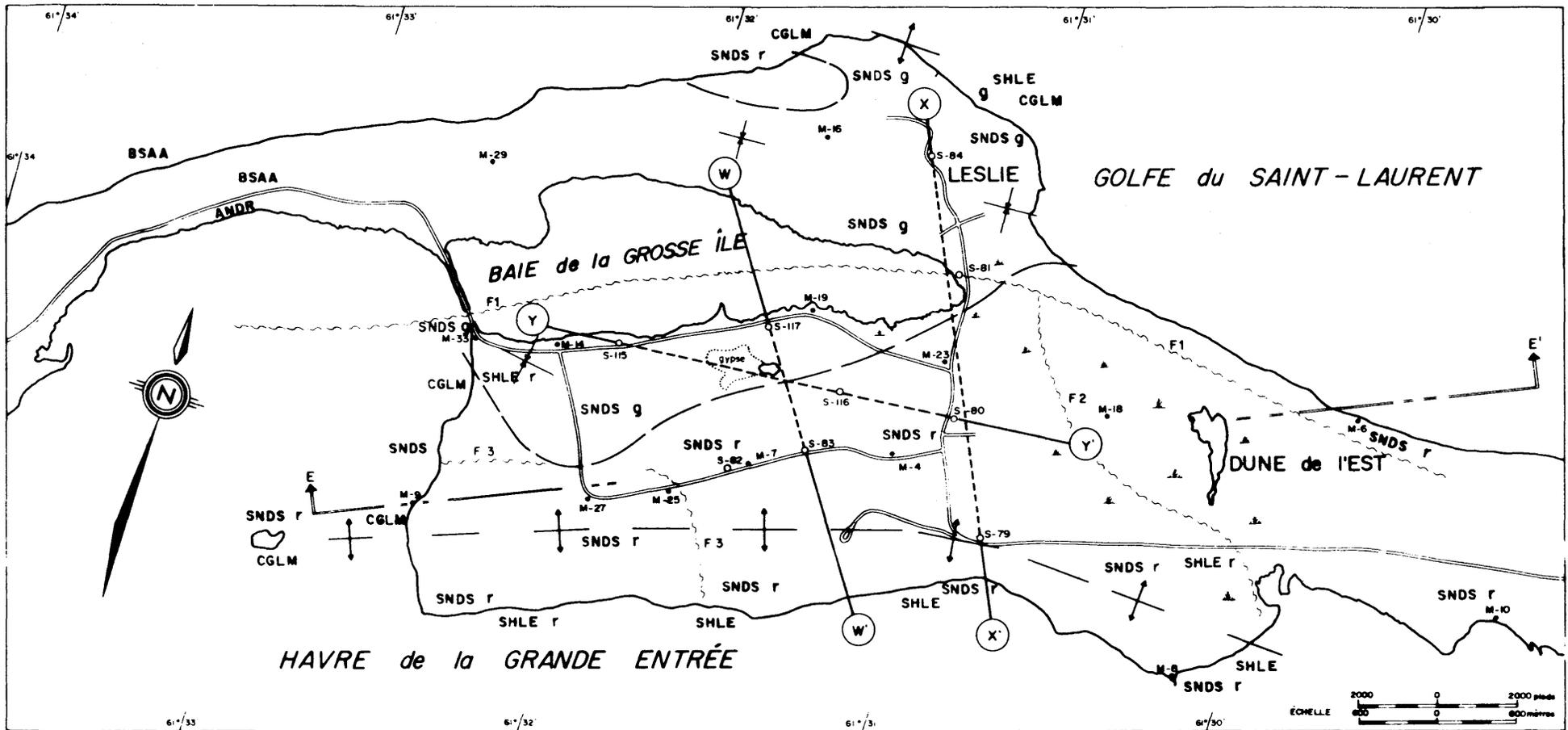
valeurs moyennes ont été établies à partir des enregistrements notés aux trois stations de Cap-aux-Meules, Havre-aux-Maisons et Rocher-aux-Oiseaux. La température varie en moyenne entre 18⁰F (-7,8⁰C) en février et 62⁰F (16,7⁰C) en août. La précipitation moyenne annuelle atteint 35,58 pouces (90,4 centimètres), dont le quart provient des chutes de neige. L'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle calculée par la méthode de Thornthwaite est de 20 pouces (50,8 centimètres) (Dessureault et Simard, 1970) laissant 15 pouces (38,1 centimètres) disponibles pour le ruissellement et l'infiltration.

HYDROGEOLOGIE

La Grosse Ile

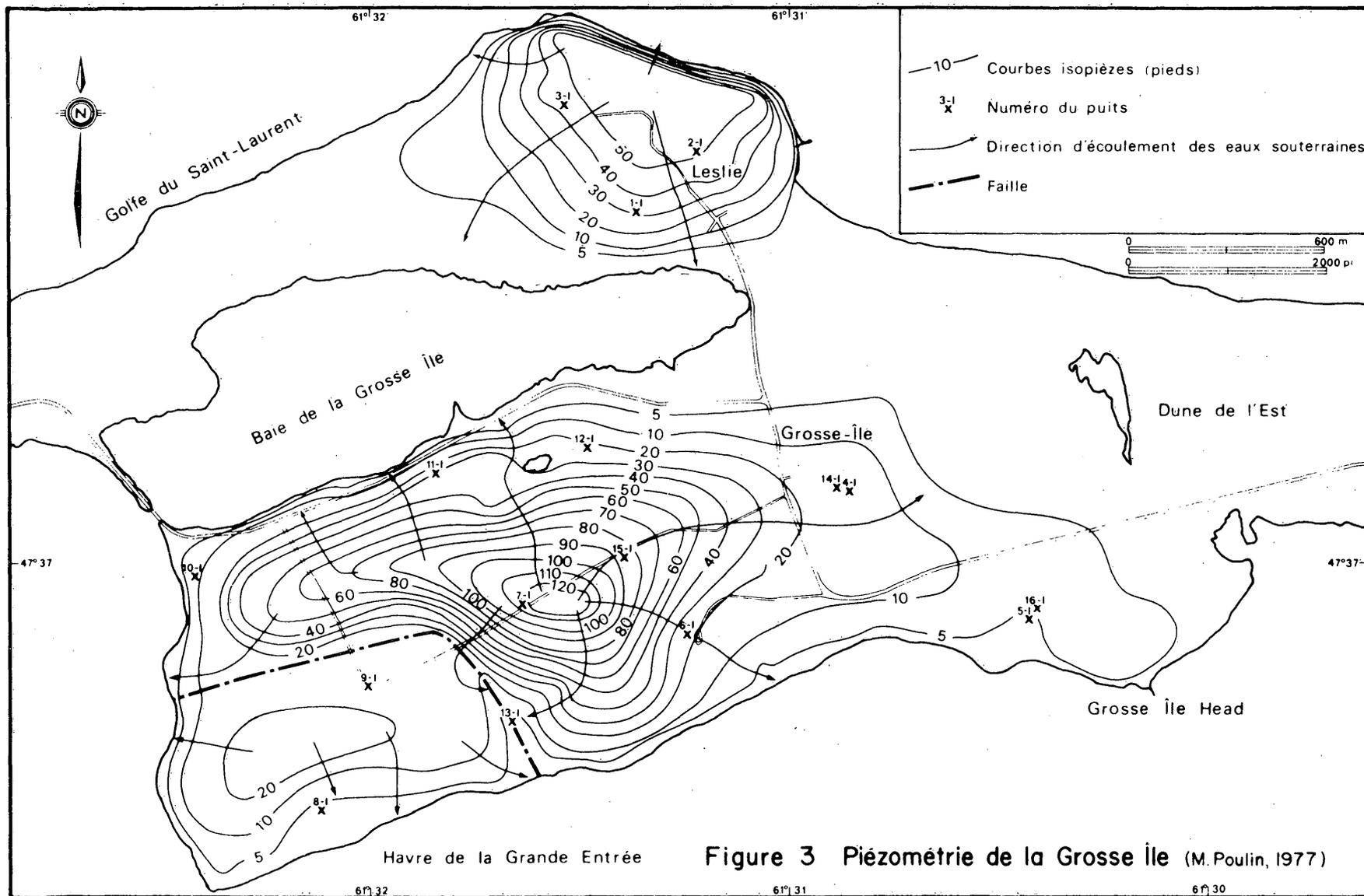
On connaît assez bien la géologie de la Grosse Ile grâce surtout aux travaux d'exploration qu'effectue la société SOQUEM depuis 1971 (Fig. 2). La couche superficielle du sous-sol comprend principalement du grès rouge et gris-vert de la formation de Cap-aux-Meules. On note aussi la présence d'un dôme de gypse affleurant sur le flanc nord de l'île et du sable dunaire de puissance variable recouvrant les dunes du Nord et de l'Est.

Les figures 3 et 4 indiquent les données piézométriques et hydrogéologiques de la Grosse Ile; elles sont tirées du rapport de Poulin (1977). La carte isopiézométrique tracée à partir des mesures du niveau d'eau le 29 octobre 1977 montre que la perméabilité des matériaux



	AFFLEUREMENT	○ S-X	S-GÉOPHYSIQUE	BSAA	BRÈCHE SILSTONE ARGILEUX ANHYDRITE		ANTICLINAL		SYNCLINAL
	MARÉCAGE	SNDS	GRÈS	SNDS	GRÈS ÉOLIEN		CONTACT GÉOLOGIQUE		COUPE E-E'
	CONTACT GÉOLOGIQUE	CGLM	CONGLOMÉRAT	r	ROUGE		FAULTE		COUPE GÉOPHYSIQUE
	FAULTE	SHLE	SHALE	g	GRIS				
	SONDAGE	ANDR	ANHYDRITE						

FIGURE 2
GÉOLOGIE
DE LA GROSSE ÎLE
(D. Gagnon-1974)



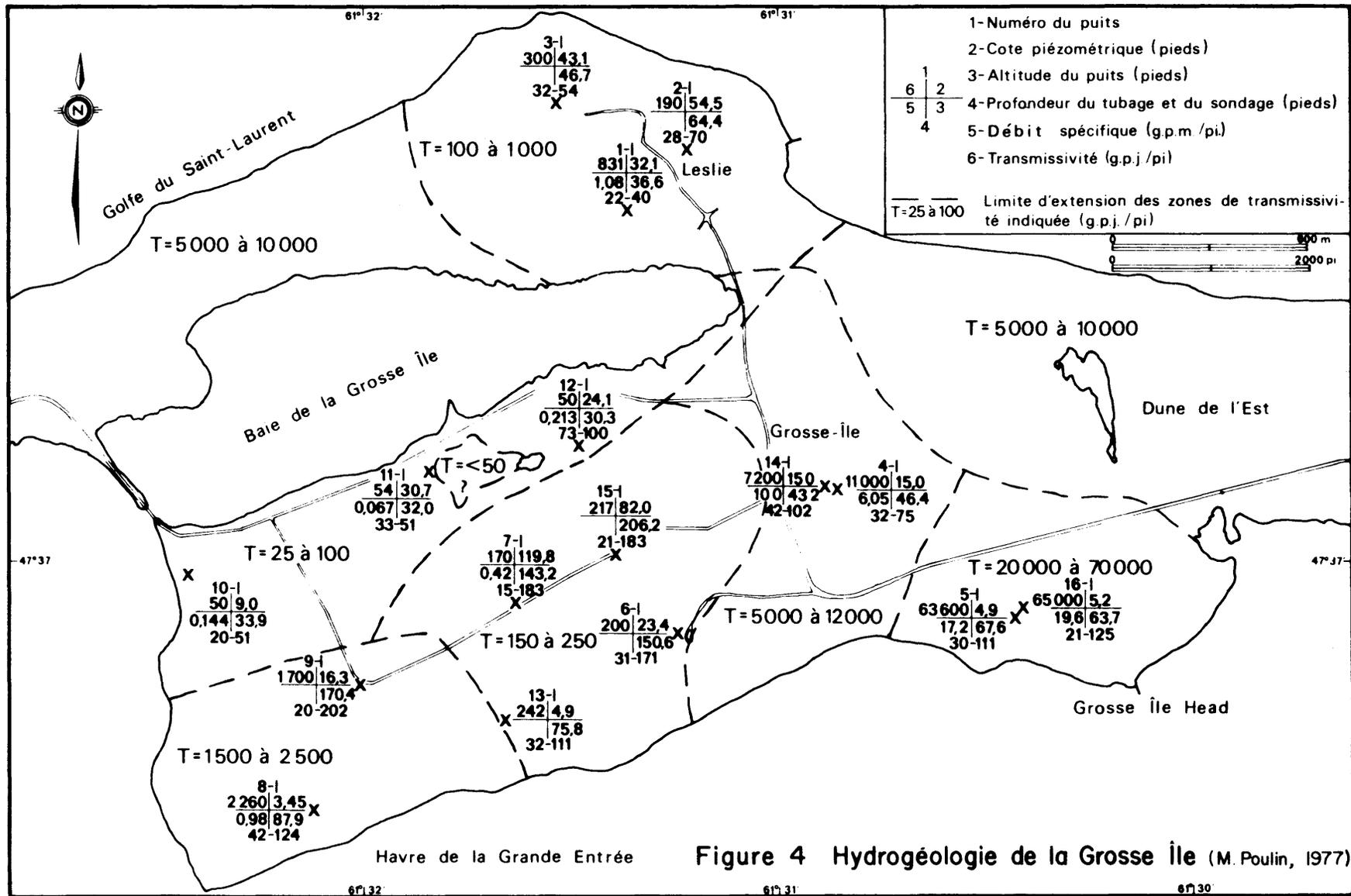


Figure 4 Hydrogéologie de la Grosse Île (M. Poulin, 1977)

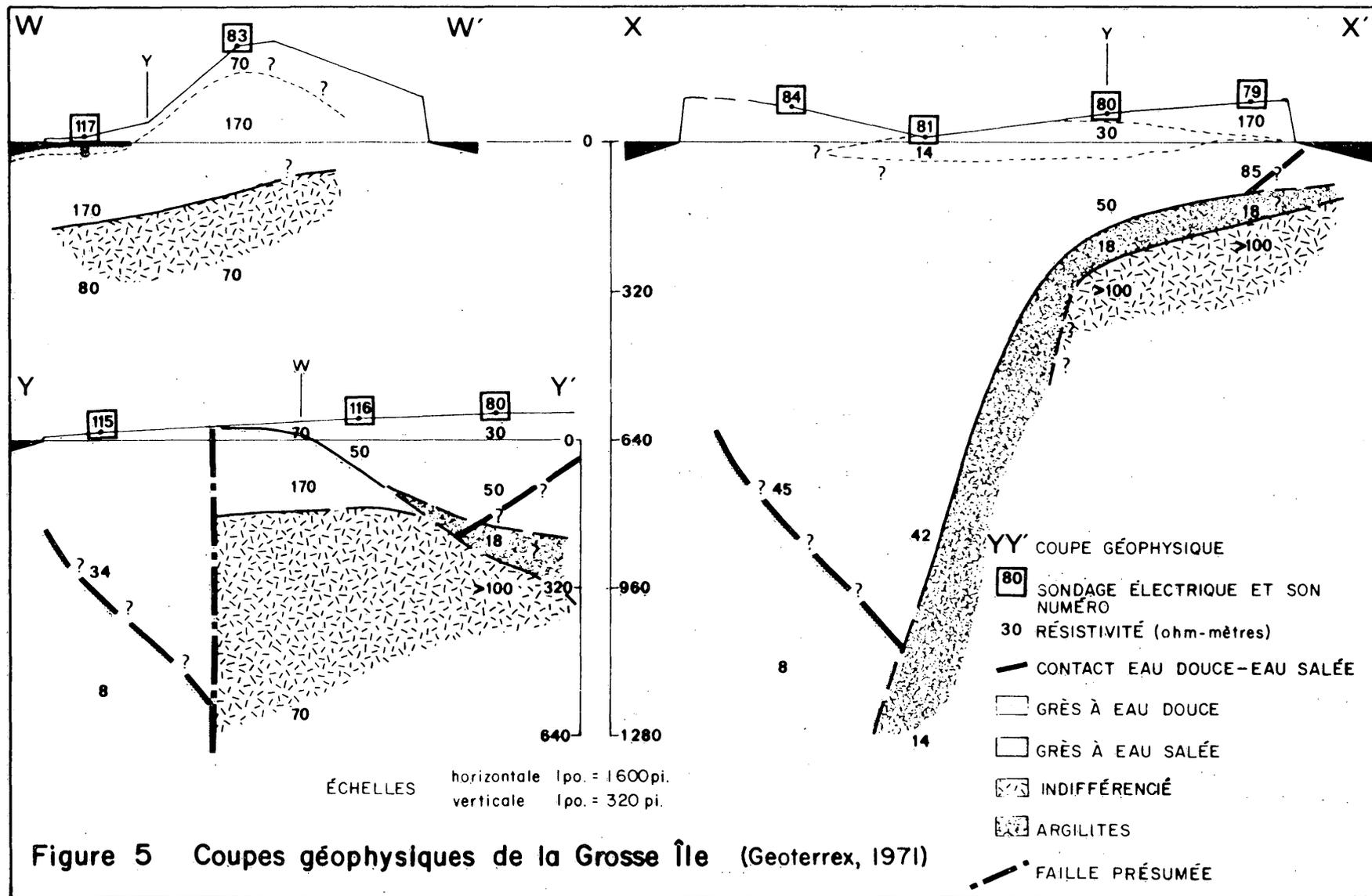


Figure 5 Coupes géophysiques de la Grosse Île (Geotrex, 1971)

est assez faible. En effet les gradients hydrauliques varient entre 5 et 10 pour cent sur une grande partie du territoire. Seuls les grès rouges situés à l'extrémité est de l'île ainsi que les sables dunaires présentent des perméabilités relativement élevées.

En 1971, le service des Eaux souterraines mandata la firme Géoterrex Ltée d'Ottawa pour exécuter une campagne de sondages électriques dans le but de délimiter l'interface eau douce-eau salée (Figs 2 et 5). L'expérience montre que les valeurs de résistivités pour les grès à eau salée ne dépassent généralement pas 8 ohm-mètres; on note la présence d'eau salée sous l'eau douce, autour de la Baie de la Grosse Ile et possiblement à l'extrémité est de l'île au voisinage de la dune de l'Est où le terrain dont la résistivité est de 18 ohm-mètres pourrait être un grès à eau salée. D'ailleurs on trouve dans ce secteur du grès éolien qui à cause de sa bonne perméabilité pourrait bien contenir de l'eau salée.

Ile de la Grande Entrée

La géologie de la Grande Entrée est beaucoup moins complexe que celle de la Grosse Ile. En effet, sauf la vallée enfouie longeant l'île à peu près en son centre, et constituée de dépôts sédimentaires récents, le substratum rocheux renferme principalement du grès

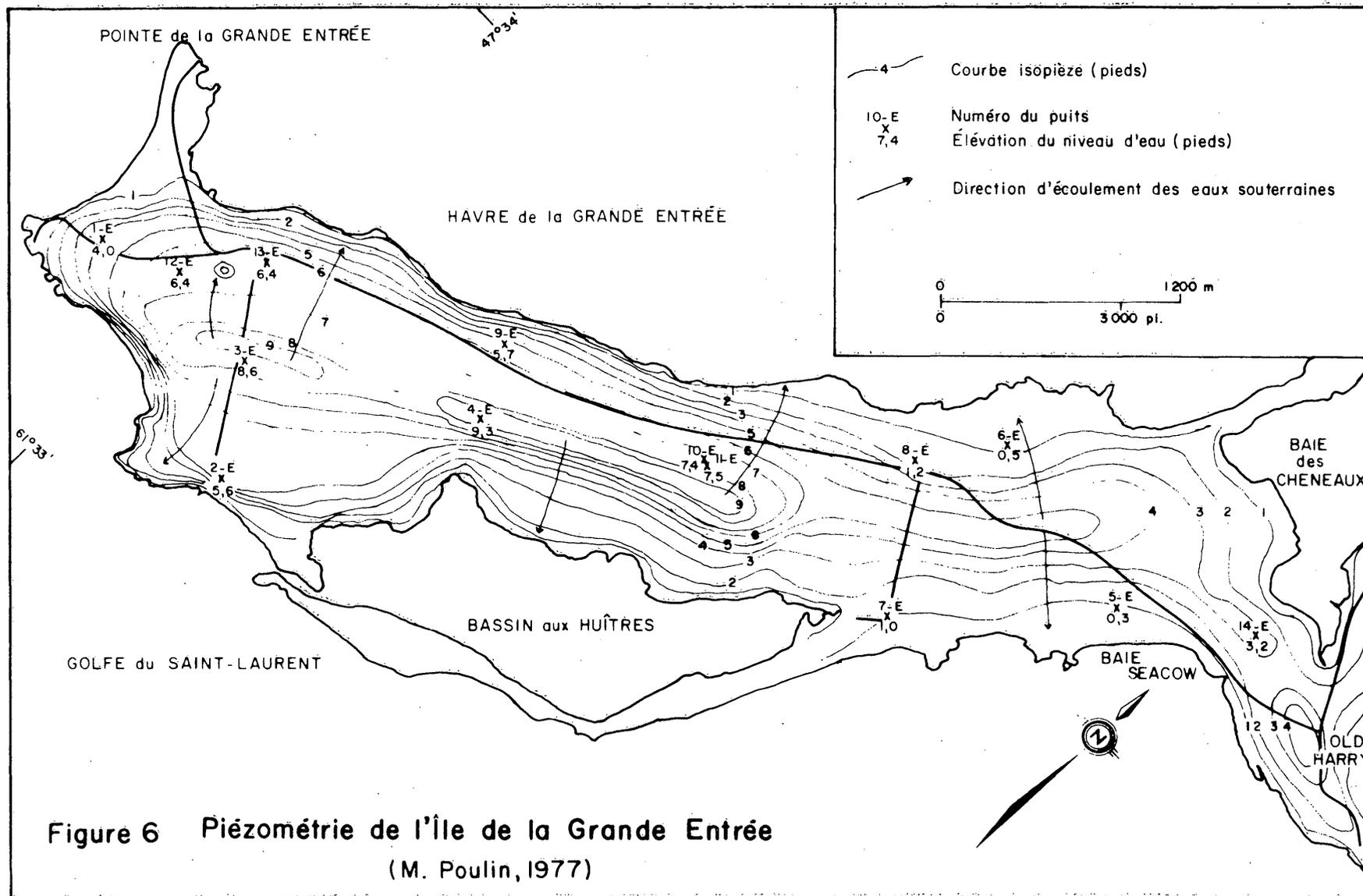


Figure 6 Piézométrie de l'Île de la Grande Entrée
(M. Poulin, 1977)

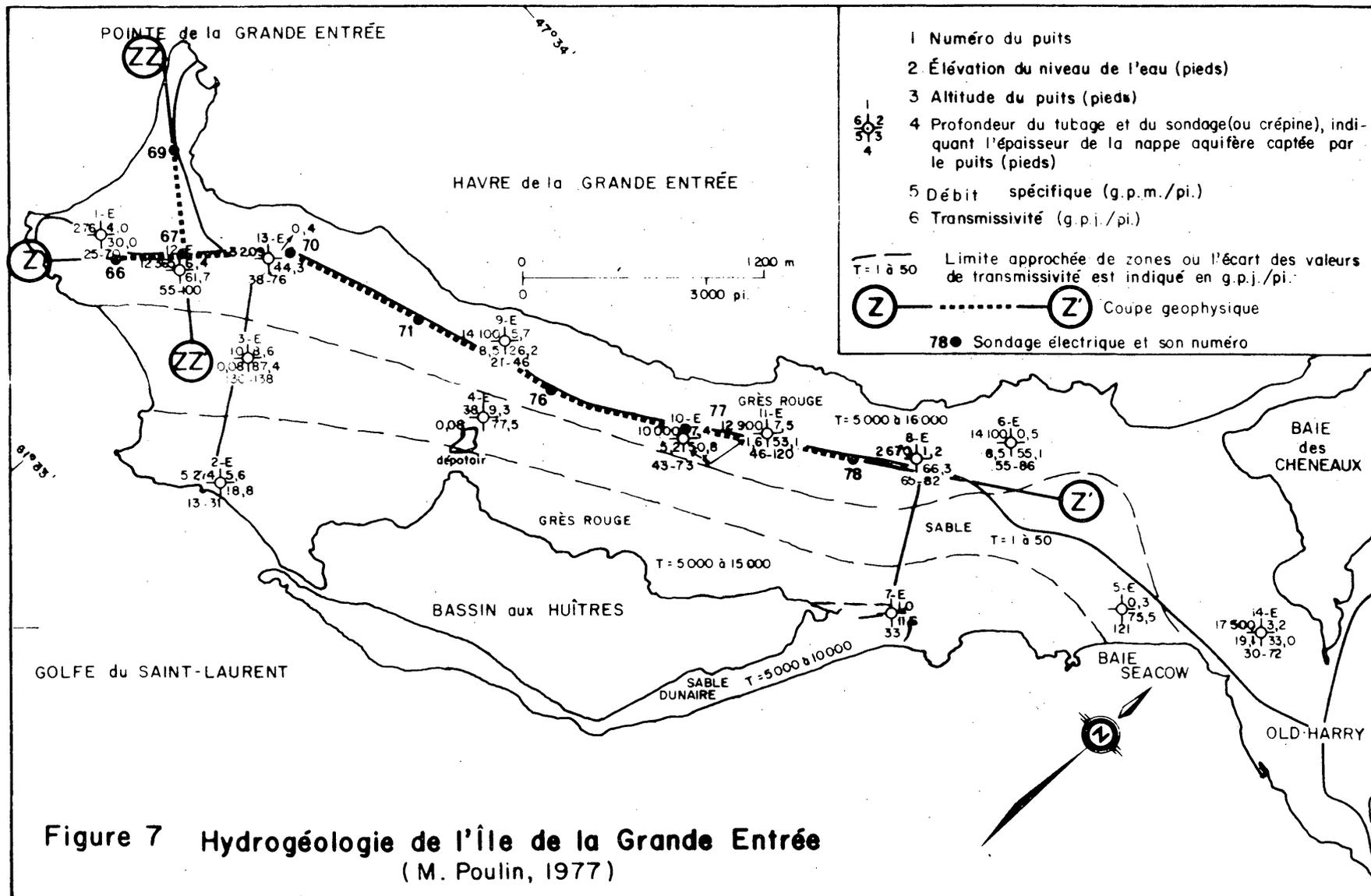


Figure 7 Hydrogéologie de l'île de la Grande Entrée
 (M. Poulin, 1977)

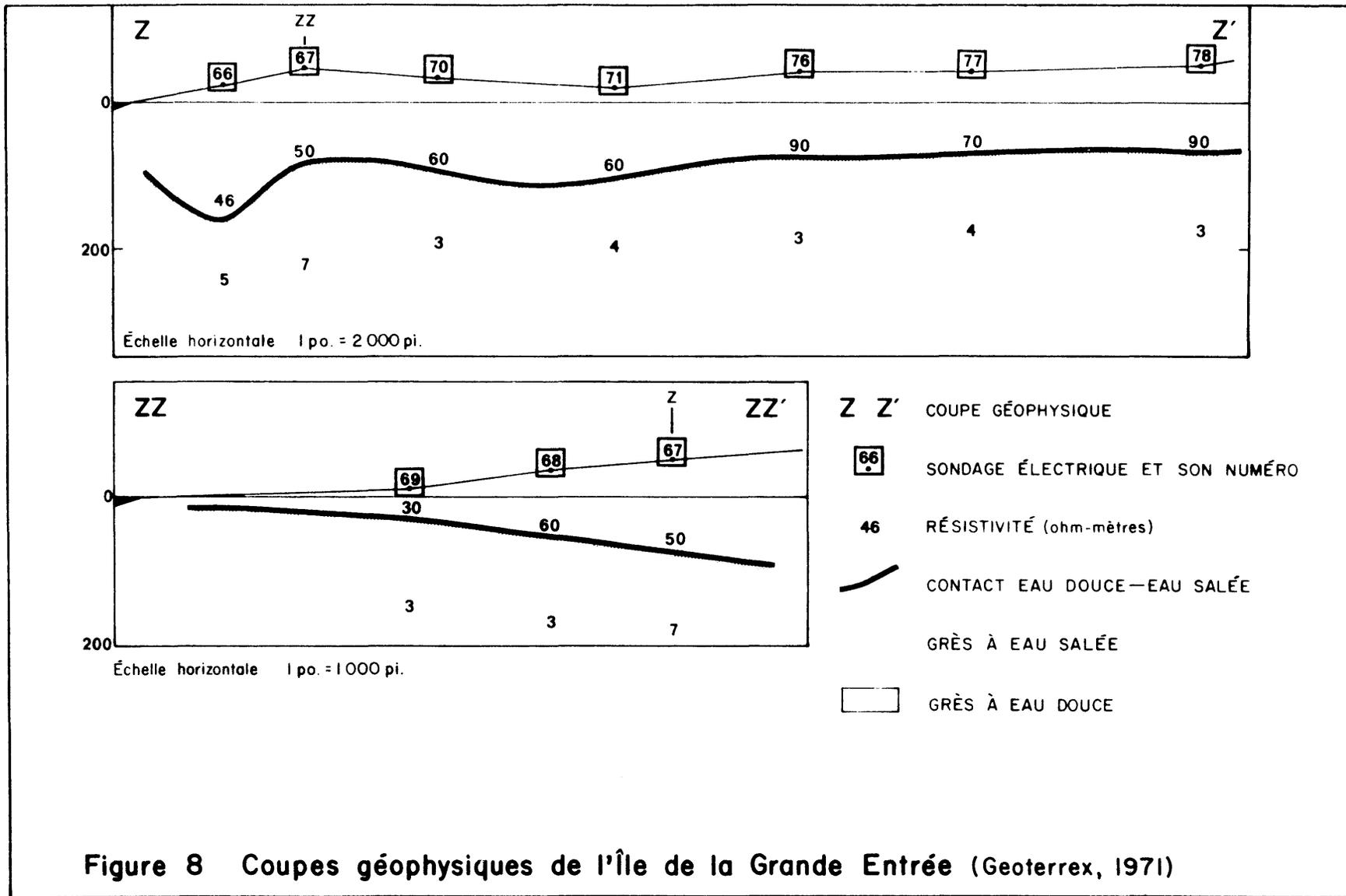


Figure 8 Coupes géophysiques de l'Île de la Grande Entrée (Geotrex, 1971)

rouge de la formation de Cap-aux-Meules. Les figures 6 et 7 font ressortir la piézométrie et l'hydrogéologie de l'île. A l'exception des dépôts sédimentaires récents, la perméabilité des matériaux est beaucoup plus élevée que sur la Grosse Ile; en conséquence le gradient hydraulique est moins accentué et l'élévation maximale de la nappe d'eau par rapport au niveau de la mer reste inférieure à 10 pieds (3 m). Les coupes Z-Z' et ZZ-Z'Z' (Figs 7 et 8) tirées du rapport de Géoterrex (1971) montrent que l'eau salée est présente sous toute l'étendue de l'île et se situe à une profondeur moyenne de 200 pieds (61 m) sous le niveau de la mer. Ces résultats ont été confirmés depuis par la contamination de deux (2) puits, l'un desservant une poissonnerie et l'autre un entrepôt frigorifique du ministère de l'Industrie et du Commerce (Sylvestre, 1973) (carte 2) d'une part, et d'autre part par un sondage mécanique de 235 pieds (72 m) effectué en 1973 par le service des Eaux souterraines (Appendice 1).

ÉCOULEMENT DES EAUX SOUTERRAINES EN MILIEU CÔTIER

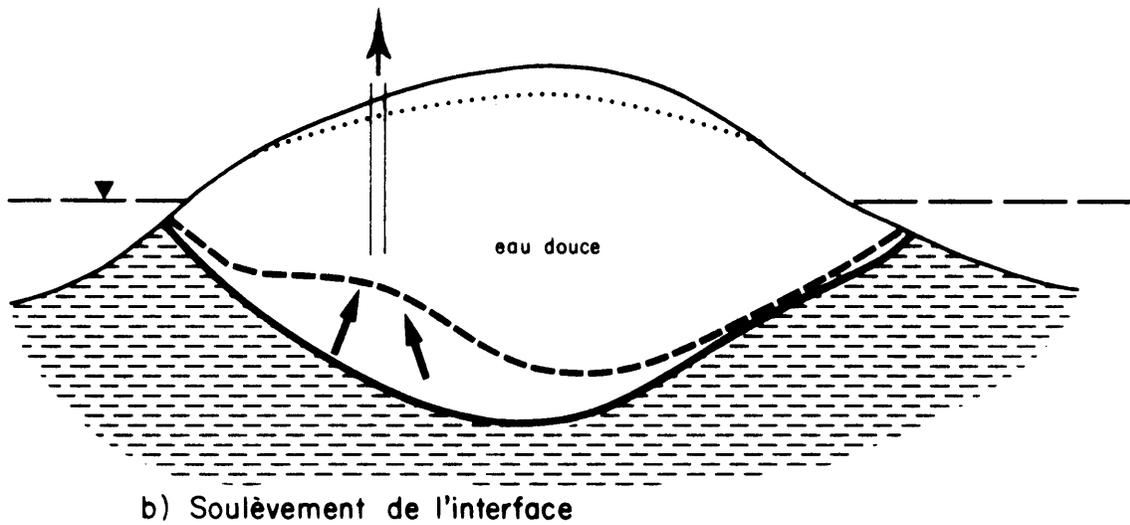
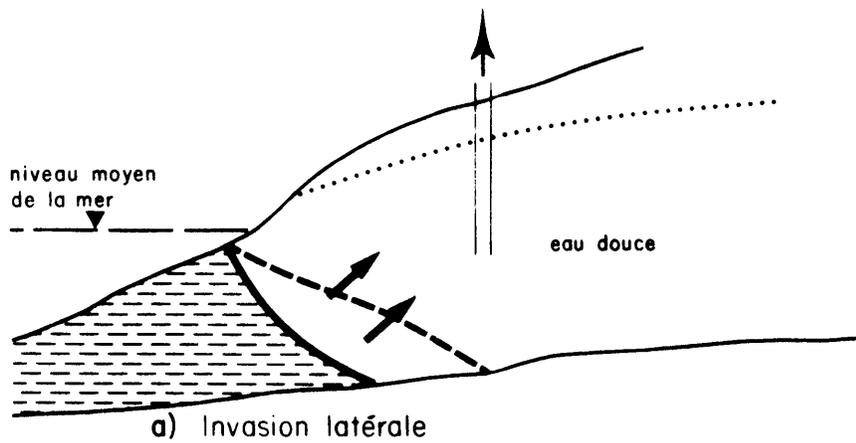
Relation de Ghyben-Herzberg

Le problème d'intrusion des eaux marines en milieu côtier a été analysé sous tous ses angles depuis que W.B. Ghyben (1888-1889) et B.H. Herzberg (1901) ont observé

qu'en milieu côtier l'eau douce flotte sur l'eau salée plus dense. Il en résulte une frontière entre les deux, "l'interface". L'étendue de l'interface dont la forme est approximativement parabolique, est fonction principalement de la perméabilité des matériaux en place. Deux cas types apparaissent sur les figures 9a et 9b.

A cause de la miscibilité des deux fluides, l'interface n'est pas une surface distincte, mais une zone de transition d'épaisseur variable où la concentration passe graduellement de celle de l'eau de mer à celle de l'eau douce. Etant donné les difficultés de mesurer les valeurs du coefficient de dispersion relié au mouvement de la zone de transition, la majorité des études du genre présupposent l'existence d'une surface unique entre les deux fluides définie comme étant la surface passant par les points de concentration moyenne. Kashef (1972) énumère plusieurs exemples pratiques qui confirment cette hypothèse.

Dès qu'une contrainte due à un pompage s'exerce sur le système, les niveaux piézométriques évoluent selon les caractéristiques du régime transitoire qui en est un de propagation. Après un certain temps cependant, selon les conditions aux limites et si les flux imposés à la nappe (infiltration, pompage...) restent constants, les niveaux piézométriques se stabilisent, c'est le régime permanent. Dans les nappes côtières, la variation de la



Légende

— POSITION DE L'INTERFACE AVANT POMPAGE

- - - POSITION DE L'INTERFACE SOUS L'INFLUENCE D'UN POMPAGE

..... NAPPE D'EAU

--- EAU SALÉE

Figure 9 Interface eau douce-eau salée

piézométrie provoque la progression de l'interface vers le puits jusqu'à ce qu'elle atteigne le puits ou un état de quasi-équilibre, en régime permanent (Figs 9a et 9b). C'est pourquoi, choisir un programme d'exploitation optimale signifie qu'il faut non seulement évaluer l'étendue du cône de pompage afin d'éviter que celui-ci n'atteigne la mer, mais aussi estimer en tous points du bassin la profondeur de l'interface eau douce-eau salée, celle-ci devant toujours rester bien au-dessous de la cote inférieure du puits (au moins 100 pieds).

Le modèle le plus simple décrivant la profondeur à l'interface est celui de Ghyben-Herzberg et repose sur l'hypothèse de l'immobilité des deux fluides. La relation hydrostatique obtenue entre l'élévation de la nappe d'eau par rapport au niveau de la mer " h_0 " et la profondeur de l'interface sous le niveau de la mer " h_s " s'exprime de la façon suivante (Fig. 10):

$$h_s = \frac{G_f}{G_s - G_f} \cdot h_0 \approx 40 h_0 \quad (1)$$

où

G_s est la densité de l'eau salée;

et G_f est la densité de l'eau douce.

Quoique contredisant la théorie de l'équilibre dynamique de l'écoulement des eaux souterraines, cette approximation vérifiée à plusieurs reprises, a l'avantage d'être simple et de fournir une estimation raisonnable du comportement

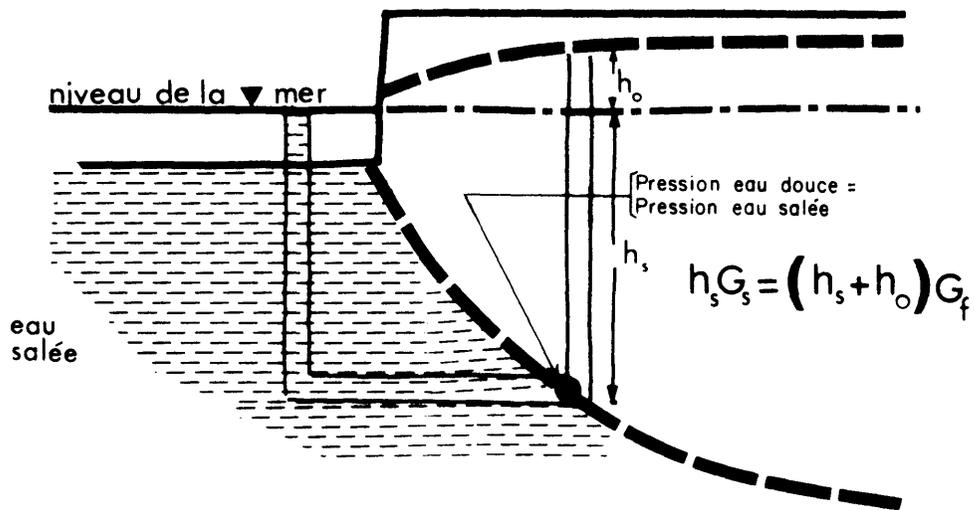


Figure 10 Relation de GHYBEN-HERZBERG

M.R.N. HG-12 (1979)

de l'interface (Sylvestre, 1974).

Equation

A partir des paramètres et des conditions initiales et aux limites connues, la surface piézométrique d'un aquifère peut être calculée à l'aide de l'équation différentielle de l'écoulement des eaux souterraines. Celle-ci a fait l'objet de plusieurs publications, notamment Theis (1935), Jacob (1950) et Cooper (1966). Dans un milieu poreux, hétérogène et anisotrope, lorsque la nappe est dotée d'un écoulement horizontal (le pendage relativement faible des aquifères justifie l'utilisation de cette approche dans la plupart des cas), l'équation est réduite à l'expression bidimensionnelle suivante:

$$\left[\frac{\partial T_{xx} \frac{\partial}{\partial x}}{\partial x} + \frac{\partial T_{yy} \frac{\partial}{\partial y}}{\partial y} \right] h = S \frac{\partial h}{\partial t} + W \quad (2)$$

où T_{xx} et T_{yy} sont les valeurs principales dans les directions x et y du tenseur de la transmissivité ($L^2 T^{-1}$);

$$\text{avec } T_{xx} = m K_{xx} \text{ et } T_{yy} = m K_{yy} ; \quad (3)$$

où m est la puissance de la nappe (L);

K_{xx} et K_{yy} sont les valeurs principales du tenseur de la perméabilité (LT^{-1});

S est le coefficient d'emmagasinement (sans dimension);

h est la charge hydraulique (L);

$\partial/\partial x$ et $\partial/\partial y$ sont les dérivées partielles par rapport
aux directions x et y dans un repère fixe;

et $\partial/\partial t$ est la dérivée partielle par rapport au temps.

En régime permanent le terme $(\partial h/\partial t)$ étant nul, l'équation de l'écoulement est réduite à l'expression suivante:

$$\left[\frac{\partial T_{xx} \frac{\partial}{\partial x}}{\partial x} + \frac{\partial T_{yy} \frac{\partial}{\partial y}}{\partial y} \right] \cdot h = W \quad (4)$$

Le terme W est le flux par unité de surface et comprend l'influence de tous les facteurs qui peuvent imposer une contrainte au système, les trois principaux étant:

(1) le facteur humain (pompage, injection...); (2) le facteur hydraulique qui se traduit par la percolation entre les différentes formations selon le modèle de Hantush (1964); (3) le facteur climatique (infiltration, évaporation). La formulation mathématique de chacun de ces facteurs est en général la suivante:

1^{er} facteur

$$W_1 = \sum_{j=1}^r Q_j(x,y) \delta(x-x_j)(y-y_j) \quad (5)$$

où Q_j est le débit de la $j^{\text{ième}}$ contrainte ($L^3 T^{-1}$);

r est le nombre de contraintes appliquées au système;

δ est la fonction delta de Dirac.

2^{ième} facteur

$$W_2 = \frac{K^1 (h - h_a)}{\ell^1} \quad (6)$$

où K^1 est la conductivité hydraulique verticale de la couche semi-perméable (LT^{-1});

ℓ^1 est la puissance de cette couche (L);

h_a est la charge maximale dans cette couche (L);

h est la charge dans la couche perméable (L);

3^{ième} facteur

$$W_3 = I(x, y, t) \quad (7)$$

I est l'infiltration (évaporation), une fonction du temps et de l'espace (LT^{-1}).

Une nappe a une extension limitée et sur ses frontières les échanges d'eau avec l'extérieur sont régis par les conditions aux limites qui sont de deux types: (1) la charge peut être imposée (étangs, lacs, rivières...), condition de Dirichlet; (2) le flux ou débit peut être connu (faciès imperméable ou flux connu), condition de Neumann. A cause de la difficulté de représenter ces conditions à l'aide de fonctions mathématiques simples, il faut en général résoudre les équations (2) et (3) à l'aide d'un modèle mathématique numérique.

Puisque la transmissivité est fonction de la puissance saturée de la nappe "m", l'équation (2) n'est

pas valide pour l'étude du mouvement des eaux dans une nappe phréatique où "m" varie avec le temps. L'hypothèse de Dupuits (1863) qui assume que l'écoulement est horizontal en tous points de la nappe, est le seul outil simple que possèdent les hydrogéologues pour traiter ces problèmes. Bear (1972) démontre que l'équation (2) satisfait l'hypothèse de Dupuits lorsque "m" est substitué dans (3) par l'expression suivante:

$$m = h - z \quad (8)$$

où z est la cote inférieure de la nappe.

La surface piézométrique calculée à l'aide de l'équation de l'écoulement est conforme à la réalité en autant que les paramètres hydrauliques de la nappe soient connus en un grand nombre de points du secteur étudié. Une étude exhaustive sur le terrain pour mesurer ces paramètres serait évidemment très coûteuse. Une fois la piézométrie connue, caractéristique d'une nappe la plus facile à mesurer, se pose le problème de l'utiliser pour définir ou vérifier les paramètres hydrauliques dans les secteurs où l'information manque ou est erronée, ou encore où la structure d'interprétation est fautive. La stratégie est la suivante: on subdivise d'abord le bassin d'après les structures géologiques connues, ensuite on assigne à chaque secteur des paramètres hydrauliques conformes aux mesures de terrain. A l'aide d'un modèle mathématique numérique l'équation (3) est résolue pour la surface piézométrique en régime permanent. On compare alors les

résultats en regard de la surface piézométrique observée à l'étiage sur le terrain. Par mesure de sécurité, l'étude du comportement d'une nappe à long terme doit porter sur la piézométrie à l'étiage, niveau le plus bas qu'atteint la nappe au cours de son cycle annuel. L'étape précédente est reprise après avoir ajusté les valeurs des paramètres hydrauliques jusqu'à ce que la piézométrie calculée coïncide avec la piézométrie observée. Cette phase du modèle mathématique qui permet de raffiner le découpage des paramètres hydrauliques porte le nom de calage.

Une fois le calage réalisé en régime permanent, il est vérifié en régime transitoire où des essais de pompage sont simulés et comparés avec les essais effectués sur le terrain. Bien souvent ceci permet un meilleur raffinement des secteurs les plus importants.

Pour résumer, l'étude procédera selon les étapes suivantes: (1) calage du modèle en régime permanent et sans contrainte de pompage; (2) vérification du calage en régime transitoire à l'aide des données de pompage réalisé sur le terrain; (3) simulation de divers programmes d'exploitation en régime permanent et en régime transitoire (4) choix d'un programme d'exploitation selon la relation de Ghyben-Herzberg.

SOLUTION NUMERIQUE

Méthode des éléments finis

On résout numériquement l'équation de l'écoulement suivant la technique des éléments finis parce qu'elle permet de mieux représenter les frontières irrégulières et les fonctions non linéaires. On formule les équations discrètes à l'aide de la méthode de Galerkin, décrite par Zienkiewicz et Parek (1970) et adaptée aux eaux souterraines par Pinder et Frind (1972). On trouvera à l'appendice 2 une description détaillée de la méthode.

La technique consiste à calculer la charge en un nombre fini de points ou noeuds. Le maillage qui définit ces points se compose d'éléments quadrilatéraux aux côtés difformes et contenant 2, 3 ou 4 noeuds (éléments isoparamétriques) selon que l'approximation requise le long d'un côté doit être représentée par un polynôme du premier, deuxième ou troisième degré (Fig. 11). Les paramètres hydrauliques de la nappe sont définis pour chaque élément par leurs valeurs moyennes sur le domaine de l'élément. La charge est imposée aux noeuds situés sur une frontière répondant à la condition de Dirichlet, et le flux est maintenu constant sur les côtés des éléments qui coïncident avec des frontières à flux imposé.

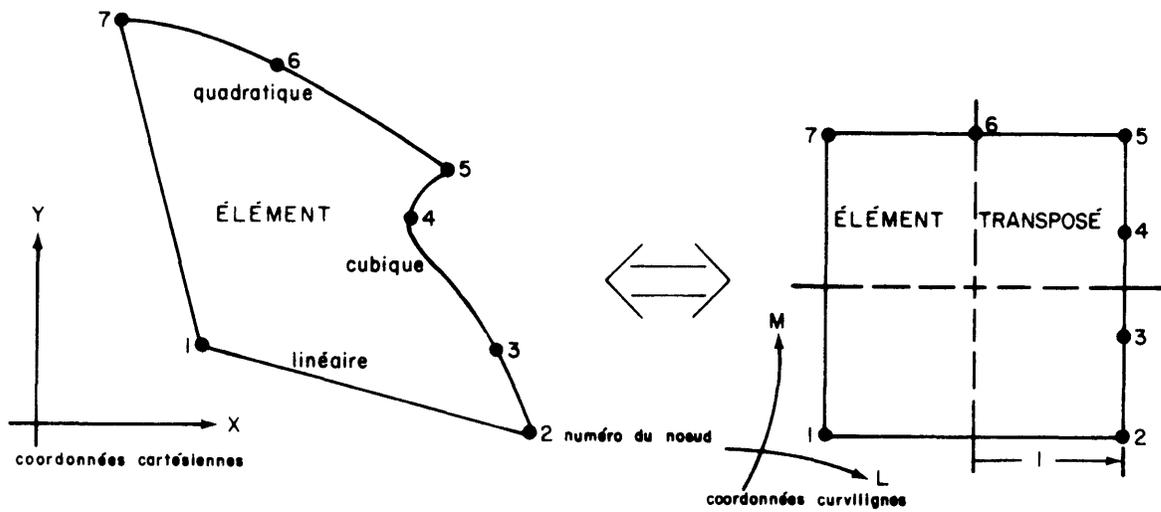


Figure II Représentation d'un élément isoparamétrique

Le programme

Le programme écrit en FØRTRAN IV-H (Sylvestre, 1974), modifié pour les fins de la présente étude, comprend quatre (4) parties, soit: le programme principal MAIN et les sous-programmes NI, DBAND ET SBAND (Fig. 12).

MAIN effectue la lecture et l'impression des données suivantes: (a) les coordonnées (x,y) de chacun des noeuds du maillage par rapport à un repère fixe, ainsi que la position respective qu'ils occupent sur les éléments; (b) les paramètres de temps pour l'étude en régime transitoire (temps du début, temps de la fin et le facteur multiplicatif du pas de temps); (c) les paramètres hydrauliques de la formation, soit la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement à chaque élément ou noeud (dans ce cas le programme établit la moyenne pour l'élément d'après les équations A.9 à A.11 de l'appendice 2) ainsi que la cote inférieure de la nappe s'il s'agit d'une nappe libre; (d) les caractéristiques de la nappe adjacente (facteur de percolation et cote piézométrique) pour chaque élément s'il y a drainance verticale; (e) les débits et les noeuds correspondant aux puits; (f) l'infiltration moyenne pour chaque élément; (g) les noeuds à charge imposée et les valeurs de charge. Ensuite, MAIN fait appel au sous-programme NI qui calcule la fonction N_1 (appendice 2) et sa dérivée à chaque point d'intégration lesquelles sont choisis selon

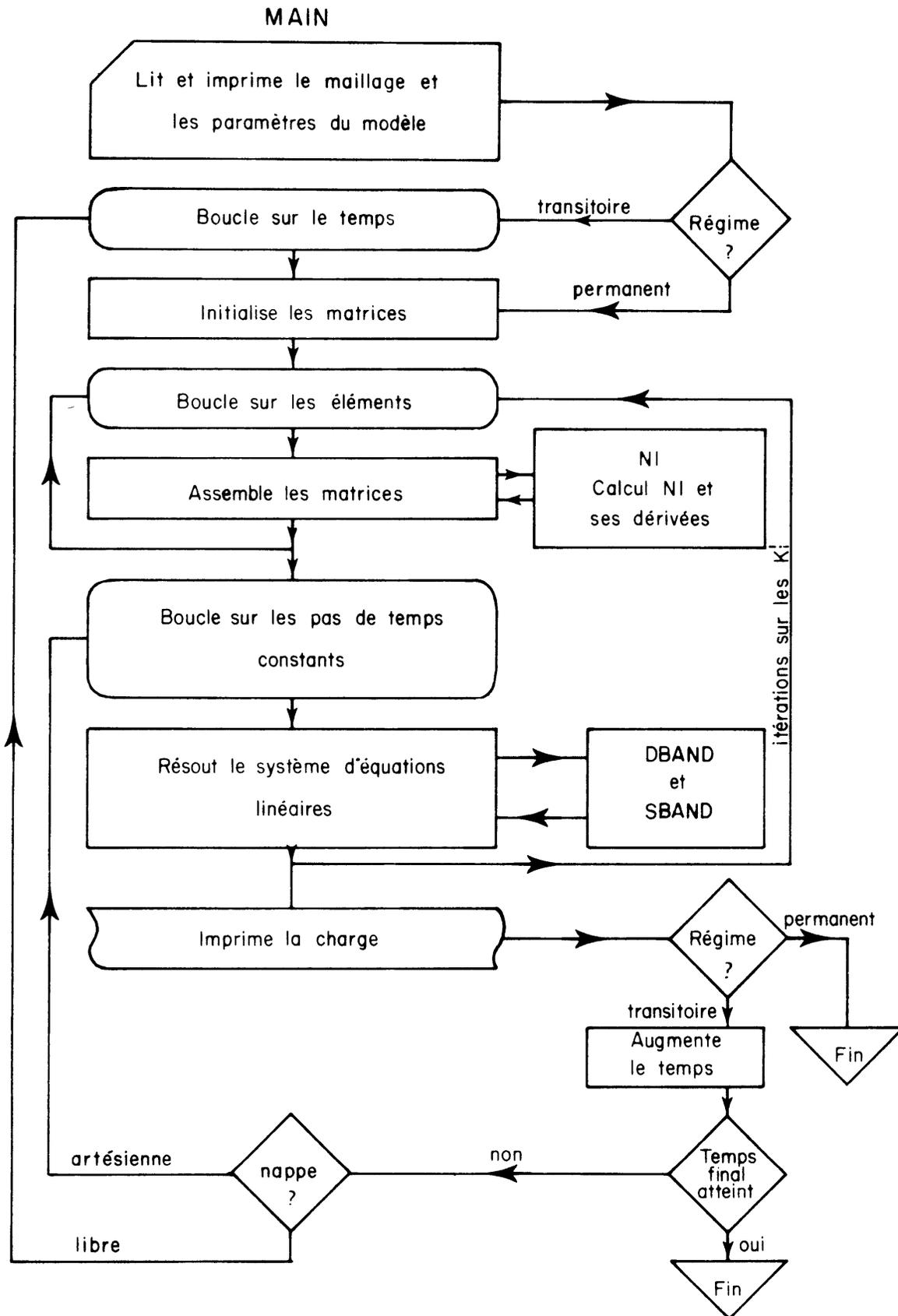


Figure 12 Organigramme du programme

la quadrature de Gauss (Zienkiewicz et Cheung, 1967). Puis MAIN assemble les matrices de l'équation A.5 (appendice 2) et appelle les sous-programmes DBAND et SBAND pour la résolution du système d'équations linéaires selon la technique de décomposition de Cholesky. Finalement, MAIN imprime la charge calculée pour chaque noeud; l'appendice 3 présente deux exemples de sorties imprimantes. En régime transitoire, la charge est calculée pour chaque intervalle de temps, égal au temps précédent augmenté du pas de temps désiré, jusqu'à ce que soit atteint le temps final requis. La discrétisation du terme de la dérivée de la charge par rapport au temps ($\partial h / \partial t$) est obtenue par différences arrières finies.

L'effort total requis de l'ordinateur pour exécuter les opérations peut être évalué par la formule suivante:

$$E = \frac{1}{2} b^2 n + 2bn \quad (9)$$

où E est le nombre d'opérations réalisées par l'ordinateur

n est le nombre de noeuds du maillage;

b est la largeur de la bande de la matrice (H) (équation A.5), sa grandeur est fonction de la méthode de numérotation des noeuds.

La mémoire de l'ordinateur doit être suffisamment grande pour contenir trois (3) matrices de dimension $b \times n$. A titre d'exemple, les maillages utilisés dans la présente étude

comprennent respectivement 289 noeuds sur 151 éléments et 325 noeuds sur 111 éléments; ils exigent respectivement 206K et 248K bytes de mémoire. Le temps requis pour l'exécution sur un ordinateur IBM de type 370/168 varie de quelques secondes pour le régime permanent et entre 1 et 2 minutes pour le régime transitoire. D'après Pinder et Frind (1972), cette méthode d'approche a le mérite d'être précise et par conséquent très efficace.

CALAGE DU MODELE

La Grosse Ile

Le calage a été réalisé en régime permanent en se basant sur la piézométrie du 29 octobre 1977 (Fig. 3). Même s'il n'existait aucune station piézométrique sur la Grosse Ile antérieurement à cette étude, les mesures de niveaux d'eau effectuées depuis 1968 sur les sept (7) stations à Cap aux Meules, Havre aux Maisons et à Havre Aubert ont permis de démontrer que: (1) la piézométrie à l'étiage survient entre le 1er octobre et le 1er décembre et; (2) la cote piézométrique à l'étiage n'a pas fluctué de plus de 2 pieds (0,6 m) depuis les 10 dernières années (Fig. 13). Ces observations confirment que les niveaux d'eau du 29 octobre 1977 à la Grosse Ile représentent d'assez près la piézométrie à l'étiage.

L'étendue horizontale d'un modèle doit coïncider avec des frontières naturelles qui satisfont aux conditions

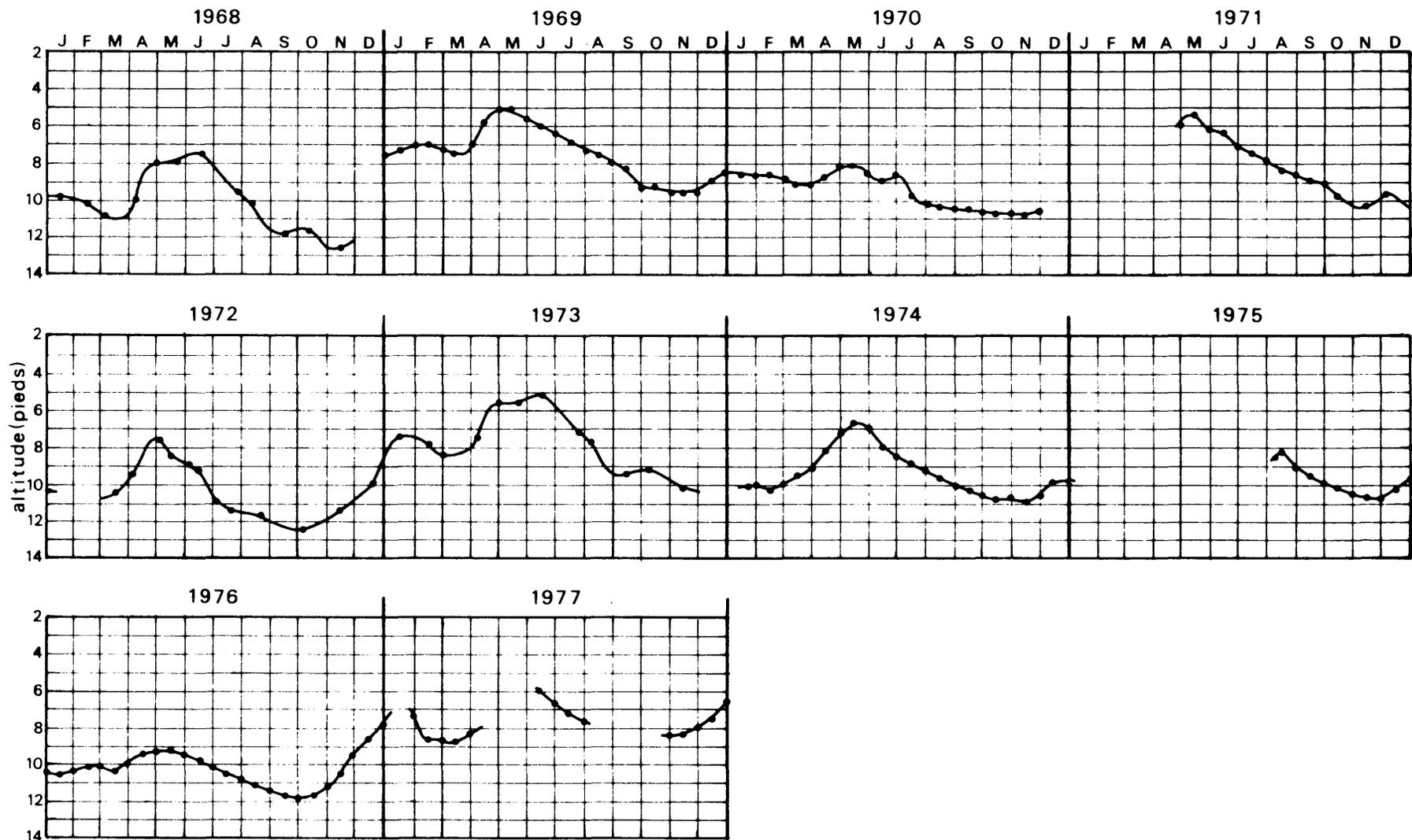


Figure 13 Fluctuation des niveaux d'eau, Station de Boisville

aux limites de Dirichlet ou de Neumann. Dans le cas présent, la mer qui entoure l'île et qui constitue une condition de charge imposée, ne laisse aucune équivoque sur le choix des frontières. Ainsi, le modèle devra comprendre la Grosse Ile avec son prolongement vers le nord "Leslie", et les dunes du Nord et de l'Est qui lui sont attachées. Les dunes sont très étroites et à toutes fins pratiques, à des distances assez grandes. Elles ne jouent aucun rôle sur l'écoulement des eaux souterraines de la Grosse Ile; il suffit donc de les inclure sur des distances de 2 à 3 milles (3,2 à 4,8 km) de part et d'autre de l'île.

Le maillage superposé à ce secteur (carte 1) comprend 151 éléments et 289 noeuds dont 85 à charge imposée (77 situés sur le contour de l'île et 8 sur les contours de deux petits lacs intérieurs). La répartition de la densité des noeuds de même que la taille et la disposition des éléments ont été choisies de manière à augmenter la résolution des calculs dans les secteurs des puits 4-I et 5-I où des simulations de pompage sont prévues, et dans les secteurs où le gradient hydraulique ne varie pas linéairement.

A chaque élément est associée une valeur moyenne pour la transmissivité, l'infiltration et le coefficient d'emmagasinement. Le calage du modèle se fait à partir des valeurs qui tiennent compte des mesures

ponctuelles et de la géologie (Fig. 4). Il a fallu réaliser près de 200 simulations avant d'obtenir les résultats escomptés. La piézométrie calculée de même que la valeur des paramètres hydrauliques apparaissent sur la carte 1 et à l'appendice 3.

L'ensemble des valeurs des paramètres hydrauliques déterminées par le calage se rapproche de celles obtenues sur le terrain. Le modèle a aidé à les préciser, principalement dans les secteurs est et sud-ouest de l'île où le découpage en contours d'égale transmissivité ne pouvait se faire en se basant uniquement sur les données de terrain.

La vérification du calage en régime transitoire s'appuie sur les épreuves de pompage des puits 7-I, 4-I et 5-I. Pour fin de comparaison, on a établi deux graphiques pour chaque puits, l'un à partir des données de terrain et l'autre à partir des données simulées (Fig. 14 à 20). A l'appendice 4 on trouve les valeurs de rabattements correspondants.

Le forage 7-I correspond au noeud #90 du maillage (carte 1). Les transmissivité calculée à l'aide de l'équation de Jacob (Jacob, 1950) suivant les mesures de terrain (Fig. 14) et la simulation (Fig. 15) sont respectivement de 172 g.p.j./pi. (gallons par jour par pied) et 120 g.p.j./pi. ($2,9 \times 10^{-5}$ et $2,0 \times 10^{-5}$ m²/sec). Compte tenu de la très grande hétérogénéité du terrain dans ce secteur, ces

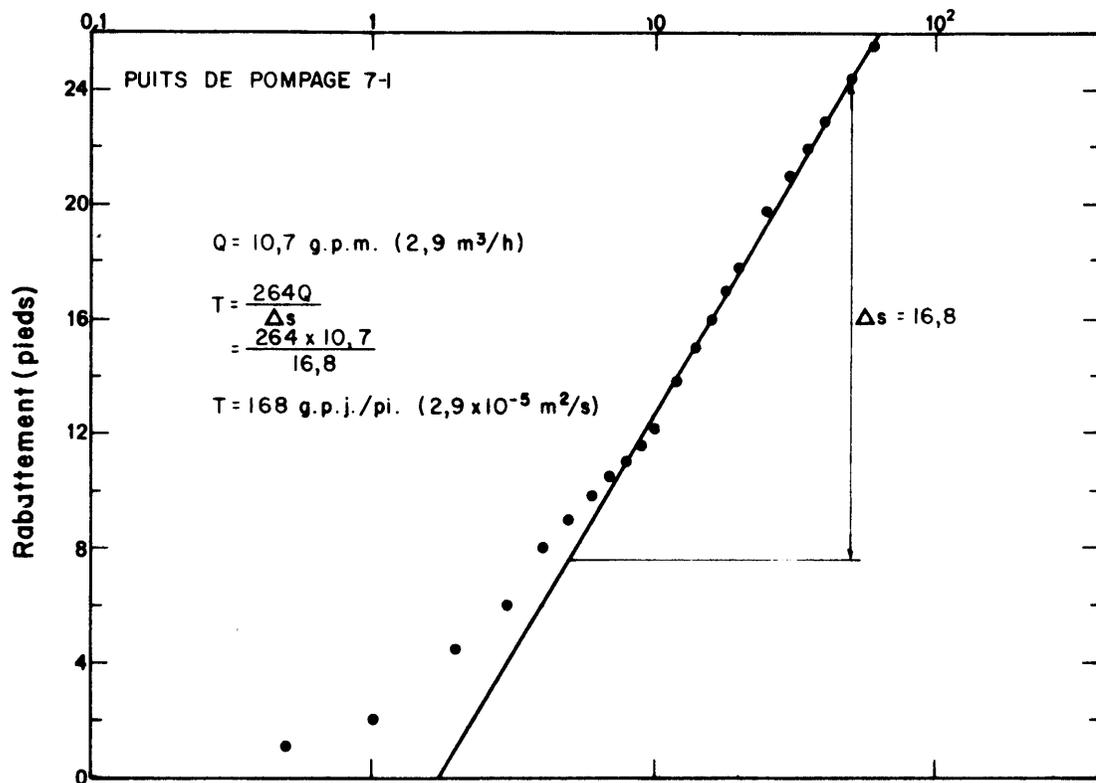


Figure 14 Courbe rabattement—temps, puits 7-1 (M. Poulin, 1977)

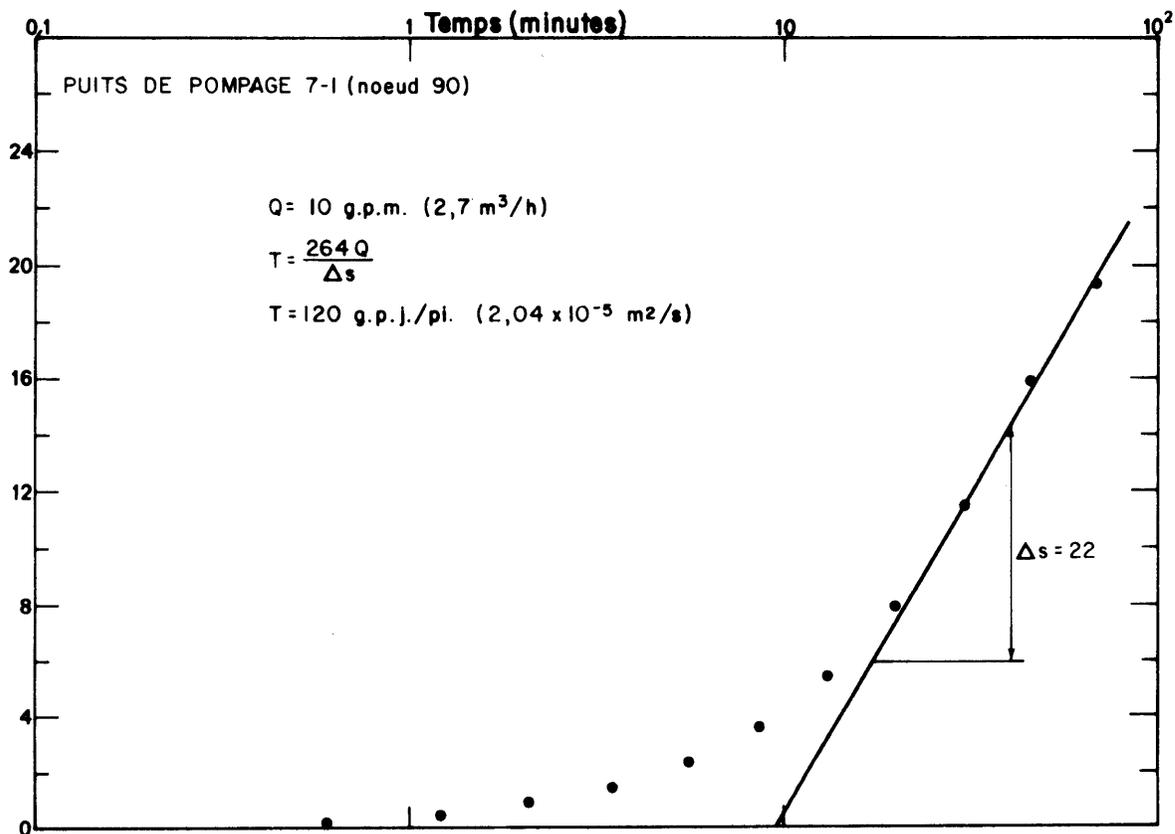


Figure 15 Courbe rabattement—temps (simulée), puits 7-1

résultats sont très bons.

L'interprétation par l'équation de (Theis, 1935) de l'épreuve de pompage de 72 heures simulée du puits 14-I (noeud #154) donne une transmissivité de 6 900 g.p.j./pi. ($1,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$) (Fig. 17) et 7 100 g.p.j./pi. ($1,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$) pour le puits d'observation 4-I (noeud #164), situé à 223,1 pieds (68 m) du puits de pompage (Fig. 18). Le coefficient d'emmagasinement calculé par la même méthode est de $3,24 \times 10^{-3}$ (Fig. 18). L'approximation de Dupuits utilisée dans ce modèle pour reproduire les conditions de nappe libre explique l'écart observé dans les premières minutes du pompage, entre l'essai de pompage et la simulation (Figs. 16, 17 et 18); en effet, celle-ci est peu valable en début de pompage. Il faut noter aussi que le modèle ne tient pas compte de la pénétration partielle du puits de pompage, effet qui sur un puits d'observation se dissipe assez rapidement à mesure que l'on s'éloigne du puits de pompage (Bear, 1972),

Par pompage à 96,4 g.p.m. ($26,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$) au noeud #213 (puits 5-I), il aurait fallu pour simuler les rabattements mesurés sur le terrain, éloigner au moins jusqu'au puits 4-I la limite du terrain à l'intérieur de laquelle la transmissivité excède 25 000 g.p.j./pi. ($4,3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$), contredisant les observations de terrain près du puits 4-I. Etant donné la très grande perméabilité du terrain autour du puits 5-I, il est probable qu'un fort pourcentage de

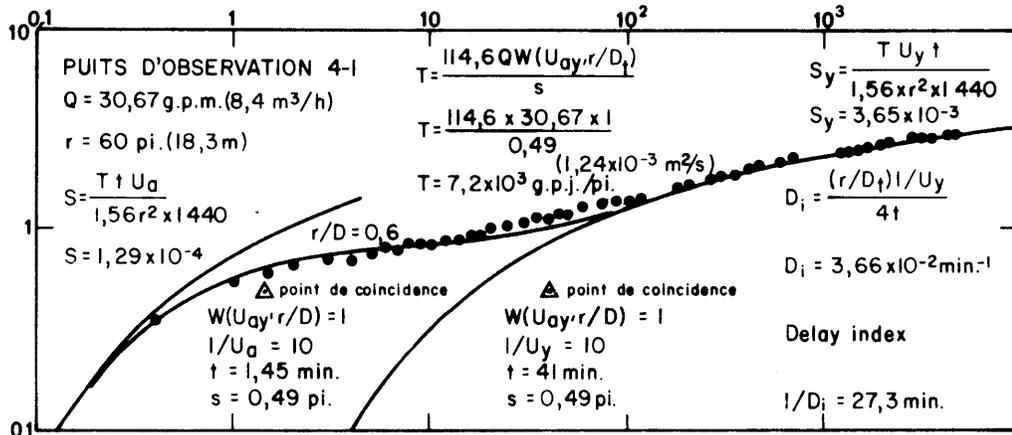


Figure 16 Courbe rabattement–temps, puits 4-1 (M. Poulin, 1977)

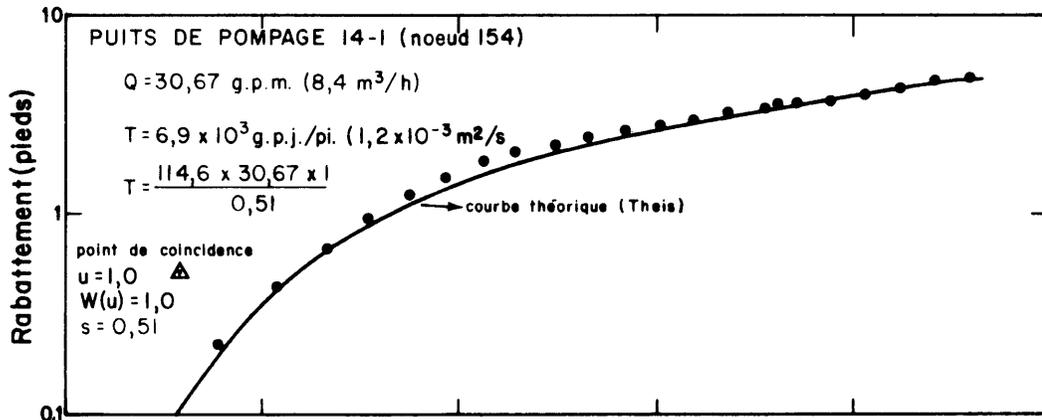


Figure 17 Courbe rabattement–temps (simulée), puits 14-1

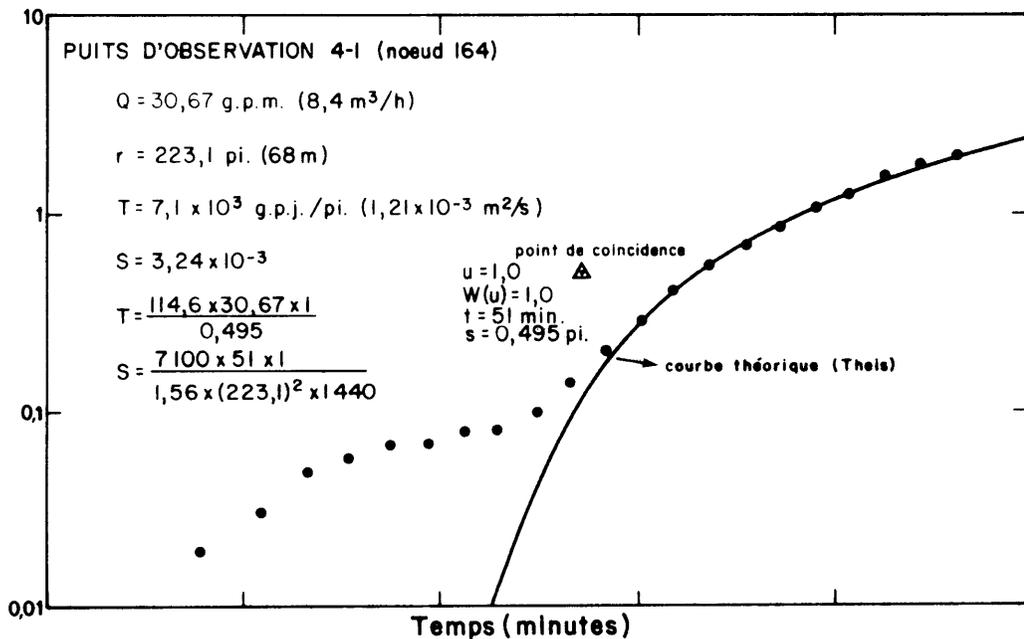


Figure 18 Courbe rabattement–temps (simulée), puits 4-1

l'eau pompée soit retournée vers la nappe au voisinage de la décharge de la pompe, annulant l'effet des frontières négatives par une frontière positive. L'essai suivant réalisé dans ce sens, où simultanément le puits 5-I était pompé au taux de 96,4 g.p.m. ($26,3 \text{ m}^3/\text{h}$) alors que 30 g.p.m. ($8,2 \text{ m}^3/\text{h}$) étaient injectés au noeud #220 à 300 pieds du puits de pompage, reproduisit assez bien l'essai de terrain (Figs. 19 et 20).

Le modèle a permis de raffiner le découpage des zones possédant des caractéristiques hydrauliques semblables et de préciser leurs valeurs. Ainsi, a été vérifiée la validité de l'hypothèse de Poulin (1977), à savoir que l'infiltration représente environ 30 pour cent de la précipitation moyenne annuelle, soit près de 11 pouces ($27,9 \text{ cm}$) sur presque tout le territoire sauf là où affleure le dôme de gypse, sur le flanc nord de l'île, et au centre de l'île où le terrain est très accidenté (carte 1). Le découpage des zones d'égale transmissivité fait voir un schéma semblable à celui de Poulin (1977) (Fig. 4 et carte 1) et précise son comportement dans le secteur est, seul secteur exploitable où la valeur de la transmissivité excède 5 000 g.p.j./pi. ($8,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) et atteint 100 000 g.p.j./pi. ($1,7 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$) par endroits. Pour ce qui est du coefficient d'emmagasinement, il reflète des conditions de nappe captive à semi-captive avec des valeurs variant entre $1,0 \times 10^{-4}$ et $3,5 \times 10^{-3}$.

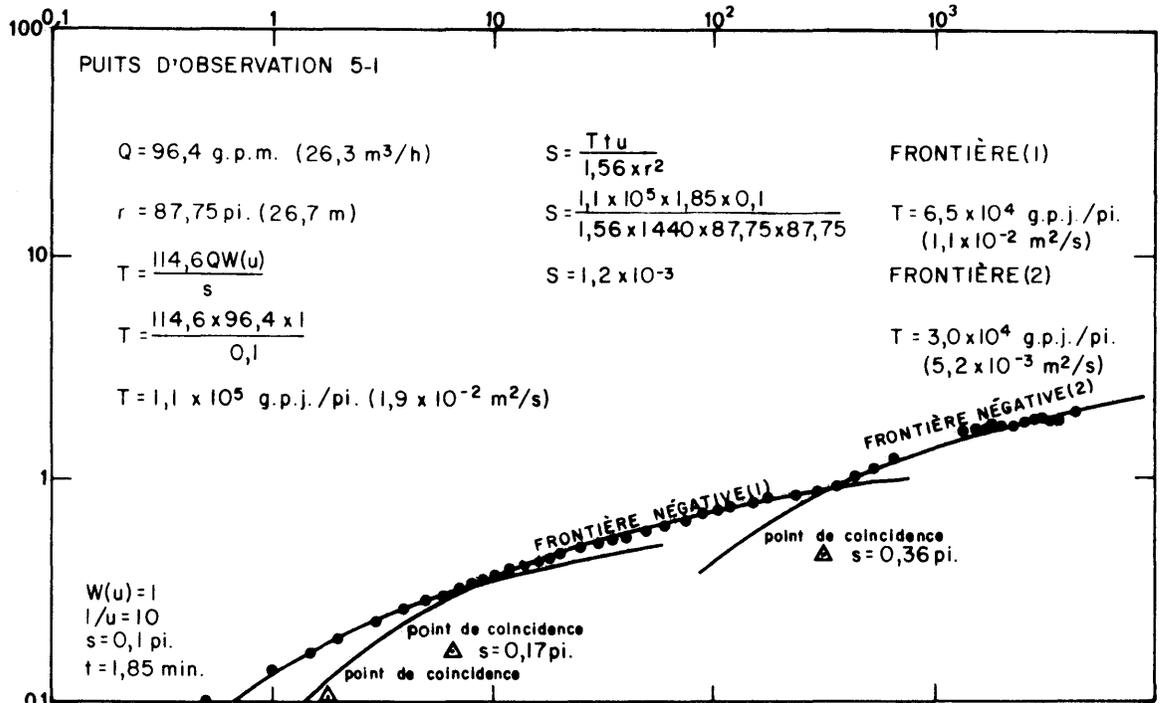


Figure 19 Courbe rabattement—temps, puits 5-1 (M. Poulin, 1977)

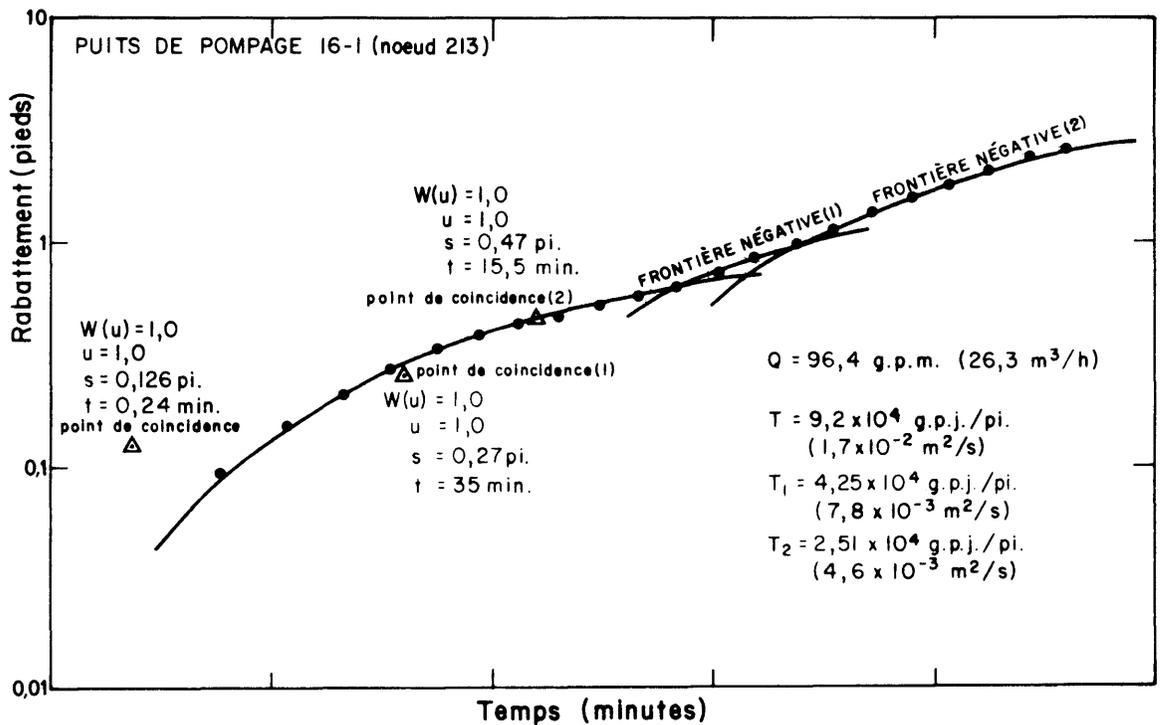


Figure 20 Courbe rabattement—temps (simulée), puits 16-1

M. R. N. HG-12 (1979)

Ile de la Grande Entrée

L'étendue du modèle couvre l'île de la Grande Entrée et une partie de l'île de l'Est, son prolongement vers le nord (carte 2). Le calage a été réalisé sur la piézométrie observée le 3 novembre 1977. Pour des raisons identiques à celles énumérées précédemment, cette carte correspond à la piézométrie à l'étiage.

Le maillage final comprenant 111 éléments et 325 noeuds dont 101 à charge imposée situés sur le contour de l'île, est reproduit à la carte 2 où sont indiqués les courbes isopièzes, la transmissivité, le coefficient d'emmagasinement et l'infiltration obtenus du calage. Sauf pour la transmissivité des sédiments récents recouvrant le centre de l'île, l'ensemble des autres valeurs se superpose bien aux valeurs mesurées.

Les essais de pompage effectués dans les sédiments récents ont été réalisés à l'aide de puits filtrants munis de crépines de 3 pieds (0,9 m) de longueur. Les transmissivités mesurées sur le terrain aux puits 3-E et 4-E (carte 2) sont respectivement de 10 et 38 g.p.j./pi. ($1,7 \times 10^{-6}$ et $6,4 \times 10^{-6}$ m²/s); les perméabilités correspondantes sont de 3,3 et 12,7 g.p.j./pi.² ($1,9 \times 10^{-6}$ et $7,2 \times 10^{-6}$ m/sec). La puissance de ces sédiments étant de l'ordre de 200 à 300 pieds (61 et 91 m), la transmissivité totale devrait varier entre 1 000 et 3 000 g.p.j./pi.

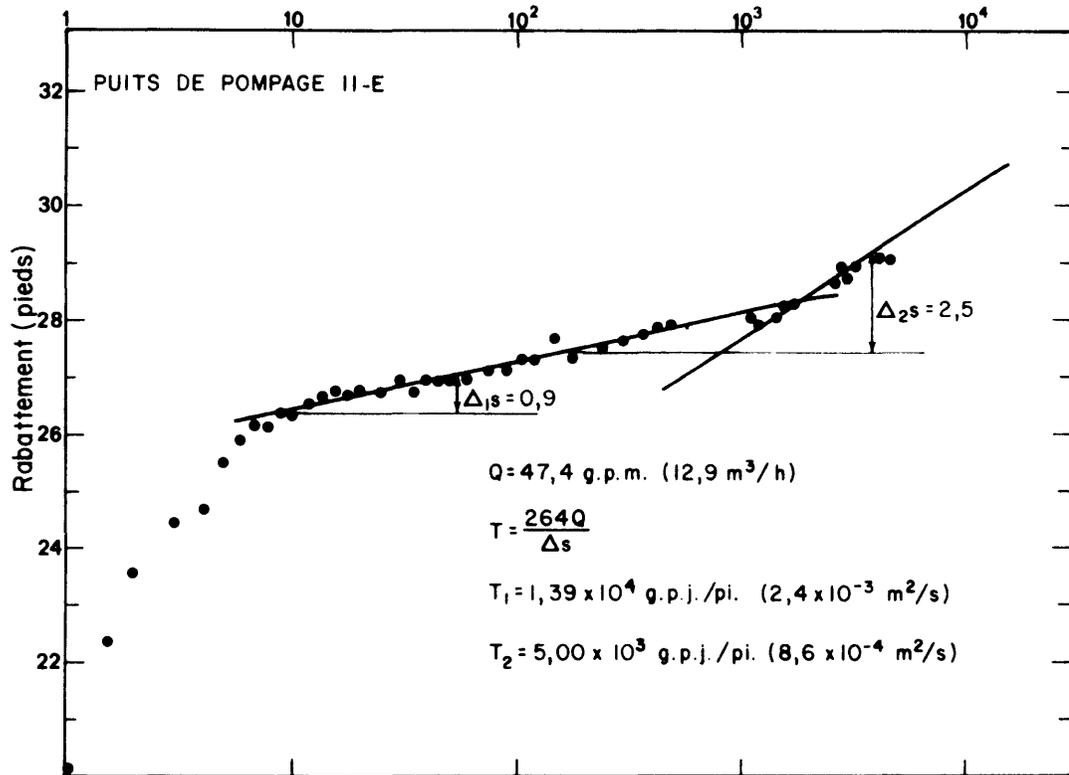


Figure 21 Courbe rabattement-temps, puits II-E (M. Poulin, 1977)

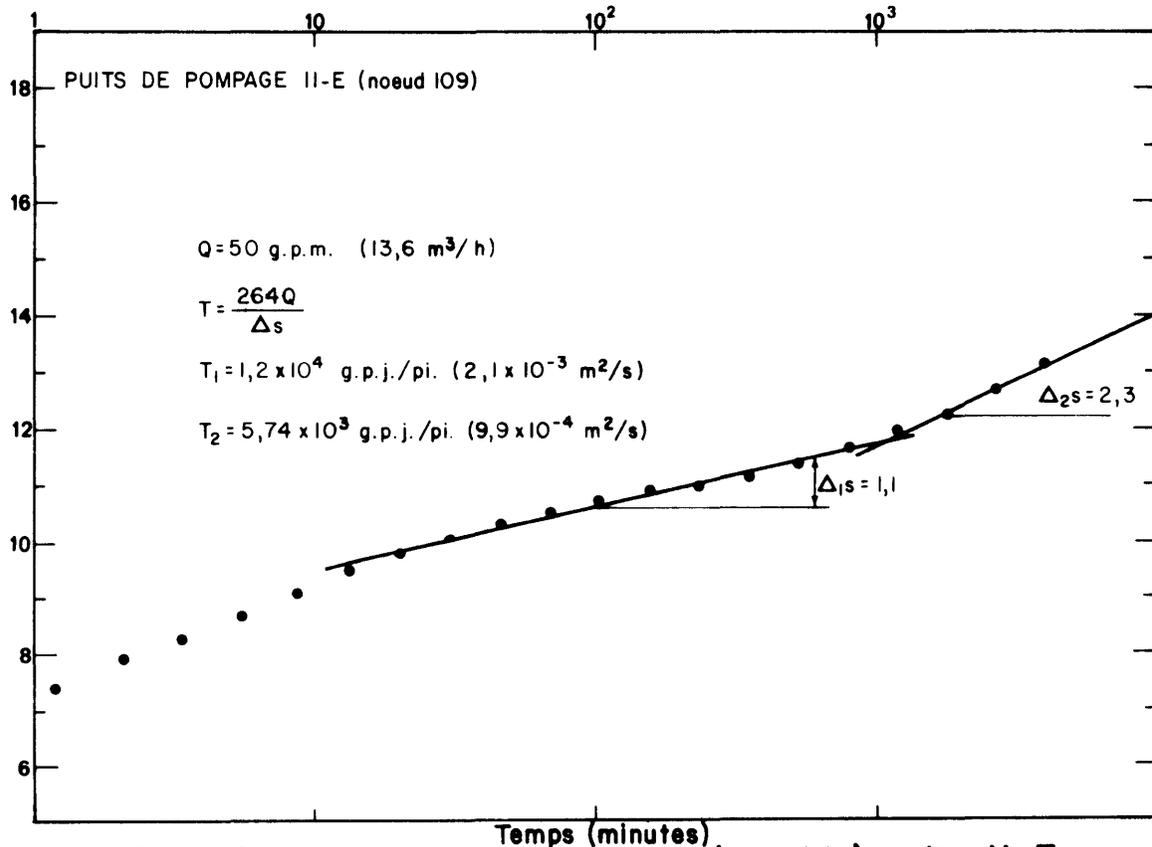


Figure 22 Courbe rabattement-temps (simulée), puits II-E

($1,7 \times 10^{-4}$ et $5,2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$). Ces valeurs et celles mesurées sur le terrain pour le grès rouge simulent assez bien la piézométrie observée (carte 2).

Le calage a été vérifié en régime transitoire lors de l'essai de pompage de 72 heures du puits 11-E (Figs. 21 et 22, appendices 3 et 4). Comme à la Grosse Ile, le modèle a permis de raffiner le découpage des zones possédant des caractéristiques hydrauliques semblables. A l'exception d'une partie du centre de l'île où la topographie accentuée, à pente abrupte, ne laisse infiltrer que 8 pouces d'eau par année (20,3 cm), l'infiltration moyenne pour l'ensemble du territoire est d'environ 11 pouces (27,9 cm). Au centre de l'île la transmissivité est assez faible et varie de 1 000 à 2 000 g.p.j./pi. ($1,7$ à $3,4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) dans les sédiments récents comblant la vallée enfouie. Entre le centre et la berge elle atteint un maximum de l'ordre de 10 000 à 15 000 g.p.j./pi. ($1,7$ à $2,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$). Sauf pour la partie est de l'île, la transmissivité le long des berges n'excède pas 5 000 g.p.j./pi. ($8,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$), en raison de la présence d'un sable de plage très fin par endroits.

PROGRAMME DE MISE EN VALEUR

La Grosse Ile

Le calage a permis de vérifier qu'environ 30

pour cent de la précipitation s'infiltrer dans la nappe. Ramené à la superficie totale de l'île, ce taux correspond à un débit d'alimentation de la nappe équivalant à 325 g.p.m. ($89 \text{ m}^3/\text{h}$). A cause des contraintes qu'imposent la présence de l'eau salée et la contamination des eaux douces qui pourraient en découler, une partie seulement de cette eau peut être exploitée. La façon la plus sécuritaire qui permettrait de soutirer le maximum d'eau est d'aménager un très grand nombre de puits dont le débit moyen ne dépasse pas 0,5 à 1 g.p.m. ($0,14$ à $0,27 \text{ m}^3/\text{h}$), quantité nécessaire pour l'alimentation quotidienne d'une famille moyenne. Quoique dans certains secteurs de l'île la concentration du fer dans l'eau excède légèrement les normes des services de Protection de l'Environnement pour les eaux de consommation domestique (rapport de STES), il n'en demeure pas moins que l'eau est facilement traitable et utilisable.

Nul doute que dans l'éventualité d'une augmentation des besoins en eau, seul le secteur est de la Grosse Ile peut être exploité pour les raisons suivantes: (1) au point de vue hydraulique, c'est le seul secteur assez perméable pour permettre une exploitation rentable; (2) au point de vue qualité chimique de l'eau, l'eau rencontre les normes et objectifs de l'eau potable (Poulin, 1977).

Comme on l'a démontré précédemment, le modèle simule bien les conditions de terrain. Il est donc approprié

pour prédire le comportement de la nappe. A cet effet on étudie divers programmes d'exploitation en vue de choisir celui qui offre le plus de sécurité et le plus d'efficacité. On doit tenir compte évidemment que l'infiltration latérale de l'eau de mer est nulle et que la remontée de l'eau salée est négligeable tout en utilisant un nombre minimal de puits.

Voici les principales observations qui se dégagent des diverses simulations traitées en régime permanent; (1) au noeud #154, les résultats des simulations à 150, 100 et 75 g.p.m. (40,9 - 27,2 - 20,4 m³/h) indiquent que la quantité d'eau disponible dans ce secteur se situe quelque part entre $1,1 \times 10^{+5}$ à $1,4 \times 10^{+5}$ gallons par jour (500 à 636 mètres cubes par jour) et qu'il ne serait pas prudent d'exploiter ce débit à l'aide d'un seul puits. En effet d'après les figures 23, 24 et 25 on note que:

- (a) à 150 g.p.m. (43,2 m³/h) l'eau de mer s'infiltré latéralement vers la nappe au sud du secteur et de la lagune vers la nappe à l'est (Fig. 23);
- (b) à 100 g.p.m. (27,2 m³/h) même si l'infiltration de l'eau de mer n'est pas évidente, il y aurait possibilité de diffusion latérale de la zone de transition (Fig. 24);
- (c) à 75 g.p.m. (20,4 m³/h) même s'il ne semble exister aucun danger d'infiltration latérale de l'eau de mer vers la nappe, l'interface pourrait atteindre

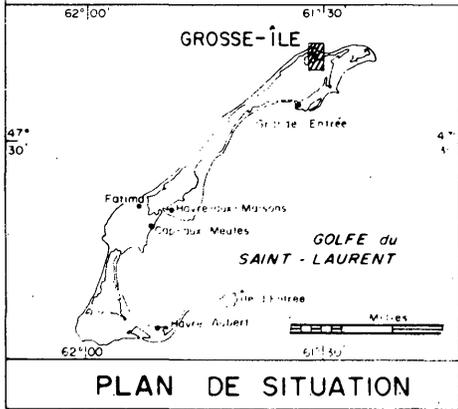
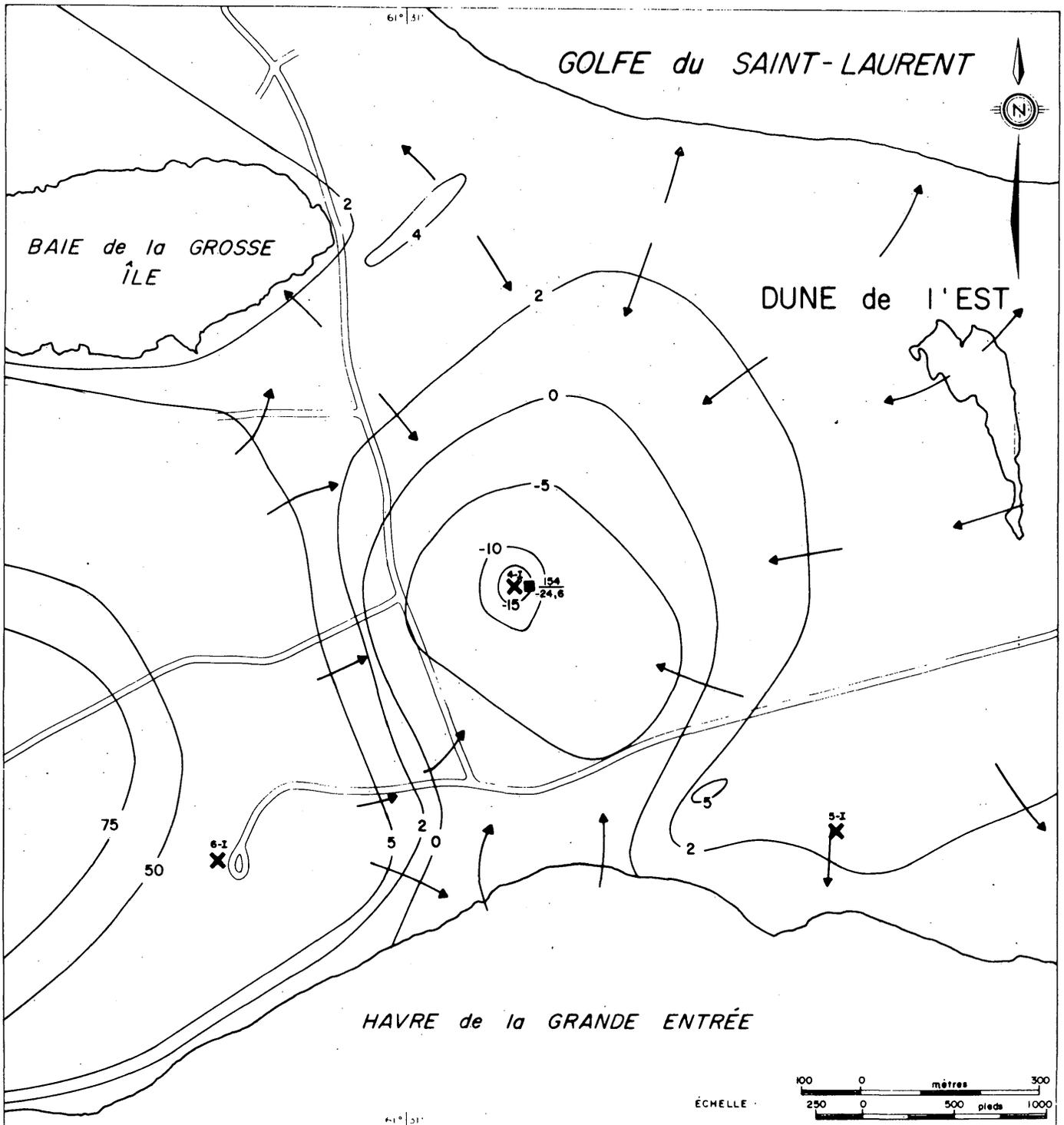


FIGURE 23
COURBE ISOPIÈZE SIMULÉE - LA GROSSE ÎLE
(1 puits à 150 g.p.m.)

<p>— 20 — COURBE ISOPIÈZE Élévation en pieds au dessus du niveau de la mer</p> <p>10-I X NUMÉRO DU PUIIS</p>	<p>← DIRECTION D'ÉCOULEMENT DES EAUX SOUTERRAINES</p> <p>■ 120 3.6 NOEUD (pompage) COTE PIÉZOMÉTRIQUE</p>
---	--

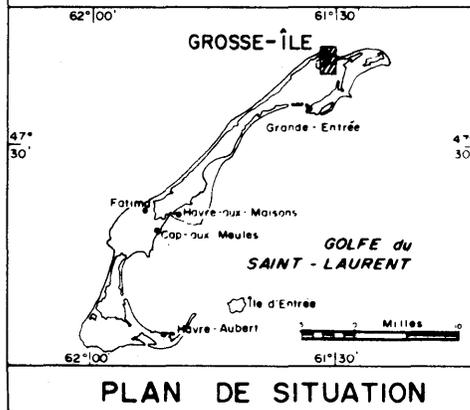
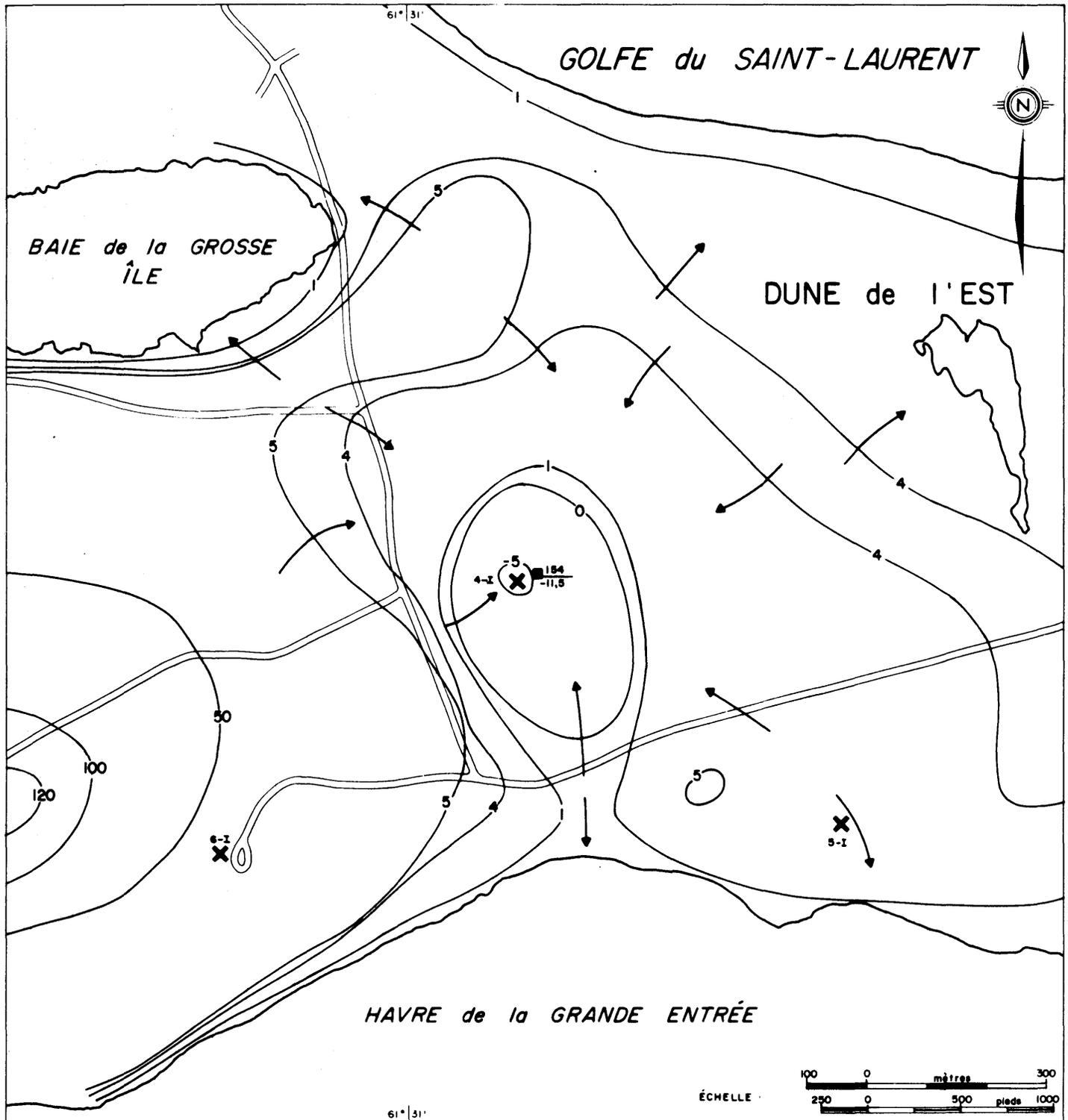


FIGURE : 24
COURBE ISOPIÈZE SIMULÉE - LA GROSSE ÎLE
 (1 puits à 100 g.p.m.)

<p>— 20 — COURBE ISOPIÈZE Élévation en pieds au dessus du niveau de la mer</p> <p>10-1 X NUMÉRO DU PUIS</p>	<p>↖ DIRECTION D'ÉCOULEMENT DES EAUX SOUTERRAINES</p> <p>■ 120 3,6 NOEUD (pompage) COTE PIÉZOMÉTRIQUE</p>
--	--

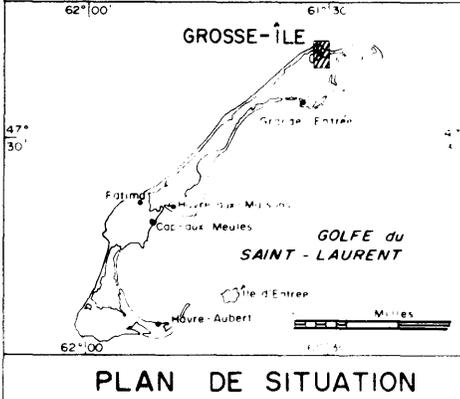
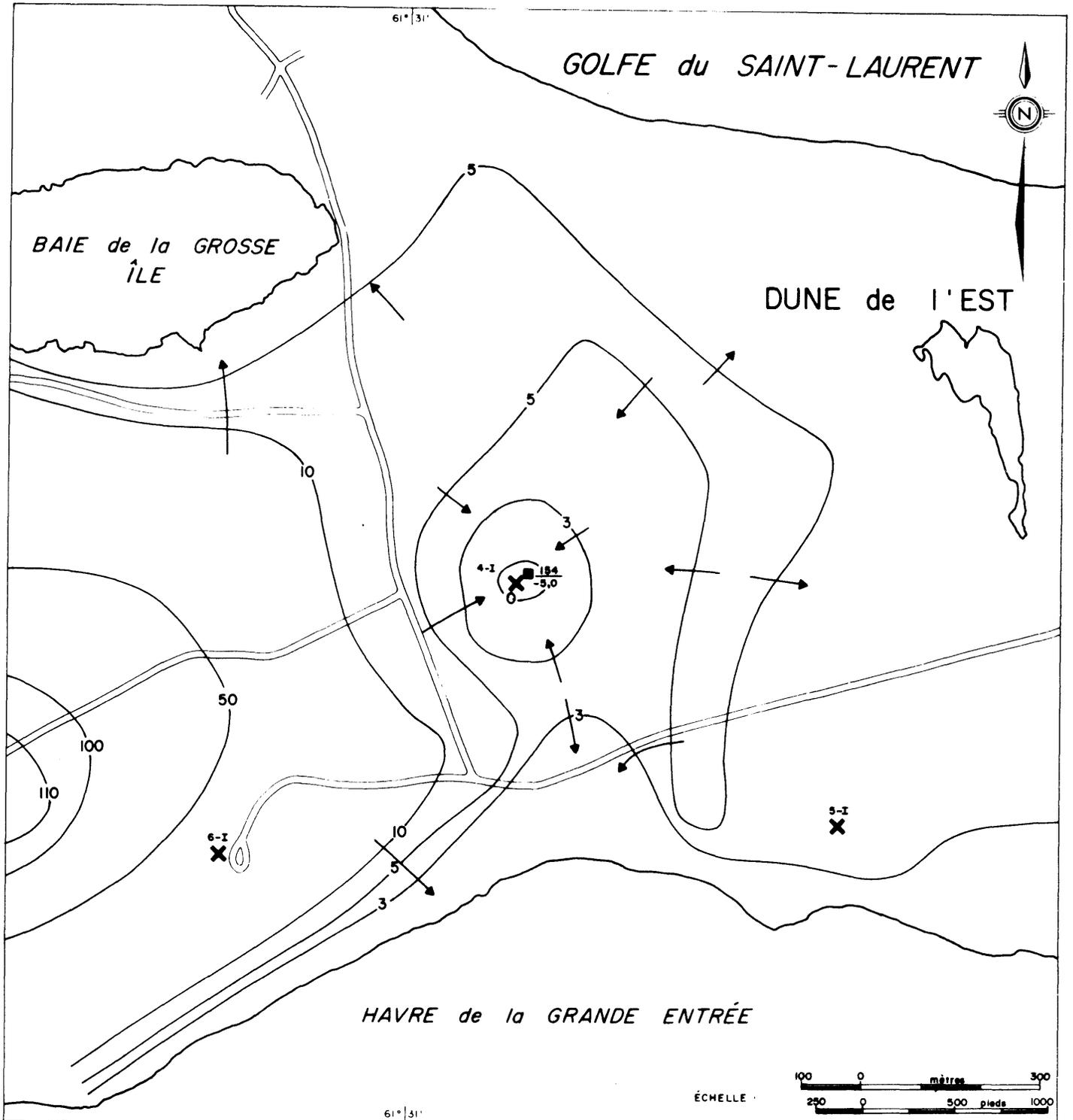


FIGURE 25
COURBE ISOPIÈZE SIMULÉE - LA GROSSE ÎLE
 (1 puits à 75 g.p.m.)

<p>— 20 — COURBE ISOPIÈZE Elevation en pieds au dessus du niveau de la mer</p> <p>10-1 X NUMÉRO DU PUIT</p>	<p>← DIRECTION D'ÉCOULEMENT DES EAUX SOUTERRAINES</p> <p>■ 120 3.6 NOEUD (pompage) COTE PIÉZOMÉTRIQUE</p>
--	--

la base du puits si l'on en juge par le niveau de pompage maintenu à 5 pieds (1,5 m) sous le niveau de la mer (Fig. 25).

(2) Il n'est pas recommandable d'exploiter cette formation à l'aide de puits pompés à des taux supérieurs à 30 g.p.m. (8,2 m³/h) puisque:

(a) la simulation d'un pompage à 50 g.p.m. (13,6 m³/h) à l'aide d'un puits unique situé au noeud #154 (Fig. 26) montre que la profondeur de l'interface sous le puits de pompage, calculée à l'aide de la relation de Ghyben-Herzberg (équation 1), se situe à 64 pieds (19,5 m) sous le niveau de la mer, soit approximativement à la même profondeur de la base du puits.

(b) la simulation du pompage de deux (2) puits pompés simultanément à un taux de 33,3 g.p.m. (9,1 m³/h) montre que l'interface monte à 120 pieds (36,6 m) sous le niveau de la mer au noeud #155 et à 68 pieds (20,7 m) au noeud #143, soit à 18 pieds seulement de la base de ce puits simulé (Fig. 27).

(3) Le programme d'exploitation le plus avantageux consiste donc à mettre en place quatre (4) puits de pompage (Fig. 28) à des profondeurs n'excédant pas 50 pieds (15,2 m) sous le niveau de la mer et qui doivent être exploités simultanément à 20 g.p.m. (5,4 m³/h). En effet au noeud #168 auquel correspond la cote piézométrique la plus basse, la profondeur

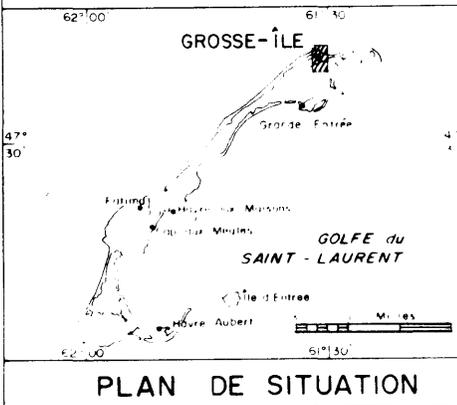
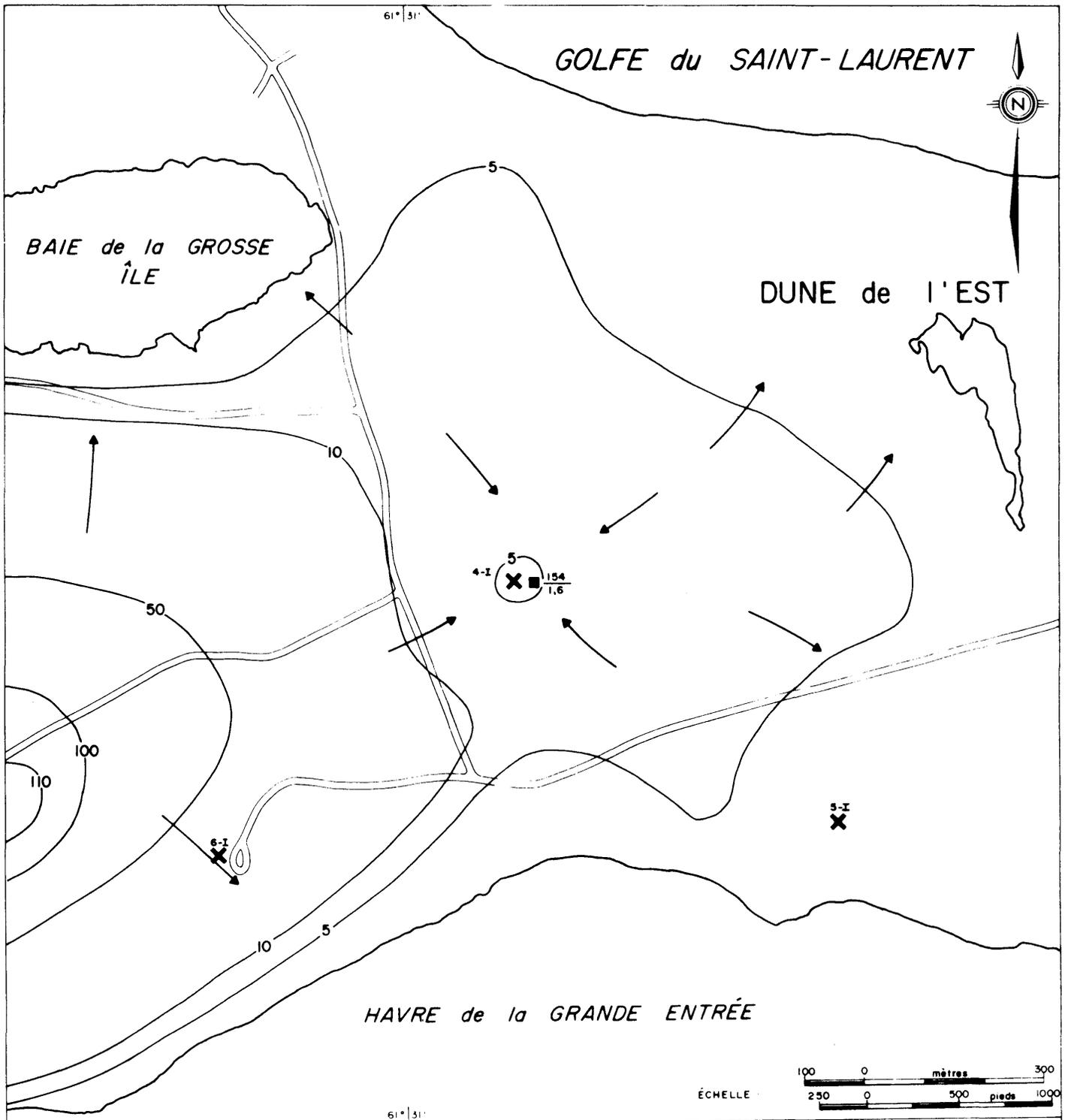


FIGURE: 26
COURBE ISOPIÈZE SIMULÉE - LA GROSSE ÎLE
 (1 puits à 50 g.p.m.)

— 20 —
 COURBE ISOPIÈZE
 Elévation en pieds au dessus
 du niveau de la mer

10-1
 X NUMÉRO DU PUITS

← DIRECTION D'ÉCOULEMENT
 DES EAUX SOUTERRAINES

■ 120
 3,6 NOEUD (pompage)
 COTE PIÉZOMÉTRIQUE

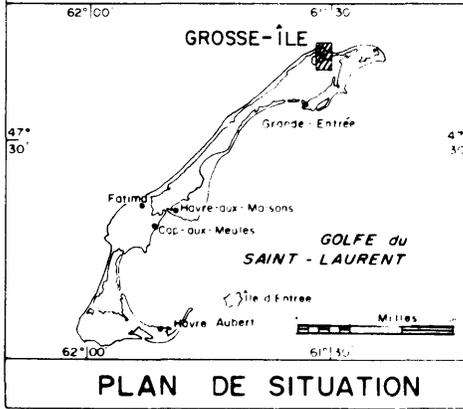
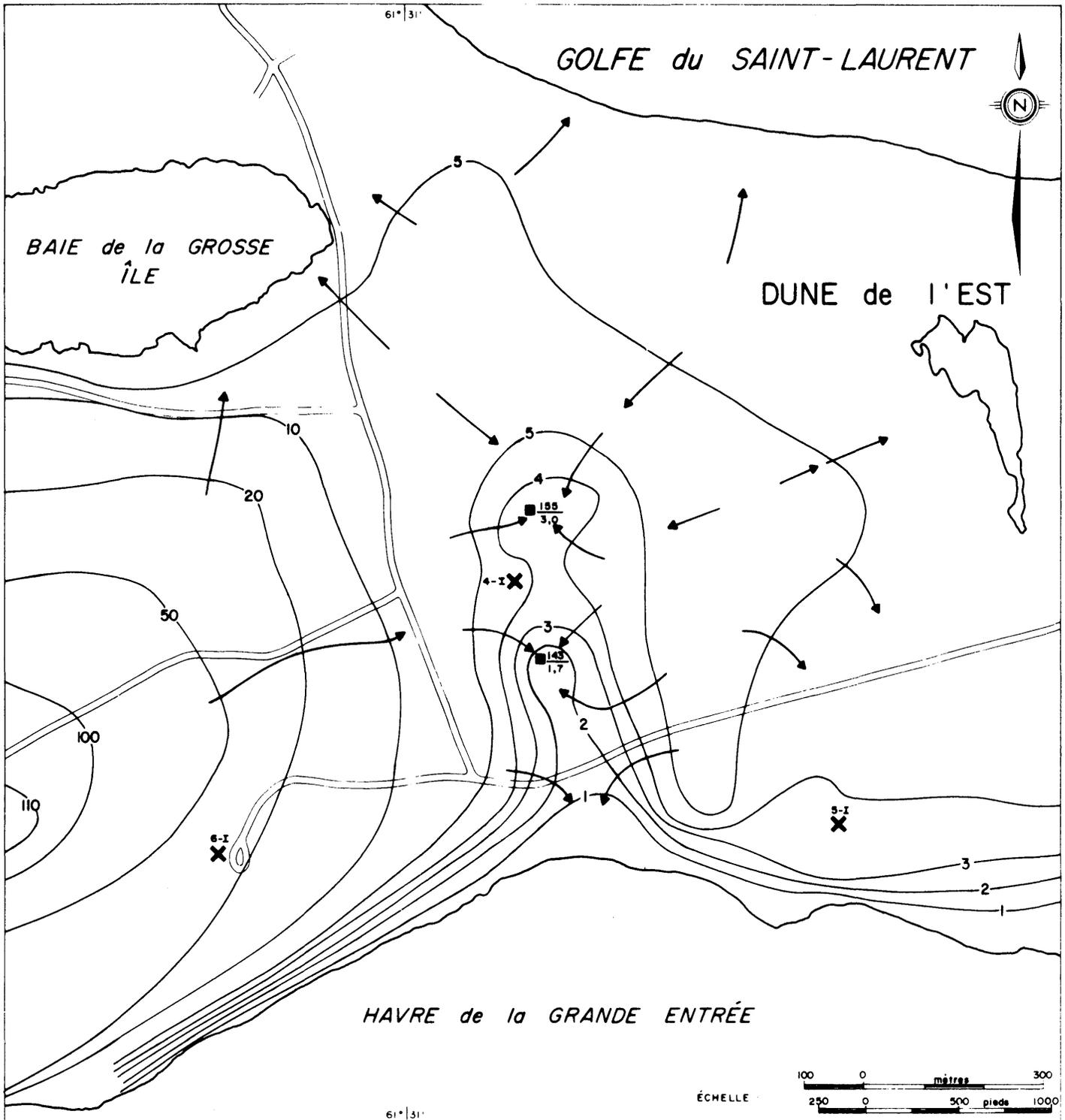


FIGURE 27
COURBE ISOPIÈZE SIMULÉE - LA GROSSE ÎLE
(2 puits à 33,3 g.p.m.)

<p>— 20 — COURBE ISOPIÈZE Élévation en pieds au dessus du niveau de la mer</p> <p>10-1 X NUMÉRO DU PUIT</p>	<p>← DIRECTION D'ÉCOULEMENT DES EAUX SOUTERRAINES</p> <p>■ 120 3,6 NOEUD (pompage) COTE PIÉZOMÉTRIQUE</p>
---	---

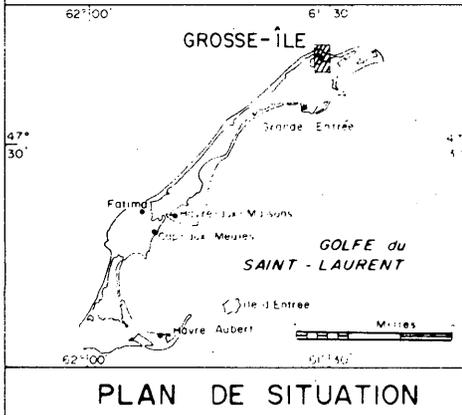
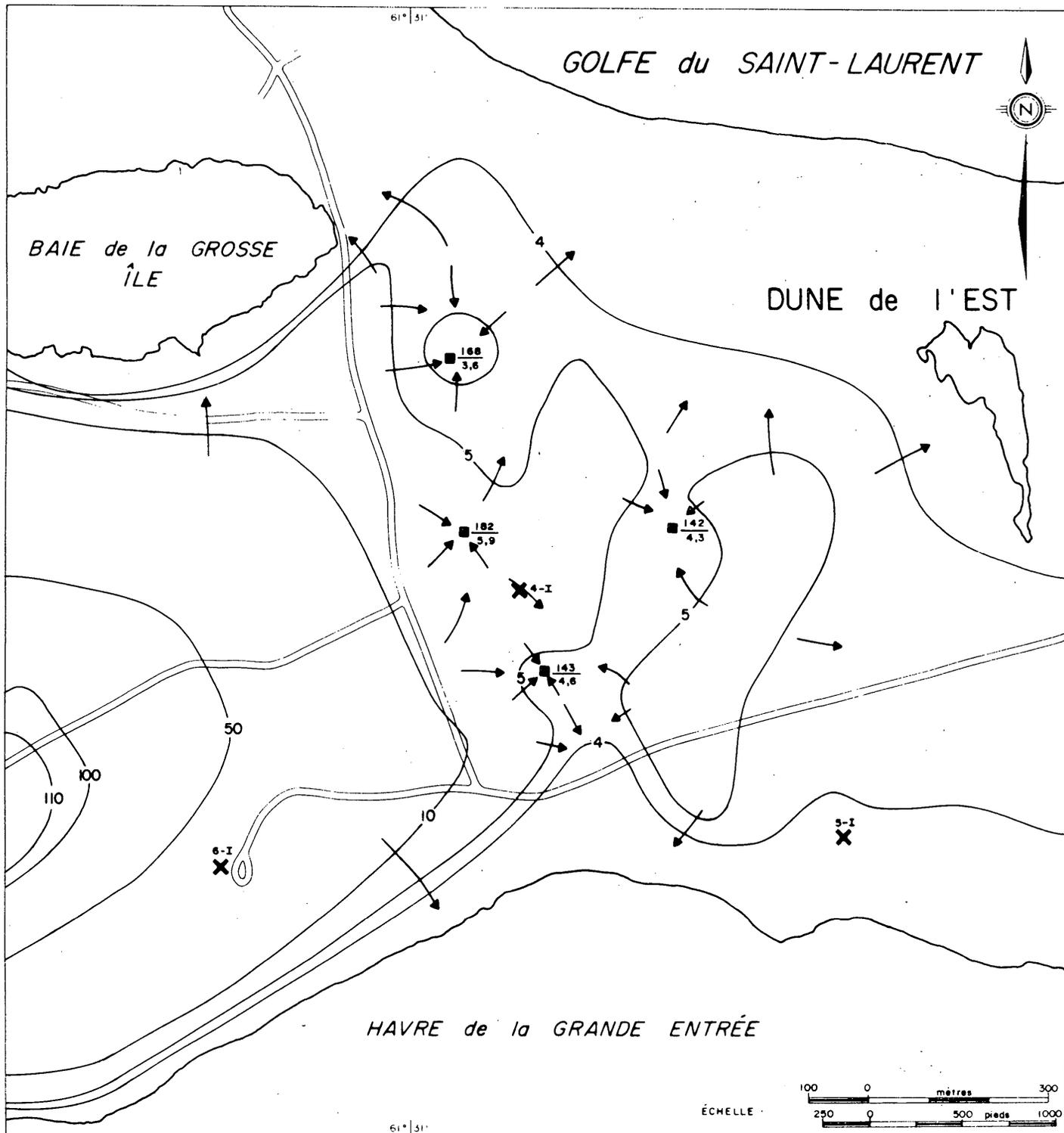


FIGURE 28
COURBE ISOPIÈZE SIMULÉE - LA GROSSE ÎLE
 (4 puits à 20 g.p.m.)

- 20 — COURBE ISOPIÈZE
Élévation en pieds au dessus du niveau de la mer
- 10-I NOEUD (pompage)
- X NUMÉRO DU PUIS
- 120 / 3.6 COTE PIÉZOMÉTRIQUE
- ← DIRECTION D'ÉCOULEMENT DES EAUX SOUTERRAINES

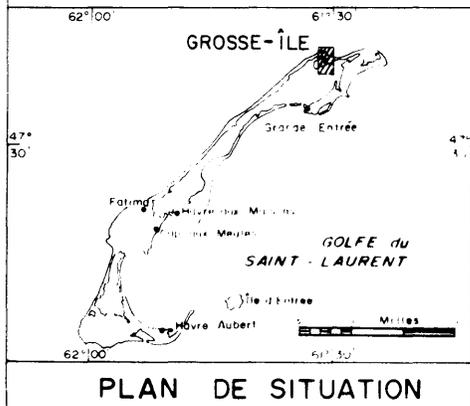
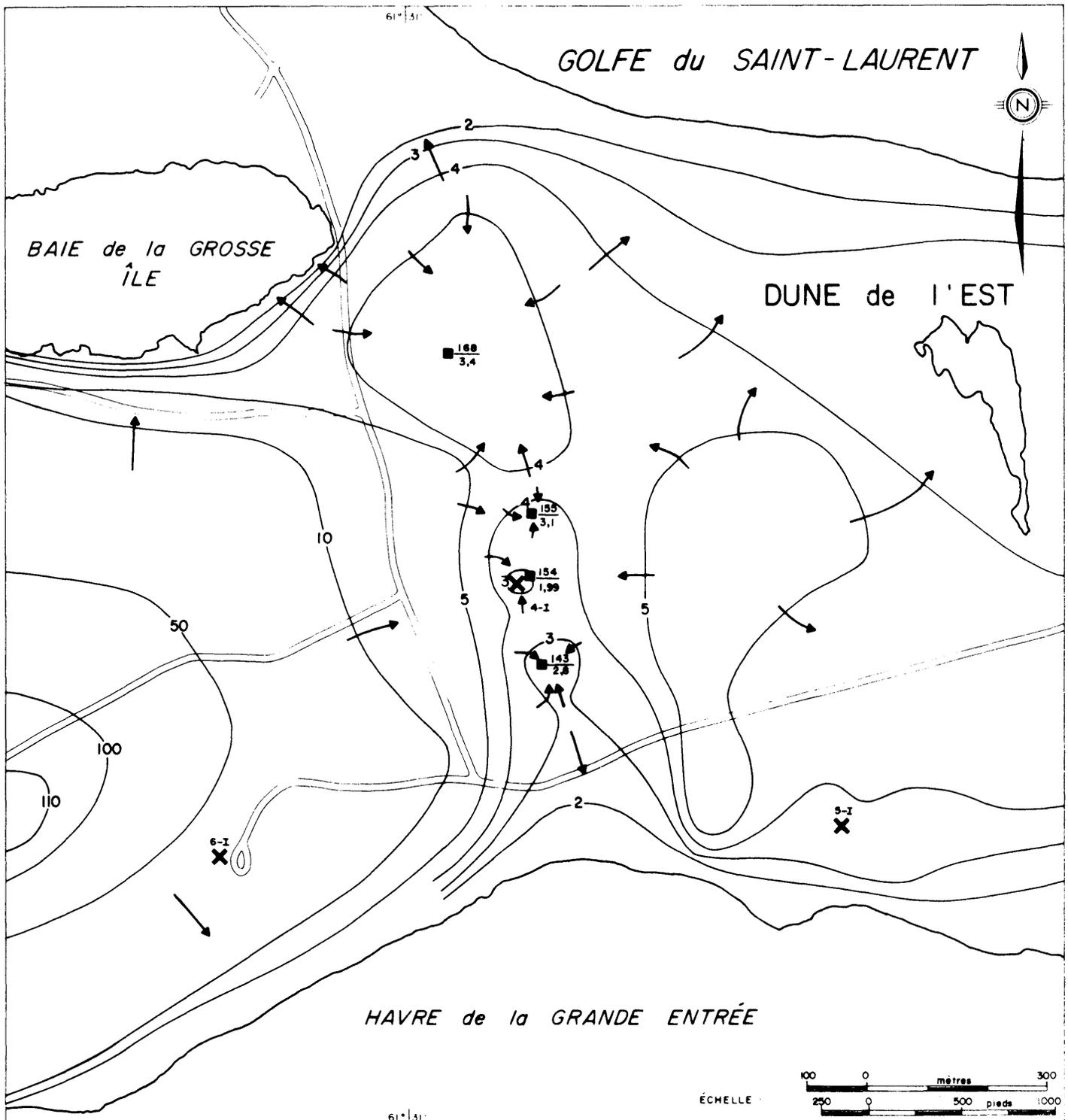


FIGURE : 29
COURBE ISOPIÈZE SIMULÉE - LA GROSSE ÎLE
(4 puits à 20 g.p.m.)

— 20 — COURBE ISOPIÈZE
 Elevation en pieds au dessus
 du niveau de la mer
 10-I X NUMÉRO DU PUIT
 ← DIRECTION D'ÉCOULEMENT
 DES EAUX SOUTERRAINES
 ■ 120 / 3,6 NOEUD (pompage)
 COTE PIÉZOMÉTRIQUE

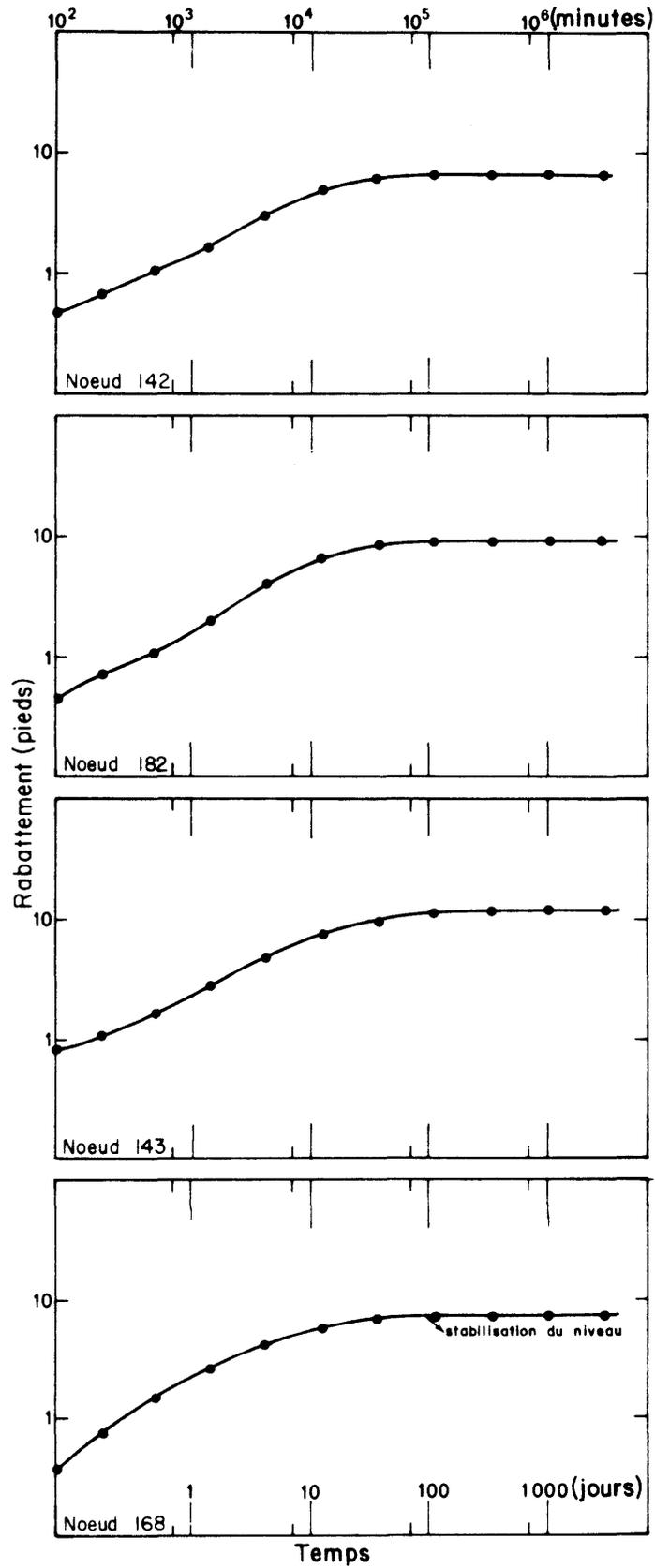


Figure 30 Courbes rabattement-temps (simulées), 4 puits à 20g.p.m.

de l'interface calculée par la relation de Ghyben-Herzberg est de 144 pieds (43,9 m) sous le niveau de la mer, soit presque 100 pieds (30,5 m) sous la base du puits de pompage.

(4) La position des puits de pompage et la distance qui les sépare revêtent une grande importance. En effet, le cas présenté à la figure 29 consistant en un programme identique au précédent. Quatre (4) puits exploités à 20 g.p.m. ($5,4 \text{ m}^3/\text{h}$), chacun pour lesquels la distance minimale entre chacun passe de 1 000 pieds (305 m) à 750 pieds (229 m) voit l'interface remonter jusqu'à 80 pieds (24,4 m) au noeud #154, ne laissant que 30 pieds (9,1 m) d'eau douce sous la base du puits.

Pour avoir une idée du temps nécessaire que prend la nappe pour atteindre un régime permanent, on a analysé en régime transitoire le cas de quatre (4) puits pompés à 20 g.p.m. ($5,4 \text{ m}^3/\text{h}$). Les résultats (Fig. 30, appendice 4) démontrent que la nappe atteindrait le régime permanent après approximativement 3 mois d'exploitation. Ceci reflète assez bien la rapidité avec laquelle on risquerait de polluer l'aquifère, s'il était mal exploité.

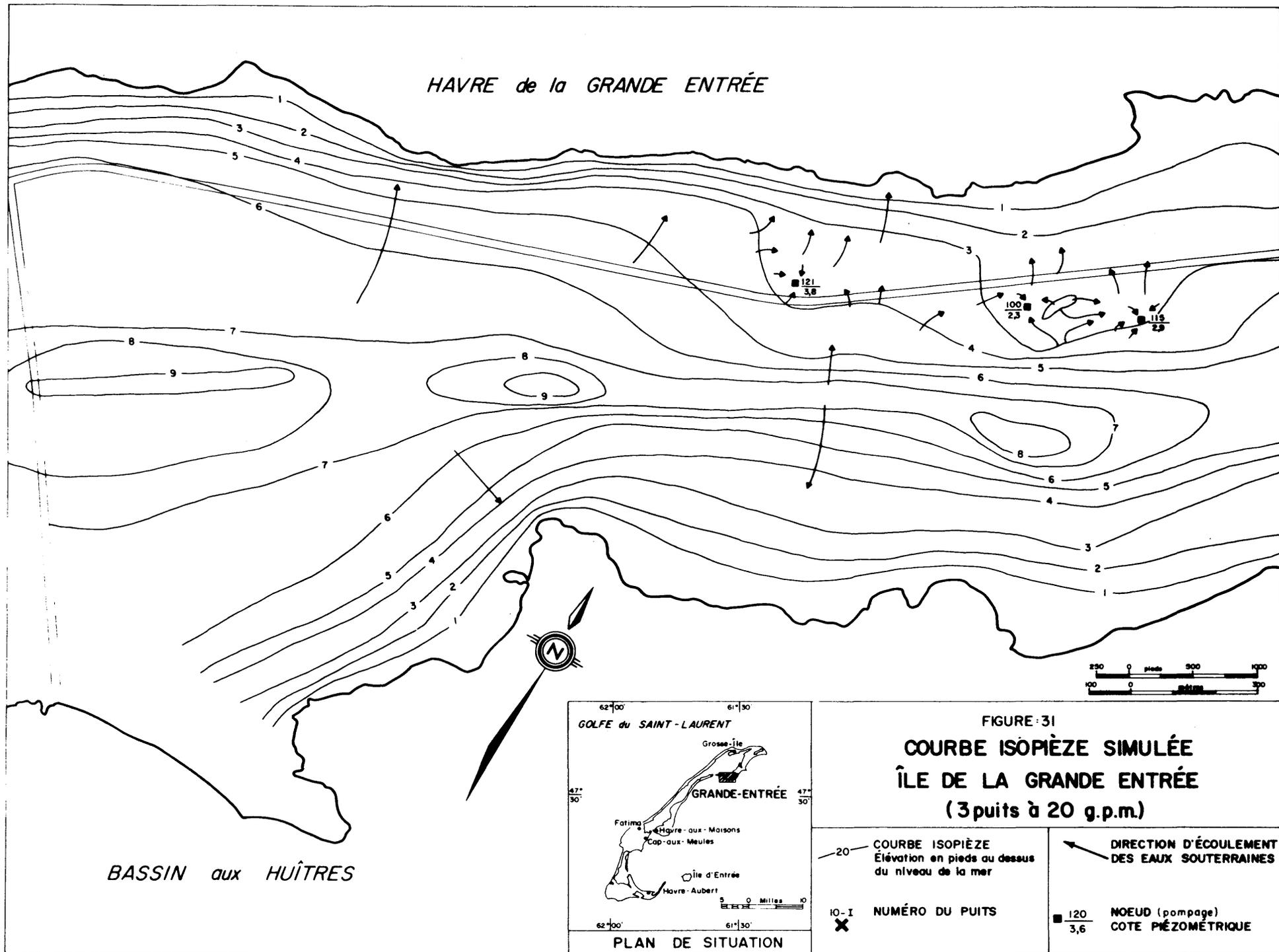
l'Ile de la grande Entrée

Le calage a permis de vérifier qu'environ 30 pour cent de la précipitation s'infiltrer vers la nappe. Ramené à la superficie totale de l'île, ce taux correspond à un débit d'alimentation de la nappe équivalant à environ 700 g.p.m.

(191 m³/h). Comme pour la Grosse Ile, la façon la plus sécuritaire qui permettrait d'exploiter la majeure partie de cette eau, est de la prélever à l'aide d'un très grand nombre de puits à des débits inférieurs à 1 g.p.m. (0,3 m³/h). Ce moyen est peut-être pratique pour les familles qui se font creuser des puits pour leurs propres besoins, mais il risque d'être prohibitif si on veut prélever de grandes quantités d'eau. Tout en gardant à l'esprit que la nappe ne doit pas être sur-exploitée, on a simulé des programmes permettant de déterminer les taux de pompage maximal et la répartition optimale des puits. Chacun des programmes comporte un certain nombre de puits alignés dans le sens de la longueur de l'île dans les secteurs les plus perméables et là où la piézométrie est la plus élevée. Les conclusions obtenues sont les suivantes:

(1) Le débit maximum pouvant être exploité à l'aide d'un puits unique est de 20 g.p.m. (5,4 m³/h); à ce débit les puits devraient être distants d'au moins 2 500 pieds (762 m) et profonds d'au plus 50 pieds (15,2 m) sous le niveau de la mer. La simulation d'un programme comportant trois puits alignés près du contact entre les grès rouges et les sédiments récents et pompés à 20 g.p.m. (5,4 m³/h) indique (Fig. 31) que la cote piézométrique au noeud #100 situé entre les noeuds #115 et 121 n'est que de 2,3 pieds (0,7 m) au-dessus du niveau de la mer. Ceci laisse au plus 40 pieds (12,2 m) d'eau douce comme marge de sécurité sous la base du puits. Pour le noeud #121, le plus éloigné des deux autres, il présente une cote piézométrique de 3,8 pieds (1,2 m) situant l'interface à 152 pieds (46,3 m), laissant au moins 100 pieds (30,5 m) d'eau douce

HAVRE de la GRANDE ENTRÉE



BASSIN aux HÛÎTRES



FIGURE:31
COURBE ISOPIÈZE SIMULÉE
ÎLE DE LA GRANDE ENTRÉE
(3 puits à 20 g.p.m.)

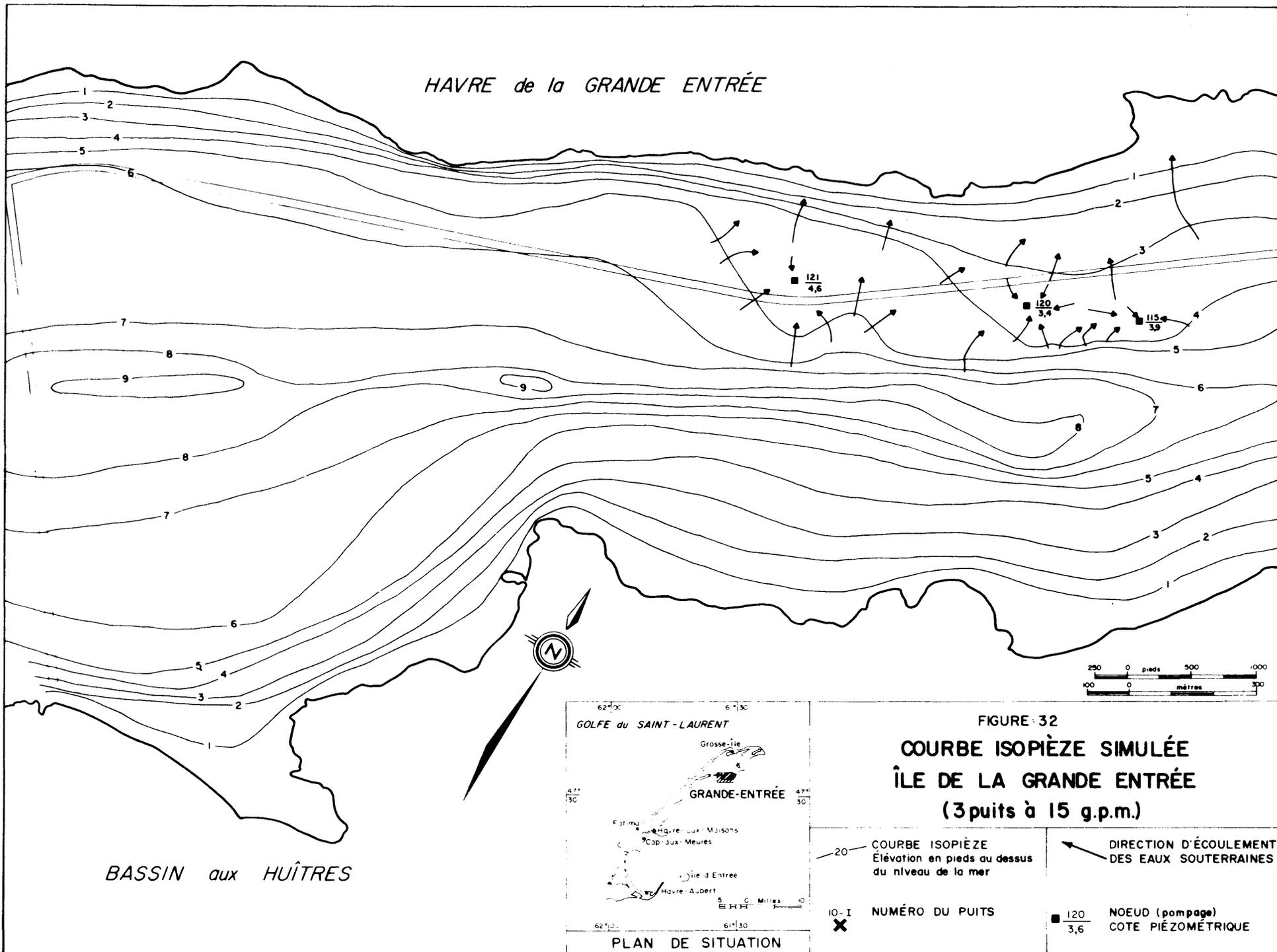
- 20 — COURBE ISOPIÈZE
Élévation en pieds au dessus
du niveau de la mer
- 10 - I NUMÉRO DU PUIS
- 120 NOEUD (pompage)
3,6 COTE PIÉZOMETRIQUE
- ← DIRECTION D'ÉCOULEMENT
DES EAUX SOUTERRAINES

sous la base du puits.

(2) Les taux de pompage sécuritaires et recommandables sont de 10 g.p.m. ($2,7 \text{ m}^3/\text{h}$) ou de 15 g.p.m. ($4,1 \text{ m}^3/\text{h}$) en autant que la distance allouée entre chacun des puits soit d'au moins 500 pieds (152 m) ou de 900 pieds (274 m) suivant le cas. A la figure 32 est présenté le cas de 3 puits distants d'environ 900 pieds (274 m) et pompés au taux de 15 g.p.m. ($4,4 \text{ m}^3/\text{h}$), et à la figure 33 le cas de 6 puits aux mêmes conditions. La cote piézométrique demeure dans tous les cas suffisante pour maintenir la profondeur de l'interface à près de 150 pieds (45,7 m) sous le niveau de la mer. La figure 34 illustre le cas où un puits supplémentaire (noeud #99) est placé entre les noeuds #100 et 115. Pour obtenir une cote piézométrique sécuritaire près du noeud #99, il a fallu réduire le débit à 10 g.p.m. ($2,7 \text{ m}^3/\text{h}$) aux noeuds #100, 115 et 99; dans les deux cas le débit total retiré de la nappe est de 90 g.p.m. ($24,5 \text{ m}^3/\text{h}$).

(3) L'influence est peu marquée entre les puits pompés de part et d'autre des sédiments récents. En effet, si l'on compare les cas présentés aux figures 33 et 35 correspondant respectivement à 6 et 8 puits pompés chacun à 15 g.p.m. ($4,1 \text{ m}^3/\text{h}$), les variations de la cote piézométrique aux noeuds #70, 90, 106 et 121 sont minimes, de l'ordre du dixième de pieds.

HAVRE de la GRANDE ENTRÉE



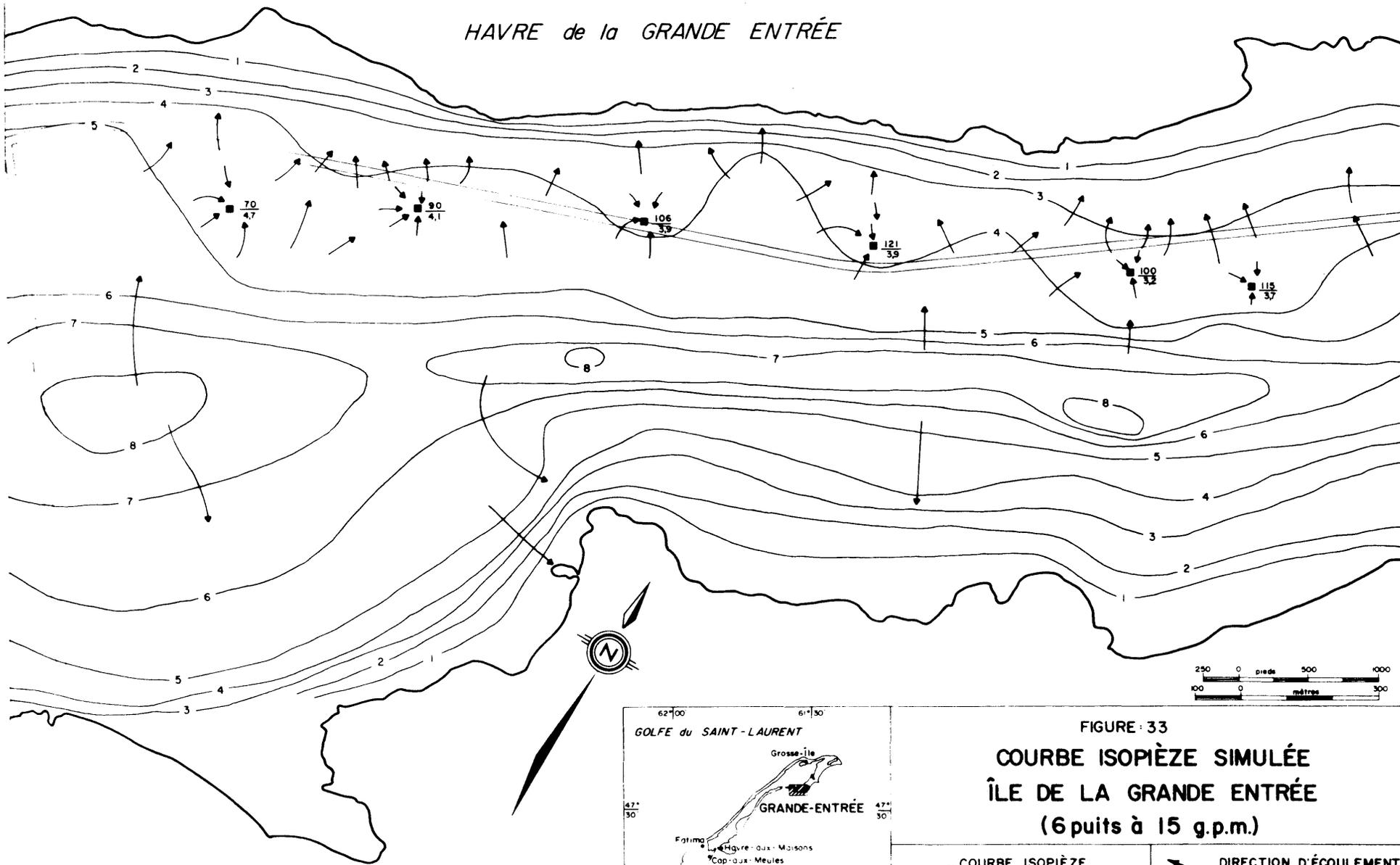
BASSIN aux HUITRES



FIGURE 32
COURBE ISOPIÈZE SIMULÉE
ÎLE DE LA GRANDE ENTRÉE
(3 puits à 15 g.p.m.)

- 20 — COURBE ISOPIÈZE
Élévation en pieds au dessus
du niveau de la mer
- 10-I X NUMÉRO DU PUIS
- ↖ DIRECTION D'ÉCOULEMENT
DES EAUX SOUTERRAINES
- 120 / 3,6 NOEUD (pompage)
COTE PIÉZOMETRIQUE

HAVRE de la GRANDE ENTRÉE



BASSIN aux HUITRES

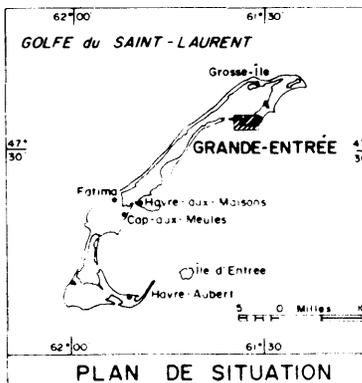
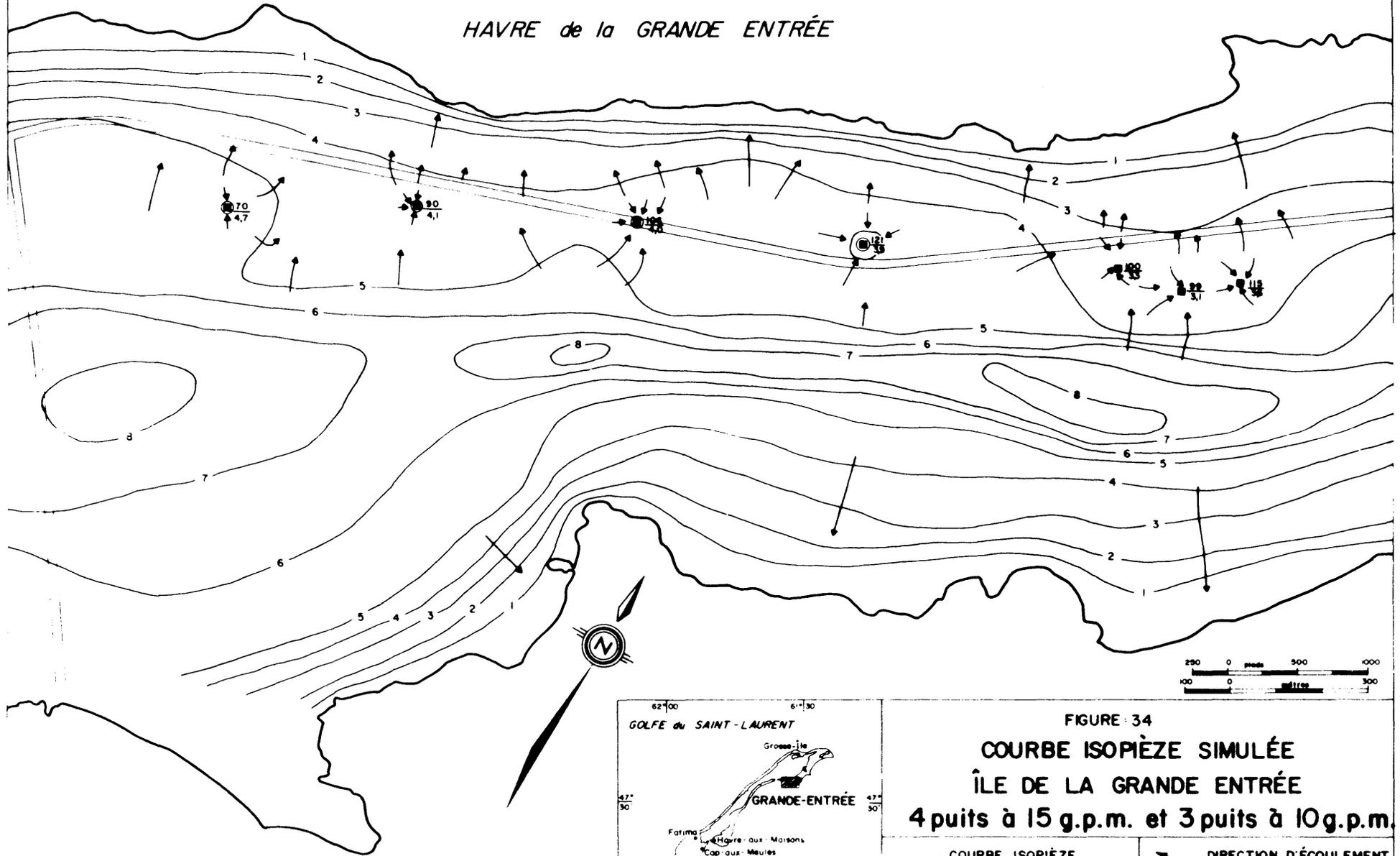


FIGURE 33
COURBE ISOPIÈZE SIMULÉE
ÎLE DE LA GRANDE ENTRÉE
(6 puits à 15 g.p.m.)

- 20 — COURBE ISOPIÈZE
Élévation en pieds au dessus
du niveau de la mer
- ↖ DIRECTION D'ÉCOULEMENT
DES EAUX SOUTERRAINES
- 10-I NUMÉRO DU PUIS
- 120 NOEUD (pompage)
3,6 COTE PIÉZOMÉTRIQUE

HAVRE de la GRANDE ENTRÉE



BASSIN aux HÛÎTRES

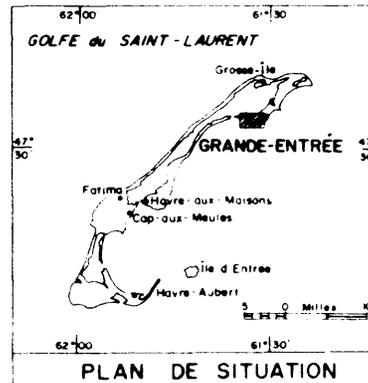
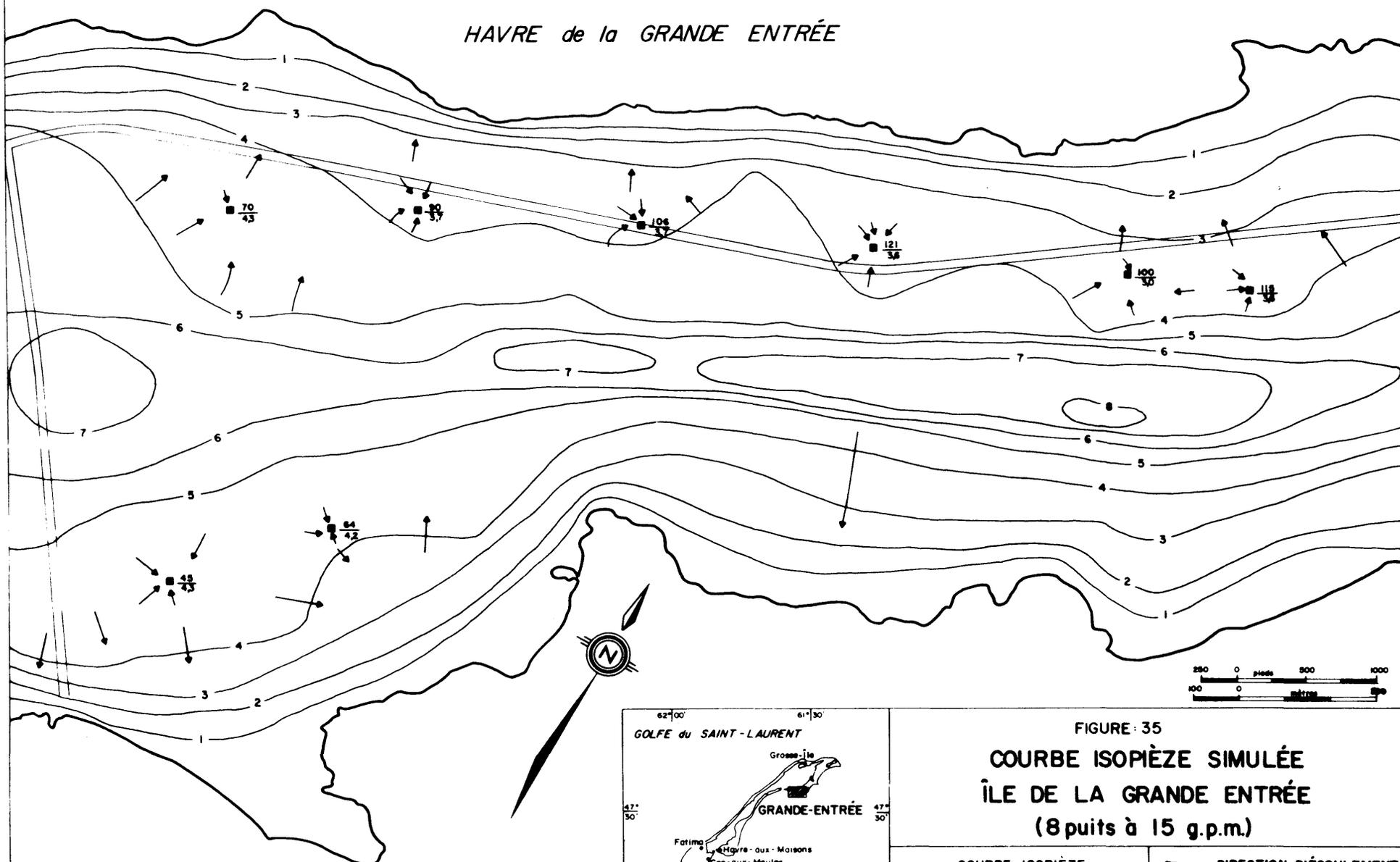


FIGURE 34
COURBE ISOPIÈZE SIMULÉE
ÎLE DE LA GRANDE ENTRÉE
4 puits à 15 g.p.m. et 3 puits à 10 g.p.m.

20	COURBE ISOPIÈZE Élévation en pieds au dessus du niveau de la mer	↖	DIRECTION D'ÉCOULEMENT DES EAUX SOUTERRAINES
●	15 G. P. M.	■	NOEUD (pompage)
○	10 G. P. M.	■	COTE PIÉZOMÉTRIQUE
X	NUMÉRO DU PUIS	120 3,6	

HAVRE de la GRANDE ENTRÉE



BASSIN aux HÙITRES

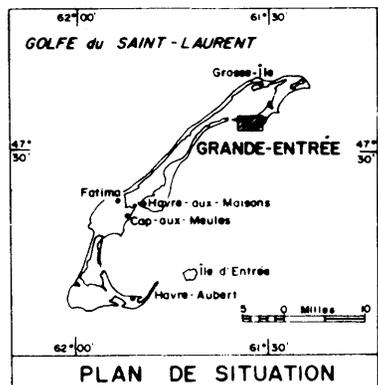


FIGURE: 35
**COURBE ISOPIÈZE SIMULÉE
 ÎLE DE LA GRANDE ENTRÉE
 (8 puits à 15 g.p.m.)**

20 — COURBE ISOPIÈZE
 Élévation en pieds au dessus
 du niveau de la mer

10-I NUMÉRO DU PUIITS
 X

DIRECTION D'ÉCOULEMENT
 DES EAUX SOUTERRAINES

■ 120
 3,6 NOEUD (pompage)
 COTE PIÉZOMETRIQUE

Le cas de 8 puits pompés chacun à 15 g.p.m.
(4,1 m³/h) a été simulé en régime transitoire. A la lumière
des résultats obtenus, l'équilibre dynamique serait atteint
après environ 3 mois de pompage.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La présente étude a consisté à évaluer les disponibilités en eau souterraine à la Grosse Ile et à l'île de la Grande Entrée. Sachant que les systèmes hydrogéologiques sont complexes en milieu côtier, on a d'abord réalisé des travaux de terrain (forages, pompages). A l'aide des données hydrogéologiques obtenues on a bâti un modèle mathématique pour essayer de définir un programme d'exploitation optimale des nappes. On a alors eu recours à la méthode des éléments finis pour résoudre numériquement l'équation différentielle de l'écoulement des eaux souterraines; cette méthode a l'avantage de donner une meilleure approximation des frontières irrégulières et des fonctions non linéaires. Pour préciser les critères d'acceptation de ce programme on a utilisé la relation de Ghyben-Herzberg qui, malgré sa simplicité, fournit une estimation raisonnable du comportement de l'interface.

La Grosse Ile

Même si le débit d'alimentation de la nappe par infiltration est de 325 g.p.m. ($89 \text{ m}^3/\text{h}$), les contraintes qu'imposent la présence de l'eau salée et la contamination qui pourrait en découler, font qu'une

partie seulement de cette eau demeure exploitable. La façon la plus sécuritaire consiste à prélever de très petites quantités d'eau (inférieures à 1 g.p.m.) en un très grand nombre de points. Cette solution n'est évidemment pas pratique si les besoins en eau sont considérables ou lorsque la population est concentrée sur une petite superficie, ceci à cause des dangers imminents de contamination des eaux souterraines par les eaux usées.

L'étude hydrogéologique a montré que seul le secteur situé à l'extrémité est de l'île peut être exploité à des débits raisonnables. Comme on soupçonne la présence d'eau salée sous l'eau douce dans ce secteur, on a choisi le programme d'exploitation le plus approprié qui suggère de pomper simultanément quatre (4) puits à un débit total combiné de 80 g.p.m. ($22 \text{ m}^3/\text{h}$). La distance minimale retenue entre chacun des puits ne devrait pas être en deçà de 1 000 pieds (305 m). La présence d'eau salée sous l'eau douce dans ce secteur n'est pas prouvée avec certitude, même si les observations de terrain le laissent supposer. Si tel était le cas, on pourrait utiliser moins de puits pour exploiter la formation aquifère. Il n'en demeure pas moins cependant que d'après les résultats des simulations, le débit total maximal pouvant être prélevé devrait se situer aux alentours de 75 g.p.m. ($20 \text{ m}^3/\text{h}$), sans toutefois excéder les 100 g.p.m. ($27 \text{ m}^3/\text{h}$).

l'Ile de la Grande Entrée

Le débit d'alimentation de la nappe a été évalué à 700 g.p.m. ($191 \text{ m}^3/\text{h}$). A l'exception de la pointe de la Grande Entrée, pourvue d'une eau de qualité médiocre et de la partie centrale de l'île qui repose sur des sédiments récents à grains très fins peu propices à l'aménagement d'un ouvrage de captage, l'ensemble de l'île est doté d'une formation facilement exploitable. A cause de la présence d'eau salée sous l'eau douce à la grandeur de l'île, la façon la plus sécuritaire qui permettrait d'exploiter le maximum de l'eau qui s'infiltré, est de recourir à un grand nombre de puits à des débits individuels inférieurs à 1 g.p.m. ($0,3 \text{ m}^3/\text{h}$).

Les résultats des simulations ont permis de définir le programme d'exploitation le plus sécuritaire pour des besoins autres que l'alimentation d'une famille. Il propose plusieurs puits alignés de part et d'autre de l'île entre la berge et le centre de l'île, distants entre eux d'environ 900 pieds (274 m) et pompés à 15 g.p.m. ($4,1 \text{ m}^3/\text{h}$); par exemple on pourrait obtenir environ 200 g.p.m. ($54,5 \text{ m}^3/\text{h}$) à l'aide de 14 puits de pompage. Les programmes d'exploitation proposés dans cette étude reflètent la disponibilité en eau et la façon de l'exploiter. Le modèle demeure toujours valable pour étudier

des cas plus spécifiques selon les besoins requis et les contraintes que peuvent rencontrer les usagers au moment du choix d'un emplacement de forage.

Dans l'immédiat, seules quelques familles résidant sur la pointe de la Grande Entrée sont privées de bonnes sources d'alimentation en eau potable. La contamination des eaux douces souterraines à proximité de ce secteur est en grande partie due à l'exploitation irrationnelle de deux (2) puits, propriétés du MIC et d'une usine pour la mise en conserve du poisson. Pour le bien-être de la population de ce secteur, il faudrait la desservir en eau douce en érigeant une batterie de puits selon les spécifications précitées. Nul doute que si l'exploitation de ces deux (2) puits se poursuit, elle contribuera à augmenter non seulement la superficie du secteur contaminé, mais aussi le gaspillage d'une bonne partie des eaux douces, si précieuses pour la population locale. La solution pour maintenir en place l'industrie et assurer aussi la préservation des eaux douces serait qu'elle utilise plutôt de l'eau de mer. Celle-ci devrait chercher également à améliorer ses méthodes ou procédés de mise en conserve qui sont cause de gaspillage de l'eau. On n'a qu'à songer par exemple au système de refroidissement des moteurs du compresseur à l'usine de réfrigération du MIC où on ne recycle pas l'eau, au transport des poissons vers l'usine par flottage en utilisant

de l'eau douce etc...

De façon générale, les concepteurs de nouveaux réseaux aux Iles de la Madeleine devraient tenir compte des recommandations suivantes:

- (a) Maintenir les alimentations individuelles, sauf dans les zones à forte densité de population;
- (b) Prévoir au moment de la conception d'un réseau la mise en place de compteurs de débit, de piézomètres et de points de contrôle des fuites du réseau;
- (c) Prévoir un mécanisme de tarification pour les usagers qui soit en mesure de décourager les abus et le gaspillage;
- (d) Tenir compte dans le plan d'aménagement du territoire des distances minima requises entre les puits et les fosses septiques.

REFERENCES

- Alcook, F.J. (1935) "Geology of Chaleur Bay Region," Geological Survey of Canada, rapp. 183.
- Anonyme (1974) "Normes et objectifs pour l'eau potable au Canada", Ministère de la Santé nationale et du Bien-être social, seconde édition.
- Bear, J. (1972) "Dynamics of fluids in porous media", American Elsevier, Env. Sc. Series, NY.
- Brisebois, D. (1972) "Géologie de l'Archipel des Iles-de-la-Madeleine", MRN, Rapp. préliminaire. No 28122.
- Clarke, J.M. (1910) "Observation on the Magdalen Islands", NY State Museum, Bull., No 149, pp 134-156.
- Cooper, H.H. (1966) "The equation of groundwater flow in fixed and deforming coordinates", J. Geophys. Res., Vol. 71 No 20, pp 4875-4890.
- Dessureault, R., et Simard, G. (1970) "Hydrogéologie des Iles-de-la-Madeleine", MRN - HG-1.
- Dupuits, J. (1863) "Etudes théoriques et pratiques sur le mouvement des Eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains perméables", 21ième ed., Dunod, Paris.
- Forsyth, M.J. (1968) "Variational calculus in science and engineering", Mc Graw-Hill, p. 193, NY.
- Gagnon, D. (1974) "Carte géologique et sections géologiques de la Grosse Ile", Louvem inc., projet No 10-798.
- Géoterrex Ltée (1971) "Etude hydrogéologique par sondages électriques des Iles-de-la-Madeleine", par Gilliland P., Etude 85-158, Ottawa.

- Ghyben, W.B. (1888-1889) "Nota inverbandmet de voorgenomen put boring nabij Amsterdam (Notes sur les résultats probables des forages proposés près d'Amsterdam)", K. Int. Ing. Tijdschr. The Haque.
- Hantush, M.S. (1964) "Hydraulics of Wells", dans Advances in Hydrosciences (ed. V.T. Chow), Vol. 1, pp. 281-432, Academic Press, NY.
- Herzberg, B. (1901) "Die Wasserversorgung einiger Nordseebader (L'approvisionnement en eau d'une partie de la côte de la mer du Nord)", J. Gasbeleuchtung und Wasserversorgung, Vol. 44, pp. 815-819.
- Jacob, C.E. (1950) "Engineering hydraulics" ed. H. Rouse, John Wiley, NY.
- Kashef, A.A.I. (1972) "What do we know about salt water intrusion", Water Res. Bull., Vol. 8, No 2. pp. 282-292.
- Pinder, G.F. et Frind, E.O. (1972) "Application of Galerkin's procedure to aquifer analysis", Water Res. Res., Vol. 8, No 1, pp. 108-120.
- Pinder, G.F., Frind, E.O. et Papadopoulos, S.S. (1973) "Functional coefficients in the analysis of groundwater flow", Water Res. Res., Vol. 9, No 1, pp. 222-227.
- Poulin, M. (1977) "Etude hydrogéologique des îles de Grosse Ile et de Grande Entrée, Iles-de-la-Madeleine", Services Techniques en Eau Souterraine Inc.
- Richardson, J. (1881) "Compte rendu d'une exploration géologique des Iles-de-la-Madeleine", Rapp. de Progr. 1880-1881, ptie G.
-

- Sanschagrín, R. (1964) "Les Iles-de-la-Madeleine", MRN-R.G. 106.
- Sylvestre, M. (1973) "Compte rendu de travaux aux Iles-de-la-Madeleine", MRN, Eaux souterraines, rapp. non publié No 680-A.
- Sylvestre, M. (1974) "A finite element model for salt water upconing and its application to the Magdalen Islands aquifer", U de W, thèse de maîtrise.
- Theis, C.V. (1935) "The relation between the lowering of piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage", Trans. Am. Geophys. Union, 16^{ième} Congrès Américain, ptie 2.
- Villeneuve, G.O. (1967) "Aperçu climatique des Iles-de-la-Madeleine", MRN-R.M.-21.
- Weinstock, R. (1952) "Calculus of variations", McGraw-Hill, NY, pp. 9-13.
- Zienkiewicz, O.C. et Cheung, Y.K. (1967) "The finite element method in structural and continuum mechanics", McGraw-Hill, NY.
- Zienkiewicz, O.C., Pareck, C.J. (1970) "Transient field problems: Two dimensional and three dimensional analysis by isoparametric finite elements", Int. J. Numer. Meth, Eng., Vol. 2, pp.61-71.

Appendice 1

Forage-Grande Entrée - 1973

Localisation: UTM X = 509.05 Y = 5267.06 Carte 11N/11

(20 pieds du puits de l'usine)

Profondeur du forage: 235 pieds Profondeur de l'eau: 55 pieds

Altitude du forage \approx 45 pieds

Date du forage: 4/07/73

Description des matériaux

0 - 5' : Mort-terrain

5' - 115' : Grès rouge très tendre

115' - 235' : Alternance de grès rouge tendre et dur

Teneur en chlorures

Profondeur (pieds)	Concentration (mg/l) en chlorures
115	107,5
175	107,5
190	500,0
205	1 750,0
220	5 000,0
235	>10 000,0

Appendice 2

METHODE DES ELEMENTS FINIS

Soit une fonction $L(h)$ dont les conditions aux limites sont celles de Dirichlet et de Neumann et ayant la forme suivante:

$$L(h) = \left(\frac{\partial}{\partial x} K'_{xx} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} K'_{yy} \frac{\partial}{\partial y} - S' \frac{\partial}{\partial t} \right) \cdot h(x,y,t) - W = 0 \quad (A.1)$$

où

$$\begin{aligned} K'_{xx} &= K_{xx} (h-Z) \\ K'_{yy} &= K_{yy} (h-Z) \\ S' &= S (h-Z) \end{aligned}$$

Pour résoudre cette équation selon le procédé de Galerkin, l'inconnue $h(x,y,t)$ est d'abord remplacée par une fonction

$$h'(x,y,t) = \sum_{i=1}^n h_i(t) \cdot N_i(x,y) \quad (A.2)$$

où n est le nombre de points choisis sur le domaine;
les $h_i(t)$ sont des coefficients, fonction du temps, à déterminer;
les $N_i(x,y)$ forment un ensemble de fonctions connues, définies de manière à ce qu'elles soient orthogonales entre elles, et satisfassent aux conditions aux limites

imposées à (A.1).

Lorsque (A.2) est substitué dans (A.1) on obtient en général un résidu non nul. Il peut être démontré que ce résidu tend vers zéro si $L(h')$ est orthogonale à l'ensemble des $N_i(x,y)$ (Forray, 1968). La condition d'orthogonalité s'exprime par:

$$\iint_R L\{h'(x,y,t)\} \cdot N_i(x,y) \, dx dy = 0 \quad (A.3)$$
$$i = 1, \dots, n$$

et par substitution de (A.2) dans (A.3)

$$\iint_R L\left\{ \sum_{i=1}^n h_i(t) \cdot N_i(x,y) \right\} \cdot N_j(x,y) \, dx dy = 0 \quad (A.4)$$
$$j = 1, \dots, n$$

La résolution simultanée du système à n équations linéaires, généré par (A.4), donne les valeurs des n coefficients $h_i(t)$, lesquels permettent le calcul de la valeur $h'(x,y,t)$ dans (A.2). Forray (1968) démontre qu'à la limite, lorsque n tend vers l'infini, h' tend vers h .

L'efficacité de la méthode en terme de calcul numérique repose sur le choix des $N_i(x,y)$. Celles présentées par Pinder et Frind (1972) sont très efficaces. Le domaine R est divisé en un ensemble de quadrilatères (les éléments) dont les côtés peuvent être établis approximativement à l'aide de courbes polynomiales linéaires, quadratiques ou cubiques (figure 11) qui sont décrites respectivement par deux, trois ou quatre points (les noeuds). Les fonctions $N_i(x,y)$ sont définies pour chaque noeud par des

polynômes du même degré que le côté auquel appartiennent les noeuds i , et sont applicables au domaine R_e de l'élément. Il est avantageux de les définir de manière à ce qu'elles soient unitaires au noeud i et nulles à tous les autres noeuds. Ainsi, les coefficients $h_i(t)$ sont les valeurs de la fonction inconnue $h'(x,y,t)$ au noeud i .

Par substitution de (A,1) dans (A.4), après avoir regroupé les termes et transformé les dérivées du second degré à l'aide du Théorème de Green, l'équation matricielle suivante est obtenue:

$$[H] \{h\} + [P] \left\{ \frac{\partial h}{\partial t} \right\} + [F] = 0 \quad (A.5)$$

où les éléments matriciels ont la forme suivante:

$$H_{ij} = \sum_e H_{ij}^e = \sum_e \iint_{R_e} (K'_{xx} \frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot \frac{\partial N_j}{\partial x} + K'_{yy} \frac{\partial N_i}{\partial y} \cdot \frac{\partial N_j}{\partial y}) dx dy \quad (A.6)$$

$$P_{ij} = \sum_e P_{ij}^e = \sum_e \iint_{R_e} S^e N_i N_j dx dy \quad (A.7)$$

$$F_i = - \sum_e F_i^e = - \sum_e \iint_{R_e} \left[\sum_{k=1}^3 W_k N_i \right] dx dy + \int_{C_e} N_i \sum_e \left(K'_{xx} \frac{\partial N_i}{\partial x} \ell_x + K'_{yy} \frac{\partial N_i}{\partial y} \ell_y \right) h_i ds \quad (A.8)$$

Les W_k sont les termes de flux définis aux équations (5), (6) et (7); K'_{xx} et K'_{yy} sont fonction d'espace et des inconnues h_i .

Pour simplifier l'intégration numérique, Pinder et al (1973) démontrent que les K' peuvent être substitués dans (A.6) et (A.8) par les sommations suivantes:

$$K'_{xx}{}^e = \sum^e N_i(x,y) \cdot K'_{xx_i} = \sum^e N_i K_{xx_i} \cdot (z_i - h_i) \quad (A.9)$$

$$K'_{yy}{}^e = \sum^e N_i(x,y) \cdot K'_{yy_i} = \sum^e N_i K_{yy_i} \cdot (z_i - h_i) \quad (A.10)$$

$$S^e = \sum^e N_i(x,y) \cdot S'_{y_i} = \sum^e N_i S_{y_i} \cdot (z_i - h_i) \quad (A.11)$$

où K_{xx_i} , K_{yy_i} et S_{y_i} sont les valeurs de ces coefficients au noeud i ; et z_i est la cote inférieure de la nappe au point i . Un processus itératif est alors défini pour résoudre (A.1) où les K'_{xx} et K'_{yy} sont calculés après chaque itération jusqu'à ce que leur valeur atteigne une limite.

Les intégrales sont menées sur les domaines R_e des éléments de périmètre C_e communs au noeud i . Afin de faciliter l'intégration numérique, les éléments distordus sont transposés dans un système de coordonnées curvilignes (L,M) définies sur chaque élément, et dans lequel l'intégration est effectuée sur un carré de demi côté unitaire (figure 11). La transformation intégrable est donnée par (Weinstock, 1952);

$$dx dy = \det [J] dL dM \quad (A.12)$$

où $[J]$ est le jacobien de la transformation défini par:

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial M} & \frac{\partial y}{\partial M} \\ \frac{\partial x}{\partial L} & \frac{\partial y}{\partial L} \end{bmatrix} \quad (A.13)$$

et $\det [J]$ est le déterminant de la matrice $[J]$.

Le dernier terme de l'élément matriciel dans (A.8) " F_{λ} " contient la condition de Neumann:

$$\vec{q} = \kappa \left(\frac{\partial h}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial h}{\partial y} \vec{j} \right) \quad (A.14)$$

où \vec{q} est le flux d'eau qui entre le long des frontières de l'élément. Sa sommation est nulle sur l'élément sauf sur les éléments adjacents à une frontière à flux imposé.

La discrétisation du terme $\partial h / \partial t$ dans (A.5) est obtenue par différence finie:

$$\partial h / \partial t = \frac{h(t) - h(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (A.15)$$

où $h(t)$ est la valeur de h au temps t (inconnue);

$h(t - \Delta t)$ est la valeur de h au temps $(t - \Delta t)$ (connue);

et Δt est le pas de temps

Par substitution de (A.15) dans (A.5) on obtient l'équation matricielle suivante:

$$\{ [H] + [P] / \Delta t \} \cdot h_t = [P] / \Delta t \cdot h_{t-\Delta t} - [F]$$

Il peut être démontré que la méthode converge et est inconditionnellement stable (Sylvestre, 1974). En pratique, on part avec des petits pas de temps que l'on augmente de manière exponentielle après chaque itération suivant ainsi la forme de la fonction h .

Appendice 3

SORTIES IMPRIMANTES

Régime permanent (La Grosse Ile)

La sortie imprimante contient dans l'ordre les éléments suivants:

- a) les caractéristiques de la grille;
- b) les coordonnées de chacun des noeuds du maillage;
- c) la position qu'occupent les noeuds sur un élément;
- d) la transmissivité assignée à chaque élément en m^2/s ;
- e) les numéros des noeuds à charge constante et la valeur de charge;
- f) l'infiltration que reçoit chaque élément en m/s ;
- g) la charge calculée à l'équilibre pour chaque noeud en pieds .

ANALYSE EN DEUX DIMENSIONS DE L'ECOULEMENT DES EAUX

SOUTERRAINES EN PERMANENT SELON LA METHODE DES

ELEMENTS FINIS

GROSSE-ILE NO. 3

CARACTERISTIQUE DE LA GRILLE

LE NOMBRE DE NOEUDS = 289

LE NOMBRE D'ELEMENTS = 151

LE NOMBRE DE NOEUDS
A CHARGE CONANTE = 85

LE NOMBRE D'ELEMENTS
DE FILTRATION = 151

Ministère des Richesses naturelles du Québec
SERVICE DOCUMENTATION TECHNIQUE

COORDONNEES DES NOEUDS

NOEUD	X	Y
1	1100.40	10.00
2	841.60	233.60
3	810.80	385.20
4	787.60	527.20
5	720.40	632.40
6	742.00	725.60
7	732.00	787.20
8	664.00	897.60
9	568.80	1019.20
10	942.00	314.00
11	883.60	592.80
12	830.40	701.20
13	799.60	860.00
14	759.60	979.20
15	1222.40	92.80
16	1114.00	266.00
17	1041.60	393.60
18	1010.80	529.60
19	986.00	661.60
20	964.00	707.20
21	934.40	764.00
22	906.00	856.40
23	880.00	940.80
24	870.80	1001.20
25	863.20	1064.80
26	862.80	1114.40
27	858.00	1164.80
28	1198.80	263.60
29	1046.80	616.80
30	1185.20	369.60
31	1132.40	459.60
32	1116.80	566.80
33	1198.80	807.60
34	1148.00	847.60
35	1112.40	875.60
36	1100.00	1107.60
37	1078.00	1171.60
38	1061.20	1218.40
39	1041.60	1274.40
40	1022.40	1328.80
41	1405.60	262.00
42	1332.40	373.20
43	1265.60	466.80
44	1226.00	526.40
45	1214.80	637.20
46	1206.80	733.60

47	1224.00	946.40
48	1163.20	1026.40
49	1388.40	533.60
50	1331.60	623.60
51	1315.60	710.00
52	1325.20	804.40
53	1337.60	902.80
54	1320.40	1098.40
55	1248.80	1194.40
56	1277.20	1314.40
57	1301.20	1414.40
58	1251.60	1452.00
59	1216.00	1481.60
60	1512.00	525.20
61	1401.60	690.40
62	1397.60	1058.40
63	1450.00	1160.80
64	1506.00	1266.00
65	1476.80	1308.00
66	1456.00	1342.00
67	1361.20	1374.80
68	1664.80	516.00
69	1464.00	750.40
70	1916.40	674.00
71	1770.00	812.80
72	1647.60	902.40
73	1476.40	996.00
74	1485.20	1032.40
75	1492.40	1068.00
76	1524.80	1110.00
77	1561.20	1157.60
78	1597.60	1254.40
79	1643.60	1320.00
80	1685.60	1383.20
81	1606.80	1395.20
82	1512.00	1432.00
83	1358.00	1526.80
84	1320.80	1556.00
85	1290.80	1579.60
86	1903.60	836.40
87	1648.00	970.40
88	1652.40	1040.40
89	1674.40	1104.00
90	1692.00	1160.00
91	1702.40	1240.40
92	1753.20	1314.40
93	1797.60	1380.00
94	1858.00	1456.40
95	1905.60	1514.80
96	1801.20	1552.00
97	1692.40	1535.20
98	1574.80	1542.40
99	1394.80	1604.80
100	1370.00	1651.60
101	2055.60	1507.20
102	1895.60	954.40
103	1886.80	1070.80
104	1881.20	1162.00
105	1875.20	1258.00
106	1946.80	1304.80
107	2042.80	1367.20

108	2128.80	1416.00
109	2499.60	1669.20
110	2106.80	902.80
111	2094.80	993.20
112	2066.00	1192.80
113	1628.80	1619.20
114	1563.20	1708.00
115	1573.20	1803.60
116	2473.20	1752.40
117	2640.80	1649.60
118	2289.20	1056.80
119	2260.40	1110.00
120	2217.20	1221.20
121	2258.00	1491.20
122	1705.20	1660.80
123	1676.40	1793.20
124	2503.60	1754.00
125	2427.60	1290.00
126	2340.40	1396.80
127	1765.20	1696.00
128	2447.60	1751.20
129	2491.60	1552.40
130	2389.60	1582.40
131	2280.00	1611.60
132	2134.80	1646.80
133	1997.20	1678.40
134	1950.00	1593.60
135	1869.20	1676.80
136	2287.20	1703.20
137	2056.00	1777.20
138	1919.20	1780.80
139	2554.40	1743.60
140	2368.80	1665.60
141	2795.60	1753.20
142	2727.60	2000.40
143	2588.80	1708.80
144	2528.80	1745.20
145	2286.40	1778.40
146	2120.00	1886.00
147	1983.60	1908.40
148	1862.80	1886.80
149	2447.60	1809.60
150	2295.20	1888.40
151	3400.40	1760.00
152	2409.60	1720.80
153	2630.40	1792.00
154	2505.60	1817.20
155	2475.60	1888.40
156	3436.00	2099.20
157	3259.20	2114.80
158	2918.00	2152.00
159	2638.40	2045.20
160	2474.80	1987.20
161	2475.60	1812.40
162	3489.60	2249.20
163	2499.60	1845.20
164	2534.00	1878.40
165	2499.60	1874.80
166	2655.20	2529.20
167	2473.20	2220.80
168	2269.20	2124.80

169	2475.60	1870.00
170	2447.60	1865.60
171	2346.00	1792.00
172	3111.60	2608.00
173	3485.60	2500.00
174	2559.60	1807.20
175	2528.80	1812.40
176	2192.00	2397.20
177	2101.20	2242.00
178	2622.80	1929.20
179	2567.20	1883.20
180	4417.60	3258.40
181	2505.60	1786.80
182	2384.00	1873.20
183	1967.60	2510.00
184	3014.00	1926.40
185	5168.40	4025.20
186	5646.00	4462.40
187	1895.60	2659.20
188	1751.20	2612.00
189	1552.80	2545.20
190	1299.20	2708.00
191	1156.40	2796.00
192	2948.00	1720.80
193	2910.00	1596.40
194	1814.80	2845.20
195	1564.40	2838.40
196	1354.40	2838.00
197	1284.40	2836.00
198	1200.00	2839.20
199	1354.80	2872.00
200	1564.40	2872.00
201	3330.80	1738.00
202	3336.00	1898.80
203	3326.00	1570.80
204	3219.20	1924.00
205	3194.00	1812.40
206	1549.60	2446.80
207	1261.60	2594.80
208	1094.00	2728.00
209	3115.60	1804.80
210	1547.20	2311.20
211	1220.00	2484.80
212	1004.80	2637.60
213	3164.00	1670.00
214	1181.60	2375.60
215	3186.40	1578.40
216	3204.40	1685.20
217	755.60	2040.80
218	3239.20	1812.40
219	3102.80	1685.20
220	3144.00	1583.60
221	3085.20	1588.80
222	269.20	1648.00
223	162.80	1390.00
224	473.60	1354.80
225	364.80	1131.60
226	39.20	1080.00
227	-150.40	1500.40
228	-729.60	377.20
229	-836.40	418.00

230	-694.00	-32.00
231	-1044.40	336.80
232	-704.00	-303.20
233	-1139.80	192.40
234	-866.80	-481.20
235	-1232.40	-74.80
236	-963.20	478.80
237	-349.60	1551.20
238	1134.80	1383.20
239	2149.20	2610.40
240	1756.80	2273.60
241	5145.20	3298.80
242	5310.39	3912.80
243	5737.20	4289.59
244	5564.40	4574.00
245	5046.39	4122.00
246	70.80	1644.00
247	2126.80	766.40
248	2330.80	998.00
249	2536.40	1220.40
250	2725.20	1420.80
251	3109.20	1433.60
252	3377.20	1509.60
253	3562.00	1545.20
254	3651.20	1716.00
255	3717.20	1883.20
256	3593.60	2092.00
257	3942.80	2224.40
258	1581.20	1892.00
259	1801.60	1966.00
260	2315.60	2598.80
261	2026.80	2234.00
262	3109.60	2728.80
263	4195.60	3163.20
264	4665.60	2953.60
265	3260.80	2173.20
266	3127.60	2349.60
267	2996.40	2390.80
268	3200.40	2362.00
269	3110.80	2472.00
270	3051.20	2453.20
271	1912.80	2307.60
272	2018.40	2699.20
273	1933.60	2851.20
274	1825.20	2915.20
275	1564.40	2897.60
276	1353.20	2904.00
277	1206.80	2909.60
278	1156.40	2890.00
279	1131.20	2846.40
280	987.60	2754.40
281	1543.20	2150.80
282	684.40	2334.40
283	267.60	1898.00
284	742.00	1843.20
285	1225.20	2046.80
286	486.80	1655.20
287	3052.00	1441.60
288	3176.40	1497.20
289	912.40	2547.20

POSITION DES NOEUDS SUR LES ELEMENTS

ELFMENT	COINS				COTES							
1	1	15	17	2	0	0	16	0	10	0	0	0
2	2	17	19	4	10	0	18	0	11	0	3	0
3	15	30	31	17	28	0	0	0	0	0	16	0
4	17	31	32	19	0	0	0	0	29	0	18	0
5	15	41	43	30	0	0	42	0	0	0	28	0
6	30	43	44	31	0	0	0	0	0	0	0	0
7	31	44	45	32	0	0	0	0	0	0	0	0
8	32	45	33	19	0	0	46	0	0	0	29	0
9	41	68	49	43	0	0	60	0	0	0	42	0
10	43	49	50	44	0	0	0	0	0	0	0	0
11	44	50	51	45	0	0	0	0	0	0	0	0
12	45	51	53	33	0	0	52	0	0	0	46	0
13	49	68	69	50	60	0	0	0	61	0	0	0
14	50	69	53	51	61	0	0	0	52	0	0	0
15	68	70	72	69	0	0	71	0	0	0	0	0
16	69	72	73	53	0	0	0	0	0	0	0	0
17	66	82	83	57	0	0	0	0	0	0	67	0
18	82	98	99	83	0	0	0	0	0	0	0	0
19	4	19	21	5	11	0	20	0	12	0	0	0
20	5	21	23	7	12	0	22	0	13	0	6	0
21	7	23	25	8	13	0	24	0	14	0	0	0
22	8	25	27	9	14	0	26	0	0	0	0	0
23	19	33	35	21	0	0	34	0	0	0	20	0
24	21	35	36	23	0	0	0	0	0	0	22	0
25	23	36	38	25	0	0	37	0	0	0	24	0
26	25	38	40	27	0	0	39	0	0	0	26	0
27	33	47	36	35	0	0	48	0	0	0	34	0
28	47	54	55	36	0	0	0	0	0	0	48	0
29	36	55	57	38	0	0	56	0	0	0	37	0
30	38	57	59	40	0	0	58	0	238	0	39	0
31	33	53	62	47	0	0	0	0	0	0	0	0
32	47	62	63	54	0	0	0	0	0	0	0	0
33	54	63	64	55	0	0	0	0	0	0	0	0
34	55	64	66	57	0	0	65	0	67	0	56	0
35	64	81	82	66	0	0	0	0	0	0	65	0
36	81	97	98	82	0	0	0	0	0	0	0	0
37	57	83	85	59	0	0	84	0	0	0	58	0
38	83	99	100	85	0	0	0	0	0	0	84	0
39	97	127	113	98	0	0	122	0	0	0	0	0
40	98	113	114	99	0	0	0	0	0	0	0	0
41	99	114	258	100	0	0	115	0	0	0	0	0
42	113	127	258	114	122	0	123	0	115	0	0	0
43	127	148	259	258	0	0	0	0	0	0	123	0
44	148	177	261	259	0	0	0	0	0	0	0	0
45	177	176	271	261	0	0	0	0	0	0	0	0
46	70	102	88	72	86	0	0	0	87	0	71	0
47	72	88	75	73	87	0	0	0	74	0	0	0
48	53	73	75	62	0	0	74	0	0	0	0	0

110	162	257	262	172	0	0	173	0	0	0	0	0
111	257	264	263	262	0	0	180	0	0	0	173	0
112	264	242	245	263	241	0	185	0	0	0	180	0
113	242	243	244	245	0	0	186	0	0	0	185	0
114	222	214	289	246	217	0	0	0	282	283	0	0
115	286	281	214	222	284	285	0	0	217	0	0	0
116	226	222	246	237	223	0	0	0	0	0	227	0
117	225	286	222	226	224	0	0	0	223	0	0	0
118	228	226	237	236	0	0	227	0	0	0	229	0
119	228	236	235	234	229	0	231	233	0	0	232	230
120	140	109	124	128	0	0	0	0	116	0	152	0
121	140	128	149	171	152	0	0	0	0	0	0	0
122	171	149	170	150	0	0	0	0	182	0	0	0
123	150	170	165	155	182	0	169	0	0	0	0	0
124	165	179	142	155	164	0	178	0	0	0	0	0
125	149	154	165	170	161	0	163	0	169	0	0	0
126	154	174	179	165	175	0	0	0	164	0	163	0
127	124	139	174	154	144	0	0	0	175	0	181	0
128	128	124	154	149	116	0	181	0	161	0	0	0
129	109	117	139	124	0	0	143	0	144	0	0	0
130	139	117	153	174	143	0	0	0	0	0	0	0
131	174	153	142	179	0	0	0	0	178	0	0	0
132	155	142	158	160	0	0	0	0	159	0	0	0
133	153	141	158	142	0	0	0	0	0	0	0	0
134	117	250	141	153	0	0	0	0	0	0	0	0
135	129	250	117	109	0	0	0	0	0	0	0	0
136	215	203	201	216	0	0	0	0	0	0	0	0
137	216	201	202	218	0	0	0	0	0	0	0	0
138	205	218	202	204	0	0	0	0	0	0	0	0
139	209	205	204	184	0	0	0	0	0	0	0	0
140	192	219	209	184	0	0	0	0	0	0	0	0
141	193	221	219	192	0	0	0	0	0	0	0	0
142	250	287	221	193	0	0	0	0	0	0	0	0
143	250	193	192	141	0	0	0	0	0	0	0	0
144	141	192	184	158	0	0	0	0	0	0	0	0
145	184	204	157	158	0	0	0	0	0	0	0	0
146	204	202	156	157	0	0	0	0	0	0	0	0
147	201	151	156	202	0	0	0	0	0	0	0	0
148	203	252	151	201	0	0	0	0	0	0	0	0
149	288	252	203	215	0	0	0	0	0	0	0	0
150	251	288	215	220	0	0	0	0	0	0	0	0
151	287	251	220	221	0	0	0	0	0	0	0	0

TRANSMISSIVITE ASSIGNEE A CHAQUE ELEMENT (M*M/SFC)

ELEMENTS			VALEUR
1	A	4	1.640000E-04
5	A	5	6.559999E-04
6	A	8	1.640000E-04
9	A	9	6.559999E-04
10	A	11	6.559999E-05
12	A	12	1.640000E-04
13	A	14	2.000000E-04
15	A	15	9.499998E-04
16	A	16	8.500000E-04
17	A	18	9.799999E-06
19	A	34	2.199999E-05
25	A	36	4.999999E-05
37	A	39	2.949999E-05
40	A	41	2.620000E-05
42	A	42	9.994999E-05
43	A	45	1.700000E-04
46	A	46	8.999999E-06
47	A	48	1.000000E-05
49	A	49	8.499999E-05
50	A	53	1.000000E-05
54	A	56	2.499999E-05
57	A	57	8.999999E-06
58	A	58	1.799999E-05
59	A	60	9.842400E-06
61	A	63	1.700000E-05

64	A	65	1.999999E-05
66	A	69	3.279999E-05
70	A	70	9.999999E-05
71	A	72	8.499999E-05
73	A	74	1.700000E-04
75	A	75	1.500000E-04
76	A	77	3.000000E-04
78	A	79	3.499999E-04
80	A	80	1.500000E-04
81	A	81	3.000000E-04
82	A	84	7.000000E-04
85	A	88	2.000000E-02
89	A	89	1.700000E-04
90	A	90	1.700000E-04
91	A	91	2.000000E-04
92	A	92	3.279999E-05
93	A	94	1.310000E-05
95	A	95	3.279999E-05
96	A	99	1.310000E-05
100	A	100	2.899999E-05
101	A	101	1.310000E-05
102	A	103	3.000000E-04
104	A	104	4.999998E-04
105	A	106	7.999998E-04
107	A	119	9.839998E-04
120	A	132	1.224000E-03
133	A	133	8.500000E-04
134	A	134	5.999999E-05
135	A	135	9.999999E-05
136	A	140	4.249997E-03
141	A	142	4.999999E-05

143	A	143	1.999999E-05
144	A	144	8.500000E-04
145	A	145	8.500000E-04
146	A	148	2.200000E-03
149	A	149	7.000000E-04
150	A	151	3.399998E-04

NOEUDS A CHARGE CONSTANTE

NOEUDS ET CHARGE EN METRE

1	0.01	2	0.01	3	0.01	4	0.01	5	0.01
6	0.01	7	0.01	8	0.01	9	0.01	27	0.01
40	0.01	238	0.01	59	0.01	85	0.01	100	0.01
258	0.01	259	0.01	261	0.01	271	0.01	240	0.01
281	0.01	285	0.01	284	0.01	286	0.01	224	0.01
225	0.01	226	0.01	228	0.01	230	0.01	232	0.01
234	0.01	235	0.01	233	0.01	231	0.01	236	0.01
237	0.01	246	0.01	283	0.01	282	0.01	289	0.01
280	0.01	279	0.01	278	0.01	277	0.01	276	0.01
275	0.01	274	0.01	273	0.01	272	0.01	239	0.01
260	0.01	262	0.01	263	0.01	245	0.01	244	0.01
243	0.01	242	0.01	241	0.01	264	0.01	257	0.01
256	0.01	255	0.01	254	0.01	253	0.01	252	0.01
251	0.01	250	0.01	249	0.01	248	0.01	247	0.01
70	0.01	68	0.01	41	0.01	15	0.01	98	7.01
113	7.01	265	1.10	266	1.10	267	1.10	270	1.10
269	1.10	268	1.10	287	0.01	288	0.01	177	1.50

NOMBRE TOTAL DE NOEUDS 289
NOMBRE DE NOEUDS CONSTANT 85
DEGRES DE LIBERTE 204

PRECIPITATION

ELEMENTS			INFILTRATION
1	A	14	0.1063E-07
15	A	15	0.8000E-08
16	A	16	0.1063E-07
17	A	18	0.0
19	A	33	0.1063E-07
34	A	37	0.8000E-08
38	A	51	0.1063E-07
47	A	60	0.1063E-07
61	A	72	0.1063E-07
73	A	81	0.1063E-07
82	A	84	0.1063E-07
85	A	103	0.1063E-07
104	A	106	0.1063E-07
131	A	133	0.1063E-07
107	A	119	0.1063E-07
120	A	130	0.1063E-07
134	A	151	0.1063E-07

CHARGE A L'EQUIP IRRE

1	2.624639E-02	2	2.624639E-02
3	2.624639E-02	4	2.624639E-02
5	2.624639E-02	6	2.624639E-02
7	2.624639E-02	8	2.624639E-02
9	2.624639E-02	10	5.033940E 00
11	1.167028E 01	12	2.015871E 01
13	2.725809E 01	14	2.260429E 01
15	2.624639E-02	16	5.174471E 00
17	8.862586E 00	18	1.355117E 01
19	1.988597E 01	20	2.962671E 01
21	3.667422E 01	22	4.409271E 01
23	4.142674E 01	24	3.765530E 01
25	2.788490E 01	26	1.756364E 01
27	2.624639E-02	28	3.133743E 00
29	1.829422E 01	30	5.239635E 00
31	1.075759E 01	32	1.562677E 01
33	2.441707E 01	34	4.130095E 01
35	5.045987E 01	36	6.103821E 01
37	4.989891E 01	38	3.800839E 01
39	1.992920E 01	40	2.624639E-02
41	2.624639E-02	42	3.339243E 00
43	5.467475E 00	44	1.199831E 01
45	1.831284E 01	46	2.140955E 01
47	4.853140E 01	48	6.225308E 01
49	4.975193E 00	50	1.257458E 01
51	1.638295E 01	52	1.763219E 01
53	1.690869E 01	54	7.383891E 01
55	6.844479E 01	56	5.398451E 01
57	3.244298E 01	58	1.503796E 01
59	2.624639E-02	60	2.934696E 00
61	1.255503E 01	62	6.758238E 01
63	8.746432E 01	64	8.837753E 01
65	8.151688E 01	66	7.667473E 01
67	5.636501E 01	68	2.624639E-02
69	1.154891E 01	70	2.624639E-02
71	6.397602E 00	72	1.057507E 01
73	1.533769E 01	74	4.676006E 01
75	6.919591E 01	76	9.176372E 01
77	1.053895E 02	78	1.024620E 02
79	9.648112E 01	80	8.375246E 01
81	6.984865E 01	82	6.645851E 01
83	1.162304E 01	84	6.633878E 00
85	2.624639E-02	86	2.468068E 01
87	5.887262E 01	88	9.797559E 01
89	1.132303E 02	90	1.190682E 02
91	1.163092E 02	92	1.087193E 02
93	9.857903E 01	94	8.087395E 01
95	6.458719E 01	96	5.748108E 01
97	5.280867E 01	98	2.299840E 01
99	1.075866E 01	100	2.624639E-02
101	5.785593E 01	102	4.176566E 01
103	9.730937E 01	104	1.154514E 02

105	1.109991F	02	106	9.926923F	01
107	7.519472F	01	108	5.672084F	01
109	1.565795F	01	110	2.449800E	01
111	3.338608F	01	112	6.815843F	01
113	2.299840E	01	114	1.735902F	01
115	9.634818E	00	116	1.545780F	01
117	1.470462F	01	118	8.817681F	00
119	1.491551F	01	120	2.379112F	01
121	2.518704F	01	122	2.508371F	01
123	1.278554F	01	124	1.521056E	01
125	1.209771F	01	126	2.086172F	01
127	2.359183F	01	128	1.565088F	01
129	1.724562F	01	130	1.880453F	01
131	2.116656F	01	132	3.075003E	01
133	3.319777F	01	134	5.116429F	01
135	3.251970F	01	136	1.906631F	01
137	2.517317F	01	138	2.351190F	01
139	1.483307E	01	140	1.724463E	01
141	1.079523E	01	142	1.094291F	01
143	1.477201F	01	144	1.504581E	01
145	1.732509F	01	146	1.565740F	01
147	1.262856E	01	148	1.003611E	01
149	1.518075E	01	150	1.503530E	01
151	5.641609E	00	152	1.625157E	01
153	1.386838F	01	154	1.468728E	01
155	1.436346E	01	156	5.180706E	00
157	5.283751E	00	158	8.059819F	00
159	1.138332E	01	160	1.313768F	01
161	1.495305E	01	162	3.789641F	00
163	1.450522E	01	164	1.392897E	01
165	1.426708E	01	166	2.785320E	00
167	9.110400E	00	168	1.079155F	01
169	1.447250E	01	170	1.465263F	01
171	1.588229F	01	172	2.115001E	00
173	2.524573F	00	174	1.434668F	01
175	1.455286E	01	176	6.800099E	00
177	4.921200E	00	178	1.262629E	01
179	1.358178E	01	180	1.696284F-01	
181	1.493959E	01	182	1.487187E	01
183	8.598408E	00	184	6.571771F	00
185	9.746560E-01		186	2.862808E-01	
187	3.005199E	01	188	5.042010E	01
189	5.787956E	01	190	5.236729F	01
191	2.573094E	01	192	6.539319F	00
193	9.529812E	00	194	2.090875F	01
195	3.347374F	01	196	2.836119F	01
197	2.674982E	01	198	1.906303F	01
199	1.465511E	01	200	1.747339F	01
201	5.023977E	00	202	5.501992F	00
203	2.584768E	00	204	5.609022F	00
205	5.401022E	00	206	4.937207E	01
207	4.870287E	01	208	2.746989F	01
209	5.526422E	00	210	3.046877F	01
211	3.349780F	01	212	1.812708E	01
213	5.106325E	00	214	3.773644E	00
215	4.823437E	00	216	5.089460E	00
217	9.718833E-01		218	5.382627E	00
219	5.206803E	00	220	4.942869E	00
221	5.009009E	00	222	1.268559E	00
223	4.587239E	00	224	2.624639E-02	
225	2.624639E-02		226	2.624639E-02	

227	9.715816F 00	228	2.624639E-02
229	-1.426822E 00	230	2.624639E-02
231	2.624639E-02	232	2.624639E-02
233	2.624639E-02	234	2.624639E-02
235	2.624639E-02	236	2.624639E-02
237	2.624639E-02	238	2.624639E-02
239	2.624639E-02	240	2.624639E-02
241	2.624639E-02	242	2.624639E-02
243	2.624639E-02	244	2.624639E-02
245	2.624639E-02	246	2.624639E-02
247	2.624639E-02	248	2.624639E-02
249	2.624639E-02	250	2.624639E-02
251	2.624639E-02	252	2.624639E-02
253	2.624639E-02	254	2.624639E-02
255	2.624639E-02	256	2.624639E-02
257	2.624639E-02	258	2.624639E-02
259	2.624639E-02	260	2.624639E-02
261	2.624639E-02	262	2.624639E-02
263	2.624639E-02	264	2.624639E-02
265	3.608877E 00	266	3.608877E 00
267	3.608877E 00	268	3.608877E 00
269	3.608877E 00	270	3.608877E 00
271	2.624639E-02	272	2.624639E-02
273	2.624639E-02	274	2.624639E-02
275	2.624639E-02	276	2.624639E-02
277	2.624639E-02	278	2.624639E-02
279	2.624639E-02	280	2.624639E-02
281	2.624639E-02	282	2.624639E-02
283	2.624639E-02	284	2.624639E-02
285	2.624639E-02	286	2.624639E-02
287	2.624639E-02	288	2.624639E-02
289	2.624639E-02		

Régime transitoire (puits 11-E Grande Entrée)

La sortie imprimante contient dans l'ordre les éléments suivants:

- a) les caractéristiques de la grille;
- b) les caractéristiques des pas de temps;
- c) les coordonnées de chacun des noeuds du maillage;
- d) la position qu'occupent les noeuds sur un élément;
- e) la transmissivité en m^2/s et le coefficient d'emmagasinement assignés à chaque élément;
- f) les noeuds correspondant aux puits de pompage et leur débit en m^3/s ;
- g) les numéros des noeuds à charge constante;
- h) l'infiltration que reçoit chaque élément en m/s ;
- i) la charge initiale assignée à chaque noeud;
- j) le temps écoulé et la charge calculée pour chaque noeud (en pieds) au temps correspondant.

ANALYSE EN DEUX DIMENSIONS DE L'ECOULEMENT DES EAUX

SOUTERRAINES EN TRANSITOIRE SELON LA METHODE DES

ELEMENTS FINIS

GRANDE ENTREE TRANSITOIRE

CARACTERISTIQUE DE LA GRILLE

LE NOMBRE DE NOEUDS = 325

LE NOMBRE D'ELEMENTS= 111

LE NOMBRE DE NOEUDS
A CHARGE CONSTANTE= 101

LE NOMBRE D'ELEMENTS
DE FILTRATION= 111

LE NOMBRE DE PUITTS= 1

CARACTERISTIQUE DES PAS DE TEMPS

PERIODE SIMULEE (HRES)= 72.00

INTERVALLE INITIAL (hres)= 0.01

FACTEUR DE CROISSANCE DE L'INTERVALLE DE TEMPS 1.50

LE NOMBRE D'INTERVALLE PERMIS 30

LE NOMBRE D'INTERVALLE .A. PAS .CONSTANT 1

COORDONNEES DES NOEUDS

NOEUD	X	Y
1	-6965.20	-5216.39
2	-6823.59	-4758.40
3	-6887.60	-4486.80
4	-7014.00	-4078.80
5	-6666.39	-5320.39
6	-6682.79	-4791.20
7	-6790.00	-4466.39
8	-7009.20	-4100.80
9	-5708.39	-5633.20
10	-5704.40	-5511.20
11	-5802.00	-5355.60
12	-6046.80	-5243.20
13	-6402.00	-5243.60
14	-6481.60	-5000.20
15	-6522.79	-4814.00
16	-6583.60	-4610.39
17	-6620.40	-4424.00
18	-5597.60	-5402.80
19	-5738.40	-5300.00
20	-6019.20	-5194.39
21	-6355.60	-5172.00
22	-6450.80	-4730.39
23	-6505.20	-4443.20
24	-5298.80	-5380.00
25	-5469.20	-5298.00
26	-5573.59	-5259.20
27	-5686.00	-5242.80
28	-6002.00	-5153.60
29	-6314.79	-5120.79
30	-6356.00	-4642.00
31	-6412.80	-4418.40
32	-4763.60	-5334.80
33	-4616.00	-5268.80
34	-5082.00	-5252.80
35	-5214.00	-5201.60
36	-5544.00	-5084.00
37	-5880.39	-4988.79
38	-6068.39	-4840.39
39	-6223.20	-4524.80
40	-6325.60	-4356.79
41	-4543.60	-5209.20
42	-4800.40	-5078.40
43	-4984.39	-5110.80
44	-5090.80	-5094.80
45	-5273.20	-5010.80
46	-5430.00	-4948.40

47	-5586.00	-4879.20
48	-5689.60	-4813.60
49	-5808.40	-4727.20
50	-5881.60	-4671.20
51	-6114.80	-4416.39
52	-6190.80	-4323.59
53	-6253.59	-4231.20
54	-4743.20	-4945.20
55	-4981.60	-4912.00
56	-5313.60	-4796.80
57	-5523.60	-4670.40
58	-5722.00	-4524.00
59	-5952.39	-4286.00
60	-6086.80	-4092.80
61	-4643.20	-4784.80
62	-4768.80	-4779.20
63	-4871.59	-4745.20
64	-5051.59	-4706.39
65	-5176.00	-4641.20
66	-5266.40	-4578.79
67	-5352.00	-4514.39
68	-5440.40	-4439.20
69	-5518.39	-4374.80
70	-5642.40	-4266.00
71	-5764.00	-4127.60
72	-5836.80	-4046.40
73	-5886.00	-3986.00
74	-3918.80	-3268.40
75	-4813.20	-4524.00
76	-5032.00	-4460.79
77	-5193.60	-4364.40
78	-5347.60	-4260.80
79	-5578.79	-4014.40
80	-4276.00	-3308.80
81	-3996.80	-3292.40
82	-4681.60	-4351.20
83	-4774.40	-4326.00
84	-3868.40	-3253.20
85	-4873.20	-4290.00
86	-4945.20	-4257.60
87	-5027.20	-4224.79
88	-5095.59	-4188.00
89	-5155.60	-4140.40
90	-5304.39	-4020.40
91	-5406.00	-3910.40
92	-5473.20	-3803.60
93	-3908.80	-3284.40
94	-4678.00	-4205.59
95	-4738.00	-4166.39
96	-4834.00	-4092.80
97	-4924.80	-4013.60
98	-5179.60	-3774.40
99	-3832.80	-3192.00
100	-3972.80	-3237.60
101	-4514.39	-4188.00
102	-4569.60	-4096.00
103	-4596.39	-4067.20
104	-4671.20	-3989.20
105	-4754.00	-3907.20
106	-4892.00	-3768.40
107	-4988.79	-3651.20

108	-3908.80	-3242.80
109	-3886.40	-3268.40
110	-4322.80	-4030.40
111	-4396.00	-3941.60
112	-4476.80	-3861.60
113	-4544.00	-3766.00
114	-4760.80	-3522.40
115	-3736.00	-3108.00
116	-3880.40	-3237.60
117	-4108.80	-3963.60
118	-4206.80	-3837.20
119	-4290.80	-3728.00
120	-4361.20	-3640.80
121	-4457.20	-3514.00
122	-4527.60	-3410.80
123	-4598.79	-3291.20
124	-3810.40	-3215.60
125	-3930.00	-3831.60
126	-3967.60	-3740.80
127	-4076.40	-3576.00
128	-4148.40	-3496.80
129	-3929.20	-3320.00
130	-3709.60	-3140.80
131	-3705.20	-3856.80
132	-3698.80	-3771.60
133	-3691.60	-3694.40
134	-3875.20	-3244.80
135	-3744.80	-3632.00
136	-3825.20	-3535.20
137	-3877.20	-3463.60
138	-3923.20	-3420.00
139	-3956.40	-3376.40
140	-3931.20	-3250.00
141	-4055.60	-3217.60
142	-4101.59	-3102.80
143	-3517.60	-3657.60
144	-3567.60	-3525.60
145	-3687.60	-3342.40
146	-3766.40	-3241.20
147	-3846.40	-3121.60
148	-3456.00	-3413.20
149	-3482.40	-3209.60
150	-3564.40	-3053.60
151	-3610.00	-3002.00
152	-3837.20	-2888.80
153	-3242.00	-3235.20
154	-3358.00	-3048.40
155	-3435.20	-2921.60
156	-3504.40	-2839.60
157	-3741.20	-2644.40
158	-2761.60	-3296.40
159	-3024.00	-3148.80
160	-3089.20	-3027.60
161	-3154.00	-2952.40
162	-3222.80	-2884.40
163	-3309.60	-2792.00
164	-3355.60	-2746.40
165	-3400.40	-2696.40
166	-3472.00	-2619.60
167	-3528.80	-2549.20
168	-3604.00	-2450.40

169	-2949.20	-2869.20
170	-3080.80	-2727.20
171	-3160.40	-2622.40
172	-3208.00	-2554.40
173	-3277.60	-2456.00
174	-2779.60	-3060.00
175	-2669.20	-2952.40
176	-2763.60	-2829.60
177	-2837.20	-2731.60
178	-2893.60	-2644.00
179	-2939.60	-2584.00
180	-2974.00	-2517.20
181	-3002.00	-2467.20
182	-3024.40	-2432.00
183	-3067.20	-2340.40
184	-3197.60	-2146.40
185	-2850.00	-3780.00
186	-3031.60	-4287.60
187	-3135.20	-4581.20
188	-3588.00	-4764.39
189	-3880.00	-4948.80
190	-4294.00	-5150.39
191	-2467.60	-2780.00
192	-2653.20	-2513.60
193	-2730.80	-2392.80
194	-2806.00	-2256.40
195	-2904.80	-2134.40
196	-2993.20	-2000.80
197	-2356.80	-2482.40
198	-2434.00	-2360.80
199	-2480.00	-2291.20
200	-2531.20	-2220.80
201	-2588.40	-2135.60
202	-2665.60	-2036.40
203	-2704.40	-1971.20
204	-2760.00	-1891.20
205	-2843.60	-1781.20
206	-2916.80	-1665.20
207	-2303.20	-2322.40
208	-2422.40	-2120.80
209	-2593.20	-1906.00
210	-2689.20	-1798.00
211	-2859.20	-1598.40
212	-2130.00	-2425.20
213	-2171.60	-2288.00
214	-2350.00	-2156.00
215	-2307.20	-2044.00
216	-2405.60	-1918.40
217	-2516.40	-1817.20
218	-2569.20	-1762.80
219	-2620.00	-1722.80
220	-2702.00	-1621.60
221	-2074.00	-2277.20
222	-2190.80	-1986.80
223	-2378.40	-1725.60
224	-2500.00	-1616.80
225	-2044.80	-1966.40
226	-2101.60	-1851.20
227	-2187.20	-1746.40
228	-2302.00	-1635.60
229	-2383.20	-1526.40

230	-2479.20	-1402.00
231	-1920.80	-1938.40
232	-2060.40	-1764.00
233	-2280.80	-1497.60
234	-2477.20	-1196.40
235	-1731.60	-1914.00
236	-1812.40	-1862.00
237	-1884.40	-1824.00
238	-1941.20	-1789.60
239	-2100.80	-1603.20
240	-2206.40	-1460.80
241	-2301.60	-1321.20
242	-2382.40	-735.20
243	-1687.20	-1770.80
244	-1833.60	-1590.40
245	-1994.80	-1367.20
246	-1538.80	-1669.20
247	-1338.80	-1679.20
248	-1114.40	-1716.00
249	-771.60	-1839.20
250	-448.40	-1774.40
251	-882.00	-1453.60
252	-1011.60	-614.80
253	-1011.60	385.20
254	-1170.00	1385.20
255	-4128.80	-2991.60
256	-5057.60	-3567.60
257	-4001.60	-2768.00
258	-4084.00	-2695.20
259	-3852.00	-2530.00
260	-4460.40	-4281.20
261	-3288.40	-1990.40
262	-3160.80	-1751.20
263	-2986.80	-1545.20
264	-2923.20	-1467.60
265	-2807.60	-1531.20
266	-2553.20	-1242.40
267	-2434.00	-766.40
268	-2452.40	-580.40
269	-2231.60	-432.00
270	-2288.00	-707.20
271	-2412.40	-1156.40
272	-2190.00	-1180.40
273	-2037.60	-1121.60
274	-1871.20	-1147.60
275	-1728.40	-1233.60
276	-1666.00	-1444.40
277	-1429.20	-1402.80
278	-1172.00	-1488.00
279	-1533.60	-1024.80
280	-1593.60	-551.60
281	-1593.60	448.40
282	-1604.40	1448.40
283	-392.40	1332.80
284	-392.40	332.80
285	-392.40	-667.20
286	-522.00	-1398.80
287	-26.80	-1936.00
288	-653.60	-2088.80
289	-997.20	-2093.60
290	-1207.60	-2028.80

291	-1408.80	-1918.40
292	-1671.60	-1975.60
293	-1942.00	-2299.60
294	-1981.20	-2481.60
295	-2071.60	-2612.80
296	-2245.60	-2609.60
297	-2344.00	-2846.40
298	-2331.20	-3026.00
299	-2492.80	-3070.00
300	-2641.20	-3323.20
301	-2698.00	-3523.20
302	-2788.40	-3792.40
303	-2963.20	-3768.80
304	-3024.00	-4297.20
305	-3033.60	-4430.00
306	-3091.60	-4604.39
307	-3278.00	-4687.20
308	-3556.40	-4804.00
309	-3818.80	-4972.80
310	-3945.20	-5156.40
311	-4190.40	-5259.60
312	-3968.40	-4169.20
313	-4716.80	-5390.40
314	-4734.00	-5336.40
315	-4524.80	-5246.80
316	-4305.20	-5067.20
317	-6881.60	-4095.20
318	-3941.20	-4924.80
319	-3583.20	-4736.00
320	-3476.00	-3923.60
321	-3178.80	-4565.20
322	-3256.80	-3640.80
323	-3108.40	-4265.60
324	-2877.60	-3259.20
325	-4592.00	-4369.60

POSITION DES NOEUDS SUR LES ELEMENTS

ELEMENT	COINS				COTES							
1	11	27	28	12	19	0	0	0	20	0	0	0
2	12	28	29	13	20	0	0	0	21	0	0	0
3	27	46	48	28	36	0	47	0	37	0	0	0
4	28	48	50	29	37	0	49	0	38	0	0	0
5	46	65	67	48	56	0	66	0	57	0	47	0
6	48	67	69	50	57	0	68	0	58	0	49	0
7	65	85	87	67	76	0	86	0	77	0	66	0
8	67	87	89	69	77	0	88	0	78	0	68	0
9	85	103	104	87	95	0	0	0	96	0	86	0
10	87	104	105	89	96	0	0	0	97	0	88	0
11	103	118	119	104	111	0	0	0	112	0	0	0
12	104	119	120	105	112	0	0	0	113	0	0	0
13	118	135	137	119	126	0	136	0	127	0	0	0
14	119	137	139	120	127	0	138	0	128	0	0	0
15	135	148	149	137	144	0	0	0	145	0	136	0
16	137	149	150	139	145	0	0	0	146	0	138	0
17	148	160	162	149	153	0	161	0	154	0	0	0
18	149	162	163	150	154	0	0	0	155	0	0	0
19	150	177	179	162	169	0	178	0	170	0	161	0
20	162	179	181	163	170	0	180	0	171	0	0	0
21	177	198	200	179	192	0	199	0	193	0	178	0
22	179	200	202	181	193	0	201	0	194	0	180	0
23	198	213	215	200	207	0	214	0	208	0	199	0
24	200	215	217	202	208	0	216	0	209	0	201	0
25	213	223	225	215	221	0	0	0	222	0	214	0
26	215	225	227	217	222	0	226	0	223	0	216	0
27	223	222	236	225	0	0	235	0	231	0	0	0
28	225	236	238	227	231	0	237	0	232	0	226	0
29	313	311	316	314	0	0	190	0	315	0	0	0
30	311	309	318	316	310	0	189	0	0	0	190	0
31	309	308	319	318	0	0	188	0	0	0	189	0
32	308	306	321	319	307	0	187	0	0	0	188	0
33	306	304	323	321	305	0	186	0	0	0	187	0
34	304	302	303	323	0	0	185	0	0	0	186	0
35	302	300	324	303	301	0	158	0	0	0	185	0
36	300	299	175	324	0	0	0	0	174	0	158	0
37	13	29	30	15	21	0	0	0	22	0	14	0
38	29	50	51	30	38	0	0	0	39	0	0	0
39	50	69	71	51	58	0	70	0	59	0	0	0
40	69	89	91	71	78	0	90	0	79	0	70	0
41	89	105	107	91	97	0	106	0	98	0	90	0
42	105	120	122	107	113	0	121	0	114	0	106	0
43	120	139	141	122	128	0	81	0	80	0	121	0
44	84	150	151	116	124	130	0	0	115	99	134	0
45	25	44	46	27	35	0	45	0	36	0	26	0
46	44	63	65	46	55	0	64	0	56	0	45	0
47	63	83	85	65	75	0	0	0	76	0	64	0
48	83	102	103	85	94	0	0	0	95	0	0	0

49	102	117	118	103	110	0	0	0	111	0	0	0
50	117	133	135	118	125	0	0	0	126	0	0	0
51	133	322	148	135	143	0	0	0	144	0	0	0
52	322	324	160	148	0	0	159	0	153	0	0	0
53	324	175	177	160	174	0	176	0	169	0	159	0
54	175	296	198	177	191	0	197	0	192	0	176	0
55	296	295	213	198	0	0	212	0	207	0	197	0
56	295	294	293	213	0	0	0	0	221	0	212	0
57	290	298	296	175	0	0	297	0	191	0	0	0
58	9	24	25	10	0	0	0	0	18	0	0	0
59	24	42	44	25	34	0	43	0	35	0	0	0
60	32	41	42	24	33	0	0	0	34	0	0	0
61	42	61	63	44	54	0	62	0	55	0	43	0
62	61	325	83	63	0	0	82	0	75	0	62	0
63	325	260	102	83	0	0	101	0	94	0	82	0
64	260	312	117	102	0	0	0	0	110	0	101	0
65	312	131	133	117	0	0	132	0	125	0	0	0
66	131	320	322	133	0	0	0	0	143	0	132	0
67	1	13	15	2	5	0	14	0	6	0	0	0
68	2	15	17	3	6	0	16	0	7	0	0	0
69	3	17	317	4	7	0	0	0	8	0	0	0
70	15	30	31	17	22	0	0	0	23	0	16	0
71	30	51	53	31	39	0	52	0	40	0	0	0
72	51	71	73	53	59	0	72	0	60	0	52	0
73	71	91	92	73	79	0	0	0	0	0	72	0
74	91	107	256	92	98	0	0	0	0	0	0	0
75	107	122	123	256	114	0	0	0	0	0	0	0
76	122	141	255	123	80	0	142	0	0	0	0	0
77	141	151	257	255	147	0	152	0	0	0	142	0
78	151	165	167	257	156	0	166	0	157	0	152	0
79	165	182	183	167	172	0	0	0	173	0	166	0
80	150	163	165	151	155	0	164	0	156	0	0	0
81	163	181	182	165	171	0	0	0	172	0	164	0
82	257	167	168	258	157	0	0	0	259	0	0	0
83	167	183	261	168	173	0	184	0	0	0	0	0
84	183	206	263	261	196	0	0	0	262	0	184	0
85	206	265	264	263	211	0	0	0	0	0	0	0
86	182	204	206	183	195	0	205	0	196	0	0	0
87	204	219	265	206	210	0	220	0	211	0	205	0
88	219	229	266	265	224	0	230	0	0	0	220	0
89	229	240	271	266	233	0	241	0	234	0	230	0
90	240	275	273	271	245	0	274	0	272	0	241	0
91	181	202	204	182	194	0	203	0	195	0	0	0
92	202	217	219	204	209	0	218	0	210	0	203	0
93	217	227	229	219	223	0	228	0	224	0	218	0
94	227	238	240	229	232	0	239	0	233	0	228	0
95	238	276	275	240	244	0	0	0	245	0	239	0
96	236	246	276	238	243	0	0	0	244	0	237	0
97	292	291	246	236	0	0	0	0	243	0	235	0
98	291	289	248	246	290	0	0	0	247	0	0	0
99	246	248	278	276	247	0	0	0	277	0	0	0
100	289	287	250	248	288	0	0	0	249	0	0	0
101	248	250	286	278	249	0	0	0	251	0	0	0
102	278	286	285	280	251	0	0	0	252	0	279	0
103	280	285	284	281	252	0	0	0	253	0	0	0
104	281	284	283	282	253	0	0	0	254	0	0	0
105	266	271	270	267	234	0	0	0	242	0	0	0
106	270	269	268	267	0	0	0	0	0	0	242	0
107	10	25	27	11	18	0	26	0	19	0	0	0
108	140	116	151	141	108	0	99	115	147	0	100	0
109	93	84	116	140	109	0	134	0	108	0	74	0

110	139	93	140	141	129	0	74	0	100	0	81	0
111	139	150	84	93	146	0	130	124	109	0	129	0

TRANS ET STOR ASSIGNES A CHAQUE ELEMENT (M*M/SEC)

ELEMENTS	VALEUR
1 A 2	1.700000E-04 9.999999E-04
3 A 3	4.999998E-04 9.999999E-04
4 A 4	2.499998E-04 9.999999E-04
5 A 5	4.999998E-04 9.999999E-05
6 A 6	2.499998E-04 9.999999E-05
7 A 8	3.499999E-04 9.999999E-04
9 A 12	8.499999E-05 9.999999E-04
13 A 14	9.999999E-05 9.999999E-04
15 A 16	1.400000E-04 9.999999E-05
17 A 20	3.000000E-04 9.999999E-04
21 A 22	1.500000E-04 9.999999E-04
23 A 23	9.999999E-04 9.999999E-04
24 A 24	1.700000E-04 9.999999E-04
25 A 25	1.200000E-03 9.999999E-04
26 A 26	3.999998E-04 9.999999E-04
27 A 27	3.999997E-03 9.999999E-04
28 A 28	3.000000E-04 9.649999E-03
29 A 33	1.700000E-04 9.649999E-03
34 A 35	8.500000E-04 9.649999E-03
36 A 36	1.360000E-03 9.649999E-03
37 A 37	7.000000E-04 9.649999E-03
38 A 39	3.600000E-03 9.649999E-03
40 A 40	3.400000E-03 9.649999E-03
41 A 41	9.999999E-04 9.649999E-03
42 A 42	1.700000E-03 9.649999E-03

43	A	44	2.200000E-03	9.649999E-03
45	A	46	2.500000E-03	9.649999E-03
47	A	47	1.700000E-03	9.649999E-03
48	A	50	8.500000E-04	9.649999E-03
51	A	51	5.999999E-04	9.649999E-03
52	A	54	1.360000E-03	9.649999E-03
55	A	55	3.999997E-03	9.649999E-03
56	A	57	3.000000E-03	9.649999E-03
58	A	58	3.000000E-04	9.649999E-03
59	A	59	3.999998E-04	9.649999E-03
60	A	60	8.500000E-04	9.649999E-03
61	A	62	5.999999E-04	9.649999E-03
63	A	63	5.999999E-04	9.649999E-03
64	A	64	7.999998E-04	9.649999E-03
65	A	66	5.999999E-04	9.649999E-03
67	A	67	4.999998E-04	9.649999E-03
68	A	68	4.999998E-04	9.649999E-03
69	A	69	8.500000E-04	9.649999E-03
70	A	70	4.999998E-04	9.649999E-03
71	A	72	5.500000E-04	9.649999E-03
73	A	73	6.499998E-04	9.649999E-03
74	A	74	3.999998E-04	9.649999E-03
75	A	75	2.000000E-04	9.649999E-03
76	A	76	4.999998E-04	9.649999E-03
77	A	77	7.000000E-04	9.649999E-03
78	A	78	8.999999E-04	9.649999E-03
79	A	79	5.500000E-04	9.649999E-03
80	A	80	8.999999E-04	9.649999E-03
81	A	81	5.500000E-04	9.649999E-03
82	A	82	9.999999E-04	9.649999E-03
83	A	83	4.499998E-03	9.649999E-03

84	A	85	8.499999E-03	9.649999E-03
86	A	86	2.000000E-03	9.649999E-03
87	A	87	9.999999E-04	9.649999E-03
88	A	88	9.999999E-04	9.649999E-03
89	A	90	1.200000E-03	9.649999E-03
91	A	92	7.999998E-04	9.649999E-03
93	A	93	5.999999E-04	9.649999E-03
94	A	94	1.200000E-03	9.649999E-03
95	A	95	1.500000E-03	9.649999E-03
96	A	97	3.000000E-04	9.649999E-03
98	A	99	4.999998E-04	9.649999E-03
100	A	101	5.500000E-04	9.649999E-03
102	A	106	9.999999E-04	9.649999E-03
107	A	107	4.999998E-04	9.649999E-03
108	A	108	2.200000E-03	9.649999E-03
109	A	109	2.000000E-04	1.000000E-05
110	A	110	2.200000E-03	9.649999E-03
111	A	111	2.000000E-04	1.000000E-05

PUIITS

INJECTION (+) ET POMPAGE (-)

PUIITS NOEUD DECHARGE (CMS)

109

-0.0038

NOEUDS A TETE CONSTANTE

9	10	11	12	13	5	1	2	3	4
8	317	17	23	24	31	32	33	40	41
42	53	54	60	61	73	92	123	131	255
256	257	258	259	168	260	261	262	263	264
265	266	267	268	269	270	271	272	273	274
275	276	277	278	279	280	281	282	283	284
285	286	287	288	289	290	291	292	293	294
295	296	297	298	299	300	301	302	303	304
305	306	307	308	309	310	311	312	313	314
315	318	319	320	321	322	323	324	325	316
250									

NOMBRE TOTAL DE NOEUDS 325
NOMBRE DE NOEUDS CONSTANT 101
DEGRES DE LIBERTE 224

PRECIPITATION

ELEMENTS

INFILTRATION

1	A	2	0.1063E-07
3	A	8	0.8000E-08
9	A	111	0.1063E-07

TETE INITIALE

NOEUD	VALEUR	NOEUD	VALEUR	NOEUD	VALEUR
1	2.624638F-02	2	2.624638E-02	3	2.624638F-02
4	2.624638E-02	5	2.624638E-02	6	3.012918F 00
7	5.120957F-01	8	2.624638E-02	9	2.624638F-02
10	2.624638F-02	11	2.624638F-02	12	2.624638F-02
13	2.624638E-02	14	5.145401F 00	15	5.070269F 00
16	3.126301F 00	17	2.624638E-02	18	3.225035E 00
19	3.562511F 00	20	3.351404F 00	21	3.409846F 00
22	5.627400F 00	23	2.624638E-02	24	2.624638F-02
25	5.784099F 00	26	6.048047E 00	27	5.872963F 00
28	5.365469F 00	29	5.704244F 00	30	6.358344F 00
31	2.624638F-02	32	2.624638E-02	33	2.624638F-02
34	1.717561F 00	35	5.615964E 00	36	6.699746F 00
37	7.910929F 00	38	6.717429E 00	39	6.261301F 00
40	2.624638E-02	41	2.624638E-02	42	2.624638F-02
43	3.468371F 00	44	5.822673E 00	45	6.558075F 00
46	7.017902F 00	47	8.433510E 00	48	8.698857E 00
49	8.423183F 00	50	6.973748F 00	51	6.162557F 00
52	3.266901F 00	53	2.624638F-02	54	2.624638F-02
55	5.915624F 00	56	7.172750F 00	57	8.883336F 00
58	6.871296E 00	59	6.124006E 00	60	2.624638E-02
61	2.624638E-02	62	3.090892E 00	63	5.522955F 00
64	6.611531F 00	65	7.125302E 00	66	8.123030F 00
67	8.580904F 00	68	7.974950F 00	69	6.735305F 00
70	6.376264F 00	71	5.686573F 00	72	2.593550F 00
73	2.624638E-02	74	7.016697E 00	75	5.531009F 00
76	6.802493E 00	77	8.059504E 00	78	6.640241F 00
79	5.358013F 00	80	6.389063E 00	81	6.984110E 00
82	3.194093E 00	83	5.469101E 00	84	7.030464F 00
85	6.145338F 00	86	7.678619E 00	87	8.161691F 00
88	7.982484F 00	89	6.855574E 00	90	6.150923F 00
91	5.052005E 00	92	2.624638E-02	93	7.106500F 00
94	4.630356F 00	95	5.317692E 00	96	9.494606F 00
97	7.839035F 00	98	4.488995F 00	99	6.890474E 00
100	6.817195F 00	101	2.681215E 00	102	4.381673F 00
103	4.633868F 00	104	8.702804E 00	105	7.857151F 00
106	6.955519F 00	107	5.553232E 00	108	6.892815F 00
109	7.072330E 00	110	3.741164E 00	111	4.744521F 00
112	8.890924E 00	113	7.720392E 00	114	6.563354E 00
115	6.820099F 00	116	6.929097F 00	117	3.735319F 00
118	5.084717F 00	119	9.348868E 00	120	7.584646F 00
121	7.036397F 00	122	6.344784E 00	123	2.624638E-02
124	6.989026F 00	125	3.953958E 00	126	4.809769F 00
127	9.969666F 00	128	7.311641E 00	129	7.122884E 00
130	6.913180E 00	131	2.624638E-02	132	2.345385E 00
133	3.626724E 00	134	6.981110E 00	135	4.533924F 00
136	9.639095E 00	137	9.718842E 00	138	9.164063F 00
139	7.303125F 00	140	6.910306E 00	141	6.549716F 00
142	3.687951F 00	143	2.965109F 00	144	4.534686E 00
145	9.605440F 00	146	8.006730F 00	147	6.654409F 00
148	3.946758E 00	149	7.459785E 00	150	6.951111F 00
151	6.764750F 00	152	3.848467E 00	153	3.090725F 00

154	6.907533E 00	155	6.282064E 00	156	5.509066E 00
157	2.173938E 00	158	4.018351E-01	159	2.371950E 00
160	3.544021E 00	161	5.651035E 00	162	6.274476E 00
163	5.699116E 00	164	5.316215E 00	165	4.676232E 00
166	2.954297E 00	167	1.087210E 00	168	2.624638E-02
169	3.502563E 00	170	5.627913E 00	171	4.557881E 00
172	3.555640E 00	173	1.221662E 00	174	1.836804E 00
175	1.657077E 00	176	2.839532E 00	177	3.537046E 00
178	5.098270E 00	179	5.152278E 00	180	4.294748E 00
181	2.920035E 00	182	2.381366E 00	183	1.462921E 00
184	7.121668E-01	185	1.145759E-01	186	4.471726E-02
187	2.612743E-01	188	6.285423E-02	189	5.805405E-01
190	7.722529E-01	191	9.267044E-01	192	3.138332E 00
193	5.531570E 00	194	3.040940E 00	195	1.668656E 00
196	7.956195E-01	197	1.416943E 00	198	2.013006E 00
199	3.244669E 00	200	3.883270E 00	201	4.876795E 00
202	3.326351E 00	203	2.966274E 00	204	2.062743E 00
205	1.229359E 00	206	2.969221E-01	207	1.636342E 00
208	3.655513E 00	209	3.595782E 00	210	2.564495E 00
211	1.992276E-01	212	7.400620E-01	213	1.322318E 00
214	3.117367E 00	215	3.303512E 00	216	4.903552E 00
217	3.909124E 00	218	3.319400E 00	219	2.773072E 00
220	1.730920E 00	221	8.985595E-01	222	2.882423E 00
223	4.074339E 00	224	2.926339E 00	225	1.540761E 00
226	3.547761E 00	227	3.921435E 00	228	3.622615E 00
229	2.852740E 00	230	1.711786E 00	231	9.878587E-01
232	3.668509E 00	233	2.910745E 00	234	2.105846E-01
235	5.992639E-01	236	9.198800E-01	237	2.732215E 00
238	3.477934E 00	239	3.294077E 00	240	2.748691E 00
241	1.614806E 00	242	6.682897E-02	243	3.019389E 00
244	2.691348E 00	245	1.926324E 00	246	3.273090E 00
247	2.873575E 00	248	3.404729E 00	249	3.023625E 00
250	2.624638E-02	251	3.287189E 00	252	5.539237E 00
253	6.171608E 00	254	5.435608E 00	255	2.624638E-02
256	2.624638E-02	257	2.624638E-02	258	2.624638E-02
259	2.624638E-02	260	2.624638E-02	261	2.624638E-02
262	2.624638E-02	263	2.624638E-02	264	2.624638E-02
265	2.624638E-02	266	2.624638E-02	267	2.624638E-02
268	2.624638E-02	269	2.624638E-02	270	2.624638E-02
271	2.624638E-02	272	2.624638E-02	273	2.624638E-02
274	2.624638E-02	275	2.624638E-02	276	2.624638E-02
277	2.624638E-02	278	2.624638E-02	279	2.624638E-02
280	2.624638E-02	281	2.624638E-02	282	2.624638E-02
283	2.624638E-02	284	2.624638E-02	285	2.624638E-02
286	2.624638E-02	287	2.624638E-02	288	2.624638E-02
289	2.624638E-02	290	2.624638E-02	291	2.624638E-02
292	2.624638E-02	293	2.624638E-02	294	2.624638E-02
295	2.624638E-02	296	2.624638E-02	297	2.624638E-02
298	2.624638E-02	299	2.624638E-02	300	2.624638E-02
301	2.624638E-02	302	2.624638E-02	303	2.624638E-02
304	2.624638E-02	305	2.624638E-02	306	2.624638E-02
307	2.624638E-02	308	2.624638E-02	309	2.624638E-02
310	2.624638E-02	311	2.624638E-02	312	2.624638E-02
313	2.624638E-02	314	2.624638E-02	315	2.624638E-02
316	2.624638E-02	317	2.624638E-02	318	2.624638E-02
319	2.624638E-02	320	2.624638E-02	321	2.624638E-02
322	2.624638E-02	323	2.624638E-02	324	2.624638E-02
325	2.624638E-02				

CHARGE CALCULEE (M)

TEMPS ECOULE 1.00E-02HFURS
6.00E-01MINUTES
3.60F 01SECONDES

ETAPE 1

INTERVALLE 1.00E-02

NOEUD	VALFUR	NOFUD	VALEUR	NOFUD	VALEUR
1	2.624638E-02	2	2.624638E-02	3	2.624638E-02
4	2.624638E-02	5	2.624638E-02	6	3.012922E 00
7	5.120915E-01	8	2.624638E-02	9	2.624638E-02
10	2.624638E-02	11	2.624638E-02	12	2.624638E-02
13	2.624638E-02	14	5.145370E 00	15	5.070247E 00
16	3.126299E 00	17	2.624638E-02	18	3.225041E 00
19	3.562509E 00	20	3.351404E 00	21	3.409860E 00
22	5.627382E 00	23	2.624638E-02	24	2.624638E-02
25	5.784048E 00	26	6.047986E 00	27	5.872888E 00
28	5.365366E 00	29	5.704257E 00	30	6.358326E 00
31	2.624638E-02	32	2.624638E-02	33	2.624638E-02
34	1.717555E 00	35	5.615952E 00	36	6.699720E 00
37	7.910992E 00	38	6.717392E 00	39	6.261286E 00
40	2.624638E-02	41	2.624638E-02	42	2.624638E-02
43	3.468347E 00	44	5.822592E 00	45	6.557998E 00
46	7.017756E 00	47	8.433366E 00	48	8.698817E 00
49	8.423079E 00	50	6.973770E 00	51	6.162528E 00
52	3.266893E 00	53	2.624638E-02	54	2.624638E-02
55	5.915615E 00	56	7.172726E 00	57	8.883417E 00
58	6.871214E 00	59	6.123969E 00	60	2.624638E-02
61	2.624638E-02	62	3.090865E 00	63	5.522882E 00
64	6.611438E 00	65	7.125183E 00	66	8.122852E 00
67	8.580695E 00	68	7.974778E 00	69	6.735164E 00
70	6.376239E 00	71	5.686485E 00	72	2.593542E 00
73	2.624638E-02	74	6.968345E 00	75	5.531009E 00
76	6.802490E 00	77	8.059519E 00	78	6.640220E 00
79	5.357998E 00	80	6.389327E 00	81	6.980344E 00
82	3.194075E 00	83	5.469073E 00	84	6.726454E 00
85	6.145279E 00	86	7.678493E 00	87	8.161537E 00
88	7.982366E 00	89	6.855514E 00	90	6.150833E 00
91	5.052028E 00	92	2.624638E-02	93	6.933978E 00
94	4.630351E 00	95	5.317692E 00	96	9.494594E 00
97	7.839016E 00	98	4.489191E 00	99	6.878173E 00
100	6.809580E 00	101	2.681208E 00	102	4.381670E 00
103	4.633793E 00	104	8.702709E 00	105	7.856976E 00
106	6.955355E 00	107	5.553276E 00	108	6.921939E 00
109	8.365691E-01	110	3.741160E 00	111	4.744515E 00
112	8.890882E 00	113	7.720466E 00	114	6.563313E 00
115	6.814745E 00	116	6.951960E 00	117	3.735310E 00
118	5.084689E 00	119	9.349026E 00	120	7.583451E 00
121	7.035950E 00	122	6.344694E 00	123	2.624638E-02
124	6.985629E 00	125	3.953958E 00	126	4.809716E 00
127	9.970919E 00	128	7.312859E 00	129	7.121426E 00
130	6.912546E 00	131	2.624638E-02	132	2.345389E 00

133	3.626740E 00	134	6.876668E 00	135	4.533727E 00
136	9.640205E 00	137	9.723147E 00	138	9.158685E 00
139	7.297321E 00	140	6.915609E 00	141	6.550676E 00
142	3.687881E 00	143	2.965066E 00	144	4.534879E 00
145	9.586318E 00	146	8.107325E 00	147	6.654722E 00
148	3.946724E 00	149	7.459093E 00	150	6.952917E 00
151	6.764431E 00	152	3.848435E 00	153	3.990730E 00
154	6.907575E 00	155	6.281877E 00	156	5.509044E 00
157	2.173910E 00	158	4.018369E-01	159	2.371935E 00
160	3.543989E 00	161	5.650917E 00	162	6.274321E 00
163	5.699364E 00	164	5.316316E 00	165	4.676172E 00
166	2.954240E 00	167	1.087217E 00	168	2.624638E-02
169	3.502557E 00	170	5.627911E 00	171	4.557816E 00
172	3.555650E 00	173	1.221663E 00	174	1.836795E 00
175	1.657073E 00	176	2.839519E 00	177	3.537012E 00
178	5.098152E 00	179	5.152112E 00	180	4.294658E 00
181	2.920059E 00	182	2.381351E 00	183	1.462913E 00
184	7.121595E-01	185	1.145751E-01	186	4.471747E-02
187	2.612730E-01	188	6.285429E-02	189	5.805402E-01
190	7.722512E-01	191	9.267038E-01	192	3.138326E 00
193	5.531544E 00	194	3.040940E 00	195	1.668658E 00
196	7.956221E-01	197	1.416933E 00	198	2.012989E 00
199	3.244614E 00	200	3.883115E 00	201	4.876686E 00
202	3.326352E 00	203	2.966258E 00	204	2.062752E 00
205	1.229349E 00	206	2.969252E-01	207	1.636340E 00
208	3.655516E 00	209	3.595790E 00	210	2.564495E 00
211	1.492396E-01	212	7.400544E-01	213	1.322314E 00
214	3.117316E 00	215	3.303414E 00	216	4.903471E 00
217	3.909124E 00	218	3.319387E 00	219	2.773092E 00
220	1.730913E 00	221	8.985617E-01	222	2.882429E 00
223	4.074348E 00	224	2.926346E 00	225	1.540746E 00
226	3.547744E 00	227	3.921462E 00	228	3.622613E 00
229	2.952747E 00	230	1.711780E 00	231	9.878688E-01
232	3.668512E 00	233	2.910749E 00	234	2.105856E-01
235	5.992473E-01	236	9.198858E-01	237	2.732206E 00
238	3.477934E 00	239	3.294065E 00	240	2.748687E 00
241	1.614799E 00	242	6.682837E-02	243	3.019394E 00
244	2.691345E 00	245	1.926328E 00	246	3.273087E 00
247	2.873574E 00	248	3.404722E 00	249	3.023625E 00
250	2.624638E-02	251	3.287186E 00	252	5.539225E 00
253	6.171593E 00	254	5.435605E 00	255	2.624638E-02
256	2.624638E-02	257	2.624638E-02	258	2.624638E-02
259	2.624638E-02	260	2.624638E-02	261	2.624638E-02
262	2.624638E-02	263	2.624638E-02	264	2.624638E-02
265	2.624638E-02	266	2.624638E-02	267	2.624638E-02
268	2.624638E-02	269	2.624638E-02	270	2.624638E-02
271	2.624638E-02	272	2.624638E-02	273	2.624638E-02
274	2.624638E-02	275	2.624638E-02	276	2.624638E-02
277	2.624638E-02	278	2.624638E-02	279	2.624638E-02
280	2.624638E-02	281	2.624638E-02	282	2.624638E-02
283	2.624638E-02	284	2.624638E-02	285	2.624638E-02
286	2.624638E-02	287	2.624638E-02	288	2.624638E-02
289	2.624638E-02	290	2.624638E-02	291	2.624638E-02
292	2.624638E-02	293	2.624638E-02	294	2.624638E-02
295	2.624638E-02	296	2.624638E-02	297	2.624638E-02
298	2.624638E-02	299	2.624638E-02	300	2.624638E-02
301	2.624638E-02	302	2.624638E-02	303	2.624638E-02
304	2.624638E-02	305	2.624638E-02	306	2.624638E-02
307	2.624638E-02	308	2.624638E-02	309	2.624638E-02
310	2.624638E-02	311	2.624638E-02	312	2.624638E-02
313	2.624638E-02	314	2.624638E-02	315	2.624638E-02

316 2.624638E-02
319 2.624638E-02
322 2.624638E-02
325 2.624638E-02

317 2.624638E-02
320 2.624638E-02
323 2.624638E-02

318 2.624638E-02
321 2.624638E-02
324 2.624638E-02

Appendice 4

Données numériques des épreuves de pompage

PUITS 4-I (POMPAGE SIMULE - NOEUD #154)

DEBIT 30,67 g.p.m.

TEMPS DEPUIS DEBUT (MINUTES)	NIVEAU DE REFERENCE (PIEDS)	RABATTEMENT (PIEDS)
0,0	14,69	0,0
0,6	14,46	0,23
1,2	14,26	0,43
2,1	14,01	0,68
3,45	13,72	0,97
5,47	13,42	1,27
8,51	13,11	1,58
13,1	12,84	1,85
19,0	12,59	2,1
30,2	12,39	2,3
45,5	12,18	2,51
68,6	11,99	2,70
103,0	11,81	2,88
155,0	11,63	3,06
233,0	11,44	3,25
350,0	11,25	3,44
525,0	11,05	3,64
788,0	10,83	3,86
1180,0	10,58	4,11
1770,0	10,28	4,4
2660,0	9,93	4,76
3990,0	9,52	5,17

PUITS 14-I (POMPAGE STES)

DEBIT 30,67 g.p.m.

TEMPS DEPUIS DEBUT (MINUTES)	NIVEAU DE REFERENCE (PIEDS)	RABATTEMENT (PIEDS)
0	30,0	0
0,5	33,79	3,79
1	33,75	3,75
1,5	33,81	3,81
3	33,71	3,71
4	33,74	3,74
5	33,77	3,77
6	33,79	3,79
7	33,83	3,83
8	33,85	3,85
25	34,17	4,17
35	34,31	4,31
45	34,36	4,36
75	34,52	4,52
105	34,60	4,6
180	34,83	4,83
270	35,0	5,0
360	35,1	5,1
600	35,33	5,33
1261	35,66	5,66
1500	35,77	5,77
1965	35,96	5,96
3420	36,23	6,23
4330	36,29	6,29

PUITS 5-I (POMPAGE SIMULE)

DEBITS NOEUD #213 POMPAGE 96,4 g.p.m.
NOEUD #220 INJECTION 30,0 g.p.m.

TEMPS ECOULE DEPUIS DEBUT (MINUTES)	NIVEAU DE REFERENCE (PIEDS)	RABATTEMENT (PIEDS)
0	5,11	0
0,6	5,02	0,09
1,2	4,96	0,15
2,1	4,90	0,21
3,45	4,84	0,27
5,47	4,78	0,33
8,51	4,73	0,38
13,1	4,68	0,43
19,9	4,64	0,47
30,2	4,59	0,52
45,5	4,53	0,58
68,6	4,47	0,64
103,0	4,38	0,73
155,0	4,27	0,84
233,0	4,14	0,97
350,0	3,99	1,12
525,0	3,80	1,31
788,0	3,59	1,52
1180,0	3,34	1,77
1770,0	3,05	2,06
2660,0	2,73	2,38
3990,0	2,40	2,71

PUITS 16-I (POMPAGE STES)

DEBIT 96,4 g.p.m.

TEMPS DEPUIS DEBUT (MINUTES)	NIVEAU DE REFERENCE (METRES)	RABATTEMENT (METRES)
0	18,23	0
1	19,00	0,77
2	19,05	0,82
3	19,085	0,855
4	19,10	0,87
5	19,112	0,882
10	19,175	0,945
25	19,245	1,015
50	19,295	1,065
105	19,335	1,105
180	19,395	1,165
300	19,405	1,175
660	19,55	1,32
1590	19,64	1,41
3120	19,67	1,44
4335	19,73	1,50

PUITS 7-I (POMPAGE SIMULE NOEUD #90)

DEBIT 10 g.p.m.

TEMPS DEPUIS DEBUT (MINUTES)	NIVEAU DE REFERENCE (PIEDS)	RABATTEMENT (PIEDS)
0	119,07	0
0,6	118,8	0,27
1,2	118,53	0,54
2,1	118,13	0,94
3,45	117,53	1,54
5,47	116,67	2,40
8,51	115,40	3,67
13,1	114,60	5,47
19,1	111,07	8,00
30,2	107,64	11,43
45,5	103,14	15,93
68,6	99,66	19,41

PUITS 7-I (POMPAGE STES)

DEBIT 10,7 g.p.m.

TEMPS DEPUIS DEBUT (MINUTES)	NIVEAU DE REFERENCE (PIEDS)	RABATTEMENT (PIEDS)
0	28,0	0
1	30,0	2,0
2	32,5	4,5
3	34,0	6,0
4	36,0	8,0
5	37,0	9,0
6	37,7	9,7
7	38,5	10,5
8	39,0	11,0
9	39,5	11,5
10	40,2	12,2
12	41,8	13,8
14	43,0	15,0
16	44,0	16,0
18	45,0	17,0
20	45,95	17,95
25	47,8	19,8
30	49,0	21,0
35	50,0	22,0
40	51,0	23,0
50	52,5	24,5
60	53,6	25,6

POMPAGE SIMULE GROSSE ILE

4 PUIITS A 20 g.p.m.

TEMPS DEPUIS DEBUT (MINUTE)	142	143	RABATTEMENT (PIEDS) NOEUDS # 168	182
0	0,0	0	0	0
30	0,21	0,44	0,12	0,33
30,6	0,22	0,45	0,12	0,33
32,4	0,23	0,47	0,13	0,35
37,8	0,26	0,53	0,15	0,38
54,0	0,34	0,65	0,22	0,45
103,0	0,48	0,82	0,38	0,45
248,0	0,69	1,09	0,75	0,71
646,0	1,01	1,67	1,45	1,07
2000,0	1,70	2,82	2,48	2,04
5930,0	3,09	4,87	3,99	3,96
17700,	4,92	7,59	5,70	6,58
53200,	6,18	9,53	6,80	8,40
159000,	6,55	10,11	7,12	8,94
478000,	6,59	10,18	7,15	9,00
1430000,	6,59	10,18	7,15	9,01
4300000,	6,59	10,18	7,15	9,01

PUITS 11-E (POMPAGE STES)

DEBIT 47,4 g.p.m.

TEMPS DEPUIS DEBUT (MINUTES)	NIVEAU DE REFERENCE (PIEDS)	RABATTEMENT (PIEDS)
0	45,58	0
1	65,7	20,12
2	69,10	23,52
3	70,0	24,42
4	70,21	24,63
5	71,08	25,5
10	71,92	26,34
20	72,21	26,63
25	72,33	26,75
35	72,33	26,75
75	72,71	27,13
105	72,91	27,33
180	72,875	27,30
300	73,21	27,63
480	73,50	27,92
1200	73,44	27,86
2625	74,19	28,61
3245	74,46	28,88
4260	74,6	29,02

PUITS 11-E (POMPAGE SIMULE NOEUD #109)

DEBIT 50 g.p.m.

TEMPS ECOULE DEPUIS DEBUT (MINUTES)	NIVEAU DE REFERENCE (PIEDS)	RABATTEMENT (PIEDS)
0	7,07	0
0,6	0,92	6,15
1,2	0,34	7,41
2,1	0,84	7,91
3,45	1,20	8,27
5,47	1,63	8,70
8,51	2,03	9,10
13,1	2,40	9,47
19,9	2,72	9,79
30,2	2,98	10,09
45,5	3,19	10,28
68,6	3,38	10,49
103,0	3,56	10,69
155,0	3,74	10,88
233,0	3,92	10,99
350,0	4,11	11,18
525,0	4,32	11,39
788,0	4,57	11,68
1180,0	4,87	11,98
1770,0	5,22	12,28
2660,0	5,62	12,69
3990,0	6,07	13,14

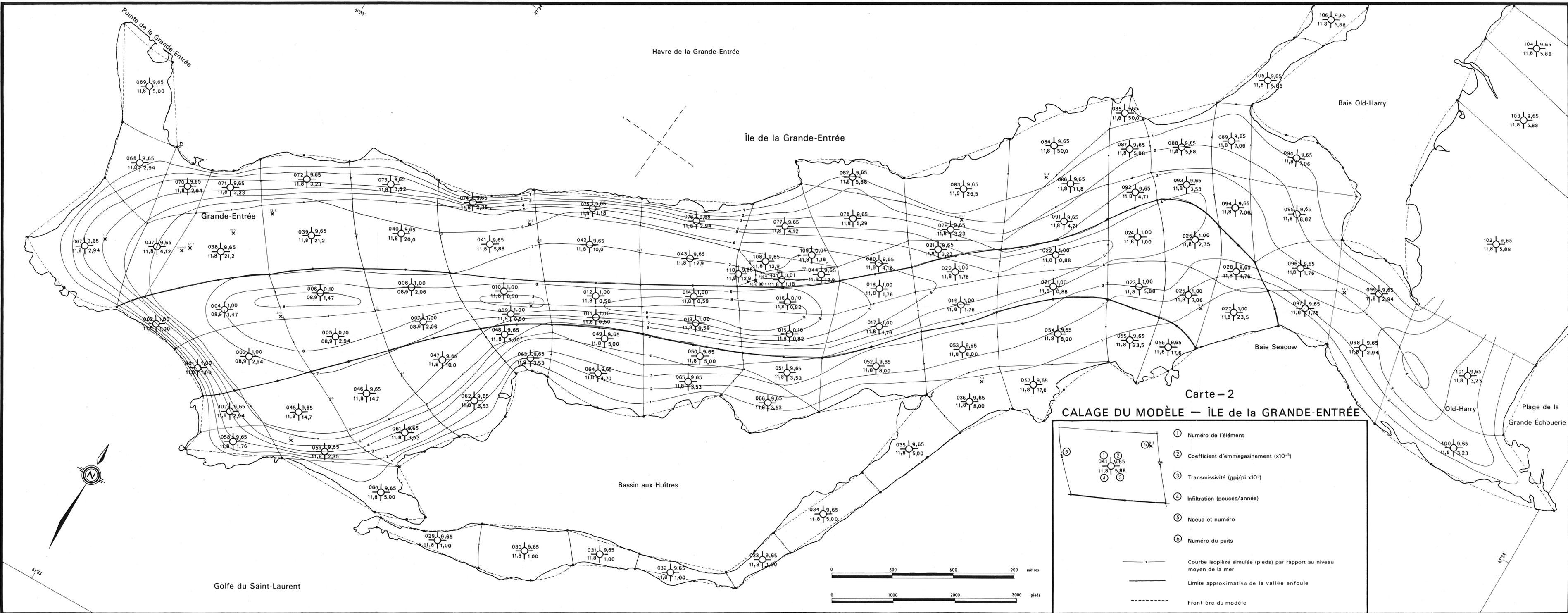
•

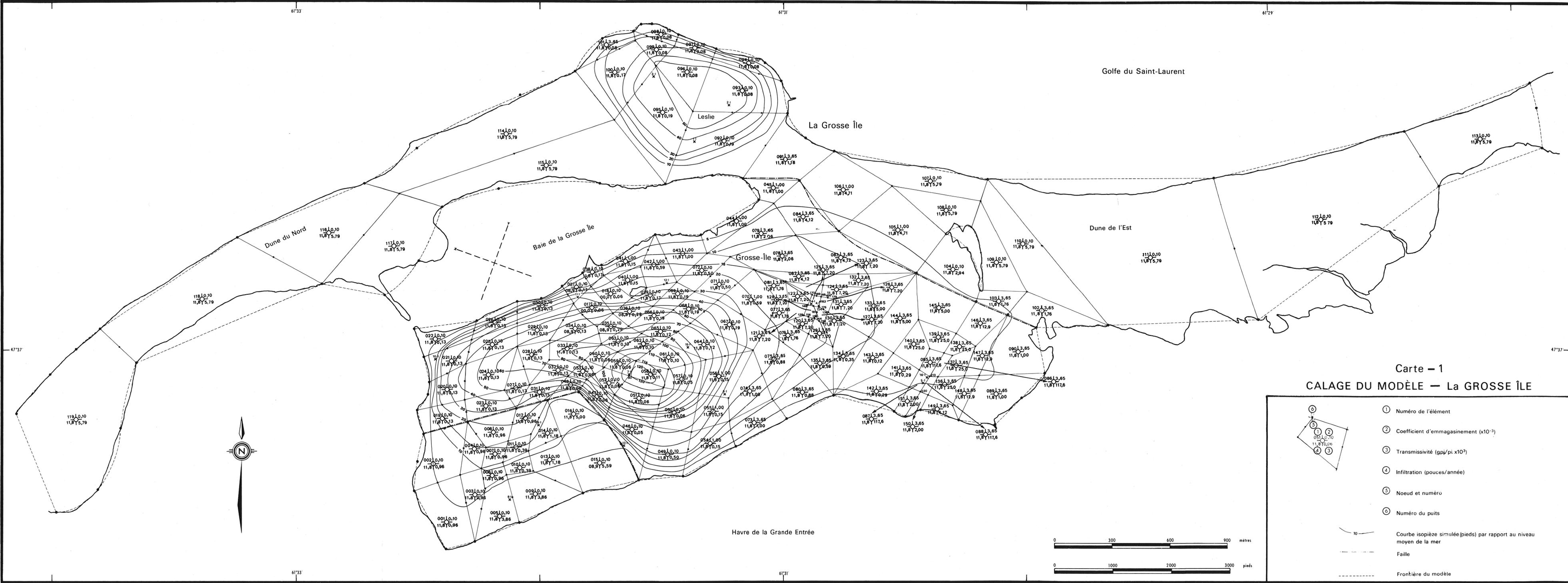
**Achévé d'imprimer à
Québec en février 1979, sur
les presses du Service des impressions en régie
du Bureau de l'Éditeur officiel
du Québec**



Éditeur officiel
du Québec
**Service des
impressions
en régie**

Février 1979





Carte - 1
CALAGE DU MODÈLE — La GROSSE ÎLE

- ① Numéro de l'élément
- ② Coefficient d'emmagasinement ($\times 10^{-3}$)
- ③ Transmissivité ($\text{gpi}/\pi \times 10^3$)
- ④ Infiltration (pouces/année)
- ⑤ Noeud et numéro
- ⑥ Numéro du puits
- Courbe isopièze simulée (pieds) par rapport au niveau moyen de la mer
- - - Faille
- - - - Frontière du modèle