

Gouvernement du Québec
Ministère des Transports

Autoroute 40 Cap-de-la-Madeleine

Projet no 20-6373-9501



Étude de la
contamination de la
nappe aquifère par les
sels déglaçants

Rapport

Juillet 1999

CANQ
TR
QUE
144

Équipe de réalisation

Cette étude a été réalisée au Ministère des Transports du Québec par la Direction générale de Québec et de l'Est à la demande de la Direction régionale Mauricie-Bois-Francis.

Sous la direction de :

Huan Nguyen, ing. PAST Chef de division

Par l'équipe composée de :

Robert Delisle, bio. PAST Chargé d'étude environnementale; recherche, rédaction et édition

Pierre Caufoppé, tech. SGC Cartographie

En collaboration avec :

Pierre Camiré, ing. DT Service des inventaires et du plan

Bruno Turmel, ing. DT Service des projets

Réal Grondin, ing. DT Service des projets, coordonnateur

Louis Roger DT-CS Contremaître

Gaétan Lemieux, ttp. DT-CS Technicien

Yvan Blouin MUN Directeur des travaux publics

Roger Nadeau MUN Surintendant, Service approvisionnement en eau potable

Légende:

PAST : Service du plan, de l'analyse et du soutien technique
 SGC : Service de la géomatique et de la cartographie
 DT : Direction Mauricie-Bois-Francis
 MUN : Municipalité de Cap-de-la-Madeleine
 DT-CS : Centre de service de Cap-de-la-Madeleine



QANQ
 TR
 QUE
 11/10

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
1 LA NAPPE AQUIFÈRE ET LES PUIITS MUNICIPAUX.....	3
2 ZONE À L'ÉTUDE ET UTILISATION DU SOL	7
2.1 Subdivisions de la zone à l'étude en secteurs.....	7
2.2 Infrastructures et utilisations du sol présentant un potentiel de contamination	9
3 DONNÉES DE DÉPART	11
4 PORTRAIT DE L'ANNÉE 1983.....	13
4.1 Portrait d'ensemble en 1983	13
4.2 Portrait par classes de contamination en 1983	14
4.3 Portrait par secteur en 1983.....	16
4.4 Analyse des résultats	17
5 PORTRAIT DE L'ANNÉE 1994.....	21
5.1 Portrait d'ensemble en 1994	21
5.2 Portrait par classes de contamination en 1994	23
5.3 Portrait par secteur en 1994.....	26
5.4 Analyse des résultats	27
6 ÉVOLUTION DE LA SITUATION ENTRE 1983 ET 1994.....	29
6.1 Hausses des concentrations en chlorure enregistrées entre 1983 et 1994	29
6.2 Accroissements des concentrations enregistrés entre 1983 et 1994.....	31
6.3 Portrait par secteur entre 1983 et 1994	33
6.4 Analyse des résultats	34
7 ÉTUDE DES FOYERS DE CONTAMINATION.....	37
8 SUIVI DE LA CONCENTRATION EN CHLORURE DE SEPT PUIITS ENTRE 1970 ET 1995.....	43
9 ÉTUDE D'ÉVÈNEMENTS PARTICULIERS.....	47
9.1 À partir du comportement des puits entre eux.....	47
10 ÉTUDE DU DÉPHASAGE ENTRE LES PUIITS.....	51
11 ÉTUDE DE LA CORRÉLATION ENTRE LE NIVEAU DE LA NAPPE ET LA CONCENTRATION EN CHLORURE	53

12	ÉTUDE DE LA CORRÉLATION ENTRE LA PRODUCTION DES PUIITS ET LEUR CONCENTRATION CHLORURE	57
	12.1 Production des puits.....	57
	12.2 Corrélation entre la production des 4 puits et leur concentration en chlorure	58
13	OPÉRATIONS DE DÉNEIGEMENT EFFECTUÉES PAR LE MTQ	63
	13.1 Programme d'entretien hivernal avant 1987	63
	13.2 Programme d'entretien hivernal après 1987	63
	13.3 Quantité de sel déglaçant épandu au-dessus de l'aquifère	64
	13.4 Méthode de déneigement appliquée à l'autoroute 40.....	67
	13.5 Cheminement des eaux chlorurées aux abords de l'autoroute 40	68
	13.6 Variation de la concentration des chlorures dans des puits équidistants par rapport à l'autoroute 40.....	71
14	OPÉRATIONS DE DÉNEIGEMENT EFFECTUÉES PAR LA MUNICIPALITÉ.....	73
15	COMPARAISON DE LA QUANTITÉ DE SEL ÉPANDUE PAR LA MUNICIPALITÉ ET PAR LE MTQ.....	75
16	ÉVOLUTION DE LA SITUATION ENTRE 1995 ET 1998.....	77
	16.1 Suivi de la concentration en chlorure de cinq puits.....	77
	16.2 Le piézomètre d'alerte # 5.....	79
	16.3 L'entrepôt de sel du MTQ à Cap-de-la-Madeleine	79
17	RECOMMANDATIONS POUR L'EAU POTABLE	83
	CONCLUSION	85
18	AVENUES DE SOLUTION.....	87
	18.1 Arrêt de l'épandage, étude de cas.....	87
	18.1.1 L'autoroute 15 à Sainte-Agathe-des-Monts	87
	18.1.2 Recherche de cas similaires dans le monde	87
	18.2 Diminution des quantités de fondants utilisées	88
	18.3 Imperméabilisation des abords de la route.....	88
	18.4 Compensation monétaire pour la recherche et la mise en service de nouveaux puits.....	89

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Puits de la Municipalité de Cap-de-la-Madeleine	6
Figure 2.1 Répartition des puits par secteurs.....	7
Figure 2.2 Caractéristiques de la nappe aquifère et des puits municipaux.....	8
Figure 2.3 Sites potentiels d'entrée des chlorures dans la nappe aquifère.....	10
Figure 4.1 Puits par classes de contamination en 1983	18
Figure 4.2 Aires d'alimentation des puits par classes de contamination en 1983	19
Figure 5.1 Puits par classes de contamination en 1994	24
Figure 5.2 Aires d'alimentation des puits par classes de contamination en 1994	25
Figure 6.1 Valeurs des concentrations en 1983 et en 1994 pour 23 puits.....	30
Figure 6.2 Puits par classes de hausse entre 1983 et 1994.....	35
Figure 6.3 Puits par classes d'accroissement entre 1983 et 1994.....	36
Figure 7.1 Aires de réalimentation par classes de hausses entre 1983 et 1994	41
Figure 7.2 Aires de réalimentation par classes d'accroissement entre 1983 et 1994	42
Figure 8.1 Variations annuelles de la concentration en chlorure entre 1970 et 1995.....	44
Figure 8.2 Courbes de tendance de la concentration en chlorure entre 1970 et 1995.....	44
Figure 9.1 Pentés des courbes des 7 puits entre 1970 et 1995	48
Figure 11.1 Puits retenus dans l'étude de la variation du niveau de la nappe.....	54
Figure 11.2 Fluctuations du niveau de la nappe entre 1972 et 1990	55
Figure 11.3 Corrélation entre le niveau de la nappe et la concentration en chlorure et courbes de tendance de ces 2 phénomènes.....	56
Figure 12.1 Production annuelle des 27 puits en m ³	57
Figure 12.2 Variation annuelle de la production des puits 26, 30, 33 et 37	58
Figure 12.3 Corrélation entre la production de 4 puits et leur concentration en chlorure	59
Figure 12.4 Corrélation entre la production du puits # 26 et sa concentration en chlorure	60
Figure 12.5 Corrélation entre la production du puits # 33 et sa concentration en chlorure	60
Figure 12.6 Corrélation entre la production du puits # 30 et sa concentration en chlorure	61
Figure 13.1 Circuit d'entretien d'hiver de l'autoroute 40 (#4114).....	65
Figure 13.2 Taux d'application des sels déglaçants en fonction des niveaux d'entretien sur les routes entretenues par le MTQ au-dessus de l'aquifère.....	66
Figure 13.3 Plan du système de drainage fermé de l'échangeur Thibeau.....	70
Figure 16.1 Évolution de la concentration des chlorures entre juin 95 et mars 98	78
Figure 16.2 Opérations à l'entrepôt de sel du MTQ	81

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 Bilan hydrique en 1990.....	4
Tableau 1.2 Numéros des 27 puits municipaux.....	5
Tableau 3.1 Résultats d'analyse de vingt trois puits en 1983 et en 1994.....	11
Tableau 3.2 Résultats d'analyse de sept puits entre 1970 et 1995.....	12
Tableau 4.1 Concentration en chlorure par ordre croissant de no. de puits.....	13
Tableau 4.2 Concentration en chlorure par ordre décroissant de concentration.....	13
Tableau 4.3 Classes de contamination.....	14
Tableau 4.4 Regroupement par classe de contamination.....	15
Tableau 4.5 Nombre de puits par classe:.....	15
Tableau 4.6 Regroupement par secteur.....	16
Tableau 4.7 Moyenne des concentrations en chlorure par secteur en 1983.....	17
Tableau 5.1 Concentration en chlorure par ordre croissant de no. de puits.....	21
Tableau 5.2 Concentration en chlorure par ordre décroissant de concentration.....	21
Tableau 5.3 Regroupement par classe de contamination.....	23
Tableau 5.4 Nombre de puits par classe.....	23
Tableau 5.5 Portrait par secteur.....	26
Tableau 5.6 Moyenne des concentrations en chlorure par secteur en 1994.....	27
Tableau 6.1 Hausses entre 1983 et 1994.....	29
Tableau 6.2 Variation des valeurs statistiques.....	30
Tableau 6.3 Accroissements entre 1983 et 1994.....	31
Tableau 6.4 Portrait des hausses et des accroissements par classe entre 1983 et 1994.....	32
Tableau 6.5 Nombre de puits par classes entre 1983 et 1994.....	32
Tableau 6.6 Portrait des hausses et des accroissements par secteur entre 1983 et 1994.....	33
Tableau 6.7 Moyenne des hausses et des accroissements par secteur.....	34
Tableau 8.1 Valeurs de la concentrations en chlorure (ppm).....	43
Tableau 10.1 Nombre d'années de déphasage entre les puits.....	51
Tableau 12.1 Volumes d'eau soutirés annuellement de la nappe aquifère en m ³	57
Tableau 13.1 Taux d'application pour les niveaux I, II et III.....	63
Tableau 13.2 Niveaux d'entretien et taux d'application correspondant.....	63
Tableau 13.3 Quantité de sel appliquée sur l'A-40 et sur la route 157 pendant l'hiver 1995-96.....	67
Tableau 13.4 Comparaison des puits sous l'influence de l'autoroute 40.....	71
Tableau 14.1 Sels déglaçants épandus par la Municipalité.....	73
Tableau 16.1 Concentration en chlorure entre 1995 et 1996 (ppm).....	77
Tableau 16.2 Évolution de la situation entre 1983 et 1996.....	78
Tableau 16.3 Piézomètre d'alerte no. 5.....	79
Tableau 17.1 Recommandations du MEF pour les chlorures.....	83

INTRODUCTION

La Municipalité de Cap-de-la-Madeleine est construite directement au-dessus d'une nappe aquifère dans laquelle elle puise l'eau potable qu'elle distribue à ses citoyens. Cette eau est pompée de vingt sept puits regroupés en réseaux indépendants les uns des autres. Cette eau de très bonne qualité subit un traitement minimal pour assurer sa qualité bactériologique. Or, la concentration en chlorure augmente sans cesse depuis les années 1970.

Les sels utilisés pour assurer le déglacage des routes en hiver sont reconnus être la cause de la contamination en chlorure des aquifères. La Municipalité et le Ministère des Transports utilisent des sels déglacants pour l'entretien des voies de circulation au-dessus de l'aquifère. Le but de la présente étude est de déterminer dans quelle mesure le ministère des Transports contribue à cette contamination, quels sont les puits touchés et, quelles sont les avenues de solution.

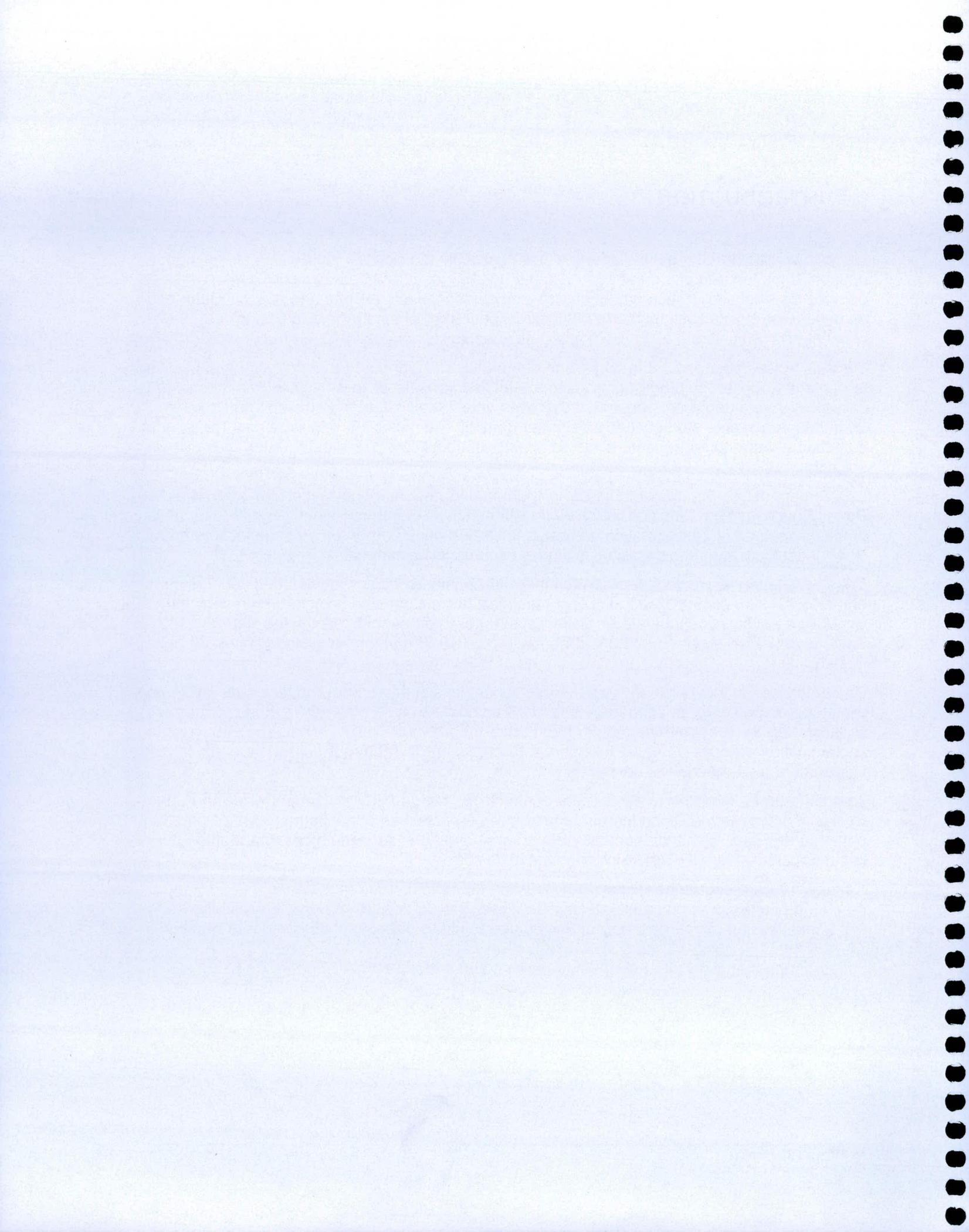
Le 23 mars 1995, M. Yvan Blouin de la Municipalité de Cap-de-la-Madeleine écrivait à M. Benoît Bouchard de la Direction régionale de la Mauricie et des Bois-Francs pour lui résumer la problématique de la contamination de l'eau souterraine générée par les sels déglacants en lui transmettant, par la même occasion, quelques documents de support.

Dans cette lettre, le directeur général par intérim lui faisait part de ses inquiétudes pour les puits numéros 3, 4, 20, 26, 30, 33, 35, et 37 pour lesquels la concentration en chlorure présentait une croissance continue depuis 1983. Cette hausse se serait surtout manifestée depuis 1989. Tous ces puits se situent du côté sud de l'autoroute 40, là où sont localisés 20 des 27 puits municipaux.

La contamination du puits 33 serait causée selon le signataire par l'absence de système d'interception des eaux de surface dans le fossé en bordure de l'autoroute 40, plus précisément à l'angle de la rue Thibeau et de l'autoroute 40. D'autre part, il est suggéré que la contamination du puits 35 serait causée par la présence de l'entrepôt de sel situé sur la rue Houssard et à ses opérations connexes.

La crainte de la Municipalité est à l'effet que le ministère de l'Environnement et de la Faune n'exige à moyen terme l'abandon de certains puits eu égard au dépassement des critères de potabilité de l'eau. L'abandon de ces puits pourrait avoir des conséquences importantes pour la Municipalité en terme d'approvisionnement et de coût.

En mars 1995, le directeur régional de la Direction Mauricie-Bois-Francs demandait au Service du plan de l'analyse et du soutien technique d'examiner le dossier et dans l'éventualité où le MTQ serait mis en cause, de proposer une ou des solutions permettant de corriger la situation.



1 LA NAPPE AQUIFÈRE ET LES PUISITS MUNICIPAUX

Il y a 8 à 10 000 ans, au moment du retrait du glacier et pendant la période de transgression marine, une large rivière déposait, à la rencontre de la mer, des particules de sable qui s'accumulaient sur plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur dans le delta. Les phénomènes hydrologiques ultérieurs ont recoupé ces sédiments laissant place une haute terrasse de dépôts deltaïques et une basse terrasse d'alluvions. La nappe d'eau souterraine de la haute terrasse est exploitée principalement par la municipalité de Cap-de-la-Madeleine.

L'eau présente dans les interstices entre les grains de sable forme un immense réservoir souterrain. Cette nappe est capable de restituer un volume d'eau de l'ordre de 84 108 000 m³ sur la base d'une épaisseur saturée moyenne de 10 m, d'une porosité efficace de 0,3 et d'une aire de recharge¹ de 28 km². L'écoulement souterrain se fait en direction nord-ouest sud-est dans sa partie amont, puis vers le sud à partir d'un secteur sis dans Saint-Louis-de-France, au nord-ouest du boulevard Saint-Alexis. La vitesse de l'eau varie de 0,09 à 6 m/j selon les gradients et la perméabilité du milieu. Dans la zone non saturée, la vitesse de propagation verticale du front de saturation atteint 1,3 à 1,4 m par jour.

Laissé à l'état naturel, ce réservoir se vide de façon continue vers l'aval dans les exutoires que sont le fleuve Saint-Laurent, la rivière Saint-Maurice et les autres ruisseaux et sources. Il se remplit également, de façon continue, latéralement à l'amont par l'apport des unités hydrogéologiques voisines et, sur toute sa surface, par l'infiltration verticale d'une partie importante des précipitations lors d'épisodes de pluies et à la fonte des neiges au printemps. Un bilan s'établit entre les entrées et les sorties d'eau et explique les variations du niveau de la nappe d'un mois à l'autre et d'une année à l'autre. L'amplitude de l'oscillation annuelle autour du niveau moyen de la nappe est de 0,5 à 1,5 m.

Environ 42 % de la précipitation totale annuelle s'infiltré dans le sol pour alimenter la nappe souterraine, l'autre partie ruisselle à la surface. Dans les secteurs urbanisés, seulement 30 % de la totalité de la précipitation pénétrerait dans le sol pour alimenter la nappe aquifère. La recharge se fait principalement lors de la fonte des neiges en mars et en avril et, pendant la période automnale, de septembre à novembre, puisqu'à cette période l'évapotranspiration est plus faible.

Les secteurs les plus perméables ne correspondent pas nécessairement aux plus grandes épaisseurs saturées et la pénétration de l'eau des précipitations ne se fait pas de façon

¹ Terminologie

L'aire de recharge d'un aquifère

L'aire de recharge d'un aquifère correspond à la surface de terrain responsable de la recharge de l'aquifère via les précipitations qui s'y déversent. Le périmètre de cette aire se superpose à une ligne de partage des eaux.

L'aire d'alimentation d'un puits

L'aire d'alimentation peut se définir comme la surface recouvrant l'ensemble des filets liquides qui convergent vers un puits en pompage.

L'aire d'influence d'un puits

L'aire d'influence s'étend autour d'un puits et correspond à la surface à l'intérieur de laquelle un pompage provoque un rabattement mesurable de la nappe. Dans le champ d'influence, les filets d'eau peuvent être détournés mais ne convergent pas nécessairement vers le puits.

homogène parce qu'il existe des canaux préférentiels d'écoulement vertical dû à une granulométrie variable.

La qualité de l'eau puisée et distribuée par la Municipalité a déjà été reconnu comme étant exceptionnelle par l'Association québécoise des techniques de l'eau (AQTE). Cependant cette qualité varie d'un point à l'autre de l'aquifère et certains paramètres dépassent localement les critères d'eau potable tels que définis par le ministère de l'Environnement et de la Faune. Cette variation de la qualité de l'eau peut être attribuable d'une part à des facteurs intrinsèques ou d'autre part, à une contamination anthropique. Sa condition de nappe libre la rend sujette à une contamination découlant des activités en surface. En effet comme aucune couche de sol imperméable ne l'isole de la surface, cette nappe est sujette à des intrusions de toute nature. Les principales sources potentielles de contamination d'une nappe libre sont les réservoirs enfouis, les conduites d'égouts, les sels déglaçants, les engrais et les pesticides ainsi que les déversements accidentels.

Des analyses ont montré que l'eau était agressive, que dans plusieurs secteurs l'eau était ferrugineuse et que sa teneur en manganèse était élevée, que la teneur en nitrate, quoique inférieure à la norme, était en augmentation, que l'on retrouvait quelques traces de micropolluants et que les chlorures étaient en augmentation. Quelques puits dépassent la norme de 250 mg de chlorure par litre d'eau. La concentration maximale des chlorures est atteinte au cours du mois d'août.

Un autre phénomène affecte cet aquifère: il s'agit de la diminution de la réserve d'eau que nous indique l'abaissement du niveau de la nappe. D'après l'étude hydrogéologique effectuée en 1991 par Les Consultants H.G.E. Inc., cette nappe montre une tendance à la baisse depuis le début des années 1970. On prévoyait même qu'une urbanisation rapide des secteurs non encore développés pouvait accélérer le processus de rabattement de la nappe si une gestion serrée de la ressource n'était pas faite. Cette gestion devra être réalisée par la Municipalité de Cap-de-la-Madeleine et par les autres intervenants ou utilisateurs et devra porter sur les quantités à prélever et sur les activités autorisées ou contrôlées en surface.

Le bilan hydrique pour l'année 1990 s'établissait comme décrit dans le Tableau 1.1 :

Tableau 1.1 Bilan hydrique en 1990

Élément de mesure	Quantités
Capacité totale	84,1 M m ³
Apports naturels	14,3 M m ³
Exutoires naturels	5,3 M m ³
Extractions par pompage	7,3 M m ³
Variation de la réserve	1,7 M m ³

En 1991, 1500 clients étaient branchés sur le réseau d'aqueduc. En 1990, c'étaient 7,27 M de m³ qui étaient soutirés de l'aquifère par pompage par l'ensemble des utilisateurs dont 74 % l'était par la Municipalité de Cap-de-la-Madeleine, soit un volume total extrait de 5,4 M m³ à partir de 27 puits. Les puits sont identifiés par des numéros répartis entre les nombres 3 et 38 tel qu'illustré au Tableau 1.2. Le puits 39 vient d'être ouvert récemment à l'intersection des rues Bellevue et Marie-le-Galo, près du foyer Père-Frédéric. Le piézomètre d'alerte #5 a également été construit le 17 février 1992 du côté sud de l'autoroute 40, à l'ouest de la rue

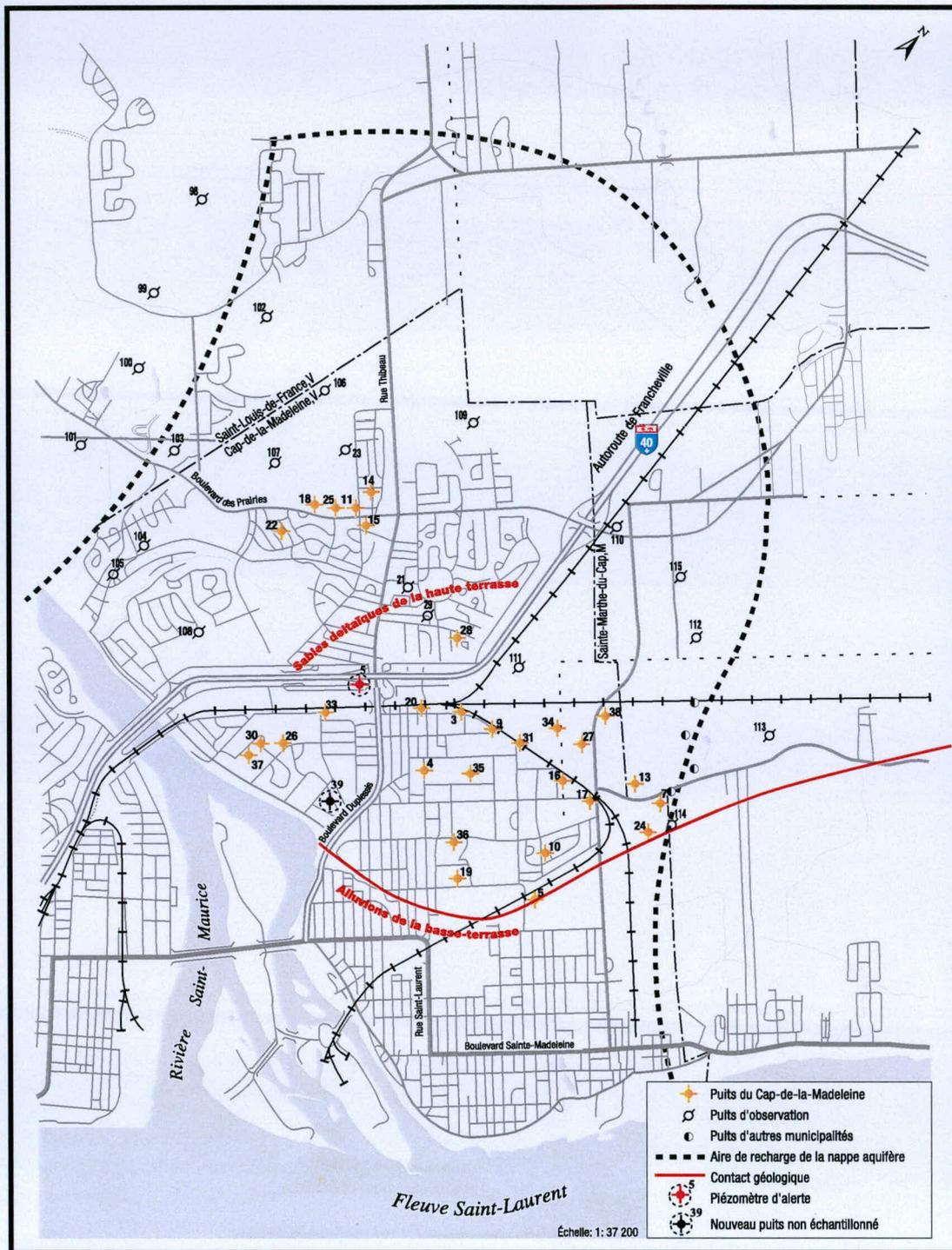
Thibeau, sur la rue Vachon. Il prend son eau à une profondeur allant de 14 à 18 m sous la surface du sol, dans un sable fin à moyen.

Tableau 1.2 Numéros des 27 puits municipaux

		3	4	5		7		10	
		13	14	15	16	17	18	19	20
	22		24	25	26	27	28		30
31		33	34	35	36	37	38	39	

La Figure 1.1 illustre de quelle façon les puits sont répartis à la surface du territoire municipal.

Figure 1.1 Puits de la Municipalité de Cap-de-la-Madeleine



2 ZONE À L'ÉTUDE ET UTILISATION DU SOL

La zone à l'étude s'étend à toute la zone de recharge de l'aquifère parce que tout sel déglaçant épandu sur cette aire peut se retrouver dans la nappe aquifère. Le chlorure de sodium en se dissolvant se sépare en ses deux composantes, soit le chlorure et le sodium. Le sodium s'adsorbe aux particules des couches superficielles alors que le chlorure migre dans les couches profondes jusqu'à la nappe d'eau souterraine. La nappe aquifère de Cap-de-la-Madeleine est vulnérable à tout épandage ou déversement de produits solubles parce qu'elle n'est pas isolée de la surface par une couche géologique étanche et que les matériaux meubles la recouvrant sont perméables. Ces nappes sont appelés nappes libres.

2.1 Subdivisions de la zone à l'étude en secteurs

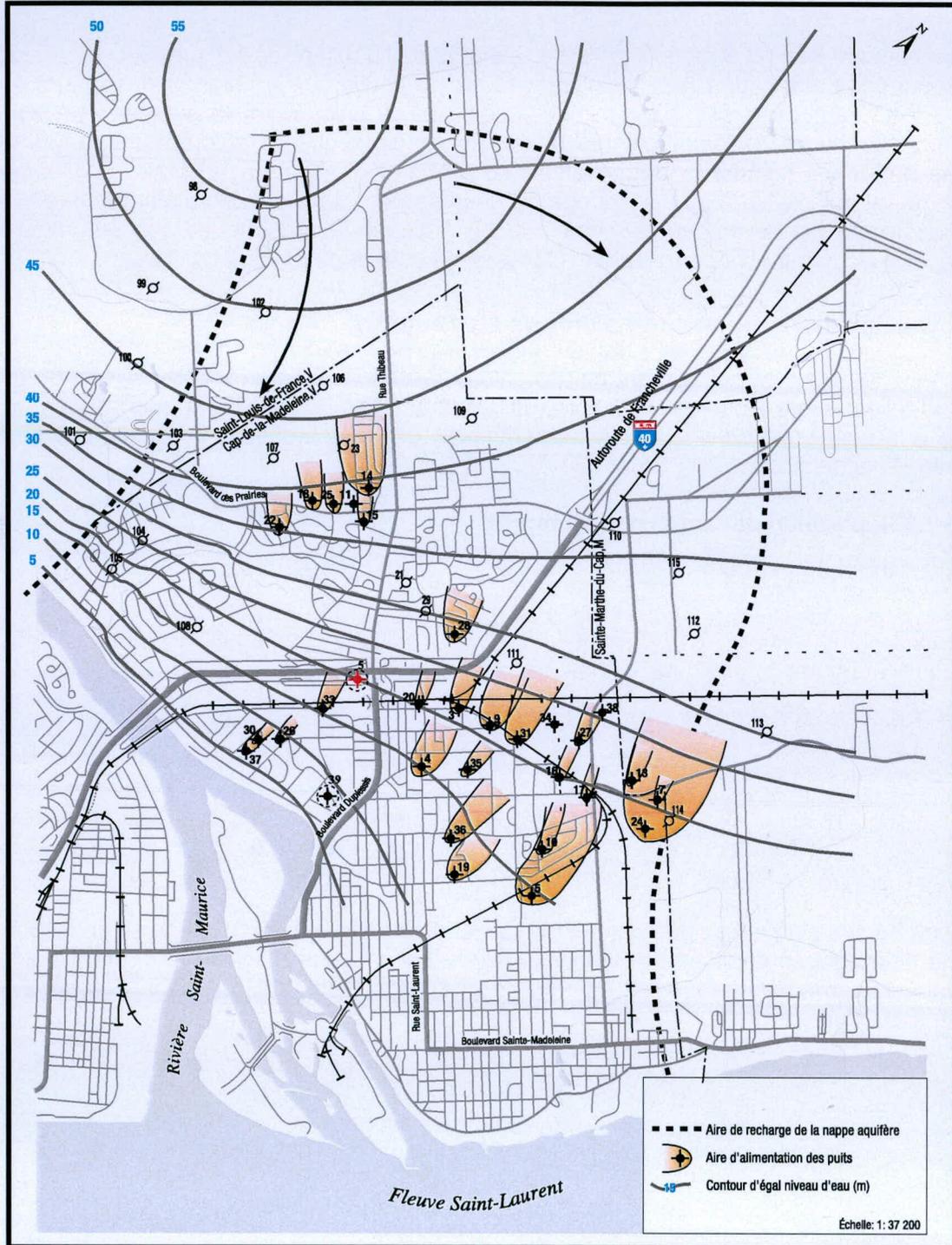
Pour aider à localiser les points d'entrée des chlorures, la zone à l'étude a été divisée en quatre secteurs délimités par l'autoroute 40 et la rue Thibeau. Les puits sont répartis de la manière illustrée à la Figure 2.1 dans les 4 secteurs définis. Les puits qui sont suivis d'un astérisque n'ont pas été échantillonnés en 1983.

Figure 2.1 Répartition des puits par secteurs

<p>(N-O) S2</p> <p style="text-align: center;">14 15 18</p> <p style="text-align: center;">22 25</p> <hr style="border: 0.5px solid black;"/> <p style="text-align: center;">26</p> <p style="text-align: center;">30 33 37*</p> <p>(S-O) S3</p>		<p style="text-align: center;">S1 (N-E)</p> <p style="text-align: center;">28</p> <hr style="border: 0.5px solid black;"/> <p style="text-align: center;">3 4 5 7</p> <p style="text-align: center;">10 13 17 19</p> <p style="text-align: center;">20 24 27</p> <p style="text-align: center;">31 34* 35* 36 38*</p> <p style="text-align: center;">S4 (S-E)</p>
--	--	---

La recherche des points d'entrée des chlorures s'effectue en partant d'un puits et en remontant les filets d'eau qui se déplacent perpendiculairement aux lignes d'égal niveau piézométrique, de l'aval vers l'amont. La Figure 2.2 permet de remonter l'aire d'alimentation des puits sous étude.

Figure 2.2 Caractéristiques de la nappe aquifère et des puits municipaux

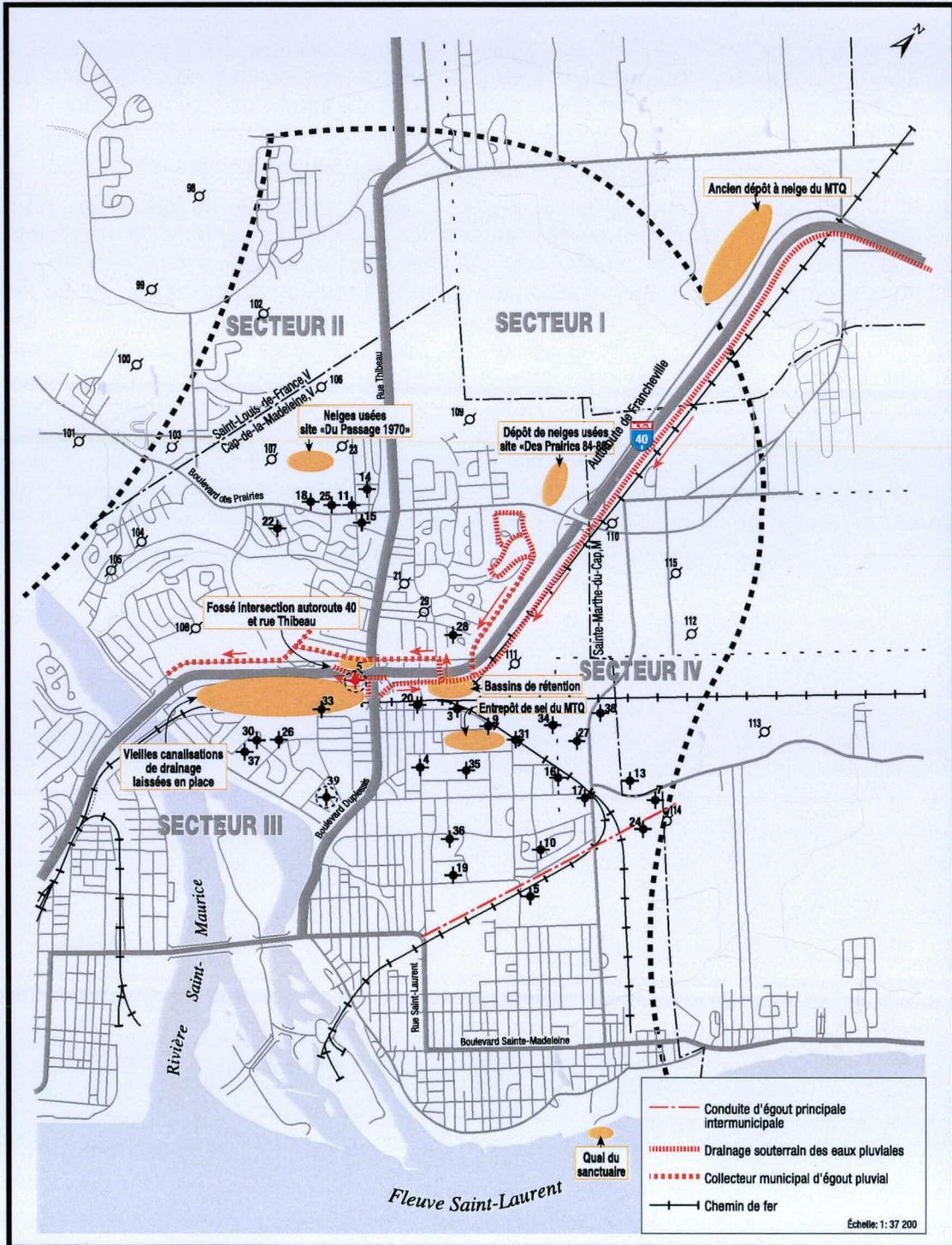


2.2 Infrastructures et utilisations du sol présentant un potentiel de contamination

Les infrastructures de génie civil et les utilisations du sol constituant des points d'entrée potentiels des chlorures sont localisés à la Figure 2.3. Comme le sol qui recouvre l'aquifère est constitué de sable, les précipitations qui tombent au sol pénètrent directement dans le sol. Pour cette raison, on ne voit pas de cours d'eau sur le dessus du plateau. Cela revient à dire que les chlorures peuvent entrer par n'importe quel point à la surface de l'aquifère.

Évidemment, tout le réseau routier est à risque, qu'il soit municipal ou provincial, dans la mesure où on y épand du sel et que les eaux chlorurées ne sont pas captées par un réseau de drainage, encore faut-il que ce réseau soit étanche. La localisation des fossés et des canalisations souterraines du système de drainage de ces routes est importante en ce sens. Viennent ensuite les sites de dépôt des neiges usées qui contribuaient à l'entrée des chlorures puisqu'il n'existe plus de dépôt encore en opération. Enfin, l'entrepôt de sel du MTQ constituait jusqu'à tout récemment un site à risque parce qu'on y faisait le stockage et la manipulation de grandes quantités de chlorure de sodium. Enfin, le bassin de rétention conçu pour recevoir les eaux de précipitations ayant une occurrence centenaire et localisé au sud de l'autoroute pourrait représenter un site à risque dans le cas où celui-ci ne serait pas étanche. Toutefois, celui-ci n'a jamais servi et pensons pour cette raison qu'il ne puisse ici être un point d'entrée des chlorures.

Figure 2.3 Sites potentiels d'entrée des chlorures dans la nappe aquifère.



3 DONNÉES DE DÉPART

Les résultats d'analyse effectués d'une part par le MENVIQ en 1983 et par la Municipalité de Cap-de-la-Madeleine entre octobre et décembre 1994 sont présentés au Tableau 3.1.

Tableau 3.1 Résultats d'analyse de vingt trois puits en 1983 et en 1994

No. puits	Date	Chlor./83 (ppm)	Chlor./94 (ppm)
3	94/10/17	15	131
4	94/10/12	31	87
5	94/10/12	93	98
7	94/10/12	1	15
10	94/10/12	22	48
13	94/10/12	8	10
14	94/10/20	56	93,5
15	94/12/19	51	70
16	94/10/06	7	27,5
17	94/10/06	49	64
18	94/10/20	2	3
19	94/10/06	45	48,5
20	94/10/17	67	117,5
22	94/11/08	14	18
24	94/11/08	5	13
25	94/11/08	3	11,5
26	94/12/19	101	203
27	94/11/02	25	25,5
28	94/11/20	46	74,5
30	94/12/19	103	213
31	94/11/20	8	64
33	94/11/02	123	268
34	94/12/19	-	40,5
35	94/10/06	-	169
36	94/10/06	43	81
37	94/11/02	-	212
38	94/10/06	-	80,5
Total:		23 puits	27 puits
<i>NB: Classement par numéro de puits</i>			

La Municipalité de Cap-de-la-Madeleine possédait également les résultats d'analyse de l'eau de sept puits s'échelonnant sur une période de 25 années. Ces résultats sont présentés au Tableau 3.2

Tableau 3.2 Résultats d'analyse de sept puits entre 1970 et 1995

DATE	#3	#20	#26	#30	#33	#35	#37	
70/01/01								
70/11/01	15		90					
71/04/01	16,5							
72/01/01	35	30						
74/11/01	5	15						
76/02/01	2,5	20						
80/02/01			100					
80/08/01	20	60	90	85	141,7			
81/02/01	8	56	116	76				
82/01/01			124					
83/07/01	15	67	101	103	123			
84/05/01	18	11	101	108	160	26,1		
85/12/01	22	38	130		145	30		
88/01/01			118	120	169	34	127	
88/08/01		95						
89/07/01	73	101			205		154	
90/04/01	62	127	199			79	118	
91/05/01	56	119	146	150	215	59	152	
92/05/01	82,5			157	243	71	148	
93/01/01					268			
94/09/01	116,5	117,5	193	213			203	
95/02/01	131				268	169	212	
	(N.B.: les unités sont en ppm)							

4 PORTRAIT DE L'ANNÉE 1983

En 1983, la concentration en chlorures a été mesurée dans 23 puits. L'état de la situation est présenté dans les pages suivantes sous trois aspects: un portrait d'ensemble (concentration en chlorure des puits par ordre croissant et la concentration en chlorure des puits par ordre décroissant), un portrait par classe et un portrait par secteur.

4.1 Portrait d'ensemble en 1983

Tableau 4.1 Concentration en chlorure
par ordre croissant de no.
de puits

No. puits	Chlor./83
3	15
4	31
5	93
7	1
10	22
13	8
14	56
15	51
16	7
17	49
18	2
19	45
20	67
22	14
24	5
25	3
26	101
27	25
28	46
30	103
31	8
33	123
36	43

Tableau 4.2 Concentration en chlorure
par ordre décroissant de
concentration

No. puits	Chlor./83
33	123
30	103
26	101
5	93
20	67
14	56
15	51
17	49
28	46
19	45
36	43
4	31
27	25
10	22
3	15
22	14
13	8
31	8
16	7
24	5
25	3
18	2
7	1

Nombre de puits	23
Moyenne de la concentration en chlorure (ppm)	39,9
Médiane:	43,0
Mode:	8,0

Résumé :

Les concentrations en chlorure fluctuent entre les valeurs de 1 ppm et de 123 ppm. La moyenne de la teneur en chlorure pour l'ensemble des 23 puits est de 39,9 ppm.

4.2 Portrait par classes de contamination en 1983

Dans cette section, les puits ont été séparés en classes de manière à favoriser la visualisation du niveau de contamination. Les quatre classes de concentration en chlorure ayant servi à cette classification sont présentées au Tableau 4.3.

Tableau 4.3 Classes de contamination

Classe	Plage				
I	50	>	x	>	0
II	100	>	x	≥	50
III	200	>	x	≥	100
IV			x	≥	200

Tableau 4.4 Regroupement par classe de contamination

No. puits	Chlor./83 (ppm)	Classe
33	123	III
30	103	
26	101	
5	93	II
20	67	
14	56	
15	51	
17	49	I
28	46	
19	45	
36	43	
4	31	
27	25	
10	22	
3	15	
22	14	
13	8	
31	8	
16	7	
24	5	
25	3	
18	2	
7	1	
Nb de puits :	23	

Tableau 4.5 Nombre de puits par classe:

Classe	Plage	Nb. puits
IV	cl. \geq 200	0
III	200 > cl. \geq 100	3
II	100 > cl. \geq 50	4
I	50 > cl. > 0	16

Enfin, pour être en mesure de visualiser les résultats, une couleur a été attribuée à chacune des classes et transposée sur la carte des puits municipaux présentée à la Figure 4.1 Ensuite, pour tenter de détecter la source de la contamination, la zone de recharge de chacun des puits a été colorée de la même manière à la Figure 4.2.

4.3 Portrait par secteur en 1983

Les mêmes données sont regroupées ici par secteurs, les quatre secteurs définis au chapitre deux.

Tableau 4.6 Regroupement par secteur

Puits	S1	S2	S3	S4
	Concentration	Classe		
28	46	I		
		Concentration.	Classe	
14		56	II	
15		51	II	
22		14	I	
25		3	I	
18		2	I	
			Concentration.	Classe
33			123	III
30			103	III
26			101	III
37			-	-
			Concentration.	Classe
35			-	-
38			-	-
34			-	-
5			93	II
20			67	II
17			49	I
19			45	I
36			43	I
4			31	I
27			25	I
10			22	I
3			15	I
31			8	I
13			8	I
16			7	I
24			5	I
7			1	I

Tableau 4.7 Moyenne des concentrations en chlorure par secteur en 1983

Secteur	Moyenne 1983
I	46,0
II	25,2
III	109,0
IV	29,9

Les résultats montrent que déjà en 1983 le secteur III était le plus contaminé; la moyenne de la concentration dépasse de deux à quatre fois celle des trois autres secteurs

4.4 Analyse des résultats

Sept puits ont une concentration en chlorure supérieure à 100 ppm, toutefois, un seul puits dépasse le seuil des 200 ppm.

La concentrations en chlorure dans les puits 14 et 15 se situe entre 50 et 100 ppm. Ils sont localisés à proximité de l'intersection de la rue Thibeau avec le boulevard Des Prairies dans le secteur II.

Les trois puits les plus contaminés ($cl > 100$ ppm) sont situés au sud de l'autoroute dans le secteur III et sont orientés dans selon un axe nord-sud; il s'agit des puits 33, 26 et 30. Le puits 37 n'a pas été échantillonné en 1983.

Les puits 5 et 20 ont aussi des concentrations se situant entre 50 et 100 ppm. Le puits 20, est situé en bordure de l'autoroute et, le puits 5, plus au sud, se retrouve à proximité du chemin de fer et de la conduite d'égout intermunicipale.

EN RÉSUMÉ POUR 1983

Les trois puits montrant les niveaux de concentration les plus élevés en 1983 sont les puits 26, 30 et 33 appartiennent tous à la Classe III et sont situés dans le secteur Secteur III, en bordure et au sud de l'autoroute.

Les quatre puits suivants sur l'échelle de la concentration en chlorure sont les puits 14, 15, 5 et 20. Ils appartiennent tous à la Classe II et sont situés en partie dans le Secteur II et en partie dans le secteur IV.

Tous les autres puits appartiennent à la classe I.

Figure 4.1 Puits par classes de contamination en 1983

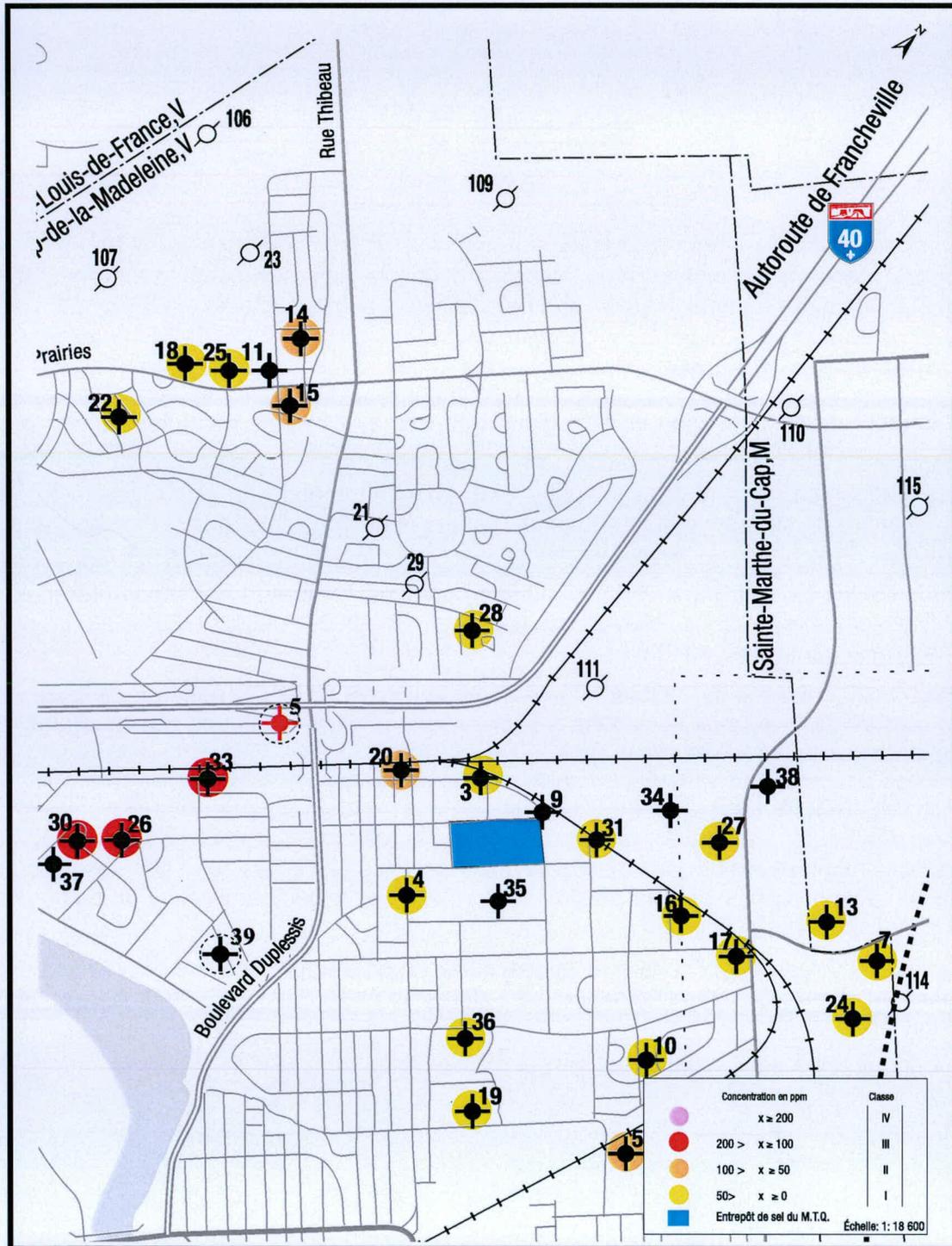
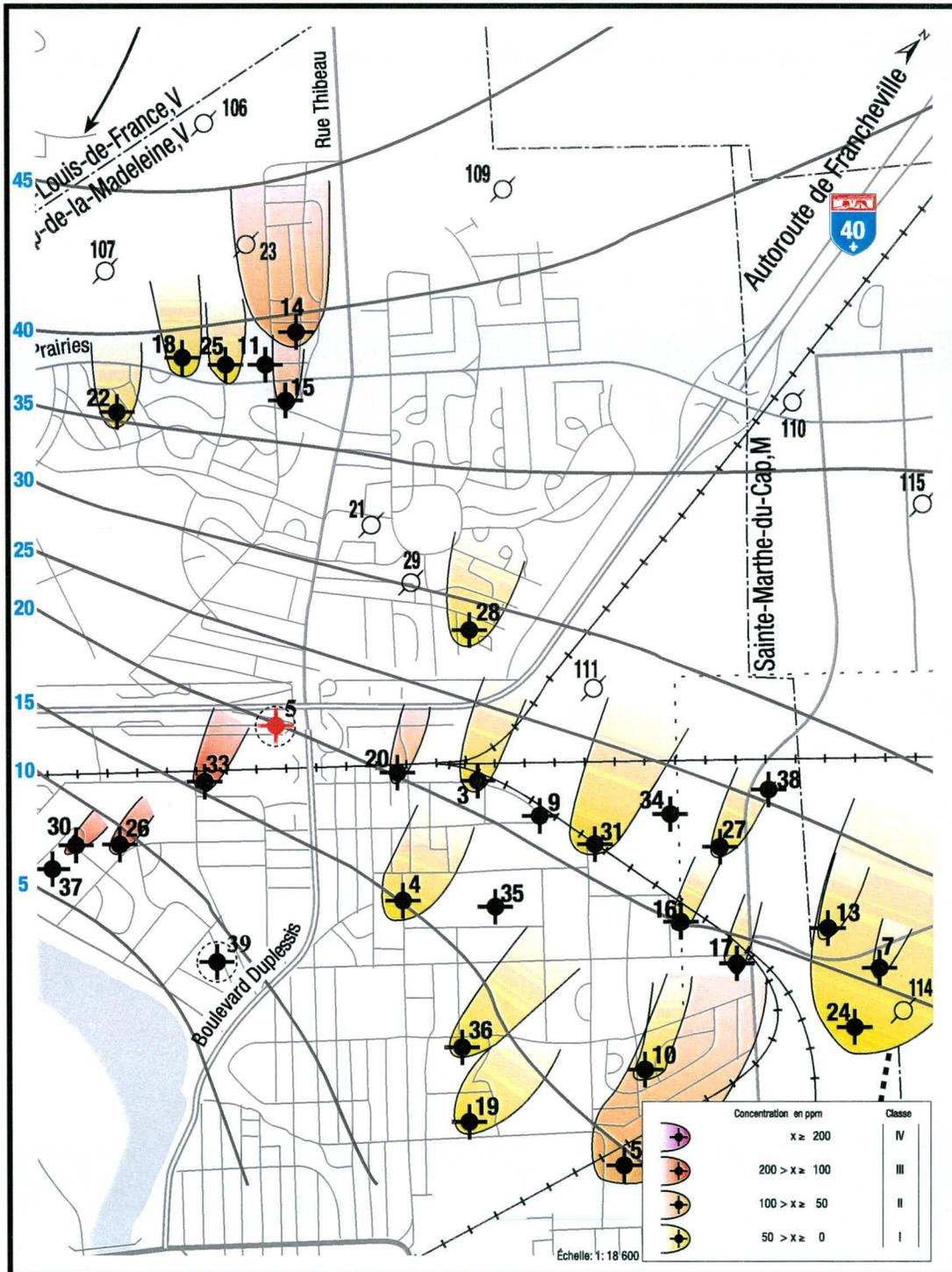
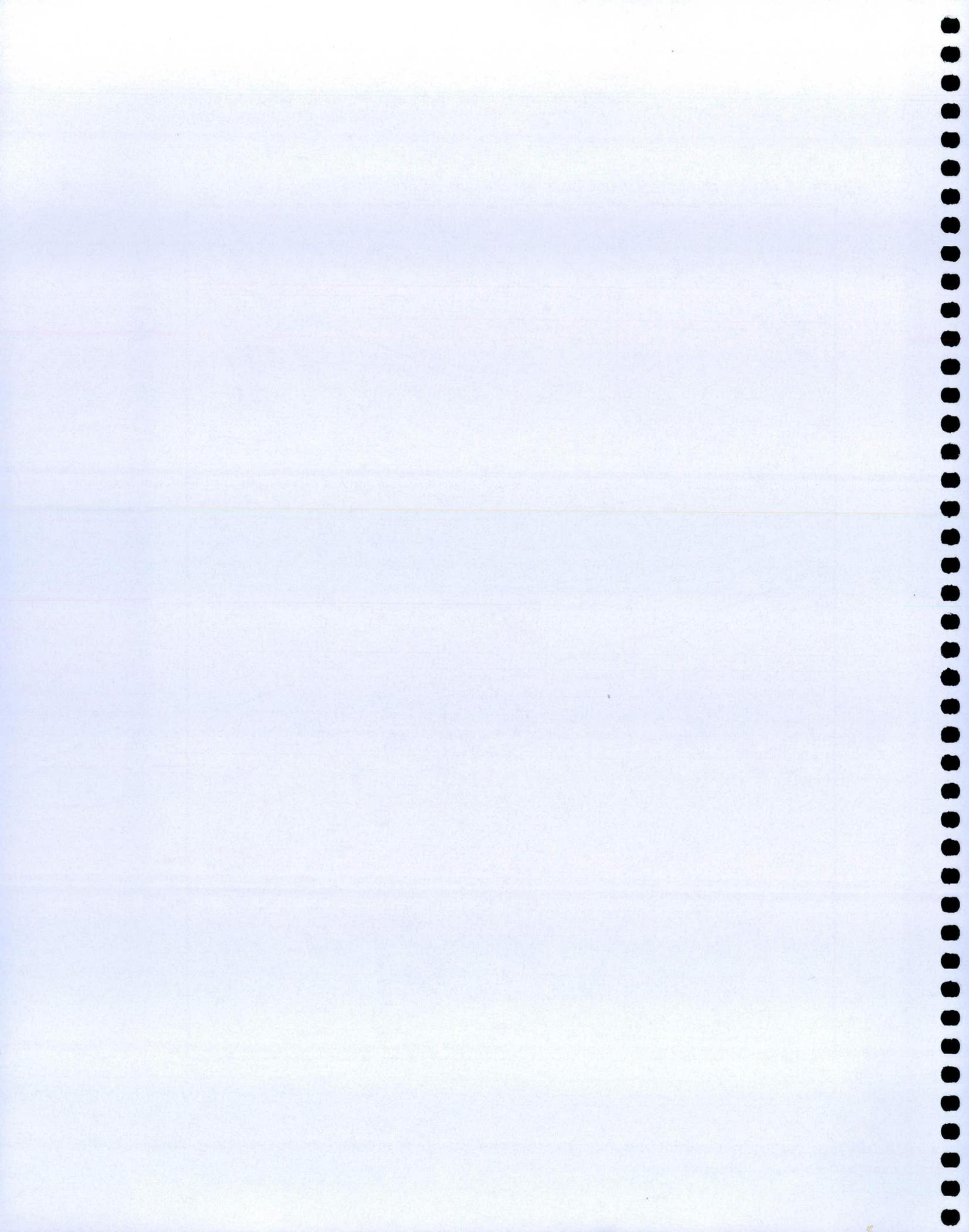


Figure 4.2 Aires d'alimentation des puits par classes de contamination en 1983





5 PORTRAIT DE L'ANNÉE 1994

Onze ans plus tard, en 1994, 27 puits étaient analysés contre 23 en 1983, soit 4 de plus. Les puits 34, 35, 37 et 38 ont été ajoutés à la liste des précédents.

5.1 Portrait d'ensemble en 1994

Tableau 5.1 Concentration en chlorure par ordre croissant de no. de puits

No. Puits	Chlor./94 (ppm)
3	131
4	87
5	98
7	15
10	48
13	10
14	93,5
15	70
16	27,5
17	64
18	3
19	48,5
20	117,5
22	18
24	13
25	11,5
26	203
27	25,5
28	74,5
30	213
31	64
33	268
34	40,5
35	169
36	81
37	212
38	80,5

Tableau 5.2 Concentration en chlorure par ordre décroissant de concentration

No. puits	Chlor./94 (ppm)
33	268
30	213
37	212
26	203
35	169
3	131
20	117,5
5	98
14	93,5
4	87
36	81
38	80,5
28	74,5
15	70
31	64
17	64
19	48,5
10	48
34	40,5
16	27,5
27	25,5
22	18
7	15
24	13
25	11,5
13	10
18	3

Donnés statistiques :

Moyenne	: 84,7 ppm.
Médiane	: 70 ppm
Mode	: 64

Résumé :

Les teneurs en chlorure varient entre 3 et 268 ppm, la moyenne étant, pour l'ensemble des 27 puits, de 84,7 ppm.

5.2 Portrait par classes de contamination en 1994

Les puits ont été regroupés dans les classes de contamination définies précédemment au Tableau 4.3.

Tableau 5.3 Regroupement par classe de contamination

No. puits	Chlor./94 (ppm)	Classe
33	268	IV
30	213	
37	212	
26	203	
35	169	III
3	131	
20	117,5	
5	98	II
14	93,5	
4	87	
36	81	
38	80,5	
28	74,5	
15	70	
31	64	
17	64	
19	48,5	
10	48	
34	40,5	
16	27,5	
27	25,5	
22	18	
7	15	
24	13	
25	11,5	
13	10	
18	3	

Les résultats du Tableau 5.3 sont représentés spatialement à la Figure 5.1. L'aire d'alimentation des puits est illustrée à la Figure 5.2 pour faciliter le repérage des sources de contamination.

Tableau 5.4 Nombre de puits par classe

Classe	Plages	Nb. puits
IV	$cl \geq 200$	4
III	$200 > cl \geq 100$	3
II	$100 > cl \geq 50$	9
I	$50 > cl \geq 0$	11

Figure 5.1 Puits par classes de contamination en 1994

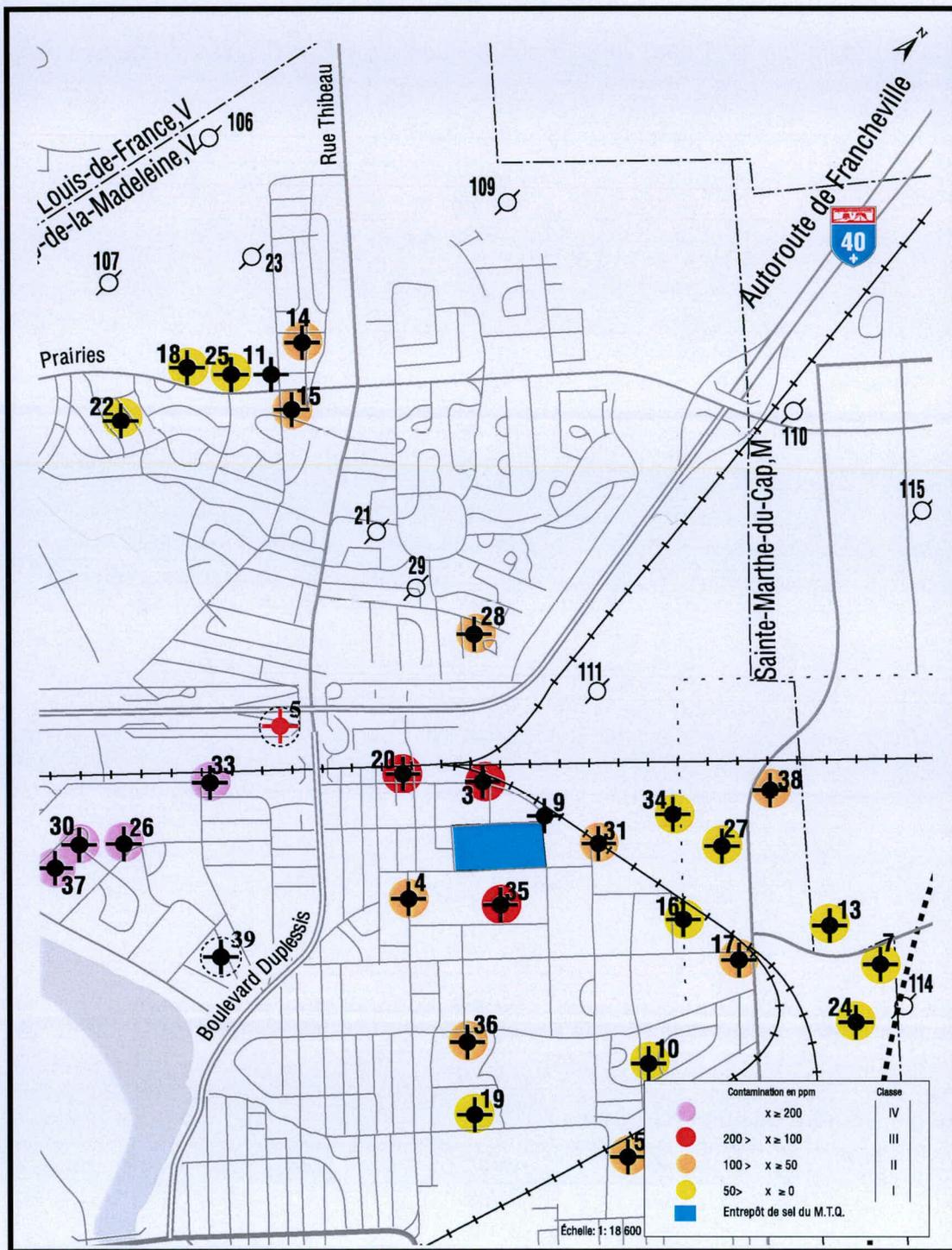
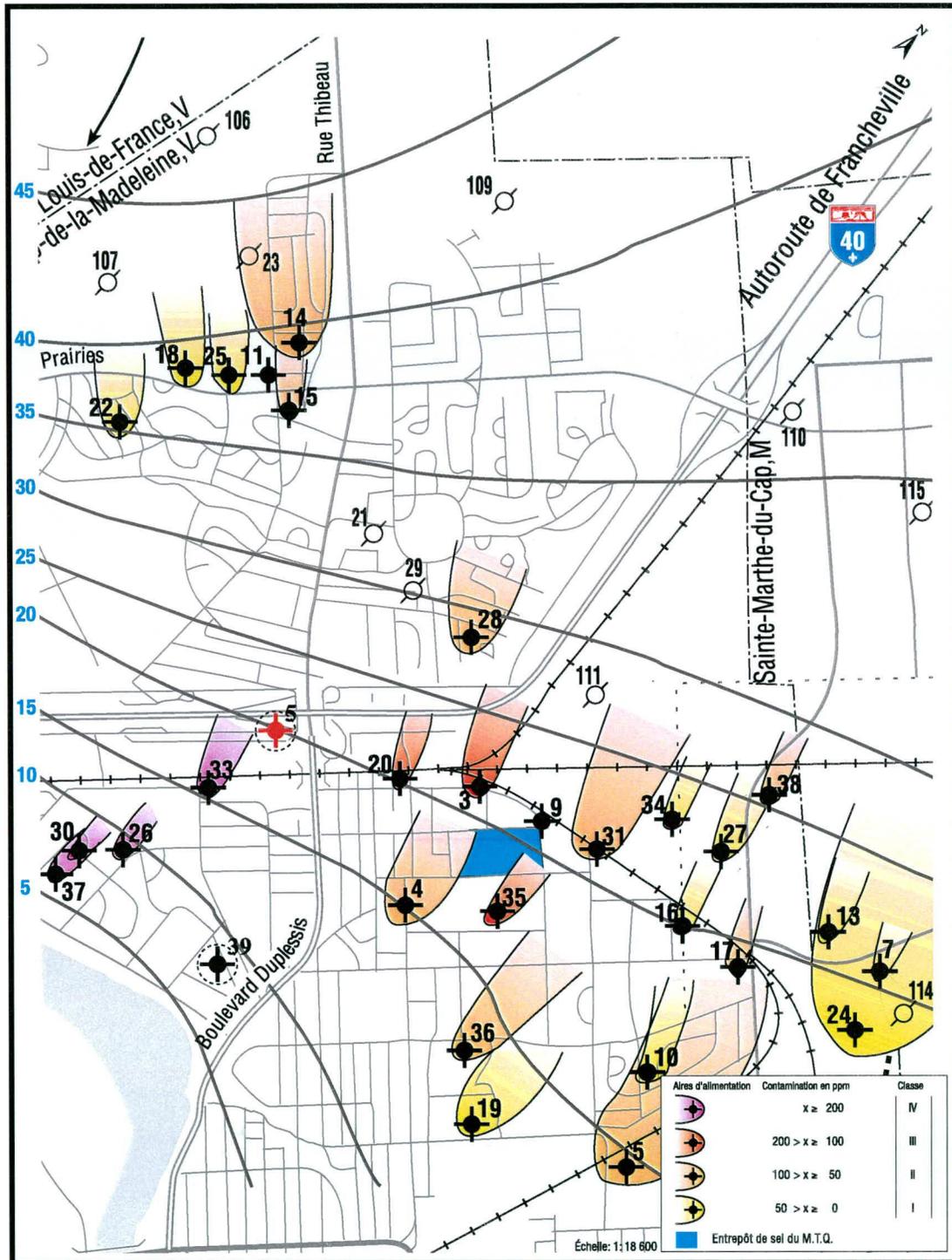


Figure 5.2 Aires d'alimentation des puits par classes de contamination en 1994



5.3 Portrait par secteur en 1994

Tableau 5.5 Portrait par secteur

Puits	S1	S2	S3	S4
Concentration	Classe			
28	74,5	II		
	Concentration	Classe		
14		93,5	II	
15		70	II	
22		18	I	
25		11,5	I	
18		3	I	
		Concentration	Classe	
33		268	IV	
30		213	IV	
37		212	IV	
26		203	IV	
		Concentration	Classe	
35		169	III	
3		131	III	
20		117,5	III	
5		98	II	
4		87	II	
36		81	II	
38		80,5	II	
17		64	II	
31		64	II	
19		48,5	I	
10		48	I	
34		40,5	I	
16		27,5	I	
27		25,5	I	
7		15	I	
24		13	I	
13		10	I	

Tableau 5.6 Moyenne des concentrations en chlorure par secteur en 1994

Secteur	Moyenne 1994
I	74,5
II	39,2
III	224,0
IV	65,9

5.4 Analyse des résultats

Les puits du secteur II subissent des hausses mais demeurent tout de même à l'intérieur de leurs classes respectives de contamination.

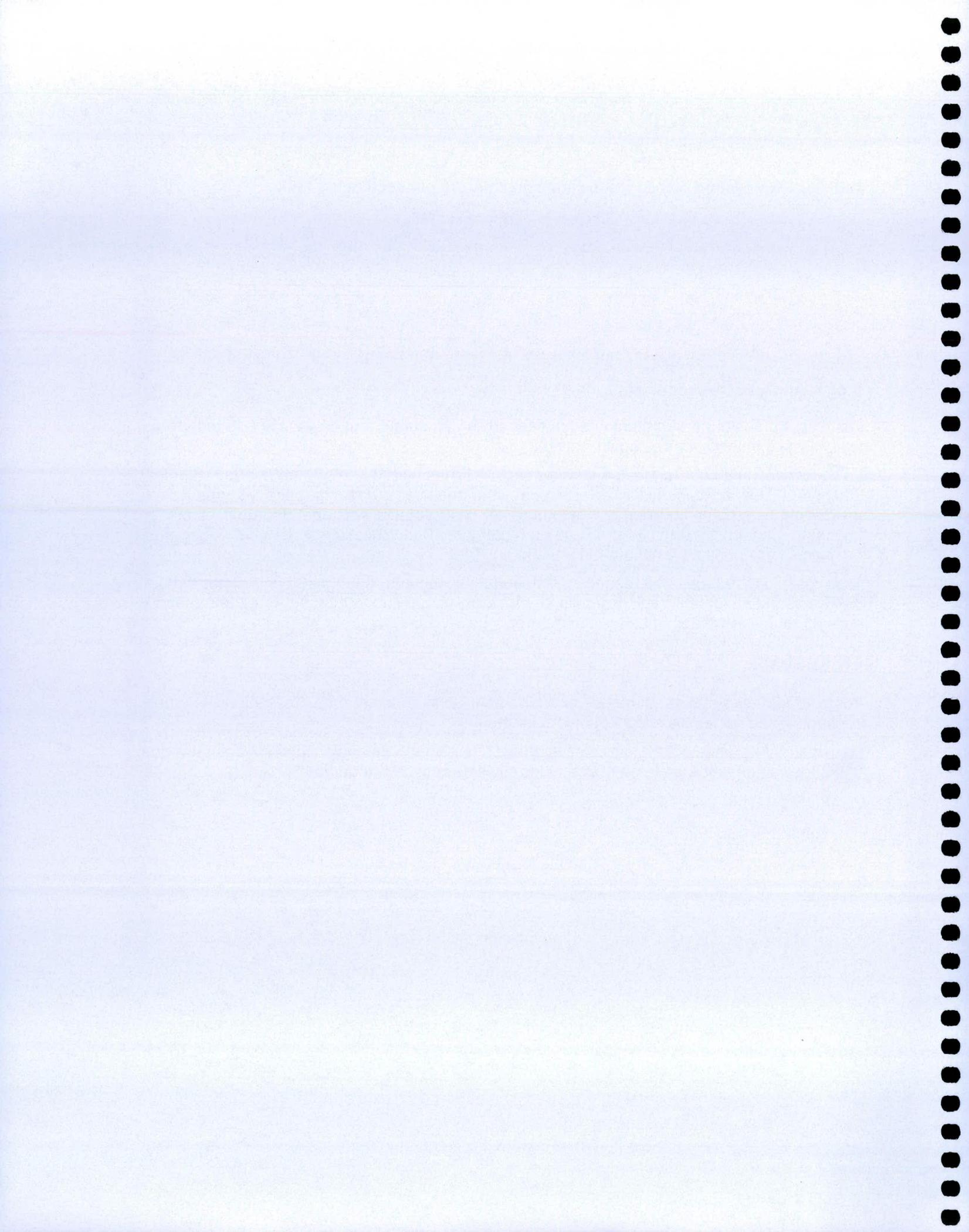
La concentration en chlorure des 4 puits du secteur III, les puits 33, 26, 30 et 37 dépassent les 200 ppm. Des concentrations de 268 ppm sont mesurées dans le puits 33 dépassant maintenant la recommandation sur la qualité de l'eau potable pour les chlorures établie à 250 ppm. Ces 4 puits sont situés au sud de l'autoroute 40 et sont alignés. Le puits 37, le plus méridional des quatre, n'avait pas été analysé en 1983.

Trois puits se retrouvent à des concentrations supérieures ou égales à 100 ppm mais inférieures à 200 ppm. Il s'agit des puits 20 et 3 localisés au sud tout près de l'autoroute et du puits 35 situé immédiatement au sud de l'entrepôt de sel du MTQ.

EN RÉSUMÉ:

Les puits de classe IV se retrouvent exclusivement dans le secteur III. Ce secteur est sans contredit le secteur le plus affecté par les chlorures.

Le secteur IV est le deuxième le plus sévèrement affecté par cette contamination. Les puits 35, 3 et 20 appartiennent à la classe III et sont les seuls dans cette catégorie.



6 ÉVOLUTION DE LA SITUATION ENTRE 1983 ET 1994

Seulement 23 des 27 puits permettent de suivre l'évolution de la situation entre 1983 et 1994 puisque seulement ce nombre a fait l'objet d'un échantillonnage sur ces deux années.

6.1 Hausses des concentrations en chlorure enregistrées entre 1983 et 1994

Le Tableau 6.1 présente les hausses observées entre 1983 et 1994 et les classes de hausses, suivi de la définition des classes. Les valeurs sont classées en ordre décroissant.

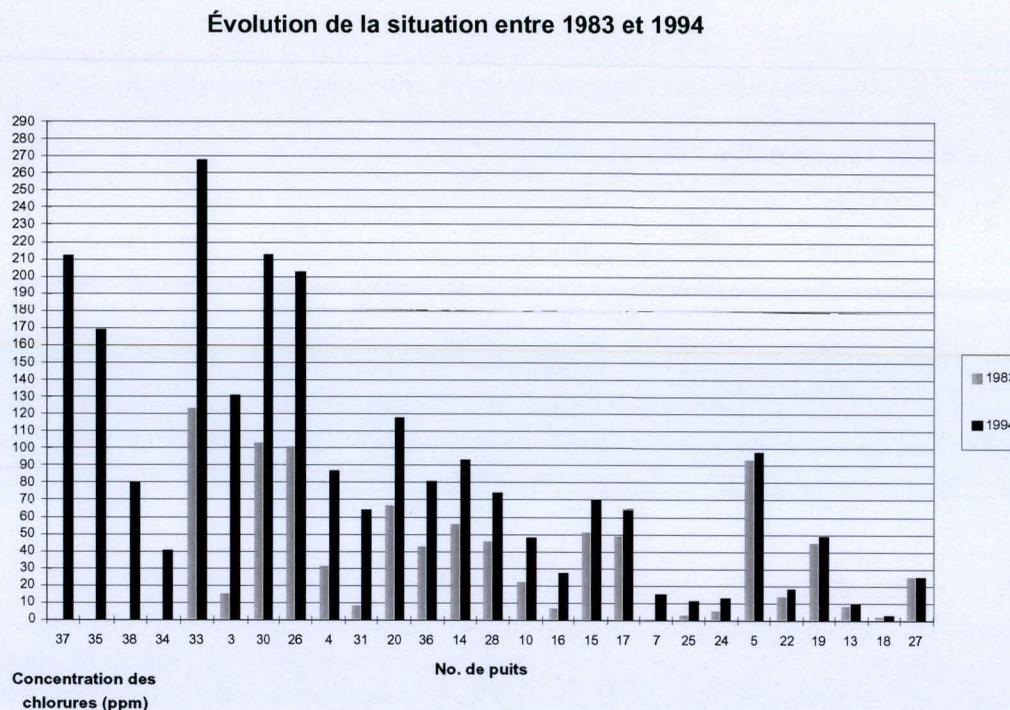
Tableau 6.1 Hausses entre 1983 et 1994

No. puits	[C] 1983	[C] 1994	Hausse (ppm)	Classe de hausse
33	123	268	145	IV
3	15	131	116	IV
30	103	213	110	IV
26	101	203	102	IV
31	8	64	56	III
4	31	87	56	III
20	67	117,5	50,5	III
36	43	81	38	II
14	56	93,5	37,5	II
28	46	74,5	28,5	II
10	22	48	26	II
16	7	27,5	20,5	I
15	51	70	19	I
17	49	64	15	I
7	1	15	14	I
25	3	11,5	8,5	I
24	5	13	8	I
5	93	98	5	I
22	14	18	4	I
19	45	48,5	3,5	I
13	8	10	2	I
18	2	3	1	I
27	25	25,5	0,5	I
37	-	212	NA	-
35	-	169	NA	-
38	-	80,5	NA	-
34	-	40,5	NA	-

Classe	Plage				
IV		x	≥		100
III	100	>	x	≥	50
II	50	>	x	≥	25
I	25	>	x	≥	0

La Figure 6.1 présente les hausses sous la forme d'un histogramme, en commençant à droite par les hausses les plus faibles.

Figure 6.1 Valeurs des concentrations en 1983 et en 1994 pour 23 puits



Le Tableau 6.2 présente la moyenne, la médiane et le mode pour les années 1983 et 1994 et en exprime les hausses.

Tableau 6.2 Variation des valeurs statistiques.

	1983	1994	Hausse (ppm)	Accroissement (nb fois)
Moyenne	39,9	84,7	37,7	2,12
Médiane	43,0	74,5	26,0	1,73
Mode	8,0	64,0	56,0	8,0

6.2 Accroissements des concentrations enregistrés entre 1983 et 1994

Le Tableau 6.3 présente les accroissements observés entre 1983 et 1994 ainsi que les classes d'accroissement suivi de la définition des classes. Les valeurs sont classées en ordre décroissant.

Tableau 6.3 Accroissements entre 1983 et 1994

No. puits	[C] 1983	[C] 1994	Accroissement (nb de fois)	Classe d'accroissement
7	1	15	15,0	IV
3	15	131	8,7	IV
31	8	64	8,0	IV
16	7	27,5	3,9	III
25	3	11,5	3,8	III
4	31	87	2,8	III
24	5	13	2,6	III
10	22	48	2,2	III
33	123	268	2,2	III
30	103	213	2,1	III
26	101	203	2,0	III
36	43	81	1,9	II
20	67	117,5	1,8	II
14	56	93,5	1,7	II
28	46	74,5	1,6	II
18	2	3	1,5	II
15	51	70	1,4	I
22	14	18	1,3	I
13	8	10	1,3	I
17	49	64	1,3	I
5	93	98	1,1	I
19	45	48,5	1,1	I
27	25	25,5	1,0	I
37	-	212	NA	-
35	-	169	NA	-
38	-	80,5	NA	-
34	-	40,5	NA	-
	39,9	84,7		

Classe	Plage (nb de fois)				
IV		x	≥		8
III	8	>	x	≥	2
II	2	>	x	≥	1,5
I	1,5	>	x	≥	0

On remarquera que la moyenne de la concentration en chlorure pour l'ensemble des puits a plus que doublée, passant de 39,9 à 84,7 ppm.

Le Tableau 6.4 dresse un portrait des hausses et des accroissements suivant l'ordre décroissant des concentrations en chlorure en 1994 lesquelles sont rassemblées en classes.

Tableau 6.4 Portrait des hausses et des accroissements par classe entre 1983 et 1994

No. puits	[C] 1983	Classe 1983	Classe 1994	[C] 1994	Hausse	Accroissement
33	123	III	IV	268	145	2,2
30	103	III	IV	213	110	2,1
37	-	-	IV	212	NA	NA
26	101	III	IV	203	102	2,0
35	-		III	169	NA	NA
3	15	I	III	131	116	8,7
20	67	II	III	117,5	50,5	1,8
5	93	II	II	98	5	1,1
14	56	II	II	93,5	37,5	1,7
4	31	I	II	87	56	2,8
36	43	I	II	81	38	1,9
38	-	-	II	80,5	NA	NA
28	46	I	II	74,5	28,5	1,6
15	51	II	II	70	19	1,4
31	8	I	II	64	56	8,0
17	49	I	II	64	15	1,3
19	45	I	I	48,5	3,5	1,1
10	22	I	I	48	26	2,2
34	-	-	I	40,5	NA	NA
16	7	I	I	27,5	20,5	3,9
27	25	I	I	25,5	0,5	1,0
22	14	I	I	18	4	1,3
7	1	I	I	15	14	15,0
24	5	I	I	13	8	2,6
25	3	I	I	11,5	8,5	3,8
13	8	I	I	10	2	1,3
18	2	I	I	3	1	1,5

En 1994, la situation s'est dégradée puisque l'on compte plus de puits contaminés dans les classes supérieures de contamination, ce que met en relief le Tableau 6.5.

Tableau 6.5 Nombre de puits par classes entre 1983 et 1994

Classe	Plages	1983	1994	Différentiel
IV	$cl \geq 200$	0	3	+ 3
III	$200 > cl \geq 100$	3	2	- 1
II	$100 > cl \geq 50$	4	8	+ 4
I	$50 > cl \geq 0$	16	10	- 6

6.3 Portrait par secteur entre 1983 et 1994

Le Tableau 6.6 indique quels secteurs ont subi les plus fortes détériorations. Ce tableau présente un synthèse de tous les paramètres, classes, concentrations, hausses et accroissements, le tout ordonné en fonction des secteurs. Pour chacun des secteurs, les données sont classés en ordre décroissant des valeurs de concentration de 1994.

Tableau 6.6 Portrait des hausses et des accroissements par secteur entre 1983 et 1994

Secteur	No. puits	[C] 1983	Classe 1983	Classe 1994	[C] 1994	Hausse	Accroissement
1	28	46	I	II	74,5	28,5	1,6
2	14	56	II	II	93,5	37,5	1,7
2	15	51	II	II	70	19	1,4
2	22	14	I	I	18	4	1,3
2	25	3	I	I	11,5	8,5	3,8
2	18	2	I	I	3	1	1,5
3	33	123	III	IV	268	145	2,2
3	30	103	III	IV	213	110	2,1
3	37	-	-	IV	212	NA	NA
3	26	101	III	IV	203	102	2,0
4	35	-		III	169	NA	NA
4	3	15	I	III	131	116	8,7
4	20	67	II	III	117,5	50,5	1,8
4	5	93	II	II	98	5	1,1
4	4	31	I	II	87	56	2,8
4	36	43	I	II	81	38	1,9
4	38	-	-	II	80,5	NA	NA
4	17	49	I	II	64	15	1,3
4	31	8	I	II	64	56	8,0
4	19	45	I	I	48,5	3,5	1,1
4	10	22	I	I	48	26	2,2
4	34	-	-	I	40,5	NA	NA
4	16	7	I	I	27,5	20,5	3,9
4	27	25	I	I	25,5	0,5	1,0
4	7	1	I	I	15	14	15,0
4	24	5	I	I	13	8	2,6
4	13	8	I	I	10	2	1,3

6.4 Analyse des résultats

Une analyse des hausses et des accroissements de la concentration en chlorure des puits par secteur est présentée au Tableau 6.7.

Tableau 6.7 Moyenne des hausses et des accroissements par secteur.

Secteur	Moyenne 1983	Moyenne 1994	Hausse	Accroissement
I	46	74,5	28,5	1,6
II	25,2	39,2	14	1,9
III	109	224	119	2,1
IV	29,9	65,9	29,4	3,8

Hausses par secteur

Le secteur III présente la plus forte hausse de la moyenne des concentrations en chlorure de ses puits en terme absolu avec une valeur de 119 ppm. Ces hausses se situent entre 145 et 102 ppm. La hausse moyenne est environ 4 fois supérieure à celle des secteurs I et IV, et 8 fois supérieure à celle du secteur II. La Figure 6.2 permet de localiser à la surface de l'aquifère les puits en fonction de la hausse de leur concentration en chlorure entre 1983 et 1994.

Accroissements par secteurs

Le secteur I a subi la plus petite dégradation avec un facteur d'accroissement de 1,6. Les secteurs II et III ont vu leur état se dégrader de façon sensiblement identique avec un facteur d'accroissement de près de 2. Par contre le secteur IV a subi la dégradation la plus importante; la moyenne des concentrations en chlorure s'est accrue de près de 4 fois (3,8), soit près du double de celle des secteurs II et III. La Figure 6.3 aide à localiser à la surface de l'aquifère les puits en fonction de l'accroissement de leur concentration en chlorure entre 1983 et 1994.

En résumé

Le secteur III a subi les plus fortes hausses et est le plus affecté par la contamination en chlorure en terme absolu alors que le secteur IV a subi la dégradation la plus importante puisque c'est ce secteur qui présente le plus fort accroissement de la concentration moyenne dans ses puits.

Figure 6.2 Puits par classes de hausse entre 1983 et 1994

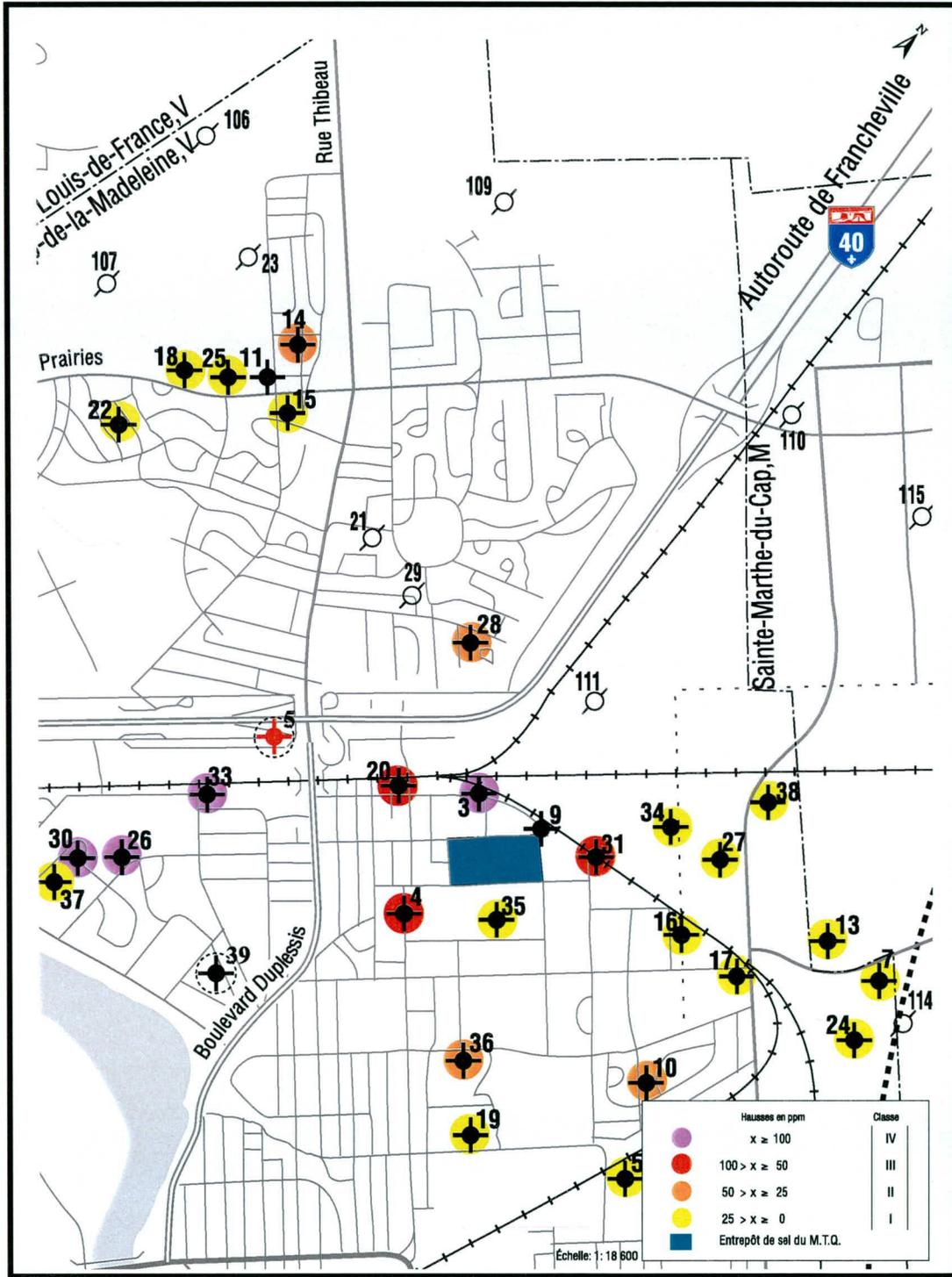
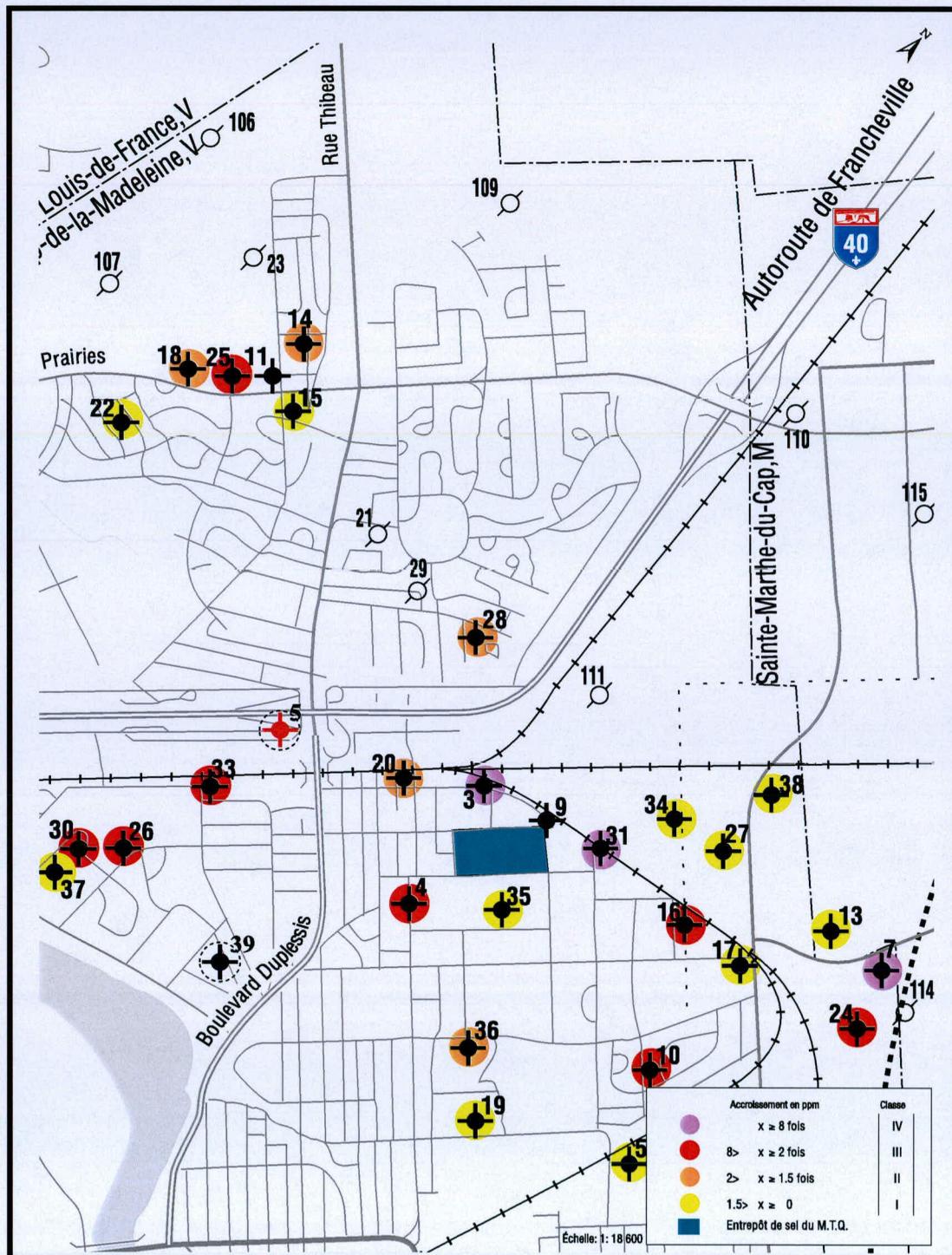


Figure 6.3 Puits par classes d'accroissement entre 1983 et 1994



7 ÉTUDE DES FOYERS DE CONTAMINATION

La recherche des foyers de contamination se fait à l'aide de la carte présentée à la Figure 7.1. C'est à partir de l'examen des aires d'alimentation des puits que l'on peut tenter d'établir une relation entre les infrastructures en place et la contamination des puits.

Secteur I (nord-est) 1 puits (puits 28)

Il est difficile de dire avec certitude d'où vient la contamination de ce puits. La zone de recharge de ce puits s'étend dans le secteur résidentiel. La contamination peut provenir soit de la neige contaminée poussée sur les terrains, soit des fuites du réseau d'égouts pluviaux.

Secteur II (nord-ouest); 5 puits (puits 14, 15, 18, 22, 25)

Classe II (14, 15)

Le foyer de contamination des puits 14 et 15 provient selon toute vraisemblance de la rue Thibeau. Les trois puits à proximité sont moins contaminés et le fait que leur aire d'alimentation ne croise pas la rue Thibeau laisse penser que cette dernière est le principal agent de contamination des puits 14 et 15. La rue Thibeau est une artère d'importance dans la Municipalité de Cap-de-la-Madeleine et demande un entretien hivernal de niveau supérieur à celui dévolu aux artères secondaires et aux rues des quartiers résidentiels. L'entretien de cette rue est sous la responsabilité de la Municipalité de Cap-de-la-Madeleine.

Classe I (18, 22, 25)

Les puits 25, 18 et 22 seraient par contre sous l'influence du boulevard des Prairies puisque celui-ci traverse leur aire d'alimentation et, dans une moindre mesure sous influence de la partie amont de la rue Thibeau.

Secteur III (sud-ouest); 4 puits
(puits 26, 30, 33, 37*)

Classe IV (26, 30, 33, 37)

Les quatre puits de ce secteur sont les plus contaminés. L'autoroute est une artère sur laquelle de grandes quantités de fondants sont utilisés (voir le chapitre 13 : *Opérations de déneigement effectuées par le MTQ*). Des vérifications sur le terrain ont permis de constater qu'en effet, le fossé situé dans le coin nord-ouest de l'intersection de la rue Thibeau et de l'autoroute 40 ne débouche nulle part et que les eaux du drainage pluvial qui proviennent d'une partie des bretelles de l'échangeur doivent obligatoirement y percoler.

De plus, cette voie rapide est située directement au-dessus de l'aire d'alimentation du puits 33 et se trouve immédiatement en amont de l'aire d'alimentation des trois autres puits. Ces deux facteurs laissent penser que l'autoroute est la principale source des chlorures mesurés dans ces puits. La faible distance entre le puits 33 et l'autoroute explique sans aucun doute son niveau de contamination élevé. Le puits 33 est le puits le plus contaminé de l'ensemble des puits de la Municipalité. Toutefois les écarts des trois autres puits avec ce premier ne sont pas importants et suggèrent qu'ils subissent la même influence.

Classe I, II et III (aucun puits)

Aucun puits n'appartient aux classes 1, 2 ou 3 dans le secteur III

Secteur IV (sud-est) ; 16 puits

(puits 3, 4, 5, 7, 10, 13, 17, 19, 20, 24, 27, 31, 34*, 35*, 36, 38*)

Ce secteur semble être sous l'influence de plusieurs sources. L'autoroute, le chemin de fer, l'entrepôt de sel du MTQ, la rue Saint-Maurice et possiblement de quelques autres rues qui pourraient concourir à la contamination de l'un ou l'autre des puits de ce secteur.

Classe III (3, 20, 35)

Les puits 3 et 20

L'aire d'alimentation des puits 20 et 3 croise l'autoroute et le chemin de fer. L'autoroute est vraisemblablement la source principale des chlorures dans la nappe étant donné sa proximité avec ces deux puits et parce que le puits 28 qui est situé de l'autre côté de l'autoroute, soit en amont de celle-ci, présente une concentration inférieure.

Le puits 35

La situation proximale et aval du puits 35 par rapport à l'entrepôt de sel du MTQ peuvent expliquer le cinquième rang de ce puits dans la liste des puits les plus contaminés (en 1994). De plus, comme le puits 31 situé en amont est moins contaminé, il faut chercher la provenance entre ces deux points et non pas du côté de l'autoroute.

Une visite à l'entrepôt a permis de constater le bon état du plancher. À l'extérieur, une partie de la cour est recouverte d'une dalle de béton munie de drains par lesquels l'eau de ruissellement et de fonte accède au système d'égout pluvial de la Municipalité. La pénétration des chlorures ne se ferait donc pas à partir de ces surfaces imperméables mais proviendrait plutôt, à notre avis, du nettoyage de la cour en période de chute de neige, et de l'entreposage des neiges contaminées sur le terrain, à la périphérie de la dalle.

Classe II (4, 5, 17, 31, 36, 38)

Les puits 5, 17 et 31

Les puits 5, 17 et 31 ont été forés en bordure du chemin de fer. Ce dernier se trouve vis à vis ces puits et pourrait être un facteur favorisant l'entrée des chlorures dans la nappe. Déjà en 1991, HGL Inc mentionnait dans son étude que l'augmentation des chlorures dans les puits 3, 5, 9, 16, 17, 20, 26, 30, 31, 33, et 37 pouvait être rattaché à la présence du chemin de fer et de l'autoroute. Toutefois la contamination par le chemin de fer est peu vraisemblable puisqu'aucun sel déglaçant n'est utilisé pour son entretien. À moins qu'un fossé s'il y en a un le long de la voie ferrée servirait à entreposer la neige usée. Une autre raison élimine la voie ferrée comme site d'entrée des chlorures : le puits 16, situé également à proximité, appartient à une classe de contamination inférieure. Les chlorures en provenance de la rue Saint-Maurice pourrait s'ajouter à la précédente et expliquer pourquoi la contamination du puits 17 est relativement semblable à celle du puits 38 qui ne subit pas l'influence du chemin de fer mais celle de la rue Saint-Maurice. L'influence du chemin de fer ne semble pas se faire sentir de façon égale le long de son parcours. Par exemple, le puits 16, également en bordure du

chemin de fer, est beaucoup moins contaminé que les puits 3, 20, 31 et 17. Un examen attentif des lieux permettrait probablement de trouver une explication à cette différence.

Les puits 4 et 36

Le puits 4 pourrait être sous l'influence de l'entrepôt de sel puisque son aire d'alimentation passe en partie sous son quadrilatère. Par contre, l'influence de l'entrepôt sur le puits 36 est moins évidente mais la proximité de son aire d'alimentation avec celle du puits 35, plus contaminé le laisse croire.

Le puits 38

L'aire d'alimentation du puits 38 est alignée avec la rue Saint-Maurice. Étant donné que des puits moins contaminés se trouvent entre celui-ci et le puits 31, on peut penser qu'une source distincte agit sur le puits 38. C'est pourquoi la rue Saint-Maurice est mise en cause ici.

Classe I (7, 10, 13, 16, 19, 27, 34)

Le puits 16

Le puits 16 est peu contaminé par rapport à ce que l'on devrait s'attendre. Sa proximité avec le chemin de fer laissait présager une contamination plus grande. Un examen attentif des lieux permettrait probablement de trouver une explication à ce constat.

EN RÉSUMÉ POUR L'ENSEMBLE DES SECTEURS

Les puits les plus contaminés (classe III et IV) sont localisés près des infrastructures linéaires que sont les grands axes routiers et le chemin de fer et dans un cas, près de l'entrepôt de sel. Les grands axes routiers sont des sources de contamination importantes. L'entrepôt de sel quant à lui constitue une source également non négligeable de chlorures étant donné les importantes quantités de sel qui y sont entreposées, les nombreuses opérations de transbordement qui sont effectuées dans la cour et l'entreposage des neiges usées sur des surfaces perméables.

Figure 7.1 Aires de réalimentation par classes de hausses entre 1983 et 1994

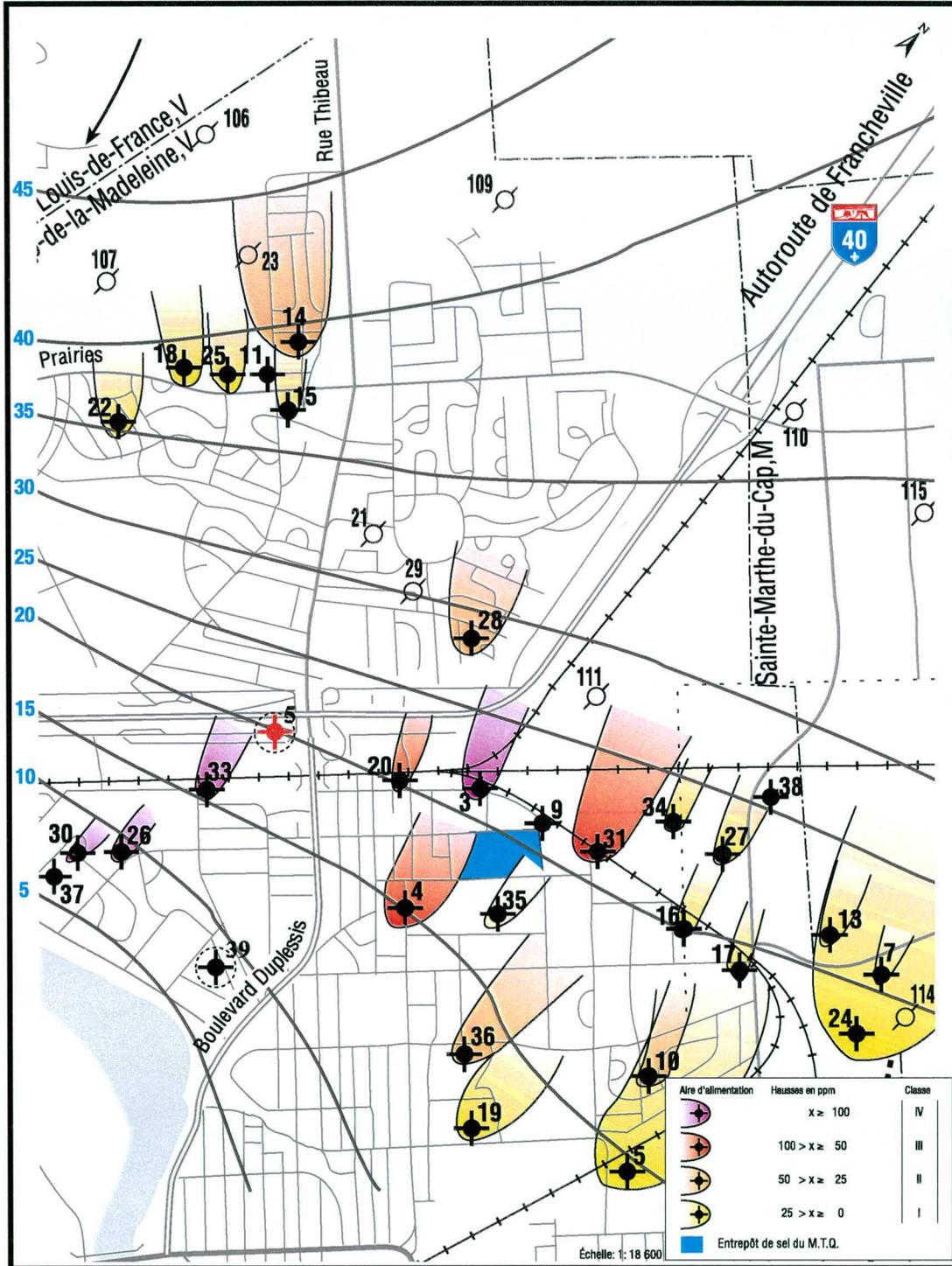
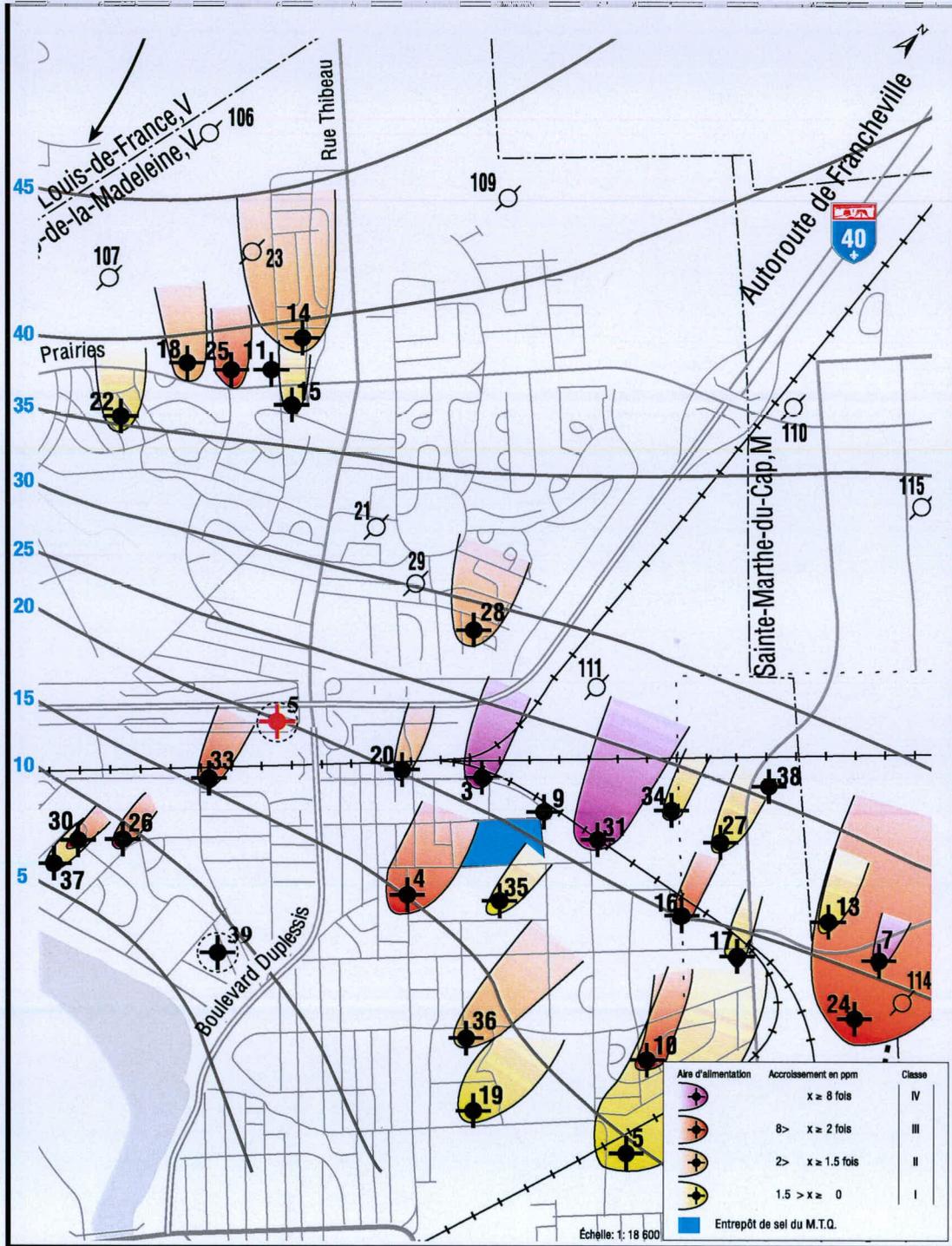


Figure 7.2 Aires de réalimentation par classes d'accroissement entre 1983 et 1994



8 SUIVI DE LA CONCENTRATION EN CHLORURE DE SEPT PUIITS ENTRE 1970 ET 1995

Les données d'échantillonnage des 7 puits dont la qualité de l'eau a été analysée sont présentés au Tableau 8.1.

Tableau 8.1 Valeurs de la concentrations en chlorure (ppm)

DATE	#3	#20	#26	#30	#33	#35	#37
70/01/01							
70/11/01	15		90				
71/04/01	16,5						
72/01/01	35	30					
74/11/01	5	15					
76/02/01	2,5	20					
80/02/01			100				
80/08/01	20		90	85	141,7		
81/02/01	8	56	116	76			
82/01/01			124				
83/07/01	15	67	101	103	123		
84/05/01	18	11	101	108	160	26,1	
85/12/01	22	38	130		145	30	
88/01/01			118	120	169	34	127
88/08/01		95					
89/07/01	73	101			205		154
90/04/01	62	127	199			79	118
91/05/01	56	119	146	150	215	59	152
92/05/01	82,5			157	243	71	148
93/01/01					268		
94/09/01	116,5	117,5	193	213			203
95/02/01	131				268	169	212

La Figure 8.1 montre la variation de la teneur en chlorure de chacun des puits échantillonnés et analysés dans ce chapitre. La

Figure 8.2 montre l'accroissement exponentiel de la concentration des chlorures pour chacun des 7 puits.

Figure 8.1 Variations annuelles de la concentration en chlorure entre 1970 et 1995

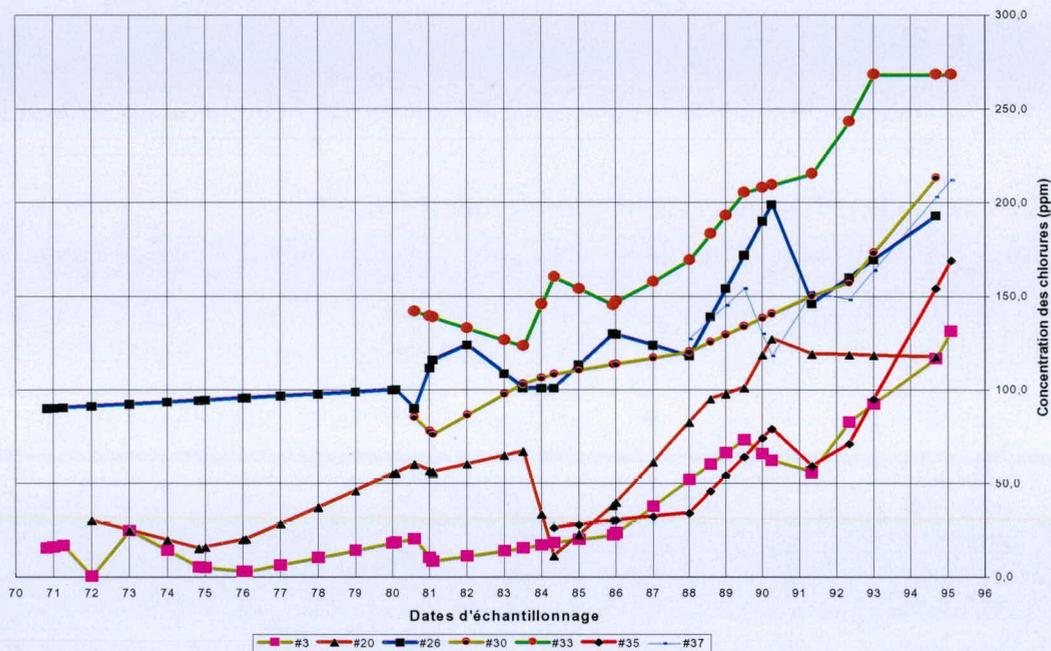
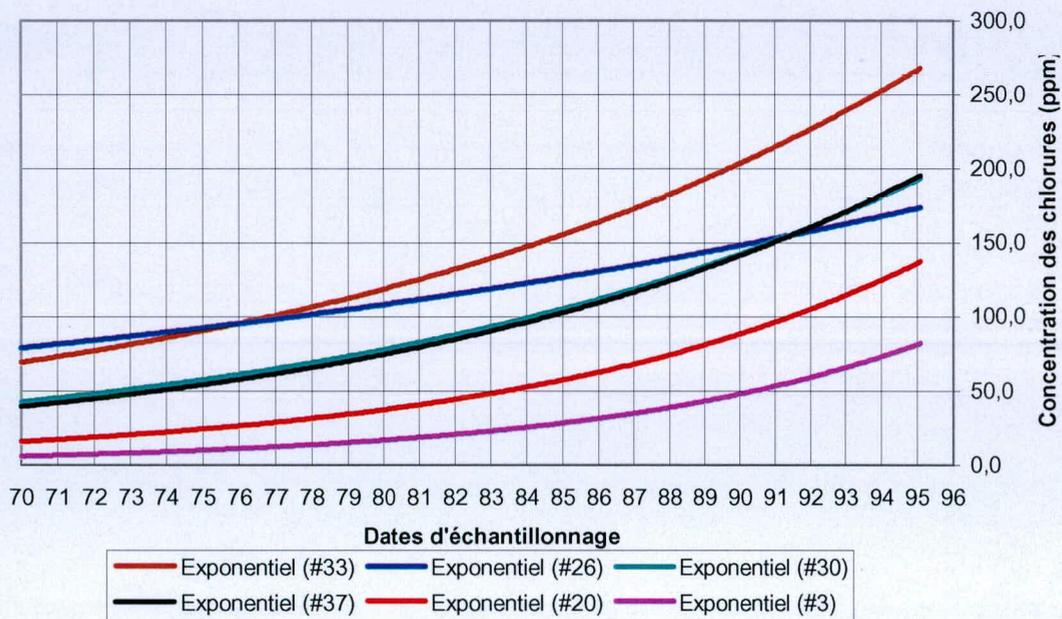


Figure 8.2 Courbes de tendance de la concentration en chlorure entre 1970 et 1995



Observations:

Tous les puits montrent une augmentation de la concentration en chlorure entre 1970 et 1995. Cette augmentation est de type exponentiel.

L'augmentation ne se fait pas de façon continue. Des baisses de concentration sont observées certaines années.

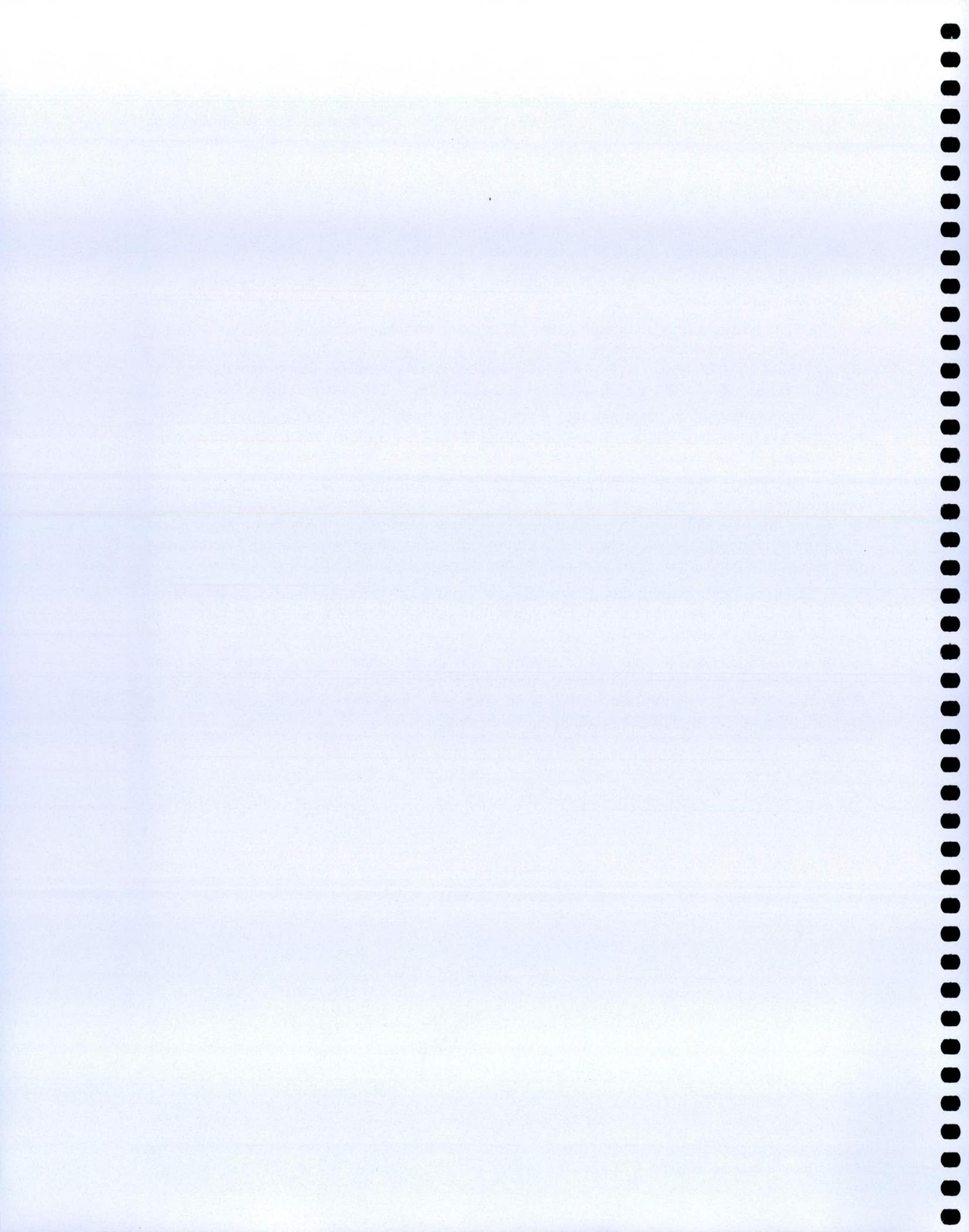
Ces variations annuelles sont assez importantes en valeur absolue. Le puits #20, par exemple, part de la valeur 67 ppm en 1983, descend à 11 ppm l'année suivante puis remonte à 95 ppm deux ans plus tard. Le puits #26 subit également une variation importante: il passe de 118 ppm à 199 ppm en l'espace de deux ans puis redescend à 146 ppm l'année suivante.

La pénétration des chlorures dans la nappe ne semble pas s'opérer de façon uniforme, homogène et prévisible. L'absence de patron répétitif dans les courbes des 7 puits est visible à la Figure 8.1.

Les ou les facteurs qui influencent la pénétration des chlorures n'agissent pas uniformément à la grandeur du territoire. L'existence de certains points d'introduction privilégiée de l'eau chlorurée sous certaines conditions particulières dans la nappe pourrait expliquer le comportement des chlorures dans les puits. De même, l'application non uniforme des sels pourrait également concourir à l'existence de ce phénomène.

Les courbes prennent des allures très découpées, en "dents de scie". La largeur du pas s'étire sur des périodes de 3 à 5 ans (les hausses sont souvent suivies de baisses et inversement sur des cycles de 3 à 5 ans).

Si la tendance observée dans l'accroissement de la concentration en chlorure (fonction exponentielle) se maintient, il est permis de prédire que d'ici 1999, les puits 33, 30, 37, 26, 35 et 3 dépasseront la recommandation canadienne pour cette substance dans l'eau potable. Le puits 20 atteindra ce seuil pour sa part quelques années plus tard.



9 ÉTUDE D'ÉVÈNEMENTS PARTICULIERS

9.1 À partir du comportement des puits entre eux

Le comportement des puits entre eux est illustrée à la Figure 9.1. En résumé voici les éléments qui se démarquent de l'analyse que l'on peut en faire.

En 1980 et pour toute l'année, une baisse généralisée de la concentration en chlorure dans tous les puits est observée.

En 1988, les 7 puits présentent une hausse généralisée.

En 1990-91, pour un an, 4 des 7 puits présentent une baisse de leur concentration en chlorure.

À partir de mai 1991 jusqu'en janvier 1993, 6 des 7 puits présentent des augmentations de leurs concentrations. Dans le puits #3 on note une légère diminution. Les pentes des courbes varient entre 1,49 et 2,27, ce qui représente des augmentations respectivement de l'ordre de 23,6 ppm/an et de 36,6 ppm/an. À cette vitesse, tous les puits excepté le puits #20 dépasseront la norme canadienne d'eau potable aux alentours de 1999.

Après janvier 1993, à part le puits #33 (le plus contaminé) qui plafonne à la valeur 268 ppm, tous les autres puits continuent à suivre la tendance qu'ils avaient amorcés en 1991, soit une hausse rapide de leur concentration en chlorure.

Les années 1984, 1988 et 1991 semblent correspondre à des points d'inflexion d'accroissement des pentes vers le haut des courbes de chacun des puits.

Les quatre puits situés à l'ouest de la rue Thibeau et au sud de l'autoroute 40 présentent des concentrations supérieures aux trois autres puits situés du côté est de cette rue. Cette particularité est visible: ces quatre puits sont regroupés dans la partie supérieure du graphique alors que les trois autres occupent la partie inférieure. Le puits #20 demeure toutefois le puits qui se rapproche le plus des quatre puits situés à l'ouest de Thibeau. Les puits #3 et 35 présentent des concentrations nettement inférieures aux autres puits, toutefois le puits #35 présente une hausse très forte de sa concentration depuis 1992 et tend à rejoindre le groupe supérieur.

Il est impossible de connaître le comportement des puits à l'intérieur d'une même année sur une base mensuelle étant donné la trop faible fréquence d'échantillonnage. Nous ne pouvons pas connaître non plus le comportement des puits entre les dates d'échantillonnage. La droite reliant ces points sur le graphique ne sont que des approximations. De plus comme les dates d'échantillonnage pour les puits ne sont pas les mêmes à l'intérieur d'une même année, il est difficile d'établir des comparaisons entre ces puits.

Les puits #20 et #26 sont les puits qui présentent les plus fortes fluctuations de leur concentration en chlorure. Ce point de ressemblance ne semble pas pouvoir s'expliquer par leur position relative par rapport à l'autoroute.

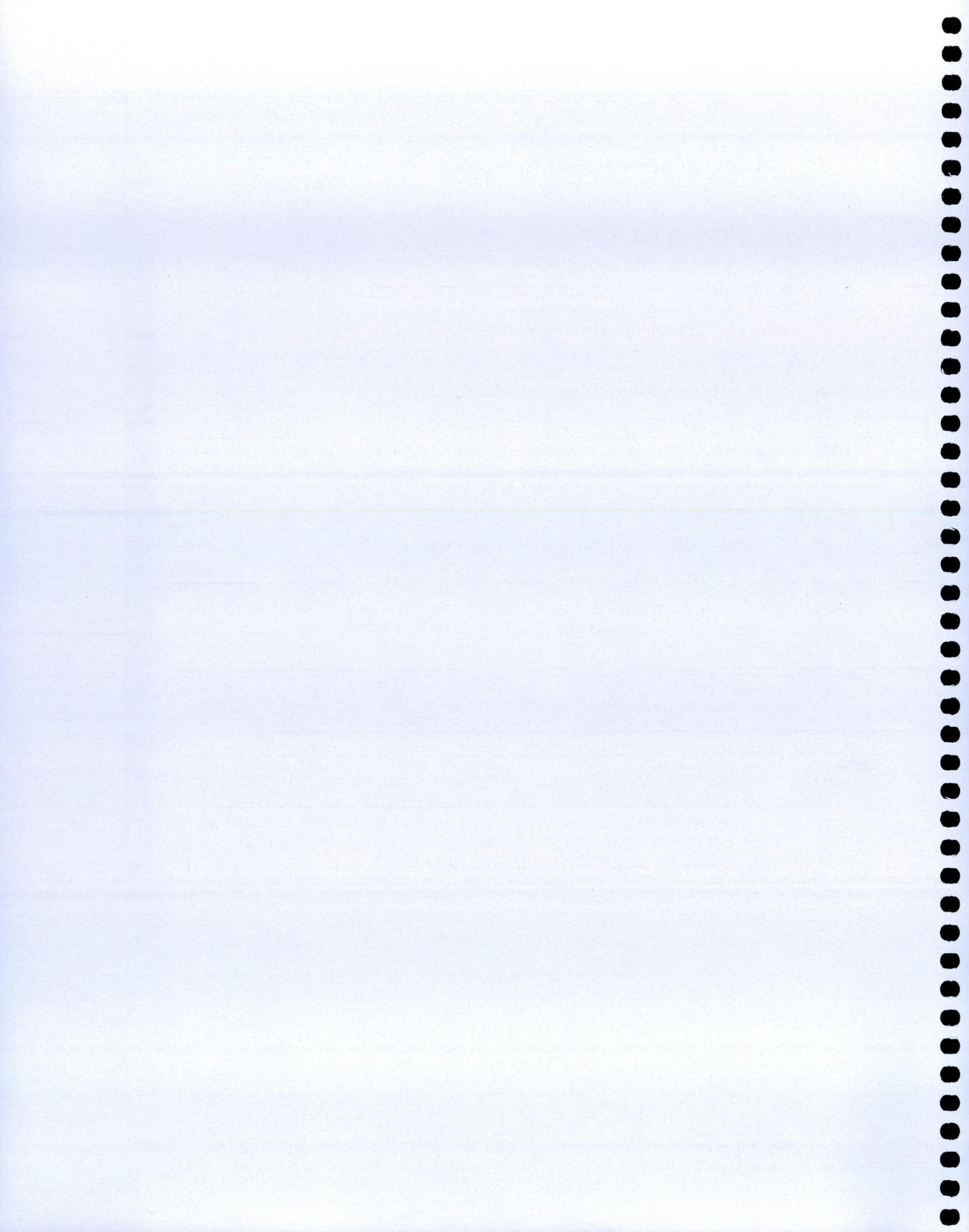
Figure 9.1 Pentés des courbes des 7 puits entre 1970 et 1995

DATE	#3	#20	#26	#30	#33	#35	#37	nb. de puits (valeurs projetées ou réelles)	nb. avec pentes positives	nb. avec pentes négatives ou nulles	pourcentage ayant des pentes positives	pourcentage ayant une pente négative ou nulle	
70-01-01													
70-11-01	+		+					2	2	0	100,0	0,0	
71-04-01	+		+					2	2	0	100,0	0,0	
72-01-01			+					3	1	2	33,3	66,7	
74-11-01			+					3	2	1	66,7	33,3	
76-02-01	+	+	+					3	3	0	100,0	0,0	
80-02-01	+	+						3	2	1	66,7	33,3	
80-08-01			+					5	1	4	20,0	80,0	
81-02-01	+	+	+	+					5	4	1	80,0	20,0
82-01-01	+	+			+			5	3	2	60,0	40,0	
83-07-01	+			+	+			5	3	2	60,0	40,0	
84-05-01	+	+	+	+			+	6	5	1	83,3	16,7	
85-12-01	+	+			+	+	+	6	5	1	83,3	16,7	
88-01-01	+	+	+	+	+	+	+	7	7	0	100,0	0,0	
88-08-01	+	+	+	+	+	+	+	7	7	0	100,0	0,0	
89-07-01			+	+	+	+	+	7	5	2	71,4	28,6	
90-04-01					+	+			7	3	4	42,9	57,1
91-05-01	+			+	+			7	5	2	71,4	28,6	
92-05-01	+			+	+	+	+	7	6	1	85,7	14,3	
93-01-01	+			+			+	7	5	2	71,4	28,6	
94-09-01	+						+	4	3	1	75,0	25,0	
95-02-01								-	-	-	-	-	

Légende
 + : pente positive
 ■ : pente négative ou nulle
 ▨ : absence de données

À partir d'évènements historiques connus

- 1980** Année de très faibles précipitations
- Avant 1984** Avant la construction de l'autoroute, un boulevard d'importance permettait la circulation dans les deux directions. Le chlorure de sodium était déjà utilisé sur cette artère comme agent déglaçant.
- 1984** Année de la mise en service de l'autoroute
- 1984-1985** Hiver de la première application de sel. Trois niveaux de service ont été appliqués depuis son ouverture correspondant aux périodes suivantes: de 1984 à 1987, de 1987 à 1991 et de 1991 à aujourd'hui.
- 1990** Abandon du dépôt à neige «Site des Prairies»
- 1996-97** Hiver du verglas historique. Une quantité importante de sel a peut-être été utilisée pour déglacer l'autoroute 40 pendant cet hiver.
- 1996** Fermeture de l'entrepôt de sel sur la rue Houssard à Cap-de-la-Madeleine. Il n'y aurait pas eu de manipulation de sel et sable depuis novembre 1996 (comm. tél. avec Pierre Camiré les 8 et 9 janvier 1997).
- 1997-98** Hiver particulièrement doux et peu de précipitations. La quantité de sel utilisée a été moindre que celle de l'hiver précédent. La méthode de déneigement qui consistait à exporter la neige de l'aquifère aurait été suivie. Les effets devraient se faire sentir dans les puits au mois d'août 98 (comm. tél. avec Bruno Turmel le 18 mars 1998).



10 ÉTUDE DU DÉPHASAGE ENTRE LES PUIITS

La connaissance de la vitesse de propagation des chlorures est intéressante parce qu'elle permettrait d'établir un lien entre un événement ponctuel et la hausse de la concentration dans un puits. L'hypothèse de travail est la suivante : l'observation du déphasage entre les puits par rapport à l'atteinte de certains seuils fournit des indices sur la vitesse de propagation des lentilles d'eau salée dans la nappe. Quatre puits ont été retenus parce qu'ils sont alignés d'amont en aval dans l'ordre suivant : 33, 26, 30 et 37. Le puits 33 est le puits qui est à la fois situé en amont des quatre et immédiatement en aval de l'autoroute.

Pour mesurer le décalage entre les puits, les courbes représentant la progression des chlorures dans les 7 puits ont été utilisées (voir la Figure 8.1). Il s'agit de mesurer le délai entre chacun des puits au passage de 2 seuils, soit les seuils 150 et 200 ppm. Il faut noter toutefois que les dates arrêtées pour l'atteinte des seuils sont entachées d'une certaine imprécision étant donné le peu de données disponibles, l'inégalité des périodes d'échantillonnage pour un même puits et entre les différents puits et les fluctuations observées dans les concentrations à l'intérieur d'une même année.

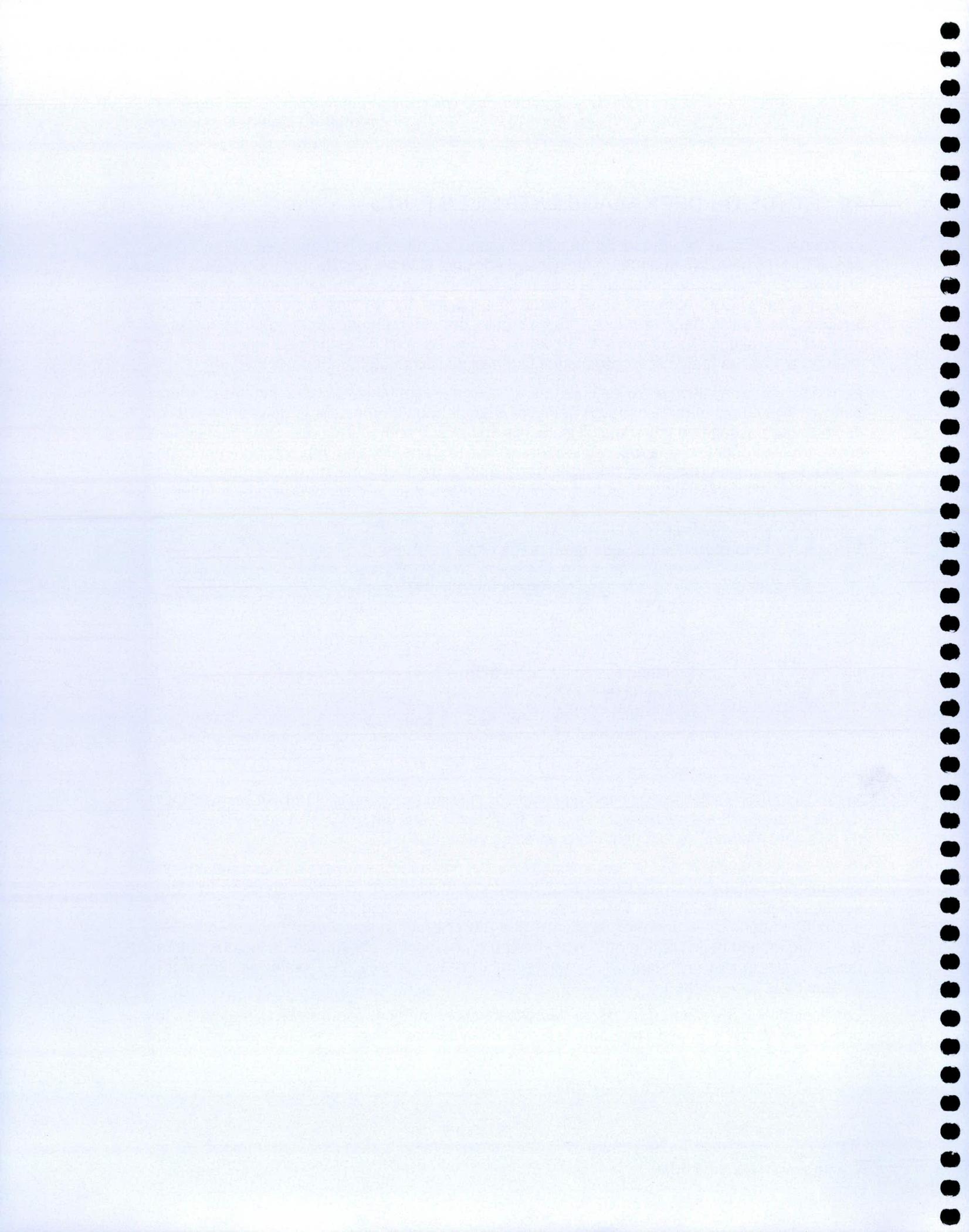
Tableau 10.1 Nombre d'années de déphasage entre les puits

		Atteinte du seuil de 150 ppm			
Atteinte du seuil de 200 ppm	#33	5	7	5	
	1	#26	2	0	
	5	4	#30	2	
	5	3	0	#37	

Après lecture du tableau ci-dessus, on s'aperçoit que seuls les puits 33 et 37 conservent le même décalage (5 ans) entre eux. Le puits 37 atteint le seuil de 150 ppm 5 ans après le puits 33 puis atteint le seuil de 200 ppm 5 ans après également.

Cela montre également que la contamination ne suit pas nécessairement un parcours linéaire; certains puits situés plus près du puits 33 peuvent mettre plus de temps à atteindre le même seuil qu'un puits plus éloigné. On peut penser que des filets d'eau latéraux puissent influencer ces puits et donner les données erratiques que l'on observe mais on peut penser également que la profondeur de la crépine de chacun des puits par rapport à la surface de la zone saturée puisse jouer un rôle important dans ces résultats car les lentilles d'eau salée voyagent à la surface de la zone saturée.

Les fluctuations (baisse ou hausse) de concentrations ne sont pas synchronisées entre les puits. L'existence d'un décalage dans le temps de la concentration qui pourrait être causé par la distance qui sépare un puits amont d'un puits aval n'est pas détectable.



11 ÉTUDE DE LA CORRÉLATION ENTRE LE NIVEAU DE LA NAPPE ET LA CONCENTRATION EN CHLORURE

Les variations de niveaux observés dans le puits d'observation 98 ont été retenus pour illustrer le comportement de l'ensemble de la nappe parce qu'elles étaient représentatives des tendances observées dans les autres puits. En effet, la juxtaposition des courbes des puits 98, 101, 106, 107 et 111 montre que ces puits subissent des variations de niveau similaires si l'on fait abstraction des niveaux d'origine (voir Figure 11.1). Or ce qui importe, ce sont les valeurs relatives et non les valeurs absolues. La localisation des puits d'observation décrits précédemment est représentée à la Figure 11.2.

La Figure 11.3 montre la corrélation qui existe entre le niveau de la nappe et la moyenne des concentrations de chlorure dans les 7 puits étudiés. Entre les deux phénomènes il existe une relation inverse qu'illustre la courbe de tendance. Plus le niveau de la nappe s'abaisse, plus la concentration en chlorure s'élève. L'établissement d'une relation de cause à effet ne peut être établi de facto à la suite de cette constatation mais tout porte à croire que ces deux phénomènes sont reliés.

L'abaissement de la nappe a atteint 2 m entre 1972 et 1990 ce qui n'est pas négligeable quand on considère que l'épaisseur saturée moyenne était au départ de 10 m. Cela représente une diminution de la réserve d'eau de près de 20 % sur à peine 18 ans.

On peut donc penser que si la nappe s'abaisse continuellement c'est que le bilan de la recharge et de l'extraction est négatif. La quantité d'eau qui entre dans la nappe est inférieure à celle qui en sort.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cet abaissement de la nappe. Sans vouloir entrer dans les détails mentionnons les facteurs les plus fréquents: des précipitations moindres ou un pompage accru ou une réduction des entrées d'eau dans la nappe ou un mélange de ces trois facteurs. La croissance qu'à connue la Municipalité de Cap-de-la-Madeleine depuis les années 70 a entraîné le développement de nouveaux quartiers résidentiels en amont de ses puits, au nord de l'autoroute 40. Ce développement réduit la recharge naturelle de la nappe aquifère par une imperméabilisation de la zone de recharge et une dérivation des eaux à l'extérieur de celle-ci. Les toits, les entrées asphaltées privées pour les automobiles et les rues sont autant de surfaces étanches captant les précipitations pour les acheminer par un réseau de drains et par le système collecteur municipal à l'extérieur de la zone de recharge.

Pour sa part, la moyenne de la concentration en chlorure des 7 puits passe de valeurs aux alentours de 50 ppm au début des années 1970 à des valeurs proches de 200 ppm à la fin des années 1990, ce qui représente un accroissement de près de 400 % sur une vingtaine d'années.

Figure 11.1 Puits retenus dans l'étude de la variation du niveau de la nappe.

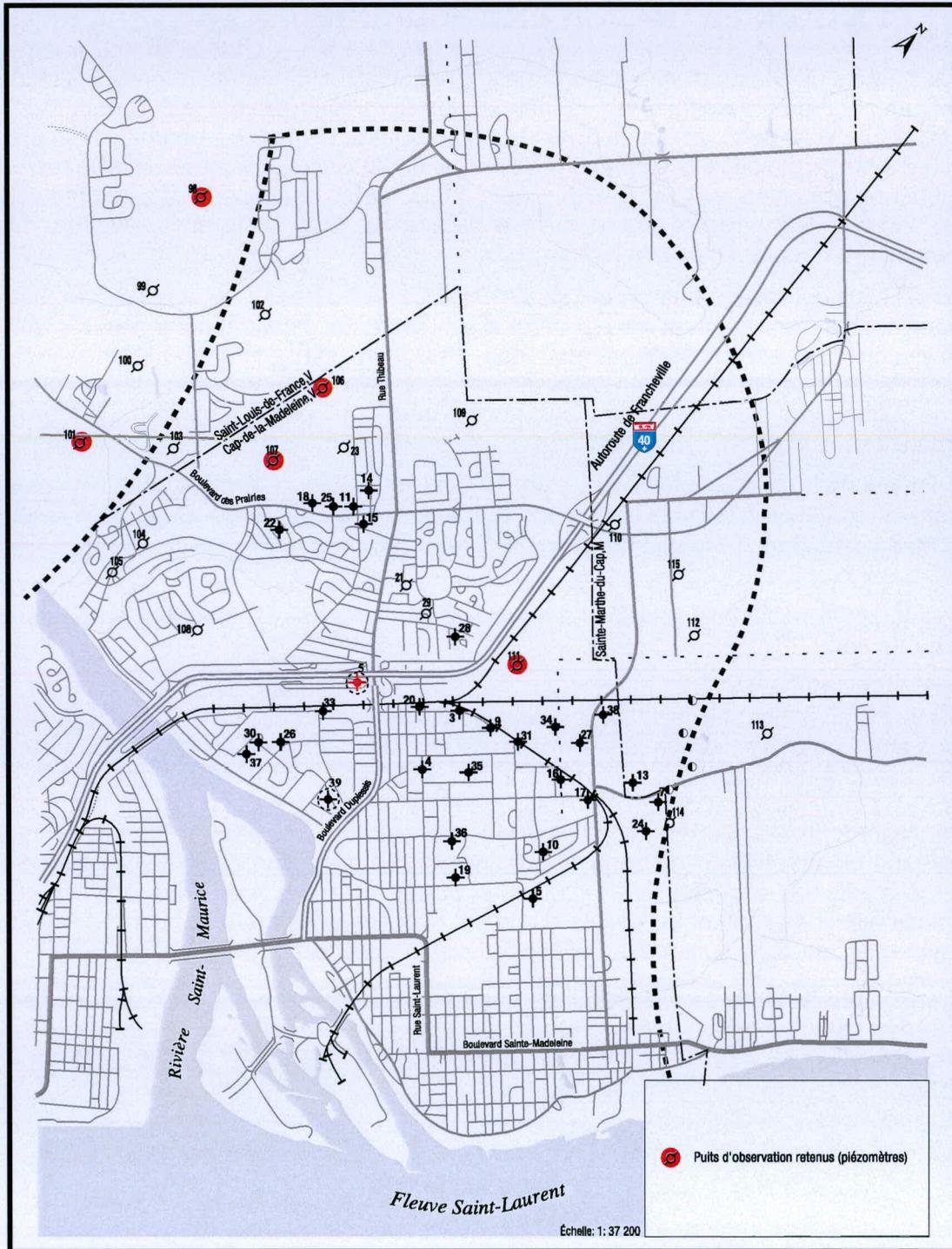
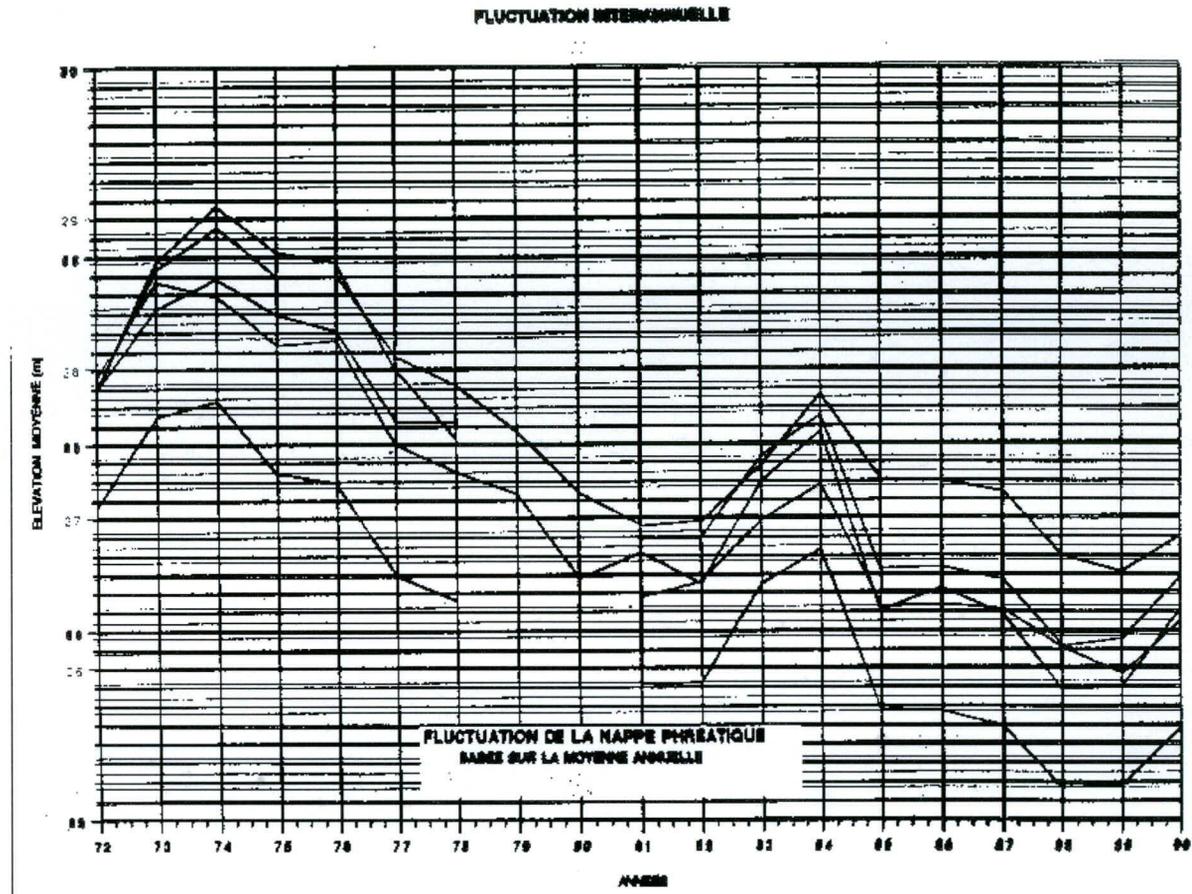
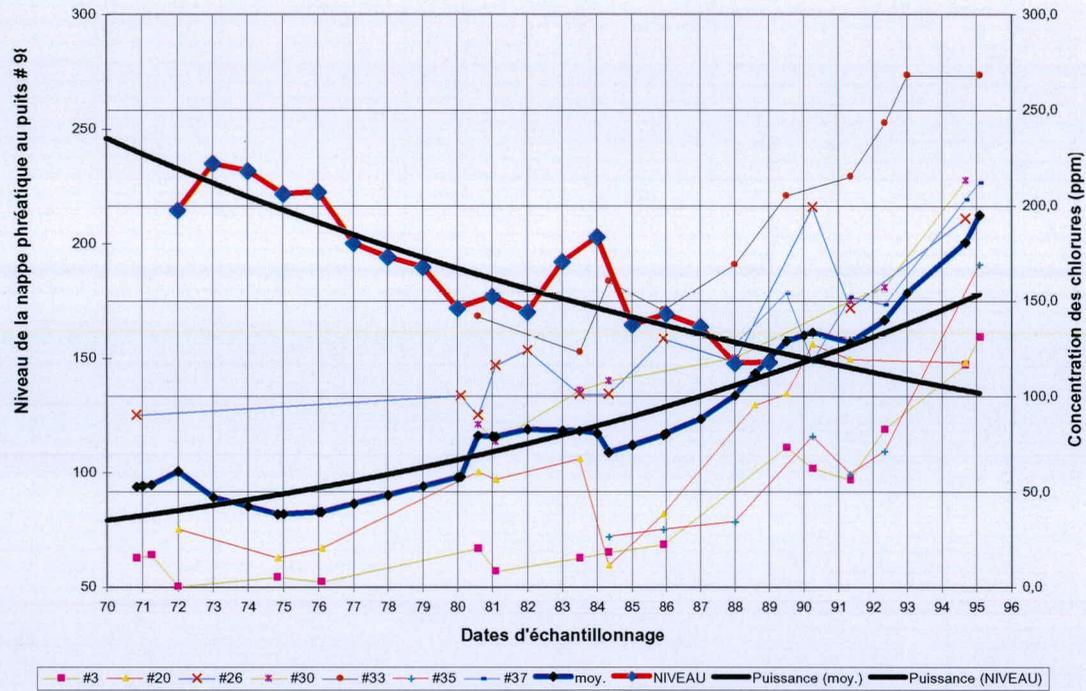


Figure 11.2 Fluctuations du niveau de la nappe entre 1972 et 1990



Cette figure a été fabriquée en superposant les graphiques des niveaux des piézomètres reproduits sur acétates tirés de l'étude H.G.E..

Figure 11.3 Corrélation entre le niveau de la nappe et la concentration en chlorure et courbes de tendance de ces 2 phénomènes



12 ÉTUDE DE LA CORRÉLATION ENTRE LA PRODUCTION DES PUIITS ET LEUR CONCENTRATION CHLORURE

12.1 Production des puits

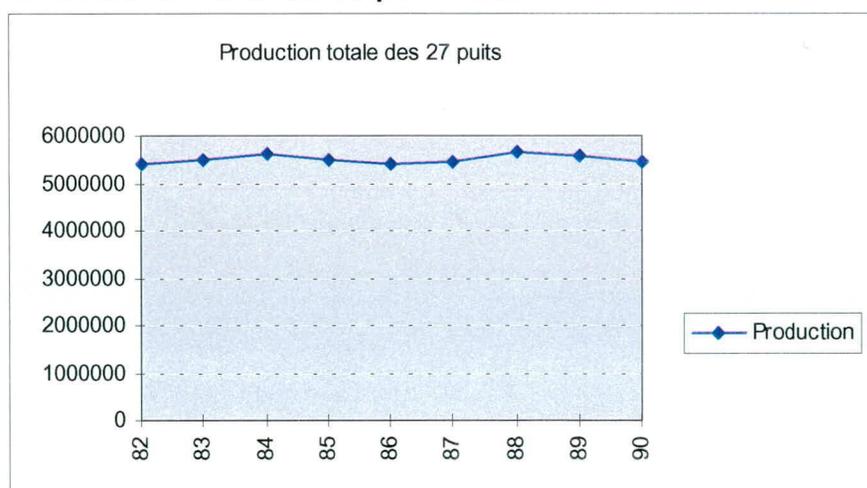
La quantité d'eau produite par chacun des puits ainsi que par l'ensemble des puits varie d'une année à l'autre. Le Tableau 12.1 montre la variation observée dans la production pour les puits 33, 26, 30 et 37 et dans la production de l'ensemble des 27 puits, entre 1982 et 1990

Tableau 12.1 Volumes d'eau soutirés annuellement de la nappe aquifère en m³

Année	#33	#26	#30	#37	Production des 27 puits
1982	176032	335973	303300	-	5415818
1983	192605	314391	270673	-	5495141
1984	204300	412164	182627	-	5600618
1985	194159	339518	214682	-	5491768
1986	139377	391364	340305	-	5398727
1987	182386	390368	208877	-	5441064
1988	192168	270155	366495	234973	5640214
1989	129177	322414	364550	281186	5568405
1990	119848	256686	201721	303695	5463965
Moyenne	170006	337004	272581	273285	5501747

La production totale annuelle moyenne des puits a été de 5,5 Mm³ entre 1982 et 1990, les variations autour de cette moyenne étant de 3 %. On remarque que la production totale annuelle est stable ce qu'illustre bien la courbe à la Figure 12.1.

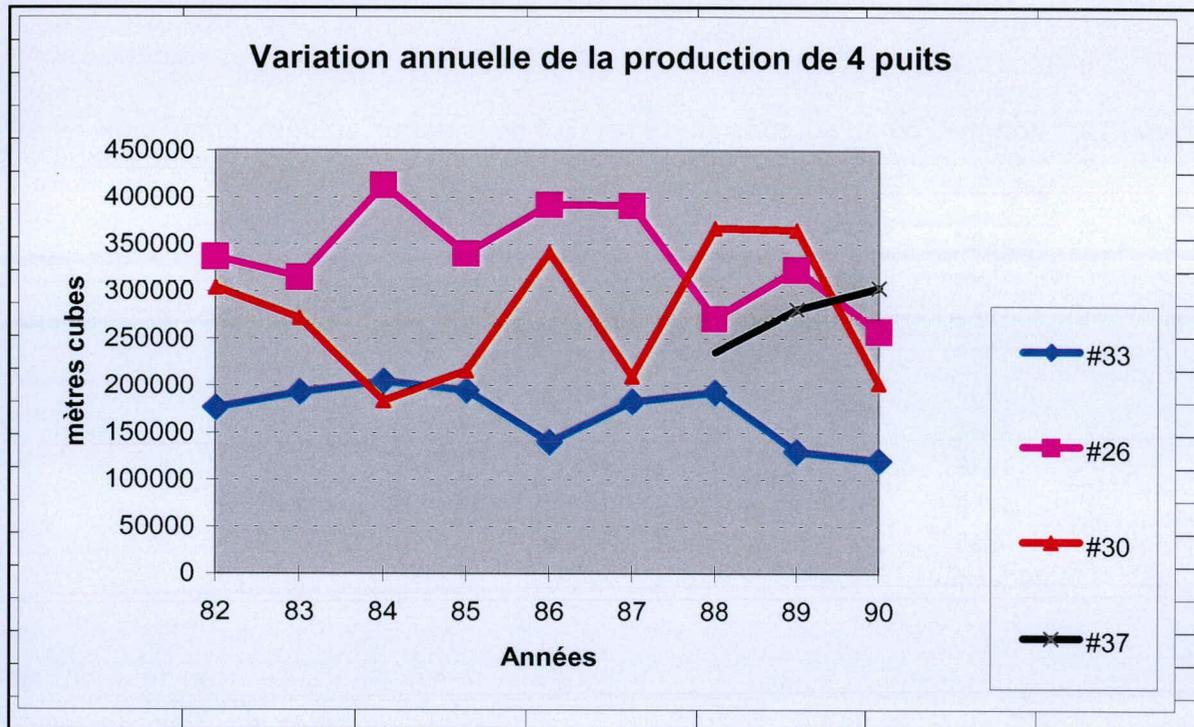
Figure 12.1 Production annuelle des 27 puits en m³



Comme la production totale varie peu d'une année à l'autre, elle ne peut être la cause de l'augmentation de la teneur en chlorure des puits observée depuis 1970.

Par contre, pris individuellement, la production des puits peut présenter des variations importantes. C'est le cas des 4 puits les plus contaminés, les puits 26, 30, 33 et 37. Leur production varie énormément par rapport à la production totale comme on peut le voir à la Figure 12.2.

Figure 12.2 Variation annuelle de la production des puits 26, 30, 33 et 37

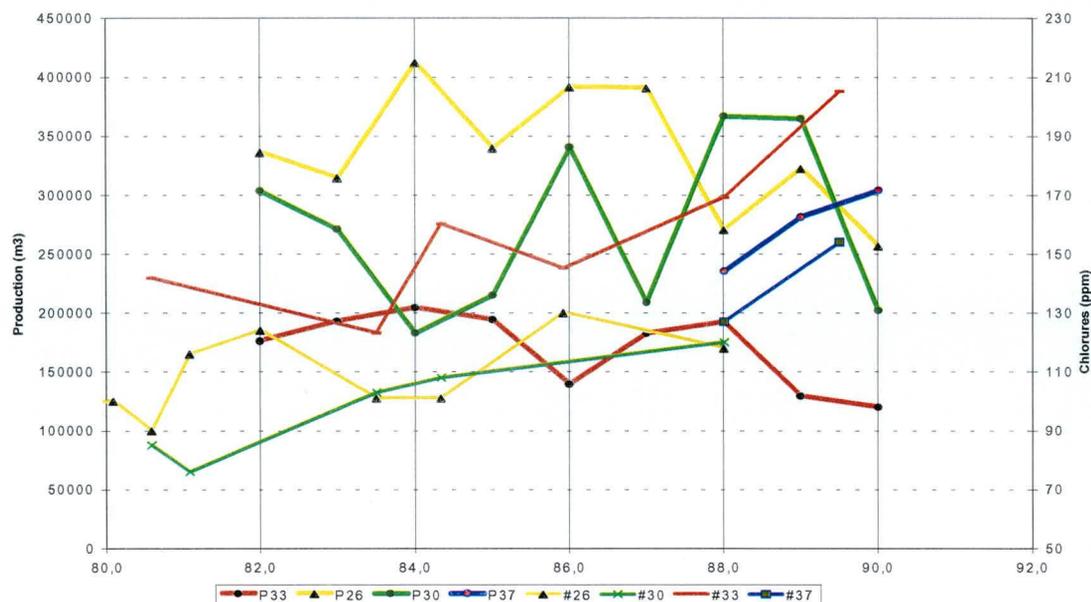


12.2 Corrélation entre la production des 4 puits et leur concentration en chlorure

L'exercice suivant permettra de connaître la relation entre la production d'un puits et sa contamination. Il s'agit de voir par exemple si à une augmentation de la production d'un puits on peut coller une augmentation de la contamination (relation positive), une diminution (relation inverse ou négative) ou aucune augmentation. La juxtaposition des courbes de production et des courbes de contamination des 4 puits pour la période se situant entre 1982 et 1990 est présentée à la Figure 12.3.

Figure 12.3 Corrélation entre la production de 4 puits et leur concentration en chlorure

L'interprétation du graphique de la figure précédente est rendu difficile par le nombre de

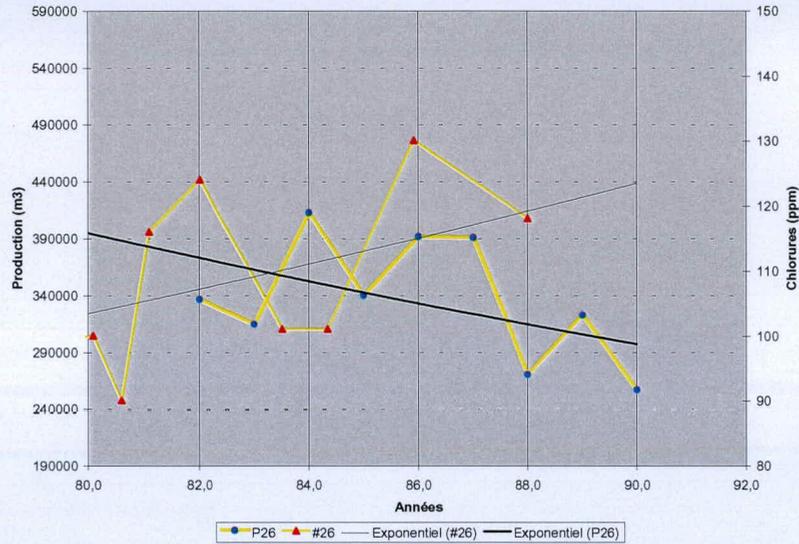


courbes présentes. Pour faciliter cette lecture, chaque puits sera traité séparément en ajustant les deux échelles de valeurs en ordonnée pour qu'il y ait superposition des courbes. Le puits 37 ne sera pas analysé à cause du peu de données disponibles.

L'examen de la Figure 12.4 montre qu'au puits 26 il n'existe pas de relation stable du moins à première vue entre la production du puits et la concentration en chlorure. Les deux courbes ont plutôt un comportement erratique entre elles. On serait tenté d'affirmer qu'il n'y a pas de relation directe entre les deux phénomènes, toutefois il en va autrement lorsqu'on regarde la courbe de tendance exprimée sous forme exponentielle à la Figure 12.5. La relation entre ces deux phénomènes est inverse. La production du puits 26 tend à diminuer avec les années alors que sa contamination tend à augmenter.

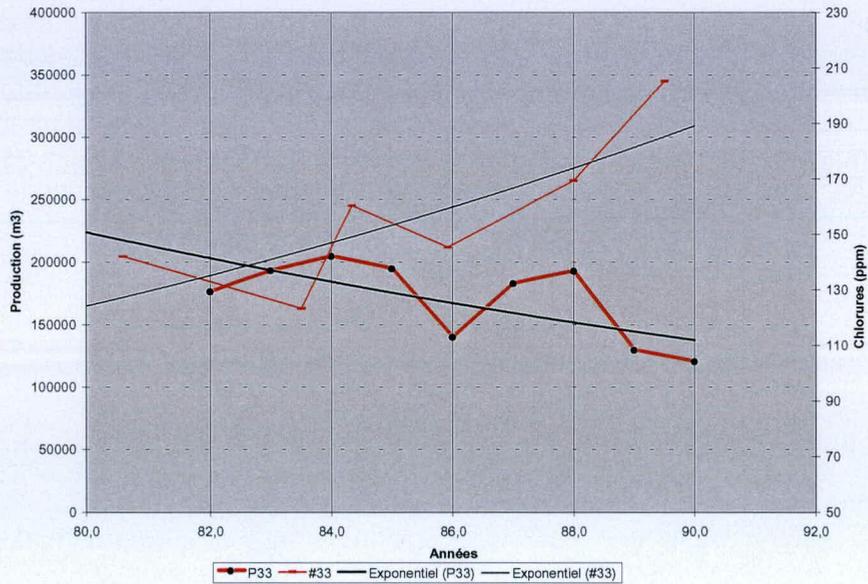
Figure 12.4 Corrélation entre la production du puits # 26 et sa concentration en chlorure

Le même phénomène est observé dans le puits 33 dont on peut voir les courbes à la Figure



12.5.

Figure 12.5 Corrélation entre la production du puits # 33 et sa concentration en chlorure

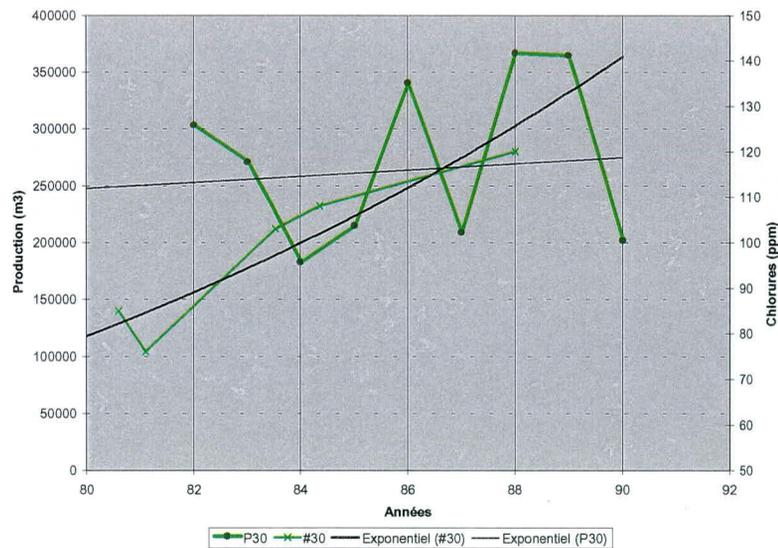


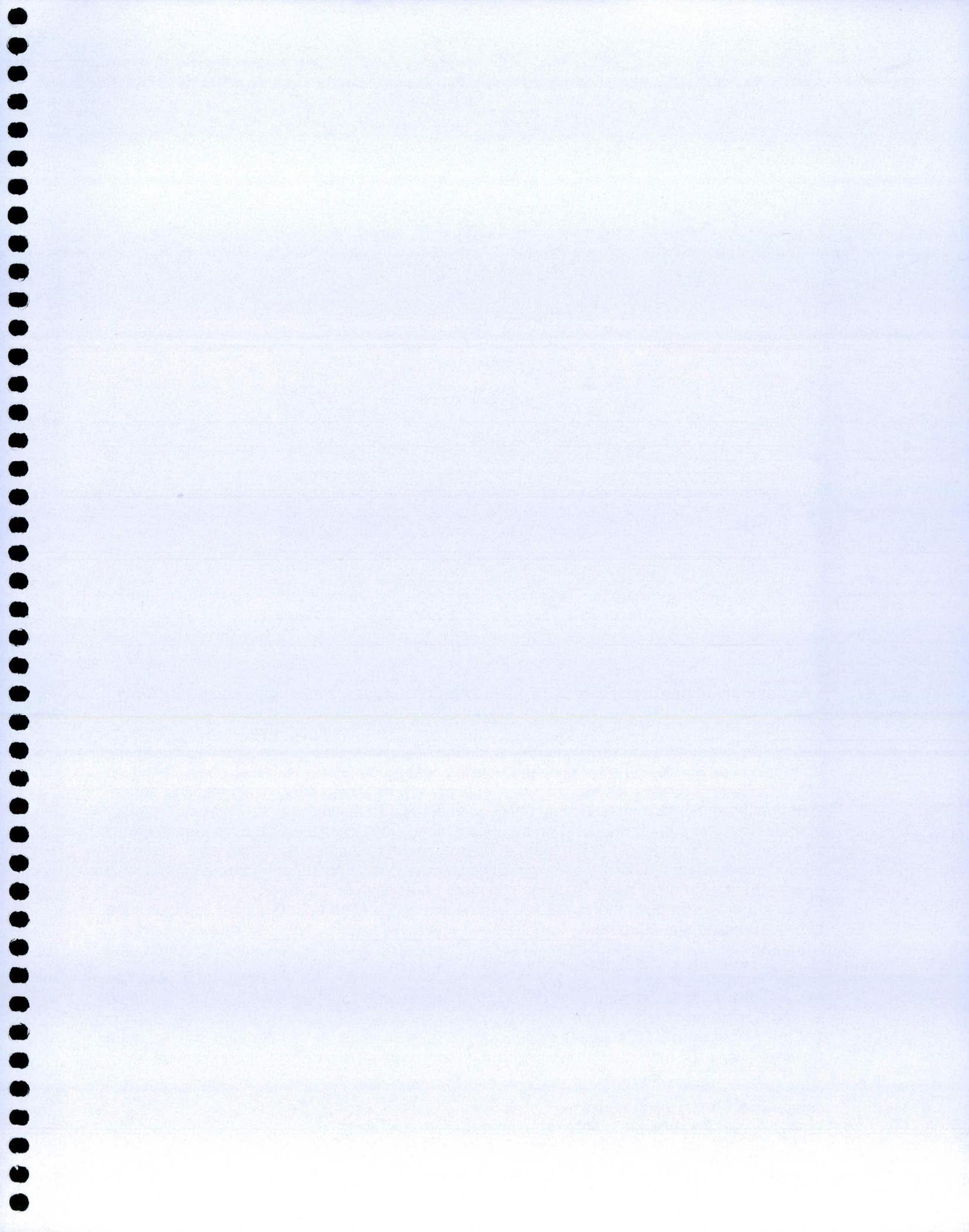
Dans le puits 30, la situation est quelque peu différente. Il y a un accroissement de la contamination et il se fait de façon plutôt linéaire. La production quant à elle fluctue beaucoup

d'une année à l'autre. On ne peut donc pas dire qu'il existe de relation entre la fluctuation annuelle des pompages et la contamination. Toutefois, à l'inverse des puits 26 et 33, les courbes de tendance des deux phénomènes vont dans le même sens c'est à dire que la production a une légère tendance à la hausse tout comme la contamination comme on peut le voir à la Figure 12.6.

Les raisons qui expliquent la baisse de production dans les puits 26 et 33 ne sont pas connues. La Municipalité a peut-être intentionnellement pompé moins d'eau dans ces puits. Toutefois nous sommes portés à croire que cette tendance à la baisse est indépendante de leur volonté. Il serait logique de croire que la baisse de production observée dans les puits soit reliée à la baisse généralisée de la nappe d'eau dans l'aquifère (20 % de baisse observée sur moins de 20 ans). Ces deux phénomènes suivent la même tendance. On peut donc penser que l'abaissement de la nappe d'eau affecte la production de certains puits. Pour compenser cette perte de production la Municipalité a probablement ouvert de nouveaux puits ou extrait une plus grande quantité d'eau dans d'autres puits puisque la production générale de l'ensemble des puits est demeurée sensiblement constante. L'historique de la mise en service des puits et de leur production n'est pas disponible actuellement pour que nous puissions confirmer ou infirmer l'une ou l'autre de ces hypothèses.

Figure 12.6 Corrélation entre la production du puits # 30 et sa concentration en chlorure





13 OPÉRATIONS DE DÉNEIGEMENT EFFECTUÉES PAR LE MTQ

13.1 Programme d'entretien hivernal avant 1987

Avant 1987, le Ministère entretenait ses routes selon un programme à trois niveaux établis à partir des débits de circulation hivernaux (DJMH). Les taux d'application des sels déglaçants exprimés en tonnes par kilomètres sont présentés au Tableau 13.1.

Tableau 13.1 Taux d'application pour les niveaux I, II et III

Niveau	Taux d'application (t/km)
I	31,6
II	21,4
III	3,5

pu ou!

13.2 Programme d'entretien hivernal après 1987

Après 1987, le Ministère adopte un nouveau programme d'entretien à deux niveaux. Le niveau I se subdivise en quatre sous-niveaux, A, B, C et D. Chacun de ces niveaux est appliqué en fonction du volume de véhicules qui y circulent par jour sur sa plus grande partie. Le Tableau 13.2 indique pour chacun des niveaux d'entretien, le débit de circulation correspondant, ce que cela représente par rapport à l'ensemble du réseau routier géré par le MTQ et le taux d'application correspondant.

Tableau 13.2 Niveaux d'entretien et taux d'application correspondant

Niveau	Volume de circulation (DJMH)	Pourcentage (%)	Taux d'application (t/km)
I A	$x \geq 75\ 000$	5 %	73.7
I B	$75\ 000 > x \geq 40\ 000$	10 %	46.2
I C	$40\ 000 > x \geq 15\ 000$	20 %	35.7
I D	$15\ 000 > x > 0$	65 %	25.5
II	-	-	15.8

13.3 Quantité de sel déglaçant épandu au-dessus de l'aquifère

Le circuit d'entretien #4114 sur l'autoroute 40 est constitué de 2 plates-formes de 2 voies à l'est de la rivière Saint-Maurice et de 2 plates-formes de 3 voies à l'ouest de cette même rivière (voir Figure 13.1). L'entretien de ce circuit d'une longueur pondérée de 56.11 km est sous la responsabilité du MTQ.

La quantité de sel épandu sur ce circuit pendant l'hiver 1994-95, période se terminant le 26 avril 1995, était de 1 490 tonnes alors que cette quantité était de 2 048 tonnes pendant l'hiver 1995-96. Cela montre que la quantité de sels épandue peut varier de façon importante d'une année à l'autre. Les années à forte précipitations de neige et de verglas, de plus grandes quantités de sel sont épandues (ce fut le cas pour l'hiver 1996-97). Pour ces deux années, cela représente un taux d'application moyen de 31,53 tonnes par kilomètre. Le MTQ entretient également une partie de la route 157, celle qui située sur le territoire de la municipalité de Saint-Louis-de-France.

Sur les segments de l'autoroute 40 et de la route 157 situés directement au-dessus de l'aquifère, le MTQ a épandu en 1995-96 au total 1 210 tonnes de sels déglaçants en suivant trois taux d'application différents. Sur l'autoroute 40, 1060 tonnes sont appliquées entre la rivière Saint-Maurice et la limite de l'aquifère dont 860 tonnes entre la rivière Saint-Maurice et l'échangeur des Prairies et 200 tonnes à partir de ce point jusqu'aux limites de la zone de recharge de l'aquifère. Les fondants sont éoandus selon deux taux d'application. Un taux de 67,7 t/km est appliqué entre la rivière Saint-Maurice et l'échangeur Thibeau (incluant la courbe à l'est de cet échangeur) (comm. pers. L. Roger) et un taux de 34,5 t/km est appliqué à partir de l'échangeur Thibeau jusqu'à la limite de l'aquifère (excluant la courbe à l'est de l'échangeur Thibeau) (voir Figure 13.2). Sur la 157, le segment de route situé au-dessus de l'aquifère mesure 1,65 km de longueur ce qui correspond à 3,29 km de longueur pondérée. Un taux de 45,7 t/km est appliqué pour un total de 150 tonnes annuellement. La Figure 13.2 et le Tableau 13.3 illustre et résume ces informations.

L'échangeur Thibeau représente 3,43 km des 12,71 kilomètres pondérés de l'autoroute 40 compris entre la rivière Saint-Maurice et le boulevard des Prairies, soit 27 %. Des 860 tonnes épandues entre la rivière Saint-Maurice et le boulevard des Prairies, en tenant compte uniquement de la longueur pondérée, 510 tonnes sont épandus entre la rivière Saint-Maurice et le boulevard Thibeau. Cela indique que la charge en chlorure est deux fois plus élevée que dans la partie située en amont de la rue Thibeau à l'exception de la courbe.

Figure 13.1 Circuit d'entretien d'hiver de l'autoroute 40 (#4114)

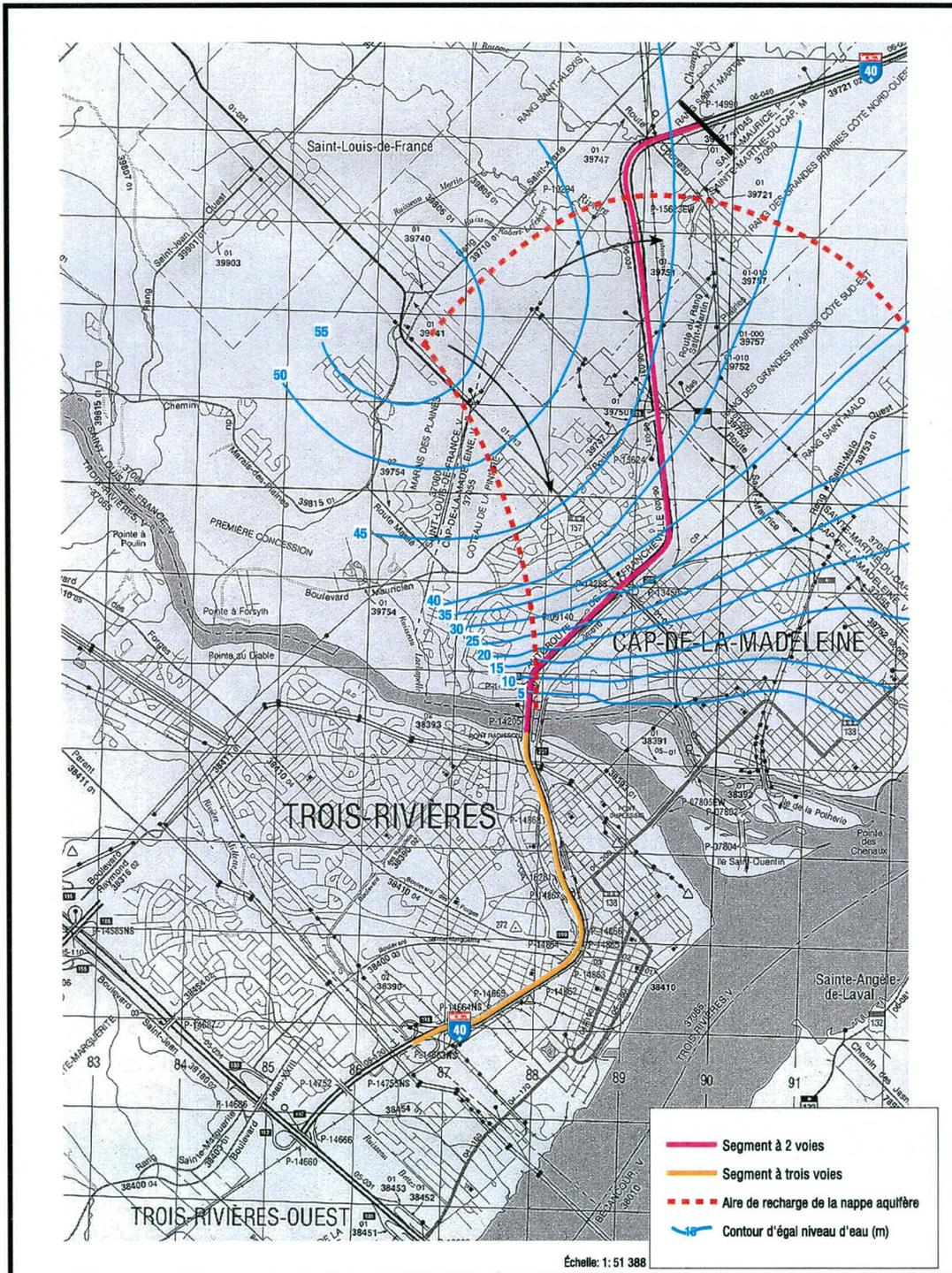


Figure 13.2 Taux d'application des sels déglaçants en fonction des niveaux d'entretien sur les routes entretenues par le MTQ au-dessus de l'aquifère

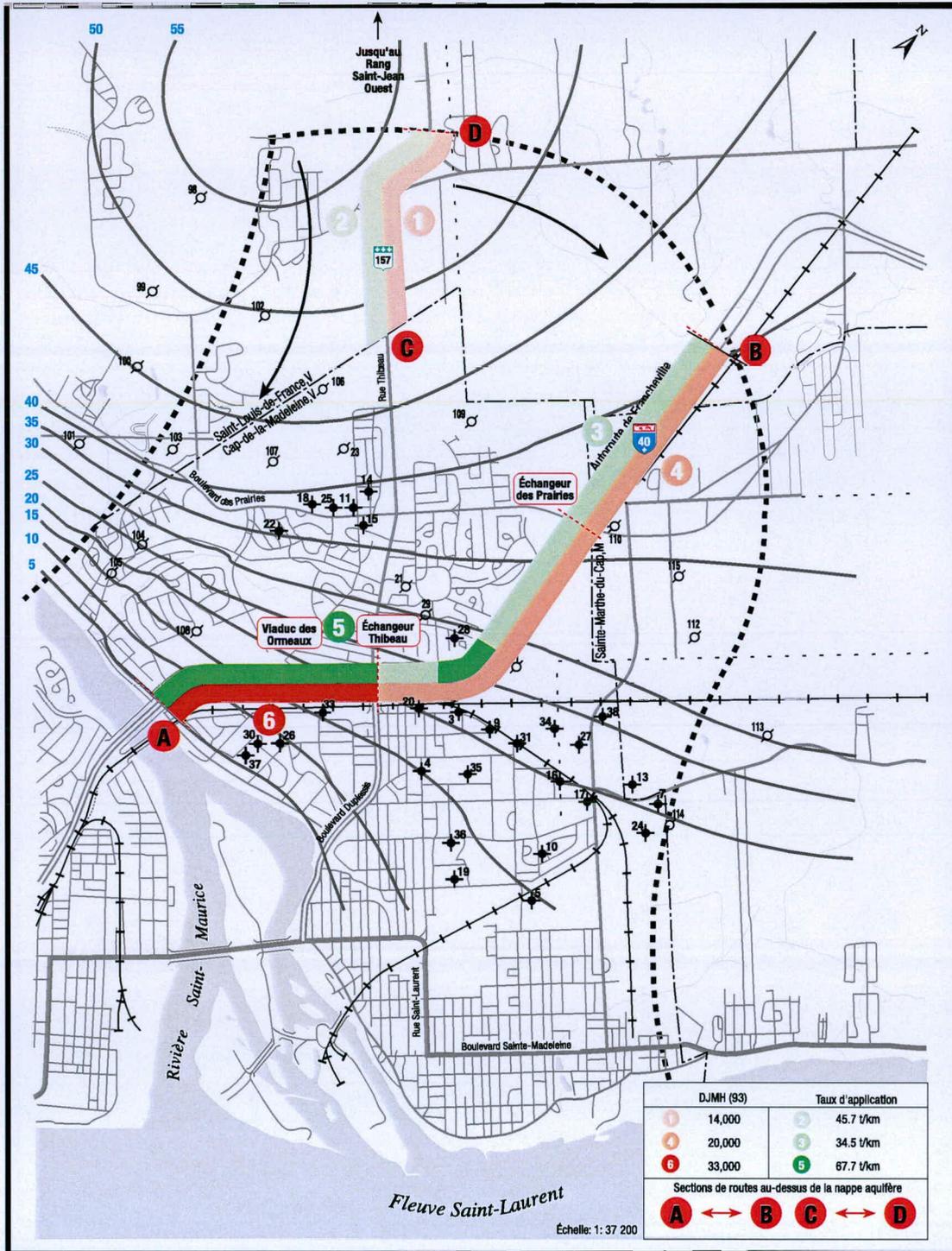


Tableau 13.3 Quantité de sel appliquée sur l'A-40 et sur la route 157 pendant l'hiver 1995-96

Segments de route	Longueur (km)	Longueur pondérée (km)	DJMH ²	Sel épandu (tonnes)	Taux d'application (t/km)
A-40					
S1- De la riv. Saint-Maurice jusqu'à l'échangeur Thibeau et la courbe à l'est			33 000		67,7
	3,87	12,71		860	
S2- De l'échangeur Thibeau jusqu'à l'échangeur des Prairies (sauf la courbe)			20 000		34,5
S3- De l'échangeur des Prairies jusqu'à la limite de l'aquifère	1,89	5,80	20 000	200	34,5
SOUS-TOTAL	5,76	18,51	NA	1 060	NA
Route 157					
S4- De la limite municipale à la limite de l'aquifère	1,65	3,29	14 000	150	45,7
GRAND TOTAL	7,41	21,80	NA	1 210	NA

De ce tableau on voit que les taux d'application des segment 1 et 4 sont deux fois plus élevés que ceux qui sont proposés dans le Programme d'entretien provincial. Pour le segment 1 qui présente un DJMH de 33 000, on devrait appliquer 35,7 t/km au lieu de 67,7 t/km, et pour le segment 4 qui présente un DJMH de 14 000, on devrait appliquer 25,5 t/km au lieu de 45,7 t/km.

13.4 Méthode de déneigement appliquée à l'autoroute 40

Pendant une importante chute de neige, les camions poussent la neige en bordure de la chaussée et épandent le sel simultanément à l'arrière. Les passages sont plus ou moins fréquents selon le niveau de service de la section de la route. Après une chute de neige de plus de 5 cm, la neige amoncelée en bordure de l'autoroute est soufflée en direction des talus et fossés pour dégager l'accotement.

² Données de circulation pour 1993

13.5 Cheminement des eaux chlorurées aux abords de l'autoroute 40

Pour comprendre le cheminement des eaux chlorurées il est important de connaître de quelle façon le drainage des terres se fait. La zone de l'autoroute qui se trouve dans l'aire de recharge de l'aquifère débute au pont Radisson et se termine à 1,8 km à l'est de l'échangeur des Prairies. Le drainage de l'autoroute se divise en quatre parties distinctes.

Le secteur A : Sur le segment 40-06-10³, entre les chaînages 0+470 et 2+146, du pont Radisson jusqu'à l'échangeur de la rue Thibeau, les chaussées sont contigües et bordées par deux fossés latéraux ouverts qui se drainent en direction de la rivière Saint-Maurice. Sur le segment 40-06-20, une partie de l'échangeur Thibeau se draine à l'ouest du viaduc, dans le fossé gauche, au chaînage 1+836 du segment 40-06-10.

Le secteur B : Sur le segment 40-06-20, de l'échangeur Thibeau à l'échangeur des Prairies, un drainage fermé se déverse dans l'égout collecteur municipal.

Le secteur C : Sur le segment 40-06-20, drainage fermé rejeté par pompage dans un cours d'eau en dehors de l'emprise.

Le secteur D : Sur le segment 40-06-31, entre les chaînages 0+000 et 1+800, de l'échangeur des Prairies en direction est, les deux chaussées sont éloignées l'une de l'autre et les quatre fossés latéraux sont interceptés et dirigés vers le même cours d'eau mentionné en C. Le cours d'eau s'écoule parallèlement à l'autoroute pour finalement se déverser à la rivière Champlain, au point d'intersection avec l'autoroute.

Sur l'autoroute 40, à partir de la rue Thibeau en direction est jusqu'à l'échangeur des Prairies (incluant une partie de l'échangeur Thibeau), la neige qui fond directement sur la chaussée est d'abord interceptée par les bordures puis captée par les grilles du système de drainage fermé. Ces grilles sont disposées sur les deux côtés de la plate-forme ou, lorsqu'il y a un dévers, sur un seul et même côté. Les canalisations quant à elles sont enterrées au centre des deux plates-formes. La plus grande partie de l'eau captée est acheminée vers le système d'égout pluvial municipal mais une partie de l'eau en provenance de l'échangeur Thibeau est déversée directement dans le fossé au nord-ouest du carrefour Thibeau et de l'A-40 comme le montre le plan fourni par la Municipalité présenté à la Figure 13.3.

Par contre, une partie importante de la neige ayant absorbée la saumure faite de neige fondue, est projetée dans les fossés situés de chaque côté de l'autoroute. Les boucles de l'échangeur Thibeau serviraient également à l'entreposage de la neige (comm. pers. M. Roger) ce qui pourrait expliquer les niveaux élevés de chlorures mesurés dans le piézomètre d'alerte #5. L'échangeur Thibeau représente à lui seul, boucles comprises, 27 % des 12,7 km pondérés d'autoroute entre la rivière Saint-Maurice et l'échangeur du boulevard de Prairies. D'autre part, les conduites de béton de ce système ne sont pas munies de joints étanches parce qu'elles ont été mises en place avant 1985 et il est fort possible que l'eau saumurée puisse s'introduire également par cette voie.

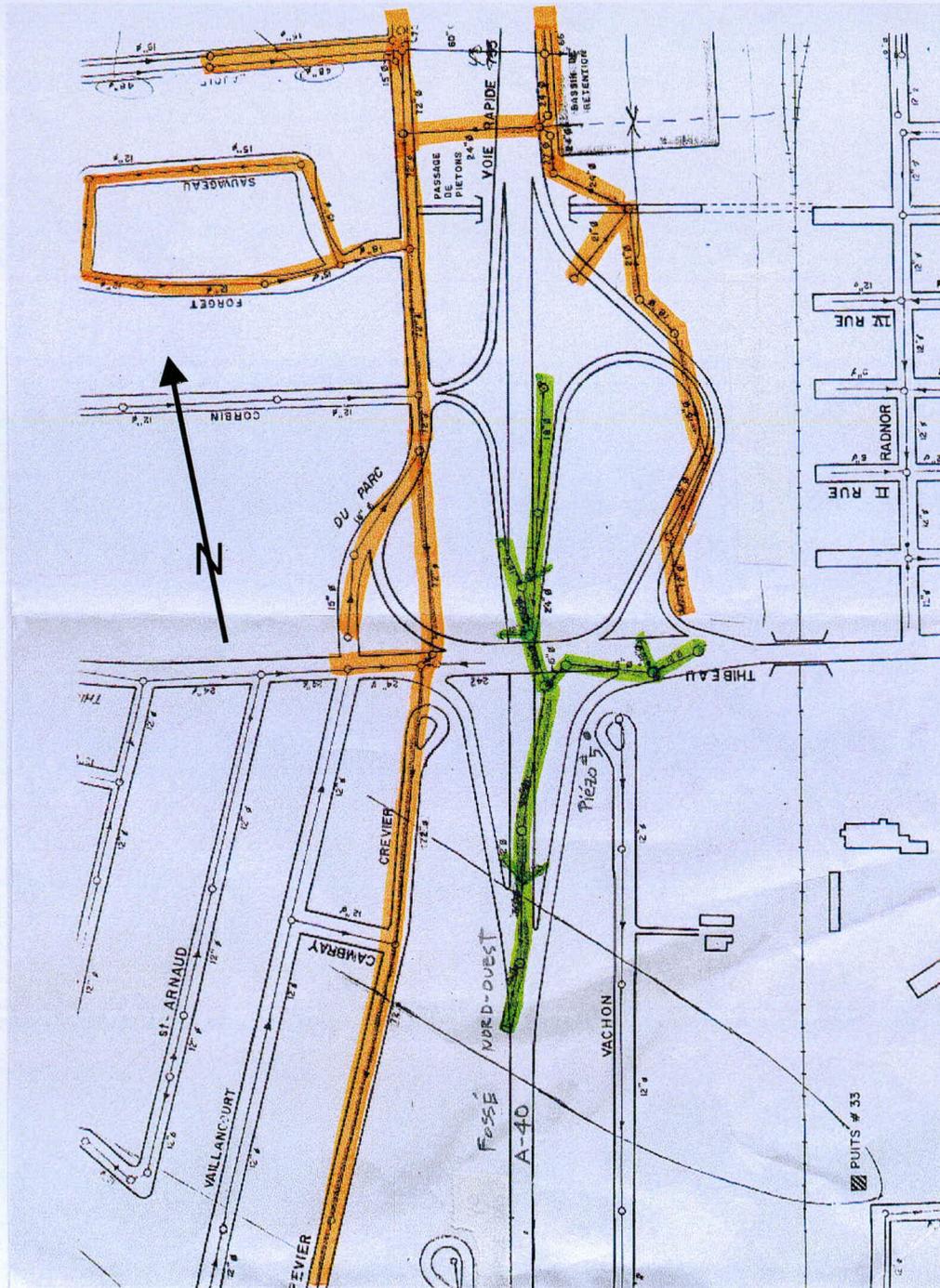
Au printemps, à la fonte des neiges, l'eau chlorurée se rend facilement jusqu'à la nappe aquifère parce que le sol y est sablonneux et perméable.

³ Route-tronçon-section

Avant 1980, la route 157 était à deux voies avec fossés latéraux mais depuis, elle est à quatre voies non-divisées avec drainage fermé. Par contre à partir de l'échangeur des Ormeaux, les fondants ne peuvent contaminer les puits parce qu'ils sont en aval de leur aire d'alimentation.

L'idée de réaliser des test d'étanchéité des conduites a déjà été étudiée. À l'aide de ballons, les conduites seraient bloquées aux endroits appropriés et par la suite, une quantité connue d'eau y serait déversée à partir d'un camion citerne. Des mesures de l'abaissement du niveau de l'eau nous donnerait une idée de l'importance des infiltrations dans le sol. L'état des conduites pourrait en même temps être évalué afin de savoir s'il y a des bris. Cet examen pourrait être réalisé avec l'aide d'une caméra vidéo.

Figure 13.3 Plan du système de drainage fermé de l'échangeur Thibeau



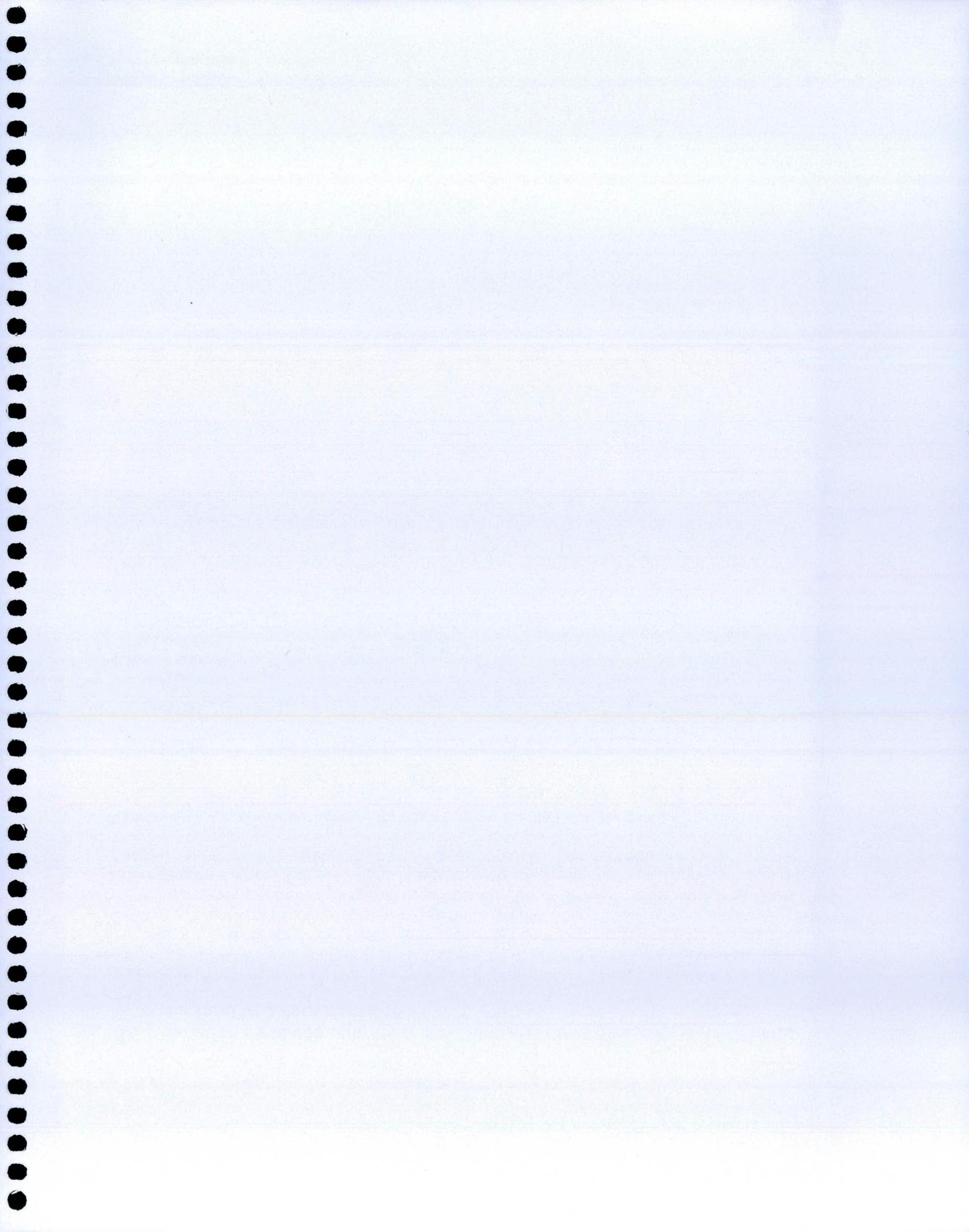
13.6 Variation de la concentration des chlorures dans des puits équidistants par rapport à l'autoroute 40

La concentration moyenne en chlorure des puits # 33, 26, 30 et 37 était, en 1994, 1,7 fois plus élevée que dans les puits 3 et 20 (voir le Tableau 13.4) alors que tous ces puits sont situés à peu près à même distance de l'autoroute. Dans le puits 33, la concentration en chlorure a atteint des niveaux deux fois plus élevée que dans le puits 3, soit 273,7 ppm comparativement à 129,4 alors que les distances respectives sont de 300 et 325 m. Cette différence dans les concentrations des chlorures va dans le même sens que celui du taux d'application et de la charge de sel entre le segment 1 d'une part et les segments 2 et 3 d'autre part.

Tableau 13.4 Comparaison des puits sous l'influence de l'autoroute 40

	# 3	# 20	# 26	# 30	# 33	# 37	Nb X (33/3)
94/09/01	116,5	117,5	193,0	213,0	-	203,0	
95/02/01	131,0	-	-	-	268,0	212,0	2,05
Moyenne juin 95 à sept. 96	129,4	-	-	233,6	273,7	-	2,12
Distance.(m) (puits vs A-40)	325	275	690	710	300	765	NA

Deux causes agissent probablement en synergie pour expliquer la forte concentration observée : la charge plus élevée à l'ouest de l'échangeur Thibeau et le fait qu'une partie des eaux en provenance du drainage fermé s'écoule dans le fossé au coin nord-ouest de cet échangeur



14 OPÉRATIONS DE DÉNEIGEMENT EFFECTUÉES PAR LA MUNICIPALITÉ

La Municipalité de Cap-de-la-Madeleine épand 25 % de tout son sel sur les 4 artères principales que sont les rues Thibeau, Fusey, Saint-Laurent et Sainte-Madeleine. La neige tombée y est ramassée dans les heures suivant la précipitation et elle est déposée au fleuve Saint-Laurent (quai du Sanctuaire) ou sur les berges de la rivière Saint Maurice (chemin du Passage). Le sites des Prairies est abandonné depuis 1989-90. Les 75 % restants sont épandus dans les rues des trois secteurs suivants: soit S1, S2 et S3 & S4 pris ensemble et de les proportions suivantes 20, 20 et 35 % respectivement. Cela représente les tonnages représentés au Tableau 14.1.

Tableau 14.1 Sels déglaçants épandus par la Municipalité

Années	Tonnes de sel	Artères (25%)	S1 (20%)	S2 (20%)	S3&4 (35%)	S1 à S4 Total
1984-85	3689	922,25	737,8	737,8	1291,15	2766,75
1985-86	5223	1305,75	1044,6	1044,6	1828,05	3917,25
1986-87	4055	1013,75	811	811	1419,25	3041,25
1987-88	4964	1241	992,8	992,8	1737,4	3723
1988-89	5153	1288,25	1030,6	1030,6	1803,55	3864,75
1989-90	4089	1022,25	817,8	817,8	1431,15	3066,75
1990-91	4161	1040,25	832,2	832,2	1456,35	3120,75
1991-92	2935	733,75	587	587	1027,25	2201,25
1992-93	3799	949,75	759,8	759,8	1329,65	2849,25
1993-94	4752	1188	950,4	950,4	1663,2	3564
1994-95	3532	883	706,4	706,4	1236,2	2649
Moyenne	4213,8	1053,5	842,8	842,8	1474,8	3160,4

Les résultats montrent qu'une quantité importante de sels sont épandus dans ces 3 secteurs. Sur les artères commerciales, on épand proportionnellement plus de fondants que dans les quartiers résidentiels. Dans les quartiers résidentiels, on tente de limiter l'application des fondants aux intersections et d'utiliser plutôt des abrasifs partout ailleurs.

Dans les quartiers résidentiels à haute densité (multifamiliaux), la neige est également ramassée alors que dans les quartiers à plus basse densité, la neige est entassée en bordure des rues. Lorsque cet amoncellement devient gênant, à la suite d'une grosse ou de plusieurs chutes de neige de moyenne importance, la neige est soufflée sur les terrains privés avec quelquefois un ramassage partiel par camion (comm. pers. avec Yvan Blouin, dir. travaux publics, Municipalité de Cap-de-la-Madeleine).

Le centre commercial «Les Galeries du Cap» utilise également des fondants. Dix tonnes métriques de sels déglaçants sont épandus chaque année à cet endroit. L'entrepreneur entrepose une partie de ses neiges usées à l'extrémité est du stationnement. Ce dernier est drainé par des puisards raccordés au collecteur Barkoff. L'autre partie est entreposée sur le

côté sud de la rue Barkoff, face au centre commercial. Or, l'eau souterraine de cette grande zone s'écoule vers la rivière Saint-Maurice et à cause du sens d'écoulement de la nappe à cet endroit ne saurait constituer une source de contamination.

Les chlorures en provenance de ce centre commercial peuvent pénétrer dans la nappe mais ne peuvent pas contaminer les puits municipaux parce qu'ils sont largués en aval des aires d'alimentation des puits identifiés dans l'étude hydrogéologique de H.G.E. inc.

Des abrasifs sont également utilisés par la Municipalité en conjonction avec le sel dans les proportions suivantes.

Années	Sel (tonnes)	Abrasifs (tonnes)
1984-85	3689	1443
1985-86	5223	3304
1986-87	4055	2816
1987-88	4964	1676
1988-89	5153	4100
1989-90	4089	5069
1990-91	4161	2984
1991-92	2935	2265
1992-93	3799	2995
1993-94	4752	3341
1994-95	3532	2044
Total	46352	46352

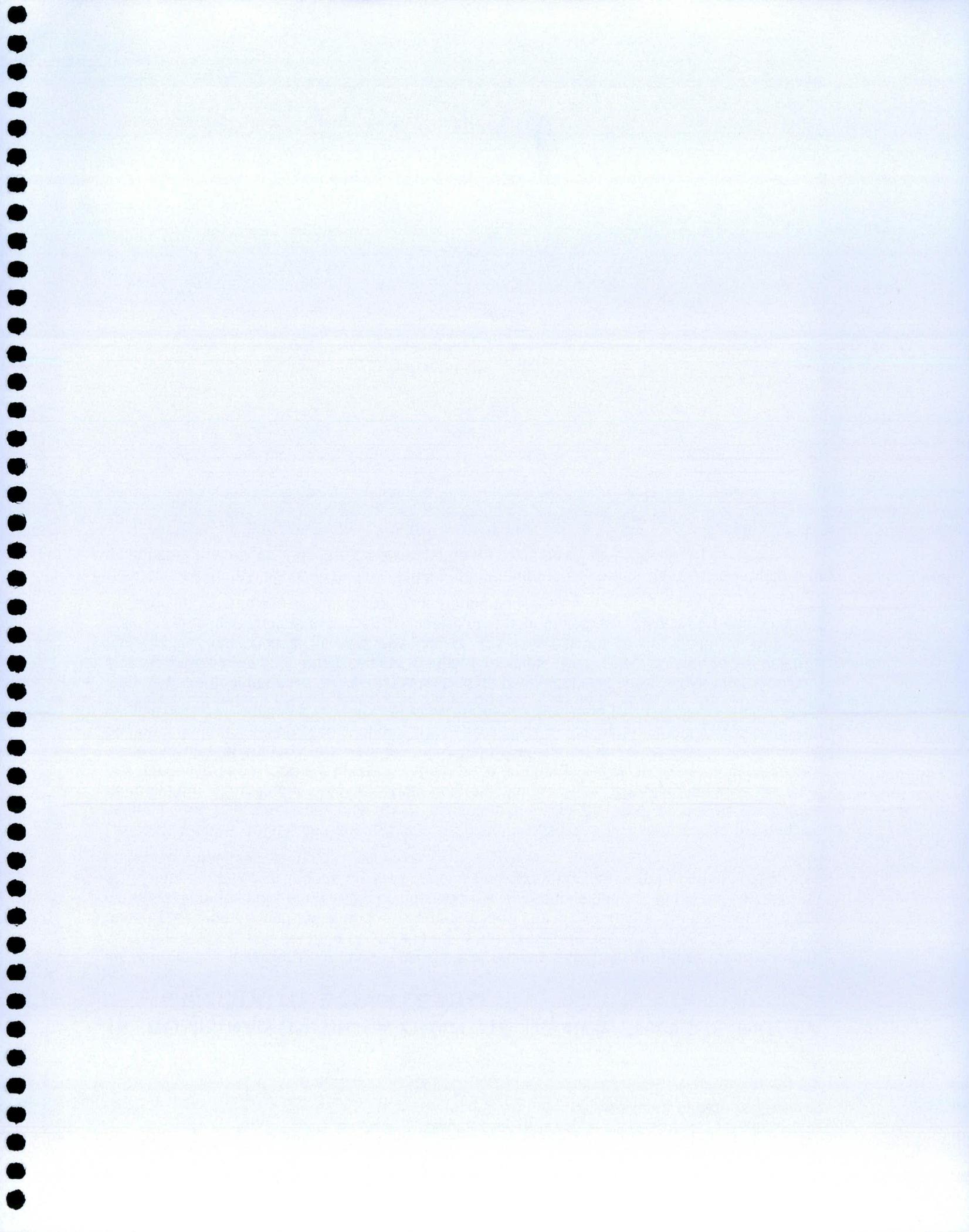
15 COMPARAISON DE LA QUANTITÉ DE SEL ÉPANDUE PAR LA MUNICIPALITÉ ET PAR LE MTQ

La Municipalité a épandu sur l'ensemble de son réseau routier en moyenne depuis les 10 dernières années, soit de 1984-85 à 1994-95, 3160 tonnes de sel par année. Toutefois une bonne partie de ce sel est épandue en dehors de l'aire de recharge ou en aval de l'aire d'alimentation des puits et ne peut donc concourir à leur contamination. Seuls les secteurs S1 et S2 totalisant 1685,6 tonnes de sel épandus pourraient contribuer à la contamination des puits problématiques au sud de l'autoroute.

De cette quantité de sel, une bonne partie ne pénètre pas dans l'aquifère par le fait que les neiges usées sont ramassées puis acheminées vers des sites de dépôt en dehors de la zone de recharge. C'est le cas notamment des artères commerciales. De plus, la neige qui n'est pas ramassée et qui fond sur la chaussée est prise en charge par le système de captage des eaux pluviales et est exportée vers la rivière Saint-Maurice ou le fleuve Saint-Laurent. Les bordures de trottoir, là où elles sont présentes, permettent de limiter la migration des chlorures dans la nappe en confinant les eaux salines et en les dirigeant vers les collecteurs pluviaux.

Il en va autrement dans les quartiers résidentiels de basse densité. Les neiges usées ne sont pas recueillies mais sont entassées sur les terrains privés. Par contre, comme le fait valoir la Municipalité, les fondants ne sont épandus qu'aux intersections ce qui limite les quantités potentiellement contaminantes. La Municipalité croit pour toutes ces raisons ne pas contribuer de façon importante à la contamination de la nappe aquifère.

Pour sa part, le MTQ a épandu 1210 tonnes de sel sur les segments de route dont elle a la responsabilité au-dessus de la zone de recharge au cours de l'hiver 1995-96.



16 ÉVOLUTION DE LA SITUATION ENTRE 1995 ET 1998

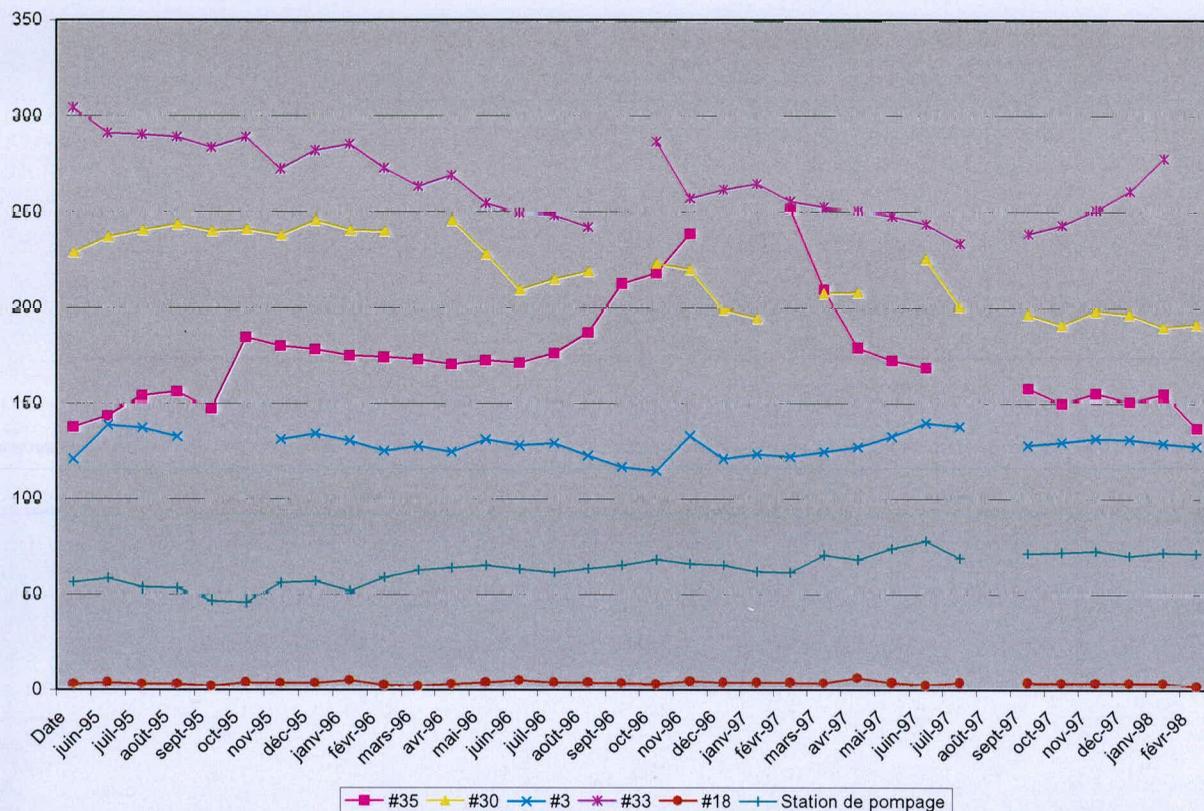
16.1 Suivi de la concentration en chlorure de cinq puits

À la demande du MTQ adressée le 14 juin 1995, la Municipalité de Cap-de-la-Madeleine procédait mensuellement à l'analyse de la teneur en chlorure dans les puits no. 3, 18, 30, 33 et 35, ainsi qu'à la station de pompage principale. Les résultats sont compilés au Tableau 16.1.

Tableau 16.1 Concentration en chlorure entre 1995 et 1996 (ppm)

Date	Station de pompage	#18	#33	#3	#30	#35	Piézo#5
Jun 95	56,5	2,5	304	121	228,5	137	
Jul 95	58,5	3,5	290,5	138,5	236,5	143	
Aoû 95	54	2,5	290	137	240	153,5	449,5
Sep 95	53,4	2,5	288,5	132,5	243	155,5	
Oct 95	46,5	1,5	283	bris	239,5	146,5	
Nov 95	45,5	3,5	288,5	bris	240,5	184	
Déc 95	56	3	272	131	237,5	179,5	
Jan 96	57	3	281,5	134	245	177,5	
Fév 96	52	4,5	285	130,5	240	174,5	
Mar 96	59	2	272,5	125	239,5	173,5	
Avr 96	62,5	1,5	263	127,5	bris	172,5	
Mai 96	64	2,5	268,5	124,5	245	170	
Jun 96	65	3,5	254	131	227,5	172	
Jul 96	63	4,5	249	128	209	170,5	
Aoû 96	61,5	3,5	247,5	129	214,5	175,5	
Sep 96	63,5	3,5	241,5	122,5	218,5	186,5	782
Oct 96	65	3	Brisé	116,5	Brisé	212	
Nov 96	68	2,5	286	114,5	222,5	217,5	
Déc 96	66	4	256,5	133	219,5	238	
Janv 97	65	3,5	261	121	198,5	Brisé	
Fév 97	62	3,5	264	123,5	194	Brisé	
Mars 97	61,5	3,5	255	122	Brisé	251	
Avril 97	70,5	3	252	124,5	207	209	
Mai 97	68	6	250	127	207,5	178,5	
Juin 97	74	3,5	247	132,5	Brisé	172	
Juillet 97	78	2	243	139,5	225	168	
Août 97	69	3,5	233	138	200	-	
Sept 97	-	-	-	-	-	-	676
Oct 97	71,5	3,5	238	128	196	157,5	
Nov 97	72	3	242,5	129,5	190,5	149,5	
Déc 97	72,5	3	250,5	131,5	197,5	155	
Janv 98	70	3	260,5	131	196	150,5	
Fév 98	72	3	277,5	129	189,5	154,5	
Mars 98	71,5	1,5	Brisé	127,5	191	136,5	

Figure 16.1 Évolution de la concentration des chlorures entre juin 95 et mars 98



L'analyse du tableau et du graphique précédent montre que la situation est demeurée plutôt stable depuis 1994. Les concentrations ont légèrement baissé dans les puits à une exception près. Le puits #35 situé près de l'entrepôt accuse une hausse subite entre septembre 96 et mai 97 pour revenir à son niveau antérieur. Cela correspond probablement aux travaux de désaffectation de l'entrepôt. Il suffira de vérifier les dates. Le puits passe par un maximum jamais atteint avec une concentration en chlorure de 304 ppm.

Tableau 16.2 Évolution de la situation entre 1983 et 1996

no puits	1983	1994	1995-98 (maximum)	1995-98 (moyenne)
18	2,0	3,0	4,5	3,1
33	123,0	268,0	304	264,4
3	15,0	131,0	138,5	128,4
30	103,0	213,0	245	218,6
35	-	169,0	251	174,0

16.2 Le piézomètre d'alerte # 5

L'analyse de l'eau puisée au piézomètre d'alerte situé au bout de la rue Vachon, dans le quadrilatère sud-ouest de l'échangeur Thibeau a montré des concentrations élevées de chlorure depuis son installation (voir le Tableau 16.3). Un sommet inégalé est atteint en septembre 1997 avec 782 ppm.

Tableau 16.3 Piézomètre d'alerte no. 5

Date	Chlorures (ppm)
31 octobre 94	523
3 août 95	450
Septembre 96	782
Septembre 97	676

Les niveaux élevés de la concentration en chlorure dans le piézomètre d'alerte # 5 situé au bout de la rue Vachon, dans le coin sud-ouest de l'échangeur Thibeau laissent penser que des entrées de sel se font au niveau de l'échangeur Thibeau ou en amont. Malgré l'existence d'un système de drainage fermé entre cet échangeur et l'échangeur des Prairies, des chlorures réussissent à pénétrer dans la nappe. Une partie des eaux captées par le drainage fermé de l'échangeur Thibeau sont rejetées en partie dans le fossé du coin nord-ouest de l'échangeur et en partie dans la rivière Saint-Maurice via le réseau municipal. Or, le fossé est situé en aval de l'aire d'alimentation du piézomètre (voir la Figure 13.3). Il est à noter que ce piézomètre ne partage pas la même aire d'alimentation que le puits #33. Ce plan du système de drainage fermé de l'autoroute montre qu'une partie des bretelles de l'échangeur Thibeau est drainé en direction du fossé. Alors, les eaux saumurées de la chaussée pénètrent dans la nappe par le fossé alors que les eaux de fonte de la neige entreposée dans les bretelles percolent directement dans le sol en direction de la nappe aquifère.

La concentration très élevée du piézomètre # 5 et du puits # 33 pourrait être expliquée par deux facteurs; la configuration en déblai de l'autoroute et la présence de l'échangeur Thibeau. L'autoroute, on l'a vu, agit comme un drain, entraînant préférentiellement les eaux de percolation en provenance de cette brèche dans les sables. Il entraîne et dirige les eaux interceptées vers le bas de la pente en direction du Saint-Maurice. L'échangeur Thibeau à cause de la longueur de ses bretelles constitue une charge importante de sels.

16.3 L'entrepôt de sel du MTQ à Cap-de-la-Madeleine

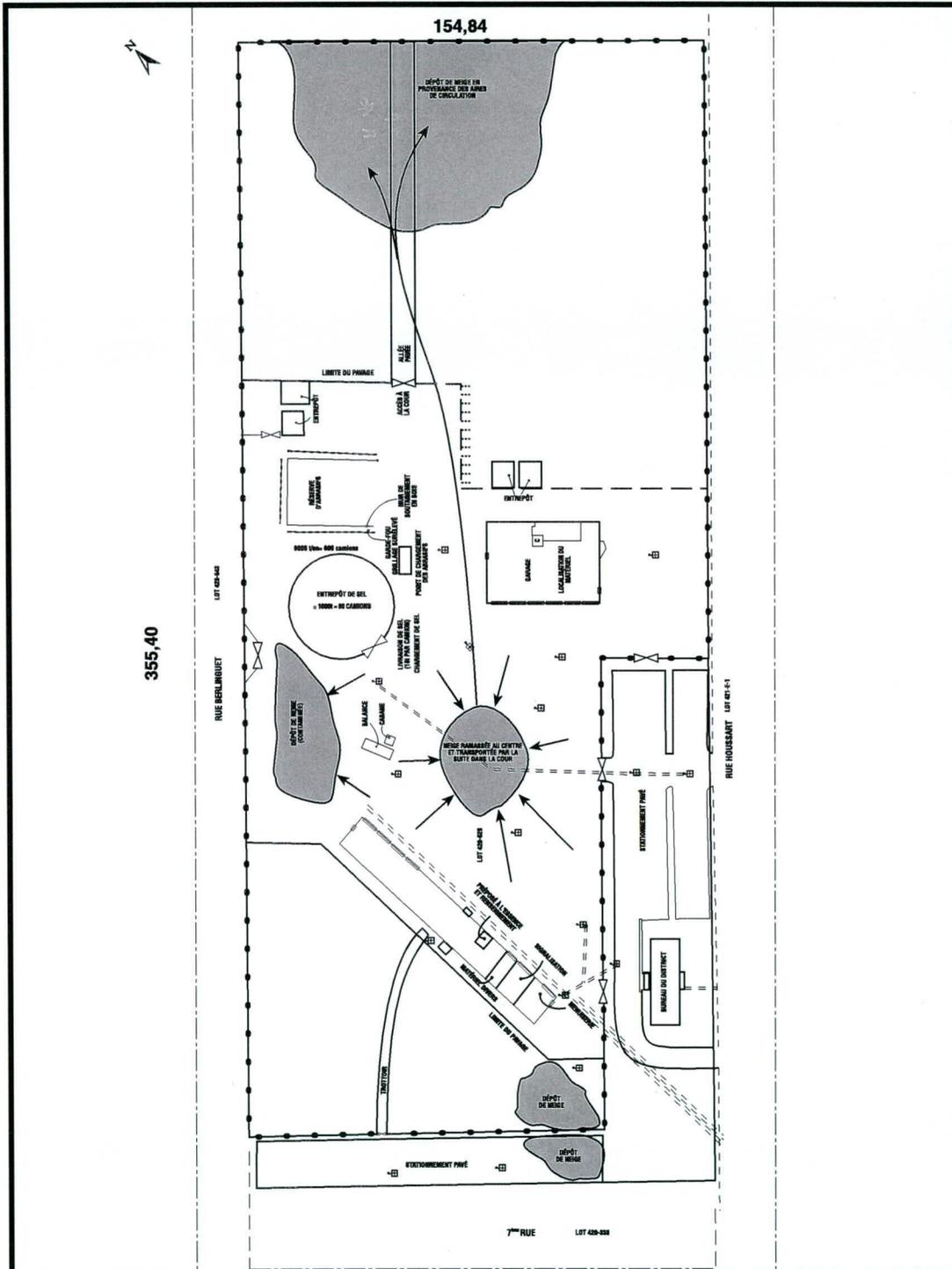
L'entrepôt de sel du MTQ à Cap-de-la-Madeleine est dorénavant fermé et les terrains ont été remis à la Société immobilière du Québec (SIQ). Les opérations seront dorénavant concentrées et menées à partir du site de Trois-Rivières ouest. Le bâtiment sera éventuellement démonté. Déjà un nouveau locataire occupe les lieux.

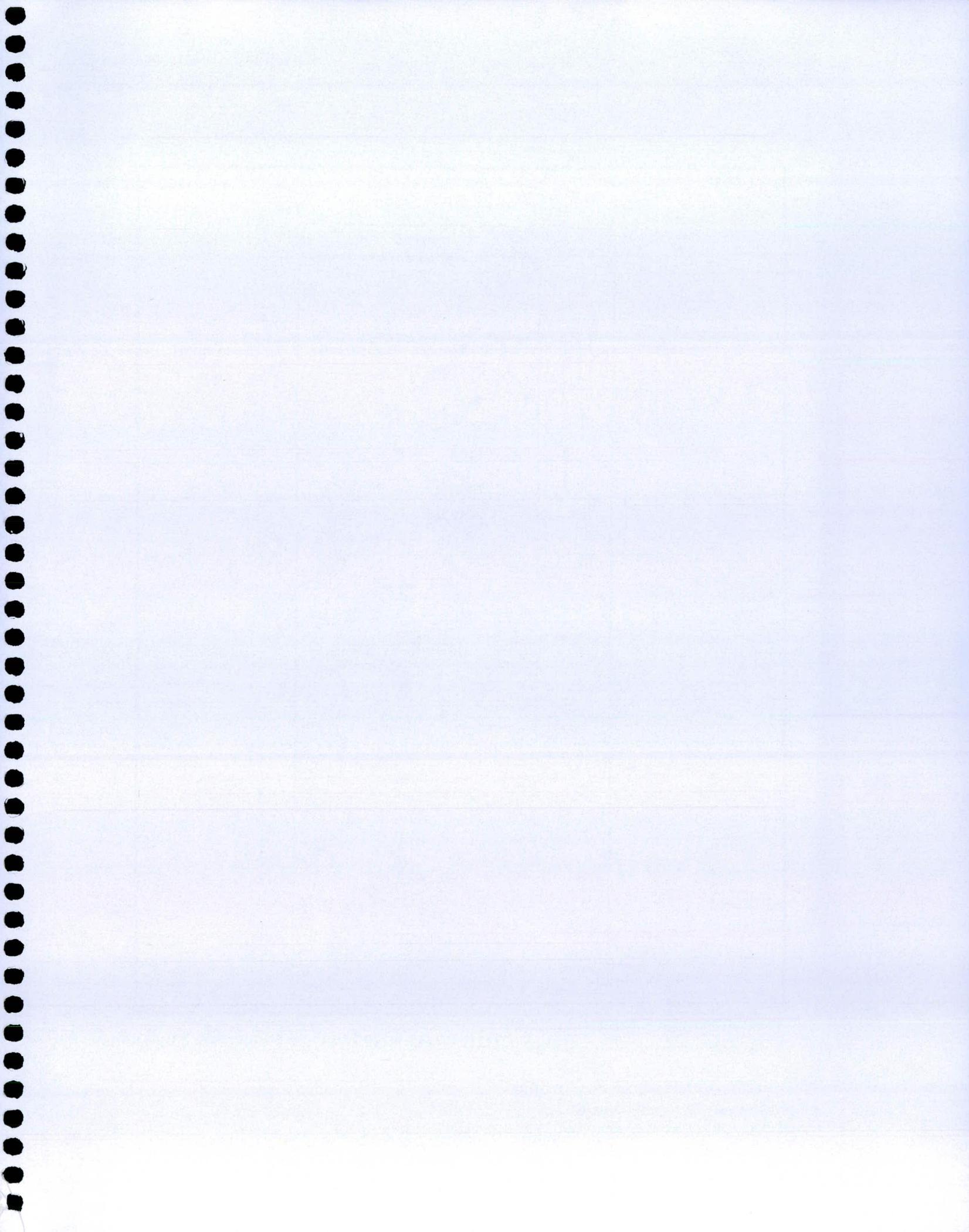
La fermeture de l'entrepôt de la rue Houssard devrait avoir un effet bénéfique sur la qualité de l'eau des puits situés à proximité et en particulier sur le puits # 35 que l'on suspectait être sévèrement influencé par ses opérations. En effet, lors de précipitations, la neige était ramassée sur et aux alentours de la plateforme de chargement puis entreposée directement sur le sol. (Voir la Figure 16.2). Or cette neige était contaminée par les pertes de sel encourues

lors des opérations de chargement des camions. Alors, même s'il y avait une dalle de béton et un système de drainage fermé à l'entrepôt et aux aires de chargement, l'entreposage des neiges usées dans la cour permettait l'introduction de chlorures dans la nappe aquifère.

Le suivi effectué par la Municipalité entre juin 1995 et mars 1998 sur le puits 35 semble montrer une tendance à la baisse parce que toute l'année 1996, la concentration en chlorure n'a jamais baissée sous les 170 ppm et a même atteint un sommet inégalé soit 238 ppm. Alors que depuis juillet 1997, cette concentration passe sous la barre des 170 ppm et atteint en mars 1998, date de la dernière analyse, un niveau que l'on avait pas vu depuis 1995 soit 136 ppm. La poursuite du suivi par la Municipalité permettra de voir si la concentration peut encore baisser et atteindre les niveaux des années 80 établis autour de 30 ppm ou les niveaux du début des années 90 qui oscillaient autour de 70 ppm.

Figure 16.2 Opérations à l'entrepôt de sel du MTQ



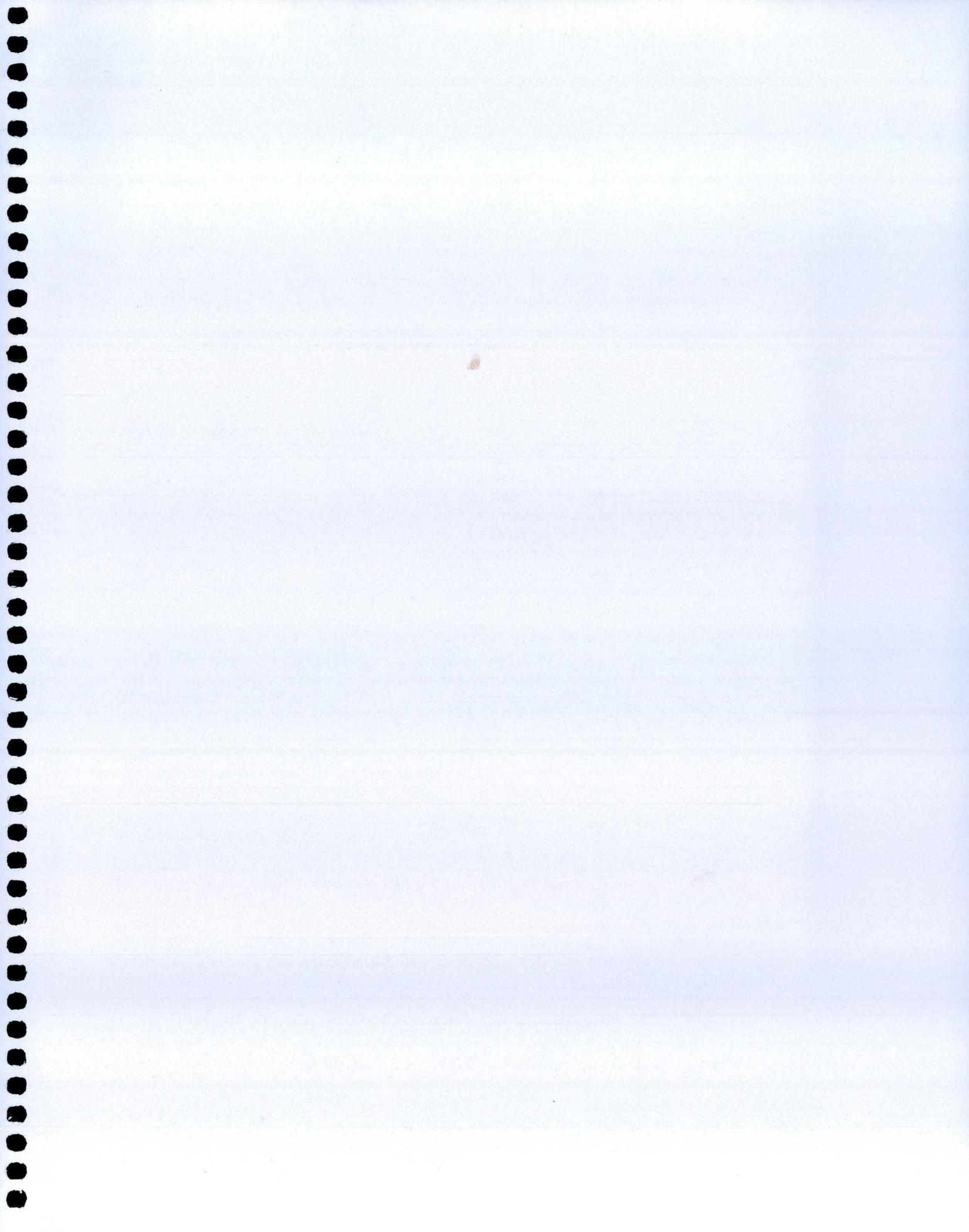


17 RECOMMANDATIONS POUR L'EAU POTABLE

Les recommandations du ministère de l'Environnement et de la Faune pour les chlorures sont établies en fonction des organismes cibles ou des activités humaines. Elles décrites au Tableau 17.1 sont tirées du document «Critères de qualité de l'eau, MEF, 1990 et 1992».

Tableau 17.1 Recommandations du MEF pour les chlorures

Paramètre : chlorure (mg / L Cl)	
EAU BRUTE (prise d'eau domestique) <250,0 (OMOE, 1984, OMS, 1984A, NYSDEC, 1988, SBSC, 1987)	
CONTAMINATION D'ORGANISMES AQUATIQUES	Aucun critère retenu pour cet usage
VIE AQUATIQUE (toxicité aigüe)	
860,0 (U.S.EPA, 1988b)	Ce critère ne sera probablement pas assez protecteur lorsque les chlorures sont associés au potassium, au calcium ou au magnésium plutôt qu'au sodium. En plus, puisque les organismes d'eau douce ont une gamme restreinte de susceptibilité à la toxicité aigüe, un dépassement du critère pourra affecter un bon nombre des espèces
VIE AQUATIQUE (toxicité chronique)	
230,0 (U.S.EPA, 1988b)	
ACTIVITÉS RÉCRÉATIVES (contact primaire)	Aucun critère retenu pour cet usage
ACTIVITÉS RÉCRÉATIVES (esthétique)	Aucun critère retenu pour cet usage



CONCLUSION

Tous les puits de la Municipalité de Cap-de-la-Madeleine ont présenté une hausse de leur concentration en chlorure entre les années 1983 et 1998. Les hausses les plus importantes et les niveaux les plus élevés sont notées dans les puits 33, 30, 26 et 37 du secteur III, par contre, l'accroissement des niveaux a été plus forte dans le secteur IV, ce qui se traduit par une dégradation la plus importante de ce secteur.

Une partie des 1210 tonnes de sel épanché pour l'entretien de l'autoroute 40 et de la route 157 pénètre dans l'aquifère. Les chlorures pénètrent dans la nappe aquifère soit immédiatement au moment de l'application des fondants par infiltration des eaux saumurées évacuées en dehors des systèmes de drainage fermé qu'il soit autoroutier ou municipal et peut être par les fuites dans ceux-ci, soit ultérieurement au printemps, lors du réchauffement des températures, par la fonte des neiges contaminées projetées sur le sol, en dehors du réseau du drainage fermé.

Plusieurs indices laissent penser que les sites d'entrée privilégiés des chlorures le long de l'autoroute 40 sont d'une part le fossé à l'ouest de l'échangeur Thibeau qui recueille les eaux d'une partie de la chaussée de ce même échangeur via le système de drainage fermé, les boucles de l'échangeur Thibeau et les fossés le long de l'autoroute qui servent d'entrepôt à neige. L'entrepôt de sel constituait également un site d'entrée des chlorures dans la nappe lorsqu'il était en opération, mais comme il a été réaménagé à l'extérieur de la zone de recharge de la nappe, il ne constitue plus une menace pour la qualité de l'eau. Enfin, les multiples joints des canalisations souterraines du système de drainage fermé de l'autoroute pourraient également laisser passer des eaux chlorurées dans le sol.

L'augmentation de la concentration des chlorures dans la nappe peut être expliquée en partie par l'utilisation de plus en plus grande des sels déglaçants, lors de périodes de verglas répétées ou importantes ou par l'abaissement du niveau de la nappe qui ne présente plus le même pouvoir de dilution ou par ces deux facteurs à la fois.

La quantité de fondants utilisée par la Municipalité est importante; au-delà de 3000 tonnes par année. Toutefois, parce que la neige contaminée est d'une part ramassée sur les grandes artères pour être ensuite exportée en dehors de la zone de recharge de l'aquifère, et d'autre part parce qu'une partie de celle-ci est entraînée à la fonte des neiges vers le système de drainage fermé dans les quartiers résidentiels, la Municipalité soutient que peu de chlorures présents dans la nappe aquifère proviennent de leur entretien hivernal, ce qui semble être vérifié par le peu de contamination des puits à l'abri de l'influence de l'autoroute 40, de la rue Thibeau et de l'entrepôt de sel du MTQ à l'époque où il était en opération.

La localisation amont du fossé de l'autoroute par rapport aux aires d'alimentation des puits 33, 30, 26 et 37 et sa proximité ne laissent plus beaucoup de doutes sur la cause des concentrations élevées en chlorure mesurées dans ces puits.

L'entrepôt de sel du MTQ quant à lui est vraisemblablement la cause première de la contamination du puits 35.

Les niveaux en chlorure atteints dans les puits 33, 30, 26 et 37 sont près du seuil ou dépassent les normes de qualité de l'eau potable établies par les instances gouvernementales et la

Conclusion

situation se détériore continuellement. Pour cette raison, il y a lieu d'intervenir pour corriger la situation.

18 AVENUES DE SOLUTION

Plusieurs avenues de solution existent pour empêcher la contamination par le chlorure de la nappe aquifère. L'arrêt de l'épandage, l'imperméabilisation des accotements, talus, fossés et berges, l'utilisation de méthodes de gestion des opérations de déneigement, une compensation monétaire à la Municipalité pour la fermeture des puits les plus contaminés et l'ouverture de nouveaux puits en amont de l'autoroute ou un mélange de l'une ou l'autre d'entre elles sont autant de solutions possibles. Dans les paragraphes suivants, ces avenues seront abordées une à une.

18.1 Arrêt de l'épandage, étude de cas

18.1.1 L'autoroute 15 à Sainte-Agathe-des-Monts

Sur l'autoroute 15 dans la Municipalité de Saint-Agathe-des-Monts, l'application de sel a été suspendue sur un segment parce que le chlorure de sodium pollue un lac de tête. Ce lac servait à l'approvisionnement en eau potable. Un panneau traversant les deux voies prévenait l'usager de la façon suivante : «*Aucun épandage de sel sur x km, protection de l'environnement*». Cette modification du mode de déglacage était appliqué entre les chaînages 0 et 2131 de la section 190 du tronçon 03. Cette section présente un DJMA de 9700, un DJME de 11600 et un DJMH de 7900⁴. Le relief est accidenté et en altitude.

Sur l'autoroute 40, le DJMH est de 33 000 entre la rivière Saint-Maurice et l'échangeur Thibeau (tronçon 06 section 10) et de 20 000 à partir de ce point vers l'est (tronçon 06 section 20). Le débit est donc de deux à quatre fois plus élevé. La présence d'une courbe et d'une pente en direction du pont Radisson jumelée à ce débit élevé de la circulation hivernale rendent l'arrêt de l'épandage de fondants problématique.

18.1.2 Recherche de cas similaires dans le monde

Une recherche a été effectuée à l'hiver 1998-99 sur le réseau mondial d'échange en transports dans le but de savoir s'il y avait des pays qui étaient aux prises avec la situation identique et quelles avaient été les solutions retenues. Cette recherche a permis d'obtenir une trentaine de réponses, une quantité appréciable de contacts dans sept pays et une bibliographie de plus d'une vingtaine de références sur le sujet.

Un rapide survol des réponses a permis de constater que des efforts sont faits dans plusieurs pays pour réduire l'utilisation des sels déglaçants. Les raisons qui motivent de tels efforts peuvent être de nature environnementale comme la protection des ressources halieutiques (saumons), la protection des végétaux aux abords de la route, la protection de l'eau souterraine ou de surface à des fins de consommation ou de nature technique comme la corrosion des infrastructures routières (ponts et autres ouvrages).

⁴ Données de circulation pour 1994

Par exemple, le Commonwealth du Massachusett possède certaines portions d'autoroute où l'application de sels déglaçants est interdite. Une signalisation adéquate prévient le conducteur du changement à venir dans les conditions de la chaussée.

D'autres tentent de diminuer les quantités de fondants en faisant appel à des méthodes de gestion (management) plus serrées et des méthodes préventives. Par exemple les techniques du «anti-icing, wetted salt for deicing, calibration and control of application» sont mises de l'avant par la ville de Madison. Elle a ainsi éliminé le sel sur toutes ses rues sauf sur les artères et les routes d'autobus. D'autres misent sur leur ressources humaines pour diminuer le plus possible les quantités de neige à déglacer. Cela peut être atteint par des cycles plus court pour les camions dans les secteurs sensibles.

L'efficacité de ces méthodes peut être augmentée par la mise en place de stations météo-routes automatiques comportant des sondes routièrès détectant la présence de givre et d'humidité et fournissant en même temps la température de la chaussée.

D'autres villes vont utiliser des produits de remplacement pour éliminer ou réduire les chlorures. Ces produits doivent toutefois faire l'objet d'un examen afin de savoir si des sous-produits indésirables ne se retrouveront pas dans la nappe également, ce qui ne réglerait pas le problème.

18.2 Diminution des quantités de fondants utilisées

La recherche effectuée auprès de divers pays par l'entremise du réseau mondial d'échange sur les transports a permis de cerner les grandes avenues pour tenter de diminuer la quantité de fondants. Par exemple, une équipe spéciale de déneigement pourrait être affectée à la portion d'autoroute située entre la limite est de l'aquifère et le viaduc des Ormeaux. Les décisions sur le moment d'appliquer la méthode du anti-icing serait facilitée par les données recueillies par la station-météo. Cette méthode consiste à appliquer une mince couche de chlorure de sodium en solution avant l'événement météorologique pour éviter la formation de glace sur la chaussée. Ensuite, un passage plus fréquent des déneigeuses lors d'une forte précipitation permettrait de diminuer la quantité de neige à faire fondre à l'aide du sel déglaçant. Finalement, la neige qui aurait été entreposée momentanément sur l'accotement serait évacuée en dehors de la zone de recharge de l'aquifère par camion. De cette manière, les chlorures en solution sont exportés par le système de drainage fermé ou sous forme solide par camions lorsqu'ils sont absorbés par la neige.

Ce changement de méthode devrait être précédé par des sessions préparatoires et après la mise en application de la nouvelle méthode, par des rencontres régulières pour faire le point sur la performance et l'atteinte des résultats.

18.3 Imperméabilisation des abords de la route

L'imperméabilisation de talus et de fossés en bordure de routes a déjà été réalisé au Québec, lors de la construction de l'autoroute 73 entre Charlesbourg et Stoneham pour protéger des puits privés et lors de la construction de l'autoroute 30 près de Lachute pour protéger les puits de la compagnie d'embouteillage d'eau de source Naya. Des membranes composites de bentonite et géotextile sont étendues sous la couche de recouvrement. La bentonite a la propriété de devenir parfaitement imperméable quand elle est imbibée d'eau. Le procédé est efficace, bon marché et fiable. Il est évidemment plus économique de réaliser ces travaux lors

de l'implantation d'une l'infrastructure, et non pas après sa construction comme c'est le cas pour l'autoroute 40.

Le secteur visé par des travaux d'imperméabilisation sur l'autoroute 40 à Cap-de-la-Madeleine devraient être menés à partir de la courbe à l'est de l'échangeur Thibeau jusqu'à un point situé à 200 m en amont du croisement avec la rue des Ormeaux pour une longueur totale de 1,5 km.

À partir du viaduc du boulevard des Ormeaux en direction ouest, les talus ne nécessitent pas d'imperméabilisation parce qu'ils sont situés en dehors (en aval) de la zone d'alimentation des puits jugés critiques, soit les puits # 33, # 26, # 30 et # 37. Ces travaux doivent s'appliquer à l'ensemble de l'emprise incluant les boucles de l'échangeur Thibeau car, on l'a vu, elles constituent un point d'entrée important des chlorures dans la nappe. De plus, le fossé situé au nord-ouest de l'échangeur Thibeau devra être imperméabilisé et raccordé au réseau d'égout pluvial de la municipalité.

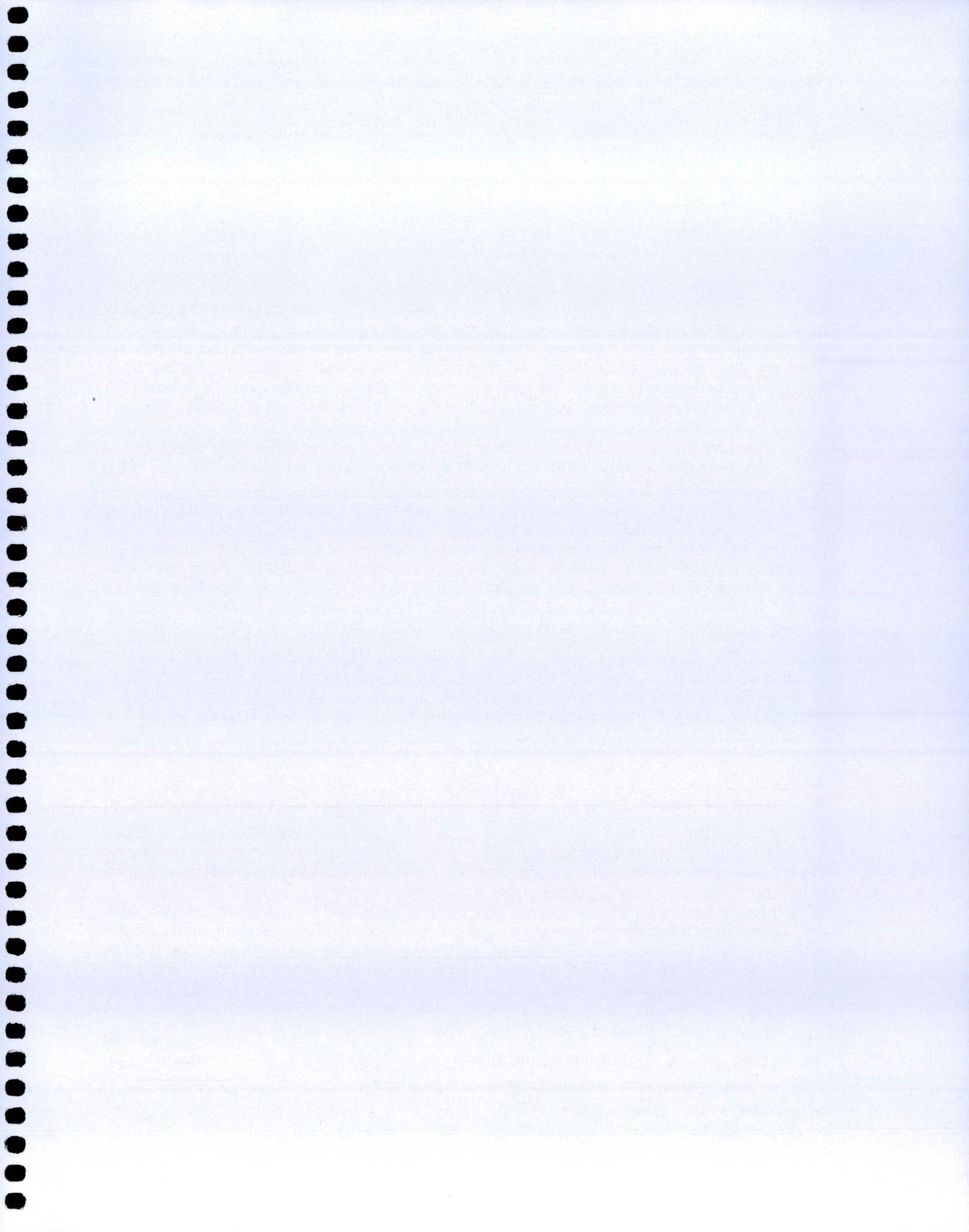
L'imperméabilisation devra s'étendre sous toutes les parties de terrain servant à entreposer la neige. Une membrane géocomposite en bentonite sera étendue de l'accotement jusqu'à la berge. Elle sera installée entre un coussin et un recouvrement de sable, cette couche imperméable étant elle-même enrobée dans une couche de pierres concassées.

Si cette solution était retenue, un suivi de la qualité de l'eau dans les puits visés permettrait de constater le degré de réussite des travaux d'imperméabilisation. Si les résultats n'étaient pas entièrement satisfaisants, il faudrait vérifier l'état général du système d'égout pluvial de l'autoroute afin de détecter la présence de fuites.

Le système d'égout pluvial de l'autoroute 40 est construit avec des tuyaux de béton de 2,43 m de longueur dont le diamètre commence à 30,4 cm, à l'échangeur des Prairies, et atteint 137 cm, à l'échangeur Thibeau, au point de raccordement avec le collecteur municipal. Aucun anneau de caoutchouc ne scelle les joints entre les tuyaux et cette caractéristique pourrait être la cause des fuites dans le sol. Le faible volume des eaux saumurées en hiver peut favoriser les pertes au niveau des joints parce qu'il induit des vitesses d'écoulement plus faibles et un temps de transit plus long dans la tuyauterie.

18.4 Compensation monétaire pour la recherche et la mise en service de nouveaux puits

Une telle solution demande que des études hydrologiques soient menées pour savoir si la nappe est capable de fournir de l'eau à partir de nouveaux puits en quantité et en qualité suffisante et satisfaisante. Le coût qui devrait être engagé pour la réalisation de cette solution est pour l'instant inconnu mais il devra inclure la mise en place de conduites sous les rues municipales pour amener l'eau à l'un ou l'autre des réseaux déjà en place. Cette solution pourrait être irréalisable et s'avérer onéreuse.



BIBLIOGRAPHIE

Les consultants H.G.E. inc.. 1991. *Étude hydrogéologique relative à l'inventaire et à la gestion de l'aquifère de Cap-de-la-Madeleine*. Rapport présenté à la Municipalité de Cap-de-la-Madeleine n° HGE-90-449-1. 35 p. 6 annexes et cartes.

Ministère des Transports. 1988. *Effets des sels déglaçants sur la qualité de l'eau de l'aquifère de Trois-Rivières-Ouest*. Collection Études et recherches en transports, Génie et environnement. n° RTQ-87-05. 119 p.

Villeneuve, Jean-Pierre, O. Banton et P. Lafrance. 1987. *Développement d'un nouvel outil simple et adaptable pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination par les pesticides*. Rapport scientifique INRS-Eau n° 233a, Université du Québec pour Environnement Canada. 56 p.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 156 722